



# PŘÍKLADOVÉ STUDIE

**TAČR SS01020383: Využití  
multisenzorického datalogingu při  
hodnocení dopadu environmentálních  
změn na aktivitu volně žijících živočichů**

T A  
Č R

Program **Prostředí pro život**

## Obsah

ÚVOD .....	4
ČÁST I. Využití metod multisenzorického dataloggingu pro sledování vlivu umělého osvětlení na chování ropuchy obecné ( <i>Bufo bufo</i> ).....	5
Abstrakt.....	6
1. Úvod .....	7
2. Metodika.....	9
2.1. Experimentální design .....	9
2.2. Sběr dat .....	10
2.3. Obecná příprava dat.....	11
2.4. Statistická analýza .....	11
3. Výsledky .....	13
3.1. Aktivita .....	13
3.2. Termoregulace.....	15
3.3. Vliv nočního osvětlení .....	17
3.4. Ztráta hmotnosti.....	19
4. Diskuse.....	20
5. Závěr .....	22
6. Použitá literatura .....	23
ČÁST II. Využití metod multisenzorického dataloggingu pro sledování vlivu zemědělského hospodaření na život druhů obývajících agroekosystémy na příkladu čejky chocholaté ( <i>Vanellus vanellus</i> ).....	29
Abstrakt.....	30
1. Úvod .....	31
2. Metodika.....	34
2.1. Studovaná oblast a velikost získaného datasetu .....	34
2.2. Sběr dat .....	34
2.3. Obecná příprava dat.....	35
2.4. Příprava proměnných pro analýzu aktivity.....	35

2.5. Příprava odhadů okolní teploty.....	37
2.6. Statistická analýza .....	38
3. Výsledky .....	40
3.1. Shrnutí datasetu a popis ukázkového aktogramu .....	40
3.2. Vliv habitatu na aktivitu a rychlost růstu kuřat.....	40
3.3. Patrnosti spojené s potřebou zahřívání kuřat pod rodiči.....	44
3.4. Načasování hnízdní sezony s ohledem na zastoupení vhodného habitatu a tepelné nároky kuřat.....	47
4. Diskuse.....	49
4.1. Patrnosti v chování kuřat.....	49
4.2. Vliv habitatu na aktivitu kuřat.....	50
4.3. Načasování hnízdní sezony .....	51
5. Závěr .....	53
6. Použitá literatura .....	53
ČÁST III. Využití metod multisenzorického datalogingu pro sledování aktivity ježků ( <i>Erinaceus</i> sp.) v prostředí intravilánu.....	59
Abstrakt.....	60
1. Úvod.....	61
2. Metodika.....	64
2.1. Odchyt a manipulace se zvířetem.....	64
2.2. Sběr doplňkových údajů o monitorovaném jedinci .....	64
2.3. Nastavení dataloggeru .....	64
2.4. Metodika připevnění a sejmutí dataloggeru .....	64
2.5. Monitoring zvířete a zpětný odchyt.....	65
2.6. Sběr dat pro příkladovou studii .....	66
2.7. Obecná příprava dat.....	66
2.8. Statistická analýza .....	67
3. Výsledky .....	69
3.1. Cirkadiánní rytmus a faktory ovlivňující hodinovou proporci aktivity.....	69
3.2. Celková noční aktivita .....	70
3.3. Vliv habitatu na proporci celkové noční aktivity.....	71

3.4. Pobyt pod umělým osvětlením .....	72
3.5. Změna hmotnosti .....	73
4. Diskuse.....	73
5. Závěr .....	75
6. Použitá literatura .....	75

## ÚVOD

Monitoring aktivit volně žijících živočichů je důležitou součástí ekologické a environmentální vědy. Živočichové citlivě vnímají i nepatrné změny v prostředí a představují tak cenné bioindikátory, jejichž detailní studium má celospolečenský význam zejména pro možnost včasné detekce negativních dopadů antropogenní činnosti na přírodu i životní prostředí člověka.

Sledování pohybujících se živočichů však naráží na mnohá omezení daná výraznou prostorovou aktivitou, nočním nebo skrytým způsobem života či obezřetností a neochotou sdílet blízkost člověka – pozorovatele. Jednou z cest, umožňujících detailní sledování aktivních živočichů ve volné přírodě, je využití dataloggerů připevněných na tělech živočichů a vybavených senzory, jež umožňují shromažďovat přesné údaje o různých ukazatelích a tím získávat cenné informace o živočichu samotném. Multisenzorické dataloggerery tak nabízejí možnost získat adekvátně velmi široké spektrum různých informací.

Komplexnost dataloggerů spojující několik monitorovacích komponent včetně radiotelemetrického vysílače daleko přesahuje standardní dostupné nástroje pro monitoring chování živočichů. Jejich maximální možná miniaturizace pak umožňuje uplatnění i u menších druhů, u nichž dříve dostupné techniky detailní monitoring chování neumožňovaly.

Předkládané příkladové studie vypracované v rámci projektu TAČR SS01020383 „Využití multisenzorického dataloggingu při hodnocení dopadu environmentálních změn na aktivitu volně žijících živočichů“ shrnují výsledky a poznatky získané v průběhu let 2020-2023 s nově vyvinutými miniaturizovanými multisenzorickými dataloggerery u tří modelových druhů živočichů: u ropuchy obecné (*Bufo bufo*), čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*) a ježků (rodu *Erinaceus*). Na širokém spektru otázek je demonstrována širší uplatnitelnosti miniaturizovaných multisenzorických dataloggerů v behaviorální ekologii i v aplikované ochraně přírody.

## ČÁST I.

Využití metod multisenzorického dataloggingu pro sledování vlivu umělého osvětlení na chování ropuchy obecné (*Bufo bufo*)

## Využití metod multisenzorického datalogingu pro sledování vlivu umělého osvětlení na chování ropuchy obecné (*Bufo bufo*)

Petr Chajma, Martin Sládeček & Miroslav Šálek

### Abstrakt

V posledních desetiletích dochází k dramatickému úbytku populací obojživelníků, jehož příčinou je zejména vliv člověka. Tento článek prezentuje využití multisenzorického dataloggeru k analýze chování dospělých ropuch obecných (*Bufo bufo*) v postreprodukční fázi v kontextu působení umělého nočního osvětlení. Studie zkoumá vliv nočního osvětlení na denní a noční aktivitu, termoregulační a další chování ropuch, díky kombinaci dat z akcelerometru, světelného a teplotního senzoru a údajů prostředí. Výzkum zahrnoval monitorování 41 jedinců v polopřirozeném prostředí, z nichž polovina byla podrobena vlivu nočního osvětlení a polovina ponechána v přirozeném světelném režimu. Výsledky naznačují, že noční osvětlení ovlivňuje načasování určitých aktivit, jako je vyhřívání na slunci v ranních hodinách. Bylo prokázáno, že ropuchy vystavené nočnímu osvětlení nevykazují pozitivní fototaxi, významnější noční aktivitu ani krátkodobé změny v hmotnosti. Tato studie poukazuje na důležitost multisenzorických dataloggerů pro studium behaviorální ekologie obojživelníků a ukazuje na jejich potenciál v identifikaci jemných vzorců chování.

**Klíčová slova:** obojživelníci, chování, noční osvětlení, datalogging, akcelerometr, světelný senzor, teplotní čidlo, termoregulace, behaviorální ekologie

## 1. Úvod

V posledních desetiletích dochází k výraznému a bezprecedentnímu úbytku obojživelníků, za což z velké části nese vinu člověk a jeho aktivity (Beebee & Griffiths, 2005; Hayes et al., 2010; Pechmann et al., 1991). Současná rychlost vymírání obojživelníků je až 200krát vyšší než průměrná pro všechny živočichy (Hayes et al., 2010; Roelants et al., 2007), přičemž z globálního vyhodnocení obojživelníků pořádaného IUCN (Global Amphibian Assessment, GAA) vyplynulo, že je celosvětově 32 % druhů ohrožených obojživelníků (tj. v kategoriích VU, EN a CR červeného seznamu IUCN), 43 % druhů zaznamenávajících pokles početnosti a pouze 0,5 % druhů zaznamenává nárůst velikosti populace. 27 % druhů si udržuje stabilní velikost populace a u nezanedbatelných 29 % druhů zatím nejsou dostatečná data k vyhodnocení jejich stavu (Stuart et al., 2004). Jako důvody úbytku jsou nejčastěji uváděny ztráta habitatu a jeho konektivity (Arntzen et al., 2017; Davidson et al., 2002), antropogenní polutanty (hnojiva, soli, světelné znečištění apod.) (Davidson et al., 2002; Ortiz-Santaliestra & Sparling, 2007; Sparling et al., 2003; Sparling & Harvey, 2006), změna klimatu a narušení ozonové vrstvy (Alton & Franklin, 2017; Pounds & Crump, 1994; Stuart et al., 2004), doprava (Brzeziński et al., 2012; Hartel et al., 2009; Santos et al., 2007) či zavlečení nepůvodních patogenů a invazivních druhů (González et al., 2019; Kiesecker, 2011). Tyto problémy se, samozřejmě, nevyhnuly ani České republice, kde je dle nejnovějšího Červeného seznamu obratlovců 5 kriticky ohrožených, 5 ohrožených, 6 zranitelných a 5 téměř ohrožených druhů obojživelníků (Jeřábková et al., 2017).

Jedním ze zásadních antropogenních vlivů, který škodí nejen obojživelníkům a jehož řešením se v posledních letech zabývá mnoho lidí, je vliv světelného znečištění (Rich & Longcore, 2006; Sanders et al., 2021). Noční svícení v podobě pouličního osvětlení, osvětlení staveb, obrazovek či billboardů ovlivňuje mnoho aspektů života obojživelníků, počínaje sníženou líhivostí vajec (May et al., 2019), zpomaleným embryonálním vývojem a menší velikostí při metamorfóze (Delgado et al., 1987; Edwards & Pivorun, 1991; Gutierrez et al., 1984), retinálními iregularitami (Basinger & Matthes, 1980), sníženou produkcí spermatu (Biswas et al., 1978), narušenou produkcí melatoninu (Lee et al., 1997), která potenciálně způsobuje fyziologické změny (Vanecek, 1998), redukuje toleranci k vysokým teplotám a snižuje teplotu těla (Erskine & Hutchison, 1982; Hutchison et al., 1979), zvýšenou koncentrací kortikosteronu (Cope et al., 2020; Forsburg et al., 2021), konče změnami v nočním (Dananay & Benard, 2018; Secondi et al., 2021), potravním (Buchanan, 1993), migračním (Van Grunsven et al., 2017), rozmnožovacím (Baker & Richardson, 2006; Buchanan, 2006; Hall, 2016; Touzot et al., 2020), ovipozičním (Tárano, 1998) a



antipredačním (Tuttle & Ryan, 1982) chování, sníženými zásobami tuku a rychlostí růstu (Bush, 1963).

Vliv nočního svícení je evidentní a jednoduše měřitelný v případě morfologických a fyziologických změn, ale v případě změn chování, není tak jednoznačný. Behaviorální adaptace na noční osvětlení se totiž mohou projevit v různé době dne a v různých situacích, což značně ztěžuje jejich detekci a předpokládá nepřetržitý monitoring zvířete po dobu alespoň několika dnů, při současné snaze o jeho co nejmenší vyrušení. Takový monitoring by tedy měl probíhat v přirozených nebo polopřirozených podmínkách a za účelem minimalizace externích vlivů buď kamerově nebo přístrojově. Oba přístupy mají své výhody i nevýhody. Zatímco z kamerového záznamu lze pozorovat a jednoduše popsat chování, které bylo dosud nepopsané, časové nároky na shlédnutí a přepis kontinuálních několikadenních videí na dostatečném vzorku jedinců jsou enormní. Oproti tomu lze pomocí strojového záznamu získat obrovský objem velmi přesných, ale hůře interpretovatelných dat z různých specializovaných senzorů.

Ideální aplikací druhého přístupu je použití v tomto projektu vyvinutého multisenzorického dataloggeru (zde ve verzi DAL, viz Souhrnná výzkumná zpráva – V5; dále jen MSD), který nabývá dostatečně malých rozměrů a nízké hmotnosti, umožňujících bezpečné připevnění na tak malé živočichy, jakými jsou obojživelníci. Jako modelový druh byla vybrána ropucha obecná (*Bufo bufo*), jejíž výskyt je stále téměř celorepublikový (pokrývá 94 % mapovací sítě, viz Šandera, 2023), ale v Červeném seznamu obratlovců je pro Českou republiku uvedena jako téměř ohrožená (Jeřábková et al., 2017). Ropucha obecná se často vyskytuje v blízkosti lidských sídel a je tedy přímo ohrožena světelným znečištěním. Zároveň má dostatečnou velikost a na obojživelníka odolnou pokožku, což výrazně snižuje možnost zranění při aplikaci dataloggeru.

Díky dostupným sensorům bylo možné zhodnotit, jak noční osvětlení ovlivňuje cirkadiánní aktivitu ropuch v polopřirozeném habitatu a jak se tato aktivita liší od stejného habitatu bez osvětlení, zda u nich dochází k pozitivní fototaxi (tedy zda jsou světlem přitahovány) a jak noční osvětlení ovlivňuje jejich termoregulační chování. Celkem bylo pro účely studie monitorováno 41 jedinců po dva samostatné běhy experimentu, z nichž každý obsahoval až tři dny souvislého záznamu. Dohromady tedy bylo sebráno přibližně 5875 hodin dat o pohybu ropuch a o teplotě, vlhkosti a osvětlení v jejich okolí, a byly testovány následující hypotézy:

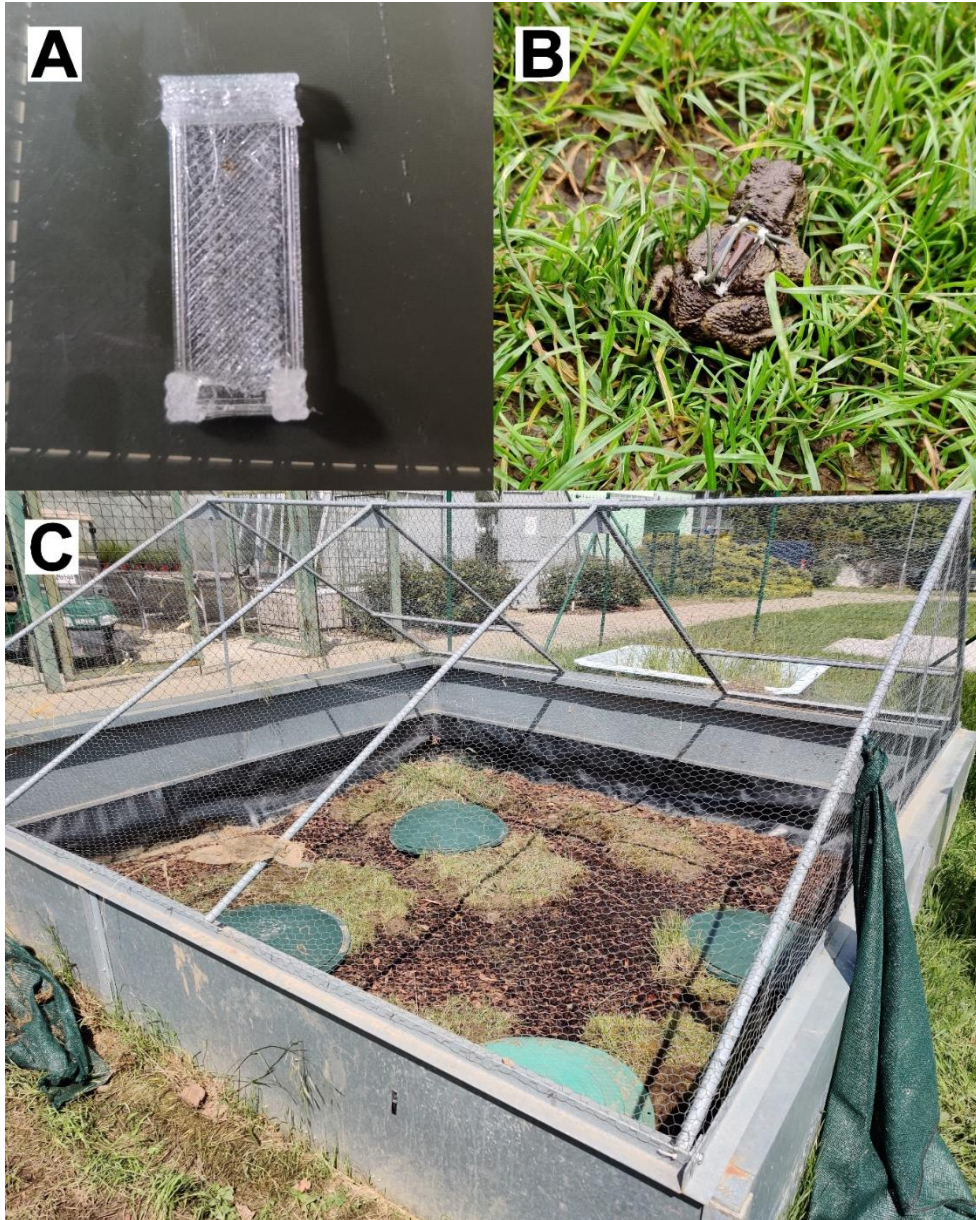
- (a) Ropuchy v habitatu s nočním osvětlením budou v noci aktivnější, protože umělé osvětlení umožní ropuchám efektivněji lovit, nebo se naopak

- posune mimo tyto hodiny, protože se budou ropuchy více skrývat před potenciálními predátory.
- (b) Ropuchy v habitatu s nočním osvětlením se budou zdržovat v blízkosti osvětlení, protože je bude lákat potenciální kořist, nebo se budou naopak osvětlení stranit, protože budou více vystaveny predátorům.
  - (c) Ropuchy v habitatu s nočním osvětlením budou díky vyššímu přísunu potravy po skončení experimentu v lepší kondici (reprezentované individuální hmotností) než ropuchy v habitatu bez přisvitu, nebo se projeví negativní efekty nočního svícení a ropuchy v habitatu s nočním osvětlením hmotnost a tím i kondici naopak ztratí.

## 2. Metodika

### 2.1. Experimentální design

Ropuchy byly odchyceny pomocí zábran a padacích pastí při migraci z místa rozmnožování v okolí Hradce Králové. Po změření a zvážení bylo pro účely experimentu náhodně vybráno 18 samců a 23 samic bez zjevných známek poškození a s dostatečnou hmotností (> 24 g) tak, aby hmotnost dataloggeru nepřevýšila 5 % hmotnosti jedince. Ropuchy byly umístěny ve dvou identických polopřírodních habitatech o velikosti 4 x 4 x 1 m (D x Š x V), kde měly k dispozici dostatek úkrytů (čtyři kruhová víka o průměru 80 cm), porost složený z vysokých a nízkých trsů trav, vodní plochu a otevřený prostor na slunění (Obr. 1 C). Obě stanoviště byla zakryta kovovým pletivem, aby se zabránilo vstupu predátorů. Polovina ropuch byla umístěna do habitatu A, který byl zvolen jako kontrolní (bez instalovaného nočního přisvícení). Druhá polovina byla umístěna do habitatu B, kam byl do rohu ve výšce 1 m umístěn bodový LED světelný zdroj (barva 2700 K – teplá bílá, světelný tok 250 m), simulující intenzitu a spektrální složení světla, dopadajícího na plochu v bezprostřední blízkosti pouličního osvětlení. Osvětlení bylo nainstalováno a odstíněno tak, aby neovlivňovalo dění v habitatu A. Každá ropucha (n=41) byla sledována dvakrát v období mezi 26. květnem a 19. červnem 2020. V první polovině experimentu byly všechny ropuchy chovány za stejných podmínek a bez použití umělého osvětlení. Umělé noční osvětlení pak bylo puštěno ve druhé polovině experimentu (ropuchám z habitatu B), a to týden před sběrem dat, v režimu svícení od 21:00 do 6:00. Jelikož byly habitaty založeny s předstihem, byly již osídleny několika druhy bezobratlých, sloužících jako potenciální potrava. Abychom zajistili dobrou dostupnost potravy, byly ropuchy po celou dobu trvání pokusu příkrmovány dostatečným (ad libitum) počtem živých cvrčků domácích (*Acheta domesticus*).



**Obr. 1:** *Báze postroje k ukotvení dataloggeru vytisklá na 3D tiskárně (A); datalogger ukotvený na ropuše (B); design experimentálního habitatu (C).*

## 2.2. Sběr dat

Aktivita ropuch byla měřena pomocí prototypů multisenzorických dataloggerů (ve verzi DAL, viz Souhrnná zpráva – V5), vybavených tříosým akcelerometrem a čidly teploty, vlhkosti a intenzity osvětlení. Datalogger byly umístěny na zádech ropuch pomocí postroje, vytisknutého pomocí 3D tiskárny Prusa Mk3S, za použití pružného TPU filamentu FlexFill 98A (Obr. 1 A). Postroj byl k ropuše

přípevněn za pás a přední končetiny pomocí silikonové hadičky o průměru 0,5 mm (Obr. 1 B). Abychom ošetřili možné rozdíly v poloze akcelerometru na jednotlivých ropuchách a minimalizovali tak chybu měření, využili jsme autokalibračního procesu ICP (angl. Iterative Closest Point, Van Hees et al., 2014).

### 2.3. Obecná příprava dat

Z kalibrovaných akcelerometrických dat (zaznamenaných s frekvencí 25 Hz) jsme vypočítali celkové dynamické zrychlení těla (ODBA), které bylo použito jako vstup do nesupervizovaného dvoustavového skrytého Markovova modelu (HMM), fitovaného pomocí Baum-Welchova algoritmu (Baum et al., 1970). Podle parametrů odhadnutých modelem bylo možné rozlišit "aktivní" a "pasivní" chování ropuch. Poté jsme použili Viterbiho algoritmus k nalezení nejpravděpodobnější posloupnosti stavů pro každou ropuchu, čímž jsme účinně odfiltrovali "šum" přítomný v měřeních akcelerometru (Leos-Barajas et al., 2017). Protože byly ropuchy po většinu času pasivní, byla předpovídaná aktivita shrnuta do pětiminutových úseků a ropuchy byly považovány za aktivní, pokud se v daném úseku alespoň jednou pohnuly.

Kromě aktivity jsme vypočítali pětiminutové průměry teploty na povrchu těla (z původní frekvence 1 Hz), vlhkosti (z původní frekvence 1 Hz) a intenzity osvětlení (z původní frekvence 1 Hz) měřených stejnými dataloggery. K získání okolní teploty a vlhkosti jsme použili průměr ze sady čtyř čidel DHT (frekvence 1 Hz, viz např. Sládeček et al., 2021) umístěných na dvou různých místech uvnitř každého habitatu. Poté jsme vypočítali rozdíl mezi teplotou prostředí a na těle ("teplotní rozdíl") a vlhkostí prostředí a na těle ("vlhkostní rozdíl"), abychom mohli vyhodnotit využívání mikrohabitátů a hospodaření s teplem v obou režimech (s přísvitem a bez). Vlhkost prostředí a vlhkost na povrchu těla po předběžné analýze nemohly být použity v modelech kvůli vysoké korelaci s odpovídajícími teplotami, a tak byly nahrazeny hodinovými úhrny srážek a průměrným tlakem na úrovni mořské hladiny v místě studie, které byly získány z databáze historických dat Open Meteo (Pisel, 2023). Abychom minimalizovali případný vliv manipulace s ropuchami a s ní spojeného stresu na jejich chování, rozhodli jsme se z analýzy vyloučit údaje získané během prvních 12 hodin a poslední hodiny každého měření.

### 2.4. Statistická analýza

Aktivita ropuch byla modelována pomocí zobecněného lineárního modelu se smíšenými efekty, binomickým rozdělením a okolní teplotou, teplotním rozdílem, srážkovým úhrnem, průměrným tlakem na úrovni mořské hladiny, hmotností ropuch, datem, denní dobou (0 = noc, 1 = den), habitatem, pořadím experimentu a intenzitou osvětlení jako pevnými efekty. Samotná aktivita byla, jak již bylo výše

vedeno, převedena na binomickou veličinu, a tedy 0 (žádná aktivita) a 1 (alespoň nějaká aktivita). Protože rozdíl teplot bývá ve dne záporný a v noci kladný, použili jsme jeho absolutní hodnotu, která odráží sílu a ne směr vztahu. Zahrnuli jsme také dvojně interakce teplotního rozdílu a dne, habitatu a pořadí experimentu, habitatu a dne, pořadí experimentu a dne a trojnou interakci habitatu, pořadí experimentu a dne. Vzhledem k opakovaným měřením stejných jedinců bylo ID ropuchy použito jako náhodný počátek.

Rozdíly mezi teplotou ropuch a teplotou okolí byly modelovány pomocí obecného lineárního modelu se smíšenými efekty a okolní teplotou, hmotností ropuch, datem, časem, habitatem, pořadím pokusu a intenzitou osvětlení jako pevnými efekty. Čas byl vzhledem ke své cyklické povaze převeden na radiány  $((2 \cdot \text{čas} \cdot \pi) / 24)$  a použit jako dvě proměnné - sinus a kosinus radiánů. Zahrnuli jsme také dvojně interakce habitatu a pořadí pokusu, habitatu a času, pořadí pokusu a času, teploty okolí a času a trojnou interakci habitatu, pořadí pokusu a času. Vzhledem k opakovaným měřením stejných jedinců bylo ID ropuchy použito jako náhodný počátek s časem jako náhodným sklonem.

Intenzita osvětlení ropuch byla modelována pomocí zobecněného lineárního modelu se smíšenými efekty, binomickým rozdělením a okolní teplotou, teplotním rozdílem, hmotností ropuch, datem, denní dobou (0 = noc, 1 = den), habitatem a pořadím experimentu jako pevnými efekty. Binomického rozdělení závislé proměnné bylo dosaženo převedením intenzity osvětlení na 0 (0 lux) a 1 (>0 lux). Rozdíl teplot byl, stejně jako v modelu aktivity, použit jako absolutní hodnota, která odráží sílu a ne směr vztahu. Zahrnuli jsme také dvojně interakce teplotního rozdílu a denní doby, habitatu a pořadí experimentu, habitatu a denní doby, pořadí experimentu a denní doby a trojnou interakci habitatu, pořadí experimentu a denní doby. Vzhledem k opakovaným měřením stejných jedinců bylo ID ropuchy použito jako náhodný počátek.

Vývoj hmotnosti ropuch byl modelován pomocí obecného lineárního modelu se smíšenými efekty a velikostí ropuch (délka od okraje čenichu po kloaku), datem, habitatem, pořadím pokusu a interakcí habitatu a pořadí pokusu jako pevnými efekty. Vzhledem k opakovaným měřením stejných jedinců bylo ID ropuchy opět použito jako náhodný počátek.

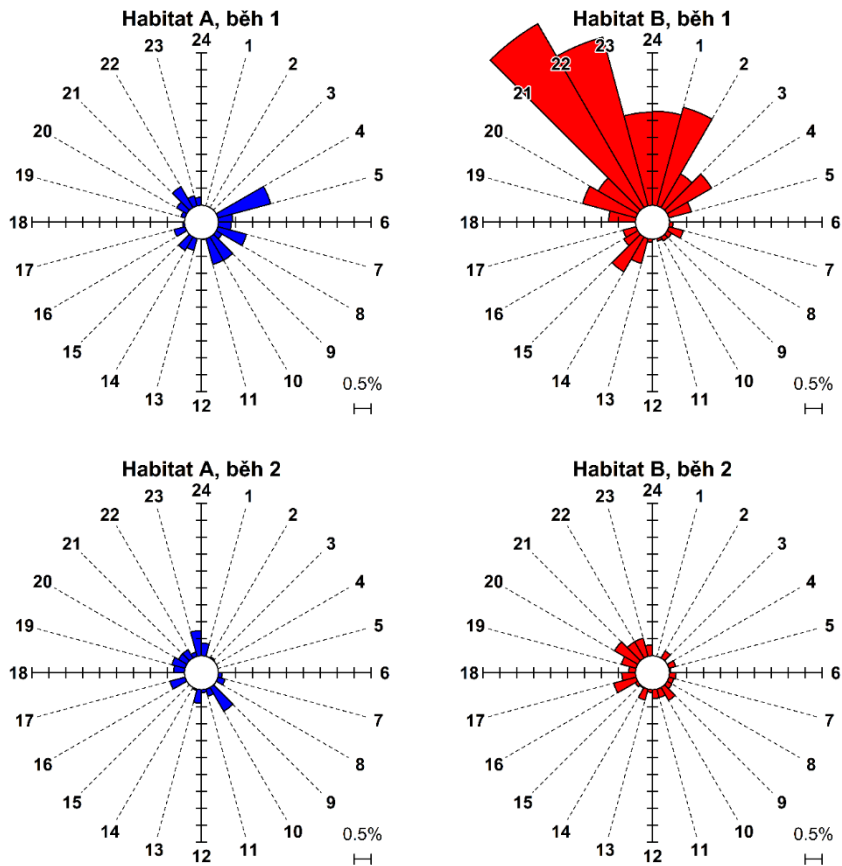
Všechny statistické analýzy a vizualizace byly provedeny v programu R verze 4.2.1. (R-Core-Team, 2022). Obecné a zobecněné lineární modely se smíšenými efekty byly fitovány pomocí funkcí 'lmer' a 'glmer' z knihovny 'lme4' R (Bates et al., 2015). Předpoklady modelu byly kontrolovány vizuálně pomocí diagnostických grafů. Všechny spojitě prediktory v modelech byly z-transformovány (centrovány kolem průměru a děleny směrodatnou odchylkou). Odhady (mediány) velikostí účinků a 95% kredibilní intervaly (CrI) byly

vypočteny na základě posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" s použitím neinformativního prioru (Gelman et al., 2016) (Gelman & Hill, 2007; Gelman et al., 2016).

### 3. Výsledky

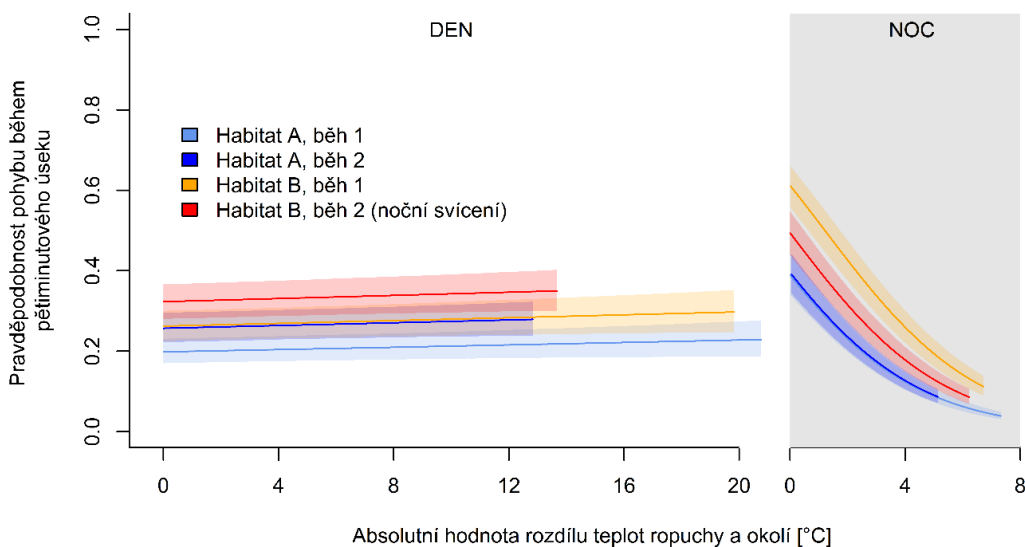
#### 3.1. Aktivita

Po zapnutí nočního osvětlení v druhém běhu experimentu se v habitatu B vzorec aktivity ropuch s ohledem na denní dobu změnil z převážně krepuskulárního (soumračného) na téměř rovnoměrný. Tato změna však nutně nemusela být způsobena právě osvětlením, protože byl velmi podobný vzorec po celou dobu experimentu pozorován i v kontrolním habitatu A (viz Obr. 2).



**Obr. 2:** Vzorec aktivity ropuch. Hodinové průměry pravděpodobnosti aktivity [%] ropuch v habitatech A (modře) a B (červeně) během prvního (horní řádek) a druhého (spodní řádek) běhu experimentu. Noční osvětlení bylo zapnuté v druhém běhu experimentu v habitatu B (vpravo dole).

Celková aktivita ropuch byla nízká napříč oběma habitaty a během druhého běhu experimentu se nadále snížila. Pravděpodobnost alespoň nějaké aktivity během souhrnných pětiminutových úseků (tedy po zanedbání intenzity aktivity jejím převodem do binární soustavy) se však u druhého pokusu zvýšila (Obr. 3). Pravděpodobnost takto vyjádřené aktivity se dále zvyšovala v noci, ovšem u ropuch ovlivněných nočním svícením to bylo o něco méně než u ropuch v přirozených světelných podmínkách. Intenzita světla však neměla na aktivitu žádný vliv. Pravděpodobnost aktivity se zvyšovala také se srážkovým úhrnem a průměrným tlakem na úrovni mořské hladiny, a snižovala se s hmotností ropuchy a datem. Nebyla však ovlivněna okolní teplotou (Tab. 1). Pravděpodobnost aktivity nebyla v podmínkách experimentu individuálně konzistentní (ICC = 0,034).



**Obr. 3:** Model pravděpodobnosti aktivity ropuch. Pravděpodobnost aktivity [%] ropuch během měřených pětiminutových úseků (osa Y) v závislosti na rozdílu teplot ropuchy a okolí (osa X), habitatu, běhu experimentu (barevně odlišené) a denní době (světlá část grafu značí den, tmavá noc). Noční osvětlení bylo zapnuté v druhém běhu experimentu v habitatu B (červeně).

**Tab. 1:** Výsledky modelu aktivity ropuch

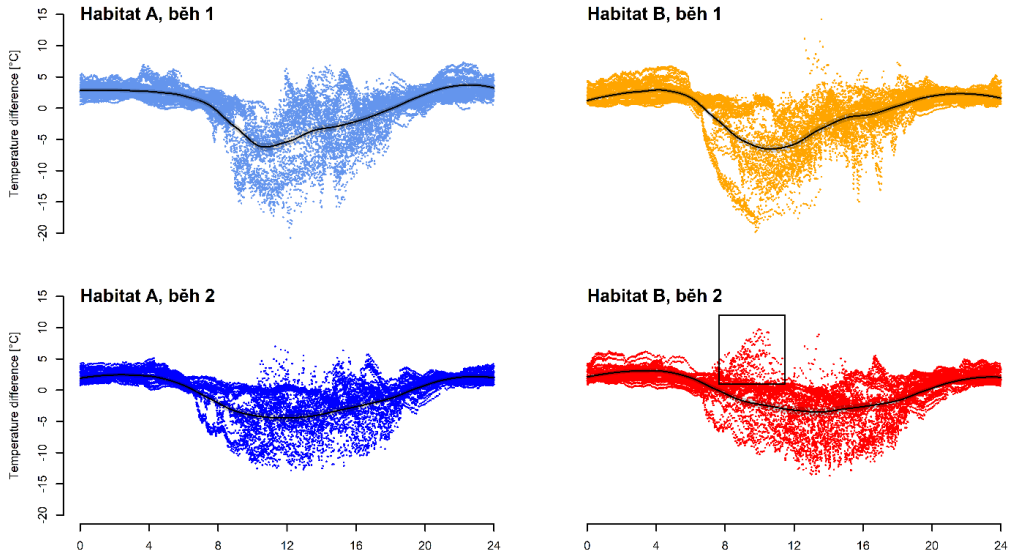
Response	Typ efektu	Efekt	Odhad	95% CrI	
				Spodní	Horní
Aktivita v 5-minutovém úseku (0 – pasivní, 1 – aktivní)	pevný	<b>Intercept</b>	<b>0.186</b>	<b>0.151</b>	<b>0.229</b>
		Okolní teplota	<b>1.011</b>	<b>0.977</b>	<b>1.045</b>
		<b>Teplotní rozdíl</b>	<b>0.363</b>	<b>0.334</b>	<b>0.396</b>
		<b>Precipitace</b>	<b>1.043</b>	<b>1.024</b>	<b>1.062</b>
		<b>Atm. tlak</b>	<b>1.117</b>	<b>1.062</b>	<b>1.176</b>
		<b>Hmotnost</b>	<b>0.787</b>	<b>0.708</b>	<b>0.869</b>
		<b>Datum</b>	<b>0.913</b>	<b>0.893</b>	<b>0.932</b>
		<b>Denní doba (den)</b>	<b>1.176</b>	<b>1.075</b>	<b>1.290</b>
		<b>Habitat (B)</b>	<b>3.102</b>	<b>2.303</b>	<b>4.221</b>
		<b>Běh (2.)</b>	<b>1.198</b>	<b>1.048</b>	<b>1.372</b>
		Osvětlení	1.000	0.981	1.019
		<b>Habitat (B):Běh (2.)</b>	<b>0.502</b>	<b>0.421</b>	<b>0.603</b>
		<b>Teplotní rozdíl:Denní doba (den)</b>	<b>2.815</b>	<b>2.575</b>	<b>3.089</b>
		<b>Denní doba (den):Habitat (B)</b>	<b>0.583</b>	<b>0.519</b>	<b>0.654</b>
		<b>Denní doba (den):Běh (2.)</b>	<b>1.344</b>	<b>1.186</b>	<b>1.522</b>
		<b>Denní doba (den):Habitat (B):Běh (2.)</b>	<b>1.567</b>	<b>1.332</b>	<b>1.837</b>
	náhodný (% rozptylu)	<b>ID</b>	<b>3.4 %</b>	<b>1.9 %</b>	<b>4.7 %</b>

*Exponované (log šance) posteriorní odhady (mediány) velikosti efektů s 95% kredibilními intervaly (CrI) spočítané na základě posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí 'sim' z balíčku "arm" Gelman et al., 2016. Složky rozptylu byly odhadnuty funkcí 'glmer' s binomickým rozdělením z balíčku "lme4" Bates et al., 2015. Efekty, jejichž 95 % kredibilní intervaly nezahrnují 1 (= žádný efekt) jsou označeny tučně. Intervalový odhad opakovatelnosti měření v rámci náhodného efektu (ICC) byl spočítán parametrickým bootstrapem pomocí funkce 'bootMer' z balíčku "lme4" Bates et al., 2015.*

### 3.2. Termoregulace

Ropuchy byly schopny udržet svou teplotu až o 21 °C níže a o 14 °C výše oproti teplotě okolí a změnily své termoregulační chování v důsledku působení nočního osvětlení. Ropuchy ovlivněné nočním svícením (habitat B, běh 2) měly tendenci zvyšovat svou teplotu v ranních hodinách (kolem 8:45), zatímco ropuchy z kontrolní skupiny nikoliv (Obr. 4).





**Obr. 4:** Model rozdílu teploty ropuch a teploty okolí. Rozdíl teploty ropuch a teploty okolí [°C] (osa Y) v závislosti na čase [h] (osa X), habitatu a běhu experimentu (barevně odlišené). Noční osvětlení bylo zapnuté v druhém běhu experimentu v habitatu B (červeně). Černý čtverec označuje abnormálně zvýšenou teplotu ropuch ovlivněných nočním osvětlením.

Schopnost ropuchy snižovat svou teplotu oproti teplotě okolí se zvyšovala s rostoucí teplotou a měla jasný cirkadiánní charakter – přes den zůstávaly ropuchy chladnější a v noci teplejší (Obr. 4). Ropuchy s vyšší hmotností byly o něco teplejší než jejich lehčí protějšky. Celkově byly ropuchy z habitatu B teplejší než ropuchy z habitatu A a ropuchy z druhého běhu experimentu (později v sezóně) byly teplejší než ropuchy z prvního běhu experimentu. Nárůst teploty během druhého běhu experimentu byl však nižší u skupiny B, která byla ovlivněna nočním svícením (Tab. 2). Individuální termoregulační chování bylo jen slabě opakovatelné (ICC = 0,15).

**Tab. 2:** Výsledky modelu rozdílu teploty ropuch a teploty okolí

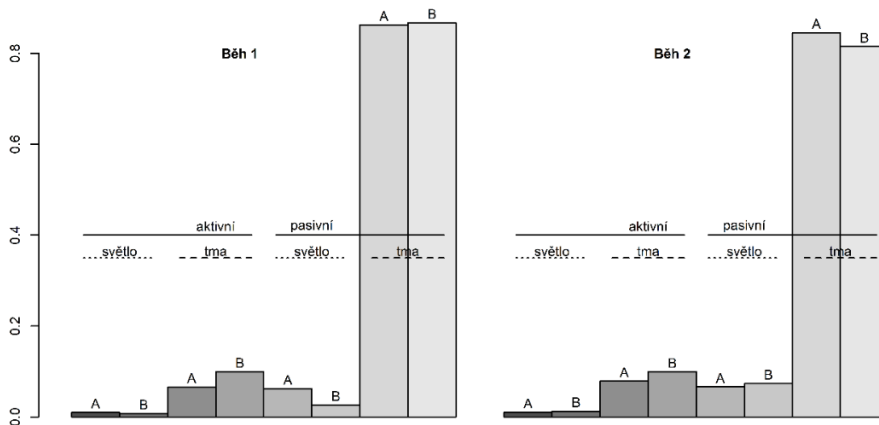
Response	Typ efektu	Efekt	Odhad	95% CrI		
				Spodní	Horní	
Rozdíl teploty na povrchu ropuch a teploty okolí	pevný	<b>Intercept</b>	-2.567	-2.915	-2.216	
		<b>Okolní teplota</b>	-4.552	-4.591	-4.512	
		<b>Hmotnost</b>	0.541	0.443	0.641	
		<b>Datum</b>	0.061	0.045	0.077	
		<b>sin radiánu času</b>	-1.689	-1.862	-1.512	
		<b>cos radiánu času</b>	-0.592	-0.935	-0.239	
		<b>Habitat (B)</b>	1.155	0.666	1.652	
		<b>Běh (2.)</b>	2.879	2.826	2.932	
		<b>Osvětlení</b>	0.265	0.251	0.28	
		<b>Habitat (B):Běh (2.)</b>	-0.87	-0.932	-0.808	
		<b>sin radiánu času:Habitat (B)</b>	-0.399	-0.653	-0.154	
		<b>cos radiánu času:Habitat (B)</b>	-1.215	-1.706	-0.734	
		<b>Okolní teplota:sin radiánu času</b>	-0.483	-0.51	-0.457	
		<b>Okolní teplota:cos radiánu času</b>	-0.752	-0.79	-0.712	
		<b>sin radiánu času:Běh (2.)</b>	0.398	0.336	0.462	
		<b>cos radiánu času:Běh (2.)</b>	0.67	0.601	0.737	
		<b>sin radiánu času:Habitat (B):Běh (2.)</b>	1.132	1.047	1.218	
		<b>cos radiánu času:Habitat (B):Běh (2.)</b>	0.737	0.652	0.822	
		náhodný (% rozptylu)	ID		15 %	
	sin radiánu času			3 %		
cos radiánu času			14 %			

Posteriorní odhady (mediány) velikosti efektů s 95% kredibilními intervaly (CrI) spočítané na základě posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí 'sim' z balíčku "arm" Gelman et al., 2016. Složky rozptylu byly odhadnuty funkcí 'lmer' z balíčku "lme4" Bates et al., 2015. Efekty, jejichž 95 % kredibilní intervaly nezahrnují 0 (= žádný efekt) jsou označeny tučně. Intervalový odhad opakovatelnosti měření v rámci náhodného efektu (ICC) byl spočítán parametrickým bootstrapem pomocí funkce 'bootMer' z balíčku "lme4" Bates et al., 2015.

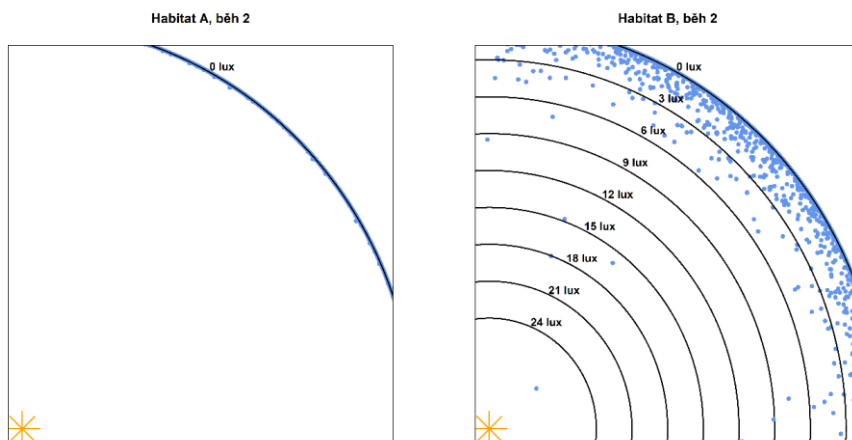
### 3.3. Vliv nočního osvětlení

Během dne se ropuchy světlu obvykle vyhýbaly a většinu času trávily pasivním vyčkáváním v úkrytu (Obr. 5). V noci většina ropuch rovněž světlo nevyhledávala, a to ani v habitatu s nočním přísvitem (Obr. 6). Intenzita osvětlení zaznamenaná čidlem umístěným na zádech ropuch v habitatu bez přísvitu v 95 % případů nepřesahovala 0.025 lux, zatímco v habitatu s přísvitem byla u stejné proporce

případů nižší než 0.595 lux, což zdaleka nedosahovalo hodnot měřitelných pod zdrojem osvětlení a spíše odpovídalo hodnotám měřitelným při úplňku. Ropuchy ovlivněné nočním svícením pak přes den trávily více času sluněním a aktivním pohybem ve stínu (Obr. 5).



**Obr. 5:** Intenzita osvětlení ropuch ve dne. Proporce času stráveného aktivitou/ pasivitou na světle/ ve stínu [%] (osa Y) během dne v habitatech A a B. Intenzita osvětlení  $\geq 100$  lux byla považována za světlo,  $< 100$  lux za stín. Noční osvětlení bylo zapnuté v druhém běhu experimentu v habitatu B.



**Obr. 6:** Intenzita osvětlení ropuch v noci. Hodnoty intenzity osvětlení naměřené na zádech ropuch v noci v čase po 22 h, během druhého běhu experimentu v habitatech A a B. Noční osvětlení bylo zapnuté v habitatu B. Roh habitatu, kde byl umístěn zdroj osvětlení je označen žlutou hvězdičkou.

Celková expozice ropuch světlu se zvyšovala s okolní teplotou a během dne. Ropuchy ve druhém běhu experimentu, ropuchy s vyšší tělesnou hmotností a ropuchy, které měly větší rozdíl mezi teplotou na povrchu těla a okolní teplotou, byly na světle méně než ostatní (viz Tab. 3). Expozice světlu byla středně individuálně opakovatelná (ICC = 0,53).

**Tab. 3:** Výsledky modelu intenzity osvětlení

Response	Typ efektu	Efekt	Odhad	95% CrI	
				Spodní	Horní
Pravděpodobnost, že bude ropucha osvětlena	fixed	<b>Intercept</b>	<b>0.231</b>	<b>0.098</b>	<b>0.530</b>
		<b>Okolní teplota</b>	<b>5.296</b>	<b>5.013</b>	<b>5.585</b>
		<b>Teplotní rozdíl</b>	<b>0.140</b>	<b>0.120</b>	<b>0.163</b>
		<b>Hmotnost</b>	<b>0.191</b>	<b>0.156</b>	<b>0.235</b>
		Datum	1.005	0.976	1.034
		<b>Denní doba (den)</b>	<b>89.121</b>	<b>75.944</b>	<b>104.272</b>
		Habitat (B)	3.152	0.961	10.870
		<b>Běh (2.)</b>	<b>0.204</b>	<b>0.166</b>	<b>0.251</b>
		Habitat (B):Běh(2.)	1.270	0.996	1.602
		<b>Teplotní rozdíl:Denní doba (den)</b>	<b>5.328</b>	<b>4.549</b>	<b>6.297</b>
		<b>Denní doba (den):Habitat (B)</b>	<b>0.168</b>	<b>0.139</b>	<b>0.203</b>
		<b>Denní doba (den):Běh (2.)</b>	<b>0.685</b>	<b>0.550</b>	<b>0.851</b>
		<b>Denní doba (den):Habitat (B):Běh (2.)</b>	<b>0.731</b>	<b>0.566</b>	<b>0.955</b>
		náhodný (% rozptylu)	ID	53 %	

*Exponované (log šance) posteriorní odhady (mediány) velikosti efektů s 95% kredibilními intervaly (CrI) spočítané na základě posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí 'sim' z balíčku "arm" Gelman et al., 2016. Složky rozptylu byly odhadnuty funkcí 'glmer' s binomickým rozdělením z balíčku "lme4" Bates et al., 2015. Efekty, jejichž 95 % kredibilní intervaly nezahrnují 1 (= žádný efekt) jsou označeny tučně. Intervalový odhad opakovatelnosti měření v rámci náhodného efektu (ICC) byl spočítán parametrickým bootstrapem pomocí funkce 'bootMer' z balíčku "lme4" Bates et al., 2015.*

### 3.4. Ztráta hmotnosti

Mezi ropuchami, které byly vystaveny nočnímu osvětlení a kontrolní skupinou nebyl zjištěn žádný rozdíl v hmotnosti (Tab. 4), což naznačuje, že nedošlo k bezprostřednímu škodlivému vlivu na jejich tělesnou kondici.

**Tab. 4:** Výsledky modelu vývoje hmotnosti ropuch

Response	Typ efektu	Efekt	Odhad	95% CrI	
				Spodní	Horní
Hmotnost ropuchy					
	pevný	<b>Intercept</b>	-	-	<b>-92.7</b>
		<b>Délka ropuchy</b>	<b>1789.1</b>	<b>3456.0</b>	<b>1.696</b>
		<b>Datum</b>	<b>0.094</b>	<b>0.002</b>	<b>0.184</b>
		Habitat (B)	-0.569	-3.781	2.565
		Běh (2.)	0.999	-0.945	3.016
		Habitat (B):Běh (2.)	-1.374	-3.104	0.393
	náhodný (% rozptylu)	ID	<b>58 %</b>		

Posteriorní odhady (mediány) velikosti efektů s 95% kredibilními intervaly (CrI) spočítané na základě posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí 'sim' z balíčku "arm" Gelman et al., 2016. Složky rozptylu byly odhadnuty funkcí 'lmer' z balíčku "lme4" Bates et al., 2015. Efekty, jejichž 95 % kredibilní intervaly nezahrnují 0 (= žádný efekt) jsou označeny tučně. Intervalový odhad opakovatelnosti měření v rámci náhodného efektu (ICC) byl spočítán parametrickým bootstrapem pomocí funkce 'bootMer' z balíčku "lme4" Bates et al., 2015.

#### 4. Diskuse

Využitím multisenzorického dataloggeru bylo možno získat unikátní, komplexní a robustní data o změně vzorců chování ropuch obecných pod vlivem nočního osvětlení. Díky množství senzorů jsme tak získali vhled nejen do vlivu nočního osvětlení na celkovou denní a noční aktivitu, ale byli jsme schopni rozpoznat, k jaké činnosti se daná aktivita vztahuje, v jakém prostředí je prováděna a na jakých dalších environmentálních podmínkách závisí. Kombinací akcelerometru a světelného senzoru lze zjistit, zda se ropucha ve dne vyhřívá na osluněném místě nebo je naopak ve stinném úkrytu. Díky teplotnímu čidlu lze nahlédnout pozoruhodné termoregulační schopnosti spojené s tímto chováním a přiřadit mu správný etologický a ekologický význam. V noci můžeme díky světelnému čidlu pozorovat, zda noční osvětlení skutečně způsobuje fototaxi a v kombinaci s akcelerometrem zjistit, zda je umělé osvětlení využíváno při lovu. Vlhkostní čidlo ve správných podmínkách umožňuje odhadnout blízkost vody a její využití obojživelníky (ne však v případě, že se datalogger potopí) a ukázat, jak je jejich aktivita ovlivněna srážkami. Výsledkem je velmi cenný příspěvek k poznání behaviorální ekologie, kterého by bez použití kontinuálního monitoringu pomocí mnoha čidel umístěných přímo na zádech ropuchy nebylo možné dosáhnout.

Přestože noční osvětlení v této studii nemělo na ropuchy významný negativní vliv (jejich hmotnost rostla), způsobilo znatelnou změnu jejich chování. Ta nespočívala ve změně míry aktivity, ale ve změně načasování určitého typu

aktivity, a nebyla by tudíž zjistitelná bez použití více senzorů, v tomto případě akcelerometru spojeného s luxmetrem a teploměrem, a několikadenního nepřetržitého monitorování. Ropuchy ovlivněné nočním svícením věnovaly v ranních hodinách více času slunění a toto chování bylo konzistentní napříč všemi studovanými jedinci. Takové chování by mohlo souviset se schopností vyhodnocení počasí, na kterém závisí i způsob termoregulace, jak bylo ukázáno u ropuchy obecné středomořské v Andách (Sinsch, 1989). Pokud byla obloha jasná, ropuchy obecné středomořské v ranních hodinách opouštěly úkryty a 3-5 hodin se slunily. Při zvýšené oblačnosti zůstávaly skryté. Pokud se toto chování projevuje i u ropuch obecných, mohlo by noční svícení výrazně narušovat jejich termoregulační režim ztížením odhadu oblačnosti a nadměrně zvyšovat riziko predace. Dalším důvodem zvýšené míry slunění může být snížená produkce melatoninu (Lee et al., 1997), která může způsobit sníženou teplotu těla (Erskine & Hutchison, 1982; Hutchison et al., 1979) a vést k pokusům o její navýšení v době, kdy je to nejvíce nutné.

Oproti předpokladům tedy noční osvětlení nepřineslo zvýšenou noční aktivitu, kvůli zvýšené potravní nabídce, ani sníženou aktivitu, kvůli vyššímu riziku predace. K tomu může být několik příčin, a to že (i) k těmto reakcím u ropuch obecných nedochází nebo k nim nedochází v této fázi života/sezóny (ale dochází k nim např. u pulců ropuch amerických, kteří aktivitu zvyšují (Dananay & Benard, 2018) a dospělců ropuch obrovských (Secondi et al., 2021) a rosniček šedozelených (Buchanan, 1993), kteří aktivitu snižují a u kterých dokonce docházelo k problémům s detekcí kořisti při zvýšených intenzitách světla), (II) tyto reakce se mohou projevit až po dlouhodobém působení nočního osvětlení nebo (III) k těmto reakcím dochází pouze při nedostatku potravy nebo reálnému ohrožení predací, které v podmínkách experimentu nenastaly. Oproti pracím Secondiho et al. (2021) a Buchanan (1993) nedocházelo ani k redukci hmotnosti, a tedy k problémům s obstaráváním potravy.

Vyvinutý multisenzorický datalogger je dostatečně lehký na to, aby byl nositelný i tak malými obratlovci, jakými jsou obojživelníci. S hmotností blížící se jednomu gramu je vhodný pro použití spíše na větší obojživelníky, kde může být připevněn k jedinci pomocí pevného, ale zároveň šetrného postroje, umožňujícího volný pohyb jedince. Takový postroj jsme v rámci projektu vyvinuli i v našem týmu, kde jsme využili kombinace pokročilých technik 3D modelování a 3D tisku, pokroku ve flexibilních tiskových materiálech a tradičně používaných materiálech, jakým je silikon. Díky tomu je postroj jednoduše škálovatelný na jedince a druhy různých velikostí a lze jej tak přizpůsobit různým potřebám jednotlivých studií. V použitém nastavení (frekvence snímání akcelerometru 25 Hz a ostatních čidel 1 Hz) umožňuje kapacita baterie a paměti dataloggeru několikadenní monitoring jedinců (v našem případě třídní), který lze na základě získaných informací o nízké frekvenci pohybů významně prodloužit vzorkováním s frekvencí 1x/5min

(cca 0,003 Hz). Limitací dataloggeru pak v případě aplikace na obojživelníky nebude baterie ani paměť, ale jemná pokožka obojživelníků, která je při dlouhodobé aplikaci dataloggeru ohrožena nadměrným oděrem (podrobněji např. zde Altobelli et al., 2022). Další limitací využití dataloggeru u obojživelníků je velká míra vázanosti některých druhů na vodní prostředí, v němž není ochrana dataloggeru proti vodě dostatečná (je chráněn proti stříkající vodě, nikoliv ponoření). Monitoring je tedy nutné provádět u spíše terestrických druhů nebo v sušších fázích života obojživelníka (např. po opuštění vodních ploch po rozmnožování).

I přes zmíněné nevýhody je použití vyvinutého dataloggeru doposud jednou z nevhodnějších možností pro studium behaviorální ekologie obojživelníků. Studie, publikované na základě práce s podobným typem přístrojů, zahrnují např. monitoring aktivity a sledování ropuch zelených (*Bufo viridis*) v městském prostředí, včetně potenciálu určení velikosti domovského okrsku (Spießberger et al., 2023) nebo monitoring energetického výdeje (spotřeby kyslíku) ropuch obrovských (*Rhinellamarina*) skrze vektor dynamického zrychlení akcelerometru (VeDBA). Skryté Markovovy modely, které byly v této studii použity k identifikaci skrytých stavů aktivity a pasivity, případně jiné algoritmy strojového učení, mají potenciál z akcelerometrických dat rozeznávat i daleko jemnější vzorce chování, jako např. tzv. brooding kuřat čejek chocholatých (*Vanellus vanellus*) a černoprsých (*Vanellus indicus*) (Kolešková et al., 2023), čehož by se při dostatečně podrobné frekvenci vzorkování (např. 100 Hz) mohlo využít např. pro odlišení běžného pohybu obojživelníků od útoku na kořist, a tím dále zpřesnit představu o způsobu, načasování a podmínkách lovu.

Nejbližším konkurentem vyvinutého multisenzorického dataloggeru pro využití monitoringu obojživelníků je přístroj „Axy 5“ vyvinutý téměř paralelně italskou společností Technosmart, použitý např. ve zmíněné studii ropuch zelených (Spießberger et al., 2023). Ten, podobně jako náš datalogger disponuje akcelerometrem a magnetometrem, s možností připojení VHF vysílače a tlakového senzoru, ovšem bez světelného, tepelného a vlhkostního čidla a s větší velikostí (15x10x4 mm) a hmotností (1.7 g bez vysílače a tlakového senzoru). Vzhledem k úspoře hmotnosti při vyšším počtu relevantních čidel tedy poskytuje námi vyvinutý datalogger naprosto bezkonkurenční možnosti ve studiu chování drobných obratlovců.

## 5. Závěr

Vyvinutý multisenzorický datalogger je dostatečně malý a lehký k aplikaci na větší obojživelníky. Kombinace použitých senzorů umožňuje kontinuálně

zkoumat kombinaci přirozených a antropogenních vlivů, jako je umělé noční osvětlení na chování ropuch obecných. Na základě zjištění této studie dostačuje ke komplexnímu popisu běžného denního rytmu chování frekvence vzorkování dataloggeru již od 0,003 Hz, což při kapacitě baterie 5 mAh zaručuje nerušený několikadenní provoz. Díky kombinaci akcelerometru se světelným a tepelným senzorem jsme byli schopni detekovat podstatnou změnu termoregulačního chování ropuch (vyšší míru slunění v ranních hodinách), způsobenou umělým nočním osvětlením a vázanou pravděpodobně na omezení schopnosti vyhodnocení oblačnosti, a tím efektivity získávání tepla sluněním, což by v dlouhodobém hledisku mohlo vést ke snížené kondici ropuch. Špatné načasování slunění pak může zvyšovat riziko predace v ranních hodinách.

## 6. Použitá literatura

- Altobelli, J. T., Dickinson, K. J. M., Godfrey, S. S., & Bishop, P. J. (2022). Methods in amphibian biotelemetry: Two decades in review. *Austral Ecology*, 47(7), 1382–1395. <https://doi.org/10.1111/aec.13227>
- Alton, L. A., & Franklin, C. E. (2017). Drivers of amphibian declines: effects of ultraviolet radiation and interactions with other environmental factors. *Climate Change Responses*, 4(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s40665-017-0034-7>
- Arntzen, J. W., Abrahams, C., Meilink, W. R. M., Iosif, R., & Zuiderwijk, A. (2017). Amphibian decline, pond loss and reduced population connectivity under agricultural intensification over a 38 year period. *Biodiversity and Conservation*, 26(6), 1411–1430. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1307-y>
- Baker, B. J., & Richardson, J. M. L. (2006). The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*. *Canadian Journal of Zoology*, 84(10), 1528–1532. <https://doi.org/10.1139/Z06-142>
- Basinger, S. F., & Matthes, M. T. (1980). The effect of long-term constant light on the frog pigment epithelium. *Vision Research*, 20(12), 1143–1149. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(80\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(80)90052-8)
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., Dai, B., & Grothendieck, G. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beebee, T. J. C., & Griffiths, R. A. (2005). The amphibian decline crisis: A



- watershed for conservation biology? *Biological Conservation*, 125(3), 271–285. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.009>
- Biswas, N. M., Chakraborty, J., Chanda, S., & Sanyal, S. (1978). Effect of Continuous Light and Darkness on the Testicular Histology of Toad (*Bufo melanostictus*). *Endocrinologia Japonica*, 25(2), 177–180. <https://doi.org/10.1507/endocrj1954.25.177>
- Brzeziński, M., Eliava, G., & Zmihorski, M. (2012). Road mortality of pond-breeding amphibians during spring migrations in the Mazurian Lakeland, NE Poland. *European Journal of Wildlife Research*, 58(4), 685–693. <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0618-2>
- Buchanan, B. W. (1993). Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. *Animal Behaviour*, 45(5), 893–899. <https://doi.org/10.1006/anbe.1993.1109>
- Buchanan, B. W. (2006). Observed and potential effects of light pollution on anuran amphibians. Chapter 9 in Longcore, T. and C. Rich (Eds). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press; *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, November, 192–220.
- Bush, F. M. (1963). Effects of light and temperature on the gross composition of the toad, *Bufo fowleri*. *Journal of Experimental Zoology*, 153(1), 1–13. <https://doi.org/10.1002/jez.1401530102>
- Cope, K. L., Schook, M. W., & Benard, M. F. (2020). Exposure to artificial light at night during the larval stage has delayed effects on juvenile corticosterone concentration in American toads, *Anaxyrus americanus*. *General and Comparative Endocrinology*, 295, 113508. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113508>
- Dananay, K. L., & Benard, M. F. (2018). Artificial light at night decreases metamorphic duration and juvenile growth in a widespread amphibian. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1882). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0367>
- Davidson, C., Shaffer, H. B., & Jennings, M. R. (2002). Spatial tests of the pesticide drift, habitat destruction, UV-B, and climate-change hypotheses for California amphibian declines. *Conservation Biology*, 16(6), 1588–1601. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.01030.x>
- Delgado, M. J., Gutiérrez, P., & Alonso-Bedate, M. (1987). Melatonin and photoperiod alter growth and larval development in *Xenopus laevis* tadpoles. *Comparative Biochemistry and Physiology -- Part A: Physiology*, 86(3), 417–421. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(87\)90517-2](https://doi.org/10.1016/0300-9629(87)90517-2)
- Edwards, M. L. O., & Pivorun, E. B. (1991). The effects of photoperiod and different dosages of melatonin on metamorphic rate and weight gain in

- Xenopus laevis tadpoles. *General and Comparative Endocrinology*, 81(1), 28–38. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(91\)90122-M](https://doi.org/10.1016/0016-6480(91)90122-M)
- Erskine, D. J., & Hutchison, V. H. (1982). Reduced thermal tolerance in an amphibian treated with melatonin. *Journal of Thermal Biology*, 7(2), 121–123. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(82\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0306-4565(82)90043-2)
- Forsburg, Z. R., Guzman, A., & Gabor, C. R. (2021). Artificial light at night (ALAN) affects the stress physiology but not the behavior or growth of *Rana berlandieri* and *Bufo valliceps*. *Environmental Pollution*, 277, 116775. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116775>
- Gelman, A., Su, Y.-S., Yajima, M., Hill, J., Pittau, M., Kerman, J. ouni, Zheng, T., & Vincent, D. (2016). Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. In *CRAN Repository* (1.8-6.; pp. 1–53).
- González, D. L., Baláž, V., Solský, M., Thumsová, B., Kolenda, K., Najbar, A., Najbar, B., Kautman, M., Chajma, P., Balogová, M., & Vojar, J. (2019). Recent findings of potentially lethal salamander fungus *batrachochytrium salamandrivorans*. *Emerging Infectious Diseases*, 25(7). <https://doi.org/10.3201/eid2507.181001>
- Gutierrez, P., Delgado, M. J., & Alonso-Bedate, M. (1984). Influence of photoperiod and melatonin administration on growth and metamorphosis in *Discoglossus pictus* larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology -- Part A: Physiology*, 79(2), 255–260. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(84\)90425-0](https://doi.org/10.1016/0300-9629(84)90425-0)
- Hall, A. S. (2016). Acute artificial light diminishes Central Texas anuran calling behavior. *American Midland Naturalist*, 175(2), 183–193. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-175.2.183>
- Hartel, T., Moga, C. I., Öllerer, K., & Puky, M. (2009). Spatial and temporal distribution of amphibian road mortality with a *Rana dalmatina* and *Bufo bufo* predominance along the middle section of the târnava mare basin, Romania. *North-Western Journal of Zoology*, 5(1), 130–141.
- Hayes, T. B., Falso, P., Gallipeau, S., & Stice, M. (2010). The cause of global amphibian declines: A developmental endocrinologist's perspective. *Journal of Experimental Biology*, 213(6), 921–933. <https://doi.org/10.1242/jeb.040865>
- Hutchison, V. H., Black, J. J., & Erskine, D. (1979). Melatonin and chlorpromazine: Thermal selection in the mudpuppy, *Necturus maculosus*. *Life Sciences*, 25(6), 527–530. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(79\)90565-4](https://doi.org/10.1016/0024-3205(79)90565-4)
- Jeřábková, L., Krása A., Zavadil V., Mikátová B., & Rozínek R. (2017). Červený seznam obojživelníků a plazů České republiky [The Red List of amphibians and reptiles of the Czech Republic]. *Příroda*, 34, 83–106.

- Kiesecker, J. M. (2011). Global stressors and the global decline of amphibians: Tipping the stress immunocompetency axis. *Ecological Research*, 26(5), 897–908. <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0702-6>
- Kolešková, V., Šálek, M. E., Brynychová, K., Chajma, P., Pešková, L., Elhassan, E., Vozabulová, E. P., Janatová, V., Almuheri, A., & Sládeček, M. (2023). Offspring thermal demands and parental brooding efficiency differ for precocial birds living in contrasting climates. *Frontiers in Zoology*, 20(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12983-023-00492-1>
- Lee, J. H., Hung, C. F., Ho, C. C., Chang, S. H., Lai, Y. S., & Chung, J. G. (1997). Light-induced changes in frog pineal gland N-acetyltransferase activity. *Neurochemistry International*, 31(4), 533–540. [https://doi.org/10.1016/S0197-0186\(97\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0197-0186(97)00019-3)
- May, D., Shideman, G., Melnick-Kelley, Q., Crane, K., & Hua, J. (2019). The effect of intensified illuminance and artificial light at night on fitness and susceptibility to abiotic and biotic stressors. *Environmental Pollution*, 251, 600–608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.016>
- Ortiz-Santaliestra, M. E., & Sparling, D. W. (2007). Alteration of larval development and metamorphosis by nitrate and perchlorate in southern leopard frogs (*Rana sphenoccephala*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 53(4), 639–646. <https://doi.org/10.1007/s00244-006-0277-y>
- Pechmann, J. H., Scott, D. E., Semlitsch, R. D., Caldwell, J. P., Vitt, L. J., & Gibbons, J. W. (1991). Declining amphibian populations: the problem of separating human impacts from natural fluctuations. *Science*, 253(5022), 892–895. <https://doi.org/10.1126/science.253.5022.892>
- Pounds, J. A., & Crump, M. L. (1994). Amphibian Declines and Climate Disturbance: The Case of the Golden Toad and the Harlequin Frog. *Declinación de anfibios y perturbaciones climáticas: El caso del sapo dorado y la rana harlequin. Conservation Biology*, 8(1), 72–85. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1994.08010072.x>
- R-Core-Team. (2022). A language and environment for statistical computing. In *Vienna: R Foundation for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Rich, C., & Longcore, T. (2006). Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. In *Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press* (Vol. 1, Issue 23). Island press. <https://doi.org/10.5070/g312310666>
- Roelants, K., Gower, D. J., Wilkinson, M., Loader, S. P., Biju, S. D., Guillaume, K., Moriau, L., & Bossuyt, F. (2007). Global patterns of diversification in the history of modern amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(3), 887–892.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0608378104>

- Šandera, M. (2023). *Mapa rozšíření Bufo bufo v České republice*. In: Zicha O. (ed.). BioLib: Biological Library. <https://www.biolib.cz/cz/taxonmap/id103/>
- Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C., & Gaston, K. J. (2021). A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology and Evolution*, 5(1), 74–81. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01322-x>
- Santos, X., Llorente, G. A., Montori, A., Carretero, M. A., Franch, M., Garriga, N., & Richter-Boix, A. (2007). Evaluating factors affecting amphibian mortality on roads: The case of the Common Toad *Bufo bufo*, near a breeding place. *Animal Biodiversity and Conservation*, 30(1), 97–104. <https://doi.org/10.32800/abc.2007.30.0097>
- Secondi, J., Mondy, N., Gippet, J. M. W., Touzot, M., Gardette, V., Guillard, L., & Lengagne, T. (2021). Artificial light at night alters activity, body mass, and corticosterone level in a tropical anuran. *Behavioral Ecology*, 32(5), 932–940. <https://doi.org/10.1093/beheco/arab044>
- Sinsch, U. (1989). Behavioural thermoregulation of the Andean toad (*Bufo spinulosus*) at high altitudes. *Oecologia*, 80(1), 32–38. <https://doi.org/10.1007/BF00789928>
- Sládeček, M., Brynychová, K., Elhassan, E., Šálek, M. E., Janatová, V., Vozabulová, E., Chajma, P., Firlová, V., Pešková, L., Almuher, A., & Bulla, M. (2021). Diel timing of nest predation changes across breeding season in a subtropical shorebird. *Ecology and Evolution*, 11(19), 13101–13117. <https://doi.org/10.1002/ece3.8025>
- Sparling, D. W., & Harvey, G. (2006). Comparative toxicity of ammonium and perchlorate to amphibians. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(2), 210–217. <https://doi.org/10.1007/s00128-006-0909-y>
- Sparling, D. W., Harvey, G., & Nzungung, V. (2003). Interaction between perchlorate and iodine in the metamorphosis of *Hyla versicolor*. In G. L. Linder, S. K. Krest, D. W. Sparling, & E. E. Little (Eds.), *Multiple stressor effects in relation to declining amphibian populations* (pp. 143–158). ASTM International. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/5211230>
- Spießberger, M., Burgstaller, S., Mesnil, M., Painter, M. S., & Landler, L. (2023). Telemetry and Accelerometer Tracking of Green Toads in an Urban Habitat: Methodological Notes and Preliminary Findings. *Diversity*, 15(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/d15030328>
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L., & Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783–1786. <https://doi.org/10.1126/science.1103538>

- Tárano, Z. (1998). Cover and ambient light influence nesting preferences in the tungara frog *Physalaemus pustulosus*. *Copeia*, 1, 250–251. <https://doi.org/10.2307/1447731>
- Touzot, M., Lengagne, T., Secondi, J., Desouhant, E., Théry, M., Dumet, A., Duchamp, C., & Mondy, N. (2020). Artificial light at night alters the sexual behaviour and fertilisation success of the common toad. *Environmental Pollution*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113883>
- Tuttle, M. D., & Ryan, M. J. (1982). The role of synchronized calling, ambient light, and ambient noise, in anti-bat-predator behavior of a treefrog. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 11(2), 125–131. <https://doi.org/10.1007/BF00300101>
- Van Grunsven, R. H. A., Creemers, R., Joosten, K., Donners, M., & Veenendaal, E. M. (2017). Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle. *Amphibia Reptilia*, 38(1), 49–55. <https://doi.org/10.1163/15685381-00003081>
- Vanecek, J. (1998). Cellular mechanisms of melatonin action. *Physiological Reviews*, 78(3), 687–721. <https://doi.org/10.1152/physrev.1998.78.3.687>

## ČÁST II.

Využití metod multisenzorického dataloggingu pro sledování vlivu zemědělského hospodaření na život druhů obývajících agroekosystémy na příkladu čejky chocholaté  
(*Vanellus vanellus*)

## Využití metod multisenzorického datalogingu pro sledování vlivu zemědělského hospodaření na život druhů obývajících agroekosystémy na příkladu čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*)

Martin Sládeček, Kateřina Brynychová, Petr Chajma, Veronika Kolečková, Lucie Pešková, Eva Petrusová Vozabulová & Miroslav Šálek

### Abstrakt

Druhá polovina 20. století přinesla významné změny v zemědělské krajině Evropy, které vedly k negativním dopadům na biologickou rozmanitost, včetně ptačích populací. To se týká i čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*), modelového druhu této příkladové studie, jejíž početní stavy v ČR za posledních 50 let poklesly o více než 80 %. Tato studie zkoumá využití multisenzorických dataloggerů (MSD) k analýze chování kuřat čejky chocholaté a jejich interakcí s prostředím soudobé zemědělské krajiny. Aktivita mláďat byla vyšší ve dne, rostla s věkem kuřat a zvyšující se teplotou. V suchých polích byla (oproti trvalým travním porostům a polím s mokřinou) nižší ve dne, ale srovnatelná v noci. Zatímco však na podmáčených lokalitách byla vyšší denní aktivita spojena rovněž s větší efektivitou sběru potravy (měřenou jako přírůstek na 24 hodin aktivního pohybu), u travních porostů byla efektivita sběru potravy nízká. V noci a při nízkých teplotách trávila kuřata významné množství času zahříváním se pod rodiči. Efektivita zahřívání (měřená jako teplota na zádech kuřete – umístění dataloggeru – v průběhu zahřívání) byla vysoká a jen mírně negativně ovlivněná nízkými teplotami. I přesto naše výsledky ukazují, že načasování hnízdění u čejek je velmi pravděpodobně omezeno termoregulační kapacitou kuřat. Pokud by hnízdění začalo dříve, kuřata by musela být zahřívána po převážnou většinu času a měla by jen omezenou dobu na sběr potravy. Okno příležitostí pro hnízdění čejky je tak omezeno z jedné strany termoregulační kapacitou kuřat a z druhé strany postupným úbytkem vhodného hnízdního habitatu, jak je v rámci studie rovněž demonstrováno. Výsledky podtrhují potenciál moderních multisenzorických dataloggerů pro hlubší pochopení chování ptačích druhů a jejich požadavků na prostředí. Mohou tak být podstatným příspěvkem pro daty podloženou ochranu čejky chocholaté i dalších ohrožených druhů zemědělské krajiny.

**Klíčová slova:** čejka chocholatá, datalogging, aktivita, zahřívání kuřat, zemědělská krajina, biodiverzita.

## 1. Úvod

Druhá polovina 20. století přinesla významné změny v zemědělské krajině Evropy, včetně České republiky (Bičík et al., 2001; Johansson & Blomqvist, 1996). V důsledku těchto změn zacílených zejména na intenzifikaci zemědělství, došlo k rozsáhlému odvodňování a rozorávání vlhkých luk, několikanásobnému zvětšení obdělávaných ploch, zavedení nejrůznějších pesticidních přípravků či zhutnění půdy těžkou mechanizací (Stoate & Wilson, 2020). Tyto změny se projeví nejen ve zvýšení (Rigal et al., 2023) objemu produkce, ale měly i celou řadu vedlejších a často silně negativních dopadů. Mezi nimi je třeba zmínit i výrazný úbytek diverzity zemědělské krajiny, který lze pozorovat u mnoha skupin organismů, včetně ptáků (Donald et al., 2006; Šálek M., 2000).

U ptáků patří druhy zemědělské krajiny k nejvíce ohroženým skupinám vůbec, (Rigal et al., 2023) přičemž u mnoha druhů došlo k poklesu populací na zlomek původních stavů (Reif et al., 2008). Konkrétních příčin úbytku ptáků je celá řada, a to jak těch přímo způsobených změnami zemědělského hospodaření, tak těch, které jsou změnami v krajině vyvolané nepřímo. Mezi přímé příčiny můžeme řadit například riziko přímé likvidace hnízd zemědělskými stroji či úbytek stanovišť vhodných pro zahníždění (M. E. Šálek, 1992). To se týká zejména druhů závislých na zamokřených stanovištích či stanovištích s nízkým a řídkým porostem vegetace. Takové druhy se v kulturách rychle rostoucích druhů trav a dalších bylin profitujících z nadměrného obsahu dusíku v půdě zpravidla mohou uplatnit jen omezeně, případně jen po krátkou část sezony. Rozsáhlé změny v krajině ovšem ovlivňují populace ptáků i nepřímo. Na jednu stranu se úbytek biodiverzity v zemědělské krajině týká i celé řady skupin bezobratlých živočichů (Bengtsson et al., 2005), na stranu druhou tyto změny vyhovují některým velkým oportunistickým druhům ptáků (například krkavcovitým) a savcům (například lišce obecné *Vulpes vulpes*), jejichž populace jsou v Evropě početné a místy výrazně rostou (Delcourt et al., 2022; Jokimäki et al., 2022). V prvním případě tak ptáci přicházejí o potravu a ve druhém se zvyšuje predanční tlak. Oba tyto faktory tak vytvářejí na zbylé populace ptáků zemědělské krajiny další tlak.

Významnému úbytku se nevyhnuli ani takzvaní „luční bahňáci“ zemědělské krajiny, včetně modelového druhu této studie, čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*). Ačkoliv se stále jedná o druh široce rozšířený napříč Evropou (del Hoyo et al., 1996), většina lokálních populací včetně českých vykazuje negativní trendy (Kubelka et al., 2018; Žídková et al., 2007). Česká republika v současné době hostí populaci 5-7 tisíc hnízdících párů tohoto ptačího druhu, což je ovšem přibližně jen pětina oproti stavům v 80. letech a přibližně jen 10 % stavů z období poloviny minulého století (Šťastný et al., 2021). Příčinám ohrožení čejky byla věnována pozornost jak v ČR, tak v zahraničí. Mezi ty hlavní patří ničení raných snůšek



zemědělskými stroji (Šálek 1992), vysoká predace hnízd (M. Šálek & Šmilauer, 2002) i kuřat (Teunissen et al., 2008) a v neposlední řadě i mortalita kuřat způsobená suchem v krajině a nedostatkem potravy (Eglington et al., 2010).

Zatímco tradičním hnízdním prostředím čejky bývaly zejména podmáčené louky a pastviny, v současné době jsou hnízdění na travních porostech stále vzácnější a převážná většina čejčí populace hnízdí na orné půdě (Kubelka et al., 2019). Čejka hnízdí od dubna do června v otevřené krajině, kde do hnízda umístěného na zemi klade obvykle 4 skvrnitá vejce, z nichž se po přibližně 27 dnech inkubace líhnou prekociální kuřata. Ta jsou od narození schopna se samostatně pohybovat a samostatně sbírat potravu. Role rodičů tak po vylíhnutí kuřat spočívá zejména ve výběru vhodných lokalit pro sběr potravy, ochranu kuřat před predátory a také v zahřívání kuřat (Kolešková et al., 2023), která dosahují nezávislost na okolní teplotě postupně v průběhu růstu (Tjørve et al., 2009). Vzletnosti dosahují kuřata přibližně ve věku 35-40 dní. Čejky v průběhu hnízdní sezony hnízdí zpravidla jen jednou, ovšem v případě ztráty hnízda či kuřat v ranném věku jsou často schopny vyprodukovat hnízdo náhradní, a to i několikrát za sezonu, pokud mají dostatek vhodného prostředí (Klomp, 2002).

Výrazný úbytek čejek napříč Evropou podnítil rozsáhlé snahy o detailní výzkum příčin jejich úbytku, jakož i snahy tento úbytek zastavit a populace čejek podpořit. Mnoho úsilí je věnováno například přímé ochraně hnízd před zničením zemědělskými stroji (Zámečník et al., 2017). V ČR byl pro čejku dokonce zavedeno speciální Agro-environmentálně klimatické opatření (MZe ČR), které cílí na vytvoření bezpečného prostředí pro vyhnízdění čejek s využitím režimových opatření při obdělávání ploch s hnízdním výskytem čejek (Zámečník, 2023). Stále více se však ukazuje, že klíčem k systémové a velkoplošné ochraně čejky musí být vytvoření prostředí, které umožní bezpečný a úspěšný vývoj čejčích kuřat. Bylo zjištěno, že kondice (a v jejím důsledku i přežívání; Eglington et al., 2010) čejčích kuřat se liší v závislosti na agrokultuře, ve které hnízdí. Velmi málo však stále víme o konkrétních příčinách, proč tomu tak je. Například, zda za nižším přežíváním kuřat v některých typech zemědělské krajiny stojí menší potravní úživnost, která nutí kuřata být aktivní po delší dobu a tím být více nápadnými pro predátory. Anebo, zda lze stejný efekt vysvětlit tím, že je tento typ prostředí obsazován v době, kdy kuřata musí být zahřívána rodiči tak často, že ve zbytku času nejsou schopna si obstarat dostatek potravy a hynou v důsledku hladovění. Tento problém může mít tedy komplexní povahu a může být obecný napříč druhy zemědělské krajiny (Dunn et al., 2010). Právě při zodpovídání podobných otázek má biologing (včetně využití MSD) obrovský potenciál.

V rámci předložené příkladové studie jsme se soustředili na dvě základní proměnné, které bylo možné s využitím vyvinutého multisenzorického dataloggeru (MSD) u kuřat čejky chocholaté definovat a prozkoumat. V první řadě

to byla obecně míra aktivity, tedy doba, po níž byla kuřata aktivní. Předpokládáme přitom, že převážnou část této doby se kuřata věnují sběru potravy (Šťastný et al. 2005). Druhou studovanou charakteristikou byla doba strávená zahříváním se pod rodičem, kterou nám kombinace použitých senzorů umožnila prozkoumat jak z hlediska času, po který se kuřata zahřívala, tak z hlediska efektivity, kterou zahřívání mělo, tedy toho, jaké teploty při něm bylo dosaženo. Zde je dobré zmínit, že jakkoliv se doba trávená zahříváním může zdát být doplňkem k výše zmíněné aktivitě (se kterou je pochopitelně výrazně negativně korelována), nedá se říct, že by zahřívání bylo jediným projevem „neaktivity“. Kuřata lze pravidelně vidět odpočívat i mimo rodiče, stejně jako je přitisknutí se k zemi běžnou antipredační reakcí, kterou lze pozorovat v situacích, kdy rodiče varují a odhánějí přibližující se predátory. Zaměření specificky na dobu, kterou kuře tráví přitisknuté pod rodičem, je ale podstatné zejména z toho důvodu, že se velmi pravděpodobně jedná o chování vynucené vnějšími podmínkami, kdy kuře nemůže shánět potravu, protože by prochladlo. Důkladná znalost patrností spojených se zahříváním nám tak umožní studovat tepelné nároky kuřat, stejně jako například limity v načasování hnízdění. Specificky jsme testovali následující predikce:

- (a) Očekávali jsme, že kuřata pobývající na polních kulturách v místech, kde není dostupná žádná mokřina budou oproti kuřatům obývajícím zamokřená místa či travní porosty (pastviny) aktivnější po delší dobu, a to i v době, kdy je to pro ně nevýhodné (tedy v noci). Nevýhodnost noční aktivity přitom lze vnímat jak z energetického hlediska (v průběhu noci panují nižší teploty), tak z hlediska vyššího rizika predace.
- (b) Očekávali jsme že kuřata v kvalitnějších habitatech (plochy s mokřinami, či travní porosty) budou schopna dosahovat se stejnou aktivitou vyšších přírůstků (tedy sběr potravy bude v jejich případě efektivnější).
- (c) U doby strávené zahříváním pod rodičem jsme očekávali, že bude delší v období s nepříznivými klimatickými podmínkami (nízké teploty), případně v období vysokého rizika predace (noc), kdy je zahřívání spojeno se šetřením energie a větší bezpečností plynoucí z přítomností poblíž ostražitých rodičů. Zároveň jsme očekávali, že kuřata, která stráví při zahřívání nejvíce času, budou dosahovat menších přírůstků. Tedy, že zahřívání bude limitovat tato kuřata v čase potřebném k nashromáždění dostatečného množství potravy. Nakonec jsme na základě modelu popisujícího potřebu zahřívání s ohledem na okolní podmínky predikovali vývoj potřeby zahřívání v průběhu sezóny a ptali se, zda čejky časují zahájení hnízdění tak, aby k líhnutí kuřat docházelo v období, kdy klesá čas nutný pro zahřívání kuřat.

## 2. Metodika

### 2.1. Studovaná oblast a velikost získaného datasetu

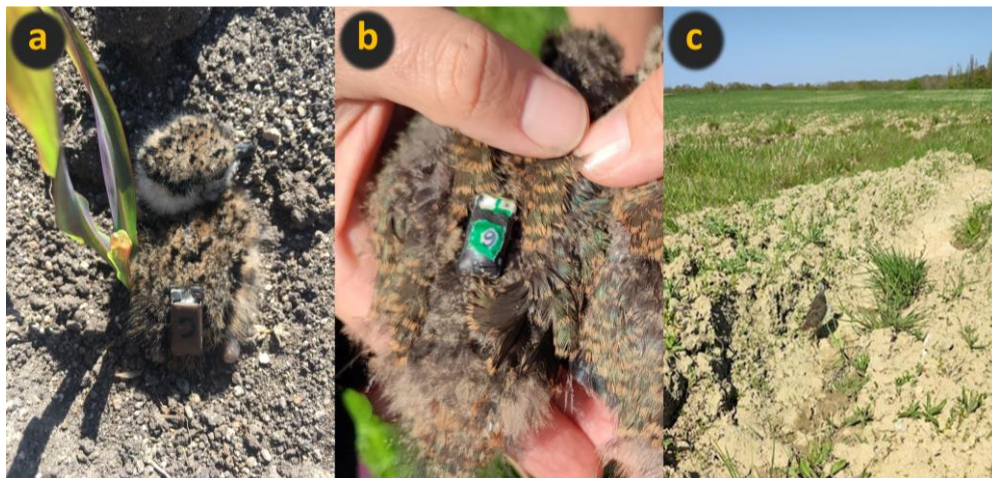
Studie probíhala v Českobudějovické pánvi v jižních Čechách. Studované území (~140 km<sup>2</sup>) tvořila mozaika orné půdy, luk, rybníků, lesů a lidských sídel. Populace ~100 párů modelového druhu obývala různé biotopy na orné půdě a loukách (pro více informací viz.: Kubelka et al., 2020; Sládeček et al., 2019). Celkem bylo sledováno 40 mláďat z 28 rodin čejky chocholaté. Celkem bylo získáno 1367 hodin záznamů z multisenzorických dataloggerů (dále jen MSD).

### 2.2. Sběr dat

Rodiny čejek s nevzletnými mláďaty jsme vyhledávali okraje zemědělských ploch s pomocí dalekohledů. Po nalezení rodiny jsme mláďata odchytili, okroužkovali kovovým kroužkem, zvážili elektronickou vahou s přesností na 0,1 gramu a provedli následující měření pomocí měřítka s přesností na 0,1 mm: délka zobáku ("BNprox": (Eck et al., 2011)), délka hlavy ("HL": (Eck et al., 2011)) a délka tarzu ("Tar1": (Eck et al., 2011)).

Pro sledování aktivity a chování jsme náhodně vybrali 1-3 mláďata z každé rodiny a každé z nich vybavili MSD (verze DAL; hmotnost: ~ 1,1 g; velikost: 20,6 x 19,0 mm). Pro účely studie jsme zaznamenávali teplotu (1 Hz), intenzitu osvětlení (1 Hz) a zrychlení ve třech osách, s pomocí akcelerometru (25 Hz). Jako minimální hmotnost kuřete pro instalaci dataloggeru jsme stanovili 14 g.

MSD jsme připevnili kapkou vteřinového lepidla na prachové peří na zádech mláďat, a to tak, aby byl nainstalován snímačem úrovně světla orientovaným směrem k hlavě. U všech jedinců jsme se snažili umístit zařízení do stejné polohy. Po 20 až 72 hodinách jsme mláďata znovu dohledali, odchytili, MSD jim odebrali, a znovu zvážili pro určení váhového přírůstku. V jednom případě jsme našli pouze MSD, který buď spadl, nebo byl odstraněn predátorem. Ve dvou případech jsme našli mrtvá mláďata s MSD.



**Obr. 1:** Ukázka instalace multisenzorických loggerů DAL (a) a MSD2 (b) na hřbet kuřat čejky chocholaté a kuřete s instalovaným dataloggerem (c), v zemědělské krajině v okolí Českých Budějovic.

### 2.3. Obecná příprava dat

Veškeré zpracování dat, statistické analýzy i vizualizace jsme prováděli v programu R 3.5.3. (R-Core-Team, 2022).

Jako proměnnou určující míru aktivity jsme zvolili celkové dynamické zrychlení („Overall Dynamic Body Acceleration“, dále jen „ODBA“; Wilson et al., 2006). Před tím bylo však třeba hrubá data získaná MSD v několika krocích upravit. Nejprve jsme pro zmenšení kalibrační chyby dané zakřivením gravitačního pole země použili iterační autokalibrační proces založený na vážené regresi, doporučený Van Heesem et al. (2014). Následně bylo nutné odstranit gravitační složku zrychlení, což bylo provedeno s pomocí mediánového filtru s mezní frekvencí 0,2 Hz (tzv. „Median high-pass filter“; Chen et al., 2015). V dalším kroce jsme data vyhledali s využitím mediánového filtru s mezní frekvencí 2 Hz, což limitovalo množství náhodného šumu v datech. Nakonec jsme spočítali ODBA, a to jako součet absolutních výsledných hodnot na všech třech osách (Wilson et al., 2006).

Abychom snížili výpočetní náročnost při následném zpracování dat, agregovali jsme měření ODBA, teploty a úrovně osvětlení průměrováním v periodách pěti sekund. Abychom zajistili, že bude analyzováno pouze přirozené chování bez rušivých vlivů pozorovatele, odstranili jsme u každého kuřete prvních a posledních 30 minut záznamu, které mohly být ovlivněny naší přítomností na lokalitě.

### 2.4. Příprava proměnných pro analýzu aktivity

Pro analýzu chování jsme definovali dvě základní behaviorální proměnné, které jsme na základě měření poskytnutých MSD spočítali a dále analyzovali. Jednalo se o „aktivitu“ (tedy stav, kdy se kuře aktivně pohybuje, nejčastěji spojený se

sběrem potravy) a o „zahřívání pod rodičem“, tedy stav kdy je kuře schované pod rodičem a hřbetem je přitisknuté k jeho břichu (ekvivalent anglického termínu „brooding“; Kolešková et al., 2023). Klasifikace těchto behaviorálních stavů proběhla s využitím skrytých Markovových modelů („Hidden Markov Models“, dále jen HMM; Leos-Barajas et al., 2017), trénovaných takzvaně „bez učitele“ („Unsupervised training“), s využitím „Baum-Welchova“ algoritmu (Baum et al., 1970). S pomocí HMM jsme takto pro každé mládě zvlášť našli maximálně věrohodný způsob, jak v analyzované časové řadě (ODBA) rozlišit dva základní stavy - „aktivní“ a „neaktivní“ chování. Následně jsme použili Viterbiho algoritmus k detekci nejpravděpodobnější časové posloupnosti úseků „aktivního“ a „neaktivního“ chování v rámci souboru dat pro mládě na základě modelem o dhadnutých parametřích (Leos-Barajas et al., 2017).

„Aktivní“ chování bylo poté použito přímo coby proměnná „aktivita“, zatímco pro detekci zahřívání kuřat pod rodičem byly odhady HMM dále upravovány a zahřívání bylo detekováno (především) v rámci „neaktivního“ chování následujícím způsobem.

Pokud je kuře zahříváno pod rodičem, je v datech z vybrané kombinace senzorů pozorovatelných několik typických patrností (obr. 2). Za prvé, aktivita mláďat (ODBA) je obecně nízká. Za druhé, teplota měřená na hřbetu mláďete má tendenci konvergovat k úrovni tělesné teploty rodiče (~40°C: Prinzinger et al., 1991), která již byla použita k detekci zahřívání pod rodičem dříve (Krijgsveld et al., 2003). Teplota na hřbetu kuřete se tak při nižších okolních teplotách zvyšuje a naopak při extrémně vysokých okolních teplotách klesá. Zatřetí, při zahřívání za denního světla je intenzita osvětlení naměřená na hřbetní části mláďete velmi nízká (Obr. 1b). Tato intenzita osvětlení by se měla blížit nule nebo alespoň nabývat významně nižších hodnot, než které ve stejnou dobu poskytuje stín rostlin v dané lokalitě. Tyto předpoklady byly jednoznačně potvrzeny jak optickou kontrolou vizualizace získaných dat (viz zřetelný signál všech výše zmíněných patrností na obr. 2), tak analýzou dat z videozáznamů kuřat vybavených dataloggerem (celkem 48 minut 22 mláďat). Kromě toho bylo pro relevantní stanovení mezních hodnot provedeno 559 měření intenzity osvětlení MSD zároveň s luxmetrem, a to za různých podmínek, v různých denních dobách a v různých místech (na slunci, pod mrakem, v místech s různou úrovní zastínění, apod.).

Aby bylo možné odlišit úseky zahřívání pod rodiči od ostatních úseků nízké aktivity (tedy opravit predikci provedenou HMM s využitím výše popsaných patrností), bylo nutné provést sérii kroků následného zpracování, zahrnující automatický algoritmus pro opravu běžných chyb HMM extrakce, a nakonec důkladnou kontrolu a manuální opravu zbývajících chyb, vzniklých při vyhodnocení pomocí automatických algoritmů.

Automatický algoritmus pro opravu predikcí se skládal z několika kroků. Za první, úseky „neaktivity“ v průběhu světlé části dne jsme považovali za zahřívání pouze tehdy, pokud byly (alespoň po část úseku) spojeny s intenzitou osvětlení nižší než 50 luxů. Tuto arbitrární hranici jsme zvolili na základě analýz měření luxmetrem jako nepravděpodobně nízkou při jakékoliv jiné aktivitě než při zahřívání (např. při úkrytu ve stínu husté vegetace). Konkrétně byla zvolena jako 1% kvantil měření získaných MSD umístěnými v různých typech zastínění. Za druhé, protože kuřata někdy začala zvyšovat svou aktivitu před koncem zahřívání nebo začala být neaktivní krátce před jeho začátkem, posunuli jsme začátky a konce zahřívání tak, aby změny teploty na začátku a konci každého úseku byly v souladu s předpovědí. Tedy, začátek zahřívání jsme stanovili na nejčasnější bod, kdy byla teplotní diference (oproti předchozímu úseku) vyšší než medián teplotních diferencí během zahřívání konkrétního mláděte. Podobně jsme posunuli konec zahřívání na první teplotní diferenci pod mediánem teplotních rozdílů "aktivního stavu". Za třetí jsme vynechali velmi krátké úseky zahřívání i přestávky v něm (do 20 sekund) jako pravděpodobně chybně detekované (obvykle spojené se změnou polohy kuřete během nepřerušenoého úseku zahřívání).

Použití výše popsaného algoritmu výrazně zlepšilo konzistenci předpovědi líhnutí s pozorovanými patrnostmi. Nakonec jsme takto získanou predikci zahřívání vizualizovali a případné zbývající nekonzistence opravili manuálně. Tyto opravy se však týkaly méně než 1 % sledovaného času (tedy výše popsaný proces měl >99% přesnost).

Důležitým omezením použitého metodického přístupu je skutečnost, že jakmile rostoucí peří zakryje světelný senzor, stává se zahřívání při vysokých okolních teplotách (tedy v situaci, kdy je ke správné detekci nutné využití intenzity osvětlení) spolehlivě nedetekovatelné. U čejky chocholaté k tomu dochází přibližně mezi 20. a 25. dnem života. Abychom se vyhnuli zkreslení, takováto kuřata (n=4) byly z analýz zahřívání vyřazena.

## 2.5. Příprava odhadů okolní teploty

Protože se kuřata pohybují blízko země a nejčastěji na místech bez stínu, rozhodli jsme se nepoužívat standardní měření teploty prováděné ve výšce dvou metrů nad zemí a ve stínu. Teplotu okolí jsme raději definovali jako teplotu v blízkosti země měřenou na přímém slunci. Pro odhad teploty u země jsme použili měření teploty v úrovni země, získaná v okolí hnízd čejky chocholaté pořízená v rámci jiného projektu (pro metodické detaily záznamu teplot u hnízd viz: Brynychová et al., 2020; Sládeček et al., 2021). Pokud byly k dispozici údaje z více dataloggerů současně, použili jsme jejich medián. Pokud se jednalo o časová období, kdy nebyly v blízkosti hnízd instalovány žádné dataloggery, použili jsme pro odhad teploty u země regresní model, predikující teploty v blízkosti země na základě standardních měření z meteorologických stanic.

## 2.6. Statistická analýza

### 2.6.1. Obecné principy statistického modelování

Obecné lineární modely byly sestaveny pomocí funkce "lm" (R-Core-Team, 2022), zatímco obecné (či zobecněné) modely se smíšenými efekty byly sestaveny pomocí funkcí "lmer" ("glmer" pro zobecněné modely) z knihovny "lme4" (Bates et al., 2015). Všechny numerické prediktory v modelech (s výjimkou denní doby) jsme z-transformovali (hodnoty odečteny od průměru a podělené SD) (Schielzeth, 2010). Kdykoli byl do modelu zahrnuta denní doba, transformovali jsme čas v rámci dne na radiány ( $(2 \cdot \text{čas} \cdot \pi) / 24$ ) a poté jsme jej dosadili jako sinus a cosinus radiánů (Bulla et al., 2016). U každého modelu jsme použili funkci "sim" z balíčku R "arm" a neinformativní apriorní rozdělení (Gelman et al., 2016) k vytvoření vzorku 5000 simulovaných hodnot pro každý parametr modelu (posteriorní rozdělení). Velikosti efektů a predikce modelů následně reportujeme jako mediány a 95% bayesovské intervaly věrohodnosti (95%CrI) reprezentované 2,5 a 97,5 percentily posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot.

### 2.6.2. Hodinová míra aktivity

Hodinovou míru zahřívání pod rodičem jsme definovali jako podíl hodiny, po kterou byla mláďata "aktivní", na základě odhadu poskytnutého HMM (viz. výše). S pomocí obecného lineárního modelu se smíšenými efekty a normální strukturou chyb (což bylo jako jako adekvátní potvrzeno díky splnění předpokladů modelu). Vysvětlovanou proměnnou byla proporce dané hodiny (%), po kterou kuře bylo aktivní. Jako prediktory byly zahrnuty habitat (viz. dále), noc (ano/ne, jako noční hodiny byly brány ty, v průběhu kterých bylo slunce většinou  $>6^\circ$  pod horizontem), délka hlavy mláďete (coby proxy věku) a okolní teplota, jakož i interakce habitatu se všemi ostatními prediktory. Vzhledem k tomu, že konkrétní vlastnosti habitatu (plodina, výška vzrůstu) byly značně diverzifikované, přiřadili jsme habitat na ploše, kde byla kuřata sledována, na tři kategorie. Těmi bylo suché pole, trvalý travní porost (louka/pastvina) a zamokřené plochy (pole s přítomností mokřin/částečně vypuštěná dna rybníků). Tato proměnná tak vstupovala do modelu jako faktor se třemi hladinami. Protože data zahrnovala opakovaná měření téhož mláďete a někdy také souběžná měření více mláďat z téže rodiny, zadali jsme identitu mláďete vnořenou do identity rodiny jako náhodný intercept a teplotu okolí jako náhodný sklon (Schielzeth & Forstmeier, 2009).

### 2.6.3. Přírůstek za 24 hodin aktivity

Abychom otestovali rozdíly mezi habitaty v efektivitě sběru potravy (předpokládanému hlavnímu účelu „aktivního“ chování), počítali jsme nejprve rozdíly v hmotnosti mláďat před instalací a po odstranění dataloggeru a přepočítali je na 24 hodin „aktivního“ chování. Tento rozdíl jsme poté použili jako

vysvětlovanou proměnnou v obecném lineárním modelu se smíšenými efekty a normální strukturou chyb. Do modelu byly jako prediktory zahrnut habitat (viz výše) a délka hlavy, včetně interakce obou prediktorů. Protože různý počet mláďat patřil k jedné rodině, zahrnuli jsme do modelu identitu rodiny jako náhodný intercept.

#### *2.6.4. Hodinová míra zahřívání pod rodičem*

Hodinovou míru zahřívání pod rodičem jsme definovali jako podíl hodiny, po kterou byla mláďata zahřívána. S pomocí zobecněného lineární model se smíšenými efekty, s binomickou strukturou chyb a logit link funkcí. Vysvětlovanou proměnnou byl počet minut, kdy kuře bylo zahříváno a počet minut bez zahřívání, spojený do binomického jmenovatele. Jako prediktory byly zahrnuty denní doba, noc (ano/ne, jako noční hodiny byly brány ty, v průběhu kterých bylo slunce většinou  $>6^\circ$  pod horizontem), délka hlavy mláďete (coby proxy věku) a okolní teplota, jakož i interakce denní doby s délkou hlavy a teplotou okolí. Abychom eliminovali časovou autokorelaci, zahrnuli jsme mezi prediktory také pravděpodobnost zahřívání v předchozí hodině. Protože data zahrnovala opakovaná měření téhož mláďete a někdy také souběžná měření více mláďat z téže rodiny, zadali jsme identitu mláďete vnořenou do identity rodiny jako náhodný intercept a teplotu okolí a denní dobu (sinus i cosinus) jako náhodné sklony (Schielzeth & Forstmeier, 2009). Abychom zabránili overdisperzi, zahrnuli jsme do modelu i náhodný efekt pozorování ("Observation-Level-Random-Effect: Harrison, 2015). A konečně, protože v některých hodinách nebyl k dispozici kompletní záznam, vážili jsme model odmocninou z počtu minut s dostupnými údaji pro danou hodinu.

#### *2.6.5. Efektivita zahřívání pod rodičem*

Efektivitu zahřívání pod rodičem jsme definovali jako medián teploty naměřené dataloggerem na hřbetě kuřat v průběhu nepřetržitého úseku zahřívání, po ustálení teploty. Protože teplota se obvykle stabilizovala nejdéle po pěti minutách od zahájení zahřívání, vybrali jsme pouze úseky delší než pět minut a prvních pět minut jsme z výpočtu mediánu vyloučili.

Medián teplot naměřených během zahřívání jsme pak použili jako vysvětlovanou proměnnou v obecném lineárním modelu se smíšenými efekty a normální strukturou chyb. Do modelu byly zahrnuty následující prediktory: noc (ano/ne, viz. výše), délka hlavy mláďete a teplota okolí, jakož i interakce noci s teplotou okolí. Identitu mláďete vnořenou do identity rodiny jsme zahrnuli jako náhodný intercept a teplotu okolí jako náhodný sklon.

#### *2.6.6. Vliv zahřívání na přírůstek*

Abychom otestovali, zda doba, kterou kuře trávilo zahříváním pod rodiči ovlivnila rychlost růstu, spočítali jsme nejprve rozdíly v hmotnosti mláďat před instalací a

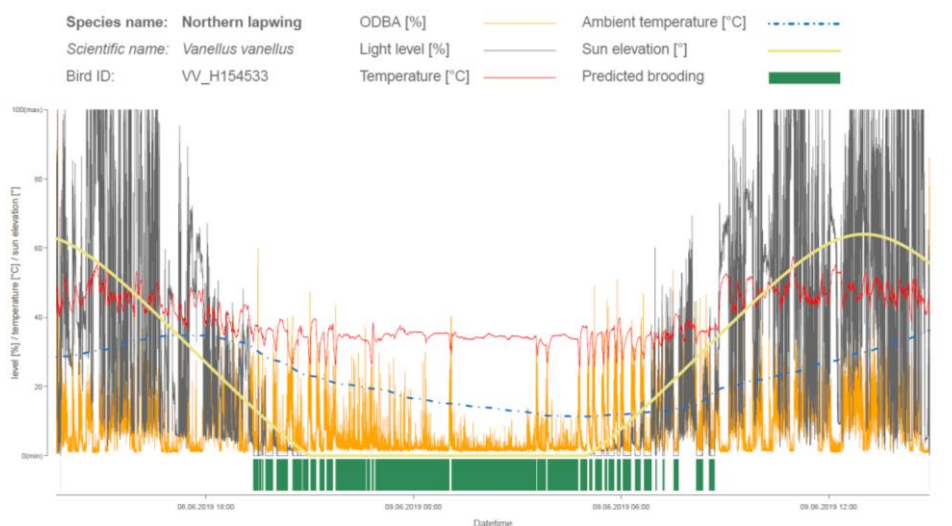


po odstranění dataloggeru a vydělili je délkou nasazení dataloggeru v hodinách. Tento rozdíl jsme poté použili jako vysvětlovanou proměnnou v obecném lineárním modelu se smíšenými efekty a normální strukturou chyb. Do modelu byly jako prediktory zahrnut podíl doby, po kterou byla mláďata zahřívána (v rámci celého dostupného záznamu) a délka hlavy, včetně interakce obou prediktorů. Protože různý počet mláďat patřil k jedné rodině, zahrnuli jsme do modelu identitu rodiny jako náhodný intercept.

### 3. Výsledky

#### 3.1. Shrnutí datasetu a popis ukázkového aktogramu

Celkově bylo sledováním 38 kuřat z 26 rodin získáno 1367 hodin záznamu. Na jedno kuře tak v průměru připadlo 35 hodin (medián 27 hodin, rozmezí 14-73 hodin). Příklad vizualizace získaných dat je možné vidět na obrázku 2.

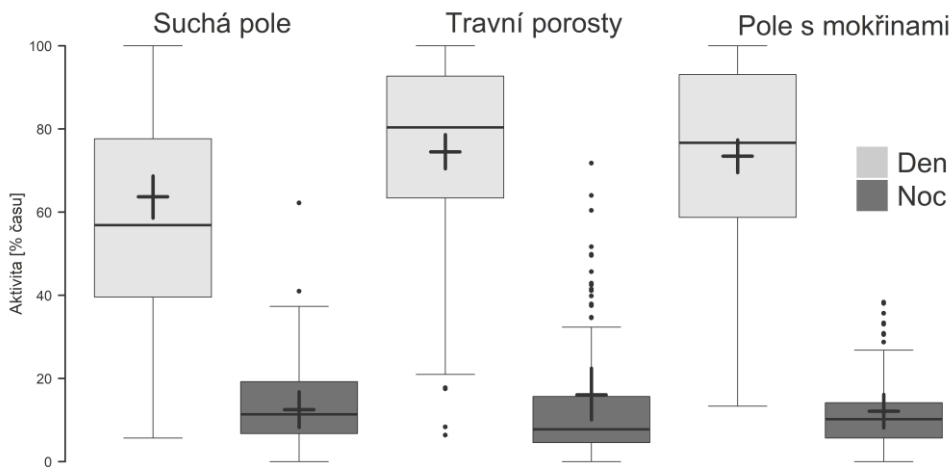


**Obr. 2:** Ukázka aktogramu zobrazující údaje získané od jednoho mláďete čejky chocholaté. Oranžová linie představuje aktivitu mláďete vyjádřenou jako ODBA, modrá přerušovaná linie představuje teplotu okolí, červená linie teplotu na těle měřenou dataloggerem na hřbetní části mláďete, černá linie úroveň osvětlení a žlutá linie výšku slunce. Zelené polygony ve spodní části představují predikované zahřívání pod rodičem.

#### 3.2. Vliv habitatu na aktivitu a rychlost růstu kuřat

Celkově byla sledovaná kuřata aktivní po 57% doby (medián, 25. a 75. percentil: 16 - 83 %; n = 1367 h u 38 mláďat), ovšem míra aktivity mnohem vyšší ve dne, než v noci, a větší (starší) kuřata byla aktivní po delší dobu, než kuřata menší (Tab. 1, Obr. 3). Pokud srovnáme míru aktivity mezi třemi srovnávanými

kategoriemi prostředí, tak ve dne (nikoliv však v noci) byla kuřata na travních porostech a na polích s mokřinami významně aktivnější než kuřata pobývající na suchých polích (Obr. 3). Pokud se však podíváme na efektivitu této aktivity s ohledem na přírůstek, tak vidíme, že zatímco na polích s mokřinami byla tato efektivita nejvyšší (byť rozdíl oproti suchým polím není statisticky významný; Obr. 4, Tab. 2), na travních porostech byla naopak nejnižší (Obr. 4, Tab. 2). Suchá pole nešlo z tohoto pohledu hodnotit jako nejhorší, spíše se jeví jako z hlediska efektivity sběru potravy velmi variabilní prostředí (vzhledem k širokým intervalům věrohodnosti na Obr. 4). Rovněž 67 % rozptylu v efektivitě přírůstku vysvětleného identitou rodiny (Tab. 2) svědčí o tom, že úživnost jednotlivých míst bude velmi variabilní a nelze jí uspokojivě podchytit rozdělením habitatů na několik základních kategorií.

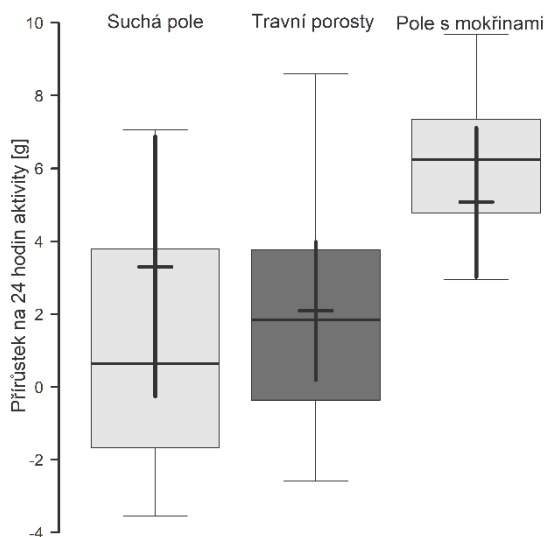


**Obr. 3:** Srovnání proporce času stráveného aktivitou v závislosti na kategorii habitatu a denní době (den/noc). Medián proporce aktivity během lhnutí je znázorněn svislou čarou uvnitř krabice, jeho 95% interval spolehlivosti je znázorněn zářezem a 25-75% kvantily jsou znázorněny krabicí. „Vousy“ označují 1,52 násobek interkvartilového rozpětí, nebo minimum/maximum – podle toho, co je blíže mediánu. Odlehle hodnoty jsou vyznačeny tmavě šedými body. Černé křížky ilustrují odhad příslušné proporce na základě modelu z Tab. 1 (vodorovná čára) a jeho intervaly věrohodnosti (svislá čára).

**Tab. 1:** Výsledky modelu aktivity kuřat

Vysvětlovaná proměnná	Typ efektu	Efekt	95% CrI			
			Odhad	Spodní práh	Horní práh	
% aktivity v rámci hodiny	Pevný	<b>Intercept</b>	<b>0.624</b>	<b>0.573</b>	<b>0.677</b>	
		<b>Noc</b>	<b>-0.458</b>	<b>-0.513</b>	<b>-0.404</b>	
		<b>Travní porosty</b>	<b>0.096</b>	<b>0.032</b>	<b>0.159</b>	
		<b>Pole s mokřinami</b>	<b>0.101</b>	<b>0.037</b>	<b>0.166</b>	
		<b>Hlava</b>	<b>0.094</b>	<b>0.05</b>	<b>0.14</b>	
		<b>Okolní teplota</b>	<b>0.044</b>	<b>0.003</b>	<b>0.086</b>	
		<b>Noc:Travní porosty</b>	<b>-0.131</b>	<b>-0.198</b>	<b>-0.06</b>	
		<b>Noc:Pole s mokřinami</b>	<b>-0.127</b>	<b>-0.201</b>	<b>-0.055</b>	
		Hlava:Travní porosty	-0.026	-0.081	0.029	
		Hlava:Pole s mokřinami	-0.047	-0.1	0.006	
		<b>Noc:Hlava</b>	<b>-0.062</b>	<b>-0.087</b>	<b>-0.037</b>	
		Okolní teplota:Travní porosty	0.002	-0.052	0.061	
		Okolní teplota:Pole s mokřinami	0.021	-0.037	0.081	
		<b>Noc:Okolní teplota</b>	<b>-0.036</b>	<b>-0.071</b>	<b>-0.001</b>	
		Náhodný	Kuře vnořené do rodiny (intercept)	0 %		
		% rozptylu	Okolní teplota	0 %		
			Rodina (Intercept)	4 %		
	Okolní teplota	6 %				
	Reziduální	89 %				

Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'glmer' (Bates et al., 2015) pro data s binomickým rozdělením a logit link funkcí. Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.



**Obr. 4:** Srovnání přírůstku dosaženého za 24 hodin „aktivního“ chování mezi jednotlivými habitaty. Medián proporce aktivity během línutí je znázorněn svislou čarou uvnitř krabice, jeho 95% interval spolehlivosti je znázorněn zářezem a 25-75% kvantily jsou znázorněny krabicí. „Vousy“ označují 1,52 násobek interkvartilového rozpětí, nebo minimum/maximum – podle toho, co je blíže mediánu. Odlehle hodnoty jsou vyznačeny tmavě šedými body. Černé křížky ilustrují odhad příslušné proporce na základě modelu z Tab. 1 (vodorovná čára) a jeho intervaly věrohodnosti (svislá čára).

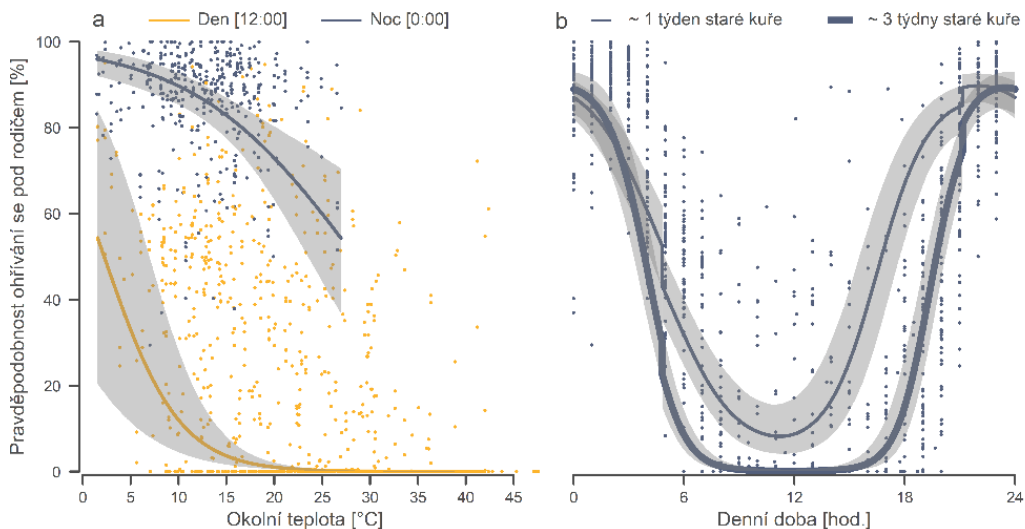
**Tab. 2:** Výsledky modelu přírůstku hmotnosti kuřat

Vysvětlovaná proměnná	Typ efektu	Efekt	95% CrI		
			Odhad	Spodní práh	Horní práh
Přírůstek (g) na 24 hodin aktivity	Pevný	Suchá pole	3,27	-0,27	6,856
		<b>Travní porosty</b>	<b>2,077</b>	<b>0,163</b>	<b>3,957</b>
		<b>Pole s mokřinami</b>	<b>5,111</b>	<b>2,995</b>	<b>7,121</b>
		Hlava	2,392	-1,949	6,852
		Hlava: travní porosty	0,48	-4,118	5,246
	Hlava: pole s mokřinami	-0,734	-5,526	3,9	
	Náhodný % rozptylu	ID rodiny (Intercept)	67 %		
	Reziduální	33 %			

Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'lmer' (Bates et al., 2015). Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

### 3.3. Patrnosti spojené s potřebou zahřívání kuřat pod rodiči

V průměru čejky zahřívaly svá mláďata po 40 % času (medián, 25. a 75. percentil: 35–45 %;  $n = 1367$  h u 38 mláďat). Hodinové proporce zahřívání vykazovaly velmi silný denní rytmus, přičemž během noci byly mnohem vyšší než ve dne (Tab. 3; Obr. 5). Proporce zahřívání v rámci hodiny se rovněž prudce snižovala s rostoucí okolní teplotou (Tab. 3; Obr. 5a). Důležité však je, že při srovnatelných teplotních podmínkách čejky zahřívaly svá mláďata mnohem více v noci než ve dne (Obr. 5a). Například pokud budeme předpokládat teplotu okolí 20 °C (~ 71% kvantil teplot během hnízdních sezón v České republice) a kuřata ve věku jednoho týdne, bude model predikovat během dne pouze 1,5 % času stráveného zahříváním (95% CrI 1–3 %), zatímco během noci to bude (za předpokladu stejných teplotních podmínek a věku mláďat) 73 % (95% CrI 63–80 %). Patrná byla rovněž tendence poklesu času tráveného zahříváním pod rodiči s růstem mláďat. Překvapivě však byl vliv velikosti mláďat mnohem méně významný než vliv teploty nebo vliv času v průběhu dne (Tabulka 1), což vedlo k relativně vysokým nočním mírám zahřívání, dokonce i u nejstarších mláďat zahrnutých do studie.



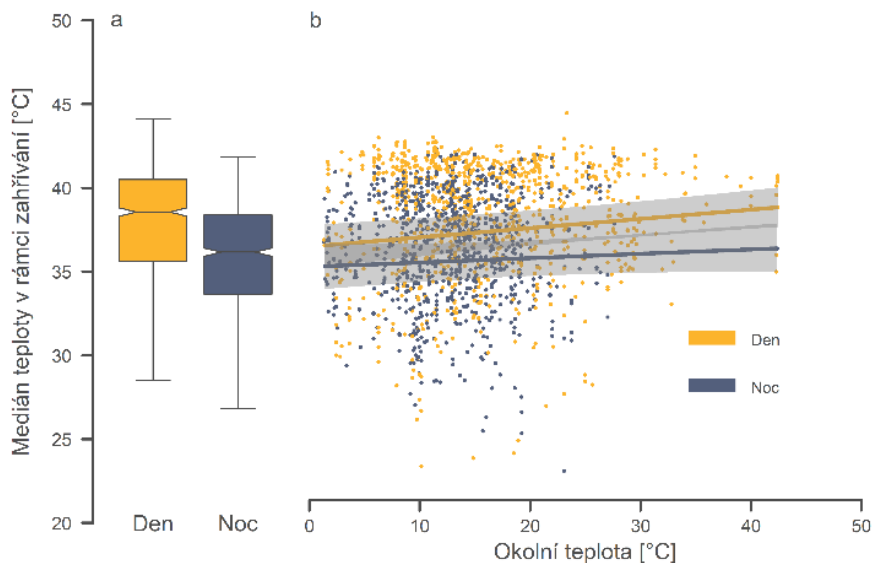
**Obr. 5** Procento času, po které je kuře zahříváno pod rodičem, v závislosti na okolní teplotě (a) a denní době a věku (b). Křivky se stínovanou plochou označují modelovou předpověď (viz. Tab. 3) s 95% intervalem věrohodnosti.

**Tab. 3:** Výsledky modelu hodinové proporce zahřívání

Vysvětlovaná proměnná		Typ efektu	Efekt	95% CrI		
% zahřívání hodiny	v rámci	Pevný	Odhad	Spodní práh	Horní práh	
			<b>Intercept</b>	<b>-1,686</b>	<b>-1,952</b>	<b>-1,421</b>
			<b>Zahřívání v předešlé hodině</b>	<b>0,853</b>	<b>0,651</b>	<b>1,062</b>
			<b>Noc</b>	<b>0,373</b>	<b>0,03</b>	<b>0,711</b>
			<b>Denní doba (sin)</b>	<b>-1,013</b>	<b>-1,307</b>	<b>-0,725</b>
			<b>Denní doba (cos)</b>	<b>2,468</b>	<b>1,935</b>	<b>3,01</b>
			<b>Okolní teplota</b>	<b>-1,637</b>	<b>-2,05</b>	<b>-1,216</b>
			<b>Hlava</b>	<b>-0,877</b>	<b>-1,085</b>	<b>-0,665</b>
			Denní doba (sin):Okolní teplota	-0,174	-0,381	0,034
			<b>Denní doba (cos):Okolní teplota</b>	<b>0,607</b>	<b>0,365</b>	<b>0,851</b>
			Denní doba (sin):Hlava	0,185	-0,004	0,37
			<b>Denní doba (cos):Hlava</b>	<b>0,958</b>	<b>0,598</b>	<b>1,307</b>
		Náhodný	OLRE (Intercept)	44 %		
		% rozptylu	Kuře vnořené do rodiny (intercept)	1 %		
			Denní doba (sin)	0 %		
			Denní doba (cos)	1 %		
			Okolní teplota	1 %		
			Rodina (intercept)	4 %		
			Denní doba (sin)	3 %		
			Denní doba (cos)	29 %		
			Okolní teplota	16 %		

Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'glmer' (Bates et al., 2015) pro data s binomickým rozdělením a logit link funkcí. Spojité prediktory a náhodné sklony byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

Medián teplot změřených přístrojem na zádech kuřete v průběhu nepřetržitého úseku zahřívání byl 37,2 °C (25-75. percentil: 34,3-39,6 °C; n = 1816 úseků zahřívání delších než 5 minut). Přestože průměrná teplota v průběhu zahřívání dle očekávání rostla se zvyšující se okolní teplotou, tento vztah byl relativně slabý (Tab. 4, Obr. 6b). I při velmi nízkých teplotách (0-10 °C) tak byly často dosahovány hodnoty okolo 40 °C (Obr. 6b). Efektivita zahřívání se neměnila s věkem kuřat (Tab. 4), ale byla obecně nižší v noci (Obr. 6).



**Obr. 6:** **a** Krabicové grafy shrnují medián teploty během zahřívání pod rodičem po stabilizaci (tj. po skončení 5. minuty) v závislosti na denní době (den/noc) Medián teploty během zahřívání pod rodičem je znázorněn svislou čarou uvnitř krabice, jeho 95% interval spolehlivosti je znázorněn zářezem a 25-75% kvantily jsou znázorněny krabicí. **b** Medián teploty během zahřívání pod rodičem ve vztahu k okolní teplotě ve dne (žlutá) a v noci (modrá). Přímky se stínovanou plochou označují modelovou předpověď s 95% intervalem věrohodnosti.

**Tab. 4:** Výsledky modelu efektivity zahřívání

Response	Effect type	Effect	Estimate	95% CrI	
				Lower	Upper
Efektivita zahřívání [°C]	Pevný	<b>Intercept</b>	<b>36,87</b>	<b>35,827</b>	<b>37,893</b>
		<b>Noc</b>	<b>-1,717</b>	<b>-1,973</b>	<b>-1,458</b>
		<b>Okolní teplota</b>	<b>0,398</b>	<b>0,164</b>	<b>0,621</b>
		Hlava	-0,575	-1,525	0,340
	Náhodný % rozptylu	Noc: Okolní teplota	-0,206	-0,497	0,084
		Kuře vnořené do rodiny (intercept)	25		
		Okolní teplota	1		
		Rodina (Intercept)	28		
		Okolní teplota	0		
		Reziduální	46		

Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'lmer' (Bates et al., 2015). Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

I přesto, že doba, po kterou byla jednotlivá kuřata zahřívána byla značně variabilní, proporce času strávená zahříváním neovlivnila denní přírůstek kuřat (Tab. 5).

**Tab. 5:** Výsledky modelu denního přírůstku hmotnosti

Vysvětlovaná proměnná		Typ efektu	Efekt	95% CrI		
Denní přírůstek [g/24 hod.]		Pevný	Odhad	Spodní práh	Horní práh	
			<b>Intercept</b>	<b>1,759</b>	<b>1,153</b>	<b>2,352</b>
			<b>Délka hlavy</b>	<b>1,615</b>	<b>0,952</b>	<b>2,241</b>
			Proporce zahřívání	0,285	-0,255	0,83
			Délka hlavy: proporce zahřívání	-0,125	-0,609	0,345
		Náhodný	Rodina (intercept)	71 %		
		% rozptylu	Reziduální	29 %		

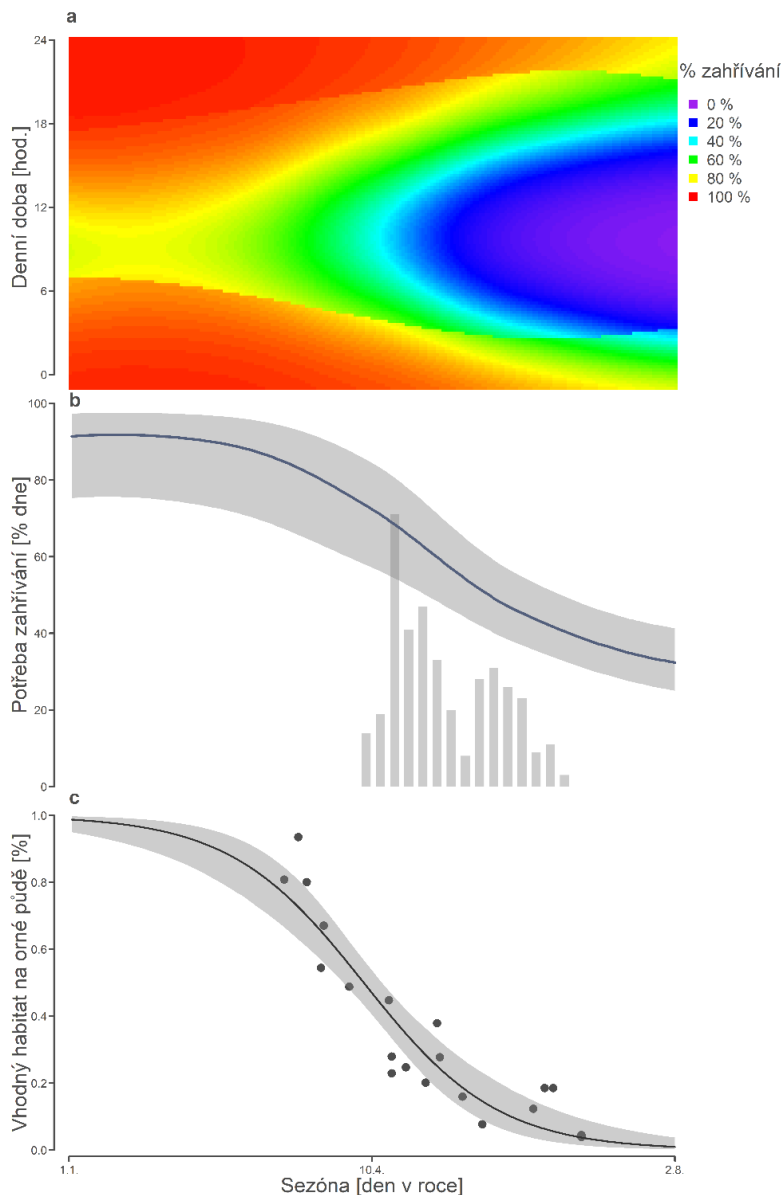
**Tab. 5** Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'lmer' (Bates et al., 2015). Spojité prediktory byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

### 3.4. Načasování hnízdní sezony s ohledem na zastoupení vhodného habitatu a tepelné nároky kuřat

Z pohledu vazeb mezi hnízdním čejky chocholaté a hospodařením v zemědělské krajině je mnohem důležitější než samotná proporce zahřívání to, zda a jak potřeba ohřívát se pod rodičem limituje možnost čejek využít „okno příležitosti“, kdy je pro ně v zemědělské krajině dostatek vhodného prostředí. Z jedné strany je totiž jejich úspěch ohrožován tepelnými nároky mláďat (pokud zahnízdí příliš brzy, mláďata se vylíhnou v době, kdy se budou potřebovat ohřívát příliš často, tedy nebudou mít dostatek času pro sběr potravy; Obr. 7a,b), zatímco z druhé strany je tento úspěch ohrožován postupným úbytkem ploch, na kterých je možné zahnízdít (a úspěšně vyhnízdít). Byť detailní vyhodnocení habitatových nároků čejek je nad rámec této studie, na obrázku 7c demonstrujeme prudký úbytek vhodného hnízdního habitatu v průběhu sezony s pomocí dat ze satelitu Sentinel 2 (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions>; více detailů viz: Janoušek, 2022). Za potenciálně vhodný hnízdní habitat zde pokládáme plochy, jejichž NDVI ("Normalized Difference Vegetation Index": Jiang et al., 2006) je nižší než 95% kvantil NDVI naměřený v době počátku snášení vajec u 250 hnízd čejek chocholatých se známým počátkem hnízdní, nalezených v letech 2016 a 2017 (více detailů viz: Janoušek, 2022). Obrázek 7c tak ukazuje, jak v průběhu sezony v krajině ubývá ploch, které nejsou příliš zarostlé na to, aby si je čejka zvolila coby místo ke hnízdní. Zároveň je ale nutno podotknout, že při hodnocení potenciálu konkrétního místa pro zahnízdění (a úspěšné vyhnízdění) hrají nepochybně roli i další faktory, jako je vlhkost, množství potravy, či velikost



plochy. Tyto v prezentovaném grafu hodnoceny nejsou. Je proto více než pravděpodobné, že úbytek ploch skutečně vhodných k zahřívání bude v průběhu sezony ve skutečnosti ještě strmější.



**Obr. 6:** *a* Modelem (Tab. 3) predikovaná proporce času stráveného zahříváním pod rodičem u čerstvě narozeného kuřete, s ohledem na denní dobu a den v rámci sezony. V jednotlivých časových úsecích je predikováno zahřívání při průměrných teplotách dosažených v rámci daného času v letech 2018-2021, získaných ze stanice ČHMÚ v Českých Budějovicích, regresním modelem přepočítaných na

teplotu u země (viz metodika) a následně zhlazených lokální polynomičkou regresí s využitím funkce „loess“ při zachování defaultního nastavení (R-Core-Team, 2022). **b** Modelem (Tab. 3) predikovaná proporce času stráveného zahříváním pod rodičem v rámci daného dne sezony. Křivka ukazuje modelovou předpověď (jedná se v podstatě o průměrné hodnoty z **a**, zprůměrované v rámci každého dne) a stínovaná plocha 95% interval věrohodnosti. Histogram v pravé části ukazuje skutečná data líhnutí pro 384 hnízd nalezených v letech 2016-2020. **c** Proporce zemědělské půdy, která je v dané části sezony pokryta vhodným habitatem pro zahnízdění čejky. Body jsou spočítané na základě NDVI ze snímků nasnímaných satelitem Sentinel 2 (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions>) v letech 2016–2021, které byly vybrány tak, aby se jednalo vždy v rámci každého měsíce o snímek s nejmenším překrytím mraky (Janoušek, 2022). Hraniční hodnota NDVI, kterou lze počítat jako „vhodnou pro zahnízdění čejky“ byla zvolena jako 95% kvantil NDVI v místě a v době zahnízdění u 250 hnízd čejky chocholaté v letech 2016 a 2017. Lze tak očekávat, že plochy s vyššími hodnotami NDVI jsou pro zahnízdění čejky příliš zarostlé. Křivka ukazuje proložení dat zobecněným lineárním modelem s binomičkou strukturou chyb a logit link funkcí, odhadnutého s pomocí funkce „glm“ (R-Core-Team, 2022) a stínovaná plocha 95% interval věrohodnosti.

## 4. Diskuse

V rámci této studie jsme detailně popsali časové patrnosti aktivity kuřat čejky chocholaté a jejich zahřívání pod rodiči. Srovnáním těchto patrností s vlastnostmi prostředí zemědělské krajiny, kde jsme čejky sledovali, se nám podařilo získat detailní vhled do několika důležitých aspektů života čejek a jejich interakcí s prostředím. Využití multisenzorického dataloggingu se ukázalo jako velmi silný nástroj, jak pro interpretaci chování kuřat, tak pro získání dat relevantních při ochraně studovaného druhu. Konkrétně nám využití MSD umožnilo: 1) Rozlišit dobu, po kterou byla kuřata aktivní, zahřívána pod rodiči, a neaktivní, ovšem bez současného zahřívání rodičem; 2) Porovnat tři kategorie zemědělských ploch z hlediska patrností aktivity kuřat a efektivity zahřívání rodiči s ohledem na přírůstek kuřat a 3) Ukázat, že načasování hnízdní sezony je omezeno „oknem příležitosti“ mezi nutností trávit excesivní množství času zahříváním pod rodičem, a naopak dostupností habitatu vhodného pro zahnízdění. Tyto aspekty jsou dále diskutovány podrobněji.

### 4.1. Patrnosti v chování kuřat

Obecně byla studovaná kuřata aktivní v průměru po 57 % času, přičemž zbylý čas trávil převážně zahříváním se pod rodiči (40 % celkové doby). Obecně lze říci, že čím je kuře starší, tím více je aktivní a potřebuje být méně zahříváno. Podobně platí, že čím je vyšší teplota prostředí, tím aktivnější kuře je a je také méně zahříváno. Je-li kuře neaktivní, s věkem roste proporce času, kdy „neaktivita“ není spojena se zahříváním. Právě rozdělení neaktivity na „zahřívání“ a „ostatní“ – tedy odpočinek, který není spojen se zahříváním pod rodičem, je podstatným přínosem využití MSD. Zatímco pro rozdělení na „aktivitu“ a odpočinek“ je postačující využití pouze jednoho senzoru (typicky akcelerometru: Leos-Barajas

et al., 2017), pro detekci zahřívání bylo nutné vhodně zapojit kombinaci akcelerometru, teploty a intenzity osvětlení. Použitý algoritmus nám nejen umožnil velmi citlivě a doposud bezprecedentním způsobem oddělit obě činnosti spojené s “neaktivitou”, ale v případě zahřívání nám umožnil i kvantifikaci jeho efektivity (tedy teploty, které jsou rodiče při zahřívání potomstva schopni dosáhnout), která přinesla několik podstatných zjištění.

Zaprvé, na rozdíl od druhů žijících v teplých oblastech (Kolešková et al., 2023) je efektivita zahřívání u čejky chocholaté velmi vysoká, a to i při teplotách blízko bodu mrazu. To znamená, že kuřata čejek jsou s velkou pravděpodobností schopna s tepelnou podporou rodičů schopna přežít i krátká období velmi špatného počasí. Zadruhé, efektivita zahřívání je (při srovnatelných teplotách) podstatně nižší v průběhu noci, což indikuje, že v noci (kdy jsou kuřata zahřívána po převážnou většinu času) může mít zahřívání i další efekt, který přímo nesouvisí s termoregulací. Být nehybný a pod rodičem totiž může značným způsobem snížit riziko predace (Yorzinski & Platt, 2012). A zatímco v průběhu dne jsou kuřata ohrožována zejména ptačími predátory, které rodiče mohou efektivně odhánět agresivními nálety (Brynychová et al., 2022; Kis et al., 2000), v průběhu noci je jedinou ochranou před predací nenápadnost (nehybnost) a zvýšená pozornost.

#### 4.2. Vliv habitatu na aktivitu kuřat

Významnou otázkou, kterou jsme s využitím MSD prozkoumali, byly rozdíly v patrnostech aktivity ve vztahu k typu zemědělské plochy, na níž se kuřata v době sledování vyskytovala. Diverzifikované habitaty zemědělské půdy jsme rozdělili na tři kategorie, které byly v rámci studovaného vzorku kuřat zastoupeny relativně rovnoměrně: „suchá pole“, na nichž převažovala kukuřice, „trvalé travní porosty“ zahrnující louky a pastviny a „mokrý pole“, zahrnující rozmanité plochy s přítomností mokřin. S ohledem na habitat jsme zjistili dvě významné patrnosti, které je třeba zde zmínit.

Zaprvé, kuřata byla za dne (ne však v noci) oproti zbylým kategoriím habitatu méně aktivní na suchých polích. To je poměrně zajímavé, neboť jsme očekávali, že suchá pole jsou z potravního hlediska relativně chudá. Zároveň jsme očekávali, že aktivita kuřat bude s potravní úživností obývaného habitatu negativně korelována (tedy že v nejuživnějších habitatech bude kuře schopno nalézt dostatek potravy v nejkratším čase). Abychom uvedenou patrnost rozklíčovali podrobněji, analyzovali jsme zároveň „efektivitu sběru potravy“, počítanou jako váhový přírůstek kuřete na 24 hodin „aktivity“. Tento přepočít je smysluplný zejména s ohledem na to, že kuřata bahňáků skutečně tráví sběrem potravy drtivou většinu času, po který jsou aktivní (Schekkerman & Boele, 2009). Tato analýza ukázala, že zatímco v případě zamokřených lokalit je vyšší aktivita kuřat spojena s větší efektivitou sběru potravy (tedy kuřata tam na jednotku aktivity

rostou nejrychleji), u trvalých travních porostů byla naopak efektivita sběru potravy nejnižší.

Tato patrnost je velmi zajímavá, neboť může napomoci vysvětlit přechod čejek z tradičních hnízdišť na loukách a pastvinách (převažujících do 50 let minulého století) na ornou půdu, která mezi hnízdišti čejek jednoznačně převažuje v současnosti (Šťastný et al., 2021). Tato změna hnízdního prostředí je tradičně dávána do kontextu se změnou druhového složení travních porostů a rychlejším rozvojem porostu v průběhu sezony, ovšem naše zjištění naznačují, že změna k horšímu mohla nastat i s ohledem na množství pro kuřata dostupné potravy. Zajímavé je, že suchá pole se ukázala z hlediska potravní úživnosti spíše jako velmi variabilní než jako nevhodná. To může ukazovat, že i v habitatech typu suchého kukuřičného pole mohou být (např. vlhčí) úseky potravně bohaté. To může rovněž být jedním z důvodů toho, že se na ornou půdu šíří i kulík říční (*Charadrius dubius*) (Cepáková et al., 2007; Vozabulová et al., 2019).

Zde je důležité říci, že potenciál MSD pro zhodnocení potravní efektivity může být podstatný například při zavádění nových přístupů v druhové ochraně. V tomto konkrétním případě může jít o agro-environmentálně klimatické opatření pro čejku na orné půdě (Zámečník, 2023), neboť umožňuje přímo a efektivně studovat potravní vhodnost prostředí, které vzniká v důsledku managementových opatření, coby jednoho z klíčových parametrů efektivity takového opatření s ohledem na naplnění cílů (tedy ochranu populací čejky).

#### 4.3. Načasování hnízdní sezony

Jakkoliv se může zdát, že některé zjištěné patrnosti (například zvyšování aktivity s růstem kuřat) jsou očekávatelné a mohly být zjištěné i bez použití sofistikovaného dataloggeru (například observacemi; Colwell et al., 2007), význam využití MSD je zde zcela zásadní. Důležitým aspektem použité metodiky (tedy souvislého záznamu s využitím multisenzorického dataloggingu) totiž je, že tyto patrnosti umožňuje nejen popsat, ale i přesně kvantifikovat. Pro to je nutné získat dataset, který je nejen rozsáhlý, ale především zahrnuje komplexní kombinaci podmínek, ve kterých se studovaný organismus vyskytuje (například zahrnuje celý 24-hodinový denní cyklus).

Praktickou ukázkou toho, jaký potenciál v tomto ohledu MSD má, je predikce nutnosti zahřívání kuřat rodiči v průběhu sezony (Obr. 7). Predikce jasně ukazuje, že pokud by čejky zahrnily příliš brzy, nově narozená kuřata bude nutné zahřívát po výraznou většinu času, což jim bude značně limitovat dobu nutnou pro sběr potravy. Lze tak považovat za takřka jisté, že by v takovém případě kuřata nebyla schopna si v dostupném čase zajistit dostatek potravy, a to i přesto, že rodiče čejek jsou zahříváním kuřatům evidentně schopny do značné míry kompenzovat jejich zvýšené energetické náklady spojené s pobytem

v chladu (Obr. 6, Tab. 4). Lze tak vysvětlit fakt, že meziroční variabilita v načasování hnízdění u čejek je poměrně malá, a to i přesto, že počasí na přelomu zimy je značně variabilní a čejky jsou zpravidla na hnízdištích přítomny s velkým předstihem (Kubelka et al., 2020). Je přitom nasnadě, že omezením v tomto ohledu je skutečně fáze růstu kuřat není inkubační fáze rozmnožování, neboť čejky jsou schopny efektivně inkubovat i při velmi nízkých teplotách (Kubelka & Šálek, 2013; Sládeček, 2015).

Zajímavým doplněním dat získaných s využitím MSD je potom využití volně dostupných satelitních dat (Obr. 7c). Jakkoliv se v případě této studie jedná o značně zjednodušené využití těchto dat, demonstrujeme s jejich pomocí, že z druhé strany jsou čejky při hnízdění omezeny postupným úbytkem vhodného hnízdního habitatu v průběhu sezony, ke kterému dochází v souvislosti s postupným zarůstáním orné půdy pěstovanými plodinami. Později v sezoně tak sice klimatické podmínky zůstávají velmi vhodné pro odchov kuřat, ale nejsou k dispozici vhodné plochy k zahnízdění. Pro čejky tak v průběhu jara vzniká určité okno příležitosti omezené z jedné strany termoregulačními schopnostmi mláďat a z druhé strany dostupností čejkou akceptovatelného habitatu pro zahnízdění. Syntézu těchto dat tak lze velmi dobře využít pro navržení vhodného ochrannářského managementu, jehož podstatou by v obecné rovině bylo poskytnutí dostatečného vhodného habitatu pro zahnízdění v době, kdy existují vhodné podmínky pro zahnízdění a vyvedení kuřat, ale množství habitatu je limitující.

Na základě uvedených zjištění vyvstává do budoucna řada dalších zajímavých otázek. Například, zda lze variabilitu v načasování hnízdní sezony mezi populacemi napříč hnízdním areálem čejky vysvětlit různými klimatickými podmínkami, nebo zda naopak jsou různé populace rozmanitým klimatickým podmínkám přizpůsobeny (například zda kuřata ze severnějších populací mají rozvinutější schopnosti termoregulace). Vzhledem k tomu že teplotní data i satelitní data o vlastnostech hnízdního habitatu lze získat i zpětně (a to několik desítek let dozadu), bude možné se podívat i na to, jak se „okno příležitosti“ mezi zahříváním kuřat a dostupností vhodného habitatu pro zahnízdění měnilo v různých částech Evropy a v průběhu let spolu s proměnnou zemědělství. Takový pohled umožní mnohem detailnější vhled do interakcí mezi čejkou a jejím hnízdním prostředím a mohl by nám tak umožnit lépe pochopit příčiny úbytku čejek i dalších druhů zemědělské krajiny, jakož i navrhnout efektivní opatření pro jejich ochranu.

## 5. Závěr

Výsledky této příkladové studie demonstrují význam a potenciál využití multisenzorického dataloggeru (MSD) jako mimořádně silného nástroje pro hlubší porozumění chování živočichů a jejich interakcí s prostředím, včetně praktického přesahu do evaluace a navrhování efektivnějšího ochranného managementu. Využití MSD umožnilo nejen klasifikaci aktivit kuřat, ale také detailní kvantifikaci teplotní efektivity zahřívání rodiči, což nám poskytlo důležité informace o potenciálu přežití mláďat v různých klimatických podmínkách. Možnost přesně klasifikovat chování živočichů na základě souvislého záznamu je klíčová a dělá použitou metodiku velmi vhodnou pro predikce a modelování chování živočichů v různých klimatických a jiných podmínkách. Příkladem může být predikce nutnosti zahřívání kuřat v průběhu sezony, která přináší jasnou interpretaci pro načasování hnízdní sezony. V tomto ohledu MSD nejenom poskytuje hlubší pochopení chování čejek, ale zejména otevírá dveře k mnoha novým výzkumným otázkám a možnostem.

## 6. Použitá literatura

- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Baum, L. E., Petrie, T., Soules, G., & Weiss, N. (1970). A maximization technique occurring in the statistical analysis of probabilistic function of Markov chains. *The Annals of Mathematical Statistics*, 41(1), 164–171.
- Bengtsson, J., Ahnström, J., & Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 261–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x>
- Bičík, I., Jeleček, L., & Štěpánek, V. (2001). Land-use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries. *Land Use Policy*, 18, 65–73. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(00)00047-8)
- Brynychová, K., Šálek, M. E., Vozabulová, E., & Sládeček, M. (2020). Daily Rhythms of Female Self-maintenance Correlate with Predation Risk and Male Nest Attendance in a Biparental Wader. *Journal of Biological Rhythms*, 35(5), 489–500. <https://doi.org/10.1177/0748730420940465>

- Brynychová, K., Sládeček, M., Pešková, L., Chajma, P., Elhassan, E., Miroslav, Š., Vozabulová, E., & Janatová, V. (2022). Aggressiveness in a subtropical shorebird's nest defense is adjusted to the predator species and shared by conspecifics. *Aggressive Behavior*, December 2021. <https://doi.org/10.1002/ab.22032>
- Bulla, M., Valcu, M., Dokter, A. M., Dondua, A. G., Kosztolányi, A., Rutten, A. L., Helm, B., Sandercock, B. K., Casler, B., Ens, B. J., Spiegel, C. S., Hassell, C. J., Küpper, C., Minton, C., Burgas, D., Lank, D. B., Payer, D. C., Loktionov, E. Y., Nol, E., ... Kempenaers, B. (2016). Unexpected diversity in socially synchronized rhythms of shorebirds. *Nature*, 540(7631), 109–113. <https://doi.org/10.1038/nature20563>
- Cepáková, E., Šálek, M., Cepák, J., & Albrecht, T. (2007). Breeding of Little Ringed Plovers *Charadrius dubius* in farmland: do nests in fields suffer from predation? *Bird Study*, 54(2), 284–288. <https://doi.org/10.1080/00063650709461487>
- Chen, K. H., Chen, P. C., Liu, K. C., & Chan, C. T. (2015). Wearable sensor-based rehabilitation exercise assessment for knee osteoarthritis. *Sensors (Switzerland)*, 15(2), 4193–4211. <https://doi.org/10.3390/s150204193>
- Colwell, M. A., Hurley, S. J., Hall, J. N., & Dinsmore, S. J. (2007). Age-Related Survival and Behavior of Snowy Plover Chicks. *The Condor*, 109(3), 638–647.
- del Hoyo, J., Elliott, A., & Sargatal, J. (1996). *Handbook of the Birds of the World, vol.3: Hoatzn to Auks*. Lynx Edicions.
- Delcourt, J., Brochier, B., Delvaux, D., Vangeluwe, D., & Poncin, P. (2022). Fox *Vulpes vulpes* population trends in Western Europe during and after the eradication of rabies. *Mammal Review*, 52(3), 343–359. <https://doi.org/10.1111/mam.12289>
- Donald, P. F., Sanderson, F. J., Burfield, I. J., & van Bommel, F. P. J. (2006). Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990-2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.007>
- Dunn, J. C., Hamer, K. C., & Benton, T. G. (2010). Fear for the family has negative consequences: Indirect effects of nest predators on chick growth in a farmland bird. *Journal of Applied Ecology*, 47(5), 994–1002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01856.x>
- Eck, S., Fiebig, J., Fiedler, W., Heynen, I., Nicolai, B., Töpfer, T., & Woog, F. (2011). *Measuring Birds/Vögel Vermessen*. Deutsche Ornithologen-Gesellschaft, Minden.
- Eglington, S. M., Bolton, M., Smart, M. a., Sutherland, W. J., Watkinson, A. R., & Gill, J. a. (2010). Managing water levels on wet grasslands to improve foraging

- conditions for breeding northern lapwing *Vanellus vanellus*. *Journal of Applied Ecology*, 47(2), 451–458. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01783.x>
- Gelman, A., Su, Y.-S., Yajima, M., Hill, J., Pittau, M., Kerman, J., Zheng, T., & Vincent, D. (2016). Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. In *CRAN Repository* (1.8-6.; pp. 1–53). <https://cran.r-project.org/package=arm>
- Harrison, X. A. (2015). A comparison of observation-level random effect and Beta-Binomial models for modelling overdispersion in Binomial data in ecology & evolution. *PeerJ*. <https://doi.org/10.7717/peerj.1114>
- Janoušek, M. (2022). *Fidelity and filopatry of the little ringed plover (Charadrius dubius) in varying conditions of arable land (written in Czech as: Fidelita a filopatrie u kulíka říčního (Charadrius dubius) v proměnlivých podmínkách zemědělské krajiny)* [Diploma thesis]. Czech university of life sciences.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., & Zhang, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101, 366–378. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.003>
- Johansson, O. C., & Blomqvist, D. (1996). Habitat selection and diet of lapwing *Vanellus vanellus* chicks on coastal farmland in S.W. Sweden. *Journal of Applied Ecology*, 33(5), 1030–1040.
- Jokimäki, J., Kaisanlahti-Jokimäki, M. L., & Suhonen, J. (2022). Long-Term Winter Population Trends of Corvids in Relation to Urbanization and Climate at Northern Latitudes. *Animals*, 12(14), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ani12141820>
- Kis, J., Liker, A., & Székely, T. (2000). Nest defence by Lapwings: Observation on natural behaviour and an experiment. *Ardea*, 88(2), 155–164.
- Klomp, H. (2002). The Determination of Clutch-Size in Birds a Review. *Ardea*, 38–90(1–2), 1–124. <https://doi.org/10.5253/arde.v58.p1>
- Kolešková, V., Šálek, M. E., Brynychová, K., Chajma, P., Pešková, L., Elhassan, E., Vozabulová, E. P., Janatová, V., Almuheri, A., & Sládeček, M. (2023). Offspring thermal demands and parental brooding efficiency differ for precocial birds living in contrasting climates. *Frontiers in Zoology*, 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12983-023-00492-1>
- Krijgsveld, K. L., Reneerkens, J. W. H., McNett, G. D., & Ricklefs, R. E. (2003). Time budgets and body temperatures of American Golden-Plover chicks in relation to ambient temperature. *Condor*, 105(2), 268–278. [https://doi.org/10.1650/0010-5422\(2003\)105\[0268:TBABTO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1650/0010-5422(2003)105[0268:TBABTO]2.0.CO;2)



- Kubelka, V., & Šálek, M. (2013). Vliv extrémního počasí na průběh hnízdění čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*) v roce 2013. *Sylvia*, 49, 145–156.
- Kubelka, V., Sládeček, M., & Šálek, M. (2019). Great variability in nest lining size: support for thermoregulation but not for anti-predatory adaptation hypothesis. *Journal of Ornithology*, 160(4), 993–1002. <https://doi.org/10.1007/S10336-019-01670-X>
- Kubelka, V., Sládeček, M., Zámečník, V., Vozabulová, E., & Šálek, M. (2020). Seasonality Predicts Egg Size Better Than Nesting Habitat in a Precocial Shorebird. *Ardea*, 107(3), 239. <https://doi.org/10.5253/arde.v107i3.a4>
- Kubelka, V., Zámečník, V., Slabeyová, K., Škorpíková, V., & Šálek, M. (2018). Threats and conservation of meadow-breeding shorebirds in the Czech Republic and Slovakia. *Wader Study*, 125(3), 164–174. <https://doi.org/10.18194/WS.00124>
- Leos-Barajas, V., Photopoulou, T., Langrock, R., Patterson, T. A., Watanabe, Y. Y., Murgatroyd, M., & Papastamatiou, Y. P. (2017). Analysis of animal accelerometer data using hidden Markov models. *Methods in Ecology and Evolution*, 8, 161–173. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12657>
- Prinzinger, R., Preßmar, A., & Schleucher, E. (1991). Body temperature in birds. *Comparative Biochemistry and Physiology -- Part A: Physiology*, 99(4), 499–506. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(91\)90122-S](https://doi.org/10.1016/0300-9629(91)90122-S)
- R-Core-Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. (3.5.3.). R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
- Reif, J., Storch, D., Voříšek, P., Šťastný, K., & Bejček, V. (2008). Bird-habitat associations predict population trends in central European forest and farmland birds. *Biodiversity and Conservation*, 17(13), 3307–3319. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9430-4>
- Rigal, S., Dakos, V., Alonso, H., Aunış, A., Benkő, Z., Brotons, L., Chodkiewicz, T., Chylarek, P., de Carlil, E., del Moral, J. C., Domşa, C., Escandell, V., Fontaine, B., Foppen, R., Gregory, R., Harriss, S., Herrando, S., Husby, M., Ieronymidou, C., ... Devictor, V. (2023). Farmland practices are driving bird population decline across Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(21), 2023. <https://doi.org/10.1073/pnas>
- Šálek M. (2000). Zemědělská krajina jako hnízdiště bahňáků. In *Sylvia* (Vol. 36, Issue 1, pp. 68–73).
- Šálek, M. E. (1992). Úspěšnost líhnutí snůšek čejky chocholaté *Vanellus vanellus* a příčiny jejich ztrát v zemědělské krajině Budějovické pánve v jižních Čechách. *Panurus*, 19(4), 19–34.

- Šálek, M., & Šmilauer, P. (2002). Predation on Northern Lapwing *Vanellus vanellus* nests: the effect of population density and spatial distribution of nests. *Ardea*, *90*(1), 51–60.
- Schekkerman, H., & Boele, A. (2009). Foraging in precocial chicks of the black-tailed godwit *Limosa limosa*: Vulnerability to weather and prey size. *Journal of Avian Biology*, *40*, 369–379. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2008.04330.x>
- Schielzeth, H. (2010). Simple means to improve the interpretability of regression coefficients. *Methods in Ecology and Evolution*, *1*, 103–113. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2010.00012.x>
- Schielzeth, H., & Forstmeier, W. (2009). Conclusions beyond support: Overconfident estimates in mixed models. *Behavioral Ecology*, *20*(2), 416–420. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn145>
- Sládeček, M. (2015). Vliv individuálních vlastností samic čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*) na kvalitu snůšky, párovací status a inkubační úsilí samce. [Charles University in Prague]. In *Diploma Thesis*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sládeček, M., Brynychová, K., Elhassan, E., Šálek, M. E., Janatová, V., Vozabulová, E., Chajma, P., Firlová, V., Pešková, L., Almuher, A., & Bulla, M. (2021). Diel timing of nest predation changes across breeding season in a subtropical shorebird. *Ecology and Evolution*, *11*(19), 13101–13117. <https://doi.org/10.1002/ece3.8025>
- Sládeček, M., Vozabulová, E., Šálek, M., & Bulla, M. (2019). Diversity of incubation rhythms in a facultatively uniparental shorebird – the Northern Lapwing. *Scientific Reports*, *9*(4706), 324426. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41223-z>
- Šťastný, K., Bejček, V., Mikuláš, I., & Telenský, T. (2021). *Atlas hnízdního rozšíření ptáků v České republice 2014-2017* (I.). Aventinum.
- Stoate, C., & Wilson, P. (2020). Historical and ecological background to the arable habitats of Europe. In *The Changing Status of Arable Habitats in Europe, A Nature Conservation Review*. (pp. 3–13). Springer Nature.
- Teunissen, W., Schekkerman, H., Willems, F., & Majoor, F. (2008). Identifying predators of eggs and chicks of Lapwing *Vanellus vanellus* and Black-tailed Godwit *Limosa limosa* in the Netherlands and the importance of predation on wader reproductive output. *Ibis*, *150*(1), 74–85. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2008.00861.x>

- Tjørve, K. M. C., García-Peña, G. E., & Székely, T. (2009). Chick growth rates in Charadriiformes: Comparative analyses of breeding climate, development mode and parental care. *Journal of Avian Biology*, 40(5), 553–558. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2009.04661.x>
- Van Hees, V. T., Fang, Z., Langford, J., Assah, F., Mohammad, A., Da Silva, I. C. M., Trenell, M. I., White, T., Wareham, N. J., & Brage, S. (2014). Autocalibration of accelerometer data for free-living physical activity assessment using local gravity and temperature: An evaluation on four continents. *Journal of Applied Physiology*, 117(7), 738–744. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00421.2014>
- Vozabulová, E., Sládeček, M., & Šálek, M. (2019). Old habits in a new habitat: breeding requirements of the Little Ringed Plover fit into intensively managed arable land. *Journal of Ornithology*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10336-019-01738-8>
- Wilson, R. P., White, C. R., Quintana, F., Halsey, L. G., Liebsch, N., Martin, G. R., & Butler, P. J. (2006). Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: The case of the cormorant. *Journal of Animal Ecology*, 75(5), 1081–1090. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01127.x>
- Yorzinski, J. L., & Platt, M. L. (2012). The difference between night and day: Antipredator behavior in birds. *Journal of Ethology*, 30, 211–218. <https://doi.org/10.1007/s10164-011-0318-5>
- Zámečník, V. (2023). *Current state and perspectives of the protection of Northern Lapwing in the agricultural landscape*. [Dissertation]. Czech University of life sciences.
- Zámečník, V., Kubelka, V., & Šálek, M. (2017). Visible marking of wader nests to avoid damage by farmers does not increase nest predation. *Bird Conservation International*, 28(2), 293–301. <https://doi.org/10.1017/S0959270916000617>
- Žídková, L., Marková, V., & Adamík, P. (2007). Lapwing, *Vanellus vanellus* chick ringing data indicate a region-wide population decline in the Czech Republic. *Folia Zoologica*, 56(3), 301–306.

## ČÁST III.

Využití metod multisenzorického dataloggingu pro sledování aktivity ježků (*Erinaceus* sp.) v prostředí intravilánu

# Využití metod multisenzorického datalogingu pro sledování aktivity ježků (*Erinaceus* sp.) v prostředí intravilánu

Eva Petrusová Vozabulová, Martin Sládeček, Lucie Pešková, Petr Chajma & Miroslav Šálek

## Abstrakt

Mnoho živočišných druhů se adaptovalo na život ve městě a často zde tvoří větší a hustší populace než ve volné krajině. V urbanizovaném prostředí tyto druhy přizpůsobují svoje chování podmínkám mnohdy velmi odlišným od přírodního prostředí. Města mohou nabídnout větší množství úkrytů, potravních zdrojů a další pozitiva. Negativy jsou naopak nadměrný hluk, hůře prostupný terén (zástavba) či téměř všudypřítomné veřejné osvětlení (ovlivňující především zvířata s noční aktivitou). Jedním ze zvířat běžně se vyskytujících v urbanizovaném prostředí je ježek, který je modelovým druhem této příkladové studie, jež zkoumá využití multisenzorických dataloggerů (MSD) k analýze jejich chování. Během tří let se nám podařilo zoptimalizovat způsob připevnění dataloggeru na ježka, postup při monitoringu a získávání dat v terénu i následné zpracování velmi detailních dat poskytnutých dataloggerem. Jakožto noční druh vykazoval ježek největší aktivitu po západu slunce s vrcholem mezi 2. a 5. hodinou. Jedinci vypuštění ze záchranných stanic ve srovnání s rezidentními jedinci aktivovali v dřívějších hodinách a svou aktivitu i dříve ukončovali. Celková aktivita ježků byla negativně ovlivněna teplotou a množstvím srážek. Proporce noční aktivity se snižovala s délkou noci a zvyšovala se zvyšující se proporcí zástavby a soukromé zeleně v nočním okrsku jedince. Zásadně ovlivnilo aktivitu ježků i umělé osvětlení, kdy se zvyšujícím množstvím umělého osvětlení docházelo ke snížení aktivity zvířat. Vliv aktivity, původu (rekonvalescent či resident) a hmotnosti zvířete neměl vliv na změnu hmotnosti jedince v čase. Datalogger MSD se ukázal jako velmi vhodný nástroj pro sledování ekologických nároků ježků a detekci případných rizik, kterým jsou v urbanizovaném prostředí vystaveni.

**Klíčová slova:** ježek, datalogging, aktivita, urbanizace, zástavba, *Erinaceus*, noční osvětlení

## 1. Úvod

Řada druhů organismů se v současnosti přizpůsobuje životu ve stále se rozšiřující zástavbě měst. Antropogenní faktory provázející městské aglomerace mají vliv na chování živočichů žijících v blízkosti lidských sídel. Může se jednat o faktory s negativním vlivem, jako je hluk, umělé osvětlení, zvýšená disturbance člověkem, automobilová doprava a teplotní extrémy. Avšak lze nalézt i faktory, které mají na živočichy dopad pozitivní, jako jsou nově vytvořené potravní a habitatové příležitosti (Hubert et al. 2011; Rautio 2014).

Ježek (rod *Erinaceus*) je hmyzožravý savec žijící skrytým způsobem života s téměř striktně noční aktivitou. Na území České republiky se vyskytují dva druhy ježků rodu *Erinaceus* – ježek západní (*Erinaceus europaeus*) a ježek východní (*Erinaceus roumanicus*) a oba jsou synantropní. Obecně je většina vědeckých prací zabývajících se chováním ježků zaměřena na ježka západního a recentní behaviorální studie u obou druhů v zásadě chybí (Berndt et al. 2019). V noci tráví samci větší množství času pohybem (samci = 18 % vs samice = 8 %; Riber 2006) a mají obvykle větší teritorium než samice, a to zejména v době páření (Haigh et al. 2013). Samice v noci naopak tráví více času sháněním a konzumací potravy (samci = 58 % vs samice = 72 %; Riber 2006).

Podle Ribera (2006) není počátek a konec noční aktivity ježků přímo spojen se západem a východem slunce a její vrchol je zaznamenán po půlnoci (Ribera 2006, Dowding et al. 2010a). U ježků žijících v urbánním prostředí je pak vyšší popůlnoční aktivita vysvětlována nižší antropogenní disturbancí (např. nadměrný hluk, silniční doprava a pohyb osob) v těchto hodinách (Dowding et al. 2010a). Na aktivitu ježků však mohou mít vliv i další faktory prostředí, jako je teplota a množství srážek. Pozitivní korelace mezi teplotou a popůlnoční aktivitou byla zaznamenána zejména u samic (Dowding et al. 2010a). Ohledně vlivu srážek na aktivitu ježků se ovšem výsledky dosavadních studií rozcházejí, Riber (2006) reportuje nižší aktivitu během deštivých nocí (v rurální oblasti), kdežto Dowding et al. (2010a) nezaznamenali žádný vliv deště na aktivitu ježků (v urbánní oblasti).

Městské prostředí hraje důležitou roli v recentní populační dynamice ježků v Evropě, protože ježčí populace se v současnosti soustředí právě do měst a venkovských sídel a populační denzita je zde tak mnohonásobně vyšší než ve volné krajině (Micol et al. 1994; Young et al. 2006; Hubert et al. 2011; Williams et al. 2015; Pettett et al. 2017). Vyšší denzita populací ježků ve městech je spojována s nižší abundancí jezevců, nově vytvořenými potravními příležitostmi (příkrmováním) a vlidnějším mikroklimatem pro přezimování (Hubert et al. 2011; Rautio 2014). Všeobecně je ovšem populační trend v Evropě klesající (Young et al. 2006; Taucher et al. 2020) a to jak v rurálních, tak v urbánních habitatech, a je proto potřeba těmto druhům věnovat zvýšenou pozornost. Klesající trend ježčích populací je v extravilánu zdůvodňován zejména recentní změnou hospodaření, změnou krajinného rázu, zvýšeným predačním tlakem

vytvářeným lokálně např. rostoucí populací jezevce lesního *Meles meles* (Young et al. 2006) a zvýšeným využíváním insekticidů, mollusticidů a rodenticidů (Dowding et al. 2010b). V intravilánu měst jsou příčinami redukce zelených ploch, zvýšený výskyt nemocí a parazitárních infekcí (Földvári et al. 2011; Taucher et al. 2020).

Na ježky v městském prostředí působí řada antropogenních faktorů, se kterými musí nakládat, např. nadměrný hluk, umělé osvětlení, pohyb osob či automobilová doprava (Rondinini & Doncaster 2002; Rast et al. 2019; Berger et al. 2020), avšak dopady na jejich aktivitu nebyly doposud uspokojivě popsány. Nicméně byla prokázána silná preference ježků pro neosvětlené plochy (Berger et al. 2020), čímž se otevírá prostor pro diskusi o významu a limitujícím vlivu tmavých koridorů pro volný pohyb ježků v městské zástavbě. Vliv umělého osvětlení na návštěvnost a délku doby strávené na krmných stanicích ježků nebyl prokázán (Finch et al. 2020). Disturbance, ovlivňující chování ježků, může být ovšem i krátkodobého rázu, jako například hudební festivaly (Rast et al. 2019).

Ježek je v současnosti nejčastěji přijímaným živočichem v záchranných stanicích. Primárně se jedná o opuštěná (skutečně i domněle), osiřelá, zraněná, vyčerpaná nebo podvyživená mláďata. Drtivá většina jedinců je přijímána v podzimním období s nízkou předhibernační hmotností (Lukešová et al. 2021). Po rehabilitaci jsou ježci vypouštěni zpět do volné přírody, avšak jejich chování a přežívání není dále sledováno. Ježek tedy představuje vhodný model pro využití multisenzorického dataloggeru ke sběru a vyhodnocení dat o vlivu různých antropogenních faktorů na synantropně žijící středně velké savce a o efektivitě jejich ochrany prostřednictvím dočasného držení a následného vypouštění ze záchranných stanic.

Detailnější vhled do života ježků v intravilánu, spolu s poznáním faktorů prostředí ovlivňujících jejich chování, může přispět k vytvoření vhodnějších podmínek pro efektivnější podporu ježčích populací v prostředí silně ovlivněném činností člověka. Chování ježků ve městech bylo studováno přímým pozorováním jedinců s využitím radiotelemetrie (Doncaster et al. 2001; Riber 2006; Dowding et al. 2010a), ale i sledováním jejich pohybu pomocí GPS lokátorů s akcelerometrem (Rast et al. 2019; Berger et al. 2020). Tyto studie nabízejí jen základní podvědomí o distribuci cirkadiánní aktivity ježků a o jejím ovlivnění vnějšími faktory prostředí. Velmi efektivním nástrojem pro sledování aktivity i chování zvířat jsou různé metody monitoringu pomocí multisenzorických dataloggerů připevněných na tělo. Multisenzorický datalogger MSD umožňuje kontinuální záznam aktivity ježků spolu s vybranými fyzikálními ukazateli (teplota, světlo) získávanými s přímou vazbou na sledovaného jedince. To umožňuje detailní zmapování aktivních rytmů a vyhodnocení vlivu faktorů prostředí (např. světla, teploty, srážek, habitatu) na aktivitu ježků. Tyto faktory mohou být příčinou potenciálně konfliktních situací vyplývajících z charakteru silně antropogenizovaného prostředí měst. Jejich detailní kvantifikace umožňuje posoudit limity pro život ježků v tomto prostředí a formulovat vhodná ochranná opatření.

Monitoring chování vypouštěných ježků a sledování průběhu jejich rané aklimatizace v městském prostředí může poskytnout cenné informace využitelné pro úspěšné přežívání vypouštěných jedinců. Dosavadní studie věnující se ježkům vypouštěným ze záchranných stanic jsou zaměřeny zejména na sledování jejich kondice a přesunů v prostoru. I nadále však chybí ucelený popis cirkadiální aktivity a chování ježků během aklimatizace v novém prostředí. Tuto aktivitu je přitom možno monitorovat právě s využitím MSD. Případné odchylky od chování rezidentních jedinců mohou přispět k vysvětlení úspěšnosti/neúspěšnosti jedinců v novém prostředí. Taktéž srovnání aktivity jedinců odchycených ve volné přírodě a jedinců vypuštěných ze záchranných stanic může pomoci odhalit problémy aklimatizace rekonvalescentů po jejich opětovném vypuštění do přírody. V této studii jsme testovali následující predikce:

- (a) Vzhledem k noční aktivitě ježků jsme předpokládali výrazně vyšší aktivitu zvířat v noci, začínající ihned po západu slunce, vrcholící v polovině noci a ustávající s blížícím se východem slunce. Očekávali jsme celkově vyšší aktivitu ježků vypuštěných ze záchranné stanice, neboť vypuštění ježci potřebují delší čas pro hledání potravy a úkrytů, jelikož se v novém prostředí neorientují tak efektivně jako rezidentní ježci. V distribuci noční aktivity jsme nepředpokládali rozdíly mezi ježky z volné přírody a rekonvalescenty. Dále jsme očekávali nižší aktivitu ježků při nepříznivých podmínkách prostředí – především při nízkých teplotách, při kterých může být hledání potravy obtížnější a energetické výdaje jedince vyšší. Dále jsme očekávali, že při kratších nocích budou ježci vzhledem ke kratšímu času pro shánění potravy aktivnější.
- (b) Předpokládali jsme také vyšší aktivitu ježků v oblastech s vyšší mírou zástavby, kde dochází častěji k vyrušení zvířat, a jejich nižší aktivitu v oblastech s vyšší podílem soukromé zeleně (např. zahrad a zahrádkářských kolonií), skýtající více zdrojů potravy.
- (c) Vzhledem k nočnímu způsobu života jsme očekávali, že na aktivitu ježků bude mít vliv umělé osvětlení. Předpokládali jsme tedy vyšší aktivitu zvířat v místech s minimálním osvětlením, a naopak redukci aktivity v místech s umělým osvětlením.
- (d) Očekávali jsme, že oproti rezidentním jedincům bude u vypuštěných jedinců, kteří jsou stresováni novým prostředím a neorientují se v okolních potravních zdrojích, pozorován úbytek váhy při zpětném odchytu.



## 2. Metodika

### 2.1. Odchyt a manipulace se zvířetem

Odchyt volně žijícího ježka je možný při jeho volném pohybu v prostředí nebo na krmné stanici. Odchyt byl prováděn „do ruky“ za využití kožených rukavic jako prevence proti poranění rukou o bodliny.

### 2.2. Sběr doplňkových údajů o monitorovaném jedinci

Po odchytu byl určen druh a pohlaví jedince (Anděra & Gaisler 2012). Ježci byli váženi pomocí digitální váhy při odchytu/vypuštění, kontrolním odchytu a zpětném odchytu. Pro potřeby zápisu údajů o monitorovaných jedincích (Identifikační kód jedince, druh, pohlaví, biometrické údaje, poznámky o jejich chování, osudu), Identifikační kód dataloggeru, habitatu a geoprostorových údajích byl vytvořen formulář ArcgisOnline Survey123. S využitím této aplikace lze terénní zápisy provádět přímo na místě odchytu za využití mobilní aplikace Field maps a to jak online, tak offline.

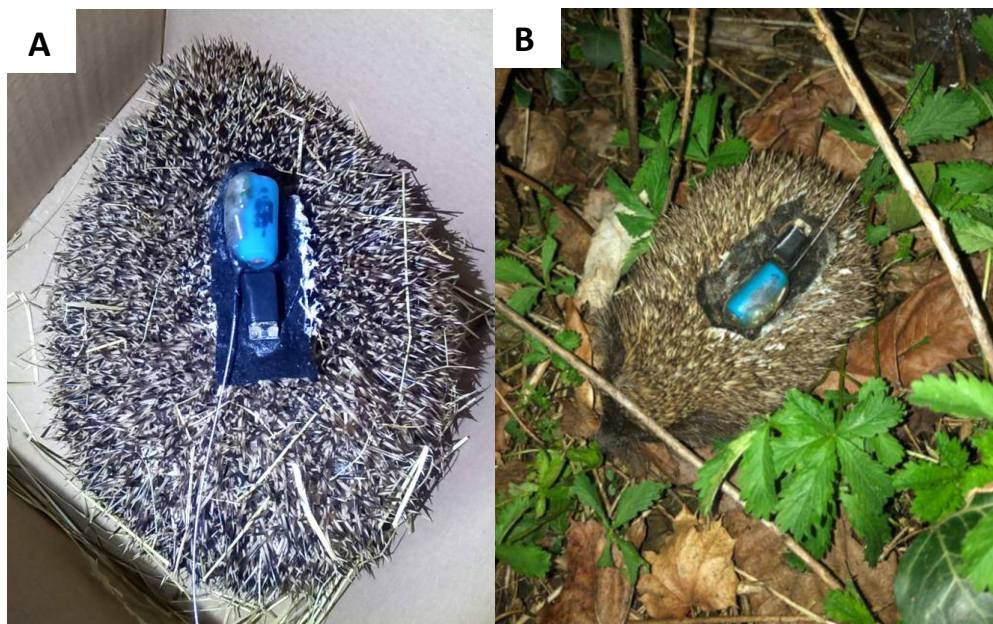
### 2.3. Nastavení dataloggeru

Datalogger byl nastaven a zapnut před jeho připevněním na tělo monitorovaného jedince. Při sběru dat v této studii byl použit multisenzorický datalogger ve verzi DAL o váze ~1.1 g a rozměrech 20.6 x 9.0 x 2.5 mm (viz. Souhrnná výzkumná zpráva – V5; dále jen MSD), který obsahuje akcelerometr (snímající ve třech osách s frekvencí 25 Hz), teplotní a světelný senzor (snímající s frekvencí 1x/1s). Toto nastavení bylo koncipováno s ohledem na úsporu baterie a možnost vyhodnocení aktivitních/neaktivitních úseků chování. Při tomto nastavení byl datalogger schopen ukládat data po dobu 3-4 dnů. Při dlouhodobějším monitoringu byl datalogger vyměněn během kontrolního odchytu. Alternativní konfigurace podle potřeb aktuálního projektu nabízí Metodická příručka (V3).

### 2.4. Metodika připevnění a sejmutí dataloggeru

Před připevněním byl datalogger ze spodní strany opatřen páskou Kapton nebo elektrikářskou izolační páskou, která zajišťovala ochranu dataloggeru před poškozením (především proti zalepení kontaktů pro připojení k PC lepidlem) a usnadnila jeho sejmutí při zpětném odchytu. Lepící páska Kapton se osvědčila u jedinců, kteří měli datalogger připevněný maximálně 4 dny (Obr. 1). Datalogger byl dále připevněn pomocí kvalitního sekundového lepidla k filcové textilií. Při dlouhodobějším monitoringu byl datalogger navíc zajištěn elektrikářskou páskou, která byla vícečetně obtočena kolem dataloggeru (s ohledem na zpřístupnění čidel na dataloggeru, obr. 1). Datalogger s podložkou z filcové textilie byl připevněn dorzokaudálně na krk zvířete do bodlin za využití lepidla

Mamut Den Braven s okamžitou fixací (dle dosavadních testů doporučujeme pouze typ lepidla s okamžitou fixací). Sensorová část dataloggeru byla situována kaudálním směrem. Je třeba dbát na to, aby lepidlo bylo pouze na bodlinách a nedosahovalo ke kůži zvířete, což umožňuje bezproblémové sejmutí zařízení při zpětném odchytu a minimální negativní dopad na zvíře. Po připevnění zařízení jsme ponechali zvíře minimálně 25 min v klidu před samotným vypuštěním (čas potřebný k fixaci lepidla). Před vypuštěním zvířete byla ověřena pevnost připevnění zařízení v bodlinách. Vzhledem k tomu, že MSD (ve verzi DAL) nedisponuje vysílačem, bylo pro zajištění zpětného dohledání sledovaného jedince nutné MSD kombinovat s radiovým vysílačem připevněným na filcovou textilií obdobným způsobem jako datalogger (viz obr.1). Při kontrolním odchytu ježka byl odstraněn MSD z filcové textilie a vyměněn za jiný, radiový vysílač byl ponechán beze změn, vzhledem k dlouhé výdrži baterie zvolené vysílačky (obvykle 6-8 týdnů). Při zpětném odchytu byla odejmuta celá výbava (MSD, vysílačka, textilie, lepidlo) odstríháním bodlin manikúrními nůžkami. Během studie nebylo žádné zvíře zraněno v důsledku manipulace a instalace sledovacích zařízení.



**Obr. 1:** Upevnění dataloggeru a vysílače na sledovaném jedinci (A), jedinec s dataloggerem po vypuštění (B).

## 2.5. Monitoring zvířete a zpětný odchyt

Pro zpětné dohledání byl odzkoušen model radiového vysílače Lotek Backpack TW-3 o váze 11,5 g a frekvencí 150 MHz s intervalem signálu 1x/2s. Pro příjem signálu byl použit přijímač Lotek Biotracker VHF Receiver. Je nutné počítat s tím,

že kombinace skrytého způsobu života ježků a prostředí, ve kterém probíhá monitoring (množství zástavby a překážek), ovlivňuje kvalitu signálu a spolehlivost zaměření. Je proto důležité zajistit radiový vysílač o dostatečné síle signálu a dosahu. Z dat získaných při této příkladové studii vyplynulo, že je vhodné zaměřovat signál alespoň 1x za 24/48 hodin, aby mohl být ježek spolehlivě dohledáván i během případného přesunu na větší vzdálenost. Toto zaměření lze provádět bez manipulace s ježkem a jeho rušení z větší vzdálenosti. Pro spolehlivou lokalizaci jedince v členitém a špatně prostupném prostředí, bylo potřeba tuto polohu stanovit triangulací, tj. zaměřením z nejméně tří zaměřovacích bodů s cílem určit přesný průsečík směrů signálu, a tedy reálnou polohu jedince.

## 2.6. Sběr dat pro příkladovou studii

V letech 2021 a 2022 probíhal monitoring ježků v období od konce dubna do začátku července. Monitorováni byli rezidentní jedinci odchycení v místě monitoringu a rekonvalescenti, pocházející ze Záchrané stanice pro volně žijící živočichy hl. města Prahy. Zvířata byla monitorována minimálně 3 a maximálně 43 dní. Jedinci byli zaměřováni pomocí radiotelemetrického vysílače v časovém rozmezí 1 až 5 dní. Monitoring probíhal na 5 lokalitách na území města Prahy s odlišným podílem sledovaných habitatů a na jedné lokalitě mimo městský intravilán (Čihadla u Lysé nad Labem).

Celkem bylo sledováno 43 ježků, z toho 27 jedinců (17 samic, 10 samců) bylo úspěšně monitorováno pomocí multisenzorického dataloggingu a zahrnuto do analýzy. Z toho bylo 20 jedinců (12 samic a 8 samců) odchyceno v lokalitě výskytu (residenti), sedm jedinců (5 samic a 2 samci) pocházelo ze záchrané stanice. Byli vypuštěni po zimní rekonvalescenci v místě zájmových lokalit. Všichni jedinci (kromě jedné samice ježka západního vypuštěné v rurální lokalitě Čihadla) patřili ke druhu ježka východního a byli monitorováni na území hl. města Prahy.

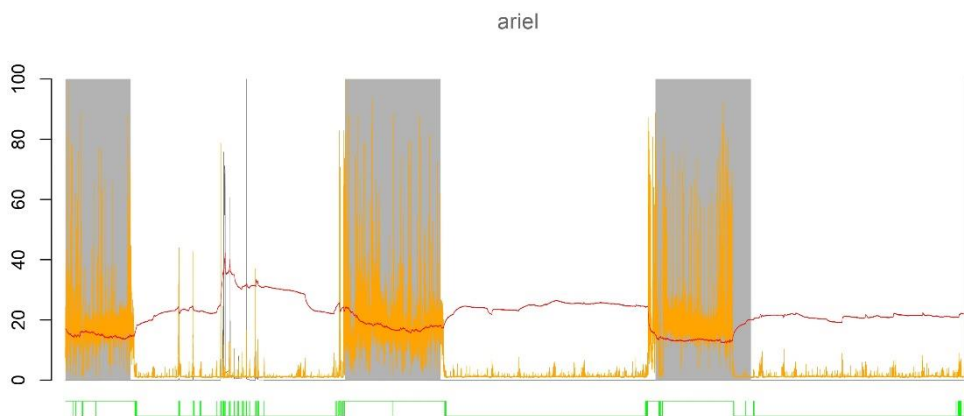
Jeden jedinec (rekonvalescent Napoleon) byl nalezen mrtev, bez známek predace. U 13 jedinců došlo ke ztrátě dataloggeru. U ostatních jedinců nezahrnutých do analýzy (3) došlo k poruše nebo špatnému nastavení dataloggeru a tudíž nebyla získána multisenzorická data využitelná ve studii.

## 2.7. Obecná příprava dat

Příprava dat a veškeré statistické analýzy byly prováděny v programu R 4.1.1. (R Core Team 2021). Vzhledem k možnému vlivu odchyty na chování jedince byla z datasetu odebrána data 60 min po vypuštění jedince a 30 min před odchycením jedince. Akcelerometrická data byla předběžně zpracována v několika krocích. Pro minimalizaci kalibrační chyby akcelerometru byl použit iterační proces autokalibrace s fitováním nejbližšího bodu, jak doporučují van Hees et al. (2014). Pro odstranění gravitační části zrychlení byla akcelerometrická měření

vyhlazena ve všech třech osách mediánovým filtrem s mezní frekvencí 0,2 Hz a dále byla vyhlazena měření ze surových dat (tj. high-pass filtr). Pro odstranění náhodného šumu přítomného ve všech sensorických datech byla data vyhlazena posunutím mediánového filtru s mezní frekvencí 2 Hz (tj. Lowpass filtr; Chen et al. 2015).

Akcelerometrická data byla zpracována jako *Overall Dynamic Body Acceleration* (ODBA; Wilson et al. 2006), dle vzorce  $ODBA = |Ax| + |Ay| + |Az|$ , představující míru agregovaného zrychlení jedince součtem absolutních hodnot dynamických částí zrychlení všech os. Pro snížení výpočetní náročnosti při následném zpracování dat byla agregována měření ODBA, teploty a úrovně osvětlení průměrováním v periodách 5 s. Proporce aktivity je vyjádřena časovými úseky (*bouty*) aktivity a neaktivity definovanými s využitím Skrytých Markovových Modelů - *Hidden Markov Model* (dále „HMM“ viz. Metodická příručka - V3 ) Obr. 2).



**Obr. 2:** Data získaná z dataloggeru připevněného na ježkovi východním: červeně teplota (°C), černě světlo (lux), oranžově ODBA, šedě vyznačená noc, zeleně aktivita zpracovaná pomocí HMM.

## 2.8. Statistická analýza

Jako hodnoty ambientní teploty a úhrnu srážek byla použita měření z meteorologické stanice Praha Suchdol (Meteorologická stanice České zemědělské univerzity v Praze, <https://meteostanice.agrobiologie.cz/>). Vliv faktorů na konkrétní studovanou proměnnou byl analyzován s využitím smíšených zobecněných lineárních modelů pro binomická data s logit link funkcí. Všechny spojitě vysvětlující proměnné s výjimkou času v rámci dne byly v modelech z-standardizovány (tj. byl odečten průměr a hodnoty byly vyděleny směrodatnou odchylkou). Protože od každého jedince bylo získáno více měření, byl v modelech zohledněn náhodný efekt ID jedince (intercept). Čas použitý v modelech je vždy transformovaný na radiány s využitím vzorce  $(2 \cdot \pi \cdot \text{čas}) / 24$  a do modelů je vkládán jako sinus a cosinus radiánů (Kolešková et al. 2023). Pokud

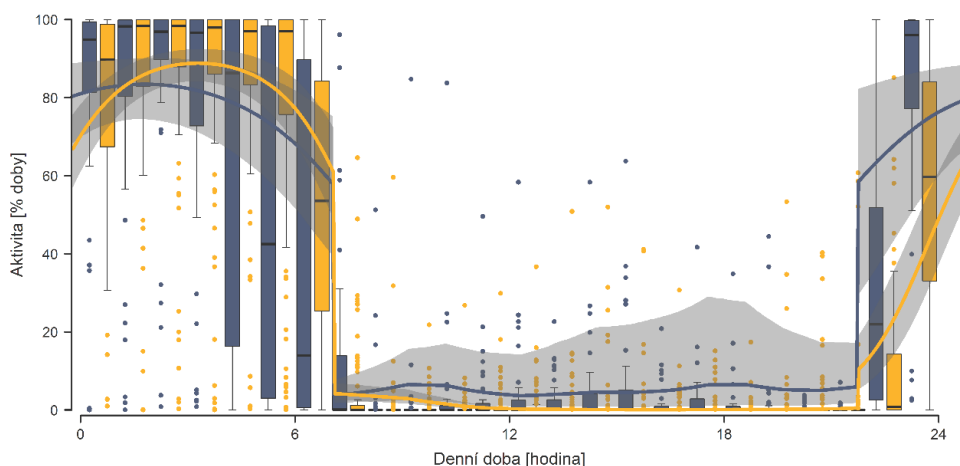
je v modelu uvedena noc: ano/ne, je k dané hodině přiřazena dle toho, zda se většina dané hodiny nacházela v období po západu/před východem slunce či nikoliv. Použité vysvětlované a vysvětlující proměnné v modelech jsou vždy uvedeny níže.

Při testování cirkadiálního rytmu a faktorů, které ovlivňují hodinovou proporcí aktivity ježků byla vysvětlovaná proměnná vyjádřena jako proporce aktivity pro každou hodinu. Vysvětlujícími proměnnými byl čas v rámci dne, noc (ano/ne), průměrná ambientní teplota v dané hodině (°C), průměrný hodinový úhrn srážek (mm/h), status jedince (resident/rekonvalescent), pohlaví (samec/samice) a hmotnost při prvním vážení (g). V rámci jedince (ID – identifikační kód jedince) bylo rovněž kontrolováno na náhodné sklony pro sinus a cosinus denní doby. Pro analýzu celkové noční aktivity byla vysvětlovaná proměnná vyjádřena jako celková proporce aktivity v noci (od západu do východu slunce). Vysvětlující proměnnou byla délka noci pro danou noc (od západu do východu slunce), průměrná ambientní teplota/noc, celkový úhrn srážek/noc, status, pohlaví a hmotnost. Při testování vlivu habitatu na proporcí celkové noční aktivity byla vysvětlovanou proměnnou proporce celkové noční aktivity vztahená ke konkrétnímu datu se zaměřenou polohou. Vysvětlující proměnnou byla proporce jednotlivých habitatů (budovy = budovy a vodní plochy; plochy = parkoviště, silnice, chodníky, hřiště, staveniště, sportoviště; soukromá zeleň = zahrady, zahrádkářské kolonie, hřbitov; veřejná zeleň = ostatní zelené plochy; les a remíz) v rámci oblasti odpovídající velikosti teritoria, ve které se ježek pohybuje během jedné noci dle (Dowding et al. 2010a). Přítomnost ježka ve tmě a ve světle umělého osvětlení byla predikována pomocí hodnot světelného senzoru MSD. Tma byla definována dle Bird & Parker (2014) jako hodnota pod 1,5 lux. Přítomnost ježka pod slabším a silným umělým osvětlením nebo v jeho bezprostřední blízkosti byla definována dle Daviese et al. (2012) a Gastona et al. (2014) jako hodnota >10 lux. Počet luxů byla násoben průměrným regresním koeficientem vztahu mezi měřeními dataloggeru a měřeními získanými luxmetrem (viz. Souhrnná výzkumná zpráva – V5). Pro odfiltrování nízkých světelných hodnot přítomných krátce po západu a před východem slunce byl dataset zkrácen o 30 min po západu a 30 min před východem slunce. Pro analýzu faktorů ovlivňujících změnu hmotnosti jedinců v čase byl využit Gaussovský model. Vysvětlovanou proměnnou byla relativní změna hmotnosti (změna hmotnosti [g]/doba expozice [h]), vysvětlující proměnné představovaly proporce celkové cirkadiální aktivity, status a hmotnost jedince.

### 3. Výsledky

#### 3.1. Cirkadiánní rytmus a faktory ovlivňující hodinovou proporci aktivity

Cirkadiánní rytmus byl výrazně ovlivněn noční aktivitou. Noční aktivita začínala přibližně s 22. až 23. hodinou, vrcholila mezi 2. a 5. hodinou ranní a ustávala mezi 6. a 7. hodinou ranní. Rekonvalescenti vykazovali nižší celkovou proporci cirkadiánní aktivity a značně se lišila její distribuce oproti rezidentům. Rekonvalescenti začínali aktivovat v dřívějších večerních hodinách a ukončovali aktivitu dříve v ranních hodinách, zároveň oproti rezidentním jedincům vykazovali vyšší denní aktivitu (Obr. 3).



**Obr. 3:** Aktivita ježků v závislosti na denní době. Revidenti jsou znázorněni žlutou barvou a rekonvalescenti modrou barvou.

V průběhu nočních hodin byla míra aktivity nepřímě úměrná okolní teplotě a srážkám. Naopak v průběhu denních hodin srážky i vyšší okolní teplota zvyšovaly celkově malou míru aktivity. Podobně byla míra aktivity v průběhu denních hodin pozitivně korelována s hmotností jedince (Tab 1.).

**Tab. 1:** Cirkadiánní proporce aktivity: výsledky modelu

Response	Typ efektu	Efekt	95% CrI				
			Odhad	2,5%	97,5%		
% Aktivita	Pevný	Intercept	0,02	-0,834	0,887		
		Pohlaví (M)	-0,346	-0,829	0,134		
		Sin (24 hod.)	0,824	-0,152	1,75		
		<b>Rezident</b>	<b>-1,686</b>	<b>-2,694</b>	<b>-0,708</b>		
		<b>Cos (24 hod.)</b>	<b>1,486</b>	<b>0,833</b>	<b>2,16</b>		
		<b>Den</b>	<b>-2,652</b>	<b>-2,728</b>	<b>-2,575</b>		
		<b>Okolní teplota</b>	<b>-0,085</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,04</b>		
		<b>Srážky</b>	<b>-0,015</b>	<b>-0,026</b>	<b>-0,005</b>		
		Váha	-0,093	-0,35	0,153		
		<b>Sin (24 hod.): Rezident</b>	<b>2,133</b>	<b>1,051</b>	<b>3,273</b>		
		<b>Cos (24 hod.): Rezident</b>	<b>0,963</b>	<b>0,189</b>	<b>1,761</b>		
		<b>Den: Okolní teplota</b>	<b>1,123</b>	<b>1,052</b>	<b>1,192</b>		
		<b>Den: Srážky</b>	<b>0,317</b>	<b>0,257</b>	<b>0,379</b>		
		<b>Den: Váha</b>	<b>0,488</b>	<b>0,412</b>	<b>0,566</b>		
		% rozptylu	Náhodný	ID jedince: (Intercept)	34 %		
				Sin (24 hod.)	44 %		
Cos (24 hod.)	22 %						

Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'glmer' (Bates et al., 2015) pro data s binomickým rozdělením a logit link funkcí. Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

### 3.2. Celková noční aktivita

Byl prokázán statisticky významný vliv délky noci na proporce celkové noční aktivity (od západu do východu slunce), kdy se s prodlužující délkou noci snižovala proporce noční aktivity (Tab. 2).

**Tab. 2:** Noční aktivita ježků: výsledky modelu

Response	Typ efektu	Efekt	95% CrI		
			Odhad	2,5%	97,5%
% Aktivita	Pevný	Intercept	1,406	0,689	2,119
		<b>Pohlaví (M)</b>	<b>-0,644</b>	<b>-1,288</b>	<b>-0,003</b>
		Rezident	-0,019	-0,816	0,731
		Okolní teplota	0,144	-0,212	0,519
		Srážky	-0,701	-1,849	0,474
		Váha	-0,367	-0,746	0,02
		<b>Délka noci</b>	<b>-0,169</b>	<b>-0,258</b>	<b>-0,083</b>
	Náhodný	ID jedince: (Intercept)	10 %		
	% rozptylu	Okolní teplota	14 %		
		Srážky	75 %		

Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'glmer' (Bates et al., 2015) pro data s binomickým rozdělením a logit link funkcí. Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

**Tab. 3:** Environmentální proměnné ovlivňující aktivitu ježků: výsledky modelu

Response	Typ efektu	Efekt	95% CrI		
			Odhad	2,5%	97,5%
% Aktivita	Pevný	<b>Intercept</b>	<b>1,362</b>	<b>1,01</b>	<b>1,716</b>
		<b>Budovy</b>	<b>0,193</b>	<b>0,08</b>	<b>0,305</b>
		<b>Soukromá zeleň</b>	<b>0,361</b>	<b>0,223</b>	<b>0,495</b>
		Plochy	0,084	-0,033	0,197
	Náhodný	ID jedince: (Intercept)	100%		

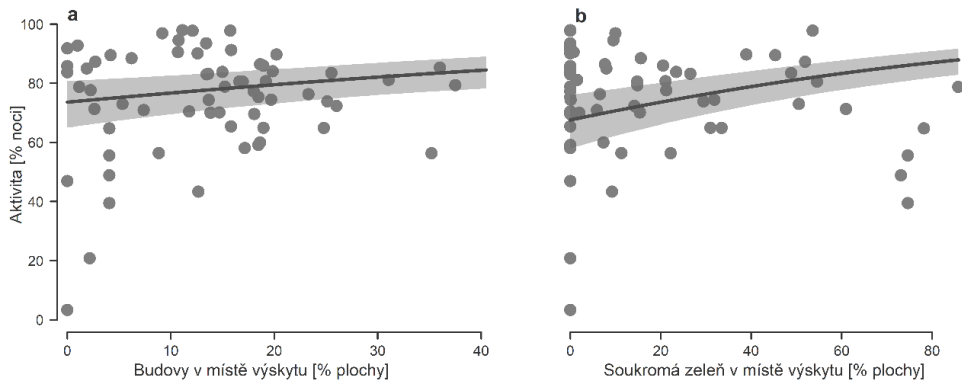
Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'glmer' (Bates et al., 2015) pro data s binomickým rozdělením a logit link funkcí. Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.

### 3.3. Vliv habitatu na proporce celkové noční aktivity

Byl prokázán statisticky signifikantní pozitivní vliv proporce budov a soukromé zeleně na proporce celkové noční aktivity (Tab. 3). Vyšší proporce budov



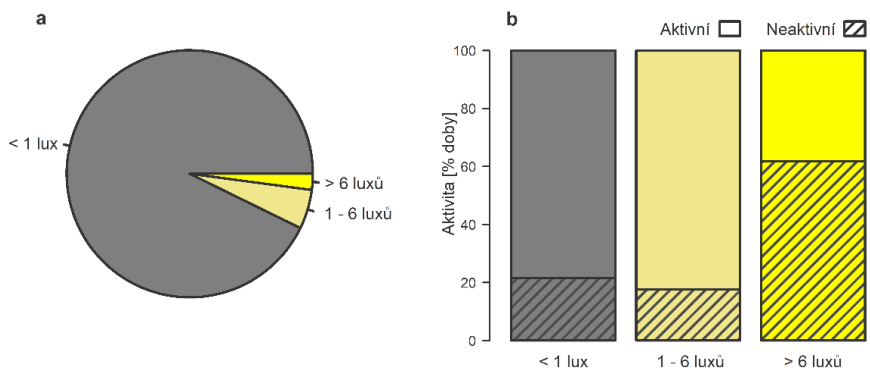
a soukromé zeleně v nočním okrsku jedince je tak spojena s vyšší celkovou proporcí noční aktivity jedince (Obr. 4).



**Obr. 4:** Závislost aktivity ježků na a) velikosti zastavěné plochy v místě výskytu, b) velikosti plochy se soukromou zelení v místě výskytu.

### 3.4. Pobyt pod umělým osvětlením

Během noci ježci trávili 92 % času v prostředí s naměřeným osvětlením pod 1 lux (tma), 5 % času v prostředí s naměřeným osvětlením 1 - 6 lux (slabé umělé osvětlení) a 2% času v prostředí s naměřenými osvětlením větším než 6 lux (silné umělé osvětlení) (Obr. 5 a). Ježci vykazovali výrazně vyšší podíl aktivity oproti neaktivitě v prostředí tmy s osvětlením pod 1 lux (78 % času aktivní) a v prostředí přitmní s osvětlením 1 - 6 luxů (82 % času aktivní), oproti tomu během času stráveného v silně osvětleném prostředí ježci vykazovali nižší podíl aktivity oproti neaktivitě (38 % času aktivní) viz. Obr. 5 (b).



**Obr. 5:** Proporce času stráveného při různých světelných podmínkách (a). Podíl aktivity/neaktivity při různých světelných podmínkách během noci (b).

### 3.5. Změna hmotnosti

Nebyl prokázán vliv žádného z faktorů (proporce celkové noční aktivity, původ, hmotnost jedince) na změny v hmotnosti jedinců v čase (Tab. 4).

**Tab. 4:** Faktory ovlivňující změnu hmotnosti: výsledky modelu

Response	Typ efektu	Efekt	95% CrI		
			Odhad	2,5%	97,5%
Změna hmotnosti	Pevný	<b>Intercept</b>	<b>-0,511</b>	<b>-1,029</b>	<b>-0,019</b>
		Proporce aktivity	0,123	-0,066	0,317
		Rezident	0,586	-0,045	1,211
		Váha	0,237	-0,107	0,581
	Náhodný	ID jedince: (Intercept)	42 %		
	% rozptylu	Reziduální	58 %		

*Posteriorní odhady (mediány) velikostí efektů s 95% intervaly věrohodnosti (CrI) z posteriorního rozdělení 5000 simulovaných hodnot generovaných funkcí "sim" v R (Gelman et al., 2016). Komponenty rozptylu byly odhadnuty pomocí funkce 'lmer' (Bates et al., 2015). Spojité prediktory a náhodný sklon byly z-transformovány (odečtena střední hodnota a vyděleno směrodatnou odchylkou). Efekty, jejichž 95% intervaly věrohodnosti nezahrnují nulu, jsou zvýrazněny tučně.*

## 4. Diskuse

V této příkladové studii jsme poukázali na vybrané možnosti využití MSD při sledování (monitoringu) ekologických nároků ježků a rizik jejich přežívání v synantropním prostředí. Kontinuální několikadenní sběr dat u každého jedince umožnil rozdělit sebraný dataset po libovolných časových úsecích (v našem případě hodinách v průběhu 24 hodinového cyklu) a v těchto úsecích posuzovat vliv několika současně zaznamenávaných ukazatelů. Akcelerometrická data nabídla možnost kvantifikovat podíl času, který daný jedinec trávil aktivitou (sběrem potravy a přesuny), další senzory zajistily představu o teplotě prostředí a světelných podmínkách (světelném znečištění navštívených stanovišť v průběhu noci) ve stejných časových úsecích.

Modelování vztahu aktivity (resp. podílu času tráveného aktivitou) a jeho prediktorů (denní doby, teploty, světla) v souhrnných datech odhalilo převážně noční aktivitu ježků mezi 22:00 a 7:00 hod s vrcholem aktivity mezi 2:00 a 5:00 hod. V noci byli ježci méně aktivní za vyšších teplot a za deště, ve dne tomu bylo naopak. Aktivita převažovala za tmy, naopak pod silným osvětlením významně klesala a snižovala se rovněž s prodlužující se nocí. Doplnující údaje o habitatu a telemetricky zaměřené poloze jedinců ukázaly, že vyšší podíl budov a soukromé

zeleně v nočním okrsku ježků (tj. atributů nepřímo poukazujících na více překážek pro volný pohyb a sběr potravy, více nočního osvětlení a rušení na úkor klidných volných prostranství bez rušivých vlivů) nutí ježky k vyšší noční aktivitě v městské zástavbě. Doplňující údaje o jedincích (hmotnost, původ) umožnily posoudit další důležité okolnosti ovlivňující aktivitu ježků. Ukázalo se, že těžší (a tedy patrně kondičně vybavenější) jedinci byli aktivnější než jedinci s nízkou hmotností a také, že rekonvalescenti vypuštění v novém prostředí po pobytu v záchranné stanici měli poněkud odlišné aktivitní schéma než jedinci odchycení ve volné přírodě, kteří byli po osazení vypuštění v místě odchytu. Rekonvalescenti byli méně aktivní v noci, zato více aktivní ve dne, a zároveň vykazovali režim aktivity celkově posunutý na časnější začátek i konec. Tento posun může být zdrojem rizik pro takto aktivující ježky, např. podvečerní zvýšenou silniční dopravou.

V této studii se podařilo zoptimalizovat postup umožňující studium aktivity ježků, jenž je v praxi velmi jednoduše aplikovatelný. Podařilo se optimalizovat způsob připevnění MSD (popřípadě vysílačky) v závislosti na počtu dní sběru dat (krátkodobé vs dlouhodobé sledování zvířat). Toto připevnění nemělo na zkoumaná zvířata žádný pozorovatelný negativní vliv.

Při dodržení navržených doporučení a specifikací podle Metodické příručky (V3) jsou odchyt, manipulace s ježkem a získání dostatečného vzorku dat bezproblémové. Další zkušenosti získané během práce na této studii vedly k několika užitečným metodickým doporučením. Pro smysluplný monitoring ježků je potřeba důsledně zaměřovat zvířata nejméně jednou denně, jedince vypuštěné ze záchranných stanic spíše vícekrát denně. Je důležité zvolit vhodný radiový vysílač v závislosti na velikosti zvířete (do 5 % jeho hmotnosti) a náročnosti terénu (intenzitě rušení). Pro výzkumné otázky specifikované v této studii je možno doporučit nastavení (viz. Metodická příručka – V3) s nižší frekvencí snímání akcelerometru (např. 12.5Hz) a vzhledem k použité agregaci dat při zpracování, lze použít dávkování sběru dat po 5 sekundách v zájmu úspory baterie a paměti. Pro sledování faktorů prostředí lze doporučit ředění sběru teplotních, případně vlhkostních dat, např. 1 x/20 min. Pokud nás zajímá například pouze pohyb ježka pod umělým osvětlením, je možné redukovat snímání světelného senzoru v době, kdy není nutný intenzivní sběr dat o intenzitě světla (například 1 x/5 s) a použití světelného triggeru v nočních hodinách s cílem zvýšit množství sebraných dat o intenzitě světla v době kdy světelný senzor zaznamená vyšší počet luxů poukazující na pohyb pod umělým osvětlením (> 1 lux). Kombinace senzorů a modelování pomocí HMM

umožňují detekovat základní algoritmy chování jako je aktivita/neaktivita, které je možné vsadit do kontextu s měřenými ukazateli prostředí. Míra detailního vhledu je přitom úměrná vynaloženému úsilí sběru dat, tj. jemnosti škálování habitatu a dále frekvenci a přesnosti (spolehlivosti) lokací jedinců během celého 24hodinového cyklu.

## 5. Závěr

Výsledky získané navrženým způsobem mohou nabídnout velmi detailní vhled do ekologických nároků monitorovaných živočichů a upozornit na rizika, kterým jsou vystaveni v různých habitatech nebo která souvisejí s dalšími atributy jedinců (v této příkladové studii hmotnost a původ jedinců). Multisenzorický datalogging se ukázal jako vhodný nástroj pro zodpovězení řady ekologických otázek. Předložené poznatky o odchytu, připevnění a nastavení dataloggeru, zpracování a vyhodnocení dat mohou být užitečné při využití tohoto zařízení ke studiu jiných druhů a mohou sloužit jako základ pro návrh konkrétních ochranných opatření.

## 6. Použitá literatura

- Anděra, M., & Gaisler, J. (2012). Savci České Republiky: Popis, Rozšíření, Ekologie, Ochrana. Academia. Isbn 978-80-200-2185-4.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. Doi:10.18637/jss.v067.i01
- Berger, A., Lozano, B., Barthel, L. M., & Schubert, N. (2020). Moving in the dark—evidence for an influence of artificial light at night on the movement behaviour of European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Animals*, 10(8), 1306. Doi:10.3390/Ani10081306
- Mihály, B., Lukács, A., Oláh B. K., & Farkas, A. (2019). Urban Hedgehogs (*Erinaceus Roumanicus*) In Budapest: Live Or Let Die. *Hungarian Agricultural Reserch*. 28(September), 20–26.
- Bird, S., & Parker, J. (2014). Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females. *Journal of Insect Conservation*, 18, 737-743. Doi:10.1007/S10841-014-9664-2
- Davies, T. W., Bennie, J., & Gaston, K. J. (2012). Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology letters*, 8(5), 764-767. Doi:10.1098/Rsbl.2012.0216
- Dowding, C. V., Harris, S., Poulton, S., & Baker, P. J. (2010a). Nocturnal ranging behaviour of urban hedgehogs, *Erinaceus europaeus*, in relation to risk

- and reward. *Animal Behaviour*, 80(1), 13-21. Doi:10.1016/J.Anbehav.2010.04.007
- Dowding, C. V., Shore, R. F., Worgan, A., Baker, P. J., & Harris, S. (2010b). Accumulation of anticoagulant rodenticides in a non-target insectivore, the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*). *Environmental Pollution*, 158(1), 161-166. Doi:10.1016/J.Envpol.2009.07.017
- Finch, D., Smith, B. R., Marshall, C., Coomber, F. G., Kubasiewicz, L. M., Anderson, M., ... & Mathews, F. (2020). Effects of Artificial Light at Night (ALAN) on European hedgehog activity at supplementary feeding stations. *Animals*, 10(5), 768. Doi:10.3390/Ani10050768
- Földvári, G., Rigó, K., Jablonszky, M., Biró, N., Majoros, G., Molnár, V., & Tóth, M. (2011). Ticks and the city: ectoparasites of the Northern white-breasted hedgehog (*Erinaceus roumanicus*) in an urban park. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 2(4), 231-234. Doi:10.1016/J.Ttbdis.2011.09.001.
- Gaston, K. J., Duffy, J. P., Gaston, S., Bennie, J., & Davies, T. W. (2014). Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. *Oecologia*, 176, 917-931. Doi:10.1007/S00442-014-3088-2
- Gelman, A., Su, Y.-S., Yajima, M., Hill, J., Pittau, M., Kerman, J., Zheng, T., & Vincent, D. (2016). Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. In CRAN Repository (1.8-6.; pp. 1-53). <https://cran.r-project.org/package=arm>
- Haigh, A., O'Riordan, R. M., & Butler, F. (2013). Habitat selection, philopatry and spatial segregation in rural Irish hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Mammalia*, 77(2), 163-172. Doi:10.1515/Mammalia-2012-0094
- Hubert, P., Julliard, R., Biagiatti, S., & Poulle, M. L. (2011). Ecological factors driving the higher hedgehog (*Erinaceus europeus*) density in an urban area compared to the adjacent rural area. *Landscape and Urban Planning*, 103(1), 34-43. Doi:10.1016/J.Landurbplan.2011.05.010
- Chen, K. H., Chen, P. C., Liu, K. C., & Chan, C. T. (2015). Wearable sensor-based rehabilitation exercise assessment for knee osteoarthritis. *Sensors*, 15(2), 4193-4211. Doi:10.3390/S150204193
- Kolešková, V., Šálek, M. E., Brynychová, K., Chajma, P., Pešková, L., Elhassan, E., ... & Sládeček, M. (2023). Offspring thermal demands and parental brooding efficiency differ for precocial birds living in contrasting climates. *Frontiers in Zoology*, 20(1), 1-14. Doi:10.1186/S12983-023-00492-1

- Lukešová, G., Voslarova, E., Vecerek, V., & Vucinic, M. (2021). Trends in intake and outcomes for European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) in the Czech rescue centers. *PLoS One*, 16(3), e0248422.
- Micol, T., Doncaster, C. P., & Mackinlay, L. A. (1994). Correlates of local variation in the abundance of hedgehogs *Erinaceus europaeus*. *Journal of Animal Ecology*, 851-860. Doi:10.2307/5262
- Doncaster, C. P., Carlo, R., & Paul C. D. J. (2001). Field test for environmental correlates of dispersal in hedgehogs *Erinaceus europaeus*. *Journal of Animal Ecology*, 70(1), 33-46. Doi:10.1046/J.1365-2656.2001.00471.X
- Pettett, C. E., Moorhouse, T. P., Johnson, P. J., & Macdonald, D. W. (2017). Factors affecting hedgehog (*Erinaceus europaeus*) attraction to rural villages in arable landscapes. *European Journal of Wildlife Research*, 63, 1-12. Doi:10.1007/S10344-017-1113-6
- R Core Team (2021). R: A Language And Environment For Statistical Computing. R Foundation For Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org/>.
- Rast, W., Barthel, L. M., & Berger, A. (2019). Music festival makes Hedgehogs move: How individuals cope behaviorally in response to human-induced stressors. *Animals*, 9(7), 455. Doi:10.3390/Ani9070455
- Rautio, A. (2014). On The Northern Edge: Ecology Of Urban Hedgehogs In Eastern Finland [Phd Thesis]. Itä-Suomen Yliopisto.
- Riber, A.B. (2006). Habitat use and behaviour of European hedgehog *Erinaceus europaeus* in a Danish rural area. *Acta Theriologica*, 51, 363-371.
- Rondinini, C., & Doncaster, C. P. (2002). Roads as barriers to movement for hedgehogs. *Functional Ecology*, 16(4), 504-509. Doi:10.1046/J.1365-2435.2002.00651.X
- Taucher, A. L., Gloor, S., Dietrich, A., Geiger, M., Heggin, D., & Bontadina, F. (2020). Decline in distribution and abundance: urban hedgehogs under pressure. *Animals*, 10(9), 1606. Doi:10.3390/Ani10091606
- Van Hees, V. T., Fang, Z., Langford, J., Assah, F., Mohammad, A., Da Silva, I. C., ... & Brage, S. (2014). Autocalibration of accelerometer data for free-living physical activity assessment using local gravity and temperature: an evaluation on four continents. *Journal of applied physiology*, 117(7), 738-744. Doi:10.1152/Jappphysiol.00421.2014

- Williams, R. L., Stafford, R., & Goodenough, A. E. (2015). Biodiversity in urban gardens: Assessing the accuracy of citizen science data on garden hedgehogs. *Urban Ecosystems*, 18, 819-833. Doi:10.1007/S11252-014-0431-7
- Wilson, R. P., White, C. R., Quintana, F., Halsey, L. G., Liebsch, N., Martin, G. R., & Butler, P. J. (2006). Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: the case of the cormorant. *Journal of Animal Ecology*, 75(5), 1081-1090. Doi:10.1111/J.1365-2656.2006.01127.X
- Young, R. P., Davison, J., Trewby, I. D., Wilson, G. J., Delahay, R. J., & Doncaster, C. P. (2006). Abundance of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) in relation to the density and distribution of badgers (*Meles meles*). *Journal of Zoology*, 269(3), 349-356. Doi:10.1111/J.1469-7998.2006.00078.X