

Metodická příručka pro využití komplexního monitoringu inkubace při chovu v lidské péči

Výběr zařízení · Instalace · Zpracování dat · Interpretace inkubačních parametrů



Metodická příručka pro využití komplexního monitoringu inkubace při chovu v lidské péči

Autoři: Lucie Burešová Pešková¹, Petr Chajma¹, Kateřina Trejbalová¹, Miroslav Šálek¹, Iva Babováková¹, Michal Podhrázský², Petr Suvorov³ a Martin Sládeček¹

¹ Katedra ekologie, Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha

² Safari Park Dvůr Králové, Štefánikova 1029, Dvůr Králové nad Labem

³ Zoo Brno a stanice zájmových činností, U Zoologické zahrady 46, Brno

Doporučená citace: Burešová Pešková, L., Chajma, P., Trejbalová, K., Šálek, M., Babováková, I., Podhrázský, M., Suvorov, P. a Sládeček, M. (2026). *Metodická příručka pro využití komplexního monitoringu inkubace při chovu v lidské péči*. Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze.

Metodická příručka vznikla v rámci projektu Technologické agentury České republiky č. SS07020438

Využití moderních nástrojů biologingu, sdílení a uživatelsky přívětivé analýzy dat při optimalizaci inkubace vajec ohrožených druhů ptáků v lidské péči

Praha, 2026

© 2026 Behavioral Ecology Research Group, Fakulta životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze

Poděkování

Autoři děkují pracovníkům zoologických zahrad, jmenovitě Davidu Kodetovi a Barboře Lipanské (Safari Park Dvůr Králové), Anetě Ladrové (Zoo Brno), Janu Kirnerovi (Zoo Olomouc), Janu Hanelovi (Zoo Liberec), Václavu Štraubovi (Zoo Zlín), Antonínu Vaidlovi, Pavlu Kovaříkovi a Jiřímu Eliášovi (Zoo Praha), za ochotnou spolupráci při testování metod v podmínkách zoologických zahrad, za umožnění realizace specifických instalací monitorovacích zařízení v chovech a za poskytnutí cenných dat pro ověření a rozvoj metodiky. Poděkování patří také studentům FŽP ČZU, kteří se podíleli na zpracování videozáznamů, zejména Monice Němcové za zpracování dat prezentovaných v kapitolách 8.3.1. a 8.3.2.

Autoři a řešitel projektu



Projekt byl realizován za podpory



**Financováno
Evropskou unií**
NextGenerationEU

Spolupracující instituce



Předmluva

37,5 a 50, to je klasické nastavení teploty a vlhkosti v líhni, které se používalo v době mého nástupu do Safari Parku ve Dvoře Králové a ve většině institucí se používá ještě dnes a moc se nemění. Ono to na první pohled není špatně, ono se vždy něco vylíhne. Nicméně s přibývajícimi informacemi a novými studiemi se ukazuje, že některé druhy ptáků těchto teplotních hodnot nejsou schopny dosáhnout, že výkyvy teploty při inkubaci pozitivně působí na vývoj embrya, že každé vejce i stejného druhu může mít jinou skořápku a s tím související úbytek hmotnosti, podle kterého by měla být nastavena vlhkost v líhni a že frekvence a způsob otáčení ovlivňuje polohu embrya ve vejci a v konečné fázi průběh líhnutí. Těchto studií by nebylo možné dosáhnout bez vstupních dat, která se dají získat od volně žijících ptáků, ale i od jedinců chovaných v lidské péči. Čím více se podaří získat dat, tím budou přesnější výsledky a z nich návody. Dostává se Vám do rukou příručka, díky ní můžete odhalit problémy při inkubaci, se kterými se potýkáte.

Mgr. Michal Podhrázský, Ph.D.

Kurátor chovu ptáků, Safari Park Dvůr Králové



Obsah

1. Proč potřebujeme příručku o monitorování inkubace?.....	7
1.1. Na čem je metodika založena	8
1.2. Komu je příručka určena	8
2. Inkubace ptačích vajec: co to je a jak se měří?	10
2.1. Parametry sledované během inkubace	10
2.2. Od pozorování k dataloggerům	16
3. Proč zkoumat inkubaci v lidské péči?.....	19
4. Jak získat data o inkubaci	21
4.1. Monitoring vnitřní teploty a otáčení vejce.....	22
4.2. Monitoring teploty a vlhkosti v hnízdě	36
4.3. Záznam chování na hnízdě	40
4.4. Proč je potřeba kontinuální monitoring?	46
4.5. Další možnosti monitoringu	47
4.6. Kritéria výběru a specifika konkrétních skupin.....	49
5. Instalace a provoz monitorovacího systému.....	53
5.1. Vedení záznamu o instalaci.....	53
5.2. Minimalizace rušení při instalaci.....	55
5.3. Postup instalace umělého vejce	56
5.4. Instalace senzorů teploty a vlhkosti	56
5.5. Instalace kamery	57
5.6. Kontrola funkčnosti a výdrž zařízení	57
5.7. Ukončení monitoringu a vyjmutí dataloggerů	58
6. Správa dat.....	59

6.1. Export a přenos dat	59
6.2. Organizace dat a pojmenování souborů	59
6.3. Nejčastější chyby při správě dat	60
7. Zpracování a vizualizace dat	62
7.1. Aplikace accelR8.....	62
7.2. Aplikace incub8	65
7.3. Analýza videozáznamů v programu BORIS.....	67
8. Interpretace výsledků monitoringu	71
8.1. Teplota a vlhkost během inkubace	71
8.2. Hodnocení frekvence a úhlu otáčení vejce.....	77
8.3. Chování během inkubace	80
9. Přílohy	90
9.1. Šablony protokolů.....	90
9.2. Univerzální etogram pro program BORIS	93
9.3. Zjištěné inkubační parametry pro jednotlivé řady	94
9.4. Kontakty a sdílení dat	95
10. Použité zdroje.....	97

1. Proč potřebujeme příručku o monitorování inkubace?

Úspěšná inkubace vajec představuje jeden z klíčových aspektů chovu ptáků v lidské péči. Přestože řada zoologických zahrad a záchranných chovných programů dosahuje vysoké úrovně péče o zvířata, rozmnožování řady druhů v zajetí je stále problematickou disciplínou. K tomu je klíčové sledovat informace o skutečných podmínkách, kterým je embryo ve vejci během inkubace vystaveno. Parametry zásadně ovlivňující úspěšnost líhnutí vajec a kondici vylíhlého mláděte jsou především teplota vejce, frekvence jeho otáčení a vlhkost v hnízdě. Přesto jsou jen zřídka při přirozené inkubaci v praxi ex-situ chovů systematicky sledovány. Avšak problémy s inkubací, ať už způsobené nevhodným chováním rodiče, nevyhovujícím prostředím nebo druhově specifickými nároky, bývají bez použití moderní techniky obtížně odhalitelné.

Rozvoj miniaturních dataloggerů a 3D tisku v posledních letech poskytl nové možnosti neinvazivního monitoringu inkubace přímo v hnízdě. Umělá vejce s vloženým dataloggerem, senzory teploty a vlhkosti umístované do hnízda a kontinuální kamerový záznam chování rodiče, lze dnes kombinovat do komplexního monitorovacího systému, který poskytuje ucelený a kontinuální pohled na průběh inkubace bez nutnosti ptáky často rušit lidskou přítomností. Aby byl tento potenciál využit naplno, je však zapotřebí správně zvolit konkrétní zařízení, dbát na jeho správnou instalaci, být schopen data zpracovat a správně interpretovat finální výstupy. Právě za tímto účelem vznikla předkládaná metodická příručka, která vám bude průvodcem při monitoringu inkubace ptáků v chovech a na konkrétních příkladech vám pomůže správně interpretovat získaná data.

Příručka se věnuje výhradně monitoringu přirozené inkubace, tedy záznamu a interpretaci podmínek, za nichž vejce inkubuje samotný rodič

v hníždě. Nezabývá se tedy umělou inkubací, provozem líhní, nastavením inkubátorů ani péčí o vylíhlá mláďata, nicméně získané poznatky lze při umělé inkubaci aplikovat, například jako inspiraci při hledání optimálního nastavení líhně.

1.1. Na čem je metodika založena

Příručka vychází z dlouholetých zkušeností autorů z výzkumu inkubace ptáků ve volné přírodě, na které následně navázal projekt TAČR (SS07020438), který probíhal v letech 2024–2026 ve spolupráci s českými zoologickými zahradami, a to především se Safari Parkem Dvůr Králové a Zoo Brno. Během tohoto období byly dataloggery monitorující inkubaci nasazeny u 56 druhů ptáků napříč širokým spektrem taxonomických skupin. Celkem bylo shromážděno 104 instalací zahrnujících data z různých typů dataloggerů. Metodické postupy popsane v této příručce proto nepředstavují pouze teoretická doporučení, ale praktické poznatky z opakovaných terénních instalací. Jsou zde rozebrána rizika chyb, improvizovaná řešení a ověřené postupy, které maximalizují šance na přijetí jednotlivých zařízení ptáky. Na tuto příručku nepřímo navazuje platforma Inkubáze (www.incubase.fzp.czu.cz/), která vznikla také v rámci výše zmíněného projektu. V ní naleznete data z umělé inkubace širokého spektra druhů chovaných v českých i evropských zoologických zahradách.

1.2. Komu je příručka určena

Příručka je určena jak pro chovatele a kurátory zoologických zahrad a záchranných chovných programů, tak i pro soukromé chovatele. Najdete v ní praktický návod k výběru a instalaci monitorovacího systému a k základní interpretaci naměřených dat pro chovatelská rozhodnutí. Příručka je psána s vědomím, že tito uživatelé zpravidla nemají analytické zázemí a pracují v podmínkách omezeného času i zdrojů. Přesto se nešlo vyhnout popisu některých složitějších výpočetních metod a nástrojů.

Předpokládáme tedy, že příručka bude užitečná i pro výzkumné pracovníky, kteří s chovatelskými institucemi spolupracují a zajišťují pro ně analýzu dat.



2. Inkubace ptačích vajec: co to je a jak se měří?

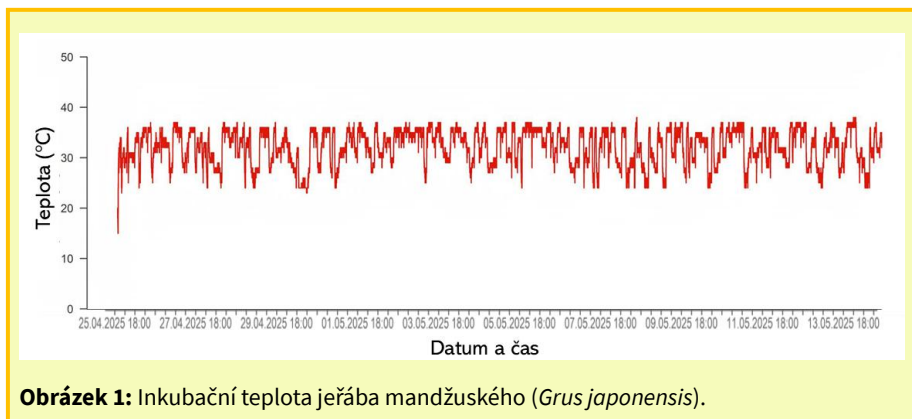
2.1. Parametry sledované během inkubace

Většina druhů ptáků zajišťuje vývoj embrya prostřednictvím kontaktní inkubace, při níž rodiče přímým kontaktem s vejci udržují podmínky nezbytné pro jejich vývoj. Výjimku představují taboni (Megapodiidae), kteří využívají k inkubaci teplo okolního prostředí vznikající rozkladem organické hmoty nebo geotermální aktivitou (Jones 1988). Délka inkubace se mezi druhy ptáků výrazně liší. Pohybuje se od 10 dnů u nejmenších pěvců až po více než 80 dnů u albatrosů či tabonů (Deeming 2002). Úspěšný vývoj ptačího embrya závisí na přesném nastavení několika klíčových parametrů prostředí po celou dobu inkubace. Mezi tyto parametry patří inkubační teplota, vlhkost, otáčení vajec a umožnění výměny plynů mezi embryem a okolním prostředím (Deeming 2002). Odchytky od optimálních hodnot kteréhokoli z těchto parametrů mohou vést ke zpomalení embryonálního vývoje, morfologickým abnormalitám, snížené líhivosti nebo oslabené kondici mláďate po vylíhnutí (Webb 1987; Deeming 2002).

2.1.1. Inkubační teplota

Inkubační teplota by měla být po celou dobu vývoje embrya udržována v rozmezí nad tzv. fyziologickou nulou, tedy teplotou, pod níž se embryonální vývoj zastavuje. Fyziologická nula se pohybuje přibližně v rozmezí 23–27 °C, v závislosti na druhu. Zároveň by měla být inkubační teplota pod úrovní, která může způsobit nevratné poškození embrya, typicky nad 40,5 °C (Webb 1987). Průměrná inkubační teplota se mezi druhy prokazatelně liší a pohybuje se nejčastěji v rozmezí 35–38,5 °C, měřeno na povrchu vejce (Webb 1987; Deeming 2002). Dlouho panoval

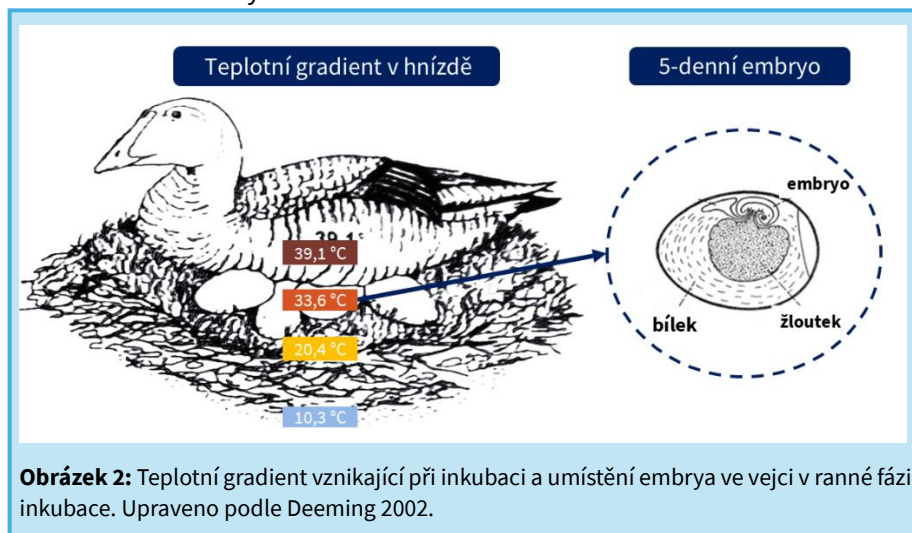
předpoklad, že teplota vejce při přirozené inkubaci zůstává relativně stabilní. Nicméně studie využívající kontinuální záznam pomocí dataloggerů ukazují, že teplota vejce v průběhu inkubace výrazně kolísá a je ovlivněna celou řadou faktorů (Obrázek 1).



Obrázek 1: Inkubační teplota jeřába mandžuského (*Grus japonensis*).

Klíčovým faktorem je inkubační rytmus (detailněji v kapitole 2.1.4.), tedy frekvence a délka přestávek v inkubaci, během nichž rodič opouští hnízdo a teplota vajec se vyrovnává s venkovní teplotou (Conway a Martin 2000; Boulton a Cassey 2012). Délka a frekvence těchto přestávek se přitom prokazatelně mění v závislosti na inkubační strategii, tedy na tom zda inkubuje jeden rodič (uniparentální inkubace) či oba (biparentální inkubace) (Moreau et al. 2018). Vliv na trvání inkubačních přestávek má rovněž venkovní teplota prostředí. Při nižších teplotách jsou přestávky kratší, aby se minimalizovaly tepelné ztráty vejce (Boulton a Cassey 2012). Za extrémního horka, kdy samotné zahřívání nijak nepomůže, naopak může rodič hnízdo aktivně stínit. Průměrná inkubační teplota se také může zvyšovat v pozdní sezóně (vlivem vyšších venkovních teplot) a bývá zpravidla vyšší, pokud je vejce umístěno uprostřed snůšky (Martin et al., 2007). Nezanedbatelným faktorem ovlivňujícím inkubaci je i riziko predace, které může změnit inkubační rytmus, například ve prospěch kratších či méně častých přestávek v inkubaci (Cresswell et al. 2003).

Měření inkubační teploty závisí na místě, kde je v rámci vejce měřena. Teplo se přenáší od rodiče přes skořápku v horní části vejce, čímž vzniká teplotní gradient mezi teplejší oblastí v kontaktu s rodičem a chladnější spodní částí vejce (Obrázek 2). Poloha embrya a velikost tohoto gradientu se během inkubace mění. V rané fázi vývoje se embryo nachází na povrchu žloutku. Vzhledem k tomu, že se žloutek díky upevnění vaječnými poutky může otáčet a embryo má nejnížší hustotu, nachází se vždy blíže horní části skořápky (Obrázek 2) a je tak vystaveno vyšší inkubační teplotě než spodní polovina vejce. To znamená, že teplotu naměřenou uprostřed vejce nelze považovat za totožnou s teplotou, které je vystaveno embryo. V pozdější fázi vývoje vyplňuje embryo většinu vejce a jeho vlastní metabolismus nabývá na intenzitě.



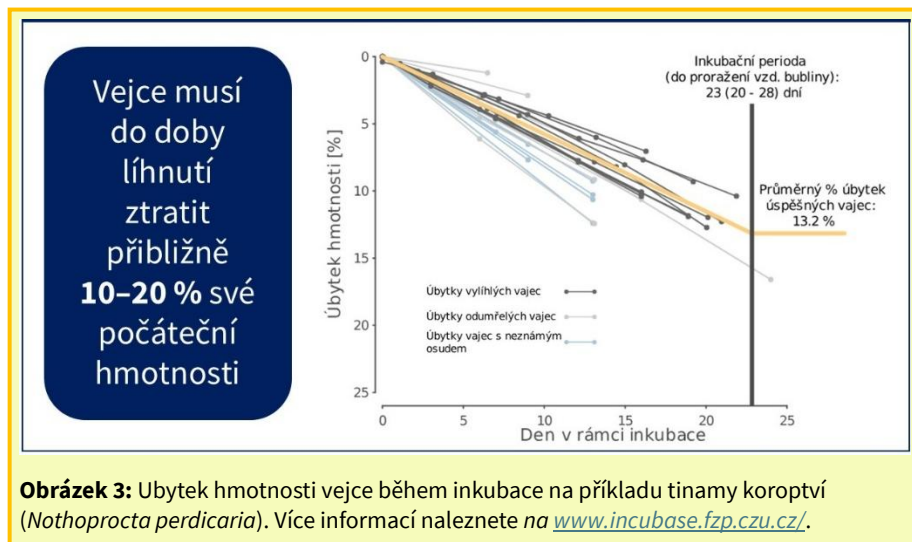
2.1.2. Inkubační vlhkost a výměna plynů

Klíčovým parametrem inkubace (především při umělé inkubaci) je ztráta hmotnosti vejce způsobená odpařováním vody skrze skořápku. Aby došlo ke zdárnému vylíhnutí, vejce musí do doby líhnutí ztratit určitou část své počáteční hmotnosti. U většiny druhů se tato část pohybuje přibližně v rozmezí 10–20 % (Ar a Rahn 1980, Incubase 2026, Obrázek 3).

Propustnost skořápky pro plyny je nicméně druhově specifická a úzce koreluje s délkou inkubační doby a hmotností vejce (Rahn a Ar 1974; Ar a Rahn 1980).

Výměna plynů mezi vejcem a okolím je při přirozené inkubaci zajištěna zejména během inkubačních přestávek, kdy rodič dočasně opouští hnízdo. Při umělé inkubaci ji zpravidla zajišťuje ventilační systém inkubátoru. Z praktického hlediska proto výměna plynů nevyžaduje aktivní intervenci, avšak hnízda s velmi kompaktní strukturou nebo chovy v nevětraných prostorách mohou představovat riziko (Tullett 1990).

Přímé kontinuální měření vlhkosti při přirozené inkubaci zůstává metodicky náročné, neboť vlhkost výrazně kolísá v čase i v různých částech hnízda, a dostupná data jsou stále omezená. Průběh inkubační vlhkosti při přirozené inkubaci byl studován ve srovnání s teplotou výrazně méně. Svou roli hraje například vzdálenost hnízda od vody či typ hnízdní výstelky, neboť některé materiály mohou zadržovat vodu lépe než jiné (Ar a Rahn 1980).



2.1.3. Otáčení vajec

Pravidelné otáčení vejce rodičem je nezbytnou podmínkou normálního embryonálního vývoje. Otáčení zabraňuje přilnutí embryonálních membrán ke skořápce, podporuje růst krevních vlásečnic a vstřebávání živin z bílku, zajišťuje správnou orientaci embrya a rovnoměrné zahřívání vajec v početnějších snůškách (New 1957; D. C. Deeming 1989; Boulton a Cassey 2012). Frekvence a úhel otáčení byly při přirozené inkubaci až do nedávné doby obtížně měřitelné veličiny. To se však s vývojem miniaturních dataloggerů osazených pohybovými senzory postupně mění. Dosavadní studie dokládají vysokou mezidruhovou variabilitu frekvence otáčení vajec (Pešková et al. 2025). Navíc samotné otáčení vajec je výrazně ovlivněno různými typy chování rodiče na hnízdě (kapitola 8.3.5.), které je podmíněno vnějšími faktory. K otáčení vajec dochází většinou s vyšší frekvencí ve dne oproti noci, kdy se rodič snaží hýbat co nejméně a snížit tak riziko predace (Pešková et al. 2024). Svou roli může hrát i venkovní teplota. Pokud je v některé části dne teplota výrazně nižší než je inkubační optimum, rodiče se mohou snažit v této hodině otáčení vyvarovat (Zhang et al. 2017).

2.1.4. Inkubační rytmy

Inkubačním rytmem označujeme systém inkubačních sezení a přestávek, případně četnost střídání partnerů u biparentálních druhů. Konkrétní podoba inkubačního rytmu zpravidla představuje kompromis mezi potřebou udržovat vejce v optimálních podmínkách a dalšími nároky, které mají samotní rodiče. I ti se totiž potřebují v průběhu inkubace krmit a čistit, stejně jako potřebují spát. Tento konflikt mezi potřebami embrya ve vejci a rodiče je intenzivnější u uniparentálních druhů, u nichž inkubaci vajec zajišťuje pouze jeden rodič. U druhů biparentálních, u kterých inkubují oba rodiče, určuje podobu inkubačního rytmu i konflikt rodičů o to, kdo bude sedět kdy a jak dlouho (Sládeček et al. 2019).

V přírodě tak často pozorujeme větší inkubační přítomnost u druhů biparentálních, u kterých jsou rodiče schopni poskytovat inkubační péči ve stabilní míře v průběhu celého 24-hodinového denního cyklu (Bulla et al. 2016). Ovšem v rámci druhu více inkubační péče dostanou ta hnízda, kde se oba rodiče lépe shodnou na střídání a vzájemném rozdělení inkubačních povinností. Pokud jeden z partnerů (většinou samec) svoji porci inkubačního času podstatně sníží, druhý partner tento výpadek kompenzuje jen částečně, čímž se snaží vytvářet tlak na svého méně pečlivého partnera. Vejce však v takovém případě dostanou méně péče, což může mít za následek například prodloužení inkubační periody (Sládeček et al. 2019).

Naopak u uniparentálních druhů se často setkáváme s výrazným denním rytmem v inkubační přítomnosti. Inkubační přestávky se odehrávají zejména v průběhu světlé části dne, kdy je zpravidla tepleji a nepřítomnost rodiče na hnízdě má pro vejce méně dramatické dopady (Reneerkens et al. 2011, Trejbalová et al. 2023).

Významným faktorem formujícím inkubační rytmy je i riziko predace. Ptáci se obecně snaží minimalizovat pohyb okolo hnízda a případně jej situovat do částí dne s menším rizikem predace. To je podstatnější u druhů, které se nejsou schopny predaci aktivně bránit a spoléhají na svoji krypsi (Bulla et al. 2016).

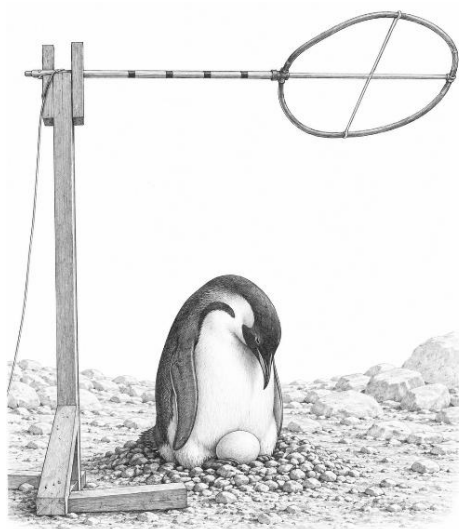


I v době inkubace se rodiče musí věnovat dalším aktivitám, jako je údržba peří nebo spánek. Ačkoliv se jedná o úkony, kterým se lze věnovat i na hnízdě, mohou snižovat ostražitost rodičů, a tedy i toto chování podléhá určitému rytmu (Brynychová et al. 2020). Výsledný inkubační rytmus není zcela pevně

danou vlastností druhu, ale představuje flexibilní strategii, která se do značné míry přizpůsobuje aktuálním podmínkám. U mnoha druhů byla popsána značná vnitrodruhová variabilita (Bulla et al. 2016). Rodiče jsou schopni své chování měnit například v reakci na změnu dostupnosti potravy nebo na ztrátu partnera. V krajních případech může dojít i k přechodu z běžné biparentální inkubace na inkubaci zajišťovanou pouze jedním rodičem, přestože se jedná o druh, u něhož se za normálních okolností střídají oba partneři (Bulla et al. 2017).

2.2. Od pozorování k dataloggerům

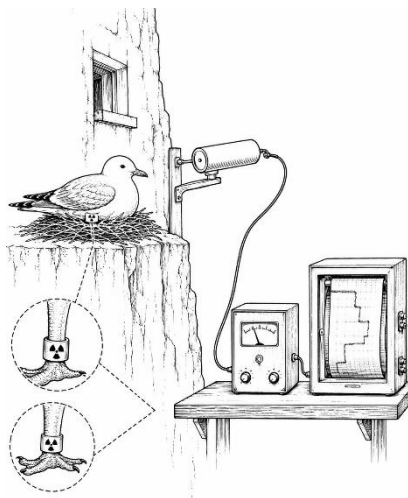
Řada výzkumníků již ve velmi raných dobách biologingu nešetřila úsilím, invencí ani zdroji, aby se o rodičovské péči u ptáků dozvěděla něco nového. Za zmínku stojí některé z tradičních (a v rámci oboru legendárních) prací, coby příklady mimořádně inovativního využití dostupných prostředků, které svým přínosem předběhly dobu o několik desetiletí.



Například první přímé měření teploty pomocí dataloggeru ve vejci bylo provedeno již v padesátých letech u tučňáka císařského (*Aptenodytes forsteri*) (Eklund a Charlton 1959). Záznam teplot vyžadoval instalaci rozměrného zařízení v bezprostřední blízkosti inkubujícího ptáka, které svým tvarem a velikostí připomínalo šibenici. Tento experiment byl možný právě díky mimořádné toleranci a flegmatickosti tučňáka císařského,

který byl s výzkumníky schopen na podobném výzkumu spolupracovat.

První automatický záznam střídání rodičů na hnízdě proběhl s využitím radioaktivně značených kroužků u racka tříprstého (*Rissa tridactyla*) (Coulson a Wooller 1984). Každému z páru byl nasazen kroužek s jinou koncentrací radioaktivního kobaltu. Jejich koncentrace se navíc sčítala při současné přítomnosti obou rodičů na hnízdě. Radioaktivita byla měřena Geigerovým přístrojem a zaznamenávána tužkou na pomalu se otáčející papírový válec.

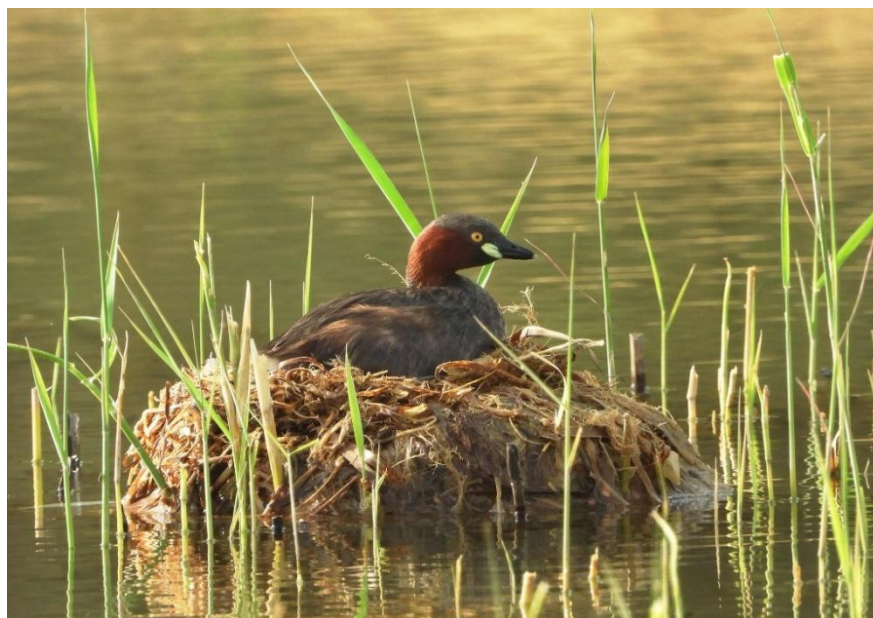


Kontinuální kamerový záznam jako nástroj studia inkubačních rytmtů byl poprvé použit u jespáka tundrového (*Calidris fuscicollis*) při studii publikované v roce 1985 (Cantar a Montgomerie 1985). Při této studii bylo hnízdo snímáno s frekvencí jednoho snímku za minutu, což poskytlo detailní obraz chování na hnízdě, zároveň však bylo nutné manuálně projít a vyhodnotit přes 175 000 fotografií, což názorně ilustruje analytické limity tehdejších metod.

Postupná miniaturizace elektroniky v průběhu devadesátých let a první dekády tohoto století umožnila vznik teplotních dataloggerů dostatečně malých na umístění přímo do hnízda nebo do umělého vejce relativně malých ptačích druhů. Rozvoj akcelerometrů následně umožnil také záznam otáčení vejce a kombinace teplotního čidla s akcelerometrem v umělém vejci se postupně stala metodickým standardem. Postupem času byl akcelerometr doplněn též o magnetometr. Pro zpracování kamerových záznamů byly vyvinuty počítačové programy, které výrazně usnadňují jejich detailní analýzu (např. software BORIS, Friard a Gamba 2016).

V posledních letech se rychle rozvíjejí metody automatické analýzy videa založené na strojovém učení a umělé inteligenci, které umožňují detekci a klasifikaci chování zvířat bez nutnosti manuálního vyhodnocování. Jejich širšímu využití při monitoringu inkubace však dosud brání zejména nedostatek dostatečně anotovaných dat pro trénování modelů, omezená přenositelnost mezi různými ptačími druhy a odlišnými záběry i relativně vysoké nároky na odborné znalosti při jejich vývoji a validaci.

Náš tým se v posledním desetiletí intenzivně zabývá monitoringem inkubace pomocí dataloggerů u ptáků ve volné přírodě a má v tomto ohledu četné zkušenosti napříč ptačími druhy a klimatickými podmínkami. Při našich studiích systematicky propojujeme několik složek komplexního monitoringu. Využíváme především umělá vejce s dataloggery, teplotní a vlhkostní senzory v hníždě, RFID senzory pro sledování střídání rodičů na hníždě a kontinuální kamerový záznam (viz kapitola 4). Tento systém je v rámci předložené příručky upraven pro použití v podmínkách ex-situ chovů napříč širokým spektrem ptačích druhů.



3. Proč zkoumat inkubaci v lidské péči?

Podmínky v ex-situ chovech se od volné přírody v řadě ohledů liší, přesto zde zůstávají zachovány základní biologické principy inkubace a u většiny druhů se jejich chování při inkubaci v chovech a ve volné přírodě velmi podobá. Systematický monitoring proto může přinést nejen nové poznatky o málo známých druzích, ale také konkrétní podklady pro zlepšení přirozeného i umělého odchovu. Zásadní přínosy monitoringu ptačí inkubace v podmínkách lidské péče lze shrnout do tří základních skupin.

- **Získání poznatků o druzích, jejichž inkubace ve volné přírodě není známa.** Druhy chované v zoologických zahradách a záchranných programech jsou často vzácné, ohrožené nebo v přirozeném prostředí obtížně studovatelné. U mnoha z nich proto nejsou dostupné ani základní informace o inkubačních rytmech, natož detailní znalost inkubační teploty, či patrností otáčení vajec. Ex-situ chovy umožňují tyto parametry sledovat kontinuálně a za podmínek, v nichž je instalace techniky i pravidelná kontrola dat výrazně snazší než v terénu. Získané údaje tak mohou rozšířit znalosti o biologii druhu a vytvořit referenční základ pro další výzkum i chovatelská rozhodnutí.
- **Odhalení problémů při přirozené inkubaci v chovu.** V případě, že se odchov u daného páru nedaří, monitoring inkubace představuje mocný nástroj pro diagnostiku příčin tohoto neúspěchu. Může nám pomoci odhalit, zda rodiče vejce dostatečně zahřívají a otáčejí, jak často a na jak dlouho opouštějí hnízdo a zda jejich chování neovlivňuje prostředí expozice. Příčinou problémů může být například rušení návštěvníky nebo chovatelskými kontrolami, přítomnost dalších jedinců ve voliére, nevhodné umístění hnízda, mikroklima expozice či nesoulad mezi partnery při střídání. Tyto obtíže nemusí být při běžné kontrole

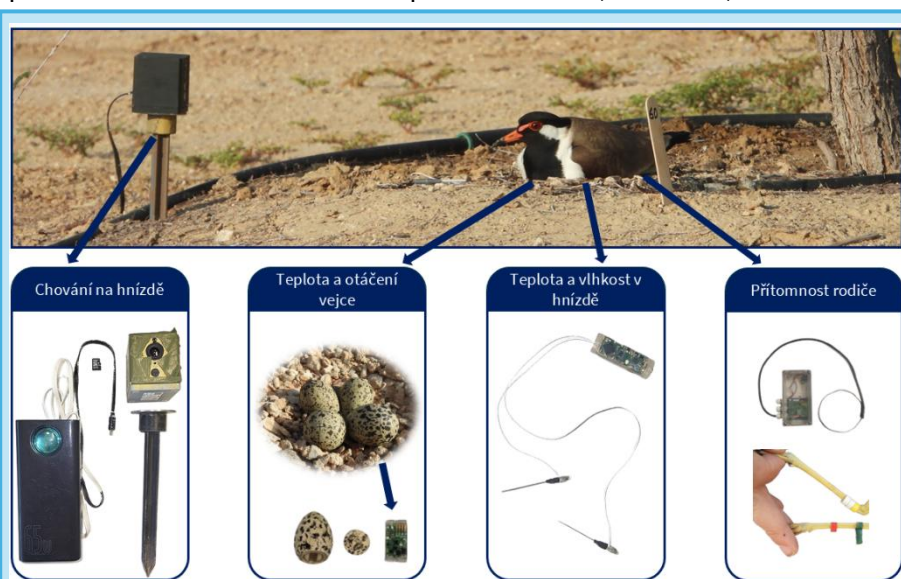
patrné, protože rodič může na hnízdě zůstat, ale jeho péče přesto nemusí vytvářet podmínky vhodné pro vývoj embrya.

- **Využití úspěšné přirozené inkubace jako vzoru pro inkubaci umělou.** Pokud rodiče daného druhu opakovaně inkubují úspěšně a naopak odchov druhu v líhni se nám nedaří, lze hodnoty naměřené při přirozené inkubaci využít jako biologickou referenci pro nastavení líhně. Záznamy mohou ukázat skutečnou teplotu vejce, míru jejího přirozeného kolísání, i frekvenci otáčení. Tyto hodnoty nelze vždy převzít do umělé inkubace přímo, mohou však pomoci zpřesnit dosavadní protokol a rozhodnout, zda je vhodné upravit teplotu, vlhkost, chlazení nebo režim otáčení vajec. Monitoring přirozené péče tak vytváří praktické propojení mezi přirozenou a umělou inkubací.



4. Jak získat data o inkubaci

Pro komplexní monitoring inkubace využíváme několik typů dataloggerů, lišících se konstrukcí, použitými senzory i frekvencí záznamu, která je však ve většině případů nastavitelná. Každé zařízení má své specifické využití a poskytuje informace o jiných inkubačních parametrech. Hlavními používanými typy zařízení jsou: **1)** umělé vejce s vloženým dataloggerem zaznamenávajícím teplotu a otáčení vajec; **2)** teplotně-vlhkostní datalogger zaznamenávající mikroklimatické podmínky v hnízdě a pro srovnání i mimo něj; **3)** kamera zaznamenávající chování ptáků na hnízdě včetně interakcí s narušiteli; **4)** RFID datalogger zaznamenávající přítomnost rodiče označeného čipem na hnízdě (Obrázek 4).



Obrázek 4: Složky komplexního monitoringu – kamera u hníзда zaznamenávající chování na hnízdě, umělé vejce s dataloggerem (typ: AXY5) zaznamenávající teplotu a otáčení během inkubace, datalogger měřící teplotu a vlhkost v hnízdě (typ: MSR), RFID zaznamenávající přítomnost ptáka (označeného čipem v kroužku) na hnízdě.

V této kapitole jsou jednotlivé typy dataloggerů stručně charakterizovány a dále je uveden popis typických situací, ve kterých je použití konkrétního zařízení nejvhodnější. Cílem je usnadnit výběr vhodné metodiky měření podle sledovaného druhu, charakteru hnízda a výzkumných cílů.

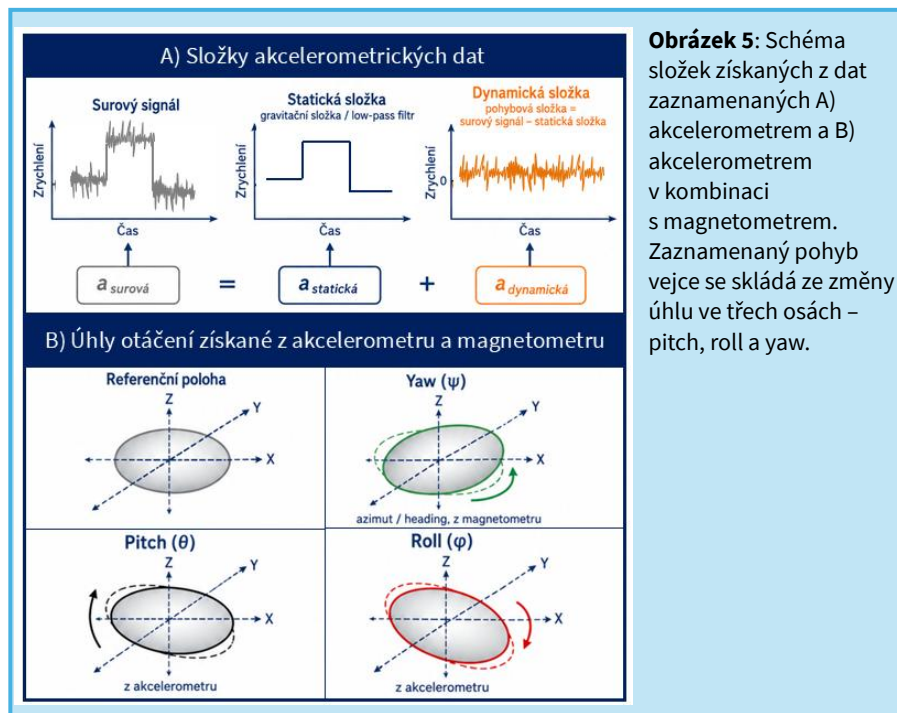
4.1. Monitoring vnitřní teploty a otáčení vejce

Pro měření vnitřní teploty vejce a jeho otáčení je zpravidla nejhodnější umístit datalogger přímo do atrapy vejce. Obecně je hlavní výhodou použití umělých podkladků oproti jiným metodám monitoringu inkubace přímý kontakt s hnízdícím ptákem a standardizované umístění čidel vzhledem k němu. Datalogger uvnitř vejce tedy zaznamenává parametry inkubace přímo z pozice inkubovaného embrya.

Umělá vejce s integrovaným dataloggerem je třeba konstruovat tak, aby svým tvarem, rozměry, hmotností a barvou či povrchovou úpravou co nejvěrněji napodobovala přirozená vejce daného druhu. Po vložení do hnízda je umělé vejce rodiči obvykle přijato a je o něj pečováno jako o opravdové.

Pro měření teploty během inkubace je do umělého vejce umístěn datalogger s teplotním senzorem. V závislosti na cíli monitoringu lze zvolit různé varianty modelů podkladků, které umožňují měřit teplotu ve středu vejce nebo na několika místech poblíž jeho povrchu a zachytit tak rozdíly v teplotě v různých částech vejce. Teplotní senzor zaznamenává teplotu v pravidelných časových intervalech a umožňuje vyhodnotit teplotní režim a kolísání podmínek, kterým je embryo během inkubace vystaveno.





Obrázek 5: Schéma složek získaných z dat zaznamenaných A) akcelerometrem a B) akcelerometrem v kombinaci s magnetometrem. Zaznamenaný pohyb vejce se skládá ze změny úhlu ve třech osách – pitch, roll a yaw.

Pokud je datalogger vybaven tříosým akcelerometrem a magnetometrem, lze určit změny orientace vejce v prostoru. Akcelerometr zaznamenává zrychlení ve třech osách a umožňuje rozlišit dvě základní složky pohybu: statickou složku odpovídající působení gravitace a dynamickou složku způsobenou vlastním pohybem vejce (Obrázek 5 A). Ze statické složky lze určit změny polohy vejce vůči gravitačnímu poli, zejména úhly *pitch* a *roll*. Magnetometr naproti tomu měří orientaci vůči zemskému magnetickému poli a doplňuje informaci o směru otočení vejce v horizontální rovině, tedy úhel *yaw* (Obrázek 5 B). Kombinace akcelerometru a magnetometru tak umožňuje rekonstruovat prostorovou orientaci vejce a kvantifikovat jeho otáčení během inkubace. Získaná data umožňují vyhodnotit frekvenci, načasování i rozsah otáčení vejce rodiči během inkubace. Obecně může měření inkubačních podmínek pomocí umělých vajec s dataloggery najít uplatnění zejména při ověřování správného průběhu inkubace u rodičů,

kterým se nedaří vejce vysedět, či při optimalizaci chovatelských postupů pro umělou inkubaci daného druhu. V takovém případě lze obdobně vybavený podkladek umístit i do líhně a srovnat péči v líhni a pod rodičem.

4.1.1. Umělé vejce (podkladek)

Pro instalaci dataloggeru je potřeba obstarat vejce, do kterého jej lze vložit. Podkladky musí být navrženy tak, aby co nej přesněji napodobovaly reálné vejce daného druhu z hlediska rozměrů, hmotnosti a ideálně i tepelných vlastností. Historicky byla k tomuto účelu používána vyfouklá pravá vejce druhů s vyztuženou skořápkou či jejich náhražky ze dřeva či plastu, které byly vyplňovány materiály lépe či hůře imitujícími vlastnosti reálného vejce. Mezi výplňové materiály patřily například modelína, vosk, voda či různé druhy gelů.

My však jako nejpraktičtější variantu doporučujeme podkladky vytvořené 3D tiskem, které popisujeme i v rámci této příručky a máme s nimi velmi dobré zkušenosti. Jejich výhodami oproti ostatním metodám jsou zejména jednoduchá možnost adaptace modelů pro jednotlivé druhy, jejich snadné sdílení a nízká výrobní cena. Pro většinu ptačích druhů jsme již odpovídající podkladky vytvořili a jsou volně dostupné (www.zenodo.org/records/18955995, Chajma et al. in prep). Jak bylo potvrzeno validačními testy, hmotnost těchto podkladek i jejich tepelná dynamika jsou relevantní pro monitoring inkubace a pohybují se v biologicky smysluplných mezích skutečných vajec zkoumaných druhů (Chajma et al. in prep).

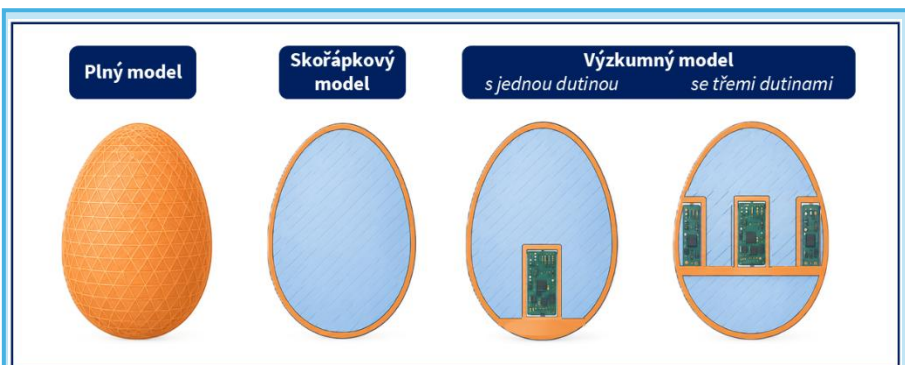
V dalších podkapitolách je popsáno praktické využití jednotlivých modelů podkladek a postup při jejich tvorbě. Tvorba podkladek je jednoduchá a veškerá tisková data jsou snadno dostupná. Pro použití dataloggerů jsou vhodná vejce od minimální velikosti 25,7 × 19,3 mm, což odpovídá například vejcům hrdličky senegalské (*Spilopelia senegalensis*). I pro druhy s menšími vejci jsou nicméně dostupné podkladky bez dutiny pro datalogger, pro běžné využití v chovech. V následujících podkapitolách

naleznete popis jednotlivých typů podkladků, kompletní informace k výrobě podkladků a popis vhodných dataloggerů, které lze v kombinaci s podkladem použít pro záznam inkubačních podmínek.

4.1.1.1. Typy podkladků

Pro velkou část ptačích druhů jsme vyvinuli čtyři typy modelů podkladků lišících se konstrukcí a účelem použití (Obrázek 6). *Plný model* (tištěný v jednom dílu vyplněný filamentem s možností nastavení hustoty výplně), a *skořápkový model*, který obsahuje pouze analogii vaječné skořápky a pro dosažení odpovídajících tepelných vlastností je třeba jej vyplnit například ultrazvukovým gelem. Oba typy jsou určeny primárně pro standardní chovatelské situace, kde je cílem pouze fyzická přítomnost náhradního vejce v hnízdě, například pro regulaci snášení či udržení inkubace do doby vylíhnutí mláďat v líhni (Obrázek 6).

Pro použití dataloggerů jsou zásadní další dva typy. *Výzkumný model s jednou dutinou* je plněný gelem a obsahuje jednu centrální vnitřní dutinu k umístění dataloggeru. Tento model má odnímatelnou šroubovací čepičku a vstupní otvor pro jeden miniaturní datalogger. Umožňuje záznam vnitřní teploty uprostřed vejce a záznam frekvence a úhlu otáčení. *Výzkumný model se třemi dutinami* je též vyplněn gelem a obsahuje tři



Obrázek 6: Čtyři základní vyvinuté typy podkladků.

boční dutiny k umístění dataloggeru, situované přibližně v polovině vejce. Model umožňuje simultánní vložení tří miniaturních dataloggerů těsně pod povrch skořápky, pro měření povrchové teploty vejce a teplotních gradientů v něm. Stejně jako předchozí typ i tento umožňuje zaznamenávat frekvenci a úhel otáčení. Dostupnost jednotlivých typů modelů je uzpůsobena velikosti konkrétního vejce. Plný model je dostupný pro všechny velikosti, skořápkový pro vejce o délce ≥ 15 mm, výzkumný model s jednou dutinou pro vejce o délce $\geq 25,7$ mm a šířce $\geq 19,3$ mm a výzkumný model se třemi dutinami pro vejce o délce $\geq 45,1$ mm a šířce $\geq 33,0$ mm. Třídutinový model je pro měření teploty nejvhodnější, neboť především v první polovině inkubace se embryo v ptačím vejci nachází vždy v horní části vejce, blíže povrchu skořápky, a naměřené teploty tak nejvěrněji odpovídají teplotám, kterým je embryo při inkubaci vystaveno.

4.1.1.2. Výroba podkladku

Tisk

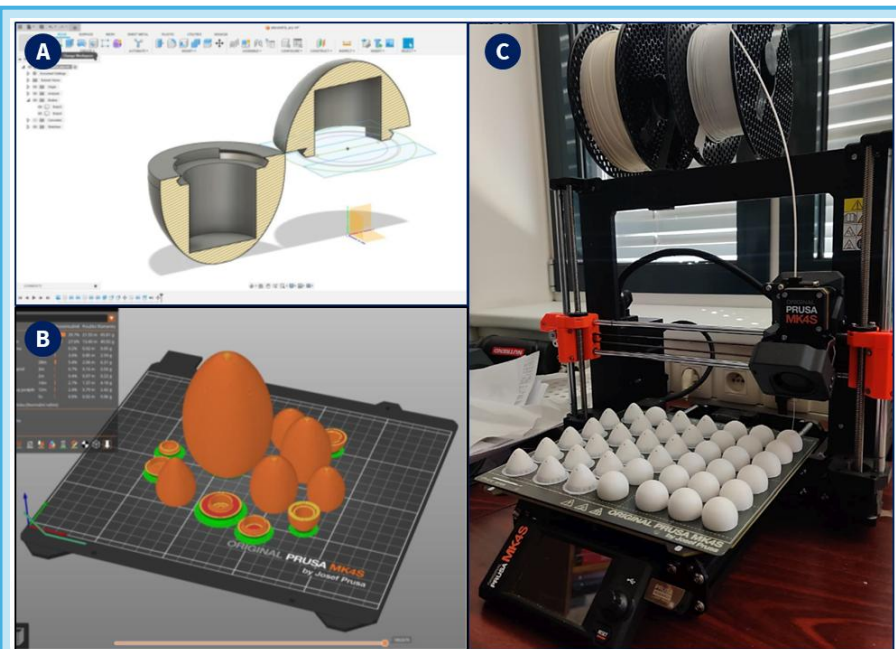
Modely podkladků a veškerá dokumentace jsou dostupné ke stažení v repozitáři spojeném s publikací Chajma et al. (in prep.) na www.zenodo.org/records/18955995. Zde najdete modely pro tisk ve formátu *.stl, podrobné informace k modelování vajec a jejich tisku.

Pro tisk podkladků postačují běžně dostupné FFM tiskárny (Obrázek 7). Doporučujeme použít netoxický a teplotně stabilní filament PETG nebo PLA. Pro další barvení vejce je vhodná světlá (bílá) barva filamentu. Výška vrstvy by neměla přesáhnout 0,2 mm, aby byla zajištěna voděodolnost skořápky. Pro další zajištění pevnosti a voděodolnosti modelu doporučujeme tisknout s minimálně třemi obvodovými stěnami (perimetry) při použití standardní 0,4 mm trysky, a odstupňované vnitřní švy s náhodným umístěním.

Plnění gelem

Pro plnění u modelů s vnitřní dutinou je nutné přidat pozastavení tisku v 95% konečné výšky vejce, tedy ještě před uzavřením vrchní části skořápky, kdy je otvor pro plnění dostatečně velký, ale vejce již pojme dostatečné množství plniva. Přesné procento zastavení tisku se může mírně lišit podle tvaru konkrétního vejce a zvoleného plnicího nástroje.

Jako náplň doporučujeme komerčně dostupný ultrazvukový gel naředěný vodou na přibližně 55 % objemového podílu. Tento gel byl zvolen pro vhodnou hustotu, viskozitu a tepelné vlastnosti a zároveň pro svou nízkou pořizovací cenu. V případě potřeby lze gel nahradit jinou inertní, netoxickou kapalinou se srovnatelnou hustotou a tepelnými vlastnostmi, v takovém případě je však nutné před nasazením vejce do hnízda ověřit jeho výslednou hmotnost a odolnost proti případnému úniku náplně.



Obrázek 7: 3D tisk podkladků – A) modelování vajec, B) příprava podkladků pro tisk, C) vytisknuté podkladky.

Barvení a vizuální úprava

Před vlastním barvením je nutné vytištěné vejce důkladně vizuálně zkontrolovat a opravit případné netěsnosti, které způsobují únik gelu. Pro jejich opravení stačí ve většině případů sekundové lepidlo nebo lze na místo při nízké teplotě přitavit kousek filamentu pomocí 3D pera či pájky. Povrchové nedokonalosti lze odstranit jemným brusným papírem. Poté se vejce ošetří základní vrstvou barvy (podkladovým nátěrem), která zajistí hladký povrch pro další barvení.

Z bezpečnostních důvodů používejte výhradně netoxické akrylové barvy ředitelné vodou. Na Obrázku 8 A) je zobrazeno univerzální portfolio barev, které vám v kombinaci umožní postihnout barevnou škálu většiny vajec ptáků. Pro podkladový nátěr zvolte vhodnou barvu podle konkrétního druhu, typicky jde o nejsvětlejší odstín použitý při barvení daného vejce. Barvu naředte vodou v poměru přibližně 1:3 a naneste ji rovnoměrně pomocí plochého štětce nebo stříkací pistole (airbrush - umožňuje nanášení tenké a rovnoměrné vrstvy barvy). Poté je nutné nechat barvu zcela zaschnout a barvení opakovat dvakrát až třikrát podle potřeby, aby bylo dosaženo rovnoměrného krytí barvou i rovnoměrného povrchu vejce, tedy aby především na špičatém konci vejce nebyly vidět vrstvy filamentu.

Pokud jsou vejce skvrnitá (např. bahňáci, někteří dravci), lze po zaschnutí poslední vrstvy barvy přistoupit k barvení skvrnitého vzorování, při kterém se barva naředěná v poměru 1:5 nanáší rozstříkem z hřebenu nebo kartáčku, čímž vznikají drobné kapky imitující přirozenou kresbu skořápky.

Je-li potřeba, aby vejce mělo zašlý či umazaný vzhled (např. pelikáni), poslouží velmi naředěná hnědá nebo černá barva (v poměru 1:10), která se nanáší ručně, nechá se částečně zaschnout a následně se opatrně omyje. Tím vznikne jemné reziduální zabarvení připomínající přirozené umazání/opotřebení skořápky.

Po dokončení barvení je nutné vejce nechat zcela zaschnout a před instalací se ujistit, že barva nelepí a plnivo nevytéká.



Životnost a údržba podkladek

Z dosavadních zkušeností vyplývá, že podkladky vykazují velmi dobrou životnost. Při použití s dataloggerem, na rozdíl od ostatních typů dataloggerů instalovaných do hnízd či jejich okolí, u nich prakticky nedochází k destrukci ze strany hnízdícího ptáka. Pokud s postupným používáním dojde k úniku gelové náplně, lze podkladek snadno opravit. Místo úniku ošetřete sekundovým lepidlem, po jeho zaschnutí povrch jemně zahladte brusným papírem a na opraveném místě obnovte barevný nátěr podle postupu popsaného výše. Podkladek lze po vyjmutí z hnízda a vyjmutí dataloggeru bez problémů omýt vodou a nechat volně oschnout.

Podkladek - praktické poznámky

- Podkladky jsou obecně dobře přijímány hnízdícími ptáky ve volné přírodě i v zoologických zahradách
- U některých druhů může být přijetí problematické (např. jeřábi) – věrná vizuální imitace vejce výrazně zvyšuje šanci na přijetí
- Podkladek by měl co nejpřesněji odpovídat barvě a vzoru vejce daného druhu (není však nutné přesně imitovat detailní kresbu, cílem je přiblížit celkový vizuální dojem)
- Barvení věnujte náležitou pozornost zejména při první instalaci u citlivých druhů
- Pro referenci používejte fotografie skutečných vajec daného druhu, ideálně přímo z konkrétního chovu nebo od konkrétní samice, u níž bude podkladek nasazen
- Pokud jsou vejce daného druhu výrazně variabilní a fotografie z chovu nejsou k dispozici, připravte více podkladků odrážejících jednotlivé barevné formy
- Fotografie vajec lze vyhledávat i sdílet prostřednictvím platformy Inkubáze (www.incubase.fzp.czu.cz/) – název druhu zadejte v části Inkupedie
- Pokud to velikost vejce umožňuje, označte obě části podkladku pomocí permanentního popisovače názvem druhu či páru, pro který je vejce určeno

4.1.2. Volba dataloggeru do umělého vejce

Výběr vhodného dataloggeru do vejce závisí na jeho technických parametrech a velikosti. Hlavním omezujícím faktorem jsou rozměry dataloggeru (odvozeny především od velikosti baterie), který se musí vejít do vnitřní dutiny podkladku (12,4 x 7,0 x 24,5 mm). Datalogger se zároveň nesmí v dutině volně pohybovat, protože by volný pohyb zkresloval záznam otáčení vejce. Vzhledem k tomu, že podkladek nemusí být zcela vodotěsný, je vhodné, aby byl použitý datalogger zalitý nebo zapouzdrěný

a chráněný tak před případným vnikem vody. Přímému kontaktu s gelovou náplní vejce však datalogger standardně není vystaven.

Z hlediska senzorové výbavy je nezbytným minimem teplotní čidlo a pro monitoring otáčení vejce je nezbytná kombinace akcelerometru a magnetometru (viz výše). Frekvence snímání by měla být u zvoleného dataloggeru nastavitelná, protože optimální interval sběru dat se může lišit podle konkrétní výzkumné otázky. Vzhledem k tomu, že instalace podkladku do hnízda zpravidla vyžaduje dočasné vyrušení hnízdícího ptáka a přerušení inkubace, je vhodné volit datalogger s delší výdrží baterie a kapacitou paměti, který zvládne minimálně 4 dny kontinuálního záznamu. Tím se omezí frekvence nutných zásahů do hnízda spojených s výměnou zařízení.

Praktickou výhodou je rovněž možnost odloženého sběru dat, tedy možnost datalogger nakonfigurovat předem a zvolit si pozdější čas začátku sběru dat. Ještě výhodnější je pak možnost spustit sběr dat až v okamžiku samotné instalace, bez nutnosti připojit přístroj k počítači. Tato vlastnost je důležitá například u druhů, u nichž nechceme inkubaci zbytečně přerušovat a chceme instalaci dataloggerů provést přesně v okamžiku přirozené inkubační přestávky, jejíž načasování se však může v průběhu inkubace měnit a je potřeba ji vystihnout.

Nabídka takových zařízení je proto v současnosti velmi omezená. Velká část dat prezentovaných v této metodické příručce byla získána pomocí dataloggerů DAL2 a DAL3 vyvinutých autorským týmem, které kromě teploty umožňovaly zaznamenávat také vlhkost a intenzitu osvětlení. Tyto dataloggery však nejsou komerčně dostupné. Z tohoto důvodu se tato metodická příručka zaměřuje především na datalogger AXY5 XS, který je v současnosti jediným komerčně dostupným zařízením vhodným pro integraci do zde popsaného modelu umělého vejce. Jeho technické parametry, konfigurace a praktické využití jsou podrobně popsány v následující kapitole.

4.1.2.1 AXY5 – datalogger pro měření teploty a otáčení vejce

AXY5 XS je komerčně dostupný miniaturní datalogger vyráběný italskou společností TechnoSmArt Europe (www.technosmart.eu/axy-5-xs/), určený pro monitoring chování živočichů. Kompaktní rozměry zařízení (21 × 11 × 7 mm, hmotnost 1,8 g; Obrázek 9) z něj v současnosti činí jediný komerčně dostupný datalogger, který lze přímo integrovat do modelu umělého vejce popsaného v kapitole 4.1.1., jehož konstrukce byla přizpůsobena právě tomuto zařízení. Přístroj v základu disponuje trojicí senzorů: teplotním čidlem, akcelerometrem a magnetometrem, což umožňuje zaznamenávat teplotu a otáčení vejce během inkubace. Při frekvenci snímání teploty 1 Hz (jednou za sekundu), akcelerometru 10 Hz, magnetometru 2 Hz a plném nabití vydrží datalogger v provozu přibližně 18 dní, což pokryje alespoň polovinu inkubační periody většiny druhů, u některých druhů dokonce celou inkubaci. Praktickou výhodou AXY5 je možnost spustit sběr dat až těsně před instalací do hnízda pomocí



Obrázek 9: A) datalogger AXY5 XS a jeho rozměry, B) startovací kabel k dataloggeru, C) prostředí ovládacího programu X Manager, D) vnitřní uspořádání dutin pro vložení dataloggerů v podkladku.

magnetu. Různé režimy nastavení lze exportovat (soubor *.sch) a sdílet je s ostatními chovateli využívajícími stejný model dataloggeru.

Startování a konfigurace

Pro komunikaci s dataloggerem slouží speciální čtyřpinový kabel a software *X Manager*. U softwaru používejte vždy nejnovější verzi zveřejněnou na oficiálních stránkách výrobce (www.technosmart.eu/downloads/). Prvním krokem je připojení kabelu k PC a spuštění programu *X Manager*. V levém horním rohu nastavte vstup *USB Serial Port*. Přejeďte magnetem přes bok dataloggeru, kontrolka začne blikat rychleji a poté pomaleji. Dokud bliká, připojte datalogger kabelem a zvolte možnost *Connect*. Vymažte předchozí data (pokud byla uložena) pomocí *Erase*. V záložce *Accelerometer configuration* vyberte nastavení jednotlivých senzorů. U akcelerometru doporučujeme nastavit frekvenci snímání 10 Hz, rozsah měření 2 g a 8-bitové rozlišení. U magnetometru doporučujeme frekvenci snímání 2 Hz. Frekvenci snímání teplotního čidla postačí nastavit na 1 Hz. Nastavení potvrďte tlačítkem *Send configuration*. Poté datalogger odpojte pomocí *Disconnect*. Stav dataloggeru je po přiblížení magnetu k dataloggeru indikován světelnou kontrolkou. Přejetím magnetu přes bok dataloggeru se spustí sekvence blikání, jejíž vzor indikuje aktuální stav přístroje (viz Tabulka 1).

Tabulka 1: Indikace stavu dataloggeru AX5.

Vzor blikání po přejetí magnetem	Stav dataloggeru
Bliká rychleji, poté pomaleji (celkem 20 s)	Zapnutý, po dobu blikání lze připojit k PC
Krátké bliknutí	Žádná změna stavu
Jedno dlouhé a několik krátkých bliknutí	Vypnutý

Spuštění a instalace

Konfiguraci lze provést předem, záznam se spouští při instalaci přejetím magnetem přes bok dataloggeru. Kontrolka začne blikat rychleji a poté pomalu pravidelně po dobu cca 20 sekund. Pokud není připojen k počítači, datalogger je od této doby aktivní a zaznamenává data. Zapnutý datalogger vložte do vejce tak, aby kontakty směřovaly ven z vejce, a zašroubujte.



U vajec s dutinami pro tři dataloggery vkládejte datalogger baterií (stříbrná strana) do středu vejce a deskou s čidly (zelená strana) směrem ven, aby mohla být zaznamenána teplota u povrchu vejce. Kontakty směřujte ven z vejce, popřípadě si zvolte svůj způsob vložení, nicméně při každé instalaci dodržujte stejnou orientaci dataloggeru.

Vypnutí a stažení dat

Po sebrání vejce z hnízda datalogger vyjměte z vejce. Použijte přiměřenou sílu, nicméně celý přístroj je zalit epoxidem, takže by tlak měl vydržet. Datalogger vypněte přejetím magnetem po jeho boku. Pokud kontrolka blikne jednou dlouze a poté několikrát krátce, datalogger je vypnutý. Datalogger skladujte takto do doby stažení dat.

Pro stažení dat připojte kabel k PC, spusťte *X Manager* a nastavte vstup *USB Serial Port*. Zapněte datalogger magnetem a dokud bliká, připojte jej kabelem k počítači a zvolte možnost *Connect*. V programu zvolte *Download*. Data se uloží jako sada komprimovaných souborů s příponou *.ard a *.memDump. Pro následnou konverzi dat zvolte *Convert data*, vyhledejte uložený soubor *.ard a v záložce *Conversion preferences* nastavte formát výstupní tabulky. Takto budou data uložena do souboru *.csv. Postup zpracování a analýzy dat po jejich stažení je popsán v kapitole 7.1.

Nabíjení

Datalogger se nabíjí prostřednictvím stejného kabelu, kterým se připojuje k PC. Pokud svítí červená kontrolka, probíhá nabíjení. Pokud svítí zelená kontrolka, datalogger je plně nabitý. Stav nabití v procentech je zobrazen v *X Manageru*. Stav nabití zkontrolujte alespoň týden před nasazením, aby byl v případě potřeby čas na dobití. Pro dlouhodobou výdrž dataloggeru je vhodné při delším nepoužívání přístroj minimálně jednou za půl roku zkontrolovat a dobít baterii alespoň na 50 % kapacity.

AXY5 - omezení a praktické poznámky

- Konfigurace a spuštění dataloggeru jsou dva samostatné kroky (záznam dat začne až po aktivaci magnetem)
- Orientaci dataloggeru v dutině volte u třídutinových podkladků tak, aby čidlo teploty směřovalo k povrchu vejce
- Datalogger by se neměl v dutině volně pohybovat, v případě potřeby vypodložte přístroj (papírem), aby byl datalogger pevně fixován; u třídutinových podkladků vkládejte papír vždy z vnitřní strany (k baterii), aby došlo k co nejmenšímu zkreslení teploty
- Ověřte, že jsou obě části vejce pevně sešroubovány
- U druhů s delší dobou inkubace vyměňte v průběhu monitoringu datalogger a nahradte ho jiným kusem
- Lze zvolit nižší frekvenci záznamu pro prodloužení výdrže dataloggeru
- Specifická doporučení a omezení pro jednotlivé skupiny druhů jsou uvedeny v kapitole 4.6.

4.2. Monitoring teploty a vlhkosti v hnízdě

Dataloggery zaznamenávající teplotu a vlhkost přímo v hnízdě patří k nejčastěji využívaným nástrojům v dosavadních studiích inkubace. Lze je využít pro široké spektrum druhů, tedy i u těch, které mají příliš malá vejce pro použití umělého podkladku s dataloggerem. V praxi se obvykle jedná o dvojici teplotních či teplotně-vlhkostních senzorů nebo o dva samostatné dataloggery. První senzor (či datalogger) je umístěn do výstelky uprostřed hnízda mezi vejci a zaznamenává podmínky, jimž jsou vejce bezprostředně vystavena, druhý senzor (či datalogger) je umístěn do 1 m od hnízda a slouží jako referenční záznam okolní teploty (a vlhkosti) v daném prostředí.

Oproti dataloggeru vkládanému do podkladku má toto řešení výhodu větší volnosti v konstrukci zařízení, protože do hnízda je nutné vyvést pouze samotný senzor. Tělo dataloggeru (včetně baterie) může být objemnější a skryté mimo dosah ptáka, například zahrabané v substrátu poblíž hnízda nebo upevněné vně hnízdní budky. Porovnáním teplotních záznamů z obou senzorů lze určit inkubační rytmus, tedy střídání inkubačních sezení a inkubačních přestávek, projevujících se vyrovnaním teploty mezi oběma senzory. Lze tak detekovat, zda nedochází k dlouhým přerušením inkubace, které by ukazovaly na neschopnost rodiče vejce zdárně vylíhnout.

Je však třeba mít na paměti, že naměřená teplota je silně závislá na přesném umístění čidla vzhledem ke snůšce a tělu rodiče. Z tohoto důvodu poskytují data z těchto přístrojů spolehlivou informaci především o průběhu inkubačních rytů, nikoli však o absolutní teplotě, již jsou vejce skutečně vystavena. Tu lépe zachytí datalogger umístěný v podkladku, který je v přímém kontaktu s tělem inkubujícího ptáka (kapitola 4.1.). Další komplikací je rovněž skutečnost, že čidlo v hnízdě může měnit svou polohu, tedy může být v průběhu inkubace rodičem zahrabáno hlouběji do výstelky, vystrčeno z hnízda nebo posunuto na jiné místo, což může zkreslit nebo zcela znehodnotit záznam za příslušné období. Nicméně je

tento datalogger vhodný pro doplnění informací získaných z umělého vejce.

4.2.1. MSR – datalogger pro měření teploty a vlhkosti v hnízdě

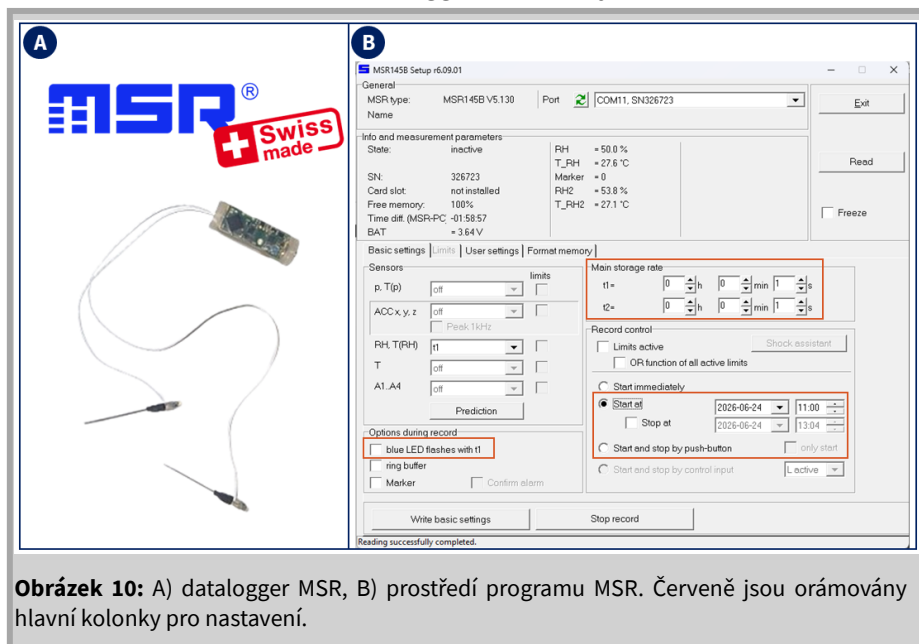
MSR je datalogger určený k měření teploty (popřípadě i vlhkosti dle zvoleného modelu) v hnízdě a jeho bezprostředním okolí. Je komerčně dostupný u švýcarské firmy MSR Electronics GmbH (www.msr.ch). Doporučujeme model MSR145 waterproof IP67 v silikonovém pouzdře se dvěma teplotními i vlhkostními senzory na kabelech o délce alespoň 20 a 40 cm. Dvě externí sondy (na kabelech různé délky) umožňují simultánní měření podmínek uvnitř hnízda i referenčních hodnot okolního prostředí. Datalogger lze nastavit s předstihem a zvolit možnost odloženého startu v předem nastavený čas, nebo je lze zapnout tlačítkem na boku.

Startování a konfigurace

Pro komunikaci s dataloggerem slouží speciální kabel a software *MSR.exe*. Pro startování přístroje odšroubujte ochrannou čepičku na konektoru dataloggeru, připojte kabel a zapojte do PC. Spustíte program *MSR.exe* a zvolíte *Setup* (ikona modrého S v levém panelu). Otevře se konfigurační okno; port by měl počítač rozpoznat automaticky. V konfiguračním okně přejděte na záložku *Format memory* a zvolte *Format*, tím smažete předchozí data. Formátování trvá přibližně 80 sekund a nesmí být přerušeno. Poté přejděte zpět na záložku *Basic settings* a nastavte parametry záznamu teploty (*t1* a *t2*) na 1s a vlhkosti (*RH*) na *t1* (toto nastavení zajistí sběr teplotních a vlhkostních dat ve stejný čas, viz doporučené nastavení na Obrázku 10). V poli *Start at* nastavte předpokládaný čas začátku sběru dat, který odpovídá plánované instalaci. Popřípadě můžete zvolit variantu *Start and stop by push button*, která však může být o něco méně spolehlivá. Zrušte označení volby „*blue LED flashes*

with t1", tím vypnete blikání LED kontrolky, které je v hnízdě či v jeho bezprostřední blízkosti nežádoucí. Potvrďte tlačítkem *Write basic settings* a zavřete okno tlačítkem *Exit*. Odpojte kabel a zašroubujte ochrannou čepičku zpět na konektor.

Doporučené nastavení vychází z potřeby zachytit jak krátkodobé výkyvy teplot při přestávkách inkubace, tak dlouhodobé trendy v průběhu celé inkubace, což výdrž tohoto dataloggeru umožňuje.



Obrázek 10: A) datalogger MSR, B) prostředí programu MSR. Červeně jsou orámovány hlavní kolonky pro nastavení.

Spuštění a instalace

Senzor na delším kabelu (po stažení jsou data označena T_RH2, RH2) zapíchněte vertikálně do výstelky uprostřed vajec. Senzor na kratším kabelu (po stažení jsou data označena T_RH, RH) umístěte mimo hnízdo do okolního prostoru. Ten slouží jako referenční záznam teploty a vlhkosti prostředí. Tělo dataloggeru ukryjte mimo přímý dosah ptáka tak, aby pokud možno nehrozilo jeho poškození ani vytažení. Ačkoliv je datalogger

vodotěsný, je vhodné jeho tělo chránit před vlhkem a prachem plastovým obalem.

Vypnutí a stažení dat

Připojte kabel a datalogger zapojte do PC. Spustte MSR.exe a zvolte *Reader* (ikona modrého *R* v levém panelu). Na dotaz „*Record is active! Terminate record?*“ zvolte *Yes*. Zvolte *Select all* a potvrďte tlačítkem *Ok*. Data se stáhnou a software zobrazí cestu k uloženému souboru s příponou *.msr. Po stažení se automaticky otevře okno s grafem průběhu zaznamenaných teplot a vlhkostí, které slouží k rychlé vizuální kontrole záznamu. Zde můžete ihned zkontrolovat, zda datalogger snímal, zda bylo čidlo správně umístěno v hnízdě a zda probíhala inkubace. Data lze z tohoto okna exportovat do formátu *.csv přes *File* → *Export time window as a text*. Pozor, před exportem označte v grafu všechny proměnné a zkontrolujte, zda jsou zobrazeny. Postup zpracování a analýzy dat, včetně vizualizace teplotních a vlhkostních průběhů, je popsán v kapitole 7.

Nabíjení

MSR se nabíjí prostřednictvím stejného kabelu, jakým se připojuje k počítači. Stav nabití lze zkontrolovat v softwaru MSR.exe. Stav nabití ověřte při konfiguraci před plánovanou instalací.

MSR - omezení a praktické poznámky

- Největším praktickým omezením jsou samotné senzory a nutnost jejich instalace do hnízda
 - u druhů, které aktivně přestavují nebo mají sklony k destrukci (např. papoušci), hrozí vytažení a poškození kabelů

- u hnízd na tvrdém podkladu s minimální výstelkou nemusí být zapíchnutí senzoru možné
- specifická omezení pro jednotlivé skupiny druhů jsou uvedena v kapitole 4.6.
- Při manipulaci s kabelem pro připojení dataloggeru MSR postupujte velmi opatrně
 - konektor obsahuje jemné piny, které lze snadno poškodit, kabel tedy nikdy nevytahujte silou
 - poškození pinů znemožní komunikaci s dataloggerem i jeho nabíjení

4.3. Záznam chování na hníždě

Kamery a fotopasti jsou široce využívané nástroje jak v přírodě, tak v ex-situ chovech. Kontinuální monitoring hnízdícího páru či jedince může být pro úspěšný odchov zásadní. Analýza záznamu v příslušném software umožňuje sestavit etogram inkubačního chování, tedy systematický záznam frekvence a délky jednotlivých typů chování (přestávky, střídání rodičů, úpravy hnízdního materiálu, péče o peří, shánění potravy, interakce s ostatními chovanými jedinci apod.), a to i bez nutnosti kombinace s ostatními dataloggery.

Kamera slouží také jako doplňkový nástroj k dataloggerům vloženým do vejce a senzorům umístěným v hníždě. K získaným datům tedy doplní kontext, v němž ostatní dataloggery sbírají data. Umožňuje propojit naměřené hodnoty teploty a pohybů vejce s konkrétním chováním rodiče na hníždě. Díky kamerovému záznamu lze identifikovat například důvod častých přerušení inkubace. Stejně tak lze sledovat interakce inkubujícího ptáka s jinými jedinci téhož či jiného druhu ve voliéře a vliv tohoto chování na inkubační podmínky. Tuto metodu lze použít i k ověření kompatibility konkrétního páru při péči o vejce.

Při výběru kamery je důležité zohlednit několik parametrů. Tím hlavním je možnost kontinuálního záznamu a s tím související dostatečná kapacita úložiště dat a zdroje napájení. Kamera by měla mít možnost napájení samostatným zdrojem (baterie či powerbanka) a neměla by vyžadovat připojení k Wi-Fi. Pro interpretaci dat z ostatních dataloggerů není nutné kamerový záznam pořizovat po celou dobu inkubace, postačí třídní záznamy. Inkubace probíhá nepřetržitě i v noci, kamera by proto měla disponovat infračerveným přísvitem dostatečným pro spolehlivé rozlišení chování i za nízké úrovně osvětlení, aniž by rušil inkubujícího ptáka. Ze stejného důvodu je potřebné dostatečné rozlišení (minimálně 1280×720 px) a frekvence snímkování (minimálně 10–15 snímků/s) pro spolehlivé rozpoznání chování a identifikaci konkrétních jedinců. Kamera by měla být umístěna a zvolena tak, aby bylo zachyceno hnízdo spolu s jeho bezprostředním okolím.



Obrázek 11: A) Umístění kamery ve voliérě, B) ukrytí powerbanky do substrátu, C) skrytí na kameru imitující kámen.

Důležité je, aby bylo možné přizpůsobit uchycení kamery konkrétním možnostem ve voliérě. Zejména u venkovních expozic je vhodná alespoň základní odolnost kamery proti vlhkosti a prachu, případně možnost

umístit citlivé části (napájecí zdroj) do ochranného krytu (Obrázek 11). V současné době jsou dostupné poměrně malé kamery splňující výše uvedené podmínky. Výběr konkrétního modelu kamery je tedy vždy kompromisem mezi kvalitou záznamu, délkou výdrže (baterie i úložiště) i podmínkami konkrétní expozice. Kameru doporučujeme před instalací zamaskovat nabarvením nebo polepením. Způsob maskování by měl odpovídat prostředí, ve kterém bude kamera použita. Obecně se k maskování osvědčily hnědé odstíny s nepravidelnými skvrnami, které pomáhají narušit obrys zařízení a snížit jeho nápadnost.

Pro účely záznamu chování na hnízdě se nejlépe hodí běžně dostupné domácí bezpečnostní kamery. Dobré zkušenosti máme s modely Wyze či Neos Smart Cam, které jsou cenově dostupné. Parametrově odpovídají například i modely E1 či E1 Pro od firmy Reolink.

4.3.2. Kamera Wyze

Z dostupných zařízení doporučujeme kameru Wyze (www.wyze.com). Výdrž těchto kamer závisí na kapacitě připojené powerbanky a na použité microSD kartě pro uložení záznamu. Při použití powerbanky s kapacitou 30 000 mAh lze počítat s přibližně 3–4 dny nepřetržitého záznamu. Kamera nevyžaduje žádný specializovaný software. Data se stahují přímo z microSD karty pomocí běžné čtečky karet.

Spuštění a synchronizace času

Vložte microSD kartu do slotu na spodní straně kamery a jemně zatlačte, dokud se nezacvakne. Připojte kameru kabelem (microUSB nebo USB-C dle typu kamery) ke zdroji. V tento okamžik si s přesností na sekundy запиšte čas spuštění. Kamera se spustí automaticky po připojení kabelu. Zhruba 10 sekund po zapojení se ozve cvaknutí a kamera zahájí



Obrázek 12: A) kompletní set pro snímání chování na hnízdě: powerbanka, napájecí kabel, microSD karta, kamera a stojánek; B) instalace kamery u hnízda.

kontinuální záznam. Kvůli propojení s daty z dataloggerů je nutné provést synchronizaci času, neboť tyto typy kamer často nemají vlastní přesné hodiny (RTC modul) pro dlouhodobé udržení správného času. Ihned po zahájení záznamu ukažte na kameru displej telefonu nebo PC zobrazující přesný čas včetně sekund. Nechte kameru nahrávat zobrazený čas po dobu 5–10 sekund a mírně přitom měňte úhel displeje, popřípadě displej přistiňte rukou. Pokud kamera správně nahrává, kontrolka na kameře (většinou zepředu kamery, záleží na typu) bliká červeně. Po kontrole nahrávání přelepte kontrolku černou páskou, aby červené světlo nerušilo inkubujícího ptáka.

Instalace

Doporučený typ kamery Wyze je ve spodní části opatřen magnetem a kloubem pro nastavení úhlu snímání. Pro kameru zvolte takové místo, aby slunce svítilo co nejmenší část dne proti kameře (obvykle z jižní strany hnízda). Existuje několik možností upevnění. Pro hnízda bez mohutné výstelky u ptáků hnízdících na zemi (kachny, bahňáci) se nám osvědčila instalace pomocí plastového stojánu, který lze zapíchnout do substrátu (Obrázek 12). Pokud zapíchnutí není možné, lze kameru připevnit lepící páskou k pevnému objektu (větev, stěna klece, nosná konstrukce či stěna budky) bez použití stojánu. Také lze kameru ukrýt do kamenné mohyly či umělého kamene dle možností ve voliére (Obrázek 11C).

Powerbanku lze díky kabelu umístit dále od hnízda a překrýt substrátem nebo zahrabat. Powerbanku vždy chraňte před vlhkostí a prachem uzavřením do plastového voděodolného obalu (Obrázek 11B). Místo přívodu kabelu do sáčku zajistíte pomocí lepící pásky. Zorný úhel kamery nastavte tak, aby bylo hnízdo uprostřed záběru a záznam poskytoval přehled i o dění v okolí hnízda. Pokud je nutné hnízdo navštívit během doby, kdy kamera nahrává, opět při začátku a konci své přítomnosti ve voliére ukažte na kameru přesný čas návštěvy (např. na telefonu) a zapište tento čas i do formuláře o instalaci (kapitola 5.1.).

Vypnutí a stažení dat

Kameru vypněte vytažením kabelu z kamery nebo z powerbanky. Vyjměte microSD kartu lehkým zatlačením dovnitř slotu, dokud se neuvolní. Vložte kartu do čtečky microSD karet a připojte ji k PC. Zkopírujte celou složku *record* z karty na disk počítače. Vzhledem k velkému objemu dat je důležité se ujistit, že byly staženy všechny nahrávky. Tři dny záznamu mohou u tohoto typu kamery zabrat až 18 GB místa. Po úspěšném zkopírování dat paměťovou kartu zformátujte. Kartu vložte zpět do kamery a dobijte powerbanku pro případnou další instalaci. Postup

analýzy kamerových záznamů a tvorba etogramů jsou popsány v kapitole 7.3.

Kamera - omezení a praktické poznámky

- Výdrž záznamu je přímo závislá na kapacitě powerbanky
- Před instalací vždy ověřte stav nabití powerbanky a zvažte, zda její kapacita pokryje plánovanou dobu monitoringu
- Při potřebě delšího záznamu je nutné přibližně po třech dnech:
 - vyměnit powerbanku
 - vyměnit microSD kartu
 - po zapnutí znovu nahrajte na kameru přesný čas
 - výměnu lze provést bez nutnosti kompletní demontáže kamery
- Přesná časová synchronizace kamery je klíčová pro správné propojení kamerového záznamu s ostatními získanými daty, jinak nelze spolehlivě přiřadit chování rodiče k odpovídajícím výkyvům teploty apod.
- Při přímém slunečním osvětlení může být displej telefonu při zobrazení času nečitelný kvůli odleskům, zvolte vhodný úhel natočení telefonu, případně displej zastiňte rukou
- Umístění kamery musí vyvažovat protichůdné požadavky
 - dostatečně kvalitní záběr na hnízdo
 - minimální rušivý vliv na sledované zvíře
- U plachých druhů
 - instalovat kameru do větší vzdálenosti
 - lépe ji zamaskovat

- specifická doporučení pro jednotlivé skupiny druhů jsou uvedena v kapitole 4.6.
- Kontinuální záznam vytváří velké množství dat
 - před instalací ověřte dostatečnou kapacitu interní paměti nebo SD karty v kameře i úložiště pro archivaci záznamů
- Při použití jiného typu kamery před první instalací ověřte
 - zorný úhel kamery a rozlišení
 - výdrž baterie
 - orientační velikost nahraných souborů pro konkrétní období

4.4. Proč je potřeba kontinuální monitoring?

Z přírody víme, že podmínky při inkubaci významně kolísají v závislosti na mnoha vnějších faktorech (kapitola 2). Přirozené krátkodobé výkyvy teploty vajec jsou běžnou součástí inkubace a u některých druhů k nim dochází velmi často (Webb 1987; DuRant et al. 2013). Současně se ukazuje, že přirozené kolísání inkubační teploty nemusí být pouze tolerováno, ale může představovat důležitý faktor ovlivňující fenotyp mláďat. Inkubační podmínky formují růst, metabolismus, termoregulační schopnosti, imunitní odpověď i chování jedinců po vylíhnutí a pro přežití mláďat mohou být tedy zásadní (DuRant et al. 2013). Obdobně je to pravděpodobně i s dalšími inkubačními parametry.

Monitoring inkubačních podmínek je proto vhodné provádět kontinuálně po dobu několika dní, neboť krátkodobé měření nemusí věrně odrážet skutečné hodnoty inkubačních parametrů. Pro hodnocení kolísání inkubační teploty, střídání rodičů, frekvence otáčení vajec nebo reakce na rušení je vhodné získat minimálně dvoudenní kontinuální záznam, který zachytí běžnou denní i noční variabilitu inkubačních podmínek.

Dlouhodobý monitoring (během celé inkubační periody) je důležitý zejména v případech, kdy rodiče na první pohled inkubují vzorně, ale vejde se opakovaně nedaří úspěšně vylíhnout. Příčinou mohou být například nahodilá delší přerušení inkubace po několika dnech, po nichž rodiče opět pokračují v sezení na snůšce, nebo změny jejich chování v průběhu inkubační periody, které lze odhalit pouze sledováním celé inkubace či její podstatné části.

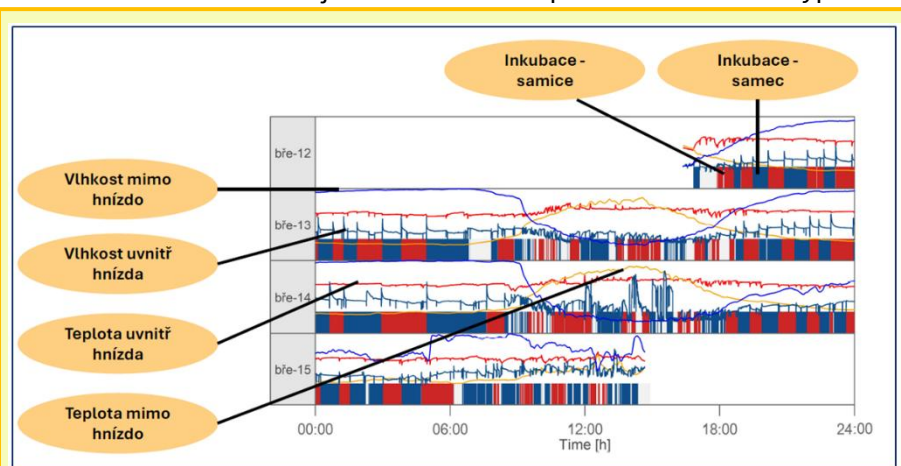
4.5. Další možnosti monitoringu

RFID

Vedle dataloggerů popsaných v předchozích kapitolách se při studiu inkubace využívají i další typy zařízení, která doplňují obraz o chování rodičů na hnízdě. Jedním z takových přístupů je využití RFID čtecích zařízení, která zaznamenávají přítomnost konkrétního jedince (rodiče) na hnízdě. Použití tohoto zařízení vyžaduje předchozí označení inkubujících rodičů RFID čipem, který je při využití v terénu obvykle vložen do kroužku nebo vlajky a připevněn na nohu ptáka. V chovech je však řada druhů čipovaná z evidenčních důvodů, což by pro tento typ monitoringu potenciálně šlo využít. Samotné čtecí zařízení se skládá z cívky a záznamníku. Cívka je umístěna kolem hnízda a s nastavitelnou frekvencí (typicky v řádu sekund) zaznamenává přítomnost ptáka s čipem v jejím vnitřním obvodu. Pokud se do dosahu cívky dostane jiný jedinec s čipem, je rovněž zaznamenán, což umožňuje sledovat výskyt jakéhokoliv čipovaného jedince přímo na hnízdě.

V současné době bohužel nejsou na trhu žádná vhodná komerčně dostupná zařízení, která by bylo možné pro tento typ monitoringu použít. V doposud publikovaných studiích jsou proto využívána výhradně zařízení vyvinutá přímo výzkumnými týmy. Příkladem takového zařízení je ZAYDA 2.1 (vyvinut v rámci projektu TAČR Č. TJ02000199), který kombinuje kontinuální záznam teploty a vlhkosti v hnízdě a v jeho okolí s

kontinuálním záznamem přítomnosti jedince s čipem na hnízdě (Obrázek 13). Tato kombinace umožňuje ověřit, zda byl konkrétní rodič na hnízdě v daný okamžik skutečně přítomen a zda zároveň v daném okamžiku skutečně inkuboval vejce. Hlavní nevýhodou tohoto přístupu je nutnost rodiče nejprve odchytit a vybavit RFID čipem (pokud již není čipován), což představuje další zásah do chovu. Dalším problémem je také fakt, že v současné době neexistuje komerčně dostupné zařízení tohoto typu.



Obrázek 13: Graf tří dnů inkubace zobrazující mikroklima v hnízdě. Červeně je zobrazena teplota naměřená v hnízdě a oranžově teplota mimo hnízdo. Šedo modře je zobrazena vlhkost v hnízdě a tmavě modře vlhkost mimo hnízdo. Zobrazena je také přítomnost samce (modré boxy) a samice (červené boxy) na hnízdě dle RFID čipů. Bílé mezery značí, že hnízdo nebylo inkubováno žádným z rodičů. Data byla pořízena dataloggerem ZAYDA 2.1.

Akustické záznamníky

Diktafony nebo automatické akustické dataloggery se používají k záznamu vokalizace na hnízdě, což může sloužit k identifikaci jedince a detekci líhnutí mláďat, rušení nebo predčních událostí.

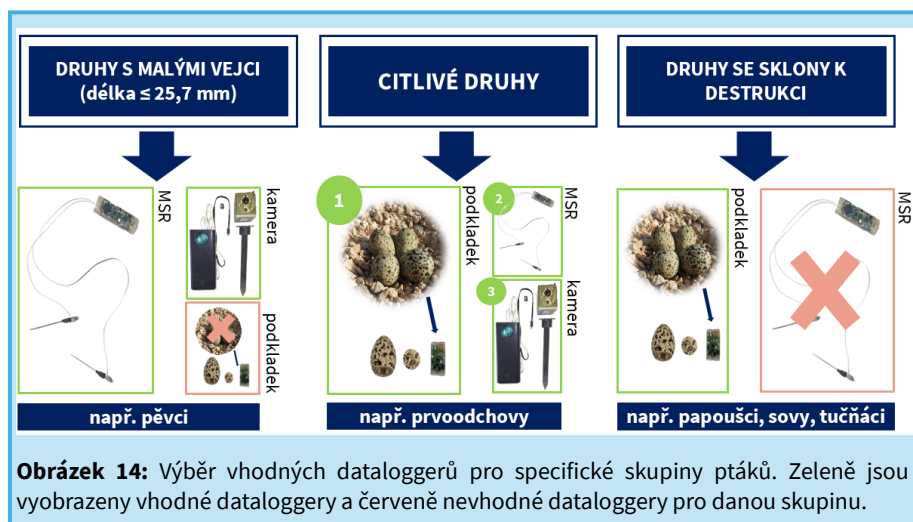
Telemetrie

Pro sledování jedinců ve volné přírodě se nejčastěji využívají VHF a UHF rádiové vysílače a GPS vysílače s přenosem dat prostřednictvím GSM sítě

nebo satelitů. Umožňují sledovat, kde a kdy jedinec hnízdí a jaké zálety podniká během inkubace. Některé vysíláče jsou navíc opatřeny akcelerometrem, který zaznamenává míru aktivity, obvykle prostřednictvím celkového dynamického zrychlení těla (ODBA), ze kterého lze také identifikovat, zda jedinec inkubuje snůšku či pečuje o mláďata. Nevýhodou je cena a nutnost odchyty a upevnění vysíláče na ptáka. Obecně se toto řešení v zajištění příliš nepoužívá. Obdobně lze díky nízké hmotnosti a kompaktnosti využít výše zmíněný datalogger AX5. Lze ho připevnit například i na ptačí mládě a kontinuálně sledovat jeho tělesnou teplotu a pohybovou aktivitu.

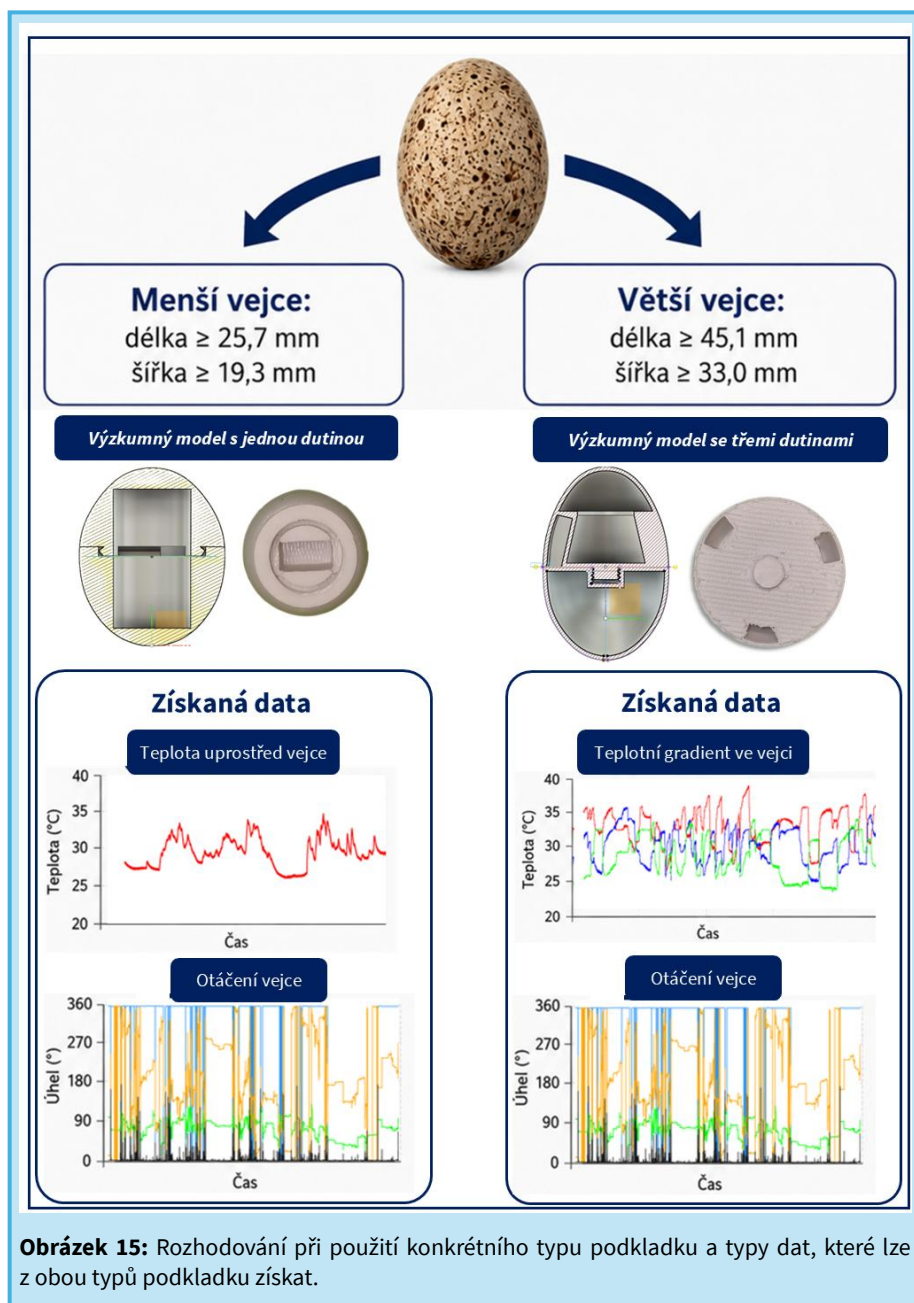
4.6. Kritéria výběru a specifika konkrétních skupin

Žádný monitorovací systém není univerzálně vhodný pro všechny druhy ptáků ani ve všech situacích. Na základě dosavadních zkušeností lze sledované druhy orientačně rozdělit do několika skupin podle toho, jaká omezení a doporučení pro ně platí (Obrázek 14). Avšak mohou samozřejmě existovat výjimky u konkrétních druhů, jedinců či párů.



Jedním z nejvýznamnějších omezení pro použití dataloggerů u konkrétního druhu je *velikost jeho vajec*. Ta určuje, zda lze použít podkladek s integrovaným dataloggerem a případně jakou variantu podkladku (s jedním či třemi dataloggery) je možné zvolit (Obrázek 15 a kapitola 4.1.1.). U velmi malých druhů (typicky většina pěvců) není současná velikost dostupných dataloggerů slučitelná s vložením do velikostně věrné imitace jejich vejce. V těchto případech doporučujeme využít kombinaci hnízdnicích senzorů a kamery, která umožní sledovat průběh inkubace.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat druhům citlivým na rušení (např. prvooodchov druhu). U druhů náchylných k opuštění hnízda po vyrušení je vhodné minimalizovat počet návštěv a veškeré zásahy (pokud je to možné) provádět během přirozených inkubačních přestávek. V takových případech představuje podkladek s dataloggerem výhodné řešení, protože jeho instalace je rychlá a po dobu výdrže baterie nevyžaduje další návštěvu hnízda. Pokud vejce rodiče přijmou, lze při dalších instalacích systém rozšířit o senzory instalované do hnízda nebo kameru. Při instalaci kamery však zvolte zprvu vzdálenější záběr, a to i za cenu snížení možnosti rozpoznat některé typy chování na hnízdě. Tento postup minimalizuje riziko opuštění hnízda a zároveň umožňuje identifikovat zařízení, které může vyvolat stres a opuštění hnízda. Obdobně, je-li monitoring prováděn u druhu, se kterým v tomto ohledu dosud nejsou zkušenosti, a zároveň máme důvod předpokládat, že bude druh na nové prvky citlivý, doporučujeme postupovat po jednotlivých krocích. A nejprve otestovat přijetí podkladku s dataloggerem. U některých druhů (například u jeřábů), je potřeba, aby podkladek imitoval reálné vejce opravdu přesně, což je pro přijetí vejce rozhodující. Doporučujeme proto u problematických druhů věnovat barvení podkladku zvýšenou pozornost a využít fotografie skutečných vajec sdílené prostřednictvím Inkubáže (viz podkapitola 4.1.1.2.).



Obrázek 15: Rozhodování při použití konkrétního typu podkladku a typy dat, které lze z obou typů podkladku získat.

Dalším kritériem při volbě dataloggeru je riziko poškození monitorovací techniky samotnými ptáky (Obrázek 14), neboť některé druhy mají sklony k destrukci dataloggerů (typicky papoušci, sovy či tučňáci). Dochází k tomu většinou při úpravě hnízda, kdy ptáci aktivně manipulují s předměty v hníždě a v případě nalezení kabelů od teplotních senzorů je často ničí. U těchto druhů je vhodné použít pouze zařízení ukrytá uvnitř podkladku a ostatní senzory či kabely umísťovat mimo bezprostřední dosah ptáků. Vyvarujte se tedy použití teplotních a vlhkostních senzorů v hníždě. Kameru lze použít, ale při instalaci je důležité pečlivě ukryt kabely a neinstalovat ji příliš blízko. Bezprostřední blízkost by mohla vyvolat snahu odstranit nebo poškodit přístroj. Dobré zkušenosti máme u druhů hnízdících v budkách s připevněním kamery ke stropu budky a vyvedením napájení ven z budky (jak bylo ověřeno například u tučňáka brýlového) či s instalací kamer do kamenných mohyl nebo umělých kamenů (Obrázek 11).

5. Instalace a provoz monitorovacího systému

Tato kapitola popisuje doporučené postupy pro instalaci dataloggerů, vedení záznamů o instalaci a praktická doporučení pro umístění jednotlivých typů zařízení. Zjednodušený seznam úkonů při instalaci dataloggerů (AXY5, MSR a kamery) naleznete v příloze (9.1.).

5.1. Vedení záznamu o instalaci

Vedení záznamu o instalaci je jedním z často podceňovaných kroků při použití dataloggerů. Přesně vedená dokumentace umožňuje i po letech spolehlivě přiřadit stažená data ke konkrétnímu hnízdu a druhu a podrobný zápis umožňuje správně interpretovat anomálie způsobené rušením při návštěvách hnízda chovateli. Tyto věci jsou zcela zásadní i při opakovaném využití dat, například v rámci srovnávacích studií. Dodržování principů a zásad popsanych v následujícím textu tak můžete předejít tomu, že se v budoucnu připravíte o možnost zapojit se se svými daty do rozsáhlejších výzkumných prací, nebo tomu, že budete muset sběr dat zbytečně opakovat. Pracně sebraná a unikátní data se totiž bez dohledatelného kontextu mohou snadno stát takřka bezcennými.

Při každé instalaci doporučujeme zaznamenat minimálně následující údaje (viz také šablony protokolů v příloze – kapitola 9.1.):

- unikátní označení instalace (*ID instalace*)
- druh ptáka
- identifikaci jedince nebo chovného páru (*ID rodičů / hnízda*)
- počet vajec ve snůšce

- fáze inkubace/datum snesení prvního vejce/datum zasednutí na snůšku
- typ použitého dataloggeru
- identifikační číslo dataloggeru (*ID AXY, ID MSR, ID SD*)
- datum a přesný čas spuštění dataloggerů
- datum a přesný čas návštěvy voliéry při instalaci
- lokalitu nebo číslo voliéry
- případné mimořádné další poznámky k monitoringu: podkladek nahradil vejce, které bylo odebráno do inkubátoru/podkladek byl přidán ke stávající snůšce apod.

V průběhu sběru a při deinstalaci dataloggerů doporučujeme zaznamenávat:

- datum a přesné časové rozmezí přítomnosti ve voliře v průběhu sběru dat
- datum a čas ukončení monitoringu
- název a umístění souboru se staženými daty

Pokud je to možné, doporučujeme zapsat doplňkové informace:

- osud hnízda (příčina nezdaru)
- počet vylíhnutých vajec (popř. jejich oplozenost)

Poznámky ke konkrétním přístrojům

Příklad struktury záznamu naleznete v kapitole 9.1. Do protokolu je nutné zaznamenat čísla (ID) všech nasazených zařízení. U dataloggerů AXY5 je třeba datalogger nejprve očíslovat přímo v softwaru a toto číslo si

poznamenat i fyzicky na stranu dataloggeru s baterií, aby bylo možné zařízení v terénu i zpětně bezpečně identifikovat. Dataloggery MSR mají naproti tomu vlastní šestimístné výrobní číslo uvedené v pravém horním rohu zařízení (např. SN 326723), které je unikátní a lze je použít pro identifikaci. Toto číslo je navíc uvedeno i v souboru po uložení dat. U kamer doporučujeme číslovat především používané microSD karty, protože právě ty obsahují samotný záznam a často jsou používány v různých kamerách.

Pokud jsou v průběhu monitorovaného období nutné další návštěvy hnízda, ať za účelem kontroly, výměny zařízení nebo z jiného důvodu, je nezbytné vždy zaznamenat přesný začátek a konec každé takové návštěvy. Po dobu návštěvy jsou ptáci rušeni a chovají se nepřírozeně a tyto úseky je proto nutné při následné analýze buď z dat odstranit, nebo si jich při interpretaci minimálně být vědom. Stejně tak je důležité zaznamenat čas definitivní deinstalace dataloggerů. Pokud například není možné datalogger na místě vypnout nebo na to zapomeneme, musíme zpětně vyřadit data nahraná po odebrání dataloggerů z hnízda.

5.2. Minimalizace rušení při instalaci

Klíčovou zásadou pro minimalizaci stresu zvířat je maximální možná příprava všech přístrojů předem. Všechny dataloggery by měly být nastartovány, nastaveny a jejich funkčnost ověřena ještě před vstupem do voliéry, sériová čísla zapsána a způsob instalace senzorů a kamery předem promyšlen. Doporučujeme s sebou vzít materiál umožňující více variant uchycení kamery i senzorů (drátky, lepicí pásku), protože konkrétní podmínky u hnízda nelze vždy předem zcela odhadnout a nepřipravenost na místě prodlužuje dobu rušení ptáka. Z hlediska pořadí instalace je vhodné začít instalací kamery. Je dobré ji zapojit a spustit s předstihem před vstupem do voliéry, neboť lze v klidu provést synchronizaci času (ukázat čas na kameru a zapsat jej do protokolu), čímž zkrátíme samotný pobyt u hnízda. V takovém případě dejte pozor na možné rozpojení kabelů

při přenosu kamery, které přeruší a znehodnotí záznam. Celá instalace by měla být v každém případě co nejkratší a co nejméně rušivá.

5.3. Postup instalace umělého vejce

Způsob instalace se liší podle toho, zda má druh proměnlivý nebo pevný počet vajec ve snůšce. U druhů s variabilním počtem vajec lze podkladek s dataloggerem jednoduše přidat do snůšky bez nutnosti odebrat vlastní vejce. U druhů s fixním počtem vajec, jako jsou čtyř vaječné snůšky typické pro řadu bahňáků, je vhodné jedno vlastní vejce odebrat a po dobu monitoringu jej uložit do inkubátoru a nahradit ho podkladem. Pokud jsou u daného druhu standardně vejce nahrazovány podkladky, doporučujeme vybavit dataloggerem alespoň jeden z těchto podkladků. Samotnou výměnu vejce za podkladek je nejvhodnější provést v okamžiku inkubační přestávky nebo při přirozeném střídání partnerů na hnízdě, kdy hnízdo není obsazeno žádným z rodičů. Pokud takový okamžik nelze odhadnout, je nutné inkubujícího ptáka při výměně vyrušit.

5.4. Instalace senzorů teploty a vlhkosti

Způsob upevnění senzoru v hnízdě (MSR) se odvíjí od typu substrátu, v němž se hnízdo nachází. U měkkých a dostatečně hlubokých substrátů postačí k fixaci pouze kolík, kterým je vybaven samotný senzor. Pro pevnější uchycení lze využít drátky ohnuté do tvaru V, kterými se kabel přichytí přímo do výstelky. Pokud instalujeme datalogger do budky s minimem výstelky, lze použít k připevnění izolační pásku. Kabel senzoru je vhodné zapracovat co nejhlouběji do výstelky hnízda, aby za něj pták neměl tendenci aktivně tahat. Viditelný a volně visící kabel zvyšuje riziko, že přístroj bude vytažen a poškozen. Doplnkovým opatřením je nabarvení kabelu na barvu odpovídající výstelce hnízda, čímž se sníží jeho nápadnost.

5.5. Instalace kamery

Při instalaci kamery je nutné věnovat pozornost zornému úhlu tak, aby záběr zahrnoval celý prostor hnízda i jeho okolí, a zároveň zajistit stabilní a bezpečné napájení po celou plánovanou dobu záznamu. Zásadní pozornost je třeba věnovat přesné synchronizaci času. Přesnost závisí na délce a vzdálenosti, z níž je čas kameře ukazován (kapitola 4.3.2.), i na úhlu náklonu zobrazovacího zařízení vůči objektivu kamery. Doporučujeme čas ukazovat z více úhlů po delší dobu, aby byl alespoň v části záznamu dobře čitelný. Stejně jako u hnízdních senzorů platí, že žádná část napájecího kabelu by neměla zůstat volně viditelná. Kabel fixujte drátem nebo lepicí páskou a zabarvěte jej do neutrálního odstínu odpovídajícího okolnímu substrátu, čímž se minimalizuje riziko, že si jej pták povšimne a začne s ním manipulovat.



5.6. Kontrola funkčnosti a výdrž zařízení

V průběhu monitoringu je vhodné ověřit, že zařízení skutečně zaznamenávají data. U kamery je důležité zkontrolovat úhel natočení a také je nutné stav nahrávání ověřit pohledem na kontrolku (kapitola 4.3.). U ostatních dataloggerů je kontrola bohužel možná pouze připojením k

počítači. Výdrž jednotlivých zařízení a jejich doporučené nastavení jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2: Výdrže jednotlivých typů doporučených dataloggerů

Zařízení	Orientační výdrž	Nastavení
AXY5 (podkladek)	18 dní	acm 10 Hz, mag 2 Hz; teplota 1 Hz
MSR (hnízdo/okolí)	24 dní/4měsíce	1 Hz/0,1 Hz
Kamera Wyze	3-4 dny	powerbanka 30 000 mAh, microSD karta 32 GB

5.7. Ukončení monitoringu a vyjmutí dataloggerů

Načasování ukončení monitoringu a vyjmutí zařízení by mělo opět vycházet primárně z ohledu na minimalizaci rušení daného páru. Pokud nechceme ptáka v citlivé fázi inkubace zbytečně rušit, není nutné dataloggery odstraňovat ihned po skončení jejich předpokládaného nahrávání. I když je výdrž zařízení různá, je vhodné zvážit, zda veškerá zařízení neodstranit najednou až po vylíhnutí celé snůšky, čímž se počet zásahů do hnízda omezí na minimum.

Po skončení sezóny je nutné věnovat pozornost správnému skladování zařízení. Dataloggery by měly být chráněny před extrémním mrazem i horkem. Doporučujeme přibližně po třech měsících nepoužívaný datalogger zkontrolovat a pokud není aktuálně plánováno jeho další nasazení dobít na 50 % kapacity baterie. Dlouhodobé skladování s vybitou baterií může vést k jejímu poškození nebo zkrácení životnosti.

6. Správa dat

Správná organizace, archivace a správa dat jsou nedílnou součástí sběru dat. Vzhledem k tomu, že jednotlivé typy dataloggerů generují velké množství dat v různých formátech, je nezbytné již od počátku zavést jednotný systém ukládání, pojmenování souborů a evidence doplňujících informací. Standardizovaný postup usnadňuje následnou analýzu, sdílení dat a dlouhodobou archivaci.

6.1. Export a přenos dat

Po ukončení monitoringu je nutné stáhnout data ze všech použitých zařízení. Většina dataloggerů využívaných při monitoringu inkubace umožňuje export dat prostřednictvím softwaru dodávaného výrobcem, případně v textové formě (soubory *.csv, *.txt apod.). Přesný postup stahování dat se liší podle typu zařízení a je popsán v částech kapitoly 4 věnovaných jednotlivým dataloggerům.

Po exportu doporučujeme vždy ověřit, zda byla data úspěšně uložena, zda mají soubory očekávanou velikost a zda obsahují celý interval měření. Teprve poté doporučujeme vymazat (formátovat) paměť dataloggeru.

6.2. Organizace dat a pojmenování souborů

S postupem času a přibývajícími dataseťmi začíná být přirozeně komplikované se ve stažených souborech vyznat. Lze proto s maximálním důrazem doporučit od začátku dodržovat základní pravidla pro správu a skladování dat. Pro dlouhodobé skladování dat doporučujeme vytvořit adresářovou strukturu rozdělenou například podle roku, druhu a jednotlivých instalací. Každá instalace (tedy každý jednotlivý běh monitoringu konkrétního hnízda) by měla mít vytvořen záznam o

instalaci, který je klíčový pro propojení dat ze všech použitých zařízení (kapitola 9.1.). V tomto záznamu by měla být instalace označena unikátním identifikátorem (ID instalace), který jednoznačně určuje daný monitoring a ideálně obsahuje i údaj o roce, druhu a pořadí instalace (např. 2026_Burhinus_grallarius_1, případně zkráceně 26_burgra_1). Stejný identifikátor je vhodné používat také v názvech všech souborů souvisejících s danou instalací, aby bylo možné jednotlivá data snadno propojit a dohledat.

6.3. Nejčastější chyby při správě dat

Přepsání původních dat

Originální soubory exportované z dataloggerů by nikdy neměly být upravovány. Doporučujeme je ihned po stažení zálohovat. Veškeré úpravy, filtrování nebo analýzy by měly probíhat pouze na pracovních kopiích dat. Zachování původních souborů umožňuje kdykoliv ověřit správnost provedených úprav nebo se vrátit k původním datům.

Časová pásma

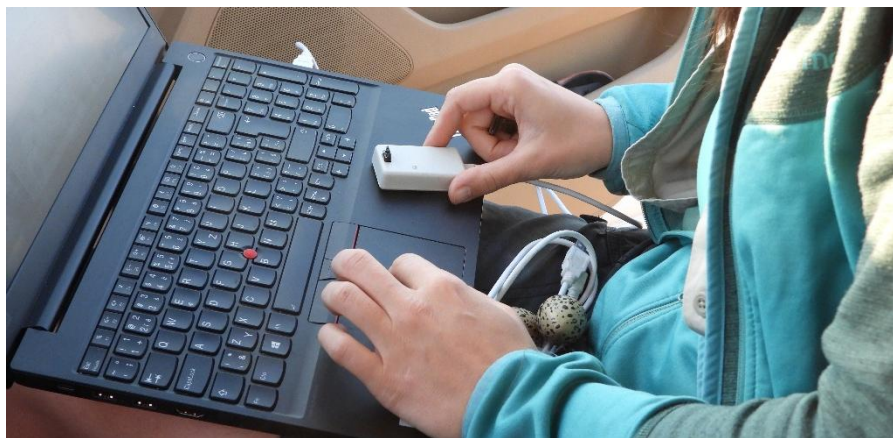
Jedním z nejčastějších zdrojů chyb je nesprávná interpretace časových údajů. Některé dataloggery ukládají čas v koordinovaném světovém čase (UTC; např. AXY5), zatímco jiné přebírají nastavení časového pásma z počítače, na kterém byly nastavovány (např. MSR). Při kombinaci více zařízení tak může snadno dojít k časovému posunu mezi jednotlivými datovými soubory. Proto je vhodné při každé instalaci zaznamenat přesný čas spuštění záznamu konkrétního dataloggeru. Záznam správného času má význam i při použití jednoho samostatného dataloggeru. Mnohé aspekty inkubačního chování vykazují cirkadiánní rytmicitu, a proto je například přesné určení začátku a konce noci nezbytné pro správnou interpretaci výsledků.

Práce s videosoubory

Videozáznamy představují objemově největší část dat. Záznam tří dní inkubace může mít velikost 20 GB. U kamer doporučených v této metodice vzniká během záznamu velké množství samostatných videosouborů (u kamery Wyze jeden soubor každých 60 sekund). Při jejich kopírování může výjimečně dojít k vynechání některého souboru, což následně naruší časovou návaznost videa a může znemožnit správnou analýzu. Z tohoto důvodu doporučujeme po ukončení monitoringu všechny videosoubory nejprve zabalit do jednoho archivu (např. ZIP) a teprve poté je kopírovat nebo přenášet mezi úložišti. Po přenosu je vhodné ověřit úplnost archivního souboru i počet jednotlivých videí.

Pravidelné zálohování

Veškerá data by měla být uložena alespoň na dvou nezávislých úložištích. Ideální je kombinace lokálního disku a síťového nebo cloudového úložiště. Zálohování by mělo probíhat průběžně již během monitoringu, nikoliv až po jeho ukončení.



7. Zpracování a vizualizace dat

Samotný sběr dat je pouze prvním krokem při monitoringu inkubace. Skutečnou hodnotu získávají data až jejich správným zpracováním, vizualizací a interpretací, což je zpravidla nejnáročnější část. Vzhledem k tomu, že analýza časových řad často vyžaduje alespoň základní znalosti práce s daty a statistickými nástroji, doporučujeme v případě rozsáhlejších projektů navázat spolupráci s odborníkem se zkušenostmi v oblasti analýzy dat. Současně však existují nástroje, které umožňují provést základní zpracování a vizualizaci i uživatelům bez pokročilých programátorských nebo statistických znalostí. V této kapitole představujeme postupy a nástroje, které lze využít pro prvotní zpracování dat získaných metodami popsány v této příručce.

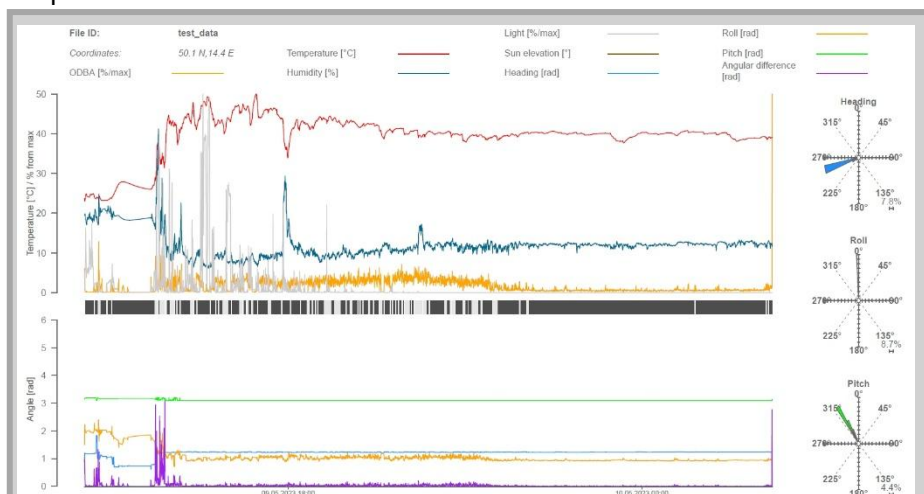
7.1. Aplikace accelR8

Pro základní vizualizaci a předběžné zpracování dat z akcelerometru, magnetometru a teplotního čidla (tedy dat z dataloggerů typu AX5 nebo DAL2/DAL3 vkládaných do podkladku) je k dispozici online aplikace accelR8 (Chajma & Sládeček 2023). Aplikace je dostupná na webu: <https://bergmaps.fzp.czu.cz/accelr8/>. Aplikace umí nahrát, zkalibrovat, sumarizovat a vizualizovat nahraná data z akcelerometru, magnetometru (Obrázek 16), teplotního, vlhkostního i světelného čidla a rozpoznat v nich obecné skryté stavy (např. odlišné typy pohybu nebo aktivity) pomocí skrytého Markovova modelu (Hidden Markov Models, Leos-Barajas et al. 2017). Tato aplikace vám poskytne obecný vhled do získaných dat o teplotě a otáčení vejce. Pro počítání některých specifických metrik je možné využít také samostatný skript, který naleznete například v publikaci Pešková et al. 2024.

7.1.1. Příprava a vstup dat

Aplikace umožňuje automatický import dat ve dvou podporovaných formátech: nativní export z dataloggeru *AXY5* a původní export *DAL2/3*. Maximální velikost analyzovaného souboru je omezena na 2 GB.

U dataloggerů *AXY5* aplikace pracuje s tabulátorem odděleným exportem ve formátu **csv*. Formát *AXY* je rozpoznán automaticky, pokud hlavička začíná sloupci *Tag ID*, *Timestamp*, *X*, *Y*, *Z*. Těchto pět sloupců je povinných. Sloupec *Tag ID* obsahuje identifikátor dataloggeru nebo záznamu. *Timestamp* obsahuje datum a čas včetně milisekund ve formátu *YYYY.MM.DD hh:mm:ss.sss* a sloupce *X*, *Y*, *Z* obsahují hodnoty zrychlení pro tři osy akcelerometru v jednotkách *g*. Další sloupce se importují automaticky, pokud jsou v souboru přítomny: *Temp.* (°C) pro teplotu, *MagX*, *MagY*, *MagZ* pro tři osy magnetometru, *Batt. V.* (V) pro napětí baterie a *Metadata* pro provozní informace loggeru. Prázdné hodnoty u senzorů sbírajících s nižší frekvencí jsou očekávané a není nutné je před importem doplňovat.



Obrázek 16: Prostředí aplikace accelR8 se vizualizovanými daty. Pro ukázkou byla použita data z dataloggeru *DAL3* obsahující na rozdíl od *AXY5* i informaci o intenzitě světla a vlhkosti. V horním grafu je červeně zobrazena teplota. Ve spodním a pravém grafu je zobrazen pohyb ve třech osách – pitch, roll a heading (neboli yaw), viz kapitola 4.1.

7.1.2. Postup zpracování

Po nahrání datového souboru zadejte zeměpisné souřadnice lokality sběru ve standardu WGS84. Aplikace vychází z předpokladu, že je čas v dataloggeru zaznamenáván v lokálním časovém pásmu a na základě dodaných souřadnic automaticky převede čas měření na UTC a dopočítá výšku slunce nad horizontem, což může pomoci při interpretaci dat ve vztahu k denní době. U dat z akcelerometru a magnetometru lze následně provést automatickou kalibraci, která minimalizuje systematickou chybu senzorů.

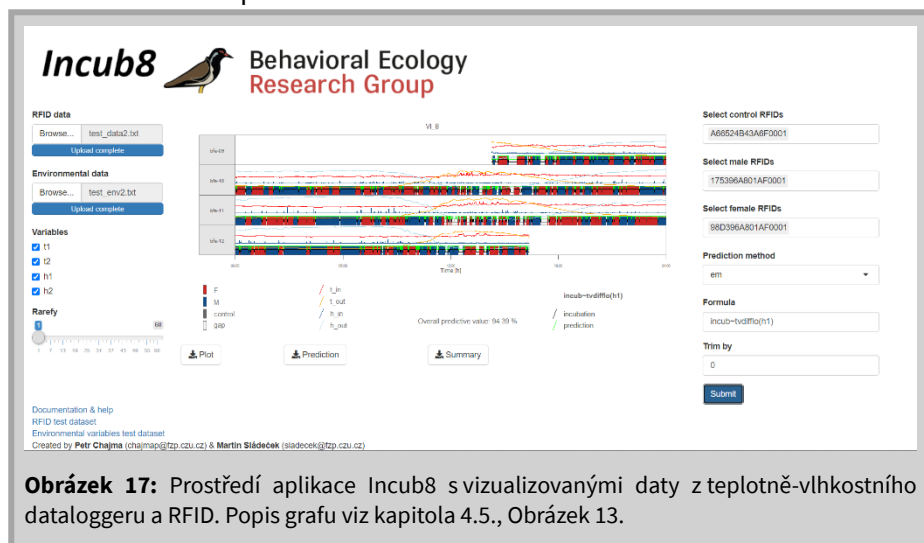
Dalším krokem je příprava a sumarizace dat. Zde si zvolíte proměnné, které se mají sumarizovat, a určíte velikost sumarizačního okna v sekundách (například průměr za 1 sekundu). Tento krok slouží především k převedení dat na jednotnou vzorkovací frekvenci a ke zrychlení dalšího vykreslování grafů. K dispozici jsou základní popisné statistiky (průměr, medián, minimum, maximum, směrodatná odchylka) a u magnetometru navíc úhlové funkce (úhlová vzdálenost a úhlový rozdíl). Pro snížení šumu lze na vybrané proměnné dále aplikovat transformaci *dif1* (diference prvního řádu) nebo *log1* (přirozený logaritmus), případně obě zároveň.

Následně lze přistoupit k predikci skrytých stavů. Zde si zvolte jejich počet, který má model rozlišit, vyberte prediktory a transformace a model spusťte. Před spuštěním je vhodné data podvzorkovat (*rarefy*) pro rychlejší náhled a odstranit (*trim*) úvodní a koncové úseky záznamu ovlivněné manipulací při instalaci nebo vyjmutí dataloggeru.

Výsledkem je dvouřádkový aktogram (Obrázek 16), který v horní části zobrazuje naměřené hodnoty (zrychlení, teplota, vlhkost, osvětlení, výška slunce) a ve spodní části predikci stavů (které v tomto kontextu nejsou relevantní), doplněný o kruhové grafy zobrazující rozložení úhlů ve třech osách magnetometru. Graf lze uložit jako soubor *.png, výstup predikce a souhrn modelu lze stáhnout pro další zpracování nebo archivaci.

7.2. Aplikace incub8

Pro automatické zpracování dat ze senzorů teploty a vlhkosti v hnízdě (např. MSR) je k dispozici online aplikace incub8 (Chajma & Sládeček 2020, vyvinuta s podporou TAČR, grant č. TJ02000199). Aplikace je dostupná na webu: www.bergfzp.shinyapps.io/incub8/. Jejím cílem je automatická extrakce inkubačního rytmu na základě teplotních a vlhkostních dat (Obrázek 17). Pro detekci inkubace a inkubačních přestávek používá aplikace skryté Markovovy modely (Hidden Markov Models, Leos-Barajas et al. 2017). Model je možné natrénovat dvěma způsoby. Pro použití jednodušší varianty je metoda *em*, při níž se model naučí rozlišovat jednotlivé stavy sám, bez nutnosti mít k dispozici jakákoli potvrzující data o skutečném chování ptáka. Druhou možností je metoda *loo*, kterou lze využít v situaci, kdy máte alespoň pro část záznamu k dispozici ověřená data o skutečném chování ptáka, typicky získaná z kamerového záznamu. Tato referenční data pak umožní přesnější odhad parametrů modelu a zároveň ověření jeho spolehlivosti srovnáním predikce se skutečností a následně umožní predikovat chování na větším datasetu.



7.2.1. Formát dat

Aplikace pracuje s jediným datovým souborem ve formátu *.txt s hodnotami oddělenými čárkou a s hlavičkou obsahující přesně pojmenované proměnné (rozlišují se velká a malá písmena). Soubor musí obsahovat sloupec s datem a časem měření *datetime*, který musí být zapsán ve standardizovaném formátu zobrazeném v ukázkovém souboru (YYYY-MM-DD hh:mm:ss). Zároveň musí být přítomna alespoň jedna z následujících proměnných: teplota v hnízdě *t1*, teplota mimo hnízdo *t2*, vlhkost v hnízdě *h1* a vlhkost mimo hnízdo *h2*. Maximální velikost souboru je 50 MB. Doporučujeme řídit se přesně podle vzorového souboru uvedeného níže, aby nedošlo k chybě při importu.

```
"datetime","t1","t2","h1","h2"
```

```
"2019-03-09 14:15:21",29.0578,37.8964,38.504,22.7692
```

```
"2019-03-09 14:15:22",29.0845,37.9098,38.2294,22.7524
```

```
"2019-03-09 14:15:23",29.0845,37.9231,38.0432,22.7844
```

7.2.2. Nahrání a analýza dat

Po nahrání dat do aplikace zvolíte, které proměnné mají být zobrazeny a následně použity v predikčním modelu. Pro rychlejší vykreslení náhledu a vyzkoušení několika variant modelu je vhodné využít funkci *rarefy*, která ve výchozím nastavení používá pouze každý 30. záznam. Pro finální analýzu je ale nutné toto nastavení vrátit na hodnotu 1, aby model pracoval s celou datovou sadou a dosáhl plné přesnosti.

Protože původní získaná data jsou zpravidla zatížena šumem, nabízí aplikace několik doporučených transformací, které zlepšují jejich vypovídací hodnotu. Pro teplotní data doporučujeme transformaci *negdiff*, která dobře detekuje zejména delší inkubační přestávky. Pro vlhkostní data jsou vhodnější transformace *difflo* a *tvdifflo*, které citlivěji zachytí i krátké přestávky, přičemž *tvdifflo* je vhodnější u dat s větším šumem. Nejlepších výsledků obvykle dosáhnete kombinací

transformované teploty (*negdiff*) a transformované vlhkosti (*difflo* nebo *tvdifflo*) v jednom modelu.

Po nastavení proměnných a transformací zvolíte predikční metodu. Varianty jsou: *none* pro pouhé zobrazení dat bez predikce, *loo* nebo *em*. Aplikace následně vykreslí tzv. inkubační aktogram, tedy grafický záznam průběhu teploty a vlhkosti spolu s vyznačenými úseky inkubace a inkubačních přestávek (Obrázek 17, detailní rozbor aktogramu viz Obrázek 13). Pokud máte k dispozici referenční data, aplikace navíc automaticky spočítá citlivost a přesnost modelu a zobrazí srovnávací tabulku skutečných a predikovaných stavů.

V případě potřeby lze z analýzy vyřadit úvodní a koncové úseky záznamu pomocí funkce *trim by*, která je vhodná zejména tehdy, pokud byly tyto části ovlivněny přítomností osoby při instalaci nebo deinstalaci dataloggerů. Z aplikace lze následně stáhnout vykreslený graf ve formátu *.png a samotnou predikci stavů v podobě textového souboru (0 pro přestávku, 1 pro inkubaci). Aplikace umožňuje také zpracovat data z RFID čtecích zařízení popsaných v kapitole 4.5.

7.3. Analýza videozáznamů v programu BORIS

Pro systematické zpracování kamerových záznamů chování na hnízdě doporučujeme volně dostupný software BORIS (Behavioral Observation Research Interactive Software; Friard a Gamba 2016), dostupný na adrese www.boris.unibo.it. Program umožňuje vytvořit vlastní etogram sledovaného chování a následně jej pomocí jednoduchého rozhraní s klávesovými zkratkami zadávat přímo při přehrávání videa, čímž výrazně zrychluje proces, který by jinak vyžadoval složitější manuální zaznamenávání.

7.3.1. Tvorba etogramu a typy událostí

Klíčovým krokem před zahájením jakékoliv analýzy je vytvoření etogramu (příklad najdete v kapitole 9.2.), tedy seznamu typů chování, které se mohou ve videozáznamu objevit. Zde jim přiřadíte klávesové zkratky, které budete při analýze videí používat. BORIS rozlišuje dva základní typy chování:

Stavové chování (state events) je chování s delším trváním, u kterého zaznamenáváme jeho začátek i konec stisknutím téže klávesové zkratky. Mezi typické kategorie stavového chování při studiu inkubace patří přítomnost rodiče na hnízdě, samotná inkubace (přímý kontakt těla s vejci), stínění snůšky, nebo spánek (rozpoznatelný například podle zavřených očí nebo hlavy zastrčené v peří).

Bodové chování (point events) je naproti tomu krátkodobé nebo opakující se chování bez jasně definovatelného konce, které se zaznamenává jako jednotlivý okamžik. Typickým příkladem je úprava hnízdního materiálu, otočení vejce nebo čištění peří. Některá chování je vhodné zařadit mezi bodové události i přesto, že fakticky určitou dobu trvají, pokud je obtížné jednoznačně určit okamžik jejich ukončení.

U bodových akcí, které se v krátkém čase mohou opakovat (například časté čištění peří), je vhodné stanovit fixní časový interval, v jehož rámci se akce zaznamenává jako jeden výskyt. V praxi se osvědčil interval 30 sekund. Tento přístup zabraňuje zkreslení výsledků nadměrným počtem velmi krátkých, vzájemně téměř bezprostředně navazujících záznamů.

Po založení etogramu jej lze použít k analýze všech videí a není potřeba ho znovu vytvářet. Proto by měl zahrnovat všechny pravděpodobně se vyskytující typy chování napříč druhy. Příklad univerzálního etogramu naleznete v kapitole 9.2.

7.3.2. Příprava záznamu

Před samotným určováním chování je nutné každému videozáznamu přiřadit identifikační údaje, jako jsou číslo instalace, označení hnízda a především zadat přesné datum a čas začátku nahrávání. Tento krok je klíčový pro pozdější synchronizaci pozorovaného chování s daty z ostatních dataloggerů (AXY5, MSR). Přesnost synchronizace přímo závisí na pečlivém zaznamenání času při instalaci kamery (u doporučených kamer Wyze). Pomocí volby *Add all media from directory* nahrajte všechny záznamy z dané složky (Obrázek 18). U doporučeného typu kamery se jedná o 60 souborů odpovídajících 1 hodině záznamu.

New observation

Observation id 26_burgra_1 Date and time 2026-06-24 10:15:20

Description

Independent variables

Variable	Type	Value
----------	------	-------

Time offset + 0 :00 :00 :000 hh:mm:ss seconds

☐ Limit observation to a time interval

Media Live

Media files Data files

	Player	Offset (seconds)	Path	Duration	FPS	Video	
2	1	0	C:/Luca/0_Czu/...	00:00:16.050	20.00	True	Tru

Add media Add media without path Remove selected media Add all media from directory Add all media from dir without path

☐ Visualize the sound spectrogram for the player #1

☐ Visualize the waveform for the player #1

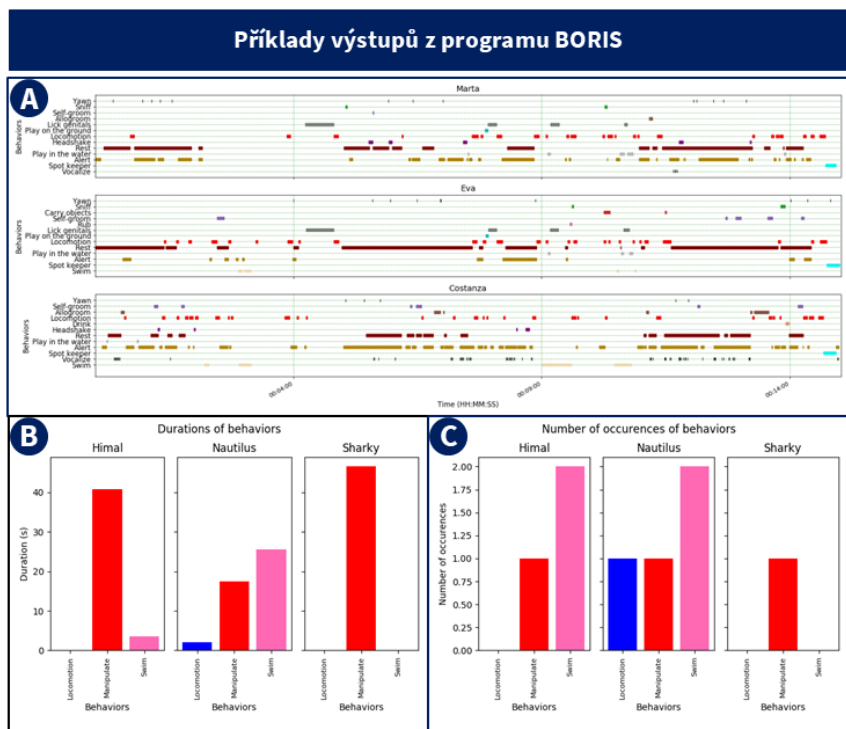
☐ Stop ongoing state events between successive media files

Cancel Save Start

Obrázek 18: Prostředí programu BORIS: Při zakládání nového projektu je důležité správně nastavit počáteční čas (pravý horní roh). Při nahrávání videí z kamer typu Wyze je důležité zvolit „Add all media from directory“, to umožní nahrát za sebou všechna videa ve složce.

7.3.3. Určování chování a export dat

Po nahrání videí se jednotlivé záznamy začnou postupně přehrávat v programu BORIS, který umožňuje zrychlení, zpomalení, zastavení či vrácení záznamu. Při přehrávání zaznamenávejte jednotlivé kategorie chování pomocí přiřazených klávesových zkratk. Výsledný záznam lze v programu exportovat jako *.csv tabulku jednotlivých událostí s jejich přesným časem (u stavového chování včetně délky trvání), kterou lze dále zpracovat a propojit s daty z ostatních dataloggerů. BORIS rovněž umožňuje zobrazit základní souhrnné statistiky přímo v rozhraní programu (Obrázek 19). Lze určit frekvenci a celkovou délku trvání jednotlivých kategorií chování a zobrazit si je na časové ose.



Obrázek 19: Program BORIS umožňuje vytvoření aktogramu na základě zadaného chování (A), dále umožňuje vytvořit souhrnné grafy trvání zvoleného stavového chování (B) a grafy počtů zvoleného bodového chování (C). Zdroj: www.boris.unito.it/user_guide/plot/.

8. Interpretace výsledků monitoringu

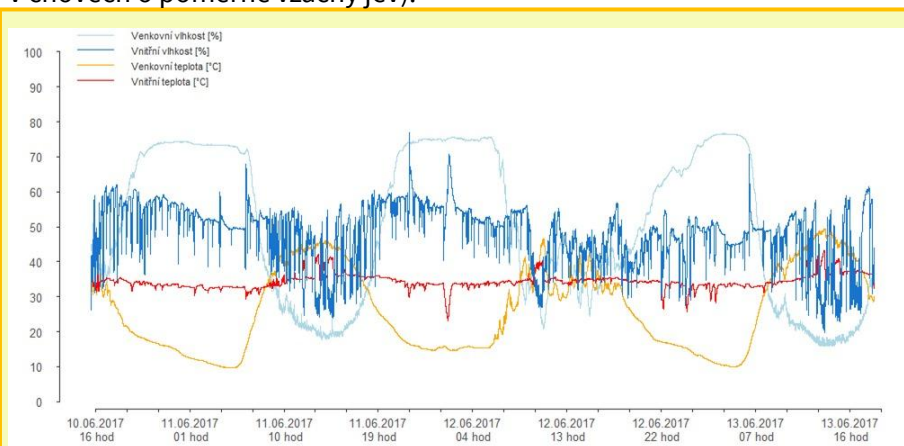
Tato kapitola je zaměřena na praktickou interpretaci dat získaných pomocí zařízení popsaných v předchozích částech této příručky. Na základě reálných datových souborů jsou zde představeny příklady jejich zpracování a vyhodnocení, a to jak formou souhrnných analýz napříč různými řády ptáků, tak prostřednictvím konkrétních příkladů, které demonstrují rozdíly mezi vybranými druhy. Přestože převod naměřených hodnot do konkrétních doporučení pro chovatelskou praxi není vzhledem k druhové variabilitě, rozdílným podmínkám chovu a omezenému množství referenčních dat jednoznačný, kapitola se snaží nabídnout interpretační rámec, který může sloužit jako podpora při rozhodování o optimalizaci inkubačních podmínek. Cílem není stanovit univerzální doporučení, ale ukázat možnosti využití získaných dat při hodnocení průběhu inkubace a při hledání příčin případných reprodukčních neúspěchů.

8.1. Teplota a vlhkost během inkubace

Tato kapitola se zaměřuje na interpretaci teplotních a vlhkostních dat získaných pomocí výše popsaných dataloggerů. Na příkladech různých druhů ptáků jsou zde ukázány možnosti vyhodnocení teploty zaznamenané vejcem s dataloggerem a dataloggery v hnízdě a v okolním prostředí. Kapitola stručně představuje také možnosti monitoringu vlhkosti v hnízdě a základní principy interpretace získaných dat. Součástí kapitoly je také přehled naměřených inkubačních teplot u vybraných taxonomických skupin a srovnání těchto teplot s hodnotami běžně používanými při umělé inkubaci. Konkrétní uvedené příklady ilustrují fakt, že přirozený průběh inkubace je výrazně variabilnější než by se mohlo zdát z nastavení běžně používaného v inkubátorech (viz také kapitola 2.1.).

8.1.1. Teplota a vlhkost v hnízdě

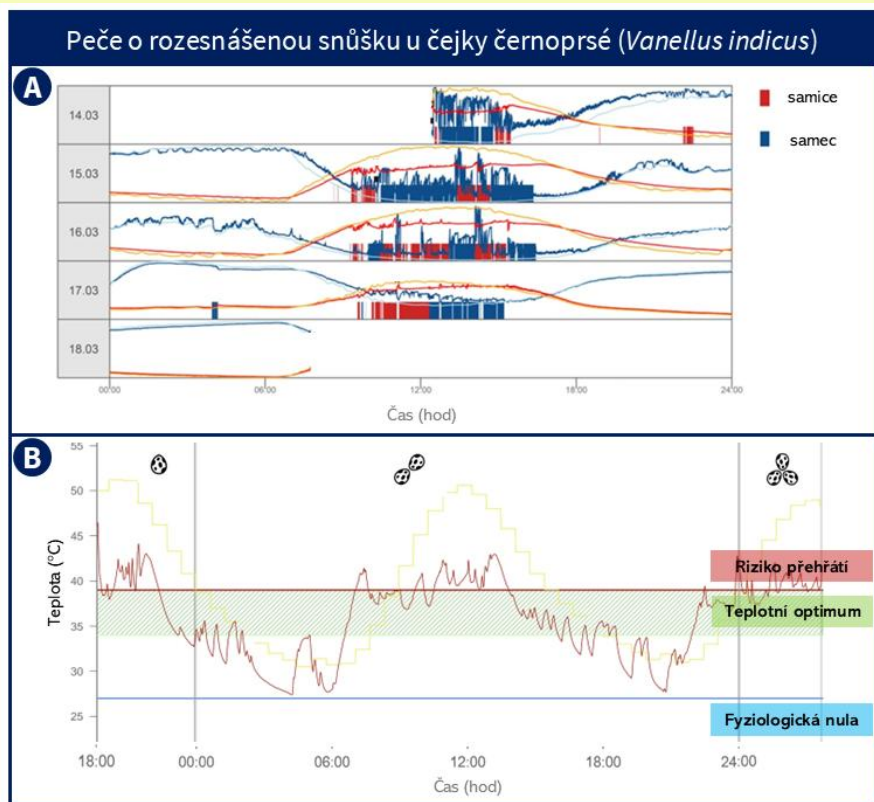
Pro obecnou představu je důležité zobrazit si průběh teploty v hnízdě v porovnání s teplotou mimo hnízdo (Obrázek 20). Tato data nám poskytne například popsany datalogger MSR. Vnitřní teplota se zpravidla pohybuje v rozmezí několika stupňů, avšak často dochází k větším výkyvům směrem k hodnotám venkovní teploty v danou chvíli. Tyto výkyvy ukazují tzv. inkubační přestávky, které většinou trvají několik minut. Obecně je viditelné udržování inkubační teploty nad chladnějšími i pod teplejšími venkovními teplotami. Udržení inkubační teploty v určitém rozmezí je zásadní pro správný vývoj embrya. Využitím teplotních sond umístěných v hnízdě a mimo něj můžeme také určit, kdy došlo k vylíhnutí daného hnízda, popřípadě kdy došlo k predaci hnízda (ačkoliv může jít v chovech o poměrně vzácný jev).



Obrázek 20: Záznam teploty a vlhkosti v hnízdě. Červeně je zobrazena teplota naměřená v hnízdě a oranžově teplota mimo hnízdo. Tmavě modře je zobrazena vlhkost v hnízdě a světle modře vlhkost mimo hnízdo.

Z grafu (Obrázek 20) je také patrné, že vlhkost v hnízdě není stabilní, ale fluktuuje v určitém rozmezí v porovnání s venkovní vlhkostí. Vlhkost v hnízdě však nikdy nedosahuje extrémních (vysokých i nízkých) hodnot naměřených ve stejnou chvíli mimo hnízdo.

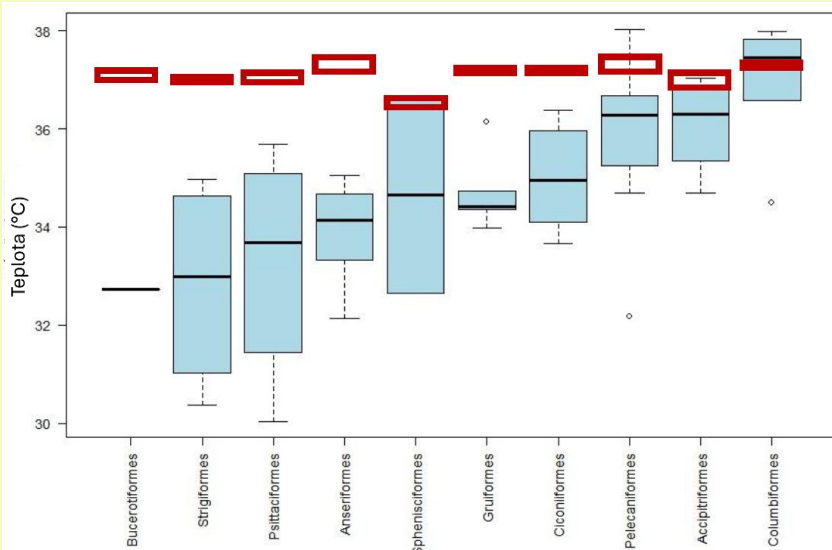
Inkubační teplota se může měnit i v závislosti na fázi inkubace. Prekociální druhy v přírodě potřebují, aby čerstvě vylíhlá mláďata opustila hnízdo najednou, musí se tedy i synchronně vylíhnout. To může být důležité i v chovech, neboť management se stejně starými mláďaty je jednodušší. Nicméně při snášení jednoho vejce za den dochází ke kompletaci plné snůšky až po několika dnech a dříve snesená vejce se mezitím mohou začít vyvíjet, pokud jsou venkovní teploty vysoké. Nebo mohou být dříve



Obrázek 21: Peče o rozsnášenou snůšku u čejky černoprské (*Vanellus indicus*). A) Data z teplotně vlhkostního datalogger MSR v hnízdě a mimo něj, propojená s RFID záznamem přítomnosti rodičů na hnízdě. B) Data z vejce s dataloggerem AXYS doplněná o venkovní teplotu. Červená křivka – vnitřní teplota v hnízdě/měřícím vejci, žlutá křivka – venkovní teplota, tmavě modrá křivka (jen A) – vlhkost v hnízdě, světle modrá křivka (jen A) – venkovní vlhkost.

snesená vejce vystavena naopak extrémně nízkým teplotám, které mohou embryo poškodit. Jeden z mechanismů synchronizace se zdá být právě inkubační péče již v průběhu snášení, kdy se rodič snaží udržet teplotu kolem fyziologické nuly, aby nedocházelo k vývoji embrya nebo aby se vývoj alespoň zpomalil a celá snůška se vylíhla najednou (Obrázek 21). Na obrázku je patrné, že rodič v této situaci neinkubuje během celého dne, ale pouze při extrémních (vysokých) venkovních teplotách.

Některé druhy ptáků mohou být náchylné na teplotní výkyvy během inkubace. Naopak jiné druhy mají poměrně širokou toleranci vůči výkyvům inkubační teploty. Nasbíraná data nám umožnila podívat se na průměrnou teplotu naměřenou dataloggery ve vejci u různých druhů a na její rozmezí. Hodnoty naměřených teplot pro jednotlivé řády v porovnání s teplotními rozmezími používanými pro jejich umělou inkubaci najdete na Obrázku 22.



Obrázek 22: Modré boxploty zobrazují rozmezí teplot naměřených dataloggerem ve vejci během přirozené inkubace. Box představuje mezikvartilové rozpětí (25.–75. percentil), vodorovná čára uvnitř boxu označuje medián. Fousy znázorňují rozsah hodnot do 1,5násobku mezikvartilového rozpětí a jednotlivé body představují odlehlá pozorování. Červeně je zobrazena teplota běžně používaná v inkubátoru pro líhnutí vajec daného řádu.

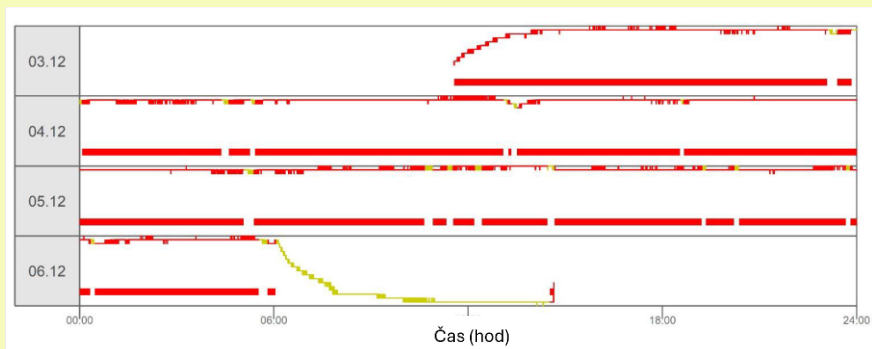
Rozdíly v teplotách při přirozené inkubaci ve srovnání s inkubátory jsou výrazné. U některých skupin nemusí být změřené hodnoty přesné, neboť je mohl ovlivnit malý vzorek, netypický pár, a další faktory. S jistotou však lze říci, že ptačí vejce mají větší toleranci k širšímu rozmezí inkubačních teplot než se předpokládalo a než se v praxi používá při inkubaci v inkubátorech, kde je nastavena stálá teplota s minimálními výkyvy. Graf (Obrázek 22) ukazuje, že teplota používaná při umělé inkubaci je obecně vyšší. Průměry i rozmezí naměřených teplot pro jednotlivé řady naleznete v příloze (kapitola 9.3.).



8.1.2. Inkubační rytmy

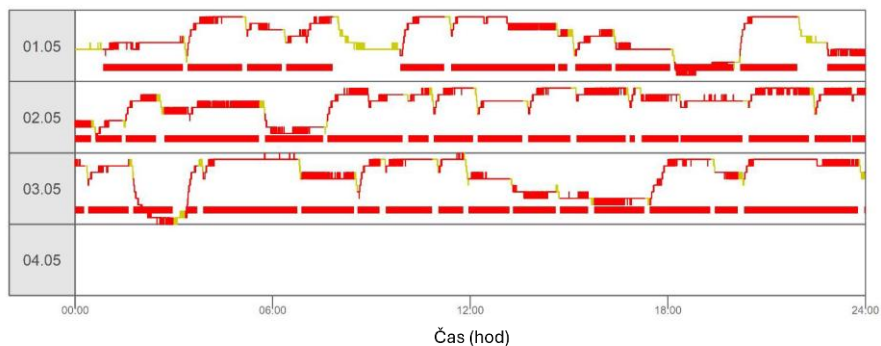
Dle teploty zaznamenané dataloggerem ve vejci lze velmi dobře určit inkubační rytmus daného jedince nebo páru. V této kapitole najdete příklady inkubačních aktogramů.

Na aktogramu inkubace pelikána kadeřavého (*Pelecanus crispus*) ze Safari Parku Dvůr Králové vidíte kontinuální inkubační sezení, které je zajišťováno pouze samicí (Obrázek 23). Občas je zde patrný velmi mírný pokles teploty, který může být způsoben krátkým přerušením inkubace. Teplota je však velmi stálá a samice téměř nepřerušuje kontakt s vejci. V posledním dni zobrazeném v grafu je vidět pokles teploty. K tomu může dojít z několika důvodů: může jít o neořezaná data (datalogger byl tedy vyjmut z hnízda, a proto došlo k poklesu teploty) nebo může dojít k odmítnutí dataloggeru rodičem (umělé vejce není již zahříváno spolu se snůškou).



Obrázek 23: Inkubace pelikána kadeřavého (*Pelecanus crispus*) Tenká žluto-červená linie ukazuje teplotu naměřenou dataloggerem ve vejci. Spodní tlustá červená linie ukazuje modelem odhadnuté inkubační sezení a její přerušení inkubační přestávkou. V levé části grafu je zobrazeno datum.

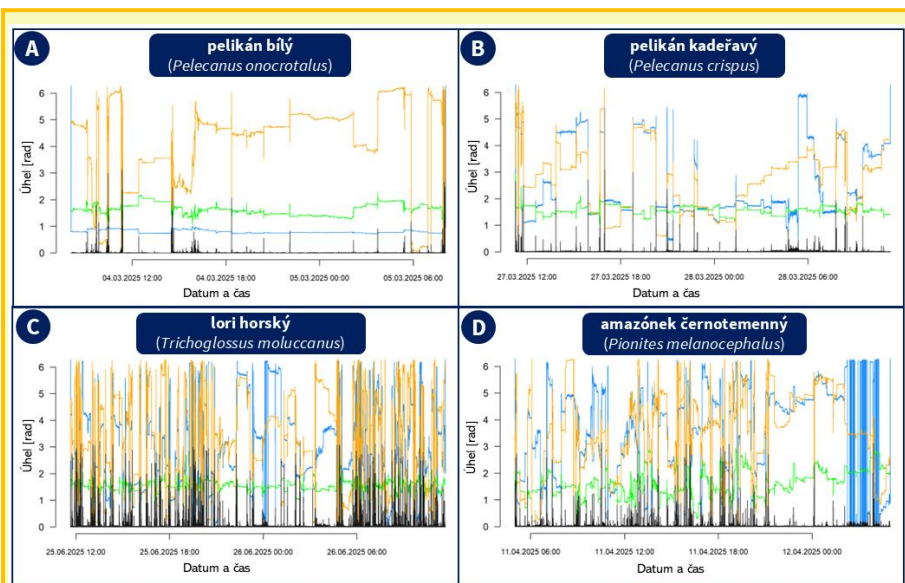
Odlišnou strategii lze vidět na aktogramu inkubace jeřába mandžuského (*Grus japonensis*) z dat získaných ze Zoo Olomouc (Obrázek 24). Zde je kolísání teploty výraznější než v předchozím případě a dochází k četnému střídání inkubačního sezení a inkubačních přestávek. U tohoto druhu se na hnízdě střídají oba rodiče. Toto časté střídání na hnízdě má za následek teplotní výkyvy, neboť střídání nelze provést bez poklesu teploty.



Obrázek 24: Inkubace jeřába mandžuského (*Grus japonensis*). Tenká žluto-červená linie ukazuje teplotu naměřenou dataloggerem ve vejci. Spodní tlustá červená linie ukazuje modelem odhadnuté inkubační sezení a její přerušení inkubační přestávkou. V levé části grafu je zobrazeno datum.

8.2. Hodnocení frekvence a úhlu otáčení vejce

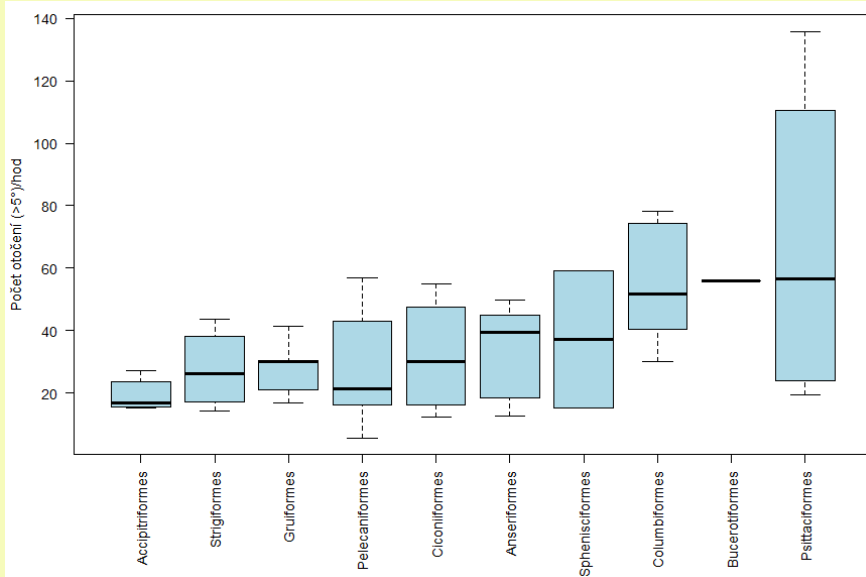
Otáčení lze sledovat pomocí vejce s dataloggerem, který obsahuje tříosý akcelerometr a magnetometr (viz kapitola 4.1.). Tento systém umožňuje zaznamenávat nejen četnost pohybů vejce, ale také jejich velikost včetně malých změn a kvantifikovat je v čase. Získaná data ukázala, že intenzita otáčení vajec je mezi druhy velmi variabilní. Rozdíly se projevují, jak ve frekvenci otáčení, tedy v počtu pohybů za hodinu, tak v celkovém úhlovém posunu vejce za hodinu. Některé druhy vajec během inkubace otáčejí velmi často a o velký úhel (Obrázek 25 – C,D; lori horský (*Trichoglossus moluccanus*) frekvence 135,84 otočení/hod, úhlový posun 427°/hod). Může jít jak o cílené manipulace, tak o drobné pohyby vznikající při běžném kontaktu rodiče se snůškou (kapitola 8.3.5.). Zatímco u jiných druhů jsou frekvence i úhly nízké (Obrázek 25 – A, B; pelikán kadeřavý (*Pelecanus crispus*) frekvence 9,91 otočení / hod, úhlový posun 36° / hod). Tato



Obrázek 25: Příklady otáčení vajec ve všech třech osách. Modře – roll, zeleně – pitch, modře – heading (yaw), černě – velikost celkové změny úhlu.

variabilita ukazuje, že nejsme schopni stanovit jednu univerzální hodnotu optimálního otáčení platnou pro všechny druhy.

Při porovnání dat ke všem řádům je patrná nejvyšší frekvence otáčení u řádů Psittaciformes, Bucerotiformes a Columbiformes (Obrázek 26). U většiny ostatních sledovaných řádů byla frekvence otáčení nízká. Při interpretaci hodnot je proto nutné zohlednit ekologii daného druhu a typ hnízdění. Samotná nízká frekvence otáčení by neměla být automaticky považována za problém, pokud odpovídá přirozenému chování daného taxonu.

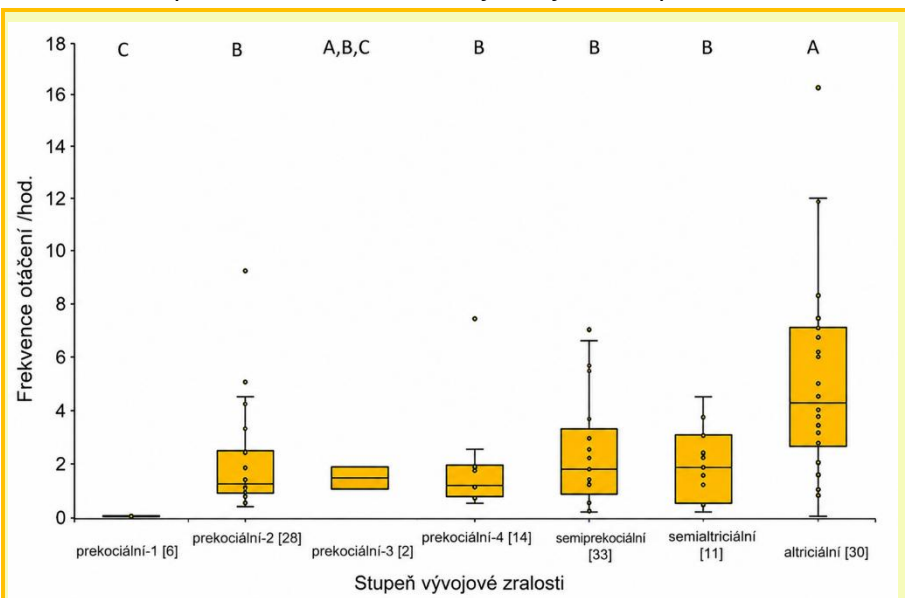


Obrázek 26: Frekvence otáčení vajec napříč studovanými řády ptáků. Modrý box představuje mezikvartilové rozpětí (25.–75. percentil), vodorovná čára uvnitř boxu označuje medián. Fousy znázorňují rozsah hodnot do 1,5násobku mezikvartilového rozpětí.

Nedávno publikovaná studie prokázala rozdíly v otáčení vajec mezi prekociálními a altriciálními druhy (Pešková et al. 2025). Je patrné, že frekvence otáčení se mezi skupinami liší právě podle míry vývojové zralosti mláďat. Nejvyšší frekvence byly zjištěny u altriciálních druhů,

zatímco nejnižší u prekociálních (Obrázek 27). Tento výsledek naznačuje, že intenzita otáčení může souviset s odlišnými embryonálními nároky a s rozdílnými poměry žloutku a bílku ve vejci. Neboť vejce altriciálních druhů obsahují výrazně více bílku oproti žloutku v porovnání s vejci prekociálních druhů, a právě pro vstřebávání živin z bílku je nutné otáčení vajec (kapitola 2.1.3.).

Praktická interpretace dat by měla být vždy druhově specifická. U druhů s přirozeně vysokou frekvencí otáčení může náhlý pokles signalizovat změnu chování rodiče, rušení či jiný problém. U druhů s přirozeně nízkou frekvencí naopak nemusí nízké hodnoty samy o sobě problém znamenat.



Obrázek 27: Frekvence otáčení vajec u skupin s různou vývojovou zralostí mláďat. Box představuje interkvartilové rozpětí (25.–75. percentil), vodorovná čára uvnitř boxu označuje medián. Fousy znázorňují rozsah hodnot do 1,5násobku interkvartilového rozpětí a jednotlivé body představují odlehlá pozorování. Šedé body zobrazují jednotlivé naměřené hodnoty. Rozdílná písmena nad boxploty označují statisticky významné rozdíly mezi skupinami ($p < 0,05$) (Pešková et al. 2025).



BORIS

8.3. Chování během inkubace

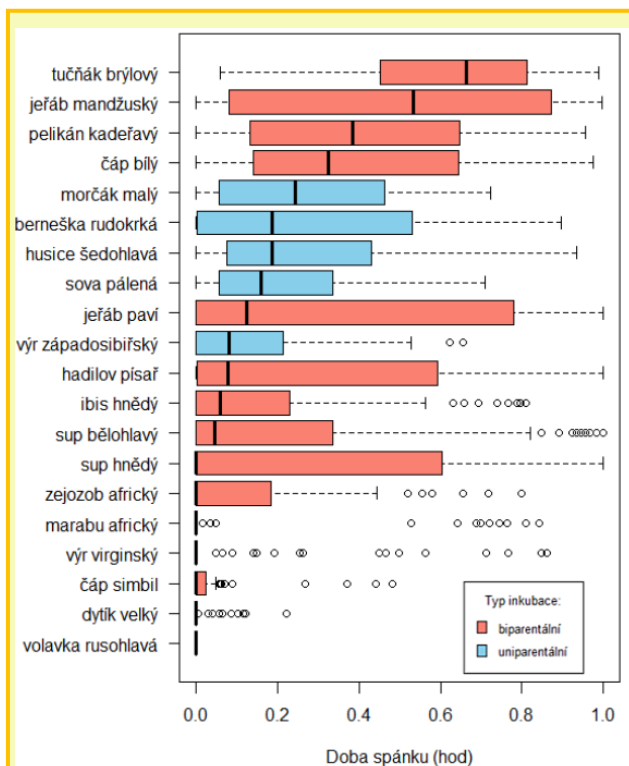
Kontinuální kamerový záznam umožňuje určit konkrétní chování rodiče na hnízdě. Zatímco datalogger v podkladku nebo hnízdní senzor zaznamenají výkyv teploty a vlhkosti vejce či jeho pohyb, teprve kamerový záznam odpoví na otázku, co jej způsobilo. Přítomnost konkrétního rodiče na hnízdě a specifické chování rodiče, jako je spánek, čištění peří nebo reakce na přítomnost jiných jedinců, jsou proměnné, které nelze z dat dataloggerů přímo vyčíst, ale jsou klíčové pro pochopení toho, co se při inkubaci děje.

Systematická analýza kamerových záznamů pomocí předem definovaného etogramu (kapitola 7.2. a 9.2.) proto tvoří nepostradatelnou součást komplexního monitoringu inkubace. Výsledkem je nejen popis typického inkubačního chování pro daný druh nebo pár, ale především nástroj pro odhalení skutečné příčiny problémů identifikovaných ostatními dataloggery. Analýza videozáznamu pomůže odhalit problémy, jako jsou příliš dlouhé nebo příliš časté inkubační přestávky, nedostatečná synchronizace partnerů při střídání, nadměrné vyrušování ostatními jedinci nebo důvod neschopnosti rodiče vejce efektivně zahřívát. Následující podkapitoly představují příklady sledovaného chování a ilustrují jejich mezidruhovou variabilitu na základě dat získaných v rámci projektu. Pro následující studie byly analyzovány videozáznamy z 21 hnízd od 20 druhů ptáků chovaných v zoologických zahradách.

8.3.1. Spánek během inkubace

Analýza v programu BORIS (kapitola 7.3.) odhalila výraznou mezidruhovou variabilitu v čase, který inkubující ptáci věnují spánku na hnízdě, což je jedna ze základních sebeudržovacích aktivit. Průměrná hodinová doba spánku na hnízdě (Obrázek 28) se mezi sledovanými druhy pohybovala od nulových hodnot (volavka rusohlavá, *Bubulcus ibis*) až po přibližně 38 minut (tučňák brýlový, *Spheniscus demersus* a jeřáb

mandžuský, *Grus japonensis*). Velmi nízké hodnoty byly zaznamenány také u dytíka velkého (*Burhinus grallarius*), čápa simbila (*Ciconia abdimii*), marabu afrického (*Leptoptilos crumeniferus*) a výra virginského (*Bubo virginianus*).

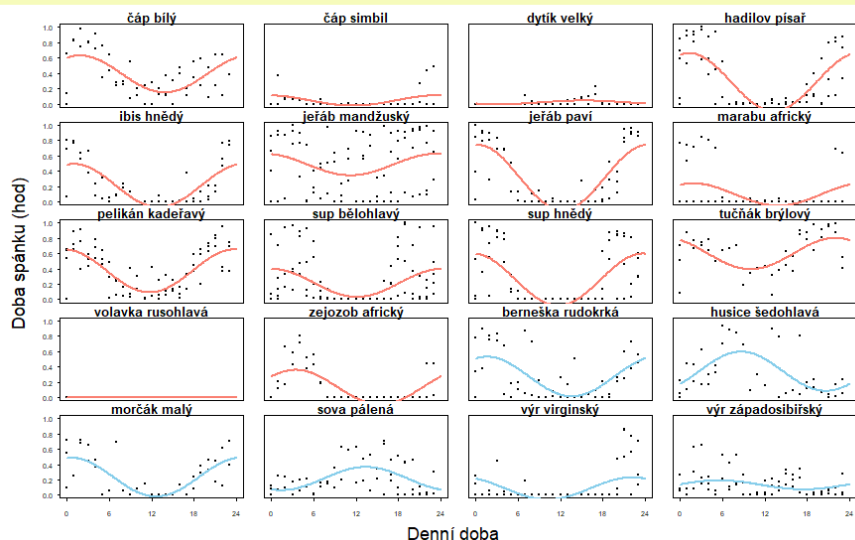


Obrázek 28:

Doba spánku na hnízdě u jednotlivých druhů. Box představuje mezikvartilové rozpětí (25.–75. percentil), vodorovná čára uvnitř boxu označuje medián. Fousy znázorňují rozsah hodnot do 1,5násobku mezikvartilového rozpětí a jednotlivé body představují odlehlá pozorování (Němcová 2026).

Přestože se na první pohled nabízí vysvětlení těchto rozdílů typem inkubace, analýza ukázala, že uniparentálně a biparentálně inkubující druhy se v průměrné době spánku statisticky neliší. Biparentální druhy však vykazují výrazně vyšší variabilitu. Výr virginský se svým neobvykle

krátkým spánkem představuje výjimku v rámci uniparentálně inkubujících druhů.



Obrázek 29: Rozložení doby spánku na hnízdě v průběhu dne jednotlivých druhů ptáků. Do grafů byly doplněny modelové křivky odhadnuté lineárním smíšeným modelem, které znázorňují průběh cirkadiánního rytmu spánku. Druhy jsou vyznačeny podle typu inkubace: červená křivka – biparentální, modrá křivka – uniparentální (Němcová 2026).

Spánek u většiny druhů vykazoval cirkadiánní rytmus (Obrázek 29). U tří čtvrtin studovaných druhů, jako například ibis hnědý (*Plegadis falcinellus*), hadilov pisař (*Sagittarius serpentarius*) nebo berneška rudokrká (*Branta ruficollis*), byl spánek soustředěn do nočních hodin. Menší část druhů, jako je husice šedohlavá (*Tadorna cana*) a sova pálená (*Tyto alba*), naopak spala více přes den. Přibližně 15 % sledovaných druhů, zahrnujících dytíka velkého, řápa simbila a volavku rusohlavou, vykazovalo celkově velmi nízký podíl spánku bez výrazného cirkadiánního rytmu.

Délka jednotlivých nepřetržitých spánkových úseků se mezi druhy také výrazně lišila. U většiny druhů převažovaly kratší epizody, přičemž delší úseky se vyskytovaly méně často, a to především v noci. Druhy jako

marabu africký, sup bělohlavý (*Gyps fulvus*) nebo zejzob africký (*Anastomus lamelligerus*) vykazovaly velké rozpětí délek spánkových úseků, zatímco u dytíka velkého, ibise hnědého nebo bernešky rudokrké byly zaznamenány převážně krátké spánkové úseky. Jejich doba se prodlužovala v průběhu hlavní spánkové fáze.

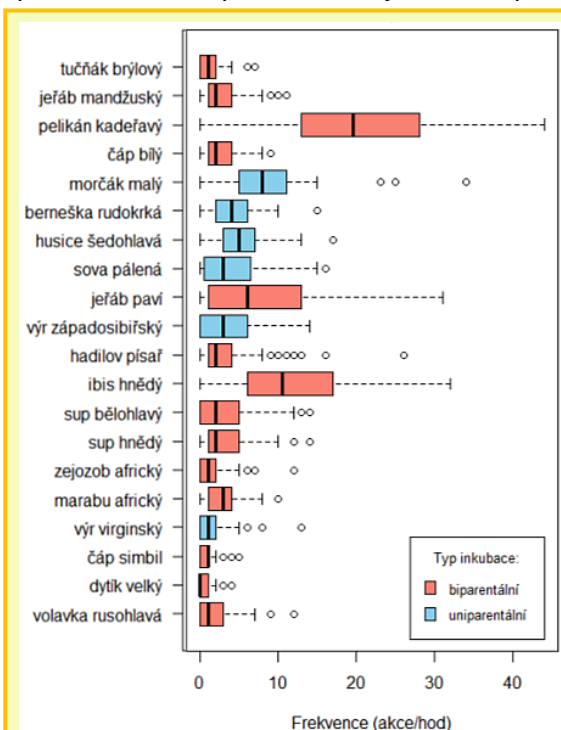
Důležitým zjištěním je vliv rušení na množství spánku. Ukázalo se, že s rostoucí frekvencí návštěv jiných jedinců v okolí hnízda, ať vnitrodruhových či mezidruhových, celková doba spánku klesala (němcová 2026). Tento výsledek naznačuje, že inkubující ptáci reagují na potenciální ohrožení bdělostí na úkor odpočinku. To může být při interpretaci dat z chovů s vyšší hustotou zvířat nebo při větším pohybu ošetřovatelů zásadní zjištění. Především u uniparentálně inkubujících druhů je vhodné věnovat rušení během inkubace zvláštní pozornost, protože tito rodiče téměř nemají možnost odpočívat mimo dobu sezení na snůšce.

8.3.2. Čištění peří během inkubace

Na stejném vzorku videozáznamů jako v předchozí kapitole byl sledován také čas věnovaný čištění peří (autopreeningu) na hnízdě během inkubace. Data ukázala, že toto chování je rovněž výrazně druhově specifické a ani v tomto případě se uniparentálně a biparentálně inkubující druhy statisticky nelišily (Obrázek 30). Téměř žádnému čištění peří se během inkubace nevěnoval například dytík velký ani čáp simbil. Naopak významně se této činnosti věnoval pelikán kadeřavý, u kterého čištění peří zaujímallo přibližně 17 % sledovaného času, což je zdaleka nejvíce v porovnání s ostatními studovanými druhy.

Allopreening, tedy vzájemné čištění peří mezi partnery, se vyskytoval jen u několika druhů a obvykle v nízké míře. U čápa bílého (*Ciconia ciconia*) zaujímal přibližně 5 % sledovaného času a u tučňáka brýlového spolu s čápem simbilem dosahoval přibližně 1,67 % sledovaného času. U ostatních druhů byl allopreening vzácný nebo zcela chyběl.

Též čištění peří podléhalo cirkadiánnímu rytmu, avšak se zvýšenou frekvencí v průběhu dne. Silný rytmus byl pozorován zejména u ibise hnědého, morčáka malého (*Mergellus albellus*), jeřába pavího (*Balearica pavonina*) a hadilova písáře. U těchto druhů je rytmus čištění peří v přesně opačné fázi vůči spánkovému rytmu. Naopak u supy hnědé (*Aegypius*

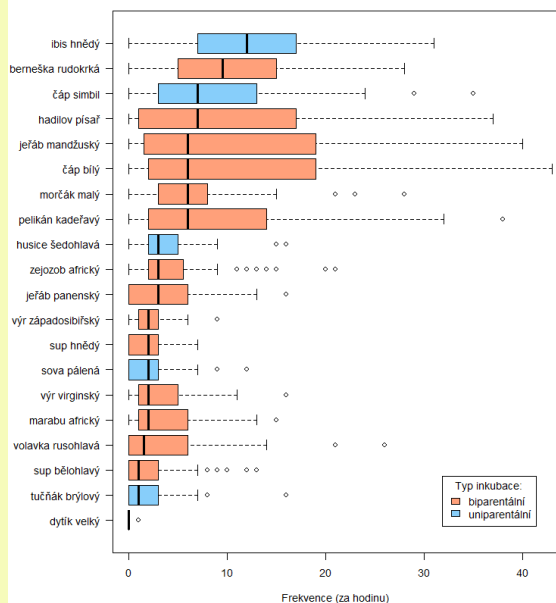


Obrázek 30: Čištění peří během inkubace jednotlivých druhů. Box představuje mezikvartilové rozpětí (25.–75. percentil), vodorovná čára uvnitř boxu označuje medián. Fousy znázorňují rozsah hodnot do 1,5násobku mezikvartilového rozpětí a jednotlivé body představují odlehlá pozorování (Němcová 2026).

monachus) a výra západosibiřského (*Bubo sibiricus*) byl vztah opačný. Zajímavým zjištěním je odlišná reakce uniparentálně a biparentálně inkubujících druhů na rušení v okolí hnízda. Zatímco u biparentálních druhů neměla přítomnost dalších jedinců na intenzitu čištění peří žádný vliv, u uniparentálních druhů vedlo vyšší množství narušitelů k poklesu této aktivity. Uniparentálně inkubující pták, který nemůže hnízdo přenechat partnerovi, tak v situaci zvýšeného rušení upřednostňuje bdělost nejen na úkor spánku, ale i na úkor péče o peří.

8.3.3. Manipulace s hnízdním materiálem

Analyzované videozáznamy ukázaly, že úprava hnízda není pouze jednorázovou aktivitou před zahájením inkubace, ale pokračuje i během samotného hnízdění (Obrázek 31). Inkubující ptáci tedy hnízdo aktivně udržují, přestavují nebo doplňují i v době, kdy již probíhá zahřívání snůšky. Úprava hnízda se vyskytovala jak u biparentálně, tak u uniparentálně



Obrázek 31: Manipulace s hnízdním materiálem během inkubace u jednotlivých druhů. Box představuje mezikvartilové rozpětí (25.–75. percentil), vodorovná čára uvnitř boxu označuje medián. Fousy znázorňují rozsah hodnot do 1,5násobku mezikvartilového rozpětí a jednotlivé body představují odlehlá pozorování.

inkubujících druhů. Nejvyšší frekvence manipulace s hnízdním materiálem byla zaznamenána u ibise hnědého, bernešky rudokrké, čápa simbila, hadilova pisaře, jeřába mandžuského a čápa bílého. U druhů stavějících objemnější hnízda z větví může docházet k průběžnému sesedání nebo rozvolňování hnízda. pravidelná úprava hnízda tak pomáhá udržet stabilitu a vhodnou polohu vajec. Zároveň může jít i o obnovu izolačních vlastností

hnízda, což je důležité pro udržení optimálních inkubačních podmínek pro celou snůšku.

Naopak velmi nízká frekvence úprav hnízda byla zaznamenána u volavky rusohlavé, supy bělohlavého, tučňáka brýlového nebo dytíka velkého.

Tedy s výjimkou volavky druhu hnízdící (v dané ZOO) na zemi, u kterých nehrozí zhroucení či pád hnízda při absenci jeho úpravy. U některých druhů může být minimální manipulace opět antipredační strategií.

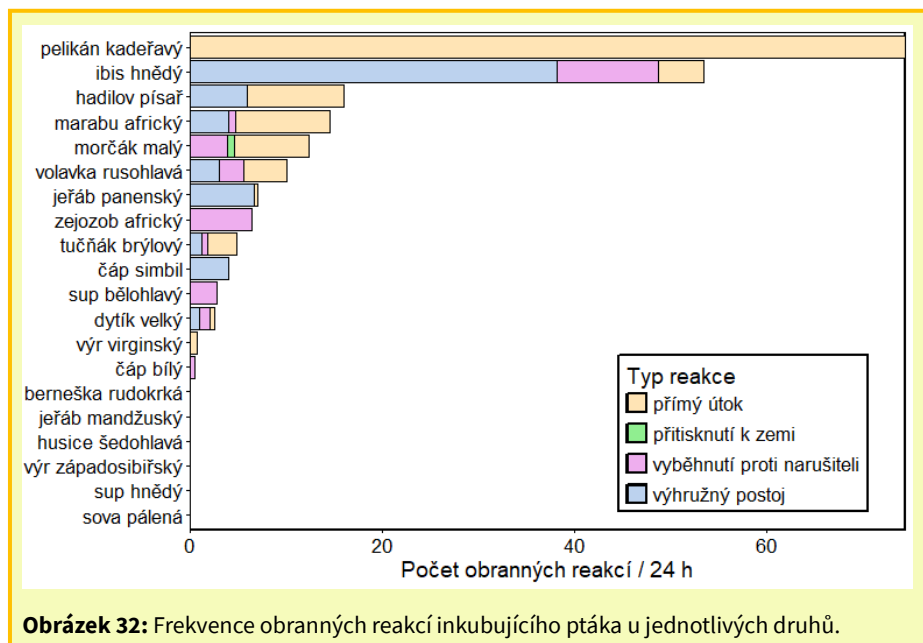
Hnízdo je tedy během inkubace dynamickou strukturou. Jeho údržba pokračuje i po snesení vajec a může významně přispívat k regulaci mikroklimatu či stabilitě snůšky. Úprava hnízda je součástí průběžné rodičovské péče.

8.3.4. Mezidruhov^é interakce

V rámci videí byly analyzovány i obranné reakce inkubujících ptáků vůči narušitelům. Zvýšená bdělost (viz kapitola 8.3.1.) zvyšuje energetické nároky na rodiče během inkubace. Pokud dojde k přímému útoku, inkubující pták vyběhne proti narušiteli nebo alespoň zaujme výhružný postoj, znamená to přerušení inkubace, které zpravidla trvá, dokud je narušitel v blízkosti hnízda. Agresivní reakce proti narušitelům během inkubace představují velmi důležitý behaviorální ukazatel v chovu, neboť přímo narušují kontinuitu inkubace.

Frekvence vnitrodruhových a mezidruhových interakcí inkubujícího jedince (včetně člověka, ačkoliv nebyl tento jev příliš častý) byla opět velmi variabilní mezi druhy (Obrázek 32). Nejvyšší hodnoty vykazoval pelikán kadeřavý, u něhož počet reakcí výrazně převyšoval všechny ostatní druhy, to je dáno tím, že jde o koloniální druh, který byl navíc v době inkubace umístěn ve vnitřní voliére s velkým množstvím dalších jedinců. Pokud se však podíváme na záznam inkubace (kapitola 8.1.2., Obrázek 23), překvapí nás jeho kontinuita. Ačkoliv v grafu (Obrázek 32) vidíme pouze přímé útoky, šlo o útok zobákem na jedince v bezprostřední blízkosti, který nevedl k přerušení inkubace. Obecně jde tedy o druh, který je na rušení od ostatních jedinců zvyklý a vyrovnává se s ním velmi dobře. Vysoká frekvence je patrná také u ibise hnědého, hadilova písaře, marabu afrického, morčáka malého a volavky rusohlavé. Naopak u druhů jako sova pálená, husice šedohlavá nebo berneška rudokrká nebyly

zaznamenány téměř žádné obranné reakce, což může být způsobeno jejich hnízděním v budkách, které jim poskytují patřičný klid.



U ibise hnědého a hadilova písavého je patrná nejen vyšší frekvence, ale také zastoupení více typů reakcí. Například u ibise hnědého šlo nejčastěji o výhružný postoj a vyběhnutí proti narušiteli, což jsou již reakce, které jednoznačně vyžadují přerušování inkubace.

Z dat lze vyvodit, že zejména u druhů umístěných ve společných expozicích může být počet interakcí ovlivněn tím, kolik jiných jedinců se může dostat do blízkosti hnízda, zda existují vizuální bariéry a jak velká je vzdálenost mezi hnízdy. Nízký počet agresivních reakcí nemusí automaticky znamenat nízkou míru stresu, ale může odrážet fakt, že druh není agresivní, nicméně je během inkubace v permanentní bdělosti.

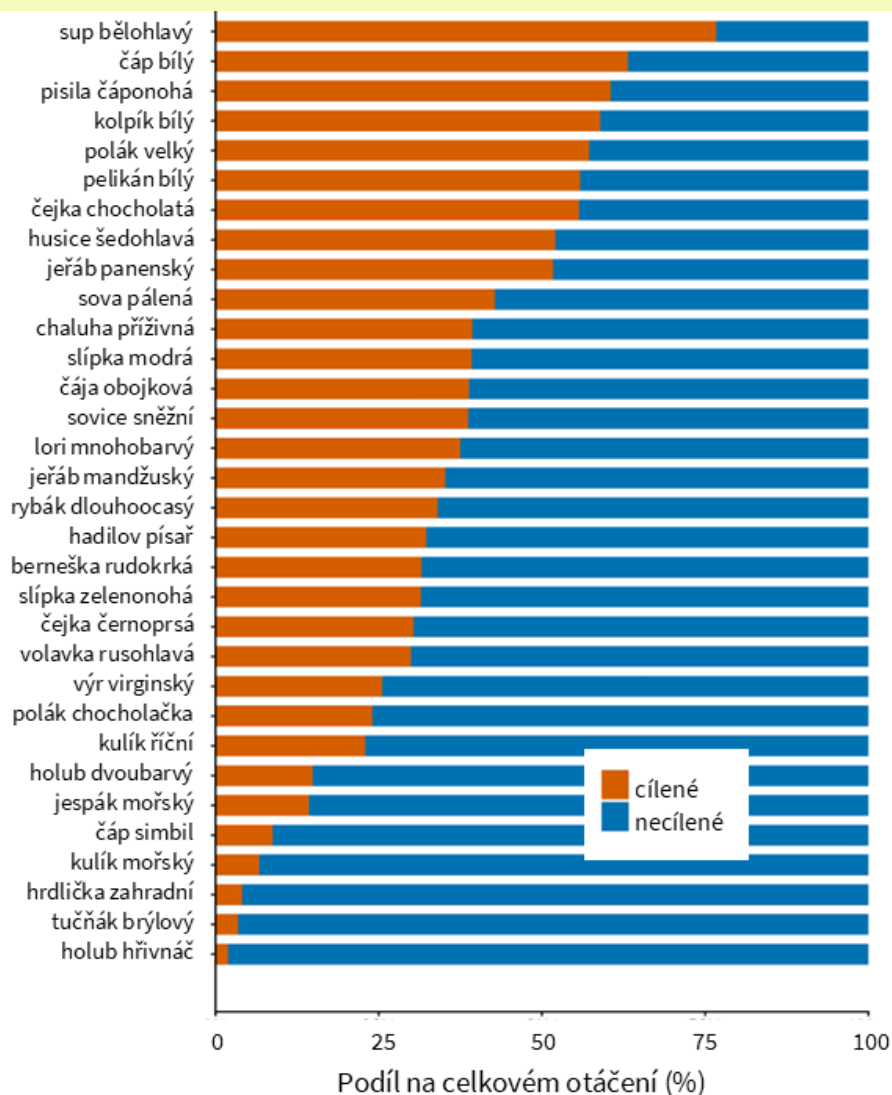
(nevěnuje se spánku ani čištění peří), což může především u uniparentálních druhů vést k vyčerpání.

8.3.5. Otáčení vajec: cílené chování či by-product?

Kombinace dat z vejce s dataloggerem a kamerového záznamu pro 40 hnízd 32 druhů ptáků nám umožnila rozlišit, zda byl pohyb vejce způsoben přímou manipulací (cílený pohyb), běžným chováním rodiče na hnízdě (necílený pohyb) nebo vnějšími vlivy prostředí (vítr, kývání hnízda na větví). Pohyby vzniklé jako vedlejší důsledek běžného inkubačního chování představovaly v průměru 76,2 % všech událostí, zatímco cílené manipulace s vejcem tvořily 18,8 % a pasivní pohyby způsobené prostředím 2,5 %. To ukazuje, že vejce během inkubace nejsou otáčena pouze tehdy, když s nimi pták aktivně manipuluje zobákem, ale také při usedání na hnízdo, vstávání, přešlapování, vrtění se na hnízdě nebo při úpravě hnízda.

Jeden cílený pohyb způsobil v průměru úhlovou změnu 9,2°, zatímco necílený pohyb pouze 3,7°. Pohyby způsobené prostředím měly ještě menší efekt, přibližně 1,2°. Cílené manipulace s vejcem měly tedy větší mechanický účinek. Po zohlednění četnosti i velikosti pohybů však hlavní podíl na celkovém úhlovém posunu vajec stále připadal na necílené pohyby, které tvořily 65,1 % celkového otáčení. Cílené manipulace se podílely 33,0 %.

Obecně byla mezi druhy velká variabilita v podílu cílených a necílených pohybů na celkovém otáčení vejce (Obrázek 33). U druhů s větším počtem vajec byl podíl cílených manipulací vyšší, což může souviset s tím, že drobné pohyby těla nemusí ve větší snůšce zasáhnout všechna vejce rovnoměrně. Rodič proto může častěji používat zobák k otočení konkrétního vejce. Je důležité poznamenat, že to, zda byla vejce inkubována ve volné přírodě či v chovu, nemělo na otáčení žádný vliv.



Obrázek 33: Podíl jednotlivých typů chování způsobujících otáčení na celkovém otáčení u konkrétních druhů. Červeně – cílené otáčení vejce, modře – necílené chování způsobující otáčení vejce (Matějková et al. in prep).

9. Přílohy

9.1. Šablony protokolů

- strana 91 – kontrolní seznam úkonů pro instalaci doporučených dataloggerů
- strana 92 - formulář pro záznam informací k instalacím

KOMPLEXNÍ MONITORING INKUBACE - INSTALAČNÍ CHECKLIST

AXY5 – datalogger v podkladku



- ☐ Dobít baterii, zformátovat paměť
 - ☐ X manager.exe: akcelerometr 10 Hz, 2g, 8-bit; magnetometr 2 Hz; teplota 1x/s
 - ☐ Zapnutí sběru dat (kontrolka bliká rychleji → pomaleji ~20 s)
 - ☐ Zapsat do formuláře ID dataloggeru, popř. čas zapnutí
 - ☐ Vložit do podkladku (správně orientován) a zavřít
- ⚠ výdrž ~18 dní (při 1 Hz)

MSR – senzor teploty a vlhkosti v hnízdě



- ☐ Dobít baterii, zformátovat paměť
 - ☐ MSR.exe: vzorkovací frekvence 1 Hz, čas odloženého startu (*Start at*)
 - ☐ Zapsat do formuláře ID dataloggeru, popř. čas zapnutí
 - ☐ Senzor na delším kabelu upevnit do výstelky hnízda mezi vejce, na kratším ~1 m od hnízda
 - ☐ Kabely zapracovat do výstelky / fixovat drátkem nebo páskou
 - ☐ Tělo dataloggeru skrýt mimo dosah ptáka v plastovém obalu
- ⚠ pozor na destruktivní druhy a vypadnutí senzorů z hnízda

Kamera Wyze



- ☐ Dobít powerbanku, zformátovat SD kartu a vložit ji do slotu
 - ☐ Zapsat do formuláře ID SD karty
 - ☐ Po zapojení k powerbance počkat dokud kamera nezačne nahrávat (ozve se cvaknutí) a zapsat tento čas do formuláře s přesností na sekundy
 - ☐ Kontrola funkčnosti – kontrolka bliká červeně, přelepit černou páskou
 - ☐ Na kameru ukázat displej s přesným časem (vč. sekund) z více úhlů
 - ☐ Upevnit ~ 1m od hnízda (záběh zahrnuje celé hnízdo a bezprostřední okolí)
 - ☐ Kabel k napájení skrýt a fixovat (drát / páska)
 - ☐ Powerbanku umístit mimo dosah ptáka v plastovém obalu
- ⚠ výdrž ~3 dny (powerbanka 30 000 mAh)

9.2. Univerzální etogram pro program BORIS

Behavior code	Behavior type	Description	Key
incubation	State event	pták inkubuje a je v kontaktu s vejci	i
on the nest	State event	pták je na hnízdě, inkubuje či stojí nad hnízdem apod.	o
M on the nest	State event	samice na hnízdě (pokud lze odlišit)	u
F on the nest	State event	samec na hnízdě (pokud lze odlišit)	y
sleeping	State event	pták na hnízdě spí	s
stop video	Point event	určení času konce videí pro navazující videa	x
vocalization	Point event	hlasové projevy	v
egg turning	Point event	manipulace s vejci	t
building	Point event	úprava hnízdního materiálu	b
preening	Point event	čištění peří	p
mating	Point event	kopulace páru	m
courtship	Point event	párové rituály	c
allopreening	Point event	partnerské čištění peří	l
partner exchange	Point event	výměna rodičů na hnízdě	e
walk from nest	Point event	odchod z hnízda	w
flight from nest	Point event	odlet z hnízda	f
interspecies visit	State event	jiný druh v bezprostředním okolí hnízda	j
intraspecies visit	State event	jedinec stejného druhu v bezprostředním okolí hnízda (ne rodič)	n
attack	Point event	útok inkubujícího ptáka na jiné zvíře	a
aggressive running	Point event	vyběhnutí z hnízda proti jinému zvířeti	r
wing display	Point event	výhrůžný postoj s roztaženými křídly	d
pressed to ground	Point event	přitisknutí k zemi při nebezpečí	g
feeding	Point event	sběr či zpracování potravy	k
incubation feeding	Point event	krmení či nabídnutí potravy od partnera	z

9.3. Zjištění inkubační parametry pro jednotlivé řády

Tabulka 3: Naměřené teploty v jednotlivých ptačích řádech.

Řád (počet druhů)	Teplota (průměr)	Teplota (medián)	Maximální teplota	Minimální teplota	25 % kvartil	75 % kvartil	Směrodatná odchylka
Bucerotiformes (1)	32.73	33.00	37.00	24.00	31.92	34.00	1.94
Strigiformes (4)	32.83	33.16	35.71	23.55	32.02	34.07	1.85
Psittaciformes (3)	33.27	33.69	37.58	26.79	31.88	34.74	2.13
Anseriformes (5)	33.90	34.24	37.85	26.88	32.63	35.46	2.06
Sphenisciformes (1)	34.64	36.00	37.58	25.21	33.50	36.38	2.85
Gruiformes (3)	34.72	35.03	37.45	26.37	33.84	36.00	1.65
Ciconiiformes (4)	35.01	35.12	37.64	30.43	34.12	36.02	1.27
Pelecaniformes (6)	35.91	35.95	38.08	31.71	35.39	36.55	0.96
Accipitriformes (3)	36.03	36.24	37.83	31.99	35.34	36.83	1.04
Columbiformes (5)	36.87	36.83	40.24	33.21	36.08	37.73	1.27

9.4. Kontakty a sdílení dat

9.4.1. Behavioral Ecology Research Group (Berg)

Jsme výzkumný tým na katedře ekologie Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze, který sestavil tuto příručku. Dlouhodobě se věnujeme monitoringu chování živočichů, biologgingu a studiu inkubace u ptáků. Na webových stránkách naší skupiny najdete dostupné informace o aktuálně řešených projektech, publikacích, vyvíjených softwarových nástrojích i kontakty na jednotlivé členy týmu.

V případě potřeby vám můžeme pomoci s výběrem vhodných dataloggerů pro monitoring inkubace, s návrhem metodiky sběru dat, řešením technických problémů při instalaci i se zpracováním, analýzou a interpretací získaných dat. Máte-li zájem o spolupráci, konzultaci nebo zapojení do společných výzkumných aktivit doporučujeme využít kontaktní údaje uvedené na stránkách výzkumné skupiny.

Informace o týmu, členové týmu a aktuální projekty jsou dostupné na:

www.fzp.czu.cz/en/r-9409-science-research/r-9674-leading-research-groups/r-14317-behavioral-ecology-research-group/r-14324-team-news

9.4.2. Platforma Inkubáze

Tato webová platforma je určena pro správu, sdílení a vyhodnocování dat z umělé inkubace ptačích vajec. Umožňuje evidenci jednotlivých vajec, sledování jejich vývoje v průběhu inkubace a porovnávání vlastních výsledků s údaji od ostatních uživatelů. Platforma poskytuje doporučení pro optimalizaci inkubačních podmínek a podporuje sdílení zkušeností mezi chovateli, zoologickými zahradami, záchrannými stanicemi i výzkumnými pracovišti.

Součástí platformy je také Inkupédie, což je encyklopedie ptačí inkubace, která slouží jako otevřená databáze informací o inkubaci jednotlivých

druhů ptáků. Pro řadu druhů zde najdete fotografie vajec, rozměry a hmotnost vajec, délku inkubace či načasování snášení vajec. Databáze je neustále rozšiřována o nové druhy a nové záznamy získané od spolupracujících institucí.

Platforma je dostupná na: www.incubase.fzp.czu.cz/

9.4.3. Výrobci doporučených dataloggerů

AXY5 XS

Výrobce: TechnoSmArt Europe s.r.l. (Itálie)

Miniaturní biologgingový datalogger AXY5 XS je komerčně dostupné zařízení určené pro dlouhodobý záznam teploty a pohybu. Web výrobce: www.technosmart.eu/axy-5-xs/

MSR145

Výrobce: MSR Electronics GmbH (Švýcarsko)

MSR145 je komerčně dostupný vícekanálový datalogger umožňující současný záznam teploty a relativní vlhkosti s velkou kapacitou paměti a dlouhou výdrží baterie. Web výrobce: www.msr.ch

Kamery

Pro dlouhodobý videozáznam průběhu inkubace byly v rámci vývoje této metodiky testovány zejména komerčně dostupné Wi-Fi kamery, jako je Wyze Cam (Wyze Labs, Inc., Washington). Kamera umožňuje dlouhodobý nepřetržitý záznam, napájení z powerbanky a ukládání dat na paměťovou kartu. Výběr konkrétního modelu by měl být přizpůsoben požadavkům monitorovaného prostředí, zejména dostupnosti elektrického napájení, Wi-Fi a požadované kvalitě obrazu. Web výrobce: www.wyze.com.

10. Použité zdroje

Ar, A., & Rahn, H. (1980). Water in the avian egg: Overall budget of incubation. *American Zoologist*, 20(2), 373–384.
<https://doi.org/10.1093/icb/20.2.373>

Boulton, R. L., & Cassey, P. (2012). How avian incubation behaviour influences egg surface temperatures: Relationships with egg position, development and clutch size. *Journal of Avian Biology*, 43(4), 289–296.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2012.05657.x>

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), 454–467. <https://doi.org/10.1177/0748730420940465>

Bulla, M., Prüter, H., Vitnerová, H., Tijsen, W., Sládeček, M., Alves, J. A., Gilg, O., & Kempenaers, B. (2017). Flexible parental care: Uniparental incubation in biparentally incubating shorebirds. *Scientific Reports*, 7(1), 12851. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13005-y>

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>

Cantar, R. V., & Montgomerie, R. D. (1985). The influence of weather on incubation scheduling of the white-rumped sandpiper (*Calidris fuscicollis*): A uniparental incubator in a cold environment. *Behaviour*, 95(3–4), 261–289. <https://doi.org/10.1163/156853985X00154>

Chajma, P., Šálek, M., Burešová Pešková, L., Babováková, I., Trejbalová, K., Vaidl, A., Podhrazský, M., Vrána, P., & Sládeček, M. (in prep.). Open biomimetic 3D-printable surrogate eggs for avian incubation research and conservation breeding.

Conway, C. J., & Martin, T. E. (2000). Evolution of passerine incubation behavior: Influence of food, temperature, and nest predation. *Evolution*, 54(2), 670–685. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2000.tb00068.x>

Coulson, J. C., & Wooller, R. D. (1984). Incubation under natural conditions in the kittiwake gull, *Rissa tridactyla*. *Animal Behaviour*, 32(4), 1204–1215. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(84\)80238-9](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(84)80238-9)

Cresswell, W., Holt, S., Reid, J. M., Whitfield, D. P., & Mellanby, R. J. (2003). Do energetic demands constrain incubation scheduling in a biparental species? *Behavioral Ecology*, 14(1), 97–102. <https://doi.org/10.1093/beheco/14.1.97>

Deeming, D. C. (1989). Failure to turn eggs during incubation: Development of the area vasculosa and embryonic growth. *Journal of Morphology*, 201(2), 179–186. <https://doi.org/10.1002/jmor.1052010207>

Deeming, D. C. (Ed.). (2002). *Avian incubation: Behaviour, environment, and evolution*. Oxford University Press.

Durant, S. E., Hopkins, W. A., Hepp, G. R., & Walters, J. R. (2013). Ecological, evolutionary, and conservation implications of incubation temperature-dependent phenotypes in birds. *Biological Reviews*, 88(2), 499–509. <https://doi.org/10.1111/brv.12015>

Eklund, C. R., & Charlton, F. E. (1959). Measuring the temperatures of incubating penguin eggs. *American Scientist*, 47(1), 80–86.

Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS: A free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations.

Methods in Ecology and Evolution, 7(11), 1325–1330.

<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12584>

Incubase 2026: Sládeček, M., Chajma, P., Šálek, M. E. et al. (in prep.).

Incubase: an open platform to unlock the hidden potential of hatchery data for avian science and conservation breeding.

Jones, D. N. 1988. Construction and Maintenance of the Incubation Mounds of the Australian Brush-turkey *Alectura lathami*. *Emu*, 88(4), 210–218. <https://doi.org/10.1071/MU9880210>

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(2), 161–173. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12657>

Matějková E., Burešová Pešková L., ... & Sládeček M. (in prep). The behavioural mechanisms of egg turning: Incidental movements as a major driver.

Moreau, J., Perroud, L., Bollache, L., Yannic, G., Teixeira, M., Schmidt, N. M., Reneerkens, J., & Gilg, O. (2018). Discriminating uniparental and biparental breeding strategies by monitoring nest temperature. *Ibis*, 160(1), 13–22. <https://doi.org/10.1111/ibi.12507>

New, D. A. T. (1957). A critical period for the turning of hens' eggs. *Development*, 5(3), 293–299.

Němcová, M. (2026). Spánek a čištění peří u ptáků držených v lidské péči v průběhu inkubace. *Bakalářská práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí*.

Pešková, L., Sládeček, M., Brynychová, K., Chajma, P., Kolečková, V., Elhassan, E., Bilal, M., & Šálek, M. (2024). Egg turning in a subtropical

shorebird has a diel rhythmicity and is affected by predation risk. *Animal Behaviour*, 213, 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2024.05.002>

Pešková, L., Sládeček, M., Šálek, M., Brynychová, K., Chajma, P., Soulsbury, C. D., & Deeming, D. C. (2025). Egg turning rates in birds: A review of recording methods and the influence of egg composition and developmental maturity. *Ornithology*, ukaf045. <https://doi.org/10.1093/ornithology/ukaf045>

Rahn, H., & Ar, A. (1974). The avian egg: Incubation time and water loss. *The Condor*, 76(2), 147–152. <https://doi.org/10.2307/1366724>

Reneerkens, J., Grond, K., Schekkerman, H., Tulp, I., & Piersma, T. (2011). Do uniparental sanderlings *Calidris alba* increase egg heat input to compensate for low nest attentiveness? *PLoS ONE*, 6(2), e16834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016834>

Sládeček, M., Vozabulová, E., Šálek, M. E., & Bulla, M. (2019). Diversity of incubation rhythms in a facultatively uniparental shorebird—the northern lapwing. *Scientific Reports*, 9(1), 4706. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41223-z>

Trejbálová, K., Kolečková, V., Pešková, L., Brynychová, K., Šálek, M. E., Koloušková, K., ... & Sládeček, M. (2023). Cirkadiánní inkubační rytmy sluky lesní (*Scolopax rusticola*). *Sylvia*, 59, 43–57.

Tullett, S. G. (1990). Science and the art of incubation. *Poultry Science*, 69(1), 1–15. <https://doi.org/10.3382/ps.0690001>

Webb, D. R. (1987). Thermal tolerance of avian embryos: A review. *The Condor*, 89(4), 874–898. <https://doi.org/10.2307/1368537>

Zhang, L., An, B., Shu, M., Zhao, C., Yang, X., Suo, Y., Se, Y., & Dabu, X. (2017). Incubation strategies of the black-necked crane (*Grus nigricollis*) in relation to ambient temperature and time of day. *Avian Research*, 8, 19. <https://doi.org/10.1186/s40657-017-0076-3>

