

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie

Bakalářská práce

Lenka Nedorostková

Vliv klimatických změn na ptáky

Olomouc 2022

vedoucí práce: Mgr. Jakub Vrána

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a při zpracování jsem použila jen literaturu a zdroje uvedených v seznamu literatury.

podpis:

V Olomouci dne

.....

Lenka Nedorostková

## **Poděkování**

Poděkování patří především vedoucímu mé práce, Mgr. Jakubu Vránovi, za odborné vedení, poskytování cenných rad a připomínek, které mi pomohli při zpracování mé práci.

## Anotace

Název práce:	Vliv klimatických změn na ptáky
Název práce v angličtině:	The impact of climate change on birds
Anotace práce:	Práce se zabývá působením změn klimatu na ptáky. Jedná se čistě o rešeršní práci. Úvodní část popisuje globální oteplování jeho příčiny, důkazy a důsledky. Následně pro větší přehled shrnuje vliv na paryby a ryby, plazy a obojživelníky a savce. Stěžejní část práce je věnovaná třídě ptáků a dopadu změn na jejich migraci, hnízdění, populaci, rozšíření a morfologii.
Klíčová slova:	klimatická změna, ptáci, migrace, hnízdění, populace, distribuce, morfologie, obratlovci, globální oteplování
Anotace v angličtině:	The work deals with the effects of climate change on birds. This is purely a recherche work. The introductory part describes global warming, its causes, evidence and consequences. Subsequently, for a better overview, it summarizes the impact on chondrithyes and fish, reptiles and amphibians and mammals. The main part of the work is devoted to the class of birds and the impact of changes on their migration, nesting, population, distribution and morphology.
Klíčová slova v angličtině:	climate change, birds, migration, nesting, population, distribution, morphology, vertebrates, global warming
Rozsah práce:	45 s.
Jazyk práce:	Čeština

## Obsah

1. Úvod.....	5
2. Cíle .....	6
3. Globální oteplování.....	7
3.1. Důkazy a důsledky změny klimatu.....	8
4. Vliv klimatických změn na obratlovce.....	10
4.1. Vliv klimatických změn na paryby a ryby.....	10
4.2. Vliv klimatických změn na plazy a obojživelníky .....	14
4.3 Vliv klimatických změn na savce .....	16
5. Vliv klimatických změn na ptačí migraci.....	20
5.1. Jarní migrace.....	20
5.2. Podzimní migrace .....	22
6. Vliv klimatických změn na hnízdní biologii ptáků .....	24
7. Vliv klimatických změn na populaci ptáků.....	27
8. Vliv klimatických změn na rozšíření ptáků.....	29
9. Vliv klimatických změn na ptačí morfologii.....	32
10. Závěr.....	34
11. Literatura .....	36
11.1. Internetové zdroje .....	44

## Seznam obrázků

Obr. 1: Průměrný objem vajíček v $\text{cm}^3$ (plná čára) a průměrná teplota vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$ (přerušovaná čára) u populace lejska černohlavého hnízdicího ve Finsku v letech 1975-1993 (převzato ze Jarvinen, 1994).....	22
---	----

# 1. Úvod

Změna klimatu je dlouhodobá obměna průměrných vzorců počasí, které definují místní, regionální a globální klima Země. Změny pozorované v zemském klimatu od počátku 20. století jsou přitom primárně způsobeny lidskou činností, zejména spalováním fosilních paliv, které zvyšují hladinu skleníkových plynů zachycujících teplo v zemské atmosféře a stojí tak za nárůstem průměrné povrchové teploty naší planety. Tyto člověkem vyvolané nárůsty teploty jsou běžně označovány jako globální oteplování (NASA, 2022). To dnes zásadně ovlivňuje všechny organismy a bude mít závažný dopad na životní prostředí a jeho biodiverzitu (Houghton, 2005; Climate Action, 2022).

Ptáci, jako jedna z nejlépe prostudovaných skupin živočichů, jsou přitom ideálním taxonem na zdokumentování skutečného vlivu klimatických změn (Najmanová et al., 2007). Dlouhodobé posuny průměrného počasí mají zásadní dopad na velikost jejich populace načasování migrace, začátky rozmnožování a řadu dalších změn v ptačí životní historii (např. velikost vajec, úspěšnost hnízdění). S vyšší teplotou jsou spojovány i změny biotopů, které mění i rozšíření ptáků (Crick et al., 2004). Změna klimatu může mít také dopad na ptačí morfologii. Typické jsou změny v hmotnosti, délce a poměru plochy těla k objemu (Dubiner et al., 2022).

Má práce se snaží shrnout zásadní poznatky k výše zmíněnému vlivu globálního oteplování na ptáky. Zároveň jsou zjištěné poznatky pro větší přehled a správné vložení do kontextu doplněny nejdůležitějšími informacemi o vlivu této problematiky na další obratlovce.

## **2. Cíle**

Má práce je čistě rešeršního charakteru a cílí na zmapování a zhodnocení základních problémů, jimž ptáci v důsledku globálního oteplování čelí během svého životního i ročního cyklu. Speciálně se zaměřuji na vliv těchto změn na ptačí migraci, hnízdění, populaci, rozšíření a morfologii. K tomuto kroku mě vede snaha jasně determinovat hlavní problémy, které mohou ohrožovat přežití jedinců i celých ptačích populací a druhů.

### 3. Globální oteplování

Globální oteplování je dlouhodobé oteplování klimatického systému Země pozorované již od předindustriálního období. S nástupem průmyslové revoluce však v tomto jinak přirozeném trendu začala hrát významnou roli činnost člověka. Za nejzásadnější důsledek lidské činnosti je přitom považováno zvýšení hladiny skleníkových plynů, které zachycují teplo v zemské atmosféře (Fang et al., 2011).

Uvádí se, že období 2011–2020 bylo nejteplejším desetiletím v zaznamenané historii. V roce 2019 byla průměrná celosvětová teplota o 1,1 °C vyšší než před průmyslovou revolucí. Globální oteplování vyvolané člověkem v současné době roste tempem 0,2 °C za desetiletí. Celkový nárůst teploty o 2 °C v porovnání s teplotou v předindustriálním období by pak měl závažné negativní dopady nejen na lidské zdraví, ale hlavně by možná nastaly katastrofické změny v životním prostředí (Climate Action, 2022). Z tohoto důvodu se v roce 2015 mezinárodní společenství OSN na konferenci v Paříži shodlo na nezbytnosti udržet globální průměrnou teplotu pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí a usilovat o to, aby nárůst do konce tohoto století nepřekročil hranici 1,5 °C (Evropský parlament, 2021).

Hlavní příčinou nárůstu průměrných teplot je zvýšené množství skleníkových plynů, které vytváří skleníkový efekt. Tento proces funguje zjednodušeně tak, že část tepla ze slunce i povrchu planety je v atmosféře zachycena skleníkovými plyny a neprochází do vesmíru. Díky tomu je Země mnohem teplejší, než by byla bez atmosféry (Houghton, 2005; Fang et al., 2011).

Skleníkové plyny se v přírodě běžně vyskytují, avšak v důsledku lidské činnosti se jejich koncentrace v atmosféře zvýšila. Jedná se zejména o plyny jako je oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), ozon (O<sub>3</sub>) a fluorované plyny (Houghton, 2005; Seinfeld, 2011). Ke globálnímu oteplování přitom nejvíce přispívá oxid uhličitý. Do roku 2020 se jeho koncentrace v atmosféře zvýšila o 48 %. Jiné skleníkové plyny, které vznikají v důsledku lidské činnosti, jsou uvolňovány v menším množství, ale mají také značný vliv. Například metan má na skleníkový efekt větší dopad než oxid uhličitý, ale jeho životnost v atmosféře je kratší. Naopak oxid dusný, stejně jako oxid uhličitý, má dlouhou životnost a v atmosféře se hromadí v průběhu desetiletí až století (Houghton, 2005; European Commission, 2022). Zvýšené množství oxidu dusného přitom ztenčuje ozonovou vrstvu, která mimo jiné chrání Zemi před slunečním ultrafialovým zářením (Ravishankara et al., 2009).



K nárůst skleníkových plynů vlivem lidské činnosti dochází při spalování černého uhlí, ropy a zemního plynu (Andrew, 2018). Velký vliv má také stavba silnic (Ma et al., 2016), chov skotu (Andrew, 2018), pěstování rýže (World Resource Institute, 2020) procesy probíhající při tání permafrostu (Gedney et al., 2004) a používání dusíkatých hnojiv, jež emitují oxid dusný (Houghton, 2005). Nepřímý dopad má také rapidní odlesňování. Stromy totiž pohlcují oxid uhličitý, a plošným kácením hlavně v pralesních oblastech se tak skleníkový efekt ještě umocňuje (European Commission, 2022).

### **3.1. Důkazy a důsledky změny klimatu**

Je nepopiratelné, že lidská činnost oteplila atmosféru, oceán a pevninu a že došlo k rozsáhlým a rychlým změnám v atmosféře, oceánu, kryosféře a biosféře. Ledová jádra získaná z Grónska, Antarktidy a tropických horských ledovců ukazují, že zemské klima reaguje na změny v hladinách skleníkových plynů. Dlouhodobé důkazy lze také nalézt v letokruzích stromů, oceánských sedimentech, korálových útesech a vrstvách sedimentárních hornin. Tyto důkazy odhalují, že současné oteplování probíhá zhruba desetkrát rychleji, než je průměrná rychlost oteplování v době ledové. Oxid uhličitý navíc v důsledku lidské činnosti roste více než 250krát rychleji než z přírodních zdrojů po poslední době ledové (Gaffney et al., 2017).

Další důkazy přináší oceány, které pohlcují většinu tepla z globálního oteplování. Teplota 100 m od hladiny oceánu vykazuje oteplení o více než 0,33 °C (Levitus et al., 2017). Dochází také ke zmenšování ledových příkrovů na zemských pólech. Data ukazují, že Grónsko v letech 1993 až 2019 ztratilo v průměru 279 miliard tun ledu ročně. Antarktida pak ztratila ve stejném asi 148 miliard tun ledu ročně (Velicogna et al., 2020). Tání ledových příkrovů způsobuje vzestup hladin moří, což ohrožuje pobřežní a ostrovní biotopy. Uvádí se, že průměrná hladina světových moří v minulém století vzrostla o 20 cm. Míra oteplování v posledních desetiletích je však téměř dvojnásobná ve srovnání s minulým stoletím a každým rokem se mírně zrychluje (Nerem et al., 2018). Dalším problémem a zároveň důkazem je kyselost oceánů. Více oxidu uhličitého vyskytujícího se v něm ho totiž činí kyselější a od počátku průmyslové revoluce se kyselost oceánských vod zvýšila asi o 30 % (PMEL Carbon Programme, 2022).

Ze suchozemského prostředí pak přináší důkazy o pozorování změn klimatu satelitní sledování. Ta odhalují, že množství jarní sněhové pokrývky na severní polokouli se za posledních 50 let snížilo a sníh taje dřív. Dochází také k ústupu horských ledovců po celém světě

(Robinson et al., 2014). Častěji se též vyskytují extrémní povětrnostní jevy, jako jsou intenzivnější bouře, extrémní srážky a záplavy, ale také větší sucho a požáry, a to i v oblastech, kde tyto jevy nebyly dříve typické. Dále dochází k rozšiřování pouští a tím i zmenšování půd vhodných pro zemědělství. Je tedy pravděpodobné, že bude více regionů, které budou trpět nedostatkem vody a potravin. To může vést až k vysídlení dané oblasti (Climate Action, 2022).

## 4. Vliv klimatických změn na obratlovce

Obratlovci se svou rozvinutou etologií a často složitými životními i roční cykly představují zajímavé organismy pro výzkum vlivu globálního oteplování na světovou biotu. V této kapitole budou nastíněny hlavní poznatky u jednotlivých skupin s výjimkou ptáků, kterým jsou věnovány následující samostatné kapitoly.

### 4.1. Vliv klimatických změn na paryby a ryby

Paryby a ryby jsou odlišné skupiny živočichů, hlavně co se týče jejich evoluce a stavby těla, například paryby mají chrupavčitou kostru, kdežto ryby mají kostru složenou z kostí. Avšak jejich poměrně shodné biotopové preference a podobný způsob života znamenají, že i klimatické změny na něj budou působit podobně (Gaisler et al., 2018). Proto se těmito skupinami obratlovců zabývám ve společné kapitole.

Paryby a ryby jsou poikiloternní živočichové, takže jejich fyziologie je přímo ovlivněná okolní teplotou (Bowden et al., 2007). U mnoha rybích onemocnění, například *Lactococcus garvieae*, je právě teplota klíčovým faktorem určujícím, zda infekce vede k onemocnění a úmrtnosti (Marcos-López et al., 2010). Proto je vysoce pravděpodobné, že změny klimatu mohou ryby postihnout závažněji a dříve než homeoternní živočichy (Brander, 2007).

Dále zvyšující se teplota vody podporuje usazování introdukovaných druhů vodních živočichů a exotických patogenů z teplejších oblastí (Brander, 2007). Například během léta v roce 2003 v ústí řeky Tyne došlo k úhynu mnoha migrujících dospělých lososů obecných, kteří vlivem stresu z vysokých teplot a nízkou hladinou rozpuštěného kyslíku byli postižení oportunními bakteriálními infekcemi, například *Vibrio anguillarum* (Marcos-López et al., 2010).

Navíc je při vyšších teplotách vody doba generování původních bakterií, hub a parazitů s přímým životním cyklem kratší. To může vést ke zvýšení velikosti populací patogenů, a tím i stoupnutí pravděpodobnosti, že infekce povede k onemocnění a úmrtnosti (Marcos-López et al., 2010). Například kapřívec velký (*Argulus coregoni*), korýšový parazit lososovitých ryb, má obvykle jeden generační cyklus za rok, ale při vyšších teplotách se může zdvojnásobit (Hakalahti et al., 2006). Tím, jak se teplota vody zvyšuje, mohou paraziti se sezónním výskytem reprodukovat a infikovat ryby po celý rok (Marcogliese, 2001).

Stejně tak extrémní povětrnostní jevy, vyšší teplota okolního prostředí a další antropogenní i environmentální faktory (například znečišťování a eutrofizace vod, nadměrný odběr vody) pravděpodobně degradují stanoviště ryb a nepříznivě ovlivní kvalitu vody (Brander, 2007). Ve Spojeném království se dá v budoucnu předpokládat, že vlivem změny klimatu se sníží vhodnost vodního prostředí pro lososovité ryby, zejména pro lososa obecného (*Salmo salar*; Graham et al., 2009).

Lososovité ryby jsou totiž stenotermní a teploty nad 13–16 °C je stresují, což vede k neoptimální rychlosti růstu, sníženému plaveckému výkonu, vyššímu riziku onemocnění a zhoršené smoltifikaci (řada fyziologických změn, kdy se mladá ryba přizpůsobuje životu v moři) lososa obecného (Bear et al., 2007).

Značnou roli v šíření nepůvodních druhů a patogenů může hrát též akvaristika. Globalizace totiž mohou vést k zvýšené poptávce po chovu nových druhů. V případě jejich vypuštění do volné přírody je pak díky vyšší teplotě větší pravděpodobnost, že přežijí a stanou se významnými kompetitory původních živočichů, případně také rozšíří nové patogeny (Brooker et al., 2007). Právě mezinárodní pohyb okrasných ryb je považován za hlavní příčinu rychlého globálního šíření herpesviru koi (KHV) a šíření vznikajících iridovirů (Marcos-López et al., 2010).

V oceánech se rovněž ve spojitosti s rostoucí teplotou mění geografické rozmístění některých druhů mořských ryb. Na severní polokouli se ryby obecně přesouvají více na sever, protože se snaží zůstat na optimální teplotě, aby maximalizovali svůj růst (Perry et al., 2005). To může také umožnit již dříve jmenované větší rozšíření patogenů v mořském prostředí, a nakonec i do sladké vody (Marcos-López et al., 2010).

Ve sladkých vodách budou podobné změny pozitivní především pro euryektní ryby, jako je kapr obecný (*Cyprinus carpio*), které budou pravděpodobně zvýhodněny zvýšenou teplotou vody ve větších zeměpisných šířkách a nadmořských výškách, takže posunou svou aktuální hranici rozšíření. Naopak stenoektní ryby, zejména druhy chladnějších vod, budou globálním oteplováním trpět (Marcos-López et al., 2010).

Tento scénář je více rozvíjen na evropských řekách, kde časové scénáře průměrné teploty vody předpokládají rostoucí oteplování po proudu. Během léta je předpokládané oteplení asi o 0,7 °C v blízkosti ústí řeky a o něco více než 1 °C na dolním toku. Předpokládá se, že lososovité druhy budou tlačeny proti proudu a parmová a cejnová zóna se protáhne.

Většina evropských řek je roztříštěna četnými jezy, které rybám narušují migrační kontinuum. Předpokládaný posun rybiho seskupení směrem nahoru proto není možný (Matulla et al., 2007).

Nízké průtoky v létě budou bránit migraci lososa obecného a pstruha obecného (*Salmo trutta*) proti proudu řeky, který se z moře vrací ke tření. Vlivem toho dojde ke shromáždění ryb v pomalu tekoucí vodě, kde jsou příznivé podmínky pro rozšíření patogenů a může dojít k vysokým úhynům ryb (Marcos-López et al., 2010).

Vyšší teploty ovzduší též snižují hladinu rozpuštěného kyslíku a zvyšují rychlost primární produkce a rozkladu organické hmoty. Úbytek živin zvyšuje úroveň eutrofizace a frekvenci vzniku vodního větu. Snižené průtoky řek, v obdobích nízkých srážek, často snižuje kvalitu vody, protože kontaminanty a rozpuštěné pevné látky jsou v nízké hladině vody méně ředěné (Johnson et al., 2009). Vysoké průtoky, například po bouřích, mohou také zvýšit množství kontaminujících látek, vyplavením z půdy a zvýšit množství nerozpuštěných látek. Je také známo, že vysoké srážky v krátkých obdobích přetěžují kapacity čistíren odpadních vod a nečištěné odpadní vody mohou být vypuštěny do řek, což vede k náhlým poklesům rozpuštěného kyslíku a k rozsáhlému úhynu ryb (Marcos-López et al., 2010). Snižená kvalita vod bude velký problém například pro vrankovité (*Cottidae*) a lososovité (*Salmonidae*) ryby, které jsou citlivější na kvalitu stanovišť (Alborali, 2006).

Snižená kvalita vody dále snižuje populace bezobratlých, kteří jsou důležitým zdrojem potravy pro některé druhy ryb. Nedostatek potravy spolu s degradací rybích stanovišť může zejména snížit hustotu populace jeseterů (*Acipenser*) a mníkovitých (*Lotidae*), treskovitých (*Gadidae*) či lososovitých ryb (Marcos-López et al., 2010).

Sezónní změny teplot mají rovněž velký vliv na reprodukci ryb. Zvyšující se teploty nastolují reprodukční vývoj u druhů, které se rodí na jaře, a klesající teploty stimulují reprodukci u podzimního tření. Zvýšené teploty vedou ke zkracování jarního tření a zpožďují podzimní tření. Teplota má podobně důležitou roli v modulaci post-fertilizačních procesů, a to jak prostřednictvím svých účinků určujících rychlost na embryogenezi a líhnutí, tak následným vývojem larev, růstem a přežitím (Pankhurst et al., 2011). Experimenty se sapínovitými druhy ryb však ukazují, že vysoký nutriční stav poskytuje určitou ochranu před inhibičními účinky vystavení vysokým teplotám (Donelson et al. 2010). Dá se tedy předpokládat, že teplotní účinky na reprodukci přirozených populací se zhorší, pokud dojde k souběžnému negativnímu dopadu na dostupnost potravin (Pankhurst et al., 2011).

Problémem vodních živočichů nejsou jen zvyšující se teploty, ale také proces známý jako okyselování oceánů. Kdy rostoucí koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře a jeho rozpouštění na hladině oceánu způsobuje pokles pH oceánu a snižuje koncentraci uhličitanových iontů v mělkých vodách. Tento proces je považován za vážnou hrozbu pro mořské druhy ryb a paryb, které vyžadují uhličitanové ionty k vytvoření svých koster. Zvýšený parciální tlak oxidu uhličitého ( $p\text{CO}_2$ ) může mít také přímý fyziologický vliv na vodní druhy prostřednictvím narušení acidobazické rovnováhy a omezení přísunu kyslíku. Větší obavy jsou z účinku zvýšeného parciálního tlaku oxidu uhličitého ve vodě než snížení pH jako takového. To dokazuje experiment s pražmou červenou (*Pagrus major*). Ten ukazuje, že rybí plůdky jsou citlivější na účinky okyselení způsobené oxidem uhličitým, než na stejné pH dosažené minerálními kyselinami (Kikkawa et al. 2004).

Úbytek kyslíku v oceánu nutí také žraloky modré (*Prionace glauca*) aby se pohybovali v nižších hloubkách, zde jsou však více zranitelní intenzivnějším rybolovem. Dochází tak k stlačování jejich bezpečného stanoviště (Vedor et al., 2021).

Globální oteplování je velkou hrozbou také pro žraloky žijící v korálových útesech. Pokud ty vlivem rostoucích teplot nebo změnou pH začnou odumírat, nebo budou ničeny bouřemi, které jsou stále četnější, ocitnou se jak korálové ryby, tak i žraloci v nebezpečí (American Oceans, 2022).

Tím, jak se vody oteplují, začínají žraloci měnit i své migrační trasy. Příkladem je žralok bělavý (*Carcharhinus leucas*), který se začíná objevovat v místech, kde ještě nikdy předtím nebyl. To může mít obrovský dopad na oceánské ekosystémy, jelikož žraloci jsou na vrcholu potravního řetězce, a jeho vstup do nových oblastí by mohl způsobit narušení fungujícího ekosystému (American Oceans, 2022). Dalším příkladem je žralok tygří (*Galeocerdo cuvier*), který migruje do severních zeměpisných šířek dříve a rozšiřuje své pohyby dále na sever. Data ukazují, že od roku 1980 se na sever posunuli o více než 400 km. Zvyšující se teplota přesunula pohyb žraloka mimo oblasti, které jsou uzavřeny pro lovení ryb pomocí šňůr, což zvyšuje jeho zranitelnost vůči těmto rybolovům (NOAA Fisheries, 2022).

## 4.2. Vliv klimatických změn na plazy a obojživelníky

Moderní obojživelníci a plazi jsou výsledkem dvou nezávislých linií, které byly od sebe odděleny za posledních 300 milionů let (Pough et al., 1998). U plazů následovalo další dělení na želvy (*Testudines*), lepidosaury (*Lepidosauria*) a archosaury (*Archosaria*, Gaisler et al., 2018), přičemž do druhé jmenované patří i ptáci. Problém s tímto evolučně správním pojetím je však v tom, že není reflektováno v řadě studiích o plazech a globálním oteplováním. V jejich případě se obvykle vychází ze starého modelu, který do plazů řadí želvy, ještěry, hady a krokodýli (Gaisler et al., 2018). Proto i v této práci upřednostňuji toto starší pojetí.

Když tedy porovnáme rozdíly mezi těmito plazy a obojživelníky, nalezneme velké množství rozdílů. Například tělo plazů je kryto šupinami, zatímco obojživelníci mají vysoce propustnou, žlázovou kůži. Nebo vejce plazů mají vápenatou skořápku, zatímco vejce obojživelníků jsou uzavřena jednoduchými želatinovými membránami. Odlišujících znaků je mnoho, přesto však existují podobnosti, které je spojují a pro něž jsou zde řešení společně. Jednou z hlavních je ektotermie. Zároveň je řada druhů u obou skupin citlivá na degradaci stanovišť (Gibbons et al., 2000), což je jedno z témat, v němž klimatické změny hrají velkou roli (viz níže).

Zvýšené teploty mohou ovlivnit poměr pohlaví především u plazů, v menší míře u obojživelníků. Pohlaví mnoha plazů je určeno teplotou inkubace vajec. V případě že dojde ke zvýšení teploty o 2–4 °C budou všichni potomci samičího nebo samčího pohlaví (Blickford et al., 2010). Známá je tato situace u mořských želv, u kterých je pohlaví určeno teplotou během střední třetiny vývoje. Během této doby se produkují samčí mláďata při nízkých teplotách a samičí při vysokých teplotách. Vlivem globálního oteplování hrozí nebezpečí feminizace jejich populace (Tomillo et al., 2020). Všichni plazi a někteří obojživelníci, například *Euphlyctis cyanophlyctis* (Phuge, 2017), jsou v příštích 100 letech ohroženi potencionálním vznikem populací jednoho pohlaví (Blickford et al., 2010). Kareta obrovská (*Chelonia mydas*) od konce 19. století vyprodukovala každým rokem méně než 15,5 % samců. Projekce naznačují, že do roku 2030 se vylíhne pouze 2,4 % samců, 1,0 % do roku 2060 a 0,4 % do roku 2090 (Laloë et al., 2015).

Globální oteplování vede také ke změně rozmístění obojživelníků. Mnohé druhy mohou vyhledávat chladnější mikrohabitáty ve svém současném stanovišti, nebo se mohou přemístit do vyšších nadmořských výšek. Například v jihovýchodní Asii se za posledních 70 let posunulo nejméně 9 nížinných druhů obojživelníků výše o minimálně 500 m. Své stanoviště změnilo také

druhy žijící ve vyšších nadmořských výškách, kteří se přesunuli po svahu směrem dolů. Tento trend může být výsledkem zvýšeného ultrafialového záření B (UV-B) a nižší oblačnosti ve vyšších nadmořských výškách, což nutí obojživelníky z vysokých nadmořských výšek hledat svůj úkryt níže, kde je dostatečná vlhkost. Toto usazování obojživelníků ve středních nadmořských výškách z počátku povede ke zvýšení druhové bohatosti. To bude mít za následek zvýšení konkurence, tím snížení velikosti a struktury populace, a vlivem omezených zdrojů v daném území ve výsledku povede ke snížení biologické rozmanitosti (Blickford et al., 2010).

Další vliv může mít snížení srážek, to povede ke snížení podnětů a dostupných míst pro rozmnožování. Pro obojživelníky je důležitý dostatek vody pro přežití pulců a dešťových srážek, které vyvolávají páření (Blickford et al., 2010). Sušší podnebí může vést ke snížení rychlosti toků a tím i snížení populace taxonů vyžadující rychlý průtok řek, například žáby rodu *Meristogenys*. S menším množstvím srážek či prodlouženým suchem budou vejce a pulci náchylní k vysušení vhodných biotopů (Donnelly et al., 1998). Podobně u plazů sladkovodní želvy a krokodýli (*Crocodylia*) snášejí vejce do vlhkých půd v blízkosti mokřadů a trvalých vodních ploch. Vlivem změny klimatu se tyto oblasti stávají suššími (Blickford et al., 2010), takže plazi vejce trpí dehydratací, což může vést ke snížení úspěšnosti líhnutí a malé velikosti mláďat (Angilletta, 2009).

K úmrtnosti může také vést i zvýšení prudkých srážek, a to především pro obojživelníky, kteří obývají pomalu tekoucí vody a záplavové zóny. Při silnějším proudu dojde s velkou pravděpodobností k odplavení nebo poškození vajec a pulců. Podobně se úmrtnost plazů a obojživelníků, kteří kladou vajíčka na pevninu, může zvýšit v důsledku zaplavení hnízd a zvýšeného výskytu plísní na vejcích (Blickford et al., 2010).

Zvyšování průměrné teploty vzduchu je další hrozba pro tropické plazy a obojživelníky. Rostoucí globální teplota může vést ke změnám v jejich metabolismu (Sinervo et al., 2010). Vzhledem k předpokládanému nárůstu teplot o 1,1–6,4 °C do roku 2100 by se rychlost metabolismu ektotermních živočichů mohla zvýšit o 10–75 % (Blickford et al., 2010). Pokud se jejich tělesná teplota zvýší nad optimální tělesnou teplotu začne se vytvářet fyziologický stres, dojde ke snížení výkonosti a zvýší se náchylnost k nemocem, což povede k poklesu populace a případně i vyhynutí (Sinervo et al., 2010). Pravdou však též je, že někteří plazi obývají prostředí, která jsou chladnější než jejich optimální průměrné teploty, ti by naopak mohli z rostoucích teplot těžit (Deutsch et al., 2008). Například u ještěrky živorodé (*Lacerta vivipara*) jsou objeveny pozitivní korelace mezi stoupající letní teplotou a velikostí těla, počtem



potomků vyprodukovaných v jednom vrhu a celkovým reprodukčním úsilím (Chamaillé-Jammes et al., 2006).

### 4.3 Vliv klimatických změn na savce

První savci se objevili na přelomu triasu a jury v druhohorách před více než 200 miliony lety. V současnosti se na Zemi vyskytuje kolem 6 500 druhů savců. Jsou rozšířeni po celém světě, ve vodě, na souši i ve vzduchu. I přesto že je spojují společné znaky, jsou velmi rozmanitou skupinou živočichů s rozdílnou fyziologií, ekologií i etologií (Gaisler et al., 2018). To nám vytváří problém při zkoumání dopadu změn klimatu na jejich životy a vyvození obecných závěrů. Přesto nacházíme několik významných společných rysů, jakými savci mohou globálnímu oteplování čelit.

Jedním z nich je přesun do nového stanoviště s vhodným klimatem. Toto je známo u medvědů v severní Kanadě a kosmopolitní mořské kosatky dravé (*Orcinus orca*; Hetem et al., 2014). V mírném pásu odpovídá zvýšení průměrné roční teploty o 1 °C posunu izoterm přibližně o 160 km zeměpisné šířky, nebo o 160 m nadmořské výšky (Parmesan et al., 2003). Očekává se tedy, že biota, včetně savců, pokud tak bude moci učinit, bude následovat měnící se klimatická pásma a pohybovat se směrem k pólům v zeměpisné šířce a nahoru v nadmořské výšce (Hughes, 2000).

Posun rozsahu však vyžaduje, aby vhodná nová stanoviště byla přístupná a požadované cestovní vzdálenosti byly v rámci pohybových možností jednotlivých druhů (Hetem et al., 2014). Rychlé tempo změny klimatu tak povede k tomu, že téměř 10 % savců západní polokoule nebude schopné se pohybovat dostatečně rychle, aby udrželi krok s předpokládanými změnami klimatu (Schloss et al., 2014).

Většina velkých suchozemských savců, nemá možnost rychlé mikroevoluce nebo dostatečně rychlého přesunu do vhodného biotopu (pokud takový vůbec existuje). Tempo změny klimatu je totiž příliš rychlé na to, aby došlo ke genetické adaptaci u dlouhověkých savců, což jsou prakticky všechny velké druhy. Fragmentace krajiny a hustota zalidnění zase komplikují spontánní přesun do vhodných biotopů, takže v boji proti účinku změny klimatu se nabízí pouze latentní fenotypová plasticita (schopnost organismu vytvářet různý fenotyp v závislosti na vnějších podmínkách). Ta v rámci jednoho druhu umožňuje anatomické variace, změny ve fenologii (začátek rozmnožování, migrace) a využití vnitřní fyziologické i behaviorální kapacity (velikost těla, případně tělních výběžků, individuální jednání jedinců),

což může tlumit účinky globálního oteplování. Bohužel o účinnosti fenotypové plasticity je dnes známo jen málo, takže není jisté, zda bude mít dostatečně silný vliv, aby zvířatům umožnila globálnímu oteplování čelit (Hetem et al., 2014).

Na druhou stranu, naději pro některé druhy v rámci této plasticity představuje změna morfologických znaků souvisejících s klimatickou tolerancí. Jde o znaky určené geneticky a klasickým příkladem je barva srsti zvířete (Hetem et al., 2014). Na souostroví St. Kilda (Spojené království, 57°49'0'' s. š. a 8°35'0'' z. d.) bylo zjištěno, že postupné zvyšování okolní teploty vysvětluje změny v poměru tmavých a světlých ovcí Soya (*Ovis aries*). S globálním oteplováním se i nadále dá očekávat, že populace tmavých forem budou klesat (Maloney et al., 2009).

Stejně se ale změna klimatu týká menších druhů. Již v této době je výrazně ovlivněno rozšíření mnoha z nich, takže brzy může dojít k poměrně rozsáhlému vymírání. Podobně jsou na tom endemické druhy, které mají kvůli svému rozšíření značně omezené možnosti při boji s globálním oteplováním. Příkladem obou skupin je vychuchol pyrenejský (*Galemys pyrenaicus*), endemický hmyzožravec vyskytující se v jihozápadní Evropě. Hlavními faktory ovlivňující jeho rozšíření je průměrná letní teplota a vodní bilance. Předpokládá se, že zvýšená teplota společně se zánikem menších vodních ploch a toků povede k významnému zmenšení areálu rozšíření tohoto druhu. Závažnost situace závisí na nyní neznámém faktu, který z obou prediktorů bude nejdůležitějším limitujícím faktorem. Bude-li průměrná letní teplota hlavním determinantem rozšíření, je populace vychuchola pyrenejského ohrožena vyhynutím (Morueta-Holme et al., 2010).

Na druhou stranu, dlouhodobé studie populační dynamiky některých savců ukazují pozitivní i negativní vliv globálních změn. Příkladem první skupiny je zimní stanoviště soba polárního (*Rangifer tarandus*), kde dešť padající na sníh vytváří pro mnoho jedinců neproniknutelný led obklopující lišejníky. Tyto podmínky jsou vlivem měnícího se klimatu běžnější a může to znamenat hrozbu pro tento druh. Avšak nedávná studie ukazuje, že častější deště na sněhu ve skutečnosti snižují riziko vyhynutí a stabilizují populační dynamiku v důsledku interakcí s věkovou strukturou a závislostí na hustotě. Ledová vrstva na lišejnících pravděpodobně vyhubí zranitelné mladé nebo straší soby, což sníží konkurenci ve prospěch odolnějších jedinců a věkových skupin (Hansen et al., 2019). Negativním příkladem pak může být africký specialista na suché prostředí, surikata (*Suricata suricatta*). Pro ně by sice vyšší teploty neměly být problém, ale v případě, že se teplejší počasí spojí s nepředvídatelnějšími

srážkami těsně před začátkem období rozmnožování, může dojít k snížení plodnosti. To představuje riziko vyhynutí pro méně početné populace (Paniw et al., 2019).

Netopýr společenský (*Myotis sodalis*) je zase příkladem toho, jak měnící se klima a zavlečení exotických organismů může společně ohrozit perzistenci původních druhů savců. Tento letoun se vyskytuje na severovýchodě, středozápadě a v částech jihovýchodní USA. Během zimy přezimuje v jeskyních a dolech v úzkém teplotním rozmezí (3,0–7,2 °C). Nejdůležitější hibernační místa se vyskytují především na středozápadě a jihovýchodě USA (Turner et al., 2011). V současné době je většina těchto míst postižena Syndromem bílého nosu (White-nose syndrome, dále jen WNS), smrtelným onemocněním způsobeným importovanou starosvětskou houbou *Pseudogymnoascus destructans* (Warnecke et al., 2012). Tato nemoc měla za následek smrt přibližně 72 % netopýrů společenských z populace hibernující na severovýchodě USA v letech 2006–2007 (Turner et al., 2011). Předpovědi změny klimatu pak naznačují, že areál tohoto druhu by se v budoucnu měl posouvat směrem na sever a východ, kde jsou oblasti nejvíce postižené WNS. Toto propojení dvou zdánlivě nesouvisejících vlivů by tak mohlo mít za následek další a možná krizový pokles v populacích tohoto letouna (Loeb et al., 2013).

Předpokládané dopady na mořské prostředí potom zahrnují zvýšení teploty, zvýšení hladiny moří a snížení pokrývky mořského ledu. Problémy s vyšší teplotou se budou týkat například plískavice bělonosé (*Lagenorhynchus albirostris*), která se vyskytuje pouze na severu ve studených vodách Atlantického oceánu, a velryby grónské (*Balaena mysticetus*) či narvala (*Monodon monoceros*) z arktických vod. U těchto druhů by zvyšování teploty mohlo přesáhnout hodnoty, jež jsou tyto kytovci schopni snést a vést tak v krajním případě až k vymírání (Mann et al., 2000).

Tání ledovců a s tím spojené zvýšení mořské hladiny se pak často spojuje se změnami Gofského proudu, který může mít zásadní vliv, jak na obyvatele pobřeží, tak řadu kytovců, mezi něž patří například vorvaňovec anarnak (*Hyperoodon ampullatus*; Learmonth et al., 2006) nebo velryba černá (*Eubalaena glacialis*; Pettis et al., 2021).

Dále bude mít tání ledovců vliv na zvířata, která jsou s tímto biotopem úzce spjata. Jde například o tuleně vousatého (*Ergnathus barbatus*), jenž na ledových krách rodí mláďata (Learmonth et al., 2006), a medvěda ledního (*Ursus maritimus*). Ti se spoléhají téměř výhradně na kalorickou potravu tuleňů, které hojně loví v dírách ledovců, v nichž se tato zvířata nadechují. Úbytek ledovců tedy ohrožuje jejich úspěšnou metodu lovu a řada medvědů začíná

hladověť, protože je jejich metabolismus vázán na velký zdroj lipidů a potrava na souši je pro ně dlouhodobě nevyhovující (Pagano et al., 2018). Vědci také zjistili, že stejným tempem pokračující úbytek mořského ledu do roku 2050 mohl snížit celosvětovou populaci medvědů ledních o dvě třetiny až na méně než 10 000 jedinců (Stokstad, 2010).

## 5. Vliv klimatických změn na ptačí migraci

Ptačí migrace je definována jako pravidelný, endogenně kontrolovatelný, sezónní pohyb ptáků mezi místem vhodným pro reprodukci (hnízdště) a místem vhodným pro přečkání nepříznivých podmínek (zimoviště). Migrace může probíhat také za potravou, například u albatrosů a tučňáků může být i tato cesta prodloužena (Salewski et al., 2007). Změna klimatu vyvolala dřívější příchody jara, pozdější vpády zimy a různé změny v počasí. Tyto odchylky mohou být velmi náročné pro stěhovavé druhy v případě, že nebudou schopni se přizpůsobit a správně načasovat svou migraci (Prytula et al., 2021).

Stěhování ptáků můžeme rozdělit na základě migrující vzdálenosti (druhy s potulkami bez jasného směru a cíle nyní vynecháváme). Někteří migrují několik tisíc kilometrů (dálkový migranti), jiní zase jen do oblastí v blízkosti svých hnízdišť (migranti na krátkou vzdálenost). V případě, že dojde k mírnějším podmínkám v zimě, mnoho druhů může změnit svou migrační strategii a zůstat blíže své oblasti rozmnožování. To jim bude šetřit náklady na migraci z hlediska času, energie a úmrtnosti. Kratší jarní migrace má výhodu dřívějšího přiletu a výběr nejlepšího místa pro reprodukci (Visser et al., 2009).

### 5.1. Jarní migrace

Hlavním cílem jarní migrace je přemístit se na místo s vhodnými podmínkami pro reprodukci. Dostat se na hnízdště včas je společně s datem zahájení snůšky pro ptáky klíčový moment. V případě, že samec přiletí pozdě, klesne tím jeho šance na nalezení vhodného místa pro založení hnízda či vhodné samice k spáření. Naopak s předčasným přiletem hrozí náhlé zhoršení nestálého jarního počasí a nedostatek potravy (Najmanová et al., 2007).

Bylo zjištěno, že v okolí Vilniusu (Litva, 54°41'20'' s. š. a 25°16'47'' v. d.) došlo mezi lety 1971 až 2004 k dřívějším přiletům u 38 z celkem 40 zkoumaných druhů (Zalakevicius et al., 2006). U 28 z nich byl pak dřívější přilet prokázán jako statisticky významný. Šlo přitom o 11 migrantů na krátkou až střední vzdálenost (68,8 % všech migrantů na tuto vzdálenost) a 17 migrantů na dlouhé vzdálenosti (70,8 % všech migrantů na tuto vzdálenost). Průměrná data jarního přiletu se posunula od 0,03 dne za rok u lejska šedého (*Muscicapa striata*) až po 0,69 dne za rok u rehka domácího (*Phoenicurus ochruros*) a káně lesního (*Buteo buteo*). Významné změny byly přitom zaznamenány u strnada rákosního (*Emberiza schoeniclus*), který přiletěl dříve o 0,63 dne/rok, pěnice pokrovní (*Sylvia curruca*), u níž se přilet uspíšil

o 0,59 dne/rok, a vlaštovky obecné (*Hirundo rustica*) s dřívějším příletem o 0,56 dne/rok (Zalakevicius et al., 2006).

Dřívější jarní migrace byla zaznamenána také na ostrově souostroví Helgoland (Německo, 54°10'57'' s. š. a 7°53'7'' v. d.), kde je během posledních 41 let evidentní brzký přílet u 23 z 24 zkoumaných druhů (z toho u 17 druhů je tento trend statisticky významný). Průměrná jarní data příletu se posunula například u sedmihláska hajního (*Hippolais icterina*) o 0,05 dne za rok a u kosa černého (*Turdus merula*) o 0,28 dne za rok (Hüppop et al., 2003).

Pro zjišťování vztahů mezi klimatem a ptačí fenologií se osvědčilo použití velkoprostorových klimatických charakteristik, jako je například index severoatlantické oscilace (North Atlantic Oscillation, dále jen NAO). NAO je nepravidelné kolísání atmosferického tlaku nad severním Atlantským oceánem, který má silný vliv na zimní počasí v Evropě, Grónsku, severovýchodní Severní Americe, severní Africe a severní Asii. K této oscilaci může docházet každoročně, nebo ve výkyvech s odstupem až desítek let. Střídají se přitom dva režimy této oscilace, které nazýváme pozitivní a negativní. Při pozitivním režimu se nad Azorskými ostrovy ve středním severním Atlantiku nachází silná tlaková výše a nad Islandem je soustředěna silná tlaková níže. V případě negativního režimu se nachází tlaková výše i níže na stejném místě, jen jsou slabší (Rafferty, 2011). Efekt NAO ovlivňuje ptáky tak, že při pozitivní hodnotě indexu, který je doprovázen mírnějšími zimami, přilétají ptáci na hnízdiště dříve (Rainio et al., 2006). Naopak při negativní hodnotě indexu NAO se přilety opozdí (Zalakevicius et al., 2006). Příkladem je studie z Helgolandu, kdy dřívější jarní přílet meziročně koreloval se zvyšující se lokální teplotou, a ještě silněji s pozitivní hodnotou indexu NAO. Podobné výsledky jsou i z Finska, kde se 64 (79 %) z 81 druhů na hnízdiště vrátila dříve po mírných a vlhkých zimách s pozitivním indexem NAO (Hüppop et al., 2003).

Někteří z mnoha dálkových migrantů budou trpět změnou klimatu, protože jejich migrační strategie není změnou klimatu ovlivněna (například délka dne), nebo se klima v oblastech hnízdiště a zimovištěm mění různou rychlostí, což brání adekvátní adaptaci. Například studie z Nizozemska, která zkoumala lejska černohlavého (*Ficedula hypoleuca*) v období 1980–2000 a zjistili, že teploty se v době příletu a zahájení rozmnožování výrazně zvýšili. Avšak ptáci během stejného období svůj jarní přílet na hnízdiště neposunuli, a reagovali jen posunem průměrného datum snesení snůšky, který posunuli o zhruba 10 dní vpřed. Interval mezi příletem a vznikem snůškou se tedy výrazně snížil, takže tito ptáci zažívají extrémně rychlý a energeticky náročný přechod z fáze namlouvání do fáze páření a péče o potomstvo.

Celkově je tak pro ně obtížné optimálně využít potravní vrchol v množství hmyzu (Both et al., 2001).

Rozsáhlá změna klimatu může dále představovat vážnou hrozbu pro některé z mnoha druhů, které migrují z tropických zimovišť do oblastí s mírným rozmnožováním, protože přilétají v nevhodnou dobu k optimálnímu využití stanoviště a čelí vyšší konkurenci s rezidentními druhy, jejichž počet se mohl i zvýšit díky lepším podmínkám v zimě. Do výhody se tak v rámci tažných druhů dostávají migranti na krátké vzdálenosti, kteří mohou být v reakci na změny pružnější, protože podmínky na jejich zimovišti budou lepším prediktorem pro optimální dobu přiletu na hnízdiště. Globální oteplování tak pro migranty na krátké vzdálenosti bude stále větší výhoda, ale pro dálkové migranty to může být vážná hrozba (Both et al., 2001, Jenni et al., 2003).

## 5.2. Podzimní migrace

Načasování podzimní migrace se řídí především třemi faktory: koncem ročního reprodukčního období, podmínkami v oblasti hnízdiště po období rozmnožování a očekávanými podmínkami na migračních zastávkách a zimovištích. Nedávné klimatické změny mohly změnit relativní význam těchto tří faktorů, což mělo za následek předstih nebo zpoždění podzimní migrace (Jenni et al., 2003).

O podzimním odletu migrantů z hnízdiště do zimoviště je k dispozici mnohem méně údajů než o jarní migraci. Některá ptačí pozorování ale naznačují, že k podzimní migraci dochází později, což má za následek, že se délka pobytu na hnízdišti u některých druhů prodloužila (Crick, 2004). Rozsáhlá studie provedená v alpském průsmyku Col de Breloche ve Švýcarsku v nadmořské výšce 1920 m n. m. však ukazuje mnohem komplexnější a nestejnorodé výsledky.

Na této lokalitě byly zkoumány změny v načasování vrcholu podzimní migrace u 40 druhů migrujících na krátké vzdálenosti (zimující severně od Sahary) a 25 druhů na dlouhé vzdálenosti (zimující jižně od Sahary) během tří období 1958–1969, 1970–1982 a 1988–1999. Dálkoví migranti průsmykem protáhli v období 1988–1999 v průměru o 2,5 dne dříve než v prvním období, naopak migranti na krátké vzdálenosti překračovali Col de Breloche v průměru o 3,4 dny později. Hlavní důvod v rozdílu je místo jejich zimoviště. Dálkoví migranti při cestě na své zimoviště musí projít oblastí Sahelu ještě před začátkem období sucha, které vlivem globálního oteplování nastává dříve. Naproti tomu migranti na krátké vzdálenosti zimují

v oblasti Středozemního moře nebo částečně na hnízdištích, která v důsledku změny klimatu nabízejí mírnější podmínky (Jenni et al., 2003).

Dále bylo zjištěno, že dálkoví migranti s proměnlivým počtem jedné až dvou snůšek za rok svou vrcholnou dobu průchodu nezměnili, zatímco ti s jednou snůškou za rok ji uspíšili. Migranti na krátké vzdálenosti s proměnlivým počtem snůšek za rok zpožďovali svůj vrcholný tah více než migranti s jednou snůškou (Jenni et al., 2003).

Výsledkem je, že migranti na krátké vzdálenosti mohou těžit z globálního oteplování, například dřívějším zahájením reprodukce (viz výše), zvýšením reprodukční výkonosti díky prodloužené době rozmnožování (mohou mít více snůšek), a zkrácením migrační vzdálenosti (Berthold, 1991). Naproti tomu migranti na dlouhé vzdálenosti nemusí mít stejné výhody. Jejich podzimní i jarní migrace je omezena spíše podmínkami na cestě než na zimovišti a hnízdišti. V důsledku toho se jejich období rozmnožování nemusí prodloužit a délka migrace zkrátit (Both et al., 2001).



## 6. Vliv klimatických změn na hnízdní biologii ptáků

Období hnízdění je nejdůležitější období během života ptáků, a to jak pro migrující, tak i rezidentní druhy, proto jeho správné načasování je velmi důležité. Jedná se o období v roce, kdy si ptáci hledají partnera, staví hnízda, kladou vejce a vychovávají své mladé. A to každý druh dělá odlišnými způsoby (Veselovský, 2001).

Ptáci své hnízdění obvykle načasují na podněty signalizující příchod jara, takže jejich mláďata se vylíhnou, když je potrava, jako rostliny a hmyz, nejhojnější. Globální oteplování však přimělo mnoho druhů k dřívějšímu začátku období rozmnožování. Tento efekt je výraznější ve vyšších zeměpisných šířkách, kde teploty stoupají rychleji než v blízkosti rovníku (Hartley, 2020).

Změna délky hnízdního období v průběhu času byla detailně zkoumána ve Finsku, kde analyzovali rozsáhlý soubor dat za období od roku 1975 do roku 2017 a získali tak záznamy o hnízdění 73 druhů s více než 820 000 jedinci z oblasti 1000 km<sup>2</sup> v tamních boreálních lesích. Bylo zjištěno, že v průměru se začátky a konce období rozmnožování posouvali dopředu. Konce se ale posouvají rychleji než začátky, což má za následek celkové zkrácení hnízdění, které bylo v roce 2017 o 1,7 dne kratší než v roce 1975. Ve stejném období se ve Finsku zvýšila i průměrná teplota o 0,8 °C, to nám naznačuje, že mnoho druhů ptáků aktivně reaguje na měnící se teploty, za čímž může být snaha využít vhodnější podmínky v chladné severní Evropě a hnízdit v době největších denzity bezobratlých. Též takto ptáci neriskují náhlé teplotní změny na konci doby hnízdění (Hällfors et al., 2020).

Vědci v Chicagu ve Spojených státech porovnávali nedávná pozorování s vejci z muzejních sbírek a zjistili, že ze 72 druhů ptáků asi jedna třetina kladou vajíčka v průměru o 25 dní dříve. Aby zjistili příčinu, studovali koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře za posledních 150 let spolu s dlouhodobými teplotními trendy a zjistili, že celkový nárůst v obou případech koreloval s kolísáním dat snášení vajec u mnoha, i když ne u všech, druhů ptáků (Bates et al., 2022).

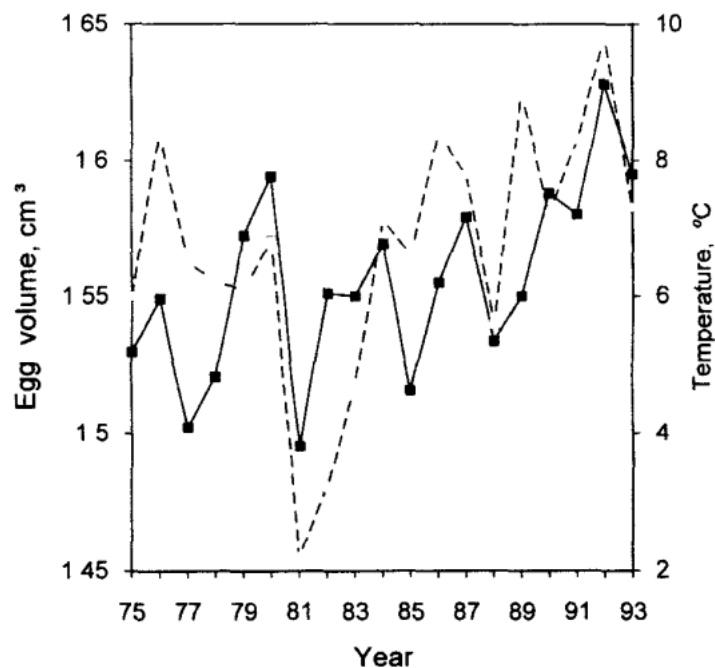
Při studii výrazných jedinců sojky mexické (*Aphelocoma ultramarina*) v jihovýchodní Arizoně v letech 1971 až 1998 bylo zjištěno, že průměrné datum první snůšky v populaci posunulo o 10,1 dne. Opět byly tyto změny spojeny s významnými trendy ve zvýšení měsíčních minimálních teplot ve studované oblasti (Brown et al., 1999).

Dalším důkazem jsou i dlouhodobé údaje o datech hnízdění v Courland Spit (Litva, 55°16'28" s. š. a 20°58'15" v. d.), kde bylo zjištěno, že k hnízdění pěvců v 80. letech a ve 2. polovině 90. let 20. století ve většině případů docházelo dříve než na přelomu 60. a 70. let minulého století (Sokolov, 2006).

U většiny druhů, zejména těch, kteří odchovávají pouze jedno potomstvo za sezónu, mají jedinci, kteří začínají klást vejce dříve, také větší velikost snůšky, což se promítá do většího počtu mlád'at. Vzhledem k tomu, že mnoho druhů vykazuje dlouhodobý posun v termínech snůšky, se dá očekávat také nárůst velikosti snůšek a možná i větší reprodukční úspěch (Dunn et al., 2010). Výsledky jsou však mnohem složitější. Dlouhodobý posun v dřívější snůšce a větším množství vajec byl hlášen u některých populací lejska černočelého (*Ficedula hypoleuca*; Winkel et al., 1997) a prvních mlád'at vlaštovky obecné (*Hirundo rustica*; Møller, 2002). I přes dřívější začátek hnízdění však nebyl zjištěn u lejska bělokrkého (*Ficedula albicollis*; Sheldon et al., 2003), sýkory koňadry (*Parus major*) a modřinky (*Cyanistes caeruleus*; Winkel et al., 1997), vlaštovky stromové (*Tachycineta bicolor*; Winkler et al., 2002), salašníka modrého (*Sialia sialis*) a vlhovce červenokřídlého (*Agelaius phoeniceus*) (Torti et al., 2005). Není jasné proč se velikost snůšky u těchto druhů nezvýšila s časovým posunem, existuje však několik ekologických vysvětlení. Například, že kvůli neshodě vrcholu hojnosti potravy a její největší potřeby pro mlád'ata, má datum snůšky větší vliv na reprodukční úspěch než snesení několika dalších vajec navíc. Další možností je, že v důsledku demografických změn, se na hnízdění podílí řada méně kvalitních jedinců (např. mladší samice), které snášejí menší snůšky (Winkler et al., 2002).

Dřívější časy hnízdění budou mít vliv na biologické hodiny ptáků, což může být riskantní především pro přežití mlád'at, zvláště pokud se počasí náhle ochladí (Bates et al., 2022). Další problém může představovat zvětšení konkurence o potravinové zdroje, takže některá mlád'ata budou hladová (Hällfors et al., 2020).

Dalším ovlivněným faktorem hnízdění může být velikost vajec a mlád'at. Mezi lety 1966–1993 se teploty v severním Laponsku zvýšily. V květnu průměrná teplota vzrostla v průměru o 0,07 °C za rok. V tomto období bylo též zaznamenáno zvýšení průměrného objemu vajec u lejska černočelého (*Ficedula hypoleuca*; obr. 1). Velikost vajec přitom pozitivně korelovala s teplotou vzduchu během hlavního období tvorby snůšek. Dokonce došlo i ke zvýšení průměrného procenta vylíhnutých mlád'at, když v letech 1975–1983 byla tato pravděpodobnost okolo 70 % a v letech 1984–1993 pak 86 % (Jarvinen. 1994).



Obr. 1: Průměrný objem vajíček v cm<sup>3</sup> (plná čára) a průměrná teplota vzduchu ve °C (přerušovaná čára) u populace lejska černohlavého hnízdícího ve Finsku v letech 1975–1993 (převzato ze Jarvinen, 1994).

Nepřímou, ale velkou roli mohou hrát také krátkodobé extrémní výkyvy počasí, které patří k projevům změny klimatu. Například zvýšený výskyt bouří může poničit ptačí hnízdiště a tím ovlivnit jejich natalitu a mortalitu (Najmanová et al., 2007).

Dalším faktorem spojeným s globálním oteplováním, který by mohl mít negativní vliv na hnízdící ptáky, je zvýšená mořská hladina, jež může způsobit zaplavení kolonií mořských ptáků na nízko položených ostrovech a atolech. Zároveň dojde také na zvýšení konkurenci o hnízdní prostor, protože velikost ostrova se takto snižuje. Tento problém se navíc ještě spojí s rozvojem měst v pobřežních oblastech a na ostrovech. Ten totiž omezí schopnost mořských ptáků najít alternativní hnízdiště a povede k rozmnožování ptáků na umělých strukturách (Quillfeldt et al., 2013).

## 7. Vliv klimatických změn na populaci ptáků

Populace mají tendence k samoregulaci prostřednictvím procesů závislých na hustotě, a proto je velmi těžké zjistit, zda změna velikosti populací je spojena s klimatickými změnami či jinými faktory. Navíc u některých populací dochází k pravidelným pozitivním i negativním změnám ve velikosti populace, takže u nich nelze vysledovat žádný výrazný trend nárůstu nebo úbytku. Víme však, že změna klimatu může vyvolat jak populační pokles, tak i nárůst (Najmanová et al., 2007). V oblastech bez extrémního počasí lze celkově předpokládat, že se zvýšenými teploty se ptačí populace zvýší díky vyšší produkci mláďat, větší nabídce potravin nebo také zlepšení podmínek na hnízdišti, které představuje například stabilní počasí na počátku hnízdění (Najmanová et al., 2007). V ruské Tatarské republice, kde studovali deset druhů pěvců: sýkoru koňadru (*Parus major*), sýkoru modřinku (*Cyanistes caeruleus*), sýkoru lužní (*Poecile montanus*), sýkoru babku (*Poecile palustris*), sýkoru uhelníček (*Periparus ater*), sýkoru parukářku (*Lophophanes cristatus*), mlynaříka dlouhoocasého (*Aegithalos caudatus*), brhlíka lesního (*Sitta europaea*), šoupálka dlouhoprstého (*Certhia familiaris*) a králíčka obecného (*Regulus regulus*), vědci zjistili, že mezi lety 1991–2017 se na východním okraji Evropy zvýšila hojnost všech deseti zkoumaných druhů. Ve studované oblasti totiž došlo během posledních 30 let k nárůstu průměrné roční teploty o 2,16 °C a pozdějšího nástupu začátku i dřívějšímu konci zimy. Výsledkem tak je prodloužení příznivějšího období pro hnízdění a hledání potravy a tím i větší pravděpodobnost přežití jak u dospělců, tak u mláďat (Askeyev et al., 2018).

Výsledky se ale v porovnání se zbytkem Evropy lišily. Například ve Švédsku se počty sýkory lužní, sýkory babky, sýkory parukářky, sýkory uhelníčka, šoupálka dlouhoprstého a králíčka obecného snižovaly. Ve Finsku klesla početnost u sýkory lužní, sýkory parukářky a králíčka obecného. V Dánsku se snížila populace sýkory babky, sýkory parukářky, králíčka obecného a mlynaříka dlouhoocasého. A v Nizozemsku byla stejná situace zaznamenána u sýkory uhelníčka, sýkory parukářky, sýkory lužní, sýkory koňadry a králíčka obecného (Lehikoinen et al., 2016).

Tyto rozdíly mohou být způsobeny faktem, že se porovnávají data celých států, s poměrně malou oblastí v Rusku. Též však mohou hrát roli jevy, jež s globálním oteplováním přímo nesouvisí. Konkrétně jde o ztrátu hnízdních biotopů v důsledku činnosti člověka a nevhodné metody v lesním hospodaření (Askeyev et al., 2018).

Vlivem abnormálně teplého období se sníženým rozsahem mořského ledu, došlo také za posledních 50 let ke snížení populace tučňáka císařského (*Aptenodytes forsteri*) v Terre Adélie (Francouzská jižní a antarktická území, 66°39'47'' j. š. a 140°0'10'' v.d.). Populace tučňáků zde byla stabilní do poloviny 70. let 20. století, ale na jejich konci poklesla o 50 %. Pokles populace pravděpodobně souvisí s náhlým poklesem mořského ledu v Antarktidě, což zapříčinilo potíže při hledání potravy (bylo nutné zvětšit lovecké areály a riskovat větší nebezpečí predace). Neočekávaným zjištěním ale bylo, že rozsah ledovce, který je klíčovým faktorem v antarktickém ekosystému, má dva opačné dopady na demografické parametry tučňáků císařských. Rozsáhlý mořský led v zimě negativně ovlivňuje úspěšnost líhnutí tím, že zvětšuje vzdálenost mezi kolonií a krmištěm. Naopak celoročně rozsáhlý mořský led pozitivně ovlivňuje přežití dospělých zvýšením dostupnosti potravy. Kvůli globálnímu oteplování a extrémnímu zmenšení ledovce však druhý parametr výrazně převážil výhody prvního (Barbraud et al., 2001).

## 8. Vliv klimatických změn na rozšíření ptáků

Je obecně známo, že globální teploty klesají se zvyšující se zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou. Vlivem toho klimatologové předpokládají, že se druhy budou pohybovat směrem k pólům a do vyšších nadmořských výšek (King et al., 2013). Existuje však velká škála matoucích faktorů, které by rozšíření ptáků mohly ovlivnit. Změny v distribuci lze nejlépe měřit opakovanými rozsáhlými průzkumy vhodného stanoviště, ty ale vyžadují velké úsilí a často také velké množství pozorovatelů (Crick, 2004).

Příkladem jsou výzkumy organizace British Trust for Ornithology (BTO), která s pomocí dobrovolníků ve Velké Británii, vytvořila atlasy rozšíření hnízdících ptáků na Britských ostrovech v letech 1968-72 (Sharrock, 1976) a v letech 1988-91 (Gibbons et al., 1993). Tyto dva atlasy byli porovnány a bylo zjištěno, že průměrný posun jižních druhů na sever byl 19 km. U severních druhů však žádná významná změna směrem k jihu zaznamenána nebyla. Nejpravděpodobnější příčinou posunu jižních druhů na sever je globální oteplování, jelikož průměrné teploty ve Spojeném království byly ve druhém sledovaném období vyšší než v prvním období (Thomas et al., 1999). Ve studii však nebyla vzata do úvahy změna ve využívání půdy (Crick, 2004).

S podobnými výsledky přišla i americká studie, která během sčítání zimujících ptáků v Cape Cod (USA, 40°41'20" s. š. a 70°17'49" z. d.) zjistila, že se od 30. let 20. století počet ptačích druhů na tomto území zvyšoval. Poměr jižních a severních druhů přitom koreloval s místními a globálními teplotními režimy. Nárůsty průměrných minimálních zimních teplot v letech 1930 až 1990 byly totiž doprovázeny i zvýšeným výskytem jižních druhů. Ptáci přitom reagovali na globální teplotní anomálie. V letech 1930–1970, kdy odchylka od průměrných teplot byla nižší jak 0,1 °C se poměr měnil nepatrně. Až po 70. letech 20. století, kdy globální teplotní anomálie byla vyšší jak 0,1 °C začaly hodnoty poměrně zřetelně růst. Tyto výsledky naznačují, že místní zmírnění zim, stejně jako globální oteplování, byly následovány jasnými posuny v zimní avifauně Cape Cod, přičemž se jižní druhy staly poměrně častějšími a severní druhy v této lokalitě ubyly. Obě prezentované studie jsou tak v souladu s představou, že jak se svět otepluje, dochází k posunům rozsahu druhů směrem k pólům (Valiela et al., 2003).

Stejná studie se zabývala též změnami poměru druhů na různých stanovištích. Bylo zjištěno, že počet jižních druhů se zvýšil napříč všemi stanovišti, pravděpodobně převážně důsledkem globálního oteplování. Tento nárůst však neprobíhal současně, což naznačuje i vliv jiných neidentifikovatelných faktorů. Zřejmě však nešlo o změny související se změnami

místních stanovišť, protože k nárůstu došlo i v případě druhů, jejichž preferované vodní stanoviště se výrazně nezměnilo. V letech 1920–1970 se počet severních druhů poněkud zvýšil a po 70. letech se snížil. Lesní ptactvo přibývalo až do 70. let 20. století, což je možná důsledkem obnovy lesů z dřívějších pastvin. Po roce 1970 byl však patrný pokles, v němž mohly hrát roli přeměny lesů na urbanizované oblasti. Celkově však vzorce napříč desetiletími 20. století naznačují, že počty druhů preferující různá stanoviště více souvisely s teplejšími teplotními anomáliemi než se změnami v rámci jednotlivých stanovišť. Výjimku pak představují pouze severské druhy vázané na lesní biotopy (Valiela et al., 2003).

Během posledních několika desetiletí nedochází jen ke změnám v rozšiřování druhů podél latitudinálních ale také podle výškových gradientů. Výškové posuny byly zaznamenány v pohoří Sierra Nevada (USA, 37°43'48" s. š. a 119°34'12" z. d.), kde data ukazují, že většina druhů se od roku 1940 posunula směrem nahoru (King et al., 2013). Také v Tanzanii v pohoří Usambara (4°44'0" j. š. a 38°29'0" v. d.) se druhy lesních ptáků od roku 1980 do roku 2019 posunuly do vyšších nadmořských výšek. U 29 druhů ve východní a západní části tohoto pohoří bylo zjištěno, že průměrný výškový rozsah se posunul o 93 m za 39leté období, což odpovídá posunu 2,4 m/rok. Tento posun směrem nahoru byly z velké části způsobeny změnou hranic areálů u jednotlivých druhů. Dolní hranice se totiž v průměru posunuly nahoru o 183 m, zatímco ty horní se posunuly nahoru jen o 72 m. To také vedlo k průměrnému zúžení rozsahu o 114 m napříč druhy. Tato změna je způsobena především posunem přirozených biotopů jednotlivých druhů, což je typický jev spojený s globálním oteplováním (Neate-Clegg et al., 2021).

Náchylnost horských druhů ke zužování areálu vinou globálního oteplování dokumentují také studie z mírného pásma. Na severovýchodě Spojených států v národním parku White Mountain (USA, 44°16'12" s. š. a 71°19'12" z. d.) proběhla studie, která také prokázala vzestupný posun ptačích druhů z nižších lesních oblastí do horských lesů (King et al., 2013). Podobně v národním parku Grampians (56°33'0" s. š. a 4°0'0" v. d.) ve Skotsku modelové scénáře změny klimatu naznačují, že se rozšíření sněhule severní (*Plectrophenax nivalis*) bude výrazně zmenšovat, až tento pěvec v krajním případě dokonce vymizí z těchto oblastí (Crick, 2004).

Velký dopad mohou mít změny prostředí především na druhy z prostorově omezených a ekologicky specifických lokalitách. Významný negativní pokles byl například zaznamenán u evropského horského ptactva v letech 2002–2014, kdy se celková populace snížila o 7 % (Lehikoinen et al., 2018). To může být způsobeno posunem smrkového a klečového pásma k vrcholovým partiím hor, což vede k zániku bezlesých lokalit (Graham et al., 2015).

Na rozšíření ptáků nemá vliv jen zvyšující se teplota a sní spojené přeměny biotopů, ale také změny v úhrnu srážek, které jsou rovněž připisovány změně klimatu. Větší sucho, projevující se například v některých oblastech západní USA, zvyšuje četnost a závažnost požárů. Tyto změny mohou mít okamžitý dopad na ptáky tím, že dojde ke zničení hnízda. Na delší dobu navíc změní stanoviště jejich výskytu. Ve Velké pánvi v Nevadě jsou účinky sucha ještě zvýšeny invazí sveřepu střešního (*Bromus tectorum*), exotického druhu zavlečeného z Eurasie. Tento druh je totiž hořlavější než původní trávy, což zvyšuje frekvenci a závažnost požárů. Právě společné účinky změny klimatu, požárů a invazivních druhů jsou obviňovány ze ztráty a fragmentace stanovišť drozda horského (*Oreoscoptes montanus*), strnádky pelyňkové (*Amphispiza belli*) a tetřívky pelyňkové (*Centrocercus urophasianus*). Tuto situaci ptáci řeší nuceným přesunem do okrajových oblastí mimo své ideální biotopy. V těchto místech však budou ohroženi sníženou reprodukcí a horším přežíváním (King et al., 2013). Další negativní vliv má na ptáky nižší sněhová pokrývka, která umožňuje větší přístup losů do horských oblastí. Následkem toho je degradace hnízdního stanoviště vlivem nadměrného sešlapu. To mohlo být výsledkem sníženého reprodukčního úspěchu a úbytku u několika druhů stěhovavých zpěvných ptáků v Arizoně (King et al., 2013).



## 9. Vliv klimatických změn na ptačí morfologii

Jednou předpokládanou reakcí na změnu klimatu, zejména na oteplování, je zmenšení velikosti těla. Tohle očekávání často pramení z Bergmannova pravidla pro latitudinální variace, kdy jedinci mají tendence být v nižších a teplejších zeměpisných šířkách menší. Studie však ale uvádějí jak zmenšování, tak i zvětšování velikosti těla. Tento nedostatek konzistence může pocházet z ptáků žijících v mírných zeměpisných šířkách, v krajině, která byla často měněna, a především ze stěhovavých druhů. Právě u migrantů jsou skutečnosti komplikovány tím, že jsou vystaveni podmínkám v široké, často i neznámé, geografické oblasti s potencionálně nesourodými klimatickými trendy (Jirinec et al., 2021).

Příkladem je studie z Izraele, kde je oteplování mezi lety 1950 a 2020 velmi patrné. Celkem 77 ze 106 zkoumaných druhů vykazovalo v souvislosti s oteplováním významnou morfologickou změnu alespoň v jednom zkoumaném znaku (hmotnost, délka těla, délka hlavy, délka křídel a poměr plochy těla k objemu). U 40 ze 106 druhů se hmotnost snižovala s rostoucími průměrnými teplotami. Naopak její zvýšení proběhlo u skřivana polního (*Alauda arvensis*), lindušky luční (*Anthus pratensis*) a bělořita okrového (*Oenanthe hispanica*). Ze 75 zkoumaných druhů (zbylé druhy u tohoto znaku řešeny nebyly) se délka hlavy a těla u 24 s rostoucími teplotami zvyšovala a u žádného se nesnížila. Se zvyšující se teplotami se délka křídel u 3 ze 104 druhů zvyšovala a u 9 druhů snižovala. Poměr plochy těla k objemu se v průběhu času s rostoucí teplotou zvyšovala u 38 ze 75 druhů (50,6 %). U žádného ze zkoumaných druhů se významně nesnížila. Jen ve velmi málo případech došlo k morfologickým změnám ve více znacích. S globálním oteplováním se zvětšovala délka těla a časem se snižovala hmotnost u poštolky obecné (*Falco tinnunculus*), bukáčka malého (*Ixobrychus minutus*), vlhy pestré (*Merops apiaster*) a pěnice pokřovní (*Sylvia curruca*). U skřivana polního se s teplotou zvyšovala jak hmotnost, tak i délka těla. Váha, délka těla a délka křídel se měnila u pěnice pokřovní a bělořita okrového. Celkové údaje ukazují, že došlo k 18,3 % poklesu hmotnosti, 5,1 % nárůstu délky a 28,9 % nárůstu poměru plochy k objemu. Na základě těchto výsledků bylo odvozeno, že zvýšení teploty o 1 °C je spojen s 6,6 % poklesem hmotnosti, 2,8 % nárůstu délky a 12,2 % nárůstem poměru plochy k objemu (Dubiner et al., 2022).

Přesto byly zaznamenány pozoruhodné konzistentní poklesy velikosti těla ve velkém souboru dat stěhovavých ptáků procházejících přes Chicago (USA). U 52 druhů bylo zaznamenáno snížení hmotnosti těla v průměru o 2,4 %. Zmenšení korelovalo s výrazně

rostoucími letními teplotami. Současně se u většiny z nich zvýšila i délka křídel, a to v průměru o 1,3 %. Tento jev je interpretován jako kompenzace menší velikosti těla za účelem udržení migrace (Weeks et al., 2019). Současné poznatky tak naznačují posuny ve velikosti tvaru těla v rozmanité a široce rozšířené skupině stěhovavých ptáků, což je v souladu s očekáváním oteplováním klimatu. Velká distribuce spolu se změnami krajiny na hnízdištích a zimovištích však ztěžuje posouzení toho, jak se klimatické podmínky shodují s morfologickými změnami (Jirinec et al., 2021).

Naopak primární lesy v rovníkových nížinách Amazonie mají avifaunu skládající se téměř výhradně z celoročních rezidentních druhů, které nepodléhají požadavkům migrace nebo unikání jedinců z jiných oblastí a nadmořských výšek. Přesto zde proběhla studie, která zjistila podobné výsledky jako předchozí práce o migrujících ptácích. Podle ní, všech 77 zkoumaných druhů za posledních 40 let vykazovalo průměrný pokles tělesné hmotnosti. Přičemž některé druhy ztrácely téměř 2 % své hmotnosti každé desetiletí. Zvýšení průměrné délky křídel pak vykazovalo 61 ze 77 druhů. Studie dále zjistila, že ptáci mají tendence být lehčí po teplejších a sušších dobách. Citlivější na toto počasí přitom byly během období sucha, což je pro ptáky nejvíce stresující období roku, protože je těžší najít potravu (Jirinec et al., 2021).

Zvětšování křídel na úkor hmotnosti tak zřejmě může ptákům pomoci vypořádat se s tepelným stresem, tím že zefektivní let. Zároveň může jít o reakci na nižší dostupnost potravy, což je však hůře prokazatelné (Jirinec et al., 2021).

## 10. Závěr

Zemské klima, které se od průmyslové revoluce oteplilo o více než 1 °C, v současnosti prochází změnou nazývanou globální oteplování. Zvýšené množství skleníkových plynů, ke kterému svým jednáním přispěl i člověk, umocňuje skleníkový efekt, a tím dochází k rozsáhlým a rychlým změnám v atmosféře, kryosféře, oceánu a biosféře (Climate Action 2022). Existují již přesvědčivé důkazy o tom, že živočichové byli ovlivněni nedávnou změnou klimatu (například Learmonth et al., 2000; Blickoford et al., 2010; Marcos-López et al., 2010; Morueta-Holme et al., 2010; Lehikoinen et al., 2016)

Změna klimatu vyvolala dřívější příchody jara, pozdější začátek zimy a různé krátkodobé a často extrémní změny počasí. To nutí ptáky změnit načasování své migrace. Přílety na hnízdiště se převážně uspíšily, například u rehka domácího o 0,69 dne/rok (Zalekevicus et al., 2006) nebo kosa černého o 0,28 dne za rok (Hüppop et al., 2003). Podzimní migrace pak není tak jednoznačná, protože u ptáků táhnoucích na dlouhé vzdálenosti byl v průměru zaznamenán dřívější odlet, zatímco krátkodobí migranti z hnízdiště v průměru odlétali později (Jenni et al., 2003). Navíc se ukázalo, že klimatické faktory jsou pro migraci důležité, avšak jejich změna se v mírných a tropických zeměpisných šířkách liší, takže reakce na jednotlivé environmentální podněty nemusí vést k adekvátnímu datu příletu na hnízdiště (Both et al., 2001).

V případě hnízdění bylo zjištěno, že ptáci snášejí snůšku dříve (Hällfors et al., 2020; Bates et al., 2022; Brown et al., 1999; Sokolov, 2006). Změny ve velikosti snůšky jsou pak známy pouze u některých druhů, např. lejska černohlavého (*Ficedula hypoleuca*; Winkel et al., 1997) a vlaštovky obecné (*Hirundo rustica*; Møller, 2002), a dosud se nejedná o jasný trend napříč světovou avifaunou (Dunn et al., 2010).

Celé ptačí populace jsou pak ovlivňovány hlavně natalitou a mortalitou. Dá se předpokládat, že se zvýšenými teploty se zvýší i ptačí populace díky větší a dřívější nabídce potravy a celkově lepších podmínek na hnízdišti. Zároveň ale mohou populace klesat kvůli špatně načasované migraci, náhlým a extrémním výkyvům počasí či vzniku nevhodných podmínek v místech jejich rozšíření (Najmanová et al., 2007). Studie navíc ukazují různý lokální účinek, jelikož na různých místech se populace mění různým způsobem. Například sýkora parukářka (*Lophophanes cristatus*) své populace zvýšila na východním okraji Evropy (Askeyev et al., 2018), ale v severozápadních částech Evropy se jejich počty snižovaly (Lehikoinen et al., 2016).

Globální teploty klesají se zvyšující se zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou. Na základě toho se předpokládá, že se druhy budou pohybovat směrem k pólům a do vyšších nadmořských výšek. Tyto posuny zaznamenalo i několik studií (například Thomas et al., 1999, Valiela et al., 2003, King et al., 2003, Neate-Clegg et al., 2021). Tyto změny mohou mít velký dopad na druhy z prostorově omezených a ekologicky specifických lokalit, jako jsou například vrcholky hor (Lehikoinen et al., 2018). Na rozšíření nemá vliv jen zvyšující se teplota, ale také změny v úhrnu srážek. Větší sucho podporuje vznik častějších požárů, které ničí ptákům hnízda a ti jsou pak nuceni se přesunout do okrajových oblastí mimo své ideální biotopy (King et al., 2013).

Předpokládá se, že se druhy budou zvyšujícím se teplotám přizpůsobovat zmenšením těla. Studie však zaznamenávají jak zmenšování, tak i zvětšování těl (Jirinec et al., 2021, Dubiner et al., 2022). Tyto skutečnosti jsou komplikovány především u migrantů, kteří jsou vystaveni podmínkám v širokých oblastech s nesourodými klimatickými trendy. Dále bylo zaznamenáno že u některých druhů dochází k zmenšení hmotnosti těla a zároveň k zvýšení délky křídel. To může pomoci ptákům s vypořádáním se s tepelným stresem, tím že zefektivní let (Jirinec et al., 2021).

Celkově lze konstatovat, že globální oteplování má na ptáky výrazný vliv. Setkáváme se přitom poměrně často s rozdílnou reakcí či různou silou jeho projevu, což je způsobeno odlišnou ekologií, etologií, fyziologií a původní situací u jednotlivých druhů i vnitrodruhových populací. Z těchto důvodů je nutný další výzkum, který by měl být zaměřen především na nejvíce ohrožené skupiny, jež představují například endemité, obyvatelé extrémních prostředí a rychle ubývající druhy.

## 11. Literatura

Alborali L. 2006. Climatic Variations Related to Fish Diseases and production. *Veterinary Research Communications* 30:93-97.

Andrew RW. 2018. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. *Earth System Science Data*. 10:195-217.

Angilletta MJ. 2009. *Thermal Adaptation: a Theoretical and Empirical Synthesis*. Oxford: Oxford University Press. 0198570872.

Askeyev O, Askeyev A, Askeyev I. 2018. Recent climate change has increased forest winter bird densities in East Europe. *Ecological Research*. 33-2:445-456.

Barbraud Ch, Weimerskirch H. 2001. Emperor penguins and climate change. *Nature*. 411:183-186.

Bates JM, Fidino M, Nowak-Boyd L, Strausberger BM, Schmidt KA, Whelan ChJ. 2022. Climate change affects bird nesting phenology: Comparing contemporary field and historical museum nesting records. *Journal of Animal Ecology*.

Bear EA, McMahon TE, Zale AV. 2011. Comparative Thermal Requirements of Westslope Cutthroat Trout and Rainbow Trout: Implications for Species Interactions and Development of Thermal Protection Standards. *Transactions of the American Fisheries Society*. 136-4:1113-1121.

Berthold P. 1991. Patterns of avian migration in light of current global „greenhouse“ effect: a central European perspective. *Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici*. 780-786.

Blickford D, Howard SD, Ng DJ, Sheridan JA. 2010. Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodiversity Conserv*. 19:1043–1062.

Blickford D, Howard SD, Ng DJ, Sheridan JA. 2010. Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodiversity Conserv*. 19:1043–1062.

Both Ch, Visser ME. 2001. Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature*. 411-6835: 296-298.

Bowden TJ, Thompson KD, Morgan AL, Gratacap ML, Nikoskelainen S. 2007. Season variation and the immune response: a fish perspective. *Fish Shellfish Immunol*. 22:695-706.

- Brander KM. 2007. Global fish production and climate change. *Proceedings of the National academy of sciences of the USA*. 104-50:19709-19714.
- Brooker RW, Travis MJ, Clark EJ, Dytham C. 2007. Modelling species' range shifts in a changing climate: the impacts of biotic interactions, dispersal distance and the rate of climate change. *Journal of Theoretical Biology*. 245-1:59-65.
- Brown JL, Li SH, Bhagabati N. 1999. Long-term trend toward earlier breeding in an American bird: A response to global warming?. *PNAS*. 96-10:5565-5569.
- Crick HPQ. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis*. 146-1:48-56.
- Deutsch CA, Tewksbury JJ, Huey RB, Sheldon KS, Ghalambor CK, Haak DC, et al. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *PNAS*. 105-18:6668–6672.
- Donelson JM, Munday PL, McCormick MI, Pankhurst NW, Pankhurst PM. 2010. Effects of elevated water temperature and food availability on the reproductive performance of a coral reef fish. *Marine Ecology Progress Series*. 401:233–243.
- Donnelly MA, Crump ML. 1998. Potential effects of climate change on two Neotropical amphibian assemblages. *Springer*. 39:541–561.
- Dubiner S, Meiri S. 2022. Widespread recent changes in morphology of Old Worlds birds, global warming the immediate suspect. *Global Ecology and Biogeography*. 31-4:791-801.
- Dunn PO, Winkler D. 2010. Effects of climate change on timing of breeding and reproductive success in birds. *Oxford University Press*. 10:113-128.
- Fang JY. 2011. Global warming, human-induced carbon emissions, and their uncertainties. *Science China*. 54-10:1458-1468.
- Gaffney O, Steffen W. 2017. The Anthropocene equation. *The Anthropocene Review*. 4-1:53-61.
- Gaisler J, Zima J. 2018. *Zoologie obratlovců*. Academia. 696 s.
- Gedney NPM, Huntingford C & C. 2004. Climate feedback from wetland methane emissions. *Geophysical Research Letters*. 31-20: L2010.
- Gibbons DW, Reid JB, Chapman RA. 1993. *The New Atlas of Breeding Birds in Britain and Ireland: 1988–1991*. London: Poyser.

Gibbons JW, Scott DE, Rayan TJ, Buhlann KA, Tuberville TD, Metts BS, Greene JL, Mills T, Leiden Y, Poppy S, Winne ChT. 2000. The Global Deline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change. *BioScience*. 50-8:653–666.

Graham CT, Harrod C. 2009. Implications of climate change for the fishes of the British Isles. *Journal of Fish Biology*. 74-6:1143-1205.

Graham CT, Wilson MW, Gittings T, Kelly TC, Irwin S, Quinn JL, O’Halloran J. 2015. Implications of afforestation for birds communities: the importance of preceding land-use type. *Biodiversity and Conservation*:26-13.

Hakalahti T, Karvonen A, Valtonen ET. 2006. Climate warming and disease risks in temperate regions – *Argulus coregoni* and *Diplostomum spathaceum* as case studies. *Journal of Helminthology*. 80-2:93-98.

Hansen BB, Gamelon M, Albon SD, Lee AM, Stein A, Irvine RJ, Sæther BE, Loe LE, Ropstad E, Veiberg V, Grøtan V. 2019. More frequent extreme climate events stabilize reindeer population dynamics. *Nature Communications*. 10-1616.

Hartley Ch. 2020. Global warming shrinks bird breeding windows, potentially threatening species. *Science*.

Hetem RS, Fuller A, Maloney SK, Mitchell D. 2014. Responses of large mammals to climate change. *Temperature*. 1-2:115-127.

Hällfors MH, Antão LH, Itter M, Lehikoinen A, Lindholm T, Roslin T, Saastamoinen M. 2020. Shift in timing and duration of breeding for 73 boreal bird species over four decades. *PNAS*. 117-31:18557-18565.

Houghton J. 2005. *Global Warming. Reports on Progress in Physics*. Institute of Physics Publishing. 68-1343.

Hughes L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. *Trends in ecology & evolution*. 15-2:56-61.

Hüppop O, Hüppop K. 2003. *North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds*. Proceedings of the Royal Society.

- Chamaillé-Jammes S, Massot M, Aragon P, Clobert J. 2006. Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*. *Global Change Biology*. 12-2:394–402.
- Jarvinen A. 1994. Global warming and egg size of birds. *Ecography*. 17-1:108-10.
- Jenni L, Kéry M. 2003. Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of the Royal Society*.
- Jirinec V, Burner RC, Amaral BR, Bierregaardjr RO, Fernández-Arellano G, Hernández-Palma A, Johnson EI, Lovejoy TE, Powell LL, Rutt CL, Wolfe JD, Stouffer PC. 2021. Morphological consequences of climate change for resident birds in intact Amazonian rainforest. *Science Advances*. 7-46.
- Johnson AC, Acreman MC, Dunbar MJ, Feist SW, Giacomello AM, Gozlan RE, Hinsley SA, Ibbotson AT, Jervie HP, Jones JJ, Longshaw M, Maberly SC, Marsh TJ, Neal C, Newman JR, Nunn MA, Pickup RW, Reynard NS, Sullivan CA, Sumpter JP, Williams RJ. 2009. The British river of the future: how climate change and human activity might affect two contrasting river ecosystems in England. *Science of The Total Environment*. 407-17:4787-4798.
- King D, Finch DM. 2013. The effect of climate change on terrestrial birds of North America. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center.
- Kikkawa T, Kita J, Ishimatsu A. 2004. Comparison of the lethal effect of CO<sub>2</sub> and acidification on red sea bream (*Pagrus major*) during the early developmental stages. *Marine Pollution Bulletin* 48:108–110.
- Laloë JO, Esteban N, Berkel J, Hays GC. 2015. Sand temperatures for nesting sea turtles in the Caribbean: Implications for hatchling sex ratios in the face of climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 474:92-99.
- Learmonth JA, Macleod CD, Santos MB, Pierce GJ, Crick HQP, Robinson RA. 2006. Potential effects of climate change on marine mammals. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 44:431-464.
- Lehikoinen A, Foppen RPB, Heldbjerg H, Lindström Å, Mannen W, Piirainen S, Turnhout ChAM, Butchart SHM. 2016. Large-scale climatic drivers of regional winter bird population trends. *Diversity and Distributions*. 22-11:1163-1173.



- Lehikoinen A, Brotons L, Calladine J, Campedelli T, Escandell V, Flousek J, Grueneberg Ch, Haas F, Harris S, Herrando S, Husby M, Jiguet F, Kålås JA, Lindström Å, Lorrillière R, Molina B, Pladevall C, Calvi G, Sattler T, Schmid H, Sirkiä PM, Teufelbauer N, Trautmann S. 2018. Declining population trends of European mountains birds. *Global Change Biology*. 25-2:577-588.
- Loeb SC, Winters EA. 2013. Indiana bat summer maternity distribution: effects of current and future climates. *Ecology and Evolution*. 3-1:103-114.
- Ma F, Sha A, Lin R, Huang Y, Wang Ch. 2016. Greenhouse gas emissions from asphalt pavement construction: a case study in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 13-3:351.
- Maloney SK, Fuller A, Mitchell D. 2009. Climate change: is the dark Soya sheep endangered? *Biology letters*. 5-6:826-829. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2009.0424>
- Mann J, Connor RC, Tyack PL, Whitehead H. 2000. In *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales*. Chicago. The University of Chicago Press. 415 s.
- Marcogliese DJ. 2001. Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Canadian Journal of Zoology*. 79:1331-1352.
- Marcos-López M, Gale P, Oidtmann BC, Peeler EJ. 2010. Transboundary and Emerging Diseases. 57-5:293-304.
- Matulla C, Schmutz S, Melcher A, Gerersdorfer T, Haas P. 2007. Assessing the impact of a downscaled climate change simulation on the fish fauna in an Inner-Alpine River. *International Journal of Biometeorology*. 52:127-137.
- Morueeta-Holme N, Fløjgaard C, Svenning JCh. 2010. Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammal species. *PLoS ONE*. 5-4: e 10360
- Møller AP. 2002. North Atlantic Oscillation (NAO) effects of climate on the relative importance of first and second clutches in a migratory passerine bird. *Journal of Animal Ecology*. 71:201–210.
- Najmanová L, Adamík P. 2007. Ptáci a změna klimatu. *Sylvia*. 43.

Neate-Clegg MHC, Stuart SM, Mtui D, Şekercioglu ÇH, Newmark WD. 2021. Afrotropical montane birds experience upslope shifts and range contractions along a fragmented elevational gradient in response to global warming. *Plos one*.

Nerem RS, Beckley BD, Fasullo JT, Hamlington BD, MAsters D, Mitchum GT. 2018. Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *PNAS*. 115-9:2022-2025.

Pagano AM, Durner GM, Rode KD, Atwood TC, Atkinson SN, Peacock E, Costa DP, Owen MA, Williams TM. 2018. High-energy, high-fat lifestyle challenges an Arctic apex predator, the polar bear. *Science*. 359-6375:568-572.

Paniw M, Maag N, Cozzi G, Clutton-Brock R, Ozgul A. 2019. Life history responses of meerkats to seasonal changes in extreme environments. *Science*. 363-6427:631-635.

Pankhurst NW, Munday PL. 2011. Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages. *Marine and Freshwater Research*. 62-9:1015-1026

Parmesan C, Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421-6918:37-42.

Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD. 2005. Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes. *Science*. 308-5730:1912-1915.

Pettis HM, Pace RM III, Hamilton PK. 2021. North Atlantic Right Whale Consortium 2020 Annual Report Card. Report to the North. 22 s.

Pough FH, Andrews RM, Cadle JE, Crump ML, Savitzky AH, Wells KD. 1998. *Herpetology*. 830. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Phuge SK. 2017. High temperatures influence sexual development differentially in male and female tadpoles of the Indian skipper frog, *Euphlyctis cyanophlyctis*. *J Biosci*. 42-3:449-457.

Prytula ED, McKellar AE, Schwitters L, Reudink MW. 2021. Rapid advancement of spring migration and en route adjustment of migration timing in response to weather during fall migration in Vax's Swifts (*Chaetura vauxi*). *Canadian Journal of Zoology*.

Quillfeldt P, Masello JF. 2013. Impact of climate variation and potential effects of climate change on South American seabirds – a review. *Marine Biology Research*. 9-4.

- Rainio K, Laaksonen T, Ahola MP, Vähätalo A, Lehikoinen E. 2006. Climatic responses in spring migration of boreal and arctic birds in relation to wintering area and taxonomy. *Journal of Avian Biology*. 37-5:507-515.
- Ravishankara AR, Daniel JS, Portmann RW. 2009. Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. *Science*. 326-5949:123-125
- Salewski V, Bruderer B. 2007. The evolution of bird migration – a synthesis. *Naturwissenschaften*. 94:268-279.
- Seinfeld JH. 2011. Insights on Global Warming. *Environmental and Energy Engineering*. 57-12:3259-3284.
- Sinervo B, Mendez-De-La-Cruz F, Miles DB, Heulin B, Bastiaans E, Villagrán-Santa-Cruz M, et al. 2010. Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches. *Science* 328:894–899.
- Sharrock, JTR. 1976. *The Atlas of Breeding Birds in Britain and Ireland*. Calton: Poyser.
- Sheldon BC, Kruuk LE, Merilä J. 2003. Natural selection and inheritance of breeding time and clutch size in the collared flycatcher. *Evolution* 57:406–420.
- Schloss CA, Nuñez TA, Lawler JJ. 2014. Dispersal will limit ability of mammals to track climate change in the Western Hemisphere. *PNAS*. 109-22:8606-8611.
- Sokolov LV. 2006. Effect of global warming on the timing of migration and breeding of passerine birds in the 20th century. *Entomological Review*. 86:59-81.
- Stokstad E. 2010. How to save polar bears. *Science*.
- Thomas ChD, Lennon JJ. 1999. Birds extend their ranges northwards. *Nature*. 399:213.
- Tomillo PS, Wallace BP, Paladino FV, Spotila JR, Genovart M. 2020. Temperature-Dependent Sex Determination in Sea Turtles in the Context of Climate Change: Uncovering the Adaptive Significance. *BioEssays*. 42-11.
- Torti VM, Dunn PO. 2005. Variable effects of climate change on six species of North American birds. *Oecologia*. 145:486–495.
- Turner GG, Reeder DM, Coleman JTH. 2011. A five-year assessment of mortality and geographic spread of White-nose Syndrome in North American bats and a look to the future. *Bat Research News*. 52:13-27.

- Valiela I, Bowen JL. 2003. Shift in winter distribution in birds: Effects of global warming and local habitat change. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 32-7:476-480.
- Vedor M, Queiroz N, Mucientes G, Couto A, Costa I, Santos A, Vandeperre F, Fontes J, Afonso P, Rosa R, Humphries NE, Sims DW. 2021. Climate-driven deoxygenation elevates fishing vulnerability for the ocean's widest ranging shark. *eLife* 2021;10: e62508.
- Velicogna I, Mohajerani Y, A G, Landerer F, Mouginot J, Noel B, Rignot E, Sutterley, Broeke M, Wessem M, Wiese D. 2020. Continuity of Ice Sheet Mass Loss in Greenland and Antarctica From the Grace and Grace Follow-On Missions. *Geophysical Research Letters*. 47-8: e2020GL087291.
- Veselovský Z. 2001. *Obecná ornitologie*. Academia. 358 s.
- Visser ME, Perdeck AC, Balen JHV, Both Ch. 2009. Climate change leads to decreasing bird migration distances. *Global Change Biology*.
- Warnecke L, Turner JM, Bollinger TK, Lorch JM, Misra V, Cryan PM, Wibbelt G, Blehert DS, Willis CKR. 2012. Inoculation of bats with European *Geomyces destructans* supports the novel pathogen hypothesis for the origin of white-nose syndrome. *Proceedings of National Academy of Science*. 109-18:6999-7003.
- Weeks BC, Willard DE, Zimova M, Ellis AA, Witynski ML, Hennen M, Winger BM. 2019. Shared morphological consequences of global warming in North American migratory birds. *Ecology Letters*. 23-2:316-325.
- Winkel W, Hudde H. 1997. Long-term trends in reproductive traits of tits (*Parus major*, *Parus caeruleus*) and pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*). *Journal of Avian Biology*. 28:187–190.
- Winkler DW, Dunn PO, McCulloch CE. 2002. Predicting the effects of climate change on avian life-history traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99:13595–13599.
- Zalakevicius M, Bartkeviciene G, Raudonikis L, Janulaitis J. 2006. Spring arrival response to climate change in birds: a case study from eastern Europe. *Journal of Ornithology*. 147:326-343.

## 11.1. Internetové zdroje

American Oceans. 2022. The Effects of Climate Change on Sharks. [online]. Copyright © 2022. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.americanoseans.org/blog/climate-change-affects-on-sharks/>

Climate Action. 2022. Causes and Effects of climate Change. [online]. © United Nations 2022. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

European Commission. 2022. Causes of climate change. [online]. Copyright © 2022. [cit. 2022-5-10]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change\\_en](https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_en)

Evropský parlament. 2021. Boj proti změně klimatu. [online]. Copyright © 2022. [cit. 2022-5-10]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/72/boj-proti-zmene-klimatu>

Levitus S, Antonov JI, Boyer TP, Baranova OK, García HE, Locarnini RA, Mishonov AV, Reagan JR, Seidov D, Yarosh E, Zweng MM. 2017. NCEI ocean heat content, temperature anomalies, salinity anomalies, thermosteric sea level anomalies, halosteric sea level anomalies, and total steric sea level anomalies from 1955 to present calculated from in situ oceanographic subsurface profile data (NCEI Accession 0164586). [online]. NOAA National Centers for Environmental Information. Dataset. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.7289/v53f4mvp>

NASA. 2022. Overview: Weather, Global Warming, and Climate Change. [online]. Copyright © 2022. [cit. 2022-5-10]. Dostupné z: <https://climate.nasa.gov/resources/global-warming-vs-climate-change/>

NOAA Fisheries. 2022. Climate Change Is Shifting Tiger Shark Populations Northward. [online]. Science. Service. Stewardship. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/climate-change-shifting-tiger-shark-populations-northward>

PMEL Carbon Program. 2022. Ocean Acidification: The Other Carbon Dioxide Problem. [online]. Copyright © 2022. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Ocean+Acidification>

Rafferty JP. 2011. North Atlantic Oscillation. [online]. Encyclopedia Britannica. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/North-Atlantic-Oscillation>

Robinson DA, Hall DK, Mote TL. 2014. Measures Northern Hemisphere Terrestrial Snow Cover Extent Daily 25km EASE-Grid 2.0, Version 1. [online]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5067/MEASURES/CRYOSPHERE/nsidc-0530.001>

World Resource Institute 2020. Climate Watch [online]. © 2022 World Resources Institute [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://www.wri.org/initiatives/climate-watch>