

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 4: Biologie, geografie a geologie

Zimování v oteplující se Evropě: Migrační fenologie v Česku pozorovaných sněhulí severních (*Plectrophenax nivalis*)

Jakub Krutina

Plzeňský kraj

Domažlice 2025

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 4: Biologie, geografie a geologie

Zimování v oteplující se Evropě:

**Migrační fenologie v Česku pozorovaných
sněhulí severních (*Plectrophenax nivalis*)**

Wintering in warming Europe:

**Migration phenology of snow buntings
(*Plectrophenax nivalis*) observed in Czechia**

Autor: Jakub Krutina

Škola: Gymnázium J. Š. Baara, Pivovarská 323, Domažlice 344 01

Kraj: Plzeňský kraj

Konzultant: Mgr. Tomáš Javorský

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Domažlicích dne 21. 3. 2025

.....

Jakub Krutina

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval svému dlouholetému učiteli a školiteli této práce, Mgr. Tomáši Javorskému, za neustálou podporu, důsledný přístup k výuce a shovívavost, díky níž bylo možné tento nápad uskutečnit. Můj obzvláštní vděk pak patří všem, kdo se podílejí na formování komunity kolem Biologické olympiády. Právě podobně zaujetí přátelé mi už dlouhá léta prostřednictvím vzájemné inspirace a času společně stráveného v terénu pomáhají nalézat nadšení do tohoto oboru. Vážím si také provozovatelů veškerých databází, jež volně zpřístupňují data nasbíraná veřejností, jakož i vytrvalé práce dobrovolníků, kteří se na jejich získávání podílejí – na plodech jejich úsilí je ostatně založena celá tato práce.

Anotace

Tato práce se s využitím volně přístupných dat nasbíraných veřejností v rámci projektů občanské vědy zabývá migrační fenologií na českém území zimujících sněhulí severních (*Plectrophenax nivalis*). Ověřována byla závislost načasování a intenzity podzimní migrace těchto ptáků s celoroční a zimní průměrnou teplotou na zimovišti, jakož i s ročním průměrem teplot naměřených v oblasti hnízdiště. Nalezena byla signifikantní souvislost mezi načasováním prvního příletu sněhulí na zimoviště a teplotou v následujícím kalendářním roce. Rovněž se podařilo doložit průkazný trend vedoucí v teplejších letech k příletu hejn o menším počtu jedinců. Jako možné vysvětlení tohoto fenoménu je předkládána teorie o posunu zimovišť sněhulí směrem k severu, která tak vysledovanou skutečnost dává do souvislosti s probíhající klimatickou změnou. Charakterizován byl možný potenciál využití velikosti hejn jako praktického bioindikátoru rostoucích teplot – diskutovány jsou pak i další možnosti navazujícího bádání, jež by s pomocí moderních metod občanské vědy mohly přinést cenné poznatky k aktuálním ekologickým tématům.

Klíčová slova

ptačí migrace; zimoviště; klimatická změna; občanská věda; teplota

Annotation

This work focuses on the autumn migration phenology of snow buntings (*Plectrophenax nivalis*) wintering in the Czech Republic. For this purpose, data collected by the public during citizen science projects were used. The potential influence of mean annual and mean winter temperatures on the timing and intensity of these birds' migration was investigated. Both mean yearly temperatures on the wintering site and the breeding site were analysed, as well as mean winter temperatures on the wintering site. A significant link between the timing of the first arrival at the wintering site and temperature in the following calendar year was found. Also, it was proved that snow buntings tend to form smaller flocks during warm years. The theory of shifting wintering sites to the north is discussed as a possible explanation of this phenomenon, associating it with ongoing climate change. An option of using the changes in the snow bunting's flock sizes as a climate change bioindicator is considered. Further discussed are possibilities of subsequent research, which could, with the aid of modern citizen science methods, come up with new valuable insights into contemporary ecological issues.

Keywords

bird migration; wintering site; climate change; citizen science; temperature

Obsah

1 ÚVOD.....	10
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1 Představení sněhule severní	12
2.1.1 Taxonomie rodu <i>Plectrophenax</i>	12
2.1.2 Biologie <i>P. nivalis</i>	13
2.2 Migrující organismy a změna klimatu	16
2.2.1 Náročnost cesty	16
2.2.2 Načasování migrace	18
2.2.3 Další konsekvence.....	20
2.3 Občanská věda v českém prostředí	23
2.3.1 Teorie a dnešní fungování občanské vědy.....	23
2.3.2 Vybrané současné projekty občanské vědy	24
3 CÍLE PRÁCE.....	27
4 METODIKA.....	28
4.1 Shromáždění dat.....	28
4.1.1 Meteorologická data.....	28
4.1.2 Faunistická data.....	29
4.2 Zpracování dat	29
4.2.1 Filtrování a základní úprava.....	30
4.2.2 Vizualizace	31
4.2.3 Statistické analýzy.....	31
4.3 Konečné výstupy.....	33
4.3.1 Vývoj teploty v čase	33
4.3.2 Změny v početnosti pozorovaných sněhulí.....	33
4.3.3 Migrační fenologie sněhulí a její ovlivnění teplotou	33
4.3.4 Geografické preference na našem území zimujících sněhulí	34
5 VÝSLEDKY	35
5.1 Vývoj teploty v čase.....	35
5.1.1 Roční průměrná teplota na českém území	35

5.1.2 Zimní teplota na českém území.....	36
5.1.3 Roční průměrná teplota na hnízdišti sněhulí.....	38
5.1.4 Rozdíly v teplotách dříve a nyní	39
5.2 Změny v početnosti pozorovaných sněhulí.....	41
5.2.1 Velikost pozorovaných hejn v čase	41
5.2.2 Počty evidovaných záznamů během období zájmu	43
5.2.3 Absolutní počet sněhulí zastižených v průběhu roku	43
5.3 Migrační fenologie sněhulí a její ovlivnění teplotou	44
5.3.1 Načasování prvního přiletu	45
5.3.2 Velikost prvního zastiženého hejna	46
5.4 Geografické preference v Česku zimujících sněhulí	49
5.4.1 Rozložení dle zeměpisných souřadnic	49
5.4.2 Sněhulemi nejvíce navštěvované okresy.....	49
5.4.3 Změny početností sněhulí pozorovaných v daných okresech	51
6 DISKUSE.....	53
6.1 Vývoj teploty v čase.....	53
6.1.1 Trendy ve vývoji sledovaných teplot	53
6.1.2 Rozdíly v teplotách dříve a nyní	54
6.2 Změny v početnosti pozorovaných sněhulí.....	55
6.2.1 Velikost pozorovaných hejn v čase	55
6.2.2 Počty evidovaných záznamů během období zájmu	56
6.2.3 Absolutní počet sněhulí zastižených v průběhu roku	56
6.3 Migrační fenologie sněhulí a její ovlivnění teplotou	57
6.3.1 Načasování prvního přiletu	57
6.3.2 Velikost prvního zastiženého hejna	57
6.4 Geografické preference v Česku zimujících sněhulí	59
6.4.1 Rozložení dle zeměpisných souřadnic	59
6.4.2 Sněhulemi nejvíce navštěvované okresy.....	59
6.4.3 Změny početností sněhulí pozorovaných v daných okresech	60
7 ZÁVĚR	61

POUŽITÁ LITERATURA.....	63
Zdroje obrázků	71
Použité software	72
SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK.....	73
Obrázky	73
Grafy	73
Tabulky.....	74

1 ÚVOD

Probíhající klimatická změna podmíněná lidskou činností je faktorem různou měrou působícím na veškeré světové ekosystémy. Zejména dlouhodobé zvyšování hladiny oxidu uhličitého v atmosféře, způsobené především intenzivním spalováním fosilních paliv světovým průmyslem, s sebou nese řadu pro biosféru zásadních komplikací (Keeling 1958). Organismy pravidelně migrující na dlouhé vzdálenosti patří v tomto kontextu k těm nejvíce dotčeným. Nepředvídatelné změny podnebí, odchylky v načasování či intenzitě rozličných meteorologických dějů i např. narušení fungování dosud stabilních mořských proudů takovým druhům znatelně znesnadňují realizaci řady základních životních potřeb – namátkou z nich jmenujme nutnost včasného návratu na místo rozmnožování, získání dostatku potravy či nalezení partnera. Není tedy divu, že reprodukční úspěšnost a populační trendy dálkových migrantů mnohdy velmi přesně reflektují průběh i konečnou závažnost nastávajících změn klimatu (Newson et al. 2009).

Ptáci, jakožto organismy, jimž aktivní let propůjčil mimořádné migrační schopnosti, se potenciálně jeví ideálním lakmusovým papírkem do biosféry vypořádávající se s působením lidské civilizace. Jejich proměnlivé rozšíření a populační trendy nám pomáhají zhodnotit současný stav a navrhnout komplexní ochranná řešení, jež v konečném důsledku mohou být zásadní pro zachování celých ekosystémů (Kushlan 1993; Morrison 1986). Ačkoliv se již mnohé studie zevrubně zabývaly dopady globálního oteplování na reprodukční úspěšnost druhů migrujících do tropických oblastí (Both et al. 2006; Miller-Rushing et al. 2008), vliv teplotních výkyvů na ptáky zimující ve střední Evropě zůstává jen neuspokojivě probádaný.

Sněhule severní (*Plectrophenax nivalis*) je nejseverněji hnízdícím pěvcem vůbec. Ve čtyřech poddruzích svým rozšířením pokrývá celou Arktidu, během zimního období podniká migraci k jihu – jen vzácně zimuje jižně od 35° s. š. (Šťastný et al. 2011), což ji řadí do oné stroze zkoumané skupiny “zimních hostů“. Díky svému výskytu v jedné z vůbec nejrychleji se oteplujících oblastí světa (Rantanen et al. 2022) a zároveň relativně častému kontaktu s evropskými industrializovanými centry se populace sněhulí zimující ve střední Evropě jeví jako kandidát potenciálně odrážející závažnost dopadů klimatické změny na současnou biosféru. V České republice jsme každoročně svědky několika desítek pozorování tohoto druhu, byť celkové počty zaznamenaných jedinců meziročně z dosud neobjasněných důvodů kolísají od vyšších desítek po tisíce.

Projekty založené na občanské vědě (*citizen science*) se v posledních letech těší rostoucí oblíbenosti. Zapojení veřejnosti do sběru dat přímo v terénu umožňuje získat robustní podklad pro navazující práce, rovněž napomáhá k popularizaci vědy a ochraně životního prostředí jako takové. Potenciální nevýhodou je naopak nižší (zejm. metodická) spolehlivost získaných

výstupů a tudíž i nutnost jejich důmyslného zpracování (Dickinson et al. 2010). Výzkum ptáků patří k nejtradičnějším odvětvím občanské vědy, o čez se zasloužila především rozsáhlá komunita amatérských ornitologů. Díky jejím aktivitám se v příslušných faunistických databázích schází obtojně množství dat, jez bývají zdárně využívána v odborných publikacích (Reif et al. 2022; Koleček et al. 2020). Vzhledem ke značné popularitě sněhulí mezi ve střední Evropě působícími pozorovateli ptáků a jejich nápadnému, ba přímo nezaměnitelnému bílému zbarvení lze data o výskytu tohoto druhu produkovaná občanskou vědou považovat za nadstandardně spolehlivá, a tedy i vhodná k dalšímu zpracování.

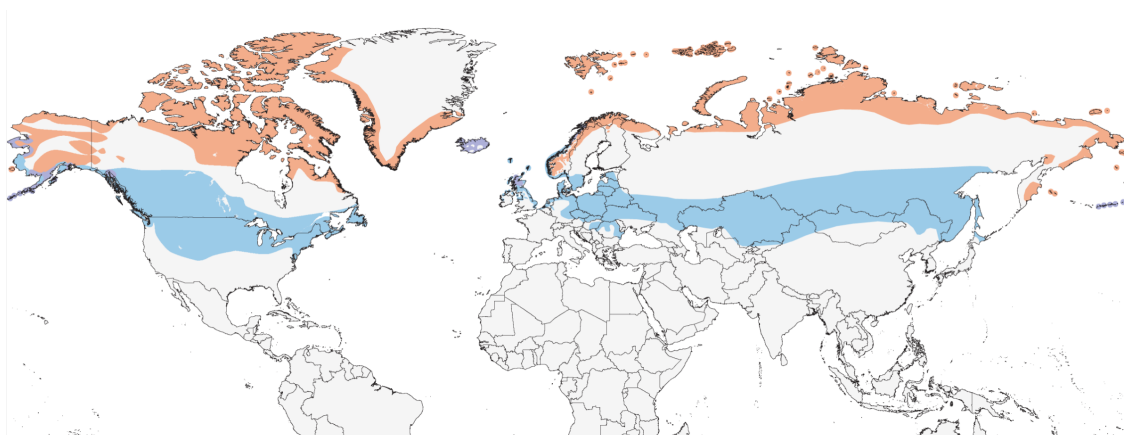
To jsem si stanovil i cílem této práce. Ta je tak členěna na část teoretickou (samostatná kapitola 2) a praktickou (kapitoly 3–7). V teoretické části shrnuji poznatky známé o rodu *Plectrophenax*, nastiňuji problematiku dopadů klimatické změny na migrující organismy a konenčně stručně přibližuji fungování občanské vědy v českém prostředí. Náplní praktické části je pak samotné zpracování a vyhodnocení dat, doprovázené diskuzí a srovnáním výsledků s podobně zaměřenými studiemi. Při zpracovávání tohoto tématu jsem využil širokou paletu online i knižních zdrojů, většinu z nich tvoří zahraniční publikace. Kompletní seznam použité literatury je rozepsán v závěrečné kapitole.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Představení sněhule severní

2.1.1 Taxonomie rodu *Plectrophenax*

Sněhule severní (*Plectrophenax nivalis*; Linnaeus, 1758) patří mezi pěvce čeledi Calcariidae. Spolu s ostatními zástupci této nevelké skupiny (zejm. rodu *Calcarius*) obývá oblast celé Arktidy (obr. 1). Samotný druh je dle aktuálních taxonomických poznatků členěn na 4 poddruhy,¹ jež se liší mimo jiné vzory v opeření, velikostí a především geografickým rozšířením (Šťastný et al. 2011). Nominátní poddruh *P. n. nivalis* je nejrozšířenější z níže jmenovaných. Zasahuje od severu kontinentální Evropy až po Ural, dále obývá Grónsko a severní Ameriku (s výjimkou ostrovů v Beringově úžině). Rovněž se jedná o poddruh, který během zimních měsíců bývá pozorován na našem území a kterým se práce bude dále zabývat.



obr. 1: Zeměpisné rozšíření sněhule severní (*Plectrophenax nivalis*). Oranžové oblasti znázorňují rozšíření v období hnízdění, modré zimoviště. Fialová barva značí oblasti celoročního výskytu. Zdroj: https://www.allaboutbirds.org/guide/Snow_Bunting/overview.

Islandský poddruh *P. n. insulae*, ač původně popsán jako endemit tohoto ostrova, tvoří spolu s nominátním poddruhem skotskou smíšenou populaci (Smith 1996). *P. n. vlasowae* se vyskytuje na severu Sibiře od Uralu až po Čukotku. Poslední *P. n. townsendi* žije pouze na několika ostrovech v Beringově úžině, která je pravděpodobně centrem radiace celého rodu a taxonomie tamějších mimořádně variabilních populací dosud zůstává nerozřešena. V Beringově úžině a zřejmě i přilehlých částech amerického kontinentu bychom našli zbývající druh rodu *Plectrophenax* – *P. hyperboreus* (obr. 2), někdy rovněž považovaný za další z poddruhů *P. nivalis* (Withrow, 2020).

¹obdobně jako v celé práci, i zde se v otázkách taxonomie řídím serverem BioLib: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id9028/>

Celá čeleď Calcariidae spadá do blízkého příbuzenstva strnadů (Cai et al. 2021), dříve bývali její zástupci dokonce řazeni přímo do čeledi Emberizidae. České názvy několika zástupců této skupiny tak nedávno prošli změnou, kdy bylo od jednotného (ale polyfyletického) pojmenování “strnad” upuštěno ve prospěch nových českých rodů sněhule (*Plectrophenax*) a dle některých autorů i ostružka (*Calcarius*).²



obr. 2: Srovnání opeření *P. nivalis* (vlevo) a *P. hyperboreus* (vpravo). Obě fotografie zachycují samce v prostém šatu na zimovišti. I přes nápadné morfologické rozdíly zůstává status *P. hyperboreus* jako samostatného druhu nejistý. Autoři (zleva): Kit Day a Lucas DeCicco.

2.1.2 Biologie *P. nivalis*

Sněhule severní dorůstá mírně větší velikosti než vrabec. Jedinci rozdílného pohlaví jsou na první pohled nápadně morfologicky odlišní, samci dorůstají celkově větších rozměrů (Banks et al. 1989) a vynikají zdánlivě čistším, kontrastnějším zbarvením s minimem hnědých tónů. Opeření v průběhu roku prochází mnoha změnami, mimo jiné kvůli jeho snadné opotřebitelnosti důsledkem absence melaninu, nutně spojené s bílým zbarvením. Ve svatebním šatu (tzn. do pohnízdniho pelichání na konci léta) je u samců nápadná zářivě bílá spodina těla kontrastující s černými prvky na křídlech a hřbetě, během zimního období hlava a okraje hrudi nabývají hnědavého odstínu. Samice zůstávají méně nápadně zbarvené s větším podílem hnědé i v šatu prostém (obr. 3; Hanzák et al. 1963; Svensson et al. 2016). Barva zobáku je u zimujících ptáků obou pohlaví jasně žlutá, v hnízdním období se zbarvuje do černa. Tohoroční jedinci procházejí částečným pelicháním koncem léta, adulti pelichají kompletně záhy po ukončení hnízdní sezóny, částečně pak v březnu před jejím opětovným započatím (Šťastný et al. 2011; Hanzák et al. 1963).

Sněhule hnízdí v arktické tundře za hranicí lesa, nevyhýbají se ani holým skalám, ledovcům nebo mořským útesům. Známý jsou ale i případy synantropního výskytu v blízkosti lidských sídel. Jejich potravu po většinu roku tvoří především rozličná semena (truskavec, ostřice, Poaceae), bobule (šicha) a výhonky, při jejím získávání zůstávají vždy výhradně na zemi –

²<https://www.biolib.cz/cz/taxon/id994175/>

spolu s příbuznými zástupci čeledí *Calcariidae* a *Emberizidae* tak v chladných severských končinách obsazují niku semenožravců. Mláďata jsou však krmena výhradně hmyzem (Šťastný et al. 2011).



obr. 3: Pohlavní dimorfismus v opeření *P. nivalis*. Vlevo samec, vpravo samice. Obě fotografie zachycují ptáky nominální subspecie *nivalis* ve svatebním šatu přímo na hnízdišti (Špicberky). Autoři (zleva): Christoph Monig a Tom Wilberding.

Samotnou zimní migraci, jež je předmětem této práce, lze považovat za zásadní přizpůsobení arktickému podnebí. Evropská populace *P. nivalis* zimuje v početných hejnech při pobřeží Baltského či Severního moře (Svensson et al. 2016), na britských ostrovech a ojediněle také ve střední Evropě, téměř vždy pak severně od 35. rovnoběžky (Šťastný et al. 2011). Na českém území jsou každoročně pozorováni jednotliví protahující či přímo zimující jedinci, v příhodných letech vzácně i hejna o několika stech ptáků. Absolutní počty zaznamenaných jedinců tak z dosud nejasných důvodů meziročně kolísají od desítek po nižší tisíce. Sněhule se proto v kontextu výskytu ve střední Evropě řadí spolu s brkoslavou (*Bombycilla garrulus*), jikavci (*Fringilla montifringilla*) nebo kání rousnou (*Buteo lagopus*) do kategorie “zimních hostů” (Mason 1989). Zajímavým fenoménem jsou častá pozorování sněhulí zdržujících se v blízkosti velkých vodních ploch (typicky v. n. Rozkoš) – vysvětlením může dle mého názoru být vysoká tepelná kapacita vody, vedoucí ptáky hledající stále lokální podmínky k pobytu poblíž takových krajinných prvků – odborná literatura však o této problematice zatím mlčí.

Většina jedinců tvoří monogamní páry, zdokumentovány jsou ale i případy polygamie (Šťastný et al. 2011). Samec samici aktivně láká prostřednictvím zpěvu. Společně budované hnízdo, splétané z rostlinného materiálu a vystlané srstí či peřím, rodiče nejčastěji umísťují do příhodných skulin ve skalách. K líhnutí snůšky o 4–6 modravých, tmavě skvrnitých vejčích dochází po dvoutýdenní inkubaci zpravidla koncem června (Watson 1996), o potomky pečují oba rodiče (obr. 4).



obr. 4: Snůška *P. nivalis nivalis*, Špicberky. Všimněte si hnízdní kotlinky vystlané peřím a bílou srstí. Převzato z: <http://www.svalbardbirds.com/snow-bunting.html>.

Jak již bylo výše zmíněno, sněhule severní je nejseverněji hnízdicím pěvcem vůbec (Šťastný et al. 2011). S životem v takto extrémním prostředí se nutně pojí četné morfologicko-fyziologické adaptace, umožňující svým nositelům přestát nepříznivé podmínky. V tomto případě jde zejména o schopnost vytvářet mohutné tukové zásoby, jež slouží jednak jako termoizolační vrstva, jednak jako energetická zásobárna v době obtížně předvídatelné dostupnosti potravy (Laplante et al. 2019). Silná izolační vrstva sněhulí je natolik výstřední, že jim pod hrozbou přehřátí výrazně znesnadňuje život v teplejších oblastech, a to už i za stále relativně nízkých teplot vzduchu (O'Connor et al. 2023). Zajímavá je i role pelichání do “zimního šatu” – zatímco bílé operení může sněhulím umožňovat splynout s barvou sněhové pokrývky na arktickém hnízdišti, hnědavé barvy se naopak stávají kryptickými na obvykle nezasněženém zimovišti při pobřeží středoevropských moří (Šťastný et al. 2011).

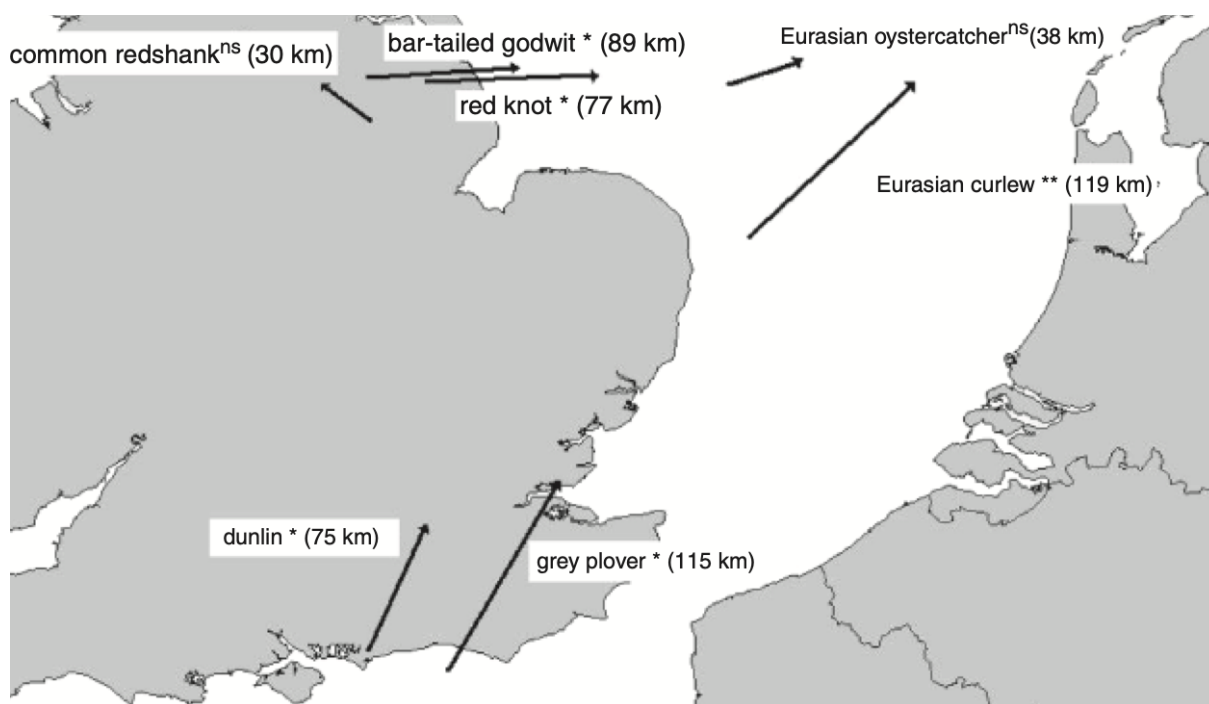
2.2 Migrující organismy a změna klimatu

Ačkoliv pravidelnou migraci podstupuje “pouze” osmina všech obratlovců (Petr 2024), pokud bychom se pokusili vyjmenovat několik zvířat, jež jsme v naší přírodě nedávno potkali, velmi pravděpodobně budou mnohá z nich spadat do této zdánlivě malé množiny migrantů. Důvodů může být vícero – třeba ten, že ekosystémy s největší biodiverzitou obratlovců jsou korálové útesy a tropické pralesy (Reaka-Kudla 1997), které vznikají v podnebí s nulovou sezonalitou a tudíž nevedou své obyvatele k migraci, čímž snižují celosvětový podíl přesunujících se organismů. V kontextu klimatické změny ale nabývá významu další vysvětlení – z podstaty mezisezónních přesunů vyplývá, že migranti během nich přicházejí do kontaktu se širokou škálou různých území a biotopů. My tak máme jednoduše větší šanci takové cestovatele zpozorovat, neboť se jich kolem nás zkrátka mihne větší počet. Vezmeme-li v potaz toto tvrzení, nasnadě je otázka: Mohou být migrující organismy, každoročně čelící podmínkám všech území protínaných jejich trasou, citlivější ke vnímání globálních dopadů klimatické změny? Řada důkazů nasvědčuje tomu, že ano.

2.2.1 Náročnost cesty

Pokud uvažíme širokou škálu míst a situací, s nimiž se zvířata cestující na zimovistě nutně musejí setkat, zdá se zcela přirozená i rostoucí šance, že se v tomto “vzorku” objeví také kombinace podmínek více či méně odrážející důsledky lidské činnosti (Robinson et al. 2009). Ty obvykle znamenají překážku, komplikující průběh už ze své podstaty mimořádně náročné cesty – na nové a pro migranty dosud neznámé podmínky se lze za krátkou dobu lidského působení jen obtížně připravit. A právě to z nich mnohdy, zvláště pro instinktem naváděné živočichy, činí neřešitelný problém.

Známý jsou případy, kdy měnící se klima vede migrující organismy ke změně cílové destinace. Evropským ptačím populacím tento fenomén většinou cestu usnadňuje, neboť se stoupající teplotou zvládají přezimovat i ve vyšších zeměpisných šířkách (Visser et al. 2009). Typický je příklad vybraných bahňáků (Charadrii), shánějících potravu v náplavech na březích vodních ploch (obr. 5). Díky vyšším zimním teplotám se ani v severněji položených oblastech nemusejí bát zamrznutí a bez zbytečných přesunů zimu přechkávají blíže svému hnízdišti (Maclean et al. 2008). Ne tak růžové jsou vyhlídky některých koticovců, nucených migrovat z tropických moří za ubývajícími hejny krillu stále dále směrem k pólům, kde si navíc konkurují s účinně chladnomilnými druhy, dosud oddělenými odlišným areálem výskytu (Moore et Huntington 2008; Learmonth et al. 2006). Obdobný trend prodlužování délek tahových tras bychom pravděpodobně našli i u některých ptáků zimujících v jižní Africe (Huntley et al. 2006).



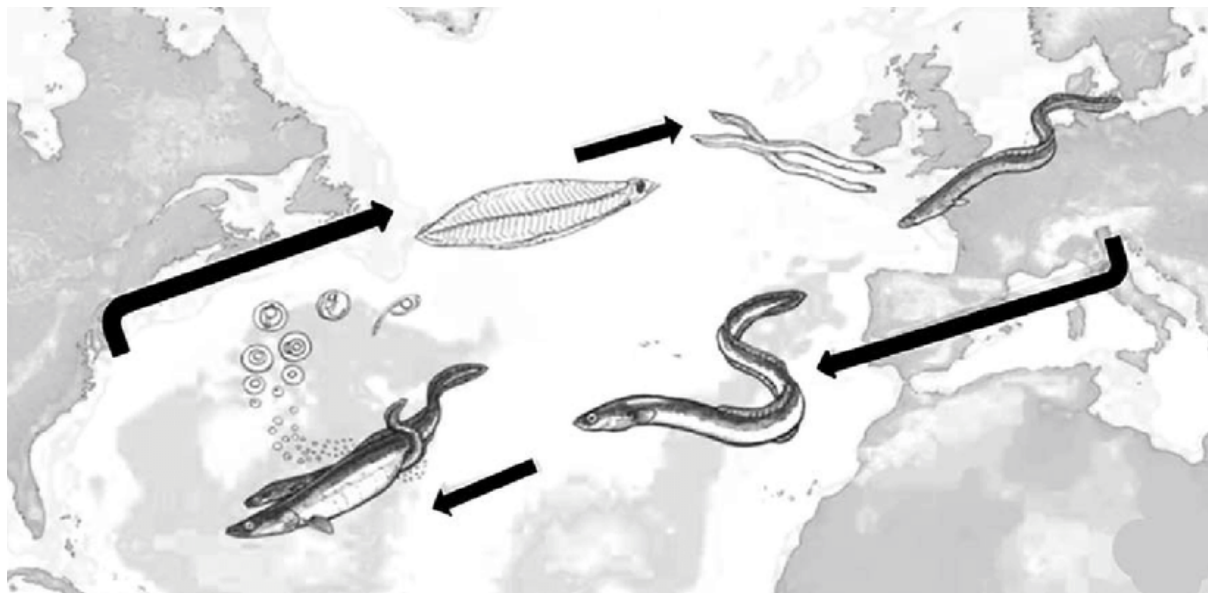
obr. 5: Západoevropská zimoviště bahňáků se důsledkem klimatické změny posunují severovýchodním směrem. Zobrazené vektory jsou proloženy skrze těžiště výskytu přezimujících jedinců daného druhu v jednotlivých letech. Vyjadřují tak míru a směr posunu jejich zimovišť mezi roky 1981 a 2000. Nejvýraznější změnu autoři zaznamenali v případě kolihy velké (Eurasian curlew; 119 km) a kulíka bledého (Grey plover; 115 km). Význam zjištěného trendu je blíže diskutován v textu. Převzato z Maclean et al. 2008.

Fenomén dezertifikace se právem těší mediální pozornosti. Rozšiřování pouští v oblasti afrického Sahelu znamená pro řadu ptačích druhů nutnost překonat větší vzdálenosti nad pustou, nehostinnou krajinou, která nenabízí možnost zastávky za účelem občerstvení (Robinson et al. 2009). Netřeba zdůrazňovat, že tato skutečnost opět znamená ztížení pouti na zimoviště. Let klade na drobné opeřence extrémní energetické nároky, protože je zajištění dostatečného a průběžného přísunu potravy nezbytností.

Pro úspěšné dokončení migrace a orientaci během cesty je důležitá znalost prostředí a alespoň částečná předvídatelnost podmínek, jimž v jejím průběhu bude nutno čelit. Tato skutečnost se znatelně projevuje na případě migrujících mořských živočichů, nejrůzněji využívajících doposud stabilních proudů k orientaci nebo přímo pohybu samotnému (Robinson et al. 2009). Narušení a utlumení proudění takto gigantických vodních mas vede k rozvratu celých mořských ekosystémů. Ne zcela zřejmě se ovšem prostřednictvím vyvolaných změn podnebí blízce dotýká také terestrické biosféry i nemalého počtu lidí, vede k neúměrnému rozložení srážek a poklesu úživnosti oceánů čili dostupnosti mořských potravin (Hoegh-Gulberg et Bruno 2010).

Znám je případ úhořů (*Anguilla anguilla*), kdy leptocephalové (raná planktonní ontogenetická stádia), za normálních okolností nesení Golfským proudem z trdliště v Sargasovém moři až k evropským břehům (obr. 6; Schmidt 1923), nejsou zejména kvůli narušení přísunu

potravy schopni svoji cestu dokončit (Knights 2003). Vytrácení úhořů z naší ichtyofauny, pochopitelně způsobené i nespočtem dalších faktorů, bohužel znamená také zánik veškerých kulturních fenoménů souvisejících s jejich stále nepochopenou migrací zpět do oceánu, jež historicky zajišťovala obživu řadě evropských civilizací (Svensson 2020).



obr. 6: Schematické znázornění migrace úhoře říčního (*Anguilla anguilla*) napříč Atlantským oceánem. Drobní planktonní leptocephalové (vlevo nahoře) jen obtížně dokážou čelit slábnutí Golfského proudu, jediné síly schopné je dopravit zpět k evropskému pobřeží. Převzato z Orlov et al. 2019.

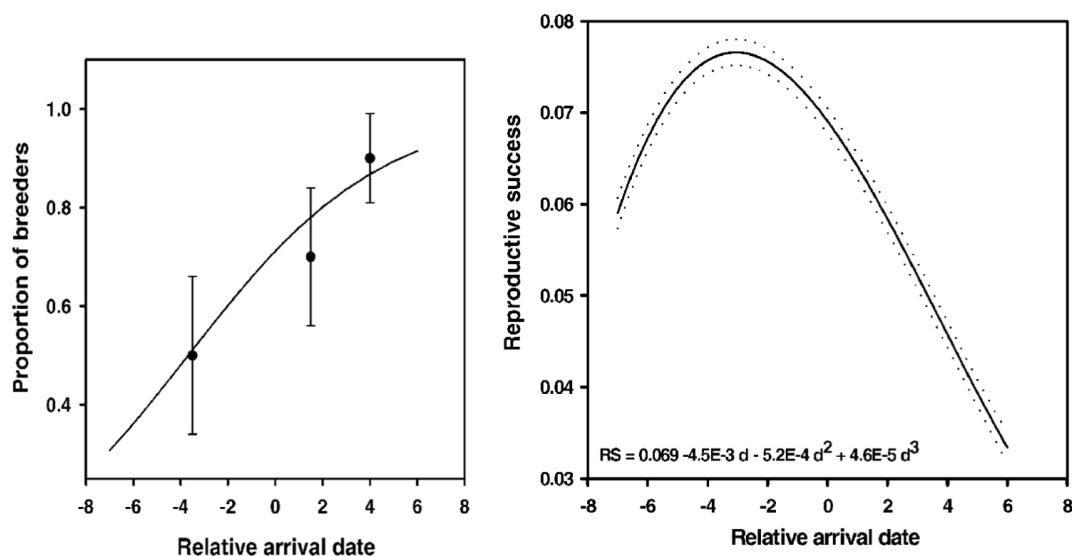
Analogická situace nastává v případě ptáků migrujících za podpory proudů vzdušných. I velmi zdatní letci jsou při překonávání náročných úseků trasy (typicky mořské průlivy) odkázáni na příznivé termické proudy – bez nich jim hrozí ztáta prostorové orientace a utonutí kdesi v širém oceánu (Forsman 2021).

2.2.2 Načasování migrace

Dorazit včas na místo rozmnožování je pro migranty naprosto zásadní. Včasné započetí hledání partnera zvyšuje šanci na jeho úspěšné nalezení (Becker et al. 2004; Bêty et al. 2004), pro přežití potomků jsou nezřídka nutné určitou dobou vymezené klimatické podmínky (Jovani et Tella 2004) a k jejich zdárnému odkrmení může být důležitá synchronizace s obdobím široké dostupnosti potravy (Both et al. 2006). Vzhledem k jejich nezanedbatelnému bioindikačnímu a popularizačnímu významu jsou níže popsány příklady ke každému z těchto bodů.

Více času na hledání toho správného partnera nepřekvapivě napomáhá jeho zdárnému výsledku. Jedinci, kteří si nespíší, mohou dorazit teprve ve chvíli, kdy již žádný nezadaný vrstevník nezbyvá. Studie (Bêty et al. 2004) prováděná na husách sněžních (*Anser caerulescens*) prokázala přímou souvislost mezi časem návratu na hnízdiště a nadějí

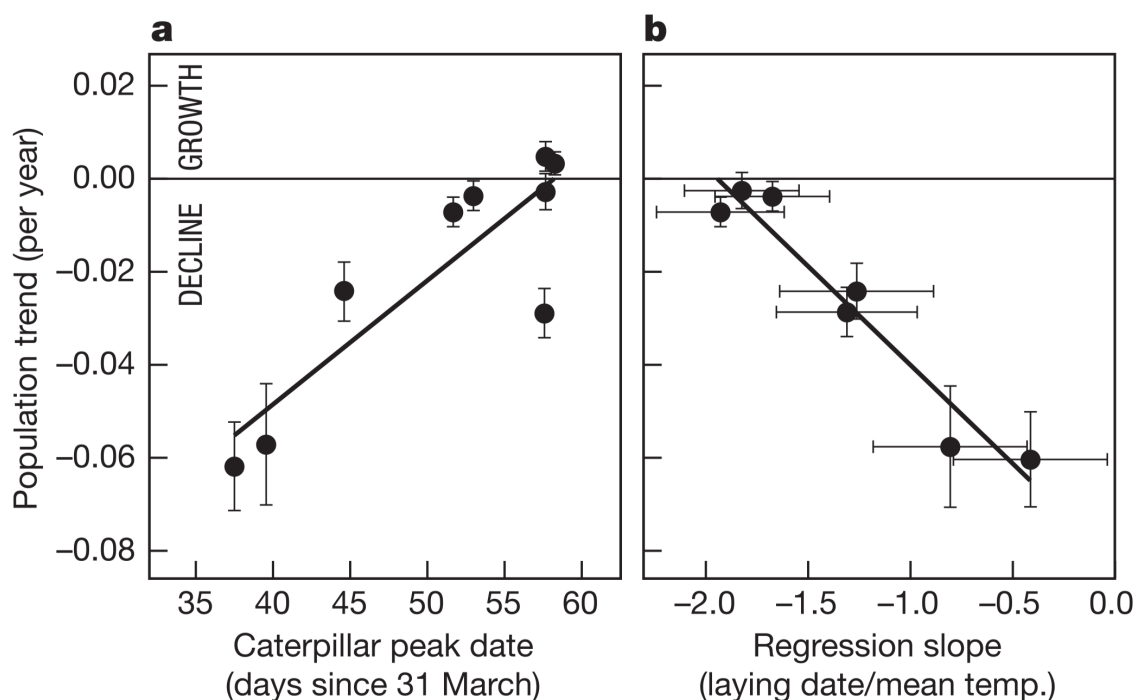
na reprodukční úspěch (obr. 7). Dříve se navracející samice spíše našly partnera v některém z dominantně postavených samců, zajišťující tak vyšší fitness pro své potomky. Samice tak stojí před proslulým dilematem trade-off: vyplatí se uspišit přípravy na náročnou migraci a následně riskovat komplikace při cestě, aby zajistily svým mláďatům ty nejlepší geny? Zda klimatická změna bude mít vliv na životaschopnost husí populace však zatím můžeme pouze odhadovat.



obr. 7: Včasnost návratu na hnízdiště určuje hnízdní úspěšnost hus *Anser caerulescens*. Samice, které dorazí zpět dříve než většina (tj. dříve než v čase 0), mají větší naději na zplození zdravého potomstva. Pokud si ale pospíší příliš, riskují vyčerpání a úpadek naděje na zdárnou reprodukci (vpravo). Převzato z Běty et al. 2004; upraveno.

Samotné načasování ptačí migrace obvykle bývá řízeno na podněbí nezávislou fotoperiodou, což paradoxně u lejsků rodu *Ficedula* vedlo k rozporu s fenologií organismů trvale žijících na hnízdišti a následné neschopnosti obstarat pro potomky potravu – zde šlo o larvy hmyzu řídící se předčasně stoupající teplotou, které přeměnu v dospělé dokončily dříve, než neflexibilně navracející se ptáci stihli odkrmit mláďata (obr. 8; Both et al. 2006). Naopak čápi bílí (*Ciconia ciconia*) jsou sice schopni čas svého návratu a započetí hnízdění přizpůsobit dříve nastávajícímu jaru, avšak nově narozená mláďata tak vystavují většímu riziku konfrontace s neočekávaně přicházejícími nárazovými dešti a následné smrti podchlazením (Jovani et Tella 2004). Oba tito zástupci patří k subsaharským migrantům (zimují jižně od Sahary), jejichž početnost je relativně jednoduše a dlouhodobě sledovatelná, díky čemuž často spadají do zájmu výzkumníků (Vickery et al. 2014).

Obecně jsou jako důsledek narušení migrační fenologie klimatickou změnou popsány dřívější návraty na hnízdiště i zpoždění, někteří autoři tyto dvě varianty dávají do souvislosti s charakterem a délkou tahové trasy (Jenni et Kéry 2003). Zda tyto posuny nabývají pro ptačí populace nějakého významu zůstává námětem pro další bádání.

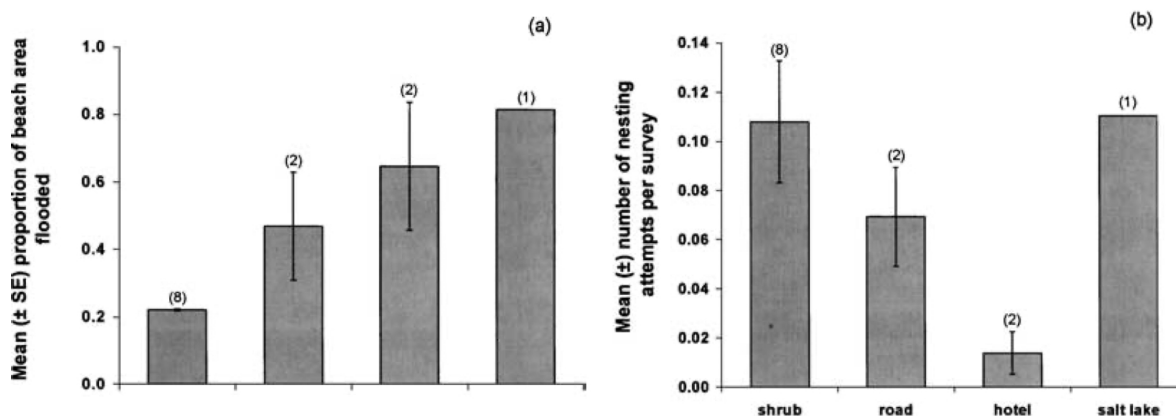


obr. 8: Rozpor načasování jarní migrace lejsků (*Ficedula hypoleuca*) s fenologií hmyzu žijícího na hnízdišti vede ke klesajícímu populačnímu trendu těchto ptáků. Čím dříve dojde důsledkem stoupajících teplot k vyvrcholení výskytu housenek, tím nižší je hnízdní úspěšnost lejsků (a). Pokud neuzpůsobí načasování své migrace měnícímu se klimatu, vystavují se riziku nenalezení dostatečného množství potravy pro svá mláďata (b). Převzato z Both et al. 2006.

2.2.3 Další konsekvence

Na první pohled obtížně předpovědatelných dopadů klimatické změny již věda zaznamenala celou řadu. Pro jejich komplexnost je žádoucí se na takové případy zaměřit s obzvláštní důsledností, neboť jedině tak můžeme nalézt jejich efektivní řešení a pochopit budoucí důsledky podobného charakteru. Ekologicky provázaná společenstva nezřídka reagují na narušení jediného ze svých článků kompletním zborcením – a právě takové situace, zpravidla získávající pozornost společnosti, mají při správné interpretaci potenciál stát se motivací pro podniknutí kroků k účinné ochraně životního prostředí.

O tom, co nastává, pokud živočich na kýžené místo nezvládne dorazit nebo dorazí pozdě, již bylo pojednáváno výše. Dojít může ale i k podivné situaci, kdy cestující organismus není tím, kdo se ztratí – zmizí samotná cílová destinace. Právě tomuto problému čelí mořské želvy, po dlouhé generace zvyklé klást vejce na totožné pláže v tropických mořích (obr. 9). Karety (*Caretta sp.*) rozmnožující se na drobných ostrůvcích v Karibiku, přicházejí se stoupající hladinou oceánu o stanoviště vhodná ke kladení vajec (Fish et al. 2005). Za písčité pláže, nezřídka i se zbytkem ostrova ztracené pod vodní hladinou, nedokážou najít náhradu, neboť se stále dožadují místa, kde byly samy narozeny.

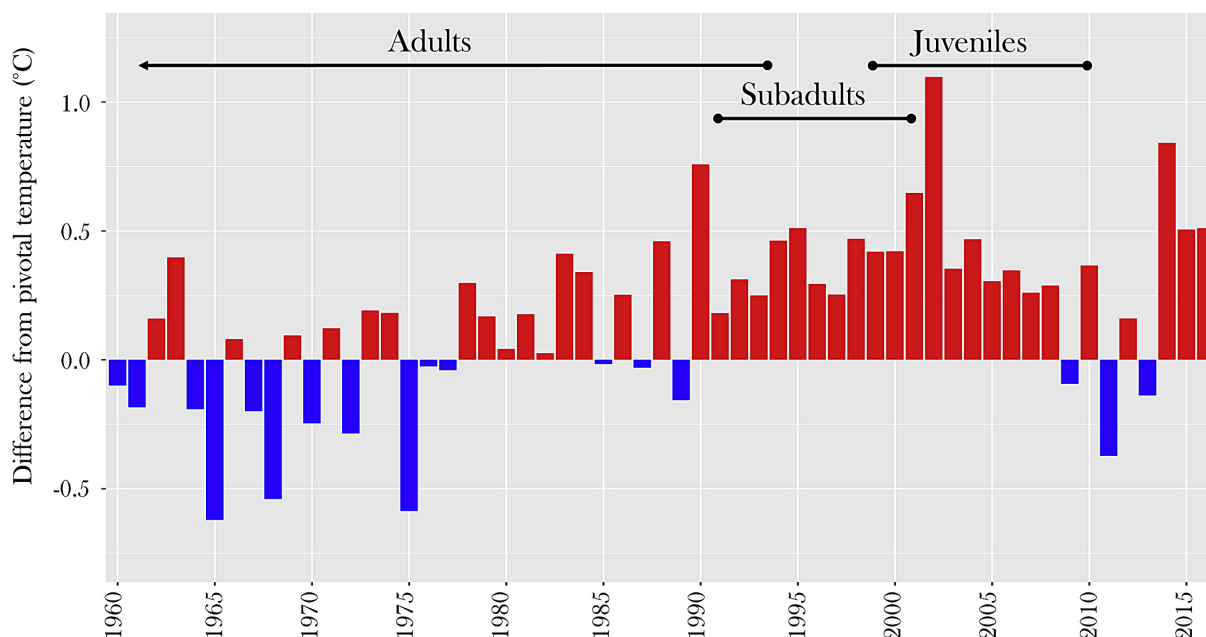


obr. 9: Se stoupáním hladiny světového oceánu ztrácí mořské želvy rozmnožující se na karibském ostrově Bonaire zaběhlá stanoviště pro kladení vajec. Pokud dojde ke zvednutí hladiny moře o 50 cm, 20 – 80 % plochy současných hnízdišť bude zaplaveno (a). Riziko představuje i posun pláží blíže k osídlenému vnitrozemí a na nich vznikající stavby – pláže navazující na urbanizovaná stanoviště (hotel, cesta) želvy při výběru umístění snůšky nepreferují (b). Převzato z Fish et al. 2005; upraveno.

Vytrtit se může i cesta vedoucí do kýžené cílové destinace. Sobi karibu (*Rangifer tarandus caribou*) migrující počátkem zimy z ostrova Victoria zpět na kanadskou pevninu svoji pouť vykonávají po zažité trase vedoucí napříč neširokým mořským průlivem. V posledních letech ale narážejí na důsledky oteplování, které v oblasti Arktidy nabývá mimořádné rychlosti (Rantanen et al. 2022). Početná stáda, netrpělivě při pobřeží vyčkávající na příchod mrazů, jsou ve snaze vyhnout se hladomoru donucena riskovat pohyb po slabé ledové krustě. Obezřetní jedinci se musejí spokojit s chudou potravní nabídkou ve vypasené tundře – v horším případě tisíce sobů směřují ke zbytečnému utonutí v ledovém Amundsenově zálivu (Petr 2024). Nepředvídatelný pohyb a úbytek těchto zvířat představuje výraznou komplikaci pro místní obyvatele, kteří jsou na sobech nejen výživově, ale i ekonomicky zcela závislí.

Jedním z nejvěrohodnějších bioindikátorů rostoucích teplot je sledování poměru pohlaví u již diskutovaných nově narozených mořských želv (Newson et al. 2009). Jejich pohlaví je určeno okolní teplotou, kdy se při jejím zvýšení nad kritickou hodnotu (kolem 29 °C) líhnou pouze samice (Morreale et al. 1982). Současné populace želv tudíž ohrožuje také nedostatek samců (Jensen et al. 2018) – samice musí ve snaze nalézt partnera urazit znatelně větší vzdálenosti, nemluvě o nutnosti vrátit se z dalekých končin zpět na hnízdiště (obr. 10). Experimenty ukazují, že ona teplotní hranice je v evoluci značně konzervativní a neumožňuje tedy přizpůsobení novým, rostoucím teplotám (Newson et al. 2009). Další zvyšování teploty, při níž jsou vejce inkubována, vede k usmrcení mláďat. Podobnou situaci nacházíme i u dalších živočichů, pravděpodobně nejnapadnějšími z nich jsou krokodýli (Lang et Andrews 1994).

Prosperita populací organismů stojících na vrcholu potravního řetězce mnohdy přesně reflektuje fungování celého ekosystému. Slábnoucí mořské proudy (viz výše) úzce ovlivňují distribuci a abundanci planktonu, který slouží jako potrava nespočtu dalších mořských živočichů. Snížená dostupnost planktonní potravy vede ke strádání celých kolonií



obr. 10: Důsledkem klimatické změny dochází ke zvyšování teploty, při níž jsou inkubována vejce karety obrovské (*Chelonia mydas*), což vede k feminizaci její východoaustralské populace. Inkubační teplota se ve většině let během období 1980 – 2017 pohybovala nad svojí kritickou hodnotou (značena 0.0), důsledkem čehož mezi mladými kretami výrazně převažují samice (červeně). To pro ně představuje komplikaci v procesu hledání partnera a riziko úpadku genetické variability. Převzato z Jensen et al. 2018.

antarktických tučňáků, kteří podnikají z mrazivého vnitrozemí dlouhou migraci k moři, aby pro svého potomka a zbývajících partnera zajistili obživu (Trathan et al. 2015). Potravní nabídka však s úbytkem planktonu drasticky klesá a vyčerpávající cesta k pobřeží ztrácí svůj smysl. Jediné mládě, výživově zcela závislé na potravě přinesené v žaludku jednoho z rodičů, má při takovém neúspěchu jen minimální naději na přežití.

Klimatická změna zanechává stopy i na migraci z pohledu společenskovedního. Dezertifikace v oblasti Sahelu, již zmiňovaná v kontextu ptačích tahových tras, vede k přeměně původně alespoň částečně zemědělsky využitelné krajiny v pustou, neúrodnou poušť. Místní obyvatelé, chudí rolníci obživou závislí na pastevectví, nemohou činit jinak, než svoji domovinu opustit (Darkoh 1998). Ačkoliv bychom takový přesun správně neměli nazývat migrací, nýbrž disperzí, z pohledu sociálně-geografického se z přesídlových občanů, hledajících zaměstnání a únosné živobytí, stávají migranti. V konečném důsledku dezertifikace funguje jako jeden z podnětů vedoucích Afričany k emigraci do Evropy, vytváří tak další nečekaný následek klimatické změny, jenž se ekonomicky dotýká celé západní společnosti.

2.3 Občanská věda v českém prostředí

2.3.1 Teorie a dnešní fungování občanské vědy

Občanská věda (*citizen science*) se současně řadí k nejrychleji se rozvíjejícím nástrojům vědy. Její podstatou je zapojení široké veřejnosti do sběru vědeckých dat, jež jsou následně profesionály zpracována a použita jako podklad pro vznik odborných prací. Řada amatérských zájemců tak dostává příležitost podělit se o svá zjištění a přispět tak vlastním dílem k probíhajícímu výzkumu. S jejich pomocí se naskytá možnost rozšířit kapacitu a vůbec pole působnosti vědecké komunity.³ Výjimkou nejsou ani projekty iniciované společnostmi samotnou, často s cílem nalezení stanoviska veřejného mínění a jeho následného využití v dalších jednáních o případných změnách jejího fungování. Koncept občanské vědy je hojně využíván jak v přírodních vědách (ekologie, zdravotnický výzkum...), tak v oborech věd společenských (sociologie, média, psychologie atp.). Vzhledem k neustále probíhajícímu rozkvětu je však hledání definice občanské vědy poměrně obtížné a liší se napříč odbornou literaturou (Haklay et al. 2021).

Pojem “občanská věda“ byl poprvé použit roku 1989 časopisem *MIT Technology Review* v kontextu zapojení komunity do výzkumu zabývajícího se životním prostředím. Od té doby došlo ke značnému rozšíření a zdokonalení tohoto konceptu, mimo jiné díky nástupu moderních technologií zpřístupňujících internet široké veřejnosti. Právě ten totiž umožňuje snadné shromažďování informací z mnoha zdrojů na jednom místě, jímž je obvykle příslušná databáze, vyvinutá přímo k tomuto účelu. Rovněž nároky na kvalifikovanost zapojených osob z řad veřejnosti se postupně snižují, ať už díky mnohonásobně snazší dostupnosti výukových materiálů, nebo přímo za přispění interaktivních návodů, předpřipravených formulářů či určovacích klíčů, dnes běžně integrovaných do zmiňovaných softwarů pro zadávání dat (příkladem budiž ten používaný v oblíbeném programu Ptačí hodinka).⁴ Využití moderních smartphonů k zapisování pozorování či dokonce determinaci organismů přímo v terénu pak dnešním badatelům otvírá plejádu nových možností (Zárybnická et Trojan 2024), jež s důmyslným metodickým ošetřením a kvalitně připraveným prostředím přátelským k používání veřejností nezřídka vedou k přelomovým objevům.

Díky zdokonalování a šíření konceptů občanské vědy dnes, k oboustranné spokojenosti odborníků i laických spolupracovníků, dochází ke smývání hranice mezi zábavou a sběrem cenných dat. Popularizace vědy a její zpřístupnění širokému okruhu zájemců mají nepopiratelný přínos ve vývoji informované společnosti i našem chápání světa vůbec. Přispět k němu při pouhé procházce za město nikdy nebylo jednodušší.

³ definice podle https://en.wikipedia.org/wiki/Citizen_science

⁴ <https://ptacihodinka.birdlife.cz/online-form/>

2.3.2 Vybrané současné projekty občanské vědy

Aktivních programů, aplikací, akcí či webů využívajících občanskou vědu existuje celá řada. Zmiňme tedy na tomto místě pouze krátký výčet těch, které nabývají významu v českém prostředí nebo jsou oborem zájmu laděny podobně jako tato práce. Odstavce níže se proto budou týkat tzv. nálezových databází, neboť jimi shromážděná data byla využita v její praktické části. Pro seznámení s rozsáhlým přehledem veškerých probíhajících projektů občanské vědy lze odkázat na vznikající portál EU-Citizen.Science,⁵ který je jejím ústředním evropským rozcestníkem nabízejícím i řadu výukových materiálů (Trojan 2024). V českém prostředí funguje také národní datáze,⁶ poskytující zájemcům bližší informace o široké škále domácích projektů.

Nálezové databáze jsou již zaběhlým, ale stále dynamicky se rozvíjejícím konceptem. Po desetiletí fungující internetové stránky vybízející veřejnost ke sdílení svých zjištění lze dnes bezesporu považovat za částečně překonané, přesto mnoho lidí lpí na jejich užívání a jimi podávané výsledky se těší obstojné spolehlivosti. Oproti tomu moderní mobilní aplikace se uživatelé často zdárně snaží motivovat k aktivitě prostřednictvím soutěžení s ostatními kolegy, ať už v počtu zaznamenaných taxonů, států s evidovaným pozorováním či terénem nachozených kilometrů. Software původně vytvořený za účelem usnadnění sběru dat v důsledku nezřídka přejímá funkci sociální sítě, s možností vytvoření vlastního profilu, přidávání přátel a vzájemného porovnávání dosažených výsledků, nebo, chceme-li, počtu zapsaných pozorování. Společnou výhodou všech nálezových databází je možnost připojit ke strohému záznamu pozorování i přesné GPS souřadnice a multimediální přílohy, od fotografií až po nahrávky zvukových projevů, čímž údaje nabývají nesrovnatelně vyšší věrohodnosti a vědecké hodnoty vůbec. Samozřejmostí bývá volná dostupnost nasbíraných dat, jež tak mohou být kýmkoliv využita k dalšímu zpracování.

Co se popularity týče se v této kategorii na světové špičce nachází projekt iNaturalist – nálezová databáze vytvořená roku 2008 jako součást dizertační práce studentů univerzity v kalifornském Berkeley.⁷ Jejím cílem je shromažďovat faunistická i floristická data z celého světa a od široké veřejnosti, k čemuž stačí jednoduše sdílet prostřednictvím mobilní aplikace fotku organismu s lokalitou. Správné určení zajišťuje neuronová síť a následná kontrola některým ze znalých uživatelů. Přehledné softwarové prostředí vybízí k porovnávání svých záznamů s profily přátel, dostupné jsou i rozličné žebříčky nejhodnějších přispěvatelů.

⁵ <https://eu-citizen.science/>

⁶ <https://db.citizenscience.cz/>

⁷ <https://www.inaturalist.org/pages/about>

Českou alternativou k výše popsanému globálnímu konceptu je Nálezová databáze ochrany přírody (NDOP)⁸ provozovaná Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. Ačkoliv její fungování sice není založené na mezipřijímatelské soutěživosti, nabízí kromě webových stránek i možnost zadávat data z telefonu pomocí aplikace BioLog⁹ a nezdídká vypisuje projekty zaměřené na mapování některých konkrétních organismů (např. veverek).¹⁰

Databáze shromažďující údaje o výskytu ptáků mají mezi ostatními výsadní postavení – díky rozšíření fenoménu “birdwatchingu“ totiž existuje celosvětově fungující komunita zájemců zabývajících se ve volném čase pozorováním ptáků, která neustále intenzivně mapuje výskyt veškerých zástupců této skupiny, alespoň tedy v obydlených oblastech.

Platforma eBird, provozovaná institucí Cornell Lab of Ornithology se sídlem v New Yorku je v tomto oborovém zaměření vůbec nejpobulárnější. V uživatelsky přívětivém prostředí každoročně shromažďuje 100 milionů záznamů o pozorování ptáků z celého světa.¹¹ Ty mohou uživatelé sdílet pomocí webového rozhraní nebo příslušné aplikace, běžnou součástí zápisů jsou mapové souřadnice, fotografie a nahrávky hlasů pozorovaných ptáků. Ruku v ruce s možností přispívat do databáze nabízí provozovatelé i volně dostupné elektronické atlasy a neuronovou síť (Merlin), pomáhající všem přispěvatelům s určováním dosud neznámých druhů. Zároveň právě eBird přivedl ideu vzájemného porovnávání výsledků jednotlivých uživatelů k dokonalosti – pravidelně vyhlašuje titul nejaktivnějšího pozorovatele v mnoha kategoriích, nemluvě o možnostech spolupráce s ostatními “birdwatchery“ a navazování online přátelství.

Česká společnost ornitologická (ČSO) již od roku 2010 provozuje server birds.cz,¹² shromažďující faunistická data o výskytu ptáků na našem území. Jeho předností je metodická důslednost, rovněž nabízí možnost účasti v řadě dlouhodobých i nárazových projektů,¹³ často zaměřených na konkrétní druhy (přezimující rehci, čejčí hnízda...) či specifický biotop (vodní plochy). Do tohoto výčtu patří také mediálně proslavená Ptačí hodinka, nejrozsáhlejší akce svého typu zaměřená na monitoring ptáků v okolí krmítek.¹⁴ Získané výsledky ČSO využívá k dalším ochrannářským aktivitám, do kterých nezdídká zapojuje i pomocníky z řad občanů.

⁸ <https://portal23.nature.cz/nd/>

⁹ <https://biolog.nature.cz/biolog/cz/Article/AboutApp>

¹⁰ <https://aopk.gov.cz/mapujte-s-biologem>

¹¹ <https://ebird.org/about>

¹² <https://avif.birds.cz>

¹³ <https://avif.birds.cz/projects>

¹⁴ <https://ptacihodinka.birdlife.cz/>

Po nedávné modernizaci nabízí tento systém jednoduché zapisování pozorování pomocí mobilní aplikace či automatickou vizualizaci dat.

Oborově či na konkrétní problematiku zaměřených nálezových databází je k dispozici celá řada, namátkou jmenujme tu provozovanou Českou botanickou společností¹⁵ nebo “Najdi je”¹⁶ a “Biosmršť”¹⁷ specializované na monitoring nepůvodních druhů.

¹⁵ <https://botanospol.cz/cs/node/34>

¹⁶ <https://www.najdi je.cz/>

¹⁷ <https://www.biosmrst.cz/>

3 CÍLE PRÁCE

Tato práce se s využitím dat z občanské vědy zabývá vlivem meziročně se měnících průměrných teplot na načasování a intenzitu migrace sněhulí severních přes české území. Mým cílem bylo zhodnotit vztah výskytu sněhulí v Česku s následujícími proměnnými: roční průměrnou teplotou na zimovišti, zimní průměrnou teplotou na zimovišti a průměrnou roční teplotou na hnízdišti. Srovnáním výsledků jsem se následně snažil najít v daném kontextu nejvýznamnější z těchto faktorů. Zajímalo mne také geografické a časové rozložení pozorování sněhulí na našem území.

Výsledná zjištění jsem použil k posouzení vhodnosti případného využití fenologie sněhulí jako bioindikátoru lokálních dopadů klimatické změny. Zároveň jsem se na modelu sněhulí pokusil ověřit platnost lidové pranostiky, dle níž by dřívější přilet u nás zimujících ptáků měl poukazovat na nástup tuhé zimy. Pro tyto účely jsem si stanovil následující hypotézy:

- 1) Sněhule severní (*Plectrophenax nivalis*) posouvají načasování své podzimní migrace v souladu s měnícími se průměrnými teplotami na zimovišti.
- 2) Dřívější a masovější přilet sněhulí severních (*Plectrophenax nivalis*) na česká zimoviště poukazuje na chladnější nadcházející zimu.

4 METODIKA

4.1 Shromáždění dat

Základem pro tuto práci se stala výhradně data volně dostupná z příslušných internetových serverů. Ta byla dle podmínek nastavených zřizovateli buď přímo stažena a dále zpracována, nebo poptána k následnému zaslání v uceleném balíčku. Dle zdrojů a tematického zaměření lze využitě údaje rozdělit do dvou hlavních celků – data meteorologická a faunistická.

4.1.1 Meteorologická data

Pro splnění vytyčených cílů práce bylo potřeba využít meteorologická data ekvivalentní ke zpracovávaným faunistickým záznamům. Ta byla tvořena třemi různými proměnnými:

- Průměrná teplota na českém území za celý příslušný rok.
- Průměrná teplota během zimního období na českém území.
- Průměrná roční teplota v oblasti předpokládaného hnízdiště u nás zimujících sněhulí.

Oba údaje popisující klima na českém území jsou založeny na datech shromážděných Českým hydrometeorologickým ústavem, který je veřejnosti zpřístupňuje na svých webových stránkách.¹⁸ Využity byly historické hodnoty “územní teploty” pro celou Českou republiku. Jedná se vždy o průměr z hodnot naměřených v průběhu příslušného měsíce soudobě fungujícími stanicemi, rozmístěnými napříč celým územím. První parametr je opět prostým průměrem dvanácti průměrných teplot z veškerých měsíců daného roku – výsledná hodnota tak souhrně referuje o tohoročních klimatických podmínkách na ploše celého Česka. Druhá proměnná, čili zimní teplota, byla na základě údajů poskytovaných ČHMÚ spočítána jako průměr teplot ze tří zimních měsíců (ledna, února a prosince předcházejícího roku), a reprezentuje tedy povahu klimatu během nejchladnějšího období, opět sumárně pro celé české území.

Jako místo přibližně vypovídající o klimatických podmínkách na hnízdišti sněhulí byl s výpomocí odborné literatury⁷ vybrán ruský přístav Murmansk. Jelikož tamější meteostanice provádí základní měření pravidelně již od počátku minulého století, je pro tuto oblast z různých zdrojů dostupný poměrně bohatý soubor meteorologických dat, což bylo též jedním z výběrových kritérií. Samotná data byla v tomto případě převzata z celosvětově působící

¹⁸ <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>

klimatologické databáze weatherspark.com.¹⁹ Dále analyzován byl celoroční průměr teplot naměřených na místní stanici, přímo dostupný ze zmiňovaných internetových stránek.

4.1.2 Faunistická data

Jádro celého datasetu tvořily záznamy o pozorování sněhulí na našem území. Ty byly poptány v archivech dostupných nálezových databázích, které sbírají údaje o výskytu ptáků a zároveň významněji působí v českém prostředí. Zpracován byl kompletní soubor nálezů sněhulí spravovaný ČSO v databázi Avif, zahrnuty byly rovněž údaje zapsané ve výše zmíněných systémech eBird a iNaturalist. Data z mezinárodně fungujících serverů byla převzata z knihovny GBIF,²⁰ která v komprimovaném formátu shromažďuje a volně poskytuje veškeré informace o výskytu organismů nasbírané prostřednictvím občanské vědy. S její pomocí tak bylo možné jednak výrazně usnadnit export dat z posledních dvou zmiňovaných zdrojů, jednak připojit i záznamy z menších databází či nárazových mapovacích projektů.

Utvořený soubor dat byl posléze zpracován a zbaven duplicitních záznamů s využitím tabulkového procesoru Numbers.²¹ Původní dataset obsahoval celou řadu proměnných popisujících okolnosti, za nichž dané pozorování proběhlo, včetně přesných údajů o lokalitě, složení zastiženého hejna nebo případných poznámek autora – dále analyzována byla pouze část těchto parametrů. S cílem omezit zkreslení byly maximálně využívány údaje založené na počtu ptáků viděných najednou. V konečné podobě vzniklý soubor faunistických dat zahrnoval 1021 unikátních pozorování sněhulí z let 1956 – 2024.

4.2 Zpracování dat

Adekvátní ošetření a přetřídění dat nasbíraných veřejností jsou pro jejich interpretaci, zejména kvůli neexistenci konzistentní metodiky, zcela nezbytné. Zároveň nezdědka představují náročný úkol, neboť údaje zpravidla nebývají kompletní a běžné jsou rozsáhlé překryvy uváděných záznamů, u kterých lze pak jen těžko usuzovat, zda nabývají pro příslušné účely dostatečné relevance (Johnston et al. 2023). Komplikací může být i nerovnoměrné úsilí vynaložené při sběru dat.

K vytvoření souhrnného datasetu a jeho základním úpravám byl použit tabulkový procesor Numbers (verze 13.2). Třídění dat, jejich vyhodnocení a zpracování výsledků do grafů jsem provedl prostřednictvím jazyka R v programu RStudio pro MacOS (verze 2024.12.0+467; odkazy na užitý software a konkrétní balíčky viz v seznamu literatury).

¹⁹ <https://weatherspark.com/y/98040/Average-Weather-in-Murmansk-Russia-Year-Round>

²⁰ <https://www.gbif.org/>

²¹ <https://www.apple.com/in/numbers/>

4.2.1 Filtrování a základní úprava

Vzhledem k vysoké četnosti opakujících se údajů zjevně popisujících nález stejného jedince jinou osobou bylo v zájmu získání co nejpřesnějších výsledků nutné surová data protřídit. Odstraněny byly duplicitní záznamy totožného data ze stejné lokality, v případě uvedení rozdílných počtů jedinců byl dále zahrnut jen ten nejvyšší. V souboru zbaveného přímých duplikátů byla následně překontrolována přítomnost údajů z pozdějších dnů, popisujících pravděpodobně pozorování totožného jedince, jen déle se zdržujícího na dané lokalitě. Za totožná jsem považoval pozorování pocházející ze stejné lokality a učiněná v časovém horizontu jednoho týdne od prvního z nich. Z takové množiny byl pro další zpracování ručně vybrán pouze údaj s nejvyšším počtem zastižených jedinců, ostatní nebyly do dalších výpočtů zahrnuty (viz obr. 11).

date	count	locality	latitude	longitude	municipality	district
2022-11-19		1 Přehrada České údolí	49.717197	13.346491		Plzeň
2022-11-19		1 VN Rozkoš	50.377686	16.070402		Náchod
2022-11-17		2	49.456078	17.275358	Věrovany	Olomouc
2022-11-17		2 Dub nad Moravou (Tučapy) CZ-Olomoucký	49.48911	17.27229		Olomouc
2022-11-11	X	2 VN Rozkoš	50.377686	16.070402		Náchod
2022-11-09		1 Záluží	49.137424	17.946458	Vlachovice	Zlín
2022-11-08		3 VN Rozkoš	50.385667	16.064350	Česká Skalice	Náchod
2022-11-06	X	1 VN Rozkoš	50.385667	16.064350	Česká Skalice	Náchod
2022-11-06	X	2 VN Rozkoš	50.386927	16.070352	Provodov-Šonov	Náchod
2022-11-06	X	1 VN Rozkoš	50.377686	16.070402		Náchod
2022-11-05	X	2 v.n. Rozkoš	50.386527	16.069154	Česká Skalice	Náchod

obr. 11: Výstřížek přibližující proces třídění dat v softwaru Numbers. Záznamy z lokality VN Rozkoš ležící v rozmezí 1 týdne od prvního z nich (5. 11.) byly považovány za duplicitní pozorování stejných jedinců a dále nebrány v potaz (označeno červeným křížkem). Zohledněn byl údaj s největším počtem jedinců (3; 8. 11.) a záznam sebraný později než týden od prvního z nich (19. 11.; 14 dní).

Z takto probraných záznamů jsem posléze jako sumu počtů jedinců spočítal přibližný odhad absolutního počtu sněhulí pozorovaných v příslušné sezóně, jenž byl přiřazen k roku, do něž spadá leden dané zimy. Obdobným způsobem byly připojeny daty prvního záznamu v Česku během dané sezóny a veškerá meteorologická data (blíže na obr. 12).

year	česko_average_y	česko_average_w	breedingsite_y	prvolety	česko_yw_y	česko_yw_w	breedingsite_yw_y
2003	8.2	-3.20	1.4	2002-11-03	8.7	-0.50	-0.1
2004	7.8	-1.37	1.7	2003-10-26	8.2	-3.20	1.4
2005	7.7	-1.60	2.0	2004-11-01	7.8	-1.37	1.7
2006	<u>8.2</u>	<u>-3.43</u>	<u>1.1</u>	2005-10-01	7.7	-1.60	2.0
2007	9.1	2.73	1.6	2006-11-04	<u>8.2</u>	<u>-3.43</u>	<u>1.1</u>
2008	8.9	0.90	1.2	2007-11-01	9.1	2.73	1.6

obr. 12: Výstřižek ukazující způsob přiřazování meteorologických dat k faunistickým. Za “sezónu“ je považováno období od prvního po poslední pozorování sněhulí v dané zimě. Faunistické údaje ze sezóny byly vždy přiřazeny k roku, do něž spadá leden příslušné zimy. Údaj “prvolety“, popisující datum prvního podzimního pozorování sněhulí v dané sezóně, je proto zpravidla připojen k roku následujícímu po tom, v němž byl záznam učiněn. Hodnota teploty ve druhém sloupci tak popisuje podmínky, které z většiny nastaly až po skončení k příslušnému roku přiřazené sezóny. S cílem prověřit všechny potenciálně významné parametry byly testovány i vztahy fenologie sněhulí s teplotami v roce předcházejícímu dané sezóně (poslední tři sloupce; logický posun hodnot teploty o jeden rok vpřed je vyznačen červeně).

4.2.2 Vizualizace

Ke grafickému znázornění výsledků jsem použil následující balíčky pro software RStudio: Tidyverse, dplyr, ggplot2, RColourBrewer a ggpubr.²² V rámci ggplot2 byly využity geometrie `geom_point`, `geom_smooth`, `geom_abline`, `geom_boxplot`, `geom_jitter`, `geom_density`, `geom_histogram` a `geom_bar`. Pro lepší srozumitelnost grafů jsem hodnoty na osách v případě jejich velkého rozsahu upravil přirozeným logaritmem (v popiscích značeno “ln“).

4.2.3 Statistické analýzy

Veškeré testy byly prováděny rovněž v programu RStudio. Pro zajištění nutných předpokladů hledané kauzality (tj. vztahu mezi změnami teplot a fenologií migrujících sněhulí) jsem ověřil i přítomnost dlouhodobých trendů ve vývoji dále zpracovávaných meteorologických údajů. Užití metody blíže popisuje např. [Pavlík et Dušek 2012](#).

Přítomnost trendu ve vývoji teplot napříč zájmovým obdobím jsem otestoval metodou lineární regrese.

K prověření odlišnosti průměrných teplot mezi obdobími 1962–1992 a 1993–2023 jsem využil dvouvýběrový Welchův t-test.

Trend ve změnách počtu zároveň pozorovaných sněhulí byl prověřen metodou lineární regrese, počet zároveň zaznamenaných ptáků byl s cílem omezit zkreslení vlivem odlehklých hodnot upraven přirozeným logaritmem.

Rozdíly v početnosti zimujících sněhulí během období 1971–1988, 1989–2006 a 2007–2023 jsem prověřil metodou analýzy variance (jednocestná ANOVA).

²² Konkrétní verze a bližší popisy použitých balíčků viz v seznamu literatury.

Závislost načasování přiletu sněhulí na naměřených teplotách byla testována metodou lineární regrese.

Závislost celkového počtu sněhulí pozorovaných v příslušné sezóně a velikosti prvního zaznamenaného hejna sezóny na teplotách jsem otestoval pomocí metody lineární regrese. Počty jedinců byly s cílem omezit zkreslení vlivem odlehlých hodnot upraveny přirozeným logaritmem.

Trendy v počtu sněhulí hlášených z okresů jejich nejčastějšího výskytu jsem otestoval metodou lineární regrese. Počty pozorovaných ptáků byly upraveny přirozeným logaritmem.

4.3 Konečné výstupy

4.3.1 Vývoj teploty v čase

V této části byly sledovány změny tří různých teplotních parametrů za využití všech meteorologických dat dostupných ze zájmového období. Zabýval jsem se tedy kolísáním roční průměrné teploty v Česku, zimní průměrné teploty v Česku a roční průměrné teploty na předpokládaném hnízdišti sněhulí v letech 1962–2023.

Jelikož případný trend nemusí nutně reflektovat přítomnost rozdílů mezi kratšími, do jeho rozsahu spadajícími intervaly, rozhodl jsem se shromážděná meteorologická data spolu s jiným typem vizualizace (density graph) využít k zodpovězení mediálně oblíbené otázky, zda “dříve“ bylo chladněji než “nyní“. Pro tento účel jsem zájmové období rozdělil na dva kratší časové úseky (1962–1992 a 1993–2023) a následně porovnal jejich rozdílnost.

4.3.2 Změny v početnosti pozorovaných sněhulí

S cílem vyhodnotit vývoj početnosti na našem území zimujících sněhulí jsem sledoval velikost jejich hejn jako počet zároveň pozorovaných jedinců, což byla metoda cílící na minimalizaci zkreslení způsobeného opakovaným pozorováním stejných jedinců.

Rovněž jsem se zaměřil na rozložení zpracovaných pozorování napříč léty. V tomto případě nebyly z datasetu vyfiltrovány duplicitní údaje, jelikož cílem této sekce bylo demonstrovat meziroční rozdíly v úsilí vynaloženém při sběru dat.

Zda se celkové počty na našem území pozorovaných sněhulí lišily v různých časových obdobích jsem se pokusil ověřit rozdělením zájmového časového úseku na tři kratší intervaly (1971–1988, 1989–2006 a 2007–2023) a následným hledáním odlišností mezi nimi.

4.3.3 Migrační fenologie sněhulí a její ovlivnění teplotou

Hlavní částí celé práce bylo prověřování vztahů mezi teplotami a načasováním či intenzitou migrace sněhulí na zimoviště. Z faunistických dat byly v tomto kontextu analyzovány tři proměnné: datum prvního pozorování sněhulí na českém území, velikost prvního zaznamenaného hejna a celkový počet jedinců pozorovaných za danou sezónu. Z analýzy byly s cílem vyhnout se zkreslení důsledkem nedostatku záznamů vyloučeny sezóny, ze kterých je hlášeno méně než 5 pozorování. Tyto údaje o výskytu sněhulí byly porovnávány se třemi výše zmiňovanými meteorologickými faktory.

4.3.4 Geografické preference na našem území zimujících sněhulí

Posledním okruhem mého zájmu bylo prostorové rozložení pozorování sněhulí na našem území a jeho změny v čase. Prověřován byl vztah se zeměpisnou šířkou a délkou, k čemuž byl využit kompletní, duplikátů zbavený dataset.

Dále bylo mým cílem vytipovat 8 okresů s nejčtetnějšími záznamy sněhulí napříč celou Českou republikou. Při bližším pohlížení na rozmístění nálezů sněhulí mezi okresy byly brány v potaz dvě různé proměnné: počet unikátních archivovaných záznamů a počty zároveň pozorovaných ptáků, čili velikost zastižených hejn.

Rovněž jsem ověřil meziroční rozdíly v celkových počtech ptáků zaznamenaných v těchto okresech na škále stanoveného zájmového období. Hledán byl trend ve vývoji počtu na území příslušného okresu zimujících sněhulí. Zohledňovány byly všechny záznamy dostupné z protříděného datasetu s místem pozorování situovaným do onoho okresu.

5 VÝSLEDKY

5.1 Vývoj teploty v čase

5.1.1 Roční průměrná teplota na českém území

Střední hodnota roční průměrné teploty na území České republiky vzrostla mezi léty 1962 a 2023 přibližně o 2,8 °C. Stoupající trend vykazuje tento parametr v průběhu celého sledovaného období (fig. 1).

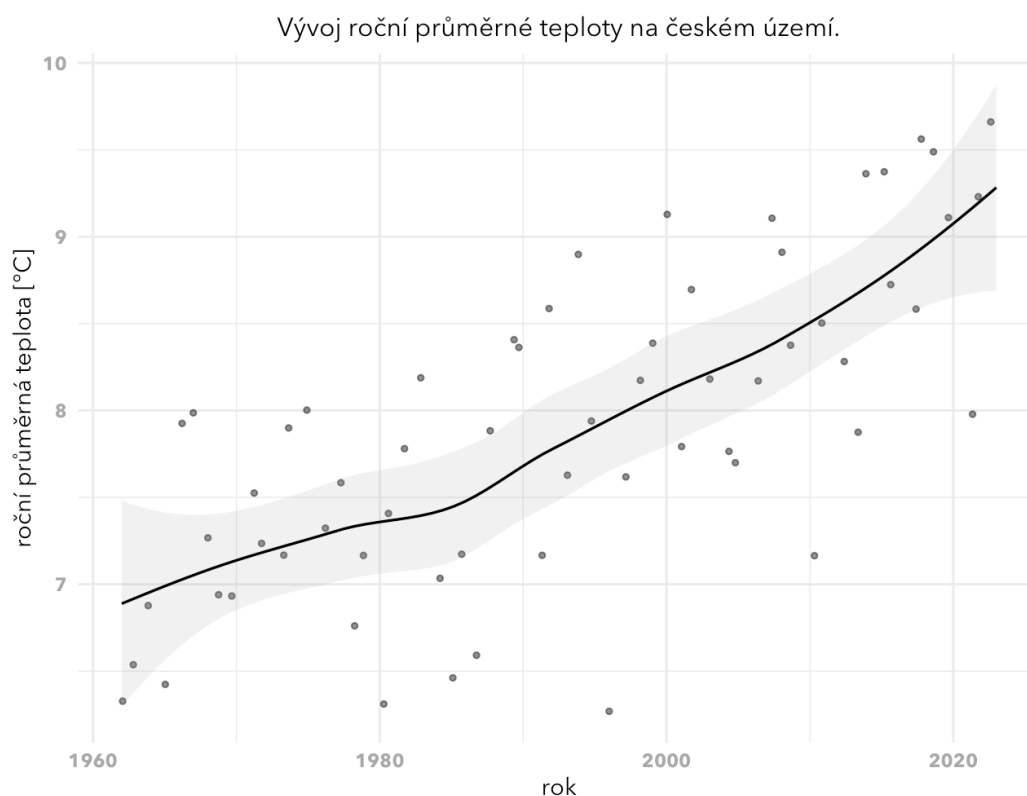


fig. 1: Roční průměrná teplota na českém území vykazuje v rozsahu celého sledovaného období stoupající trend. Hodnoty teploty pro každý rok jsou proloženy nejlépe odpovídající křivkou, šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly.

V užitém lineární modelu (fig. 2) byl prokazatelně doložen obdobný trend, byť ze sledovaných údajů o teplotě nejpomalejší ($p = 2,08e-11$; $n = 62$). Beta-koefficient, ukazující na rychlost růstu závislé veličiny (zde právě teplota), činil v tomto případě 0,0366. Ačkoliv samotná strmost zakreslené křivky může být při porovnávání lineárních grafů níže kvůli odlišným měřítkům zavádějící, srovnání beta-koefficientů zřetelně odhaluje vztah mezi rychlostí růstu jednotlivých teplot.

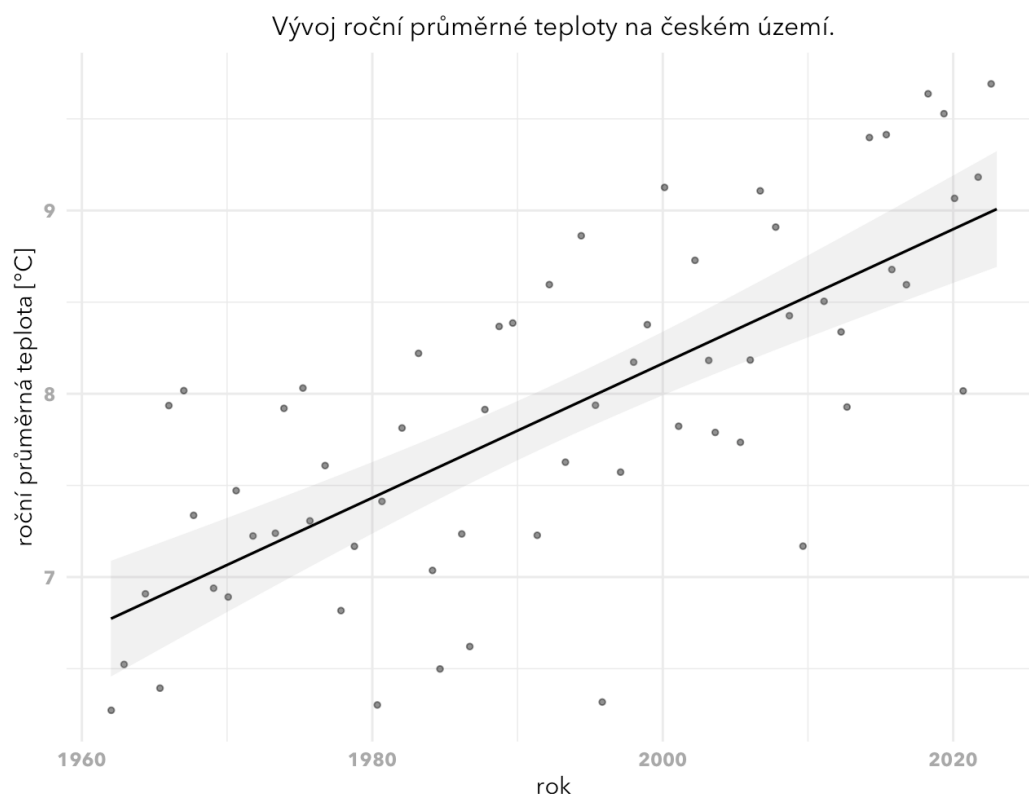


fig. 2: Celoroční průměrná teplota na českém území byla v lineárním modelu nejpomaleji rostoucím ze sledovaných parametrů. Šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly. Lineární regrese; $p = 2,08e-11$; $R^2 = 0,5217$; $\beta = 0,0366$; $n = 62$.

5.1.2 Zimní teplota na českém území

Rovněž střední hodnota průměrné teploty v úhrnu za 3 zimní měsíce (prosinec, leden a únor) na území České republiky vykazovala dlouhodobě vzestupný trend. Za sledované období vzrostla zhruba o 4,3 °C – ze všech tří sledovaných meteorologických parametrů šlo o ten nejrychleji rostoucí. Oproti roční průměrné teplotě na českém území jde o nárůst 1,54krát vyšší. K výraznému vzestupu došlo v letech 1962–1977 a 2010–2023. Naopak mezi roky 1978 a 2009 došlo k výraznému zpomalení až téměř stagnaci jejího růstu (fig. 3).

V lineárním modelu byl vzestupný trend prokazatelně doložen ($p = 5,34e-04$; $n = 62$). Beta-koefficient v tomto případě nabýval hodnoty 0,0453, což je nejvyšší hodnota v rámci všech tří lineárních modelů týkajících se vývoje teplot v čase (fig. 4).

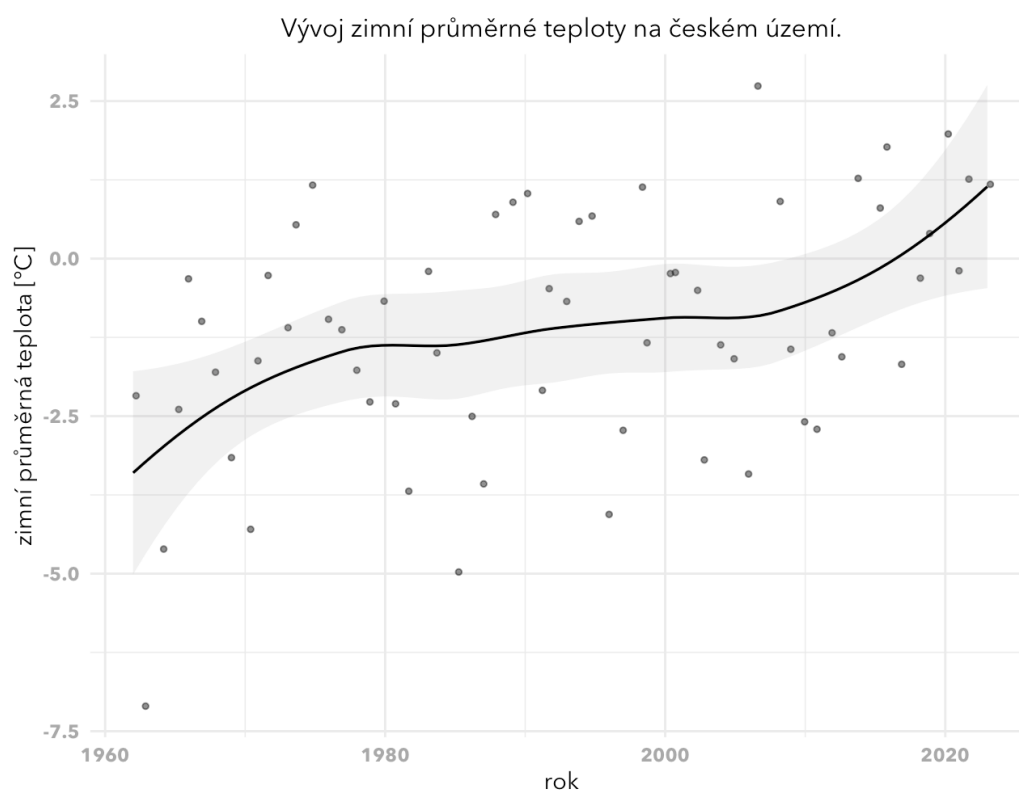


fig. 3: Zimní průměrná teplota na českém území byla nejrychleji rostoucím ze sledovaných parametrů. Hodnoty teploty pro každý rok jsou proloženy nejlépe odpovídající křivkou, šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly.

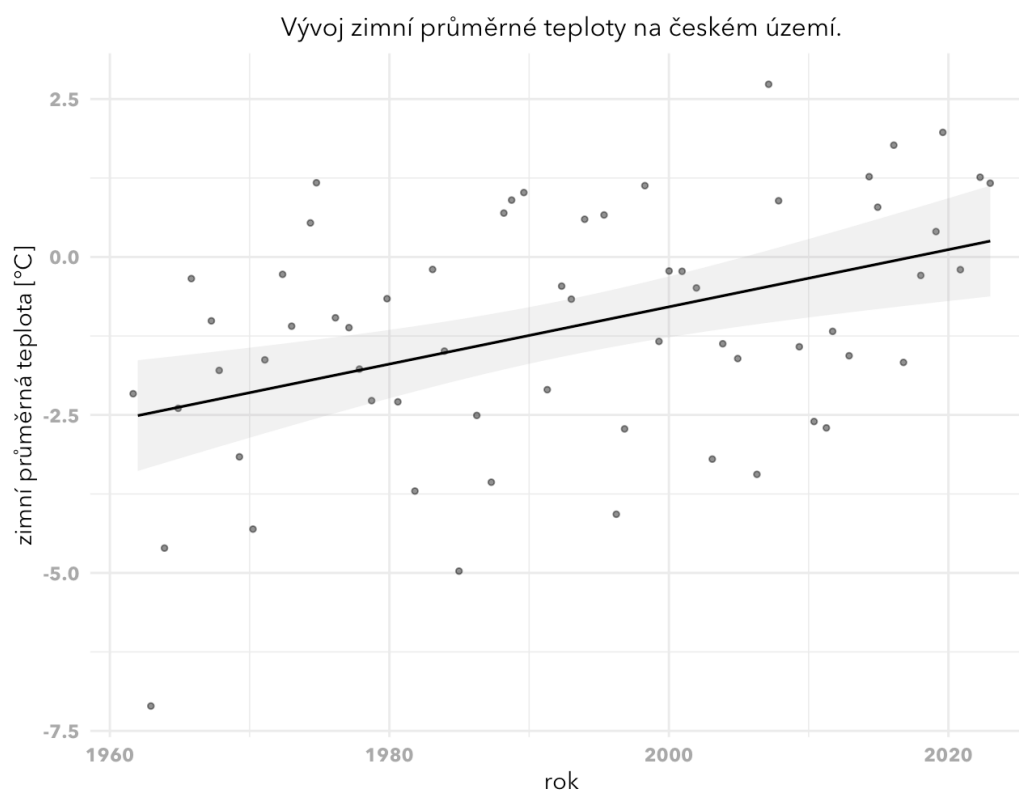


fig. 4: Průměrná teplota během zimních měsíců vykazovala v lineárním modelu nejrychlejší růst ze všech tří sledovaných teplotních parametrů. Šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly. Lineární regrese; $p = 5,34e-04$; $R^2 = 0,1689$; $\beta = 0,0453$; $n = 62$.

5.1.3 Roční průměrná teplota na hnízdišti sněhulí

Také celoroční průměr teplot naměřených na předpokládaném hnízdišti sněhulí vykazoval během sledovaného období vzestupný trend (fig. 5). V letech 1962–2023 vzrostl přibližně o 2,1 °C.

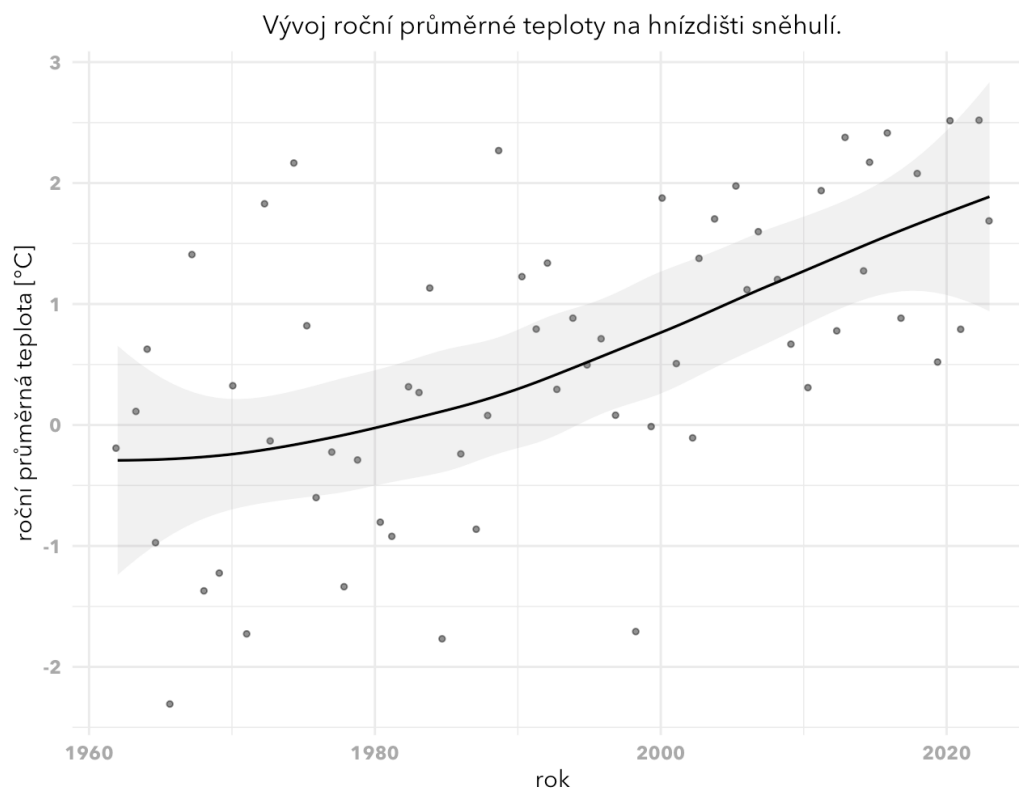


fig. 5: Roční průměrná teplota na hnízdišti sněhulí v letech 1962 – 2023 dlouhodobě rostla. Hodnoty teploty pro každý rok jsou proloženy nejlépe odpovídající křivkou, šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly.

I v tomto případě byla užitím lineárního modelu doložena přítomnost vzestupného trendu v ročních průměrných teplotách na zájmovém území ($p = 6,92e-07$; $n = 62$). Hodnota beta-koefficientu činila 0,0390 (fig. 6).

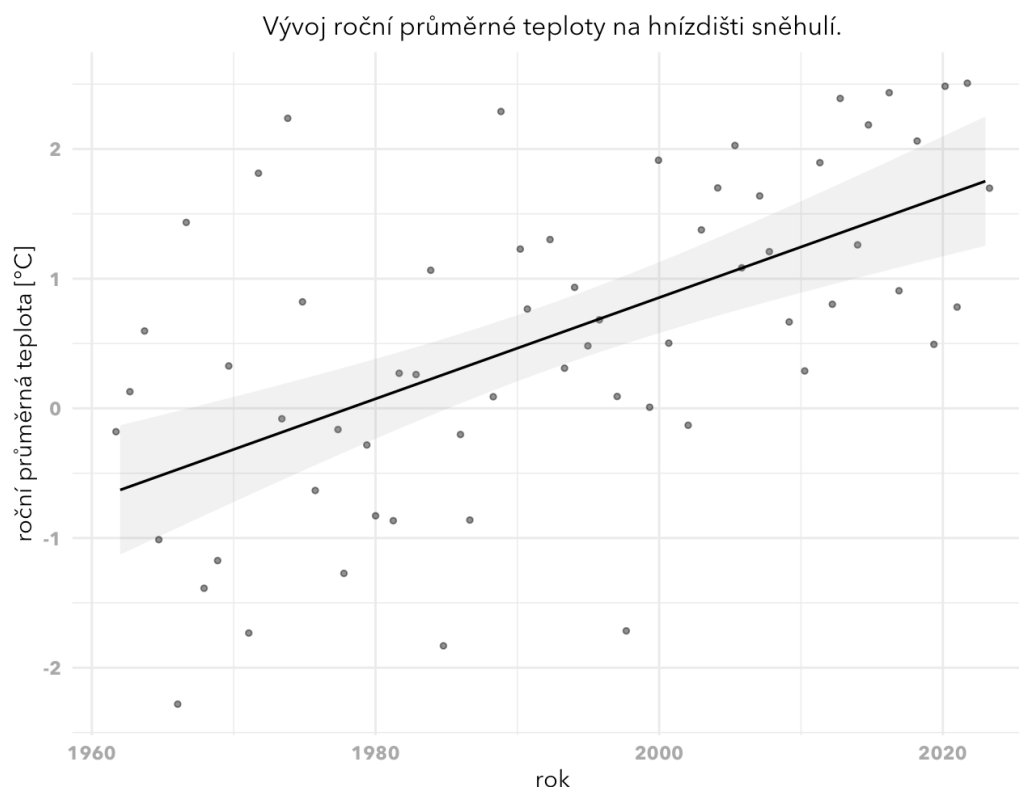


fig. 6: Také roční průměrná teplota na předpokládaném hnízdišti sněhulí vykazovala dlouhodobě vzestupný trend. Pro lepší viditelnost jednotlivých bodů bylo ve vizuálních znázorněních lineárních modelů použito rozdílné měřítko, což může být na první pohled zavádějící. Šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly. Lineární regrese; $p = 6,92e-07$; $R^2 = 0,3279$; $\beta = 0,0390$; $n = 62$.

5.1.4 Rozdíly v teplotách dříve a nyní

U všech tří zájmových teplotních parametrů byl rozdíl průměrných teplot mezi zmíněnými obdobími statisticky významný: $p_1 = 8,841e-08$; $p_2 = 0,01194$; $p_3 = 9,719e-05$ (dvouvýběrový Welchův t-test, $n = 62$). Testovaná odlišnost je graficky znázorněna na fig. 7, fig. 8 a fig. 9.

Zmíněné grafy rovněž dobře ukazují rozdíly ve variabilitě teplot mezi oběma obdobími – v dřívějším z nich bylo v případě teplot na českém území jejich meziroční rozložení zřetelně konzistentnější (fig. 7, fig. 8).

Zastoupení průměrných ročních teplot v Česku během zájmového období.

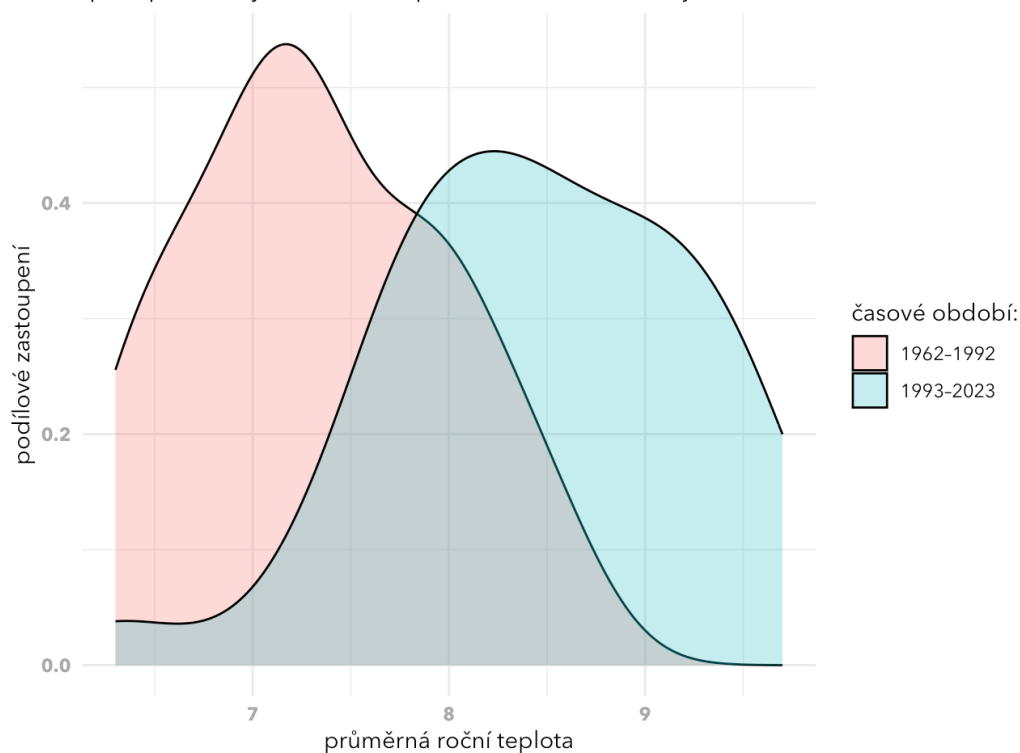


fig. 7: Rozdílná distribuce průměrných ročních teplot na českém území mezi testovanými obdobími nabývá statistické významnosti (dvouvýběrový Welchův t-test; $p = 8,841e-08$; $n = 62$).

Zastoupení průměrných zimních teplot v Česku během zájmového období.

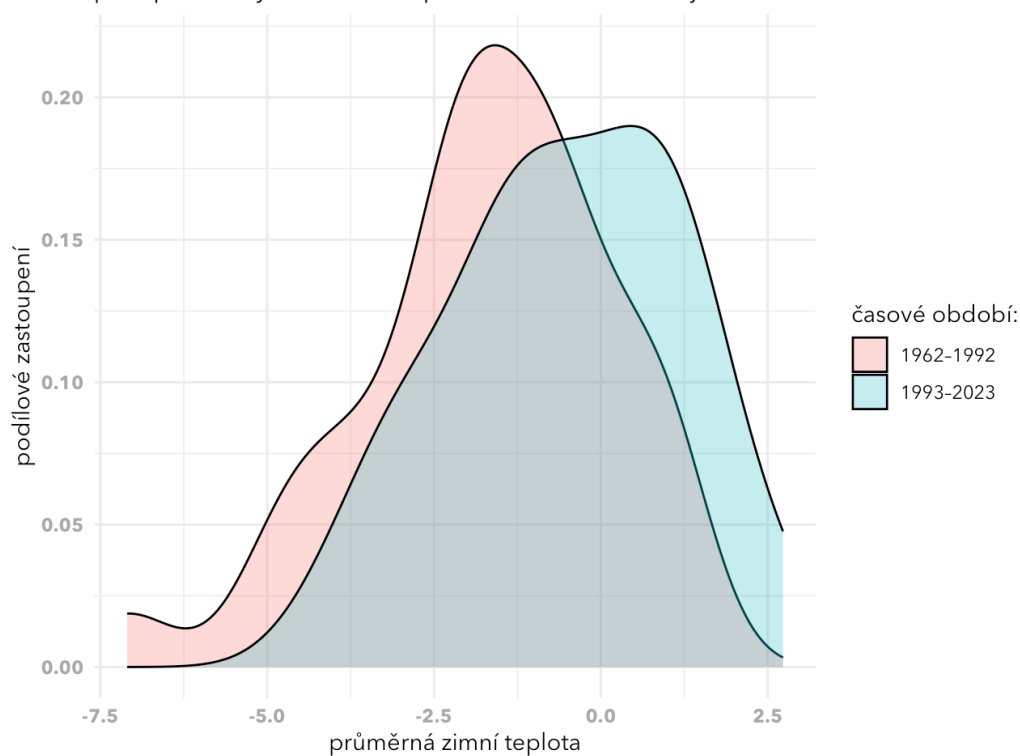


fig. 8: Průměrné teploty během zimních měsíců jsou mezi dvěma testovanými obdobími prokazatelně odlišné (dvouvýběrový Welchův t-test; $p = 0,01194$; $n = 62$). Zřejmá je také užší variabilita teplot v dřívějším období (špičatější červený peak).

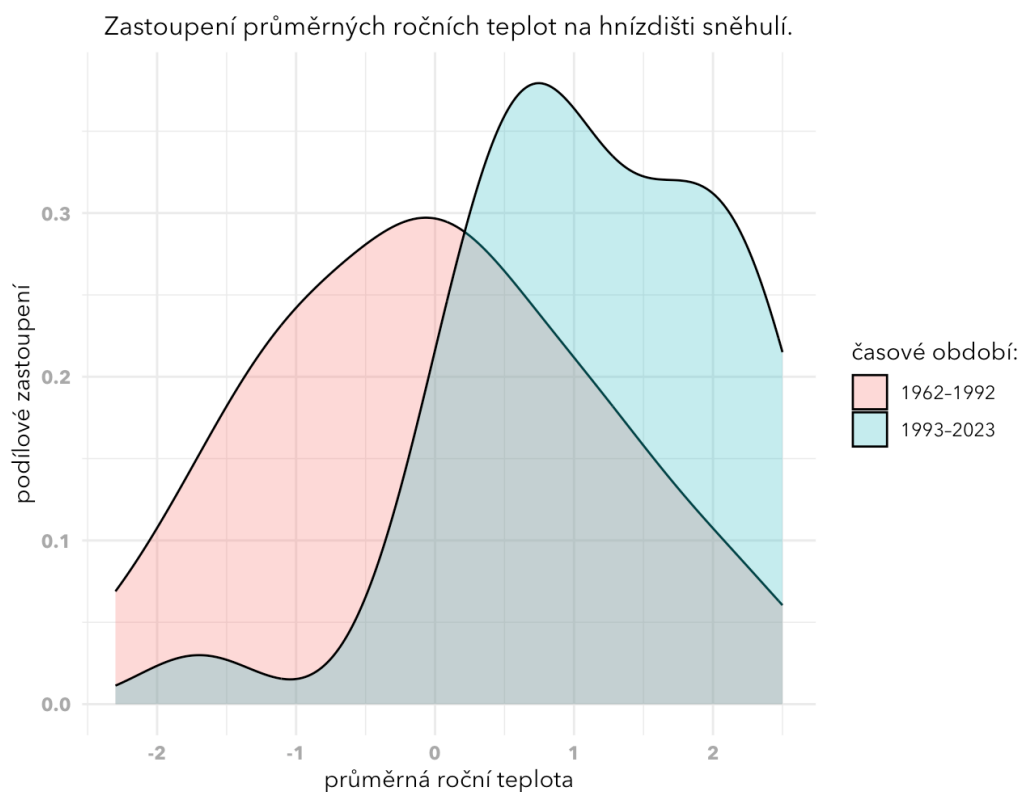


fig. 9: Rovněž rozdíl v rozložení průměrných teplot na hnízdišti sněhulí mezi dvěma zájmovými obdobími lze považovat za statisticky významný (dvouvýběrový Welchův t-test; $p = 9,719e-05$; $n = 62$).

5.2 Změny v početnosti pozorovaných sněhulí

5.2.1 Velikost pozorovaných hejn v čase

Střední hodnota velikosti pozorovaných hejn klesala během většiny zájmového období, nejrychleji pak v letech 1956–1990, od roku 1990 do současnosti kolísá kolem podobných hodnot. Body reprezentující jednotlivá zastižená hejna jsou v grafu (fig. 10) barevně odlišeny podle kraje, na jehož území bylo pozorování učiněno.

Průkazný pokles ve velikosti pozorovaných hejn na rozsahu celého zájmového období potvrdilo také použití lineárního modelu (fig. 11; $p = <2e-16$; $n = 1021$).

Počty najednou pozorovaných sněhulí ve sledovaném období.

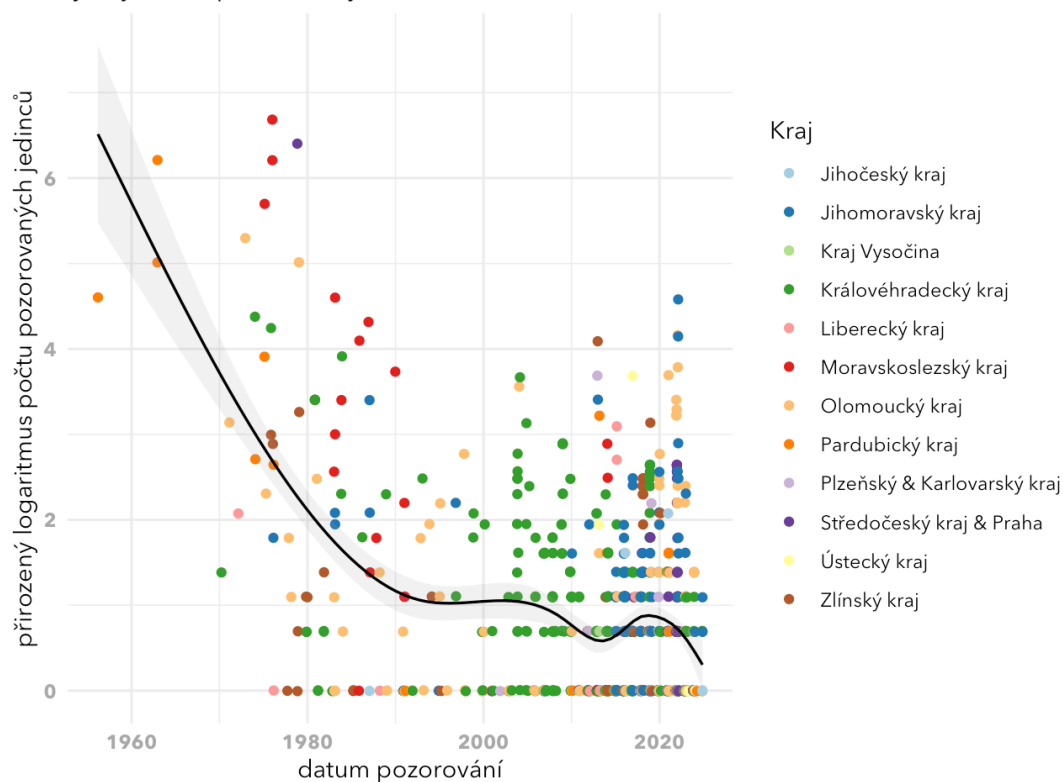


fig. 10: Velikost hejn zimujících sněhulí pozorovaných během zájmového období. Barva bodů naznačuje zeměpisné rozmístění pozorování napříč kraji, šedě jsou znázorněny 95% konfidenční intervaly.

Velikost hejn sněhulí pozorovaných v daném roce.

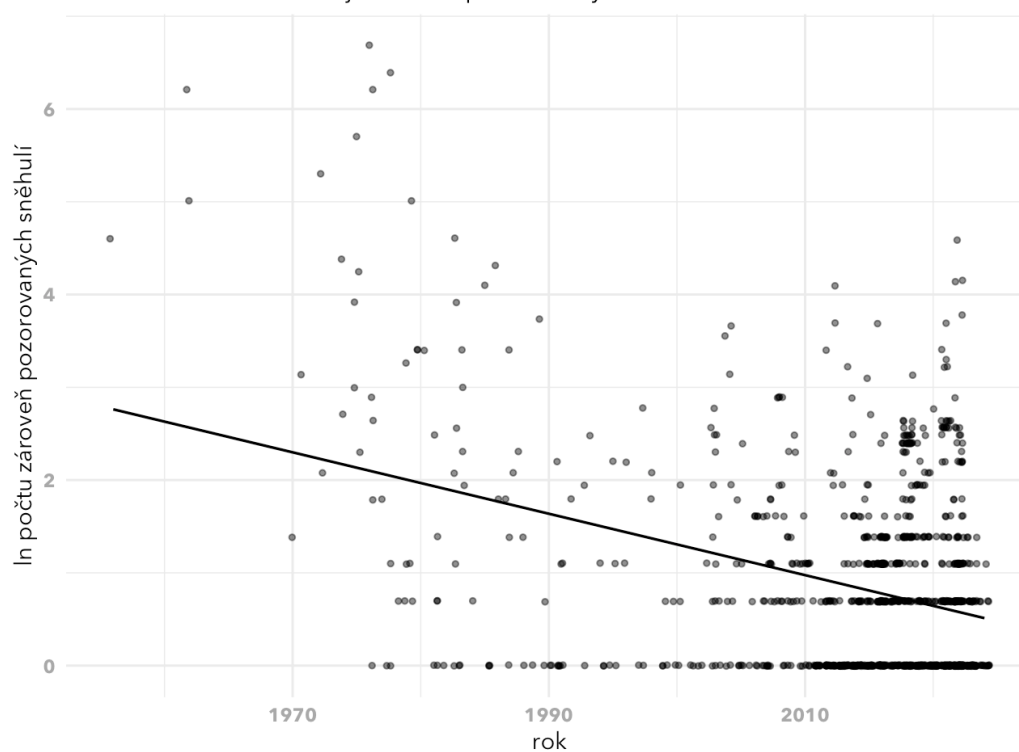


fig. 11: Mezi roky 1962 a 2023 počet zároveň zaznamenaných sněhulí prokazatelně klesal. Lineární regrese; $p = <2e-16$; $R^2 = 0,12$; $n = 1021$.

5.2.2 Počty evidovaných záznamů během období zájmu

Počty jednotlivých pozorování zapisovaných do databází mezi roky 1956 a 2023 stoupaly, prudký vzestup nastal po roce 2000. Vrcholu dosáhl počet evidovaných záznamů sněhulí roku 2022 (fig. 12). Tato skutečnost poukazuje na nerovnoměrné rozložení úsilí vynaloženého při sběru dat napříč zájmovým obdobím.

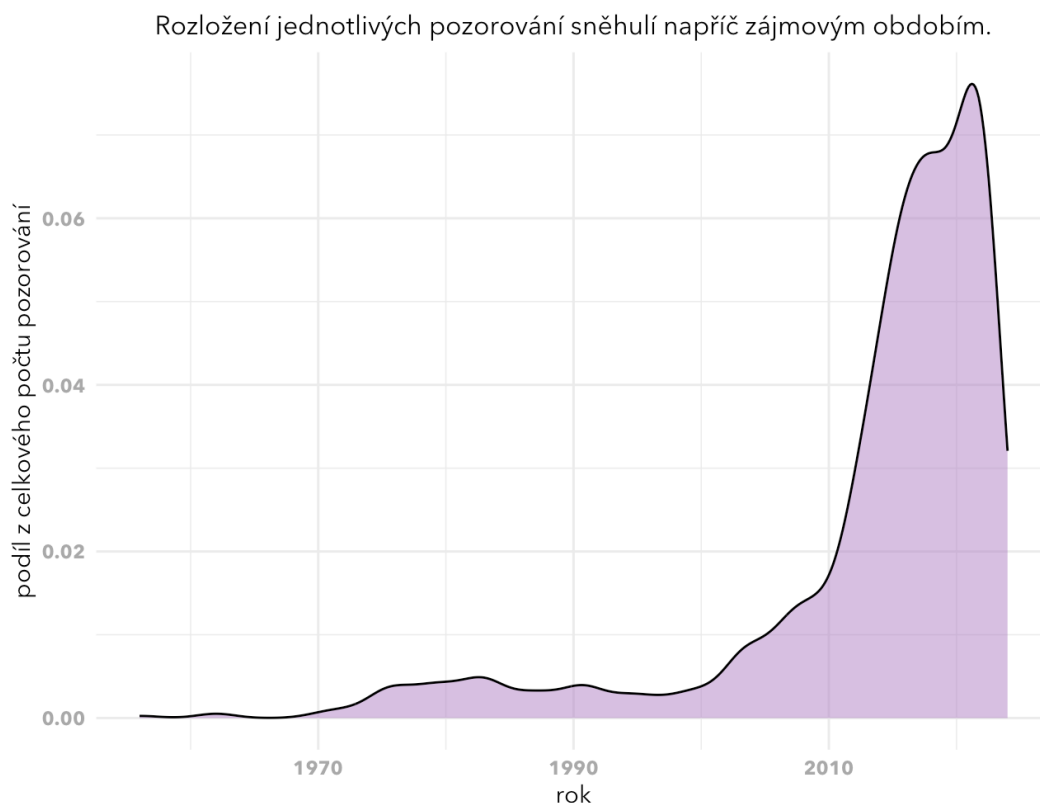


fig. 12: Počet pozorování sněhulí evidovaných v jednotlivých letech s postupem času stoupal. Prudký nárůst počtu záznamů na kalendářní rok nastal po roce 2000.

5.2.3 Absolutní počet sněhulí zastižených v průběhu roku

Rozdíly v absolutních počtech ptáků zaznamenaných v příslušném roce nebyly mezi třemi posuzovanými obdobími (1971–1988, 1989–2006 a 2007–2023) signifikantní (ANOVA; $p = 0,0773$; grafické znázornění viz na fig. 13).

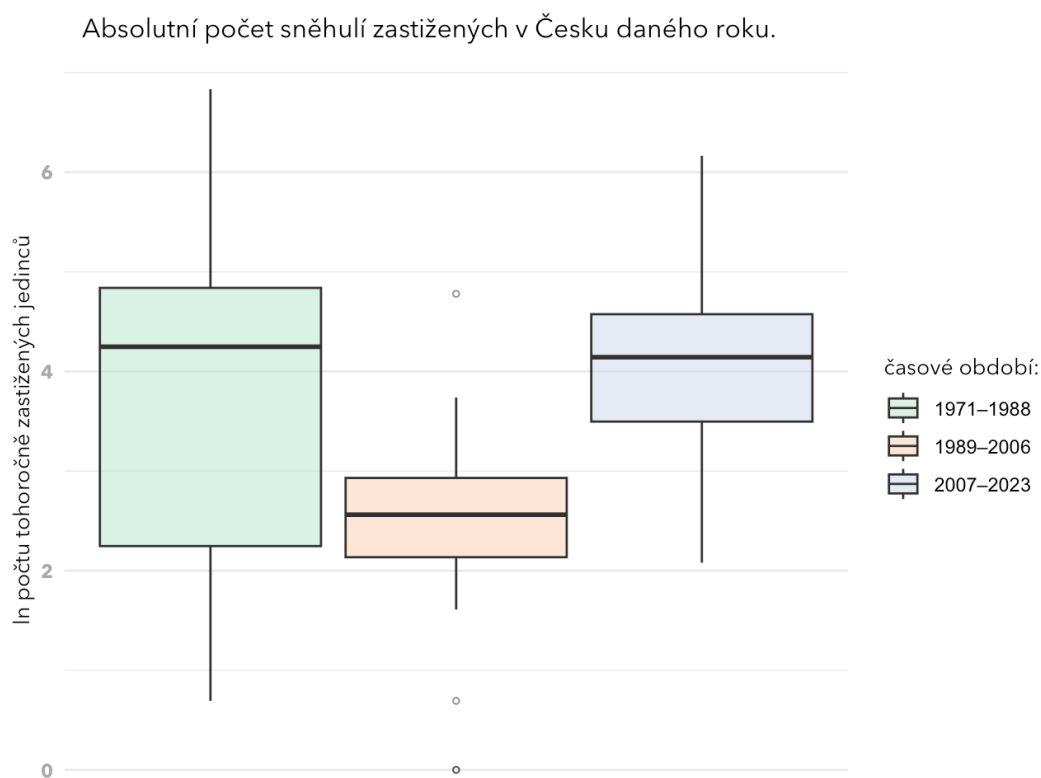


fig. 13: Rozdíly v celkovém počtu sněhulí pozorovaných během příslušného roku nenabývají mezi třemi vymezenými obdobími statistické významnosti. Tlustá černá čára značí medián, box vymezuje hranice 25. a 75. percentilu, body znázorňují odlehlé hodnoty. ANOVA, $p = 0,0773$; $n = 53$.

5.3 Migrační fenologie sněhulí a její ovlivnění teplotou

Prověřován byl vztah tří různých proměnných popisujících načasování a intenzitu migrace sněhulí se šesti teplotními parametry (tab. 1). Statisticky signifikantní korelace s roční průměrnou teplotou na hnízdišti i zimovišti byla potvrzena v případě velikosti prvního pozorovaného hejna. Prokazatelnou roli hrály teploty v obou letech spadajících do dané sezóny.

	absolutní počet sněhulí zastižených za celou sezónu	datum prvního pozorování sněhulí v dané sezóně	počet ptáků v prvním zastiženém hejnu
průměrná teplota v Česku předcházejícího roku	0,577	0,154	1,014e-03
průměrná teplota v Česku nadcházejícího roku	0,803	0,024	1,215e-03
průměrná teplota v Česku během předcházející zimy	0,415	0,940	0,655
průměrná teplota v Česku během příslušné zimy	0,765	0,428	0,417
průměrná teplota na hnízdišti předcházejícího roku	0,838	0,098	3,330e-04
průměrná teplota na hnízdišti nadcházejícího roku	0,763	0,102	8,890e-05

tab. 1: Přehled p-hodnot vyplývajících z lineárních modelů popisujících vztahy mezi danými teplotními parametry a daty o výskytu sněhulí. Hodnoty přesahující hranici statistické významnosti jsou vyznačeny světle zeleně.

Rovněž datum prvního záznamu sněhulí v dané sezóně vykazovalo statisticky významnou korelaci s roční průměrnou teplotou na zimovišti, ovšem pouze tou naměřenou během roku, do nějž spadal leden příslušné zimy.

Naopak vztah celkového počtu jedinců hlášených z dané sezóny se, se žádnou z prověřovaných teplot, najít nepodařilo. Průměrná zimní teplota rovněž na fenologii sněhulí neměla ani v jednom z prověřovaných případů prokazatelný vliv.

5.3.1 Načasování prvního přiletu

Rozložení prvních záznamů sněhulí na našem území v jednotlivých letech vykazovalo statisticky významný vztah pouze s roční průměrnou teplotou v Česku za rok následující dané sezóně ($p = 0,0238$; fig. 14). Na podzim následovaný chladnějším rokem přilétávaly sněhule na zimoviště později. To je v souladu se stanovenou hypotézou, že načasování podzimní migrace sněhulí koreluje s měnícími se teplotami na zimovišti. Naopak vztah se zimními teplotami ani průměrnými ročními teplotami na hnízdišti nebyl doložen. Druhou hypotézu se tedy v tomto kontextu podařilo vyvrátit.

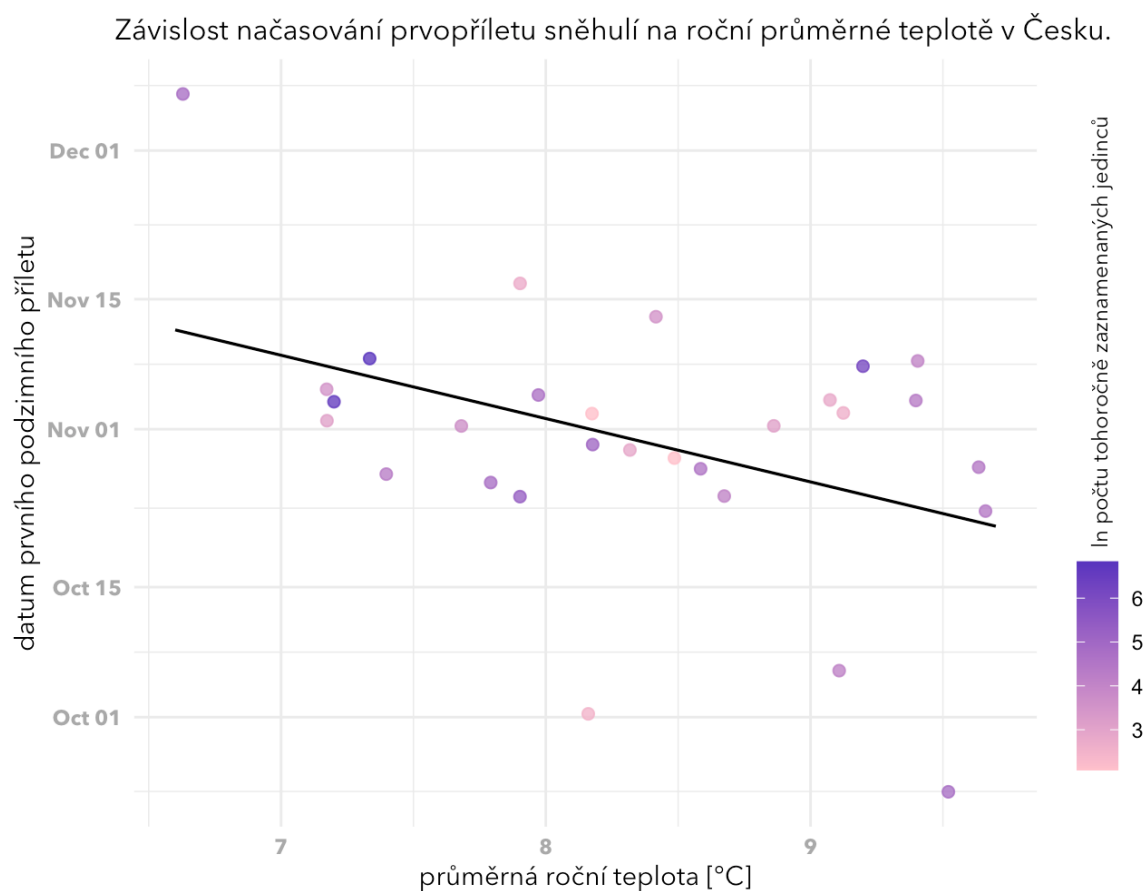


fig. 14: Načasování prvopřiletu sněhulí na česká zimoviště průkazně koreluje s teplotami v následujícím kalendářním roce. Barevná škála znázorňuje absolutní počet jedinců tohoročně zastižených na našem území. Lineární regrese; $p = 0,0238$; $R^2 = 0,1446$; $n = 29$.

5.3.2 Velikost prvního zastiženého hejna

Počet jedinců zároveň pozorovaných při prvním zjištění sněhulí na našem území v příslušné sezóně průkazně koreloval s roční průměrnou teplotou na zimovišti i na hnízdišti. Statistické významnosti dosáhla v obou případech jak korelace s teplotou naměřenou v roce, do nějž spadl prosinec dané sezóny, tak s hodnotou změřenou v roce následujícím. Vyšší teplota vždy vedla ke přiletu hejna o menším počtu jedinců (fig. 15–fig. 18).

Jako faktor nejsilněji svázaný s početností ptáků v prvním zastiženém hejnu se jeví průměrná roční teplota na jejich hnízdišti během následujícího kalendářního roku ($p = 8,89e-05$). Naopak se zimními teplotami nebyl nalezen žádný průkazný vztah.

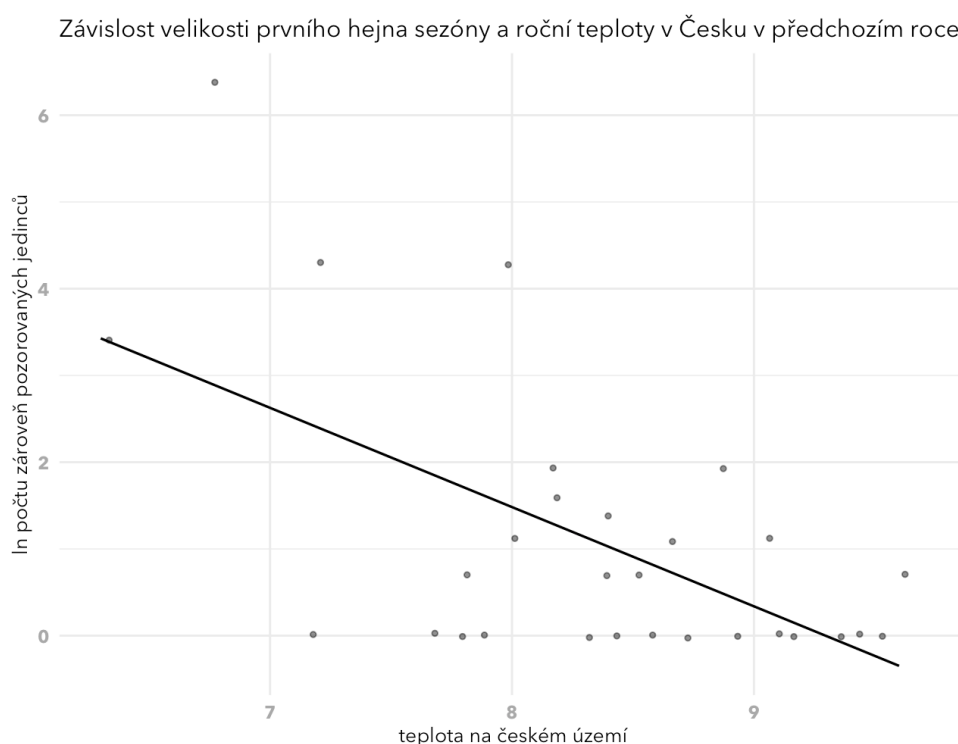


fig. 15: Početnost prvního zaznamenaného hejna sezóny průkazně koreluje s průměrnou teplotou v roce, do nějž spadá její první polovina. Lineární regrese; $p = 1,014e-03$; $R^2 = 0,3099$; $n = 29$.

Závislost velikosti prvního hejna sezóny a roční teploty v Česku následujícího roku.

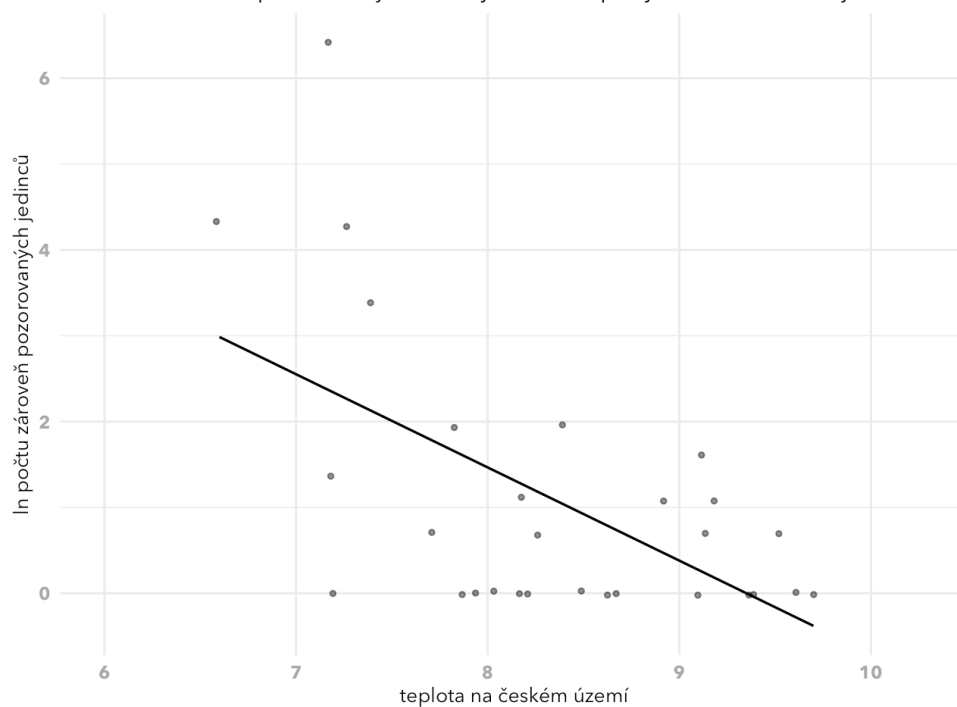


fig. 16: Velikost skupiny, v níž dorazí sněhule na česká zimovistě, průkazně koreluje s průměrnou teplotou v roce, který bude po jejich přiletu teprve následovat a spadá do něj leden příslušné sezóny. Lineární regrese; $p = 1,215e-03$; $R^2 = 0,3011$; $n = 29$.

Závislost velikosti prvního hejna sezóny a teploty na hnízdišti v předchozím roce.

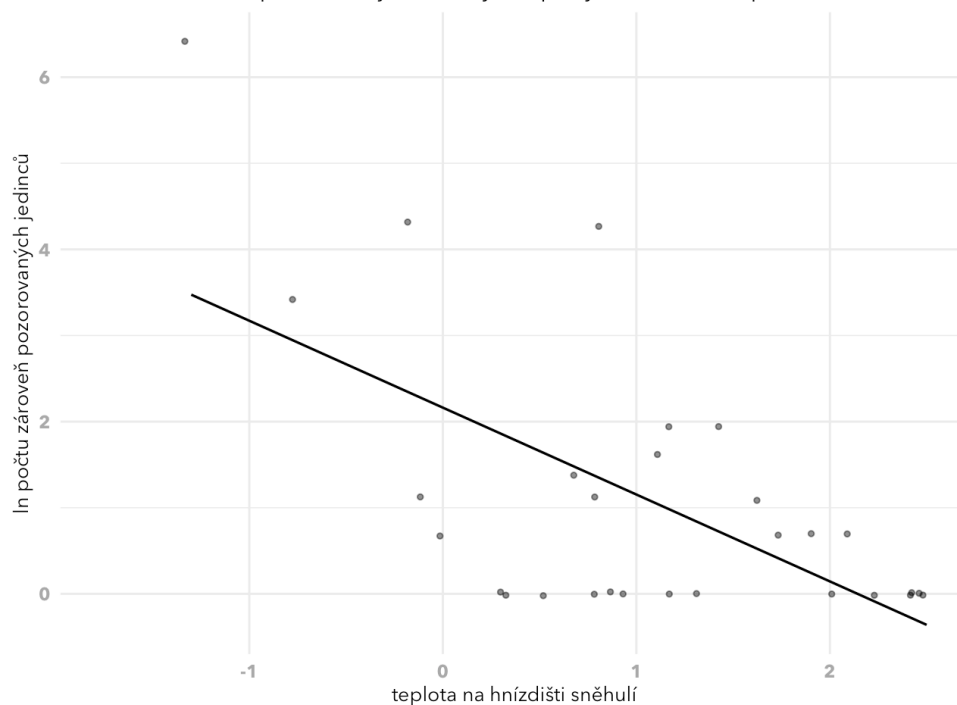


fig. 17: Početnost prvního hejna sněhulí zaznamenaného v příslušné sezóně na úrovni statistické významnosti koreluje s průměrnou teplotou na jejich hnízdišti za rok, do kterého patří první část oné sezóny. Lineární regrese; $p = 3,33e-04$; $R^2 = 0,3618$; $n = 29$.

Závislost velikosti prvního zastiženého hejna sezóny a teploty na hnízdišti.

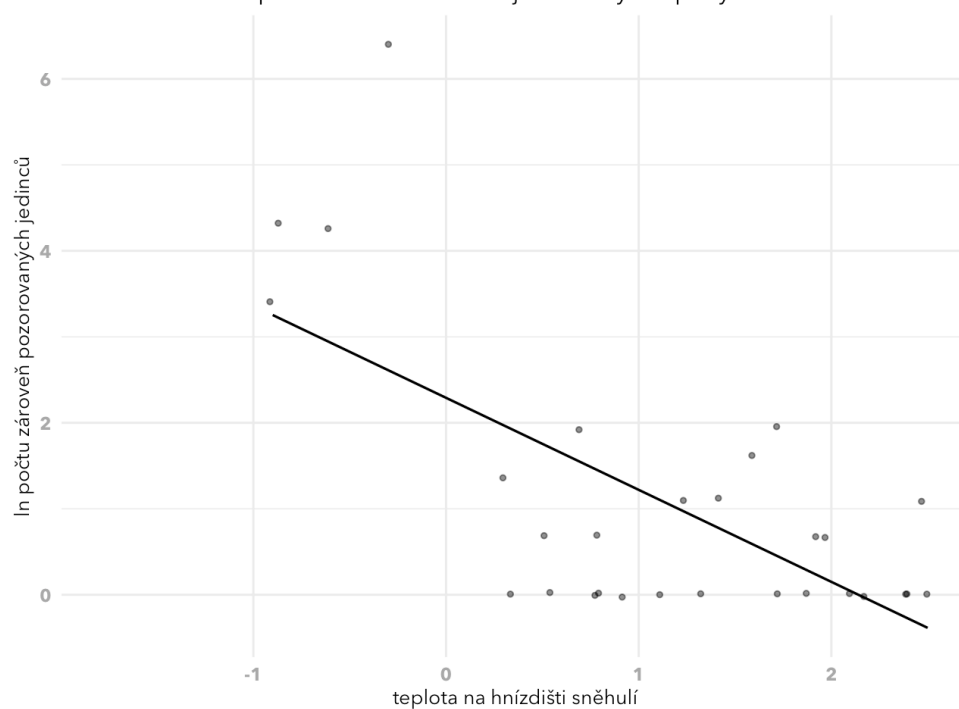


fig. 18: Velikost prvního, na našem území během podzimu zastiženého, hejna sněhulí vykazuje korelaci s celoroční průměrnou teplotou na jejich hnízdišti v roce, do nějž spadá leden příslušné zimy. Lineární regrese; $p = 8,89e-05$; $R^2 = 0,4188$; $n = 29$.

5.4 Geografické preference v Česku zimujících sněhulí

5.4.1 Rozložení dle zeměpisných souřadnic

Jednotlivá pozorování byla co se zeměpisné šířky týče rozdělena relativně rovnoměrně (fig. 19/A), zeměpisná délka paradoxně vykazovala nižší variabilitu s těžištěm ležícím ve východních Čechách (B). Střední hodnota zeměpisné šířky se nacházela téměř přesně uprostřed škály.

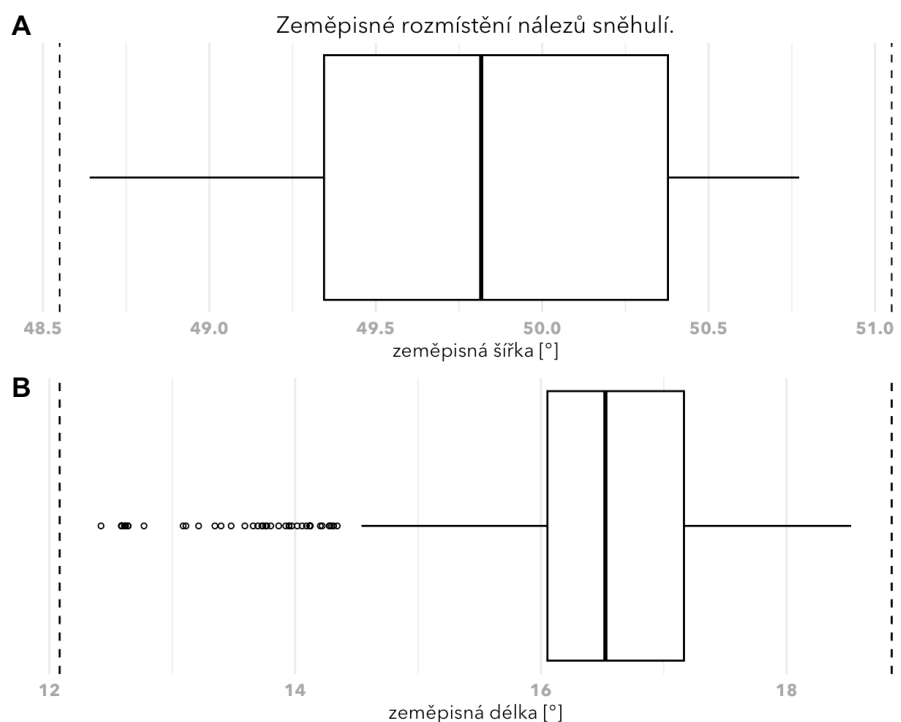


fig. 19: Rozmístění pozorování sněhulí na škále zeměpisných souřadnic. Zeměpisná délka vykazuje znatelně nižší variabilitu než z. šířka. Tlustá čára znázorňuje medián, box vymezuje hranice 25. a 75. percentilu, body značí odlehlé hodnoty. Čárkované linie naznačují hranice České republiky. n = 1021.

5.4.2 Sněhulemi nejvíce navštěvované okresy

Co do počtu unikátních záznamů jednoznačně dominoval okres Náchod s tradiční lokalitou v. n. Rozkoš (326 pozorování). Následoval okres Břeclav (v. d. Nové Mlýny; 146 záznamů) a Nymburk (74 záznamů). Dalšími z osmi okresů s největším počtem vstupů v databázích byly Prostějov, Kroměříž, Přerov, Olomouc a Vyškov (fig. 20). V těchto osmi okresech bylo učiněno 807 unikátních záznamů z celkového počtu 1021, což činí 79 %.

Medián z počtu zároveň pozorovaných jedinců dosáhl nejvyšší hodnoty v okrese Kroměříž (3). Vůbec největší hejno sněhulí bylo v tomto osmičlenném výběru zaznamenáno na území okresu Olomouc (200; fig. 21).

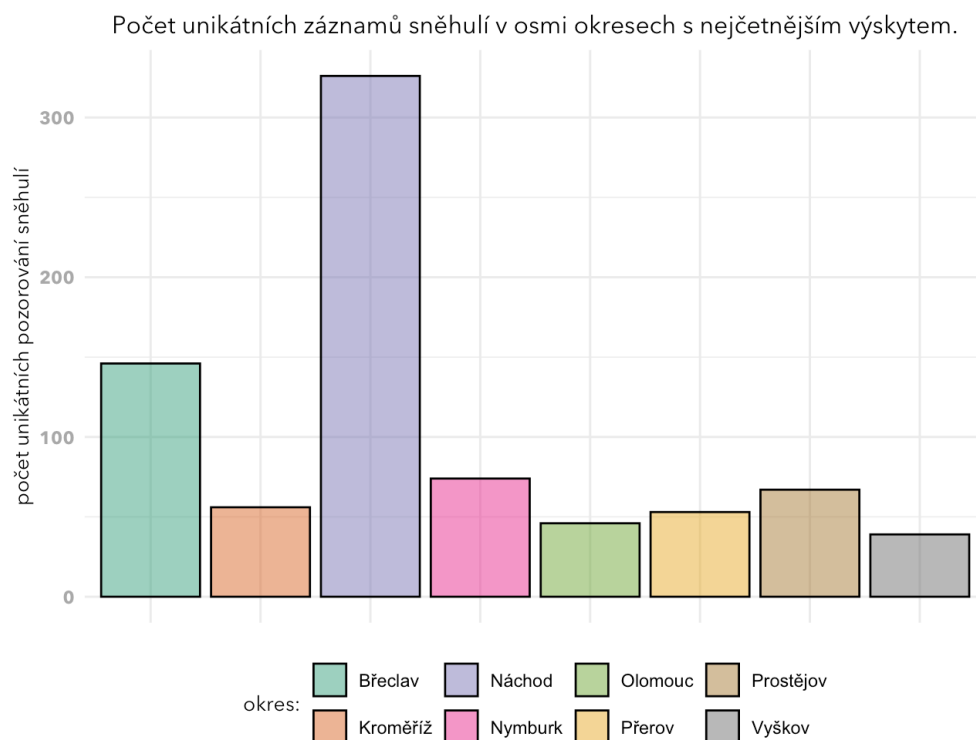


fig. 20: Okresy s největším počtem jedinečných záznamů sněhulí napříč Českou republikou. Největší popularitě se mezi pozorovateli i sněhulemi těší okres Náchod. $n = 807$.

Velikost zastižených hejn sněhulí v osmi okresech s největším počtem záznamů.

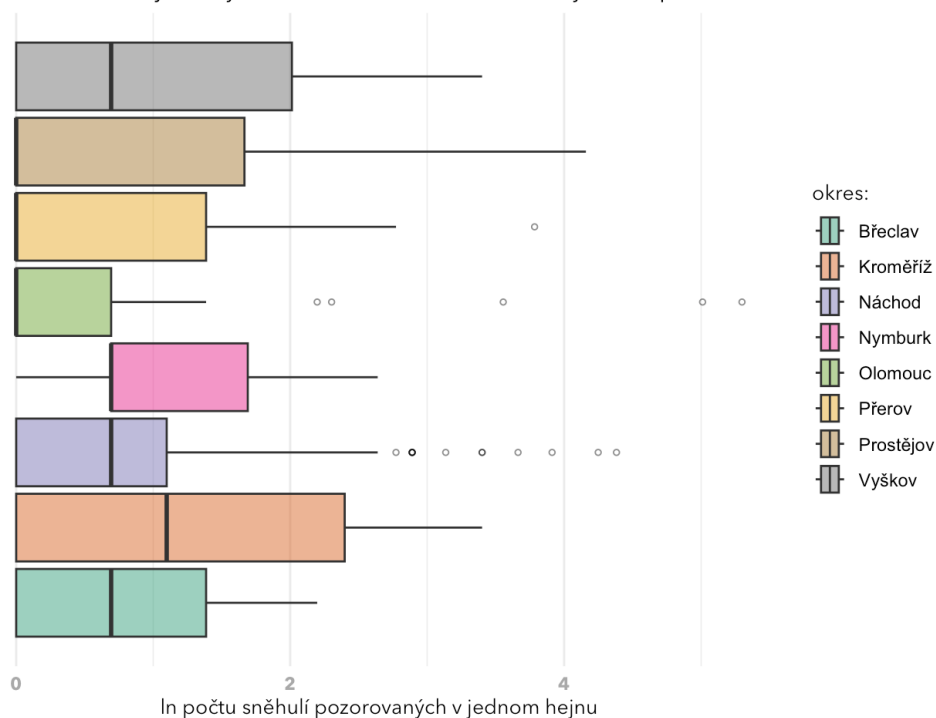


fig. 21: Střední hodnota početnosti zastižených hejn sněhulí nabývala největší hodnoty v okrese Kroměříž. Tlustá černá čára znázorňuje medián, box vymezuje hranice 25. a 75. percentilu, body značí odlehlé hodnoty. $n = 807$.

5.4.3 Změny početností sněhulí pozorovaných v daných okresech

Co se vývoje počtů unikátních záznamů týče, je v případě většiny okresů zřejmý jejich prudký vzestup po roce 2015. Přibližně rovnoměrné rozložení počtů jedinečných záznamů vykazuje v rozsahu celého sledovaného období jen okres Přerov (fig. 22).

Počty záznamů z osmi okresů s nejčastějším výskytem sněhulí v letech 1970–2023.

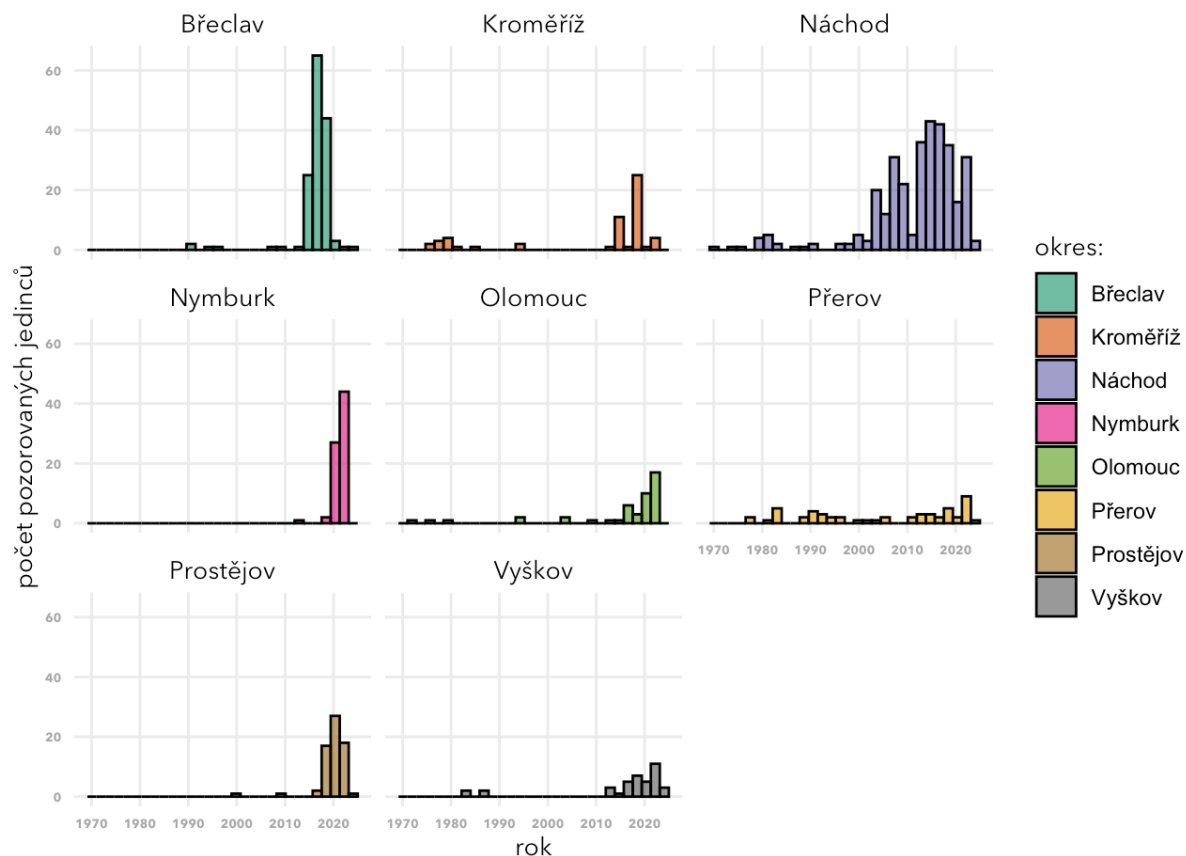


fig. 22: Počty unikátních evidovaných záznamů sněhulí jsou v letech 1970 – 2023 na většině z osmi zájmových okresů značně nekonzistentní. Jejich rovnoměrnému rozložení se nejvíce blíží okres Přerov. $n = 807$.

Vývoj početnosti zároveň pozorovaných jedinců, čili velikosti zaznamenaných hejn, nevykazoval ve většině okresů statisticky významný trend (fig. 23). Pouze v okresech Náchod, Olomouc a Vyškov byl zjištěn signifikantní pokles ($p_1 = 7,67 \text{ e-}11$, $p_2 = 2,19\text{e-}10$, $p_3 = 3,39\text{e-}3$).

Počty sněhulí hlášené z osmi okresů s jejich nejčastějším výskytem.

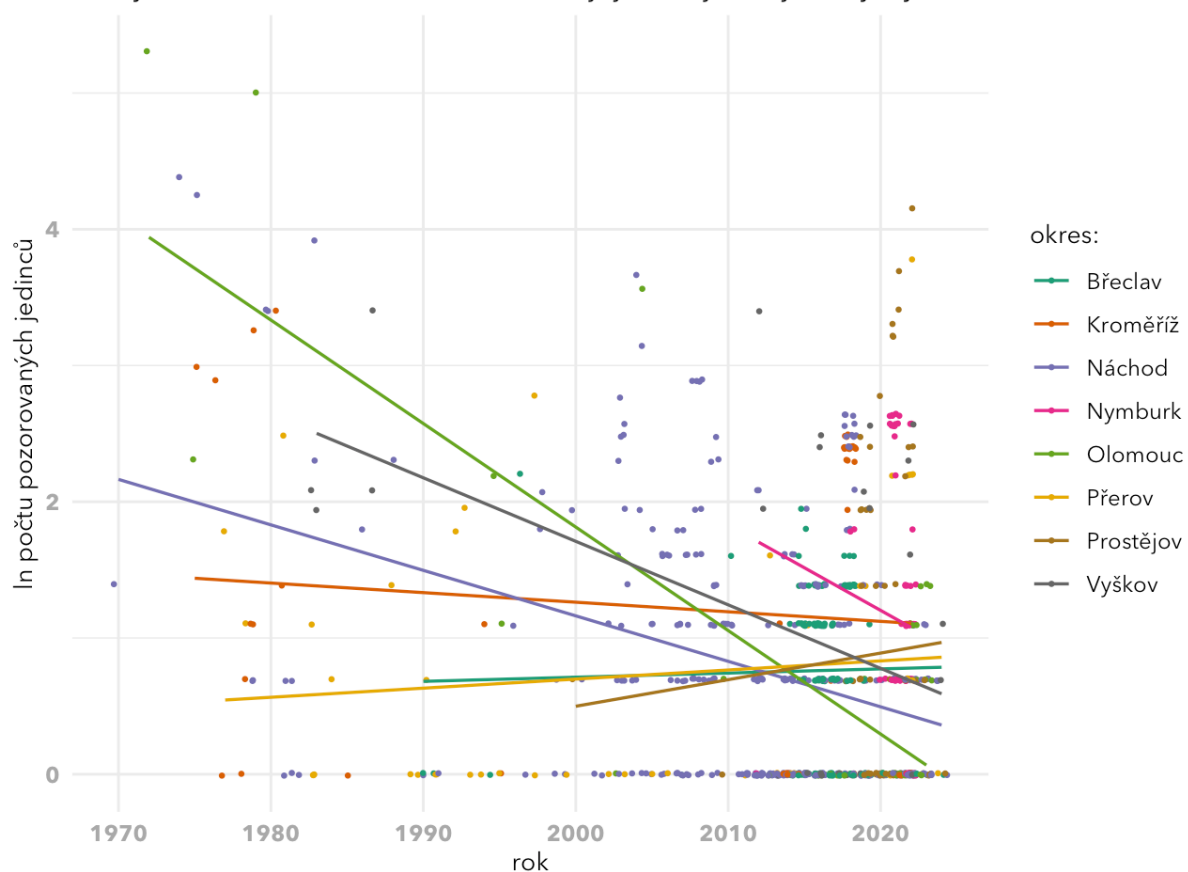


fig. 23: Na většině okresů s největším počtem zastižených sněhulí nebyl v letech 1970–2023 prokázán trend ve vývoji velikosti pozorovaných hejn. Pouze v okresech Náchod ($p = 7,67e-11$; $R^2 = 0,1203$; $n = 325$), Olomouc ($p = 2,19e-10$; $R^2 = 0,5946$; $n = 46$) a Vyškov ($p = 3,39e-3$; $R^2 = 0,1881$; $n = 39$) byl doložen statisticky významný pokles. Lineární regrese.

6 DISKUSE

6.1 Vývoj teploty v čase

6.1.1 Trendy ve vývoji sledovaných teplot

Růst průměrných teplot, který se mi ve všech případech podařilo doložit, je v souladu s mnohými publikacemi tohoto zaměření, přičemž jej obvykle, stejně jako převažující proud současné vědy, ve své interpretaci považují za následek probíhající, člověkem akcelerované klimatické změny.

Práce zaměřená na vývoj teplot v letech 1950–2007 ([Van Oldenborgh et al. 2009](#)) popisuje na našem území nárůst ročních teplot o 1–2,5 °C, což jsou hodnoty blízké mnou zjištěným 2,8 °C. Drobný rozdíl je pravděpodobně způsoben posunem zájmového období, které v mém případě začínalo i končilo později (1962–2023), pokrývající tak dobu více ovlivněnou eskalující klimatickou změnou. Výsledky stejné studie souhlasí i se zjištěným trendem v teplotách na hnízdišti sněhulí. Podobné přírůstky popisují i další nezávislé studie (např. [Twardosz et al. 2020](#)). Mnou zjištěný přírůstek v průměrné zimní teplotě o 1–2 °C převyšoval hodnoty uváděné zmíněnou literaturou pro území střední Evropy – možným vysvětlením jsou odlišné lokální podmínky, panující na území Česka.

Domonkos a Piotrowicz ve své práci ([Domonkos et Piotrowicz 1998](#)) na škále celého dvacátého století popisují strmější trend ve vzrůstu zimních teplot oproti teplotám ročním, což souhlasí s mým zjištěním. Zimní teplota v jejich případě na škále celé severní polokoule vzrostla dvojnásobně oproti té celoroční, což znamená větší rozdíl než mnou vypočtených 54 % – důvodem může být zahrnutí rozsáhlých polárních oblastí, v nichž je absolutní a obzvláště zimní nárůst markantnější než v mírném pásu ([Rantanen et al. 2022](#)). Jiné práce avšak tuto odlišnost mezi ročními obdobími nepotvrdily ([Van Oldenborgh et al. 2009](#)).

Komplexní studie založená na datech z českého území ([Zahradníček et al. 2021](#)) označuje prosinec a leden jako jedny z měsíců, během nichž je vzestup teplot za posledních 59 let nejmarkantnější. Naopak únorové teploty ve sledovaném období vzrostly oproti ostatním měsícům jen málo – konečné výsledky tak sice poukazují na rychlejší oteplování v průběhu zimních měsíců, rozdíl oproti ročnímu nárůstu nicméně nebyl nikterak výrazný. Jelikož autoři pracovali s denními teplotami a použili pokročilejší statistické metody, jejich výsledky, ač v souladu s těmi mími, nabízejí přesnější pohled na diskutovanou problematiku.

V mém modelu (proložení jedinou křivkou) byl růst zimní teploty oproti vývoji teploty roční napříč sledovaným obdobími méně konzistentní (fig. 1 v porovnání s fig. 3). Ačkoliv někteří autoři pracující s českými daty došli ke stejným závěrům ([Brázdil et al. 2012](#)), jiní ([Anders](#)

et al. 2014) naopak, byť v rámci celé Evropy, uvádějí stabilnější trend v případě teplot zimních. Pro jednoznačné prověření těchto trendů by bylo nutné provést výrazně zevrubnější statistickou analýzu.

Jeden z překvapivě málo četných česky psaných zdrojů (Matějka 2013) popisuje rychlejší nárůst ročních teplot po roce 1980, což souhlasí s mojí vizualizací na fig. 1. Naopak roční teploty do r. 1980 tento zdroj uvádí jako “více-méně setrvalé“, čemuž můj graf (i přes použití stejného zdroje meteorologických dat) odporuje. Zda lze teploty v tomto období nazývat “setrvalými“ by bylo třeba otestovat vhodnou statistickou analýzou (lineární regrese).

Autoři výše zmíněné studie (Twardosz et al. 2020) zároveň uvádějí severozápadní výběžek Ruska jako jednu z nejrychleji se oteplujících částí Evropy, což odpovídá mému lineárnímu modelu, v němž roční průměrná teplota na předpokládaném hnízdišti sněhulí ležícím právě v této oblasti stoupala prudčeji než ta na našem území. Obecný trend rychlého oteplování polárních oblastí v poměru ke zbytku světa (Rantanen et al. 2022) s tímto tvrzením rovněž souhlasí.

Jelikož autoři výše zmiňovaných meteorologických studií pracovali se souborem dat podobným tomu použitému mnou (teploty naměřené na stanicích ČHMÚ v posledních dekádách), poukazuje shoda jejich a zde předkládaných výsledků na alespoň částečnou spolehlivost jednoduchých principů lineární regrese ve srovnání s pokročilými metodami aplikovanými v citovaných článcích (Zahradníček et al. 2021; Brázdil et al. 2012). Ačkoliv by do dalších analýz zahrnutých v této práci bylo vhodné zapojit komplexnější statistické postupy, uchýlil jsem se k nejjednodušším metodám, zejména pak proto, že jsem díky předchozí zkušenosti dostatečně obeznámen s jejich fungováním. Tato první “klimatologická“ část tak zároveň posloužila jako lehké prověření spolehlivosti triviálních metod posléze použitých při vyhodnocování fenologických dat.

6.1.2 Rozdíly v teplotách dříve a nyní

Zda na území Evropy bylo “dříve“ chladněji než “nyní“ zajímavým způsobem zkoumá práce (Spinoni et al. 2018) zabývající se změnami v používání topení a klimatizace mezi roky 1981 a 2010 – její výsledky odpovídaly mnou nalezenému signifikantnímu rozdílu, jen mezi mírně odlišnými časovými intervaly. Mnou popisovaná užší variabilita průměrných teplot v dřívějších letech (fig. 7 a fig. 8) je v souladu s četnými publikacemi (Larsen et al. 2020) popisujícími častější výskyt extrémních výkyvů počasí v posledních letech jako další z důsledků klimatické změny. Ačkoliv se obsah této části práce značně překrývá s výše prezentovanými lineárními modely, rozhodl jsem se jej zahrnout právě díky možnosti porovnat nejen rozdíly v hodnotách teplot jako takových, ale i v jejich rozptylu.

6.2 Změny v početnosti pozorovaných sněhulí

6.2.1 Velikost pozorovaných hejn v čase

Pokud byla početnost zimujících sněhulí posuzována pomocí velikosti pozorovaných hejn, vykazoval tento parametr napříč většinou zájmového období zřetelný pokles, který nabýval statistické významnosti. Vysvětlením tohoto fenoménu může být teorie, že sněhule s postupem času přestávají tvořit velká hejna a “rozcházejí” se do menších skupin – takový fenomén byl již vícekrát popsán u ptáků zimujících v tropech a sice v případě jarní migrace zpět na hnízdiště (Miller-Rushing et al. 2008; Lehikoinen et Sparks 2010). Literatura však podobné chování u žádných druhů zimujících ve střední Evropě nezmiňuje a ověření takové hypotézy je proto námětem pro další bádání, stejně jako možná závislost této skutečnosti na populačních trendech sněhulí.

Jako relevantní připomínka se nabízí možnost ovlivnění výše prezentovaných výsledků zkreslením, které důsledkem nerovnoměrného úsilí vynaloženého při sběru dat (fig. 12) nepochybně mohlo nastat. Dříve, v menším počtu pozorování, měla větší šanci být zaznamenána a evidována velká, nápadná hejna o stovkách ptáků, než jednotlivé osaměle přezimující sněhule. Dramaticky zvýšené úsilí je proto zřejmě důvod, proč v posledních letech výrazně přibýlo záznamů jednotlivých ptáků a i pozorování celkově. Studie (Stegman et al. 2017) zabývající se právě zkreslením ve výzkumu migrujících ptáků experimentálně ověřila, že není problémem konstantně nízký počet údajů, ale spíše jejich nepoměr v různých částech zkoumaného období – to by napovídalo, že i v mém případě bude míra zkreslení nemalá. Faktem nicméně je, že velká hejna sněhulí evidovaná z minulého století z našeho území již prakticky hlášena nejsou, ačkoliv by dle výše zmíněného měla být zaznamenána spíše než kdy dříve. V tomto případě se tedy takové zkreslení nejeví jako vyhovující vysvětlení pozorovaných výsledků.

Dle mého mínění může být příčinou této skutečnosti posun zimovišť evropských sněhulích populací směrem k severu. Zatímco dříve, před nárůstem teplot do současného stavu, musela celá hejna létat relativně daleko na jih, než dorazila na dostatečně přívětivé zimoviště, nyní je díky mírným zimám pro sněhule bohatě dostačující zůstat v severnějších oblastech. Je možné, že v minulém století nebylo v Česku výjimkou zastižení obrovského protahujícího hejna, které kolektivně mířilo dále na jih, aby se teprve tam rozdělilo do menších, zimujících skupinek.

Dnes, po zvýšení zimních teplot nad kritickou hranici, by k nám v tomto případě přilétaly již pouze ony drobné skupinky, jež se kdesi severně od našeho území odpojily od původního velkého hejna, aby samostatně našli lokalitu k přezimování. Rozpad migrujících hejn do menších skupin, který se dříve mohl dít až jižně od českého území, by tak nastal ještě

před jejich příletem do Česka, což je v souladu s absencí záznamů velkých skupin sněhulí v posledních letech. Tato teorie je tak jedním z možných vysvětlení literaturou (Lehikoinen et Sparks 2010; Stegman et al. 2017) i mnou vysledovaného a široce platného trendu v poklesu počtu ptáků migrujících ve společném hejnu.

Tuto teorii podporuje i práce (McKinnon et al. 2019) zabývající se mimo jiné strukturou hejn sněhulí zimujících na hranici USA a Kanady. Autoři popisují masové přesuny a následné členění do menších skupin, opětovným shlukováním sněhule reagovaly na změny počasí. Navíc by posun zimoviště k severu nebyl mezi ptáky ničím výjimečným (Potvin et al. 2016) – ač způsoben souzněním i s dalšími faktory, je dobře popsán třeba u pěnic černohlavých (Helbig et al. 1989) a momentálně zkoumán u rehků domácích.²³ Důležité je ale brát v úvahu, že takové chování se u každého druhu projevuje odlišně (Potvin et al. 2016) a ověření zmíněné hypotézy je námětem pro případnou navazující práci.

6.2.2 Počty evidovaných záznamů během období zájmu

Nárůst počtu položek zapisovaných do databází po roce 2000 je zřejmý a jednoduše vysvětlitelný jednak rozšířením možnosti sdílet svá pozorování s nástupem internetu, jednak rostoucí popularitou “birdwatchingu” (Sekercioglu 2002) a vůbec zvýšením počtu lidí v terénu pátrajících po ptácích.

6.2.3 Absolutní počet sněhulí zastižených v průběhu roku

Absolutní počet sněhulí zastižených během zimy na našem území nebyl mezi třemi vymezenými obdobími statisticky významný. Na tomto výsledku nesou bezpochyby podíl opakované záznamy stejných ptáků, déle se zdržujících na jedné lokalitě. Takových záznamů s nárůstem počtu náruživých “ptáčkařů” přibýlo v posledních letech, čímž i přes vynaloženou metodickou snahu nepochybně došlo ke zkreslení výsledků. I trend vedoucí k delšímu zdržování menších počtů ptáků na stejném místě je nicméně v souladu s domnělou teorií o posunu zimovišť k severu. Zároveň může jít o důvod, proč rozdíl v absolutních počtech jedinců nebyl patrný – dřívější jednorázové přelety mnoha ptáků mohou být dnes v záznamech kompenzovány delším pobytem malých skupin.

Problémem tudíž stále zůstává historický nedostatek záznamů o pozorování sněhulí, který mi neumožnil použít při jejich zpracování více než 29 proměnných, což je zhruba poloviční počet oproti vyhodnocovaným datům meteorologickým.

²³ <https://www.birdlife.cz/rehci-v-zime/>

6.3 Migrační fenologie sněhulí a její ovlivnění teplotou

6.3.1 Načasování prvního přiletu

Jediný prokazatelný trend co se načasování prvního záznamu sněhulí na našem území týče byl nalezen ve vztahu s roční průměrnou teplotou na zimovišti, navíc v roce, který podzim, během něž k prvnímu přiletu došlo, teprve následoval. Naopak žádná průkazná korelace s očekávatelnějšími parametry, jako jsou třeba teploty na hnízdišti v předcházejícím roce nebo (dle lidového přísloví uvedeného v cílech práce) průměrná zimní teplota v témže roce na našem území, nalezena nebyla. Také absolutní počet v dané sezóně zastižených jedinců (znázorněný barevnou škálou na fig. 14) žádný vztah s načasováním prvního přiletu nevykazoval.

Dle mého názoru se nejpravděpodobnějším vysvětlením těchto výsledků jeví zkreslení údajů o prvních přiletech, způsobené prostým přehlížením malých skupin sněhulí, které se k nám v minulém století mohly zatoulat dříve než posléze pozorovaná obrovská hejna. Jelikož pozorovatelů tou dobou nebylo v terénu mnoho a jelikož ti aktivní byli zvyklí na stohlavá hejna ptáků, je pravděpodobné, že osamělí jedinci, pakliže se u nás vyskytovali před započatím plnohodnotné zimní sezóny, byli zkrátka přehlédnuti nebo neshledáni za hodné zápisu do (tehdy ještě papírové) databáze.

Sledovaný trend pak mohl vzniknout jednoduše tak, že důsledně zjištěná první pozorování z posledních let byla dána do vztahu s již navýšenými teplotami, zatímco historické nízké teploty připadly k nedostatečně zevrubným faunistickým datasetům, v nichž brzké přilety pro své přehlédnutí nebyly zaznamenány. Podobné vysvětlení nalezeného posunu v načasování migrace ve své studii předkládají již výše citovaní Miller-Rushing a Satzinger ([Miller-Rushing et al. 2008](#)), kteří tento zdánlivý posun dávají do souvislosti s rozpadem velkých migrujících hejn na menší skupiny, které jsou v dnešní době pro svoji vyšší početnost snáze zaznamatelné. Ačkoliv se tito autoři zabývali jarní migrací severoamerických ptáků, jejich výsledky nebyly nepodobné těm zde prezentovaným a i oni nezávisle dospěli k vysvětlení kompatibilnímu s tím mnou předkládaným.

Problémem tudíž stále zůstává historický nedostatek záznamů o pozorování sněhulí, který mi neumožnil použít při jejich zpracování více než 29 proměnných, což je zhruba poloviční počet oproti vyhodnocovaným datům meteorologickým.

6.3.2 Velikost prvního zastiženého hejna

Statisticky významný trend byl v případě velikosti prvního zastiženého hejna prokázán ve vztahu hned se čtyřmi různými teplotními parametry. Zvýšení teploty v lineárních

modelech vždy vedlo ke zmenšení protahujících hejn. Tato skutečnost je v souladu s výše popsanou teorií o postupném zmenšování hejn společně migrujících ptáků.

Nalezenou korelaci mezi velikostí prvního zastiženého hejna a průměrnými teplotami v roce, který začal teprve po jejich podzimním přiletu, lze v duchu Occamovy břitvy nejpřesvědčivěji vysvětlit jako souhru dvou jevů, které spolu sice nijak nesouvisí, ale prodělávají v čase podobně rychlý vývoj – teplota stoupá, zatímco velikost hejn klesá. Vyslovit tvrzení, že sněhule dokážou při svém přiletu předpovídat klimatické podmínky, které nastanou o rok později, by na základě zde prezentovaných výsledků bylo přinejmenším odvážné.

Jak moc jsou tyto výsledky dotčené zkreslením, nutně provázejícím veškeré práce založené na datech z občanské vědy (Kosmala et al. 2016), lze jen spekulovat. Počty zároveň pozorovaných ptáků patří k nejpřesnějším z dostupných údajů, zejména, pokud jde pouze o malé počty jedinců – ne náhodou je na tomto údaji založena i třeba metodika Ptačí hodinky. Proto se domnívám, že zjištěný trend v závislosti tohoto údaje na teplotách lze rovněž považovat za relevantní.

Přesto nelze čistě na základě těchto výsledků říci, že by ptáci reagovali přímo na měnící se teplotu – ačkoliv jejich chování s teplotou koreluje, skutečnou příčinou může být jiná, dosud neodhalená souvislost. Otevřen tak zůstává prostor pro navazující práce, kdy by s využitím rozsáhlejšího a lépe upraveného datasetu mohly pokročilejší analýzy (např. mnohonásobná lineární regrese)²⁴ pomoci s přesnějším ověřením vlivu teploty i s případným hledáním opravdové příčiny.

Nalezení korelace mezi teplotou a velikostí prvního zastiženého hejna je v souladu s předkládanou hypotézou o posunu zimovišť sněhulí k severu, jako jejíž vysvětlení se v tomto světle přeci jen nabízejí právě změny teplot – ostatně mnozí autoři právě ony považují za faktor nejvíce ovlivňující ptačí migraci (Gordo 2007). Vědecky relevantní ověření takové kauzality by mohlo být rovněž vystavěné na datech poskytovaných občanskou vědou, nicméně by bylo třeba dataset rozšířit o záznamy ze zemí ležících jižně i severně od Česka a následně v řádně vyfiltrovaném souboru pozorování hledat (za pomoci pokročilejších analýz, např. ANOVA v kombinaci s TukeyHSD²⁵) mezi jednotlivými zeměpisnými šířkami rozdíly právě ve velikosti prvního zastiženého hejna i jejím vývoji v čase.

Ať už je za příčinu popisovaného trendu považován výše navrhovaný posun zimovišť nebo jiné důvody, mnohé (Lehikoinen et Sparks 2010; Stegman et al. 2017) nasvědčuje tomu, že takový fenomén skutečně existuje a bylo by žádoucí se na něj zaměřit v budoucím

²⁴ stručný náhled do této metody: https://is.muni.cz/el/1423/podzim2004/SOC418/multipl_regres_1.pdf

²⁵ stručný náhled do této metody: <https://real-statistics.com/one-way-analysis-of-variance-anova/unplanned-comparisons/tukey-hsd/>

výzkumu. Ten bohužel znesnadňuje nedostatek literatury pojednávající o migrační ekologii v Evropě zimujících ptáků – středem pozornosti současné akademické obce jsou především na západě Evropy hnízdící subsaharští migranti (Vickery et al. 2023). Také obecně problematika podzimní migrace zůstává, stejně jako dopady klimatické změny na podzimní ekologická společenstva, nedostatečně probádána (Gallinat et al. 2015).

6.4 Geografické preference v Česku zimujících sněhulí

6.4.1 Rozložení dle zeměpisných souřadnic

Širší variabilitu paradoxně vykazovala zeměpisná délka. To může být způsobené existencí stálých tahových tras vedoucích v severo-j jižním směru, mimo které se ptáci zatoulají jen zřídka – taková situace je již známa u jiných druhů (Trierweiler et al. 2014).

Svůj podíl na této skutečnosti mohou nést i ustálená zimoviště, typicky situovaná do blízkosti velkých vodních ploch. Je možné, že se tak děje díky stálejším mikroklimatickým podmínkám, které voda svojí tepelnou kapacitou zajišťuje – vyhledávání vlhkých míst k přenocování již bylo u ptáků popsáno (Ryeland et al. 2021). Velká část záznamů byla učiněna kolem vodní nádrže Rozkoš, mnoho jich též spadá do okolí Novomlýnských nádrží. Obě tyto lokality leží ve východní polovině českého území, přičemž nepochybně došlo k posunu mediánu tímto směrem.

Naopak velký rozptyl v zeměpisných šířkách naznačuje, že lokální podmínky jsou pro zimující sněhule zásadnější, než reálná zeměpisná pozice. Možné je také alternativní vysvětlení, že ona variabilita vznikla pozorováním jedinců, kteří nad naším územím pouze protahovali během další cesty k jihu, načež byli zastiženi v různých zeměpisných šířkách dle aktuální fáze svojí cesty. Proti tomuto tvrzení hovoří dlouhodobá pozorování stejného počtu ptáků na naprosto totožných lokalitách, často rozprostřena i v rámci několika měsíců – zde jde s vysokou pravděpodobností o stejné jedince, déle pobývající na preferované lokalitě. Nejspíše tak tento rozptyl zapříčinilo opět rozložení zimujících sněhulí mezi několik málo vodních ploch, kdy už jen Rozkoš a Nové Mlýny, kde byla učiněna zásadní část unikátních pozorování, se svojí zeměpisnou šířkou dosti liší.

6.4.2 Sněhulemi nejvíce navštěvované okresy

Rozmístění sněhulí mezi okresy opět kopíruje rozložení jimi každoročně navštěvovaných lokalit. Ačkoliv mikroklimatické podmínky s velkou pravděpodobností hrají svoji roli, jak již bylo dokázáno u jiných zimujících druhů (Ryeland et al. 2021; Zabala et al. 2012), vliv na četnost zápisů může v tomto případě mít i popularita a proslulost příslušných lokalit mezi samotnými pozorovateli – Rozkoš mnozí navštěvují přímo s cílem vidět sněhuli.

Pozorování v jiných okresech, většinou na polních lokalitách, je možné vysvětlit zástihem protahujících jedinců, nebo zkrátka jako nálezy ptáků, kteří sice zimují jinde, ale do zoraných polí vyrážejí hledat potravu v podobě zrnin, stejně, jako činí řada dalších ptáků (Moorcroft et al. 2002). Vyloučeno není ani že část v polích přezimujících sněhulí zůstává pro jejich horší přístupnost přehlížena a podávané údaje jsou jen lakmusovým papírkem svědčícím o jejich přítomnosti.

Střední hodnota velikosti pozorovaných hejn se vyšplhala nejvýše v okrese Kroměříž – tamější záznamy byly, na rozdíl od jiných okresů, zpravidla učiněny v prostředí polí. Nabízí se tedy vysvětlení, že se sněhule ze širšího okolí shlukují na Kroměřížsku kolem snadno dostupných zdrojů potravy.

6.4.3 Změny početností sněhulí pozorovaných v daných okresech

Ačkoliv ve většině okresů nebyl zjištěn žádný průkazný trend, nelze vyloučit, že se tak stalo důsledkem jeho neexistence. Roli mohl hrát prostý nedostatek údajů, bránící v nalezení statisticky hodnotných výsledků. Sestupný trend byl doložen v nejzevrubněji vzorkovaném okrese Náchod, což napovídá tomuto vysvětlení. Zajímavější a průkaznější výsledky by poskytla totožná analýza rozšířená o data, která budou vznikat během nadcházejících několika let. Literatura o trendech ve výskytu sněhulí na měřítku českých okresů samozřejmě mlčí.

7 ZÁVĚR

V této práci jsem se zabýval načasováním a intenzitou podzimní migrace sněhulí severních (*Plectrophenax nivalis*) v závislosti na teplotě vzduchu. Hledal jsem vztah mezi migrační fenologií v České republice zaznamenaných ptáků a třemi různými meteorologickými parametry: průměrnou roční a průměrnou zimní teplotou na českém území, jakož i roční průměrnou teplotou na předpokládaném hnízdišti u nás přezimujících sněhulí. Pro tyto účely jsem využil data nasbíraná prostřednictvím občanské vědy, jež jsou spolu se zpracovanými meteorologickými údaji v plném rozsahu volně dostupná z internetových databází.

Podařilo se mi nalézt statisticky významnou korelaci mezi datem prvního podzimního záznamu sněhulí na našem území a teplotou v roce tento podzim následujícím. Pokud měl posléze nastat teplejší rok, přilétaly v mém modelu sněhule časněji. První stanovenou hypotézu, tedy že sněhule posouvají načasování své migrace v souladu s kolísáním teplot na zimovišti, se mi tak nepodařilo vyvrátit. Jako možné vysvětlení navrhuji doložený trend, vedoucí ke zmenšování skupin, v nichž sněhule podnikají svoji cestu na zimoviště.

Průkazně doložena byla také závislost velikosti prvního na našem území pozorovaného hejna sněhulí s ročními teplotami jak na jejich hnízdišti, tak na zimovišti. Ať už teplejší rok podzimní migraci předcházel nebo ji následoval, vedly zvýšené teploty vždy ke zmenšení první zastižené skupiny. Jelikož průkaznou korelaci vykazovalo hned několik paramterů, není možné s jistotou určit, který z nich je nejvýznamnější. Zimní teploty, stejně jako v případě načasování příletu, neměly žádnou prokazatelnou souvislost, protože lze moji druhou hypotézu i lidovou pranostiku považovat za vyvrácenou. Příčinu nalezených trendů je dle mého názoru možné hledat v posunu sněhulích zimovišť dále k severu, jenž by mohl být dalším z následků klimatické změny. Bližší prověření této problematiky však zůstává námětem pro další bádání.

Samotné načasování migrace sněhulí se pro stále nízkou dostupnost kvalitních dat a jen slabé závislosti na jediném teplotním paramteru neukazuje jako vhodné pro využití v bioindikaci. Naopak méně zkreslující velikost hejn, v nichž se migrující ptáci pohybují, jeví přesvědčivé známky ovlivnění stoupajícími teplotami. Důsledné pátrání po příčině tohoto fenoménu, teoreticky vysvětlujícího i řadu dalších aspektů migrační ekologie různých ptačích druhů, by tak mohlo přinést ovoce v podobě objevu nového bioindikátoru klimatické změny.

Současná literatura se na druhy navštěvující Evropu pouze během zimního období zaměřuje jen ojediněle. Problémem jsou nemalé obtíže, jež provázejí sběr příhodných dat o výskytu těchto zpravidla nehojných organismů. Přitom spolupráce s veřejností, patřící mezi dosud podceňované postupy, může být elegantním způsobem, jak tyto překážky překonat.

Zpracování mohutných souborů dat vytvářených v rámci občanské vědy s sebou, důsledkem jejich značné nekonzistentnosti, přináší řadu úskalí. V případě záznamů z nálezových databází jde zejména o nepoměr v úsilí, jež bylo při jejich sběru vynaloženo. Přesvědčivější výsledky slibují budoucí práce, které již budou moci pracovat výhradně s lépe porovnatelnými informacemi nasbíranými až po nástupu internetu.

Impozantní datové soubory poskytované občanskou vědou v sobě ukrývají nebývalé výpovědní hodnoty. Při náležitém zpracování nám právě ony mohou pomoci nahlédnout pod pokličku “zimních hostů“ – neprozkoumané skupiny, která má možná mnoho co vypovědět o ekologii klimatické změny, žhavém tématu hýbajícím celou světovou společností. Prostor pro nové objevy se zde tak otevírá stále více.

POUŽITÁ LITERATURA

About eBird. In: ebird.org [online]. [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://ebird.org/about>.

About iNaturalist. In: [inaturalist.org](https://www.inaturalist.org) [online]. [cit. 2024-12-25]. Dostupné z: <https://www.inaturalist.org/pages/about>.

ANDERS, I., STAGL, J., AUER, I., & PAVLIK, D. Climate change in central and eastern Europe. *Managing protected areas in Central and Eastern Europe under climate change*. 2014, s. 17-30. ISBN 978-94-007-7960-0.

Avif: projekty. In: avif.birds.cz [online]. [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://avif.birds.cz/projects>.

BANKS, K. W., CLARK, H., MACKAY, I. R., MACKAY, S. G., & SELLERS, R. M. Biometrics and pre-migratory fattening in the Snow Bunting *Plectrophenax nivalis*. *Ringing & Migration*. 1989, 10(3), s. 141-158. <https://doi.org/10.1080/03078698.1989.9673953>.

BECKER, P. H., DITTMANN, T., LUDWIGS, J. D., LIMMER, B., LUDWIG, S. C., BAUCH, C., ... & WENDELN, H. Timing of initial arrival at the breeding site predicts age at first reproduction in a long-lived migratory bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2004, 105(34), s. 12349-12352. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804179105>.

BÊTY, J., GIROUX, J. F., & GAUTHIER, G. Individual variation in timing of migration: causes and reproductive consequences in greater snow geese (*Anser caerulescens atlanticus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 2004, 57, s. 1-8. <https://doi.org/10.1007/s00265-004-0840-3>.

BioLog: O aplikaci. In: biolog.nature.cz [online]. [cit. 2024-12-25]. Dostupné z: <https://biolog.nature.cz/biolog/cz/Article/AboutApp>.

BOTH, C., BOUWHUIS, S., LESSELLS, C. M., & VISSER, M. E. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*. 2006, 441. <https://doi.org/10.1038/nature04539>.

BRÁZDIL, R., ZAHRADNÍČEK, P., PIŠOFT, P., ŠTĚPÁNEK, P., BĚLÍNOVÁ, M., & DOBROVOLNÝ, P. Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Republic during the period of instrumental measurements. *Theoretical and applied climatology*. 2012, 110, s. 17-34. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0604-3>.

CAI, T., WU, G., SUN, L., ZHANG, Y., PENG, Z., GUO, Y., ... & ZHANG, B. Biogeography and diversification of Old World buntings (Aves: Emberizidae): radiation in open habitats. *Journal of Avian Biology*. 2021, 52(6). <https://doi.org/10.1111/jav.02672>.

Citizen science. In: [en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org/wiki/Citizen_science). [online]. [cit. 2024-12-24]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Citizen_science.

DARKOH, M. B. The nature, causes and consequences of desertification in the drylands of Africa. *Land Degradation & Development*. 1998, 9(1), s. 1-20. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199801/02\)9:1<1::AID-LDR263>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199801/02)9:1<1::AID-LDR263>3.0.CO;2-8).
DICKINSON, J. L., ZUCKERBERG, B., & BONTER, D. N. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. 2010, 41(1), s. 149-172. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>.

DOMONKOS, P., & PIOTROWICZ, K. Winter temperature characteristics in Central Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 1998, 18(13), s. 21-24. ISBN 978-94-007-7960-0.

Faunistická databáze birds.cz. In: avif.birds.cz [online]. [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://avif.birds.cz>.

FISH, M. R., CÔTÉ, I. M., GILL, J. A., JONES, A. P., RENSHOFF, S., & WATKINSON, A. R. Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conservation biology*. 2005, 19(2), s. 482-491. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00146.x>.

FORSMAN, D. *Dravci Evropy, severní Afriky a Blízkého východu*. Plzeň: Ševčík, 2021. s. 28. ISBN 978-80-7291-255-1.

GALLINAT, A. S., PRIMACK, R. B., & WAGNER, D. L. Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in ecology & evolution*. 2015, 30(3), s. 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.01.004>.

GBIF | Global Biodiversity Information Facility. In: gbif.org [online]. [cit. 2025-01-07]. Dostupné z: <https://www.gbif.org/>.

GORDO, O. Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate research*. 2007, 35(1-2), s. 37-58. <https://doi.org/10.3354/cr00713>.

HAKLAY, M., DÖRLER, D., HEIGL, F., MANZONI, M., HECKER, S., VOHLAND, K., ... & WAGENKNECHT, K. (2021). What is citizen science? The challenges of definition. *The science of citizen science*, 13. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4>.

HANZÁK, J., BOUCHNER, M., HUDEC, K. *Světlem zvířat: II. díl – Ptáci (2. část)*. Praha: Státní nakladatelství dětské knihy, 1963. s. 294.

HELBIG, A. J., BERTHOLD, P., & WILTSCHKO, W. Migratory orientation of blackcaps (*Sylvia atricapilla*): Population-specific shifts of direction during the autumn. *Ethology*. 1989, 82(4), s. 307-315. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1989.tb00510.x>.

HOEGH-GULBERG, O., & BRUNO, J. F. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*. 2010, 328(5985), s. 1523-1528.
<https://doi.org/10.1126/science.1189930>.

HUNTLEY, B., COLLINGHAM, Y. C., GREEN, R. E., HILTON, G. M., RAHBEK, C., & WILLIS, S. G. Potential impacts of climatic change upon geographical distributions of birds. *Ibis*. 2006, 148, s. 8-28. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00523.x>.

JENNI, L., & KÉRY, M. Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 2003, 270(1523), s. 1467-1471.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2394>.

JENSEN, M. P., ALLEN, C. D., EGUCHI, T., BELL, I. P., LACASELLA, E. L., HILTON, W. A., ... & DUTTON, P. H. Environmental warming and feminization of one of the largest sea turtle populations in the world. *Current Biology*. 2018, 28(1), s. 154-159.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.11.057>.

JOHNSTON, A., MATECHOU, E., & DENNIS, E. B. Outstanding challenges and future directions for biodiversity monitoring using citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*. 2023, 14(1), s. 103-116. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13834>.

JOVANI, R., & TELLA, J. L. Age-related environmental sensitivity and weather mediated nestling mortality in white storks *Ciconia ciconia*. *Ecography*. 2004, 27(5), s. 611-618.
<https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03925.x>.

KEELING, CH. D. The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1958, 13(4), s. 322-334.
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(58\)90033-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(58)90033-4).

KNIGHTS, B. A review of the possible impacts of long-term oceanic and climate changes and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. *Science of the total Environment*. 2003, 310(1-3), s. 237-244.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00644-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00644-7).

KOLEČEK, J., ADAMÍK, P., & REIF, J. Shifts in migration phenology under climate change: temperature vs. abundance effects in birds. *Climatic Change*. 2020, 159(2), s. 177-194.
<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02668-8>.

KOSMALA, M., WIGGINS, A., SWANSON, A., & SIMMONS, B. Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2016, 14(10), s. 551-560.
<https://doi.org/10.1002/fee.1436>.

KUSHLAN, J. A. Colonial Waterbirds as Bioindicators of Environmental Change. *Colonial Waterbirds*. 1993, 16(2), s. 223-251. <https://doi.org/10.2307/1521444>.

LANG, J. W., & ANDREWS, H. V. Temperature-dependent sex determination in crocodilians. *Journal of Experimental Zoology*. 1994, 270(1), s. 28-44.
<https://doi.org/10.1002/jez.1402700105>.

LAPLANTE, M. P., MCKINNON, E. A., LOVE, O. P., & VÉZINA, F. Flexible response to short-term weather in a cold-adapted songbird. *Journal of Avian Biology*. 2019, 50(2).
<https://doi.org/10.1111/jav.01766>.

LARSEN, M. A., PETROVIĆ, S., RADOSZYNSKI, A. M., MCKENNA, R., & BALYK, O. Climate change impacts on trends and extremes in future heating and cooling demands over Europe. *Energy and Buildings*. 2020, 226, 110397.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110397>.

LEARMONTH, J. A., MACLEOD, C. D., SANTOS, M. B., PIERCE, G. J., CRICK, H. Q. P., & ROBINSON, R. A. Potential effects of climate change on marine mammals. *Oceanography and marine biology*. 2006, 44, s. 431. ISBN: 0-8493-7044-2.

LEHIKONEN, E., & SPARKS, T. H. Changes in migration. *Effects of climate change on birds*. 2010, 1, s. 107. ISBN 978-0-19-956975-5.

MACLEAN, I. M., AUSTIN, G. E., REHFISCH, M. M., BLEW, J. A. N., CROWE, O., DELANY, S., ... & WAHL, J. Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology* 2008, 14(11), s. 2489-2500.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01666.x>.

Mapujte s BioLogem. In: aopk.gov.cz [online]. [cit. 2024-12-25]. Dostupné z: <https://aopk.gov.cz/mapujte-s-biologem>.

MASON, C. F. Changes in the population sizes of some scarce winter visitors. *Bird Study*. 1989, 36(3), s. 145-146. <https://doi.org/10.1080/00063658909477018>.

MATĚJKA, K. Vývoj teplot a srážek v ČR od roku 1961. 2013.
<http://www.infodatasys.cz/climate/KlimaCR1961.htm>.

MCKINNON, E. A., LAPLANTE, M. P., LOVE, O. P., FRASER, K. C., MACKENZIE, S., & VÉZINA, F. Tracking landscape-scale movements of Snow Buntings and weather-driven changes in flock composition during the temperate winter. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2019, 7, 329. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00329>.

MILLER-RUSHING, A. J., LLOYD-EVANS, T. L., PRIMACK, R. B., & SATZINGER, P. Bird migration times, climate change, and changing population sizes. *Global Change Biology*. 2008, 14(9), s. 1959-1972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01619.x>.

MIT Technology Review. 1989, 1.

- MOORE, S. E., & HUNTINGTON, H. P. Arctic marine mammals and climate change: impacts and resilience. *Ecological Applications*. 2008, 18(sp2), s. 157-165. <https://doi.org/10.1890/06-0571.1>
- MOORCROFT, D., WHITTINGHAM, M. J., BRADBURY, R. B., & WILSON, J. D. The selection of stubble fields by wintering granivorous birds reflects vegetation cover and food abundance. *Journal of applied Ecology*. 2002, 39(3), s. 535-547. <http://www.jstor.org/stable/827145>.
- MORREALE, S. J., RUIZ, G. J., SPOTILA, J. R., & STANDORA, E. A. Temperature-dependent sex determination: current practices threaten conservation of sea turtles. *Science*. 1982, 216(4551), s. 1245-1247. <https://doi.org/10.1126/science.7079758>.
- MORRISON, M. L. Bird populations as indicators of environmental change. *Current Ornithology*. Boston: 1986, 3, s. 429-451. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6784-4_10.
- Murmansk Climate – Average Temperature (Russia). In: weatherspark.com [online]. [cit. 2025-01-07]. Dostupné z: <https://weatherspark.com/y/98040/Average-Weather-in-Murmansk-Russia-Year-Round>.
- Najdi.je. In: najdi.cz [online]. [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://www.najdi.cz/>
- Nálezová databáze MSP ČBS. In: botanospol.cz [online]. [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://botanospol.cz/cs/node/34>.
- Nálezová databáze ochrany přírody. In: portal23.nature.cz [online]. [cit. 2024-12-25]. Dostupné z: <https://portal23.nature.cz/nd/>.
- NEWSON, S. E., MENDES, S., CRICK, H. Q., DULVY, N. K., HOUGHTON, J. D., HAYS, G. C., ... & ROBINSON, R. A. Indicators of the impact of climate change on migratory species. *Endangered Species Research*. 2009, 7, s. 101-113. <https://doi.org/10.3354/esr00162>.
- O'CONNOR, R. S., LOVE, O. P., REGIMBALD, L., GERSON, A. R., ELLIOTT, K. H., HARGREAVES, A. L., & VÉZINA, F. Snow Buntings, an arctic cold-specialist passerine, risk overheating under intense activity even at low air temperatures. *bioRxiv*. 2023, 9. <https://doi.org/10.1101/2023.09.11.557251>.
- PAVLÍK, T. & DUŠEK, L. *Biostatistika*. 2012. ISBN 978-80-7204-782-6. In matematickabiologie.cz [online]. [cit. 2025-01-12]. Dostupné z: <https://www.matematickabiologie.cz/media/3293331/pavlik-biostatistika.pdf>.
- PETR, J. *Desatero pohybů*. Praha: Dokořán, 2024, s. 11. ISBN 978-80-7675-133-0.

Portál ČHMÚ: Historická data: Počasí – územní teploty. In: chmi.cz [online]. [cit. 2025-01-07]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>.

POTVIN, D. A., VÄLIMÄKI, K., & LEHIKONEN, A. Differences in shifts of wintering and breeding ranges lead to changing migration distances in European birds. *Journal of Avian Biology*. 2016, 47(5), s. 619-628. <https://doi.org/10.1111/jav.00941>.

Profil taxonu: ostružkovití. In: biolib.cz [online]. [cit. 2024-12-22]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id994175/>.

Profil taxonu: sněhule severní. In: biolib.cz [online]. [cit. 2024-12-22]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id9028/>.

Ptačí hodinka. In: ptacihodinka.birdlife.cz [online]. [cit. 2024-12-26]. Dostupné z: <https://ptacihodinka.birdlife.cz/>.

Ptačí hodinka: Jak se zapojit – podrobněji. In: birdlife.cz [online]. [cit. 2025-01-16]. Dostupné z: <https://ptacihodinka.birdlife.cz/jak-se-zapojit-podrobneji/>.

RABUŠIC, L. Mnohonásobná lineární regrese. In: is.muni.cz [online]. [cit. 2025-01-16]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1423/podzim2004/SOC418/multipl_regres_1.pdf.

RANTANEN, M. *et al.* The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*. 2022, 3(1), s. 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>.

REAKA-KUDLA, M. L. The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests. *Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources*. 1997, 2, s. 83. ISBN 0309520754.

Rehci v zimě. In: birdlife.cz [online]. [cit. 2025-01-15]. Dostupné z: <https://www.birdlife.cz/rehci-v-zime/>.

REIF, J., VERMOUZEK, Z., VOŘÍŠEK, P., ROMPORTL, D., & MORELLI, F. Birds' ecological characteristics differ among habitats: an analysis based on national citizen science data. *Community Ecology*. 2022, 23(2), s. 173-186. <https://doi.org/10.1007/s42974-022-00089-4>.

ROBINSON, R. A., CRICK, H. Q., LEARMONTH, J. A., MACLEAN, I. M., THOMAS, C. D., BAIRLEIN, F., ... & VISSER, M. E. Travelling through a warming world: climate change and migratory species. *Endangered species research*. 2009, 7(2), s. 87-99. <https://doi.org/10.3354/esr00095>.

RYELAND, J., WESTON, M. A., & SYMONDS, M. R. The importance of wetland margin microhabitat mosaics; the case of shorebirds and thermoregulation. *Journal of Applied Ecology*. 2021, 58(2), s. 382-391. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13769>.

SCHMIDT, J. The breeding places of the eel. *Philosophical transactions of the royal society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*. 2011, 211(382-390), s. 179-208. <https://doi.org/10.1098/rstb.1923.0004>.

SEKERCIOGLU, C. H. Impacts of birdwatching on human and avian communities. *Environmental conservation*. 2002, 29(3), s. 282-289. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000206>.

SMITH, R. D. Racial composition of breeding and wintering Snow Buntings *Plectrophenax nivalis* in the north-east Scottish uplands. *Ringing & Migration*. 1996, 17(2), s. 123-136. <https://doi.org/10.1080/03078698.1996.9674128>.

SPINONI, J., VOGT, J. V., BARBOSA, P., DOSIO, A., MCCORMICK, N., BIGANO, A., & FÜSSEL, H. M. Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *Int. J. Climatol*. 2018, 38(51), e191-e208. <https://doi.org/10.1002/joc.5362>.

STEGMAN, L. S., PRIMACK, R. B., GALLINAT, A. S., LLOYD-EVANS, T. L., & ELLWOOD, E. R. Reduced sampling frequency can still detect changes in abundance and phenology of migratory landbirds. *Biological Conservation*. 2017, 210, s. 107. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.004>.

SVENSSON, L., MULLARNEY, K., ZETTERSTRÖM, D. *Ptáci Evropy, severní Afriky a Blízkého Východu*. 2. vydání. Plzeň: Ševčík, 2016, s. 394. ISBN 978-80-7291-246-9.

SVENSSON, P. *Tajný život úhořů*. Praha: Albatros, 2020. překlad SEVERÝN, M. s. 99-114. ISBN: 978-80-7473-988-0.

ŠŤASTNÝ, K., HUDEC, K. *et al. Fauna ČR – Ptáci*. 2. přepracované a doplněné vydání. Praha: Academia, 2011. s. 1139-1143. ISSN 0430-120X.

TRATHAN, P. N., GARCÍA-BORBOROGLU, P., BOERSMA, D., BOST, C. A., CRAWFORD, R. J., CROSSIN, G. T., ... & WIENECKE, B. Pollution, habitat loss, fishing, and climate change as critical threats to penguins. *Conservation Biology*. 2015, 29(1), s. 31-41. <https://doi.org/10.1111/cobi.12349>.

TRIERWEILER, C., KLAASSEN, R. H., DRENT, R. H., EXO, K. M., KOMDEUR, J., BAIRLEIN, F., & KOKS, B. J. Migratory connectivity and population-specific migration routes in a long-distance migratory bird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2014, 281(1778), 20132897. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2897>.

TROJAN, J. Projekt evropské občanské vědy. *Živa*. 2024, 72(1). s. XX. ISSN 0044-4812.

Tukey HSD (Honestly Significant Difference). In: real-statistics.com [online]. [cit. 2025-01-16]. Dostupné z: <https://real-statistics.com/one-way-analysis-of-variance-anova/unplanned-comparisons/tukey-hsd/>.

TWARDOSZ, R., WALANUS, A., & GUZIK, I. Warming in Europe: recent trends in annual and seasonal temperatures. *Pure and Applied Geophysics*. 2020, 178(10), s. 4021-4032. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02860-6>.

VAN OLDENBORGH, G. J., DRIJFHOUT, S., VAN ULDEN, A., HAARSMA, R., STERL, A., SEVERIJNS, C., ... & DIJKSTRA, H. Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past*. 2009, 5(1), s. 1-12. <https://doi.org/10.5194/cp-5-1-2009>.

VICKERY, J. A., EWING, S. R., SMITH, K. W., PAIN, D. J., BAIRLEIN, F., ŠKORPILOVÁ, J., & GREGORY, R. D. The decline of Afro-Palaeartic migrants and an assessment of potential causes. *Ibis*. 2014, 156(1), s. 1-22. <https://doi.org/10.1111/ibi.12118>.

VICKERY, J. A., MALLORD, J. W., ADAMS, W. M., BERESFORD, A. E., BOTH, C., CRESSWELL, W., ... & HEWSON, C. M. The conservation of Afro-Palaeartic migrants: What we are learning and what we need to know? *Ibis*. 2023, 165(3), s. 717-738. <https://doi.org/10.1111/ibi.13171>.

VISSER, M. E., PERDECK, A. C., VAN BALEN, J. H., & BOTH, C. Climate change leads to decreasing bird migration distances. *Global change biology*. 2009, 15(8), s. 1859-1865. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01865.x>.

WATSON, A. Scottish Snow Bunting *Plectrophenax nivalis* breeding and climate. *Ornis fennica*. 1996, 73(3), s. 137-140.

WITHROW, J. J. Plumage variation in Bering Sea *Plectrophenax* buntings and the specific status of McKay's Bunting. *Western Birds*. 2020, 51(3). DOI: 10.21199/WB51.3.1.

ZABALA, J., ZUBEROGOITIA, I., BELAMENDIA, G., & ARIZAGA, J. Micro-habitat use by Bramblings *Fringilla montifringilla* within a winter roosting site: influence of microclimate and human disturbance. *Acta Ornithologica*. 2012, 47(2), s. 176-181. <https://doi.org/10.3161/000164512X662287>.

ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., ŠTĚPÁNEK, P., & TRNKA, M. Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961–2019. *International Journal of Climatology*. 2021, 41(2), s. 1211-1229. <https://doi.org/10.1002/joc.7505>

ZÁRYBNICKÁ, M., TROJAN, J. Občanská věda – bez systémové podpory, silou jednotlivců. *Živa*. 2024, 72(1). s. 25-28. ISSN 0044–4812.

Zdroje obrázků

aidanm23. iNaturalist: Gray Whale. In: [inaturalist.org](https://www.inaturalist.org/taxa/41478-Eschrichtius-robustus) [online]. [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: <https://www.inaturalist.org/taxa/41478-Eschrichtius-robustus>.

Christoph Monig. eBird: Snow Bunting. In: [ebird.org](https://ebird.org/species/snobun/IS-2) [online]. [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: <https://ebird.org/species/snobun/IS-2>.

Cornell Lab, All About Birds – Snow Bunting. In: [allaboutbirds.org](https://www.allaboutbirds.org/guide/Snow_Bunting/overview) [online]. [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: https://www.allaboutbirds.org/guide/Snow_Bunting/overview.

Kit Day. BirdGuides: Snow Bunting photo ID guide. In: [birdguides.com](https://www.birdguides.com/articles/identification/snow-bunting-photo-id-guide/) [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: <https://www.birdguides.com/articles/identification/snow-bunting-photo-id-guide/>

Lucas DeCicco. eBird: McKay's Bunting. In: [ebird.org](https://ebird.org/species/mckkbun) [online]. [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: <https://ebird.org/species/mckkbun>.

ORLOV, A. M., RAZABANOV, N. I., & NIKIFOROV, A. I. Transoceanic migrations of fishlike animals and fish: norm or exclusion?. *Journal of Ichthyology*. 2020, 60, s. 242-262. <https://doi.org/10.1134/S0032945220020125>.

Svalbard Birds: Snow Bunting. In: [svalbardbirds.com](http://www.svalbardbirds.com/snow-bunting.html) [online]. [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: <http://www.svalbardbirds.com/snow-bunting.html>.

Tom Wilberding. Audubon Bird Guide: Snow Bunting. In: [audubon.org](https://www.audubon.org/field-guide/bird/snow-bunting) [cit. 2025-1-11]. Dostupné z: <https://www.audubon.org/field-guide/bird/snow-bunting>.

Použité software

dplyr package. Verze: 1.1.4. Dostupné z:
<https://cloud.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>.

ggplot2. Verze: 3.5.1. Dostupné z:
<https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>.

ggpubr package. Verze: 0.6.0. Dostupné z:
<https://cran.r-project.org/web/packages/ggpubr/index.html>.

Numbers. Verze: 13.2 (7038.0.87). Bližší informace:
<https://www.apple.com/in/numbers/>.

Pages. Verze: 13.2 (7038.0.87). Bližší informace:
<https://www.apple.com/in/pages/>.

R for MacOS. Verze: R 4.4.2 GUI 1.81 Big Sur ARM build (8462) “Pile of Leaves“.
Dostupné z:
<https://www.r-project.org/>.

RColourBrewer. Verze: 1.1-3. Dostupné z:
<https://cran.r-project.org/web/packages/RColorBrewer/index.html>.

RStudio for MacOS. Verze: 2024.12.0+467. Dostupné z:
<https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

Tidyverse. Verze: 2.0.0. Dostupné z:
<https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html>.

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Obrázky

obr. 1: Zeměpisné rozšíření sněhule severní (*Plectrophenax nivalis*).

obr. 2: Srovnání opeření *P. nivalis* a *P. hyperboreus*.

obr. 3: Pohlavní dimorfismus v opeření *P. nivalis*.

obr. 4: Snůška *P. nivalis*.

obr. 5: Západoevropská zimoviště bahňáků se důsledkem klimatické změny posunují severovýchodním směrem.

obr. 6: Schematické znázornění migrace úhoře říčního (*Anguilla anguilla*).

obr. 7: Včasnost návratu na hnízdiště určuje hnízdní úspěšnost hus *Anser caerulescens*.

obr. 8: Rozpor načasování jarní migrace lejsků (*Ficedula hypoleuca*) s fenologií hmyzu žijícího na hnízdišti vede ke klesajícímu populačnímu trendu těchto ptáků.

obr. 9: Se stoupáním hladiny světového oceánu ztrácí mořské želvy rozmnožující se na karibském ostrově Bonaire zaběhlá stanoviště pro kladení vajec.

obr. 10: Důsledkem klimatické změny dochází ke zvyšování teploty, při níž jsou inkubována vejce karety obrovské (*Chelonia mydas*), což vede k feminizaci její východoaustralské populace.

obr. 11: Výstřížek přibližující proces třídění dat v softwaru Numbers.

obr. 12: Výstřížek ukazující způsob přiřazování meteorologických dat k faunistickým.

Grafy

fig. 1: Vývoj roční průměrné teploty na českém území.

fig. 2: Vývoj roční průměrné teploty na českém území (lineární model).

fig. 3: Vývoj zimní průměrné teploty na českém území.

fig. 4: Vývoj zimní průměrné teploty na českém území (lineární model).

fig. 5: Vývoj průměrné teploty na hnízdišti sněhulí.

- fig. 6: Vývoj průměrné teploty na hnízdišti sněhulí (lineární model).
- fig. 7: Zastoupení průměrných ročních teplot v Česku během zájmového období.
- fig. 8: Zastoupení průměrných zimních teplot v Česku během zájmového období.
- fig. 9: Zastoupení průměrných ročních teplot na hnízdišti sněhulí.
- fig. 10: Velikost hejn zimujících sněhulí pozorovaných během zájmového období.
- fig. 11: Velikost hejn zimujících sněhulí pozorovaných během zájmového období (lineární model).
- fig. 12: Rozložení jednotlivých pozorování sněhulí napříč zájmovým obdobím.
- fig. 13: Absolutní počet sněhulí zastižených v Česku daného roku.
- fig. 14: Závislost načasování prvopříletu sněhulí na roční průměrné teplotě v Česku.
- fig. 15: Závislost velikosti prvního hejna sezóny a roční teploty v Česku v předchozím roce.
- fig. 16: Závislost velikosti prvního hejna sezóny a roční teploty v Česku následujícího roku.
- fig. 17: Závislost velikosti prvního hejna sezóny a teploty na hnízdišti v předcházejícím roce.
- fig. 18: Závislost velikosti prvního hejna sezóny a teploty na hnízdišti.
- fig. 19: Zeměpisné rozmístění nálezů sněhulí.
- fig. 20: Počty unikátních záznamů sněhulí v osmi okresech s nejčtenějším výskytem.
- fig. 21: Velikost zastižených hejn v osmi okresech s největším počtem záznamů.
- fig. 22: Počty záznamů z osmi okresů s nejčastějším výskytem sněhulí v letech 1970 – 2023.
- fig. 23: Počty sněhulí hlášené z osmi okresů s jejich nejčastějším výskytem (vývoj v čase).

Tabulky

tab. 1: Přehled p-hodnot vyplývajících z lineárních modelů popisujících vztahy mezi danými teplotními parametry a daty o výskytu sněhulí.