

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra zoologie



Dopady klimatické změny na fenologii savců
Bakalářská práce

Tereza Smolková
Biologie a ekologie

Vedoucí práce: Mgr. Peter Adamík, Ph.D.

Olomouc, 2023

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Tereza Smolková
Název práce	Dopady klimatické změny na fenologii savců
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra zoologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci
Vedoucí práce	Mgr. Peter Adamík, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2023

Abstrakt

Správné načasování životních událostí je pro všechny živočichy velmi důležité. Změna klimatu ale může zapříčinit posunutí fenologie těchto událostí u různých živočišných druhů. Ve své práci jsem zhotovila přehled studií, jež se zabývaly dopady klimatické změny na fenologii savců. Z jednotlivých studií jsem získala potřebné údaje o odezvě savců na klimatickou změnu, které jsem následně zpracovala. Práci jsem rozdělila na čtyři hlavní témata, a to změny ve fenologii hibernace, reprodukce, migrace a sezónní zbarvení srsti. Celkem bylo zahrnuto 90 studií na 46 druzích, které zaznamenaly 137 změn ve fenologii nebo v jiných znacích. Téměř všechny studie (99 %) probíhaly na severní polokouli a nejvíce studovanou skupinou savců byli hlodavci. Ve větší polovině studií (58 %) autoři doložili zvýšení teplot, které měly na fenologii znaku především negativní efekt. Další často pozorovanou klimatickou proměnou byla změna v množství a načasování tání sněhu (39 %), která naopak měla na fenologii daného znaku spíše efekt pozitivní. Živočichové, kteří byli zahrnuti v mé práci, průměrně posunuli svou fenologii o -0,38 dne za rok. K největšímu posunu fenologie došlo u hibernace (-0,49 dne/rok), naopak nejmenší posun byl zaznamenán u reprodukce (-0,32 dne/rok). Nejvíce studií se zabývalo změnou fenologie reprodukce (43 %). Fenologie reprodukce byla nejčastěji ovlivněna vyššími teplotami, které byly mnohdy spojeny s prodlouženým vegetačním obdobím či větší dostupností potravy. Tyto aspekty v některých případech vedly k většímu reprodukčnímu úspěchu, větší velikosti vrhu a hmotnosti těla. Avšak v několika studiích byla změna v načasování růstu vegetace spojena s nižším reprodukčním úspěchem či větší úmrtností mláďat. Fenologii hibernace se věnovalo 33 % studií. Načasování hibernace bylo nejvíce ovlivněno vyššími teplotami, jež ve většině případů zkrátily trvání hibernace. Zkrácené období v heterotermii mělo na některé druhy pozitivní dopad, jelikož mohly déle shánět potravu. Migrací se zabývalo pouze 13 % studií. Migrující živočichové často prokázali plasticitu v jejich fenologii a také měli druhý největší posun fenologie (-0,43 dne/rok). Nejméně studií (12 %) se věnovalo změně fenologie sezónní zbarvení srsti. Savci, kteří sezónně měnili zbarvení srsti, téměř neprojevili plasticitu ve fenologii línání. V důsledku toho došlo k nesouladu ve zbarvení srsti s jejím okolím. Vliv klimatické změny na fenologii savců je čím dál populárnějším tématem, avšak ještě mnoho mechanismů posunutí fenologie nebylo objasněno.

Klíčová slova	Změna fenologie, savci, změna klimatu, hibernace, reprodukce, migrace, sezónní zbarvení srsti
Počet stran	62
Počet příloh	1
Jazyk	Český

Bibliographical identification

Author's first name and surname	Tereza Smolková
Title of thesis	Impacts of climate change on phenology in mammals
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Zoology, Faculty of Science, Palacký University Olomouc
Supervisor	Mgr. Peter Adamík, PhD.
The year of presentation	2023

Abstract

Abstract

The timing of life cycle events is a crucial aspect for all animal species. However, climate change can cause shifts in the phenology of these events in different species. In my thesis, I have reviewed studies that have assessed the effects of climate change on mammalian phenology. From each published study, I extracted relevant data on mammalian responses to climate change. I focused on four main themes: changes in phenology of hibernation, reproduction, migration and seasonal colour moult. A total of 90 studies on 46 mammal species were included, which recorded 137 changes in phenology or other traits. Almost all studies (99 %) were conducted in the Northern Hemisphere and rodents were the most studied mammal group. In more than half of the studies (58 %), the authors documented increases in temperature that had overall a negative effect on phenological traits. Another frequently observed climatic variable was the change in the amount and timing of snowmelt (39 %), which in turn had a rather positive effect on the phenology of the trait. Mammals included in my thesis on average shifted their phenology by -0.38 days per year. The largest shift in phenology occurred for hibernation (-0.49 days/year), whereas the smallest shift was observed for reproduction (-0.32 days/year). Most studies focused on the changes in reproductive phenology (43 %). Reproductive phenology was most often influenced by higher temperatures, which were often associated with an extended growing season or greater food availability. In some cases, these aspects led to greater reproductive success, larger litter size and body weight. However, in a few studies, a change in the timing of vegetation growth was associated with lower reproductive success or greater cub mortality. Hibernation phenology was addressed in 33 % of studies. The timing of hibernation was most affected by higher temperatures, which in most cases shortened the duration of hibernation. The shortened period in heterothermy had a positive impact on some species as they could forage for food for longer. Only 13 % of studies dealt with migration. Migrating animals often showed plasticity in their phenology and had the second largest phenology shift (-0.43 days/year). Fewest studies (12 %) addressed the change in phenology of seasonal coat coloration. Mammals that seasonally changed coat colour showed almost no plasticity in moulting phenology. As a result, there was a mismatch in coat coloration with its surroundings. The effect of climate change on mammalian phenology is an increasingly popular topic, but many mechanisms of phenology shifts have not yet been explained.

Keywords	Change in phenology, mammals, climate change, hibernation, reproduction, migration, seasonal colour molting
Number of pages	62
Number of appendices	1
Language	Czech

Prohlašuji, že předloženou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Petera Adamíka, Ph.D., a to pouze na základě citované literatury a vlastních výsledků.

V Olomouci dne 30.04.2023

.....

Podpis

Poděkování

Děkuji svému školiteli Mgr. Peteru Adamíkovi, Ph.D., za návrh velmi zajímavého studijního tématu a za vstřícnost při konzultacích a vypracování.

OBSAH

1. Úvod.....	9
1.1. Hibernace	10
1.2. Reprodukce	14
1.3. Migrace	17
1.4. Sezónní zbarvení srsti	20
2. Cíl práce	23
3. Metodika	24
3.1. Vyhledávání studií a zpracování dat	24
3.2. Jméno živočicha a zařazení.....	24
3.3. Lokality	24
3.4. Doba trvání studií.....	24
3.5. Změna teploty a jiné enviromentální změny.....	25
3.6. Změna ve fenologii	25
3.7. Hibernující živočich.....	25
3.8. Citace, hmotnost živočichů.....	26
3.9. Vztah mezi posunem fenologie a hmotností savců.....	26
4. Výsledky	27
4.1. Druhové zastoupení	27
4.2. Délka studií	28
4.3. Lokality	28
4.4. Působení změn teplot a ostatních enviromentálních změn	29
4.5. Změny ve fenologii znaku	29
4.6. Vztah mezi posunem fenologie a hmotností savců.....	32
4.7. Hibernace	32
4.8. Reprodukce	33
4.9. Migrace	35
4.10. Sezónní zbarvení srsti	36
5. Diskuze	38
5.1. Druhové zastoupení	38
5.2. Lokality	38
5.3. Teploty a ostatní enviromentální změny	39
5.4. Hibernace	39
5.5. Reprodukce	40
5.6. Migrace	41
5.7. Sezónní zbarvení srsti	42
5.8. Změna ve fenologii	43
5.9. Stav poznání oboru	43
7. Literatura.....	45

1. Úvod

Klimatická změna ovlivňuje krajinu v globálním i lokálním měřítku. Jedním z prvních ukazatelů vlivu klimatické změny jsou dopady na fenologii. Fenologií se rozumí sezónní načasování opakujících se každoročních událostí, jako je načasování růstu vegetace, kvetení rostlin, reprodukce zvířat, načasování hibernace či migrace (Inouye *et al.*, 2022). U mnoha druhů se načasování jednotlivých životních událostí odehrává přes rok v konkrétním čase anebo za specifických podmínek prostředí. Mění se klima, jako jsou vyšší okolní teploty, množství a typ srážek, ovlivňuje tyto podmínky prostředí, čemuž by se měly jednotlivé organismy přizpůsobit. Mnohé druhy tak posouvají fenologii, aby se mohly přizpůsobit měnícímu se prostředí. Avšak některé druhy nejsou schopny projevit plasticitu v načasování jejich životních událostí (Radchuk *et al.*, 2019).

Fenologické posuny jsou nejčastěji citovanými ekologickými odpověďmi na klimatickou změnu (Parmesan, 2006; Thackeray *et al.*, 2010). Parmesan *et al.* (2003) odhadovali, že za posledních 20 až 140 let vykazovalo 59 % z 1598 druhů změny ve fenologii. Posuny ve fenologii živočichů mohou zmírnit negativní účinky změny klimatu. Například svišť žlutobřichý (*Marmota flaviventris*) vlivem vyšších teplot ukončil hibernaci o 38 dní dříve. Dřívější probouzení umožnilo svišťům žlutobřichým déle shánět potravu a v důsledku toho měli i větší hmotnost (Inouye *et al.*, 2000; Ozgul *et al.*, 2010). Avšak někdy i posuny ve fenologii mohou mít na živočichy negativní vliv. Divoká populace tura domácího (*Bos taurus*) vlivem dřívějšího nástupu vegetačního období posunula datum vrhu mláďat o dva měsíce. Tento posun způsobil, že se mláďata rodila v zimním období a měla větší úmrtnost (Burthe *et al.*, 2011). Nicméně populace, u kterých posun nebyl zjištěn nebo byl nedostatečný, budou s větší pravděpodobností klesat (Both *et al.*, 2006).

Je tedy důležité, aby živočichové správně posunuli načasování svých životních událostí, ať mohou kopírovat změny, které způsobilo měnící se klima. Pokud nedojde k posunu fenologie živočichů, tak může nastat fenologický nesoulad. Fenologický nesoulad nastává, když interagující druhy posunou načasování pravidelně opakujících se fází životního cyklu s různou rychlostí (Renner *et al.*, 2018). Příkladem může být trofický nesoulad u soby polárního (*Rangifer tarandus*). Během studie došlo k posunu vegetačního období o téměř 15 dní, zatímco sob posunul načasování vrhů pouze o 1,28 dne. Mláďata se tedy nenarodila ve vrcholu dostupnosti zdrojů, což může mít pro soby negativní dopad (Post *et al.*, 2012).

V této práci se budu dále zabývat, jak jednotlivé savčí druhy posunuly svou fenologii v důsledku změny klimatu. Téma jsem rozdělila do čtyř hlavních skupin, a to změny v načasování hibernace, reprodukce, migrace a sezónní zbarvení srsti.

1.1. Hibernace

Hibernace je forma heterotermie, která se využívá k redukci metabolických nákladů během nepříznivého zimního období, kdy jsou nízké okolní teploty a malá dostupnost potravy (Humphries *et al.*, 2003, Geiser 2013). V průběhu hibernace dochází ke snížení tělesné teploty, ztrátě tělesné vody, zpomalení metabolismu a dalším fyziologickým procesům, které ve výsledku vedou k úspoře energie (Geiser, 2013).

Hibernace je fyziologicky odlišná od krátkých jednodenních torporů. Jednodenní torpor trvá méně než 24 hodin a je doprovázen krátkodobým snížením tělesné teploty. Během hibernace stav strnulosti přetrvává několik dnů až týdnů. V tomto dlouhém období většinou nedochází ke shánění potravy a endotermní živočichové tak závisejí pouze na svých tukových zásobách (Ruf *et Geiser*, 1995).

Druhy, které hibernují mají větší délku života než stejně velké nehibernující druhy. Díky této heterotermní taktice mají kratší aktivní období, což znamená, že je snížena pravděpodobnost jejich predace. Hibernace je díky tomu spojena s vyšším přežíváním a nižší možností extinkce (Geiser *et Turbill*, 2009; Turbill *et al.*, 2011). Další výhodou heterotermie je možnost osídlovat místa velkého zeměpisného rozsahu, a to díky schopnosti přizpůsobovat se různým energetickým požadavkům v sezónním klimatu (Geiser, 2013).

Hibernace má i své nevýhody. Může během ní docházet k vyšší predaci. Například byla pozorována predace hibernujících netopýrů sýkorami (Estók *et al.*, 2010). Také během hibernace byla zaznamenána snížená imunokompetence (Prendergast *et al.*, 2002). V průběhu hibernace dochází k periodickým probouzením, které jsou vysoce energeticky náročné. Funkce probouzení během hibernace ještě nebyla zcela objasněna. Během periodických probouzení se tělo hibernátora vrací do eutermie a poté tento živočich opět upadne do torporu. Velká spotřeba energie kvůli probouzení je poměrně paradoxní, jelikož hibernace má sloužit především k její úspoře. Studie na syslovi Richardsonovém (*Urocitellus richardsonii*) ukázala, že více než 70% spotřeba energie během hibernace byla způsobena periodickým probouzením (Wang, 1979).

Správné načasování hibernace je velmi důležité. Hibernátoři mají dlouhou dobu březosti, která je spojena s krátkou aktivní sezónou, v níž dochází k vrhu mláďat. Načasování konce hibernace musí být tedy spojeno s vysoce kvalitními zdroji potravy, aby samice mohly pokrýt energetické požadavky při laktaci (Boutin *et Lane*, 2014). Klimatická změna, která v mnoha případech silně ovlivňuje podmínky prostředí, tak může mít pro hibernující živočichy zřetelné následky.

Načasování hibernace a její trvání je řízeno pomocí cirkadiánního rytmu (Cajochen *et al.*, 2003). Jelikož je hibernace sezónním životním znakem (Findlay-Robinson *et al.*, 2023), tak společně s cirkadiánními vnitřními hodinami může mít na hibernaci a její načasování vliv také klima (Turbil *et Prior*, 2016). Jednou z nejdůležitějších funkcí hibernace

je úspora energie, což často bývá reakce na nepříznivé environmentální podmínky. Změna prostředí vlivem odlišného klimatu může mít negativní dopad na energetické zásoby hibernátorů (Findlay-Robinson *et al.*, 2023). Změny v alokaci energie, tak mohou mít vliv na jiné životní znaky ovlivňující fitness jedinců, a tedy i strukturu populace (Lane *et al.*, 2012; Maldonado-Chaparro *et al.*, 2017).

Klimatická změna může mít různý vliv na hibernující živočichy podle jejich způsobu života. Například pro netopýry je typické, že obvykle mívají jednodenní torpory. Výhoda této taktiky naproti hibernace je, že mohou měnit svou polohu v rámci jeskyně mezi jednotlivými stavy strnulosti. Díky této taktice by netopýři měli být méně ovlivněni teplejším klimatem (Neuweiler, 2000). Zatímco živočichové, kteří hibernují v norách závisí na správném výběru hibernakula, které ovlivní jejich přežívání během zimního období (Goldberg *et al.*, 2021). Oteplování klimatu má vliv i na potravu hibernujících živočichů a může působit odlišně na různé typy potravy. Teplejší klima způsobuje větší aktivitu hmyzu, což má pozitivní vliv na hmyzožravé netopýry. Zatímco herbivorní hibernátoři musí přizpůsobit načasování konce hibernace fenologii vegetace, jelikož změny klimatu posouvají vegetační období mnoha rostlinných druhů (Wells *et al.*, 2022). Živočichové hibernující ve skupinách mohou mít určité výhody oproti těm soliterním. Studie na netopýrovi společenském (*Myotis sodalis*) ukázala, že benefitem shlukování je menší ztráta tepla během krátkých eutermních period při probouzení. Také ve stabilním prostředí může shlukování vést k menším ztrátám tělesné hmotnosti (Boyles *et al.*, 2008). U sviště horského (*Marmota marmota*) se snížilo množství pomocníků ve skupině, kteří by mohli zahřívát mlád'ata během pravidelného probouzení. Pokles pomocníků měl za výsledek snížené přežívání mlád'at. Mlád'ata měla během těžkých zim větší úmrtnost, jelikož je pomocníci ve skupině nemohli zahřívát (Rézouki *et al.*, 2016).

Vliv klimatu na načasování hibernace byl velmi často zkoumán na svišti žlutobříchém. V důsledku vyšších jarních teplot sledování svišti žlutobříší v USA ukončili hibernaci o 38 dní dříve než před 23 lety (Inouye *et al.*, 2000). Vyšší teploty měly vliv i na hmotnost těchto svišťů. Jelikož vlivem oteplování tál sníh dříve, tak se prodloužilo vegetační období. Svišti byli schopni posunout načasování hibernace a probouzeli se dříve, což znamená, že mohlo dojít i dříve k reprodukci. Dřívější vrh svišťů i dřívější růst vegetace znamenal, že tito hlodavci měli delší období na shánění potravy. Díky těmto aspektům došlo k zvýšení hmotnosti u všech věkových kategorií svišťů. Těžší samice měly v následujících letech větší reprodukční úspěch, což způsobilo zvýšený populační růst (Ozgul *et al.*, 2010). Opačná reakce na měnící se klima byla pozorována u sviště horského. Vlivem tenčí sněhové pokrývky v Alpách zmenšil velikost vrhu mlád'at. Tenčí vrstva sněhu během zimy redukuje izolaci, která chrání sviště pod zemí. Menší sněhová izolace způsobila, že se mráz dostal hluboko pod zem, a v důsledku intenzivnějšího metabolismu, došlo k zvýšenému vyčerpávání tukových zásob u sviště horského (Tafani *et al.*, 2013).

Pozdější tání sněhu v Kanadě posunulo fenologii sysla kolumbijského (*Urocitellus columbianus*). Během dvacetileté studie se probouzeli z hibernace o více než devět dní

později, zatímco tání sněhu se za stejnou dobu zpozdilo o více než 56 dní. Zpožděné tání sněhu bylo způsobeno velkým množstvím pozdních sněhových bouří. Samice sysla kolumbijského rodí mláďata v polovině tří až čtyř měsíčního aktivního období. Po vrhu musí samice i mláďata akumulovat velké množství tuků, aby během hibernace měli co největší šanci na přežití. Pozdější ukončení hibernace tak znamená, že dojde později i k vrhu mláďat, a ty tak budou mít méně času na shánění potravy. Ve výsledku pozdější tání sněhu v Kanadě bylo spojeno se sníženou fitness u sysla kolumbijského (Lane *et al.*, 2012). Načasování tání sněhu mělo vliv i na sysla Parryového (*Urocitellus paryii*). Sheriff *et al.* (2017) poměřili vliv klimatu na sysla Parryového ve dvou oblastech Aljašky. Samice sysla byly větší a v lepší kondici v oblasti, kde došlo k prodlouženému období sněhové pokrývky a ke snížení dostupnosti potravy během hibernace než samice žijící v druhé oblasti s neprodlouženou sněhovou pokrývkou. Také bylo zjištěno, že samice v oblasti s pozdějším tání sněhu měly během březosti větší hladinu glukokortikoidů. Glukokortikoidy jsou důležité při mobilizaci energetických zásob, také mohou stimulovat hledání potravy a zvýšit účinnost krmení (Montanholi *et al.*, 2013, Boonstra *et al.*, 2014). Díky této taktice mohly samice, které měly z důvodu prodloužené sněhové pokrývky menší možnost shánět potravu, být v lepší kondici.

Plch velký (*Glis glis*) byl také ovlivněn klimatickou změnou. V České republice se během 26 let studie začal vlivem vyšších jarních teplot vynořovat z hibernace o téměř 20 dní dříve. V tomto období se zvýšilo množství semen, což mělo pozitivní dopad na populaci plchů, a proto také došlo k jejímu zvětšení. Avšak dřívější probouzení z hibernace i větší množství plchů mělo negativní vliv na čtyři druhy zpěvných ptáků, jelikož plši predují jejich vajíčka a zabíjejí inkubující rodiče (Adamík *et al.*, 2008). Množství jídla a vyšší teploty ovlivnily populaci plchů velkých i v Německu. Fietz *et al.* (2020) pozorovali, že když se zvýšily teploty o jeden stupeň a minulý rok bylo nedostatek potravy, tak došlo k posunu hibernace o šest dní. Avšak v letech, kdy bylo dostatečné množství potravy, nebylo načasování konce hibernace ovlivněno okolní teplotou, i když teplota během hibernace ovlivnila hmotnost plchů. Po teplejších letech s vysokou dostupností jídla došlo k poklesu hmotnosti plcha velkého. Zvýšené teploty byly také spojeny s velikostí vrhu, jelikož při oteplení o jeden stupeň došlo ke zvětšení vrhu o 0,27 mláďete (Fietz *et al.*, 2020). Teplejší klima může tedy mít jak pozitivní, tak i negativní důsledky na hibernujícího savce.

Dostupnost jídla a klima ovlivnilo načasování hibernace i u velkých zvířat. Medvěd baribal (*Ursus americanus*) vlivem vyšších teplot redukoval délku hibernace a vynořoval se z nor dříve. Teplejší počasí na podzim způsobilo odložení hibernace, v zimě vyšší teploty redukovaly období hibernace a nejsilnější vliv na trvání hibernace měly jarní teploty. Větší dostupnost přirozeného i lidského jídla měla na hibernaci stejný efekt jako teploty, tedy došlo k pozdějšímu začátku a zkrácení délky hibernace. Pokud vyšší teploty a větší dostupnost lidského i přirozeného jídla budou nadále redukovat trvání hibernace medvědů, tak s největší pravděpodobností vzroste množství konfliktů mezi medvědy a lidmi (Johnson *et al.*, 2018). Medvěd hnědý (*Ursus arctos*) také zkrátil období strávené v doupěti. Dostupnost jídla ovlivnila hlavně načasování vstupu do doupěte. Když bylo

větší množství bobulí, tak medvěd hnědý vstoupil do doupěte dříve. Množství srážek a teploty zase ovlivnily vynořování se z doupat. S vyššími teplotami a menším množstvím sněhu medvědi ukončili hibernaci a vynořili se dříve (Pigeon *et al.*, 2016). Fenologii samic medvěda ledního (*Ursus maritimus*) v mateřských norách studovali Escajeda *et al.* (2018) v Baffinově zálivu. Samice strávily ve svém doupěti v letech 2009 až 2015 o 27 dní méně než v letech 1991 až 1997. Méně času stráveného v doupěti zapříčinil pozdější vstup do doupěte, avšak v načasování vylézání z doupěte nebyl zjištěn žádný trend. K pozdějšímu vstupu nejčastěji došlo kvůli změnám v distribuci mořského ledu. Jelikož v Baffinově zálivu taje led dříve o sedm dní za dekádu a na podzim se led později formuje o 5,2 dny za dekádu (Laidre *et al.* 2015), tak samice mají menší množství času na lovení jejich potravy. S menším množstvím času na lov přichází medvědi na pevninu v horší fyziologické kondici. Proto se samice mohou snažit trávit co nejvíce času lovením, než aby založily doupě. Také došlo ke změně umístění jejich doupat. Samice si vyhledávaly doupata ve strmějších svazích a ve vyšších nadmořských výškách, kde se nacházelo ideální množství sněhu pro jejich vybudování (Escajeda *et al.*, 2018).

Klimatická změna může mít na netopýry vliv pozitivní i negativní. Například vyšší jarní teploty zlepšily tělesnou kondici u netopýra velkého (*Myotis myotis*, Zahn *et al.*, 2007) a netopýra pláštikového (*Antrozous pallidus*, Lewis, 1993). Výhody teplejších jar můžou být v prodloužení teplejšího období, což umožní netopýrům déle nabírat hmotnost. Vyšší teploty jsou spojeny i s vyšší aktivitou hmyzu. Pro hmyzožravé netopýry to znamená, že budou mít větší množství potravy. Avšak pozdější období chladných teplot, či nedostatek hmyzu během probouzení mohou způsobit zvýšenou mortalitu (Jones *et al.*, 2009). Trvání torporu je závislé na okolní teplotě. U vrápence velkého (*Rhinolophus ferrumequinum*) vyšší teploty zkrátily trvání torporu. Torpor trvá do té doby, než dojde k dosažení kritické metabolické nebo vodní nerovnováhy. Metabolismus a ztráta vody jsou závislé na teplotě, a proto tedy se zvýšenou teplotou dojde ke zkrácení torporu (Park *et al.*, 2000). Ke zkrácenému období torporu došlo i u tropického netopýra *Nyctophilus bifax* v Austrálii. Očekávané oteplení o dva stupně by zkrátilo čas v torporu na 21,8 % (Stawski *et Geiser* 2012). Naopak netopýr *Myotis formosus* v Koreji prodloužil trvání hibernace. Jaro je pro netopýry kritickým obdobím, jelikož dochází k velkému kolísání teplot a je nejistá možnost potravy. Zkrácením aktivity v jarním období a prodloužením hibernace si může tento druh netopýra zvýšit přežívání (Kim *et al.*, 2013).

Vliv klimatické změny na netopýry může být různý podle toho, kde tráví období torporu. Netopýři, kteří tráví torpor na stromech mohou být ovlivněni teplejšími zimami. Během nocí v mírných zimách budou mít větší energetické náklady, které jsou spojeny s pravidelným probouzením se (Turbill, 2008). Zatímco netopýři, kteří tráví torpor v jeskyních či dolech mohou mít určitou výhodu. Meyer *et al.* (2016) zjistili, že zimní teploty uvnitř dolu, kde hibernoval netopýr hnědavý (*Myotis lucifugus*), byly stabilnější než ty venkovní. Proto je možné, že načasování probouzení se z hibernace u netopýra hnědého bylo konstantní a nebylo korelováno s jarními ani zimními teplotami.

1.2. Reprodukce

Reprodukce je základním pudem všech živých forem. Z hlediska evoluce se živočichové rozmnožují, aby mohli předat genetickou informaci svým potomkům a maximalizovali tak svůj fitness. Správné načasování reprodukce je velmi důležité. Rodiče musí potomstvo přivést do prostředí, kde budou mít dostatek potravy a co největší šanci na přežití.

Hlavními příčinami sezónní reprodukce savců jsou fotoperioda a energetická bilance. Neuroendokrinní cesty spojují energetickou bilanci a fotoperiodu, poté dochází k uvolnění gonadotropního hormonu. Gonadotropní hormon u samic způsobuje ovulaci. Pokud energetické výdaje přesáhnou zisk kalorií, tak aktivita gonadotropního hormonu se potlačí a nedojde k reprodukci (Bronson, 2009). Tento mechanismus zabraňuje početí v nepříznivých podmínkách. K ukončení reprodukčního období také dochází, když délka dne klesne pod 12,5 hodiny (Bronson, 2009).

Vyšší teploty vedou k posunu načasování jarních událostí jako je například růst rostlin (Visser *et* Holleman, 2001). Pokud herbivorní savci nezmění svou fenologii, aby se přizpůsobili načasování růstu rostlin, tak může dojít k trofickému nesouladu. Trofickým nesouladem se rozumí, že oteplování posouvá načasování reprodukce zdrojů a jejich množství, ale nedochází vůbec nebo dostatečně ke změně načasování jejich konzumentů (Visser *et* Gienapp, 2019). Trofický nesoulad byl pozorován například u soba polárního. V letech 2002 až 2006 došlo k posunu vegetačního období o téměř 15 dní, zatímco sobi posunuli datum vrhu pouze o 1,28 dne. Nedostatečným posunem v načasování reprodukce došlo k rozvíjejícímu se trofickému nesouladu mezi datem vrhu a největší dostupností potravy pro soby. Také během let, kdy byl velký trofický nesoulad, došlo k nižší produkci telat (Post *et* Forchhammer, 2012). Trofickému nesouladu se nevyhnul ani srnec obecný (*Capreolus capreolus*). Samice srnce se živí mladými výhonky, které mají vysokou nutriční hodnotu. Potrava bohatá na živiny je pro ně klíčová hlavně během laktace, která je vysoce energeticky náročná (Clutton-Brock *et al.*, 1989). Proto je pro samice srnce velmi důležité správně načasovat datum vrhu. Ve Francii sledované populace srnců měly konstantní načasování vrhů, zatímco fenologie rostlin se za 27 let studie posunula o více než 16 dní. Nedostatek plasticity v načasování vrhů tak vedl k trofickému nesouladu, který způsobil pokles v přežívání mláďat (Plard *et al.*, 2014). Negativní dopad spojený s dřívějším nástupem vegetace byl pozorován i u divoké populace tura domácího. Během šedesátileté studie docházelo k dřívějším vrhům telat o jeden den za rok, což ve výsledku vedlo k posunu data narození o více než dva měsíce. Tento obrovský posun způsobil, že se telata rodila v zimním období. Telata narozena v zimě měla větší úmrtnost než telata narozena na jaře nebo v létě. Větší množství vrhů v zimě bylo v letech, kdy začátek vegetačního období rostlin předchozího jara byl dřívější. Avšak u pozorované populace nebylo klima jediným faktorem, který ovlivňoval načasování vrhu. I když vegetační období bylo pozdější, tak k dřívějším vrhům také docházelo, když byla vyšší hustota samic ve stádě (Burthe *et al.*, 2011). Naproti předešlým příkladům, na jelena evropského (*Cervus elaphus*) ve Skotsku měl posun

vegetačního období pozitivní dopad. Jeleni vykazovali vysokou fenotypickou plasticitu a během studie značně posunuli načasování jejich reprodukce. Mláďata, která byla narozena dříve a s větší hmotností, měla větší pravděpodobnost na přežití zimy. Také u samců došlo ke zvýšení hmotnosti parohů, což bylo spojeno se zvýšenou dostupností zdrojů a se zlepšením fyziologického stavu během růstu parohů (Moyes *et al.*, 2011).

Vliv trofického nesouladu na daného živočicha může záviset i na jeho rozmnožovací strategii. Rozlišují se dvě reprodukční strategie, a to „capital“ a „income breeders“. Pro „income breeders“ je typické, že energetické náklady na reprodukci jsou zajišťovány ze zdrojů, které jsou získány přímo během reprodukce. Zatímco „capital breeders“ investují do potomstva z vlastních fyziologických zásob, které si zajistili ještě před reprodukcí. Avšak praktikovat čistě jednu strategii není úplně běžné. Většinou živočichové uplatňují obě strategie, ale jednu z nich preferují více (Jönsson, 1997; Stephens *et al.*, 2009). Příkladem živočicha, který si vytváří zásoby před reprodukcí může být pižmoň severní (*Ovibos moschatus*) a živočicha závisujícího na zdrojích během reprodukce sob polární. Na těchto dvou kopytnících studovali Kerby *et Post* (2013) vliv trofického nesouladu. Autoři zjistili, že sob polární během shánění potravy ztrácel méně energie, ale na druhou stranu jeho reprodukční výkonnost mezi lety více klesala. Sob byl také negativně ovlivněn trofickým nesouladem, zatímco na pižmoně změna v dostupnosti potravy neměla značný vliv. Pižmoni během studie měli vyšší produkci telat. Ve výsledku je tedy důležité, jakou strategii daný živočišný druh preferuje, což ovlivní, jak na něj bude působit změna v dostupnosti potravy během měnícího se klimatu.

Klimatická změna měla vliv na dostupnost potravy a na načasování reprodukce i u hlodavců. Například u čikarího červeného (*Tamiasciurus hudsonicus*) bylo zjištěno, že po letech s vysokou produkcí semen samice rodily mláďata dříve a dřívější reprodukce byla spojená s větším přežíváním mláďat. Díky dostatku potravy mohli tito drobní hlodavci více odpočívat, což zvyšovalo jejich přežívání. Hnacím motorem reprodukce u tohoto hlodavce byly teploty, které ovlivňovaly množství potravy, nikoliv okolní teploty na jaře (Williams *et al.*, 2014). Podobný trend byl pozorován i u jiné studie na čikarím červeném. V této práci bylo zjištěno, že za posledních deset let byla větší úroda semen, což znamená, že samice měly během života více potravy. Vlivem větší dostupnosti jejich potravy pak došlo ke zkrácení období březosti o 18 dní (Réale *et al.*, 2003).

Změna v množství potravy pravděpodobně posunula načasování reprodukce i u ploutvonožců. Tuleni obecní (*Phoca vitulina*) z Waddenského moře zkrátily jejich reprodukční cyklus. Byla zaznamenána dřívější data vrhů, a to o 0,71 dne za rok, což v přepočtu znamená, že za 36 let studie se mláďata rodila o 25 dní dříve. Autoři studie uvádí, že nejpravděpodobněji došlo ke zkrácení embryonální diapauzy a toto zkrácení mohlo být způsobeno zvýšeným množstvím potravy (Reijnders *et al.*, 2010). V Severním moři vlivem intenzivního rybaření pokleslo množství velkých dravých ryb, které by lovily malé ryby (Jennings *et al.*, 2002). V důsledku toho je větší množství malých ryb, a tedy i větší dostupnost potravy pro tuleně. Stejný trend na tuleni obecném

ve Waddenském moři pozorovali Osinga *et al.* (2012). I když docházelo k dřívějším vrhům mláďat, tak nebyl zaznamenán pokles v jejich hmotnosti, ale právě naopak mláďata měla větší porodní hmotnost. K posunům ve fenologii reprodukce došlo i u tuleně kuželozubého (*Halichoerus grypus*). V nejteplejších letech bylo hlavní období vrhu mláďat o týden dříve než v těch nejstudenějších. Avšak u tohoto druhu ploutvonožce byla hlavním důvodem posunu měnící se věková struktura populace. Vlivem teplejšího klimatu se zvýšil průměrný věk samic a starší samice rodily mláďata dříve (Bull *et al.*, 2021).

Změny v načasování reprodukce byly pozorovány i u netopýrů. Netopýr vodní (*Myotis daubentonii*) v České republice posunul datum vrhu o 11 dní za 43 let studie. Načasování reprodukce souviselo s dubnovými teplotami. Vrh mláďat nastal dříve, když byly dubnové teploty vysoké. S reprodukcí bylo spojeno i množství srážek. Reprodukční úspěch byl nižší s větším množstvím květnových a červnových srážek (Lučan *et al.*, 2013). Vliv srážek na reprodukci byl pozorován i u netopýra hnědého v Kanadě. Sušší a teplejší počasí způsobilo dřívější datum vrhu, větší počet reprodukcí samic a více synchronizovaných vrhů (Burlles *et al.*, 2009). Srážky mohou mít negativní vliv na netopýry, jelikož při namočení srsti dochází ke snížení její izolační vrstvy. To může omezit aktivitu netopýrů (Tuttle *et Stevenson*, 1982), tedy i snížit možnost shánět potravu, což by mohlo mít negativní vliv na jejich přežívání. Vrápenec velký také změnil fenologii reprodukce. V Anglii se teplota na jaře zvýšila o dva stupně, což vedlo k osmnáctidennímu posunu data vrhu (Ransome *et McOwat*, 1994).

1.3. Migrace

Migrace je behaviorální adaptace na sezónnost prostředí. Nejčastěji dochází k sezónní migraci tam a zpět mezi oblastmi, kde jsou podmínky střídavě příznivé a nepříznivé (Dingle *et* Drake, 2007). Důvodem přesunu je ve většině případů lepší využití zdrojů jako je například potrava, druh nebo družka či nová lokalita (Dingle *et* Drake, 2007 od Dingle, 1996). Migrující živočichové se dělí na obligátní a fakultativní. Obligátní migranti migrují vždy, zatímco fakultativní pouze bezprostředně reagují na zhoršující se podmínky prostředí, ve kterém se momentálně nachází (Dingle *et* Drake, 2007).

U obratlovců, kteří jsou schopni letu či plavání bývá migrace nejčastější, jelikož jsou tyto živočichové schopni rychlejšího přesunu, zatímco u pevninských druhů není migrace příliš častá. Pouze pár migrujících savčích druhů je suchozemských. Většinou se jedná o velké kopytníky, kteří následují sezónní vegetační růst (Berger, 2004). Nejčastější přesun je do oblasti, ve které dochází k reprodukci. V této oblasti bývá nejvíce zdrojů potravy, a proto zde také dochází k vrhu mláďat. Poté se migranti přemisťují do regionu, ve kterém k reprodukci nedochází, a to v důsledku zhoršení podmínek či nedostatku potravy v předchozí oblasti (Robinson *et al.*, 2009). Příkladem migrujícího živočicha, který se přesunuje do reprodukční oblasti může být sob polární. Tito velcí kopytníci migrují stovky kilometrů mezi zimními, reprodukčními a letními post reprodukčními oblastmi (Gurarie *et al.*, 2019). Jelikož velmi často dochází k přesunům na velkou vzdálenost a migrace tak zaujímá značnou část životního cyklu živočichů, může docházet během této životní strategie k značné mortalitě (Sillett *et* Holmes, 2002).

Správné načasování migrace je velmi důležité, protože migrující živočichové se přesunují za lepšími podmínkami a potřebují tak dorazit na cílové místo v ten správný čas. U jelena běloocasého (*Odocoileus virginianus*) jsou primárními podněty k migraci: hloubka sněhu, měnící se teploty a komplexnější stimuly zahrnující fotoperiodu a změnu ve vegetaci (Verme, 1973; Kucera, 1992; Nelson, 1995). Tyto podněty k migraci mohou být silně ovlivněny klimatickou změnou. Vliv změny klimatu je u migrujících živočichů poměrně paradoxní. Migrující druhy často využívají různé strategie k přesunům a může se tedy očekávat, že budou schopni reagovat na změny v jejich prostředí. Na druhou stranu jsou závislí na dostupnosti více lokalit. Všechny tyto lokality mohou být jinak ovlivněny klimatickou změnou, což bude mít v největší pravděpodobnosti negativní dopady na migranty (Robinson *et al.*, 2009).

Klimatická změna má patrně největší vliv na živočichy, kteří migrují do oblasti, ve které dochází k vrhům mláďat. Ideální načasování příchodu do této oblasti je kritické (Kokko, 1999). Samice by měly být v té nejlepší kondici, aby zvládly energeticky náročný vrh a laktaci, stejně tak i mláďata by se měla narodit do optimálních podmínek, neboť potřebují mít co největší šanci na přežití. Oteplující se klima má vliv i na růst vegetace. V suchozemských oblastech díky dřívějšímu tání sněhu a rostoucím teplotám dochází k posunu vegetačního období u mnoha rostlinných druhů (Kelsey *et al.*, 2021).

Je důležité, aby migrující živočichové byli schopni na tento posun reagovat a mohli tak plně využívat dostupnost potravy.

Dřívější příchod do reprodukční oblasti jako reakci na posunutí vegetačního období, sněhové pokrývky a vyšších teplot zaznamenali Gurarie *et al.* (2019) u soba polárního. Sob polární posunul datum příchodu o 0,73 dne za rok, což znamená, že za 23 let studie přicházel na stanoviště o téměř 17 dní dříve. Populace soba polárního v Kanadě také posunula načasování migrace. Během dvanáctiletého studia začali sobi na jaře migrovat o 14 dní dříve. Na jarní migraci měly vliv teploty v zimním období. Za každé oteplení se o jeden stupeň v zimě došlo k dřívější migraci o 1,9 dne. Načasování jarní migrace bylo ovlivněno i velikostí stáda. S menší velikostí stáda sobi migrovali dříve. Stejně tak k dřívějšímu odchodu z jarního stanoviště došlo, když sobi migrovali na větší vzdálenost. Na podzim sobi přišli na stanoviště dříve o 5,6 dne a dříve také odcházeli o 6,2 dne (Le Corre *et al.*, 2017). Z těchto studií vyplývá, že sob polární má určitou plasticitu v načasování migrace a je schopný měnit fenologii podle měnících se enviromentálních podmínek.

Teploty mohou také ovlivnit potravu mořských migrantů. Fytoplankton je silně závislý na teplotě a klimatická změna ovlivňuje jeho rozšíření (Hays *et al.*, 2005). Teplotou je ovlivněno také množství krilu. Szesciora *et al.* (2020) pozorovali, že s chladnější hladinou moře předchozího roku je spojena větší masa krilu roku následujícího. Ve stejné studii bylo zjištěno, že na množství krilu reagoval plejtvák obrovský (*Balaenoptera musculus*). Do míst s potravou migroval o více než měsíc dříve, zatímco datum odchodu nezměnil. To znamená, že mohl trávit delší období sháněním jeho potravy.

Změna klimatu ovlivňuje také průběh cesty. Teplejší léta mohou být spojená s větší infestací hmyzem, což má negativní vliv na fyzickou kondici sobů (Walsh *et al.*, 1992). Vyšší teploty v zimě způsobují větší množství dešťových srážek, které dopadají na sněhovou pokrývku. Při tomto jevu dochází k vytvoření ledové krusty na povrchu sněhu, což brání sobům polárním se dostat k jejich potravě a tím pádem to má negativní vliv na jejich populace (Hansen *et al.*, 2011). Na druhou stranu vlivem vyšších teplot dochází také k tání ledu. Pro soby to může znamenat, že jejich cesta bude delší, jelikož raději vodní plochy s tajícím ledem obejdou, než aby je překročili (Leblond *et al.*, 2016).

Množství ledu je důležitým aspektem života i u ledních medvědů. Tito velcí masožraví savci žijí v Arktidě, kde dochází k rapidnímu tání ledu. Od sedmdesátých let dvacátého století ubývá v Arktidě 3,8 % ledu za desetiletí a v zimě se led ztenčuje o dva metry (Vaughan *et al.*, 2014). Když je led v důsledku tání fragmentovaný do takové míry, že medvědi nejsou schopni lovit a ani se na něm pohybovat, musí se přesunout na jejich letní stanoviště. I když na letním stanovišti jsou schopni sehnat potravu, tak tato potrava není dostatečně nutričně bohatá, aby uspokojila jejich energetické požadavky (Ramsay *et al.*, 1991; Cherry *et al.*, 2013). Posunutí fenologie migrace u medvěda ledního, jako odpověď na dřívější tání ledu zaznamenali Cherry *et al.* (2013). Sledování medvědi v Hudsonově zálivu přicházeli na pevninu dříve s dřívějším tání ledu a odcházeli

z ní později. Tímto posunem značně prodloužili období strávené na pevnině, kde nemají přístup k jejich kaloricky bohaté potravě z moře. Nedostatečný nutriční příjem tak může způsobit pokles v hmotnosti těla, neúspěšnou reprodukci a větší úmrtnost. Vliv změny ve struktuře a načasování mořského ledu můžeme pozorovat i na kytovcích. Pozdější migrací, v důsledku odlišného formování ledu, změnili svou fenologii například narval jednorohý (*Monodon monoceros*, Shuert *et al.*, 2022) či běluha severní (*Delphinapterus leucas*, Hauser *et al.*, 2017).

1.4. Sezónní zbarvení srsti

Druhy žijící v temperátních a polárních zeměpisných šířkách mají mnoho fyziologických adaptací, které jim umožňují se přizpůsobit nepříznivým podmínkám, jako jsou kruté zimy a vysoká sezonalita počasí (Blix, 2016). Jednou z těchto adaptací je sezónní změna zbarvení srsti, během které dochází k línání tmavě pigmentované srsti v létě na světle pigmentovanou srst v zimě (Zimova *et al.*, 2018).

Sezónní zbarvení srsti má dvě základní funkce. První velmi důležitou funkcí je kamufláž. Bílé zbarvení srsti v zasněženém okolí umožňuje splynutí živočichů s touto taktikou (Wallace, 1895). Kamufláž je jedním z nejsilnějších evolučních hnacích motorů pro zbarvení srsti u savců (Caro, 2014). V několika studiích bylo prokázáno, že kamufláž snižuje riziko predace (Kiltie, 1989; Vignieri *et al.*, 2010). Proto nesoulad ve zbarvení srsti s okolím zvířete může vést k větší predaci jedinců. Tento jev byl pozorován například u zajíce měnivého (*Lepus americanus*), kdy bylo zjištěno, že ve dnech, ve kterých se zbarvení srsti neshodovalo se svým okolím, docházelo k větší mortalitě zajíců (Wilson *et al.*, 2019). Další významnou funkcí je termoregulace. Russell *et Tumlison* (1996) srovnali chlupy z letní a zimní srsti a zjistili, že bílé chlupy jsou širší a obsahují více vzduchem naplněných buněk, což umožňuje větší tepelnou izolaci.

Fenologie změny zbarvení srsti je řízena pomocí stejného mechanismu jako u načasování jiných důležitých životních událostí jako je reprodukce, hibernace či migrace. Tyto mechanismy jsou založeny na vnitřním cirkadiánním rytmu, který je spojen s vnějším stimulem. Tím bývá nejčastěji délka dne neboli fotoperioda (Gwinner, 2003; Hofman, 2004). Vlivem klimatické změny dochází ke zmenšení vrstvy sněhové pokrývky (Vaughan *et al.*, 2014; Kunkel *et al.*, 2016) a také k menšímu množství dnů se sněhovou pokrývkou (Brown *et Mote*, 2009). Jelikož je načasování změny zbarvení srsti regulováno fotoperiodou, tak díky sníženým počtům dnů se sněhovou pokrývkou může dojít k nesouladu mezi zbarvením srsti a okolím zvířete. Načasování změny zbarvení srsti může být ovlivněno i teplotou a množstvím sněhu. Tyto dva faktory by ale neměly žádný účinek, pokud by nedocházelo k posunům ve fotoperiodě (Zimova *et al.*, 2018). Snížené teploty na podzim mohou urychlit línání z hnědé barvy na bílou. Efekt vlivu teploty na změnu zbarvení srsti pozoroval například Rothschild (1942) na lasici hranostaji (*Mustela erminea*). Zjistil, že načasování línání neovlivňuje teplota před línáním samotným, ale ovlivňuje jej teplota při línání. V nízkých teplotách lasice zcela dokončily línání ze světlého na tmavé, zatímco při vyšších teplotách tato obměna může trvat o 10 až 20 dní déle. Stupeň chladu také ovlivňuje jasnost bílé srsti, jelikož lasice vystavené chladnějším teplotám měly bělejší srst. Vliv sněhu na línání je těžké oddělit od vlivu teploty. Nicméně některé studie prokázaly, že vztah mezi množstvím sněhové pokrývky a načasováním línání existuje. Zvířata vykazovala pomalejší postup línání, když byla jara chladnější a zasněženější (Zimova *et al.*, 2014; Kumar, 2015).

Kvůli změně klimatu a s ní spojenými změnami v množství sněhu dochází k zvýšenému nesouladu mezi zbarvením srsti a jejím okolím, což může vést k poklesu populace, pokud

nedojde k adaptivní odpovědi (Zimova *et al.*, 2016). I když má na fenologii sezónní zbarvení srsti silný vliv fotoperioda, tak některé druhy živočichů byly schopny posunout jejich načasování línání jako odpověď na měnící se teploty a množství sněhu (Zimova *et al.*, 2014).

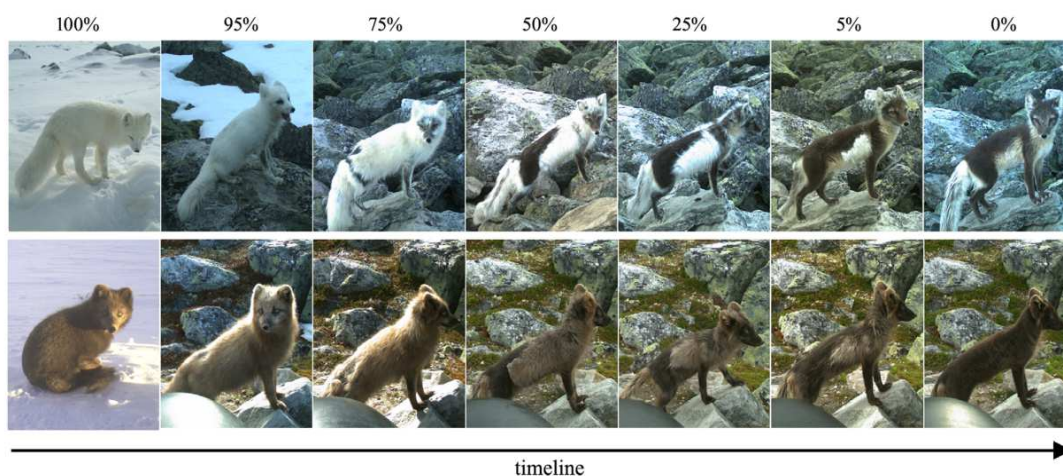
Nejčastějším zástupcem, na kterém byla pozorována změna v načasování sezónní zbarvení srsti, byl zajíc měnivý. Zajíc měnivý si nebuduje nory, do kterých by se mohl schovat. Spíše během dne nehybně sedí na místě odpočinku a neutíká, dokud nepřijde bezprostřední nebezpečí. Proto je pro zajíce měnivého splynutí s okolím velmi důležité. S kratším obdobím sněhové pokrývky došlo k nesouladu ve zbarvení srsti a jejím okolím. Zajíc měnivý prokázal plasticitu v načasování línání na jaře, avšak fenologie podzimního línání z hnědého na bílé zbarvení byla fixní (Mills *et al.*, 2013; Zimova *et al.*, 2014). Například Zimova *et al.* (2014) nepozorovali plasticitu v načasování línání na podzim, ale na jaře posunul zajíc měnivý načasování změny zbarvení srsti z bílé na hnědou o 19 dní. Z toho množství sněhové pokrývky objasnilo jen třídenní posun a teploty pouze jednodenní posun. Proč je větší plasticita na jaře zatím nebylo objasněno. Může to být způsobeno tím, že na jaře bývá větší predace, což by kladlo větší selekční tlak na posun jarního línání, aby se zajíci vyhnuli nesouladu. Pokud došlo k nesouladu ve zbarvení srsti se svým okolím, tak zajíci nemodifikovali své chování, aby redukovali barevný kontrast (Zimova *et al.*, 2014). I když zajíci prokázali plasticitu, tak nebyla dostatečná, aby zabránila nesouladu ve zbarvení srsti a jejím okolím. Bylo zjištěno, že zajíci s komplexním nesouladem ve zbarvení srsti mají o 7 % nižší týdenní přežívání než jedinci, kteří splynuli s prostředím. Pokles přežívání měl negativní dopad na populace, jejichž počet strmě klesl (Zimova *et al.*, 2016). Podobným výsledkům se dobrali i Wilson *et al.* (2019). Provedli translokaci zajíců, aby zjistili, jestli nesoulad bude mít vliv na jejich přežívání. Ve výsledku měli zajíci s nesouladem 3,2 x menší pravděpodobnost na přežití než jedinci, kteří splynuli s okolím.

Nesouladu ve zbarvení srsti a jejím okolím se nevyhnul ani zajíc bělák (*Lepus timidus*). Ve Skotsku se mezi lety 1960 a 2016 zvýšily teploty a průměrně kleslo období se sněhem o 37 dní. Stejně jako u zajíce měnivého, tak i zajíc bělák výrazně nezměnil fenologii podzimního línání. Avšak na jaře byla zaznamenána určitá plasticita v načasování změny zbarvení srsti. Línání bylo pozdější během chladnějších jar. Nedostatečná schopnost přizpůsobit se změně klimatu způsobila průměrně 35denní nesoulad ve zbarvení srsti a jejím okolím (Zimova *et al.*, 2020a). Vlivem zkráceného období se sněhovou pokrývkou byl pozorován pokles v množství zajíců běláků. Počet zajíců tedy pozitivně koreloval s délkou období sněhové pokrývky (Pedersen *et al.*, 2017).

Fenologický nesoulad způsobený klimatickou změnou byl pozorován i na lasici kolčavě (*Mustela nivalis*) v Polsku. V Polsku se vyskytují dvě barevné varianty lasice kolčavy, které se liší zimním zbarvením srsti. Jeden poddruh (*Mustela nivalis nivalis*) má v zimě bílé zbarvení srsti a druhý poddruh (*Mustela nivalis vulgaris*) má i přes zimu barvu hnědou. V polském Bělověžském pralese klesl počet dní s permanentní sněhovou pokrývkou z 80 dní na 40 dní. Tento pokles vedl k nesouladu ve zbarvení srsti bílé

zbarveného poddruhu lasice kolčavy, jelikož vykazovaly velmi nízkou plasticitu ve fenologii línání. Nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňoval detekci predátorem bylo maskování. Lasice s nekompatibilním maskováním byly častěji detekovány predátorem než ty, jejichž zbarvení se hodilo k pozadí. Ve výsledku došlo v Bělověžském pralesi k poklesu populace lasic, které na zimu měnily hnědé zbarvení srsti na bílou spolu s poklesem množství dnů s trvalou sněhovou pokrývkou. Zvýšená mortalita v zimě bíle zbarveného poddruhu během nesouladu ve zbarvení srsti a jejím okolím by mohla vést k lokálnímu vymření této formy a být nahrazena v zimě hnědě zbarvenými lasicemi (Atmeh *et al.*, 2018).

Naproti předchozím případům byly lišky polární (*Vulpes lagopus*) schopny měnit fenologii změny zbarvení srsti. Liška polární se také vyskytuje ve dvou barevných variantách. Bílá forma je v zimě bíle zbarvená a modrá forma má v zimě hnědé zbarvení. V Norsku lišky polární byly schopné měnit fenologii zbarvení srsti při lokálních změnách teplot a změnách v množství sněhové pokrývky. Při nízkých teplotách a delším obdobím se sněhovou pokrývkou lišky začaly línat na jarní srst později a línání déle, naopak při kratším období sněhové pokrývky byl přechod na jarní srst dřívější a línání bylo dokončeno rychleji. Příkladem schopnosti měnit fenologii byly na porovnání dva roky 2011 a 2015, kdy byly v Norsku během studie největší meziroční rozdíly v množství sněhu. V roce 2011 bylo sněhu málo a v roce 2015 naopak hodně. Celkem se počet dnů se sněhovou pokrývkou lišil o 51. Lišky reagovaly na takovou variaci posunem v začátku línání o tři až šest týdnů (Laporte-Devlyder *et al.*, 2023). Podobné výsledky měli i Zimova *et al.* (2022) ve Švédsku. Bílé formy lišek byly schopny kopírovat množství sněhu a vyhnuly se tak nesouladu ve zbarvení srsti a jejím okolím. Naopak modré formy lišek měly vysokou míru nesouladu mezi hnědě zbarvenou srstí a bíle zbarveným pozadím se sněhem. Avšak nesoulad nezpůsobil žádný zjevný negativní dopad na modrou formu lišky polární. Proto autoři předpokládají, že s klesajícími počty dnů se sněhovou pokrývkou dojde zvýšení počtu modré formy lišky polární.



Obrázek 1: Jarní postup línání srsti lišky polární, a to její bílé formy (horní řada) a modré formy (spodní řada). Línání na jaře postupuje od plně zimní zbarvení srsti (100 %) po plně letní zbarvení srsti (0 %). Zdroj: Laporte-Devlyder *et al.*, 2023.

2. Cíl práce

Cílem mé bakalářské práce je zpracování přehledu studií, které se zabývají dopady probíhající klimatické změny na fenologii savců. Z jednotlivých studií získám potřebné údaje o síle odezvy a ty následně zpracuji. Ze získaných údajů tak zmapuji sílu odezvy savců na klimatickou změnu, nejčastěji studované druhy a geografické zaměření. Rovněž na konci prodiskutuji momentální stav poznání oboru.

3. Metodika

Práci jsem rozdělila na čtyři hlavní témata: změny v načasování hibernace, reprodukce, migrace a v načasování sezónní zbarvení srsti. I když jsem jednotlivá témata od sebe oddělila, tak často bývají propojená. Spojitost mezi sebou má především načasování hibernace a reprodukce, stejně tak i načasování migrace a reprodukce.

3.1. Vyhledávání studií a zpracování dat

Studie zaměřené na fenologii savců a klimatickou změnu jsem vyhledávala na rešeršních nástrojích jako je Google Scholar, Scopus a Web of Knowledge. Klíčová slova k vyhledávání byla: emergence from hibernation, hibernation termination, start of hibernation, date of weaning, date of parturition, birth date, oestrus date, antler cast, start of rut, end of rut, moult/molt, pelage change, litter size, climate change and phenology, climate change AND mammal*. Dále jsem studie vyhledávala v citacích jednotlivých článků. Z článků jsem sesbírávala data, která jsem zapisovala do tabulky v programu Microsoft Excel 2016. Pomocí programu Microsoft Excel 2016 a také za pomoci aplikace RStudio, která je součástí programového jazyka R, jsem data zpracovala.

3.2. Jméno živočicha a zařazení

První údaje, které jsem zaznamenala do tabulky byly: jméno živočicha česky, jméno živočicha latinsky. Pokud daný živočich neměl české jméno, tak jsem uvedla pouze to latinské. Následně jsem jednotlivé živočichy zařadila do příslušných taxonů. Uvedené savce jsem zařadila do řádů: šelmy (Carnivora), hlodavci (Herbivora), kytovci (Cetacea), letouni (Chiroptera), zajícovci (Lagomorpha) a do polyfyletické skupiny kopytníci (Ungulata).

3.3. Lokality

Dále jsem zaznamenala lokalitu studie. Nejprve jsem slovně uvedla lokalitu místa výzkumu a poté její souřadnice. Pokud v článku nebyly souřadnice přímo uvedeny, tak jsem je vyhledala v aplikaci Mapy.cz. Souřadnice jsem vyhledávala podle popisu místa v článku. Pokud byla studie provedena na velkém rozsahu území, zvolila jsem si přibližný střed tohoto území a uvedla jeho souřadnice. V případě, kdy se studie prováděla na dvou lokalitách nedaleko od sebe, tak jsem v souřadnicích uvedla pouze jednu z těchto lokalit.

3.4. Doba trvání studií

Začátek a konec studie jsem vyčetla z jednotlivých článků. Pokud v článku nebyla uvedena délka trvání studie, tak jsem ji vypočetla. Následně jsem do tabulky zapsala historická data. Tato data sloužila k porovnání změny fenologie a prostředí mezi historickými daty a daty, kdy probíhala daná studie.

3.5. Změna teploty a jiné environmentální změny

Dále jsem uváděla změny teploty, ke kterým došlo během studie. Zaznamenala jsem hodnotu vlivu teploty na pozorovaný fenologický znak, avšak tyto hodnoty nebyly standardizované. Proto jsem převedla hodnoty směrnic na hodnotu korelačního koeficientu. Pokud v člancích nebylo uvedeno dostatek informací k výpočtu standardizace, tak jsem do políčka zapsala NA. Avšak nakonec jsem prakticky s převedenými hodnotami směrnic na korelační koeficient nepočítala, jelikož ze sedmnácti hodnot bylo možné převést pouze osm. To jde na vrub tomu, že mnoho studií nereportuje všechny potřebné údaje pro výpočet efektů. V následujících sloupcích jsem uvedla, jestli teploty mají efekt na daný fenologický znak pozitivní či negativní a zda jsou tyto výsledky statisticky signifikantní nebo ne. Jako statisticky signifikantní výsledky jsem uvedla ty s P hodnotou menší než 5 % ($P < 0,05$). Následně jsem zaznamenala environmentální proměnné, které autoři studií vyhodnotili jako působící na pozorovaný fenologický znak. Těmito proměnnými byly: změna v množství sněhu, změna v délce trvání sněhové pokrývky a v délce vegetačního období, změna v množství potravy a tak dále. Stejně jako u změny teplot jsem uvedla, jak silný vliv měly tyto proměnné na pozorovaný fenologický znak a hodnoty směrnic jsem opět převedla na korelační koeficient. Stejně jako u změny teplot jsem s převedenými hodnotami prakticky nepočítala, jelikož šlo převést pouze malé množství hodnot. Dále jsem zapsala, zda je efekt na znak pozitivní či negativní a jestli je hodnota signifikantní nebo ne.

3.6. Změna ve fenologii

V dalším sloupci jsem zaznamenala, kterou fenologickou změnou se daný článek zabýval. V tomto sloupci jsou uváděny čtyři fenologické znaky, a to podle čtyř hlavních témat mé bakalářské práce. Tedy změny v načasování reprodukce, migrace, hibernace a sezónní zbarvení srsti. Změnu v načasování růstu a shazování parohů jsem zařadila mezi téma reprodukce, jelikož o tomto tématu byly pouze dva články a tematicky to nejvíce zapadalo mezi fenologii reprodukce. Ostatní změny značí, k jakým jiným změnám došlo na daném druhu živočicha či na celé studované populaci. K ostatním změnám jsem například zařadila: změnu v hmotnosti živočicha, ve velikosti vrhu, změnu v přežívání či v hustotě populace a tak dále. Následně jsem uvedla, k jakému konkrétnímu fenologickému posunu došlo a o kolik dní za rok se tento fenologický posun posunul. Pokud autor či autoři článku nevedli hodnotu posunu fenologie v přepočtu den za rok, ale uvedli posun fenologie za celou studii, tak jsem posun za rok vypočetla. Vydělila jsem počet dní posunu fenologie počtem roků trvání studie. Opět jsem uvedla, zda je efekt pozitivní či negativní a hodnoty signifikantní nebo nesignifikantní. Výsledné hodnoty posunu fenologie za časový úsek jsem prezentovala jako průměry hodnot $s \pm$ směrodatnou odchylkou.

3.7. Hibernující živočich

Poslední sledovanou proměnnou v člancích bylo, jestli daný živočišný druh využívá strategii hibernace nebo ne. Pokud se jednalo o hibernujícího živočicha, tak má ve svém

políčku napsané písmeno A (Ano) a živočichové, kteří nehibernovali, mají ve svých políčkách písmeno N (Ne).

3.8. Citace, hmotnost živočichů

Dále jsem uvedla citaci autorů článků, ze kterých pocházely data a informace zaznamenané v tabulce. Pokud měli autoři článků uvedený přístup dat, tak jsem odkaz na tyto data dala do tabulky. Nakonec jsem uvedla hmotnost studovaných zvířat (v gramech). Jednotlivé hmotnosti jsem získala z globálního souboru dat PanTHERIA (Jones *et al.*, 2009), avšak jeden druh živočicha, a to netopýr *Nyctophilus bifax*, tam neměl hmotnost uvedenou.

3.9. Vztah mezi posunem fenologie a hmotností savců

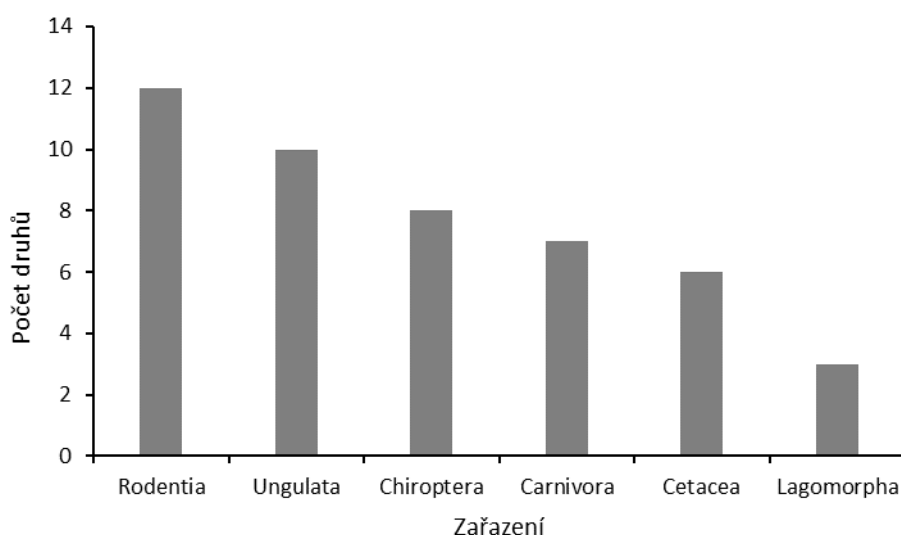
Následně jsem chtěla zjistit, zda existuje vztah mezi hodnotami posunu fenologie za časový úsek a hmotností savců. Pokud více studií u daného druhu savce uvádělo různé hodnoty posunu fenologie, tak jsem zahrnula všechny tyto hodnoty a hmotnost daného savce se tedy opakovala. Jelikož byly hodnoty hmotnosti velmi variabilní, tak jsem je zlogaritovala, aby se data mohla lépe porovnat. Přítomnost vztahu mezi hodnotami posunu fenologie za časový úsek a hmotností savců jsem zjišťovala pomocí lineární regrese v aplikaci RStudio. Určila jsem, že P hodnota, která by prokázala přítomnost vztahu mezi těmito dvěma proměnnými, musí být menší než 5 % ($P < 0,05$).

4. Výsledky

Změnou fenologie savců, která byla způsobena měnícím se klimatem se ve výsledku zabývalo 90 studií. Z 90 studií bylo pozorováno 137 změn ve fenologii nebo změn v jiných znacích.

4.1. Druhové zastoupení

Publikované studie dokumentovaly změny ve fenologii u 46 druhů savců. Celkem 12 druhů (26 %) bylo zařazeno v řádu hlodavci, což byl také nejpočetnější řád. Nejmenší počet druhů měl řád zajícovci, ve kterém se vyskytovaly pouze tři druhy (7 %, viz graf 1). Nejvíce studovaným druhem byl sob polárním, na kterém proběhlo devět studií. Dalším často studovaným druhem byl svišť žlutobřichý, jemuž se věnovalo sedm studií. Ze všech studovaných druhů jich celkem 23 bylo hibernujících, což znamená, že přesně polovina druhů využívala hibernaci k přežití nepříznivých podmínek. K velkému množství hibernujících druhů přispěl fakt, že všichni zástupci hlodavců byli hibernanti.

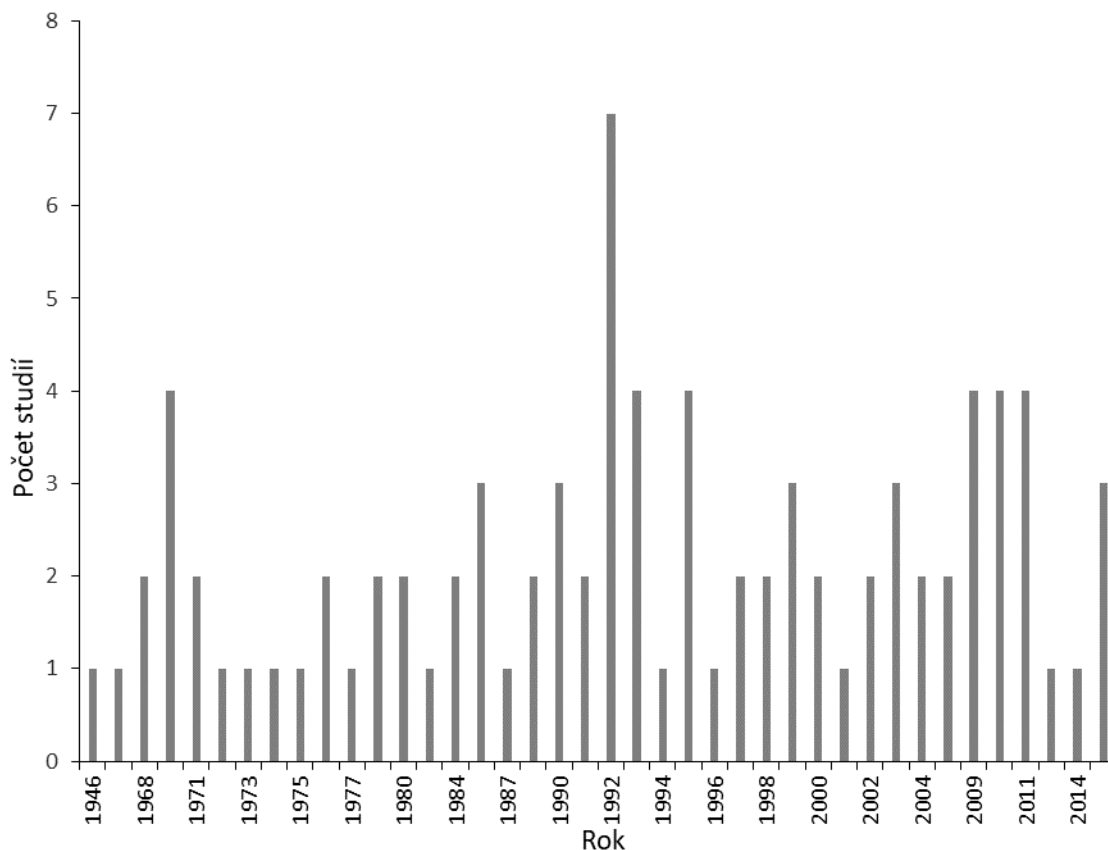


Graf 1: Zastoupení počtu druhů (n = 46) v jednotlivých řádech a polyfyletické skupině Ungulata, které byly zahrnuty v mé rešerši.

Průměrná hmotnost všech druhů savců byla 5 768 kilogramů. Průměrná hmotnost savců, kteří nebyli hibernující byla 11 255 kilogramů a průměrná hmotnost hlodavců byla 884 gramů. Nejtěžším studovaným živočichem byl plejtvák obrovský, který vážil 154 000 kilogramů. Naopak nejlehčím živočichem byl netopýr Keenův (*Myotis keeni*), jenž vážil pouhých 6,45 gramů.

4.2. Délka studií

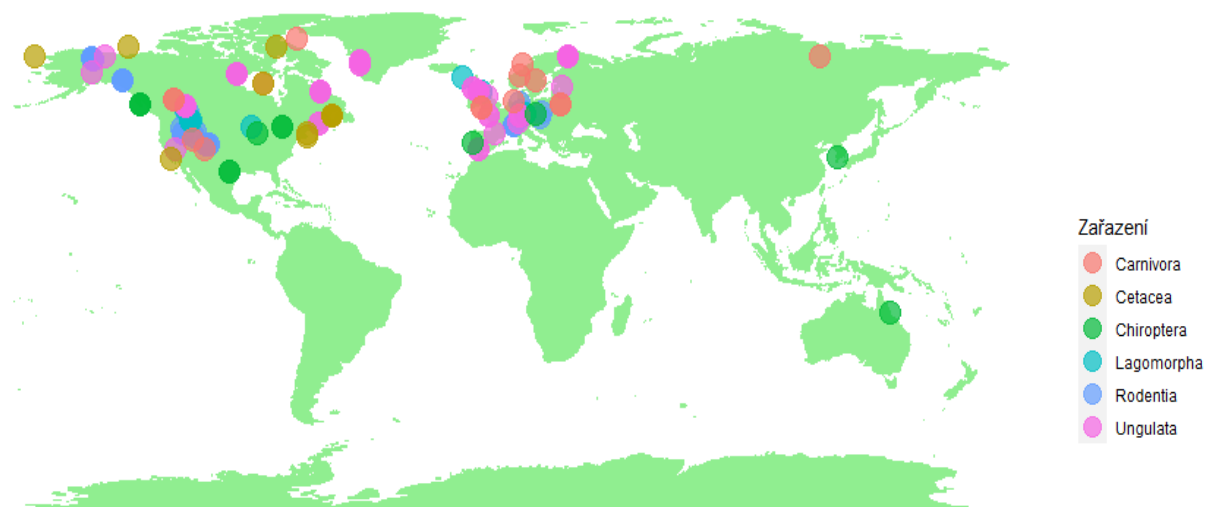
Průměrná délka trvání studií byla 18,3 let. Nejdéle trvající studie byla na medvědu hnědém, která trvala 69 let. Naopak nejkratší studie trvala pouze jeden rok. Nejdéle trvající studie také začala ze všech studií nejdříve, a to v roce 1946. Studie, která začala nejpozději, měla počátek data výzkumu v roce 2015 (viz graf 2). Nejstarší studie byla ukončena v roce 1989 a naopak nejpozději byly studie ukončeny v roce 2019.



Graf 2: Počet studií (n = 90) v jednotlivých letech, ve kterých výzkumy daného druhu započaly.

4.3. Lokality

Nejvíce pevninských studií proběhlo na kontinentu Severní Amerika (57 % - 51 studií, k Severní Americe bylo přiřazeno i Grónsko). Z toho 29 studií se uskutečnilo ve Spojených státech Amerických a 19 studií v Kanadě. Zbytek studií se koncentroval především do Evropy. Pouze dvě studie se uskutečnily v Asii a jedna v Austrálii. Téměř všechny studie proběhly na severní polokouli (viz obrázek 2). Jen jedna studie se uskutečnila na jižní polokouli, a to konkrétně v Austrálii na netopýrovi *Nyctophilus bifax*.



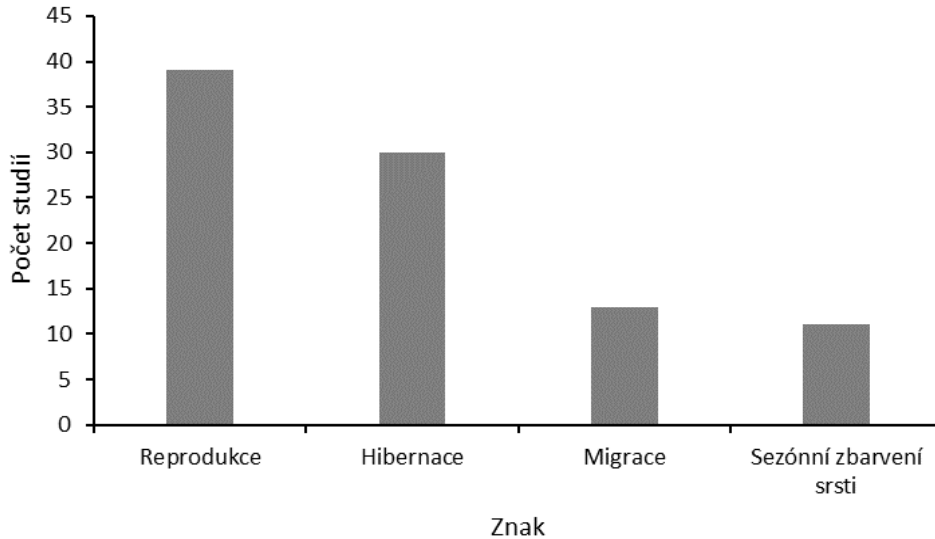
Obrázek 2: Mapa lokalit, ve kterých probíhaly jednotlivé studie (n = 90) . Barevná kolečka značí řády studovaných živočichů a polyfyletickou skupinu Ungulata.

4.4. Působení změn teplot a ostatních enviromentálních změn

V průběhu většiny studií došlo ke zvýšení teplot. Celkem se teploty zvýšily v 52 studiích (58 %). Teploty na pozorované fenologické znaky měly především negativní efekt. Zaznamenala jsem 14 studií (16 %), ve kterých teploty měly negativní efekt na fenologii znaku a pouze pět studií (6 %), kde měly teploty na fenologii znaku efekt pozitivní. V ostatních enviromentálních změnách byla nejčastěji zahrnuta změna v množství a načasování sněhové pokrývky (39 %). Dále autoři studií často pozorovali změny v načasování vegetačního období (13 %) či změny v množství potravy (39 %). Množství sněhu a načasování jeho tání mělo v šesti případech z devíti na fenologii daného znaku efekt pozitivní.

4.5. Změny ve fenologii znaku

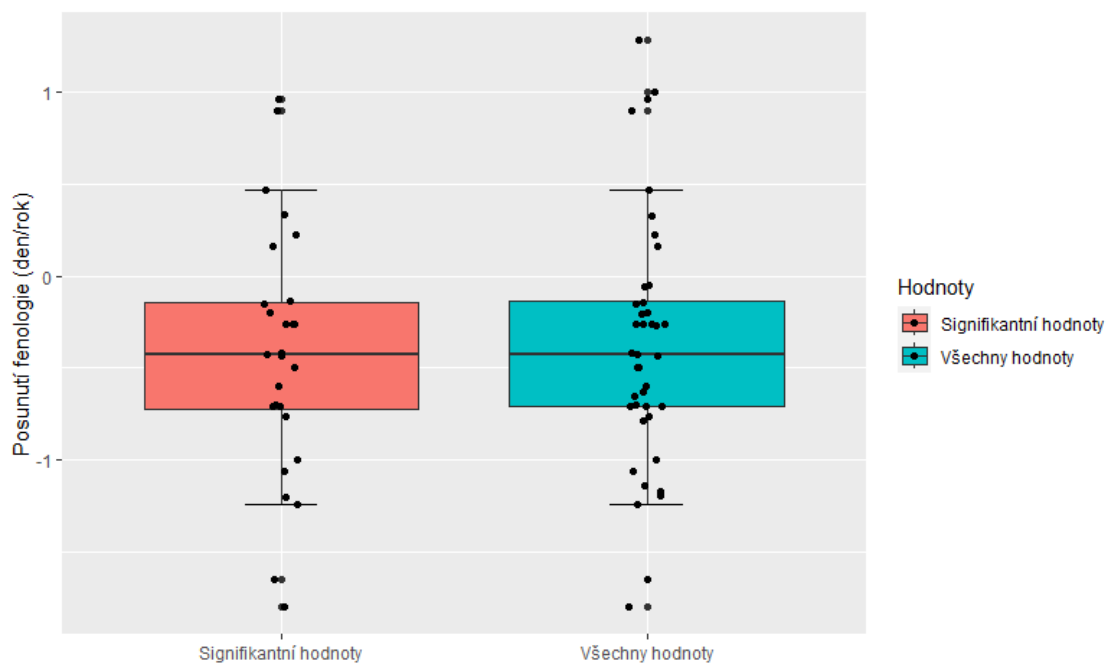
Nejvíce studií (39 studií, což je 43 %) se zabývalo změnou v načasování reprodukce. O devět studií méně (33 %) se věnovalo změně ve fenologii hibernace. Nejméně studií se zabývalo fenologií sezónní zbarvení srsti, a to konkrétně 11 studií (12 %, viz graf 3).



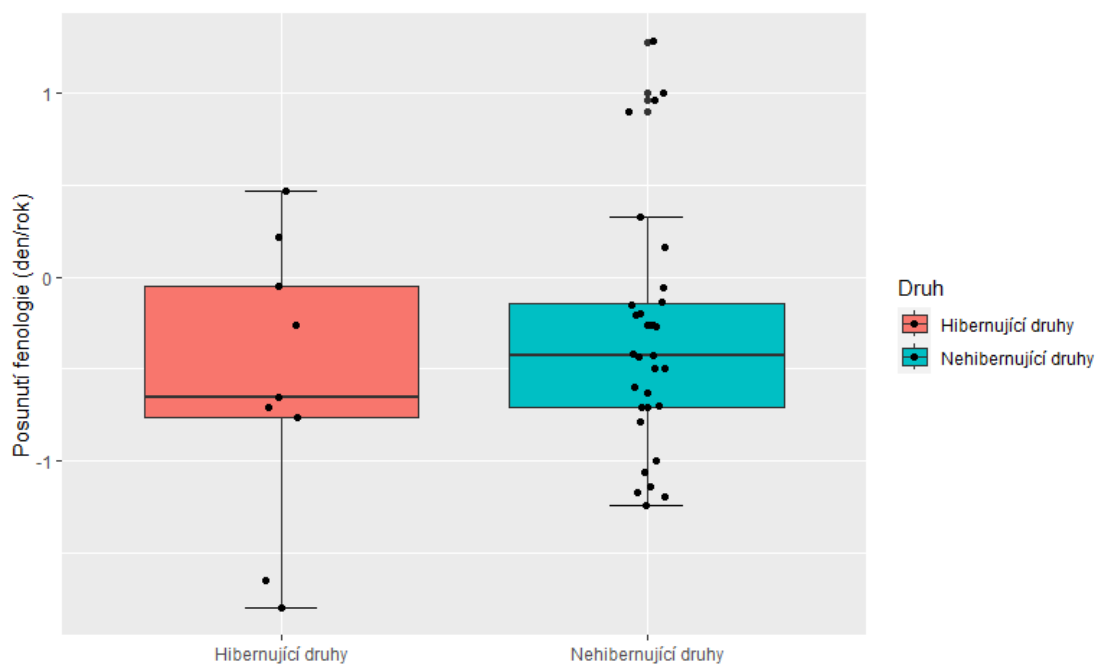
Graf 3: Počet studií (n = 90) zabývajících se změnami jednotlivých fenologických znaků.

Celkem 27 studií (30 %) uvedlo posun fenologie za určité časové období, z toho bylo zaznamenáno 41 posunů fenologie na jednotlivých znacích savců. Z 41 hodnot posunů fenologie mělo 33 hodnot (80 %) efekt negativní a 8 hodnot (20 %) efekt pozitivní.

Průměrně došlo k posunu fenologie o $-0,42 \pm 0,70$ dne za rok, pokud byly zahrnuty pouze statisticky signifikantní hodnoty a o $-0,38 \pm 0,68$ dne za rok, a to v případě, když byly zahrnuty všechny hodnoty (viz graf 4). Hibernující druhy savců průměrně posunuly svou fenologii o $-0,58 \pm 0,78$ dne za rok (viz graf 5, byly zahrnuty všechny hodnoty, pokud by byly zahrnuty pouze signifikantní hodnoty, tak by byl posun o $-0,57$ dne za rok). Nehibernující druhy savců průměrně posunuly svou fenologii o $-0,33 \pm 0,65$ dne za rok (byly zahrnuty všechny hodnoty, při zahrnutí pouze statisticky signifikantních hodnot by byl posun o $-0,34$ dne za rok). K největšímu posunu fenologie došlo u číkarího červeného, který zkrátil dobu březosti o 1,8 dne za rok, což znamená, že během desetileté studie byla doba březosti zkrácena o 18 dní (Réale *et al.*, 2003). Nejmenší zaznamenanou změnou v načasování fenologie byl opět posun v načasování vrhu u číkarího červeného. V první polovině této devatenáctileté studie došli autoři článku ke stejnému posunu fenologie jako Réale *et al.* (2003), avšak v druhé polovině studie trend v posunu načasování vrhu nepokračoval. Číkarí červený tak během celé studie zkrátil dobu březosti pouze o 0,05 dne za rok (Lane *et al.*, 2018). Avšak tato hodnota nebyla statisticky průkazná.



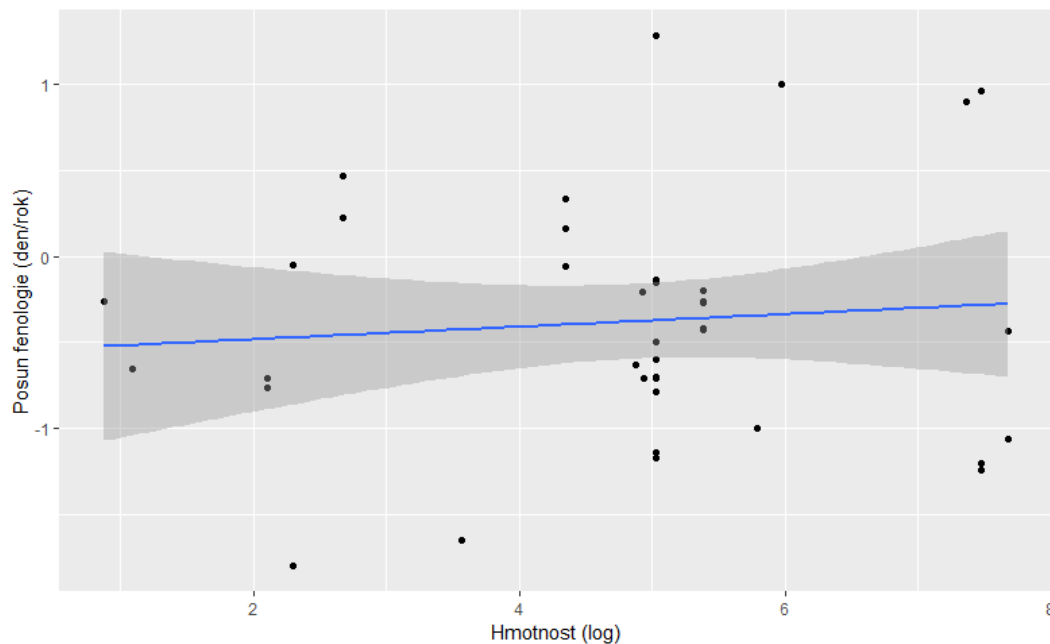
Graf 4: Krabicový graf posunutí fenologie (den/rok), při srovnání posunu pouze statisticky signifikantních hodnot (28) a všech hodnot (41). Vodorovné linky v krabičkách označují medián. Konce krabiček udávají dolní a horní kvartil, vousy značí dolní a horní vnitřní hradby. Tečky udávají jednotlivé hodnoty, pokud jsou tečky nad a pod vousy, tak označují odlehlé hodnoty.



Graf 5: Krabicový graf posunutí fenologie (den/rok), při srovnání posunu hibernujících druhů (9 hodnot) a posunu nehibernujících druhů (32 hodnot).

4.6. Vztah mezi posunem fenologie a hmotností savců

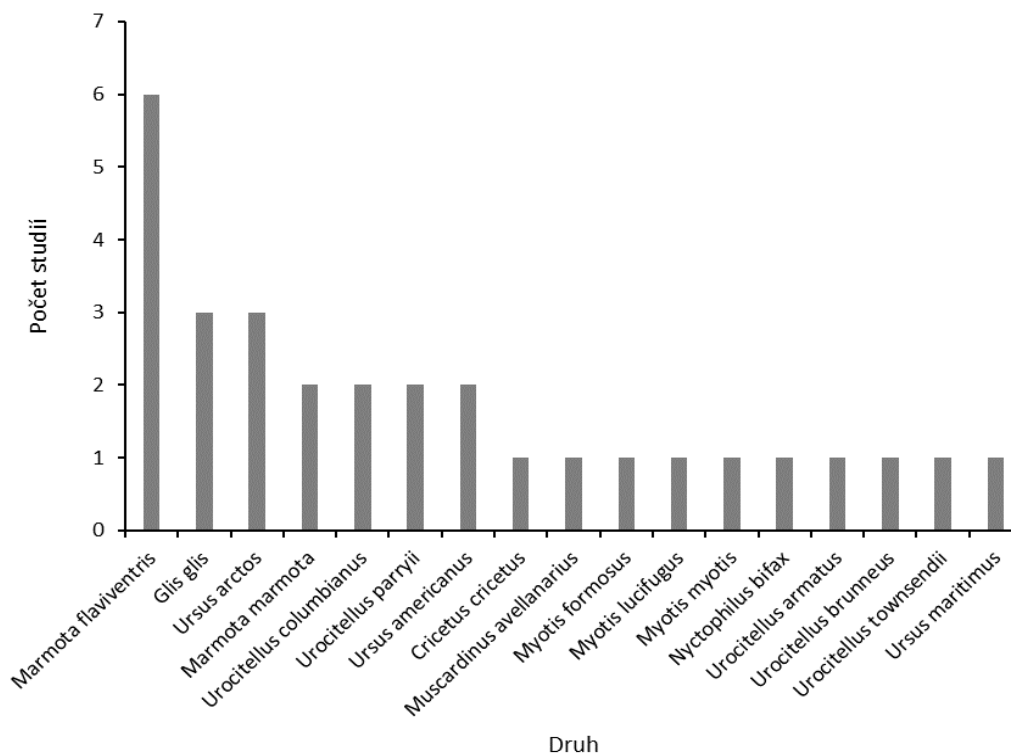
Vztah mezi posunem fenologie a hmotností savců nebyl statisticky průkazný, lineární regrese: $b = -0,56 \pm 0,32$, $F = 0,33$, $P = 0,570$, $n = 41$ (viz graf 6).



Graf 6: Vztah mezi hmotností savců a posunem jejich fenologie. Byly zahrnuty všechny hodnoty posunu fenologie (41).

4.7. Hibernace

Změnou v načasování hibernace se zabývalo celkem 30 studií na sedmnácti druzích zvířat. Nejčastějším řádem, který změnil načasování hibernace byli hlodavci, kteří byli zastoupeni deseti druhy (59 %). Tři druhy (18 %) patřily do řádu šelem a čtyři druhy (24 %) do řádu letounů. Nejvíce studií (6) proběhlo na svišti žlutobřichém (viz graf 7). U svišťů žlutobřichých také došlo k největšímu posunu v načasování hibernace, a to o 1,65 dne za rok (Inouye *et al.*, 2000).



Graf 7: Počet studií (n = 30) na jednotlivých druzích savců, u kterých byla zdokumentovaná změna v načasování hibernace.

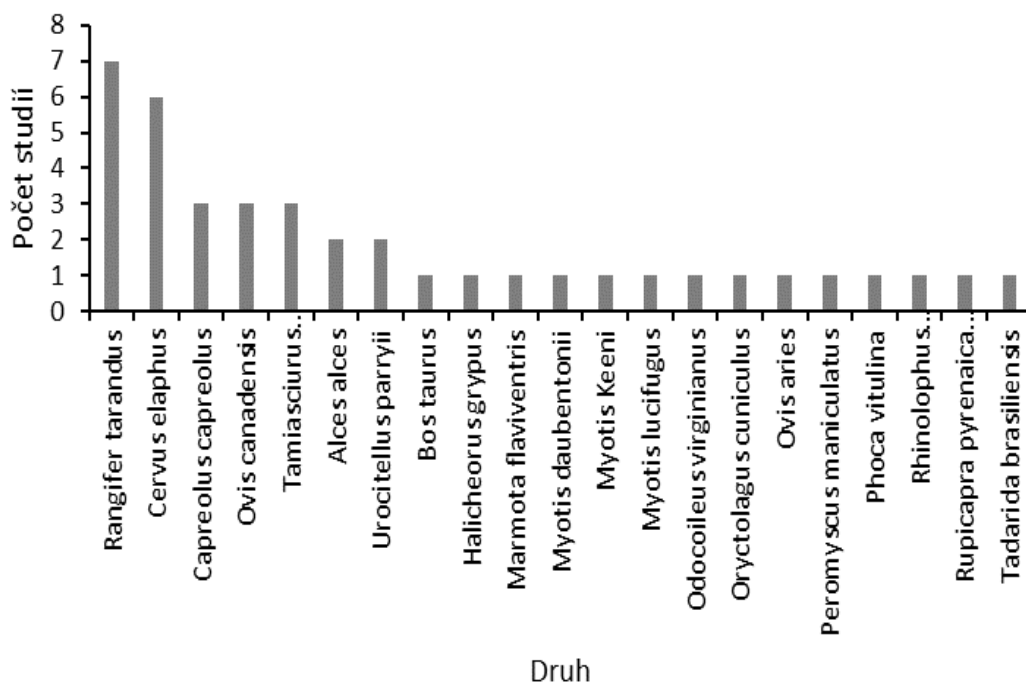
V 80 % studií přes období výzkumu došlo ke změně teploty a bylo uvedeno šest hodnot posunutí fenologie hibernace vlivem teplot. Teploty měly na načasování hibernace především negativní efekt, pouze jedna hodnota z šesti měla efekt pozitivní. Celkem 30 % studií uvedlo, že přes období výzkumu se změnila fenologie tání sněhu a 20 % zaznamenalo změnu v množství sněhu. Šest studií uvedlo hodnoty vlivu množství sněhu a načasování jeho tání na fenologii hibernace a všech šest hodnot mělo efekt pozitivní. Jedna studie zaznamenala vliv množství potravy na načasování hibernace u plcha velkého, kdy průměrné množství jejich potravy mělo na fenologii hibernace negativní efekt (Fietz *et al.*, 2020).

Celkem pět studií uvedlo posun hibernace za časový úsek. Z uvedených studií posunuli hibernující živočichové svou fenologii průměrně o -0,49 dne za rok (všechny hodnoty byly signifikantní).

4.8. Reprodukce

Změnou v načasování reprodukce se zabývalo celkem 39 studií na 21 druzích savců. Nejvíce byly zastoupeny druhy z polyfyletické skupiny kopytníci, jejichž počet dosáhl devíti druhů (43 %). Po kopytnících bylo nejvíce druhů (5, což je 24 %) v řádu letounů a následně v řádu hlodavců (4, což je 19 %). Řád šelmy byl zastoupen pouze dvěma druhy (18 %) a jen jedním druhem řád zajícovi (5 %). Nejvíce studií (7) proběhlo na sobovi polárním a následně šest studií na jelenovi evropském (viz graf 8). Ze studovaných druhů živočichů byl největší posun u číkarího červeného, který zkrátil

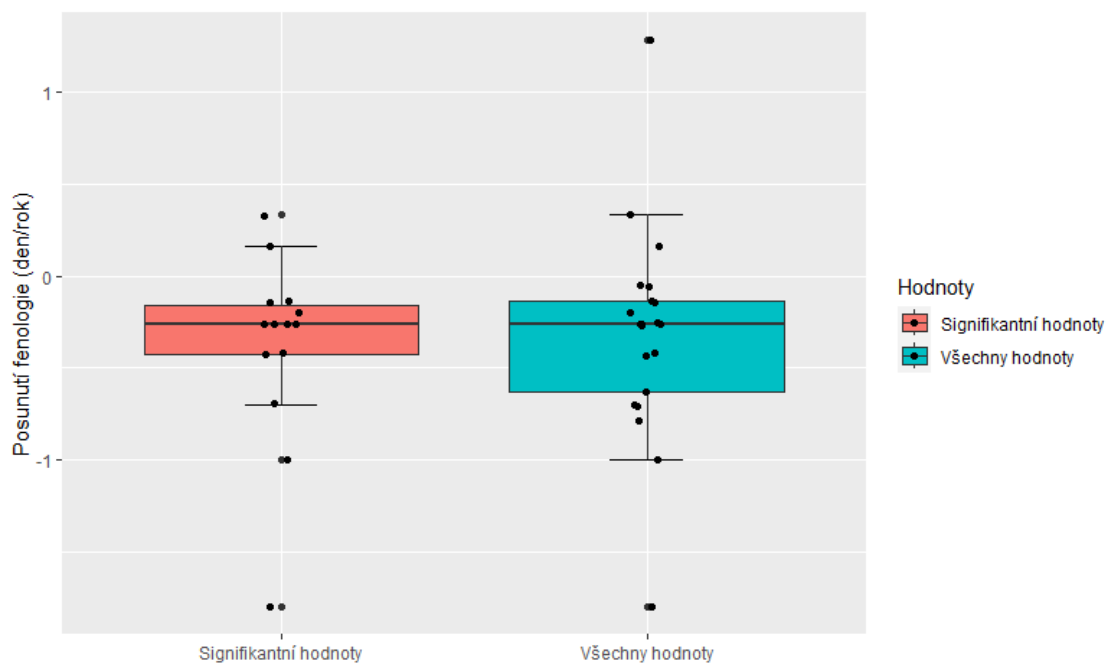
dobu březosti o 1,8 dne za rok (Réale *et al.* 2003). Celkem devět druhů (43 %), kterých změnilo načasování reprodukce bylo hibernujících.



Graf 8: Počet studií (n = 39) na jednotlivých druzích savců, které změnilo načasování reprodukce.

Na načasování reprodukce měly teploty v pěti případech z šesti negativní efekt. Ostatními změnami, které ovlivnily načasování reprodukce byly srážky a načasování vegetačního období. Množství srážek a fenologie tání sněhu měly ve čtyřech případech z pěti efekt pozitivní. Zatímco načasování vegetačního období mělo vždy na fenologii reprodukce efekt negativní. Celkem dvě studie na sedmi fenologických znacích uvedly hodnoty vlivu vegetačního období na načasování reprodukce. V těchto studiích došlo k dřívějšímu růstu vegetace, což způsobilo delší trvání vegetačního období.

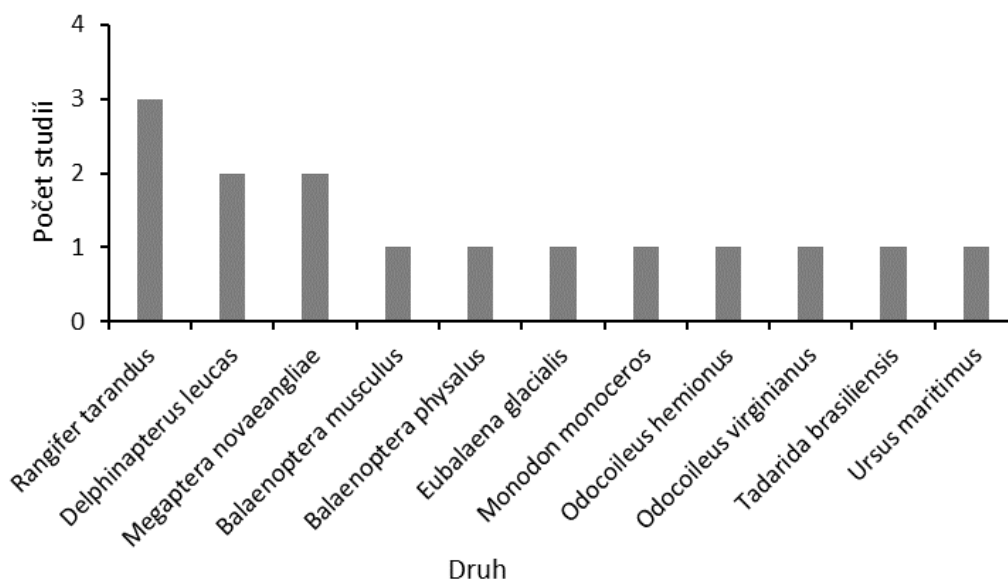
Celkový počet studií, které uvedly posun reprodukce za časový úsek, byl 21. Z toho 14 hodnot bylo signifikantních, u pěti hodnot autoři neuvedli P hodnotu a dvě hodnoty byly nesignifikantní. Pokud budou zahrnuty pouze statisticky signifikantní hodnoty, tak průměrně došlo k posunu fenologie o -0,39 dne za rok. Při zahrnutí všech hodnot došlo k posunu načasování reprodukce o -0,32 dne za rok (viz graf 9).



Graf 9: Krabicový graf posunutí fenologie reprodukce (den/rok) při srovnání posunu pouze statisticky signifikantních hodnot (14) a všech hodnot (21).

4.9. Migrace

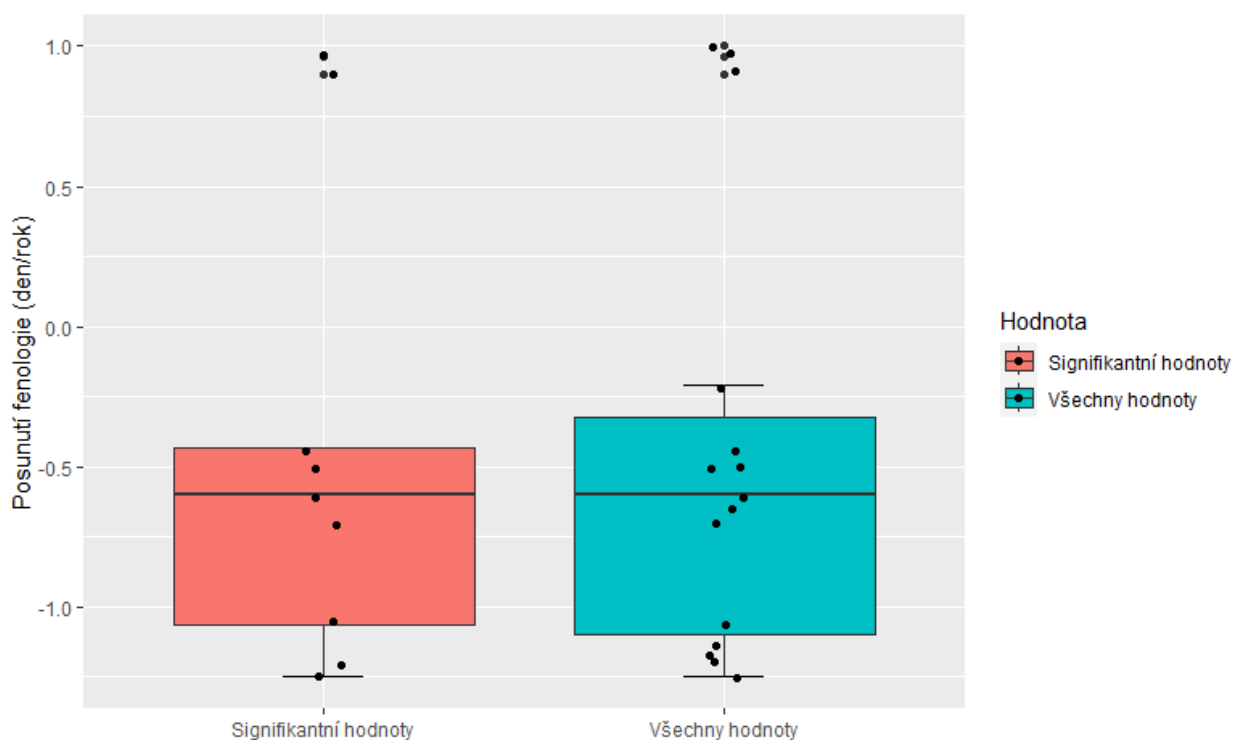
Změnou v načasování migrace savců se zabývalo 12 studií na 11 druzích zvířat. Celkem šest druhů (55 %) patřilo do řádu kytovci, což byl nejpočetnější řád, co se týče zastoupení druhů ve studiích o načasování migrace. Tři druhy (27 %) patřily do polyfyletické skupiny kopytníci a pouze po jednom druhu (9 %) byly zastoupeny řády šelmy a letouni. Nejvíce studií (3) se zabývalo načasováním migrace soba polárního (viz graf 10). K největšímu posunu migrace došlo u kepokaka (*Megaptera novaeangliae*), který opouštěl své stanoviště o 1,25 dne dříve (Ramp *et al.*, 2015).



Graf 10: Počet studií (n = 12) na jednotlivých druzích savců, které změnilo načasování migrace.

Celkem 62 % studií uvedlo, že během období výzkumu došlo ke zvýšení teplot. Hodnoty vlivu teploty na načasování migrace uvedla pouze jedna studie, ve které vyšší teploty v zimě měly negativní efekt. Jedna studie zaznamenala vliv říjnových srážek na fenologii migrace, které opět měly negativní efekt. Také pouze jedna studie uvedla hodnoty posunu fenologie migrace v důsledku měnícího se množství potravy. Vlivem většího množství krilu došlo k posunu načasování migrace u plejtváka obrovského (Szescioroka *et al.*, 2020).

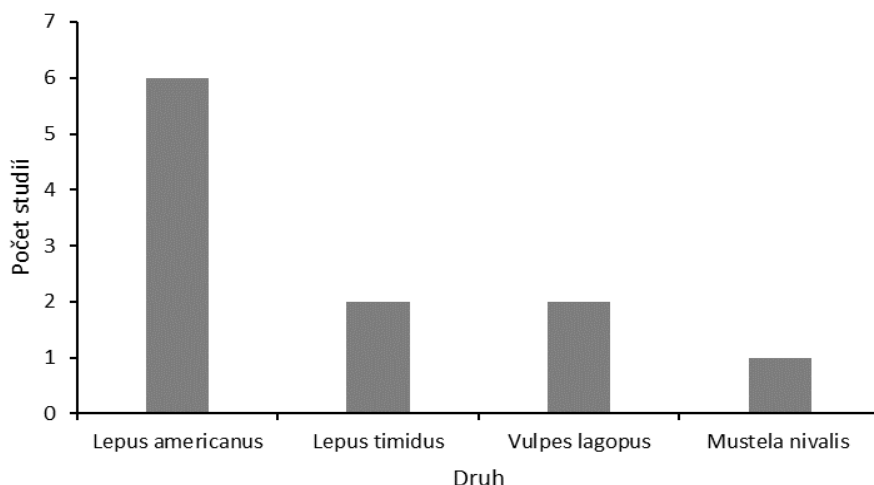
Celkem osm studií v 15 hodnotách uvedlo změnu fenologie migrace za časové období. Devět hodnot bylo statisticky signifikantních, čtyři hodnoty neměly uvedenou P hodnotu a dvě hodnoty byly statisticky nesignifikantní. Pokud byly zahrnuty pouze statisticky signifikantní hodnoty, tak průměrně došlo k posunu migrace o -0,43 dne za rok. V případě, že bylo zahrnuto všech 15 hodnot, tak se fenologie migrace průměrně posunula o -0,44 dne za rok (viz graf 11).



Graf 11: Krabicový graf posunutí fenologie migrace (den/rok) při srovnání posunu pouze statisticky signifikantních hodnot (9) a všech hodnot (15).

4.10. Sezónní zbarvení srsti

Změnou v načasování sezónní zbarvení srsti se celkem zabývalo 11 studií na čtyřech druzích zvířat. Dva druhy (50 %) byly zástupci řádu zajícovců a dva druhy (50 %) patřily do řádu šelem. Nejvíce studií (6) bylo pozorováno na zajíci měnivém (viz graf 12).



Graf 12: Počet studií (n = 11) na jednotlivých druzích savců, které změnily fenologii sezónní zbarvení srsti.

Vliv teplot na načasování sezónní zbarvení srsti byl uveden ve dvou studiích. Jedna hodnota měla efekt na fenologii sezónní zbarvení srsti pozitivní a druhá hodnota měla efekt negativní. Sedm studií (64 %) zaznamenalo zkrácení období sněhové pokrývky a dvě studie uvedly hodnoty vlivu množství a načasování sněhové pokrývky na fenologii sezónní zbarvení srsti. Obě hodnoty měly na fenologii sezónní zbarvení srsti negativní efekt.

Žádná ze studií neuváděla posunutí fenologie sezónní zbarvení srsti za časové období. Studie se zaměřovaly na to, zda došlo k nesouladu ve zbarvení jejich srsti s okolím. Celkem devět studií (82 %) zaznamenalo nesoulad ve zbarvení studovaných druhů savců. Z devíti studií, které zaznamenaly nesoulad, jich sedm uvedlo, že během období nesouladu došlo k větší mortalitě jedinců, nebo byl pozorován pokles populace.

5. Diskuze

Vlastním přehledem odborné literatury jsem našla údaje z 90 studií na 46 druzích savců, které se zabývaly fenologickou změnou, jež byla způsobená měnícím se klimatem. Těchto 90 studií na jednotlivých druzích savců uvedlo 137 změn ve fenologii nebo v jiných znacích.

5.1. Druhové zastoupení

Nejvíce zastoupeným řádem v mé bakalářské práci byli hlodavci (26 %). Největší zájem studií o hlodavce může být způsobeno tím, že hlodavci jsou poměrně malí živočichové, a to umožňuje výzkumníkům jednodušší manipulaci než s většími druhy živočichů. Z celkového počtu 46 druhů byla přesně polovina (23) hibernujících. Hibernující druhy také měly větší průměrný posun fenologie za časové období než druhy nehibernující. Tyto výsledky ukazují, že hibernující druhy jsou citlivé na působení měnícího se klimatu. Nehibernující druhy savců měly poměrně velkou průměrnou hmotnost (1 255 kilogramů). Tedy polovina savců, kteří změnili svou fenologii měla průměrně velkou hmotnost. McCain *et al.* (2014) uvedli, že velcí savci budou více reagovat na klimatickou změnu než savci malé velikosti. Například los (*Alces*) má 27x větší pravděpodobnost, že bude reagovat na klimatickou změnu než rejsek (*Sorex*). Jedním z vysvětlení, proč velcí savci reagují více na klimatickou změnu může být, že menší živočichové mohou žít ve vegetaci nebo pod ní v půdě, kde jsou stálější podmínky daného mikroklimatu. Zatímco velcí savci žijí vždy nad vegetací a více se tak musí potýkat s okolním klimatem. Na druhou stranu jsou velcí savci více mobilní a mohou tak být více schopni sledovat klimatickou změnu a dostat se do míst, kde se méně mobilní malí savci nedostanou (McCain *et al.*, 2014). Avšak z mých dat nevyplývá, že by se zvyšující se hmotností byla i větší změna ve fenologii. Nutno ale dodat, že moje analýza byla jednoduchá regrese a nekontrolovala pro fylogenezi.

5.2. Lokality

Kromě jedné probíhaly všechny studie na severní polokouli. Což může být způsobeno tím, že na severní polokouli je více výzkumníků, tím pádem tam dochází k častějším výzkumům. Další možnou příčinou větší koncentrace studií na severní polokouli je, že tam dochází k většímu a rychlejšímu oteplování (IPCC, 2014), což může způsobit větší fenologické posuny živočichů (Chmura *et al.*, 2019). Například McCain *et al.* (2014) uvedli, že se zvyšující se zeměpisnou šířkou savci reagují více na klimatickou změnu. Příkladem většího růstu teplot na severní polokouli může být Arktida, ve které dochází ke dvou až třikrát většímu oteplení, ve srovnání s globálním průměrem (IPCC, 2021). Větší oteplování ve vyšších zeměpisných šířkách tak způsobuje změny ve formování a tání ledu, což má také dopad na fenologii mnoha savců (Hauser *et al.*, 2017; Escajeda *et al.*, 2018; Shuert *et al.*, 2022)

5.3. Teploty a ostatní enviromentální změny

Ve větší polovině studií (58 %) autoři dokumentovali zvýšení teplot. Teploty byly také nejčastěji sledovanou klimatickou proměnnou (21 %), která posunula fenologii savců. Tento výsledek ukazuje, že savci jsou citliví na změny teplot a v jejich důsledku mění svou fenologii. Mění se teploty také mohou ovlivnit množství potravy jednotlivých druhů savců. Až 39 % studií uvedlo, že v průběhu jejich výzkumu došlo ke změně množství potravy, což opět může mít vliv na fenologii savců (Réale *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2017). Vyšší teploty jsou také spojeny s měnícím se množstvím sněhu a fenologií jeho tání, což opět byly časté sledované klimatické proměnné, jelikož je zaznamenalo 39 % studií a 10 % studií uvedlo hodnoty posunu fenologie vlivem tání sněhu. Ve výsledku byla fenologie savců nejvíce citlivá na změny teplot, změny v množství sněhu a načasování jeho tání a na změny v množství jejich potravy.

5.4. Hibernace

Ze všech studií byla změna ve fenologii hibernace druhým nejčastěji sledovaným znakem. Ve srovnání s fenologií migrace a reprodukce došlo u hibernace k největšímu posunu fenologie za časové období. Tento výsledek však může být zkreslen malým počtem hodnot (5), ze kterého byl posun fenologie vypočten.

Nejvíce druhů (59 %), které změnilo fenologii hibernace patřilo do řádu hlodavců, což se shoduje s výsledkem od Findlay-Robinsona *et al.* (2023), u kterých řád hlodavci byl zastoupen 71 % druhů. Stejně jako u Findlay-Robinsona *et al.* (2023) byli i v mé studii druhým nejvíce zastoupeným řádem letouni. V jejich review byly další studované řády hmyzožravci (Eulipotyphla) a ptakořitní (Monotremata), zatímco v mé práci nebyly zahrnuty články s druhy, které by patřily do těchto řádů. Místo toho jsem do mé bakalářské práce zahrnula články, které se zabývaly živočichy z řádu šelem, do kterého patřilo 17 % druhů.

Na fenologii hibernace měly největší vliv teploty, množství sněhu a datum jeho tání. V 30 % studií se změnilo datum tání sněhu a v 20 % se změnilo množství sněhové pokrývky. Nejčastěji pozorovanou změnou klimatu byly okolní teploty. Celkem 80 % studií zaznamenalo během období jejich výzkumu změnu teploty a v 73 % studií došlo ke zvýšení teplot. Findlay-Robinson *et al.* (2023) jako nejvíce pozorovanou klimatickou proměnnou také uvedli okolní teplotu (47 % studií) a jako druhou fenologii tání sněhu (23 % studií). Celkem šest studií uvedlo hodnoty posunutí fenologie hibernace vlivem okolních teplot. Pět hodnot z šesti mělo na fenologii hibernace efekt negativní, stejně tak i autoři Wells *et al.* (2022) ve svém článku uvedli, že ve většině studií měly vyšší teploty na fenologii hibernace efekt negativní. Vyšší teploty ve většině studií tedy způsobily dřívější ukončení hibernace. Například zvýšené teploty na jaře zapříčinily dřívější probouzení se z hibernace sviště žlutobřichého (Inouye *et al.*, 2000), plcha velkého (Adamík *et al.*, 2008) či medvěda baribala (Johnson *et al.*, 2017). Druhy, které ukončily hibernaci dříve, mají delší aktivní období, což může pro hibernátory představovat větší riziko jejich predace (Turbill *et al.*, 2011). Nicméně jsem nenašla

žádnou studii, která by ve výsledcích uvedla, že by došlo k větší mortalitě hibernujících savců, jež by byla způsobená větší mírou predace vlivem delšího aktivního období. Výsledky také ukázaly, že načasování tání sněhu a množství sněhové pokrývky je pro hibernující živočichy důležité a ovlivňuje to jejich fenologii hibernace. Sněhová pokrývky slouží jako izolační vrstva, která chrání proniknutí mrazu do hibernakula živočichů. Proto zmenšení se sněhové pokrývky může vést ke zhoršení fyzického stavu hibernantů (Tafani *et al.*, 2013). Menší množství sněhu, také donutilo samice medvěda ledního si stavět doupata ve vyšších nadmořských výškách (Escajeda *et al.*, 2008). Dřívější tání sněhu zvýšilo přežívání mláďat sviště žlutobřichého (Cordes *et al.*, 2020), avšak u sviště olympského (*Marmota olympus*) umožnilo dřívější roztání sněhové pokrývky jednodušší přístup kojotů (*Canis latrans*) k těmto svišťům, což zapříčinilo větší úmrtnost samic (Armitage *et al.*, 2013 od Griffin, 2011). Naopak pozdější tání sněhu omezuje přístup hibernujících živočichů k jejich potravě, což může mít negativní dopad na jejich tělesnou kondici (Lane *et al.*, 2012).

5.5. Reprodukce

Změnou fenologie reprodukce vlivem měnícího se klimatu se zabývalo nejvíce studií (43 %). Tento výsledek může mít jednoduché vysvětlení, a to že aspekty reprodukce jsou pravděpodobně nejatraktivnějším tématem pro badatele, a proto bylo na toto téma nejvíce článků. Průměrný posun fenologie reprodukce za časový úsek byl v porovnání s fenologií hibernace a migrace nejmenší. To ale může být způsobeno tím, že posun fenologie reprodukce byl vypočítán z nejvíce hodnot (21), které byly velmi variabilní. Například zde byly zahrnuty hodnoty jak největšího celkového posunu fenologie za časové období, tak posunu nejmenšího.

Nejvíce studií (43 %) se zabývalo změnou fenologie reprodukce u polyfyletické skupiny kopytníci. Následně 24 % druhů patřilo do řádu letounů a 19 % do řádu hlodavců. Tento výsledek sedí se zobecněním působení klimatické změny na reprodukci savců od Bronsona (2009). Ten uvedl, že měnící se klima bude nejvíce působit na déle žijící druhy savců, kteří obývají střední až vyšší zeměpisné šířky a jejich reprodukce je striktně řízená fotoperiodou. Jelikož jsou v mé bakalářské práci všichni zástupci řádu letounů i hlodavců hibernující druhy, u kterých je cyklus hibernace i reprodukce řízen fotoperiodou, všichni zástupci kopytníků se v mé práci dožívají minimálně deseti let a nejčastěji studovaný kopytník sob polární žije ve vysokých zeměpisných šířkách, tak se může tato generalizace použít i na mou práci.

Nejvíce studií (69 %) během období výzkumu zaznamenalo změnu teplot. Celkem osm studií uvedlo hodnoty posunu fenologie vlivem teplot, z toho měly pozitivní efekt pouze dvě studie. Na hibernujícím živočichovi jen jedna studie uvedla hodnoty posunu fenologie reprodukce vlivem teplot. Teploty měly na tento posun negativní efekt, což se liší od výsledků Wellse *et al.* (2022), kde měly vyšší teploty na fenologii reprodukce hibernujících živočichů efekt pozitivní. Dvě studie uvedly hodnoty posunu fenologie reprodukce vlivem změny načasování vegetačního období. Všechny hodnoty byly

negativní, což se opět liší od výsledku Wellse *et al.* (2022), kdy delší vegetační období mělo pozitivní efekty na fenologii reprodukce. Avšak tito autoři se věnovali pouze hibernujícím druhům, zatímco v mé práci jsou hodnoty posunu zahrnuty na nehibernujících druzích. Dřívějšímu začátku vegetačního období se byl schopný přizpůsobit jelen evropský, který posunul fenologii šesti znaků, což vedlo ke zlepšení fyzické kondice a zvětšení hmotnosti parohů u samců (Moyes *et al.*, 2011). Tur domácí byl také schopen posunout načasování reprodukce, avšak posunutí data vrhu bylo příliš velké a mláďata se rodila v zimním období, což vedlo k jejich větší mortalitě (Burthe *et al.*, 2011). Je tedy důležité, aby živočichové nejen posunuli svou fenologii, ale také aby její posun nebyl příliš velký či nedostatečný. V případě, kdy dojde ke změně fenologie začátku vegetačního období a herbivorní živočichové nebudou schopni dostatečně posunout načasování vrhu mláďat, tak je pravděpodobné, že nastane trofický nesoulad, který pak může vést k nižší produkci telat či k jejich větší úmrtnosti (Post *et Forchhammer*, 2012; Plard *et al.*, 2014). Fenologie reprodukce byla také ovlivněna množstvím sněhových i dešťových srážek a načasováním tání sněhové pokrývky. Vlivem delšího přetrvání sněhové pokrývky mají zvířata menší možnost shánět potravu, což má negativní dopad na jejich reprodukci. Samice se mohou rozmnožovat méně, mít menší vrh mláďat a mláďata narozena pozdě v sezóně mohou mít větší úmrtnost (Vanvuren *et Armitage*, 1991). Naopak dřívější tání sněhu umožňuje dřívější reprodukci, delší období shánění potravy a také u sobů se snižují energetické výdaje, jelikož pohyb na sněhu spotřebovává více energie (Paoli *et al.*, 2020a). Menší množství srážek snížilo dostupnost vegetace, což vedlo ke zhoršení fyzického stavu jelenů, zpoždění říje a ke snížení množství narozených telat (Millan *et al.*, 2022). Naopak sušší prostředí mělo pozitivní vliv na netopýra hnědého, který měl větší velikost vrhů (Burles *et al.*, 2009). Variabilita počasí tak může na odlišné druhy živočichů působit různě.

5.6. Migrace

Změnou ve fenologii migrace se zabývalo 12 studií (13 %). Menší počet studií na toto téma může být způsoben obtížným sledováním migrujících zvířat, a to zvláště kytovců, kteří migrují ve velkých mořích či oceánech. Nejčastěji zastoupeným řádem, který změnil svou fenologii migrace, byli kytovci (55 %), což není příliš překvapivý výsledek, jelikož migrace je spíše typická pro živočichy, kteří plavou či létají. Naopak překvapivý výsledek byl, že pouze jedna studie zaznamenala změnu fenologie migrace u létajících savců – netopýrů. Druhou nejčastěji zastoupenou skupinou byli kopytníci (27 %), kteří jsou také nejčastějšími savčími suchozemskými migranty (Berger, 2004).

Osm studií (62 %) během jejich období výzkumu zaznamenalo vyšší teploty. Vyšší teploty jsou spojené s větší infestací hmyzem sobů polárních (Walsh *et al.*, 1992), ale především s rychlejším a rozsáhlejším táním sněhu a ledu. Osm studií (62 %) uvedlo, že během období výzkumu došlo k rychlejšímu tání a rozpadu ledu, k jeho pozdějšímu formování a ke zmenšení množství sněhových srážek. Změně v načasování formování ledu se přizpůsobily někteří kytovci, jako je například běluha severní, která na podzim začala migrovat později vlivem pozdějšího zamrznání ledu (Hauser *et al.*, 2016), narval

jednorohý, jenž začal později migrovat vlivem menšího rozsahu ledu (Shuert *et al.*, 2022) či keporak (*Megaptera novaeangliae*) a plejtvák myšok (*Balaenoptera physalus*, Ramp *et al.*, 2015). Tání ledu také ovlivnilo fenologii migrace medvěda ledního, který přicházel na pevninu dříve vlivem dřívějšího rozpadu ledu a opouštěl ji později v důsledku jeho pozdějšího zamrzání (Cherry *et al.*, 2013). Migrace kopytníků byla především ovlivněna teplotami přes zimu. Pokud byly zimy teplejší, tak kopytníci začali migrovat dříve (Le Corre *et al.*, 2017; Mallory *et al.* 2018) a rychlost migrace byla větší s vyššími teplotami a s větší vzdáleností trasy (Le Corre *et al.*, 2017; Gurrarie *et al.*, 2019).

Migrující savci tak byli schopni projevit plasticitu ve fenologii migrace, k čemuž došli také Lameris *et al.* (2021). Svou fenologii byly schopné změnit i dlouho žijící druhy jako je například narval jednorohý, který se dožívá až 100 let. Mění se fenologie migrace ale může představovat problém pro ochranu těchto druhů, jelikož se vyskytují v jiný čas na jiných místech, které nemusí být v tomto období chráněné (Pendleton *et al.*, 2022).

5.7. Sezónní zbarvení srsti

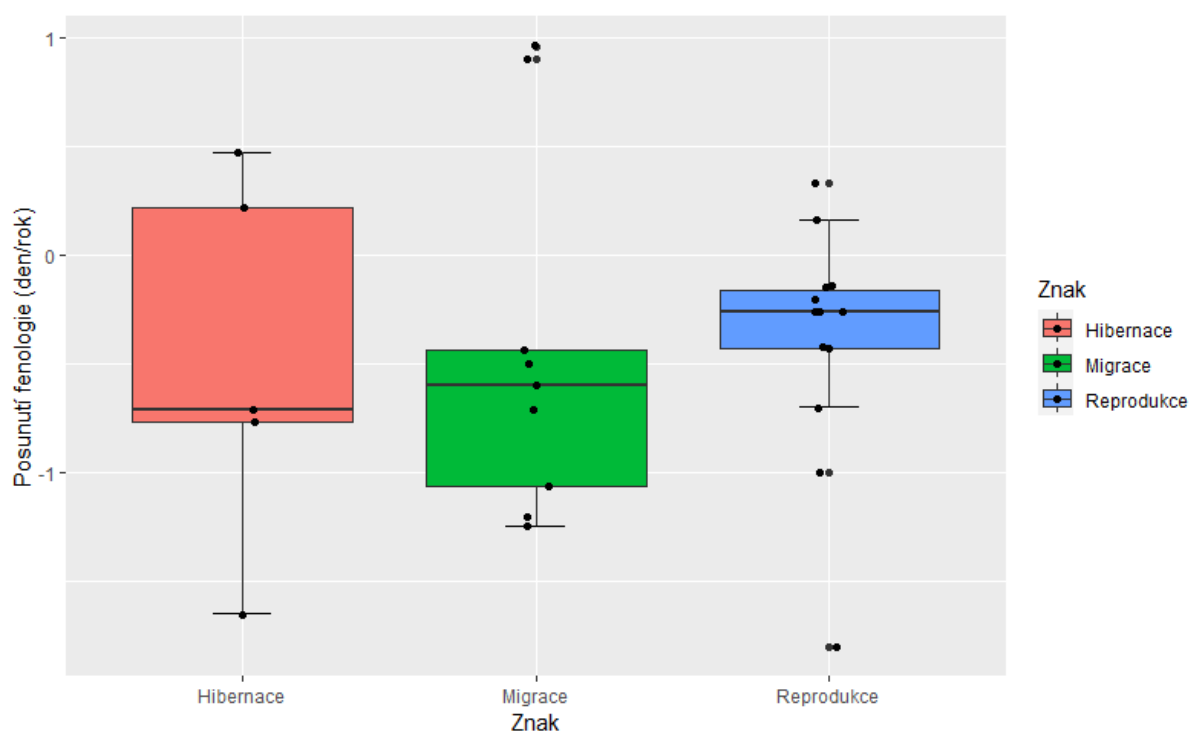
Celkem 11 studií (12 %) se zabývalo změnou fenologie sezónní zbarvení srsti savců. Že toto téma bude mít v porovnání s ostatními tématy nejmenší počet studií jsem očekávala, jelikož není moc druhů savců, které by sezónně měnily zbarvení srsti. Nejvíce prostudované druhy patřily do řádu zajícovců, a to zajíc měnivý a zajíc běláček. V 64 % studií, které se zabývaly fenologií sezónní zbarvení srsti těchto druhů, došlo ke zkrácení období sněhové pokrývky. Zajíci by tak měli přizpůsobit fenologii línání délce období se sněhovou pokrývkou, aby zbarvení jejich srsti splývalo s okolím, jelikož krypta snižuje pravděpodobnost jejich predace (Kiltie, 1989; Vignieri *et al.*, 2010). Sice zajíc měnivý a zajíc běláček prokázali určitou plasticitu v načasování línání (a to především na jaře), avšak tato plasticita nebyla dostatečná a všechny studie uvedly, že došlo k nesouladu ve zbarvení srsti a okolím zajíců. Tento nesoulad vedl k větší mortalitě zajíců (Zimova *et al.*, 2016; Wilson *et al.* 2019) a tedy i k poklesům jejich populací (Zimova *et al.*, 2016). Zajíci ani nezměnili své úkrytové chování, jelikož při nesouladu nevyhledávali méně zasněžená místa (Zimova *et al.*, 2014). Bílé zbarvená forma lasice kolčavy také měla nesoulad ve zbarvení srsti vlivem kratšího období se sněhovou pokrývkou, což opět vedlo k její větší mortalitě, a tedy i k poklesům jejich populací (Atmeh *et al.*, 2018).

Změna ve zbarvení srsti měla zapříčinit co nejlepší kamufláž, u které bylo prokázáno, že snižuje riziko predace živočichů (Kiltie, 1989; Vignieri *et al.*, 2010). Avšak v měnícím se klimatu k tomuto výsledku nedošlo a efekt sezónního línání byl opačný, jelikož v 82 % studií došlo k nesouladu ve zbarvení srsti s jejím okolím a v 64 % studií tento nesoulad vedl ke zvýšené mortalitě jedinců. Ve výsledku to u dvou druhů šelem, které měly přes zimu dvě barevné formy (bílou a hnědou formu), vedlo k redukci bílé formy (Atmeh *et al.*, 2018; Zimova *et al.* 2022). Tento výsledek ukazuje, že pokud nedojde ke změně ve fenologii línání srsti, tak se tato taktika nevyplácí a spíše má na druhy živočichů, kteří sezónně mění zbarvení srsti negativní vliv. Bílé chlupy, také zajišťují větší tepelnou

izolaci (Russell *et* Tumlison, 1996), což možná ani nebude potřeba, jelikož dochází k oteplování klimatu.

5.8. Změna ve fenologii

Celkový posun ve fenologii savců byl -0,38 dne za rok (nebo -0,42 dne za rok při zahrnutí pouze statisticky signifikantních hodnot), což za dekádu dělá posun o -3,8 dne. Výsledný posun v mé práci je o něco větší než posun od Parmesana *et* Yohe (2003), kteří uvedli, že fenologický posun druhů (byly zahrnuty i rostlinné druhy) je 2,3 dny za dekádu. Avšak tato studie není příliš aktuální. K největšímu průměrnému posunu došlo u fenologie hibernace (-0,49 dne/rok), naopak k nejmenšímu u fenologie reprodukce (-0,39 dne/rok při zahrnutí pouze statisticky signifikantních hodnot, viz graf 13). Avšak posun fenologie hibernace byl vypočítán pouze z pěti hodnot, což tento výsledek zkresluje. Pokud se tedy vynechají hodnoty z fenologie hibernace, tak k největšímu průměrnému posunu došlo u fenologie migrace (-0,43 dne/rok). Velký posun u migrujících živočichů může být způsoben tím, že se přemísťují přes mnoho různých stanovišť, kde dochází k odlišným změnám klimatu. Což je mohlo donutit více posunout svou fenologii.



Graf 13: Krabicový graf posunutí fenologie (den za rok) při srovnání hibernace (5 hodnot), migrace (15 hodnot) a reprodukce (21 hodnot). Byly zahrnuty pouze statisticky signifikantní hodnoty.

5.9. Stav poznání oboru

První studie, která byla zahrnuta do mé rešerše začala již ve čtyřicátých letech dvacátého století. Nejvíce studií bylo započato až v devadesátých letech dvacátého století. Je možné, že až v tomto období si lidé začali uvědomovat, k jak velkým změnám v klimatu dochází a že to může mít dopad na fenologii mnoha živočichů. Studií, které by se zabývaly

změnou fenologie savců není příliš mnoho, spíše se věnují změně fenologie rostlin či ptáků (Parmesan *et* Yohe, 2003). Nenašla jsem žádnou rešeršní studii, která by se čistě věnovala změně fenologie savců vlivem klimatické změny. Savci byli buď zahrnuti jako jedna ze skupin organismů, anebo se studie věnovaly užšímu výběru (například změna fenologie hibernujících savců, Wells *et al.*, 2022; Findlay-Robinson *et al.*, 2023). Myslím si, že toto téma dostává čím dál větší pozornosti, jelikož při zpracovávání mé bakalářské práce neustále vycházely nové články. Avšak mnoho mechanismů posunutí fenologie ještě nebylo objasněno. Proto si myslím, že větší pozornost na toto téma je na místě, a to zejména pokud se naplní predikce, že dojde ještě k většímu oteplování.

7. Literatura

- Adamík P, Král M (2008) Climate-and resource-driven long term changes in dormice populations negatively affect hole-nesting songbirds. *Journal of Zoology* 275: 209-215. doi:10.1111/j.1469-7998.2008.00415.x.
- Atmeh K, Andruszkiewicz A, Zub K (2018) Climate change is affecting mortality of weasels due to camouflage mismatch. *Scientific Reports* 8: 7. doi:10.1038/s41598-018-26057-5.
- Armitage K (2013) Climate change and the conservation of marmots. *Natural Science* 5: 36-43. doi:10.4236/ns.2013.55A005.
- Bailleul F, Lesage V, Power M, Doidge DW, Hammill MO (2012) Migration phenology of beluga whales in a changing Arctic. *Climate Research* 53: 169-178. doi:10.3354/cr01104.
- Berger J (2004) The last mile: how to sustain long-distance migration in mammals. *Conservation Biology* 18: 320-331. doi:10.1111/j.1523-1739.2004.00548.x.
- Blix AS (2016) Adaptations to polar life in mammals and birds. *Journal of Experimental Biology* 219: 1093-1105. doi:10.1242/jeb.120477.
- Blumstein DT (2009) Social effects on emergence from hibernation in yellow-bellied marmots. *Journal of Mammalogy* 90: 1184-1187. doi:10.1644/08-mamm-a-344.1.
- Bonnet T, Morrissey MB, Morris A, Morris S, Clutton-Brock TH, Pemberton JM, Kruuk LEB (2019) The role of selection and evolution in changing parturition date in a red deer population. *Plos Biology* 17: 23. doi:10.1371/journal.pbio.3000493.
- Boonstra R, Dantzer B, Delehanty B, Fletcher QE, Sheriff MJ (2014) Equipped for life in the boreal forest: the role of the stress axis in mammals. *Arctic* 67: 82-97. doi:10.14430/arctic4357.
- Both C, Bouwhuis S, Lessells CM, Visser ME (2006) Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81-83. doi:10.1038/nature04539.
- Boutin S, Lane JE (2014) Climate change and mammals: evolutionary versus plastic responses. *Evolutionary Applications* 7: 29-41. doi:10.1111/eva.12121.
- Bowyer RT, Van Ballenberghe V, Kie JG (1998) Timing and synchrony of parturition in Alaskan moose: long-term versus proximal effects of climate. *Journal of Mammalogy* 79: 1332-1344. doi:10.2307/1383025.
- Boyles JG, Storm JJ, Brack V (2008) Thermal benefits of clustering during hibernation: a field test of competing hypotheses on *Myotis sodalis*. *Functional Ecology* 22: 632-636. doi:10.1111/j.1365-2435.2008.01423.x.

- Bronson FH (2009) Climate change and seasonal reproduction in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 364: 3331-3340. doi:10.1098/rstb.2009.0140.
- Brown RD, Mote PW (2009) The response of northern hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate* 22: 2124-2145. doi:10.1175/2008jcli2665.1.
- Bull JC, Jones OR, Borger L, Franconi N, Banga R, Lock K, Stringell TB (2021) Climate causes shifts in grey seal phenology by modifying age structure. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 288: 10. doi:10.1098/rspb.2021.2284.
- Burles DW, Brigham RM, Ring RA, Reimchen TE (2009) Influence of weather on two insectivorous bats in a temperate Pacific Northwest rainforest. *Canadian Journal of Zoology* 87: 132-138. doi:10.1139/z08-146.
- Burthe S, Butler A, Searle KR, Hall SJG, Thackeray SJ, Wanless S (2011) Demographic consequences of increased winter births in a large aseasonally breeding mammal (*Bos taurus*) in response to climate change. *Journal of Animal Ecology* 80: 1134-1144. doi:10.1111/j.1365-2656.2011.01865.x.
- Cajochen C, Krauchi K, Wirz-Justice A (2003) Role of melatonin in the regulation of human circadian rhythms and sleep. *Journal of Neuroendocrinology* 15: 432-437. doi:10.1046/j.1365-2826.2003.00989.x.
- Caro T (2014) Antipredator deception in terrestrial vertebrates. *Current Zoology* 60: 16-25. doi:10.1093/czoolo/60.1.16.
- Cherry SG, Derocher AE, Thiemann GW, Lunn NJ (2013) Migration phenology and seasonal fidelity of an Arctic marine predator in relation to sea ice dynamics. *Journal of Animal Ecology* 82: 912-921. doi:10.1111/1365-2656.12050.
- Chmura HE, Kharouba HM, Ashander J, Ehlman SM, Rivest EB, Yang LH (2019) The mechanisms of phenology: the patterns and processes of phenological shifts. *Ecological Monographs* 89: 22. doi:10.1002/ecm.1337.
- Clements MN, Clutton-Brock TH, Albon SD, Pemberton JM, Kruuk LEB (2010) Getting the timing right: antler growth phenology and sexual selection in a wild red deer population. *Oecologia* 164: 357-368. doi:10.1007/s00442-010-1656-7.
- Clutton-Brock TH, Albon SD, Guinness FE (1989) Fitness costs of gestation and lactation in wild mammals. *Nature* 337: 260-262. doi:10.1038/337260a0.
- Cordes LS, Blumstein DT, Armitage KB, Cara-Donna PJ, Childs DZ, Gerber BD, Martin JGA, Oli MK, Ozgul A (2020) Contrasting effects of climate change on seasonal survival of a hibernating mammal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117: 18119-18126. doi:10.1073/pnas.1918584117.
- Delgado MM, Tikhonov G, Meyke E, Babushkin M, Bepalova T, Bondarchuk S, Esengeldenova A, Fedchenko I, Kalinkin Y, Knorre A *et al.* (2018) The seasonal

- sensitivity of brown bear denning phenology in response to climatic variability. *Frontiers in Zoology* 15: 11. doi:10.1186/s12983-018-0286-5.
- Dingle H, Drake VA (2007) What is migration? *Bioscience* 57: 113-121. doi:10.1641/b570206.
- Dobson FS, Lane JE, Low M, Murie JO (2016) Fitness implications of seasonal climate variation in Columbian ground squirrels. *Ecology and Evolution* 6: 5614-5622. doi:10.1002/ece3.2279.
- Edic MN, Martin JGA, Blumstein DT (2020) Heritable variation in the timing of emergence from hibernation. *Evolutionary Ecology* 34: 763-776. doi:10.1007/s10682-020-10060-2.
- Escajeda E, Laidre KL, Born EW, Wiig O, Atkinson S, Dyck M, Ferguson SH, Lunn NJ (2018) Identifying shifts in maternity den phenology and habitat characteristics of polar bears (*Ursus maritimus*) in Baffin Bay and Kane Basin. *Polar Biology* 41: 87-100. doi:10.1007/s00300-017-2172-6.
- Estok P, Zsebok S, Siemers BM (2010) Great tits search for, capture, kill and eat hibernating bats. *Biology Letters* 6: 59-62. doi:10.1098/rsbl.2009.0611.
- Evans AL, Singh NJ, Friebe A, Arnemo JM, Laske TG, Frobert O, Swenson JE, Blanc S (2016) Drivers of hibernation in the brown bear. *Frontiers in Zoology* 13: 13. doi:10.1186/s12983-016-0140-6.
- Falvo CA, Koons DN, Aubry LM (2019) Seasonal climate effects on the survival of a hibernating mammal. *Ecology and Evolution* 9: 3756-3769. doi:10.1002/ece3.5000.
- Feder C, Martin JGA, Festa-Bianchet M, Berube C, Jorgenson J (2008) Never too late? Consequences of late birthdate for mass and survival of bighorn lambs. *Oecologia* 156: 773-781. doi:10.1007/s00442-008-1035-9.
- Fietz J, Langer F, Schlund W (2020) They like it cold, but only in winter: climate-mediated effects on a hibernator. *Functional Ecology* 34: 2098-2109. doi:10.1111/1365-2435.13630.
- Findlay-Robinson R, Deecke VB, Weatherall A, Hill DL (2023) Effects of climate change on life-history traits in hibernating mammals. *Mammal Review* 15. doi:10.1111/mam.12308.
- Forchhammer MC, Clutton-Brock TH, Lindstrom J, Albon SD (2001) Climate and population density induce long-term cohort variation in a northern ungulate. *Journal of Animal Ecology* 70: 721-729. doi:10.1046/j.0021-8790.2001.00532.x.
- Geiser F, Ruf T (1995) Hibernation versus daily torpor in mammals and birds-physiological variables and classification of torpor patterns. *Physiological Zoology* 68: 935-966. doi:10.1086/physzool.68.6.30163788.

- Geiser F, Turbill C (2009) Hibernation and daily torpor minimize mammalian extinctions. *Naturwissenschaften* 96: 1235-1240. doi:10.1007/s00114-009-0583-0.
- Geiser F (2013) Hibernation. *Current Biology* 23: 188-193. doi:10.1016/j.cub.2013.01.062.
- Goldberg AR, Conway CJ (2021) Hibernation behavior of a federally threatened ground squirrel: climate change and habitat selection implications. *Journal of Mammalogy* 102: 574-587. doi:10.1093/jmammal/gyab021.
- Gurarie E, Hebblewhite M, Joly K, Kelly AP, Adamczewski J, Davidson SC, Davison T, Gunn A, Suitor MJ, Fagan WF *et al.* (2019) Tactical departures and strategic arrivals: divergent effects of climate and weather on caribou spring migrations. *Ecosphere* 10: 32. doi:10.1002/ecs2.2971.
- Gustine D, Barboza P, Adams L, Griffith B, Cameron R, Whitten K (2017) Advancing the match-mismatch framework for large herbivores in the Arctic: evaluating the evidence for a trophic mismatch in caribou. *Plos One* 12: 18. doi:10.1371/journal.pone.0171807.
- Gwinner E (2003) Circannual rhythms in birds. *Current Opinion in Neurobiology* 13: 770-778. doi:10.1016/j.conb.2003.10.010.
- Hagen R, Ortmann S, Elliger A, Arnold J (2021) Advanced roe deer (*Capreolus capreolus*) parturition date in response to climate change. *Ecosphere* 12: 10. doi:10.1002/ecs2.3819.
- Hansen BB, Aanes R, Herfindal I, Kohler J, Saether BE (2011) Climate, icing, and wild arctic reindeer: past relationships and future prospects. *Ecology* 92: 1917-1923. doi:10.1890/11-0095.1.
- Hauser DDW, Laidre KL, Stafford KM, Stern HL, Suydam RS, Richard PR (2017) Decadal shifts in autumn migration timing by Pacific Arctic beluga whales are related to delayed annual sea ice formation. *Global Change Biology* 23: 2206-2217. doi:10.1111/gcb.13564.
- Hays GC, Richardson AJ, Robinson C (2005) Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 337-344. doi:10.1016/j.tree.2005.03.004.
- Hofman MA (2004) The brain's calendar: neural mechanisms of seasonal timing. *Biological Reviews* 79: 61-77. doi:10.1017/s1464793103006250.
- Humphries MM, Thomas DW, Kramer DL (2003) The role of energy availability in mammalian hibernation: a cost-benefit approach. *Physiological and Biochemical Zoology* 76: 165-179. doi:10.1086/367950.
- Inouye DW, Barr B, Armitage KB, Inouye BD (2000) Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97: 1630-1633. doi:10.1073/pnas.97.4.1630.

Inouye DW (2022) Climate change and phenology. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change* 13: 17. doi:10.1002/wcc.764.

IPCC 2014: Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer W, Christ R, Church JA, Clarke L, Dahe Q, Dasgupta P *et al.* (2014). Climate change 2014: synthesis report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

IPCC 2021: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfabr L, Gomis MI *et al.* (2021) Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* doi:10.1017/9781009157896.

Jennings S, Greenstreet SPR, Hill L, Piet GJ, Pinnegar JK, Warr KJ (2002) Long-term trends in the trophic structure of the North Sea fish community: evidence from stable-isotope analysis, size-spectra and community metrics. *Marine Biology* 141: 1085-1097. doi:10.1007/s00227-002-0905-7.

Johnson HE, Lewis DL, Verzuh TL, Wallace CF, Much RM, Willmarth LK, Breck SW (2018) Human development and climate affect hibernation in a large carnivore with implications for human-carnivore conflicts. *Journal of Applied Ecology* 55: 663-672. doi:10.1111/1365-2664.13021.

Jones G, Jacobs DS, Kunz TH, Willig MR, Racey PA (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered species research* 8: 93-115. doi:10.3354/esr00182.

Jones KE, Bielby J, Cardillo M, Fritz SA, O'Dell J, Orme CDL, Safi K, Sechrest W, Boakes EH, Carbone C *et al.* (2009) PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals. *Ecological Archives E090-184 Ecology* 90: 2648-2648. doi:10.1890/08-1494.1

Jonsson KI (1997) Capital and income breeding as alternative tactics of resource use in reproduction. *Oikos* 78: 57-66. doi:10.2307/3545800.

Kelsey KC, Pedersen SH, Leffler AJ, Sexton JO, Feng M, Welker JM (2021) Winter snow and spring temperature have differential effects on vegetation phenology and productivity across Arctic plant communities. *Global Change Biology* 27: 1572-1586. doi:10.1111/gcb.15505.

Kerby J, Post E (2013) Capital and income breeding traits differentiate trophic match-mismatch dynamics in large herbivores. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 368: 7. doi:10.1098/rstb.2012.0484.

Kiltie RA (1989) Wildfire and the evolution of dorsal melanism in fox squirrels (*Sciurus niger*). *Journal of Mammalogy* 70: 726-739. doi:10.2307/1381707.

Kim SS, Choi YS, Yoo JC (2013) Thermal preference and hibernation period of Hodgson's bats (*Myotis formosus*) in the temperate zone: how does the phylogenetic

origin of a species affect its hibernation strategy? *Canadian Journal of Zoology* 91: 47-55. doi:10.1139/cjz-2012-0145.

Kokko H (1999) Competition for early arrival in migratory birds. *Journal of Animal Ecology* 68: 940-950. doi:10.1046/j.1365-2656.1999.00343.x.

Koppmann-Rumpf B, Heberer C, Schmidt KH (2003) Long term study of the reaction of the edible dormouse (*Glis glis*, Rodentia-Gliridae) to climatic changes and its interactions with hole-breeding passerines. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 49: 69-76.

Kourkgy C, Garel M, Appolinaire J, Loison A, Toigo C (2016) Onset of autumn shapes the timing of birth in Pyrenean chamois more than onset of spring. *Journal of Animal Ecology* 85: 581-590. doi:10.1111/1365-2656.12463.

Kucera TE (1992) Influences of sex and weather on migration of mule deer in California. *Great Basin Naturalist* 52: 122-130.

Kunkel KE, Robinson DA, Champion S, Yin XG, Estilow T, Frankson RM (2016) Trends and extremes in northern hemisphere snow characteristics. *Current Climate Change Reports* 2: 65-73. doi:10.1007/s40641-016-0036-8.

Laidre KL, Stern H, Kovacs KM, Lowry L, Moore SE, Regehr EV, Ferguson SH, Wiig O, Boveng P, Angliss RP *et al.* (2015) Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conservation Biology* 29: 724-737. doi:10.1111/cobi.12474.

Lameris TK, Hoekendijk J, Aarts G, Aarts A, Allen AM, Bienfait L, Bijleveld AI, Bongers MF, Brasseur F, Derksen H *et al.* (2021) Migratory vertebrates shift migration timing and distributions in a warming Arctic. *Animal Migration* 8: 110-131. doi:10.1515/ami-2020-0112.

Lane JE, Kruuk LEB, Charmantier A, Murie JO, Dobson FS (2012) Delayed phenology and reduced fitness associated with climate change in a wild hibernator. *Nature* 489: 554-557. doi:10.1038/nature11335.

Lane JE, McAdam AG, McFarlane SE, Williams CT, Humphries MM, Coltman DW, Gorrell JC, Boutin S (2018) Phenological shifts in North American red squirrels: disentangling the roles of phenotypic plasticity and microevolution. *Journal of Evolutionary Biology* 31: 810-821. doi:10.1111/jeb.13263.

Laporte-Devlyder L, Ulvund KR, Rod-Eriksen L, Olsson O, Flagstad O, Landa A, Eide NE, Jackson CR (2022) A camera trap-based assessment of climate-driven phenotypic plasticity of seasonal moulting in an endangered carnivore. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 12. doi:10.1002/rse2.304.

Le Corre M, Dussault C, Cote SD (2017) Weather conditions and variation in timing of spring and fall migrations of migratory caribou. *Journal of Mammalogy* 98: 260-271. doi:10.1093/jmammal/gyw177.

- Leblond M, St-Laurent MH, Cote SD (2016) Caribou, water, and ice-fine-scale movements of a migratory arctic ungulate in the context of climate change. *Movement Ecology* 4: 12. doi:10.1186/s40462-016-0079-4.
- Lewis SE (1993) Effect of climatic variation on reproduction by pallid bats (*Antrozous pallidus*). *Canadian Journal of Zoology* 71: 1429-1433. doi:10.1139/z93-197.
- Lučan RK, Weiser M, Hanak V (2013) Contrasting effects of climate change on the timing of reproduction and reproductive success of a temperate insectivorous bat. *Journal of Zoology* 290: 151-159. doi:10.1111/jzo.12021.
- Maldonado-Chaparro AA, Martin JGA, Armitage KB, Oli MK, Blumstein DT (2015) Environmentally induced phenotypic variation in wild yellow-bellied marmots. *Journal of Mammalogy* 96: 269-278. doi:10.1093/jmammal/gyu006.
- Maldonado-Chaparro AA, Read DW, Blumstein DT (2017) Can individual variation in phenotypic plasticity enhance population viability? *Ecological Modelling* 352: 19-30. doi:10.1016/j.ecolmodel.2017.02.023.
- Mallory CD, Boyce MS (2018) Observed and predicted effects of climate change on Arctic caribou and reindeer. *Environmental Reviews* 26: 13-25. doi:10.1139/er-2017-0032.
- McCain CM, King SRB (2014) Body size and activity times mediate mammalian responses to climate change. *Global Change Biology* 20: 1760-1769. doi:10.1111/gcb.12499.
- Meyer GA, Senulis JA, Reinartz JA (2016) Effects of temperature and availability of insect prey on bat emergence from hibernation in spring. *Journal of Mammalogy* 97: 1623-1633. doi:10.1093/jmammal/gyw126.
- Millan MF, Carranza J, Perez-Gonzalez J, Valencia J, Torres-Porras J, Seoane JM, de la Pena E, Alarcos S, Sanchez-Prieto CB, Castillo L *et al.* (2021) Rainfall decrease and red deer rutting behaviour: weaker and delayed rutting activity though higher opportunity for sexual selection. *Plos One* 16: 18. doi:10.1371/journal.pone.0244802.
- Millan MF, Carranza J, Seoane JM, Perez-Gonzalez J (2022) Forage quality of consecutive years interact to affect body condition, reproductive rate and rut phenology in Iberian red deer. *Plos One* 17: 13. doi:10.1371/journal.pone.0278367.
- Millar JS, Herdman EJ (2004) Climate change and the initiation of spring breeding by deer mice in the Kananaskis Valley, 1985-2003. *Canadian Journal of Zoology* 82: 1444-1450. doi:10.1139/z04-117.
- Miller JA, Smith TS, Auger J, Black HL, Aiphini L (2016) The late-denning activities of the American black bear in Utah. *Ursus* 27: 78-89. doi:10.2192/ursu-d-15-00035.1.
- Mills LS, Zimova M, Oyler J, Running S, Abatzoglou JT, Lukacs PM (2013) Camouflage mismatch in seasonal coat color due to decreased snow

- duration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110: 7360-7365. doi:10.1073/pnas.1222724110.
- Montanholi YR, Palme R, Haas LS, Swanson KC, Vander Voort G, Miller SP (2013) On the relationships between glucocorticoids and feed efficiency in beef cattle. *Livestock Science* 155: 130-136. doi:10.1016/j.livsci.2013.04.002.
- Monteith KL, Bleich VC, Stephenson TR, Pierce BM, Conner MM, Klaver RW, Bowyer RT (2011) Timing of seasonal migration in mule deer: effects of climate, plant phenology, and life-history characteristics. *Ecosphere* 2: 34. doi:10.1890/es10-00096.1.
- Moyes K, Nussey DH, Clements MN, Guinness FE, Morris A, Morris S, Pemberton JM, Kruuk LEB, Clutton-Brock TH (2011) Advancing breeding phenology in response to environmental change in a wild red deer population. *Global Change Biology* 17: 2455-2469. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02382.x.
- Nelson ME (1995) Winter range arrival and departure of white-tailed deer in northeastern minnesota. *Canadian Journal of Zoology* 73: 1069-1076. doi:10.1139/z95-127.
- Neuweiler G (2000) The biology of bats. *Oxford University Press on Demand*.
- Nussey DH, Clutton-Brock TH, Elston DA, Albon SD, Kruuk LEB (2005) Phenotypic plasticity in a maternal trait in red deer. *Journal of Animal Ecology* 74: 387-396. doi:10.1111/j.1365-2656.2005.00941.x.
- Osinga N, Pen I, de Haes HAU, Brakefield PM (2012) Evidence for a progressively earlier pupping season of the common seal (*Phoca vitulina*) in the Wadden Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92: 1663-1668. doi:10.1017/s0025315411000592.
- Ozgul A, Childs DZ, Oli MK, Armitage KB, Blumstein DT, Olson LE, Tuljapurkar S, Coulson T (2010) Coupled dynamics of body mass and population growth in response to environmental change. *Nature* 466: 482-485. doi:10.1038/nature09210.
- Paoli A, Weladji RB, Holand O, Kumpula J (2018) Winter and spring climatic conditions influence timing and synchrony of calving in reindeer. *Plos One* 13: 21. doi:10.1371/journal.pone.0195603.
- Paoli A, Weladji RB, Holand O, Kumpula J (2020a) Response of reindeer mating time to climatic variability. *BMC Ecology* 20: 13. doi:10.1186/s12898-020-00312-8.
- Paoli A, Weladji RB, Holand O, Kumpula J (2020b) The onset in spring and the end in autumn of the thermal and vegetative growing season affect calving time and reproductive success in reindeer. *Current Zoology* 66: 123-134. doi:10.1093/cz/zoz032.
- Park KJ, Jones G, Ransome RD (2000) Torpor, arousal and activity of hibernating greater horseshoe bats (*Rhinolophus ferrumequinum*). *Functional Ecology* 14: 580-588. doi:10.1046/j.1365-2435.2000.00460.x.

- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42. doi:10.1038/nature01286.
- Parmesan C (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 37: 637-669.
- Pedersen S, Odden M, Pedersen HC (2017) Climate change induced molting mismatch? Mountain hare abundance reduced by duration of snow cover and predator abundance. *Ecosphere* 8: 8. doi:10.1002/ecs2.1722.
- Pendleton DE, Tingley MW, Ganley LC, Friedland KD, Mayo C, Brown MW, McKenna BE, Jordaan A, Staudinger MD (2022) Decadal-scale phenology and seasonal climate drivers of migratory baleen whales in a rapidly warming marine ecosystem. *Global Change Biology* 28: 4989-5005. doi:10.1111/gcb.16225.
- Pigeon KE, Stenhouse G, Cote SD (2016) Drivers of hibernation: linking food and weather to denning behaviour of grizzly bears. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 70: 1745-1754. doi:10.1007/s00265-016-2180-5.
- Pretzlaff I, Dausmann KH (2012) Impact of climatic variation on the hibernation physiology of *Muscardinus avellanarius*. *Living in a seasonal world* 85-97. doi:10.1007/978-3-642-28678-0_8.
- Plard F, Gaillard JM, Coulson T, Hewison AJM, Delorme D, Warnant C, Bonenfant C (2014) Mismatch between birth date and vegetation phenology slows the demography of roe deer. *Plos Biology* 12: 8. doi:10.1371/journal.pbio.1001828.
- Post E, Forchhammer MC (2008) Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363: 2369-2375. doi:10.1098/rstb.2007.2207.
- Prendergast BJ, Freeman DA, Zucker I, Nelson RJ (2002) Periodic arousal from hibernation is necessary for initiation of immune responses in ground squirrels. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 282: 1054-1062. doi:10.1152/ajpregu.00562.2001.
- Radchuk V, Reed T, Teplitsky C, van de Pol M, Charmantier A, Hassall C, Adamík P, Adriaensen F, Ahola MP, Arcese P *et al.* (2019) Adaptive responses of animals to climate change are most likely insufficient. *Nature Communications* 10: 14. doi:10.1038/s41467-019-10924-4.
- Ramp C, Delarue J, Palsboll PJ, Sears R, Hammond PS (2015) Adapting to a warmer ocean-seasonal shift of baleen whale movements over three decades. *PLoS One* 10: 15. doi:10.1371/journal.pone.0121374.
- Ramsay MA, Hobson KA (1991) Polar bears make little use of terrestrial food webs-evidence from stable-carbon isotope analysis. *Oecologia* 86: 598-600. doi:10.1007/bf00318328.

- Ransome RD, McOwat TP (1994) Birth timing and population-changes in greater horseshoe bat colonies (*Rhinolophus ferrumequinum*) are synchronized by climatic temperature. *Zoological Journal of the Linnean Society* 112: 337-351. doi:10.1006/zjls.1994.1046.
- Réale D, McAdam AG, Boutin S, Berteaux D (2003) Genetic and plastic responses of a northern mammal to climate change. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 270: 591-596. doi:10.1098/rspb.2002.2224.
- Rehnus M, Pelaez M, Bollmann K (2020) Advancing plant phenology causes an increasing trophic mismatch in an income breeder across a wide elevational range. *Ecosphere* 11: 12. doi:10.1002/ecs2.3144.
- Reijnders PJH, Brasseur S, Meesters E (2010) Earlier pupping in harbour seals (*Phoca vitulina*). *Biology Letters* 6: 854-857. doi:10.1098/rsbl.2010.0468.
- Renaud LA, Pigeon G, Festa-Bianchet M, Pelletier F (2019) Phenotypic plasticity in bighorn sheep reproductive phenology: from individual to population. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 73: 13. doi:10.1007/s00265-019-2656-1.
- Renaud LA, Festa-Bianchet M, Pelletier F (2022) Testing the match-mismatch hypothesis in bighorn sheep in the context of climate change. *Global Change Biology* 28: 21-32. doi:10.1111/gcb.15923.
- Renner SS, Zohner CM (2018) Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 49: 165-182.
- Rézouki C, Tafani M, Cohas A, Loison A, Gaillard JM, Allaine D, Bonenfant C (2016) Socially mediated effects of climate change decrease survival of hibernating alpine marmots. *Journal of Animal Ecology* 85: 761-773. doi:10.1111/1365-2656.12507.
- Robinson RA, Crick HQP, Learmonth JA, Maclean IM, Thomas CD, Bairlein F, Forchhammer MC, Francis CM, Gill JA, Godley BJ *et al.* (2009) Travelling through a warming world: climate change and migratory species. *Endangered species research* 7: 87-99. doi:10.3354/esr00095.
- Rödel HG, Bora A, Kaetzke P, Khaschei M, Hutzelmeyer HD, Zapka M, von Holst D (2005) Timing of breeding and reproductive performance of female European rabbits in response to winter temperature and body mass. *Canadian Journal of Zoology* 83: 935-942. doi:10.1139/z05-084.
- Rothschild M, (1942) Change of pelage in the stoat (*Mustela erminea*). *Nature* 149: 78. doi:10.1038/149078a0.
- Russell JE, Tumilson R (1996) Comparison of microstructure of white winter fur and brown summer fur of some arctic mammals. *Acta Zoologica* 77: 279-282. doi:10.1111/j.1463-6395.1996.tb01272.x.

Sabine DL, Morrison SF, Whitlaw HA, Ballard WB, Forbes GJ, Bowman J (2002) Migration behavior of white-tailed deer under varying winter climate regimes in New Brunswick. *Journal of Wildlife Management* 66: 718-728. doi:10.2307/3803137.

Senechal E, Bety J, Gilchrist HG, Hobson KA, Jamieson SE (2011) Do purely capital layers exist among flying birds? Evidence of exogenous contribution to arctic-nesting common eider eggs. *Oecologia* 165: 593-604. doi:10.1007/s00442-010-1853-4.

Sheriff MJ, Richter MM, Buck CL, Barnes BM (2013) Changing seasonality and phenological responses of free-living male arctic ground squirrels: the importance of sex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 368: 9. doi:10.1098/rstb.2012.0480.

Sheriff MJ, Boonstra R, Palme R, Buck CL, Barnes BM (2017) Coping with differences in snow cover: the impact on the condition, physiology and fitness of an arctic hibernator. *Conservation Physiology* 5: 12. doi:10.1093/conphys/cox065.

Shuert CR, Marcoux M, Hussey NE, Heide-Jorgensen MP, Dietz R, Auger-Methe M (2022) Decadal migration phenology of a long-lived Arctic icon keeps pace with climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 119: 8. doi:10.1073/pnas.2121092119.

Sillett TS, Holmes RT (2002) Variation in survivorship of a migratory songbird throughout its annual cycle. *Journal of Animal Ecology* 71: 296-308. doi:10.1046/j.1365-2656.2002.00599.x.

Siutz C, Valent M, Ammann V, Niebauer A, Millesi E (2018) Sex-specific effects of food supplementation on hibernation performance and reproductive timing in free-ranging common hamsters. *Scientific Reports* 8: 10. doi:10.1038/s41598-018-31520-4.

Stawski C, Geiser F (2012) Will temperature effects or phenotypic plasticity determine the thermal response of a heterothermic tropical bat to climate change? *Plos One* 7: 6. doi:10.1371/journal.pone.0040278.

Stepanian PM, Wainwright CE (2018) Ongoing changes in migration phenology and winter residency at Bracken Bat Cave. *Global Change Biology* 24: 3266-3275. doi:10.1111/gcb.14051.

Stephens PA, Boyd IL, McNamara JM, Houston AI (2009) Capital breeding and income breeding: their meaning, measurement, and worth. *Ecology* 90: 2057-2067. doi:10.1890/08-1369.1.

Szesciorka AR, Ballance LT, Sirovic A, Rice A, Ohman MD, Hildebrand JA, Franks PJS (2020) Timing is everything: drivers of interannual variability in blue whale migration. *Scientific Reports* 10: 9. doi:10.1038/s41598-020-64855-y.

Tafani M, Cohas A, Bonenfant C, Gaillard JM, Allaine D (2013) Decreasing litter size of marmots over time: a life history response to climate change? *Ecology* 94: 580-586. doi:10.1890/12-0833.1.

Tamian A, Viblanc VA, Dobson FS, Neuhaus P, Hammer TL, Nesterova AP, Raveh S, Skibieli AL, Broussard D, Manno TG *et al.* (2022) Integrating microclimatic variation in phenological responses to climate change: a 28-year study in a hibernating mammal. *Ecosphere* 13: 25. doi:10.1002/ecs2.4059.

Thackeray SJ, Sparks TH, Frederiksen M, Burthe S, Bacon PJ, Bell JR, Botham MS, Brereton TM, Bright PW, Carvalho L *et al.* (2010) Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Global Change Biology* 16: 3304-3313. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02165.x.

Turbill C (2008) Winter activity of Australian tree-roosting bats: influence of temperature and climatic patterns. *Journal of Zoology* 276: 285-290. doi:10.1111/j.1469-7998.2008.00487.x.

Turbill C, Bieber C, Ruf T (2011) Hibernation is associated with increased survival and the evolution of slow life histories among mammals. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 278: 3355-3363. doi:10.1098/rspb.2011.0190.

Turbill C, Prior S (2016) Thermal climate-linked variation in annual survival rate of hibernating rodents: shorter winter dormancy and lower survival in warmer climates. *Functional Ecology* 30: 1366-1372. doi:10.1111/1365-2435.12620.

Tuttle MD, Stevenson D (1982) Growth and survival of bats. *Ecology of bats* 105-150. doi:10.1007/978-1-4613-3421-7_3.

VanHorne B, Olson GS, Schooley RL, Corn JG, Burnham KP (1997) Effects of drought and prolonged winter on Townsend's ground squirrel demography in shrubsteppe habitats. *Ecological Monographs* 67: 295-315. doi:10.1890/0012-9615(1997)067[0295:eodapw]2.0.co;2.

Vanvuren D, Armitage KB (1991) Duration of snow cover and its influence on life-history variation in yellow-bellied marmots. *Canadian Journal of Zoology* 69: 1755-1758. doi:10.1139/z91-244.

Vaughan DG, Comiso JC, Allison I, Carrasco J, Kaser G, Kwok R, Mote P, Murray T, Paul F, Ren JW *et al.* (2014) Observations: cryosphere. *Climate Change 2013*: 317-382.

Veeroja R, Kirk A, Tilgar V, Tonisson J (2013) Winter climate, age, and population density affect the timing of conception in female moose (*Alces alces*). *Acta Theriologica* 58: 349-357. doi:10.1007/s13364-012-0106-9.

Verme LJ (1973) Movements of white-tailed deer in upper michigan. *Journal of Wildlife Management* 37: 545-552. doi:10.2307/3800320.

Vignieri SN, Larson JG, Hoekstra HE (2010) The selective advantage of crypsis in mice. *Evolution* 64: 2153-2158. doi:10.1111/j.1558-5646.2010.00976.x.

Visser ME, Holleman LJM (2001) Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 268: 289-294. doi:10.1098/rspb.2000.1363.

- Visser ME, Gienapp P (2019) Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nature Ecology & Evolution* 3: 879-885. doi:10.1038/s41559-019-0880-8.
- Walsh NE, Fancy SG, McCabe TR, Pank LF (1992) Habitat use by the porcupine caribou herd during predicted insect harassment. *Journal of Wildlife Management* 56: 465-473. doi:10.2307/3808860.
- Wang LCH (1979) Time patterns and metabolic rates of natural torpor in the Richardson's ground squirrel. *Canadian Journal of Zoology* 57: 149-155. doi:10.1139/z79-012.
- Wells CP, Barbier R, Nelson S, Kanaziz R, Aubry LM (2022) Life history consequences of climate change in hibernating mammals: a review. *Ecography* 2022: 19. doi:10.1111/ecog.06056.
- Williams CT, Lane JE, Humphries MM, McAdam AG, Boutin S (2014) Reproductive phenology of a food-hoarding mast-seed consumer: resource-and density-dependent benefits of early breeding in red squirrels. *Oecologia* 174: 777-788. doi:10.1007/s00442-013-2826-1.
- Williams CT, Buck CL, Sheriff MJ, Richter MM, Krause JS, Barnes BM (2017) Sex-dependent phenological plasticity in an arctic hibernator. *American Naturalist* 190: 854-859. doi:10.1086/694320.
- Wilson EC, Shipley AA, Zuckerberg B, Peery MZ, Pauli JN (2019) An experimental translocation identifies habitat features that buffer camouflage mismatch in snowshoe hares. *Conservation Letters* 12: 8. doi:10.1111/conl.12614.
- Zahn A, Rodrigues L, Rainho A, Palmeirim JM (2007) Critical times of the year for *Myotis myotis*, a temperate zone bat: roles of climate and food resources. *Acta Chiropterologica* 9: 115-125. doi:10.3161/1733-5329(2007)9[115:ctotyf]2.0.co;2.
- Zimova M, Mills LS, Lukacs PM, Mitchell MS (2014) Snowshoe hares display limited phenotypic plasticity to mismatch in seasonal camouflage. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 281: 9. doi:10.1098/rspb.2014.0029.
- Zimova M, Mills LS, Nowak JJ (2016) High fitness costs of climate change-induced camouflage mismatch. *Ecology Letters* 19: 299-307. doi:10.1111/ele.12568.
- Zimova M, Hacklander K, Good JM, Melo-Ferreira J, Alves PC, Mills LS (2018) Function and underlying mechanisms of seasonal colour moulting in mammals and birds: what keeps them changing in a warming world? *Biological Reviews* 93: 1478-1498. doi:10.1111/brv.12405.
- Zimova M, Giery ST, Newey S, Nowak JJ, Spencer M, Mills LS (2020a) Lack of phenological shift leads to increased camouflage mismatch in mountain hares. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 287: 9. doi:10.1098/rspb.2020.1786.

Zimova M, Siren APK, Nowak JJ, Bryan AM, Ivan JS, Morelli TL, Suhrer SL, Whittington J, Mills LS (2020b) Local climate determines vulnerability to camouflage mismatch in snowshoe hares. *Global Ecology and Biogeography* 29: 503-515. doi:10.1111/geb.13049.

Zimova M, Moberg D, Mills LS, Dietz AJ, Angerbjorn A (2022) Colour moult phenology and camouflage mismatch in polymorphic populations of Arctic foxes. *Biology Letters* 18: 6. doi:10.1098/rsbl.2022.0334.

Příloha 1

Příloha 1: Vybrané parametry dat, jež byly získány z jednotlivých článků. V prvním sloupci jsou latinská jména jednotlivých druhů, v druhém sloupci zařazení těchto druhů do řádů a polyfyletické skupiny. V následujícím sloupci jsou území, ve kterých probíhaly jednotlivé studie. Dále jsou uvedeny roky počátku jednotlivých výzkumů a následně délka jejich trvání (v letech). V dalším sloupci je uvedeno, jakému fenologickému znaku se studie zabývaly. Patří zde čtyři znaky podle čtyř hlavních témat mé bakalářské práce, a to fenologie hibernace, reprodukce, migrace a sezónní zbarvení srsti (ta je v tabulce uvedena pouze jako zbarvení srsti). V následujících sloupcích je uvedeno, zda změna ve fenologii měla pozitivní či negativní efekt a jestli je daný savčí druh hibernátor (A – Ano) či nikoliv (N – Ne). Následně je uvedena citace, odkud data pochází a hmotnost (v gramech) daných druhů savců, která byla získána z globálního souboru dat PanTHERIA.

Druh latinsky	Zařazení	Lokace	Začátek studie	Trvání studie (roky)	Změny ve fenologickém znaku	Efekt	Hib.	Citace	Body mass-PanTHERIA (g)
<i>Peromyscus maniculatus</i>	Rodentia	Kanada	1985	19	reprodukce		A	Millar <i>et al.</i> (2004)	20.1
<i>Cricetus cricetus</i>	Rodentia	Rakousko		1	hibernace		A	Siutz <i>et al.</i> (2018)	429
<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	Rodentia	Kanada	1989	10	reprodukce	Negativní	A	Réale <i>et al.</i> (2003)	200
<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	Rodentia	Kanada	1989	19	reprodukce	Negativní	A	Lane <i>et al.</i> (2018)	200
<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	Rodentia	Kanada	1991	20	reprodukce		A	Williams <i>et al.</i> (2014)	200
<i>Marmota marmota</i>	Rodentia	Francie	1990	22	hibernace		A	Tafari <i>et al.</i> (2013)	4060
<i>Marmota marmota</i>	Rodentia	Francie	1990	23	hibernace		A	Rézouki <i>et al.</i> (2016)	4060
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	1976	23	hibernace	Negativní	A	Inouye <i>et al.</i> (2000)	3710
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	1983	7	reprodukce		A	Vanvuren <i>et al.</i> (1991)	3710
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	1976	32	hibernace		A	Ozgul <i>et al.</i> (2010)	3710
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	2003	6	hibernace		A	Blumstein (2009)	3710
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	1979	40	hibernace		A	Cordes <i>et al.</i> (2020)	3710
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	1975	36	hibernace		A	Maldonado-Chaparro <i>et al.</i> (2015)	3710
<i>Marmota flaviventris</i>	Rodentia	USA	2003	14	hibernace		A	Edic <i>et al.</i> (2020)	3710
<i>Glis glis</i>	Rodentia	Česká republika	1980	26	hibernace	Negativní	A	Adamík <i>et al.</i> (2008)	128
<i>Glis glis</i>	Rodentia	Německo	1993	23	hibernace		A	Fietz <i>et al.</i> (2020)	128

<i>Glis glis</i>	Rodentia	Německo	1970	30	hibernace	Negativní	A	Koppmann-Rumpf <i>et al.</i> (2003)	128
<i>Muscardinus avellanarius</i>	Rodentia	Německo	2009	3	hibernace		A	Pretzlaff <i>et Dausmann</i> (2012)	29.2
<i>Urocitellus armatus</i>	Rodentia	USA	2014	4	hibernace		A	Falvo <i>et al.</i> (2019)	307
<i>Urocitellus columbianus</i>	Rodentia	Kanada	1992	20	hibernace	Pozitivní	A	Lane <i>et al.</i> (2012)	471
<i>Urocitellus columbianus</i>	Rodentia	Kanada	1992	21	hibernace		A	Dobson <i>et al.</i> (2016)	471
<i>Urocitellus columbianus</i>	Rodentia	Kanada	1992	28	hibernace	Pozitivní	A	Tamian <i>et al.</i> (2022)	471
<i>Urocitellus parryii</i>	Rodentia	USA	1999	13	hibernace		A	Sheriff <i>et al.</i> (2013)	747
<i>Urocitellus parryii</i>	Rodentia	USA	1999	13	reprodukce		A	Sheriff <i>et al.</i> (2013)	747
<i>Urocitellus parryii</i>	Rodentia	USA	2009	8	reprodukce		A	Williams <i>et al.</i> (2017)	747
<i>Urocitellus parryii</i>	Rodentia	USA	2011	2	hibernace		A	Sheriff <i>et al.</i> (2017)	747
<i>Urocitellus brunneus</i>	Rodentia	USA	2015	5	hibernace		A	Goldberg <i>et Conway</i> (2021)	300
<i>Urocitellus townsendii</i>	Rodentia	USA	1992	3	hibernace		A	Van Horne <i>et al.</i> (1997)	207
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Lagomorpha	Německo	1991	12	reprodukce		N	Rödel <i>et al.</i> (2005)	1590
<i>Lepus americanus</i>	Lagomorpha	USA	2010	3	zbarvení srsti		N	Mills <i>et al.</i> (2013)	1570
<i>Lepus americanus</i>	Lagomorpha	USA	2010	3	zbarvení srsti		N	Zimova <i>et al.</i> (2014)	1570
<i>Lepus americanus</i>	Lagomorpha	USA	2010	8	zbarvení srsti		N	Zimova <i>et al.</i> (2020b)	1570
<i>Lepus americanus</i>	Lagomorpha	USA	2012	3	zbarvení srsti		N	Kumar <i>et al.</i> (2020)	1570
<i>Lepus americanus</i>	Lagomorpha	USA		1	zbarvení srsti		N	Wilson <i>et al.</i> (2019)	1570
<i>Lepus americanus</i>	Lagomorpha	USA	2009	4	zbarvení srsti		N	Zimova <i>et al.</i> (2016)	1570
<i>Lepus timidus</i>	Lagomorpha	Norsko	2003	12	zbarvení srsti		N	Pedersen <i>et al.</i> (2017)	3120
<i>Lepus timidus</i>	Lagomorpha	Skotsko	2015	2	zbarvení srsti		N	Zimova <i>et al.</i> (2020a)	3120
<i>Cervus elaphus</i>	Ungulata	Skotsko	1980	28	reprodukce	Negativní	N	Moyes <i>et al.</i> (2011)	240000
<i>Cervus elaphus</i>	Ungulata	Skotsko	1968	39	reprodukce		N	Clements <i>et al.</i> (2010)	240000
<i>Cervus elaphus</i>	Ungulata	Španělsko	1995	25	reprodukce		N	Millan <i>et al.</i> (2021)	240000
<i>Cervus elaphus</i>	Ungulata	Španělsko	1995	22	reprodukce		N	Millan <i>et al.</i> (2022)	240000
<i>Cervus elaphus</i>	Ungulata	Skotsko	1972	45	reprodukce	Negativní	N	Bonnet <i>et al.</i> (2019)	240000
<i>Cervus elaphus</i>	Ungulata	Skotsko	1971	32	reprodukce		N	Nussey <i>et al.</i> (2005)	240000
<i>Odocoileus virginianus</i>	Ungulata	Kanada	1994	5	migrace		N	Sabine <i>et al.</i> (2002)	75000

<i>Odocoileus virginianus</i>	Ungulata	Kanada	1994	5	reprodukce		N	Sabine <i>et al.</i> (2002)	75000
<i>Odocoileus hemionus</i>	Ungulata	USA	1999	11	migrace	Negativní	N	Monteith <i>et al.</i> (2011)	83800
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Grónsko	1993.2	6	reprodukce	Pozitivní	N	Post <i>et Forchhammer</i> (2008)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Grónsko	1993	11	reprodukce		N	Kerby <i>et Post</i> (2013)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Finsko	1970	45	reprodukce	Negativní	N	Paoli <i>et al.</i> (2018)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Finsko	1970	45	reprodukce	Negativní	N	Paoli <i>et al.</i> (2020b)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Finsko	1996	16	reprodukce	Negativní	N	Paoli <i>et al.</i> (2020a)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	USA	1995	23	migrace	Negativní	N	Gurarie <i>et al.</i> (2019)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Kanada	2000	12	migrace	Negativní	N	Le Corre <i>et al.</i> (2017)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	USA	1977	36	reprodukce		N	Gustine <i>et al.</i> (2017)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Kanada	2004	12	reprodukce	Negativní	N	Mallory <i>et al.</i> (2020)	108000
<i>Rangifer tarandus</i>	Ungulata	Kanada	2004	12	migrace	Negativní	N	Mallory <i>et al.</i> (2020)	108000
<i>Ovis aries</i>	Ungulata	Skotsko	1985	15	reprodukce		N	Forchhammer <i>et al.</i> (2001)	34200
<i>Ovis canadensis</i>	Ungulata	Kanada	1992	14	reprodukce		N	Feder <i>et al.</i> (2008)	74600
<i>Ovis canadensis</i>	Ungulata	Kanada	1992	26	reprodukce	Negativní	N	Renaud <i>et al.</i> (2019)	74600
<i>Ovis canadensis</i>	Ungulata	Kanada	2000	17	reprodukce		N	Renaud <i>et al.</i> (2022)	74600
<i>Bos taurus</i>	Ungulata	Anglie	1947	62	reprodukce	Negativní	N	Burthe <i>et al.</i> (2011)	613000
<i>Capreolus capreolus</i>	Ungulata	Německo	1973	47	reprodukce	Pozitivní	N	Hagen <i>et al.</i> (2021)	22400
<i>Capreolus capreolus</i>	Ungulata	Francie	1985	27	reprodukce		N	Plard <i>et al.</i> (2014)	22400
<i>Capreolus capreolus</i>	Ungulata	Švýcarsko	1971	45	reprodukce	Negativní	N	Rehnus <i>et al.</i> (2020)	22400
<i>Rupicapra pyrenaica pyrenaica</i>	Ungulata	Francie	1968	44	reprodukce		N	Kourkgy <i>et al.</i> (2016)	30000
<i>Alces alces</i>	Ungulata	USA	1990	5	reprodukce		N	Bowyer <i>et al.</i> (1998)	481000
<i>Alces alces</i>	Ungulata	Estonsko	1993	17	reprodukce		N	Veeroja <i>et al.</i> (2013)	481000
<i>Ursus maritimus</i>	Carnivora	Grónsko	2009	7	hibernace		A	Escajeda <i>et al.</i> (2018)	375000
<i>Ursus maritimus</i>	Carnivora	Kanada	2004	6	migrace		A	Cherry <i>et al.</i> (2013)	375000
<i>Ursus americanus</i>	Carnivora	USA	2011	4	hibernace		A	Johnoson <i>et al.</i> (2018)	111000
<i>Ursus americanus</i>	Carnivora	USA	2011	3	hibernace		A	Miller <i>et al.</i> (2016)	111000
<i>Ursus arctos</i>	Carnivora	Rusko	1946	69	hibernace		A	Delgado <i>et al.</i> (2018)	196000

<i>Ursus arctos</i>	Carnivora	Švédsko	2010	3	hibernace	A	Evans <i>et al.</i> (2016)	196000
<i>Ursus arctos</i>	Carnivora	Kanada	1999	11	hibernace	A	Pigeon <i>et al.</i> (2016)	196000
<i>Vulpes lagopus</i>	Carnivora	Norsko	2011	8	zbarvení srsti	N	Laporte-Devlyder <i>et al.</i> (2022)	3600
<i>Vulpes lagopus</i>	Carnivora	Švédsko	2015	2	zbarvení srsti	N	Zimova <i>et al.</i> (2022)	3600
<i>Mustela nivalis nivalis</i>	Carnivora	Polsko	1997	11	zbarvení srsti	N	Atmeh <i>et al.</i> (2018)	79.9
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Chiroptera	Anglie	1984	9	reprodukce	A	Ransome <i>et</i> McOwat (1994)	23.5
<i>Myotis lucifugus</i>	Chiroptera	Kanada	1998	2	reprodukce	A	Burles <i>et al.</i> (2009)	7.77
<i>Myotis lucifugus</i>	Chiroptera	USA	2001	13	hibernace	A	Meyer <i>et al.</i> (2016)	7.77
<i>Myotis keeni</i>	Chiroptera	Kanada	1998	2	reprodukce	A	Burles <i>et al.</i> (2009)	6.45
<i>Myotis formosus</i>	Chiroptera	Korea	2002	3	hibernace	A	Kim <i>et al.</i> (2013)	7.07
<i>Myotis myotis</i>	Chiroptera	Portugalsko	1987	15	hibernace	A	Zahn <i>et al.</i> (2007)	25.7
<i>Nyctophilus bifax</i>	Chiroptera	Austrálie	2008	2	hibernace	A	Stawski <i>et</i> Geiser (2012)	
<i>Myotis daubentonii</i>	Chiroptera	Česká republika	1970	43	reprodukce	Negativní A	Lučan <i>et al.</i> (2013)	7.56
<i>Tadarida brasiliensis</i>	Chiroptera	USA	1995	22	migrace	Negativní A	Stepanian <i>et</i> Wainwright (2018)	12.2
<i>Tadarida brasiliensis</i>	Chiroptera	USA	1995	22	reprodukce	A	Stepanian <i>et</i> Wainwright (2018)	12.2
<i>Halichoerus grypus</i>	Carnivora	Anglie	1992	27	reprodukce	N	Bull <i>et al.</i> (2021)	197000
<i>Phoca vitulina</i>	Carnivora	Německo	1974	36	reprodukce	Negativní N	Reijnders <i>et al.</i> (2010)	87300
<i>Monodon monoceros</i>	Cetacea	Kanada	1997	21	migrace	Pozitivní N	Shuert <i>et al.</i> (2022)	938000
<i>Delphinapterus leucas</i>	Cetacea	Čukotské moře Beaufortovo	1993	19	migrace	N	Hauser <i>et al.</i> (2017)	1380000
<i>Delphinapterus leucas</i>	Cetacea	moře	1993	19	migrace	N	Hauser <i>et al.</i> (2017)	1380000
<i>Delphinapterus leucas</i>	Cetacea	Kanada	2002	3	migrace	N	Bailleul <i>et al.</i> (2012)	1380000
<i>Balaenoptera musculus</i>	Cetacea	USA	2008	10	migrace	N	Szesciorka <i>et al.</i> (2020)	154000000
<i>Balaenoptera physalus</i>	Cetacea	Kanada	1984	27	migrace	Negativní N	Ramp <i>et al.</i> (2015)	47500000
<i>Eubalaena glacialis</i>	Cetacea	USA	1998	21	migrace	Pozitivní N	Pendletot <i>et al.</i> (2022)	23000000
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Cetacea	USA	1998	21	migrace	Pozitivní N	Pendletot <i>et al.</i> (2022)	30000000
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Cetacea	Kanada	1984	21	migrace	Negativní N	Ramp <i>et al.</i> (2015)	30000000