

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Pedagogická fakulta

Katedra Biologie

Filip Kurečka

3. ročník

Obor: Přírodopis a enviromentální výchova/Geografie pro vzdělávání

VLIV ZMĚN KLIMATU NA MEDVĚDA LEDNÍHO (*URSUS MARITIMUS*)

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jakub Vrána

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a použil jen prameny uvedené v seznamu literatury. Souhlasím, aby tato práce byla uložena na Univerzitě Palackého v Olomouci v knihovně Pedagogické fakulty a zpřístupněna ke studijním účelům.

V Olomouci dne 20. 4. 2022

.....

Podpis

Poděkování

Mé poděkování patří všem, díky kterým mohla tato práce vzniknout. Především však děkuji Mgr. Jakubu Vránovi za jeho odborné vedení a cenné rady.

Abstrakt

Práce se zabývá vlivem klimatických změn na medvěda ledního (*Ursus maritimus*) a jeho areál výskytu. Kvůli změnám klimatu se mění složení a dostupnost potravy, chování medvědů (způsoby lovu, střety s medvědy grizzly) a dochází ke změnám v krajině (tání ledu). To výrazně napomáhá snižování počtu jedinců, kteří jsou nuceni stahovat se blíže k lidským obydlím. Cílem práce je popsat veškerý vliv klimatických změn na život a přežívání tohoto druhu. Součástí práce je problematika snahy záchrany ledních medvědů. Práce má řešeršní charakter.

Klíčová slova

medvěd lední, globální oteplování, změna klimatu, severní pól, tání ledu

Abstract

This thesis deals with the impact of climate change on the polar bear (*Ursus maritimus*) and its range. Due to climate change, the composition and availability of food, bear behaviour (hunting patterns, conflicts with grizzly bears) and the area (melting ice) are changing. This is contributing significantly to the reduction in the number of individuals that are forced to move closer to human habitation. The aim of this bachelors work is to describe all the effects of climate change on the life and survival of this species. Part of my thesis is also the issue of efforts to save polar bears.

Keywords

polar bear, global warming, climate change, North Pole, melting ice

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle	3
3. Medvěd lední v přirozeném prostředí	4
3.1. Areál medvěda ledního	4
3.2. Stavba těla.....	6
3.3. Potrava	6
4. Globální oteplování	8
4.1. Základní princip.....	8
4.2. Umělý skleníkový efekt.....	9
4.2.1. Oxid uhličitý v atmosféře.....	9
4.2.2. Metan v atmosféře.....	10
4.2.3. Ozon	10
4.2.4. Aerosoly	11
4.3. Přirozené oteplování	11
4.3.1. Působení sluneční aktivity	11
4.3.2. Glaciální a interglaciální cykly	12
4.4. Zvyšování průměrné globální teploty	12
5. Medvěd lední a změny klimatu	14
5.1. Dostupnost potravy	14
5.1.1. Suchozemská potrava v rámci evoluce	14
5.1.2. Predikce míry přežití v důsledku prodlouženého hladovění	15
5.2. Nory	16
5.3. Otevřená moře	17
5.4. Konfrontace s lidmi	18
5.5. Patogeny	20
5.6. Stresory, kontaminanty a kumulativní efekt.....	22
6. Ochrana ledních medvědů.....	23
6.1. Regulace lovu	23
6.2. Umělé dodávání potravy.....	24
6.3. Rehabilitace	25
6.4. Translokace.....	25

6.5. Zoologické zahrady	26
6.6. Cílená redukce populací	26
6.7. Zastavení globálního oteplování.....	27
7. Budoucnost ledních medvědů a arktického prostředí	29
7.1. Adaptace	29
7.2. Hybridizace.....	31
7.3. Vliv vymírání medvěda ledního na další živočichy	31
7.4. Predikce vývoje mořského ledu.....	32
8. Závěr.....	34
9. Seznam použitých zdrojů.....	36

Seznam obrázků:

- Obr. 1: Prostorové rozložení subpopulací medvěda ledního. Jednotlivé zkratky znamenají: CS = Čukotské moře; SB = Jižní Beaufortovo moře; NB = Severní Beaufortovo moře; VM = Zátoka Viscount Melville; MC = Kanál M’Clintock; NW = Norský záliv; LS = Lancasterova zátoka; GB = Záliv Boothia; FB = Foxova pánev; WH = Západní Hudsonův záliv; SH = Jižní Hudsonův záliv; DS = Davisův průliv; BB = Baffinova zátoka; KB = arktická vodní cesta Kane; EG = Východní Grónsko; BS = Barentsovo moře; KS = Karské moře; LP = Laptěvovo moře; AB = Arktická pánev (převzato ze Derocher et al., 2013).....5
- Obr. 2: Globální změny v roční průměrné teplotě v letech 1861–2004 (převzato ze Houghton, 2005).....13
- Obr. 3: Grafické znázornění fungování epidemiologického tria hostitel (Jost), patogen (Pathogen) a prostředí (Environment) dle Hueffera (Hueffer et al., 2011)..... 20

1. Úvod

Medvědi lední (*Ursus maritimus*) jsou klasickým K-selektivním druhem. Počty nových potomků jsou nízké a mladí jedinci pomalu dospívají, zatímco mají velkou šanci na přežití (Bunnell & Tait, 1981). Mořský led je platformou, na níž lední medvědi žijí, cestují a loví, takže změny v pohybech a rozložení mořského ledu mají výrazný efekt i na rozložení a pohyb samotných medvědů (Stirling & Derocher, 1993). V teplých letních obdobích, kdy mořský led výrazně taje, a v obdobích březosti, však spoléhá mnoho populací na suchozemské habitaty (Derocher et al., 2013).

Ještě v nedávné historii byl největším problémem z hlediska ochrany medvěda excesivní lov, avšak ten byl ve druhé polovině 20. století z velké části redukován nařízeními, zákazy, regulacemi a kvótami (Prestrud & Stirling, 1994). Medvědi lední tak část minulého století prakticky nepociťovali žádné vedlejší efekty lidské aktivity. Dokonce šlo o jedny z mála masožravců, kteří disponovali téměř celým svým původním habitatem (Kurtén, 1964). Zásadní problémem posledních let se však zdají být aktuální klimatické změny.

Tento druh už zažil několik globálních oteplování a ochlazování a z fosilních záznamů není zcela jasné, jak přesně se na změny klimatu adaptoval. Každopádně je jasné, že s rychlostí, jakou postupuje současné oteplování, se medvědi lední nemohou rovnat, čímž dostávají velmi málo času na adaptace, které budou potřebovat k dalšímu přežití. Jejich budoucnost je tedy velmi nejistá (Derocher et al., 2013).

Každým rokem exponenciálně přibývá počet nových výzkumů soustřeďujících se právě na tento problém. Tyto studie tvrdí, že Arktida se otepluje dvakrát rychleji než zbytek světa a v tomto století se zde změny teplot ještě výrazně zvýší (Comiso, 2002; Walsh, 2008; Houghton, 2005; Overland & Wang 2013; Castro de la Guardia et al., 2013). Většina živočichů obývajících Arktidu je však přizpůsobena zdejším drsným podmínkám, na nichž se jejich život v průběhu evoluční historie stal závislým. Nejzásadnějším je mořský led, jehož postupný úbytek změní arktický ekosystém způsobem, o kterém se dá zatím pouze spekulovat (Derocher et al., 2013). Je sice podrobně zdokumentováno, že populace arktických živočichů za zažívaly výrazné oscilace během všech klimatických cyklů i v minulosti (Stirling, 2002). Tentokrát ale panují obavy, že současné oteplování tyto fluktuace znásobí nevratným způsobem (Derocher et al., 2013), a to vyvolá výrazné negativní změny v ekosystému Arktidy pravděpodobně ještě v tomto století (Overland & Wang, 2013; Castro de la Guardia et al., 2013).

Možné dopady globálního oteplování na medvědy lední byly poprvé podrobně dokumentovány Stirlingem & Derocherem (Stirling & Derocher, 1993). Od té doby vzniklo velké množství dalších studií a perspektiv, které řeší především jednu zásadní otázku, jaký dopad na lední medvědy mohou změny klimatu mít (např. Derocher et al., 2013, Rode et al., 2013; Derocher et al., 2004; Andersen & Aars, 2016; Molnár et al., 2010). Má práce se přitom snaží kompilovat tyto studie do uceleného celku, který přinese kvalitní vhled do dané problematiky a ukáže zásadní ochránářské perspektivy.

2. Cíle

Cílem práce je shrnout problematiku globálního oteplování a jak klimatické změny působí na medvědy lední a jiné polární živočichy. Zaměřuje se na průběh a budoucnost globálního oteplování a rozebírá nejdiskutovanější problémy, proti kterým lední medvědi v současné době stojí. Dále jsou v práci podrobněji rozebrány možné efektivnější způsoby záchrany, či zpomalení vymírání tohoto druhu. Též je připojena předpověď stavu mořského ledu ke konci 21. století.

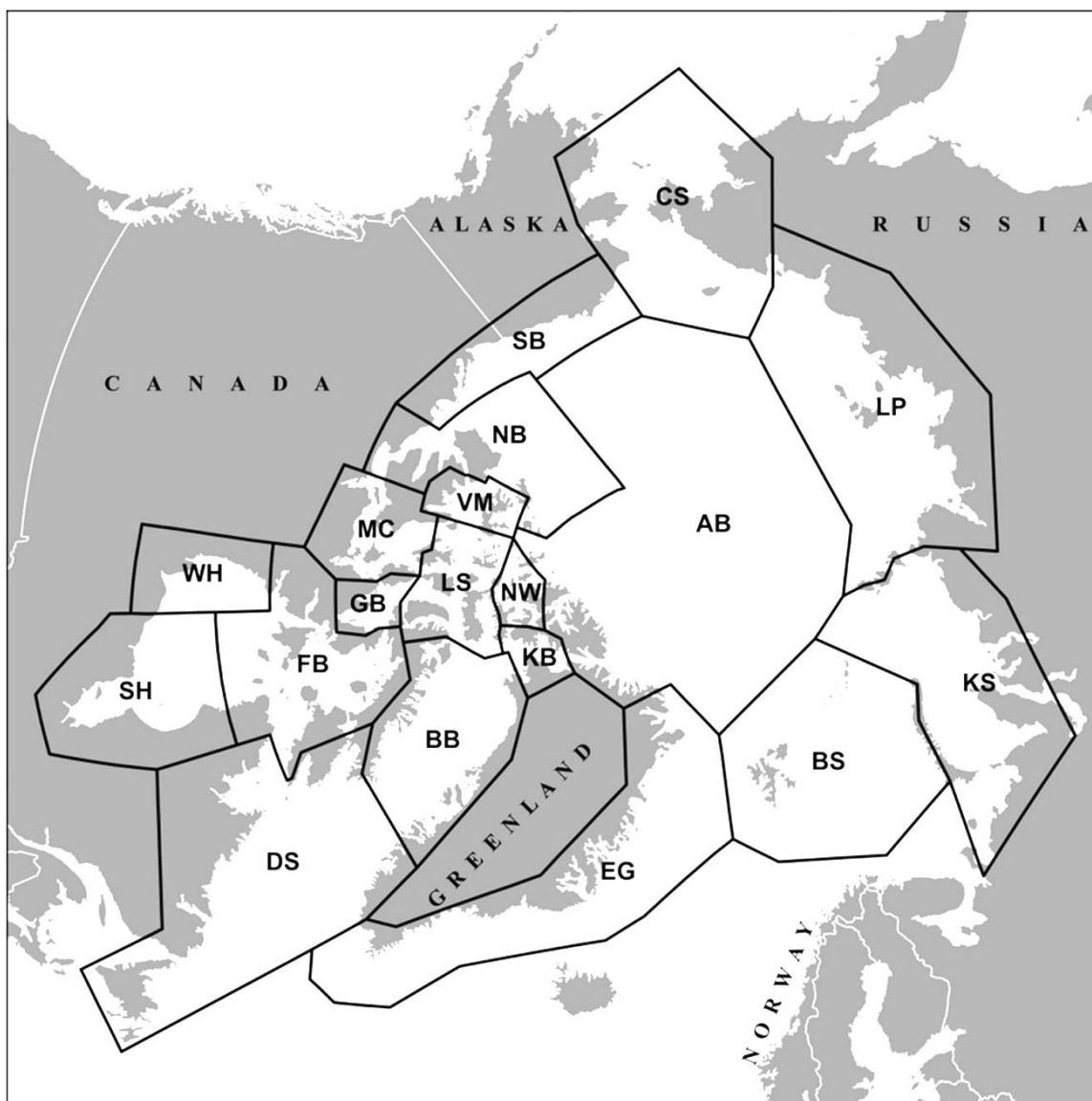
3. Medvěd lední v přirozeném prostředí

Medvědi lední patří mezi největší suchozemské savce. Jsou to primárně masožraví predátoři na vrcholu potravního řetězce, kteří v přirozeném prostředí nemají prakticky žádné konkurenty.

3.1. Areál medvěda ledního

Medvěd lední se přirozeně vyskytuje na severu Země v zaledněných oblastech Severního Pólu. Konkrétně se jedná o celé Arktické moře společně s mořem Beaufortovým, Laptěvovým a z části i Barentsovým. Do územního rozšíření tohoto druhu okrajově zasahuje také Beringovo moře a Kanadské pobřeží Atlantiku. Mezi nejvýznamnější areály výskytu patří Hudsonův záliv, Baffinův ostrov, pobřeží Grónska a ostrovy Špicberky a Nová Země (Rode et al., 2015).

Zástupci medvěda ledního v současné době obývají hlavně oblasti po většinu roku pokryté arktickým ledem. Jsou rozděleni do devatenácti subpopulací (obr. 1), z nichž každá čítá přibližně devět set jedinců (Derocher et al., 2013; Rode et al., 2015). Až na výjimky zůstávají asi tři čtvrtiny všech populací na mořském ledu trvale, samice zbylé čtvrtiny (převážně té v jižnějších geografických šířkách) se v období říje pravidelně přesouvají na pevninu, avšak pouze za účelem vyhrabání nor a vychování mláďat (Durner et al., 2011). Existuje však oblast výskytu, kde v současnosti každoročně dochází k intenzivnímu úbytku trvalého mořského ledu (Rode et al., 2015). Jedná se především o jižně položené oblasti Arktidy, z nichž jsou v rámci studií o vlivu úbytku ledu na medvěda ledního nejvíce zdokumentovány Hudsonův záliv a Barentovo moře (Andersen & Aars, 2016). V těchto oblastech se objevuje pouze sezónní led, ze kterého místní medvědí subpopulace aktivně loví mořskou kořist. Jakmile získají dostatečné zásoby tuku na letní období, přesouvají se na souš, kde metabolizují nasbírané živiny a přecházejí teplejší měsíce (Rode et al., 2015).



Obr. 1: Prostorové rozložení subpopulací medvěda ledního. Jednotlivé zkratky znamenají: CS = Čukotské moře; SB = Jižní Beaufortovo moře; NB = Severní Beaufortovo moře; VM = Zátoka Viscount Melville; MC = Kanál M'Clintock; NW = Norský záliv; LS = Lancasterova zátoka; GB = Záliv Boothia; FB = Foxova pánev; WH = Západní Hudsonův záliv; SH = Jižní Hudsonův záliv; DS = Davisův průliv; BB = Baffinova zátoka; KB = arktická vodní cesta Kane; EG = Východní Grónsko; BS = Barentsovo moře; KS = Karské moře; LP = Laptěvovo moře; AB = Arktická pánev (převzato ze Derocher et al., 2013).

3.2. Stavba těla

V Arktidě teploty klesají až k $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, proto je druh vybaven dvojitou srstí, která zabraňuje únikům tepla. Izolační vrstvy jsou tak silné, že se běžící jedinci dokonce snadno přehřívají, a to i v chladných měsících (Best, 1982). Srst je zcela bez pigmentu a jeví se jako bílá. K absorpci tepla slouží černě zbarvená kůže, nacházející se pod srstí. S udržováním tělesné teploty napomáhá též silná tuková vrstva tlustá až 11,4 cm, která je ideální především při plavání v ledové vodě (Stirling, 2009). To je například i důvodem, proč se samice s mláďaty na jaře vyhýbají plavání, pokud je k tomu nedonutí okolnosti. Mladí jedinci totiž nemají vyvinutou dostatečně silnou tukovou zásobu a mokrá srst by jim fungovala jako tepelný izolátor velmi špatně (Frish et al., 1974).

Dospělý samec dosahuje váhy 250 až 600 kg, samice 250 až 650 kg, přičemž byly zaznamenány i výjimky, kdy sledovaný jedinec vážil téměř 800 kg. Co se týká výšky, dospělec dorůstá 1 – 1,5 m, délka těla variuje okolo 3 m. Značné rozměry mají i medvědí tlapy, které mohou měřit až 30 cm. Jsou vyvinuty k plavání a k pohybu po ledové pokrývce. Skluzu zabraňují papily vyrůstající na spodní straně. Naopak uši a ocas jsou v kontrastu s velikostí zbytku těla kompaktní, což zabraňuje zbytečným ztrátám tepla (Stirling, 2009). Jak dokazují výše zmíněné tělesné vlastnosti, v porovnání s jeho jižně se vyskytujícími příbuznými je medvěd lední názornou ukázkou pravidla Allenova (menší periferní části těla), pravidla Bergmanova (větší tělo) a pravidla Glogerova (bílá srst).

3.3. Potrava

Přestože je medvěd lední velmi oblíbeným, známým a v současné době často medializovaným druhem, o jeho nutričních potřebách toho mnoho nevíme. Jednou z mála všeobecně známých věcí je fakt, že hlavní složku potravy tvoří tuleň kroužkovaný (*Pusa hispida*), kterého aktivně loví. Další potravou bývají mrtví mořští savci vyvržení na břeh, například velryby (*Cetacea*) a mroži lední (*Odobenus rosmarus*; Thiemann et al., 2008).

Dle prováděných studií (Robbins et al., 2007) si divocí i zajatí jedinci dobrovolně vybírají potravu bohatou na lipidy a stravitelné karbohydráty, naopak potravě s vysokým obsahem proteinu se spíše vyhýbají. Malá koncentrace proteinů v potravě u medvědů ledních totiž maximalizuje rychlost růstu tukových zásob a účinnost využití energie. Zároveň tato volba snižuje energetickou spotřebu jater, ledvin a kardiovaskulárního systému (LaDouceur et al., 2014). Tyto poznatky odráží jedinci žijící v zoologických zahradách, kde jsou krmeni především

potravou bohatou právě na bílkoviny. Tato strava vychází z přirozené nutriční potřeby lidí a jiných masožravců a všežravců, nicméně medvědům ledním způsobují velké příjmy bílkovin vážná dlouhodobá onemocnění, jako je rakovina a selhání jater či ledvin. Dále tato potrava vede také k časté únavě, vyčerpání a zpomalené dospívání (Robbins et al., 2021). Jako příklad si můžeme uvést americké zoo, kde během let 2015–2020 zemřelo devatenáct medvědů ledních o průměrném stáří 27 let. Nejčastější příčinou smrti byly nemoci ledvin, které stály za 37 % všech případů (tedy 7 z 19 jedinců). Rakovina jater byla druhou nejčastější příčinou úmrtí. Vedla celkem ke 32 % úmrtí (6 z 19 jedinců). Zbylí jedinci zemřeli z důvodu srdečních onemocnění či dalších zdravotních potíží, které s těmito nemocemi často korelovaly. Závažnost špatně vybrané potravy je opravdu velká a výrazně snižuje kvalitu života ledních medvědů včetně jeho délky (Rode et al., 2021).

4. Globální oteplování

Vzhledem k tomu, že ohrožení a budoucnost medvěda ledního je krajně spojena se změnami klimatu, rozhodl jsem věnovat tématu globálního oteplení celou kapitolu. Ta vysvětlí základ fungování tohoto jevu a představí přirozené i člověkem způsobené vlivy na tuto stále diskutovanou problematiku.

4.1. Základní princip

Pro pochopení základního principu globálního oteplování potřebujeme znát dva druhy záření. Prvním je sluneční energie, která zahřívá zemský povrch, a druhým termální záření ze samotné Země a její atmosféry, které je vyvrhováno do vesmíru. V průměru musí být intenzity obou záření v rovnováze. Nerovnováha je totiž prvním předpokladem pro růst průměrné globální teploty. Pro obnovení radiační rovnováhy se povrch a spodní vrstvy atmosféry ohřívají (Houghton, 2005). Vyrovňovací účinky z hlediska energetické bilance Země mají například mraky, které obecně snižují emise zemské radiace do vesmíru, což vede k ohřevu planety, a naopak sluneční záření odrážejí zpět do vesmíru, čímž planetu zároveň ochlazují (Seinfeld, 2011). Kromě mraků je odrážení slunečního záření zajišťováno také ledem, pouštěmi a jinými světlými povrchy planety, z čehož vyplývá důležitost udržování severní a jižní ledové pokrývky (Solomon et al., 2007).

Dalším předpokladem udržení rovnováhy je skleníkový efekt, který je přirozenou součástí koloběhu látek a energie na Zemi. Ke zvyšování koncentrací skleníkových plynů v atmosféře tedy dochází primárně přirozeně, jak životními procesy rostlin a živočichů (uvolnění CO_2 při dýchání a zpracování potravy, rozklad mrtvého organismu či tvorba půdy), tak výparem vody do atmosféry, požáry či vulkanickou činností (Houghton, 2005).

Skleníkový efekt je zásadní pro udržení zemského klimatu, teplota při povrchu díky němu dosahuje v průměru $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Houghton, 2005). Skleníkové plyny v podstatě pohlcují sluneční energii a udržují ji tak v atmosféře planety, anebo tepelnou energii vyzářenou Zemí odráží zpět k povrchu (EPA, 2022). Přirozený skleníkový efekt je však v současnosti doplňován umělým, vytvořeným lidskou aktivitou (Houghton, 2005).

4.2. Umělý skleníkový efekt

Lidé v současné době ovlivňují průběh změn klimatu, a to především látkami, které svou aktivitou vypouštějí do ovzduší (Fang et al., 2011). Pro představu, například v Severní Americe pochází nejvíce uměle vypouštěných skleníkových plynů z dopravy, výroby a spotřeby elektriny a na ně navazujícího průmyslu a zemědělství (EPA, 2022). Do roku 2060 se očekává zvýšení světové populace na 10 miliard lidí, do roku 2100 na 11 miliard, a zatím plně nevíme, jak pro ně zajistit dostatek potravy bez zvýšení emisí skleníkových plynů (UN, 2019). Třeba pěstování rýže je zdrojem stejného množství skleníkových plynů jako letecký průmysl (World Resource Institute, 2020). Dalším problémem může být chov zvířat, z něhož pochází 57 % emisí, a to i přesto, že chov tvoří pouze 18 % světové produkce kalorií a 37 % produkce bílkovin, které představují hlavní důvod chovu (Poore & Nemecek, 2018). V současné době je až 40 % zemské plochy používáno primárně k produkci masa. Pro srovnání, pěstování obilí zabírá 11 % půdy, lesy pak 37 % a například lidská obydlí pouhé 1 % (OWID, 2019).

4.2.1. Oxid uhličitý v atmosféře

Ze skleníkových plynů, které jsou v atmosféře obsaženy nejvíce, má nejvýraznější efekt vodní pára. Její množství je určováno především teplotou oceánů a následným výparem vody v kapalném skupenství. Teplota oceánské vody se sice zvyšuje, ale stále nedochází k výraznému zvýšení výparu (Houghton, 2005). Oxidem uhličitým (CO_2) je to však jiné.

V případě tohoto plynu došlo v posledních dvou stoletích k vysokému nárůstu jeho koncentrace v atmosféře. Od dob průmyslové revoluce do současnosti přibližně o 30 %. Predikce stanovují, že oproti hodnotám z doby předindustriální může v případě absence konkrétních brzdících faktorů dojít až ke zdvojnásobení atmosférického množství CO_2 do konce 21. století (Houghton, 2005). Skutečnost, že nárůst hladiny CO_2 v atmosféře je z velké části důsledkem spalování fosilních paliv, je jednoznačně prokázána především korelací mezi záznamy o spotřebě ropy, uhlí a zemního plynu a souběžným poklesem obsahu kyslíku a relativního množství stabilních (^{13}C) i radioaktivních (^{14}C) izotopů uhlíku v atmosféře (Seinfeld, 2011).

Kromě známých polutantů, jako je spalování fosilních paliv, chov dobytka či výroba cementu, jež je zodpovědná za 8 % všech emisí CO_2 (Andrew, 2018), jsou významnými emitory CO_2 i jiné méně známé zdroje. Například skládky, které vyprodukují stejné množství tohoto plynu jako všechna letadla dohromady, a domácnosti. S provozem našich obydlí je totiž spojeno více emisí CO_2 , než vypouští celosvětový automobilový provoz (World Resource Institute,

2020). A emise vyprodukované při výrobě nového auta jsou zase ekvivalentní emisím vypuštěným při stavbě pouhých dvou metrů nové silnice (Ma et al., 2016). Existuje tedy přímé spojení mezi prosperitou státu s jeho občany a vysokými emisemi CO₂ (OWID, 2021).

Změny izotopového složení tohoto plynu ukazují, že lidmi emitovaný uhlík pochází hlavně z rostlinných materiálů, tedy z procesů, jako je spalování biomasy a již zmíněných fosilních paliv. Sečteme-li lidské zdroje CO₂, zjistíme, že asi 56 % lidmi emitovaného CO₂ se hromadí v atmosféře. Zbývajících 44 % pohlcují oceány a biosféra (Seinfeld, 2011). Podobnou argumentaci lze použít i u jiných skleníkových sloučenin (např.: metan, oxid dusný, halony a freony), u kterých ale nejsou všechny zdroje vypouštění zcela jasné (Houghton, 2005).

4.2.2. Metan v atmosféře

Metan (CH₄) je jedním z nejsilněji působících skleníkových plynů, protože skleníkový efekt způsobený jeho molekulou je až 8x silnější, než u molekuly oxidu uhličitého (Houghton, 2005). Tento plyn je navíc v průběhu deseti let oxidován na CO a poté CO₂, jejichž životnost je ve vzdušném obalu planety i několik století. Nárůst koncentrací má také nepřímý vliv na zvýšení množství stratosférické vodní páry a troposférického ozonu (Shindell et al., 2005), tedy dalších skleníkových plynů. Hlavním přírodním původcem metanu jsou procesy probíhající v mokřadech a tajících permafrostech (Gedney et al., 2004). Globální koncentrace metanu se však díky lidské aktivitě od roku 1800 zvýšila více než dvojnásobně (Seinfeld, 2011), především díky chovu dobytka, výroby elektřiny a zpracování odpadu (Karakurt et al., 2012).

4.2.3. Ozon

Odhad radiačního působení, které lze přičíst právě nárůstu troposférického ozonu (O₃) od předindustriální doby, je ztížen nedostatečnou znalostí tehdejší globální úrovně koncentrací. Tato nejistota nevyplývá ze špatného pochopení atmosférických procesů, které ozon vytvářejí, ale spíše z nedostatečné znalosti původců emisí v 19. století (Gauss et al., 2006). Ozon není emitován přímo, vzniká chemickou cestou za účasti oxidů dusíku (NO_x) z průmyslových paliv, metanu (CH₄), oxidu uhelnatého (CO) a nemetanových těkavých organických sloučenin (Seinfeld, 2011), které jsou emitovány především farmaceutickým průmyslem, čisticími prostředky, barvením aut a také výrobou bot (Jiang & Fast, 2004). Jsou to látky, jež se za vhodných podmínek mohou vypařit a vstoupit tak do atmosféry (EEA, 2022), jedná se například o benzen

(C₆H₆), xylen (C₈H₁₀), propan (C₃H₈) a butan (C₄H₁₀). Od konce 19. století došlo ke zvýšení koncentrací atmosférického ozonu odhadem až o dvojnásobek a jeho přírůstek se stejně jako u ostatních skleníkových plynů rapidně zrychluje (Seinfeld, 2011).

4.2.4. Aerosoly

Aerosoly jsou pevné částice v atmosféře sestávající především z vulkanického prachu, znečišťujících látek, jako jsou SO₂ vypouštěné spalováním fosilních paliv, a částic vznikajících spalováním biomasy (Ramanathan et al., 2001). Délka, po kterou aerosoly přetrvávají v atmosféře, je mnohem kratší než u skleníkových plynů, jedná se o dny až měsíce, ve vzácných případech roky, ale určité množství se v atmosféře vždy nachází (Fang et al., 2011). V současné době panují neshody, zda tyto částice planetu ochlazují či naopak přispívají k jejímu oteplování. Například aerosoly tzv. černého uhlíku jsou obecně považovány za druhého nejsilnějšího původce rostoucích globálních teplot, hned po přítomnosti CO₂ (Ramanathan & Carmichael, 2008). Většina odborníků je ale toho názoru, že velká část aerosolů má spíše chladicí efekt, protože odráží kosmické záření zpět do vesmíru (Mitchell et al., 1995). Avšak dle novodobých studií tento efekt není dost silný a působí proti účinkům skleníkových plynů v míře pouhých 10 % (Myhre, 2009).

4.3. Přírozené oteplování

4.3.1. Působení sluneční aktivity

Slunce je hlavním zdrojem energie pro Zemi a solární aktivita může mít velký vliv na teploty na povrchu planety. Nicméně je velmi těžké říci, jak velký vliv na globální oteplování sluneční aktivita vlastně může mít (Fang et al., 2011). V praxi to funguje následovně. Sluneční záření ohřívá povrch a vrchní vrstvy atmosféry Země, planeta je odráží zpět ve formě infračerveného záření, které ale z části zůstává v atmosféře pohlceno skleníkovými plyny (Houghton, 2005).

Vědci je podporována myšlenka majoritního vlivu solárního záření na zemské oteplování a ochlazování, ale pouze do roku 1960. Vypadá to, že od této chvíle už oteplování nemůžeme připisovat pouze sluneční aktivitě v kombinaci s přirozeným skleníkovým efektem (Foukal et al., 2006). Data z let 1880–1960 totiž ukázala fakt, že průměrné množství solární radiace dopadající na Zemi vzrůstalo a opravdu přispívalo ke zvyšování průměrné globální teploty. Nicméně od roku 1960 se množství solární radiace začalo snižovat, ale globální teploty

i přesto stále rostou (Fang et al., 2011), což se připisuje především právě výrazné lidské aktivitě (Seinfeld, 2011).

4.3.2. Glaciální a interglaciální cykly

Periodické změny oběžné dráhy Země kolem Slunce a sklonu zemské osy ovlivňují sezónní a šířkové rozložení dopadajícího slunečního záření. Roční období, kdy je Země nejbližší ke Slunci se pravidelně mění s periodicitou přibližně 19 000 až 23 000 let a šikmost zemské osy se pohybuje mezi 22 a 24,5 stupni v průběhu každých 41 000 let (Seinfeld, 2011). Když je sklon větší, jsou póly vystaveny silnějšímu slunečnímu záření (Milankovič, 1920).

Milutin Milankovič (1920) na základě svých výpočtů tvrdil, že počátek polárního zalednění nastává ve chvíli, kdy je intenzita slunečního záření ve vysokých severních šířkách slabá a povrch severní polokoule se tedy tolik neohřívá. K tomu dochází, když je rotační osa méně skloněná vzhledem k rovině oběžné dráhy a když se afélium (bod zemské dráhy nejdále od Slunce) shoduje s létem na severní polokouli (Seinfeld, 2011). Glaciální struktury poté s pomalou změnou zemské osy postupují do nižších geografických šířek, kde se ledová pokrývka postupně hromadí a sníh a led se tak na místě udrží celý rok (Milankovič, 1920). Spouštěč doby ledové tedy závisí na nízké intenzitě letního slunečního záření, a naopak spouštěč globálního oteplování je vázán na vyšší intenzitu slunečního záření ve vysokých zeměpisných šířkách (Seinfeld, 2011).

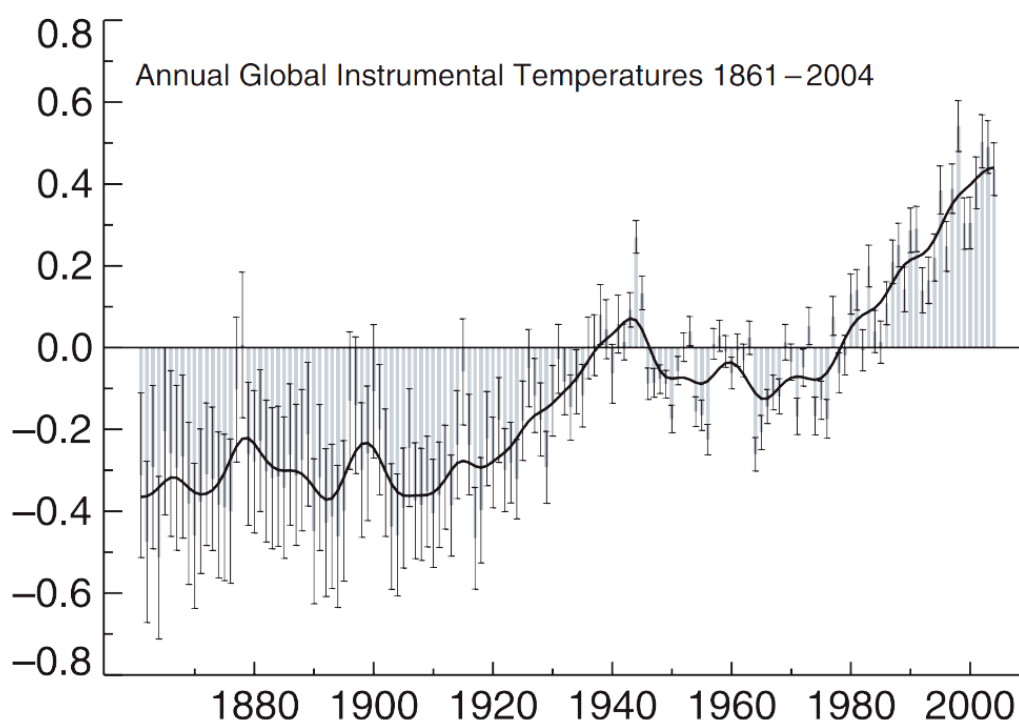
Poslední známé glaciální období skončilo před zhruba 12 000 lety, poté nastalo období růstu globálních teplot, které trvalo přibližně 8 000 let následované přechodným globálním ochlazováním, jenž se zastavilo okolo roku 1 700 n. l. Poté Země vstoupila do období opětovného nárůstu teplot, které trvá dodnes (Fang et al., 2011). V současnosti žijeme v nejteplejší periodě za posledních 1 000 let (Solomon et al., 2007).

4.4. Zvyšování průměrné globální teploty

Od počátku průmyslové revoluce se do současné chvíle globální průměrná teplota zvýšila o 1,5 °C (NOAA, 2021), jak ukazuje obr. 2. Pokud se ve 21. století kromě teploty spodní vrstvy atmosféry a povrchu nezmění žádné další faktory (např. neroztaje sněhová pokrývka či led, nedojde k dalšímu velkému odlesňování nebo třeba k výraznému zvýšení výparu mořské vody a tím pádem ke zvýšené oblačnosti), výpočty ukazují, že změna průměrné globální teploty se

do konce 21. století dostane na dalších $+1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Houghton, 2005). Ve skutečnosti se však mnoho stěžejních faktorů změní, některé z nich dokonce způsobem, který intenzitu skleníkového efektu, a tím tedy růst teplot, ještě zvýší. Půjde především o zmiňované tání ledu a sněhu či odlesňování a výpar vody. Naopak zvýšená oblačnost by mohla mít chladicí efekt (Seinfeld, 2011). Situace je tedy mnohem složitější a finální důsledky růstu teplot budou známy až v budoucnu. Když vezmeme v potaz změnu všech brzdících faktorů, v případě zdvojnásobení koncentrace skleníkových plynů v atmosféře oproti předindustriální době se průměrná globální teplota do konce 21. století zvýší o dalších $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy o celkem $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ oproti dobám před průmyslovou revolucí, což bude mít katastrofální následky pro většinu živých organismů na Zemi (Houghton, 2005). Nicméně, vzhledem k technologickému a psychologickému pokroku lidstva budeme pravděpodobně schopni oteplování zpomalit. Do roku 2100 by tak rozdíl globálních teplot předindustriální a současné doby mohl činit $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Masson-Delmotte et al. 2021).

Důležité je si tedy uvědomit, že změny klimatu jsou přirozeným procesem, který lidé nemohou zastavit (Houghton, 2005; Fang et al., 2011). I přesto je však pravdou, že svou aktivitou lidstvo současný interglaciální cyklus ovlivňuje a přispívá ke zrychlenému postupu změn klimatu. To ohrožuje nejen nás samotné, ale také celý globální ekosystém (Houghton, 2005).



Obr. 2: Globální změny v roční průměrné teplotě v letech 1861–2004 (převzato ze Houghton, 2005).

5. Medvěd lední a změny klimatu

Globální oteplování habitat medvědů ledních značně mění a tím i veškeré další aspekty nezbytné pro jejich přežití (Hunter et al., 2010). Roku 2006 byl tento druh *Mezinárodním svazem ochrany přírody* zařazen na seznam zranitelných druhů, především právě z důvodu obav v souvislosti se změnami klimatu. O dva roky později už byl uveden jako ohrožený druh na základě prvních komplexních zpráv o pozorovaném a předpokládaném úbytku ledu (Hueffer et al., 2011). V následující části jsou popsány nejdůležitější a v současné době nejdiskutovanější témata týkající se efektů globálního oteplování na medvědy lední.

5.1. Dostupnost potravy

Mořský led je nezbytnou platformou, habitatem, na kterém medvědi lední loví svou kořist (Hunter et al., 2010). Změny v rozložení míst s vysokou nebo nízkou biologickou produktivitou v důsledku změn klimatu mění distribuci kořisti včetně tuleňů kroužkovaných, což ovlivňuje také rozložení pohybu medvědů ledních. Klíčové bude, jak dostupná se jejich kořist stane v následujících letech až desítkách let (Derocher et al., 2004; Rode et al., 2021). Zvýšená plocha volného moře lov stěžuje či úplně znemožňuje, protože tuleni začínají být méně závislí na dýchacích otvorech v ledu, kde se většinou stávají obětmi svých predátorů. Úspěšný lov tuleňů ledními medvědy ve volné vodě byl zaznamenán pouze vzácně (Derocher et al., 2004). Okolnosti a nedostatek přirozené potravy tak již nyní medvědy nutí vydávat se na pevninu a hledat alternativní zdroje živin v nižších zeměpisných šířkách (Rode et al., 2015).

5.1.1. Suchozemská potrava v rámci evoluce

Medvěd lední se od svých předků oddělil před 500 000 lety (Cahill et al., 2018). V pozdním pleistocénu si vyvinul chrup a konformační rozdíly k primárně masožravé stravě a specializaci na lov tuleňů či jiných mořských savců z mořské ledové plošiny. Na základě genetických studií (Robbins et al., 2004; Erlenbach et al., 2014; Rode & Robbins, 2000) lze říci, že se hlavní změny v genu odehrály právě ve zpracování lipidů, což naznačuje, že jedním ze způsobů, jakými se lední medvědi fyziologicky odlišili od ostatních medvědů (Ursidae), je vývoj metabolismu specifického pro stravu bohatou na tuky (Robbins et al., 2007). Evoluční historie medvěda ledního a jeho blízkého příbuzného, medvěda hnědého (*Ursus arctos*), však naznačuje

omezený potenciál získávat i suchozemskou potravu (Rode et al., 2013). Někteří jedinci se na souši opravdu opět lovit naučili. Jejich potravu zde představují tuleni vousatí (*Erignathus barbatus*), mroži lední (*Odobenus rosmarus*) a tuleni obecní (*Foca moteada*). Lov těchto druhů je ale pouze lokální a v jídelníčku medvědů ledních pravděpodobně nebude schopen nahradit nedostatek tuleňů kroužkovaných (Derocher, 2004). Stupeň, do jakého se adaptovali k převážně masožravé stravě, má negativní vliv na efektivitu využívání suchozemské potravy chudé na potřebné lipidy, jako jsou třeba lesní plody, a tím pádem má také negativní vliv na kompetici s ostatními druhy rodu medvěd (*Ursus*) v suchozemských areálech (Rode et al., 2013).

5.1.2. Predikce míry přežití v důsledku prodlouženého hladovění

Lední medvědi jsou čím dál více nuceni trávit teplá roční období na souši. Protože zde pro ně není dostupná energeticky smysluplná potrava (viz výše), tak z velké části spoléhají na své energetické zásoby (Hunter et al., 2010). Molnár et al. (2010) použili DEB model (Dynamic energy budget model) k výpočtu kritické délky hladovění, tedy k odhadu toho, jak dlouho jedinec přežije bez potravy. Ve výpočtu jsou pro zjednodušení zahrnuti pouze dospělí samci. Model zohledňuje jak míru somatické údržby dle tělesné hmotnosti, tak energii spotřebovanou na pohyb, průměrnou rychlost pohybu, nebo jedince, kteří by se vůbec nehýbali, a další aspekty. Výzkum byl proveden na základě dat o samcích západního Hudsonova zálivu, kde bylo v letech 1989-1996 odchyceno 97 dospělců starších šesti let. Jejich tělesné údaje byly získány dle protokolů Kanadské rady pro péči o zvířata a dle dostupných dat byla váha jednotlivců převedena do průměrné hmotnosti, kterou by měli s již nakumulovanými energetickými zásobami. Následně byla porovnána míra přežití při 120 dnech bez potravy, což je délka hladovění před rokem 1970, a míra přežití při 180 dnech hladovění, které reflektují potenciální budoucí stav (Molnár et al., 2010). Délka této doby se totiž prodlužuje každou dekádu o 7 dní (Stirling & Parkinson, 2006).

Výsledná čísla jsou poměrně drastická. Z medvědů ledních hladovějících 120 dní na souši bez pohybu by zemřela 3 % jedinců, po zaokrouhlení tedy 3 samci z vybraného vzorku, a z medvědů v pohybu o průměrné rychlosti 2 km/h pak 6 %, tzn. 6 jedinců z 97 po zaokrouhlení. Při prodloužení doby bez potravy na 180 dní se výsledky radikálně mění. Asi 28 % dospělých samců, kteří by se nepohybovali, by zemřelo, což činí 28 z 97 jedinců. Ti v pohybu by zemřeli dokonce ze 48 %, tedy 47 samců. Navíc, s ubývajícím ledem a rychle narůstajícími teplotami klesá průměrná tělesná váha medvědů a tento fakt ve výpočtech zohledněn nebyl.

Je tak pravděpodobné, že doba, po kterou jedinec vydrží bez jídla, se bude v budoucnu rapidně snižovat (Molnár et al., 2010).

5.2. Nory

Samice vykazují určitou věrnost při vybírání lokací pro vyhrabání nor. Ve většině případů je navíc budují jen několik kilometrů od pobřeží (Harington, 1968). Aby mohly využívat stejná místa i nadále, potřebují drift ledu a zámraz moře brzy na podzim. S rostoucí vzdáleností mezi jižním okrajem ledového příkrovu, kde část populací ledních medvědů tráví léto, a pobřežními oblastmi, kde březí samice kopou nory, pro ně bude velmi obtížné dosáhnout míst, která v současné době preferují (Derocher et al., 2004). Například v roce 1995 byla vzdálenost mezi Beaufortovým mořem a jižním okrajem ledového příkrovu v září asi 300 km. V současnosti se vzdálenosti s rapidním úbytkem ledu zvětšují a zámraz ledu tyto lokace nedokáže včas propojit (Comiso, 2002). Není to ale pouze o vzrůstajících vzdálenostech k místům, kde má být vyhrabána nora. Když se to samicím povede, i v tomto případě může dojít k závažným problémům. Na severní Aljašce bylo v letech 1981 až 1991 celkem 53 % porodních nor nalezeno na driftujícím ledu ve vzdálenosti až několika set kilometrů od původního místa vzniku nor. I přesto, že samice úspěšně odchovaly mláďata, jejich brlohy urazily 19 – 997 km od místa, kde do nich samice poprvé vstoupily (Amstrup & Gerdner, 1994). Náhle se tak ocitly v naprosto odlišné části Arktidy a v areálu jiné subpopulace (Derocher et al., 2004).

Doba zformování mořského ledu je skutečně zásadní a bohužel se v průběhu času velmi rychle mění. Čím více se prodlužuje období bez ledu, tím méně mateřských nor je na pevninských pobřežích každoročně nalezeno (Shapiro et al., 2003). V některých částech areálů medvědů ledních se zimní formace ledu posunula z pozdního října do poloviny prosince a právě v těchto místech už žádné nory nenajdeme (Derocher et al., 2011). Pozdní příchod mořského ledu také silně koreluje se sníženou váhou samic, které jsou donuceny spalovat drahocenné tuky plaváním přes otevřená vodní prostranství. Tělesná hmotnost je přitom indikátorem zásob energie, která je klíčová pro přežití samic v období březosti a kojení.

Navíc hmotnost matky koreluje s tělesnou hmotností mláďat a jejich šancí na přežití. Po opuštění nory jsou mláďata se sníženou hmotností náchylná k hypotermii (Andersen & Aars, 2016). S nedostatečně vyvinutou tukovou zásobou mají totiž pouze malou izolační vrstvu a matka se s nimi musí vyhýbat ledové mořské vodě, dokud nezískají větší tukové zásoby (Frish et al., 1974).

Je sice pravdou, že ztráta jedné lokace, kde se nory obvykle vyskytují, nemusí být nutně důvodem k obavám, protože samice mohou vytvářet nory i v jiných lokalitách. Probíhající postupná ztráta dalších oblastí pro norování však indikuje závažné problémy v globálním měřítku a celkově ohrožuje existenci ledních medvědů (Andersen & Aars, 2016).

Další problémy pak přináší skutečnost, že březí samice spoléhají také na pevnost a stabilitu ledu, sněhu a v nich vyhrabaných sněhových nor, které jejich mláďata v ranných dnech chrání před větrem, predátory a zimou (Harington, 1968). Teplé proměnlivé počasí nebo déšť, mohou pak způsobit oslabení struktury celé nory. Ta může plně zkolabovat, nebo být předčasně smetena a odhalena větrem. Výsledkem je zvýšená úmrtnost některých či úplně všech jedinců, kteří jí dočasně obývali (Stirling & Smith, 2004). První známky zvyšování teplot se v Arktidě objevily už ve 20. století a 7. dubna 1990 byl jižně od Churchilla zaznamenán déšť při teplotě 6,4 °C, přičemž obvyklá teplota v tomto období se na daném místě pohybuje okolo -17 °C až -26,6 °C. To vedlo k zhroucení a opuštění několika nor, jež předtím samice využívali.

O rok později pak byla na Yukonském pobřeží Beaufortova moře nalezena další zhroucená nora, jejíž zničení pravděpodobně vyvolala kombinace nezvykle teplého počasí a vydatného sněžení. Tentokrát pozorovatelé našli i ostatky matky s mláďaty, rozdrčené vahou propadajícího se sněhu a ledu (Stirling & Derocher, 2012).

5.3. Otevřená moře

Vzhledem ke své geografické věrnosti (Harington, 1968) jsou samice medvědů ledních schopny vydat se zpátky ke své subpopulaci či svým norám a preferovaným lokacím i stovky kilometrů přes otevřená moře bez ledu. Některé tyto cesty dokonce podnikají i se svými mláďaty (Durner et al., 2011). Dne 23. srpna 2008 byla odchycena matka s mládětem (Stirling et al., 1989) na Aljašském pobřeží Beaufortova moře. Tato samice vážila 226 kg a její mládě 159 kg. Matka byla vybavena sledovacím zařízením a sledována dva měsíce. Podle GPS záznamu během sledovaných 62 dní plavala v moři 9 dní, následně strávila 3 dny chůzí po mořském ledu, poté opět den plavala a zbývajících 49 dní zůstala na souši. Data ze sledovacího zařízení ukázala, že samice plavala 232 hodin v kuse a během této doby urazila vzdálenost 687,1 km. Při následném odchytu už vážila pouhých 177 kg, což činí ztrátu 22 %. Její mládě již nebylo přítomno a pravděpodobně náročnou cestu nepřežilo (Durner et al., 2011).

Přežití samice během 9 dní plavání v otevřeném moři bylo pravděpodobně z velké části podmíněno také počasím. Moře bylo relativně klidné a vítr foukal rychlostí 27 km/h, vlny tedy nebyly větší než 1 až 2 m. I teploty mořské vody byly poměrně vysoké a pohybovaly se od 2 do 6 °C (Durner et al., 2011). V kontrastu k tomu jsou pozorována úmrtí jedinců na volném moři, jež jsou spojována s rychlostí větru okolo 54 km/h, vlnami vysokými až 4 m a teplotami okolo 2 °C a méně (Monnett & Gleason, 2006). Dalším faktorem, který samici pomohl přežít, byl směr proudění moře, který koreloval se směrem její plavby. Poslední den v mořské vodě monitorovací náramek hlásil prudký pokles tělesné teploty, lze tedy předpokládat, že samice měla blízko k fatálnímu vyčerpání (Durner et al., 2011).

Obecně totiž platí, že savci si tělesnou teplotu musejí termoregulací udržovat na určitých hodnotách, díky nimž je zajištěno správné biochemické a fyziologické fungování těla. Je pravda, že někteří savci (včetně ledních medvědů) jsou schopni tolerovat prudké změny teploty například při hibernaci (Lehmer & Biggins, 2005). Nicméně, neregulované snížení tělesné teploty ve výše popsaném případě může způsobit masivní nárůst generování tepla zrychlením metabolismu a tím zvýšenou spotřebou energie (Maickel et al., 1967). Za poznámku také stojí fakt, že letní srst medvědů ledních je tenčí než ta zimní a poskytuje tak menší izolaci (Frisch et al., 1974). I proto samice dokázala ztratit tak obrovské množství váhy za tak krátkou dobu (Durner et al., 2011).

Dlouhá plavba matky s mládětem naznačuje, že někteří lední medvědi preferují mořský led i přes jeho rapidní úbytek a zároveň nám představila neuvěřitelné schopnosti tohoto druhu. Avšak i přes úspěšné dokončení její cesty, ztráta 22 % tělesné váhy a náročnost celého procesu musela negativně ovlivnit její přežívání i budoucí reprodukční snahy (Durner et al., 2011).

5.4. Konfrontace s lidmi

Medvěd lední je sice predátorem na vrcholu potravního řetězce, ale také je to živočich velmi plachý a do míst, kde dochází k početným lidským aktivitám, se nevydává, nemá-li k tomu důvod (Towns et al., 2009). Nutnost více využívat pevniny v letních měsících však vede ke zvýšenému počtu konfliktů a konfrontací s lidmi, které se aktuálně stávají závažným problémem (Hunter et al., 2010; Wilson et al., 2017). Nutno však zmínit, že historicky se útoky na lidi objevovaly i v minulosti. Například v severní části Hudsonova zálivu a Grónska se medvědi lední běžně dostávali do styku s polárními výzkumníky nebo Inuity. Medvědi jsou na jaře obvykle velmi hladoví, a tak se v mnoha případech vkrádali lidem do stanu a nezřídka se stalo,

že zástupci obou druhů přišli o život (Perry, 1966). Dnes se však, dle získaných dat z roku 2000, zhruba 88 % útoků či jiných konfrontací s lidmi odehrává mezi červnem a prosincem, tedy v období nedostatku mořského ledu (Wilder et al., 2017). Jde přitom o dobu, která se každou dekádu nyní prodlužuje zhruba o sedm dní (Stirling & Parkinson, 2006).

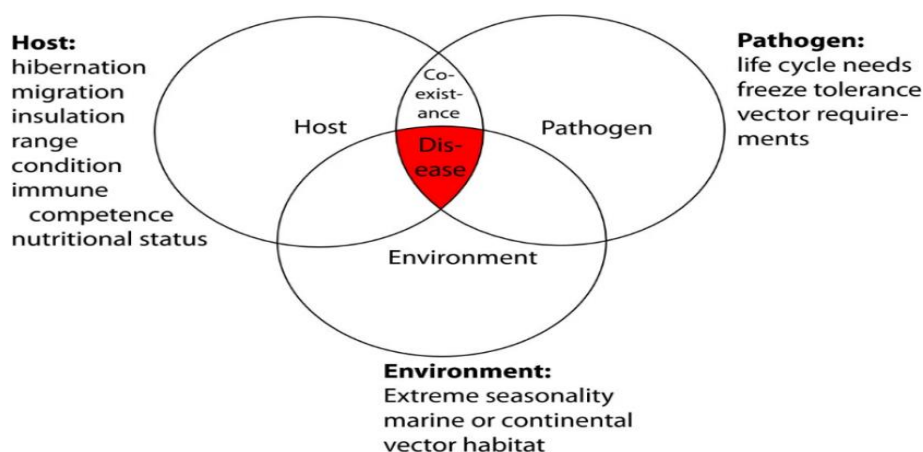
Wilson et al. (2017) dokončili výzkum zaměřený na pozorování medvědů ledních v oblasti táhnoucí se od Aljašky po okraj východního pobřeží Kanady podél Beaufortova moře. Model, který vytvořili, jim umožnil analyzovat efekt lidské aktivity, dynamiky mořského ledu a kondice suchozemských habitatů na distribuci zdejší subpopulace. Zatímco prostorové rozložení jedinců na souši bylo vázáno na přítomnost mořského ledu, pohyb medvědů v moři či na ledových krách a ostrovech byl ovlivněn výskytem mořských predátorů, ale také přítomností velrybích mršin. Vzhledem k vázanosti na mořský led rozložení medvědí populace na souši nijak výrazně neovlivníme (Wilson et al., 2017), přesto existuje početná řada návrhů, jak konflikty mezi lidmi a ledními medvědy zmírnit. Jedním z těch méně invazivních je prosté přemístění velrybích mršin pryč od pobřežních měst a osad. Teoreticky by se tak medvědi mohli sami přesunout do jiných míst (Atwood et al., 2016). Ale i když byla přítomnost velrybích mršin identifikována jako jeden z hlavních důvodů, proč dochází ke zvýšené přítomnosti ledních medvědů v blízkosti lidských osad, ani po jejich vymazání z výzkumného modelu nedošlo k výrazné změně (Wilson et al., 2017). Po odstranění efektu mršin nám totiž stále zbývá dynamika sezónního mořského ledu a bariérové ostrovy, které se kolem pobřeží Aljašky a Kanady hojně nacházejí. Ostrovy a led přiléhající k lidským komunitám tak stále představují významnou hrozbu pro oba druhy, obzvláště při rapidním zvyšování počtu jedinců obývajících suchozemskou půdu (Atwood et al., 2016).

Ani přesunutí jiné přirozené potravy ledních medvědů (např.: tuleňů kroužkovaných, uhynulých těl velryb či delfínů apod.) by pravděpodobně nemělo očekávaný efekt (Wilson et al., 2017). Ziegler (2004) zjistil, že po odebrání uměle dodávané potravy medvědům černým (*Ursus americanus*) se sedmkrát zvýšily škody na jehličnanech v oblasti výsadby poblíž lidských sídel. To indikuje, že náhlé odstranění očekávané potravy může mezidruhové konflikty navzdory očekávání zesílit. K podobné situaci došlo v Yellowstonejském národním parku ve Wyomingu. Po uzavření skládek medvědi grizzly (*Ursus arctos horribilis*) stále častěji využívali lidská tábořiště (Craighead & Craighead, 1971). Odstranění přirozené potravy z blízkosti lidských sídel tedy nepřipadá v úvahu, protože by to mohlo roční počty útoků medvědů ledních paradoxně i zvýšit. Jednoduše řečeno, i po přemístění potravy by mohlo trvat roky, než by se místní jedinci naučili využívat jiné lokality k jejímu shánění (Wilson et al., 2017).

5.5. Patogeny

Přestože úbytek habitatu a dostupnost potravy představují nejdiskutovanější problémy ledních medvědů, také infekční nemoci jsou čím dál reálnější a závažnější hrozbou (Hueffer et al., 2011). Začínají se objevovat obavy z vlivu patogenů uvolněných z rozpouštějícího se ledu (Molnár et al., 2010). Geist (1985) vyslovil teorii, že nízká biodiverzita v arktických oblastech může vést ke zhoršené obranyschopnosti vůči infekčním nemocem a parazitům. Na rozdíl od ostatních arktických živočichů má ale medvěd lední výhodu v podobně genetické výbavy. Díky poměrně nedávnému oddělení od hlavní linie svých předků, je méně zranitelný než ostatní obyvatelé Arktidy (Andersen & Aars, 2016).

Přenos patogenů v současnosti probíhá především kontaktem medvědů ledních s člověkem a jeho blízkým okolím, ale s narůstajícími teplotami dochází i k vypouštění patogenů přímo z ledu (Molnár et al., 2010). Není žádným překvapením, že tyto životní formy jsou drsným arktickým podmínkám přizpůsobeny stejně či více jako jejich hostitelé a že se v rámci méně složité genetické informace dokážou adaptovat rychleji či se díky změnám klimatu rychleji šířit (Sjosted, 2007). Abychom pochopili potenciál významných změn v dynamice infekčních onemocnění ve světě s měnícím se klimatem, je třeba posoudit interakci patogenů a jejich hostitelů v kontextu životního prostředí, ve kterém se vyskytují. Toto epidemiologické trio (obr. 3) je užitečným konceptem pro pochopení adaptace hostitelů a patogenů na prostředí vysokých zeměpisných šířek. Vztahy mezi všemi třemi aspekty se totiž každoročně mění (Hueffer et al., 2011).



Obr. 3: Grafické znázornění fungování epidemiologického tria hostitel (Host), patogen (Pathogen) a prostředí (Environment) dle Hueffera (Hueffer et al., 2011).

Medvěd lední nám může sloužit jako dokonalý příklad. Amstrup & Gardner (1994) během 21 let práce s ledními medvědy narazili na zvyšující se množství endoparazitů. Naopak ektoparazity u nich prakticky nikdy žádné neobjevil až do chvíle, kdy medvědi začali ve větší míře trávit letní období na pevnině. Vysvětlení je jednoduché a může nám ho poskytnout hned několik provedených pozorování.

Hlavním z nich je samotné obývání Arktidy, které může být evoluční strategií, jak se vyhnout některým ektoparazitům (Sjostedt, 2007). Jako příklad si můžeme uvést pohyb vlků (*Canis lupus*). Tento druh se stále více přesouvá do severní části polokoule a vyhýbá se tak blechám (*Trichodectes canis*), které v takto chladném prostředí nepřežijí (Woldstad, 2010). Většina ektoparazitů využívá tělesného tepla živočichů a není tedy odolná vůči extrémnímu chladu (Addison, 2007). Analogicky, medvěda ledního před ektoparazity tedy chrání jeho vlastní ledový habitat. S ubývajícím ledem a neustálými přesuny na teplejší pevninu může být ale pouze otázkou času, než i jej začne obtěžovat jejich zvýšená přítomnost, na kterou není zvyklý (Hueffer et al., 2011). Existují totiž druhy, kterým globální oteplování prospívá a mohou se díky němu šířit více na sever. Klasickým příkladem jsou klíšťata (*Ixodida*), která přenášejí boreliózu a anaplazmózu (Addison, 2007).

V problematice endoparazitů jsou v současnosti nejvíce zdokumentovány epidemie virů vztekliny (*Lyssa*) a psinky (*Febris catarrhalis et nervosa canum*), jež v letech 1988 až 2002 decimovali populace tuleňů (Harkonen et al., 2006). Tyto viry jsou velmi dobře adaptované na chladné prostředí, a dokonce v ledu dokáží přežít desítky let (Hueffer et al., 2011). Ohrožení jsou jimi samozřejmě také medvědi lední, protože tuleni tvoří hlavní složku jejich potravy (Thiemann et al., 2008). Původci těchto nemocí napadají také polární lišky (*Vulpes lagopus*), v jejichž populacích dochází k epidemiím zhruba každé 4 roky (Pamperin et al., 2008) a nezdá se, že medvěd pozře i jejich mršiny. A právě v těchto chvílích dochází nejčastěji k přenosu endoparazitů na lední medvědy (Hueffer et al., 2011).

Navíc některé adaptace patogenů na změny klimatu už byly také zdokumentovány (Hueffer et al., 2011). Například u hlístice *Umingmakstrongylus pallikuukensis*, která jako hostitele využívá pižmoně severního (*Ovibos moschatus*), došlo v důsledku čím dál teplejšího klimatu ke zkrácení životního cyklu a pižmoni tak čelí většímu množství těchto parazitů (Kutz et al., 2005). Co se týká ledních medvědů, v okolí Špicberků byly hlášeny narůstající případy *Brucelly* a *Toxoplasmy* (Andersen & Aars, 2016). Je tak skutečně vidět, že s ubývajícím ledem, rostoucí průměrnou teplotou a dalším rozšiřováním patogenů na sever se riziko vážné epidemiologické situace nejen v populacích medvědů ledních, ale také v populacích všech arktických

živočichů, výrazně zvyšuje (Hueffer et al., 2011). Zatím však neexistují komplexnější analýzy ani data, která by nám dala konkrétní výsledky a ukázala, jak vážná situace ve skutečnosti je (Andersen & Aars, 2016).

5.6. Stresory, kontaminanty a kumulativní efekt

Stresor je definován jako proměnná, která nepříznivě ovlivňuje fyziologii jedince nebo výkonnost populace. Mohou být přírodního nebo antropogenního původu a často působí společně a kumulují negativní dopady (Vinebrooke et al., 2004). Za současné významné stresory můžeme u ledních medvědů považovat změny mořského ledu, vyrušování lidmi či třeba znečištění a nedostatek potravy (Andersen & Aars, 2016). Jenssen (2006) upozornil, že znečišťující látky s endokrinně disruptivními vlastnostmi jsou druhou nejzávažnější hrozbou po změnách klimatu a kombinace těchto dvou stresorů může vytvořit superstresor nejen pro medvědy, ale také pro všechny ostatní arktické živočichy. Dále bylo zjištěno, že některé kovy působí společně a mohou mít také charakter superstresoru (Dietze et al., 2013). Zároveň je v jejich případě někdy velmi těžké určit, která látka u volně žijících zvířat ve skutečnosti způsobuje zkoumané problémy (Andersen & Aars, 2016).

Celkově bylo zdokumentováno, že kontaminanty mají u medvědů ledních negativní efekt na hormony štítné žlázy, homeostázu pohlavních steroidů a imunitní systém (Letcher et al. 2010). Společně se změnami mořského ledu a jinými stresory tak může kontaminace působit v ohromném měřítku. V kombinaci se slabým zdravotním stavem účinek stresorů totiž významně ovlivňuje přežití mladých i starších jedinců (Andersen & Aars, 2016). Navíc jsou některé kontaminanty rozpustné v tucích, takže se ve vysokých koncentracích uvolňují do krevního oběhu a přenášejí do vitálních orgánů březích samic, které v noře metabolizuje uložené lipidy. Polutanty následně postupují do mláďat v děloze a v prvních měsících se přесouvají také přes mateřské mléko, což dohromady vede ke sníženému přežívání mladých jedinců a malé šanci k dosažení pohlavní zralosti (Polischuk et al., 2002).

6. Ochrana ledních medvědů

Pro efektivní záchranu ledních medvědů v rychle se měnícím klimatu je potřeba jasné a přesné plánování, a to jak z dlouhodobého, tak také z krátkodobého hlediska. Na realizaci každého z následujících konzervačních plánů bude zapotřebí velké množství financí, politické snahy, veřejné podpory a správně vedené legislativy.

Specifické konzervační cíle se mohou pohybovat od cíleného snižování populace v oblastech, kde přirozené habitaty již nejsou schopny udržet reprodukceschopnou populaci, až po náročnější programy, jako například udržování napůl divoké populace uměle dodávanou potravou (Derocher, 2013). U nejhoršího scénáře je pak primárním cílem sběr a bezpečné uskladnění genetického materiálu a následná snaha o umělé vytvoření nových jedinců či oplodnění zbývajících samic. Tuto poslední možnost záchranu vědci zkoušejí například u vymírajících nosorožců bílých (*Ceratotherium simum*) v Africe (Khayale et al., 2020).

6.1. Regulace lovu

V šedesátých letech byli lední medvědi loveni napříč svým areálem na Aljašce, v Rusku, Špicberkách, Kanadě a Grónsku. V reakci na tuto situaci byla roku 1973 v Norském Oslu schválena Mezinárodní smlouva o ochraně habitatu medvěda ledního, která o tři roky později vešla v plnou platnost. Zakázala mimo jiné lov, zabíjení a odchyt medvědů. Nicméně nezakazovala tuto činnost národům či vybraným národnostním menšinám (např.: Norům na Špicberských ostrovech a Inuitům v Grónsku), u nichž lov figuruje jako dlouhodobá mezigenerační tradice (Fitzgerald, 2013).

Od roku 1976 byla regulace lovu velmi přísná a efektivně organizovaná, založená na podmínce, aby byly lokální habitaty stabilní a aby tím pádem i přes případný lov umožňovaly dlouhodobou udržitelnost místní populace (Derocher et al., 2013). K tomu výzkumníkům sloužil konkrétní model založený na stabilních demografických datech (Taylor et al., 2008). Medvědi lední jsou však i v současnosti v některých areálech stále legálně excesivně loveni, kromě Norska a částí Ruska, kde je zákaz lovu úplný. Excesivní lov je navíc opět na vzestupu a je výrazným problémem, protože rapidně redukuje počty místních jedinců (Obbard et al., 2009). Proto došlo ke zřízení kvót pro většinu oblastí v blízkosti lidských sídel a někde dokonce i k úplnému zastavení odlovu formou přísných kontrol, aby se zvýšila pravděpodobnost přetrvání populace. Má-li odlov, v rámci například kulturních tradic některých národů nebo národnostních menšin,

pokračovat, budou potřeba dynamičtější přístupy s ohledem na aktuální podmínky prostředí, populační a dlouhodobé cíle ochrany (Derocher et al., 2013).

6.2. Umělé dodávání potravy

Přikrmování je jedním z krátkodobých cílů, který pomůže populacím ledních medvědů přečkat nepříznivá, především letní, období, tedy část roku, kdy nedokáží získat potřebné množství živin. S dostatkem zdrojů by mohli být udrženi naživu i jedinci žijící v již naprosto nevhodném prostředí (Derocher et al., 2013). To ale mezi vědci a ochranáři vyvolává obavy. Například pokud prognózy vývoje klimatu naznačí, že se v dané oblasti místní populace medvědů ledních v budoucnu neudrží, může přikrmování pouze zpomalit jejich vyhynutí (Bottrill et al., 2012). Umělé dodávání živin by také bylo ekonomicky i logisticky velmi náročné (Derocher et al., 2013). Navíc zde máme i ryze ochranářské problémy u medvědí potravy. Třeba tuleni, kteří jsou závislí na mořském ledu a tvoří většinu potravy ledních medvědů, jsou také negativně ovlivněni globálním oteplováním a záchranné týmy by tedy lovili ohrožené druhy ve prospěch jiného vymírajícího druhu (Laidre et al., 2008). Objevují se zde také etické otázky kolem zabíjení jednoho mořského živočicha pro ochranu druhého. Proto jsou nejpravděpodobnějším doplňkovým zdrojem potravy komerčně připravované produkty (Derocher et al., 2013). Ani ty však nejsou zcela vhodné. Tím nejvýraznějším úskalím je důležitost již zmiňované potravy bohaté na tuky. Lidská strava je bohatá na proteiny a v posledních několika letech se právě vysoké množství bílkovin v potravě považuje za hlavního původce rakoviny a jiných onemocnění vyskytujících se u jedinců chovaných v zajetí (Robbins et al., 2021).

Dalším problémem je množství potravy, které lední medvědi denně spotřebují. V zoologických zahradách jsou chovaní jedinci denně krmeni 1 kg masa na každých 50 kg váhy (Regehr et al., 2007). Průměrná váha zajatého jedince je na jaře, kdy už má dostatečné tukové zásoby na léto, přibližně 200 až 250 kg. To znamená 4 kg masa na jednoho jedince každý den (Derocher et al., 2013). Pokud bychom takto měli krmit jedinou subpopulaci, tedy 900 jedinců (Regehr et al., 2007), bylo by potřeba dodat jim 3600 kg masa za jeden den. Při cenách z roku 2013 s průměrným kurzem 19,5 koruny za dolar, by tedy bylo nutných asi 115 000 Kč denně. Transport jídla na místo určení může cenu až zdvojnásobit a dalších 390 000 Kč denně může stát technika a zaměstnanci, přičemž nepočítáme počáteční velké investice. Celkově bychom tak k zajištění potravy pro jednu subpopulaci na několika měsíců bez ledové pokrývky potřebovali zhruba 624 000 Kč na den. Pravděpodobně by však skutečná cena byla mnohonásobně

vyšší (Derocher, 2013). V letech 2013–2022 činí celková průměrná inflace v České republice 28 % (Český statistický úřad, 2022) a jeden dolar je k 15. 04. 2022 roven 22,6 Kč. V současnosti by se tedy minimální náklady pohybovaly spíše v hodnotách okolo 800 000 Kč až 1 000 000 Kč denně pro jednu subpopulaci medvěda ledního.

6.3. Rehabilitace

Zástupci jiných druhů medvědů už byli úspěšně rehabilitováni a navraceni do volné přírody (Huber, 2010), například medvědi hnědí a černí (Smeeton & Waters, 2005). Vzhledem k tomu, že tyto typy akcí jsou závislé na dostupnosti vhodných stanovišť, jejichž úbytek je hlavním důvodem, proč budou lední medvědi potřebovat rehabilitaci, navracení jedinců do volné přírody nemusí být vždy možné (Derocher et al., 2013). Přemístění zvířat do dočasného zajetí rovněž vyvolává obavy z přenosu nemocí, parazitů a možného návyku na samotného člověka (Hueffer et al., 2011). Jedná se tak pouze o krátkodobé řešení, a protože většina rehabilitačních zařízení leží velmi daleko od výskytu medvědů ledních, vyžaduje tento způsob ochrany vybudování rehabilitačních center *in situ*. Následný výběr jedinců pro rehabilitaci by měl být založen na cílech pro jednotlivé populace a potenciální ochranářské hodnotě této akce. Celkově je tato možnost považována za málo užitečnou, avšak může být stěžejní v prvních kritických letech bez mořského ledu (Derocher et al., 2013).

6.4. Translokace

Přemísťování divokých zvířat s úmyslem záchrany je používáno napříč světem poměrně běžně, nicméně největší úspěšnosti dosahuje až po odstranění příčiny ohrožení a deklinace dané populace (Fisher a Lindenmayer, 2000). Proto bude úspěšnost translokace medvědů ledních na považovanou. V horizontu pár let se přemístěnému jedinci pravděpodobně bude dařit, bude-li mu pečlivě vybrán nový areál, který může obývat. Při výběru ale musí být zhodnoceno mnoho důležitých aspektů, včetně genetické perspektivy (Derocher et al., 2013). Jedinci z původní populace mohou mít totiž jiné zvyky, chování a sezónní cykly než jedinci z populace, do které je medvěd translokován. Tyto rozdílné vlastnosti by mohly snížit naději na přežití obou populací (Fisher and Lindenmayer, 2000). Je pravděpodobné, že přemístění jedinci by se z důvodu své geografické věrnosti také pokoušeli vracet zpět do svého původního areálu, a to by se jim s neustále se měnícím habitatem pravděpodobně nepodařilo (Derocher et al., 2013; Harington,

1968). Budeme-li se však bavit v dlouhodobém horizontu, tak úspěšnost těchto translokací bude prakticky nulová, protože mořský led v polárních oblastech téměř přestane během 21. století zřejmě existovat (Wolf et al., 1996). Stejně jako v předchozích třech případech, se i translokace považuje pouze za krátkodobé řešení, které bude ve výsledku zbytečné, nenajdeme-li řešení dlouhodobé.

6.5. Zoologické zahrady

Jedna z dlouhodobých možností poslední záchrany, kromě sběru genetického materiálu, je umístění a ochrana vybraných jedinců ve vysoce kvalitních zoologických zahradách (Derocher et al., 2013). Dočasné přemístění samců do zoologických zahrad za účelem reprodukce bývá poměrně běžné, alespoň v zemích, kde to povoluje legislativa (Huber, 2010). Například Kanada ale s přemísťováním nesouhlasí a konkrétně Norsko už do svých zoologických zahrad nepřevzelo jediného ledního medvěda po několik desetiletí. Naopak Rusko schválilo odebrání mláďat přímo od matek a jejich umístění do zoo (Obbard et al., 2009). Pro některé organizace a skupiny je však přijatelnější eutanázie než držení jedince v zajetí (Derocher et al., 2013). Existují ale živočichové, jako třeba panda velká (*Ailuropoda melanoleuca*), kteří z podobných programů i benefitují. V Číně se tak podařilo tento druh zachránit, a dokonce i dlouhodobě zvýšit počet jedinců ve volné přírodě (Shen et al., 2009). Ani tyto případy se ale neobejdou bez značného množství dlouhodobých rizik. Když je zachraňována velmi malá vymírající populace, s každým dalším úmrtím zbývajících zástupců se vždy exponenciálně zvyšuje dlouhodobé zdravotní riziko mláďat, neboť dochází ke ztrátám genetické diverzity (Derocher et al., 2013).

6.6. Cílená redukce populací

Řízené snižování velikosti populace lovem může být nezbytné k zajištění bezpečnosti lidí a k udržení životaschopné, ale menší populace ledních medvědů (Peacock et al., 2011). Taková alternativa odlovu bude pro společné řízení potřebovat pozměnění právních předpisů a nařízení, konzultace s místní komunitou a diskuzi s kontrolními komisemi. Stabilizace populace by vyžadovala intenzivní monitorování, aby bylo možné stanovit a upravit nové úrovně odlovu dle potřeby. Eutanázie je považována za asi nejhumánnější řešení pro jedince ve velmi špatném zdravotním stavu, u nichž je nepravděpodobné, že by se jim podařilo přežít, a v současnosti této možnosti někteří ochranáři využívají. V případě rozsáhlejšího použití tohoto způsobu redukce

populace za účelem zachránit celý druh bude ale důležité vypracovat jasné pokyny pro identifikaci hladovějících zvířat, aby nedocházelo k odlovu zdravých a silných jedinců (Derocher et al., 2013).

6.7. Zastavení globálního oteplování

Asi nejvhodnější metodou, jak zachránit medvědy lední a ostatní živočichy včetně nás samotných je zpomalit nebo úplně zastavit změny klimatu. Ještě na začátku 21. století mnoho vědců předpokládalo, že oteplení o více než 4 °C je naše blízká budoucnost (Peters et al., 2013). Pokud se však současné klimatické dohody začnou dodržovat, do roku 2100 se průměrné globální teploty zvýší o 3 °C (Masson-Delmotte et al., 2021), což možná nezní jako dobrá zpráva, opak by však mohl být pravdou.

Od roku 2015 bylo celosvětově uzavřeno 75 % uhelných elektráren a 44 států světa se zavázalo, že už další nikdy nepostaví. To by ještě před deseti lety vypadalo jako nesplnitelný úkol (Littlecott et al., 2021). Uhlí už není schopno konkurovat některým obnovitelným zdrojům, protože u technologií, které se považovaly za extrémně drahé, došlo v poslední dekádě k rapidnímu vývoji. Například větrná energie je třikrát levnější než v roce 2009. Solární energie dokonce desetkrát. Používání těchto zdrojů energie se zvýšilo dvacet pětkrát v případě solární energie a pětkrát v případě větrné energie (British Petroleum, 2021). Nevýhodou však stále zůstává úložiště energie pro chvíle, kdy bude její výroba kvůli špatného počasí nedostatečná. Avšak i ceny a kapacita baterií zažívají prudké zlepšení. Ceny baterií za posledních 30 let klesly o 97 %, z toho o 60 % v posledních deseti letech (Ziegler & Trancik, 2021).

V rámci celé světové ekonomiky lidé pracují na snížení škodlivých emisí. Vyměňují se staré neefektivní žárovky za LED, které jsou desetkrát efektivnější (De Almeida et al., 2014). Solární panely se používají už i na soukromých střechách a v roce 2020 bylo v Norsku každé sedmé auto elektrické nebo hybridní (EEA, 2021). Dopad zlevňování nových udržitelných technologií a jejich zvýšeného používání a efektivity můžeme vidět už dnes. Množství lidmi emitovaného CO₂ postupně klesá. Od roku 2000 se emise v EU snížily o 21 % (v Itálii 28 %, Velké Británii 35 % a Dánsku dokonce o 43 %; OWID, 2021). Nejlepší zprávou však může být skutečnost, že emise už nejsou přímo spojeny s ekonomickým růstem, jako tomu bylo dříve (Haberl et al., 2020). Například v České republice v období 2009 až 2019 klesly emise CO₂ o 13 % a HDP vzrostl o 27 %. Podobné hodnoty můžeme sledovat i v jiných státech světa, a to i přes import emisních povolenek do rozvojových zemí (OWID, 2021).

Navíc v roce 2020 některé vyspělé země světa, jako třeba Dánsko a Belgie, nastavily svůj emisní cíl v tomto století dokonce na 0 % (OWID, 2021). Novinkou ve světě snižování emisí CO₂ je pak tzv. dekarbonizace. Jedná se o novou technologii odstraňující oxid uhličitý z atmosféry, který je pak uskladněn v zásobnících pro pozdější využití (Fawzy et al., 2021). Nově testovanou možností je také záměrné vypouštění aerosolů v oblasti rovníku, odkud by se vzdušnými proudy rozšířily do celého světa. To by mohlo odrazem slunečního záření zpomalit či dokonce zastavit globální oteplování, ale zároveň spustit nečekané množství nepředvídatelných vedlejších efektů (Niemeier et al., 2013).

Zpomalení globálního oteplování už není tak nespílitelným cílem, jako na začátku 21. století. Technologie a vztah lidstva ke globálnímu oteplování se rapidním způsobem posunují vpřed a je docela dobře možné, že se nám namísto předpovídanému oteplení o 3 °C do roku 2100 podaří změny teplot zpomalit dostatečně na to, abychom získali potřebný čas na jejich zastavení nebo dokonce vrácení zpět na předindustriální hodnoty (Littlecot et al., 2021).

7. Budoucnost ledních medvědů a arktického prostředí

Medvěd lední evolučně pochází z jiných druhů medvědů vyskytujících se v jižnějších částech zeměkoule (Cahill et al., 2018). Geneticky je tím pádem velmi dobře vybaven na přizpůsobení se změnám klimatu a globálnímu růstu teploty. Avšak i přizpůsobivost tohoto druhu má určitá omezení a z dlouhodobého hlediska ho pravděpodobně nezachrání (Hunter et al., 2010). Na rozdíl od mnoha suchozemských a většiny mořských druhů, které se během oteplování dokážou přesunout více na sever, jsou medvědi lední omezeni samotnou existencí svého biotopu a možnosti jejich posunu jsou omezené (Blix, 2016). Přihlédneme-li k velmi dlouhé generační době a k současnému tempu oteplování klimatu, je nepravděpodobné, že by byli schopni dostatečně rychle evolučně reagovat (Struzik, 2003; Blix, 2016).

7.1. Adaptace

Někteří odborníci se domnívají, že by medvěd lední mohl v rámci adaptace zcela přejít na suchozemskou potravu v důsledku jejího častějšího využívání (Stirling & Derocher, 2012). Zprávy o zvýšeném získávání suchozemské potravy jsou skutečně v posledních letech hlášeny napříč celou Arktickou oblastí, nejčastěji pak byla tato skutečnost pozorována v Hudsonově a Foxově zálivu (Rode et al., 2015). V těchto sezónních ledových habitatech dochází v teplých částech roku k čím dál intenzivnější konzumaci suchozemské a sladkovodní potravy, včetně různých lesních plodů, vegetace, savců, ptáků a ryb (Gormenzano & Rockwell, 2013). Konzumace těchto zdrojů byla v omezené míře hlášena také z ekoregionů trvalého mořského ledu (Ovsyanikov & Menyushina, 2010). Zde jsou loveni hlavně ptáci, například sněžné husy (*Chen caerulescens*). Na Špicberkách je získávání náhradní stravy podrobně zdokumentováno a existuje seznam 66 zjištěných zdrojů potravy ze suchozemských oblastí (Rode et al., 2015). Bohužel zde stále narážíme na problémy se specifickou potřebou lipidů a proteinu, jak bylo již popsáno v dřívějších kapitolách, a analýza stabilních izotopů medvědí tkáně i dechu u jedinců žijících v západní části Hudsonova zálivu ukazuje, že zdejší medvědi v období bez ledu stejně konzumují jen málo jiné než mořské potraviny (Stirling & Derocher, 2012).

Na druhou stranu, analýza historických a současných dat odhalily určité adaptace, kterými se medvěd lední změnám prostředí přizpůsobuje. I přesto, že velikost vzorku jedinců z 21. století je oproti předchozím stoletím zatím malá, při zkoumání stavby a složení jejich těl došli výzkumníci k poměrně překvapivým výsledkům. Prehistoričtí předkové byli oproti

současnému druhu velcí a v průběhu historie docházelo k postupnému zmenšování jejich těl. Avšak při porovnání dat o velikosti těla z 20. až 21. století si lze všimnout opět větší výšky a mohutnější stavby současných jedinců. Moderní lední medvědi jsou tedy vyšší a mají širší kosti než jedinci z minulého století. Zda jde o adaptaci na změny v jídelníčku, nebo prostředí, je dnes však těžké odhadnout (Petherick et al., 2021). Pravdou ale je, že dlouhodobé rozborů potravy také ukázaly určité rozdíly, když došlo k přechodu z čistě jednotné potravy na stravu různorodou. Z analýz vyplynulo, že na rozdíl od ledních medvědů v předchozím století, se dnešní medvědi živí nejen „měkkou potravou“ (pouze tulením masem a tukem), ale také potravou, která se nazývá „tvrdá“. Jedná se především o již zmíněné kosti uhynulých velryb, suchozemskou stravu a lov suchozemských živočichů (Gormenzano & Rockwell, 2013). To má za následek zvětšení a prodloužení čelistí, aby byly jedinci schopni tuto těžkou stravu dostatečně zpracovat (Petherick et al., 2021). V některých oblastech navíc dochází ke konzumaci enormního množství vajec koloniálních ptáků (Smith et al., 2010; Stirling & Derocher, 2012; Iverson et al. 2014).

I přestože probíhá, je tato adaptace velmi pomalá a na souši se medvědi lední nemohou rovnat svým příbuzným, kteří jsou dokonale vyvinutí pro aktivní lov a sběr na souši (Blix, 2016). Nejen, že tito medvědi mají metabolismus vyvinutý především pro zpracování proteinů, ale také mají větší a silnější čelisti schopné vyvinout více síly a v kompetici během lovu suchozemské kořisti je například medvěd grizzly jasným vítězem (Slater et al., 2010). Navíc ve většině subpopulací ledních medvědů stále není zcela jasné, zda opravdu dochází k nárůstu získávání suchozemských zdrojů potravy a zatím nikde nebylo zdokumentováno, že by se tato potrava stávala skutečně významnou součástí jídelníčku medvěda ledního (Dyck & Kebreab, 2009).

Hlavním problémem navíc stále zůstává již zmiňovaný fakt, že suchozemskou stravu nedokáže trávicí systém ledních medvědů efektivně zpracovat (Robbins et al., 2021) a získaná energie je ve finále zanedbatelná (Rode et al., 2015). Kompletní změna takto evolučně nastaveného metabolismu by potřebovala velmi dlouhou dobu a tento druh, stejně jako mnoho dalších arktických zvířat, na to bohužel nemá dostatek času (Derocher et al., 2004). Ve výsledku je tak požívání suchozemské stravy pravděpodobně pouze lokální záležitost, která se sice může v budoucnu významně rozšířit, ale zřejmě nebude mít na přežití tohoto druhu významný vliv (Iverson et al., 2014).

7.2. Hybridizace

Spolu s úpravou jídelníčku lze očekávat, že zapojení ledních medvědů do suchozemské krajiny bude mít dalekosáhlé ekologické a evoluční důsledky také v mezidruhových vztazích. Už v současnosti musejí konkurovat medvědům grizzly na Aljašce. Nejčastěji se oba druhy setkávají v místech, kde se vyskytují mršiny velryb (Miller et al., 2015). Nejen, že tato setkání končí často tragickými boji, ale oba druhy už také příležitostně vytvářejí životaschopné a plodné hybridy z oportunistických páření (Iverson et al., 2014; Preuss et al., 2009). Tato zvířata zatím nedostala svůj vlastní vědecký název. Mají střední fenotyp a jsou robustnější než lední medvědi, ale menší než grizzly (Preuss et al., 2009). I když se teprve ukáže, zda budou tito kříženci úspěšní (zejména proto, že je jich velmi málo a často jsou studováni v zajetí), hybridizace je důležitou součástí evoluční historie medvěda ledního, protože v průběhu jeho historie pravděpodobně docházelo ke genetické příměsi při každé kritické fázi glaciální oscilace (Dyck & Kebreab, 2009). Vzhledem k tomu, že se areály obou druhů ve vyšších zeměpisných šířkách v reakci na měnící se klima stále více sblížují, může se zvýšit výskyt a úspěšnost hybridní linie, zejména pokud bude v porovnání s ledními medvědy vhodnější jak pro arktický lov, tak pro terestrické shánění potravy (Preuss et al., 2009). Může se také stát, že v nejkritičtějších bodech arktického oteplování dojde k postupnému nahrazení ledních medvědů právě těmito hybridy. V tomto případě se však jedná pouze o spekulace (Petherick et al., 2021).

7.3. Vliv vymírání medvěda ledního na další živočichy

Změny přirozeného habitatu ledních medvědů mají vliv i na jiné živočichy, nejen medvědy grizzly. Jak už bylo několikrát zmíněno v kapitolách výše, nedostatek tuleňů si medvědi nahrazují jinými živočichy a často to bývá polární ptactvo (Smith et al., 2010; Iverson et al. 2014).

Dopady predace na hnízdním ptactvu byly zdokumentovány studií na koloniích na norském ostrově Nordenskiöldkysten. Hnízdí zde například berneška bělolící (*Branta leucopsis*), která byla jedním z hlavních předmětů pozorování. Počty zdejších jedinců dosahují 340 až 520 ex. a každoročně se mění v závislosti na počasí a decimaci způsobenou ledními medvědy. Během období 2004 až 2012 varioval počet úspěšných hnízd od 0 do 85, přičemž poměr vyhubených hnízd se pohyboval od 0 do 91 %. K nejvyšší predaci docházelo v letech, kdy se první medvědi objevili už v červnu, tedy mnohem dříve, než se vylíhla ptačí vejce. Podobná situace panovala i v hnízdištích kajky mořské (*Somateria mollissima*). U ní dosáhla predace na vejcích

až 82 % (Prop et al., 2015). A stejný problém byl objeven i v koloniích racka šedého (*Larus hyperboreus*), přestože se jeho mláďata líhnou o týden dříve než v předchozích dvou případech (Iverson et al., 2014). Predace u tohoto druhu v období 2009–2012 dosáhla paradoxně nejvyšších hodnot, konkrétně 93 % (Prop et al., 2015).

Asi nejrozsáhlejší studii tohoto problému proběhla v arktických oblastech přilehlých ke Kanadě (Iverson et al. 2014). Studovaná plocha byla mnohem větší a zahrnovala hnízdní kolonie na Baffinově ostrově, Coatsově ostrově, ostrově Southampton a z poloviny také na poloostrově Ungava a dalších dvou stech méně významných lokalitách. Výsledky studie byly velmi podobné výše prezentovaným. Predace se také na nejvíce postižených místech pohybovala mezi 80 a 90 %. Když vezmeme v potaz i zničená hnízda, ve kterých k predaci nedošlo, celková úspěšnost hnízd na všech pozorovaných hnízdištích dosáhla pouze na 44 %. Avšak do studie byl zařazen i vliv predace polárními liškami (*Vulpes lagopus*), které v minulosti bývaly hlavním původcem zdecimovaných hnízd (Goudie et al., 2000). Nyní však první místo přebírají medvědi lední (Iverson et al., 2014).

Negativní dopad změn klimatu na lední medvědy však neubližuje jen polárnímu ptactvu. Snížení lovu tuleňů kroužkovaných bude mít z dlouhodobějšího hlediska negativní dopad též (Derocher, 2004). Potravní pyramida funguje totiž pouze v případě, že jsou přítomny všechny její články. Dojde-li k odstranění vrcholového predátora, jeho potrava se může nekontrolovatelně přemnožit. Tato populace poté významně zredukuje svůj vlastní zdroj potravy, což způsobí potravní deficit dalším, níže postaveným živočichům (Fretwell, 1985). Vymření nebo značné zredukování populací medvědů ledních by mohlo spustit kaskádu řetězových reakcí, která v současné historii nemá obdoby. Budeme-li brát klimatické dopady na lední medvědy z této perspektivy, je ohrožen celý arktický ekosystém (Derocher et al, 2013).

7.4. Predikce vývoje mořského ledu

Přesné predikce pro celou Arktidu bez dostatečného množství dat, která zatím nejsou dostupná, nelze vytvořit. Současné koncepce fungují spíše na základě všeobecných klimatických modelů (Castro de la Guardia et al., 2013). Důležité je však podotknout, že za „období bez ledu“ je obecně považován stav, kdy bude ledová pokrývka Severního Pólu menší než 1 milion km², ale ne nutně 0 km² (Overland & Wang, 2013). Předpovědi existuje značné množství, ale ty nejdrastičtější naznačují první léto bez ledu na roky 2027 až 2060. Vzhledem k současnému

postupu oteplování a čím dál rychlejšímu úbytku ledu považují Overland & Wang (2013) za nejrealističtější průměr těchto předpovědí, a tedy rok 2040.

V nejjihnějších částech areálů medvěda ledního už ale přesnější predikce vytvořit lze, protože v těchto přístupnějších lokalitách už několik desetiletí probíhá pravidelný sběr meteorologických a geografických dat (Castro de la Guardia et al., 2013). Jako příklad uvedu opět Hudsonův záliv u Kanady, kde byly. na základě legitimních předpovědních modelů vytvořeny tři nejpravděpodobnější scénáře dalšího vývoje změn ledové pokrývky. Každý z těchto modelů bere v potaz jiné budoucí množství CO_2 v atmosféře a jiné tempo nárůstu místních průměrných teplot. Největší rozdíly panují především v předpovědích pro první polovinu 21. století. Predikce A říká, že od roku 2013 se bude množství jarního ledu stabilně pohybovat v mezích -1,3 % až + 0,3 % za dekádu až do roku 2100. V průměru se tedy bude velikost ledové pokrývky mírně zmenšovat. Predikce B a C už ale udávají o něco realističtější pohled a počítají s tím, že teploty porostou i nadále a úbytek ledu tak bude zrychlovat výrazněji. Od roku 2050 předpovídá předpověď B mezidekádomý pohyb ledu v mezích - 7,2 % až +1,9 % a predikce C dokonce -13,5 % až +1,9 %. Zatímco model A předpokládá, že záliv bude kompletně bez ledu až v následujícím století, zbývající dvě predikce stanovují první léto bez mořského ledu na rok 2050. Přestože jsou tyto predikce stanovené pouze pro Hudsonův záliv, koncept výpočtů můžeme přenést i na ostatní jižně položené areály, které medvěd lední obývá (Castro de la Guardia et al., 2013).

Existují ale i mnohem horší předpovědi. Například Overland & Wang (2013) jsou přesvědčeni, že ztráta ledu proběhne rychleji a v rámci celé Arktidy. Avšak ať už se jedná o předpověď pro celou Arktidu, anebo jen pro její jižní části, provedené výpočty ukazují na jediné. Téměř kompletní ztráta arktického ledu nás čeká ještě v tomto století či v první polovině toho dalšího (Castro de la Guardia et al., 2013; Overland & Wang, 2013).

8. Závěr

Medvěd lední je celosvětově silně ohroženým druhem. Navzdory všeobecnému názoru, že se jeho populace v posledních letech po zavedení přísnějších pravidel lovu mírně zvyšuje (Hunter et al., 2010), byly vyjádřeny nové obavy, že klimatické změny ohrozí přežití většiny jeho subpopulací už ve 21. století. Globální oteplování totiž zrychluje a Severní Pól změny klimatu pociťuje asi nejvíce (Walsh, 2008; Comiso, 2002). V porovnání s ostatními částmi Země se zde meziroční nárůsty teplot rapidně zvyšují a ledové klima tak prochází drastickými změnami, které ovlivňují celý arktický ekosystém (Hunter et al., 2010). Pro ledního medvěda jsou s tím spojeny především tyto problémy:

1. Nedostatek potravy a s tím související hladovění
2. Rostoucí teploty
3. Ztráta biotopu (úbytek mořského ledu a vznik otevřených moří)
4. Nestabilní led a hroutící se nory
5. Konfrontace s lidmi
6. Znečištění habitatu a patogeny

Existuje mnoho návrhů krátkodobé pomoci, od umělého dodávání potravy (především prefabrikovaných lipidových kostek či méně vhodných komerčních výrobků), přes zdravotní odchyty a přemísťování do vhodnějšího areálu (Derocher et al., 2013) až po redukci množství jedinců na počet, který jednotlivé lokality zvládnou uživit (Peacock et al., 2011). Všechny tyto možnosti se však z dlouhodobého hlediska jeví jako neúspěšné, pokud nebude zajištěno zachování přirozených stanovišť tohoto druhu.

Jako nejlogičtější možnost záchrany se tak jeví zpomalení samotného oteplování. K němu by mělo dojít především snížením koncentrací CO₂ v atmosféře naší planety, nebo alespoň snížením jeho nárůstu (Peters et al., 2013). V posledních letech se ale objevují názory, že pokud budeme pokračovat v rapidním technologickém pokroku, mohli bychom globální oteplení do konce 21. století udržet dokonce pod hranicí + 3 °C oproti předindustriální době (Littlecot et al., 2021). Z pohledu mnoha odborníků je ale nereálné udržet postup celosvětového oteplování pouze o tuto hodnotu, a to hlavně proto, že při snižování přírůstků koncentrací skleníkových plynů v atmosféře zatím lidstvo, i přes technologický posun, nepostupuje dostatečně rychle (Peters et al., 2013).

V současnosti se navíc změna klimatu projevuje stále víc a rychleji, takže bychom situaci, se kterou se v současné době potýkají medvědi lední, měli brát jako dostatečné varování. Arktický ekosystém se hroutí a nezačneme-li jednat ihned, je možné, že do konce našeho století už změny nebude možné zvrátit a většina arktických druhů, včetně medvěda ledního, vyhyne.

9. Seznam použitých zdrojů

- ADDISON, E. M. White as a ghost, Winter Ticks and Moose. *Journal of Wildlife Diseases*. 2007, **43**(1), 150–151.
- ALMEIDA, A. T., B. SANTOS, P. BERTOLDI & M. QUICHERON. Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014, **34**, 30–48.
- AMSTRUP, S. C. & C. GARDNER. Polar bear maternity denning in the Beaufort Sea. *Journal of Wildlife Management*. 1994, **58**, 1–10.
- ANDERSEN, M. & J. AARS. Barents Sea polar bears (*Ursus maritimus*): population biology and anthropogenic threats. *Polar Research*. 2016, **35**, 1–20.
- ANDREW, R. M. Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*. 2018, **10**, 195–217.
- ARMSTRONG, S. J., K. C. GREEN, & W. SOON, Polar Bear Population Forecasts: A Public-Policy Forecasting Audit. *INFORMS Journal on Applied Analytics*. 2008, **38**(5), 382–405.
- ATWOOD, T. C., E. PEACOCK, M. A. MCKINNEY, K. LILLIE, R. WILSON, C. D. DOUGLAS, S. MILLER, & P. TERLETZKY. Rapid Environmental Change Drives Increased Land Use by an Arctic Marine Predator. *Plos One*. 2016, **6**(11), e0155932.
- BEST, R. C. Thermoregulation in resting and active polar bears. *Journal of comparative physiology*. 1982, **146**, 63–73.
- BLIX, A. S. Adaptations to polar life in mammals and birds. *Journal of Experimental Biology*. The Company of Biologists, 2016, **219**, 1093–1105.
- BOTTRILL, M. C. & PRESSEY L. R. The effectiveness and evaluation of conservation planning. *Conservation Letters*. 2012, **5**, 407–420.
- BP - British Petroleum [online]. Statistical Review of World Energy, 2021 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

BUNNELL, F. L. & D. E. TAIT. Population dynamics of bears—implications. In SMITH, T. D. & CH. W. FOWLER. Dynamics of large mammal populations. *The Blackburn Press, New Jersey*, 1981, 75–98.

CAHILL, J. A., D. P. HEINTZMAN, K. HARRIS, D. M. TEASDALE, J. KAPP, E. R. A. SOARES, I. STIRLING, D. BRADLEY, J. C. EDWARDS, K. GRAIM, A. A. KISLEIKA, V. A. MALEV, N. MONAGHAN, E. R. GREEN & B. SHAPIRO. Genomic Evidence of Widespread Admixture from Polar Bears into Brown Bears during the Last Ice Age. *Molecular Biology and Evolution*. 2018, **35**(5), 1120–1129.

CASTRO DE LA GUARDIA, L., E. A. DEROCHER, G. P. MYERS, D. A. TERWISSCHA VAN SCHELTIGA, & J. N. LUNN. Future sea ice conditions in Western Hudson Bay and consequences for polar bears in the 21st century. *Global Change Biology*. 2013, (19), 2675–2687.

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

COMISO, J. C. A rapidly declining perennial sea ice cover in the Arctic. *Geophysical Research Letter*. 2002, **29** (20), 17-1-17-4.

CRAIGHEAD, J. J. & F. C. CRAIGHEAD. Grizzly Bear - Man Relationships in Yellowstone National Park. *BioScience*. 1971, **16**(21), 845–857.

ČSÚ: Český statistický úřad [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-06-14]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/domov>

DEROCHER, A. E. & I. STIRLING. Distribution of polar bears (*Ursus maritimus*) during the ice-free period in western Hudson Bay. *Canadian Journal of Zoology*. 1990, **68**, 1395–1403.

DEROCHER, A. E. & I. STIRLING. Effects of climate warming on polar bears: a review of the evidence. *Global Change Biology*. 2012, **18**, 2694–2706.

DEROCHER, A. E. The prospects for polar bears. *Nature*. **468**, 905–906.

DEROCHER, A. E., J. AARS, S. C. AMSTRUP, A. CUTTING, N. J. LUNN, P. K. MOLNÁR., M. E. OBBARD, I. STIRLING, G. W. THIEMANN, D. VONGRAVEN, Ø. WIIG

& G. YORK. Rapid ecosystem change and polar bear conservation. *Conservation Letters*., 2013, **6**(5), 368–375.

DEROCHER, A., N. J. LUNN & I. STIRLING. Polar Bears in a Warming Climate. *Integrative and Comparative Biology*. 2004, **44**, 163–176.

DIETZ, R., CH. SONNE, N. BASU, B. BRAUNE, T. O'HARA, R. J. LETCHER, T. SCHEUHAMMER, M. ANDERSEN, C. ANDREASEN, D. ANDRIASHEK, G. ASMUND, A. AUBAIL, H. BAAGØE, E. W. BORN, L. H. M. CHAN, A. DEROCHER, P. GRANDJEAN, K. K. KNOTT, M. KIRKEGAARD, A. KREY, N. LUNN, F. MESSIER, M. E. OBBARD, M. T. OLSEN, S. OSTERTAG, E. PEACOCK, A. RENZONI, F. F. RITÉG, J. U. SKAARE, G. STERN, I. STIRLING, M. TAYLOR, Ø. WIIG, S. J. WILSON & J. AARS. What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota? *Science of the Total Environment*, 2013, (443), 775–790.

DURNER, G. M., J. P. WHITEMAN, H. J. HARLOW, S. C. AMSTRUP, E. V. REGEHR & M. BEN-DAVID. Consequences of long-distance swimming and travel over deep-water pack ice for a female polar bear during a year of extreme sea ice retreat. *Polar Biology*. 2011, **34**, 975–984.

DYCK, M. G. & E. KEBREAB. Estimating the Energetic Contribution of Polar Bear (*Ursus maritimus*) Summer Diets to the Total Energy Budget. *Journal of Mammalogy*. 2009, **90**(3), 585–593.

Electric cars registered in the EU-27, Iceland, Norway and the United Kingdom. EEA. *European Environmental Agency* [online]. 2021 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-in-eu-1#tab-chart_1

ERLENBACH, J. A., K. D. RODE, D. RAUNBENHEIMER & C. T. ROBBINS. Macro-nutrient optimization and energy maximization determine diets of brown bears. *Journal of Mammalogy*. 2014, (95), 160–168.

FANG, J. Y. Global warming, human-induced carbon emissions, and their uncertainties. *Science China*. 2011, **54**(10), 1458–1468.

- FAWZY, S., A. I. OSMAN, H. YANG, J. DORAN & D. W. ROONEY. Industrial biochar systems for atmospheric carbon removal: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021, **19**, 3023–3055.
- FISHER, J. & D.B. LINDENMAYER. An assessment of the published results of animal relocations. *Biological Conservation*. 2000, **96**, 1–11.
- FITZGERALD T. K. Polar Bears: The Fate of an Icon. *Topics in Companion Animal Medicine*. 2013, **28**(4), 135–142.
- FOUKAL, P. C., C. FROHLICH, H. SPRUIT & T. M. L. WIGLEY. Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate. *Nature*. 2006, **443**, 161–164.
- FRISCH, J., N. A. ØRISTLAND & J. KROG. Insulation of Furs in Water. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 1974, **47**, 403–410.
- GAUSS, M., G. MYHRE, I. S. A. ISAKSEN, V. GREWE, G. PITARI, O. WILD, W. J. COLLINS, F. J. DENTENER, K. ELLINGSEN, K. L. GOHAR, D. A. HAUGLUSTAIN, D. LACHETTI, F. LAMARQUE, E. MANCINI, L. J. MICKLEY, M. J. PRATHER, J. A. PYLE, M. G. SANDERSON, K. P. SHINE, D. S. STEVENSON, K. SUDO, S. SZOPA & G. ZENG. Radiative forcing since preindustrial times due to ozonechanges in the troposphere and lower stratosphere. *Atmos ChemPhys*. 2006, **6**, 575–599.
- GEDNEY, N., P. M. COX & C. HUNTINGFORD. Climate feedback from wetland methane emissions. *Geophysical Research Letters*. 2004, **31**(20), L20101.
- GEIST, V. On Pleistocene Bighorn Sheep. Some problems of adaptation and relevance to todays American megafauna. *Wildlife Society Bulletin*. 1985, **13**, 351–359.
- GORMENZANO, L. J. & R. F. ROCKWELL. What to eat now? Shifts in polar bear diet during the ice-free season in western Hudson Bay. *Ecological Evolution*. 2013, **3**(10), 3509–3523.
- GOUDIE, R. I., G. J. ROBERTSON & A. REED. Common eider (*Somateria mollissima*) in The birds of North America. *Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY*. 2000, 1–31.
- HABERL, H., D. WIENDENHOFER, D. VIRÁG, G. KALT, B. PLANK, P. BROCKWAY, T. FISHMAN, D. HAUSKNOST, F. KRAUSMANN, B. LEON-GRUCHALSKI, A. MAYER, M. PICHLER, A. SCHAFFARTZIK, T. SOUSA, J. STREECK & F.

- CREUTZIG. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*. 2020, **15**(6), 1–42.
- HARINGTON, C. R. Denning habits of the polar bear (*Ursus maritimus* Phipps). *Canadian Wildlife Service Report Series*. 1968, **5**, 1–30.
- HARKONEN, T., R. DIETZ, P. REIJNDERS, J. TIELMANN, K. HARDING, A. HALL, S. BRASSEUR, U. SIEBERT, S. J. GOODMAN, P. D. JEPSON, T. D. RASMUSSEN & P. THOMPSON. The 1988 and 2002 phocine distemper virus epidemics in European harbour seals. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2006, **68**, 115–130.
- HOUGHTON, J. Global Warming. *Reports on Progress in Physics*. Institute of Physics Publishing, 2005, **68**, 1343.
- HUBER, D. Rehabilitation and reintroduction of captive-reared bears: feasibility and methodology for European brown bears *Ursus arctos*. *International Zoo Yearbook*. 2010, **44**, 1–8.
- HUEFFER, K., T. M. O'HARA & E. H. FOLLMANN. Adaptation of mammalian host-pathogen interactions in a changing arctic environment. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2011, **53**, 17.
- HUNTER, CH. M., H. CASWELL, M. C. RUNGE, E. V. REGEHR, S. C. AMSTRUP & I. STIRLING. Climate change threatens polar bear populations: a stochastic demographic analysis. *Ecology*. Ecological Society of America, 2010, **91**(10), 2883–2897.
- IVERSON, S. A., H. G. GILCHRIST, P. A. SMITH, A. J. GASTON & M. R. FORBES. Longer ice-free seasons increase the risk of nest depredation by polar bears for colonial breeding birds in the Canadian Arctic. *Proceedings of Royal Society B*. 2014, **281**, 20133128.
- JENSSEN, B. M. Endocrine-disrupting chemicals and climate change: a worst-case combination for Arctic marine mammals and birds? *Environmental Health Perspectives*. 2006, **114**, 76–80.
- JIANG, G. & FAST J. D. Modeling the effect of VOC and NO_x emission sources on ozone formation in Houston during the TexAQS 2000 field campaign. *Atmospheric Environment*. 2004, **38**(30), 5071–5085.

- KARAKURT, I., G. AYDIN & K. AYDINER. Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review. *Renewable Energy*. 2012, **39**(1), 40–48.
- KHAYALE, C., P. OMONDI, L. KARIUKI, P. MURUTHI, N. GICHOHI, J. STEJSKAL, M. MULAMA, B. OKITA-OUA, J. GAYMER, G. CHEGE & R. AMIN. Kenya's first White Rhino Conservation and Management Action Plan. *Pachyderm*. 2020, 62, 112–118.
- KURTÉN, B. The evolution of the polar bear, *Ursus maritimus* Philipps. 1964, *Acta zoologica Fennica* **108**, 1–30.
- KUTZ, S. J., HOBERG, E. P., POLLEY, L. & E. J. JENKINS. Global warming is changing the dynamics of Arctic host-parasite systems. *Proc Biol Sci*. 2005, **272** (1581), 2571–2576.
- LADOUCEUR, E. E. B., M. M. GARNER, B. DAVIS & F. TSENG. A retrospective study of end-stage renal disease in captive polar bears (*Ursus maritimus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2014, **45**, 69–77.
- LAIDRE, K. L., I. STIRLING, L. F. LOWRY, Ø. WIIG., M. P. HEIDE-JØRGENSEN & S. H. FERGUSON. Quantifying the sensitivity of arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecological Applliaction*. 2008, **18**, 97–125.
- LEHMER, E. M. & D. E. BIGINS. Variation in torpor patterns of freeranging black-tailed and Utah prairie dogs across gradients of elevation. *Journal Mammal*. 2005, **86**, 15–21.
- LITTLECOTT, Ch., L. ROBERTS, O. SENLEN, J. BURTON, M. JOSHI, CH. SHEARER & M. EWEN. No New Coal by 2021: The Collapse of the Global Coal Pipeline. *E3G*. 2021, 6–51.
- MA, F., A. SHA, R. LIN, Y. HUANG & CH. WANG. Greenhouse gas emissions from asphalt pavement construction: a case study in china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016, **13**(3), 351.
- MAICKEL, R. P., N. MATUSSEK, D. N. STERN & B. B. BRODIE. The sympathetic nervous system as a homeostatic mechanism. I. Absolute need for a sympathetic nervous function in body temperature maintenance of cols-exposed rats. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 1967, **157**, 103–110.
- MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL,

E. LONNOY, J. B. R. MATTHEWS, T.K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKCI, R. YU & B. ZHOU (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge*, 2021, 3-13.

MILANKOVIĆ, M. *Mathematical Theory of Heat Phenomena Produced by Solar Radiation. Gauthier-Villars*. 1920.

MILLER, S., J. WILDER & R. R. WILSON. Polar bear-grizzly bear interactions during the autumn open-water period in Alaska. *Journal of Mammalogy*. 2015, **96**(6), 1317–1325.

MITCHELL, J. F. B., T. C. JOHNS, J. M. GREGORY & S. F. B. TETT. Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols. *Nature*. 1995, **376**, 501–504.

MOLNÁR, P., A. DEROCHER, G. W. THIEMANN & M. A. LEWIS. Predicting survival, reproduction and abundance of polar bears under climate change. *Biological Conservation*. 2010, **143**, 1612–1622.

MONNETT, C. & J. S. GLEASON. Observations of mortality associated with extended open-water swimming by polar bears in the Alaskan Beaufort Sea. *Polar Biology*. 2006, **29**, 681–687.

MYHRE, G. Consistency between satellite-derived and modeled estimates of the direct aerosol effect. *Science*. 2009, **325**, 187–190.

NIEMEIER, U., H. SCHMIDT, K. ALTERSKJAER & J. E. KRISTJÁNSON. Solar irradiance reduction via climate engineering: Impact of different techniques on the energy balance and the hydrological cycle. *JGR: Atmospheres*. 2013, **21**(118), 11 905-11 917.

Non-methane volatile organic compounds [online]. EEA, European Environmental Agency, 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/resources/glossary/non-methane-volatile-organic-compounds>

OBBARD M. E., A. DEROCHER, N. LUNN & E. PEACOCK. *Polar Bears: Proceedings of the 15th Working Meeting of the IUCN/SSC Polar Bear Specialist Group*. 2009. ISBN: 978-2-8317-1255-0.

Our World in Data [online]. The University of Oxford, 2021 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org>

- OVERLAND, J. E. & M. WAG. When will the summer Arctic be nearly sea ice free? *Geophysical Research Letters*. 2013, **40**, 2097–2101.
- OVSYANIKOV, N. G. & I. E. MENYUSHINA. Number, condition, and activity of polar bears on Wrangel Island during ice free autumn seasons of 2005–2009. *Proceedings of the Marine Mammals of the Holarctic Meeting*. Kaliningrad, Russia, 2010.
- PAMPERIN, N. J., E. H. FOLLMAN & B. T. PERSON. Sea-ice use by arctic foxes in northern Alaska. *Polar Biology*. 2008, **31**, 1421–1426.
- PEACOCK, E., A. E. DEROCHER, G. W. THIEMANN & I. STIRLING. Conservation and management of Canada's polar bears (*Ursus maritimus*) in a changing Arctic. *Canadian Zoology Journal*. 2011, **89**, 371–385.
- PERRY, R. The World of the Polar Bear. *University of Washington Press, Seattle, USA*. 1966.
- PETERS, G. P., R. M. ANDREW, T. BODEN, J. G. CANADELL, P. CIAIS, C. L. QUÉRÉ, G. MARLAND, M. R. RAUPACH & CH. WILSON. The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nature Climate Change*. 2013, **3**, 4–6.
- PETHERICK, A. S., J. D. REUTHER, S. J. SHIRAR, S. L. ANEDRSON & L. R. G. DE-SANTIS. Dietary ecology of Alaskan polar bears (*Ursus maritimus*) through time and in response to Arctic climate change: Dietary ecology of Alaskan polar bears. *Global change biology*. 2021, **27**(13), 3109–3119.
- PRESTRUD, P. & I. STIRLING. The International Polar Bear Agreement and the current status of polar bear conservation. *Aquatic mammals*. 1993, **3**, 113–124.
- PREUSS, A., U. GANSLOSSER, G. PURSCHKE & U. MAGIERA. Bear-hybrids: behaviour and phenotype. *Zoologische*. 2009, **78**(4), 204–220.
- PROP, J., J. AARS, B. BARSEN, S. A. HANSSEN, C. BECH, S. BOURGEON, J. FOUW, G. W. GABRIELSEN, J. LANG, E. NOREEN, T. OUDMAN, B. SITTler, L. STEMPNIEWICZ, I. TOMBRE, E. WOLTERS & B. MOE. Climate change and the increasing impact of polar bears on bird populations. *Frontiers in Ecology and the Evolution*. 2015, **3**, 33.

- RAMANATHAN, V. & G. CARMICHAEL. Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*. 2008, **1**, 221–227.
- RAMANATHAN, V., P. J. CRUTZEN, J. T. KIEHL & D. ROSENFELD. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*. 2001, **294**, 2119–2124.
- REGEHR, E. V., N. LUNN, S. AMSTRUP & I. STIRLING. Effects of earlier sea ice breakup on survival and population size of polar bears in western Hudson Bay. *Journal of Wildlife Management*. 2007, **71**, 2673–2683.
- RITCHIE, H. & M. ROSER. CO2 emissions. *Our World in Data* [online]. 2020 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2-emissions#per-capita-co2-emissions>
- ROBBINS, C. T., J. K. FORTIN, K. D. RODE, S. D. FARLEY, L. A. SHIPLEY & A. FELICETTI. Optimizing protein intake as a foraging strategy to maximize mass gain in an omnivore. *Oikos*. 2007, **116**(10), 1675–1683.
- ROBBINS, C. T., T. N. TOLLEFSON, K. D. RODE, J. A. ERLNBACH & A. J. ARDENTE. New insights into dietary management of polar bears (*Ursus maritimus*) and brown bears (*Ursus arctos*). *Zoo Biology*. 2021, **41**(2), 166-175.
- RODE, K. D. & C. T. ROBBINS. Why bears consume mixed diets during fruit abundance. *Canadian Journal of Zoology*. 2000, **78**, 1640–1645.
- RODE, K. D., CH. T. ROBBINS, C. A. STICKER, B. D. TARAS & T. N. TOLLEFSON. Energetic and health effects of protein overconsumption constrain dietary adaptation in an apex predator. *Scientific reports*. 2021, **11**, 15309.
- RODE, K. D., CH. T. ROBBINS, L. NELSON & S. C. AMSTRUP. Can polar bears use terrestrial foods to offset lost ice-based hunting opportunities? *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2015, **13**(3), 138–145.
- SEINFELD, J. H. Insights on Global Warming. *Environmental and Energy Engineering*. 2011, **57**(12), 3259–3284.
- SHAPIRO, I., R. COLONY & T. VINJE. April sea ice extent in the Barents Sea, 1850–2001. *Polar Research*. 2003, **22**, 5–10.
- SHEN, F., Z. ZHANG, W. HE, B. YUE, A. ZHANG., L. ZHANG, R. HOU, CH. WANG & T. WATANABE. Microsatellite variability reveals the necessity for genetic input from

wild giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) into the captive population. *Molecular ecology*. 2009, **18**(6), 1061–1070.

SHINDELL, D. T., G. FALUVEGI, N. BELL & G. A. SCHMIDT. An emissions-based view of climate forcing by methane and tropospheric ozone. *Geophys Res Lett*. 2005, **32**(4), L0483.

SJOSTEDT, A. Tulemaria: History, epidemiology, pathogen physiology, and clinical manifestations. *Annals NY Acad Sci*. 2007, **1105**(1), 1–29.

SLATER, G. J., B. FIGUEIRIDO, L. LOUIS, P. YANG & B. VALKENBURGH. Biomechanical Consequences of Rapid Evolution in the Polar Bear Liniage. *Plos One*. 2010, **5**(11), e13870.

SMEETON, C. & S. S. WATERS. Captive management of orphaned black bears (*Ursus americanus*) intended for release at the Cochrane Ecological Institute in Canada: a case report. *Rehabilitation and release of bears*. 2005, 62–69.

SMITH, P. A., K. ELLIOTT, A. J. GASTON & H. G. GILCHRIST. Has early ice clearance increased predation on breeding birds by polar bears? *Polar Biology*, 2010, **33**, 1149–1153.

SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, M. MARQUIS, K. AVERYT, M. M. B. TIGNOR, H. L. MILLER, JR & Z. CHEN. Climate Change 2007. *The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. 2007.

Sources of Greenhouse Gas Emissions [online]. EPA, United States Environmental Protection Agency, 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

STEARNS, S. C. Polar bears and seals in the eastern Beaufort Sea and Amundsen Gulf: A synthesis of population trends and ecological relationships over three decades. *Arctic*. 1992, **45**, 59–76.

STIRLING, I. & A. E. DEROCHER. Possible impacts of climatic warming on polar bears. *Arctic*. 1993, **46**, 240–245.

- STIRLING, I. & C. L. PARKINSON. Possible effects of climate warming on selected populations of polar bears (*Ursus maritimus*) in the Canadian Arctic. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2006, **59**, 261–275.
- STIRLING, I. & T. G. SMITH. Implications of warm temperatures and an unusual rain event for the survival of ringed seals on the coast of southeastern Baffin Island. *Arctic*. 2004, **57**, 5759–5767.
- STIRLING, I. Polar Bear: *Ursus maritimus*. In WURSIG B., W. F. PERRIN, J. G. M. H. THEWISSEN. Encyclopedia of Marine Mammals. *Elsevier Books, Amsterdam*. 2009, 888–890.
- STIRLING, I., C. SPENCER & D. S. ANDRIASHEK. Immobilization of polar bears (*Ursus maritimus*) with Telazol. *Journal of Wildlife Diseases*. 1989, **25**, 159–168.
- TAYLOR, M. K., P. D. MCLOUGHLIN & F. MESSIER. Sex-selective harvesting of polar bears. *Wildlife Biology*. 2008, **14**, 52–60.
- THIEMANN W. G., S. J. IVERSON & I. STIRLING. Polar bear diets and arctic marine food webs: Inside from fatty acid analysis. *Ecological Monographs*. 2008, **78**(4), 591–613.
- TOWNS, L., A. JOHNSON, D. HEDMAN, V. TRIM, N. J. LUNN, D. MCGEACHY & A. DEROCHE. Spatial and temporal patterns of problem polar beasin. Churchill, Manitoba. *Polar biology*. 2009, **32**, 1529–1537.
- WILDER, J. M., D. VONGRAVEN, T. ATWOOD, B. HANSEN, A. JESSEN, A. KOCHNEV, G. YORK, R. VALLENDER, D. HEDMAN & M. GIBBONS. Polar Bear Attacks on Humans: Implications of a Changing Climate. *Wildlife Society Bulletin*. 2017, **41**(3), 537–547.
- WILSON R., R. E. V. REGEHR, M. ST. MARTIN, T. C. ATWOOD, E. PEACOCK, S. MILLER & G. DIVOKY. Relative influences of climate change and human activity on the onshore distribution of polar bears. *Biological Conservation*. 2017, **214**, 288–294.
- WOLDSTAD, T. M. *Trichodectes canis*, an invasive ectoparasite of Alaskan wolves: detection methods, current distribution, and ecological correlates of spread. *Thesis, University of Alaska Fairbanks*. 2010.

WOLF, C. M., B. GRIFFITH, CH. REED & S. A. TEMPLE. Avian and mammalian translocations: update and reanalysis of 1987 survey data. *Biological Conservation*. 1996, **10**, 1142–1154.

ZIEGLER, M. S. & J. E. TRANCIK. Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy and Environmental Science*. 2021, **14**(4), 1635–1651.

ZIEGLTRUM, G. J. Efficacy of black bear supplemental feeding to reduce conifer damage in western Washington. *J. Wildlife Managing*. 2004, **68**, 470–474.