

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování

DOPADY KLIMATICKÝCH ZMĚN
V HORSKÝCH OBLASTECH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Česká zemědělská
univerzita v Praze

Vedoucí práce: Mgr. Marta Martínková, Ph.D.
Bakalant: Jakub Maxa

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Maxa

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Dopady klimatických změn v horských oblastech

Název anglicky

Impacts of climate change in mountains

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést rešerši na téma klimatické změny a jejích dopadů na horské oblasti se zaměřením na rakouské Alpy a vypracovat vizualizaci dvou příkladů ústupu ledovců v průběhu konce 20. a začátku 21. století.

Metodika

Rešerše relevantních informačních zdrojů především IPCC zpráv, dále odborných zdrojů z katalogů knihoven, elektronických databází odborné literatury a dalších informačních zdrojů dostupných na internetu. Vizualizace bude vypracována v programu ArcGis.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

klimatická změna, horské oblasti, dopady, IPCC

Doporučené zdroje informací

- BEHRINGER, W. *Kulturní dějiny klimatu : od doby ledové po globální oteplování*. Praha ; Litomyšl: Paseka, 2010. ISBN 978-80-7432-022-4.
- Bohleber, P., Schwikowski, M., Stocker-Waldhuber, M., Fischer, A., Kubiczek, I., Kaser, G., Nickus, U. (2020). New glacier evidence for ice-free summits during the life of the Tyrolean Iceman. *Scientific Reports*, 10, 20513. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77518-9>
- FISCHER, A., SEISER, B., STOCKER-WALDHUBER, M., MITTERER, C., and ABERMANN, J. The Austrian Glacier Inventories GI 1 (1969), GI 2 (1998), GI 3 (2006), and GI LIA in ArcGIS (shapefile) format [data set]. PANGAEA, 2015. doi: 10.1594/PANGAEA.844988. Available at: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.844988>.
- IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report*. Cambridge University Press, 2021. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/srccs/>.
- MAREK, M V. *Klimatická změna – příčiny, dopady a adaptace*. Praha: Academia, 2022. ISBN 978-80-200-3362-8.
- VALNÍČEK, B. *Klimatické změny: Milankovičovy cykly, vývoj člověka a rozvoj civilizace v současné době meziledové*. Praha: Akcent, 2015. ISBN 978-80-7497-081-8.
- Zemp, M., Frey, H., Gartner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W., Denzinger, F., Ahlstrøm, A. P., Anderson, B., et al. (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745-762.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Marta Martínková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Dopady klimatických změn v horských oblastech vypracoval samostatně a že jsem citoval všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 27.3.2023

.....

Poděkování

Rád bych zde poděkoval paní Mgr. Martě Martínkové, Ph.D. za odborné vedení a poskytnutí cenných rad při zpracování této bakalářské práce. Dále musím poděkovat rodině a přátelům za trpělivost a podporu nejen během zpracování bakalářské práce, ale také během dosavadního studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce přináší ucelený rešeršní pohled na problematiku klimatické změny a hlavně jejich dopadů v horských regionech se zaměřením na oblast rakouských Alp s přesahem do celého světa k porovnání údajů. Jelikož se práce zabývá dopady klimatu v horských oblastech, je nutné pro pochopení návazností pochopit princip současné klimatické změny, historických souvislostí a výhledy do budoucna. Všechny tyto informace jsou popsány v první části této bakalářské práce.

V druhé části jsou již popsány hlavní a důležité dopady, se kterými se již dnes horské oblasti potýkají. Nejsledovanějším dopadem změny klimatu v horách jsou ledovce, které velice rychle tají. Pro názornost je také připravena vizualizace ústupu ledovců s porovnáním předindustriálního období se současným, respektive stavem v roce 2015. Nejsou to jen ledovce, jež jsou ovlivněny. Tato bakalářská práce popisuje i vliv na výšku sněhové čáry, lavinového nebezpečí, biologickou rozmanitost horských ekosystémů a také vliv na horské vodní zdroje. Posledním, ale ne méně důležitým faktorem jsou lidská společenství a kulturní sport v horách.

Horské oblasti jsou velice citlivé. Každá změna v nich způsobuje obrovské následky. Bohužel u současné změny klimatu, kterou má jednoznačně na svědomí člověk svojí činností, tomu není jinak. Nejen horské oblasti čeká nejistá klimatická budoucnost.

Klíčové slova: klimatická změna, horské oblasti, dopady, IPCC

Abstract

This bachelor thesis brings a complete overview of the issue of climate change and especially its impacts in mountain regions, focusing on the Austrian Alps with a worldwide comparison of the data. As the thesis deals with climate impacts in mountain regions, it is necessary to understand the principle of current climate change, the historical context and future perspectives in order to understand the linkages. All this information is described in the first part of this thesis.

In the second part, the main and important impacts that mountain areas are already facing today are described. The most observed impact of climate change in the mountains is glaciers, which are melting rapidly. For illustrative purposes, a visualisation of glacier retreat is also provided, comparing the pre—industrial period with the current situation, respectively with the situation in 2015. It is not just glaciers that are impacted. This bachelor thesis also describes the impact on snowline height, avalanche danger, biodiversity of mountain ecosystems and also the impact on mountain water resources. Last but not least, human communities and cultural sports in the mountains are important factors.

Mountains are very sensitive areas. Any change in them causes huge impacts. Unfortunately, the current climate change, which is clearly responsible a human activity, is not different. It is not only mountain areas that face an unstable climatic future.

Keywords: climate change, mountain regions, impacts, IPCC

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce a metodika	2
2.1	Cíle práce	2
2.2	Metodika	2
3	Klimatická změna	4
3.1	Podstata problému	4
3.2	Nejfundamentálnější příklady	8
3.3	Historické klima	12
3.4	Modelování budoucího klimatu	14
3.5	Ekoterorismus a popírači	16
3.6	Dopady, mitigace, adaptace	16
4	Dopady klimatických změn v horských oblastech	21
4.1	Specifika horského klimatu	21
4.2	Dopady na ledovce a sněžná čára	23
4.3	Dopady na biologickou rozmanitost	31
4.4	Dopady na horské vodní zdroje	34
4.5	Dopady na lidská společenství	36
5	Výsledné zhodnocení	40
6	Diskuze	43
7	Závěr a přínos práce	46
	Literatura	47
	Seznam obrázků	55

1 Úvod

Na světě je mnoho míst, která jsou krásná a dokáží člověka uhranut svým kouzlem. Pro některé to jsou písčné pláže, které omývá oceán, a pro jiné to jsou zasněžené hory pokryté ledovci a skalními štíty. Pro tuto práci byly vybrány právě vysoké oblasti hor, díky vztahu k autorovi. Bohužel se na naší planetě dějí změny klimatu, jež mají vážné dopady a mohou mnoho z těchto nádherných míst změnit nebo nenávratně poškodit jejich křehkou rovnováhu.

Tyto změny klimatu jsou a budou jednou z největších výzev, kterým lidstvo bude čelit ve 21. století. Změny klimatu již nejsou jen abstraktní teorie vědců, ale začínají se projevovat v našem každodenním životě. Projevy změny klimatu mohou mít mnoho forem od nesnesitelného vedra, sucha, záplav a dalších extrémních projevů počasí.

Pro tuto práci byly vybrány právě horské oblasti k nastínění dopadů klimatické změny, jelikož jsou hory jedny z nejcitlivějších a nejohroženějších regionů, které se s tímto problémem potýkají. Je možné pozorovat přímé dopady jako ústup horských ledovců nebo sucha, či nepřímé ve formě změn hydrologického cyklu, eroze nebo ztráty cenné biologické rozmanitosti. Tato bakalářská práce se zabývá právě těmito dopady a přináší ucelený pohled na tuto problematiku.

2 Cíle práce a metodika

2.1 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je přinést ucelený pohled na problematiku klimatických změn v horských oblastech, jejich příčin, dopadů a pokusit se nastínit predikce vývoje klimatu v budoucnu. V první části budou čtenáři představeny změny klimatu, jejich fyzikální podstata, skleníkový efekt a hlavní skleníkové plyny, jež jsou důležité pro pochopení procesů, které se v atmosféře dějí. Dále bude čtenář seznámen s nejtýpějšími projevy změny klimatu ve světě, bude naznačeno jak člověk klima ovlivnilo v historii až do doby, kdy sám člověk začal svou činností ovlivňovat a měnit klima na globální úrovni. Bude důležité také představit pravděpodobné budoucí scénáře vývoje klimatu a dále představit, jak se bude měnit život s měnícím se klimatem a jak bude nutné se adaptovat na tyto změny.

Ve druhé části této práce bude navázáno na předchozí kapitolu a budou představeny jednotlivé dopady klimatické změny v horských oblastech. Nejprve bude nutné popsat jaká jsou klimatická specifika hor. Dále již budou představovány jednotlivé dopady od úbytku ledovců, změny polohy sněžné čáry a změn v lavinovém nebezpečí. Pro názornou demonstraci ústupu ledovců v rakouských Alpách byly vypracovány dvě vizualizace příkladu ústupu ledovců. Významné změny nastanou také v ekosystémech a jejich biologické rozmanitosti, hydrologii hor a distribuci srážek. V poslední části této práce budou popsány dopady, jakým budou muset čelit obyvatelé horských regionů.

2.2 Metodika

Tato bakalářská práce byla zpracována formou rešerše především z odborných článků recenzovaných časopisů a knih. Většina článků byla vyhledána na internetu a drtivá většina za pomoci portálu Google Scholar. Dalším významným zdrojem byly zprávy IPCC, které utváří ucelený pohled na téma klimatické změny.

Vizualizace ústupu ledovců byla zpracována pomocí dat získaných z příloh

odborných článků. Tato data ve formátu shapefile byla následně zpracována a analyzována pomocí programu ArcGis, ze kterého byl následně vypracován cílený výstup. Tato bakalářská práce byla napsána pomocí systému LaTeX.

3 Klimatická změna

Klimatická změna je soubor vzájemně propojených jevů, které vedou ke změnám podmínek k životu v průběhu dlouhého časového období. Obsahuje především změny průměrné teploty, vlhkosti, atmosferického tlaku, srážek, větru a mimo jiné i snížení objemu horských a polárních ledovců. Na rozdíl od počasí, kdy se jedná o aktuální atmosferický stav pro dané místo a čas, je klima dlouhodobý charakteristický režim počasí v daném místě i na relativně malém území. Příkladem může být střídání ročních období v mírném pásu. Mění se klima se také dotýká i lidí skrze zemědělství, medicínu, vodní hospodářství, energetiku nebo třeba politiku.

Klima se měnilo, mění a bude se vždy měnit díky závislosti na změnách vnitřních i vnějších faktorů ovlivňující jeho průběh. Problém současné klimatické změny je ten, že je to poprvé, kdy člověk přímo svou činností mění klima na globální úrovni [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021]. Člověk poprvé za dobu své existence ovlivňuje klima planety, a proto se pro tuto dobu vžil jednoslovný název antropocén (z anglického *anthropocene*). Dle grafů NASA [NASA, 2023] je patrné, že se průměrná roční teplota začala zvyšovat od začátku průmyslové revoluce. Na rozdíl od předchozích změn je ta současná extrémně rychlá [Marek, 2022]. Klimatické podmínky byly za poslední tisíciletí relativně stabilní, ale za posledních 50 let došlo k nebyvalému rychlému nárůstu průměrné roční teploty o 0,7 °C a očekává se další nárůst mezi 1,8 a 4,0 °C do roku 2100 [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021].

3.1 Podstata problému

Každá klimatická změna, která v historii proběhla nebo právě probíhá, má nějakou příčinu. Základní faktory ovlivňující klima jsou geografické, astronomické a antropogenní vstupy. Geografické se odehrávají na naší planetě, kde je velice složitý klimatický systém, který tvoří tento geografický faktor, jenž se skládá z pěti hlavních částí, a to atmosféry, hydrosféry, kryosféry, pevného povrchu země a biosféry. Dopady mají také jejich vzájemné interakce jako je rozložení kontinentů, sopečná

činnost, pokrytí vegetací, cirkulace atmosféry, mořské proudy [Marek, 2022].

Dalším faktorem jsou mimozemské vstupy (astronomické). Mohou to být například změny v parametrech oběžné dráhy Země a především ve sklonu zemské osy, jež mohly nebo mohou být příčinou střídání dob ledových a meziledových (Milankovičovy cykly). Dále to může být známý jedenáctiletý cyklus intenzity aktivity Slunce [Valníček, 2015].

Antropogenní faktory jsou ty, které vytváří člověk. A to především spalováním fosilních paliv, čímž mění chemické složení atmosféry. Člověk také mění ráz krajiny a procesy v ní, intenzivně zemědělsky hospodaří v krajině, kterou také přetváří k obrazu svému [Marek, 2022].

Podstatnou částí klimatického systému jsou zpětné vazby. Kladná zpětná vazba nastává pokud, projevy a změny počátečním impulzu zesilují. Příkladem může být dlouhodobý pokles teploty, čímž se začnou projevovat změny v rozsahu zalednění zemského povrchu. Zvětšuje se plocha sněhu a ledu a s tím související zvýšení albeda a dále se zvyšuje odrazivost zemského povrchu. Více sluneční energie se odrazí zpět do vesmíru a tím pádem se planeta více ochlazuje. Naopak pokud projevy a změny zeslabují, jedná se o zápornou zpětnou vazbu. Příkladem záporné zpětné vazby může být zahřívání přízemních vrstev vzduchu v letních měsících, kdy vzniká konvektivní proudění s nastávající tvorbou kupovité oblačnosti, jež začne částečně stínit a slunečnímu záření odrážet. Zpětné vazby vytvářejí prvky chaotického chování, a proto vytvářejí velice složitý systém.

Šestá zpráva IPCC uvádí, že člověk jednoznačně způsobuje klimatickou změnu. Nebylo tomu vždy tak. Vědci velice opatrně a postupně formulovali vliv člověka. V první zprávě IPCC z roku 1990 uvedli, že jsou lidé díky zvyšování koncentrace skleníkových plynů schopni oteplovat planetu [Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990]. Druhá zpráva IPCC z roku 1995 říká, že důkazy naznačují znatelný vliv člověka na globální klima [Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995]. Z třetí zprávy IPCC z roku 2001 vyplývá, že většina oteplení, které posledních padesát let pozorujeme, je díky zvyšování koncentrace skleníkových plynů [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001]. Čtvrtá a pátá zpráva z let 2007 a 2013 dále potvrzuje roli člověka v globální změně klimatu [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, 2013]. Současná šestá zpráva IPCC již jednoznačně tvrdí, že za oteplením oceánu a atmosféry naší planety stojí lidská činnost [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021].

Atmosféra a skleníkový jev

Atmosféru můžeme chápat jako plynný obal vesmírného tělesa za předpokladu, že má dostatečně velkou hmotnost a dokáže plyny udržet svoji gravitační silou. Největším zdrojem energie pro Zemi je Slunce. Bez tohoto záření a atmosféry by nemohl vzniknout život na naší planetě. Část záření (30 %) se odrazí zpět do kosmického prostoru odrazem od oblačnosti, vzduchu nebo zemského povrchu. Další část (23 %) je pohlcena v atmosféře a zbylých 47 % pohltí zemský povrch, který se tímto zahřívá. Právě atmosféra během dne blokuje část záření ze Slunce a odráží jej zpět a v noci izoluje naakumulované teplo. Tímto procesem je zajištěna příjemná průměrná teplota naší planety přibližně 14 °C a může existovat život tak, jako ho známe. Atmosféra se skládá z řady plynných složek jako jsou dusík, kyslík a skleníkové plyny, jako je oxid uhličitý a metan [Marek, 2022].

Skleníkové plyny byly poprvé objeveny v 19. století. Anglický chemik John Tyndall představil význam skleníkových plynů pro globální teplotu v roce 1859. Nevěřil, že průhledné plyny, které snadno propouštějí viditelné světlo, budou stejně jednoduše propouštět světlo infračervené [Tyndall, 1859]. Skleníkový efekt (z anglického *Green house effect*) je jednou z nejdůležitějších klimatických procesů na Zemi. Jde o to, že skleníkové plyny v atmosféře, jako jsou oxid uhličitý a metan, absorbují a odrážejí infračervené záření zpět na Zemi, čímž udržují a akumulují teplo v atmosféře. Tento proces je nezbytný pro život na Zemi, protože udržuje teplotu na přijatelné úrovni. Avšak vlivem nadměrného uvolňování skleníkových plynů do atmosféry v důsledku lidských činností, příkladem může být těžba uhlí, ropný průmysl a intenzivní zemědělství, dochází ke zvýšení skleníkového efektu a k nárůstu teploty v atmosféře. Tyto změny vedou ke změně klimatu a k negativním důsledkům.

Důležitou roli také hraje asymetrie molekul skleníkových plynů v atmosféře. Asymetrie molekul v atmosféře se týká rozdílu ve struktuře molekul, které mohou mít stejnou chemickou formuli ale různou geometrii. Tyto asymetrické molekuly mohou interagovat s elektromagnetickým zářením jiným způsobem než jejich symetrické protějšky. V kontextu skleníkového efektu se asymetrie molekul v atmosféře týká toho, že některé asymetrické molekuly (CO₂ nebo H₂O) absorbují infračervené záření, což pomáhá udržovat teplo v atmosféře a tím podporuje skleníkový efekt. Tyto molekuly fungují jako tzv. skleníkové plyny, které udržují teplo v atmosféře, což podporuje život na Zemi [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Důležité je rozlišovat původ skleníkových plynů, a to na přirozené a antropogenní, tj. způsobené činností člověka.

Vodní pára je nejrozšířenějším skleníkovým plynem na světě a její výskyt je přirozený. Vodní pára je zodpovědná přibližně za polovinu skleníkového efektu. Někdy může být vodní pára neprávem označována za příčinu klimatické změny. Není tomu tak, zvýšení koncentrace vodní páry v atmosféře je důsledek oteplování způsobený jinými skleníkovými plyny. Můžeme tedy zvýšení koncentrace vodní páry v atmosféře označit jako pozitivní zpětnou vazbu. Vodní pára je důležitou součástí přírodního procesu, který nazýváme koloběh vody, a její množství je především závislé na termodynamických podmínkách v atmosféře [Žalud, 2020].

Metan (CH₄) je plyn, který vzniká zejména při anaerobním rozpadu organické hmoty. Nejvíce metanu vzniká při pěstování rýže, při trávení v žaludcích přežvýkavců, únikem uloženého metanu při těžbě ropy a uhlí nebo samovolným uvolňováním ze dna oceánu. Dalším významným zdrojem přírodního metanu je jeho uvolňování z tajícího permafrostu. Metan zachycuje dlouhovlnné záření přibližně dvacetkrát účinněji než CO₂ a může v atmosféře setrvat až patnáct let. Větší část metanu v atmosféře je tedy přirozeného a přibližně 20 - 30 % je antropogenního původu [Marek, 2022].

Oxid dusný (N₂O) je další skleníkový plyn, který se vyskytuje v atmosféře především vlivem člověka. Přibližně za 80 - 90 % jeho výskytu je zodpovědný člověk. Jeho absorpce dlouhovlnného záření je přibližně 310krát účinnější než u CO₂. Koncentrace oxidu dusného v atmosféře vzrostla přibližně o 16 % v porovnání s předindustriálním obdobím. Zdrojem může být spalování fosilních paliv a při procesu denitrifikace zemědělských půd a hnojiv [Marek, 2022].

Oxid uhličitý (CO₂) je plyn, který se přirozeně vyskytuje v přírodě například vlivem vulkanické činnosti nebo lesních požárů. Vzniká spalováním různých materiálů organického původu. Především fosilních paliv, které dnes využíváme k výrobě elektřiny, tepla, nebo k cestování. Uhlík se miliony let váže v litosféře. V době průmyslové revoluce se z litosféry začal těžbou postupně odebírat a spalováním přeměňovat na energii. Od předindustriálního období zvýšil člověk svým chováním množství CO₂ v atmosféře o přibližně 50 %. Množství CO₂ v atmosféře bylo roku 1990 přibližně 350 ppm, v roce 2002 přibližně 365 ppm a současná hodnota je více než 421 ppm.

Důležitou roli hraje pomalý a rychlý cyklus uhlíku. Pomalý cyklus uhlíku je proces, při kterém se uhlík v půdě a oceánech přenáší na geologické časové

škále. Tato přeměna trvá stovky až tisíce let. Na rozdíl od rychlého cyklu uhlíku, který trvá měsíce až roky a zahrnuje výměnu uhlíku mezi atmosférou, biomasou a oceánem. Bohužel jak již bylo řečeno, tak většina emisí CO₂ se v atmosféře vyskytuje vlivem spalování fosilních paliv, a tím se do rychlého uhlíkového cyklu přidává i uhlík z pomalého cyklu.

CFC a HFC jsou člověkem vytvořené látky, které dokáží i při malé koncentraci velice účinně pohlcovat dlouhovlnnou radiaci. CFC chlorfluoruhlodíky neboli freony uvolňují v atmosféře chlor (Cl), který ničí ozonovou vrstvu. Freony byly zakázány Montrealským protokolem v roce 1987. Pro skleníkový efekt jsou ale důležitější HFC, což jsou fluorované uhlovodíky, které se využívají v klimatizacích a jako chladivo. Tyto látky měly nahradit nebezpečné freony, ale ukázalo se, že jsou to také velice efektivní skleníkové plyny. Tento plyn byl v roce 2016 přidán jako dodatek k Montreálskému protokolu a byl označen jako dodatek z Kigali. V roce 2023 tento dodatek ratifikovalo 146 států a Evropská unie.

Pro zjednodušení a porovnávání efektu jednotlivých skleníkových plynů byl zaveden takzvaný CO₂ ekvivalent (CO₂eq), jenž přepočítává podíl a význam jednotlivých skleníkových plynů dle radiačního efektu CO₂. Skleníkové plyny v atmosféře pohlcují dlouhovlnné záření a následně jej vyzařují všemi směry pryč a tímto procesem ohřívají okolní vzduch v nižších vrstvách atmosféry. Skleníkový jev můžeme přirovnat ke spirále, která se stále rozšiřuje stejně jako klimatické problémy, jež mají na sebe návaznosti [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Je třeba podotknout, že díky skleníkovým plynům přítomným v atmosféře mohly vzniknout vhodné podmínky k životu na naší planetě. Pokud by neprobíhal skleníkový efekt, tak by byla průměrná teplota okolo -18 °C. Bohužel je naše civilizace založena na výrobě z fosilních zdrojů, a to nejen pro energetické účely, ale i pro výrobu betonu, oceli, plastů, nebo třeba umělých hnojiv. A tím pádem se skleníkový efekt touto činností násobí.

3.2 Nejfundamentálnější příklady

Změnu klimatu naší planety pociťujeme každým dnem více, zejména v podobě nesnesitelných veder, nedostatku vody, častých povodní a lesních požárů. K těmto jevům by zajisté docházelo i bez změny klimatu, ale problém je v rozsahu

a velikosti těchto událostí. Jak je možné vidět na příkladu české republiky, kde usychají lesy, klesají hladiny řek, ve kterých se stále častěji objevují takzvané hladové kameny, do nichž naši předci vytesali nápisy, aby varovali další generace. Níže jsou vyjmenovány ty nejzásadnější změny, které ohrožují miliony lidí po celém světě.

Průměrná roční teplota

Je jednoznačné, že vlivem člověka dochází k oteplování atmosféry, oceánu a pevniny. Dochází k zásadním změnám v atmosféře, oceánu, kryosféře a biosféře. Globální povrchová teplota byla v letech 2011-2020 o 1,09 °C vyšší než na začátku industriálního období v letech 1850-1900. Vyšší teplota byla naměřena nad pevninou a to o 1,59 °C než nad oceánem, kde bylo naměřeno zvýšení o 0,88 °C. Největší problém stále rostoucí průměrné teploty je v jejím nárůstu, kdy se od roku 1970 zvyšuje nejrychleji než v jakémkoliv období nejméně za posledních 2000 let. Mezivládní panel pro klimatickou změnu také uvádí, že dle všech uvažovaných emisních scénářů, bude globální povrchová teplota dále stoupat nejméně do poloviny století. Je velmi pravděpodobné, že dle optimistických scénářů velmi nízkých emisí skleníkových plynů (Pařížská dohoda) bude v druhé polovina 21. století stoupat průměrná teplota s porovnáním s lety 1850-1900 o 1,0 až 1,8 °C. Podle středního scénáře to bude o 2,1 až 3,5 °C a o 3,3 až 5,7 °C dle pesimistického scénáře velmi vysokých emisí skleníkových plynů. Globální povrchová teplota může v každém roce vykazovat mírné výkyvy nad dlouhodobým průměrem, a to vlivem přirozené variability, která je ovlivňována například sopečnými erupcemi, změnami sluneční aktivity nebo změnami oběžné dráhy Země kolem Slunce [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Sucho

Pokud chceme pochopit sucho, tak je nutné znát čtyři jeho stupně, které na sebe navazují. Prvním stupněm je sucho meteorologické, jež nastává, když v zasažené oblasti převládá hezké počasí, málo prší. Tento stav nemusí nic znamenat. Druhým stavem je půdní sucho. Někdy je označováno jako zemědělské, agronomické, nebo také lesnické. Při tomto stupni začíná být limitována vegetace a přestává prosperovat. Dalším stupněm je sucho hydrologické. Typický je pokles povrchové vody, snížená hladiny nádrží. Tento stav může být vážný pro malé obce, které jsou závislé na lokálních zdrojích pitné vody. Poslední stupeň je sucho

socioekonomické. kdy se sucho odráží i na chování společnosti, zvyšují se náklady na pitnou vodu a může být vydán zákaz zalévání, napouštění bazénů a mytí aut z veřejných vodovodů. Razantně se snižují zisky ze zemědělských i lesních plodin [Brázdil et al., 2015].

V poslední dekádě můžeme pozorovat dříve sporadické atmosférické události. Jednak to jsou abiotické události jako je sucho, načasování bouřkového období, častější přítomnost horkých vln, povodně a častější přízemní mrazíky na jaře, tak biotické události jako rozšiřování nepůvodních živočichů a rostlin, přemnožení škůdců, invazivních druhů a posun fenologických fází rostlin a živočichů. Obrovský problém také bude s požáry lesních a zemědělských plodin, kde je jasná korelace s výskytem sucha. [Žalud, 2020]

Je již jasné, že průměrná roční teplota se bude dále zvyšovat, a dle dat Českého hydrometeorologického ústavu [Crhová et al., 2021] je roční úhrn srážek neměnný, což povede k rychlejšímu výparu a také jinému rozložení srážek. Srážky budou s rostoucí průměrnou roční teplotou sílit na intenzitě a mohou mít velké až extrémní projevy, jaké můžeme pozorovat již dnes, a to především v období od května do září, kdy přicházejí nečekané bleskové povodně. Největším problémem jistě bude sucho vlivem většího výparu a méně častých, ale intenzivnějších, srážek. Značný podíl na množství podzemní vody má mocnost sněhu během zimní sezony, kterého je každým rokem méně vlivem již zmíněné rostoucí teploty. Malé množství sněhu vlivem zvyšující se průměrné roční teploty bude dále zintenzivňovat sucho a snižovat velice důležité podzemní zásoby pitné vody [Brázdil et al., 2015]. Sucho prospívá také mnoha škůdcům. Jako například lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), nebo zavíječ zimostrázový (*Cydalima perspectalis*), který se v našich klimatických podmínkách dříve v podstatě nevyskytoval [Kenis et al., 2013].

Zvyšující se hladina oceánů

Zpráva IPCC uvádí, že dalším velkým problémem je globální hladina oceánu, která se zvýšila v období 1901 až 2010 o 0,2 metru. Průměrná rychlost vzestupu hladiny byla mezi lety 1901 a 1971 1,3 milimetru za rok. Mezi lety 1971 a 2006 byla rychlost stoupání 1,9 milimetru za rok a v letech od roku 2006 do 2018 se dále hladina zvyšovala o 3,7 milimetru za rok. Mezivládní panel pro klimatickou změnu uvádí, že je vliv člověka pravděpodobně hlavní příčinou těchto změn přinejmenším od roku 1971. Tento vzestup moře má dopad na erozi pobřeží, záplavy, mísení a kontaminaci sladké vody se slanou v důsledku přílivu do ústí

řek, ničení zemědělských plodin, ničení přirozených hnízdišť ptáků na plážích, mokřadů a pobřežních nížin. Vzestup hladiny moře bude mít obrovský dopad pro obyvatele přímořských regionů, kde hrozí masivní vysídlování. Dle klimatických modelů IPCC můžeme očekávat, že se globální hladina oceánu do roku 2100 může zvednout o 26 až 77 centimetrů. Pokud bude pokračovat současný trend oteplování, můžeme čekat hodnoty k horní hranici rozmezí výše, kdy je nejpravděpodobnější scénář vzestupu hladiny o 65 centimetrů [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Grónský ledovec je největším přispěvatelem sladké vody v oceánu za poslední desetiletí. Očekává se, že tomu tak bude i nadále. Na začátku 90. let byla bilance grónského ledovce téměř vyrovnaná, ale vlivem oteplování do roku 2011 odtálo z grónského ledovce 3902 miliard tun ledu, což dle studie zvýšilo hladinu moře o 10,8 milimetrů. Dále studie uvádí za použití tří regionálních klimatických modelů, že v důsledku tání přišel grónský ledovec od roku 1992 o polovinu své hmotnosti [Shepherd et al., 2019].

Úbytek ledovců

Ledovce jsou kritickými indikátory klimatické změny. Tyto obrovské ledové masivy zmrzlé vody mizí a jejich úbytek má významný vliv na klima, na měnící se vodní cykly a stav moří. Studie ukazují, že ledovce mizí takovým tempem jako nikdy předtím. Je těžké stanovit přesné číslo o jakou rozlohu se zmenšily ledovce, jelikož se mění v různých částech světa a mohou být ovlivněny dalšími faktory (v některých částech světa dokonce zaznamenáváme nárůst rozlohy ledovců). Odhaduje se, že v první polovině dvacátého století ubylo 10 - 15 % ledovců na celém světě. V druhé polovině dvacátého století se tento úbytek zrychlil na 15 - 20 % a od přelomu tisíciletí ubylo odhadem 25 - 30 % ledovců na celém světě. Ledovce mají i zásadní vliv na celkové albedo, tedy odrazivost dlouhovlnného záření od povrchu planety, a tím pádem se dále násobí problém globálního oteplování povrchu [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Výzkumy ledovců v horských oblastech Patagonie ukazují, že se tamní ledovce dramaticky zmenšují. Studie naznačuje úbytek horských ledovců od roku 1870, kdy jich bylo zmapováno 640, poté probíhalo mapování v letech 1986, 2001 a 2011, kdy jich bylo pouze 626, zbylé zanikly. 90,2 % ledovců vykazovalo zrychlující se zmenšování. Nejrychlejší zmenšení zaznamenaly zejména malé ledovce (menší než 5 km²). Dále studie uvádí, že v letech 2001 - 2011 se ledovce zmenšovaly přibližně

dvakrát rychleji než v období 1870 - 1986 [Davies and Glasser, 2012].



Obrázek 1: Tající ledovec Kvíárjökull Island 2022.

Zdroj: Soukromý archiv Bc. Barbora Morávková

3.3 Historické klima

Vývoj člověka a klimatu je úzce spjatý již posledních 11 000 let. V období zvaném holocenní optimum došlo k významnému oteplení. Lidé v období mladší doby kamenné přibližně 9 000 př.n.l.-5 000 př.n.l. začínají přecházet od života lovců a sběračů k usedlejšímu stylu života a pomalu začínají obdělávat půdu, nicméně stále převažuje lov a sběr. V dalším období, jež nazýváme doba bronzová (přibližně 3 300 př.n.l.-1 200 př.n.l.), člověk dále rozvíjí zemědělství, kulturu a především většina lidí již žije usedlým způsobem života. Poprvé v historii člověk významně začíná přetvářet krajinu k obrazu svému, především plošným vypalováním. Toto období se se vyznačuje vlhčím a teplejším klimatem, které bylo příhodné k pěstování pšenice, ječmene, prosa a v Asii rýže. [Behringer, 2010] V této době žil také nejslavnější ledovcový muž (*Homo tyrolensis*) Ötzi. Nález

tohoto pravěkého šamana je dalším důkazem klimatické změny [Vidale et al., 2016].

Pro dobu železnou (přibližně 1 200 př.n.l.-1 n.l.) bylo již charakteristické rozšíření řemesel. Jako zdroj energie se stále využívalo dřevo, ale některé oblasti již pomalu začaly přecházet na uhlí [Behringer, 2010]. Počátkem našeho letopočtu až do konce středověku byly klimatické podmínky vcelku stálé. Můžeme zaznamenat chladnější období stěhování národů (DACP z anglického *Dark Ages Cold Period*) i teplejší období zvané středověká klimatická anomálie (MCA z anglického *Medieval Climate Anomaly*). Člověk může dále rozvíjet své technické a kulturní možnosti. V tomto období se počet obyvatel země zdvojnásobil na přibližně 500 milionů [Luterbacher et al., 2016].

Malá doba ledová

Významnou změnu klimatu zaznamenal člověk v období novověku přibližně 1 400 - 1 800 n.l., kdy začala malá doba ledová (LIA z anglického *Little Ice Age*), která je charakteristická postupem ledovců v Evropě. Ledovce se rozšiřovaly, ohrožovaly tradiční lidská sídla a začaly přitahovat pozornost turistů. V kronikách západních Alp se můžeme dočíst například o tom, jak ledovce pohlcovaly celé vesnice. Například kdy ledovec Mer de Glace v okolí francouzského Chamonix koncem 16. století pohltit dvě vesnice. Na severu Afriky se vlivem sucha rozšířily pouště a například v Asii se významně posunulo období dešťů [Behringer, 2010].

V dalších dobových kronikách se často psalo o sténání a nářku na vesnici vlivem hladomorů, jež sužovaly Evropu. Posouvala se doba žní a vlivem špatného počasí se posunulo období vegetace ovocných stromů a dalších významných plodin té doby. V severovýchodních zemích Skandinávie úplně upustili od pěstování obilí. Často se stávalo, že severně od Alp nestihly dozrát vinné hrozny. Z kronik nejsou systematické záznamy o divoké fauně a floře, jelikož se doboví autoři pragmaticky zajímali pouze o plody přírody vhodné k jídlu nebo výrobě alkoholu [Behringer, 2010].

Klimatická změna se projevila i na hmyzu a mikroorganismech. Toto studené období například vytlačilo z Evropy komára *Anopheles gambiae* (latinsky *Anopheles gambiae*), čímž byl vyřešen problém malárie v Evropě. Dále v tomto období prosperovaly blechy přenášející mor (pomocí bakterie *Yersinia pestis*) a vši, které přenášejí skvrnitý tyfus, respektive bakterii (*Typhus exanthemicus*), které jej způsobuje [Behringer, 2010].

Věk parního stroje, antropocén

Postupně doznívá malá doba ledová. Vlivem teplejšího a stabilnějšího podnebí se více daří zemědělství a v Evropě začíná nový optimistický směr romantismus. Populace, hlavně v Evropě a severu Ameriky, se znovu rapidně zvětšuje.

V 17. a 18. století se začínají vydávat první vědecké časopisy a věda zažívá nebyvalého rozmachu. Poprvé za celou historii začínají vítězit vědecké zákony nad církví. Vědecké objevy této doby určovaly směr. Kupříkladu Isaac Newton formuloval gravitační zákon a Benjamin Franklin představil svůj vynález hromosvodu. Tyto objevy položily základ pro průmyslovou a zemědělskou revoluci, jež nesla značné nároky na přírodní zdroje. Rozvoj průmyslu v podstatě ukončil boj lidstva s hladem. Tento pokrok ale vyžadoval efektivnější zdroj energie pro průmysl. Odpověď na tento problém přinesl v roce 1712 Thomas Newcom. Jeho první parní stroj byl sestaven za účelem zlepšení těžby uhlí. Jeho koncepce byla značně neefektivní a teprve James Watt tento vynález zdokonalil a umožnil jeho průmyslové rozšíření. Právě vynález parního stroje je často označován za milník, kdy člověk začal ovlivňovat svojí činností klima. Vlivem emisí ze spalování uhlí se do atmosféry začalo uvolňovat stále více emisí CO₂ [Behringer, 2010].

3.4 Modelování budoucího klimatu

V předchozí kapitole bylo nastíněno historické klima. Jaké jsou ale predikce do budoucna? Pro takovéto účely se tvoří takzvané klimatické modely, které jsou dost podobné numerickým předpovědím počasí, jen do klimatických modelů vstupuje mnohem více proměnných dat. Příkladem může být chování oceánů, koloběhy skleníkových plynů nebo mimo jiné velikost zalednění povrchu Země. Základem pro výzkum budoucího vývoje klimatu jsou globální klimatické modely (GCM), které simulují klima celé planety. Tyto modely narážejí na limity výpočetního výkonu superpočítačů, takže pracují s výpočetní sítí okolo 100 km. Takto hrubá síť nedokáže postihnout dostatečně přesně všechna specifika regionálních podnebí a tím pádem nejsou tak přesná [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Jednou z možností je regionální klimatické modelování (RCM). Tento klimatický model se zaměřuje na menší územní celky jako třeba Evropa, kde bude možné pomocí jemnější sítě lépe postihnout všechny vstupující klimatické faktory. Jelikož do modelů RCM vstupují i prvky mimo modelované území (procesy

v atmosféře, oceánech), je třeba sledovat jejich okrajovou podmínku. Tyto data je možné převzít vhodnou úpravou GCM. Reprezentativním příkladem RCM může být CORDEX [Giorgi and Gutowski, 2015] a jeho dvanáct výstupů RCM modelů.

Tyto výstupy předpokládají různé směry vývoje koncentrací skleníkových plynů. Tyto směry vývoje se nazývají reprezentativní směry vývoje koncentrací (z anglického *Representative Concentration Pathways*- RCP). Simulace předpokládají finální koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a radiální bilanci skleníkových plynů na konci 21. století. Pro příklad byly vybrány čtyři RCP scénáře.

RCP 2.6: optimistický scénář, který by splnil předsevzetí Pařížské dohody, ke které se zavázala i Česká republika. Bohužel tento scénář se začíná jevit spíše utopistický s vývojem současných událostí jako je energetická krize nebo válka na Ukrajině.

RCP 4.5: predikuje stabilizaci vlivu skleníkových plynů k roku 2100 díky efektivním opatřením pro snižování emisí.

RCP 6.0: počítá s dosažením emisního vrcholu okolo roku 2080, poté očekává pokles. Tento scénář očekává vysokou míru emisí skleníkových plynů a oteplení přibližně o 3–4 °C do roku 2100.

RCP 8.5: pesimistický scénář předpovídá setrvalý růst emisí v současném trendu [Giorgi and Gutowski, 2015].

Pro možnost efektivního předpovídání klimatu v České republice byl založen v roce 2020 projekt PERUN. Jehož cílem je vytvořit výzkumné centrum, které by se dlouhodobě věnovalo oblasti změny klimatu, analyzování probíhající a budoucí změny. Mezi hlavní cíle tohoto projektu je vytvoření nástrojů pro simulaci systému atmosféra - hydrosféra umožňující podrobné simulování chování tohoto systému na území České republiky. Stejně jako u RCP modelu CORDEX pro Evropu, tak by měly klimatické predikce pro ČR mít jemnější síť a zahrnout tak více regionálních vstupů jako je například přesný reliéf české krajiny. Dále by měl projekt připravovat podklady pro strategický vývoj v oblasti adaptace na klimatickou změnu nebo například zpřesnění informací o hydrologickém režimu. Jediným rysem tohoto projektu je spojení různých institucí a odborníků například z Akademie věd nebo Českého hydrometeorologického ústavu [Perun, 2023].

3.5 Ekoterorismus a popírači

V druhé polovině dvacátého století začalo mnoho faktorů signalizovat měnící se klima. Proto došlo k iniciativě Organizace spojených národů k založení mezivládního panelu pro změnu klimatu IPCC (z anglického *Intergovernmental Panel on Climate Change*), jenž se zabývá přehledným zpracováním současného poznání globální klimatické změny. Text těchto zpráv je doporučen jak pro vědce, tak především pro tvůrce politik a osvětu široké veřejnosti [Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990].

Většina klimatických vědců a 195 vlád světa se pod tento dokument podepsala a respektuje ho. Najdou se ale i tací, kteří ignorují důkazy uvedené v těchto zprávách a popírají jakoukoliv změnu klimatu. Jako argument často používají článek *The Cooling World*, který popírá jakékoliv oteplení a naopak předvídá ochlazení a příchod malé doby ledové [Gwynne, 1975]. Sám autor tento článek později popřel. Častým zdrojem těchto informací jsou sociální sítě nebo desinformační weby jako například Pravý prostor, Sputnik, Parlamentní listy a mnoho dalších. Bohužel vědecky nepodložené informace šíří také někteří tvůrci politik mezi nimiž jsou i někteří nejmenovaní bývalí prezidenti [Vidomus et al., 2021].

Podle názoru autora jsou protipólem ekoteroristé, kteří až násilím prosazují zelenou myšlenku a tím vlastně kazí snahu a chuť společnosti se snažit o snížování emisí. Jedná se vlastně o extrémistickou činnost, která se snaží násilím nebo hrozbou násilí chránit životní prostředí. Je třeba řešit environmentální otázky osvětou společnosti [Hoffman, 2021].

3.6 Dopady, mitigace, adaptace

Dopady

Klimatická změna má široký rozptyl dopadů na různé aspekty našeho života a prostředí, ve kterém žijeme. Jako primární a hlavní důsledek změny klimatu je možno označit globální nárůst teploty, která na sebe váže mnoho dalších dopadů. Jedním z nich je měnící se distribuce srážek. Celková roční bilance srážek se nemění, ale rozdíl byl zaznamenán v jejich distribuci, respektive intenzitě. Obecně lze říci, že spadne stejné množství srážek za mnohem kratší čas, což přináší obtíže především v zemědělství a také ohrožuje lidské životy a sídla [Marek, 2022].

Dopady ve srážkovém režimu pocítí i zemědělci a jejich plodiny. Bude nutné se vyrovnat se suchem. Je velice pravděpodobné, že se bude muset častěji uměle

zavlažovat, což bude velice technicky a ekonomicky náročné, hlavně v ekonomicky slabších regionech světa. Problém pro zemědělství bude také silná eroze vyvolaná právě vlivem extrémních projevů počasí. Dalším důležitým dopadem je lidské zdraví, kdy je velice pravděpodobné další rozšíření alergií, infekčních a virových onemocnění [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Dále může mít změna klimatu za důsledek změny v množství a kvalitě pitné vody, množství vody v přirozených tocích, což má znovu za důsledek zvyšující se teplota. Menší sněhová pokrývka také zásadně omezuje dostupnost podzemní vody. Svoji daň si měnící klima vybere i na biodiverzitě. Je středně pravděpodobné, že nás čeká další masové vymírání druhů [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, Marek, 2022].

V článku, který vyšel v časopise Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) [Kemp et al., 2022], vědci vyzývají Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC), aby v příštích zprávách panel zvýšil informační tlak na stále častější problémy, které sužují především země třetího světa. Jsou to hladomor a podvýživa, extrémní počasí, konflikty a infekční nemoci. Klimatické modely v této studii poukazují na to, že by do roku 2070 mohlo obývat oblasti extrémních veder přes dva miliony lidí. Zvyšující průměrná roční teplota bude mít pravděpodobně vliv na lokální zemědělství, kdy bude mnohem složitější nasýtit stále rostoucí populaci a hrozí selhání světového potravinového systému. Dle tohoto modelu bylo také zjištěno, že 58 % infekčních nemocí, které lidstvo postihuje, bylo v určitém okamžiku zhoršeno klimatickými riziky, 16 % z nich bylo občas sníženo. Horké a extrémnější počasí by také mohlo vytvořit podmínky pro vypuknutí nových nemocí, protože se mění a zmenšuje životní prostředí lidí i volně žijících živočichů. Dalším vážným problémem, který by mohla vyvolat změna klimatu, jsou lokální konflikty o přírodní zdroje jako je třeba voda nebo fosilní paliva [Kemp et al., 2022].

Změna klimatu má významný dopad na atmosféru ve městech, což se projevuje například efektem městského tepelného ostrova, vlnami veder, suchem a extrémními povětrnostními jevy. Města se snaží tyto důsledky zmírnit pomocí strategií jako je zelená infrastruktura a dalšími opatření na ochranu vody. Je ale důležité, aby se města i nadále zabývala výzvami spojenými se změnou klimatu a zajistila tak zdraví a pohodu svých obyvatel [Dobrovolný et al., 2012].

Mitigace

Mitigace klimatické změny zahrnuje důležité kroky k redukcí a snížení emisí skleníkových plynů, zvýšení energetické účinnosti a zmírnění následků klimatické změny. Tyto významné kroky mohou být začleněny do několika úrovní. Od individuálních přes regionální až po státní a mezinárodní. Je tedy třeba nahradit fosilní paliva mezi něž řadíme uhlí, ropu a zemní plyn obnovitelnými jako například slunce, vítr, voda, nebo biomasa [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022]. Nebo bude možné nahradit sice neobnovitelnou, ale dle studie [Hassan et al., 2020] nízkoemisní výrobou energie z jádra atomu. Bohužel limitem této technologie jsou obrovské počáteční náklady a mnoho starostí s vyhořelým palivem.

Dalším logickým mitigačním krokem je zvýšení účinnosti procesů. Je možné vylepšit účinnost budov pomocí lepší izolace a jiného konstrukčního řešení, optimalizovat výrobní procesy a tím snížit uhlíkovou stopu výrobku. K tomu mají velký potenciál přispět neuronové sítě a umělá inteligence. Další možností je vyměnit automobily s konvenčními spalovacími motory za motory elektrické, kde je sporné zda jsou šetrnější k životnímu prostředí, když vezmeme v potaz, že více než třetina elektřiny v ČR je vyrobena v uhelných elektrárnách [Marek, 2022].

Změnit také můžeme chování jednotlivců. Způsob života také hraje svoji roli. Tyto změny mohou zahrnout snížení spotřeby energie v domácnostech, volby energeticky úsporných produktů a služeb nebo třeba každodenní návyky [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022]. Pokud vyměníme jeden den v týdnu kolo nebo MHD za automobil, dojde tak v výrazném snížení emisí CO₂ [Brand et al., 2021].

Dalším způsobem, jak snížit množství uhlíku v atmosféře, je ho ukládat z rychlého cyklu zpět do půdy tj. do pomalého cyklu. Studie švýcarských vědců [Bastin et al., 2019] dodává naději, jak by bylo možné odebrat z atmosféry velkou spoustu atmosferického uhlíku. Dle této studie je potřeba během velmi krátké doby vysadit bilion stromů, což by bylo území odpovídající přibližně rozloze USA. Prostoru pro vysazení takového objemu stromů je dle studie dostatečně. Studie uvádí, že by během několika desetiletí tato biomasa přeměnila téměř 750 miliard metrických tun oxidu uhličitého, který by jinak přispíval k oteplování naší planety. To je přibližně ekvivalentem toho, kolik lidstvo vypustilo CO₂ za posledních 25 let do atmosféry [Bastin et al., 2019].

Ze satelitních snímků NASA vyplývá, že se naše modrá planeta začíná zelenat,

a to v průměru o 5 % za posledních dvacet let. Za tímto nárůstem stojí především ambiciozní projekty v Číně a Indii, kde byl nárůst největší. Celkový nárůst zelené plochy je přibližně stejně velký jako amazonský deštný prales. Plocha zeleně se za deset let zvětšovala v průměru o 2,3 procenta, přičemž Čína (11 %) a Indie (7 %) jsou v popředí. EU (5 %), Kanada (4 %), Rusko (4 %), Austrálie (3 %), Spojené státy americké (3 %) a Mexiko (2,5 %) [Chen et al., 2019].

Je ale dobrý nápad jít a začít bezhlavě sázet miliony stromů?

Emise skleníkových plynů je nutné snížit okamžitě a ne čekat desítky let než vyrostе les. Další potíží jistě bude stále rostoucí teplota, kdy nebude jisté, zda se pracně zasazené stromy adaptují na nové podmínky. Dle studie publikované v časopise Nature [Hoek van Dijke et al., 2022] může narůst teplot snížít do roku 2050 globální potenciál pro zalesňování až o 25 %. Tato studie rovněž apeluje na nerozvážené a nepromyšlené sázení stromů. Takové sázení může zásadně změnit dostupnost vody a živin v krajině. Takto rozsáhlé změny budou mít dopady na mnoho mechanismů v přírodě [Hoek van Dijke et al., 2022].

Další studie, která byla také zveřejněna v časopise Nature [Büntgen et al., 2019], se zabývá ukládáním uhlíku v lesích. Autoři popisují, že strom neumírá stářím, ale tehdy, kdy dosáhne určité velikosti (tuto velikost může i překročit, ale k tomu dochází výjimečně). Z čehož vyplývá, že čím rychleji malý strom roste, tím rychleji umírá a znovu vypustí rychle nahromaděný uhlík zpět do atmosféry. Tropické pralesy rostou rychle a neukládají uhlík na dlouhou dobu. Na rozdíl od lesů mírného pásu nebo třeba lesů tajgy, kde se uhlík ukládá na dlouhou dobu. Z toho vyplývá, že velice záleží na tom, kde stromy budou vysazeny [Büntgen et al., 2019].

Nadšení z neuváženého vysazování stromů je nutné krotit. Je třeba se při klimatickém sázení soustředit nejen na počty vysazených stromů, ale i na důležitější parametry jako například jak rychle strom roste, na jak dlouho se v něm akumuluje atmosferický uhlík, o jaký druh stromu se jedná, jak bude se stromem naloženo při obmýtí a jaká je jeho případná adaptace na měnící se podmínky místního klimatu s vyhlídkou na nadcházející desítky let.

Adaptace

Na očekávané dopady klimatické změny se budeme nutné přizpůsobit nebo—li adaptovat. Je nezbytné přijmout takové opatření, které zmírní negativní dopady změny klimatu, nebo je úplně eliminují. Adaptační opatření je v podstatě

jakákoliv managementové opatření, jež vede ke snížení zranitelnosti vůči dopadům klimatické změny. Může to být šlechtění nových a odolnějších plodin vůči suchu nebo systém včasného varování a dokonalejší predikce extrémních jevů počasí až po technické aplikace v krajině, které mohou zamezit erozi, nebo vodohospodářské díla, jež mohou zamezit povodním [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, Perun, 2023].

Adaptace na změnu klimatu bude náročný proces, který bude vyžadovat zapojení vlád i soukromého sektoru. Bude nutné také začít i se změnou individuálního postoje k životním hodnotám, prioritám a společenského chování. Bohužel je z politického hlediska dost nepopulární dělat rozhodnutí, které se projeví až za několik funkčních období nebo v době, kdy pravděpodobně daný státník již nebude na živu [Marek, 2022].

Díky těmto a dalším opatřením můžeme spolupracovat na řešení zmírnění dopadů změny klimatu na horské regiony, které jsou na takovéto změny velice citlivé. Je tedy velmi důležité podniknout kroky k ochraně a zachování těchto životně důležitých a krásných částí naší planety.

4 Dopady klimatických změn v horských oblastech

Klimatické změny jsou globálním fenoménem, který ovlivňuje klima Země různými způsoby. Dopady změn a z nich proudící rizika se kaskádovitě šíří. Dopady plynou skrz pobřežní oblasti, centra měst a také se vážně dotýkají horských oblastí, které jsou křehké a citlivé. Pro tuto práci byly vybrány právě horské oblasti díky jejich pozoruhodným specifikům. Horská krajina a její ekosystémy jsou zásadní oblasti pro biodiverzitu, jsou zdrojem a zásobárnou vody. Jsou to centra mnoha kultur a ikonou mnoha náboženství, a to díky nezaměnitelnému geniu loci a její kulturní historii. Tyto nádherné oblasti jsou vystavovány stresovým faktorům jako změny ve využívání půdy, přemnožení invazních druhů rostlin a živočichů a hlavně antropogenním dopadům. V Alpách a obecně v Evropě je bohatá historie zaznamenávání dat, kdy bylo pečlivě monitorováno klima, jeho stav, velikost zaledněné krajiny, množství sněhu a mnoho dalších signálů, které mohou napomoci pochopit tyto procesy, jež se v této krásné, ale drsné krajině dějí [Kohler et al., 2014].

Ve zprávě IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022] se uvádí, že při globálním oteplení blížícím se nárůstu 2 °C v porovnání s předindustriálním obdobím se sníží dostupnost vody z tajícího sněhu pro zavlažování o 20 % a globální úbytek horských ledovců sníží 18 ± 13 % přístupnost vody pro potřeby lidí, zemědělství nebo hydroenergetiku ve střednědobém až dlouhodobém výhledu. Při pesimistické scénáři oteplení o 4 °C se mohou tyto hodnoty zdvojnásobit.

4.1 Specifika horského klimatu

Hory jsou v podstatě zemské útvary, jež se vyznačují výrazným převýšením nad okolním terénem. Obecně platí, že horské oblasti Alp jsou přibližně od výšky 2 000 m.n.m.. Klima těchto oblastí je velice odlišné. Je možné pozorovat rozdíly teplot s rostoucí nadmořskou výškou a vyšší srážkové úhrny zejména ve formě sněhu. Dále můžeme pozorovat silnější vítr znovu z důvodu vyšší nadmořské výšky. Díky vysokému obsahu vodní páry v ovzduší a častějším srážkám je v

horském prostředí také větší vlhko v porovnání s oblastmi níže. V neposlední řadě je vhodné zmínit vysoké kontrasty mezi denní a noční teplotou [Gabl, 1996].

V oboru horské klimatologie bylo od začátku století dosaženo mnoho nových objevů a poznání v několika oblastech. V problematice srážek jak sněhových, tak dešťových v horských oblastech alpské klimatologové stále narážejí na limity nedostatku měřících stanic na vhodných místech, ale nejnovější studie ukázaly že se rozložení srážek může měnit jak v závislosti na orientaci svahu, tak na geografickém umístění. Například ve středním Švýcarsku jsou maximální úhrny srážek zaznamenány na západních svazích. Ve středních Alpách jsou naopak největší úhrny srážek na severních a jižních svazích [Barry, 2012].

Další významnou pomůckou pro studium klimatu je dálkový průzkum země, kterým lze snadno a efektivně sledovat měnící se rozložení horkých ledovců. K takovému monitoringu se využívají satelity na oběžné dráze Země, drony s technologií lidar nebo mimo jiné například elektromagnetické vlny. Díky této technologii jsou vědci schopni spočítat velikost ledovce i jeho potencionální odtok a tím zjistit jeho příspěvek ke globálnímu zvyšování hladiny moře [Barry, 2012].

Specifika Alpského klimatu

Alpy jsou specifické pohoří, které se nachází v centru Evropy a díky této poloze jsou velice hustě osídlené. Jejich umístění v mírném pásu v kombinaci s blízkým mořem a teplými proudy z něj zajišťuje existenci mnoha ekosystémů. Tvoří také velkou kulturní funkci, jednak díky jejich bohaté historii, tak kvůli turistice a sportu. Alpy jsou také intenzivně využívány k průmyslové činnosti, dopravou, vodní energetikou i zemědělsky [Kohler et al., 2014].

Italští geografové rozlišují Alpy na západní, střední a východní. Západní Alpy se táhnou ze západu od Monaka, kde přecházejí tvarem půlměsíce přes nejvyšší bod Mt. Blanc (4809 m.n.m.) do Švýcarska. Dále se střední část Alp rozléhá na území Lichtenštejnska, Itálie a Rakouska. Východní cíp sahá v podstatě až do Vídně na severu a na jihu až do části Slovinska. Jiní geografové, především ze severnějších regionů, rozdělují Alpy jen na západní a východní. Hranicí pro něj je pomyslná čára mezi Bodamským jezerem (*Bodensee*) a Komským jezerem (*Lago di Como*) [Rott et al., 1993].

Alpské klima je velice specifické díky rozdílu mezi vysokými letními teplotami a velice nízkými teplotami v zimě, díky jejich nadmořské výšce a promínení vrcholů. Dále se vyznačují bohatými sněhovými srážkami během zimy, ve

vnitřních oblastech Alp slabšími větry a velice silnými větry na okrajových štítech především na jihu vlivem oceánu. Dále se vyznačují vysokou vlhkostí. Nižšími teplotními rozdíly mezi dnem a nocí, což svědčí lokální floře. V neposlední řadě jsou Alpy specifické vysokým UV zářením díky vysoké nadmořské výšce a čistému vzduchu. Alpy jsou předmětem dlouhodobého vědeckého zájmu díky své atraktivitě i tím, že je v Evropě dlouholetá vědecká tradice přírodních věd [Ives and Barry, 2019].

Alpy se oteplily za posledních 100 let o přibližně 1,6 °C, což je mnohem více než světový průměr, který je 1,1 °C v porovnání od konce malé doby ledové, kdy se rozloha ledovců v Alpách zmenšila přibližně o polovinu a zmenšuje se dále [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

4.2 Dopady na ledovce a sněžná čára

Nejvíce viditelný a diskutovaný dopad má v Alpách změna klimatu na ledovce. Především na to, jak je známe. S rostoucí průměrnou teplotou tají a zmenšují svoji rozlohu. Další co ustupuje, je sněžná čára, která s každou desetinou stupně Celsia stoupá výše.

Ledovce

Horské ledovce jsou fascinující hydrogeologické útvary. Ledovce se tvoří tam, kde je teplota dostatečně nízká na to, aby sníh a led zůstávaly přes celý rok. Jsou to obrovské masy zmrzlé sladké vody, které se pohybují jako řeka horskou krajinou a přetváří ji svoji obrovskou erozní silou. Horské ledovce se nacházejí v horách po celém světě včetně And, Alp, Himálaji, Kavkazu a mnoha dalších pohoří [Rott et al., 1993]. Polovina ledovců, které po sobě zanechala malá doba ledová, již zmizela přelomem tisíciletí. A i kdyby se teď hned zastavila veškerá produkce skleníkových plynů, tak stejně polovina ledovců v Alpách do 3 500 m.n.m zmizí do roku 2050 [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022].

Horské ledovce mizí a ztrácejí svůj objem v důsledku vyšších teplot a změn srážkových režimů. Alpy se oteplily v porovnání s předindustriálním prostředím o 1,6 °C, což je mnohem více než je světový průměr. Například obrovský ledovec Weißseespitze, který se nahromadil za téměř 6 000 let, může vlivem současného



Obrázek 2: Ledovec Ködnitzkees na hoře Großglockner Rakousko 2022.

Zdroj: Soukromý archiv autora

oteplování zmizet během dvou desetiletí. Vrstvy tohoto ledovce jsou archivem, který napovídá o své historii pomocí organismů a složení prvků v nejstarších vrstvách ledu [Bohleber et al., 2020].

Ledovce velice silně erodují své podloží třením a tlakem milionů tun ledu. Tento tlak může být tak silný, že deformuje podloží, vyhlubuje údolí a může vytvářet brázdy a drážky, jež se nazývají glaciální dráhy. Míra eroze může dosáhnout až 10 mm pevné horniny za rok. Dále se můžeme setkat s morény, což jsou hromady hornin vytlačené na okraj ledovce. Rychlost ledovců, jakou cestují, je velice individuální. Rekordmanem je ledovec Franz Josef v Jižních Alpách na Novém Zélandu s nejvyšší změřenou rychlostí 3 m/den. Jiným zase trvá urazit tuto vzdálenost i desetiletí. Vše závisí na míře lubrikace mezi podložím a ledovcem, morfologii terénu a sklonu terénu [Herman et al., 2015, Oerlemans, 1997].

V důsledku pohybu a vnitřního pnutí v ledovci se tvoří rozštěpy, které nazýváme trhliny. S rostoucí teplotou se množství trhlin může zvyšovat tím, že jsou ledovce měkčí a křehčí. Zvyšování počtu trhlin může mít také vliv na celkovou stabilitu ledovce, který tímto ztrácí svoji stabilitu a hrozí rozpuknutím. Trhliny ovlivňují hydrologii ledovců, spojují vodní cesty a přivádějí teplejší vodu z povrchu, tím

podporují ohřívání spodních vrstev ledu. Trhliny jsou ukazatelem stavu ledovce a můžeme je sledovat mnoha způsoby například pomocí elektromagnetických nebo seismických vln [Lindner et al., 2019].



Obrázek 3: Trhlina ledovce na hoře Marmolada Dolomity Itálie 2021.

Zdroj: Soukromý archiv autora

Albedo je jedním z důležitých faktorů energetické bilance Země. Na povrchu ledovců se vlivem zvyšující teploty a změn v distribuci srážek tvoří tůně a potoky vody, které jsou mnohem tmavší než ledovec. V důsledku toho se celkové albedo povrchu snižuje a ledovec absorbuje více slunečního záření, které akumuluje, což způsobuje další tání. Tento proces může vést k pozitivní zpětné vazbě, kdy se tání ledovců zrychluje kvůli nižšímu albedu, což vede k dalšímu snížení albeda a tání [Naegeli and Huss, 2017].

Alpy ale nebyly vždy zaledněné tak, jako můžeme pozorovat dnes. V průběhu času se množství a velikost ledovců měnila, jak dokázal článek [Bohleber et al., 2020], který se zabývá historickým zaledněním jihozápadu rakouských Alp v okolí hory Weissseespitze. Pomocí vzorků odebraných ve výšce 3 500 m.n.m. zjistili, že

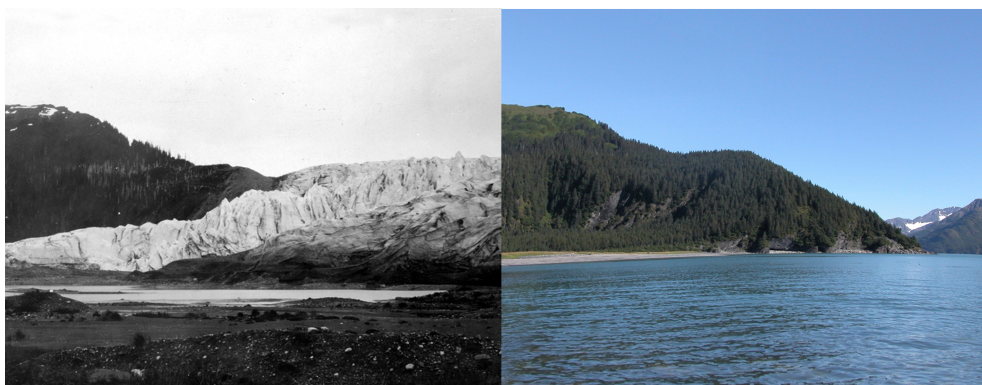
led, který se tam nachází, je starý přibližně 5 900 let. Dle studie je tedy velice pravděpodobné, že alpské vrcholy do čtyř tisíc metrů nebyly do té doby pokryty ledem. Tento ledovec je tedy potomkem holocenního neoglacálu v Alpách. V holocénu zůstaly ledem pokryté pouze nejvyšší vrcholy. Do výšky čtyř tisíc metrů nad mořem pravděpodobně nebyl led nebo byly pokryty ledovci výrazně méně než dnes.

Ledovce napříč světem ustupují a ztrácejí svůj objem [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013]. Jako indikátor ústupu ledovců posledních desetiletí můžeme brát nález ledového muže „Ötziho“ na rakousko italské hranici ve výšce přibližně 3 200 metrů nad mořem poblíž sedla Tisenjoch [Bohleber et al., 2020]. Ledovce se sledují již více než sto let a výsledky z měření jsou jasným důkazem klimatické změny. Je nepřehledné množství historických i moderních fotografií, satelitních i leteckých snímků, jež dokazují ústup ledovců v porovnání s koncem malé doby ledové [Zemp et al., 2015].

Ústup ledovců ale není jednoznačný. Byly nalezeny desetileté regionální a individuální výjimky, které naznačují opětovný postup ledovců. Příklady můžeme najít ve vlhčích částech Norska, v Jižních Alpách Nového Zélandu nebo v nejvyšších horách Himaláje. Globálně ale tyto přírůstky jsou zanedbatelné a na celkové bilanci nejeví žádný rozdíl v porovnání stoletého časového období a stále převládá trend intenzivního tání ledovců [Kohler et al., 2014].

Za účelem monitoringu ledovců a tvorby ledovcových map v rakouských Alpách byly v roce 1969 pomocí leteckých snímků nafoceny všechny ledovce. Tyto mapy obsahují mimo jiné výškové vrstevnice a hranice ledovců. Výstupem byla tedy mapa a vypočtená plocha ledovců v Rakousku $540 \pm 10 \text{ km}^2$ pro 925 ledovců v roce 1969. Tento proces se zopakoval v roce 1996, 2006 a v roce 2015. Výsledky tohoto srovnání jsou takové, že v posledních třech desetiletích došlo k výrazné redukci téměř všech ledovců v Rakousku. V Ötztalu -17 % až -20 %. Ztráta ledovců je nejvýraznější ve výšce pod 2 600 metrů. Celková ztráta ledovců během tří desetiletí byla 22 % z celkového objemu. Je třeba ale zmínit že největší část tohoto objemu roztála během posledních deseti let [Lambrecht and Kuhn, 2007].

Ledovce byly i historicky objektem zájmu, a proto je v historických archivech mnoho fotodokumentace. Pro názornost byla vybrána tato dvě srovnání viz níže obrázek 4 a obrázek 5.



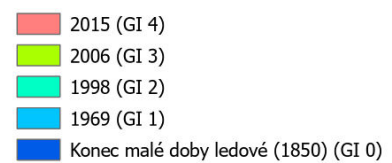
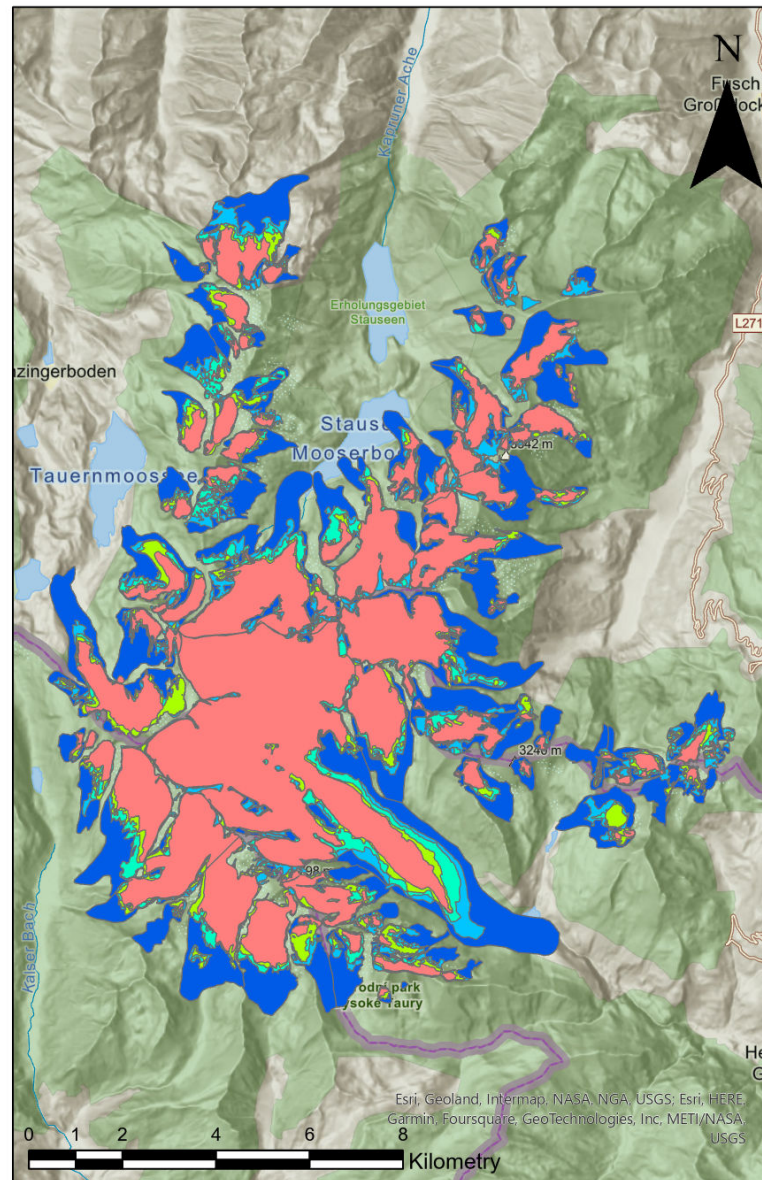
Obrázek 4: Ledovec McCarty Alijaška USA 1909-2004. Zdroj: [NASA, 2023]



Obrázek 5: Ledovec Muir Alijaška USA 1941-2004. Zdroj: [NASA, 2023]

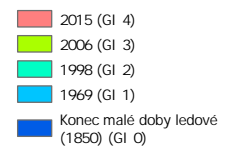
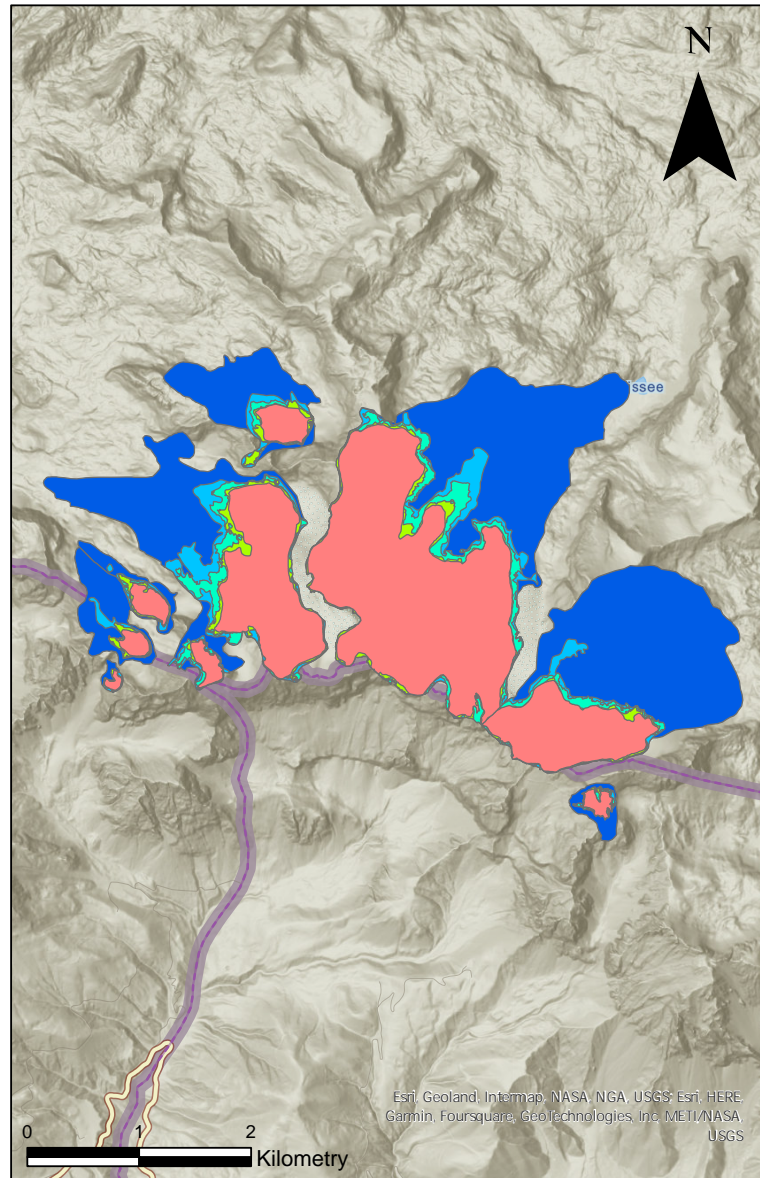
Dle dobových ledovcových map, historických záznamů, leteckého snímkování a satelitního snímkování byly vytvořeny mapové podklady [Buckel and Otto, 2018, Fischer et al., 2015] pro vizualizace ústupu ledovců viz obrázek níže 6 a obrázek 7.

Vizualizace ústupu ledovců od konce malé doby ledové v oblasti Glocknergruppe



Obrázek 6: Ústup ledovců oblast Glocknergruppe Rakousko. Zdroj: [Buckel and Otto, 2018, Fischer et al., 2015]

Vizualizace ústupu ledovců od konce malé doby ledové v oblasti Dachsteingruppe



Obrázek 7: Ústup ledovců oblast Dachsteingruppe Rakousko. Zdroj: [Buckel and Otto, 2018, Fischer et al., 2015]

Sněžná čára

Sněžná čára je pomyslná horizontální hranice mezi zasněženým a nezasněženým povrchem v určité nadmořské výšce. Na mnoha místech světa se tato hranice může měnit v závislosti na ročním období. Také se může měnit rok od roku vlivem dalších vstupů. Výšková hranice sněhu se měří mnoha způsoby, například pomocí statických kamer, leteckého snímkování nebo snímkování ze satelitů. Díky tomu, že je možné hranici sněžné čáry měřit takto relativně snadno na dálku, se stala důležitou proměnnou v hydrologických modelech [Bishop et al., 2011].

Výšku sněžné čáry od úrovně moře určuje několik faktorů. Nejdůležitějším z nich je jistě zeměpisná šířka. Dalším činitelem může být například vzdálenost od pobřeží nebo lokální mikroklima. Pro srovnání je zde porovnání průměrné výšky sněžné čáry na určitých místech Země. Na Špicberkách, které jsou přibližně na 78 °, je průměrná výška sněžné čáry 300-400 m.n.m.. Island 65 ° má přibližně 700-1 000 m.n.m.. severní část Alp 48 ° 2 500-2 800 m.n.m.. Alpy, které jsou jižněji tedy v 46 °, mají sněžnou čáru o trochu výš 2 700 m.n.m.. V Himaláji přibližně na 30 ° je výška sněžné čáry 4 800-6 000 m.n.m.. Tanzanské Kilimandžáro ležící na -3 ° zeměpisné šířky má sněžnou čáru v 5 500-5 600 m.n.m.. Za pozornost jistě stojí zélandské Jižní Alpy, které se rozkládají na -43 ° a mají sněžnou čáru ve výšce 1 600-2 700 m.n.m. [Bishop et al., 2011].

Lavinové nebezpečí

Lavina je obrovský masiv velkého množství sněhu řítící se po svahu vlivem gravitace. Laviny jsou jedno z největších přírodních nebezpečí v zimních horách ohrožující lidské životy i infrastrukturu. S klimatickou změnou se frekvence a typy lavin mohou měnit. V Evropě a Severní Americe se pomocí vhodných aplikací v krajině daří efektivně předcházet škodám na infrastruktuře. Bohužel v oblastech Asie a Jižní Ameriky jsou stále časté laviny, které ničí důležitou infrastrukturu a lidská obydlí. v Alpách se lavinové nehody týkají především zimních rekreatantů. Přibližně 90 % lavin, při kterých dojde ke zranění, způsobí člověk svojí činností [Strapazzon et al., 2021].

Studie [Martin et al., 2001] provedená na začátku tisíciletí, naznačuje možné mírné snížení lavinového nebezpečí v zimě, především v únoru a výrazněji v pozdních jarních měsících. Také se počítá se zvýšením podílu lavin mokrého a těžkého sněhu v důsledku globálního zvyšování teploty a změně srážek. Ve všech polohách se počet dní se středním a vysokým lavinovým nebezpečím dle této stu-

die bude snižovat. Tato studie brala v úvahu pouze samovolně spuštěné laviny, ne laviny spuštěné lyžaři.

Výzkum [Strapazzon et al., 2021], který se zabývá vlivem klimatické změny na horské laviny, přináší komplexní pohled na tuto problematiku. Vlivem dlouhodobých změn v teplotě vzduchu a rozložení sněhových srážek se předpokládá, že bude v zimní sezoně méně sněhu, což ale nemusí znamenat méně lavin. Četnost lavinových událostí by se měla od druhé poloviny do konce 21. století snížit přibližně o 20- 30 % v porovnání s obdobím 1960- 1990. Měnit by se měl hlavně typ lavin na především laviny mokrého a těžkého sněhu. Obecně lze tedy říci, že množství a dojezdová vzdálenost lavin v Alpách se sníží v nižších oblastech a ve vyšších polohách nad 3 000 m.nm. zůstane přibližně stejná, pouze se bude měnit hustota sněhu.

Hlavní lavinové cykly v horách jsou spojeny s intenzivními bouřemi a teplotou vzduchu během nich. Dalším důležitým faktorem je předchozí stratigrafie podkladového sněhu. Tato studie také predikuje větší počet zranění vlivem lavinových událostí, jelikož se zvýší drsnost podkladového povrchu a je předpoklad nižší mocnosti sněhového podloží. Dále také očekává nárůst hustoty sněhu vlivem vyšší průměrné teploty. Díky užívání moderních technologií, jako jsou lavinové vyhledávače a airbagové batohy, klesá doba vyhledání osob a stoupá šance na přežití. Pokud není osoba pod lavinou vykopána do 35 minut, tak je velice pravděpodobné její udušení. Vlivem větší hustoty sněhu se bude zasypanému hůře dýchat a bude docházet k takzvané asfyxii [Strapazzon et al., 2021].

4.3 Dopady na biologickou rozmanitost

Jednou z největších hrozeb pro biologickou rozmanitost v horských oblastech je změna klimatu. Tyto procesy mění stanoviště a zdroje potravy živočichů vlivem změn teploty a srážek. Vzhledem k oteplování zemského klimatu je pro mnoho druhů obtížné přizpůsobit se měnícím se podmínkám. Bohužel změny probíhají tak rychle, že je pro druhy velice obtížné se těmto změnám adaptovat. Vyšší teploty mohou například způsobit posun areálů některých druhů, což je přivede do kontaktu s novými konkurenty nebo predátory. Změny ve srážkových vzorcích mohou mít zároveň velký dopad na biologickou rozmanitost, protože některé druhy mohou vyžadovat specifické úrovně vlhkosti aby prosperovaly. Tyto faktory byly studovány v čínské části pohoří Altaj, kde jsou polopouštní stanoviště, které jsou

vlivem antropologických i klimatických tlaků vysušovány a tím pádem desertifikovány. Průměrné roční teploty v této oblasti se v období 2000-2008 zvýšily o 3,34 °C ve srovnání s obdobím 1957-1966 [Ye et al., 2019].



Obrázek 8: Alpská krajina, Ravenska Kočna Slovinsko 2022.

Zdroj: Soukromý archiv autora

Autoři této studie modelovali budoucí biologickou diverzitu pomocí počítačové simulace zohledňující mimo jiné kombinované změny půdního pokryvu a klimatu, zjistili, že se u většiny druhů razantně zmenšil areál rozšíření, ale také že některé druhy savců, jako je například vlk, kozorožec nebo levhart, by mohly mít v budoucnu lepší šance na přežití, pokud se zlepší ochrana přírody a pokud se změní pokryv země. [Ye et al., 2019]

S rostoucí teplotou a mizejícími ledovci se posouvají i areály rozšíření rostlin, jež rostou v blízkosti ledovců. Když pomineme klasické klimaxové rostliny v nadmořských výškách, tam můžeme najít i různé vzácné pionýrské druhy na okrajích ledovců. Jedná se především o lišejníky a mechy, které vykazují mnohem lepší mechanickou odolnost vůči poškození na rozdíl od cévnatých rostlin. Niž položené ledovce mají vyšší vegetační pokryv okolo 38 %. Důležité pro tyto rostliny je mikroklima, zásobení vodou, živiny, délka vegetačního období, trvání sněhové pokrývky a délka slunečního svitu. Proto může být ohrožen výskyt těchto

rostlin s mizícími ledovci [Burga and Frauenfelder, 2019].

Studie [Shrestha and Shrestha, 2019], která studovala vliv změny klimatu na možnost rozšíření nepůvodních invazivních rostlin v horských oblastech Nepálu, dospěla ke znepokojivým výsledkům. V první řadě se pro 75 % invazivních rostlin zlepšily podmínky pro život a budou tak své areály rozšíření moci dále zvětšovat. Vhodné niky pro život bude mít 24 z 26 testovaných druhů rostlin při použití středního scénáře emisí skleníkových plynů s výhledem do roku 2050. Tyto invazivní druhy budou mít negativní dopad na lokální zemědělství a následně i ekonomiku, pokud nebudou podniknuta preventivní opatření.

Další oblastí, které se může výrazně změnit podmínky, jsou horské sladké vody. Do těchto přírodních jezer, tůní nebo nádrží se mohou vlivem extrémních atmosférických procesů dostat prachové částice dopravující mikroorganismy. Vlivem příznivějšího počasí, zejména zvýšené teploty, se tyto organismy mohou celkem jednoduše přizpůsobit a začít prosperovat v těchto oblastech. Tyto organismy mohou mít v horských oblastech významné ekologické dopady, zejména pak v interakcích s hostiteli a prostředím. Tato nová lokalita pro patogeny může představovat území bez konkurence a následný exponenciální růst populace [Schmeller et al., 2018].

Změna klimatu také přispívá ke ztrátě biologické rozmanitosti prostřednictvím rostoucí frekvence a závažnosti extrémních povětrnostních jevů jako jsou vlny veder, sucha, bouře nebo povodně. Tyto události mohou mít ničivé dopady na suchozemské i mořské ekosystémy a mohou vést ke ztrátě celých druhů nebo celých ekosystémů [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Horské lesy poskytují ochranu horské biodiverzity. Není tomu jinak ani v Alpách. Tyto lesy pomáhají chránit organismy před sesuvy kamení a půdy, zadržují vlhkost a chrání před velice intenzivním slunečním svitem, který je ve vyšších nadmořských výškách silnější. Například 50 % lesů ve Švýcarsku chrání před přírodními riziky. Pokud by tyto lesy neplnily svoji funkci, muselo by je nahradit mnoho technických opatření, která by byla velice ekonomicky i technicky náročná [Kohler et al., 2014].

Často se stává předmětem ochrany přírody lokalita, která chrání určité druhy. Tyto druhy jsou často krásné a jedinečné. Těmto druhům se říká vlajkové nebo deštníkové. Proč ale chránit jen určité druhy? Řešením není chránit jen určité druhy, ale tyto druhy svými potřebami zaštití mnoho dalších a ochranou jich prosperuje celý ekosystém. Právě rozmanitý les alpského typu může efektivně

chránit nižší polohy před sesuvy půdy, kamení a lavin [Kohler et al., 2014].

4.4 Dopady na horské vodní zdroje

Nedostatek vody je jeden z nejzávažnějších celosvětových problémů, který stále sílí nárůstem populace především v rozvojových zemích. Dle globálního hodnocení dopadů změny klimatu na nedostatek vody [Gosling and Arnell, 2016] se odhaduje že 1,6 až 2,4 miliardy lidí je v současné době ohroženo nedostatkem vody. Především v jižní, východní Asii a Jižní Americe. Modelováním budoucího klimatu v globálním měřítku především pomocí faktorů vývoje populace a stávajících tlaků na vodní zdroje se ukázalo, že bude v roce 2050 žít v oblastech vystavených suchu a nedostatku vody přibližně 3,1 až 4,3 miliardy lidí.

Voda z horských oblastí je klíčová pro fungování jak horských, tak i dalších ekosystémů a hlavně zásobuje vodou miliardy lidí po celém světě. Klimatická změna může vést ke změnám vodního režimu, znečištění vody a neúměrné erozi půdy, která může přispívat až k nestabilitě vodních děl. Pro dostupnost vody je zcela zásadní množství sněhové pokrývky během zimní sezony. Sněhová pokrývky je také zcela zásadní pro množství podzemní vody. Vlivem změny klimatu můžeme očekávat menší množství sněhových srážek v zimním období, což povede k menší akumulaci sněhu a tím pádem na jaře nebude sníh postupně tát a tím pozvolna zásobovat nižší oblasti [Marty et al., 2017]. Odtok z tajícího sněhu, ledovců a dešťových srážek v horách vytváří 32 % celosvětového odtoku a to je voda, kterou polovina obyvatel světa pije a používá k hygieně [Marston, 2008]. Vzhledem k tomu, že většina sněhové pokrývky ze sledované části Alp končí jako voda ve třech hlavních řekách ve střední Evropě (Rýn, Dunaj a Po), může mít velký dopad na využití vody po proudu (vodní energetika, zavlažování, lodní doprava), zejména v předpokládaných sušších obdobích léta [Marty et al., 2017].

Ve východních Alpách se stále zvyšuje počet povodňových událostí, které způsobují škody jak na majetku, tak i v přírodě. Můžeme pozorovat, jak se horskou krajinou valí velké množství vody, které způsobuje erozi, ta může vést až k suťovým povodním, jež svou silou mechanicky přetváří koryta řek a místy i krajinu. Tyto události jsou připisovány klimatickým změnám [Keiler et al., 2010]. Klima ve východoevropských Alpách se ve 20. století otepluje přibližně dvakrát rychleji než je průměrně na severní polokouli, což má za důsledek intenzivnější bouře, jež způsobují povodně. V Rakousku neustále roste počet budov poten-

cionálně ohrožených povodněmi nebo sesuvy půdy. Od počátku 20. století se počet takto ohrožených budov zvedl šestinásobně. Je ale nutné podotknout, že mnohé budovy byly záměrně vystavěné v exponovaných oblastech kvůli jejich vhodné poloze blízko vodního toku nebo pro turistickou atraktivnost místa. Proto jsou již od 19. století systematicky plánována technická opatření pro zmírnění následků povodní jako například břehové opěrné zdi, kontrolní hráze nebo různé systémy kaskádových hrází.

Jedním z dalších odvětví, které poznamená klimatická krize, je horská vodní energetika. S vysokou pravděpodobností budou ovlivněné hydrologické cykly a průtok řek. Konkrétní dopady se ale budou lišit v závislosti na regionu. V zónách, kde očekáváme více srážkových událostí, by mohlo docházet k častějším povodním a s tím spojeným větším průtokem řek, což by teoreticky mohlo pozitivně ovlivnit hydroenergetiku. V sušších oblastech s nižším potenciálem srážek bude nejspíše docházet k poklesu vodních zdrojů a bude prakticky nemožné vyrábět elektřinu pomocí vody [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].



Obrázek 9: Hydrologická soustava Grimselsee a Räterichsbodensee Švýcarsko 2021.

Zdroj: Soukromý archiv Ing. Šarlota Dušková

Jako nejzajímavější a nejlépe navržený hydroenergetický systém je možné označit ten švýcarský, jenž má dlouhou historii a je jedním z největších výrobců energie pomocí vody. Švýcarský systém má výbornou účinnost hlavně díky technologiím a promyšlené síti elektráren. Na jednu stranu bude ale švýcarská hydroenergetika výrazně ohrožena změnou klimatu vlivem ústupu ledovců a snížení sněhových srážek, což bude mít vliv na množství sněhu a následně menšímu odtoku v jarních měsících. Na druhou stranu jsou očekávané nové technologie, jež se zmenší, zefektivní výrobu a bude je možné implementovat i na menší vodní toky. [Anghileri et al., 2018].

S hydroenergetickým systémem jsou spojena i jezera. Ať již jsou vytvořena člověkem nebo vlivem přírodních sil, tak se budou muset potýkat se změnami klimatu. Průměrná teplota těchto vysokohorských jezer se do konce století oteplí nad současnou teplotu o 2- 6 °C. S očekávaným zvýšením průměrné teploty vzduchu můžeme také očekávat větší výpar.

A jaká je budoucnost vysokohorských jezer?

Vlivem ustupujících ledovců a morén jimi vytvořených se v těchto kotlinách budou tvořit nová jezera, jež se napustí vodou z tajících ledovců. Je zde potenciál pro nové zásobníky vody, které budou možná vhodné k výrobě hydroenergie [Dokulil, 2022].

V jednom z nejsušších regionů ve Švýcarsku byl proveden projekt [Reynard et al., 2014], který analyzoval vliv změny klimatu a jak socioekonomické poměry ovlivní dostupnost vody v regionu do roku 2050. Očekává se, že distribuce vody v této oblasti bude mnohem slabší a ledovec, jenž zásobuje vodou údolí, by měl podle středního scénáře emisí zmizet do roku 2080. Je velice pravděpodobné, že cena pitné vody v tomto regionu bude stoupat. Také bude nutné najít lepší a udržitelnější způsob nakládání a transportu vody.

4.5 Dopady na lidská společenství

Nepochybně se změna klimatu dotkne i lidí obývajících horské oblasti. Tyto změny jsou patrné již dnes a lidé se s nimi snaží vyrovnávat. Jako jeden z nejdůležitějších odvětví bude zemědělství. Již dnes můžeme pozorovat sucho, jež má negativní dopad na pěstování plodin a chov dobytka, které jsou pro tyto oblasti typické. Dále se můžou do vyšších oblastí dostávat nové konkurenční druhy, které mohou vytlačovat ty původní. Na druhou stranu se toto může stát i do jisté

míry výhodou pro zemědělce a příležitostí k pěstování nových potravin tam, kde to dříve nešlo z klimatických důvodů [Falco et al., 2018].

V horách se také bude možné častěji setkat s extrémními projevy počasí. Jsou to povodně a sesuvy půdy, silný vítr a další. Tyto události mohou výrazně ničit obydlení, silnice, mosty a další infrastrukturu. Bude velice ekonomicky nákladné následně opravovat tuto poničenou infrastrukturu a jistě bude nutné investovat do ochranných opatření. Rozvinuté civilizace si s tímto problémem jistě poradí, ale problém nastane v zemích třetího světa, kde chybí jak finance, tak technologie [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Populace žijící především v horách Asie a Jižní Ameriky patří mezi nejchudší a nejhladovější na světě. Naprostá většina lidí v horských oblastech rozvojových zemí žije na pokraji chudoby a s dalšími dopady klimatických změn může tento problém dále narůstat. Horský terén sám o sobě svými klimatickými předpoklady a strmými svahy připravil náročné podmínky pro pěstování potravin. Plodiny zrají díky nadmořské výšce pomaleji, a proto zemědělci často sklízají pouze jednou ročně. K tomu všemu jsou horské půdy často degradované a poskytují rostlinám málo živin [Kohler et al., 2014]

Mezivládní panel dle své zprávy [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013] upozornil, že zvyšující se teploty a zvýšená četnost extrémních jevů počasí bude mít výrazný negativní vliv na zemědělské plodiny, hospodářská zvířata, lesy a rybolov. Tento jev se bude v horských oblastech násobit, jelikož jsou horské ekosystémy vůči změně klimatu zvláště zranitelné. Je středně pravděpodobné, že budou horské oblasti vystaveny stresu z nedostatku potravin a bude tím také ohrožena světová potravinová banka. Proto pro zlepšení potravinové bezpečnosti budou potřeba nové udržitelné technologie v zemědělství, které nebudou ekonomicky náročné a jednoduše aplikovatelné v rozvojových zemích [Kohler et al., 2014].

Z ekonomického i sociálního hlediska jsou obyvatelé horských regionů velmi slabí. Výjimkou jsou střeoevropské státy v čele se Švýcarskem. Horské regiony jsou často odlehlé s rozptýlenou infrastrukturou, slabě rozvinutým průmyslem a službami. Horské oblasti jsou velice bohaté na zdroje především surovin a materiálů. Ale doprava těchto surovin je často velice ekonomicky náročná, nízká dopravní infrastruktura společně se změnou klimatu a jejími dopady ve formě intenzivních dešťů a sesuvů půdy dopravu velice ztěžuje [Kohler et al., 2014].

Příklad podpory horských zemědělců a udržitelného využívání půdy můžeme

najít ve Švýcarsku. Vláda podporuje horské zemědělce vyššími platbami podle kritérií nadmořské výšky nebo mimo jiné dle sklonitosti svahu. Tyto příspěvky ve formě dotací dostává přibližně 68 % švýcarských zemědělců. Dále vláda dává bezúročné půjčky těmto zemědělcům pro investice, které pomáhají zmírnit dopady klimatické změny na jejich obhospodařované plochy [Kohler et al., 2014].

Turismus a sport v horách

Hory a turismus byly vždy úzce spjaty. Asi nejvýznamnějším zimním sportem je alpské lyžování a snowboarding, který se těší obrovské oblibě. Pro regionální ekonomiky, již jsou závislé na zimním cestovním ruchu, může být klimatická změna devastující. Některé lokální horské ekonomiky jsou až z 60 % závislé na zimní sezoně a změnou klimatu může přijít méně sněhových srážek a nejistota kvalitní, nebo žádné sněhové pokrývky. Tyto faktory mohou připravit statisíce lidí o práci a bude pro ně nutné si hledat nové zdroje obživy [Steiger et al., 2020].

Další významné sporty v Alpách jako jsou horolezectví, alpinismus a skialpinismus budou v budoucnu také ovlivněny změnou klimatu. Když 8. srpna roku 1786 Jacques Balmat a Michel Paccard jako první stoupali k vrcholu Mount Blancu [Hansen, 2013], tak jistě netušili, jak se v budoucnu změní tato krásná hora, jež je symbolem celého Chamonix. Dle studie [Mourey and Ravanel, 2017] se výstupové trasy na vrchol Mount Blancu stále mění vlivem změny klimatu. Jedná se o geomorfni a především o kryosférické změny, které nutí horské vůdce stále upravovat výstupové trasy. Bylo analyzováno 95 výstupových cest, z čehož bylo 93 ovlivněno změnou klimatu, 26 velmi výrazně a tři úplně zanikly. Kromě toho se posunulo i období schůdnosti těchto tras, a to směrem k jaru a podzimu, jelikož v letních měsících jsou trasy nebezpečné vlivem padajících kamenů a možnosti rozpadu ledovců, jako se tomu stalo 3. července 2022 na hoře Marmolada v italských Dolomitech, kde při zřícení části ledovce zahynulo 11 horolezců [Olivieri and Bettanini, 2023].

Dalším dopad na kulturní sport bude u zimních olympijských her. Bude velice náročné vybrat lokalitu příhodnou ke konání budoucích zimních olympijských her. Studie [Scott et al., 2015] provedla analýzu proveditelnosti na 19 předchozích hostitelských míst olympijských her a jejich potenciál tuto akci zopakovat v roce 2050 při použití scénáře nízkých emisí. Výsledkem bylo, že by vhodné podmínky měly být pouze v 11 místech a při výhledu do roku 2080 by mělo být vhodných pouze 6 lokalit.



Obrázek 10: Hora Marmolada a její ledovec Dolomity Itálie 2021.

Zdroj: Soukromý archiv autora

5 Výsledné zhodnocení

Klima se mění, vždy měnilo a měnit bude. Pro pochopení té současné změny klimatu bylo ve třetí kapitole provedené shrnutí klimatické změny, její příčiny, dopady a výhledy do budoucna, jenž bylo důležité pro pochopení celé problematiky klimatické změny a návazností ve čtvrté kapitole. Zodpovědnost na tom, jaký scénář bude čekat příští generace, je na nás a tvůrcích politik, jak se postaví k rostoucímu množství skleníkových plynů v naší atmosféře. Bohužel je velice pravděpodobné, že kdybychom ihned přestali produkovat veškeré emise skleníkových plynů, tak by se lidstvo nevyhnulo dalším dopadům klimatických změn. Je také nepravděpodobné dodržení Pařížské dohody. Je nutné začít snižovat emise skleníkových plynů globálně a ne jen v ekonomicky silných regionech světa, které se takto předhánějí, kdo bude zelenější.

Pro srovnání současného klimatu bylo nastíněno, jak klima ovlivňovalo člověka v průběhu historie. Byly popsány milníky, kdy byl vývoj člověka a poznání ovlivněn klimatem a hlavně bod, kdy člověk začal klima svojí činností ovlivňovat. Dále bylo popsáno, jaké jsou výhledy do budoucna a jaké scénáře můžeme očekávat. Od mírných při dodržení Pařížské dohody až po negativní, který predikuje setrvalý růst emisí v současném trendu. Také byl přiblížen projekt PERUN, který by měl efektivně předpovídat klima v České republice a poskytovat cenné adaptační rady a doporučení pro zmírnění dopadů klimatické změny na našem území.

Jak již bylo řečeno, emise skleníkových plynů jistě budou mít následky, i kdyby se jejich distribuce do atmosféry okamžitě zastavila, a proto bude nutné se adaptovat na nastávající změny. Lidstvo čekají komplexní změny návyků a postupů. Bude nutné redukovat teplotu ve městech a také bude nutné podnikat agrotechnické změny, aby bylo i v budoucnu efektivní a udržitelné pěstovat potraviny. Dále se budou muset nejen zemědělci, ale v podstatě všichni vyrovnat se suchem, které různými způsoby zasáhne každého z nás.

Ve čtvrté kapitole byly nastíněny problémy způsobené změnou klimatu v horských oblastech se zaměřením na oblast rakouských Alp, ale i s přesahem do dalších pohoří světa pro porovnání. Klimatický systém hor je velice složitý a vstupuje do něj mnoho faktorů, jež jej ovlivňuje. Jedním z důležitých vstupů je i klimatická změna, která zvyšuje průměrnou teplotu a mění distribuci srážek.

Vlivem těchto měnících se podmínek můžeme pozorovat změny v mnoha oblastech. Nejdiskutovanějším a nejzajímavějším je jistě dopad na horské ledovce. Je velice pravděpodobné, že jejich úbytek má na svědomí klimatická změna způsobena člověkem. Horské ledovce zmenšují svoji velikost stále zrychlujícím tempem. V porovnání s předindustriálním obdobím, respektive na konci malé doby ledové, můžeme pozorovat globální úbytek horských ledovců přibližně 19 % s tím, že nejrychlejší ústup byl v posledních třech desítkách let.

Nejsou to jen ledovce, co se mění. Změnu také můžeme pozorovat s distribucí sněhových srážek, které nebudou tak časté a s tím spojená výška sněhové čáry, která se bude vlivem klimatické změny posouvat výše. V souvislosti s množstvím sněhu bude s velkou pravděpodobností ovlivněno i množství a typ lavin, které nebudou tak časté v nižších oblastech. Bohužel co laviny ztratí na četnosti, tak si vyberou na škodách, které způsobí. Předpokládá se, že tyto laviny budou tvořeny mokřým a těžkým sněhem, který napáchá více škod, proto budou nutné investice do dalších technických opatření v krajině.

Křehké ekosystémy hor se také budou muset vyrovnat a hlavně přizpůsobit změnám klimatu. S vyšší teplotou a nižším podílem srážek se začnou do vysoko-horských areálů rozšiřovat nové, nepůvodní druhy a bude pravděpodobné, že tyto invazivní druhy budou silně konkurovat a vytlačovat původní druhy. S teplejším podnebím bude při střední pravděpodobnosti možné začít pěstovat zemědělské plodiny i ve vyšších oblastech, kde dříve pro ně nebylo dostatečně teplo, ale pouze za předpokladu, že zde bude dostatek vody.

Další odvětví, které nepochybně zasáhne klimatická změna, jsou horské vodní zdroje. Jak již bylo řečeno, tak je velice pravděpodobné, že se probíhající klimatickou změnou začnou měnit distribuce srážek, bude méně sněhu, který v letních měsících taje a postupně uvolňuje vodu povrchovou i velice důležitou vodu podzemní. Tímto bude zasažena i hydroenergetika, kde jsou s vysokou pravděpodobností očekávány zmenšené průtoky. Tento problém by mohl do jisté míry vyřešit chytrý systém vodních nádrží, kaskád a přehrad v kombinaci s efektivnější technologií přeměny vodní energie na elektrickou. V tomto segmentu je obrovský potenciál a je možné se inspirovat švýcarským modelem.

Posledním významným dopadem klimatické změny v horských oblastech jsou dopady, jež se dotýkají lidí žijících v horách. V první řadě se tento problém bude dotýkat lidí, kteří se živí zemědělstvím a chovem dobytka. Bude nutné změnit návyky a přejít od kulturního způsobu obhospodařování půdy k moderním a

udržitelnějším technikám. Plodiny budou ohrožovány extrémním projevům počasí a vyšší míře eroze půdy. S těmito problémy se nebudou muset vyrovnávat jen zemědělci. Sesuvy půdy, povodně a další budou mít velice pravděpodobně za následek poškození infrastruktury nevyjímaje lidská obydlí.

Svoji daň si klimatická změna vybere i na alpských kulturních sportech jako je vysokohorská turistika, horolezectví nebo třeba alpské lyžování. Při vykonávání všech těchto sportů bude nutné změnit zvyklosti. Například bude stále těžší vybrat vhodné místo pro konání dalších zimních olympijských her. Dále bude vlivem oteplování a menší sněhové pokrývky menší zájem o sezonní ubytování v horských oblastech a tyto regiony se střední pravděpodobností přijdou o velkou část ekonomického zisku a bude nutné přeorientovat pracovní sílu.

6 Diskuze

Člověk stále nedokáže poručit větru ani dešti, ale svým dlouhodobým chováním dokázal ovlivnit vývoj klimatu na celé planetě a jeho následky můžeme pociťovat již dnes. A proto klimatická změna již není pouhá abstraktní teorie vědců. Také můžeme současné období popsat jako novou epochu—antropocén. Někdo by mohl namítnout, že v historii se v Evropě a Alpách cyklicky vyskytovaly epizody chladnějšího, teplejšího, suššího nebo vlhčího klimatu [Gwynne, 1975], to je jistě pravda, klima se mění, ale tentokrát je poprvé v historii, kdy klima ovlivňuje přímo člověk svým chováním [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013]. Navíc je tato změna extrémně rychlá a ekosystémy nemají šanci se na ni adaptovat [Kohler et al., 2014].

Dalším velmi častým argumentem pro popírání klimatické změny jsou změny v oběžných drahách Země vůči Slunci. Tyto změny popisují Milankovičovy cykly [Valníček, 2015]. Je možné, že tyto přirozené změny v oběžných drahách mohly způsobovat výkyvy klimatu v historii, ale v tomto případě je nepopíratelným viníkem člověk produkující CO₂ a další antropogenní plyny umocňující skleníkový efekt [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013].

Mohlo by se zdát, že s měnícím se klimatem a teplejším podnebím ve vyšších oblastech bude možné pěstovat dosud nevhodné plodiny. Tyto oblasti budou zajisté s teplejším klimatem příhodné k větším možnostem výsadby, ale je nutné také brát v úvahu další negativní faktory přinášející změnu klimatu. V horských oblastech bude jiná distribuce srážek, větší pravděpodobnost sucha a mnohem častější extrémní výkyvy počasí. Všechny tyto faktory bude velice negativně ovlivňovat zemědělské hospodaření [Kohler et al., 2014].

Jak již bylo řečeno, změny klimatu přinesou zásadní změny v horách, které se jistě promítnou i do mnoha sporů jako je například vysokohorská turistika a horolezectví. Nastanou zásadní změny ve výstupových trasách, některé ledovce se stanou neschůdnými [Mourey and Ravel, 2017] nebo příliš nebezpečnými pro výstup. Na druhou stranu se otevírají možnosti tvorby nových výstupových cest a lezeckých linií.

Dle názoru autora není vztahování současného klimatu k období na konci malé doby ledové vhodné. Je to sice vhodný bod, od kterého je příhodné měřit

například nárůst průměrné roční teploty, ale ve srovnávání s úbytkem ledovců to nejspíš nebude nejvhodnější srovnání. A proto by bylo vhodné srovnání klimatu s klimatem středověké klimatické anomálie nebo teplého antického období. Při hledání optimálních zdrojů autor našel pouze článek [Bohleber et al., 2020], kde bylo naznačeno klima před šesti tisíci lety, a to přibližně v době života asi nejslavnějšího alpského horala Ötziho. Srovnání dalších období klimatu z historie se současným by mohl být zajímavý námět případné budoucí diplomové práce. Otázkou zůstává, zda by pro tento výzkum bylo dostatečné množství dat.

Dle autora je velká tíha odpovědnosti na tvůrcích politik, kteří budou muset činit i nepopulární rozhodnutí za účelem ochrany klimatu. Přirozeně se naskýtají dvě cesty. První z nich je striktní a jednoduchá s cílem se držet „ultrazelené“ politiky s protlačováním nulové tolerance antropogenních zdrojů skleníkových plynů. Nebo druhý směr, kdy bude lidstvo čekat na „životaspásnou“ technologii, která dokáže buď odstranit vhodné množství skleníkových plynů z naší atmosféry nebo dokáže minimalizovat dopady klimatické změny.

Je jasné, že ani jeden z těchto směrů není ten správný. Není nutné pro zviditelnění klimatických změn polévat polévkou obrazy, nebo v opačném případě vyvracet nepodloženými argumenty globální změnu klimatu. Je třeba k tomuto problému přistupovat edukativně, racionálně, částečně empaticky a především s podloženými fakty.

Informace pod čarou

Během dokončování této bakalářské práce byla vydána nová zpráva IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023], která jistě doplní a potvrdí informace, které byly zmíněny v této bakalářské práci.

20.3.2023 během tiskové konference ve švýcarském Interlakenu byla představena nejnovější IPCC zpráva se závěrečným souhrnem AR6. Tento dokument sjednocuje již předchozí části šesté zprávy. Další IPCC zpráva je plánovaná až na rok 2030, proto se již začíná o této zprávě mluvit jako o klíčové. Jednou ze zásadních informací je, že pro dosažení cíle Pařížské dohody je třeba snížit globálně emise CO₂ o 48 % a metanu o 33 % do roku 2030. Generální tajemník OSN při představení nové souhrnné zprávy přirovnal lidstvo k osobě pohybující se na velmi tenkém ledě, který navíc taje, ale také označil současnou zprávu jako návod, jak se s touto krizí vypořádat.

Dle této zprávy má lidstvo poslední možnost zastavit tento proces. Bude nutné do roku 2030 snížit objem vypouštěných skleníkových plynů o polovinu a do roku 2050 se stát kompletně klimaticky neutrální.

7 Závěr a přínos práce

Tato bakalářská práce přináší ucelený pohled na klimatickou změnu a především na její dopady na horské oblasti. Bohužel člověk svojí činností přetváří krajinu a hlavně uvolňuje obrovské množství plynů do atmosféry, které umocňují skleníkový efekt. Tento proces naneštěstí zvyšuje průměrnou roční teplotu, což spouští kaskádu dopadů.

Obecně lze říci, že klimatická změna přináší globální dopady ve formě již zmíněné průměrné roční teploty, sucha, povodní, zvyšující se hladiny oceánů, úbytek polárních i vysokohorských ledovců a nespočet dalších. Historicky klima ovlivňovalo vývoj člověka až do bodu, kdy člověk začal klima sám přetvářet. Na tyto dopady se bude nutně v budoucnu přizpůsobit a také cílit na rozvoj technologií, které mohou snížit emise nebo z atmosféry uhlík odčerpávat.

Tyto dopady se nevyhýbají ani horským oblastem. Tyto výjimečné části přírody jsou velice křehké a každá změna je pro ně velice náročná a stresující. Tyto oblasti vlivem klimatické změny trpí především táním horských ledovců, stoupající sněžnou čarou, měnící se distribucí srážek, úbytkem horské biodiverzity. Významný dopad zažijí také obyvatelé horských regionů. Horské oblasti jsou nejcitlivější a je nutné je chránit a pečovat o ně.

S rostoucí teplotou bude stále méně ledovců, některé dokonce zaniknou. V porovnání s předindustriální dobou zmizelo již velké množství ledovců, které vznikly během malé doby ledové. Tyto obrovské ledové masy jsou již kulturně spjaty s určitými horskými regiony jako například francouzské Chamonix. Porovnání předindustriálního a současného rozložení ledovců bylo provedeno ve čtvrté kapitole prostřednictvím grafické vizualizace jako důkaz ústupu ledovců. Pro možnou navazující diplomovou práci by bylo příhodné pokusit se nastínit stav během dřívějších klimatických období pro porovnání.

Závěrem lze říci, že horské oblasti jsou vystaveny mohutným dopadům klimatických změn, které budou mít velice intenzivní důsledky v mnoha oblastech. Bude nutné zintenzivnit snahy o snížení antropogenního dopadu na klima naší planety.

Literatura

- Daniela Anghileri, Martina Botter, A Castelletti, Hannes Weigt, and Paolo Burlando. A comparative assessment of the impact of climate change and energy policies on alpine hydropower. *Water Resources Research*, 54(11):9144–9161, 2018.
- Roger G Barry. Recent advances in mountain climate research. *Theoretical and Applied Climatology*, 110:549–553, 2012.
- Jean-Francois Bastin, Yelena Finegold, Claude Garcia, Danilo Mollicone, Marcelo Rezende, Devin Routh, Constantin M. Zohner, and Thomas W. Crowther. The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448):76–79, 2019. doi: 10.1126/science.aax0848. URL <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aax0848>.
- Wolfgang Behringer. *Kulturgeschichte des Klimas*. Academia Verlag, 2010.
- Michael P Bishop, Helgi Björnsson, Wilfried Haeberli, Johannes Oerlemans, John F Shroder, and Martyn Tranter. *Encyclopedia of snow, ice and glaciers*. Springer Science & Business Media, 2011.
- Pascal Bohleber, Margit Schwikowski, Martin Stocker-Waldhuber, Ling Fang, and Andrea Fischer. New glacier evidence for ice-free summits during the life of the tyrolean iceman. *Scientific Reports*, 10(1):1–10, 2020.
- Christian Brand, Thomas Götschi, Evi Dons, Regine Gerike, Esther Anaya-Boig, Ione Avila-Palencia, Audrey de Nazelle, Mireia Gascon, Mailin Gaupp-Berghausen, Francesco Iacorossi, et al. The climate change mitigation impacts of active travel: Evidence from a longitudinal panel study in seven european cities. *Global Environmental Change*, 67:102224, 2021.
- Rudolf Brázdil, Miroslav Trnka, Ladislava Řezníčková, Jan Balek, Lenka Bartošová, Ivan Bičík, Pavel Cudlín, Petr Čermák, Petr Dobrovolný, Martin Dubrovský, et al. Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. *Akademie věd v.v.i.*, 2015.
- Rudolf Brázdil, Miroslav Trnka, Ladislava Řezníčková, Jan Balek, Lenka Bartošová, Ivan Bičík, Pavel Cudlín, Petr Čermák, Petr Dobrovolný, Martin

- Dubrovský, Aleš Farda, David Hanel, Hubert Valášek, Adam Vizina, Radek Vlnas, Jan Vopravil, Pavel Zahradníček, and Zdeněk Žalud. *Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 2015. ISBN 978-80-87902-11-0. Opraveno.
- Johannes Buckel and Jan-Christoph Otto. The Austrian Glacier Inventory GI 4 (2015) in ArcGis (shapefile) format, 2018. URL <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.887415>.
- Ulf Büntgen, Paul J Krusic, Alma Piermattei, David A Coomes, Jan Esper, Vladimir S Myglan, Alexander V Kirilyanov, J Julio Camarero, Alan Crivellaro, and Christian Körner. Limited capacity of tree growth to mitigate the global greenhouse effect under predicted warming. *Nature Communications*, 10(1): 2171, 2019.
- Conradin A. Burga and Regula Frauenfelder. Vegetation on alpine rock glacier surfaces: a contribution to abundance and dynamics on extreme plant habitats. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 51(4):1167–1180, 2019.
- Chi Chen, Taejin Park, Xuhui Wang, Shilong Piao, Baodong Xu, Rajiv K Chaturvedi, Richard Fuchs, Victor Brovkin, Philippe Ciais, Rasmus Fensholt, et al. China and india lead in greening of the world through land-use management. *Nature sustainability*, 2(2):122–129, 2019.
- L. Crhová, S. Kliegrová, P. Lipina, R. Tolasz, and A. Valeriánová. *Klimatická ročenka 2021*. Český hydrometeorologický ústav, 2021. ISBN 978-80-7653-047-8.
- BJ Davies and NF Glasser. Accelerating shrinkage of patagonian glaciers from the little ice age (~ ad 1870) to 2011. *Journal of Glaciology*, 58(212):1063–1084, 2012.
- Petr Dobrovolný, Ladislava Řezníčková, Rudolf Brázdil, Lukáš Krahula, Pavel Zahradníček, Miloslav Hradil, Marie Doleželová, Milan Šálek, Petr Štěpánek, Jaroslav Roznovský, et al. *Klima Brna: Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Masarykova univerzita, 2012.

- Martin T. Dokulil. Impacts of climate warming on alpine lakes, 10 2022. URL <https://oxfordre.com/climatescience/view/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-874>.
- Chiara Falco, Franco Donzelli, and Alessandro Olper. Climate change, agriculture and migration: A survey. *Sustainability*, 10(5):1405, 2018.
- Andrea Fischer, Bernd Seiser, Martin Stocker-Waldhuber, Christian Mitterer, and Jakob Abermann. The Austrian Glacier Inventories GI 1 (1969), GI 2 (1998), GI 3 (2006), and GI LIA in ArcGIS (shapefile) format, 2015. URL <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.844988>. Supplement to: Fischer, A et al. (2015): Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. *The Cryosphere*, 9(2), 753-766, <https://doi.org/10.5194/tc-9-753-2015>.
- Karl Gabl. *Počasi v horách*. Olympia, Praha, 1 edition, 1996. ISBN 80-7033-307-5.
- Filippo Giorgi and William J. Gutowski. Regional dynamical downscaling and the cordex initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1): 467–490, 2015. doi: 10.1146/annurev-environ-102014-021217. URL <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>.
- Simon N Gosling and Nigel W Arnell. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134:371–385, 2016.
- Peter Gwynne. The cooling world. *Newsweek*, 85(17):64–70, April 1975.
- Peter H Hansen. *The summits of modern man*. Harvard University Press, 2013.
- Syed Tauseef Hassan, Muhammad Awais Baloch, Zahid Hassan Tarar, et al. Is nuclear energy a better alternative for mitigating co2 emissions in brics countries? an empirical analysis. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(12):2969–2974, 2020.
- Frédéric Herman, Olivier Beyssac, Mattia Brughelli, Stuart N Lane, Sébastien Leprince, Thierry Adatte, Jiao YY Lin, Jean-Philippe Avouac, and Simon C Cox. Erosion by an alpine glacier. *Science*, 350(6257):193–195, 2015.

Anne J Hoek van Dijke, Martin Herold, Kaniska Mallick, Imme Benedict, Miriam Machwitz, Martin Schlerf, Agnes Pranindita, Jolanda JE Theeuwens, Jean-François Bastin, and Adriaan J Teuling. Shifts in regional water availability due to global tree restoration. *Nature Geoscience*, 15(5):363–368, 2022.

David Hoffman. *How Culture Shapes the Climate Change Debate*. University Press, 2021.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 1990: The IPCC Scientific Assessment. Technical report, Cambridge University Press, 1990. URL <http://www.ipcc.ch/report/ar1/>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, Cambridge University Press, 1995. URL <http://www.ipcc.ch/report/ar2/wg1/>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, Cambridge University Press, 2001. URL <http://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, Cambridge University Press, 2007. URL <http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, Cambridge University Press, 2013. URL <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, Cambridge University Press, 2021. URL <https://www.ipcc.ch/report/srccs/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, Cambridge University Press, 2022. URL <http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. AR6 Synthesis Report (SYR). Technical report, Interlaken, Switzerland, 2023. URL <https://www.ipcc.ch/report/ar6-syr/>.
- Jack D Ives and Roger G Barry. *Arctic and alpine environments*, volume 6. Routledge, 2019.
- Margreth Keiler, Jasper Knight, and Stephan Harrison. Climate change and geomorphological hazards in the eastern european alps. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368 (1919):2461–2479, 2010.
- Luke Kemp, Chi Xu, Joanna Depledge, Kristie L. Ebi, Goodwin Gibbins, Timothy A. Kohler, Johan Rockström, Marten Scheffer, Hans Joachim Schellhuber, Will Steffen, and Timothy M. Lenton. Climate endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(34):e2108146119, 2022. doi: 10.1073/pnas.2108146119. URL <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2108146119>.
- Marc Kenis, Saidou Nacambo, FLG Leuthardt, F di Domenico, Tim Haye, et al. The box tree moth, *cydalima perspectalis*, in europe: horticultural pest or environmental disaster? *Aliens: The Invasive Species Bulletin*, pages 38–41, 2013.
- Thomas Kohler, André Wehrli, and Matthias Jurek. *Mountains and climate chance. A global concern*. Centre for Development and Environment (CDE), Swiss Agency for Development . . . , 2014.
- A Lambrecht and M Kuhn. Glacier changes in the austrian alps during the

- last three decades, derived from the new austrian glacier inventory. *Annals of Glaciology*, 46:177–184, 2007.
- Fabian Lindner, Gabi Laske, Fabian Walter, and Adrian K Doran. Crevasse-induced rayleigh-wave azimuthal anisotropy on glacier de la plaine morte, switzerland. *Annals of Glaciology*, 60(79):96–111, 2019.
- Jürg Luterbacher, Johannes P Werner, Jason E Smerdon, Laura Fernández-Donado, Fidel J González-Rouco, David Barriopedro, Fredrik Carpentier Ljungqvist, Ulf Büntgen, Eduardo Zorita, Sebastian Wagner, et al. European summer temperatures since roman times. *Environmental research letters*, 11(2):024001, 2016.
- Michal V Marek. *Klimatická změna - příčiny, dopady a adaptace*. ACADEMIA, 2022.
- Richard A Marston. Land, life, and environmental change in mountains. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(3):507–520, 2008.
- Eric Martin, Gerald Giraud, Yves Lejeune, and Geraldine Boudart. Impact of a climate change on avalanche hazard. *Annals of Glaciology*, 32:163–167, 2001.
- C. Marty, S. Schlögl, M. Bavay, and M. Lehning. How much can we save? impact of different emission scenarios on future snow cover in the alps. *The Cryosphere*, 11(1):517–529, 2017. doi: 10.5194/tc-11-517-2017. URL <https://tc.copernicus.org/articles/11/517/2017/>.
- Jacques Mourey and Ludovic Ravel. Evolution of access routes to high mountain refuges of the mer de glace basin (mont blanc massif, france): An example of adapting to climate change effects in the alpine high mountains. *Journal of Alpine Research — Revue de géographie alpine*, 105(4), 2017.
- Kathrin Naegeli and Matthias Huss. Sensitivity of mountain glacier mass balance to changes in bare-ice albedo. *Annals of Glaciology*, 58(75pt2):119–129, 2017.
- NASA. Climate change: How do we know? <https://climate.nasa.gov/evidence/>, 2023. Accessed: 2023-03-07.
- Johannes Oerlemans. Climate sensitivity of franz josef glacier, new zealand, as revealed by numerical modeling. *Arctic and Alpine Research*, 29(2):233–239, 1997.

- Lorenzo Olivieri and Carlo Bettanini. Preliminary observation of marmolada glacier collapse of july 2022 with space-based cameras. *Remote Sensing Letters*, 14(1):21–29, 2023.
- Perun. Klimatická změna je velkou výzvou pro budoucnost naší planety. <https://www.perun-klima.cz/>, 2023. Accessed: 2023-03-07.
- Emmanuel Reynard, Olivier Graefe, and Rolf Weingartner. Projet montanaqua: les principaux résultats ou comment communiquer avec les acteurs locaux. *Aqua & Gas*, 11:50–57, 2014.
- HELMUT Rott, KARL E Scherler, LOUIS Reynaud, R Serandrei Barbero, and G Zanon. Glaciers of the alps. *Satelite image atlas of glaciers of the World. US Geological Survey Professional Paper*, 1386:E1–E48, 1993.
- Dirk S Schmeller, Adeline Loyau, Kunshan Bao, Werner Brack, Antonis Chatzino-tas, Francois De Vleeschouwer, Jan Friesen, Laure Gandois, Sophia V Hansson, Marilen Haver, et al. People, pollution and pathogens—global change impacts in mountain freshwater ecosystems. *Science of the Total Environment*, 622: 756–763, 2018.
- Daniel Scott, Robert Steiger, Michelle Rutty, and Peter Johnson. The future of the olympic winter games in an era of climate change. *Current Issues in Tourism*, 18(10):913–930, 2015.
- Andrew Shepherd, Erik Ivins, Eric Rignot, Ben Smith, Michiel van den Bro- eke, Isabella Velicogna, Pippa Whitehouse, Kate Briggs, Ian Joughin, Gerhard Krinner, Sophie Nowicki, and Tony Payne. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Nature*, 575(7782):57–64, 2019. doi: 10.1038/s41586-019-1855-2. URL <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1855-2>.
- Uttam Babu Shrestha and Bharat Babu Shrestha. Climate change amplifies plant invasion hotspots in nepal. *Diversity and Distributions*, 25(10):1599–1612, 2019.
- Robert Steiger, Eva Posch, Gottfried Tappeiner, and Janette Walde. The impact of climate change on demand of ski tourism—a simulation study based on stated preferences. *Ecological Economics*, 170:106589, 2020.

- Giacomo Strapazzon, Jürg Schweizer, Igor Chiambretti, Monika Brodmann Maeder, Hermann Brugger, and Ken Zafren. Effects of climate change on avalanche accidents and survival. *Frontiers in physiology*, 12:639433, 2021.
- John Tyndall. Heat as a mode of motion. *Philosophical Magazine*, 18(121):169–194, 1859.
- Boris Valníček. *Klimatické změny: Milankovičovy cykly, vývoj člověka a rozvoj civilizace v současné době meziledové*. Akcent, Drahomír Rybníček, 2015. ISBN 978-80-7497-081-8.
- M Vidale, L Bondioli, DW Frayer, M Gallinaro, and A Vanzetti. Ötzi the iceman. *Expedition*, 58(2):13–17, 2016.
- Petr Vidomus et al. Oteplí se a bude líp: Česká klimaskepse v čase globálních rizik. *Sociologický časopis/Czech Sociological Review*, 57(1):123–125, 2021.
- Xinping Ye, Xiaoping Yu, Changqing Yu, Aletai Tayibazhaer, Fujun Xu, Andrew K. Skidmore, and Tiejun Wang. Impacts of future climate and land cover changes on threatened mammals in the semi-arid chinese altai mountains. *Scientific Reports*, 7(1):1–12, December 2019. ISSN 2045-2322. doi: 10.1038/s41598-019-54169-5. URL <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54169-5>.
- Michael Zemp, Holger Frey, Isabelle Gärtner-Roer, Samuel U Nussbaumer, Martin Hoelzle, Frank Paul, Wilfried Haeberli, Florian Denzinger, Andreas P Ahlstrøm, Brian Anderson, et al. Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of glaciology*, 61(228):745–762, 2015.
- Zdeněk Žalud. *Sucho v Zemědělství v České Republice*. Agrární komora České republiky, Praha, 2020. ISBN 978-80-88351-02-3.

Seznam obrázků

1	Tající ledovec Kvíárjökull Island 2022. Zdroj: Soukromý archiv Bc. Barbora Morávková	12
2	Ledovec Ködnitzkees na hoře Großglockner Rakousko 2022. Zdroj: Soukromý archiv autora	24
3	Trhlina ledovce na hoře Marmolada Dolomity Itálie 2021. Zdroj: Soukromý archiv autora	25
4	Ledovec McCarty Alijaška USA 1909-2004. Zdroj: [NASA, 2023] .	27
5	Ledovec Muir Alijaška USA 1941-2004. Zdroj: [NASA, 2023]	27
6	Ústup ledovců oblast Glocknergruppe Rakousko. Zdroj: [Buckel and Otto, 2018, Fischer et al., 2015]	28
7	Ústup ledovců oblast Dachsteingruppe Rakousko. Zdroj: [Buckel and Otto, 2018, Fischer et al., 2015]	29
8	Alpská krajina, Ravenska Kočna Slovinsko 2022. Zdroj: Soukromý archiv autora	32
9	Hydrologická soustava Grimselsee a Räterichsbodensee Švýcarsko 2021. Zdroj: Soukromý archiv Ing. Šarlota Dušková	35
10	Hora Marmolada a její ledovec Dolomity Itálie 2021. Zdroj: Soukromý archiv autora	39
