

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Výskyt sněhové pokrývky a polárního ledu ve vztahu ke
globální změně klimatu**

Bakalářská práce

Autor práce: Bc. Hejzlar Filip

Obor studia: ATZP

Vedoucí práce: Ing. Luboš Türkott, Ph.D.

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výskyt sněhové pokrývky a polárního ledu ve vztahu ke globální změně klimatu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury v samotném závěru práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své práce za věcné připomínky k bakalářské práci a za pomoc při pochopení složité problematiky změn klimatu. Mé poděkování patří také přítelkyni za psychickou podporu při studiu a rodičům, kteří mi vytvořili ideální podmínky ke studiu.

SOUHRN

V bakalářské práci jsou popsány změny klimatu a jejich vliv na ledovou pokrývku. V první části textu je popsán klimatický systém a pro lepší pochopení současných klimatických změn je v práci uvedena stručná historie vývoje klimatu. Historicky probíhaly mnohem výraznější změny klimatu, než které pozorujeme v současnosti. Součástí kapitoly je aktuální pohled vědecké i nevědecké společnosti na klimatické změny a kritický náhled na teorii globálního oteplování. Závěrem této kapitoly je zjištění, že klimatické změny na planetě probíhají od jejího vzniku a budou probíhat do jejího zániku. Je však třeba připustit, že lidé mají na tyto změny nezanedbatelný vliv. Člověk s vysokou pravděpodobností ovlivňuje klima již několik tisíc let a dopad jeho činnosti na klima má exponenciální charakter.

Hlavní část práce – vliv klimatického systému na ledovou pokrývku je rozdělena do dvou navazujících částí podle geografické polohy (severní a jižní polokoule). Obě části mají svá specifika vyplývající z rozložení oceánu a pevniny, které má vliv na lokální klima. Obecně se dá říci, že na severní polokouli ledová pokrývka ubývá, zatímco na jižní polokouli je pozorován spíše setrvávající trend. Celosvětově je zaznamenáván rostoucí vliv anomálií a růst extrémů vývoje ledové pokrývky.

Na ledovou pokrývku v rámci klimatického systému nejvíce působí teplota a množství srážek v dané oblasti. S rostoucí teplotou se zvyšuje výpar a přibývá srážek. Aby však na zem dopadaly v pevném skupenství, musí se teplota pohybovat okolo nuly či níže. Zda dopadnou na pevninu či do oceánu pak závisí na atmosférickém proudění.

Závěrem této práce je nutno konstatovat, že trend sněhové či ledové pokrývky závisí na geografické poloze a na nadmořské výšce. Do budoucna je možné počítat s výraznějšími výkyvy počasí oproti minulosti. V České republice lze očekávat pozdější příchod sněhové pokrývky a dřívější tání. Mocnost sněhu bude záviset na atmosférickém proudění a bude na území ČR přicházet nárazově v rámci intenzivnějších srážek. Lze však také očekávat prodlužující se bezsrážková období. Je třeba se proto připravit na nižší stav podzemních vod a erozivní působení dešťů na zemědělskou půdu pomocí vhodného hospodaření s dostupnými zdroji.

KLÍČOVÁ SLOVA

sněhová pokrývka, ledovce, změna klimatu, klimatický vývoj, metody

SUMMARY

The thesis describes climate change and its impact on the ice cover. The first part of the text describes the climate system. There is presented a brief history of climate to better understand the current climate change. Climate change took place greater than we can see today. The chapter describes current scientific and unscientific view of climate change and critical insight into the theory of global warming. Finally, climate change is taking place on the planet since its inception and it will continue until its dissolution. People have a considerable influence on these changes. People probably have an influence on the climate changes for thousand years and the impact of their activities has an exponential character on the climate.

The main part is focused on the impact of the climate system on the ice cover. It is divided into two parts by geographical location (Northern and Southern Hemispheres). These two parts do not have similar distribution of the ocean and the mainland. It has an impact on the local climate. Generally, the ice cover is decreasing on the Northern Hemisphere, while it is rising on the Southern Hemisphere. Globally, whether anomalies and extremes are signed.

The temperature and rainfall have the most influence on the ice cover in the climate system. The increases temperature causes greater evaporation and rainfall. The temperature must be around or below zero to change rainfall into solid state. Atmospheric flow causes the fall of the rainfall on the land or in the ocean.

Finally, the trend of snow or ice cover will depend on the geographic location and altitude. In the future, more significant weather events will come than in the past. The Czech Republic, late arrival of snow and earlier melting is expected. Snow will come in fits and with more intense rainfall. However, we can also expect the prolonged periods without rainfall. It is necessary to be prepared at a lower state of groundwater and the erosive effect of rain on agricultural land.

KEYWORDS

snow cover, glaciers, climate change, climate development methods

1 **Obsah**

1	Obsah	1
2	Úvod.....	2
3	Změny klimatu	3
3.1	Historie vývoje klimatu	5
3.2	Přírodní děje působící na změny klimatu	12
3.3	Hydrosféra a koloběh vody.....	17
4	Vliv klimatických změn na ledovou pokrývku	21
4.1	Jižní polokoule.....	24
4.2	Severní polokoule	28
4.2.1	Česká republika	34
5	Závěr	38
6	Seznam použité literatury.....	40

2 Úvod

Klimatické změny jsou dnešní společností často zjednodušovány do debaty o globálním oteplování způsobeném lidskou civilizací. Média publikují často senzační nepodložené hypotézy a přispívají k dezorientaci svých čtenářů. Vytvářejí umělý obraz dvou světů – příznivců a odpůrců teorie globálního oteplování. Mnozí lidé si pak ani neuvědomují, že vývoj klimatu je dán celou řadou faktorů a že je třeba celou problematiku chápat v lokálním, ale i globálním měřítku. Zároveň je třeba si připustit množství klimatických změn, které se kolem nás odehrává a jejich možné následky. Výzkumem těchto změn se dovídáme, jakým způsobem na sebe navzájem působí vývoj jednotlivých složek klimatu.

Důvodem pro napsání této práce byl můj zájem o složky klimatu, jejich vzájemná provázanost a jejich změny. Zkoumání vlivu klimatických změn na ledovou a sněhovou pokrývku má výrazný vliv na mnoho částí lidského hospodaření na planetě. Pokud nastanou změny ledového pokryvu, budou jej doprovázet změny hydrologického cyklu. Dlouhodobá sucha, příválové deště, vzestup mořské hladiny či změny cirkulace oceánů jsou značným rizikem, které bychom si měli uvědomit. Uvědomit, ale nepanikařit. Zamyslet se nad tím, jakou měrou přispíváme ke klimatickým změnám a zda jsme připraveni nést následky svého jednání. Vývoj klimatického systému zde probíhá již od počátku vzniku planety a bude probíhat až do jejího zániku. Je jen na nás, na *Homo sapiens sapiens*, zda se přizpůsobíme probíhajícím změnám, nebo zda si svojí činností vytvoříme podmínky, které způsobí naší extinkci v rámci hromadného vymírání mnoha dalších druhů.

První část této práce je zaměřena na popis zemského klimatu a jeho změn. Od historického vývoje do současnosti. V rámci této kapitoly jsou uvedeny základní myšlenkové směry příznivců i odpůrců teorie o globálním oteplování. Tato podkapitola byla do práce zařazena jako varování před unáhleně chybnou interpretací dat. Následuje shrnutí základních faktorů ovlivňujících zemské klima.

Součástí klimatických změn popsanych v první kapitole jsou změny hydrologického cyklu, který má v tématu této práce natolik zásadní význam, že je mu věnována celá kapitola. Kromě základů koloběhu vody se v ní čtenář dočte informace o srážkových systémech.

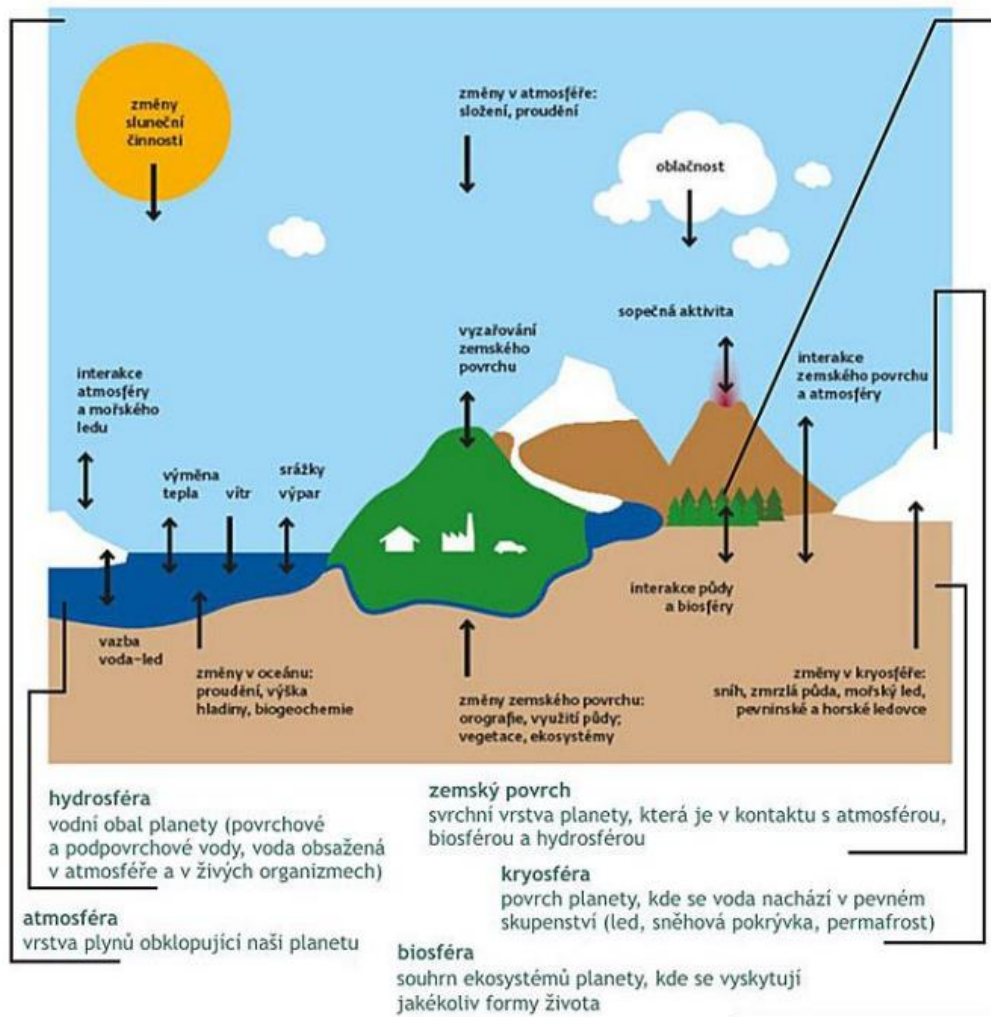
Hlavní téma tohoto textu je pojednání o vlivu změn klimatu na sněhovou a ledovou pokrývku. V práci je popsán stav a vývoj ledových ploch na severní a jižní polokouli včetně rozdílů vznikajících zcela rozdílnou geologickou stavbou obou polokoulí. Podstatná část této kapitoly se věnuje změnám klimatu v České republice a jejich vliv na sněhovou pokrývku ČR.

3 Změny klimatu

Klima je definováno jako dlouhodobý průměrný režim počasí podmíněný energetickou bilancí, cirkulací atmosféry, charakterem aktivního povrchu a lidskou činností. Lze ho popisovat pomocí průměrných hodnot meteorologických prvků doplněných o extrémy a četnosti jejich výskytu, popřípadě o další statistické charakteristiky (Klima, klimatický systém, klimatické modely, 1970).

Podstatným pojmem využívaným při popisu klimatu je tzv. „klimatický systém“, což je propojený systém pěti základních termodynamických složek – atmosféry, oceánu, povrchu Země, biosféry a kryosféry. Propojenost systému spočívá v neustálé výměně energie a hmoty mezi jednotlivými složkami. Výstižným zobrazením klimatického systému včetně jeho důležitých vazeb je obrázek 1 ze studie Českého hydrometeorologického ústavu pro Ministerstvo životního prostředí. Obecně známým příkladem výměny látek je uhlíkový cyklus, jehož součástí je intenzivní výzkum emisí CO₂. Kromě něj je pro tuto práci nezbytný cyklus vody popsán v kapitole 4.

V rámci klimatického systému můžeme nalézt celou řadu pozitivních a negativních zpětných vazeb. Tyto vazby definujeme jako reakce vyvolané určitým podnětem, které zpětně působí na výchozí podnět. Vzhledem ke své povaze tento podnět buď posilují, pak hovoříme o pozitivní zpětné vazbě, nebo tlumí (negativní zpětná vazba). Tyto vazby pro nás mají výrazný vliv, neboť udržují celý systém v křehké rovnováze a zajišťují stabilní prostředí toliko nezbytné pro existenci života na planetě Zemi.



Obrázek 1 – Složky klimatického systému

Zdroj: ČHMU

Klimatický systém se vyvíjí od počátku existence planety Země, tedy zhruba 4,6 miliard let. Rozeznáváme dva hlavní faktory, které ovlivňují vývoj klimatu. Prvním zde uvedeným faktorem je postavení Země v planetárním systému, zahrnující její vzdálenost od Slunce, její pohyb či polohu. Druhým faktorem majícím nezanedbatelný vliv na klimatické změny je velikost a chemické složení jednotlivých vrstev planety.

Na raný vývoj atmosféry mělo zásadní vliv formování planety, která byla vystavena pádům meteoritů, kosmickému záření a četné vulkanické činnosti. Není možné přesně určit, jak a kdy se vyvinula určitá část atmosféry, k získání dat je však možné využít mnoha metod paleoklimatologie, která zkoumá vrstvy usazené na mořském dně, sprašové půdy, využívá hloubkové vrty do pevninských i horských ledovců. V rámci analýz se stanovuje chemické složení v dané vrstvě a zkoumá se přítomnost reziduí živočichů a rostlin. Pro jednotlivé vrstvy používáme metody historického datování, založeného na rozpadu radionuklidů, nejčastěji C^{14}

a U^{238} . Na jejich základě můžeme modelovat vývoj klimatického systému v rané historii Země. (Soukupová 2011)

3.1 Historie vývoje klimatu

Struktura Země se v počátku její existence poměrně dramaticky měnila, až se ustálila na základních částech – jádru, plášti a kůře. Kolem této pevné části se vytvořila tenká atmosféra tvořena zejména ze dvou lehkých plynů, z vodíku a hélia. Tato primitivní atmosféra vznikala postupným uvolněním prvků ze zemského nitra na povrch, stejným způsobem vznikla i hydrosféra. (Rubey 1995) Zhruba před 4,5 miliardami let vlivem kolize Země a planety velikosti Marsu vznikl Měsíc. (Stevenson 2014) Tato kolize proměnila celou atmosféru, do které se dostaly mnohé další plyny, dusík, oxid uhličitý, sirovodík a vodní pára.

Dalším významným mezníkem při utváření dnešní atmosféry byl vznik života před zhruba 3,8 miliardami let. Z počátku bylo prostředí na planetě z důvodu dopadajících ultrafialových paprsků ze Slunce pro život nepříznivé a odsoudilo tak rozvoj života do oceánu. Zhruba před 2,2 miliardami let se v atmosféře objevil volný kyslík, jehož obsah v atmosféře se za další 0,3 miliardy let dostal až na 2 %. Při překročení tohoto množství se začala vytvářet ozonová vrstva, která v budoucnu umožnila přechod rostlin a živočichů na souš.

Klima, které se v té době na planetě vyskytovalo, se velmi lišilo od toho dnešního. Sluneční záření dosahovalo 75 % dnešní intenzity a atmosféra obsahovala velké množství skleníkových plynů. Existovala velká pravděpodobnost, že se teplota na planetě zvýší do takové míry, že život, jak jej známe, zcela zanikne. Množství skleníkových plynů, zvláště CO_2 se ovšem začalo snižovat vlivem reakcí tohoto plynu s H_2O a ve formě kyselých dešťů se začalo ukládat do povrchu Země vazbou na křemičitany. (Soukupová 2011)

Snižování oxidu uhličitého v atmosféře bylo jednou z příčin prvního zalednění planety zhruba před 2,6 miliardami let. Důkazy pro toto zalednění poskytují morény nalezené na jihu Afriky. Další chladné období doprovázené zaledněním části planety datujeme mezi 2,5 – 2,1 miliardami let doložitelné například ze Severní Ameriky. Na většině dnešních kontinentů nacházíme důkazy o velkém množství ledovců pokrývajících superkontinent Rodinie před zhruba jednou miliardou let. (Globální klima stále osciluje v čase, 2001) Rozsáhlá prekambriická zalednění ovlivnila proudění oceánů, které dokládají nálezy anoxických vrstev v oceánech.

Prvohory začaly teplým kambriem, které podporovalo rozvoj organismů v teplých mělkých mořích. Teplé období pokračovalo i v ordoviku, což umožnilo evolučnímu rozšíření prvních rostlin na souš. Paleontologické nálezy nám poskytují důkazy o vzniku prvních obratlovců. Na konci ordoviku však dochází k dalšímu ochlazení, což vede k vymření velkého množství druhů.

Devon pak přináší rozvoj biodiverzity rostlin i živočichů. Rostliny v této době využívaly fotosyntézy a zaplnily atmosféru kyslíkem. Období bylo ukončeno sopečnou aktivitou a možným dopadem meteoritu v oblasti dnešního Švédska, což zahubilo velké množství mořských živočichů včetně většiny korálů. V karbonu převažovalo teplé klima podporující vznik rozsáhlých pralesů a rozvoj hmyzu. Teplé klima pokračovalo i v permu. Kontinentální klima té doby podporovalo vznik pouštních oblastí a pokles hladiny oceánů až o 250 m. V atmosféře se objevilo velké množství skleníkových plynů a snížil se obsah kyslíku v mořích (pravděpodobně vlivem přemnožení bakterií). To vedlo na přelomu permu a triasu k jednomu z největších vymírání živých organismů (Soukupová 2011).

Následující období druhohor bylo charakteristické vyšší průměrnou globální teplotou (oceány byly o 10–20 °C teplejší, než dnes) a relativně vysokou vlhkostí. (Globální klima stále osciluje v čase, 2001) V tomto období docházelo ke značnému rozvoji biodiverzity a nástupu éry plazů. V období triasu datujeme fylogenetického předka savců patřícího mezi cynodontní tetrapsidey. Z větších změn klimatu zaznamenáváme pokles teplot způsobený pádem meteoritů, které uvolnily miliony tun prachu do atmosféry a znemožnily průchod slunečního záření na povrch planety. Během křídý se vlivem posuvu zemských desek zvýšila hladina moří až o 370 m nad dnešní stav. Konec druhohor před 65 miliony let byl způsoben pádem vesmírného tělesa do oblasti Yucatanského poloostrova a měl za následek pokles hladin až o 240 m, uvolnění velkého množství prachu do ovzduší, pokles teplot až o 40 °C po dobu několika měsíců a mnoho dalších změn. Posledně jmenovaná katastrofa způsobila nejznámější hromadné vymírání živočichů a rostlin na pevnině i v oceánech.

Třetihory začaly teplým obdobím způsobeným skleníkovým efektem – vodní parou, která se dostala do ovzduší po dopadu meteoritu na konci druhohor. V průběhu třetihor se kontinenty postupně přesunuly až do dnešní lokace, což mělo za následek tvorbu velké části dnešních pohoří. Paleogén bylo období, kdy vládu nad pevninou přebrali savci a oblohu osídlili ptáci. Koncem tohoto období a nástupem neogénu nastává období velmi rychlých klimatických změn (z pohledu existence Země). Nastává ochlazující trend, který vede na přelomu neogénu a pleistocénu k poklesu moří a tvorbě kontinentálních ledovců.

Ve čtvrtohorách již můžeme hovořit o podnebných pásmech, která se však posouvají s příchodem glaciálů a interglaciálů. Ve čtvrtohorách zaznamenáváme dle podmořských vrtů zhruba 18 dob ledových. V tomto období se vyvíjí čeleď Hominidae. Dochází k hynutí mnohých živočichů, neschopných se adaptovat na poměrně rychlé změny. K poslednímu glaciálu došlo před osmnácti tisíci lety. Území ČR leželo v periglaciálním pásmu s průměrnými teplotami kolem -3 °C. Ústup ledovců až do dnešního stavu probíhal v době před patnácti tisíci

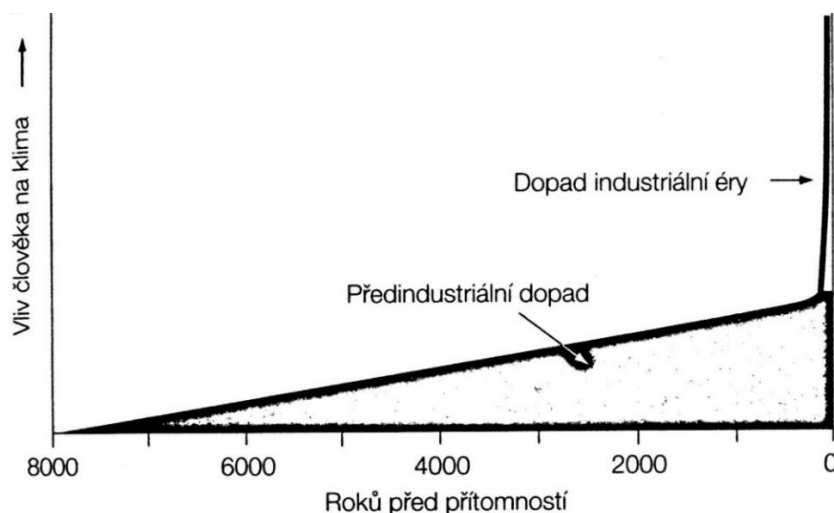
až osmi tisíci lety. Tání ledovců v oblasti Velkých jezer v Americe a „vylití“ velkého množství ledové vody do Atlantského oceánu způsobilo zastavení proudění v oceánu a během krátké doby (několik desetiletí) způsobilo tisícileté ochlazení. Až s obnovením proudění v Atlantském oceánu se zvyšuje teplota na severní polokouli a umožňuje rozvoj lidské populace, počátek farmaření a vznik civilizací. Klima v holocénu, dnešní době meziledové, je poměrně dobře prozkoumané a existují záznamy raných civilizací o změnách klimatu. Změny teploty v rozsahu několika málo stupňů přispěly k vzestupu a zániku mnoha civilizací. (Soukupová 2011)

Změny klimatu v holocénu a jejich souvislost s lidmi

Jelikož máme o změnách v holocénu nejvíce informací, je tomuto období věnována samostatná kapitola. Základním prvkem této části práce je vazba člověk – klima.

Před osmi tisíci lety, když se ledovce dostaly na dnešní úroveň, začalo teplé období s teplotami o stupeň až dva vyšší, než dnes, s vyšším množstvím srážek. Nazýváme jej obdobím klimatického optima. Podmínky prostředí byly ideální pro rozvoj zemědělství, které ukončilo kočovný způsob života lidí. Lidé se začali koncentrovat na několika málo lokalitách vhodných pro zemědělské využití.

Od této chvíle začínají i lidé ovlivňovat klima. Je možné vypočítat souvislost mezi počátkem zemědělství a nárůstu CO₂ do atmosféry vlivem postupného kácení a vypalování lesů pro tvorbu zemědělské plochy a nasycení rostoucí lidské populace. Další souvislost můžeme najít mezi zaváděním zavlažovacích systémů pro pěstování rýže a zvyšováním hladiny metanu z takto vzniklých mokřadů do atmosféry. Vliv člověka na klima od počátku zemědělství znázorňuje graf (Obr.2) z knihy W.F. Rudimmana z roku 2011.



Obrázek 2 – Vliv člověka na klima

Zdroj: *Ruddiman (2011)*

Kolem roku 1 000 před naším letopočtem se mění podnebí, a zvláště ve Středozeří nastávají studenější zimy. Kvůli suchu se v této oblasti přechází v zemědělství od obilí k pěstování vinné révy a k pasterectví. Řecká civilizace je nucena k expanzi a importu potravin. K dalšímu ochlazení dochází krátce před naším letopočtem. Podnebí se zvlhčilo, což umožnilo rozvoj civilizací na severu Afriky (například rozmach Kartága). Toto ochlazení také vedlo k migraci mnohých národů a rozpadu starověkého Říma. K následnému oteplení došlo až kolem roku 875 našeho letopočtu a nastalo tzv. malé středověké klimatické optimum (průměrná teplota se oproti dnešku zvýšila o cca 1,5 °C). Tání ledovců způsobilo vzestup hladin oceánů až o dva metry a umožnilo Vikingům ovládnout a přeplout Atlantik. Ve středověké Evropě se rozvíjelo zemědělství. Pár chladných období v letech 1057-1069 a 1159-1465 způsobilo nedostatky potravy a hladomory. Zvláště druhé období, které označujeme jako malou dobu ledovou, zvýšilo mocnost ledovců a způsobilo zánik Vikingských kolonií na severu. Na východě Asie jsou však v této době klimatické podmínky neobvykle příznivé a vedou k mnohaletému tažení Mongolů do Evropy.

Mezi lety 1466-1619 v Evropě probíhalo malé klimatické optimum, které přineslo velký rozmach v zemědělství i v kultuře. Následující chladné období vyhnalo spoustu obyvatel severovýchodních zemí do Ameriky a trvalo asi do roku 1897. Teplejší období nastalo až po roce 1942 a je význačné postupným oteplováním a vysokou sluneční aktivitou. (Soukupová 2011)

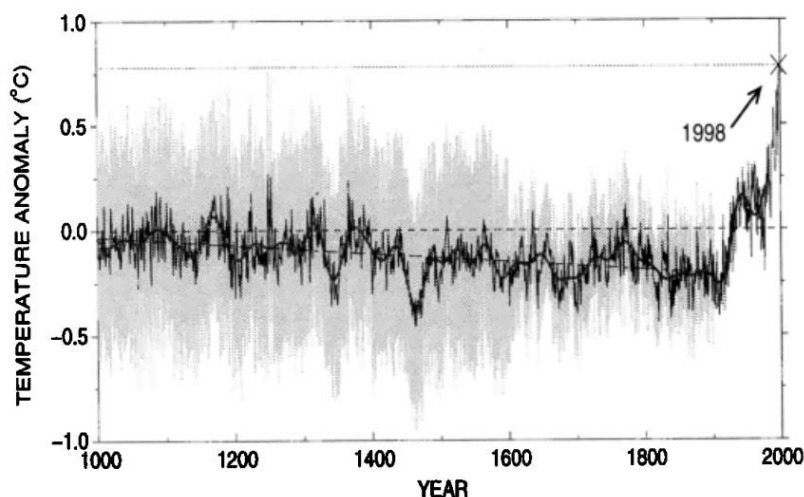
Přístup společnosti k vnímání změn klimatu

Dlouhou dobu se lidé pouze přizpůsobovali probíhajícím klimatickým změnám. S rozvojem znalostí a postupným předáváním si informací se o tento vývoj začala aktivně zajímat úzká skupina lidí. Dnes máme k dispozici měření pocházející z 18. století a jsme schopni rekonstruovat data sahající mnoho tisíc let do minulosti. Historická data získaná z letokruhů stromů, sedimentů řek a pomocí dalších metod je však možné interpretovat více způsoby. Se stále novějšími poznatky máme čím dále přesnější představu o tom, jak se klima v minulosti vyvíjelo. Tato kapitola popisuje základní pohledy na současný vývoj klimatu.

V podstatě existují tři přístupy vnímání klimatických změn. První dva jsou svým způsobem omezené, názorově působí protichůdně, a jak bylo řečeno v úvodu, historická data bývají lidmi vyznávající tyto názorové protiklady interpretována tak, aby podpořili svá tvrzení. Třetí přístup sbírá data, zkoumá klimatický systém a snaží se o objektivitu. Podstata spočívá v tom, že objevuje stále nové a nové principy, bohužel není schopný zcela jednoznačně potvrdit, ani vyvrátit předchozí dva „přístupy“.

V posledních čtyřech desetiletích se výrazně prosazuje názorové hnutí hlásající globální oteplování způsobené skleníkovými plyny, které vypouští do ovzduší lidská společnost. Jeho podporovatelé dávají do souvislosti rostoucí množství oxidu uhličitého (CO₂) s růstem teploty. Problém s interpretací dat lze ilustrovat na Mannově (1999) „hokeykovém grafu“ (Obr. 3). Tento graf je možné posuzovat tak, že teploty z posledních let jsou nejvyšší za poslední milénium a dále rostou zrychlujícím se tempem. Graf vykazuje výrazný nárůst až v posledních několika desetiletích.

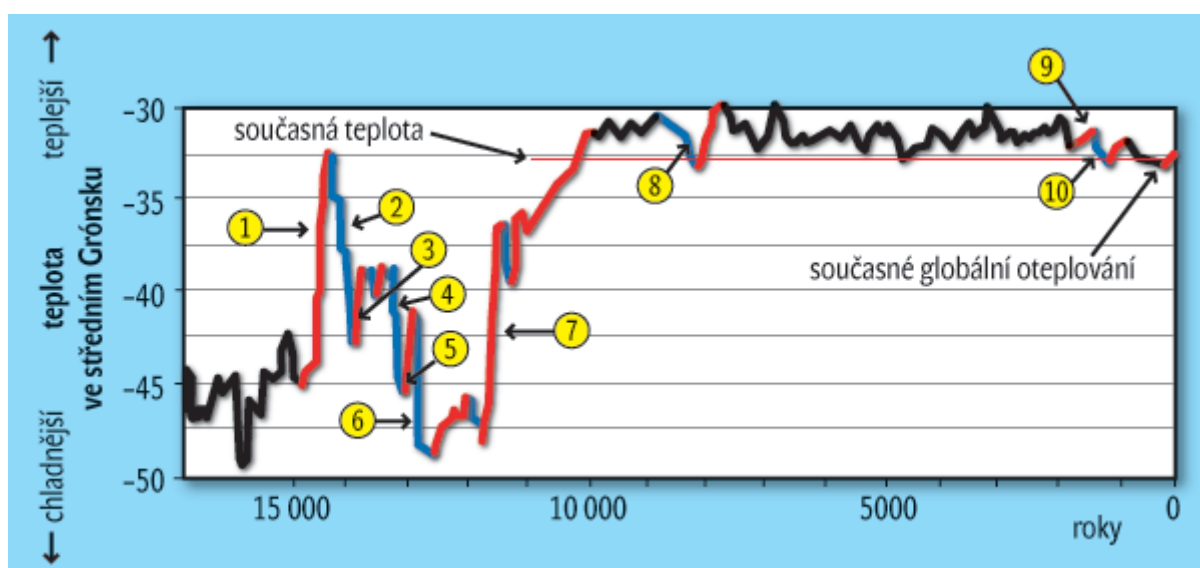
Problém nastává právě u interpretace dat. Rekonstrukce teplot vychází z analýzy letokruhů stromů. Rostoucí část grafu ovšem vychází z dat získaných teploměrovým měřením. Pokud by se metodika držela rekonstrukce dat z letokruhů stromů, žádný výrazný nárůst by v grafu vidět nebyl. Zkreslení je způsobeno využitím nepřímých dat (tzv. proxy dat) v kombinaci s naměřenými hodnotami. Moberg (2005) na základě svého výzkumu dokládá vyšší teploty oproti těm dnešním v období tzv. středověkého teplotního optima kolem roku 1000 n. l. Na Mannově grafu (Obr. 3a) tyto hodnoty nevidíme a lze tak podlehnout hlasům lidí zvěstujících brzký konec světa v globálně se oteplujícím světě. Na základě dat z jeho výzkumu můžeme dnešní teploty považovat za vcelku normální, jelikož vývoj není nijak výrazně ovlivněn lidskou činností.



Obrázek 3a – Mannova rekonstrukce teplotních dat (rok 1000 – 2000)

Zdroj: Mann (1999)

Dlouhodobější datová řada ukazuje poměrně stabilní teplotní vývoj v posledních deseti tisíci letech, před kterým evidujeme výraznější teplotní výkyvy (Obr.3b). (Cílek 2010) Rozdíly interpretace dat u grafů z obrázků 2 a 3 jsou patrné. Dalším problémem v interpretaci dat je lokalita, kde se toto měření provádělo. Zatímco proxy data získaná z letokruhů mohou zasahovat jen do relativně nedávné historie, proxy data získaná z ledovců nám dávají možnost sledovat vývoj teplot desítky tisíc let zpátky (viz. Obr 4). Je však třeba si připustit argument, že v místech, kde se vyskytují mohutné ledovce, mnoho stromů pro zkoumání jejich letokruhů nenajdeme a můžeme napadnout věrohodnost tohoto srovnání.

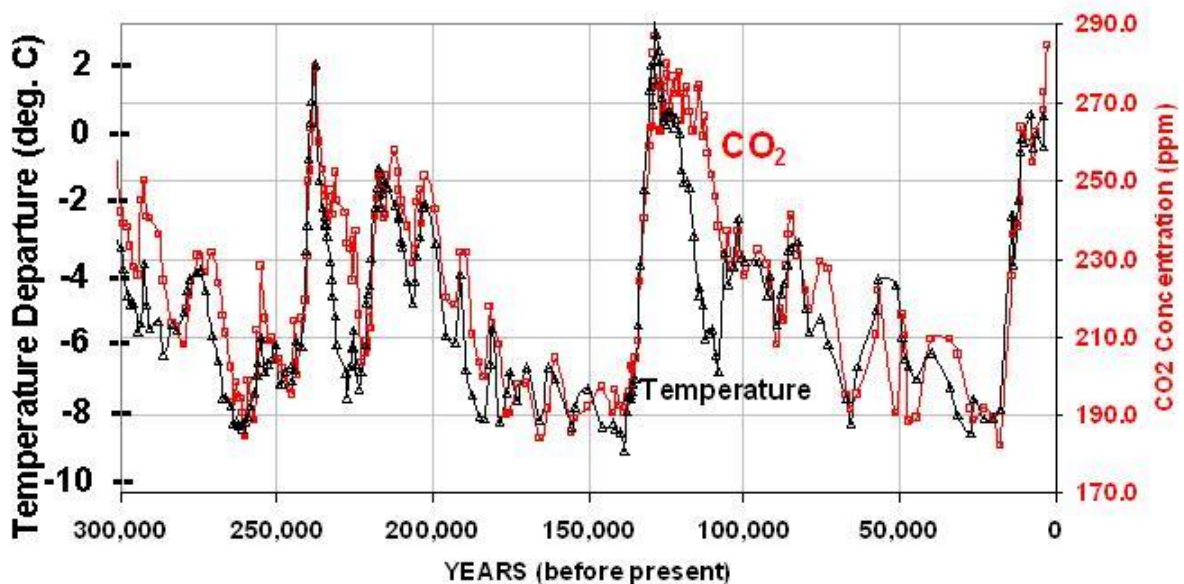


Obrázek 3b – Rekonstrukce teplotních dat za delší časové období

- 1- Zhruba před 15 000 lety se náhle výrazně oteplilo (cca o 12 °C), roztály ledovce, které tehdy pokrývaly Kanadu, sever Spojených států, Skandinávii a většinu severní Evropy a Ruska. Hladina světových moří stoupla přibližně o 120 m a voda zaplavila rozsáhlá území. Oteplení bylo velmi náhlé – odehrálo se během několika let.
- 2- O několik století později se náhle ochladilo (cca o 11 °C) a ledovce se znovu objevily.
- 3- Globální teplota před 14 000 lety opět rychle stoupla (cca o 4,5 °C) a ledovce se stáhly.
- 4- Před 13 400 lety teplota poklesla (cca o 8 °C) a rozsah ledovců se zvětšil.
- 5- Před 13 200 lety se teplota zvýšila cca o 5 °C a ledovce ustoupily.
- 6- Před 12 700 lety teplota poklesla cca o 8 °C a začalo tisícileté chladné období (počátek dryasu).
- 7- Před 11 500 lety vzrostla teplota cca o 12 °C, skončilo chladné období dryasu a také doba ledová.
- 8- Ochlazení před 8200 lety.
- 9- Teplé období ve středověku.
- 10- Malá doba ledová.

Zdroj: *Cílek (2010)*

Při snaze o vyvrácení lidského vlivu na současné zvýšení globálních teplot se využívají podobné přístupy jako u zastánců teorie globálního oteplování způsobeného člověkem. Jako ukázka manipulativní práce s daty je níže uveden obrázek 4. Zatímco zastánci teorie globálního oteplování způsobeného lidmi uvádějí množství oxidu uhličitého jako příčinu dnešního oteplení, odpůrci této teorie uvádějí graf popisující změny teplot jako příčinu změn CO₂ (Obr. 4). Data jsou graficky zobrazena tak, aby vizuálně podpořila skeptiky teorie globálního oteplování.



Obrázek 4 – Souvislost vývoje teploty a CO₂

Zdroj: <http://www.drroyspencer.com/wp-content/uploads/vostok-co2-and-temperature.jpg>

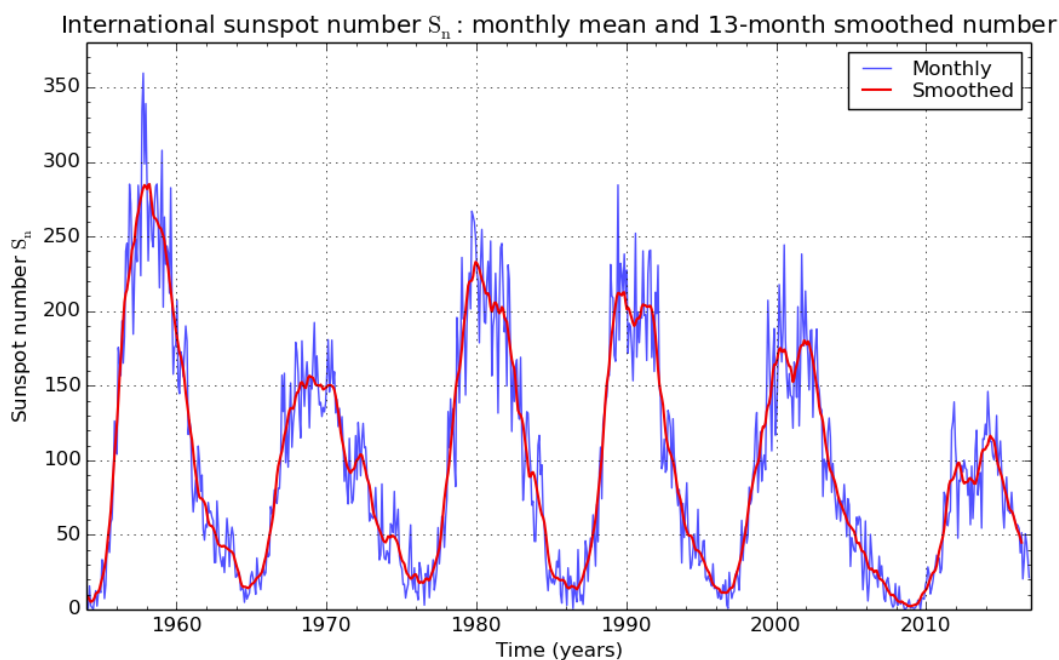
Snaha o objektivitu naráží na malé množství přímých dat a také na velké množství neprozkoumaných či nedávno objevených přírodních vlivů na klimatické změny. Vychází z mnoha modelů, které zobrazují alternativní scénáře za předem stanovených předpokladů. Tyto modely se rozcházejí mezi sebou, a zcela neodpovídají naměřeným hodnotám. Objektivní přístup je však potřebný minimálně z hlediska přezkoumání předchozích dvou zjednodušujících postojů.

3.2 Přírodní děje působící na změny klimatu

Uvažujeme-li o změnách klimatu, musíme brát v potaz rozsáhlou škálu faktorů, které působí na změny klimatu. Vesmírné záření, oběh Země kolem Slunce, natočení osy Země, vulkanická aktivita, oceánské proudění a další vlivy se spolupodílejí na změnách klimatu. Z historického vývoje uvedeného v kapitole 3.1 pozorujeme periodický vývoj změn klimatu.

Cykly ovlivňujících faktorů mohou navzájem zesilovat své působení na klima, nebo mohou působení jiných faktorů tlumit. Není snadné obsáhnout data o působení přirozených činitelů a popsat jejich souhrnné působení na klima. Tato podkapitola shrnuje základní přírodní děje působící na zemské klima, aby čtenáři přiblížila složitost vývoje klimatu.

Země ovlivňují mimozemské jevy, mezi které patří dopady vesmírných těles a kosmické záření, zvláště záření nejbližší hvězdy, Slunce. Sluneční záření je ovlivněno slunečními cykly. Základní a nejvýraznější cyklus je dvaadvacetiletý, kdy po každých 11. letech dojde k přepólování magnetického pole Slunce. Existují dva indexy pro výpočet slunečního cyklu na základě počítání slunečních skvrn (Wolfovo číslo a GSN). Bohužel se data získaná oběma indexy neshodují pro data starší 20. století, což jim do určité míry ubírá na věrohodnosti (Gorková 2015).

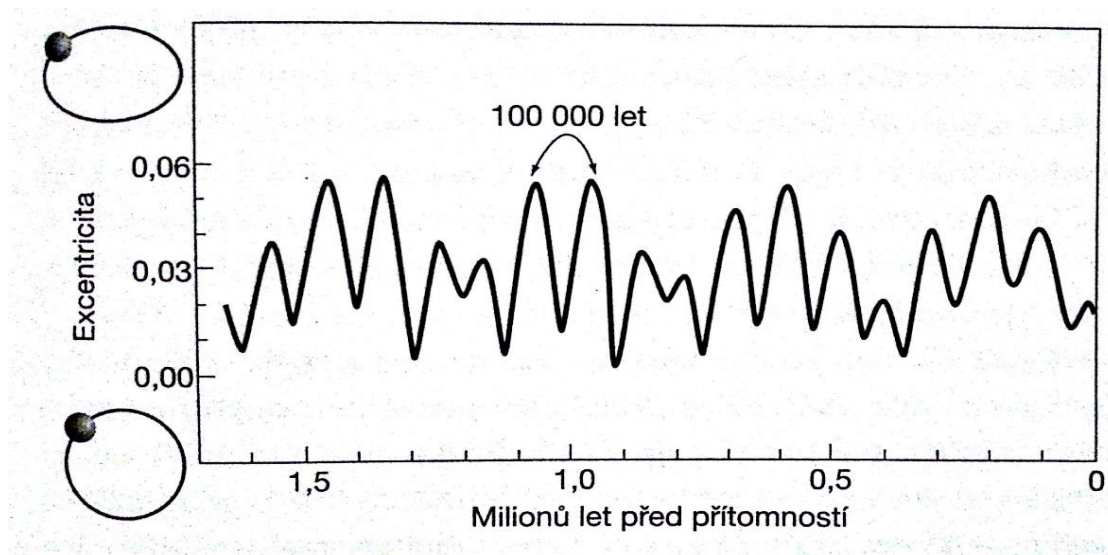


SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2016 December 1

Obrázek 5 – Sluneční cykly

Zdroj: *SILSO*

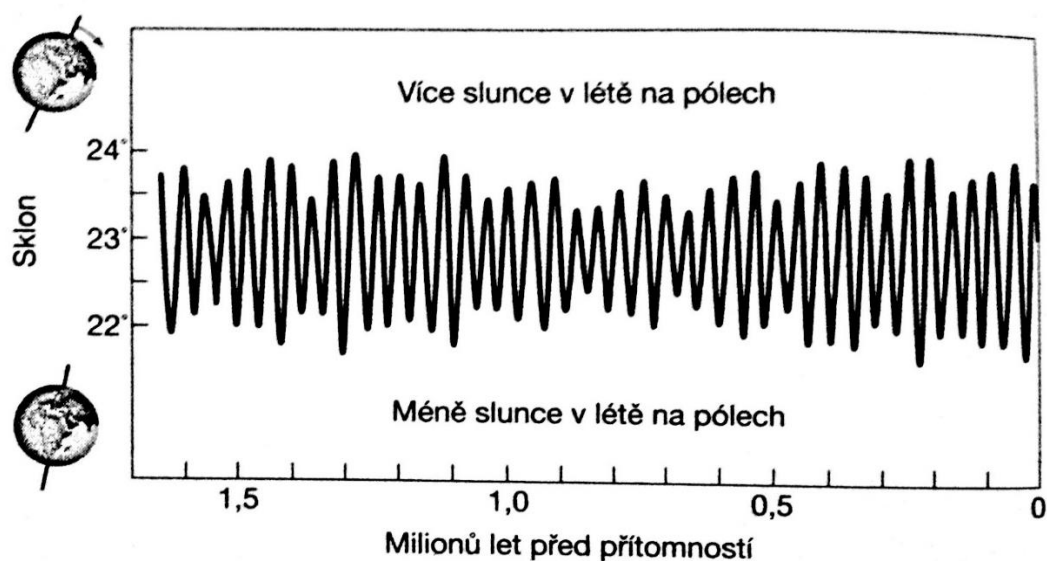
Nejenom aktivita Slunce ovlivňuje množství sluneční energie, která dopadá na zemský povrch. Pohyb naší planety kolem Slunce probíhá po elipsovité dráze. V perihéliu je tato vzdálenost $147,1 \cdot 10^6$ km a v aféliu $152,1 \cdot 10^6$ km. Tato vzdálenost se mění každým rokem. Excentricita dráhy však není stále stejná, v cyklu trvajícím téměř asi 98 000 let se mění s rozdílnou amplitudou. Země tak může obíhat kolem Slunce po téměř kruhové dráze, ale i po elipsoidní dráze se značnou excentricitou. Současná hodnota excentricity je 0,01671 (hodnoty mohou dosahovat hodnot z intervalu 0,0007-0,0658). Změny každoroční oběžné dráhy Země jsou znázorněny na obrázku 6 (Křížek 2004; Rudimman 2011).



Obrázek 6 – Změny excentricity oběžné dráhy Země kolem Slunce

Zdroj: *Ruddiman (2011)*

Se sluneční aktivitou souvisí sklon zemské osy, který ovlivňuje množství slunečního záření na určitou lokalitu na Zemi. Vlivem působení gravitačního pole Jupiteru a dalších větších planet se sklon zemské osy naklání v rozmezí $22,2^\circ$ - $24,5^\circ$. Cyklus tohoto náklonu osy trvá 41 000 let. Náklon v rozmezí pouhých $2,3^\circ$ mění výši postavení Slunce na obloze, což má vliv hlavně ve vyšších zeměpisných šířkách. Zvláště v šířkách nad 45° jsou změny záření způsobené tímto náklonem výrazné. Cyklicita náklonu osy Země jsou znázorněny na obrázku 7 (Ruddiman 2011).



Obrázek 7 – Cyklické změny zemské osy

Zdroj: *Ruddimen (2011)*

Zemská osa má kromě cyklických změn i tzv. kolébatvé pohyby, které nazýváme precese. Tento pohyb má periodický charakter (jedna perioda precese trvá kolem 22 000 let). Natočení osy v rámci precese naklání planetu každých 11 000 let na opačnou stranu, což má vliv na množství sluneční energie dopadající na nakloněnou a odkloněnou část Země. Precese i excentricita působí společně a mají nezanedbatelný vliv na změny klimatu. Je-li totiž excentricita nízká, není vliv precesních cyklů zvlášť výrazný, nastane-li vyšší hodnota excentricity, násobí se účinek precesních pohybů. Ruddiman (2011) uvádí, že odchylka slunečního záření v opačných extrémech cyklu je až o 10 % oproti průměru, a to na jakémkoli místě a v jakoukoli roční dobu. Společný účinek precese zemské osy a excentricity zemské dráhy kolem Slunce znázorňuje obrázek 8.



Obrázek 8 – Společný vliv precese a excentricity

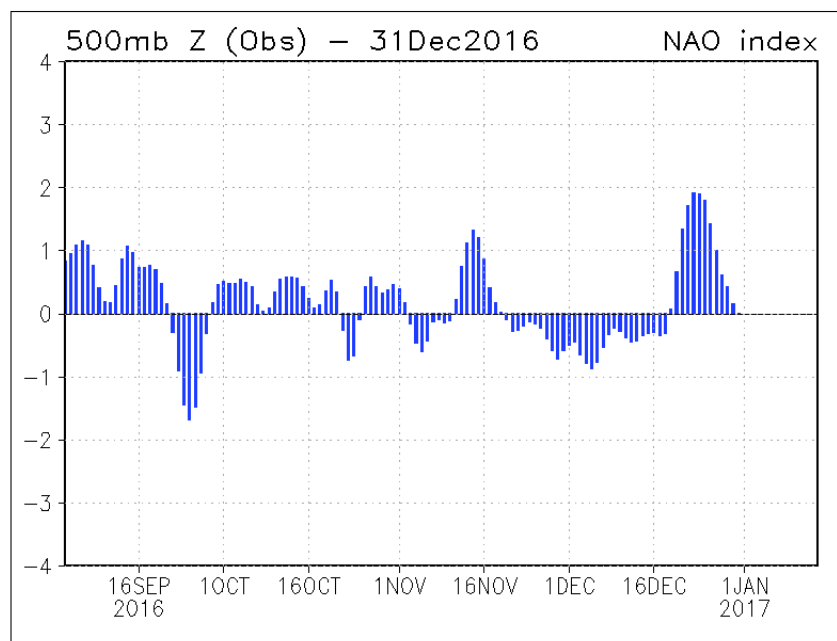
Zdroj: Rudimman (2011)

Mezi další významné přírodní činitele na vývoj klimatu patří vliv atmosféry, jejích vrstev a složení. Vlivem rozdílných tlaků způsobených nerovnoměrným ohřevem planety slunečním zářením proudí atmosféra ve směru tlakového gradientu. Základní cirkulaci atmosféry zajišťují 3 cirkulační buňky působící od rovníku po 30° zeměpisné šířky (Hadleyova, Farrellova a Hadleyova polární buňka). Vzduch v teplých oblastech se ohřívá a stoupá vzhůru a klesá v oblastech chladnějších.

Dále je třeba zmínit vliv oceánu, který tvoří téměř 71 % plochy zemského povrchu. Cílek (2010) ve svém článku uvádí, že 2,6m tloušťky vody dokáže pohltit či vyzářit stejné množství tepla,

jako celá atmosféra. Oceán se neustále pohybuje v rámci systému globální termohalinní cirkulace neboli oceánského teplotního výměníku. Vliv na toto proudění má mimo jiné oceánské dno a směr atmosférického proudění. Korelace mezi povrchovou teplotou vody a teplotou atmosféry činí 0,8, zatímco mezi atmosférickou teplotou a množstvím CO₂ jen 0,5. Vzhledem k vysoké propojenosti proudění atmosféry a hydrosféry je možné jejich proudění popisovat dohromady.

Významný vliv na Eurasii a Severní Ameriku má působení Arktické oscilace (rozdíl tlaku mezi polárními oblastmi a středními šířkami) a hlavně Severoatlantické oscilace (tlakový rozdíl mezi Azorskými ostrovy a Islandem). Vysoký rozdíl tlaku mezi těmito místy značí kladnou hodnotu indexu a zvýšené západní proudění přinášející do Evropy srážky, ale i teplejší počasí. Jako příklad uvádím obrázek 9 zobrazující klesající hodnoty NAO indexu, který je v souladu s dlouhodobou předpovědí meteorologů ze dne 31.12.2016. Jedná se o předpověď teploty výrazně pod nulou na následující dva týdny.



Obrázek 9 – Hodnoty NAO indexu

Zdroj: NOAA

Atmosféru dále ovlivňuje Atlantická dlouhodobá oscilace (AMO, která je definována jako dlouhodobá přirozená změna hladiny Atlantiku) a Pacifická dlouhodobá oscilace. Obě tyto dlouhodobé oscilace byly objeveny až na začátku 21. století, ač výrazně ovlivňují cirkulaci oceánu, což způsobuje změny jeho povrchové teploty. Značný vliv na atmosférické změny má

také Jižní oscilace v podobě jevů zvaných El-Niño a La-Niña. Výrazně ovlivňují především Jižní Ameriku a Austrálii s Oceánií. Jev mění atmosférické proudění a ovlivňuje v této oblasti množství srážek dopadající na pevninu. Pokud však tento jev nastane se zvýšenou silou, může ovlivnit klima po celé zemi (Cílek 2010).

Zbytek plochy zemského povrchu tvoří pevnina, která tvoří rozličný reliéf ovlivňující atmosférické proudění. Zemský povrch má také různou odrazivost záření (pro srovnání poměr odraženého záření Slunce k dopadajícímu, tzv. albedo, je pro trávu rovno 0,2, pro oceán jen 0,1 a pro sněhovou pokrývku dokonce 0,9) (Ruddiman 2011). Tato hodnota je významná pro energetickou bilanci země. Spolu s albedem zde působí i latentní tok tepla při tání (či sublimaci) sněhové pokrývky a emitované dlouhovlnné záření. Sněhová pokrývka je významným faktorem ovlivňujícím lokální klima. (Cohen 1991)

V rámci výzkumu provedeném Jamesem Fosterem a jeho společníky v roce 1982 byla zkoumána závislost mezi sněhovou pokrývkou a teplotou. Spočítali korelaci mezi sněhovou pokrývkou (1969–1982) a teplotou v Severní Americe a v Eurasii. Na tomto nepříliš velkém vzorku 13 let uvádějí, že 52 % teplotních anomálií eurasijské zimy je možné vysvětlit za pomoci sněhového pokryvu na podzim (u Severní Ameriky jen 12%). V oblasti Severní Ameriky vysvětlení teplotních odchylek nacházíme u zimní sněhové pokrývky, kdy $r^2 = 46\%$ (pro Eurasii zde koeficient determinace vychází jen 12 %) (Foster et al. 1983).

Neméně významný je vliv horninového složení země včetně zemského jádra a tvorba magnetického pole ovlivňující kosmické záření v okolí Země.

3.3 Hydrosféra a koloběh vody

Na růst či pokles stavu ledovců mají zásadní vliv dva faktory – teplota a množství srážek. Na vývoj ledovce má výrazný vliv teplota v letním období, která určí, zda ledová plocha každé léto odtaje, či zda část zůstane a ledovec tak bude rok od roku růst. S klimatickými změnami souvisí změny v cyklu vody. Tato kapitola popisuje základní prvky hydrosféry, tolik potřebné pro pochopení vlivu klimatických změn na sněhovou a ledovou pokrývku. Hydrologii můžeme rozdělit na hydrologii pevniny a oceánologii.

Hydrosféru dle Hrádka (2008) definujeme jako soustavu zahrnující veškerou vodu na Zemi včetně vody v ovzduší, ve všech skupenstvích a formách. Tato soustava zahrnuje podpovrchovou vodu, povrchové toky (oceány, moře, vodní nádrže, řeky, sníh, led, bažiny) a vodu obsaženou v atmosféře. Hydrologové se věnují fyzikálním a chemickým vlastnostem vody, charakteristikami přirozeného povodí, zákonitostmi oběhu vody, snaží se o co

Tabulka 1 – Voda

Vodní zdroj	Vodní objem [km ³]	Podíl sladké vody [%]	Celkový podíl vody [%]
Oceány, moře a zálivy	1 338 000 000	--	96,5400
Ledová pokrývka, ledovce, permanentní sníh	24 064 000	68,600	1,7400
Podzemní voda	23 400 000	--	1,6900
- Sladká voda	10 530 000	30,100	0,7600
- Slaná voda	12 870 000	--	0,9300
Půdní vlhkost	16 500	0,050	0,0010
Permafrost	300 000	0,860	0,0220
Jezera	176 400	--	0,0130
- Sladká voda	91 000	0,260	0,0070
- Slaná voda	85 400	--	0,0070
Atmosféra	12 900	0,040	0,0010
Bažiny	11 470	0,030	0,0008
Řeky	2 120	0,006	0,0002
Voda v organismech	1 120	0,003	0,0001

Zdroj: Gleick (1993)

Neustálá výměna vody v hydrosféře je popsána bilanční rovnicí oběhu vody na Zemi, souhrnně uvedené v rovnici 1. Tabulka 2 dále uvádí číselné vyjádření bilance vody mezi pevninou a oceány.

Rovnice 1 – Souhrnná vodní bilance

$$Sp + So = Vp + Vo,$$

kde *S*...srážky, *V*...výpar, index *p*...pevnina a index *o*...oceán

Zdroj: Hrádek (2008)

Tabulka 2 – Číselné vyjádření vodní bilance (*Op*...odtok z pevniny, index *c*...celkový)

Vodní bilance			
Pevnina	[km ³ /rok]	Oceán	[km ³ /rok]
<i>Sp</i>	99 000	<i>So</i>	412 000
<i>Op</i>	-36 000	<i>Op</i>	36 000
<i>Vp</i>	63 000	<i>Vo</i>	448 000
		Sc	511 000
		Oc	0
		Vc	511 000

Zdroj: Hrádek (2008)

Zkoumáme-li ledovce a sněhovou pokrývku, zajímá nás především množství srážek v určité oblasti, které při teplotě pod 0 °C umožňuje růst ledové pokrývky a její tání (popř. odtok roztáté vody).

Srážky

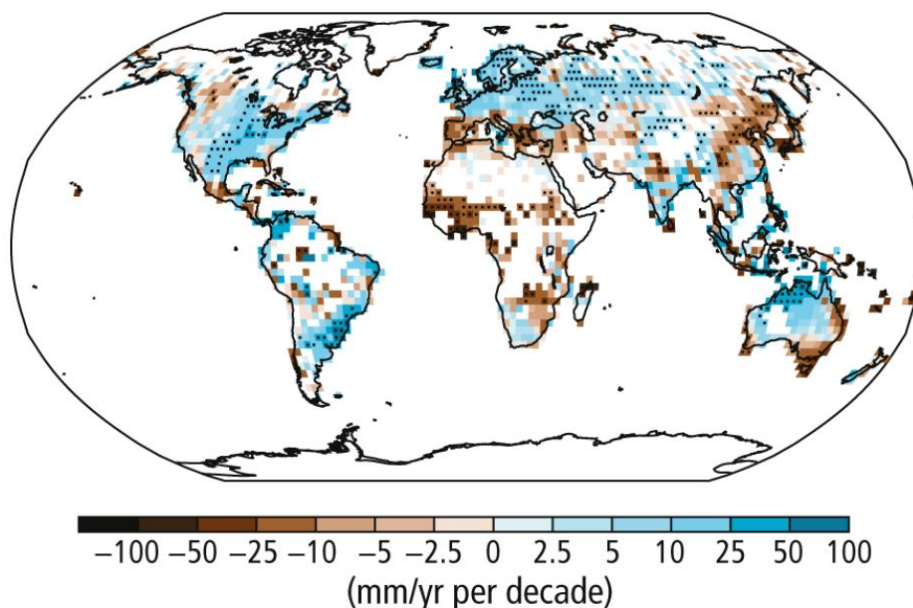
Složení suchého vzduchu v atmosféře je téměř konstantní. Obsahuje dusík (78%), kyslík (21%), argon (0,93%), oxid uhličitý (0,03%) a další plyny. Reálně suchý vzduch neexistuje, neboť obsahuje určité množství vodní páry, která se ve vzduchu vyskytuje. Její množství je proměnné a může dosahovat až několika procent.

Vodní pára se do ovzduší dostává skrze výpar (evaporaci) vody. Při evaporaci se voda přeměňuje ze skupenství kapalného či pevného do skupenství plynného. Podle Hrádka (2008) rozeznáváme 5 druhů výparu: „výpar z volné vodní hladiny“, „výpar z holé půdy“, „evapotranspirace (výpar z půdy porostlé vegetací)“, „výpar z vodní hladiny“ a „transpirace rostlin“. Při výparu se energie povrchu odebírá, tím způsobuje jeho ochlazení. Výpar je ovlivňován teplotou, vlhkostí, tlakem a prouděním vzduchu, je odvislý od tvaru povrchu, druhu půdy, vegetační pokrývky a vlastnosti vypařované vody.

Množství vody v atmosféře závisí na stavu nasycení, tj. na teplotě a tlaku vzduchu. V okolí stavu nasycení dochází při každém přidání vodní páry buď ke kondenzaci (přeměně skupenství plynného na kapalně), či k desublimaci (přeměna plynného skupenství v pevné). Při těchto přeměnách se uvolňuje energie do okolí, při kondenzaci se uvolní 2 550 J, při desublimaci 2 870 J. Při určitém tlaku vzduchu a teplotě nastává rovnováha mezi plynným, kapalným, a pevným skupenství, kterou nazýváme trojným bodem.

Srážky vznikají kondenzací či desublimací vodních par na tzv. kondenzačních jádrech. Kondenzační jádra jsou částice aerosolu, které z velké části pochází z přírodních materiálů, např. krystalků mořských solí. S vývojem lidské společnosti přibývají na množství a významu kondenzační jádra tvořena exhaláty antropogenního původu. Rozměry těchto jader dosahují kolem 10^{-8} - 10^{-5} m. Kondenzace vodních par nastává při méně, než 100 % poměrné vzdušné vlhkosti (hodnota závisí na koncentraci solí v ovzduší, zvláště v silně znečištěném prostředí).

Při nízkých teplotách vodní pára obsažená ve vzduchu desublimuje, vzniklé krystalky se nabalují na kondenzační jádra a vznikají sněhové vločky. Sníh pokrývající souvislou plochu je ohraničen sněhovou čarou, tato čára je zvláště významná při zkoumání vysokohorské trvalé ledové pokrývky. Sněhová pokrývka je důležitým zdrojem sladké vody. Roztání jedné objemové jednotky sněhu uvolní 10-40 % vody. Sněhová pokrývka tvoří důležitý zdroj pitné vody a je jednou z nejvýznamnějších proměnných v bilanci vody. Na tání sněhové pokrývky má na našem území vliv především nadmořská výška a míra zalesnění území. (Hrádek 2008) Vývoj klimatu přináší změnu srážkových systému na celé planetě. Vývoj srážkového systému nad pevninou je zobrazen na obrázku 11.



Obrázek 11 – Pozorovaná změna průměrných srážek z let 1951 - 2010

Zdroj: IPCC

4 Vliv klimatických změn na ledovou pokrývku

Na úvod této kapitoly je třeba zmínit dva nejvýznamnější činitele, které ovlivňují ledovou pokrývku. Jsou jimi srážky popsané v kapitole 4.2 a teplota. Na teplotu má vliv široké spektrum přírodních faktorů, které jsou uvedeny v kapitole 3.2. Není zcela jasné, jak rychlé změny klimatu momentálně probíhají a do jaké míry je člověk ovlivňuje. Je však nepopiratelným faktem, že lidská civilizace do ovzduší vypouští značné množství skleníkových plynů, které mají na klimatický vývoj vliv.

Velká část klimatických změn je součástí přirozených cyklů, které stále více ovlivňuje člověk. Energetika, doprava, zemědělství a další odvětví vypouští do svého okolí stále větší množství polutantů, což má vliv nejen na změny klimatu, ale i na toxicitu atmosféry, hydrosféry a pedosféry ovlivňující život na planetě. Kapitola 5 této práce je zaměřena na změny sněhové a ledové pokrývky, která dle dostupných dat ubývá rychleji než v minulosti v rámci přírodních cyklů.

Shrneme-li pozorované změny klimatu ze studie ČHMÚ, teplota se v posledních 50 letech zvyšuje o více jak 0,1 °C za desetiletí nad pevninami. Nad oceány teplota stoupá pomaleji než na pevnině. Zaznamenáváme změny srážkového režimu – pozorujeme delší období sucha a intenzivnější srážky. Zvyšuje se podíl vodní páry ve vzduchu, roste průměrná teplota oceánů až

do hloubky 3 000 m. Z důvodu zvyšující teploty se zmenšuje rozloha trvale zaledněných území, mocnost ledovců klesá.

V následujících podkapitolách jsou tyto změny podrobněji popsány.

Podíváme-li se na Zemi z vesmíru, vidíme nerovnoměrné rozdělení oceánů a pevniny na jižní a severní polokouli. Dnešní stav je dán dlouhodobým vývojem pevninských a oceánských desek, které měnily tvář Země. Kapitola 5.1 a 5.2 je zaměřena na rozdíly mezi oběma polokoulemi. Klima severní polokoule a jižní se liší především poměrem pevninské části a oceánu, což ukazuje tabulka 3.

Tabulka 3 – Poměr pevniny a oceánu na severní a jižní polokouli

	Pevnina	Vodní plocha
Celkově (mil. km²)	148,892	361,059
Severní polokoule	67,35%	42,84%
Jižní polokoule	32,65%	57,16%

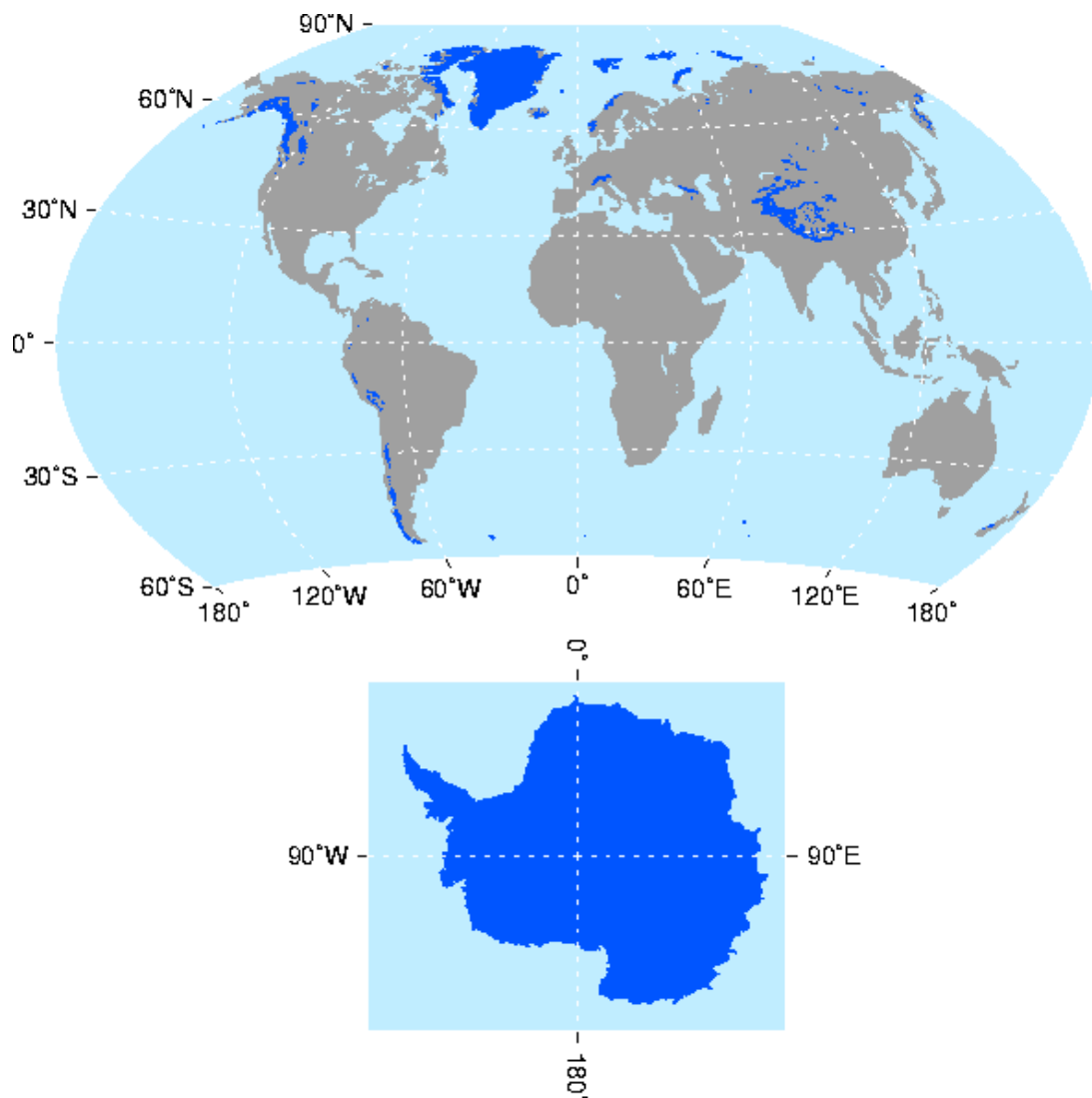
Zdroj: Sverdrup et al. (1942)

Na pevnině i v oceánech se může za příznivých okolností tvořit ledová pokrývka, která je však odlišného původu. Na pevnině hovoříme o ledovcích, u kterých rozeznáváme dva základní typy: pevninské ledovce a horské ledovce. Ledovce vznikají postupným stlačováním sněhu, který postupným vrstvením zvyšuje svou hustotu až na 0,5 g/cm³. Toto stadium nazýváme firm. Pokud tlak na firm narůstá a pokud probíhá krystalizace částec sněhu, vyplňují se vzduchové póry a vzniká led s hustotou do 0,9 g/cm³. Ledovec vzniká nejrychleji v oblastech s teplotami kolem nuly, které tvoří lepší podmínky pro průsak vody do spodních vrstev. Pevninské ledovce dosahují mnohem větší rozlohy, než horské ledovce (Antarktický a Grónský ledovec tvoří 96% ledové plochy).

Horské ledovce členíme podle vzniku i podle původu. Kublák (2015) uvádí 4 typy horských ledovců: náhorní ledovce (nalezneme je na vyvýšených plošinách, jejichž splazy stékají více směry dolů), karové ledovce (vznikají nahromaděním sněhu pod strmými svahy, často jsou ohraničeny skalním masivem), visuté ledovce (tyto ledovce se vyskytují na svazích hor přesahující srázy a přepadávající do údolí) a údolní ledovce, vyskytující se v horských údolích. Dále můžeme rozlišovat dendritické ledovce, piedmontní, norské, špicberské a další. Horské ledovce se mohou dle svého typu a prostředí každoročně posunout až o 300 m a pohybovat se rychlostí až 5 km/h (Kublák 2015; Matoušková 2001).

Na pomezí mezi horskými ledovci a kontinentálními můžeme zařadit ledovcové čapky, které mohou svou rozlohou pokrývat horu či celé pohoří. Vlastní kontinentální ledovce označujeme

jako ledovcové štíty pokrývající plochu i více, než 50 000 km². Na okrajích ledovcových čapek a štítů můžeme najít ledovcové splazy či proudy, ve kterých dochází k rychlejšímu pohybu ledovce například průrvou v horninovém podloží. Z pobřeží se ledovec může dostat na mořskou hladinu, na které vzhledem k měrné hustotě pluje (je nižší, než měrná hustota vody). Takový ledovec nazýváme šelfovým ledovcem, od něhož se dále do moře odlamují části zvané kry. Šelfový ledovec může při svém rozšiřování narazit na zvedající se mořské dno a tvořit ledovcový výšvih (Nývlt 2013).

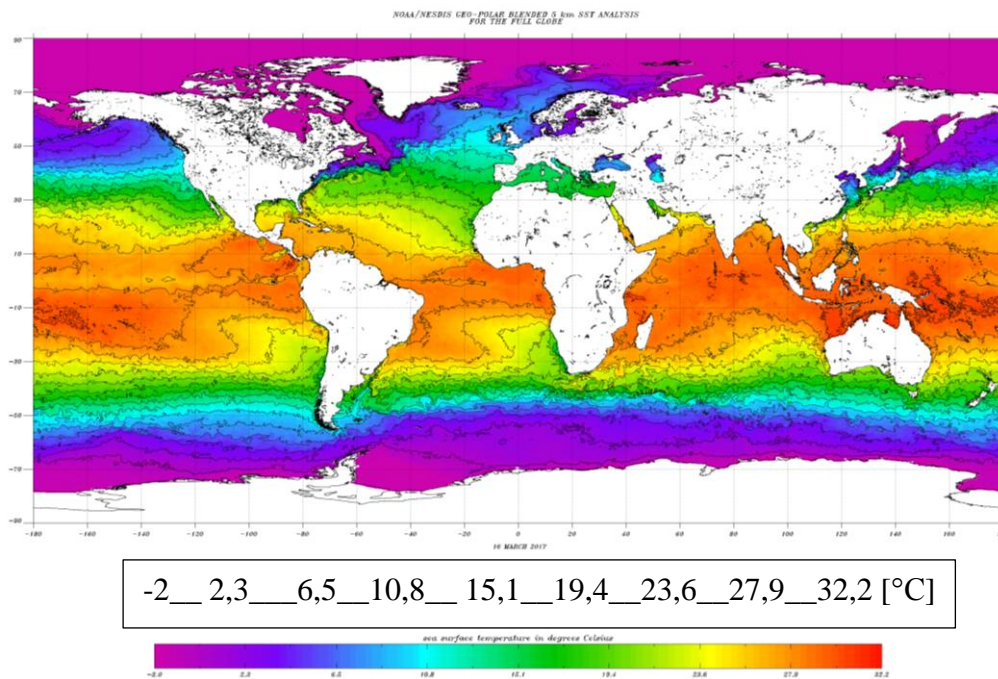


Obrázek 12 – Rozložení ledovců na pevnině

Zdroj: *GLIMS*

Na vodní ploše rozeznáváme kry (úlomky pevninských ledovců) a mořský led, což je zmrzlá mořská voda tloušťky zpravidla nepřesahující jednotky metrů. Tento led obsahuje soli z oceánu, jejichž množství v ledu závisí na rychlosti zamrznání hladiny a stáří ledové plochy. Podle stáří a

mocnosti můžeme mořský led rozlišit na zámrz (led stárí do jednoho roku, který každoročně odtává v letním období) a víceletý mořský led (tzv. návrše). Mořský led zamrzá při $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ při salinitě mořské vody 35 ‰. Tato teplota však závisí na síle mořských proudů, rychlosti větru, sněžení či znečištění oceánu. Grafické znázornění teploty oceánů a moří ke dni 16.3.2017 je na obrázku č.13. Z toho obrázku je patrné, že na severní polokouli v tomto období jsou větší předpoklady pro tvorbu ledové pokrývky než na jižní polokouli. I když je na jižní polokouli v současné době (3/2017) léto, podle teploty oceánu je v okolí Antarktidy stálý oceánský led. V průběhu mrznutí se na hladině tvoří tříšť z krystalků vody, který tvoří základ souvislejší ledové pokrývky. V průběhu tvorby tabulového ledu mocnosti nad 2 metry dochází k lámání souvislé ledové pokrývky vlivem vlnění oceánu a následnému srůstu odlomených částí. (Herber 2005)



Obrázek 13 – Teplota oceánů (16.3.2017)

Zdroj: NOAA

4.1 Jižní polokoule

Převážnou část (80,93%) jižní polokoule tvoří oceány (Jižní oceán, většina Indického oceánu, část Tichého oceánu a Atlantského oceánu) (Sverdrup et. al., 1942). Oceán zde pohlcuje teplotní výkyvy a tlumí výraznější klimatické změny.

Na jižní polokouli se nachází kontinenty Antarktida, Austrálie, část Jižní Ameriky a Afriky. Množství zaledněných ploch na jižní polokouli srovnaný dle velikosti, je uvedený v tabulce č.4.

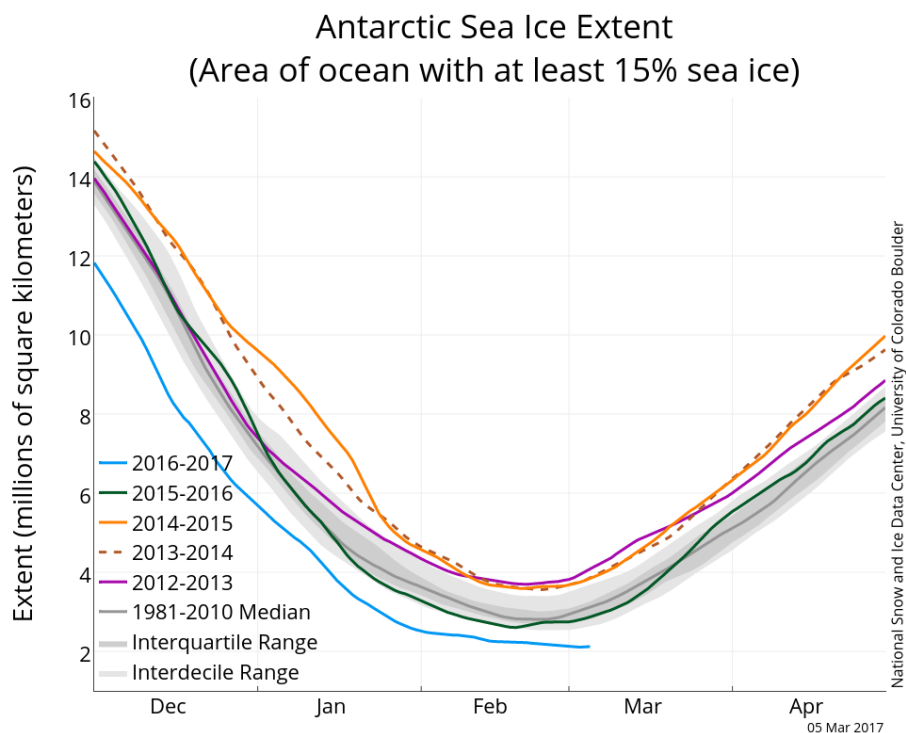
Ve třetím sloupci této tabulky je uvedeno množství vody, které je na daném kontinentu ukryto v podobě ledu. Toto číslo též udává představu o mocnosti ledovce a potenciální riziko pro klimatický systém v případě roztání. Velké množství sladké vody uvolněné do oceánu totiž může zásadně ovlivnit funkci oceánských proudů. Následkem zastavení oceánského proudění by nastaly náhlé změny globálního klimatu.

Tabulka 4 – Plocha zalednění jižní polokoule

Lokalita	Plocha zalednění, km ²	Vodní rezervy v ledovci, km ³
Austrálie (kontinent)	0	0
Nová Guinea	7	1
Afrika (kontinent)	13	1
Nový Zéland	817	64
Antarktické ostrovy	25 500	5 700
Jižní Amerika (kontinent)	32 300	5 430
Antarktida (kontinent)	13 589 000	27 480 000
Jižní polokoule – CELKEM	13 647 637	27 491 196

Zdroj: *Vasil'chuk (2005)*

Na antarktickém kontinentu se nachází celosvětově největší plocha pokrytá ledem. Ledovec zde pokrývá nejen kontinentální území Antarktidy, ale značnou měrou zasahuje i do oceánu skrze tzv. šelfový led. Plocha mořského zalednění v okolí kontinentu se mění podle roční doby – nejméně mořského ledu kolem Antarktidy pozorujeme v období, kdy u nás panuje zima a naopak. Koncem února se rozšíření ledové pokrývky oceánu blíží svému minimu – zhruba třem milionům čtverečním kilometrů, jak znázorňuje graf na obrázku 14. Z tohoto grafu vidíme nižší letošní minimální zalednění oproti stavu v minulosti. Kdybychom však pomyslně sečetli minimální zalednění za posledních pět let, pohybovali bychom se nad úrovní mediánu z let 1981–2010.



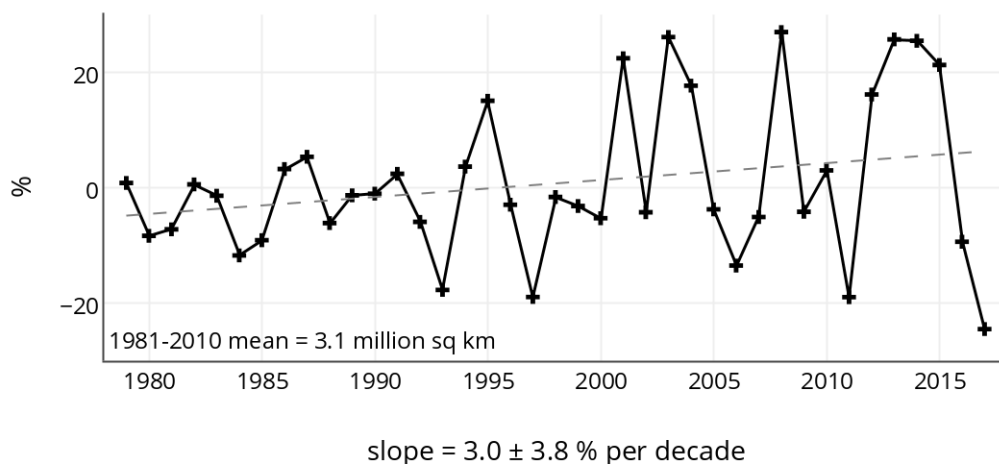
Obrázek 14 – Plocha zaledněného oceánu v okolí Antarktidy

Zdroj: NSIDC

Satelitní pozorování plochy zalednění okolo Antarktidy se provádí od 80. let minulého století. Nejvyšší oblast zalednění byla zaznamenána 19. září 2014, kdy zaledněná plocha přesáhla 20 milionů čtverečních kilometrů. Následujícího dne byla registrována maximální hodnota 20,14 milionů km². Rekordní pozorovaná hodnota může mít více příčin. V důsledku změn atmosférického proudění v těchto oblastech vanou studené antarktické větry, které urychlují tvorbu ledu. Mezi další faktory patří tání pevninského ledu, které mění salinitu (a teplotu tuhnutí) okolní vody. Výrazný vliv má sníh, který svou vahou tlačí na led a umožňuje průsak studené vody vzhůru, ta pak tvoří se sněhem snadno tuhnoucí směs. (Ramsayer 2014)

Mezi vědci není jednotná otázka, zda led kolem Antarktidy spíše ubývá, či roste. Díváme-li se na dlouhodobější záznam měření, pozorujeme rostoucí extrémní hodnoty oproti začátku měření v roce 1980 (Obr. 15). Statistický trend hovoří o růstu plochy zalednění. Lokální měření National Snow & Ice Data Center v okolí Antarktidy ukazují úbytek ledové plochy v západní části Antarktidy a vyšší koncentraci ledu na severní a jižní části antarktického kontinentu.

Southern Hemisphere Extent Anomalies Feb 1979 - 2017

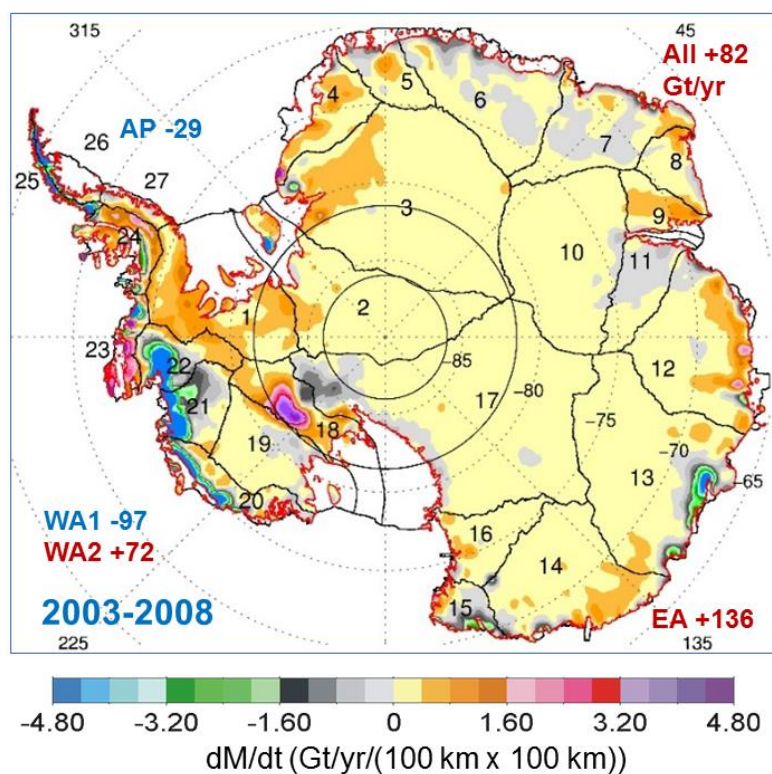


National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder

Obrázek 15 – Anomálie zaledněné plochy v okolí Antarktidy

Zdroj: NSIDC

Situace na pevnině je obdobná situaci v jejím okolí. Výzkum masy ledu a jejich změn provedený pomocí družicového měření zjistil nárůst mocnosti ledové pokrývky ve střední a východní části Antarktidy včetně úbytku ledu v západní části kontinentu (viz. obrázek 16). Toto pozorování je v souladu s pozorováním vývoje místního mořského ledu. Studie provedená Zwallym a kol. (2015) porovnávala rozdíl mezi roky 1992–2001 a 2003–2008. V prvním údobí byl čistý nárůst ledové pokrývky 112 miliard tun, zatímco v druhém časovém rozmezí čistý přírůstek klesl na 82 miliard tun. Dále uvádí, že v celém sledovaném období (1992–2008) každoročně konstantně přibývalo asi 200 miliard tun sněhové pokrývky. Za tuto dobu naopak pozoruje zrychlující se odtávání ledovce převážně na západním pobřeží Antarktidy. Jedním z vysvětlení zatím stále narůstajícího množství ledové pokrývky na kontinentu je vysoké množství srážek způsobené stoupající atmosférickou teplotou. Antarktický kontinent je však izolován od ostatních kontinentů oceánem, který má vliv na růst teploty. Sněhové srážky dopadající na pevninu se akumulují a tvoří přírůstek ledové pokrývky. Je pravděpodobné, že v příštích desetiletích převáží množství tajícího ledu sněhové přírůstky a kontinentální ledovec se začne zmenšovat.



Obrázek 16 – Vývoj ledové masy na antarktickém kontinentu

Zdroj: Zwally (2015)

Z dalších ledovců jižní polokoule lze jmenovat horské ledovce Jižní Ameriky pokrývající vrcholky And a patagonská ledová pole (třetí největší ledovec Hielo Continental Sur a další), ledovec Franz Josef na Novém Zélandu, Furtwänglerský ledovec na vrcholu Kilimanjara v Africe a další. Většina z těchto ledovců se vlivem globálního oteplování zmenšuje, nebo se snižuje jejich mocnost.

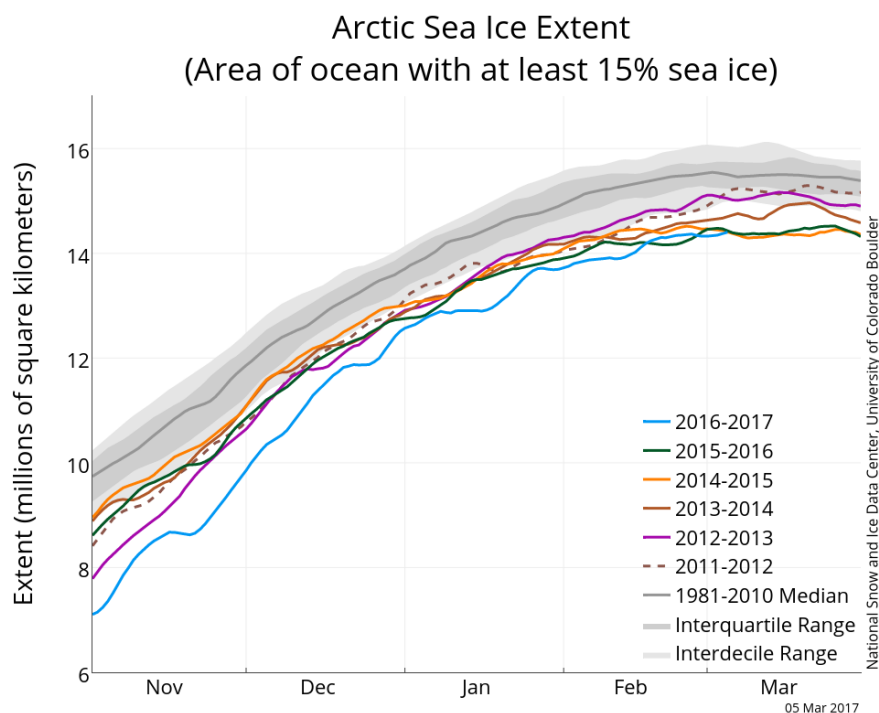
4.2 Severní polokoule

Největší ledovou plochu na severní polokouli tvoří mořský led v oblasti kolem severního pólu zvané Arktida. Její plocha se mění podle ročního období. Nejnižší hodnoty dosáhla 19. 9. 2012, kdy zaledněná plocha pokrývala 3,387 milionů čtverečních kilometrů. Aktuální stav zaledněné plochy je 14,420 milionů km² (7.3.2017), což je jedno z nejnižších pozorovaných maxim arktického zalednění od počátku měření (Obr. 17). Měření se provádí shodně, jako v Antarktidě, pomocí satelitního infračerveného snímkování.

Rozdílů mezi Arktidou a Antarktidou je mnoho. Jeden z nejvýraznějších je ten, že Antarktida je kontinent obklopený oceánem, zatímco Arktida je pomyslné území okolo severního pólu s oceánem téměř zcela ohraničeným kontinentem. Otevřený oceán obtékající Antarktidu umožňuje vodnímu ledu se mnohem více pohybovat, proudy jednotlivé části ledu nesou do

severních teplejších vod, kde led roztává. To způsobuje větší rozdíly mezi letním a zimním obdobím (viz. kapitola 5.1). Oblast Arktidy je více uzavřená, zamrzlé části se drží více u sebe, narážejí do sebe a tvoří ledovou pokrývku tloušťky až 5 metrů (Antarktický mořský led má tloušťku do 2 m).

S geografickým rozdílem Arktidy a Antarktidy souvisí i symetrie ledové oceánské pokrývky. Antarktický led je lokalizován poměrně symetricky kolem kontinentu, zatímco Arktický led je asymetrický a dosahuje až 38° severní šířky (Bohai Bay, Čína). Na druhou stranu oblast oceánu ohraničená Grónskem a Norskem (až ke Špicberským ostrovům) a pokračující na východ zahrnující Barentsovo moře zůstává i v zimním období nezaledněná. Způsobují to mořské a atmosférické proudy směřující na východ. To přivádí teplejší vody Atlantiku daleko na sever a pomáhá ledu se šířit podél břehů Ruska na jih.

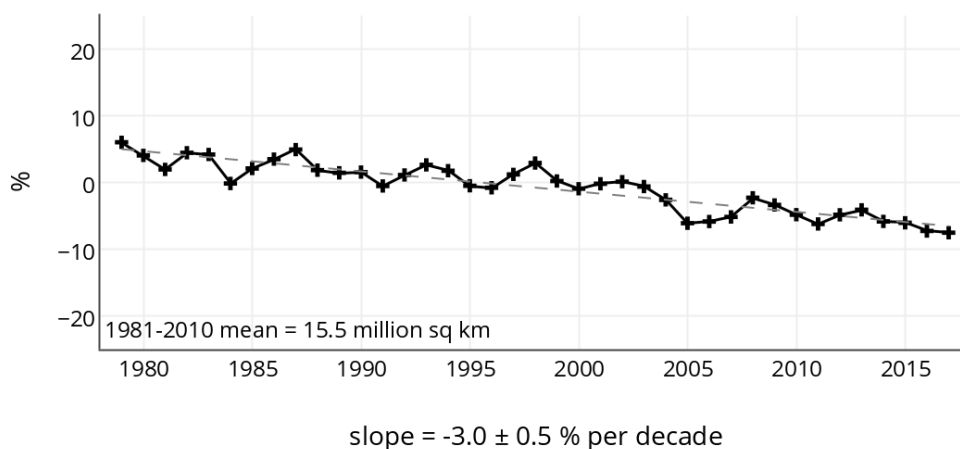


Obrázek 17 – Plocha arktického zalednění

Zdroj: NSIDC

Trend zalednění arktického ledu uvedený na obrázku 18 se zdá být klesající. Důkaz o růstu či poklesu ledové pokrývky dává záznam anomálií za téměř 40 let a je uveden na obrázku 18. Vývoj tohoto záznamu je zcela jednoznačný. Jaký je však důvod úbytku Antarktického ledu?

Northern Hemisphere Extent Anomalies Feb 1979 - 2017



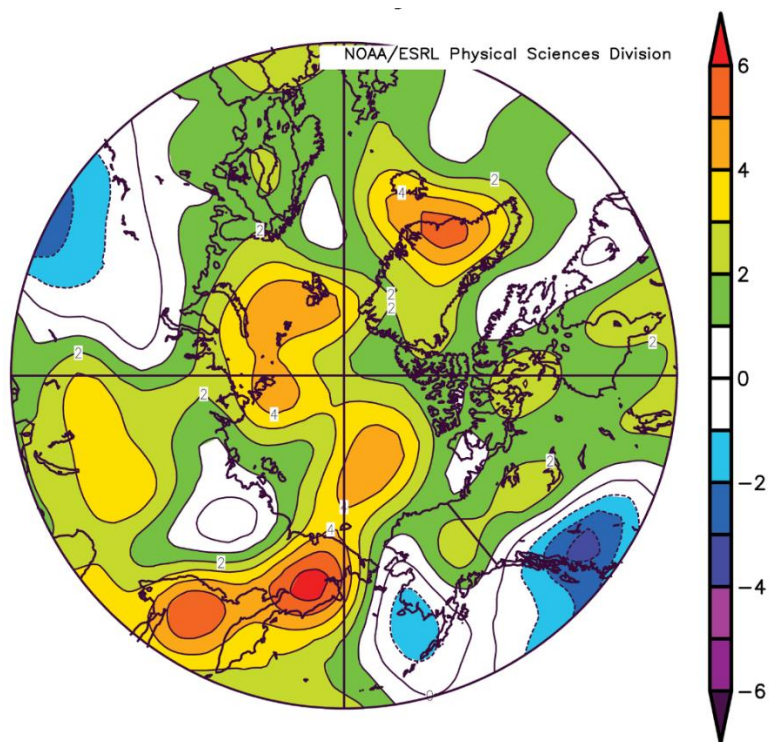
National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder

Obrázek 18 – Anomálie arktického zalednění

Zdroj: *NSIDC*

Není snadné zodpovědět otázku snižujícího se trendu zalednění v arktické oblasti. Zvláště když víme z předchozí kapitoly, že Antarktický led na opačném pólu působením mnoha faktorů přibývá. Jedním z nich, na který je třeba se zaměřit v otázce Arktidy je vývoj teploty na severní polokouli. Z obrázku 14 vyplývá značný nárůst únorových teplot, který je v některých oblastech až o 6 °C vyšší oproti průměru z let 1981-2010. Podle NSIDC pozorujeme ve východní části Asie úbytek koncentrace ledu až o 20 % za desetiletí, což podporuje teorii úbytku ledové plochy vlivem zvyšující se teploty (podle obrázku 19 se v této lokalitě zvýšila teplota o 3-6 °C).

Dalším výrazným faktorem je srážková činnost, která má též vliv na formování ledu. Množství srážek v oblasti Arktidy se od konce 70. let minulého století zvýšilo a to ve všech ročních období kromě zimy. Pozorujeme úbytek ledové pokrývky, jejíž povrch se od roku 1982 snížil o více, než 10 %. (Dore 2005) Jako nejpravděpodobnější činitele úbytku arktického ledu tak můžeme označit zvýšení atmosférické teploty, která zamezuje akumulaci ledu a změny atmosférického proudění. Jak uvádí Rudimmen (2011) ve své knize, rozšiřování či úbytek ledové plochy závisí především na letních teplotách, resp. na množství sněhu či ledu, který v nejteplejším období roku odtaje či zůstane. Aby se vykompenzoval vyšší letní úbytek, muselo by v dané oblasti nastat zvýšení srážek v zimních měsících, což se ovšem neděje.



Obrázek 19 – Změny teploty v únoru 2017 oproti průměru z let 1981-2010

Zdroj: NSIDC

Poměr pevniny a oceánu na severní polokouli je oproti jižní polokouli mnohem vyrovnanější a dosahuje poměru 39,33 %: 60,67 %. Pevninskou část tvoří Evropa a převážná část Asie (bez Indonésie), Severní Amerika, část Jižní Ameriky a většina (asi 2/3) Afriky. Zalednění těchto kontinentů uvádí tabulka 5.

Tabulka 5 – Plocha zalednění severní polokoule

Lokalita	Plocha zalednění, km ²	Vodní rezervy v ledovci, km ³
Evropa (kontinent)	7 395	482
Island	11 785	3 968
Euroasijské arktické ostrovy a pohoří		
Byrranga	91 130	22 710
Asie (kontinent)	119 730	11 140
Severní Amerika (kontinent)	123 700	24 960
Kanadské arktické souostroví	149 990	42 770
Grónsko	1 802 600	2 704 400
Severní polokoule – CELKEM	2 298 935	2 810 430

Zdroj: Vasil'chuk (2005)

Na těchto kontinentech žilo v roce 2005 87,5 % světové populace využívajících přes 34 % povrchu země. (Kummu, 2011) Souhrnem těchto faktorů je logicky vyšší vliv člověka na klima severní polokoule. Tyto změny se navíc projevují ve větší míře než na jižní polokouli, neboť zde není tak výrazný tlumící vliv oceánu. Zaledněné plochy pevniny jsou vykreslené na obrázku 12. Největší (a vlastně i jediný) pevninský ledovec severní polokoule se nachází na ostrovním Grónsku. Plocha zalednění uvedená v tabulce 5 nevykazuje tak výrazné rozdíly pevninských ledovců severní polokoule jako na jižní polokouli, což je důsledkem lokalizace pevniny blíže k pólu.

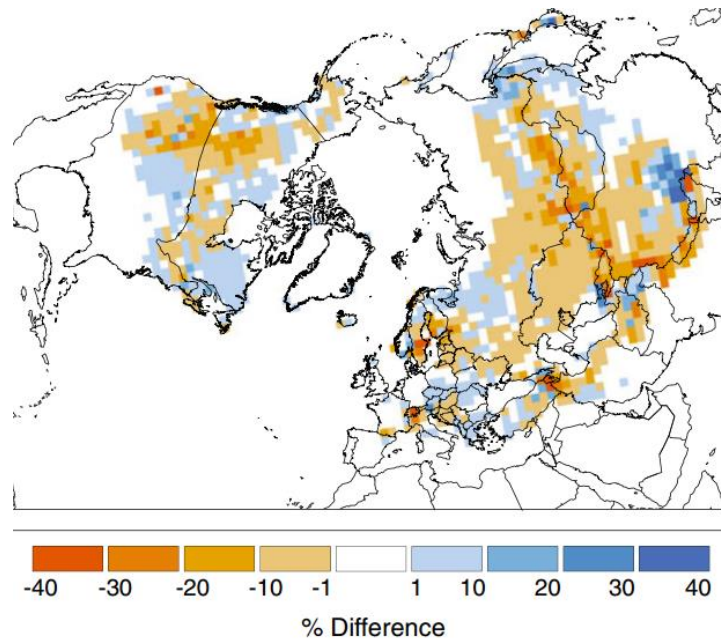
Grónský ledový příkrov pokrývá plochu přes 1,7 milionů čtverečních kilometrů. Ledovec s průměrnou tloušťkou 2 km leží v mělké proláclině, která se nachází pod úrovní moře. Grónský ledovec dosahoval v době pleistocénu až k Ellesmerovu ostrovu (severní cíp Kanady) a měl mocnost o 500 metrů větší než dnes. V současné době má grónský ledovec velký význam pro výzkum klimatu. Vědci zkoumají ledovcové vrty (nejhlubší vrt má přes 3 km), provádějí radarové měření a snaží se pochopit procesy vývoje klimatu sahající desítky až stovky tisíc let sahající do minulosti. (Mikuláš 2001)

Ledovec je tvořen dvěma akumulacími oblastmi, dómy, mezi kterými se pohybuje led směrem k pobřeží. Vznikají zde ledové proudy, pohybující se rychlostí až 10 km/h. Produkují velké množství ker, které se odlamují na okraji ledovce. V posledních letech, v létě, odtávalo 97% povrchu ledovce. Tající voda vytváří tavné řeky, které často prosakují do spodních částí ledovce. To urychluje tání, které odhadujeme na více, než 200 km³ ledu ročně, což napomáhá pohybu ledovce. Úbytek ledu probíhá na pobřežních částech Grónska, největší úbytek pak nastává na jižní části země. Tání grónského ledovce převyšuje akumulaci ledové hmoty ve středu ledovce způsobené větším množstvím srážek. Pokud by tento ledovec roztál, zvýšil by hladinu moří o více, než 6 metrů. Větším problémem by bylo velké množství ledové sladké vody, které by mělo vliv na oceánské proudění. Možné zastavení teplotního výměníku oceánů by způsobilo výrazné změny klimatu. (Mikuláš 2001; Nývlt 2013)

Horské ledovce pokrývaly v poslední době ledové asi 4 % zemského povrchu Země. Během oteplení mezi roky 18 000 př.n.l. a 10 000 př.n.l. nastal výrazný úbytek ledovců, během kterého ledovce ustoupily zhruba do dnešního stavu. Výraznější ústup pozorujeme až po ústupu malé doby ledové (viz. kapitola 3.1) po roce 1980. Engel (2005) uvádí, že v současné době ustupuje více, jak 70 % ledovců. Největší úbytek nastává v tropických oblastech. Paradoxem tohoto úbytku je, že nejspíš souvisí více s úbytkem vzdušné vlhkosti než s růstem teplot. Horské ledovce, které stagnují, jsou v oblastech s vyšší srážkovou činností a chladnými léty (Kordillery

na jihozápadě Severní Ameriky, vyšší oblasti střední Asie – Himaláje, Karakoram, Kuen Lun a Nan San a další oblasti).

Jak je to ovšem se sněhovou pokrývkou severní polokoule?



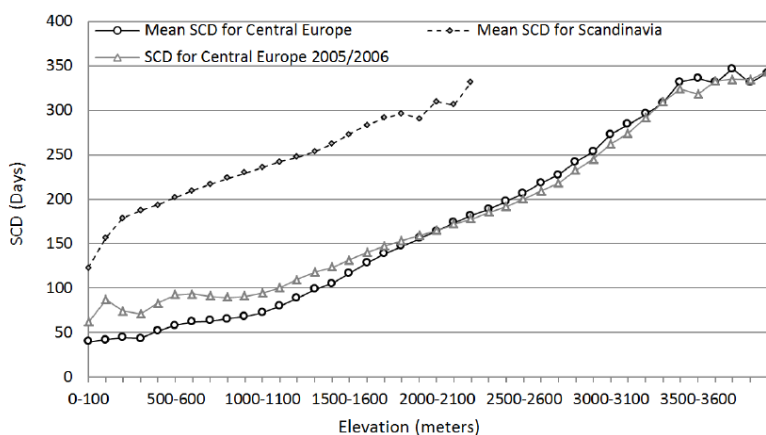
Obrázek 20 – Změna dubnového rozsahu průměrné sněhové pokrývky na severní polokouli z let 1992-2015 a 1967-1991

Zdroj: *Kunkel (2016)*

Dietz (2012) dává do souvislosti dobu trvání sněhové pokrývky a nadmořskou výšku. Obrázek 21 znázorňuje délku trvání sněhové pokrývky v závislosti na výšce. Z něj je patrný téměř lineární trend – s vyšší nadmořskou výškou roste délka trvání sněhové pokrývky. Vertikální hladina má vliv na začátek sněžení v dané oblasti i na konec sněhové sezóny a tání sněhu. Falarz (2004) svojí prací, ve které zkoumá vývoj sněhové pokrývky v Polsku, vliv nadmořské výšky na délku trvání potvrzuje. Z jeho výzkumu můžeme shrnout i další poznatky. Výše postavené území mají nižší odchylku délky trvání sněhové pokrývky než u níže položených oblastí. Odchylka od průměru se dále zvyšuje směrem na severozápad Polska, kde převažuje kontinentální typ klimatu. Maximální hloubku sněhu najdeme ve vlhčí části na východě Polska, ve které pozorujeme vyšší množství srážek. Současným trendem je však úbytek maximální hloubky sněhové pokrývky na západní části Polska a přírůstek na severozápadě. Tento trend je vysvětlován růstem průměrné teploty o 0,5-0,8 °C za desetiletí.

Tato zjištění je možné zobecnit – délka trvání sněhové pokrývky souvisí s nadmořskou výškou, typem převládajícího klimatu, množstvím srážek a polohou dané oblasti související s průměrnou

teplotou (v oblastech blíže k pólům přicházejí sněhové srážky dříve a sněhová pokrývka později odtává). Z předchozího vyplývá, že do shrnutí je třeba zahrnout rovněž vliv oceánských proudů, které ovlivňují klima převážně u pobřežních částí a vliv NAO, který má v negativní korelaci vliv na sněhovou pokrývku. Ve vyšších zeměpisných šířkách pak stejným způsobem působí i AO. (Bamzai 2003; Falarz 2004)



Obrázek 21 – Vliv vertikální polohy na trvání sněhové pokrývky

Zdroj: Dietz (2012)

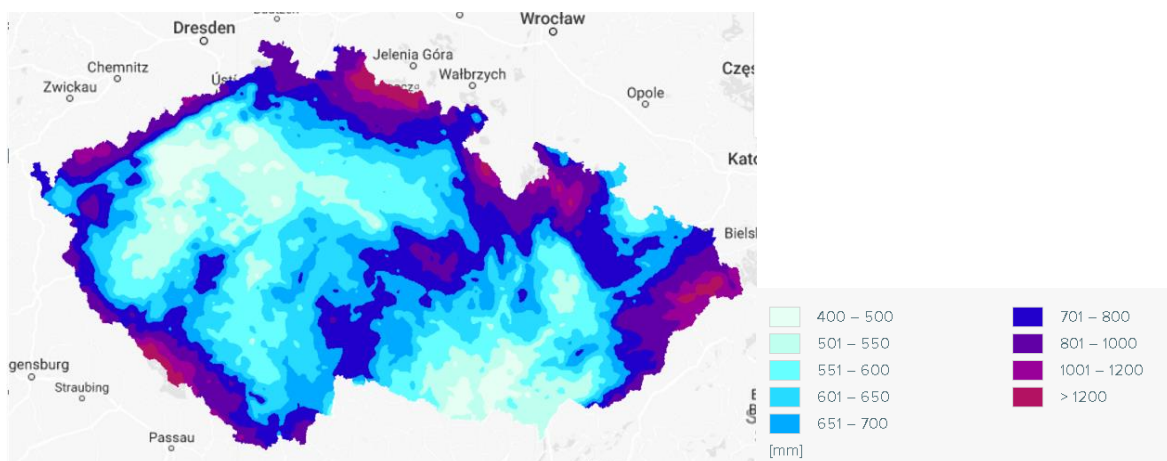
4.2.1 Česká republika

Tato podkapitola aplikuje poznatky kapitoly 4.2 popisující vliv klimatických změn na ledovou a sněhovou pokrývku na menší území – na Českou republiku. V České republice se ledovce objevovaly naposledy v posledním glaciálu. Prokázána byla existence horských ledovců na území Krkonoš, Šumavy a Jeseníků. (Engel 2004) Dále je v textu z výše uvedeného důvodu pojednáváno pouze o sněhové pokrývce. Česká republika se nachází v mírném pásu bez výraznějšího vlivu oceánu. Klimatické podmínky v ČR jsou utvářeny především reliéfem – teplota se odvíjí od nadmořské výšky. Průměrný vertikální teplotní gradient se uvádí 0,65 °C/100 m (1 °C/100 m pro suchý vzduch). (Kalvová 1993)

Podle grafu (Obr. 21) uvedeného v předchozí kapitole by se průměrná doba trvání sněhové pokrývky měla dle vertikální polohy pohybovat mezi 40 až 150 dny. To zhruba i odpovídá skutečnosti. Mezi lety 2000–2011 se v České republice pohybovala doba zasněžení povrchu průměrně v rozmezí od 30 dní (Praha) až po 160 dní ve vyšších horských oblastech (Krkonoše, vrcholky Šumavy a Jeseníků). (Dietz 2012)

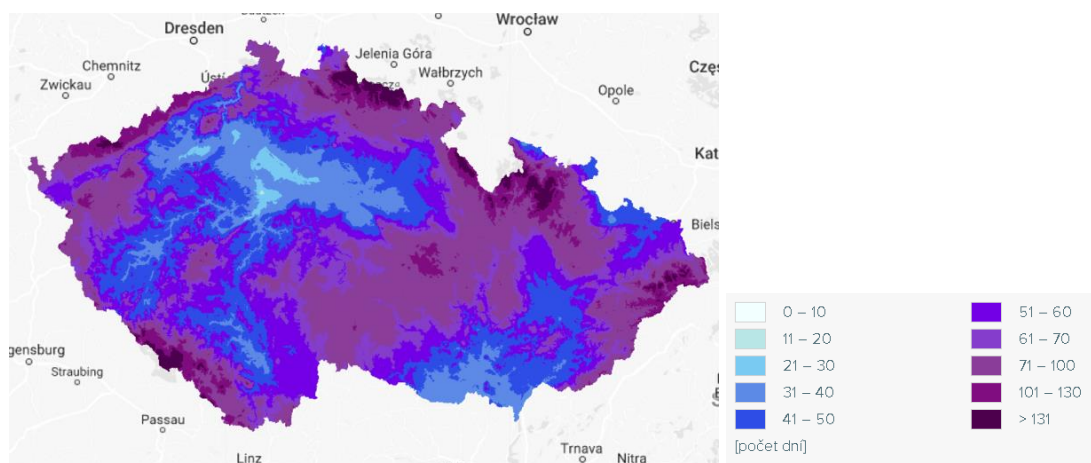
Obrázky 22 a 23 jsou argumentační pomůckou mého shrnutí kapitoly 4.2. Ve vyšších polohách České republiky registrujeme vyšší průměrnou srážkovou činnost, než v nižších polohách (Obr. 22). Kombinace vyšší nadmořské výšky (tedy i nižších teplot) a průměrných srážek vede

k vyššímu množství pevných srážek. Jejich poměrně časný nástup a pozdní tání vedou k delšímu setrvání sněhové pokrývky v daných oblastech (Obr. 23). Na těchto obrázcích je též vidět srážkový stín na jihovýchodě Krušných hor, který v této lokalitě zkracuje dobu trvání sněhové sezóny.



Obrázek 22 – Průměrná roční suma srážek (1981 – 2010)

Zdroj: *klimatickazmena.cz*



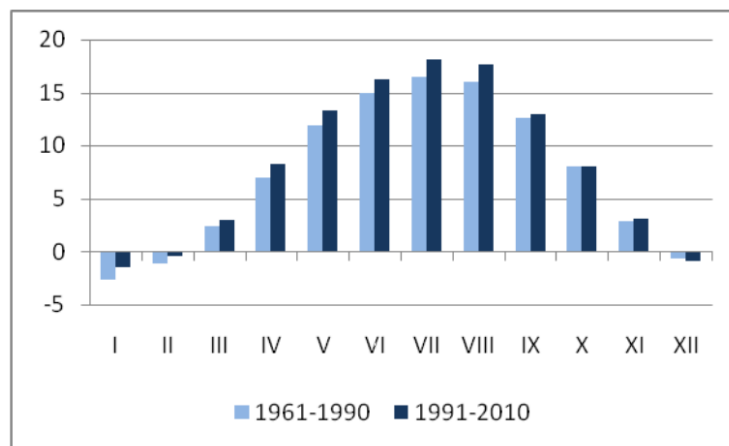
Obrázek 23 – Průměrný počet dní v roce se sněhovou pokrývkou nad 3 cm (1981 – 2010)

Zdroj: *klimatickazmena.cz*

V České republice probíhá změna klimatu obdobně jako ve zbytku Evropy. Dlouhodobá měření od roku 1775 z pražského Klementina ukazují výrazný nárůst teploty od 90. let minulého století, který je však ovlivněn tepelným ostrovem Prahy. To odpovídá výše uvedenému pozorování nejkratší doby trvání sněhové pokrývky v hlavním městě ČR. Pro přesnější zobrazení vývoje

klimatu v České republice jsem využil studii ČHMÚ popisující vývoj územních teplot (teploty redukované na jednotnou nadmořskou výšku). Tento vývoj je zachycen na obrázku 24.

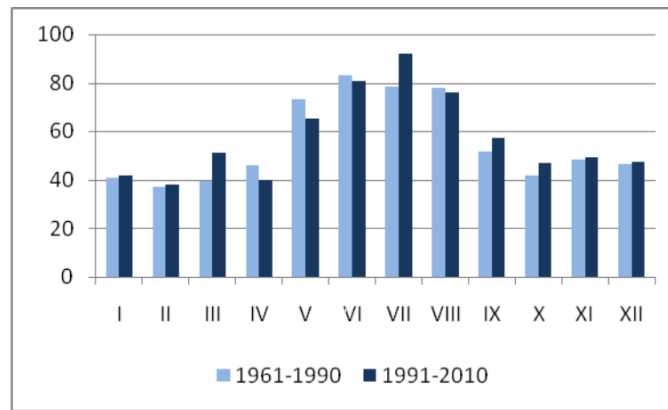
Průměrná teplota mezi těmito obdobími vzrostla o 0,8°C (nejvýraznější nárůst teplot je v létě, dále pak v zimě a na jaře, nejnižší nárůst je na podzim). Lokálně vyšší nárůst pozorujeme na území Moravy (zvláště letní teploty), v Čechách naopak pozorujeme zvyšování teploty na přelomu zimy a jara. Dochází také ke zvyšování počtu dnů s teplotními extrémy (oproti standardnímu období se počet letních dnů zvýšil o 13 a počet tropických dní o 6. U opačných teplotních extrémů sledujeme úbytek mrazových (8) a ledových dní (3). (ČHMÚ)



Obrázek 24 – Vývoj průměrné územní teploty z let 1961 – 1990 a 1991 - 2010

Zdroj: ČHMÚ

Zvyšování teplot vede k vyššímu výparu a potenciálně i k vyššímu množství srážek. Pozorování dlouhodobého vývoje srážkové činnosti vykazuje velkou meziroční variabilitu s mírně rostoucím trendem. Tento trend není rovnoměrně rozložen mezi jednotlivými částmi roku. Nárůst srážek je evidentní na přelomu zimy a jara v březnu a ke konci léta (červenec až říjen), což znázorňuje obrázek 25. V létě pozorujeme vyšší míru srážek s úhrny nad 20 mm, v ostatních částech roku bývají úhrny menší. (ČHMÚ)



Obrázek 25 – Změna územních průměrných měsíčních srážkových úhrnů mezi lety 1961 – 1990 a 1991 - 2010

Zdroj: ČHMÚ

ČHMÚ provedl modelování vývoje teploty a srážek na našem území. Pro dostatečnou přesnost se využívá model ALADIN-CLIMATE/CZ, který oproti globálním modelům lépe vykreslí geologicky členitou Českou republiku. Z tohoto modelu vychází vzestup teplot do roku 2030 oproti referenčnímu období 1961 – 1990 průměrně o 1,15 °C. Výraznější teplotní extrémy jsou predikovány v letním období (maxima i minima) a v zimě (maxima). Model dále vypočítal mírný nárůst srážek ke konci zimy a ve druhé polovině léta. Úbytek srážek je očekáván koncem jara a začátkem léta. Vzhledem k rozdílu modelovaných kvantilů je v příštích letech predikována zvyšující se srážková proměnlivost.

V příštích letech předpokládáme změny týkající se hydrologického cyklu spojené s extrémními výkyvy počasí (zvláště vysoké teploty zvyšující výpar v kombinaci s letními přívalovými dešti, které krajinou rychle protečou a nezstanou v ní). Je možné očekávat větší sucha a delší bezsrážkové období. Doba načasování srážek do chladného období má a bude mít hlavní vliv na dobu trvání sněhové pokrývky.

5 Závěr

Vývoj klimatu je záležitostí komplexní a není zcela jednoduché se v ní orientovat. Veškeré zjednodušující pohledy na vývoj klimatu jsou nepřesné a bývají zavádějící. Proto je důležité pokračovat ve výzkumech, které přibližují pochopení klimatu a jeho změn. Z analýzy dat je známo, že současné teploty atmosféry a oceánu v posledních letech stoupají (v Evropě v 21. století průměrně o 0,2 °C/10 let). Proti tomuto vzestupu teplot působí mnohé přirozené klimatické jevy (nižší sluneční aktivita apod.). Existuje riziko, že se tyto jevy v rámci svých cyklických průběhů dostanou do fáze, která zesílí jejich vzájemné působení na růst teploty a globální oteplování se tím urychlí. Pozorovaný nárůst teploty je tím větší, čím dále se nacházíme od rovníku, více nad pevninou než nad oceány.

S vyšší teplotou ubývá sněhové a ledové pokrývky. V posledních letech je pozorován zrychlující se ústup většiny horských ledovců. Do konce tohoto století bude dle prognózy podložené současnými trendy arktická oblast zcela bez ledu. Tání ledu, kromě tepelné roztažnosti vody, přispívá ke zvyšování hladiny oceánů. Hladina oceánů může v průběhu tohoto století dle klimatických modelů narůst až o 0,6 m. V případě roztání větší části některého z velkých pevninských ledovců (Grónsko, západní část Antarktidy) může hladina moří vzrůst až o jednotky metrů. To by mělo katastrofální důsledky pro níže položené hustě osídlené přímořské oblasti.

Vyšší teplota způsobuje vyšší výpar vody, což s sebou nese zvýšené množství srážek. Srážkový systém je značně proměnlivý, a to jak množstevně, tak i prostorově. Ze současných pozorování vyplývá, že množství srážek v subtropických oblastech se v průběhu 21. století sníží průměrně až o 20 %, nárůst srážek je predikován ve vyšších zeměpisných šířkách. Největší změny lze očekávat v zimním období, kde by podle klimatologických modelů pro střední a severní Evropu měl nastat nárůst srážek a v letním období, kde naopak srážek ubyde. Je proto zcela nezbytné vhodně hospodařit s vodou, zvláště v oblastech s vyšším zalidněním.

Současný klimatický systém je stále ještě převážně řízen přírodními živly, z nichž má velká část periodický vývoj. Ovlivňování klimatu lidmi a celkové zatížení planety se každoročně zvyšuje s nárůstem lidské populace. Ke změnám klimatu přispívá člověk emisemi skleníkových plynů, změnou vodních toků, změnou krajiny, odlesňováním a mnoha dalšími činnostmi. Vliv na oteplování klimatu se však zdá být nižší, než některé skupiny lidí tvrdí. Problémem je, že vzhledem k setrvačnosti klimatického systému se mnohé dnešní lidské činnosti (např. výrazný nárůst CO₂ v atmosféře v posledních desetiletích) projeví v rámci klimatických změn až za několik desítek let.

Lidská společnost by se měla začít připravovat na budoucí změny klimatu, nepanikařit a snažit se zmírnit svůj aktuální dopad na planetu. Existuje zároveň velká řada problémů, kterým je třeba se též věnovat, jako například nedostatek pitné vody pro miliony lidí, hrozící sucha vedoucí k nedostatku potravin a také degradace a úbytek zemědělské půdy. Kromě emisí skleníkových plynů lidé vypouštějí do atmosféry, hydrosféry i pedosféry značné množství toxických látek, jejichž odstranění může zaměstnat mnoho generací.

Celá společnost si musí uvědomit svou provázanost s planetou Země, a v souladu s tímto se začít o svoji planetu zajímat a chránit ji.

6 Seznam použité literatury

- Mann, M. E., Bradley, R. S., & Hughes, M. K. (1999). Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical research letters*, 26(6), 759-762.
- Moberg, A., Sonechkin, D. M., Holmgren, K., Datsenko, N. M., & Karlén, W. (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low-and high-resolution proxy data. *Nature*, 433(7026), 613-617.
- Cílek, V. (2010) Odložené globální oteplování? *Vesmír*. 6/2010(89), 372-375.
- Dietz, A. J., Wohner, C., & Kuenzer, C. (2012). European snow cover characteristics between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow cover products. *Remote Sensing*, 4(8), 2432-2454.
- Falarz, M. (2004). Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century. *International Journal of Climatology*, 24(13), 1713-1727.
- Soukupová, J. (2011). *Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie)*. Česká zemědělská univerzita, Praha: 6. Vydání, ISBN 978-80-213-2234-9.
- Hrádek, F., Kuřík P. (2008). *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 3. vydání, ISBN 978-80-213-1744-4.
- Ruddiman, W. F., (2011). *Pluhy, nemoci a ropa: jak lidé ovlivnili klima*. Academia, Galileo, Praha, ISBN 978-80-200-1860-1.
- Stevenson, D. J. (2014). Making the Moon. *Physics Today*, 67(11), 32-38.
- Rubey, W. W. (1955). Development of the hydrosphere and atmosphere, with special reference to probable composition of the early atmosphere. *Geological Society of America Special Papers*, 62, 631-650.
- Gleick, P. H. (1993). *Water in crisis: a guide to the worlds fresh water resources*, New York [u.a.]: Oxford Univ. Press, 473 s., ISBN 0-19-507627-3; 0-19-507628-1
- Křížek, M. (2004) Pohyby Země a klima. *Geografické rozhledy*, roč. 14, č. 2, s. 30–31
- Sverdrup, H. U., Johnson, M. W., & Fleming, R. H. (1942). *The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology (Vol. 7)*. New York: Prentice-Hall.
- Kublák, T. (2015) *Horolezecká metodika - 4. díl - Na horách*, MMPublishing, s 34-36, ISBN 8087715209, 9788087715208
- Matoušková, M. (2001) *Ledovce*. *Geografické rozhledy*, roč. 11, č. 2, s. 36–37
- Vasil'chuk, Y. K., & Vasil'chuk, A. C. (2009). *GLACIERS, ICEBERGS AND GROUND ICE. Types and Properties of Water-Volume I*, 139.

- Zwally, H. J., Li, J., Robbins, J. W., Saba, J. L., Yi, D., & Brenner, A. C. (2015). Mass gains of the Antarctic ice sheet exceed losses. *Journal of Glaciology*, 61(230), 1019-1036.
- Kummu, M., & Varis, O. (2011). The world by latitudes: a global analysis of human population, development level and environment across the north–south axis over the past half century. *Applied geography*, 31(2), 495-507.
- Dore, M. H. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know?. *Environment international*, 31(8), 1167-1181.
- Kunkel, K. E., Robinson, D. A., Champion, S., Yin, X., Estilow, T., & Frankson, R. M. (2016). Trends and Extremes in Northern Hemisphere Snow Characteristics. *Current Climate Change Reports*, 2(2), 65-73.
- Mikuláš, R. (2001). Grónský ledový příkrov: Záznam klimatologických údajů a krajinný fenomén; *Vesmír* 80, 136
- Dietz, A. J., Wohner, C., & Kuenzer, C. (2012). European snow cover characteristics between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow cover products. *Remote Sensing*, 4(8), 2432-2454.
- Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global environmental change*, 9, S31-S49.
- Cohen, J., & Rind, D. (1991). The effect of snow cover on the climate. *Journal of Climate*, 4(7), 689-706.
- Falarz, M. (2004). Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century. *International Journal of Climatology*, 24(13), 1713-1727.
- Bamzai, A. S. (2003). Relationship between snow cover variability and Arctic Oscillation index on a hierarchy of time scales. *International Journal of Climatology*, 23(2), 131-142.
- Foster, J., Owe, M., & Rango, A. (1983). Snow cover and temperature relationships in North America and Eurasia. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(3), 460-469.
- Engel, Z. (2005). Ledovce horských oblastí, *Fyzická geografie populárně*, 14 4, s 90-91
- Kalvová, J. (1993). Skleníkový efekt a změny klimatu. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, 38(3), 147-166.
- Engel, Z. (2004). Pleistocénní ledovce na území Česka. *Fyzická geografie populárně*, 14 2, s 32-33
- Pretel, J. (2013). Změny klimatu v Česku. *časopis Vesmír* 92, 605
- Svoboda, P. (2013). Grónsko – jiný svět, *Geografické rozhledy* 4/12-13, s 10-11

Online zdroje:

Gorková, S. (2015). Nynější sluneční aktivita je podobná té v 18. století [online] [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanky/slunecni-soustava/nynejsi-slunecni-aktivita-je-podobna-te-v-18-stoleti.html>

Ramsayer, K. (2014) Antarctic Sea Ice Reaches New Record Maximum [online] [cit.2017-03-18]. Dostupné online z: <https://www.nasa.gov/content/goddard/antarctic-sea-ice-reaches-new-record-maximum>

Klimatické jevy, vzorce proměnlivosti klimatu, dostupné online z <http://gnosis9.net/oscilace.php> [cit. 2016-12-30]

Severoatlantická oscilace – NAO, dostupné online z <http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/severoatlanticka-oscilace-nao/> [cit. 2016-12-30]

Klima, klimatický systém, klimatické modely, (publikováno v r. 1970) dostupné online z <https://kfa.mff.cuni.cz/?p=57> [cit. 2017-02-15]

Globální klima stále osciluje v čase (2001), dostupné online z <http://www.agris.cz/clanek/108505> [cit. 2017-02-18]

Pozorované změny klimatu, dostupné online z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap06.pdf [cit 2017-03-12]

Změna klimatu v ČR, dostupné online z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap10.pdf [cit 2017-03-12]

Vývoj klimatu v minulosti, dostupné online z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap04.pdf [cit 2017-03-12]

Přednášky:

Nývlt, D. (2013). Ledovcové tvary reliéfu a doby ledové, dostupné online z http://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/Z0026/um/44409285/Lekce4_ledovce_doby_ledove.pdf [cit. 2017-03-16]

Herber, V. (2005). Mořská voda: Fyzikální a chemické vlastnosti, dostupné online z http://www.herber.webz.cz/www_ocean/e-learning/ocean-03.pdf [cit. 2017-03-16]

Dokumenty:

Kdo může za globální oteplování?, dostupné online z <https://www.youtube.com/watch?v=LMQZ-8rCev4> [cit. 2016-12-13]

Zpráva o stavu planety Země, dostupné online z <https://www.youtube.com/watch?v=LbsX4xiTNEU> [cit. 2016-12-13]

An Inconvenient Truth, (2006), dostupné online z <https://www.youtube.com/watch?v=qvXY-IRY59o> [cit. 2017-4-12]

Before The Flood, (2016), dostupné online z <https://www.youtube.com/watch?v=KpWlzFJw3v8&t=119s> [cit. 2017-4-12]