

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Martin Pinc

POZOROVANÉ A PROJEKTOVANÉ ZMĚNY TEPLOT V OBLASTI ALP A JEJICH DOPADY

**THE OBSERVED AND PROJECTED TEMPERATURE CHANGES IN
THE ALPINE REGION AND THEIR CONSEQUENCES**

Bakalářská práce

Praha, 2019

Vedoucí práce: RNDr. Lucie Pokorná, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....
podpis

Poděkování:

Děkuji své školitelce RNDr. Lucii Pokorné, Ph.D. za odbornou pomoc, konzultace odborných témat a trpělivost. Zároveň děkuji RNDr. Miloslavu Müllerovi za doporučení práce a odborný výklad k tématu vývoje počasí a klimatu.

Zadání bakalářské práce

Název práce

POZOROVANÉ A PROJEKTOVANÉ ZMĚNY TEPLOT V OBLASTI ALP, JEJICH PŘÍČINY A DOPADY

Cíle práce

Cílem práce je prostudovat zejména časopiseckou literaturu zabývající se teplotními trendy v oblasti Alp v posledních 60 letech a dohledat, zda a jak se mění teplotní trendy s rostoucí nadmořskou výškou. V druhé části shrnout očekávaný vývoj teplot v oblasti Alp do konce 21. století.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Studovanou oblastí jsou evropské Alpy a přilehlé nížiny. Práce má charakter rešerše. Kromě doporučené literatury je třeba dohledat další články, které se zabývají klimatickými změnami a jejich dopady ve studované oblasti. Je nepochybné, že teploty v Alpách od poloviny minulého století rostou, rychlost oteplování v různých nadmořských výškách v Alpách se však liší. Proto je nutné hledat příčiny, které ke změnám teploty vedou, a popsat mechanismy jejich působení. Dále zjistit, jaké zpětné vazby a v jaké míře se v různých nadmořských výškách uplatňují. Změny klimatu v následujících desetiletích mohou vést ke změně hydrologických poměrů a jistě dopadnou i na biosféru. Scénáře předpokládaných změn teplot byly v posledních letech modelovány pomocí regionálních klimatických modelů s vysokým rozlišením a publikované v mezinárodních časopisech. Jejich shrnutím lze přehledně popsat očekávané změny klimatu a důsledky těchto změn pro přírodní ekosystémy i lidskou společnost.

Datum zadání: 7. prosince 2016

Jméno studenta: Martin Pinc

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Lucie Pokorná, Ph.D.

Jméno studenta: Martin Pinc

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Lucie Pokorná, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Pozorované a projektované změny teplot v oblasti Alp, jejich příčiny a dopady

Abstrakt

V práci je uvedeno shrnutí poznatků z odborných prací zabývajících se výzkumem a vývojem klimatu v Alpách. V textu je uvedeno fyzickogeografické členění Alp, modely sloužící k popisu vývoje teplot do budoucna a přírodní a lidské faktory, které ovlivňují vývoj klimatu v alpské oblasti, a také jsou v práci popsány možné důsledky tohoto vývoje. Práce se věnuje popisu vývoje klimatu zejména ve Švýcarských Alpách a oblasti Walliských Alp na švýcarsko-italské hranici.

Další část práce se zabývá scénáři vývoje klimatu a rozděluje je podle předpokládaného vývoje emisí a uvádí k jednotlivým scénářům předpokládaný vývoj teplot. Cílem práce je popsat modely vývoje klimatu používané v alpské oblasti, jejich spolehlivost a určit, v jakých případech se modely vývoje klimatu odlišují od dat naměřených na meteorologických stanicích. Dalším cílem práce je určit faktory, které přispívají k oteplování v Alpách. V práci je uvedena také prognóza vývoje teplot a popis důsledků tohoto vývoje.

The observed and projected temperature changes in the Alpine region and their consequences

Abstract

This paper studies findings from researches that describe development of a climate change in the Alps. This text shows geography of the Alps, models that define future temperature changes and natural and human factors which affect climate change in the Alpine region. One of the main topics in this paper are possible consequences of the climate change. This paper studies climate change in the Swiss Alps and in Wallis Alps on Swiss-Italian border.

The next section of this paper studies scenarios of climate change and divides them according to emission development. Paper also shows the projected temperature changes in the Alps. The main goal of this work is to accurately describe climate change models used in the Alpine region, to discuss their reliability and to determine in which cases the model temperatures differ from temperature data measured at meteorological stations. Another goal of this work is to determine physical and human factors that contribute to surface temperature warming in the Alps. This paper also shows predictions of temperature development in the Alps and its possible consequences.

Obsah

Zadání bakalářské práce	4
Název práce	4
Cíle práce	4
Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje	4
1. Úvod	9
2. Fyzickogeografický popis Alp.....	11
2. 1. Členění Alp.....	11
2. 2. Podnebí Alp a jeho specifika	11
2. 3. Průměrné teploty v Alpách a teplotní extrémy	12
2. 4. Teplotní anomálie v Alpách	13
2. 5. Vodstvo Alp	14
2. 6. Nejvyšší vrcholy Alp.....	15
3. Vývoj teplot v Alpách.....	15
3. 1. Pozorovaný vývoj teplot.....	15
3. 2. Příčiny oteplování.....	16
4. Modely použité k popisu teplot.....	18
4. 1. Globální a regionální klimatický model	18
4. 2. Příklad modelu vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce.....	18
4. 3. Další pozorované klimatické jevy – vlhkost vzduchu.....	20
4. 4. Orografická data, se kterými pracují ansámblové modely.....	21
5. Vývoj klimatu v Alpách a faktory, které jej ovlivňují.....	21
5. 1. Vliv člověka na klima	22
5. 2. Možné příčiny klimatických změn a vliv socioekonomické sféry na klima.....	22
5. 3. Fyzickogeografické procesy ovlivňující klima	23
5. 4. Diskuse: Je klima Alp ovlivněno spíše člověkem, nebo přírodními procesy.....	24
5. 5. „Katastrofický“ scénář vývoje klimatu.....	25
5. 6. Názor autora na příčiny oteplování v Alpách	26
6. Emisní scénáře.....	26
6. 1. Tvorba emisních scénářů.....	27
6. 2. Projektované teploty podle modelů emisních scénářů.....	29
6. 3. Změna klimatu a oteplování v Evropě jako celku	30

6. 4. Předpokládané změny klimatu ve Švýcarsku a nejistoty projekcí.....	31
6. 5. Další možná vysvětlení rozdílných trendů teplot v nížinách a na vrcholech Alp.....	33
7. Důsledky vývoje klimatu na přírodní prostředí	34
7. 1. Ostatní důsledky změny klimatu	34
7. 2. Klima a jeho důsledky související s vodními toky v alpské oblasti	35
8. Souhrn poznatků a diskuse o oteplování v Alpách.....	36
8. 1. Další možné příčiny – aerosoly.....	37
9. Závěr.....	39
Seznam použité literatury.....	41

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Průměrné, maximální a minimální měsíční teploty v Alpách.....	12
Obr. č. 2: Průměrný měsíční úhrn srážek v St. Gallen.....	12
Obr. č. 3: Anomálie teplot v Alpách.....	13
Obr. č. 4: Fyzickogeografická mapa oblasti Alp.....	14
Obr. č. 5: Průměrné roční teploty naměřené v období 1980 - 2005.....	16
Obr. č. 6: Roční hodnoty krátkovlnného záření zaznamenaného na meteorologických stanicích.....	17
Obr. č. 7: Grafické znázornění vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce.....	19
Obr. č. 8: Relativní vlhkost vzduchu naměřená v nížinách Alp a ve vyšších polohách Alp.....	20
Obr. č. 9: Procentuální změna úhrnu srážek za období 1961 – 1990 ve švýcarských Alpách.....	25
Obr. č. 10: Ukázka Bayesovy klasifikace – rozdělení dat před a po klasifikaci.....	29
Obr. č. 11: Srovnání výsledků pravděpodobnostních projekcí teplot a srážek	33
Obr. č. 12: Změny v objemu sněhu v Alpách v různých nadmořských výškách.....	36

Seznam použitých zkratk

AL – alpská oblast

CEU – střední Evropa

EA – východní Evropa

GCM – globální klimatický model

HIRHAM – Dánský meteorologický institut

CHRM – švýcarský ansámblový model klimatu

ICTP – Mezinárodní centrum teoretické fyziky

IP – Iberský poloostrov

RCM – regionální klimatický model

SC – Skandinávie

SMHI – Švédský meteorologický institut

1. Úvod

Téma vývoje teplot v Alpách a důsledků tohoto vývoje jsem si vybral proto, že se dlouhodobě zajímám o počasí a klima. Zaujaly mne přednášky pana RNDr. Müllera z meteorologie, které byly velmi užitečné. Zároveň je zajímavé zkoumat, jak se předpovědi počasí a klimatu do budoucna určují. Za určitých podmínek je obtížné určit přesný vývoj klimatu, zejména pokud zkoumáme rozmanitý region, jako jsou Alpy.

Proto jsem si také vybral tento region, protože jeho zkoumání z hlediska meteorologie, klimatologie, ale i geomorfologie či hydrologie může přinést zajímavé výsledky.

Ve své práci se pokusím objasnit a shrnout některá pozorování o teplotách, která byla provedena na meteorologických stanicích ve švýcarských Alpách. Dále chci probrat naměřená data o povrchové teplotě a také se budu věnovat změnám podnebí z hlediska měnícího se gradientu závislosti teploty na nadmořské výšce. Tato práce má za cíl objasnit vývoj teplot v Alpách a jeho důsledky na přírodní prostředí. Dále budu diskutovat klimatické scénáře a vyberu několik jejich příkladů a pokusím se nastítnit vývoj teplot v Alpách tak, jak se předpokládá, že bude probíhat v budoucnu. Jedním z dílčích cílů bude nalezení shody názorů ve studiích zahraničních autorů a poukázání na důležitost zkoumání této oblasti.

Téma globální změny klimatu a oteplování je probíráno velmi podrobně ve studiích a odborných pracích od českých i zahraničních autorů. Již méně se ovšem hovoří o změnách klimatu v konkrétních geografických regionech, jako jsou Alpy. Přitom také tyto lokální změny klimatu mohou mít v dlouhodobém důsledku velmi zásadní dopady na změny počasí či úbytek sněhu a ústup horských ledovců a také mohou v konečném důsledku ovlivnit i toky některých evropských řek¹.

Tento alpský region je považován za velmi důležitý v roli zásobárny vod, zejména díky tomu, že 40 % evropských řek má své zdrojnice právě v Alpách a tato oblast slouží také jako pásmo výskytu rozmanitých druhů rostlin i živočichů. Tyto ekosystémy by však mohly ohrozit právě klimatické změny, které patrně v této oblasti probíhají.²

¹ Pepin a kol. (2015) uvádí, že oteplování ve vyšších nadmořských výškách může mít vliv na ekosystém hor, také ovlivní tání ledovců a dále může mít oteplování vliv na hydrologické podmínky v Alpách.

² Beniston a kol. (2010): Oteplování v Alpách může mít vliv nejen na ekosystém, ale může ovlivnit některé socioekonomické aktivity, např. alpskou turistiku či vodohospodářství v regionu.

V práci budu popisovat některé faktory, které ovlivňují vývoj teplot. Mezi ně patří skleníkové plyny, aerosoly, plocha sněhové pokrývky a další. Tyto faktory ovlivňují klima jak v globálním, tak také v lokálním měřítku³.

Fenomén vývoje teplot budu popisovat srovnáním lokalit nížin a hor, protože zvyšování teplot probíhá v obou lokalitách působením aerosoly a skleníkových plynů obsažených v atmosféře.

Při analýze odborných textů jsem narazil na skutečnost, že přesnost měření meteorologických stanic ovlivňují další faktory, jako jsou přítomnost sněhu, ledu, oblačnosti, výparu a vlhkosti v půdě. Pokusím se tyto přírodní rozebrat a zahrnout do učiněných závěrů práce.

Práce je členěna na 9 kapitol. Kapitola č. 1 obsahuje úvod.

V kapitole č. 2 popisuji region Alp z fyzickogeografického hlediska, uvádím průměrné teploty v Alpách a teplotní extrémny a charakterizují alpskou oblast z hlediska hydrologie.

V kapitole č. 3 popisuji vývoj teplot v Alpách a možné příčiny tohoto vývoje.

Kapitola č. 4 uvádí modely vývoje klimatu, pozorované a projektované teploty v závislosti na nadmořské výšce, a jak se tyto modely vytvářejí

V kapitole č. 5 popisuji přírodní a lidské faktory, které ovlivňují klima. Zde uvádím také krátkou diskusi a srovnávám poznatky odborných prací na toto téma.

Do kapitoly č. 6 jsem uvedl příklady emisních scénářů a vývoj teplot, které emisní scénáře předpokládají. Zároveň zde uvádím nedostatky těchto scénářů a nejistoty projekcí teplot.

Kapitola č. 7 popisuje možné důsledky vývoje klimatu. Jsou zde uvedeny možné důsledky při stálém zvyšování teplot na vodstvo Alp, biosféru a také socioekonomickou sféru.

V kapitole č. 8 shrnuji poznatky, které jsem analýzou odborných článků získal a předkládám diskusi, v čem se odborné články shodují a v jakých názorech si autoři odporují.

Kapitola č. 9 obsahuje závěr práce, kde shrnuji svá zjištění o vývoji teplot, přírodních a lidských faktorech ovlivňujících teploty v Alpách.

³ Podle autorů Philipona a kol. (2013), zvyšování teplot v Alpách nejspíše souvisí s množstvím dopadajícího slunečního záření na povrch, a také výskytem skleníkových plynů v atmosféře.

2. Fyzickogeografický popis Alp

2. 1. Členění Alp

Odborné práce se neshodují na jednotném popisu Alp. Starší zdroje uvádí členění Alp na Západní a Východní Alpy. Podle nejnovějších prací, zabývajících se rozdělením alp, se Alpy dělí na Západní, Střední a Východní Alpy. V této práci použiji členění Alp podle nových odborných prací.

Do Západních Alp se řadí zejména pohoří na italsko-francouzské hranici, střední Alpy zahrnují pohoří Alp ve Švýcarsku a na švýcarsko-italské a rakousko-švýcarské hranici a Východní Alpy zahrnují pohoří ve vnitrozemí Rakouska, na rakousko-italské hranici, pohoří Alp ve Slovinsku a pohoří na slovinsko-chorvatské hranici (Encyclopaedia Britannica, 2011).

Podrobnější členění uváděná v odborných pracích rozdělují Alpy na pohoří o menší rozloze, od východu na západ jsou pohoří Alp rozdělena takto: Dinárské Alpy, Julské Alpy, Taury, Bavorské Alpy, Dolomity, Švýcarské Alpy (Bernské Alpy, Walliské Alpy, Mont Blanc, Jura), Peninské Alpy a Přímořské Alpy (Encyclopaedia Britannica, 2011).

2. 2. Podnebí Alp a jeho specifika

Pohoří v Alpách leží na rozhraní klimat střeoevropského podnebí a suchého podnebí Panonské nížiny. Panonská pánev se táhne se napříč střední a východní Evropou a na západě zasahuje do pohoří Alp (Šlégl, 2002).

Šlégl (2002) uvádí, že horách hrají roli faktory nadmořské výšky, návětrné a závětrné strany. Nejvyšší roční srážky spadnou v průměru v Julských Alpách (2500 mm), nejnižší potom ve Walliských Alpách (500 – 600 mm). Nad výškou 3000 m jsou průměrné roční srážky v Alpách téměř 1500 mm (Šlégl, 2002).

Podle Šlégl (2002) v oblasti Alp můžeme zaznamenat také vertikální teplotní gradient. S přibývajícím výškou klesá teplota a to zhruba o jeden stupeň na každých +170 m výšky. Alpy se nacházejí v pásu pouhých 5 stupňů zeměpisné šířky, ale setkáme se tady prakticky se všemi druhy klimatu od mírného podnebí až po arktické.

Vyskytuje se zde také specifické proudění vzduchu. Vítr vane směrem od vrcholů pohoří do nižších poloh. Tento fenomén je nazýván fén a přináší často oteplení do nižších poloh, zejména na východ či na sever od alpské oblasti. Na severu Alp jsou to jižní fény. Přes Alpy se přenášejí vzduchové vrstvy od Středozevního moře. Jižní svahy jsou svlažovány dešti, získávají tak kondenzační teplo, stoupají do vyšších poloh, přenášejí se prouděním přes vrcholy Alp a padají na severní stranu hor (Šlégl, 2002).

2. 3. Průměrné teploty ve švýcarských Alpách a teplotní extrém

Meteorologická měření zaznamenaná ve švýcarských Alpách uvádějí průměrnou teplotu 8,1° C v této oblasti. Teplota je zde výrazně nižší oproti průměrné teplotě 15° C na Zemi (Climate-Data.org, 2012).

Následující obr. č. 1 uvádí průměrnou, maximální a minimální teplotu v každém měsíci v roce ve středisku St. Gallen na severu Švýcarska za období mezi lety 1982 – 2012.

Měsícem s dlouhodobě nejvyššími teplotami je červenec. Průměrná teplota v červenci činí 17,3° C.

Nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou -1,3° C.

Co se týče extrémů, nejvyšší průměrná měsíční teplota byla zaznamenána v červenci a činila 22,3° C. Nejnižší teplota byla naměřena opět v lednu s hodnotou -4,1° C.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature (°C)	-1.3	0	3.8	7.5	11.9	15.1	17.3	16.7	13.8	8.8	3.5	-0.1
Min. Temperature (°C)	-4.1	-3.3	-0.4	2.8	6.9	10.2	12.3	11.9	9.2	4.9	0.3	-2.8
Max. Temperature (°C)	1.6	3.4	8.1	12.2	16.9	20.1	22.3	21.5	18.5	12.7	6.7	2.6

Obr. č. 1: Průměrné, maximální a minimální měsíční teploty v Alpách (Climate-Data.org, 2012).

Rekordně nejnižší teplota, naměřená v La Brévine 12. ledna 1987 na západě Švýcarska, má hodnotu -41,8° C. Meteorologická stanice je zde umístěna ve výšce 1048 m n. m.

Absolutně nejvyšší teplota v rámci švýcarských Alp byla naměřena 11. srpna 2003 ve městě Grono na jihovýchodě Švýcarska. Její hodnota činí 41,5° C. Tato teplota byla naměřena na stanici ve výšce 330 m n. m. (Meteoswiss.ch, 2018).

2. 4. Průměrné měsíční srážky ve švýcarských Alpách

Průměrný roční úhrn srážek ve městě St. Gallen v období mezi lety 1982-2012 činí 1134 mm. Podle obr. č. 2. je červenec nejbohatší na srážky. V červenci zde spadne v průměru 138 mm srážek. Únor je s průměrnou hodnotou 64 mm na srážky nejchudší.

V oblasti střediska St. Gallen můžeme pozorovat značný vliv přímořského klimatu, který přináší poměrně vysoký úhrn srážek po celý rok. Přesněji řečeno, během letního období, od května do září, zde spadne až dvakrát více srážek, než během zimního období od listopadu do března (Climate-Data.org, 2012).

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Precipitation / Rainfall (mm)	65	64	66	86	109	135	138	136	100	74	81	80

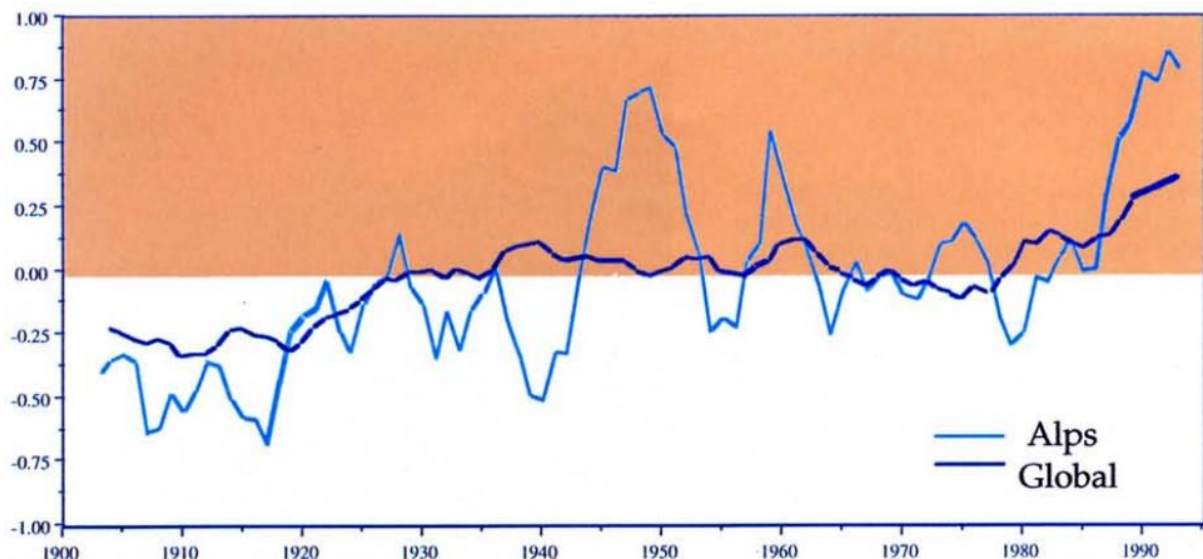
Obr. č. 2: Průměrný měsíční úhrn srážek v St. Gallen (Climate-Data.org, 2012).

2. 5. Teplotní anomálie v Alpách

V Alpách byly v minulosti pozorovány teploty lišící se od průměrné roční teploty. Byla zaznamenána jak velmi chladná období, tak také výrazně vysoké teplotní anomálie.

Jak ukazuje obr. č. 3, od počátku 20. stol. do roku 1945 byly teplotní anomálie v Alpách výraznější, než byl průměr teplotních anomálií za celou Zemi. V tomto období byl zaznamenán nejchladnější rok v Alpách za celé 20. stol. V roce 1918 byla teplotní anomálie přibližně $-0,65^{\circ}\text{C}$. Výrazně vysoké teploty byly zaznamenány mezi lety 1948 – 1952, kdy byla naměřena teplotní anomálie přibližně $0,75^{\circ}\text{C}$ oproti průměrné roční teplotě, poté v roce 1960, kdy byla naměřena anomálie o hodnotě $0,5^{\circ}\text{C}$ vyšší než průměr. Teplotně průměrné období zaznamenaly meteorologické stanice mezi lety 1970 – 1985, kdy teplotní anomálie nepřesáhla rozmezí od $-0,25^{\circ}\text{C}$ do $0,25^{\circ}\text{C}$. V posledních desetiletích můžeme pozorovat opět nárůst teplot.

V roce 1998 byla naměřena nejvyšší teplotní anomálie za celé 20. století. Její hodnota činila přibližně $0,88^{\circ}\text{C}$ ve srovnání s průměrnou roční teplotou v Alpách (Beniston a kol., 1998).



Obr. č. 3: Anomálie teplot v Alpách. Srovnání mezi teplotami v Alpách a průměru teplot na celé Zemi (Beniston a kol., 1998).

Trend oteplování nastal v 50., 60. a 90. letech 20. stol. Není jasné, zda trend oteplování bude i v budoucnu probíhat takto, tedy že nastanou určitá období s vyššími teplotami, která budou vystřídána obdobími s nízkými teplotami.

Práce Pepin a kol. (2015), Kotlarski a kol. (2015) a Philipona a kol. (2013) spíše poukazují na trend stálého zvyšování teplot do budoucna a nepočítají s chladnými obdobími.

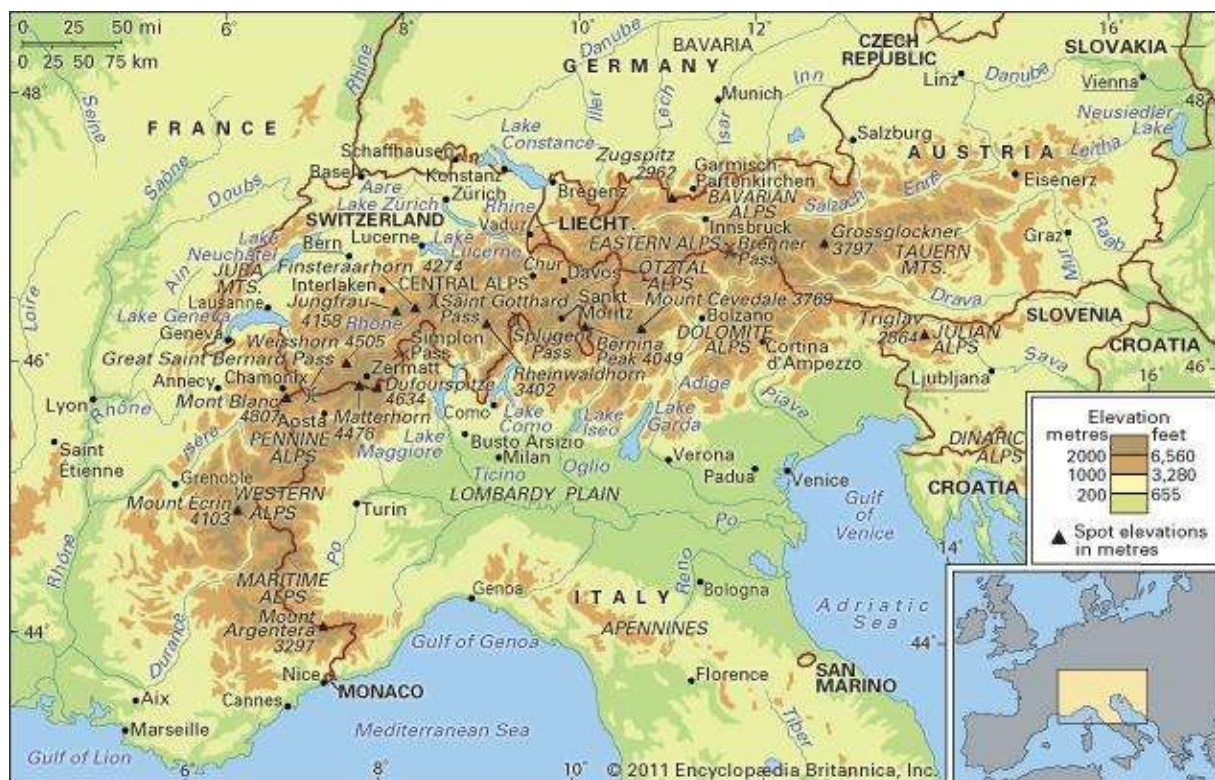
2. 6. Vodstvo Alp

Alpy jsou podle Šlégl (2002) nejvýznamnější pramennou oblastí ve střední Evropě. Na mnoha jejich vrcholech či hřebenech se nacházejí významná evropská rozvodí.

Alpské řeky se po překonání stovek kilometrů vlévají do moří (Středomoří, Jaderské moře, Černé moře, Severní moře).

Ve Východních Alpách tvoří toky povětšinou dlouhá údolí, rovnoběžná s hřebenem hor (Dráva, Inn, Enns). Rozdíly oproti Východním Alpám najdeme v Západních Alpách, toky zde vytvářejí kratší a příkřejší údolí, většinou s velkým převýšením (Aara, Rýn, Rhône). Zde vznikly na mnoha místech vodopády (mezi nimi jsou to Krimmelské vodopády). Řeky v Alpách jsou z velké většiny napájeny z ledovců, a proto jsou jejich toky ovlivněny objemem tajícího sněhu a na jaře či v létě dosahují nejvyšších průtoků (Šlégl, 2002).

Následující obrázek č. 4 ukazuje podrobnější rozdělení Alp. Mapa ukazuje jak celky vyššího řádu, tedy Západní Alpy, Střední Alpy a Východní Alpy, tak také orografické celky nižších řádů, jako jsou Dolomity, Taury, Bavorské Alpy, Švýcarské Alpy či Penninské Alpy. Zároveň mapa ukazuje významné vodní toky pramenící v Alpách, jako jsou Rýn, Rhône, Inn, Dráva, Pád, či Sáva.



Obr. č. 4: Fyzickogeografická mapa oblasti Alp (Encyclopaedia Britannica, 2011)

2. 7. Nejvyšší vrcholy Alp

Nejvyšší vrchol Alp Mont Blanc se nachází v Montblanském masivu a dosahuje nadmořské výšky 4809 m n. m. V masivu Mont Blanc se nachází ještě 18 dalších vrcholů s výškou nad 4000 m n. m. Mezi nejvyšší pohoří Alp patří Walliské Alpy ve Švýcarsku, kde se nachází více než 35 vrcholů převyšujících 4000 m n. m. Mezi nimi jsou to vrcholy Dufourspitze (4 634 m n. m.), Nordend (4609 m n. m.), či Matterhorn (4 478 m n. m.) (Šlégl, 2002).

3. Vývoj teplot v Alpách

3. 1. Pozorovaný vývoj teplot

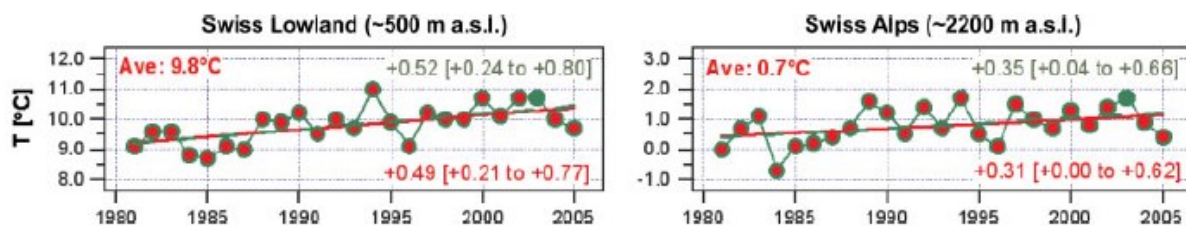
Výzkumy autorů jako Pepin (2015), Philipona (2013), Kotlarski (2015) a jiné, předpokládají, že v alpské oblasti se bude v budoucnu průměrná teplota zvyšovat. Pepin a kol. (2015) uvádějí, že ve vyšších nadmořských výškách bude teplota růst rychlejším tempem než v nížinách. Podle výzkumu autorů Philipona a kol. (2013) se zvýšila teplota o 1,3° C v alpských nížinách a o 1 ° C ve vyšších polohách Alp za posledních 30 let. S těmito tvrzeními se shoduje i práce autorů Tudoroiu a kol. (2016), kteří uvádějí zvýšení teplot jak v nížinách, tak také ve vyšších polohách Alp.

Vývoj teplot popisuje práce autorů Philipona a kol. (2013), v níž porovnávají teploty změřené na 25 stanicích v nížinách švýcarských Alp (do 800 m n. m.) a na 10 stanicích na vrcholech či pod vrcholy horských štítů Alp (do 3600 m n. m.).

Tito autoři získali data o teplotách T, relativní a absolutní vlhkosti vzduchu, a krátkovlnném záření z měření z meteorologických stanic, a to vše za období od roku 1981 do 2005.

V měření, které tito autoři získali, jsou uvedeny průměrné roční teploty.

Pokud srovnáme oba grafy v obr. č. 5, tedy měření teplot z nižších poloh Alp (levý graf) a změřené teploty z vyšších poloh Alp (pravý graf), tak v obou grafech je zřejmý nárůst průměrné teploty již za období 25 let. V období 1980 – 2005 se průměrná roční teplota zvýšila z 9° C na 9,8° C v nížinách. Ve vyšších polohách se za stejné období teplota zvýšila z 0,5° C na 0,7° C. Za dané období můžeme pozorovat několik výrazně chladné roky, kterými byly v nižších polohách roky 1985 a 1997 a ve vyšších polohách rok 1983. Naopak vysoké teploty stanice zaznamenaly v nižších i ve vyšších polohách v roce 1993, a poté pouze ve vyšších polohách roky 1988 a 1997. Trend zvyšování teplot je jak v nižších, tak ve vyšších polohách Alp pozorovatelný, přestože z grafů vyplývá, že ve vyšších polohách není nárůst teplot tak výrazný.



Obr. č. 5: Průměrné roční teploty naměřené v období 1980-2005. Levý graf ukazuje průměrné roční teploty v nížinách Alp a pravý ukazuje změřené teploty na vrcholech (vyšších než 800 m n. m.). Dále je v grafu znázorněna regresní linie ukazující trend vývoje průměrných teplot (Philipona, 2013).

Většina autorů se shoduje na tvrzení, že teplota v Alpách se postupně zvyšuje. Jaká je tedy příčina tohoto oteplování? V další části práce uvedu rozbor názorů jednotlivých autorů, kteří se zabývají změnou klimatu v Alpách.

3. 2. Příčiny oteplování

Autoři jako Pepin a kol. (2015), Philipona (2013), Beniston (2010) a Tudoroiu (2016) uvádějí příčiny oteplování v Alpách. Příčiny uvedené v pracích těchto autorů se často liší. Jednotlivé názory a rozpory chci uvést v následujícím textu. Pokusím se najít shodu při hledání příčin oteplování.

Autoři Pepin a kol. (2015) uvádějí, že teploty se zvyšují rychlejším tempem ve vyšších polohách Alp a také v ostatních evropských pohořích a odkazují se přitom na jiné výzkumy zahraničních autorů. Uvádějí, že nejdůležitějším ukazatelem změny teplot je rostoucí nadmořská výška: Ve vyšších nadmořských výškách dochází k rychlejšímu oteplování. Toto tvrzení chtějí doložit několika uvedenými globálními klimatickými modely.

V práci Pepina a kol. (2015) je uvedena hypotéza o přesunu energie v atmosféře. Přesun energie podle těchto autorů se časem zvyšuje a do vyšších poloh hor proudí více energie, zejména tepelné energie. Uvádějí, že probíhá výraznější výměna tepla v oblastech světových velehor, a že zemský povrch zde přijímá více tepla, než v nížinách.

Dále uvádějí význam sněhové pokrývky. Ve švýcarských Alpách se průměrná denní teplota v oblastech bez sněhové pokrývky zvýšila o 0,4° C oproti oblastem se sněhovou pokrývkou v období jara až léta. Tito autoři očekávají ústup sněžné čáry do vyšších poloh Alp při současném oteplování.

Autoři Pepin a kol. (2015) neuvádějí jednu konkrétní příčinu oteplování, nýbrž že vysvětlení je v globálních klimatických modelech. Dodávají, že není dostatek meteorologických stanic ve vyšších polohách Alp, aby bylo možné lépe popsat vývoj teplot, albedo, oblačnost, a také samotné příčiny oteplování.

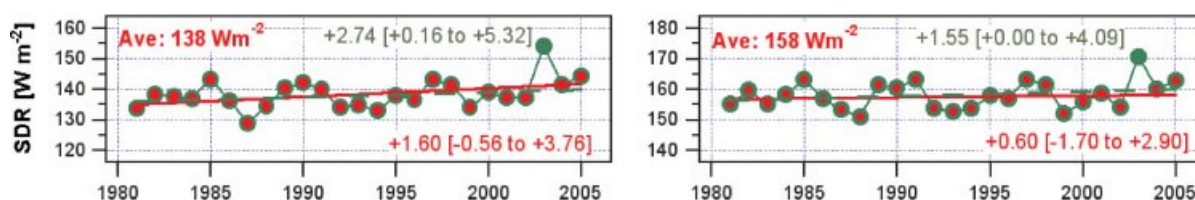
V rozporu s tím je práce od autorů Philipona a kol. (2013), kterým se podařilo konkrétní data z meteorologických stanic v Alpách získat.

Tito autoři získali data o průměrné roční teplotě, relativní vlhkosti a množství dopadajícího slunečního záření během roku z 25 alpských klimatických stanicích v nižších polohách Švýcarska a na 10 alpských stanicích při vrcholech Alp (v polohách od 1457 m n. m. do 3580 m n. m.). Podle nich je hlavní příčinou oteplování v Alpách zvyšující se množství dopadajícího slunečního záření na povrch a také zvýšené množství skleníkových plynů v atmosféře.

Dále uvádějí jev v zahraniční literatuře nazvaný jako „solar brightening.“ Jedná se o postupné zvyšování míry dopadajícího záření na povrch. Tento jev souvisí se sníženou mírou oblačnosti a také úbytkem aerosolů v atmosféře. Většina zahraničních studií uvádí, že zvýšení množství dopadajícího záření probíhá od 80. či 90. let 20. století také díky tomu, že atmosféra není dnes zahlcena tolika emisemi z průmyslových závodů, jako tomu bylo zejména v 50. letech.

Skleníkové plyny považují zmínění autoři za hlavní příčinu oteplování, množství dopadajícího slunečního záření není hlavní příčinou zvyšování teplot.

Množství krátkovlnného záření (část viditelného, blízkého ultrafialového a blízkého infračerveného světla) je vyznačeno v grafech v obr. č. 6. Z těchto údajů můžeme pozorovat, že množství krátkovlnného záření dopadajícího na povrch se v nižších polohách Alp (levý graf) postupně zvyšuje, s tím může souviset i nižší výskyt oblačnosti v nižších polohách alpské oblasti. Množství krátkovlnného záření se velmi mírně zvyšuje i ve vyšších polohách Alp, kde je průměrné množství záření naměřené za rok vyšší, než v nižších polohách. Opět do regresní křivky nebyl započítán rok 2003, ve kterém byly zaznamenány velmi vysoké hodnoty dopadajícího záření, mnohem vyšší, než byly v letech předtím nebo potom. V grafech můžeme pozorovat, že slunečního záření dopadajícího na povrch se ve švýcarské alpské oblasti zvyšuje velmi malou mírou⁴.



Obr. č. 6: Roční hodnoty krátkovlnného záření zaznamenaného na meteorologických stanicích (Philipona a kol., 2013).

⁴ Philipona (2013, s. 1536): „In the Alps, however, solar brightening is small and here temperature increased almost exclusively due to a rise of the greenhouse effect, manifested by a much larger and statistically significant water vapour feedback forcing of +1.82 [+0.55 to +3.11] $W m^{-2} decade^{-1}$ than in the Lowlands, which may in part be due to circulation changes.“

4. Modely použité k popisu teplot

4. 1. Globální a regionální klimatický model

Práce od autorů Kotlarski a kol. (2015) uvádí regionální klimatické modely, popisující vývoj teplot, který má nastat v budoucnu. Regionální klimatické modely jsou založeny na stejném principu jako globální klimatické modely s tím rozdílem, že globální klimatické modely se používají k modelování klimatu na celé Zemi, nebo větší části Země. Na druhou stranu regionální klimatické modely se zaměřují na popis klimatu v rámci relativně malých regionů, jako jsou např. Alpy či střední Evropa.

Klimatické modely jsou založeny na pozorování získaných z výzkumu fyzikálních procesů v atmosféře. Lze říci, že popisují přesun energie a materiálů v atmosféře. V klimatických modelech jsou použity matematické rovnice k popisu toho, jak na sebe vzájemně působí částice a hmota v různých částech atmosféry (Climate Models, NOAA, 2013).

Globální klimatické modely popisují proudění vzduchu v atmosféře Země, dále pak popisují mechanismy oceánských proudů, které ovlivňují výskyt tlakových útvarů v atmosféře. Dále modely pracují se změnami teplot a tlaku v atmosféře a vysvětlují výskyt stálých tlakových výší (anticyklon) a níží (cyklon), které se nacházejí v atmosféře Země. Tlakové útvary mají vliv na stálost či nestabilitu klimatu, které panuje v dané oblasti na zemském povrchu (Climate Models, NOAA, 2013).

Globální a regionální modely klimatu zároveň předpovídají vývoj změny polohy nestálých tlakových útvarů, které ovlivňují počasí a klima v atmosféře (Kotlarski a kol. 2015).

Regionální klimatické modely (RCM) poznatky o cirkulaci vzduchu aplikují na určitou oblast a popisují vývoj klimatu. Zároveň slouží k přesnějšímu popisu vývoje teplot.

Regionální klimatické modely se používají při modelování klimatu v oblasti Alp. S těmito regionálními klimatickými modely popisují klima v Alpách autoři Kotlarski a kol. (2015).

4. 2. Příklad modelu vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce

Autoři Kotlarski a kol. (2015) použili několik modelů, které měly za cíl zachytit průběh vývoje teplot a také vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce za posledních 40 let 20. století, a ukázat tak přesnost jednotlivých modelů, které se snaží popsat vývoj klimatu.

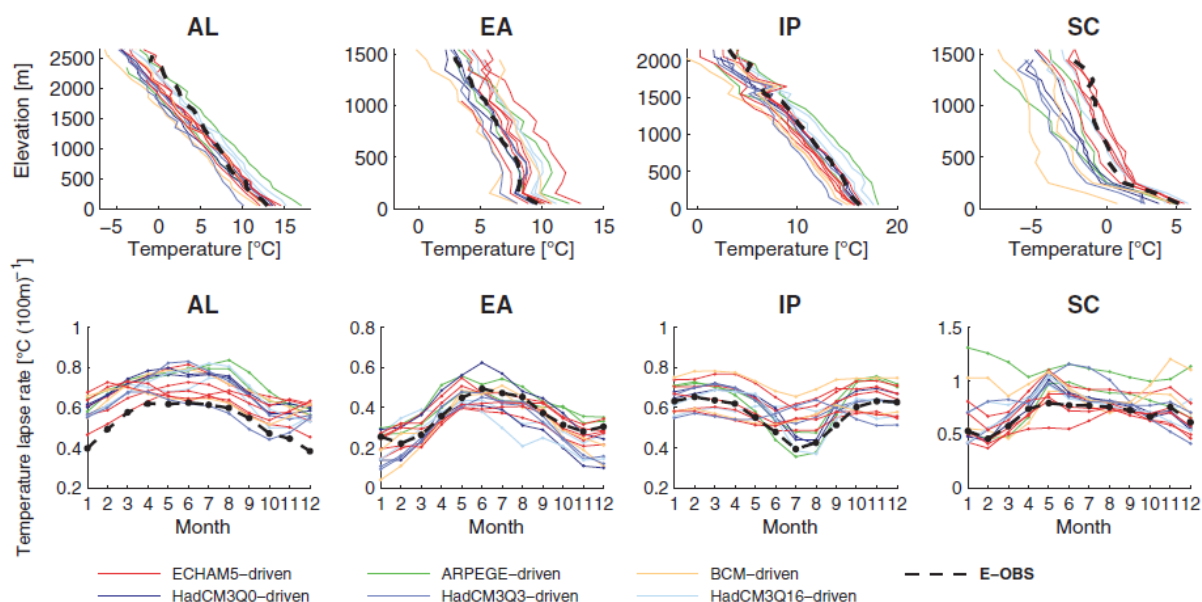
Při tvorbě průběhu vývoje teplot v období v závislosti na nadmořské výšce od roku 1961 do roku 2000 byly v práci výše zmíněných autorů použity regionální klimatické modely

od několika meteorologických institutů. Mezi ně patří modely HIRHAM a RCA. Tyto modely vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce byly následně srovnány s naměřenými teplotami v Alpské oblasti (Kotlarski a kol., 2015).

V obr. č. 7 jsou uvedeny teploty, které jsou srovnávány s jednotlivými regionálními klimatickými modely ze čtyř evropských regionů. Kromě regionu Alp (AL) jsou zde pro srovnání uvedeny i další regiony – východní Evropa (EA), Pyrenejský poloostrov (IP), Skandinávie (SC). Přesnost RCM se liší v jednotlivých regionech. Zatímco v alpské oblasti popisují tyto modely trend závislosti teplot na nadmořské výšce poměrně přesně ve srovnání s naměřenými teplotami, v dalších regionech, zejména pak ve Skandinávii modelovaná teplota dosahuje větších rozdílů v porovnání s naměřenými teplotami (Kotlarski a kol., 2015).

Dále je v obr. č. 7 ve spodní části uveden vertikální teplotní gradient pro každý měsíc v roce v období posledních 40 let 20. stol. Modely ukazují, že při vystoupení o každých 100 m nadmořské výšky se sníží teplota přibližně o 0,6° C v lednu. Tato hodnota je v červenci vyšší, za každých 100 m se sníží teplota o 0,7° C.

Hodnoty naměřené stanicemi jsou o něco nižší. Při vystoupení 100 m nadmořské výšky se teplota sníží o 0,4° C v lednu a přibližně o 0,6° C v červenci. V případě alpské oblasti je údaj gradientu nadhodnocen, modelované teploty jsou vyšší o 0,2° až 0,4° C než naměřené teploty.



Obr. č. 7: Grafické znázornění vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce, horní grafy znázorňují závislost průměrné roční teploty na nadmořské výšce změřené na meteorologických stanicích ve 2 m nad povrchem v období mezi lety 1961 a 2000 (černá čárkovaná čára), ostatní linie znázorňují modelované teploty, tedy předpokládané, dle jednotlivých modelů.

Spodní grafy ukazují vertikální gradient teplot v každém měsíci v roce. V grafu můžeme pozorovat, že vertikální gradient teplot je vyšší během letních měsíců (Kotlarski a kol. 2015).

Autoři Kotlarski a kol. (2015) přesto uvádějí, že bez ohledu na rozdíly, které ukazují jednotlivé modely, modely přesto zachycují shodně trend vývoje a závislosti teploty na nadmořské výšce.

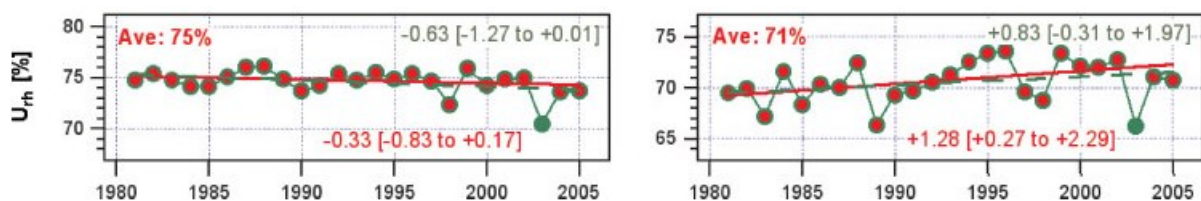
4. 3. Další pozorované klimatické jevy – vlhkost vzduchu

Dalším důležitým údajem je relativní vlhkost. Relativní vlhkost udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Je tedy důležitým údajem při určování počasí a klimatu. S měnící se teplotou vzduchu se mění i jeho relativní vlhkost. Obecně platí, že čím vyšší je hodnota relativní vlhkosti, tím je vyšší šance na tvorbu oblaků.

Teplota vzduchu určuje bod kondenzace, tedy takový bod, kdy je vzduch maximálně nasycený vodními parami. Teplota vzduchu se mění s jeho výškou a tím také v rozdílných výškách dosáhneme při rozdílné relativní vlhkosti bodu nasycení.

Na následujícím obr. č. 8 jsou zobrazeny grafy relativní vlhkosti naměřené na meteorologických stanicích ve Švýcarských Alpách. Z grafů lze vyčíst, že hodnota relativní vlhkosti se v nížinách Alp (levý graf) postupně mírně snižovala, naopak ve vyšších polohách Alp kolem 2200 m n. m. (pravý graf) se relativní vlhkost zvyšovala. V grafu je zeleně označen rok 2003, který byl mimořádný z hlediska údajů o relativní vlhkosti, její hodnota byla výrazně nižší než v předchozím, a také následujícím roce, proto není tento údaj započítán do průběhu regresní křivky.

Údaje z grafů vypovídají o tom, že v nížinách Alp postupně je nižší šance k výskytu oblaků, naopak ve vyšších polohách alpské oblasti je pravděpodobnost výskytu oblaků vyšší a s ní pravděpodobně přichází i častější srážky. K tvorbě oblačnosti dojde za předpokladu, že dojde při těchto naměřených relativních vlhkostech k nasycení vzduchu vodními parami. Pro přesnější určení, zda dochází k vyšší tvorbě oblaků, by bylo nutné prozkoumat meteorologická data o teplotě a relativní a absolutní vlhkosti za jednotlivé dny.



Obr. č. 8: Relativní vlhkost vzduchu naměřená v nížinách Alp do 800 m n. m. (levý graf) a ve vyšších polohách Alp, vyšších než 800 m n. m. - pravý graf (Philipona a kol., 2013).

Podle výše uvedených Obr. č. 4 a 5 lze soudit, že oblačnosti v Alpách postupně ubývá, a to zejména v nižších polohách. Meteorologické stanice zaznamenávají stále více slunečních dnů v roce, což přispívá ke zvýšení teplot během dne. Ve vyšších nadmořských výškách množství slunečního záření dopadajícího na povrch zůstává přibližně stejné za pozorované období, ovšem relativní vlhkost se za toto období v průměru zvýšila, což svědčí o vyšší šanci na tvorbu oblačnosti, případně srážek (Philipona a kol. 2015).

Z těchto pozorování je možné posuzovat postupnou změnu teplot a klimatu v této oblasti, bez ohledu na mimořádné hodnoty naměřené v roce 2003, zde zaznamenáváme vyšší intenzitu slunečního záření, zvyšování teplot v nižších i vyšších polohách Alp a změnu relativní vlhkosti.

4. 4. Orografická data, se kterými pracují ansámblové modely

Podle autorů Kotlarski a kol. (2015) ansámblové modely vývoje klimatu pracují se zemským povrchem, na kterých se předpovídá vývoj teplot či srážek. Povrch Alp je v modelech použitých těmito autory důležitý zejména proto, že vyšší horské vrcholy (přibližně kolem 1500 m n. m. a výše) vytvářejí srážkový stín a panuje v nich velmi odlišné klima, na rozdíl od nížin. Je zde více srážek během roku a průměrné roční teploty jsou nižší. Proto se vždy v ansámblových předpovědích pracuje s povrchem Země.

Vymodelovaný zemský povrch není vždy přesný, reliéf je zkrácený na základě rozlišení výškových dat v reliéfu. Autoři Kotlarski a kol. (2015) pracovali s 15 různými modely klimatu, které se vždy, více či méně, lišily od skutečného povrchu.

Podle těchto autorů je znázornění povrchu důležité také pro grafické znázornění vývoje teplot v závislosti na nadmořské výšce. Jak je uvedeno již výše, je pozorování vývoje teplot zásadní s ohledem i pro budoucí vývoj klimatu. V tomto případě je také důležité alespoň přibližné znázornění zemského povrchu, na kterém lze modelovat také lokální odlišnosti klimatu v určitých částech Alp.

Pokud bychom byli schopni určit lokální odlišnosti vývoje teplot v různých částech alpského regiony, více by odpovídaly výsledné teploty v modelech klimatu naměřeným teplotám v místech s lokálními odlišnostmi klimatu (Kotlarski a kol., 2015).

5. Vývoj klimatu v Alpách a faktory, které jej ovlivňují

Vývoj klimatu je velmi diskutovaným tématem zahraničních autorů, vývoj klimatu se ve vybraných článcích v této práci uveden na základě změřených teplot. Teplota v Alpách je ovlivňována celou řadou faktorů, jak přírodních, tak socioekonomických. V další části této práce budou tyto faktory probírány.

5. 1. Vliv člověka na klima

Autoři Beniston a kol. (2010) Předpokládá se, že člověk a vývoj společnosti byl jedním z rozhodujících vlivů, které ovlivnily klima v posledních 75 letech.

Jak uvádí autoři Beniston a kol. (2010) jsou právě horské regiony jedny z nejvíce náchylných na změny mikroklimatu, které ovlivňuje činnost člověka.

Výše zmínění autoři označují za procesy k tomu přispívající zejména úbytek oblačnosti a vysušování půd. Dále se ve své práci zmiňují o ústupu ledovců, sněhové pokrývky, a také o změny vývoje hladiny řek, které jsou zásobeny právě ledovci či sněhovými a dešťovými srážkami.

Tito autoři také hovoří o změně klimatu, která v souvislosti s činností člověka nastává. V jižní části Evropy, v oblasti mezi řekou Rhônou a Černým mořem bylo pozorováno snížení letních úhrnů srážek až o 40% z celkového množství za posledních 75 let. Naopak v severní Evropě, zejména ve Skandinávii jsou pozorovány nepravidelně se opakující zvýšené úhrny srážek, které v důsledku způsobují lokální povodně.

V posledních 75 letech došlo ve švýcarských Alpách ke zvýšení zimního minima (prosinec, leden, únor, březen) od $-0,5^{\circ}\text{C}$ změřenou v dekádě 30. let 20. stol. na hodnotu $1,8^{\circ}\text{C}$ změřenou na meteorologických stanicích v dekádě 90. let 20. stol (Beniston a kol., 2010).

Dále tito autoři přičítají změnu teplot k nižšímu výskytu oblačnosti v Evropě během léta a také ke snížení rozlohy sněhové pokrývky v Alpách z důvodu snížení úhrnu sněhových srážek v zimě.

Autoři dále uvádějí, že postupné oteplování v oblasti Alp bude mít za následek sice zvýšení úhrnu sněhových srážek ve vyšších polohách Alp, ale zároveň dojde k dramatickému snížení úhrnu srážek sněhu v nižších polohách alpské oblasti.

5. 2. Možné příčiny klimatických změn a vliv socioekonomické sféry na klima

Autoři Philipona a kol. (2013) uveřejnili práci, která měla za cíl popsat procesy v atmosféře, které napomáhají ke zvyšování průměrných teplot v Alpách.

Tito autoři uvádějí, že jedním z procesů, které přispěly ke zvýšení teplot v Alpách, je nižší výskyt aerosolů v atmosféře. V souvislosti s omezeními emisí, které byly v 70. a 80. letech zavedeny, byl výskyt těchto látek v atmosféře výrazně snížen. Nižší výskyt aerosolů může mít souvislost právě se snížením výskytu krystalických jader a také nižší tvorbě oblaků. Výskyt oblačnosti je, podle zmíněných autorů, nepatrně nižší než v minulosti.

5. 3. Fyzickogeografické procesy ovlivňující klima

Pepin a kol. (2015) uvádějí, že přírodní procesy mají také vliv na změnu klimatu, na rozdíl od vlivu člověka jsou tyto přírodní procesy většinou stálé a s časem se příliš nemění.

Autoři Pepin a kol. (2015) tyto procesy souhrnně popsali ve své práci, jedná se o albedo, oblačnost, vodní výpar a kombinace těchto procesů.

Stejní autoři uvádějí, že průměrná teplota ve 2 m nad povrchem v alpské oblasti bez sněhové pokrývky je přibližně 0,4° C. Také uvádějí, že tato teplota je v případě pokrytí povrchu sněhem v Alpách nižší.

Pojmem **albedo** rozumíme odrazivost slunečního záření od zemského povrchu. Na bílém povrchu pozorujeme vyšší hodnoty albeda, než jak je tomu na tmavém povrchu, nebo i na vodních plochách. Co se týče Alp, je zřejmé, že albedo bude vyšší v zimním období, kdy se na vrcholech i v nížinách nachází sněhová pokrývky.

Autoři Pepin a kol. (2015) zmiňují, že nadmořská výška hranice věčného sněhu je ovlivněna právě albedem. Protože světelné záření se odráží od bílého povrchu sněhu, dochází také ke zvyšování jeho povrchové teploty a k tání sněhu. Proto dochází k pozvolnému ústupu hranice věčného sněhu do vyšších poloh Alp.

Tito autoři také uvádějí, že tento proces ovšem není ve všech oblastech Alp stejný, doba a výskyt světelného záření souvisí s tvarem reliéfu. Úklon ke světovým stranám a sklon svahu má zásadní vliv na vytvoření rozdílných světelných podmínek a tím je také ovlivněna hranice věčného sněhu. Na severních strmých svazích se zpravidla hranice věčného sněhu nachází ve výrazně nižší nadmořské výšce, než je hranice věčného sněhu (nebo také sněžná čára) na mírném jižním svahu.

Vzniká tak rozdílné mikroklima a proces ústupu sněhové pokrývky a hranice věčného sněhu neprobíhá vždy stejně ve všech oblastech Alp.

Oblačnost

Autoři Pepin a kol. (2015) publikují tvrzení, které hovoří o dopadu změny četnosti oblačnosti nad Alpami. Četnost oblačnosti ovlivňuje jak krátkovlnné (UV), tak dlouhovlnné záření (IR). Záření je odcloněno vrstvou oblaků, a ne vše se dostane na povrch. Proto se předpokládá, že oblačnost má vliv na výměnu tepla na povrchu.

Podle těchto autorů, pokud dojde v Alpách ke zvýšení teploty v místě, kde se zpravidla tvoří oblaky, dojde ke změně bodu kondenzace. Pokud se nedosáhne tohoto bodu kondenzace, oblaky se tvořit nebudou.

Autoři předpokládají, že pokud se budou teploty takto zvyšovat, bude docházet k rychlejšímu oteplování ve vyšších polohách Alp. Uvádí také pozorování, která zjistila, že změnu teplot v Alpách ovlivňuje výskyt mlhy či slohy oblaků - stratusu. Tedy pokud dojde k oteplení ve vrstvách oblačnosti, dojde také k nižšímu výskytu oblaků či mlhy a tedy i k oteplení povrchu.

Vodní výpar

Vodní výpar také hraje svoji roli v oteplování v Alpách. Autoři Pepin a kol. (2015) uvádějí, že vodní výpar a také látky, které působí jako skleníkové plyny má značný vliv na tepelný tok zpět na povrch a přispívají k tvorbě skleníkového efektu. Tento efekt oteplování byl pozorovaný i ve vyšších polohách Alp a také jiných světových pohoří.

Není zcela známo, jakou mírou je tento proces ovlivněn člověkem, protože socioekonomická činnost přispívá k tvorbě skleníkových plynů a v konečném důsledku i k oteplování povrchu vrcholů Alp.

5. 4. Diskuse: Je klima Alp ovlivněno spíše člověkem, nebo přírodními procesy

Uvádí se, že klima v Alpách ovlivňují jak přírodní, tak člověkem podmíněné procesy. Jak uvádějí autoři souhrnné studie o klimatu, v alpské oblasti se jedná o souhrn přírodních a člověkem ovlivněných procesů, některé mají vyšší vliv na oteplování, některé naopak nepřispívají tolik (Pepin a kol., 2015).

Názor autorů Pepin a kol. (2015) je takový, že pro oteplování v horských oblastech jsou důležité zejména fyzickogeografické procesy, jako je albedo, vodní výpar a doba trvání slunečního záření. Vliv těchto procesů je zdokumentovaný v měřeních na meteorologických stanicích. Podle měření provedených pomocí satelitů je rovněž možno vliv těchto procesů na klima pozorovat.

Rozdílný názor zastává práce od autorů Beniston a kol. (2010), ve které se uvádí, že zejména úbytky oblačnosti a vysoušení půd může za oteplování v Alpské oblasti. Jsou přesvědčeni, že významný podíl na oteplování má člověk.

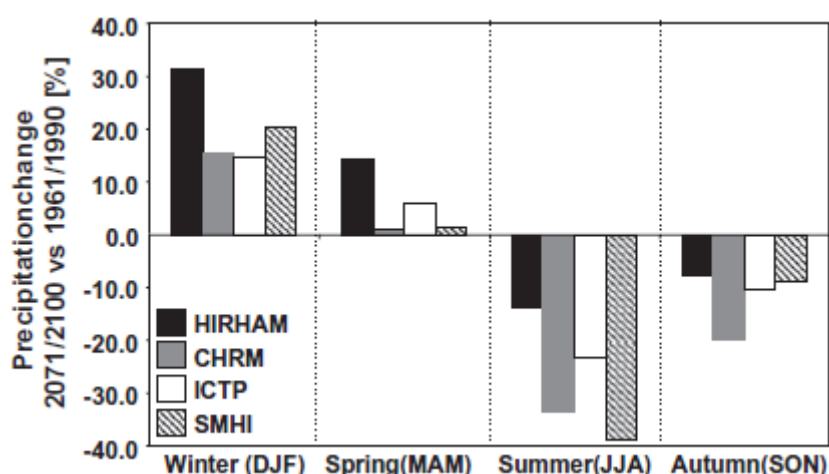
Dále tito autoři uvádějí jako důležitý faktor pro změnu klimatu hustotu zalesnění, nebo také obecně využití půd v alpské oblasti. Protože v minulosti proběhlo četné odlesňování Alpské oblasti, může toto mít vliv jak na oteplování, tak také na procesy jako je sesuv půd.

Autoři Beniston a kol. (2010) dále varují, že nedostatek vody může mít dopady na zásoby elektrické energie v oblasti Alp. Podle těchto autorů nebude moci být prováděna stavba nových hydroelektráren, a tím může potenciálně dojít k nedostatku elektrické energie v Evropě.

Jak ukazuje obr. č. 9, má dojít v letech 2071-2100 k výraznému snížení úhrnu srážek ve švýcarských Alpách oproti srážkám za období 1961-1990, a to zejména v letních a podzimních měsících. V létě má dojít ke snížení úhrnu srážek o 20-40 %, v zimě má naopak dojít ke zvýšení úhrnu srážek o 20 – 30 %.

Na jaře se předpokládá zvýšení úhrnu srážek o 0 – 15 %, na podzim pravděpodobně dojde ke snížení úhrnu srážek o 5 – 15 %.

Jak uvádí Beniston a kol. (2010), důsledkem tohoto vývoje by měl být celkový úbytek úhrnu srážek a v oblasti švýcarských Alp by mohla nastat období sucha.



Obr. č. 9: Procentuální změna úhrnu srážek mezi obdobími 1961 – 1990 a 2071 - 2100 ve švýcarských Alpách. Výsledky jsou rozděleny na jednotlivá roční období a také jsou rozděleny podle měření jednotlivých meteorologických institucí. HIRHAM – Dánský meteorologický institut, CHRM: švýcarský ansámblový model s vysokým rozlišením. ICTP – Mezinárodní centrum teoretické fyziky (Terst, Itálie). SMHI – Švédský meteorologický institut (Beniston a kol., 2012).

5. 5. „Katastrofický“ scénář vývoje klimatu

Autoři Beniston a kol. (2010) uvádějí také jeden ze scénářů vývoje teplot pro období 2071 až 2100. Za dané období by se měly teploty v Alpách v létě (červenec, srpen) zvýšit průměrná teplota v těchto měsících o 4° C a v zimě (prosinec, leden) až o 6° C. Tento vývoj by znamenal ústup sněhové pokrývky do vyšších nadmořských výšek a celkové zvýšení teplot na hodnoty, které je dnes možno naměřit jen v nížinách. Tito autoři tento vývoj předpokládají na základě získaných dat o teplotách z období 1961 – 1990. Můžeme jen spekulovat, zda budou jejich odhady přesné, či zda se tyto odhady skutečnosti blížít nebudou.

5. 6. Názor autora na příčiny oteplování v Alpách

Nabízí se tvrzení, že jak člověk, tak také přírodní procesy dohromady přispívají k oteplování v této oblasti. Tedy že tento vývoj klimatu je řízen oběma těmito procesy. Co se týče skleníkových plynů, tak nejvíce obsaženým plynem v atmosféře, který má vliv na teploty na povrchu, je vodní pára. Vodní pára obsažená v atmosféře zásadním přírodním faktorem, protože tvoří oblačnost a ovlivňuje množství slunečního záření, které dopadá na povrch Alp. Se slunečním zářením souvisí albedo, na které má zásadní vliv sněhová pokrývka. V částech Alp se sněhovou pokrývkou na povrchu máme možnost pozorovat vyšší odrazivost slunečního záření a teploty se zde nezvyšují tak rychle během několika let, jak můžeme pozorovat v nížinách. Nemůžeme ovšem opomenout vliv člověka, protože v minulosti byly dopady průmyslové činnosti pozorovatelné i v alpské oblasti, vyšší množství CO₂ zde přispělo k oteplení a vypouštění oxidů síry z činnosti tepelných elektráren se projevilo na kvalitě flóry. Protože je navíc člověkem odčerpávána voda pro průmyslové, hydroelektrické a také turistické potřeby, právě to může podle těchto autorů vést k nedostatku vody v Alpských oblastech.

6. Emisní scénáře

Dalším tématem souvisejícím s projekcí teplot je budoucí vývoj teplot a srážek. Tímto se zabývají ve své práci zahraniční autoři Zubler a kol. (2014). Tito autoři se pokusili popsat právě tento budoucí vývoj klimatu.

Na základě dostupných dat z meteorologických stanic za posledních 30 let v klimatické studii autoři Zubler a kol. (2014) popisují několik modelů vývoje klimatu, výsledky se v jednotlivých modelech liší podle použitých statistických metod.

V práci od autorů Zubler a kol. (2014) jsou uvedeny modely vývoje klimatu podle tří emisních scénářů. Emisní scénáře jsou následující:

- Scénář A1B předpokládá stejný vývoj emisí v první polovině 21. století, jako probíhal v posledních desetiletích a postupné snížení emisí v druhé polovině 21. stol. jako důsledek technologického pokroku v oblasti průmyslu.
- Scénář s názvem RCP3D počítá se zredukováním emisí na takovou hodnotu, která byla v atmosféře před rokem 1900.
- Scénář A2 je definován stálým vývojem emisí podle toho, jak probíhal v posledních desetiletích

Jeden z modelů vývoje klimatu předpokládá zvýšení průměrných ročních teplot ve Švýcarsku o 3-6° C do konce 21. století (Fischer a kol. 2012 in Zubler a kol. 2014). Autoři ve výpočtech

zohlednili vývoj emisí, uvedených v emisním scénáři s označením A1B. Dále vycházeli z naměřených teplot na meteorologických stanicích ve švýcarských Alpách od roku 1980 do roku 2009.

V těchto emisních scénářích je uveden základní faktor, který ovlivňuje výpočty vývoje teplot v těchto scénářích. Protože se jedná o emisní scénáře, hrají v nich důležitou roli právě emise CO₂ a jiných skleníkových plynů.

Autoři Zubler a kol. (2014) uvádějí také proces, důležitý pro alpskou oblast, který se objevuje v emisních scénářích. Jedná se o albedo, které má vliv na vývoj teplot zejména v oblastech s pokrývkou sněhu.

6. 1. Tvorba emisních scénářů

Scénář A1B byl podle autorů Zubler a kol. (2014) vytvořen na základě ansámblových předpovědí a ansámblových modelů klimatu, v něm je výpočet výsledné teploty proveden na základě naměřených dat a pomocí rovnic jsou vypočítávány teploty do budoucna.

Podle těch stejných autorů je pro ostatní dva scénáře provedena analýza vývoje teplot na základě modelového měřítka globálních změn teplot.

Nutno dodat, že se jedná o předpokládaný vývoj teplot, může se tedy od skutečnosti lišit a jednotlivé modely mohou dospět ke zcela rozdílným výsledkům.

Předpověď vývoje klimatu zároveň nezahrnuje některé lokální jevy související s vývojem klimatu, může proto být značně zkreslena.

V ansámblové předpovědi je zpravidla zahrnuta nadmořská výška a změna teplot v závislosti na nadmořské výšce, do této předpovědi se však nezahrnuje možnost vzniku inverzí a jiných lokálních jevů ovlivňující okamžité denní teploty. Předpovědi zpravidla zahrnují delší časový úsek a uvádějí se v průměrných ročních teplotách.

S tím souvisí i tvrzení od autorů Zubler a kol. (2014), ve své studii uvádějí, že přestože dnes se modelování klimatu věnuje mnoho odborníků, modelům často schází dostatečně vysoké rozlišení, co se týče jak časového, tak také prostorového rozlišení.

Přitom by tyto klimatické studie a modely klimatu mohli pomoci ve strategickém plánování v odvětví hydrologie, turistiky, zemědělství, nebo by také mohly vysvětlit vlny vpádu horkého vzduchu a období sucha, které byly zaznamenány v posledních několika letech.

Ve své klimatické studii se autoři Zubler a kol. (2014) zaměřují právě na grafické znázornění vývoje klimatu ve vyšším prostorovém rozlišení, aby zachytily pravděpodobný vývoj teplot ve Švýcarsku, a to nejen v lépe zdokumentovaných nižších polohách, ale také ve vyšších polohách Alp.

Tito autoři ve své studii provedli ansámblovou předpověď a také použili tzv. Bayesovu rovnici ke generování teplot a úhrnů srážek v souřadnicové síti o rozlišení $0,02^\circ \times 0,02^\circ$ zeměpisné délky (což je plocha přibližně o rozloze 2 km^2).

K této analýze bylo využito 20 regionálních klimatických modelů (RCM) z projektu ENSEMBLES (předpovědi vývoje klimatu), přičemž každý z těchto RCM je ve výpočtu řízen globálním modelem klimatu (GCM). RCM mají rozlišení přibližně $0,22^\circ$ zem. dél. stupně, což je zhruba 25 km^2 ve Švýcarsku.

Simulace vývoje teplot byly provedeny v časovém období mezi lety 1950 a 2050, některé z nich byly provedeny až do roku 2100.

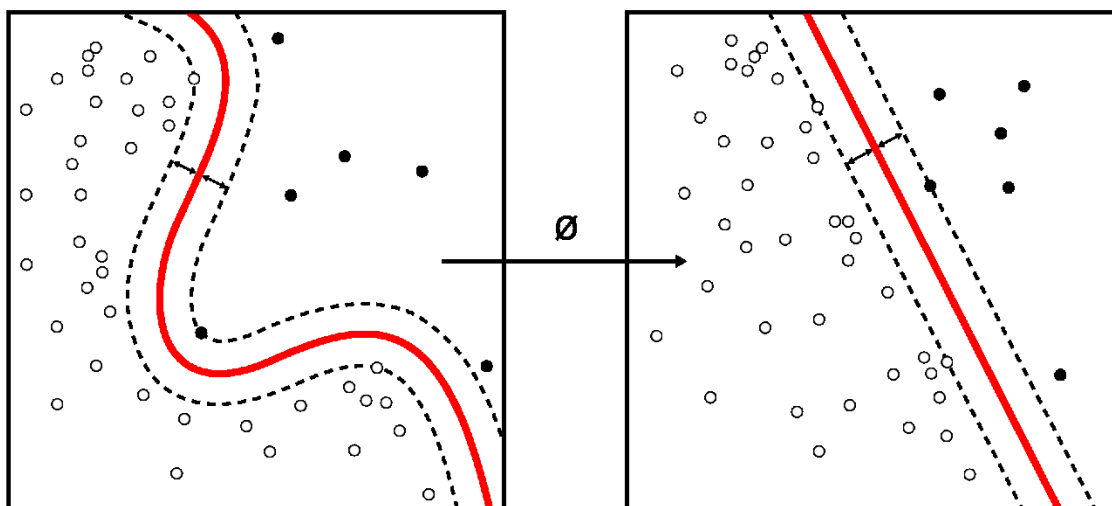
Podle Zublera a kol. (2014) tvorba tohoto modelu je prováděna na základě tří metod:

1. Pomocí nashromážděných dat při zhodnocení variability naměřených dat a teplotních trendů
2. Aplikací Bayesovy klasifikace podle pro výpočty pravděpodobnosti výskytu projektovaných teplot.
3. Pomocí následného zpracování získaných dat pravděpodobnosti a variability vypočtených z klimatické změny, převzaté z modelů. Data byla následně ještě zpracována pro jednotlivé regiony v závislosti na jednotlivých ročních obdobích.

Bayesova klasifikace, angl. Naive Bayes Classifier, je statistická metoda používaná pro uspořádání dat z určitého zdroje na základě pravděpodobnosti. Při použití této metody dochází k filtraci dat. Data, která nevyhovují zadaným parametrům, jsou vyřazena a dále se pracuje jen s daty, které vyhovují podmínkám rovnice.

Data, která rovnici vyhovují, se poté zprůměrují a dosáhneme tak konečného rozdělení dat. Pokud Bayesovu klasifikaci aplikujeme na emisní scénáře, výsledkem tohoto procesu budou emisní scénáře s průměrnými hodnotami a vyřazeny budou takové scénáře, které nevyhovují zadaným podmínkám. Většinou dojde k eliminaci těch scénářů, které obsahují příliš vysoké, nebo příliš nízké hodnoty teplot, tlaku vzduchu, vlhkosti vzduchu a jiných údajů.

Obr. č. 10 ukazuje aplikaci Bayesovy klasifikace. Data, která projdou touto klasifikací, jsou následně zprůměrována a nevyhovující data – data za silnou čarou jsou vyřazena z klasifikace.



Obr. č. 10 – ukázka Bayesovy klasifikace – rozdělení dat před a po klasifikaci (Wikipedia.org, 2019).

6. 2. Projektované teploty podle modelů emisních scénářů

S použitím těchto výpočtů dosáhli autoři Zubler a kol. (2014) následujících výsledků ve švýcarských Alpách, co se týče projektovaných změn teplot v letní sezoně:

Pro období 2070 - 2099 je očekávané zvýšení teplot o 1,3-2,6°C podle modelu RCP3PD.

Podle modelu A1B je očekáváno zvýšení teplot o 3,3-5,8°C za stejné období a podle modelu A2 je očekáváno zvýšení teplot o 3,9-6,7°C, také za stejné období.

Podle autorů (Kotlarski a kol. 2012 in Zubler a kol. 2014) se v budoucnosti očekává vyšší nárůst teplot ve vyšších nadmořských výškách podle projekcí z ansámblových modelů ENSEMBLES. To naznačuje, že je zde patrná závislost změn teploty ve srovnání s nadmořskou výškou.

Autoři Zubler a kol. (2014 také uvádějí, že trend oteplování je v nižších nadmořských výškách mimo alpskou oblast výraznější. Podle jejich studie je v letech 2020-49 trend oteplování o 0,05 °C vyšší v zimě a o 0,2 °C vyšší v létě a pro následující období mezi lety 2045-74 je oteplování o 0,15 °C vyšší v zimě a o 0,4 °C vyšší v létě.

Toto oteplení se týká pouze vybraných regionů, týká tedy alpské oblasti a nížin v okolí Alp.

Co se týče globálního pohledu na problematiku oteplování, je podle výše zmíněných autorů ve studii ENSEMBLES za použití mnoha modelů předpovězeno oteplení více než o 1 °C vyšší, a to zejména v období ke konci 21. stol.

Pokud hovoříme o srážkách, nalezneme zde podle autorů Zubler a kol. (2014) podobný trend jak ve vyšších polohách Alp, tak i v nížinách. V letních měsících se očekávají sušší období, a to shodně pro období 2045-74 a 2070-99 ve scénářích A1B a A2. Možné snížení úhrnu srážek se očekává podle scénáře A2 ke konci století až o 30 %.

K opačnému zjištění došli autoři této práce v zimě, kdy očekávají v západním Švýcarsku, mimo alpskou oblast snížení o úhrnu srážek o 20 % do konce tohoto století, přestože ve vyšších polohách by nemělo snižování srážek překročit 10 % trend úhrnu ve srovnání s nížinami.

Ve své práci autoři Zubler a kol. (2014) uvádějí i důvody tohoto rozdílného úhrnu srážek v nížinách a ve vyšších polohách. Tento vztah může být částečně vysvětlen absolutním množstvím srážek, který se zvyšuje s nadmořskou výškou jako důsledek orografických srážek (srážkový stín) a zvýšené konvekce. Proto většina srážek a konvekci vzniká ještě před vrcholy v alpské oblasti.

6. 3. Změna klimatu a oteplování v Evropě jako celku

Jak uvádí Zubler a kol. (2016), od konce 20. stol. lze za jednoznačnou příčinu globálního oteplování považovat změny v antropogenních emisích skleníkových plynů. Poslední tři desetiletí byla nejteplejší od období, kdy začalo přístrojové měření teplot na konci 19. stol. Tímto se autoři shodují s výzkumem Tremla a kol. (2015) kteří označili období od roku 2000 a dále za nejteplejší i co se týče období před měřeními meteorologickými nástroji.

Na regionální úrovni se klima otepluje na celém území s tendencí vyšších teplot v oblastech pevniny.

Analýza minulých období klimatických změn ve Švýcarsku ukázala, že docházelo ke zvyšování teplot přibližně 1,6krát v průměru rychleji než v ostatních pevninských oblastech severní polokoule s průměrným trendem oteplování přibližně o 0,14 °C za desetiletí mezi lety 1864 a 2000 (Begert a kol., 2005 in Zubler a kol., 2016).

Co se týče světových trendů vývoje srážek, předpokládá se, že v regionech světa, kde je srážek dostatek, bude úhrn srážek stoupat, zatímco v suchých regionech bude srážek méně (Held a Soden, 2006 in Zubler a kol., 2016).

Autoři Zubler a kol. (2016) zároveň ale dodávají, že tento koncept vývoje srážek byl již zpochybněn, co se týče pevninských oblastí. Ve středních zeměpisných šířkách, do kterých zasahuje i Evropa. Tendence vývoje srážek na pevnině, jak změřené, tak projektované, nejsou zdaleka tak zřejmé.

Přímo ve Švýcarsku, podle Zublera a kol. (2016), sjednocená měření ukazují na zvyšování srážek v období mezi lety 1864 a 2000, přičemž tento nárůst je výrazný jen na několika stanicích zejména v zimní sezoně.

Autoři Zubler a kol. (2016) poukazují na provedená měření a projektované změny klimatu. V nich se ukazuje potřeba spolehlivých a aktuálních informací o změně klimatu, které by

ukazovaly lokální až regionální změny, aby bylo možné efektivně zvládnout budoucí rizika změny klimatu.

Podle Zublera a kol. (2016) se vytvářejí projekce dat z globálních klimatických modelů, které mají horizontální rozlišení od 100 do 300 km, což je velmi hrubé měřítko pro použití zejména ve složitém terénu, jako jsou Alpy.

Proto je potřeba použití efektivní metody tzv. downscalingu (zjednodušeně se jedná o zúžení, snížení měřítka u některých dat) pro přesnější popis klimatu v regionech.

Autoři Zubler a kol. (2016) uvádějí, že přes veškerý dosažený pokrok na poli modelování klimatu, od vytváření projekcí od lokálního přes regionální klima, jsou projekce klimatických změn spojeny s celou řadou nejistot, co se týče emisí skleníkových plynů přes nejistoty v modelech klimatu až po nejistoty vznikající z kolísání v přírodních procesech (Knutti a kol., 2010; Fischer a kol., 2012 in Zubler a kol., 2016).

Podle autorů Zublera a kol. (2016) je přednostně přírodní variabilita teplot a srážek tím faktorem, který limituje vznik signálů změny klimatu, přičemž tyto signály varují před klimatickou změnou na regionální úrovni v příštích desítkách let.

6. 4. Předpokládané změny klimatu ve Švýcarsku a nejistoty projekcí

Podle Zublera a kol. (2016), jsou současné scénáře změny klimatu ve Švýcarsku - CH2011 (z roku 2011) založeny na modelových projekcích ENSEMBLES (van der Linden a Mitchell, 2009 in Zubler a kol., 2016) vycházejících z GCM a RCM modelů klimatu, tyto scénáře počítají s tzv. SRES A1B emisním scénářem (Nakicenovic a Swart, 2000; IPCC, 2007 in Zubler a kol. 2016).

Tito autoři také uvádějí, že změny teplot a úhrnů srážek byly vypočítány jako sezónní průměr pro pět klimatologických regionů a zahrnují 30letá období (1980-2009 a 2070-2099) v těchto scénářích změny klimatu.

Společné zhodnocení několika RCM-GCM projekcí bylo vytvořeno s tzv. Bayesovým algoritmem výpočtu kombinací modelů aby byly vypočítány pravděpodobnosti teplot předpokládaných změn klimatu (Buser a kol., 2009; Fischer a kol., 2012 in Zubler a kol. 2016).

Autoři uvádějí, že do konce 21. století (2070-2099) a podle teplotního scénáře A1B se projekce teplot výrazně liší od stavu, který byl zaznamenán v nedávném období (1980-2009) o několik stupňů Celsia.

Vzhledem k nejistotě v modelech a variabilitě teplot v průběhu desetiletí, se v měřeních mohou vyskytovat odchylky o přibližně 1 °C od mediánu.

Autoři Zubler a kol. (2016) uvádějí, že co se týče srážek, Bayesův algoritmus neupřednostňuje velké změny od podzimu do jara, zatímco podle tohoto algoritmu by mělo v létě dojít k 10 až 30% úbytku srážek při srovnání průměru srážkových úhrnů za období 1980-2009.

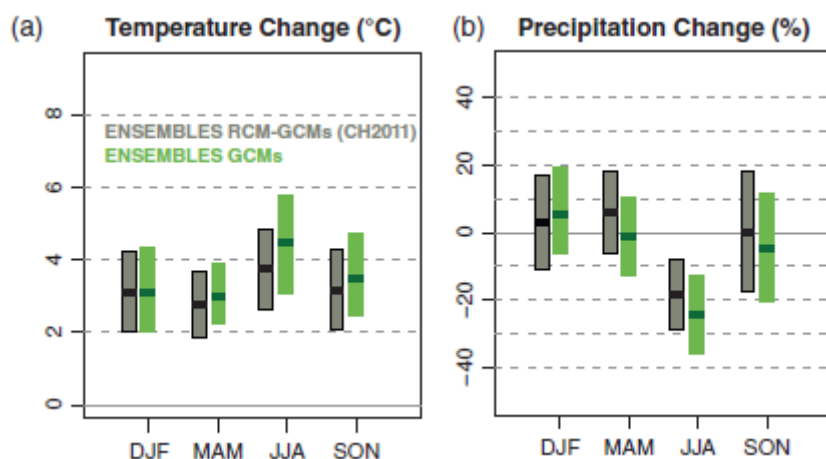
Toto tvrzení se shoduje s tvrzeními o úbytku srážek, která jsou uvedena od autorů Benistona a kol. (2010) dříve v této práci a jsou znázorněna v obr. č. 3.

Podle autorů Zublera a kol. (2016) jsou projekce teplot v modelu CH2011 založeny na neúplné matici RCM-GCM modelů z projektu ENSEMBLES, z čehož vyplývá, že ne všechny zastoupené regionální klimatické modely byly sloučeny s dostupnými globálními klimatickými modely. Zároveň ve 14 RCM-GCM projekcích, které byly vypočteny do roku 2100, je použito jen 6 globálních klimatických modelů (GCM).

Autoři Fischer a kol. (2012) zmiňují v práci od autorů Zubler a kol. (2016), že většina zdrojů nejistot v modelových projekcích v regionálním měřítku pramení z výběru specifického GCM, který nerespektuje výběr regionálního klimatického modelu.

V obr. č. 11 od autorů Zubler a kol. (2016) je znázorněno, že při použití stejné kombinace mnoha modelových algoritmů, jako použili autoři Fischer a kol. (2012) s použitím stejných kroků v pre- a postprocessingu v projekcích GCM simulací (místo spojených simulací RCM-GCM) se ve výsledku ukazují velmi podobné hodnoty. Simulace RCM-GCM použité ve Švýcarsku ukazují změnu teplot o 2-4° C v zimním období (prosinec – únor) v posledních 20 letech 21. stol. Stejnou hodnotu ukazují simulace GCM používané ve světě. V letních měsících ukazují scénáře použité ve Švýcarsku zvýšení teploty o 2,5-5° C v letním období (červen – srpen) a simulace používané globálně ukazují zvýšení o 3-6° C ke konci 21. stol.

Pravý graf ukazuje předpověď srážek. V zimním období má dojít ke zvýšení úhrnu srážek v průměru o zhruba 5 % podle švýcarské simulace klimatu a podle simulace klimatu v globálních modelech má dojít ke zvýšení úhrnu o přibližně 7 %. Co se týče letního období, zde má dojít k úbytku srážek za období 2071-2099 o přibližně 20 % podle švýcarské simulace a podle simulace globálního modelu má dojít ve stejném období o snížení úhrnu srážek v průměru o 25 %. Obě simulace ukazují velmi podobné hodnoty a rozdíl ve výsledcích simulací je jen v řádu jednotek procent.



Obr. č. 11: Srovnání výsledků pravděpodobnostních projekcí teplot (levý graf) a srážek (pravý graf) za použití kombinace RCM-GCM (šedé krabicové grafy) a samotných GCM (zelené grafy) v projektu ENSEMBLES (Zubler a kol., 2016).

Podle autorů Zubler a kol. (2016) toto naznačuje, že klimatické změny spojené s nejistotami v alpském regionu jsou z větší části určeny projekcemi globálních klimatických modelů.

Tento obr. č. 7 naznačuje, že projekce regionálního klimatu jsou značně ovlivněny jak počtem použitých GCM, tak také specifickou volbou GCM.

Přestože podle Zublera a kol. (2016) je dostupných 39 globálních klimatických modelů, které jsou zastoupeny v projekcích klimatu CMIP5, je pravděpodobné, že existuje výrazně menší nejistota v modelech použitých v evropské projekci klimatu EURO-CORDEX.

Bylo by tedy žádoucí, aby se předcházelo některým nejistotám pramenícím z GCM projekcí v regionálním měřítku.

Proto se ve své práci Zubler a kol. (2016) snaží o lepší vysvětlení GCM projekcí modelů s pokrytím větší plochy v alpské oblasti, při použití všech dostupných 39 globálních modelech klimatu.

Dále v této práci bude rozebráno shrnutí funkcí GCM v alpském regionu, podle studie, kterou vytvořili Zubler a kol. (2016).

6. 5. Další možná vysvětlení rozdílných trendů teplot v nížinách a na vrcholech Alp

Podle autorů Philipona a kol. (2013) bylo v nižších nadmořských výškách do 500 m n. m. pozorováno zvýšení teplot o zhruba 1,3 °C od roku 1981 do současnosti. Zajímavostí je, že ve vysokých nadmořských výškách kolem 2200 m n. m. v Alpách se zvýšila teplota o méně než 1 °C za stejné období.

Důkladné přezkoumávání teplot, vlhkosti a množství slunečního záření v nížinách a na alpských klimatických stanicích ukazují, že rozdíl v jednotlivých teplotních trendech

pravděpodobně souvisí s nerovným oteplováním v důsledku sluneční radiace a nestejným působením skleníkových plynů.

Nižší tendence zvyšování teplot v Alpách je překvapivá zejména proto, že modelové výpočty předpokládají vyšší vliv oteplování ze skleníkových plynů ve vyšších nadmořských výškách (Manabe a kol., 1991 in Philipona a kol., 2013).

Je možné se domnívat, že nižší trend zvyšování solární radiace je nejspíše způsoben sníženým efektem aerosolů na sluneční záření ve vyšších nadmořských výškách.

7. Důsledky vývoje klimatu na přírodní prostředí

Podle zjištěných údajů došlo k výraznému zvýšení teplot ve střední Evropě za poslední tři desetiletí, podle autorů Philipona a kol. (2013) je toto připisováno ke změně proudění krátkovlnného a dlouhovlnného záření ze Slunce v atmosféře.

Zajímavostí je, že zároveň bylo podle těchto autorů zjištěno, že zásoby vody a vlhkost půdy jsou ve střední Evropě dostatečné na to, aby se vypařovala vodní pára zpět do atmosféry za normálních podmínek. To částečně odporuje tvrzení od Benistona a kol. (2010), kteří uvádějí, že v posledních desetiletích z důvodů vpádu horkého vzduchu a množství suchých období půda ve střední Evropě a v Alpách trpí nedostatkem vlhkosti a že je zde reálná hrozba úplného vyprázdnění přítoků některých evropských řek.

Autoři Philipona a kol. (2013) přesto uvádějí, že podle jejich měření došlo ke statisticky významnému zvýšení relativní vlhkosti o $4,1 \text{ \% K}^{-1}$. Tito autoři diskutují o možných příčinách tohoto procesu. Je možné, že zvýšení relativní vlhkosti souvisí se značným vodním výparem v Alpách, který probíhá z důvodu změn cirkulace vzduchu. Dále je možné, že je tento jev ovlivněn větrem vanoucím od jihozápadu v určitých nadmořských výškách.

7. 1. Ostatní důsledky změny klimatu

Ve své studii uvádí autoři Beniston a kol. (2010) procesy, které souvisejí s nestálým úhrnem srážek. Uvádějí, že Alpy jsou tzv. střechou Evropy, že právě v Alpách pramení mnoho řek, které mají svá povodí v západní, střední Evropě a v oblasti Středozemního moře.

Uvádějí, že jakákoli změna objemu sněhové pokrývky v horských oblastech může nést významné důsledky na průtoky řek, nejen proto, že tato změna by měla vliv na průtok řek a ovlivnila by jejich režim, ale také pro potenciální nebezpečí povodní, eroze a s nimi souvisejícími riziky přírodních katastrof.

Podle zmíněných autorů je ve Švýcarsku průměrný roční úhrn srážek přibližně 1500 mm za rok, z čehož se jedna třetina ztrácí výparem a přibližně dvě třetiny srážek odtečou po

povrchu. Malá část tohoto objemu vody je uložena v jezerech, přehradách a podzemních nádržích. Proto by podle těchto autorů nedostatek vody měl následky na zásoby pitné vody ve střední Evropě.

7. 2. Klima a jeho důsledky související s vodními toky v alpské oblasti

Autoři Beniston a kol. (2010) uvádějí, že v 30km okruhu v Gotthardském regionu na jihu Švýcarska povrchový odtok napájí říční systémy, které jsou propojeny se Severním mořem, tedy s povodím řeky Rýn. Tok Rýna reprezentuje asi 2/3 z celkového objemu vody tekoucího ze Švýcarska. Asi 18 % plochy povodí v tomto regionu náleží řece Rhône ve Středozezemním moři. Jaderskému moři v tomto regionu náleží asi 10 % plochy povodí a povodí Černého moře, nebo také Dunaje má v tomto regionu 5 % plochy.

Podle těchto autorů jsou alpské vodní zdroje závislé na alpském klimatu, které zahrnuje vlhkost půdy, obnovu podzemních vod, výpar a povrchový odtok.

Dále tito autoři zmiňují řeku Rhône pramenící ve francouzských Alpách. Její přítoky jsou ovlivněny výparem, srážkami, umělými nádržemi a vodou z odtávajícího sněhu. Úhrny srážek během roku a tání ledu od května do října jsou důležitými zdroji vody v povodí řeky.

Další zdroje vody zůstávají na povrchu Alp v podobě sněhové pokrývky od listopadu do října, zatímco výpar dosahuje maxima během letních měsíců. Přehrady drží malou část vodních zdrojů sněhu, který během letních měsíců odtál, a srážek z letního období a tyto zásoby vod slouží také jako zásobárny energie později v roce (Beniston a kol., 2010).

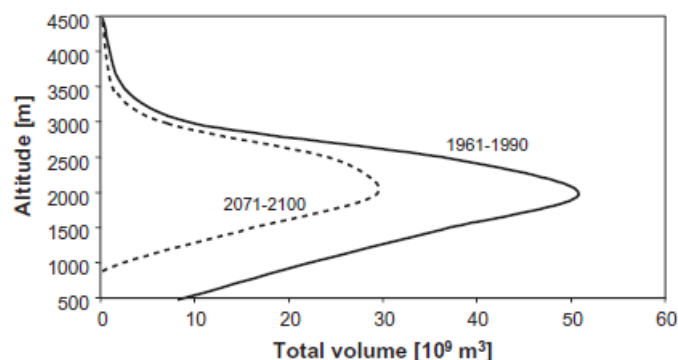
Podle autorů Beniston a kol. (2010), mocnost sněhové pokrývky a její tání přímo souvisí s odtokem řek z Alp do různých částí Evropy.

Tito autoři předpokládají, že podle toho, jak bude sněhová pokrývky ustupovat, se může odrazit v hydrologických poměrech řek a to také v konečném důsledku bude mít vliv na změnu klimatu. Podle výše zmíněných procesů, které přispívají pravděpodobně k oteplování klimatu, je důležitý i průtok Alpských řek, které ovlivňují mikroklima a mohou také mít vliv i klima celé této oblasti.

Zmínění autoři uvádějí, že úhrn srážek je poměrně rovnoměrně rozložen během roku a zásoby vody v přehradách reprezentují malou část z celkových zásob vody v kapalném a pevném skupenství. Nejdůležitější sezónní údaj co se týče odtoku, je určen mocností alpské sněhové pokrývky, přesněji obdobími tání sněhu a také množstvím vody ze sněhu. Údaj je doplněn také množstvím sněhu nashromážděného předchozí zimu.

Tedy také sníh a jeho množství je určujícím faktorem, který může ovlivnit oblasti mimo Alpy a ovlivnit tím přírodní procesy jako je výpar či množství výskytu vodní páry v atmosféře.

Obr. č. 12 ukazuje předpokládanou změnu objemu sněhu, který se nachází v alpském regionu. Podle autorů Beniston a kol. (2010) by mělo dojít ke konci 21. století k výraznému snížení objemu sněhové pokrývky Alp, ve výškách kolem 2000 m n. m. by se měl objem výrazně snížit, až o $20 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ na hodnotu přibližně $30 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ což odpovídá úbytku sněhu o 40 % z původní hodnoty. Pokles sněhu má být podle těchto autorů výraznější v nižších nadmořských výškách, než je výška 2500 m n. m. Ve vyšších nadmořských výškách než 2500 m by sníh neměl výrazněji ustupovat.



Obr. č. 12: Změny v objemu sněhu v Alpách v různých nadmořských výškách. Předpokládaný vývoj objemu sněhu podle klimatických scénářů, které předpovídají zvyšování teplot o 4° C v daném období během zimy (Beniston a kol., 2010).

Pokud by se podle autorů Beniston a kol. (2010) naplnil scénář snižování objemu sněhové pokrývky, v letních měsících by nastalo odtokové maximum, ale jen za předpokladu, že by ovšem ledovce měly stále dostatečný objem.

Podle tohoto scénáře by se poté snížily odtoky řek na jaře, což by souviselo s vymizením ledovců na horských vrcholech a v konečném důsledku ke snížení odtoků řek a delším obdobím sucha.

To může mít za následek úhyn některých druhů fauny a flory vyskytující se ve střední Evropě a také to může mít za následek nedostatek vody. Ekologickou katastrofou takových rozměrů mohou být zasažena některá rekreační střediska.

8. Souhrn poznatků a diskuse o oteplování v Alpách

Ve všech pracích, které jsem uvedl, se autoři shodují na tom, že v Alpách se průměrná teplota postupně zvyšuje. Podle práce Philipona a kol. (2013) se mezi lety 1981 – 2005 se průměrná roční teplota zvýšila o 1° C v polohách Alp s průměrnou výškou nad 2200 m n. m a o 1,3° C v nížinách Alp.

Práce Pepina a kol. (2015) a také Tudoroiu a kol. (2016) neuvádějí přesná čísla o změně teplot, ale shodují se s prací Philipona a kol. (2013) v tom, že průměrná teplota se postupně

zvyšuje. Na rozdíl od této práce Pepin a kol. (2015) uvádí zvyšování teplot ve větší míře ve vyšších polohách hor, než jak je tomu v nížinách.

Není důvod rozporovat zjištění autorů, že teplota v Alpách se podle všeho zvyšuje. Zvyšování teplot na celé Zemi se uvádí v mnoha odborných pracích a trend zvyšování teplot v Alpách jen potvrzuje tento globální klimatický proces. Myslím si, že podobné zvyšování teplot, i když ne vždy v takové míře bude probíhat i v Alpách.

Alpy jsou velmi specifickým regionem, nachází se zde mnoho vrcholů, které jsou rozděleny horskými údolními a strmými svahy. Proto je obtížné určit klimatické údaje v tomto celku jednotně. Ve švýcarských Alpách se nachází kolem 35 meteorologických stanic a každá z nich je umístěna v odlišných lokalitách, některé jsou umístěny při vrcholech hor, ale většina z nich se nachází v horských údolích. Jak uvádí Pepin a kol. (2015), je nedostatek údajů pro komplexní analýzu teplot v Alpách.

Dostupné údaje ovšem zvyšování teplot v Alpách potvrzují.

Pokud bych měl hovořit o příčinách oteplování, zde se jednotliví autoři částečně rozcházejí. Většina autorů uvádí jako hlavní příčinu výskyt skleníkových plynů v atmosféře, na tom se shoduje Philipona a kol. (2013), Beniston a kol. (2010). Na druhou stranu Pepin a kol. (2015) a Tudoroiu a kol. (2016) se odkazují na údaje získané z měření v horských oblastech na celé Zemi, ale neuvádí jednoznačnou příčinu oteplování. Tudoroiu a kol. (2016) hovoří o souhrnu biologických a klimatických faktorů, které ovlivňují vývoj teplot. Například tito autoři uvádí zalesnění Alp jako jeden z faktorů ovlivňující denní průběh teplot, přičemž v zalesněných oblastech jsou teploty stálé, méně rozkolísané během dne, na rozdíl od oblastí pastvin a horských luk, kde jsou větší výkyvy teplot během dne a také vyšší průměrná teplota. Podle těchto autorů i krajinný pokryv hraje roli při vývoji teplot.

Philipona dále uvádí jako možnou příčinu oteplování termín „solar brightening,“ což znamená zvyšování intenzity dopadajícího záření na povrch.

8. 1. Další možné příčiny – aerosoly

Dle mého názoru zde podle všeho není jedna příčina oteplování v Alpách. Jedná se spíše o souhrn atmosférických jevů, které přispívají k oteplování. Skleníkové plyny jsou dle mého názoru jednou z hlavních příčin oteplování. Přestože podle některých autorů není oteplení v důsledku výskytu skleníkových plynů tak výrazné v Alpách, stále se jedná o hlavní faktor zvyšování teplot v tomto regionu. Na základě zjištěných dat se domnívám, že jev nazvaný jako „solar brightening“ není v Alpách hlavní příčinou oteplování.

Tento jev souvisí zejména s úbytkem aerosolů a prachových částic v atmosféře, které měly v 50. a 60. letech 20. stol. vliv na snižování průměrné teploty. Podle dostupných údajů nebyly Alpy ovlivněny výskytem aerosolů zdaleka v takové míře, jako některé oblasti střední či východní Evropy. Ovzduší Alp bylo i v minulých letech poměrně čisté, bez velkého výskytu prachových částic. S tímto názorem se shoduje i práce Philipona a kol. (2013), kteří uvádějí, že jejich původní předpoklad vlivu „solar brightening“ na teploty se v Alpách nepotvrdil, a že příčinou zvýšení teplot je pravděpodobně jen výskyt skleníkových plynů v atmosféře.

Ještě bych dodal, že Alpy jsou velmi rozmanitým regionem a mikroklima v alpských údolích se velmi liší od klimatu vrcholů Alp, proto je nutné další zkoumání tohoto zajímavého regionu. Region Alp je jedinečný díky tomu, že se zde nachází oblasti s nedotčenou přírodou, vedle které byla vybudována střediska pro alpské lyžování. V regionu je možné nalézt mnoho zajímavostí jak z přírodovědného hlediska, tak například i z hlediska alpské turistiky.

Pokud by tedy došlo k výraznější klimatické změně, mělo by to vliv nejen na ekosystém Alp, ale také na nejrůznější socioekonomické aktivity, jako je například alpské lyžování či horská turistika. Otázkou je, zda právě komerční turistika nepřispívá ke zmiňovaným klimatickým změnám a dalším dopadům na životní prostředí.

9. Závěr

Pozorování a projektování teplot je jedním z postupů, jakým je možno popisovat vývoj klimatu. Klima a jeho postupná změna jsou jedním z hlavních témat v diskuzích odborné i politické veřejnosti. V této práci jsem popsal, jakým směrem se bude podle většiny odborníků změna klimatu ubírat. Zejména v oblasti Alp, kterou by mohla změna klimatu zasáhnout nejen z hydrologického, biologického, ale také ze socioekonomického hlediska.

V práci je popsáno modelování a projektování teplot v Alpách, také jsou v práci zmíněny jednotlivé GCM, které jsou používány k tvorbě modelů vývoje teplot. Také je v práci popsána tvorba reliéfu v alpském regionu, který je dále použitý v modelech vývoje klimatu. Protože Alpy jsou členitou oblastí, co se týče reliéfu, právě nerovnosti zemského povrchu v Alpách ovlivňují výsledky pozorování a modelování teplot. V různých částech alpského regionu je možno pozorovat odlišnosti vzniklé v důsledku nerovnosti reliéfu.

Dále jsou v práci popsány již dříve pozorované teploty, které byly změřeny na meteorologických stanicích v rozdílných nadmořských výškách. Tyto pozorované teploty ukázaly postupné zvyšování teplot. Také na základě těchto údajů o teplotách jsou vytvářeny modely vývoje teplot do budoucna. Většina modelů ukazuje na postupné zvyšování teplot i o několik teplotních stupňů za dvě desetiletí v 21. stol.

Postupné zvyšování teplot je podle odborných prací, uvedených v této práci, zapříčiněno kombinací faktorů, jak přírodních, tak socioekonomických. Některé přírodní procesy, jako je odraz a absorpce slunečního záření od zemského povrchu, hrají také důležitou roli při změnách teplot. Dále při oteplování hraje roli snížený výskyt oblačnosti, výpar a dlouhodobé sluneční záření. Tyto přírodní vlivy na klima zde ovšem byly i před rozvojem průmyslu a patrně neměly takový vliv na klima do té doby, než začaly být ovlivňovány také lidskou činností.

Člověkem podmíněné klima je také velmi diskutovaným tématem. Předpokládá se, že během 20. stol. člověk výrazně přispěl ke znečišťování ovzduší emisemi z dopravy a průmyslu, a také přispěl ke zvýšení koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. To vše vedlo k postupnému oteplování a k ústupu sněhové pokrývky, dokonce k tání ledovců v oblasti Alp. Přestože v posledních 20 letech došlo k výraznému snížení emisí, důsledky předchozího období velkého vypouštění emisí do ovzduší ovlivňují teploty ještě v současnosti. Stále není zcela zřejmé, jakou mírou bude k oteplování přispívat lidská činnost v budoucnu. S ústupem emisí souvisí i pojem „solar brightening,“ tedy zvyšování intenzity slunečního záření dopadajícího na povrch.

V další části byly v této práci zmíněny emisní scénáře, které předpokládají různý vývoj klimatu do budoucna. První scénář předpokládá snížení emisí díky vývoji nových technologií v průmyslu, tedy počítají se sníženým vlivem emisí v atmosféře a v důsledku toho předpokládá tento scénář zpomalení vývoje oteplování.

Další scénář s označením A1B počítá se stejným vývojem množství emisí, které bylo zaznamenáno v posledních letech. Tento scénář předpokládá postupné zvyšování teplot v budoucích desetiletích.

Poslední emisní scénář předpokládá zvýšení množství emisí a předpokládané zvýšení teplot je v tomto scénáři v průměru o 5,3° C v posledních 20 letech 21. století.

Moje práce ukazuje, že trend postupného oteplování v alpské oblasti již probíhá několik desetiletí a nejspíše bude pokračovat. Důsledky tohoto jevu mohou mít dalekosáhlejší následky, než jen na samotnou průměrnou teplotu v této oblasti. Přestože změna klimatu je relativně dlouhodobý proces a její důsledky nejsou pozorovatelné již po několika letech, výsledky této změny se mohou dostavit po několika desetiletích a následky této změny jsou často nevratné a ovlivňují nejen klima, ale také biosféru a v některých případech i socioekonomickou sféru.

Mezi možné důsledky tohoto procesu patří ústup sněhové pokrývky, rychlejší odtávání sněhu v jarních měsících a hrozba četnějších povodní, v letních měsících je jedním z důsledků sucha a jeho nepříznivý vliv na biosféru a přírodní mikroklima. Je pravděpodobné, že právě v tomto regionu se následky dostaví dříve, než v jiných oblastech Evropy.

Je důležité tedy popsat možný vývoj klimatu do budoucna, aby bylo možné reagovat na vývoj teplot a pokud možno minimalizovat dopady, či dokonce předejít možným důsledkům oteplování.

Seznam použité literatury

- BEGERT, M., SCHLEGEL, T., KIRCHHOFER, W. (2005): Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology*, 25(1), 65-80.
- BENISTON, M. (2010): Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*, 412, 291-296.
- BRITANNICA, Encyclopædia (2011): Encyclopaedia Britannica. Inc. Chicago, 1965, 111:720.
- BUSER, C. M., et al. (2009): Bayesian multi-model projection of climate: bias assumptions and interannual variability. *Climate Dynamics*, 33(6), 849-868.
- FISCHER, A. M., et al. (2012): Climate change projections for Switzerland based on a Bayesian multi-model approach. *International Journal of Climatology*, 32(15), 2348-2371.
- GŁOWICKI, B. (1998): Long-term temperature record of Snezka station. *Geoekologiczne problemy Karkonoszy I. Poznań, Acarus*, 117-123.
- HAEBERLI, W., BENISTON, M. (1998): Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio*, 27(4), 258-265.
- HELD, I. M., SODEN, B. J. (2006): Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of climate*, 19(21), 5686-5699.
- KNIBBE, B. (2004): Personal analysis system for tree-ring research 4 - Instruction manual. SCIAM, Vienna.
- KOTLARSKI, S., et al. (2011): Elevation gradients of European climate change in the regional climate model COSMO-CLM. *Clim Change*, 10.
- KOTLARSKI, S., LÜTHI, D., SCHÄR, C. (2012): The dependence of 21st century European climate change on surface elevation—an RCM ensemble analysis. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 4356 s.
- KOTLARSKI, S., LÜTHI, D., SCHÄR, C. (2015): The elevation dependency of 21st century European climate change: an RCM ensemble perspective. *International Journal of Climatology*, 35(13), 3902-3920.
- MANABE, S., et al. (1991): Transient responses of a coupled ocean–atmosphere model to gradual changes of atmospheric CO₂. Part I. Annual mean response. *Journal of Climate*, 4(8), 785-818.
- MEINSHAUSEN, M., et al. (2011): The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic change*, 109(1-2), 213.
- MIGALA, K. (2005): Climatic belts in the European mountains and the issue of global changes. *Geogr. Stud.*, 78, 1-149.
- PEPIN, N., et al. (2015): Elevation-dependent warming in mountain regions of the world, *Nature Climate Change*, 5, 424–430.

- PHILIPONA, R. (2013): Greenhouse warming and solar brightening in and around the Alps. *International Journal of Climatology*, 33(6), 1530-1537.
- ŠLÉGL, Jiří. *Světová pohoří* (2002): Přehledové i podrobné mapy, turistické trasy, alpinismus, sport, fauna a flóra, podnebí. Vyd. 2. Knižní klub Balios, Praha. ISBN 80-242-0822-9.
- TUDOROIU, M., et al. (2016): Negative elevation-dependent warming trend in the Eastern Alps. *Environmental Research Letters*, 11(4), 13 s.
- ZUBLER, E. M., et al. (2014): Localized climate change scenarios of mean temperature and precipitation over Switzerland. *Climatic change*, 125(2), 237-252.
- ZUBLER, E. M., et al. (2016): Climate change signals of CMIP5 general circulation models over the Alps—impact of model selection. *International Journal of Climatology*, 36(8), 3088-3104.

Internetové zdroje

- Climate change (2012): St. Gallen [online]. Climate-change.org. AM Online Projects. [cit. 10. 8. 2019]. Dostupné z: <https://en.climate-data.org/info/imprint/>
- Climate models (2013): Global climate models [online]. NOAA. [cit. 2. 8. 2019]. Dostupné z: <https://www.climate.gov/maps-data/primer/climate-models>
- The Climate of Switzerland (2018): Swiss Records [online]. [cit. 10. 8. 2019]. Dostupné z: <https://www.meteoswiss.admin.ch/home/climate/the-climate-of-switzerland/rekorde-schweiz.html>
- Wikipedia.org (2019): Naive Bayes Classifier [online]. [cit. 10. 8. 2019]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayes_classifier