

Česká zemědělská univerzita
Fakulta životního prostředí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Tomáš Němec

Česká zemědělská univerzita
Fakulta životního prostředí



Název práce:
TRENDY V TÁNÍ LEDOVCE V POHOŘÍ MONT BLANC

Name of the work:
TRENDS IN MELTING OF GLACIERS IN MONT BLANC MOUNTAINS

Vedoucí práce: Mgr. Pavla Dagsson-Waldhauserová
Bakalant: Tomáš Němec

2024

Sylabus pro předmět BAKALÁŘSKÁ PRÁCE LS - DUTSSZP

Název předmětu:	Bakalářská práce LS - DUTSSZP
Anglický název:	Bachelor Thesis SS - DUTSSZP
Kód předmětu:	ZXZ708Z
Zajišťuje:	Fakulta životního prostředí
Fakulta:	Fakulta životního prostředí
Semestr:	LS 2023/2024
Druh ukončení předmětu:	zápočet (30 kreditů)
Jazyk výuky:	čeština
Forma výuky:	kombinovaná
Garant předmětu:	prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Metody výuky:

Anotace předmětu:

Student zpracovává svoji bakalářskou práci podle instrukcí obsažených v zadání práce. Bakalářskou práci student zpracovává samostatně ve spolupráci s vedoucím bakalářské práce, který je schválen vedoucím katedry a děkanem fakulty. Zadání práce obsahuje cíle, ke kterým by měla práce směřovat. K naplnění cílů slouží metodika, harmonogram činnosti a seznam doporučených literárních zdrojů. Pro získání zápočtu z tohoto předmětu, musí student naplnit činnosti dané harmonogramem zpracování bakalářské práce. V této části zpracování bakalářské práce se většinou jedná o zpracování literární rešerše na zadané téma a přípravu podkladů k provedení experimentu. Závěr předmětu je spojen s odevzdáním finální podoby bakalářské práce.

Prerekvizity:

žádné

Další doporučené předměty:

žádné

Cíl předmětu:

-- obsah této položky nebyl definován --

Znalosti:

Prostřednictvím literatury studenti získají hluboké znalosti v oblasti své práce. Tyto znalosti musí být vyšší než znalosti stanovené v souvisejících předmětech, neboť studenti musí prokázat hloubku pochopení tématu.

Dovednosti:

Studenti získají dovednosti v oblastech: práce s odbornou a vědeckou literaturou, jak najít správný text (dokumenty, knihy, jiné zdroje) a jak pracovat s těmito texty. Získají zručnost v rozvoji metod a jejich praktických (empirických) aplikací v segmentu jejich práce. Rozvíjejí své schopnosti pracovat individuálně v závislosti na zadání úkolu (bakalářská práce, projekt).

Kompetence - komunikace:

Jsou kompetentní ke sdělování myšlenek a výsledků své práce jak odborníkům, tak široké veřejnosti.

Kompetence - úsudek:

Student je oprávněn formulovat závěry podpořené již dříve publikovanými výsledky jiných autorů existujících v dostupné literatuře a je schopen je použít logickým způsobem. Jsou kompetentní k využití teoretických konceptů a metod.

Kompetence - vzdělávání:

Student je etablován pro individuální práci s odbornou a vědeckou literaturou na zadané téma.

Způsob a metody výuky:

Protože tato činnost spočívá v individuální práci studenta a jeho / její konzultace s vedoucím, neobsahuje tento předmět žádné přednášky či semináře (kromě mimořádných seminářů k bakalářské práci). Student pravidelně podává zprávy o vývoji své práce vedoucímu bakalářské práce, který kontroluje kvalitu a obsah zpracovaného textu práce.

Zakončení předmětu:

Pro získání zápočtu musí student odevzdat finální verzi textu bakalářské práce podle harmonogramu domluveného s vedoucím práce.

Literatura:

Rozpis kreditů:

Druh	Kombinované studium	
	Hodiny	Kredity
Domácí příprava	0 h	0,0
Konzultace	0 h	0,0
Zkouška, zápočet	0 h	0,0
Celkem	0 h	0

Rozpis výuky:

V této jazykové variantě není obsah předmětu vložen.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Trendy v tání ledovců v pohoří Mont Blanc vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

Ve Skyšicích dne 31.03.2024

.....

(podpis autora práce)

PODĚKOVÁNÍ

Zvláštní poděkování patří horské záchranné službě v Chamonix, která mi stejně jako Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude Chamonix (CREA) poskytli cenné informace a poznatky díky nimž bylo možné uskutečnit mé pozorování ledovců v masivu Mont Blanc a hlouběji porozumět všem faktorům, jež ledovce tvoří i přispívají k jejich zániku. Též můj velký dík patří mé rodině, na níž jsme po dobu tvoření této práce neměl příliš času a v neposlední řadě i Pavle Dagsson-Waldhauserové, že mi tuto práci pomohla zveřejnit a po celou dobu mé tvorby ji směřovala k výsledné verzi.

ABSTRAKT

Bakalářské práce na téma „Trendy v tání ledovců v pohoří Mont Blanc“, se zabývá problematikou tání ledovců a pokouší se zmapovat možné příčiny jejich tání. Práce bude poukazovat na stav a vývoj tří hlavních ledovců v naší zájmové oblasti, tedy Mer de glace, Ledovec Argentière a Bossonský ledovec. V první části práce shrneme dosavadní poznatky o ledovcích a poukážeme na poznatky z literárních zdrojů. Za hlavní metodické postupy byla vybrána měření teplot z 5 meteorologických stanovišť, studie Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude Chamonix, jež detailně monitoruje dění v naší zájmovou oblasti a jejich poznatky posloužily i k formování vlastního výzkumu za roky 2012 až 2021. Cíl práce je analyzovat stav ledovců, poukázat na jejich vývoj za posledních 200 let a predikovat možný vývoj jejich tání do konce tohoto století a to na základě provedených měření a simulací. Závěr bakalářské práce poukazuje na možná rizika, které by sebou odtání ledovců mohlo přinést a to v rovině socio-ekonomické. Uvádí navržená zlepšení a doporučení pro zájmovou oblast se zhodnocením hypotéz.

ABSTRACT

The bachelor's thesis on the topic „Trends in melting of glaciers in Mont Blanc mountains“ deals with the issue of melting glaciers and attempts to map the possible causes of their melting. The thesis will focus on the state and development of the three main glaciers in our area of interest, i.e. the Mer de glace, the Argentière Glacier and the Bosson Glacier. The main methodological procedures were temperature measurements from 5 meteorological stations, a study by the Center de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude Chamonix, which monitors the events in our area of interest in detail, and their findings were also used to shape our own research for the years 2012 to 2021. The aim of the work is analyze the state of the glaciers, point out their development over the last 200 years and predict the possible development of their melting by the end of this century based on the measurements and simulations carried out. The conclusion of the bachelor's thesis points to the possible risks that the melting of the glaciers could bring, in terms of socio-economics. It presents proposed improvements and recommendations for the area of interest with an evaluation of hypotheses.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ledovce, Alpy, tání ledovců, dopady klimatu

KEYWORDS

Glaciers, Alps, melting of glaciers, climate impacts

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Metodika práce
 - 3.1 Popis zájmové oblasti
 - 3.2 Kvalita ovzduší a znečišťující látky
4. Vznik ledovce a základní typologie
 - 4.1 Rozdělení horských ledovců
5. Charakteristika ledovců v masivu
 - 5.1 Mer de Glace
 - 5.2 Ledovec Argentièere
 - 5.3 Bossonský ledovec
6. Příčiny tání ledovců
 - 6.1 Současné teploty v masivu Mont Blanc
 - 6.2 Vývoj teplot v masivu Mont Blanc
 - 6.3 Počet sněžných dní
 - 6.4 Vývoj sněhové pokrývky v letech 1927 – 2015
 - 6.5 Predikce vývoje sněhové pokrývky
 - 6.6 Znečištění ovzduší na francouzské straně masivu
 - 6.7 Důvody znečištění ovzduší
 - 6.8 Černý uhlík
7. Srovnání změny stavu ledovců na leteckých snímcích
8. Výsledky studie
9. Diskuze
10. Závěr a přínosy práce
11. Přehled literatury a použitých zdrojů
 - 11.1 Doporučená literatura
 - 11.2 Odborné články
 - 11.3 Internetové zdroje
 - 11.4 Zdroje pro obrazovou přílohu
 - 11.5 Zdroje pro tabulky a grafy

1. ÚVOD

Problém globálního oteplování je důležitým tématem, jež formuje dění na evropském kontinentu i globálně. Automobilky se snaží, co nejdříve ukončit výrobu motorů na fosilní paliva, producenti hliníku a oceli se snaží co nejdříve snížit svou uhlíkovou stopu. U evropských výrobců hliníku se například za posledních 5 let snížila produkce CO₂ z 6 na 4 - 3 kg CO₂ na kilogram hliníku, což je o 13 kg CO₂/kg méně, než je průměr například Číny (Výroční zpráva firmy Hammerer Aluminium Industries pro rok 2022 (Hammerer Aluminium Industries, 2022)). Stejný trend zvolili i evropští prodejci potravin, kteří stále častěji užívají recyklovatelné materiály a asi každý z nás se v posledních letech snaží žít trochu ohleduplněji k přírodě. Rok od roku více třídíme odpady (Ekokom, 2022) i elektromobilita (Centrum výzkumu dopravy, 2023), či stále nižší užívání fosilních paliv (ing. Miroslav Modlík, 2024) jsou díky státním dotacím takzvaně v kurzu. Pro změnu klimatu děláme v rámci Evropské unie skutečně hodně, ale bude to stačit?

Již nyní víme, že na horách je čím dál méně sněhu. Alpské ledovce kam značná část míří za zimní dovolenou mizí před očima (Copernicus, 2018). Dle serveru Copernicus, pro který v roce 2018 v článku Extreme glacier melt in the European Alps, v němž byly zveřejněny fotografie Matthiase Husse srovnávající stav ledovců v letech 2006 a 2018, je situace kritická. Ovšem největší hrozbou je úbytek pevninského ledovce v Antarktidě a Grónsku, jež bude mít za následek vzestup hladiny oceánů a moří, což by v brzké budoucnosti mohlo mít katastrofální důsledky pro ostrovní státy, či země s malou nadmořskou výškou jako jsou například Nizozemí. Kromě zvyšování hladiny bude ovlivněna i salinita vody, která by mohla negativně ovlivnit cirkulaci vody a narušit celý oceánský ekosystém. Tu ve svém článku Klimatologie a Hydrogeografie pro učitele z roku 2014 zmiňuje RNDr Aleš Ruda, Ph.D. V konečném důsledku by pak změna rozložení hmoty mohla mít vliv na samotnou zemskou rotaci.

Díky těmto obavám Evropská unie zavedla 11 prosince 2019 European Green deal, neboli Zelenou dohodu pro Evropu (European Commission, 2019), jež si klade za cíl, aby Evropa byla do roku 2050 klimaticky neutrální. Obsahuje plán s vyhodnocenými dopady, jehož cílem je snížení emise skleníkových plynů EU do roku 2030 o 55% ve srovnání s rokem 1990. Tato dohoda obsahuje opatření ke snížení emisí, investice do výzkumu a inovací a ochranu přírodního prostředí evropského kontinentu. Jejím druhým cílem je transformace evropské ekonomiky tak, aby byl možný její růst, aniž by se zvyšovalo využívání přírodních zdrojů.

Zda tento projekt změní globální oteplování, či zda zachrání alpské ledovce ukáže až čas, každopádně díky němu a i mnoha podobným se zvýšil zájem o monitorování jak pevninských, tak i horských ledovců. Za ty nejlépe popsané patří alpské a skandinávské ledovce. Díky velkému množství měření a fotografií lze detailně mapovat jejich stav, vývoj i chování za několik desítek let nazpět. Tato práce se zaměřuje na alpské ledovce v pohorí Mont Blanc, jež se nachází na území Francie, Itálie a Švýcarska.

Toto zájmové území bylo vybráno z důvodu, pravidelných návštěv, kdy od roku 2012 mohu osobně sledovat změny stavu ledovců. A to jak v roli turisty, tak i jako horolezce, který v tomto regionu uskutečnil nespočet výprav jak na ledovce, tak i nejvyšší vrcholy tohoto masivu. Mé poznatky byly doplněny o zkušenosti horské služby jež se v zájmovém území denně pohybuje a Research Center for Alpine Ecosystems (CREA), jež pro tuto práci dodala velké množství měření a studií.

2. CÍLE PRÁCE

Bakalářská práce se zabývá změnami ledovců v pohoří Mont Blanc. Zaměřuje se na změny stavu alpských ledovců v období 19, 20 a 21. století. V této práci bude poukázáno na vznik, rozdělení a postupný časový vývoj ledovců, též na příčiny, jež vedou k jejich změnám a důsledkům těchto změn nejen na okolní krajinu, ale též na celkové klima v daném regionu. Za rámeček zájmového území, tedy lze považovat Itálii a Francii. Cílem této práce je vyhodnocení zjištěných změn, jejich dopadů na okolní krajinu a poukázání na současnou možnost opatření, která by těmto změnám měla zamezit.

3. METODIKA PRÁCE

Veškeré ledovce o nichž se budeme v této bakalářské práci zmiňovat jsou pozůstatkem pleistocenního zalednění z období čtvrtohor, jež je datováno 1,806 milionu let do minulosti. Budou zde posuzovány změny včetně faktorů, jež tyto změny zapříčiňují a to v časovém období od začátku 19. století až do roku 2020, z něž jsou poslední dostupná data. V rámci literární rešerše budou použity zdroje z odborné literatury, zahrnující studie o vlivu nečistot absorbujících sluneční záření (light absorbing impurities) na kryosféru. Pro získání nejpreciznějších možných výsledků budou použity satelitní snímky, produkty jako například MODIS (Moderate Resolution Image Spectroradiometer) a Harmonized Landsat Sentinel-2. V závěru práce bude poukázáno na současný stav ledovců v rámci zájmového území, na již použitá opatření a navržena nová opatření, jež by v budoucnu mohla vést ke zpomalení změn na ledovcích. Aby bylo srovnání stavu ledovců co nejautentičtější, byly vybrány letecké snímky Waltera Mittelholzera z roku 1919 a Kierana Baxtera a Alice Wattersonová z univerzity v Dundee z roku 2019. K vývoji ledovců byly použity snímky ze serveru Corenicus. Do této práce bylo zahrnuto i několik autorských snímků.

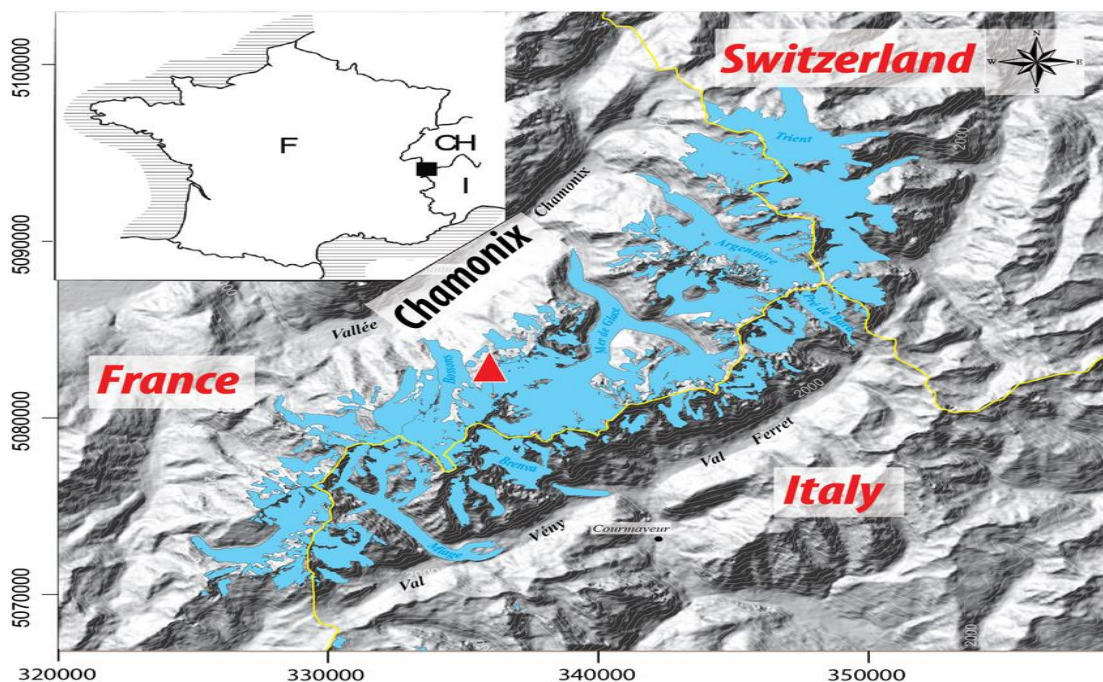
3.1 POPIS ZÁJMOVÉ OBLASTI

Alpy jsou největším evropským pohořím o rozloze 200.000 km². Ve své podstatě tvoří oblouk o délce 1200 km, jehož šíře se pohybuje mezi 150 až 250 kilometry. Alpy jsou tedy největším pohořím Evropy a zasahují na území 9 států, tedy Francie, Monaka, Švýcarska, Itálie, Rakouska, Německa, Lichtenštejnska, Slovinska a Maďarska. Vzhledem k faktu, že u Monaka a Maďarska je plocha tohoto území menší jak 0,009% celkové rozlohy státu, tak se běžně tyto země v literatuře o Alpách nevyskytují.

Masiv Mont Blanc zaujímá svou rozlohou 1500 km² pouhé 0,75% rozlohy Alp a tvoří hranici mezi třemi státy, Francií na jejíž části se nachází největší část tohoto masivu a i nejvyšší vrchol celých Alp hora Mont Blanc s vrcholem ve výšce 4807,81 m n.m., dále se masiv rozkládá na území Švýcarska a Itálie (viz obrázek 3.1). Ovšem našemu zájmovému území nepatří pouze nejvyšší vrchol celého pohoří, nalézá se zde totiž celkem 18 vrcholů s nadmořskou výškou nad 4.000 metrů z celkového počtu 67 vrcholů, jež se v Alpách nacházejí.

V rámci našeho zájmového území nalezneme 7 ledovců, z nichž ten největší nese jméno Mer de Glace a zaujímá rozlohu 40 km². Ostatní ledovce jsou:

- Ghiacciaio del Miage
- Ghiacciaio del Brenva
- Ghiacciaio del Triolet
- Argentièere
- *Glacier des Bossons*
- Glacier de Bionassay



Obr. 3.1: Mapa zalednění masivu Mont Blanc (Le Roy, 2012)

Abychom se v této práci nezabývali stavem ledovců, poukážeme i na možné faktory, jež stav ledovců výrazně ovlivňují, tedy teplota, poloha, doprava a kvalita ovzduší.

Pro objektivní měření teplot bylo vybráno pět lokalit s různou nadmořskou výškou, kde byly denně měřeny teploty a ty pak následně zprůměrovány pro dané roční období. Za místa pro měření teplot bylo vybráno:

- město Chamonix s nadmořskou výškou 1054 m n.m.
- město Vellorcine (1340 m n.m.)
- jezero Chamnax-Lac (1530 m n.m.)
- měřicí místo v masivu nad městem Vellorcine (1970 m n.m.)
- měřicí místo v masivu nad městem Chamonix (2668 m n.m.)

Pokud se na zájmové území podíváme na leteckých snímcích, zjistíme, že celé údolí kam sestupují ledovce je uzavřeno z obou stran vrcholy s výškou nad 3000 m nad hladinou moře a směrem na Švýcarsko se též pozvolna uzavírá vrcholy o několik set metrů nižšími. Díky tomu běžné proudění vzduchu mnohdy na spodní partii údolí nemá takový vliv jako na okolní hory a vzduch v údolí je náchylnější na znečištění, neboť v části, kde se masiv mění v nížinu se nachází průmyslová oblast.

Navíc město Chamonix s 12.000 obyvateli je jedním z nejstarších lyžařských středisek ve Francii. Proto jej každoročně navštíví kolem 5 milionů turistů, jež z větší části ke svému transportu využívají automobilovou dopravu, takže nemalá část této práce se bude věnovat i kvalitě ovzduší a dopravě, neboť i ta má na současný stav a vývoj ledovců nemalý vliv.

3.2 KVALITA OVZDUŠÍ A ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Znečišťující látky regulované evropskými zákony jsou: NO₂, PM (částice v suspenzi), BaP (benzo(a)pyrèn), SO₂, CO, O₃, kovy a benzen v ovzduší. Čtyři pozorovací stanice v údolí Chamonix (reprezentující městské, průmyslové, silniční a výškové prostředí) jsou aktivní a hlásí koncentrace výše uvedených molekul ve vzduchu. Znečišťující látky, které mají podle platformy AQI (AQI,2023) největší vliv v údolí Chamonix, jsou:

Vzdušné částice, velikost <10µm (PM10): Jde o velmi malé částice v suspenzi, pronikající hluboko do plic. Pochází především z vytápění budov při spalování dřeva, spalováním organického (zeleného) odpadu v zahradách, ale také z vozidel a průmyslu. Bylo zjištěno, že 50% těchto částic je vyprodukováno domácími topeništi a spalováním v zahradách, 25% pochází z průmyslu a 25% z dopravy (Mountain spirit guides, 2012). Hodnoty PM10 je indikátor, který dosahuje v našem zájmovém území alarmujících hodnot nejčastěji. Hodnoty překračující doporučené limity (stanovené EU) jsou 35 dnů za rok. Prvně k jeho překročení došlo v březnu 2011. V roce 2012 byl tento limit překročen již v prvních 35 dnů v roce.

Benzo (a) Pyrèn (BaP) je rakovinná organická sloučenina, jež je součástí větší skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), z nichž mnohé jsou považovány za látky znečišťující ovzduší. Zejména v Passy BaP často dosahuje velmi vysokých koncentrací. Znečištění PAU se také podílí na průmyslu v Sallanches a vytápění domů dřevem.

Oxidy dusíku (NO a NO₂) jde o anorganické plyny vznikající z N a O ve vzduchu při spalování paliva. Hladiny ze silniční dopravy v Masivu Mont Blanc neustále překračují tzv. „zdravé“ hodnoty. Nejhorší koncentrace jsou na dálnici Blanche mezi Sallanches a tunelem Mt. Blanc, přičemž hlavní podíl na nich má nákladní doprava. Hustá doprava však ovlivňuje kvalitu ovzduší pouze lokálně například v les Bossons, ale ne v centru Chamonix.

Ozon (O₃) je sekundární znečišťující látka tvořená NO_x a těkavými organickými sloučeninami (VOC) za přítomnosti slunečního záření. Nachází se ve velkých vzdálenostech od přímého znečištění (kde ve skutečnosti přetrvává déle, protože je také degradován NO_x). Nejvyšší koncentrace O₃ jsou naměřeny na Aiguille du Midi (kde jsou jeho hodnoty zaznamenávány po celý rok), což je podporováno silným slunečním zářením ve vysokém masivu Mont Blanc. I ve městě Chamonix jsou kritické limity O₃ překračovány během více dnů, než jaká je jejich povolená roční mez. Nejčastěji jsou přesahovány na jaře a v horkých a slunečných letních dnech.

Hodnoty měření pro období 15. ledna – 14. února 2023 (Chamonix)



Obr. 3.2.1: Měsíční vývoj měření AQI (anonymous, 2023)



Obr. 3.2.2: Měsíční vývoj měření částic PM2,5 (anonymous, 2023)



Obr. 3.2.3: Měsíční vývoj měření částic PM10 (anonymous, 2023)



Obr. 3.2.4: Měsíční vývoj měření O3 (anonymous, 2023)



Obr. 3.2.5: Měsíční vývoj měření NO2 (anonymous, 2023)



Obr. 3.2.6: Monitoring kvality ovzduší (anonymous, 2023)

4. Vznik ledovce a základní typologie

Ledovce vznikají nad takzvanou sněžnou čarou, tedy v místech, kde se sníh drží celoročně, což je v našem případě výška přibližně 3000 metrů nad mořem (CREA). Zde dochází k akumulaci sněhu a jeho postupnou přeměnou na firn. Firn je takzvaný zrnitý led, což je přechodný stav mezi starým sněhem a ledem. Ten vzniká opakovaným odtáváním a mrznutím sněhu. Sníh zde ztrácí na objemu svého tělesa a zvyšuje svou hustotu. Ta je přibližně 0,55 g/cm³, přičemž se v hloubce kolem 80 m při hustotě 0,84 g/cm³ mění na kompaktní led. Odborně se tento proces nazývá firnovatění. Led při dostatečné mocnosti začne sestupovat z místa vzniku do nižších poloh, obvykle se uvádí hmotnost ledu kolem 30 tun, přičemž sestupová rychlost se pohybuje v rozmezí několika centimetrů až desítek metrů za den (Jaroslav Synek a kol., 2022). Firnové oblasti jsou tedy místa pro potenciální vznik nového ledovce.

Základní typologie ledovců

Ledovce se ve své podstatě rozdělují do dvou základních skupin:

- Kontinentální (například Antarktida nebo Grónsko)
- Horský (například v Alpách, Andách, či Himalájích)

4.1 Rozdělení horských ledovců

Karový ledovec

Tento typ ledovce vyplňuje vysoko položené deprese, neboli kary, karové terasy (vyživovací oblasti) na údolních svazích a schází mu typický ledovcový jazyk. Tvar je především odvislý od tvaru karu, přičemž šířka většinou převládá nad délkou. Ledovce tohoto typu se nacházejí v Pyrenejích a v Alpách. Karový ledovec je přechodovým, typem ke sněžníku. Pozůstatky tohoto typu ledovce lze nalézt v Krkonoších nebo na Šumavě. Největším ledovcem byl u nás ledovec v Obřím Dole v Krkonoších.

Svahový ledovec (visutý)

Stejně jako karový ledovec vyplňuje deprese na údolních svazích. Vzniká v mělkých depresích nebo na strukturních stupních příkrých svahů. Má krátký splaz, který zůstává zavěšen na svahu. Nejčastěji se s tímto typem ledovce setkáme v Pyrenejích a v Alpách. Jedním z nich je Lyskamm ve Waliských Alpách na pomezí Itálie a Švýcarska.

Údolní ledovec

Tento ledovec je též nazýván jako alpský a to díky svému hojnému výskytu v Alpách. Vyplňuje vyšší části horských údolí, má dobře vyvinutou vyživovací část i ledovcový jazyk. Je živěn karovými ledovci. Občas z tohoto druhu ledovců jsou vyčleněny údolní ledovce plazového typu, jež jsou vyživovány ledovcovými čapkami na rozvodích. Jako příklad údolního ledovce lze uvést například Mer de Glace z našeho zájmového území o němž se více dočtete níže v této práci.

Dendritický ledovec

Je pro něj typické větší množství vyživovacích oblastí po obou stranách údolí, z obou údolních svahů splývají ledovcové jazyky, které se spojují s hlavním ledovcem. Tento typ ledovce je typický pro vysoké asijské pohoří. Příkladem tohoto ledovce může být Fedčenkův ledovec o délce 77 km s šíří v rozmezí 2 – 5 km, na nějž se z údolních ledovců napojuje 34 krátkých ledovcových splazů. Z Evropských ledovců se tomuto typu blíží Aletschský ledovec v Bernských Alpách.

Malaspinský typ

Tento ledovec je též nazýván jako podhorský nebo úpatní) nejčastěji se nacházející v oblastech silného vývoje dendritických ledovců, jež často přecházejí přes sedla a rozvodní hřbety do sousedních údolí. Tento typ ledovců se ve spodní části sestupu z hor spojují se v mohutný jednotný ledovcový krunýř. Tento ledovec dostal své jméno podle typové lokality, jež se nachází na Aljašce. Malaspinský ledovec zaujímá plochu 5000 km².

Norský typ

Jde ve své podstatě o ledovou čepici, která vzniká na plochých temenech, vrcholech a náhorních plošinách. Ledové čepice mají vypouklý profil a stékají přes okraj splazu po úbočí. Příkladem tohoto ledovce je Folgefonna v Norsku s rozlohou 207 km², či Jostedalbreen v Norsku s rozlohou 487 km².

Radiální ledovec

Spíše než o ledovec jde o ledové pole neboli soustavu ledovců, tedy útvar, který vzniká v místech, kde vlivem fyzickogeografických poměrů, neboli malé ploše nemůže vzniknout ledovcová čepice, přičemž od centrálního místa se radiálně rozebíhají jednotlivé splazy.

Špicberský typ

Ledové pole pro nějž jsou charakteristická mohutná firnoviště, přestupující široká horská sedla a průsmyky. Z tohoto typu ledovce stejně jako u Sýkorova ledovce o délce 6,7 km na ostrově západní Špicberk často vystupují hřebeny hory.

5. Charakteristika jednotlivých ledovců v masivu

V masivu Mont Blanc se nachází jak ledovce hlavní, tak velké množství ledovců, jež se do nich vlévají a napájejí je. U hlavních ledovců jde o údolní ledovce a aby naše měření bylo srovnatelné díky přírodním vlivům, znečišťujícím faktorům a dalším vlivům, jež na ledovce působí, byly k pozorování vybrány ledovce jež sestupují k říčce Arve, tedy francouzské strany masivu. Těmi jsou Mer de Glace, Argentiére a Bossonský ledovec.

Tabulka 5: Přehled ledovců v masivu Mont Blanc

Zdroj: https://wgms.ch/products_ref_glaciers

jméno ledovce	rozloha (km ²)	délka (km)	max. výška (m n.m.)	min. výška (m n.m.)	typ ledovce	stát
Mer de Glace	32	12	4000	1500	údolní ledovec	Francie
Ghiaccio del Miage	11	10	3892	1700	údolní ledovec	Itálie
Ghiaccio del Brenva	7,3	6,7	3500	1300	údolní ledovec	Itálie
Ghiaccio del Triolet		3	3450	2200	údolní ledovec	Itálie
Argentière	14	9	3000	1600	údolní ledovec	Francie
Glacier des Bossons	9,9	7,8	4810	1350	údolní ledovec	Francie
Glacier de Bionassay	4,3	5	4052	1320	údolní ledovec	Francie

5.1 Mer de glace

Mer de Glace je největším ledovcem Francie, masivu Mont Blanc a druhým největším ledovcem Alp. Odhaduje se, že jeho objem činí 4.000 milionů metrů krychlových zmrzlé vody. Jeho délka je 12 km a šířka kolísá mezi 700 až 1950 m. Průměrná hloubka ledu je 240 m a maximální hloubka 420 m byla naměřena u soutoku s ledovcem du Geant. Mer de Glace se v současné době pohybuje rychlostí 1 cm za hodinu, neboli 90 m za rok (International rights of nature, 2021). Jde o nejnámější a nejnavštěvovanější ledovec masivu, v jehož spodní části se nachází ledovcové muzeum. Původní rozměry ledovce ve stanici Monterverse, lze zjistit na obrázku 5.1, kde jsou ve svazích jasně patrné svahové linie. Od nichž je směrem dolů k současnému ledovci jasně viditelná zóna volného kamení, jež ledovec při svém sestupu do údolí z masivu odtrhává.

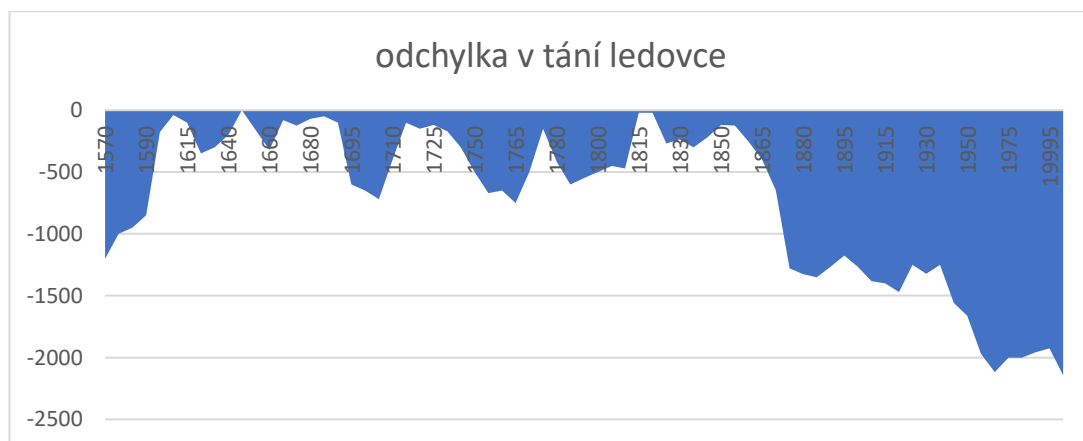


Obr. 5.1.1: Pohled na ledovec Mer de glace (autor, 2012)

Tabulka 5.1.1: Pohyb ledovce

Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/Fluctuations-of-the-Mer-de-Glace-France-during-and-following-the-LIA-reconstructed_fig1_322588185

	rok									
	1500	1510	1520	1530	1540	1550	1560	1570	1580	1590
odchylka (m)	---	---	---	---	---	---	---	-1200	-950	-850
	1600	1610	1620	1630	1640	1650	1660	1670	1680	1690
odchylka (m)	-175	-40	-350	-300	-200	-160	-320	-125	-70	-100
	1700	1710	1720	1730	1740	1750	1760	1770	1780	1790
odchylka (m)	-650	-400	-150	-170	-300	-500	-650	-500	-420	-600
	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890
odchylka (m)	-475	-250	-50	-200	-400	-100	-420	-900	-1200	-1200
	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
odchylka (m)	-1250	-1350	-1475	-1350	-1520	-1650	-1925	-2050	-1950	-1925
	2000	2005								
odchylka (m)	-2050	-2225								



Graf 5.1.1 – odchylka v tání ledovce (autor, 2024)

Pokud budeme tání ledovce posuzovat až z přesnějších měření, tedy od 19. století až po současnost, je patrné, že do poloviny 19. století ledovec neprodělal výraznějších změn. Dramatická změna nastala v jeho druhé polovině, kdy ledovec ztratil takřka jeden kilometr své původní délky. Prvních třicet let století 20. bylo tání výrazně utlumené, neboť v tomto období Mer de Glace ztratil pouze necelých 60 metrů své délky. Bohužel v následujících 40 letech přišel o dalších 800 metrů. Ke konci století došlo k jeho prodloužení o takřka 150 m, jenže o ty přišel mezi roky 1990 – 2000. V tomto století však za 20 let odtálo tolik z ledovce co běžně za 50 let.

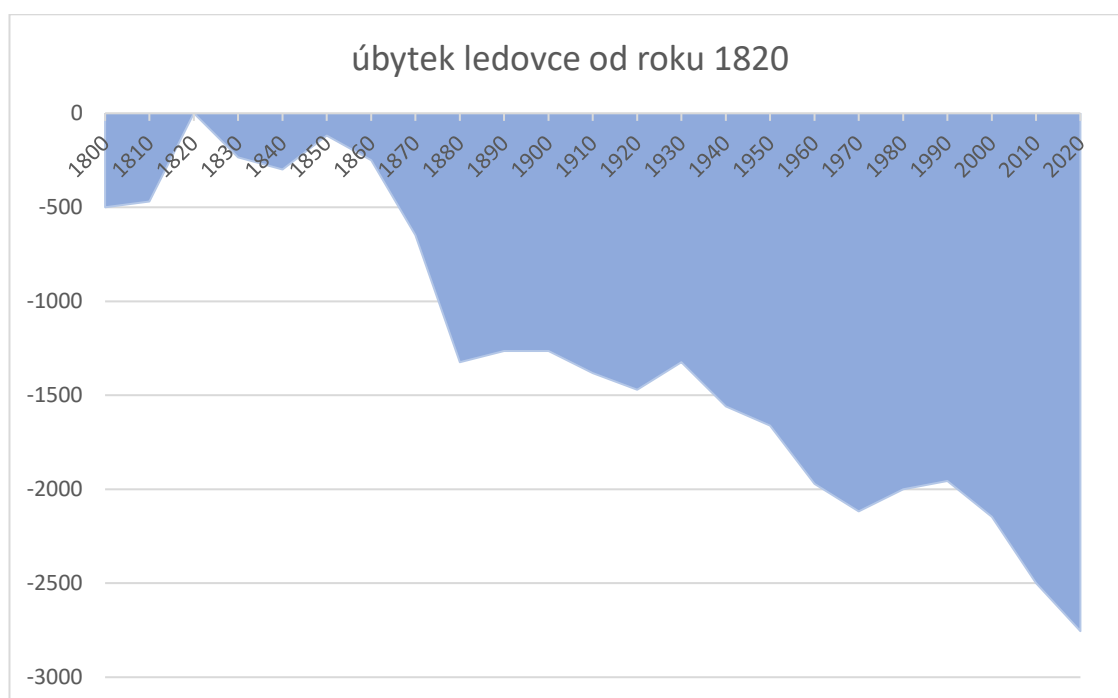
Tabulka 5.1.2: Přehled ústupu ledovce v letech 1800 - 2020

Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

	rok									
	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890
úbytek ledovce (m)	-500	-470	0	-235	-300	-118	-250	-648	-1325	-1265

	rok									
	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
úbytek ledovce (m)	-1265	-1382	-1470	-1324	-1559	-1662	-1971	-2118	-2000	-1956

	rok		
	2000	2010	2020
úbytek ledovce (m)	-2147	-2500	-2755



Graf 5.1.2: Úbytek ledovce od roku 1820 (autor, 2024)

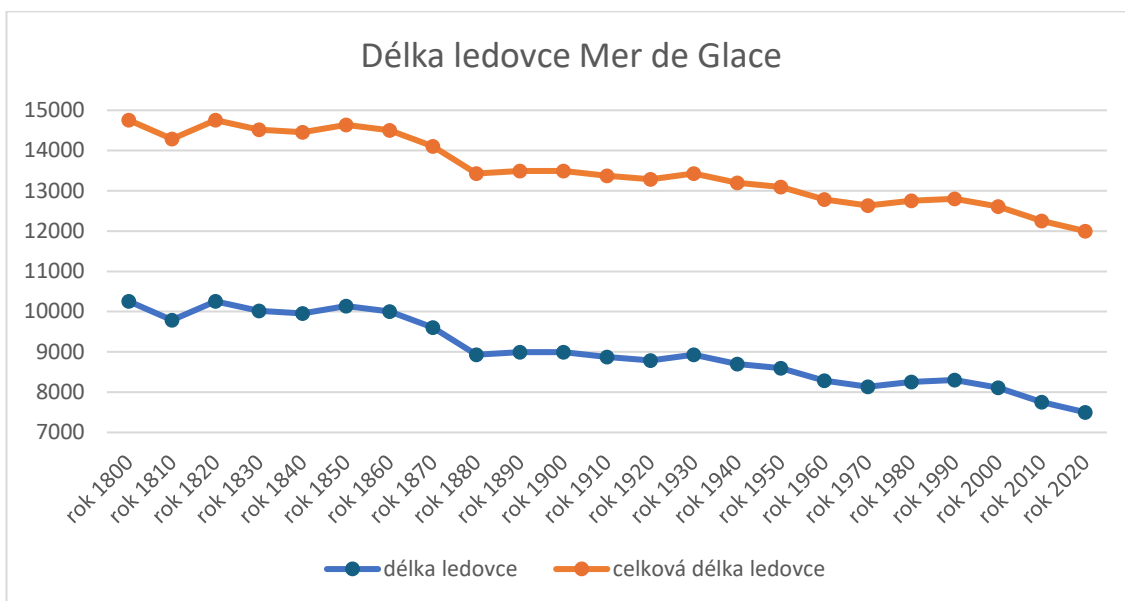
Tabulka 5.1.3: Rozdíly v délce ledovce v letech 1800 – 2020

Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

	rok									
	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890
délka ledovce (m)	10255	9785	10255	10020	9955	10137	10005	9607	8930	8990
celková délka ledovce (m)	14755	14285	14755	14520	14455	14637	14505	14107	13430	13490

	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
délka ledovce (m)	8990	8873	8785	8931	8696	8593	8284	8137	8255	8299
celková délka ledovce (m)	13490	13373	13285	13431	13196	13093	12784	12637	12755	12799

	2000	2010	2020
délka ledovce (m)	8108	7755	7500
celková délka ledovce (m)	12608	12255	12000



Graf 5.1.3 – délka ledovce Mer de glace (autor, 2024)

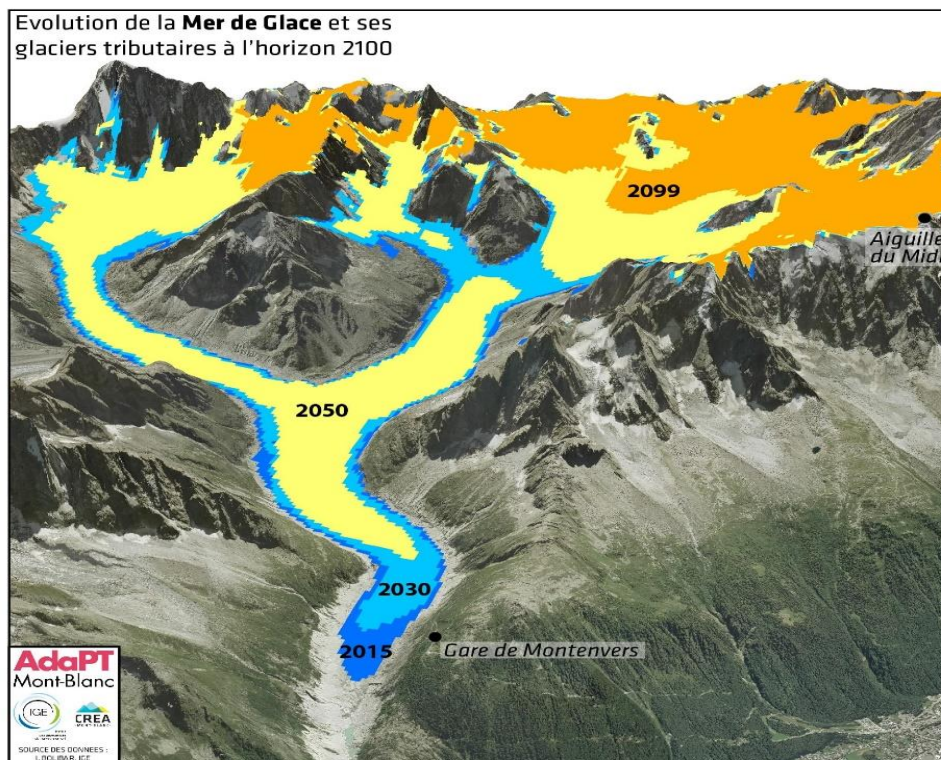
Délka ledovce vyjadřuje délku ledovce bez akumulční zóny

Celková délka ledovce vyjadřuje kompletní délku včetně akumulční zóny

Na základě současných měření Autor et al. (rok) vypracovali studii tání tohoto ledovce do roku 2100 za předpokladu, že by nedošlo ke zpomalením k nimž docházelo v předcházejících stoletích. Dle této studie do roku 2030 dojde pouze ke zmenšení ledovce, ovšem v roce 2050 dojde k oddělení ledovce od dvou napájecích částí, z čehož ta levá v sedle pod Horou Aquile du Midi bude mít pro Mer de Glace fatální důsledky a v následujících padesáti letech povede k jeho zániku, neboť koncem tohoto století by mělo dojít pouze ke sloučení několika drobnějších ledovců svažujících se z úbočí několika bezmála čtyř tisícových vrcholů (Aquile du Midi 3842 m, Mont Blanc du Tocul 4248 m, Dent du Géant 4013 m)

Faktory, jež toto zrychlené tání zapříčiňují, jsou podle Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude Chamonix (CREA):

- Zvyšující se teplota v masivu díky změnám klimatu
- Nadměrná doprava
- Znečištění ovzduší
- Snižující se počet sněžných dní



Obr. 5.1.2: Vývoj ledovce Mer de glace do konce století (anonymous, 2020)

Kromě samotné délky ztrácí každoročně ledovec i na své hloubce. Tomuto fenoménu se věnuje několik měření, viditelných na naučné stezce v Montenvers, kde je tzv. ledovcové muzeum, neboli chodba v útrobách ledovce, kde lze pozorovat nejen strukturu ledu, ale i množství sedimentu v něm (vlastní pozorování v letech 2012 - 2021).

Pokud tedy budeme Montenvers brát jako měrné místo, dojdeme k zjištění, že mezi lety 1990 až 2015 ledovec v tomto místě přišel o 4 – 5 metrů ze své hloubky. Což znamená, že v tomto období se jeho hloubka v tomto místě snížila o 107,4 metru a v roce 2021, kde jsem zde byl naposledy ustoupil ledovec takřka úplně a v tomto místě se nyní nalézá tzv. pata neboli konec ledovce.



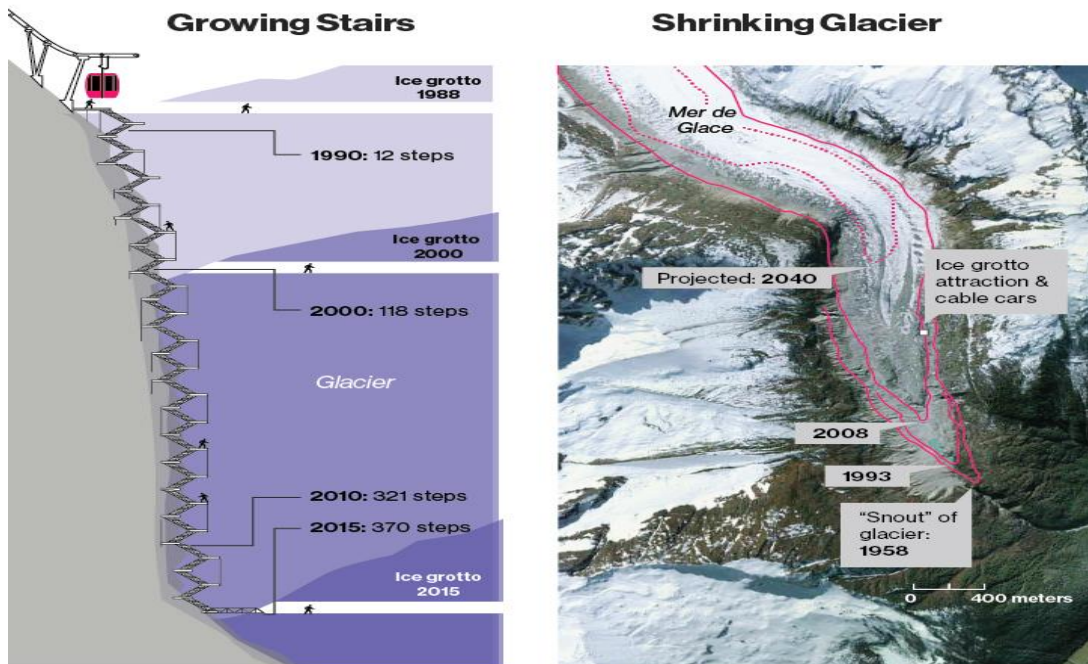
Obr. 5.1.3: Ledovcové muzeum (anonymous, 2015)



Obr. 5.1.4: Ledovcové muzeum (Brian Kieran, 2018)

Glacial Retreat

The snout of the glacier loses 4 meters to 5 meters every year. Since the installation of a new cable-car system in 1988, operators have had to add a total of 367 steps to access the retreating glacier.



Sources: USGS Earth Explorer, Christian Vincent et al 2014

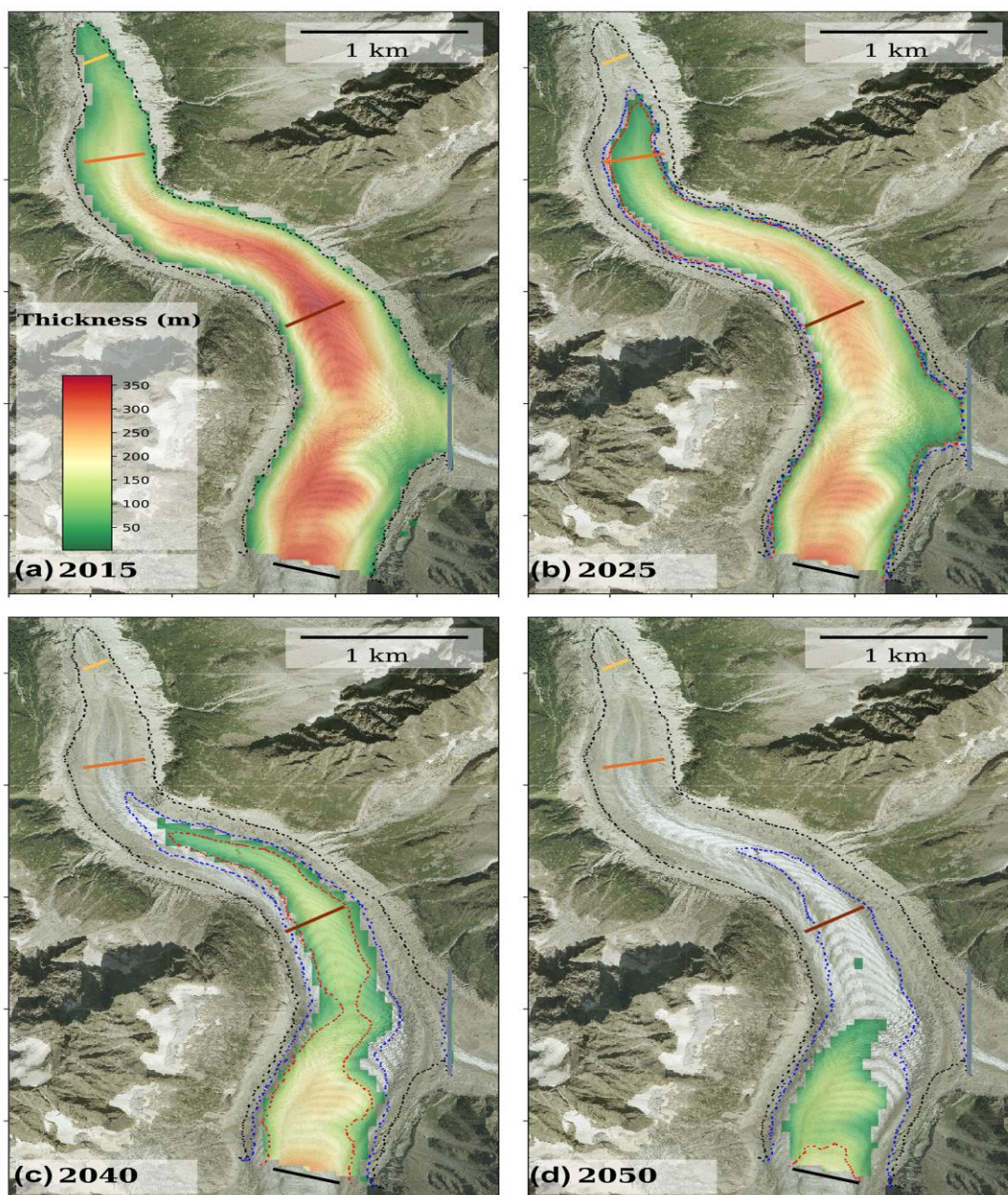
Obr. 5.1.5: Přehled ztráty hloubky ledu a přehled jeho ústupu v krajině (Christian Vincent, 2014)

Nejlépe však úbytek ledovce lze pozorovat na sestupu z železniční stanice k ledovcovému muzeu. Jak je patrné z obrázku č. 6, v roce 1988 ledovec plně zakrýval v tomto místě údolní žlab, tedy vstup do muzea byl u paty lanovky. O 12 let později, tedy v roce 2000 jste k vstupu museli sejít 118 schodů. Pokud víme, že výška schodu je 20 cm, tak rozdíl činí 23,6 metru. O dalších 10 let později již rozdíl činil 64,2 m a v roce 2015 byl již rozdíl od roku 1988 74 m. Mezi roky 2015 až 2021 odtávání ledovce svou rychlost ještě zvýšilo, což ve své podstatě zapříčinilo obnažení stěn údolí, kdy tak skála má stále větší plochu pro akumulaci tepla ze slunečního svitu a tím údolí po západu slunce zahřívá více jak je tomu ve vyšších partiích masivu.

Detailnější studii o hloubce ledovce lze vidět na satelitních simulacích, kde je patrné, že v Montvers, kde je první měřicí místo, změní ledovec díky svému odtávání do roku 2025 svou hloubku o přibližně 50 metrů a do roku 2040 z tohoto místa zcela odtaje (presna reference – odkaz na copernicus nestaci). V místě druhého měřicího místa v záhybu pod soutokem s ledovcem du Geant, kde je v tuto chvíli nejhlubší místo ledovce, se za následující 2 roky ztratí více jak 70 metrů a do roku 2050 by měl ledovec dle současného trendu oteplování odtát i z tohoto místa.

Více o měření tloušťky ledovce se dočteme v knize Living Ice Understanding Glaciers and Glaciation od Roberta P. Sharpa: „Měření tloušťky ledu se v dnešní době provádí za pomoci rádiových ozvěn a seismických odrazů jsme měřili příčné řezy ledovcem Taku poblíž Juneau na Aljašce, abychom vyřešili nesrovnalosti v předchozích měřeních a lépe porozuměli dynamice ledovce. Maximální tloušťka je asi 1477 m a minimální výška dna je asi 600 m pod hladinou moře, což z ledovce Taku dělá

nejtlustší a nejhlubší ledovec mírného pásma, který byl dosud naměřen. Naše data naznačují, že v průběhu 19. století mohl konec ledovce Taku začít svůj rychlý postup v místě, kde se ledové dno nacházelo více než 300 m pod hladinou moře a více než 25 km od vnitrozemského konce jeho podmořského koryta; Toto chování je netypické pro mírné přílivové ledovce. Ledovec, který se již neteče, erodoval od roku 1890 vrstvu sedimentu o tloušťce 100 m průměrnou rychlostí asi 3 m a⁻¹ od roku 1948; Tato vysoká rychlost eroze zpomaluje postup tím, že ledovec zakopává do koncové morény. Výpočty založené na teorii deformace ledu ukazují významný bazální pohyb ledu v blízkosti konce a vysoké bazální smykové napětí (140–220 kPa) po většině jeho délky. Odhadované rozdíly mezi tokem ledu a bilančním tokem jsou v souladu s pozorovaným zahušťováním a kladnou bilancí čisté hmoty; Tyto údaje naznačují, že objem ledu se zvyšuje a že je pravděpodobný další postup“.



Obr. 5.1.6: Simulace tání ledovce Mer de glace (Vincent Peyaud a kol., 2020)

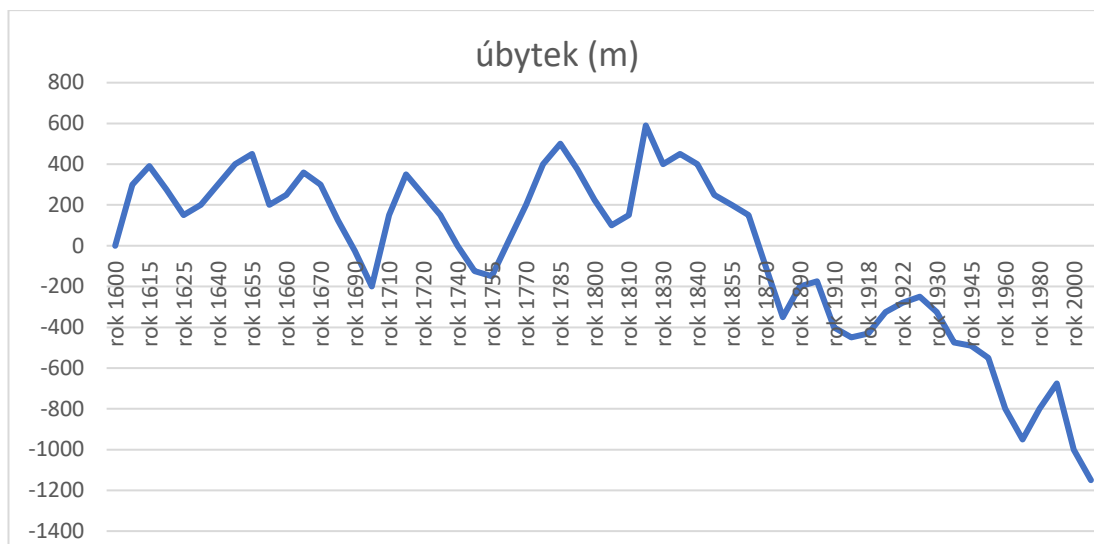
5.2 Ledovec Argentière

(francouzsky **Glacier d'Argentière**) je druhým největším ledovcem masivu Mont Blanc, jež dostal své jméno po vesnici, do níž ještě v devatenáctém století sestupoval. Ještě před takřka 100 lety jeho konec sahal k chrámu ve vesnici Argentière, který se nalézá v nadmořské výšce 1250 metrů. Své maximální délky tento ledovec dosahoval v **mladším dryasu** (asi 10800 až 9600 př. n. l.), kdy byl spojen s ledovci Mer de Glasse a Bossonským ledovcem a jako jeden ledovec sestupovaly dále do údolí. Po tomto období došlo k jeho izolaci a podle dostupných záznamů o jeho délce z roku 1600, nedocházelo následujících 80 let k žádným změnám. Poprvé došlo k jeho ústupu až na konci století a to o 200m. V malé době ledové ledovce odtávaly, ale poté vždy dorůstaly do původní délky. Tak jak tomu bylo u Mer de Glace, či Bossonského ledovce po roce 1840, neboli v době průmyslové došlo k prvnímu dramatickému odtávání, které trvalo až do roku 1885, kdy ledovec ztratil 800 metrů ze své celkové délky. Poté do začátku století dvacátého nabíral na své délce, aby z – 175 metrů původní délky skrze přírůstky v letech 1915-1920 a 1966-1988 vstupoval do našeho století o takřka 1000 metrů kratší. Tabulka 5.2.1 znázorňuje ztrátu 1 km v období let 1870 – 2000 a jen za prvních 20 let 21. století dosáhl úbytek 600 metrů, tedy ledovec z tomto století tál skoro čtyřnásobně rychleji, než ve století předcházejícím. Proto v roce 2004 byla zahájena 5 letá studie, kde bylo zjištěno, že dochází k průměrné roční ztrátě 1,5 m tloušťky ledu, neboli 10 – 11 metrům ztráty tloušťky ledu za sledované období (CREA).

Tabulka 5.2.1: Přehled ústupu ledovce v letech 1600 – 2005

Zdroj: https://wgms.ch/data/min-data-graphs/354-27_FV_rec_cum.png

	rok										
	1600	1610	1620	1630	1640	1650	1660	1670	1680	1690	
úbytek ledovce (m)	0	300	275	200	300	400	250	300	125	-25	
	1700	1710	1720	1730	1740	1750	1760	1770	1780	1790	
úbytek ledovce (m)	-200	150	250	150	0	-125	25	200	400	375	
	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890	
úbytek ledovce (m)	225	150	590	400	400	250	150	-100	-350	-200	
	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	
úbytek ledovce (m)	-175	-400	-325	-325	-475	-550	-800	-950	-800	-675	
	2000	2005									
úbytek ledovce (m)	-1000	-1150									



Graf 5.2.1: Úbytek ledovce (autor, 2024)

Aby se voda z ledovce bez užitku neztrácela v okolní krajině byl v nadmořské výšce 2000 metrů pod ledovcem vybudován odvodňovací systém, jehož trvalý roční odtok se pohybuje mezi 0,2 – 1 m³/s v zimě až po 15 m³/s v letních měsících. Touto vodou je zásobována přehrada Émosson. Díky tomuto systému lze studovat tok ledovce na jeho kontaktu s horninou. Rychlost ledovce se v tomto místě průměrně pohybuje 40 cm/den v zimě a 60-65 cm/den v létě. Maximální rychlost pohybu byly naměřeny po intenzivních bouřkách a to 5-6 cm/hodinu jak uvádí European Geosciences Union ve své studii „Numerické modelování dynamiky ledovce Mer de Glace, Francouzské Alpy“ (European geosciences union, 2020).

Z pohledu zeměpisného jde o údolní ledovec orientovaný na severozápad o délce 9 km, jenž je napájen mnoha malými ledovci (Tour Noir, Ametysts, Milieu a Chardonnet na pravém břehu a ledovec Rognons na břehu opačném), které jsou dnes individualizované. Samotný Argentière pramení ve výšce přibližně 3400 m n.m. v ledovcovém karu, jemuž dominují vrcholy Mont Dolent 3820 m, Droites 4000m, Grande Rocheuse 4102 m a Aiguille Verte 4122 m, jejichž seraky pravidelně zásobují ledovec sněhem ve formě lavin. Serak neboli blok, či pilíř ledovcového ledu o velikosti zpravidla několika metrů vzniká rozlámáním ledovcové plochy, při překročení meze plasticity ledu, zpravidla tam. Kde se mění sklon skalního podkladu. Díky jejich stabilitě na níž nemá odtávání takový vliv jako mechanika ledovcového pole, lze jejich pády oproti lavinám jen těžko odhadovat. Proto je pohyb v jejich blízkosti značně riskantní. Velká část povrchu ledovce se nachází ve výšce 2600 – 3100 m n.m., jehož bilance mezi akumulací a ablační zónou se nachází ve výšce 2800 m (průměr z měření uskutečněných mezi lety 1988 až 2008).

Tabulka 5.2.2: Rozdíly v délce ledovce v letech 1600 – 2005

Zdroj: https://wgms.ch/data/min-data-graphs/354-27_FV_rec_cum.png

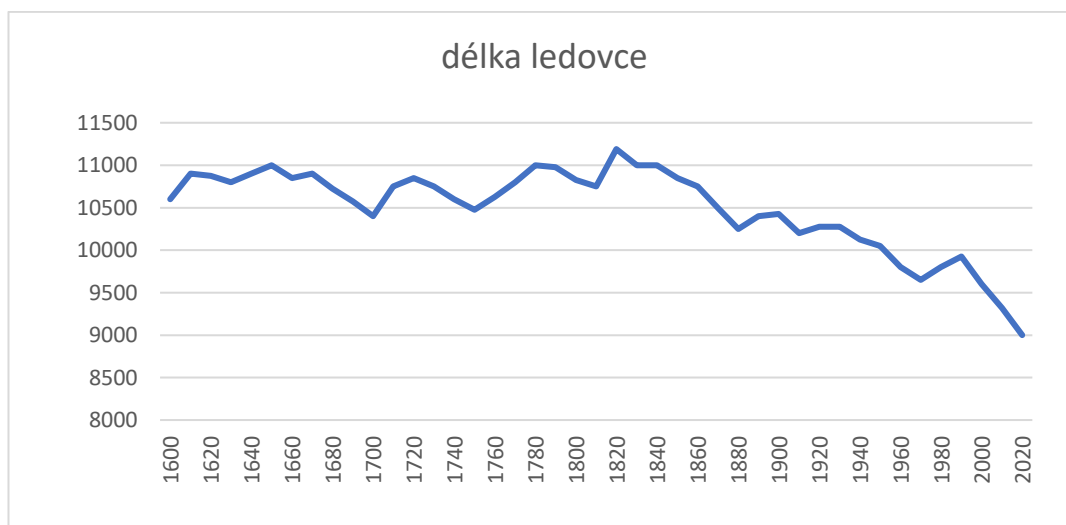
délka ledovce (m)	rok									
	1600	1610	1620	1630	1640	1650	1660	1670	1680	1690
délka ledovce (m)	10600	10900	10875	10800	10900	11000	10850	10900	10725	10575

délka ledovce (m)	1700	1710	1720	1730	1740	1750	1760	1770	1780	1790
	délka ledovce (m)	10400	10750	10850	10750	10600	10475	10625	10800	11000

délka ledovce (m)	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890
	délka ledovce (m)	10825	10750	11190	11000	11000	10850	10750	10500	10250

délka ledovce (m)	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
	délka ledovce (m)	10425	10200	10275	10275	10125	10050	9800	9650	9800

délka ledovce (m)	2000	2010	2020
	délka ledovce (m)	9600	9320



Graf 5.2.2: Délka ledovce (autor, 2024)

V posledních letech se koncový jazyk ledovce, který nalezneme v nadmořské výšce 1600m oddělil od zbytku ledovce, který je o 300 výškových metrů výše a tento jazyk již z centrálního ledovce není přímo napájen. O přírůstky jazyku se tedy starají pády seraků, což ohrožuje jeho existenci. Navzdory globálnímu oteplování, jež má na okolní ledovce devastující dopad, neexistují žádné důkazy, že by tento jazyk měl v blízké době zmizet. K podobnému oddělení již došlo počátkem dvacátého století. V této době přesněji tedy v letech 1908 až 1951 byly z termálního jazyka zásobovány místní hotely v letních měsících ledem (Zdroj: Ledovcové muzeum)

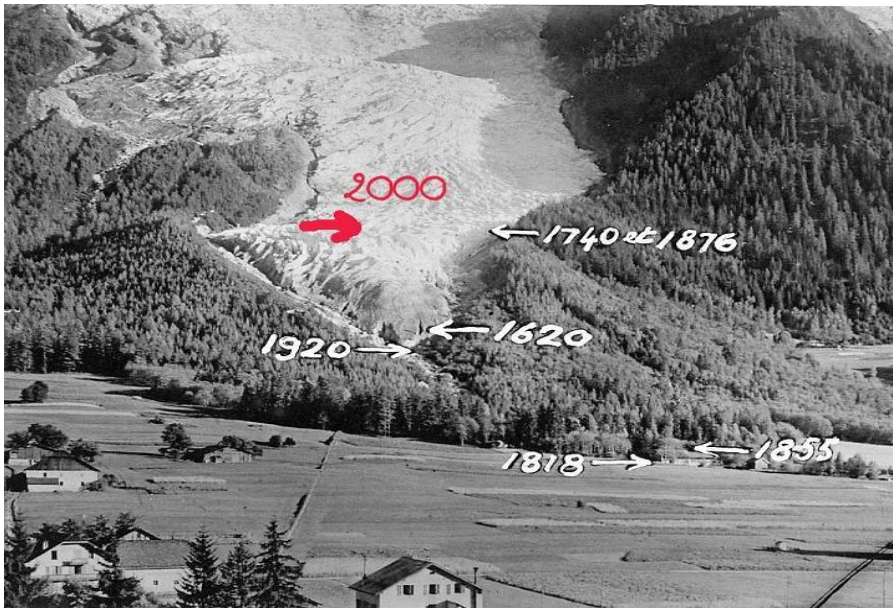
Monterverse). Maximální produkce ledových bloků dosahovala 24 – 30 tun/den. Těžba ledu byla ukončena až zobecněním chladniček jež je datováno přibližně do padesátých let minulého století.

5.3 Bossonský ledovec

(francouzsky **Glacier des Bossons**) je díky své poloze a faktu, že sestupuje do údolí k Chamonix, třetím z námi sledovaných ledovců. Se svou délkou 7,8 km a rozlohou 9,9 km² jde o čtvrtý největší ledovec v námi sledované oblasti. Tento ledovec sestupuje z nejvyšší hory Alp Mont Blancu v blízkosti Aiguille du Midi sestupuje až do jižní strany údolí Arve poblíž města Chamonix. Průměrný sklon sestupu je 45 stupňů, což má za následek, že ledovec sestupuje do údolí relativně rychle a také, že měřit rychlost povrchového toku ledu je pomocí klasických metod, které se pro měření užívají takřka nemožné. Přesto právě Bossonský ledovec byl první, na němž se zkoušelo měřit ledovcový proud. Ledovcový proud je oblast rychle se pohybujícího ledu v ledovém příkrovu.

V 17. století sestupoval až k vesnici Le Fouly. Svě jméno dle místních získal podle křovisek, jež se nachází pod lesy, kam v 18. století sahal. Kolem roku 1784 začal ledovec ustupovat a až v roce 1815 došlo k jeho opětovnému nárůstu, což místní obyvatelé vyděsilo natolik, že před čelem ledovce vystavěli kříž, jež po následujících 100 let sloužil jako orientační bod od něj se měřil ústup ledovce. Každopádně ještě v roce 1900 se čelo ledovce nalézalo v nadmořské výšce 1050 m, tedy na samotném dně údolí. V následujících 80 letech ustoupilo o 200 metrů, což v průměru činí roční ústup v délce 2,5 metru. Ten se však dramaticky zrychlil a do roku 2008 ledovec ustoupil o dalších 200 m, což znamená, že se ústup ledovce takřka ztrojnásobil. Více o ústupu ledovce a jeho celkové délce v jednotlivých stoletích jest uvedeno níže.

Nejvyšší bod Bossonského ledovce se nachází na samotném vrcholu hory Mont Blanc, tedy ve výšce 4807 metrů nad mořem. To tomuto ledovci propůjčuje několik světových prvenství. Tím prvním je fakt, že jde o ledovec s největším vertikálním poklesem na světě. Druhým je, že díky tloušťce ledu přesahující 16 metrů ve vrcholové partii hory Mont Blanc ji nejen lehce vyvyšují, neboť hornina tohoto vrcholu by dosahovala pouze nadmořské výšky 4792 m, což by sice stále dělalo z Blancu nejvyšší vrchol starého kontinentu, ale do jisté míry by ztratil ze své atraktivity, jež si díky své variabilní výšce vrcholu a neustále se měnící výstupové cestě mezi horolezci vydobyl. Bossonský ledovec je dvojčetem ledovce Courmayeur, který ze stejného vrcholu sestupuje na italskou stranu tohoto masivu.



Obrázek 5.3.1: Pohyb Bossonského ledovce (anonymous, 2000)

Z obrázku 5.3.1 je jasně patrné, že Bossonský ledovec byl již v 18. století na ústupu, přičemž do první poloviny 19. století dosahoval svého maxima od roku 1620. Ale jak již bylo zdůrazněno o měření ledovce Mer de Glace, měření před druhou polovinou 19. stoletím je nutné bráti s určitou rezervou, neboť v té době neexistovaly pevné orientační body, od nichž by se měření každoročně odvíjelo. V té době se totiž používaly k měření tzv. orientační body v krajině.

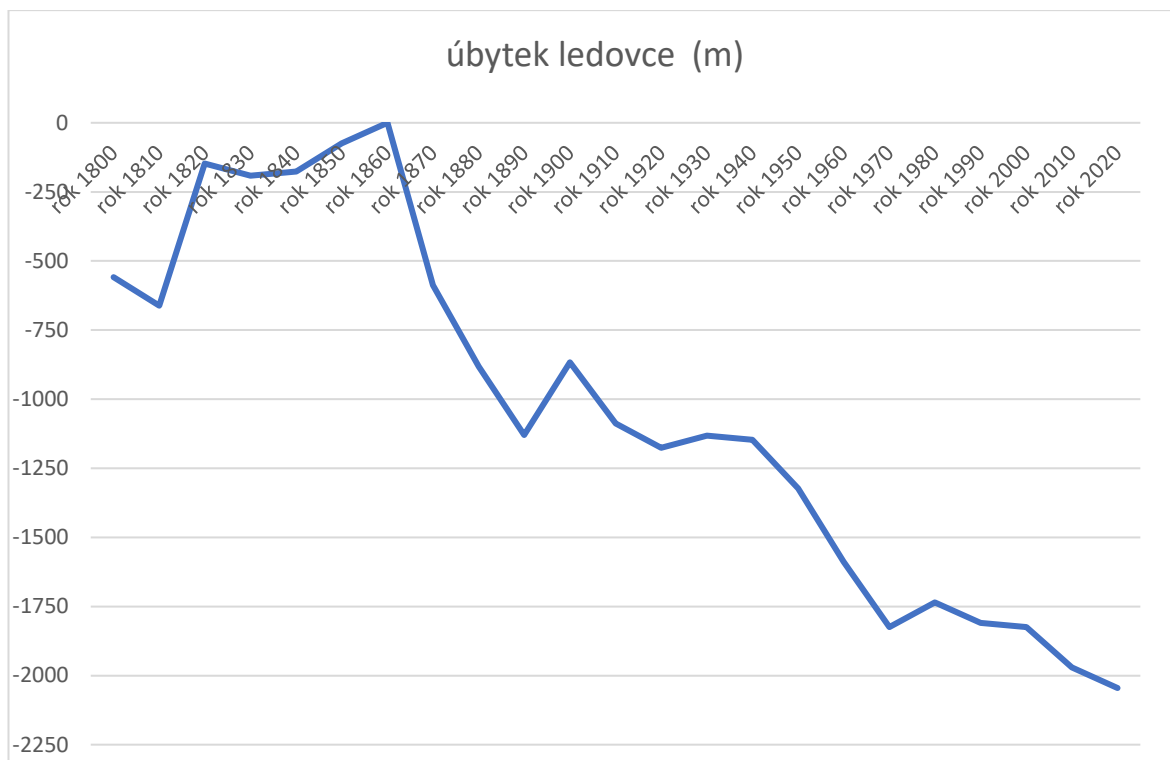
Tabulka 5.3.1: Přehled ústupu ledovce v letech 1800 – 2020

Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

	rok										
	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890	
úbytek ledovce (m)	-559	-662	-147	-191	-176	-74	0	-588	-882	-1129	

	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
	úbytek ledovce (m)	-867	-1088	-1176	-1132	-1147	-1323	-1588	-1824	-1735

	2000	2010	2020
	úbytek ledovce (m)	-1824	-1970

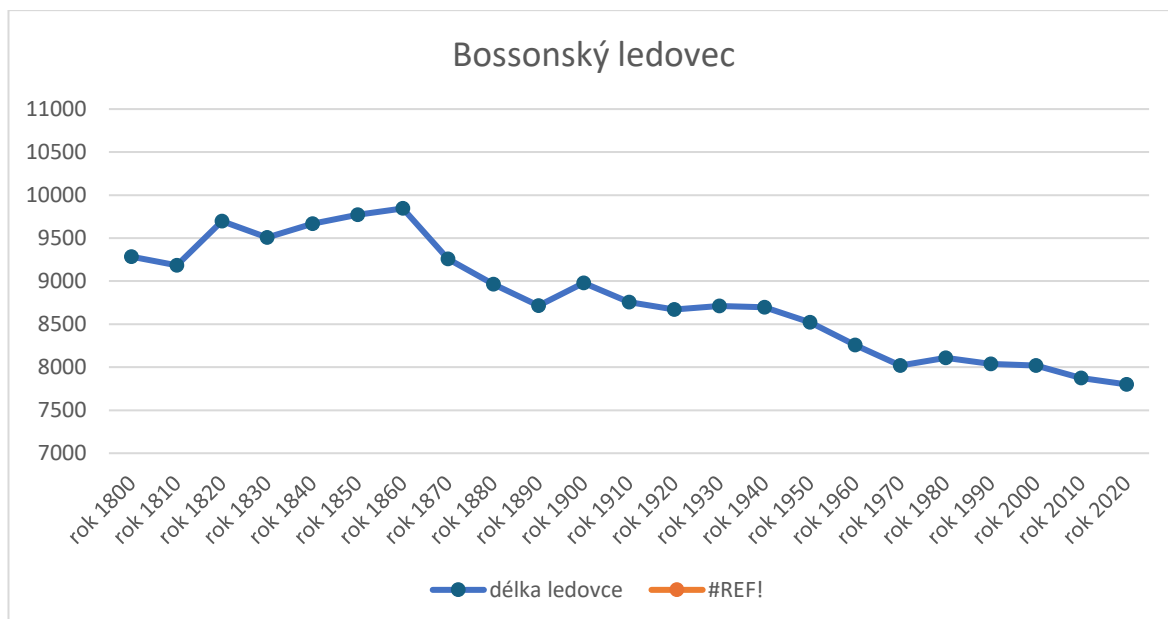


Graf 5.3.1: Přehled ústupu ledovce v letech 1800 – 2020 (autor, 2024)

Tabulka 5.3.2: Přehled délky ledovce v letech 1800 – 2020

Zdroj: : https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

	rok											
	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860	1870	1880	1890		
délka ledovce (m)	9286	9183	9698	9654	9669	9771	9845	9257	8963	8716		
	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990		
délka ledovce (m)	8978	8757	8669	8713	8698	8522	8257	8021	8110	8036		
	2000	2010	2020									
délka ledovce (m)	8021	7875	7800									



Graf 5.3.2: Přehled délky ledovce v letech 1800 – 2020 (autor, 2024)

6. Příčiny tání ledovců

6.1 Současné teploty v masivu Mont Blanc

Jak již bylo v metodice práce uvedeno, veškeré teplotní údaje jsou sbírány z 5 stanovišť. Abychom dostali lepší představu o průměrné teplotě ve všech sběrných stanovištích, tak tuto teplotu najdete v řádku normální teplota, od níž jsou každoročně měřeny odchylky.

Z měření v jarních měsících vyplývá, že na většině měřících míst za sledované období se větší část naměřených teplot nalézala nad teplotním průměrem. Pouze v nadmořské výšce 1970 m byly naměřené teploty z 60% pod teplotním průměrem. Ovšem za rok 2020 se průměrná teplota zvýšila o 9,57 °C , což je více jak trojnásobně.

Tabulka 6.1.1: Přehled teplot v jarních měsících

Zdroj: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

výška (m.n.m.)	místo měření		jaro										
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1054	město Chamonix	průměrná teplota	6,56	9,07	7,75	5,85	7,68		6,47	8,42	8,32	6,66	8,78
		normální teplota	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66		7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
		dif. od norm. teploty	-1,10	1,41	0,09	-1,81	0,02		-1,19	0,76	0,66	-1,00	1,12

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1340	město Vellorcine	průměrná teplota	5,23	8,16	7,25	4,49	6,56	6,74	5,13	7,43	6,76	5,43	7,83	
		normální teplota	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47
		dif. od norm. teploty	- 1,24	1,69	0,78	- 1,98	0,09	0,27	- 1,34	0,96	0,29	- 1,04	1,36	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1530	jezero Champex-Lac	průměrná teplota	3,66	6,87	5,53	3,06	5,15	5,36	3,87	6,14	5,67	4,04	6,67	
		normální teplota	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07
		dif. od norm. teploty	- 1,41	1,80	0,46	- 2,01	0,08	0,29	- 1,20	1,07	0,60	- 1,03	1,60	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1970	masiv u Vellorcine	průměrná teplota			3,97	1,37	3,57	2,97	1,88	4,1	2,4	1,92	13,6	
		normální teplota			3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98
		dif. od norm. teploty			- 0,01	- 2,61	- 0,41	- 1,01	- 2,10	0,12	- 1,58	- 2,06	9,57	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
2668	masiv u Chamonix	průměrná teplota		1,23	0,37	-1,2	0,37	0,53	- 0,84	0,99	- 0,78	- 1,13	1,87	
		normální teplota		- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09	0,09
		dif. od norm. teploty		1,32	0,46	- 1,11	0,46	0,62	- 0,75	1,08	- 0,69	- 1,04	1,96	

Tabulka 6.1.2: Přehled teplot v letních měsících

Zdroj: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

Naopak v letních měsících se teploty oproti předpokladu držely kolem průměrné „normální“ teploty a za měřené období nedošlo k výrazným tepelným výkyvům.

			léto										
výška (m.n.m.)	místo měření		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1054	město Chamonix	průměrná teplota	15,8	15,3	16,5	16	14,9	17,5	15,7	17,1		17,6	16,4
		normální teplota	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3		16,3	16,3
		dif. od norm. teploty	-0,48	-1,05	0,19	-0,29	-1,44	1,17	-0,67	0,80		1,31	0,07

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1340	město Vellorcine	průměrná teplota	14,6	13,9	15,2	14,7		16,20	14,6	16,10	16,3	16,5	14,6
		normální teplota	15	15	15	15		15	15	15	15	15	15
		dif. od norm. teploty	-0,45	-1,16	0,16	-0,34		1,18	-0,44	1,08	1,24	1,43	-0,40

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1530	jezero Champex-Lac	průměrná teplota	12,9	12	13,8	13,20	12,1	15,00	13,3	15	15,4	15,6	13,9	
		normální teplota	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6
		dif. od norm. teploty	-0,70	-1,58	0,18	-0,39	-1,52	1,41	-0,30	1,42	1,800	2,00	0,26	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1970	masiv u Vellorcine	průměrná teplota			12,2	11,8	10,5		11,6	12,9	13	13,5	11,8
		normální teplota			12,3	12,3	12,3		12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
		dif. od norm. teploty			-0,11	-0,46	-1,79		-0,63	0,65	0,77	1,26	-0,51

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
2668	masiv u Chamonix	průměrná teplota		8,72	6,08	7,95	7,57	5,8	9,03	7,69	8,55	9,49	7,47	
		normální teplota		7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83
		dif. od norm. teploty		0,89	-1,75	0,12	-0,26	-2,03	1,2	-0,14	0,72	1,66	-0,36	

Tabulka 6.1.3: Přehled teplot v podzimních měsících

Zdroj: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

V masivu nad městem Vellorcine, byl v roce 2020 naměřen nejvyšší teplotní výkyv za celou dobu měření a to o 17,87 ° C, což sice není trojnásobný přesah normální teploty, než jak tomu bylo v jarním období, ale jde už o druhý extrémní výkyv v jednom roce v rámci jednoho měřícího bodu, což je více jak znepokojující.

			podzim										
výška (m.n.m.)	místo měření		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1054	město Chamonix	průměrná teplota	6,94	8,31	7,88	7,48	9,38	7,10	7,80	6,27	8,33	8,51	7,66
		normální teplota	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81
		dif. od norm. teploty	-0,87	0,50	0,07	-0,33	1,57	-0,71	-0,01	-1,54	0,52	0,70	-0,15

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1340	město Vellorcine	průměrná teplota	6,34	9,05	7,78			7,47	7,39	6,89	9,00	8,05	7,86
		normální teplota	7,48	7,48	7,48			7,48	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
		dif. od norm. teploty	-1,14	1,57	0,3			-0,01	-0,09	-0,59	1,52	0,57	0,38

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1530	jezero Champex-Lac	průměrná teplota		8,25	7,21	6,34	8,70	6,69	6,81	5,96	8,89	7,47	7,34	
		normální teplota		7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25
		dif. od norm. teploty		1,00	-0,04	-0,91	1,45	-0,56	-0,44	-1,29	1,64	0,22	0,09	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1970	masiv u Vellorcine	průměrná teplota			7,22	5,09	6,81	4,90	4,79	4,27	6,36	5,35	25,6
		normální teplota			7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72
		dif. od norm. teploty			-0,50	-2,63	-0,91	-2,82	-2,93	-3,45	-1,36	-2,37	17,9

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2668	masiv u Chamonix	průměrná teplota	0,29	3,83	2,59	1,83	3,44	1,93	1,95	1,10	3,42	1,96	2,76
		normální teplota	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
		dif. od norm. teploty	-1,82	1,72	0,48	-0,28	1,33	-0,18	-0,16	-1,01	1,31	-0,15	0,65

Tabulka 6.1.4: Přehled teplot v jarních měsících

Zdroj: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

V zimním období se výkyv průměrných teplot držel na všech stanovištích do 3 °C, jenže ty nejvyšší byly v negativním směru, tedy nad normální teplotu, což pro ledovce není dobrou prognózou do budoucna.

			zima										
výška (m.n.m.)	místo měření		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1054	město Chamonix	průměrná teplota	-2,24	-1,59	-3,11	-2,14	0,47	-1,59	-0,91	-0,53	-0,10	-1,95	0,62
		normální teplota	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28
		dif. od norm. teploty	-0,96	-0,31	-1,83	-0,86	1,75	-0,31	0,37	0,75	1,18	-0,67	1,9

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1340	město Vellorcine	průměrná teplota	-2,17	-0,49	-1,42	-1,43	1,70	0,14	-0,38	-0,01		-1,06	2,27	
		normální teplota	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43		-0,43	-0,43
		dif. od norm. teploty	-1,74	-0,06	-0,99	-1,00	2,13	0,57	0,05	0,42			-0,63	2,70

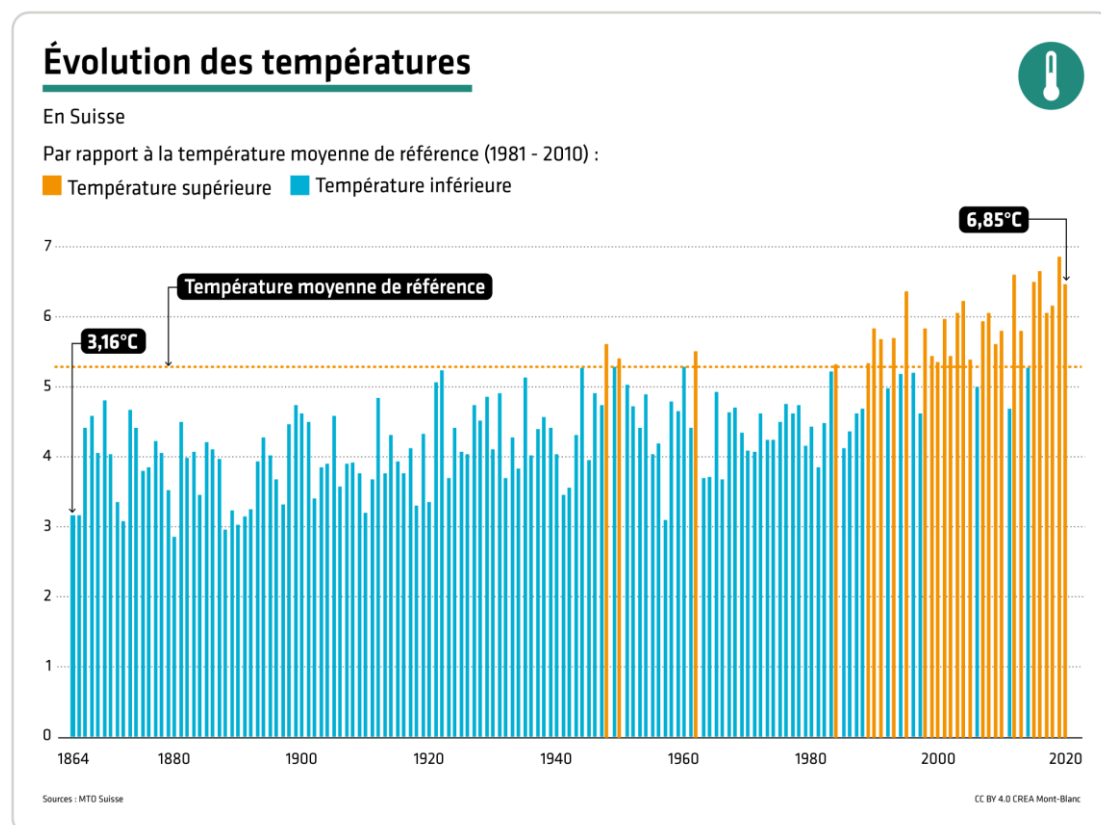
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1530	jezero Champex-Lac	průměrná teplota	-2,98	-0,56	-1,92	-2,56	1,03	-0,24	-1,34	-0,58	-0,88	-1,6	1,66	
		normální teplota	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71
		dif. od norm. teploty	-2,27	0,15	-1,21	-1,85	1,74	0,47	-0,63	0,13	-0,17	-0,89	2,37	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1970	masiv u Vellorcine	průměrná teplota		-2,07	-1,50	-3,17	-0,07	-1,41	-2,65	-1,96	-1,94	-2,30	0,21	
		normální teplota		-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78	-1,78
		dif. od norm. teploty		-0,29	0,28	-1,39	1,71	0,37	-0,87	-0,18	-0,16	-0,52	1,99	

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
2668	masiv u Chamonix	průměrná teplota		-4,79	-4,34	-5,86	-2,71	-3,84	-5,86	-4,42	-4,58	-4,94	-1,89	
		normální teplota		-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32	-4,32
		dif. od norm. teploty		-0,47	-0,02	-1,54	1,61	0,48	-1,54	-0,1	-0,26	-0,62	2,43	

6.2 Vývoj teplot v masivu Mont Blanc

Průměrné roční teploty v masivu Mont Blanc se od začátku jejich měření, tedy roku 1864 se jak je z grafu patné neustále zvyšují. Rozdíl mezi teplotami ze začátku a konce sledovaného období činí 3,59 °C. Průměrná teplota se tedy zvýšila o necelé 2 stupně Celsia, než jak tomu bylo v průměru v 19. století, což je více jak dvojnásobek celosvětového průměru za stejné období (Atlas Mont Blanc, 2021). Celosvětově se teplota zvýšila o 0,9 °C. Toto oteplování je nejvýraznější v létě a na jaře, neboť to by se teplota mohla do poloviny století zvýšit v létě o 2,8 °C a v zimě pak o 2 °C.

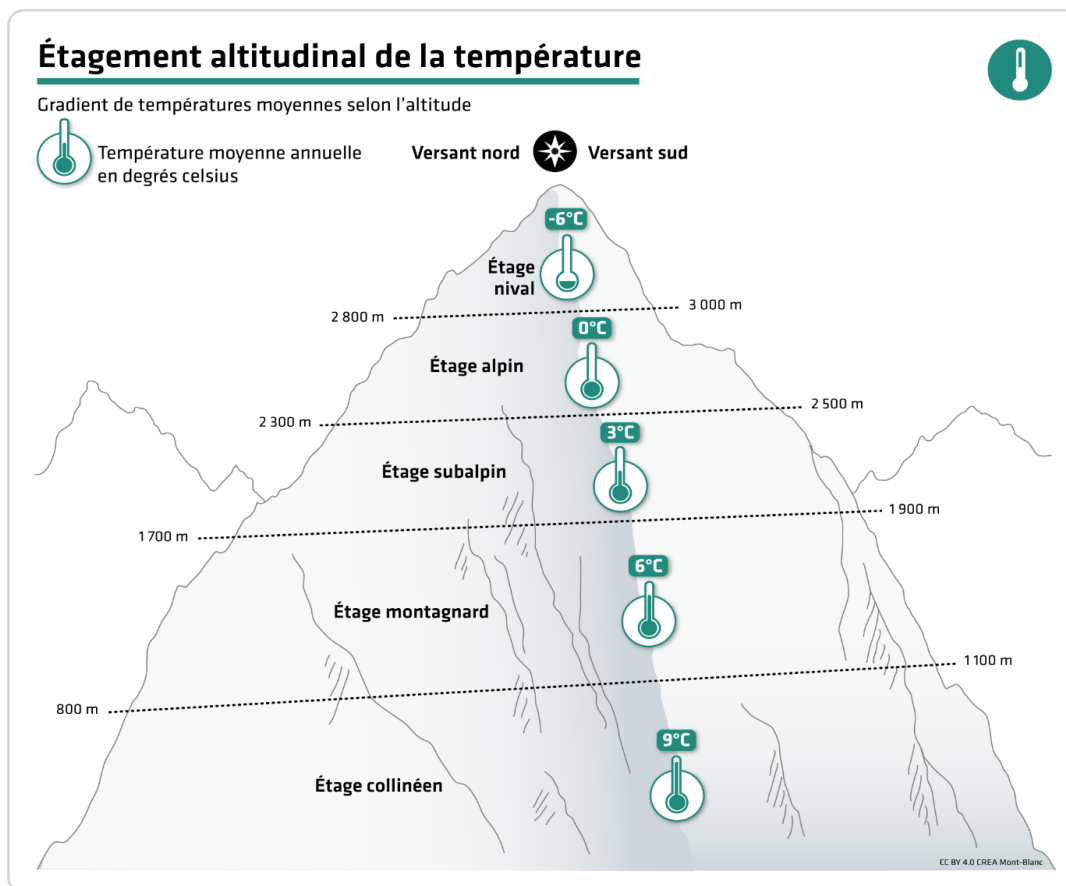


Obr. 6.2.1: Vývoj teplot (anonymous, 2022)

Graf teplot za období let 1864 - 2020 znázorňující růst teplot v našem zájmovém území jasně dokládá, že maximální rozdíl teplot v tomto sledovaném období dosáhl 4 °C .

Pokud bychom tedy pominuli fakt, že díky růstu teplot dojde k postupnému odtání ledovce a s největší pravděpodobností by díky samovolné sukcesy došlo k zalesnění ploch, jež by po sobě ledovec zanechal, tak i většina flory a fauny by se na růst teplot dovedla adaptovat stejně jako se dokáže přizpůsobit i vyšší nadmořské výšce. Od roku 1980 byl v Alpách zaznamenán nárůst teploty o 0,2 °C - 0,5 °C za jedno desetiletí. Rozdíl teplot mezi dvěma nadmořskými výškami oddělených převýšením, vertikální teplotní gradient, 100 m je 0,6 °C (studie společnosti CREA).

Opomenout bychom ani neměli fakt, že teplotní rozdíly mezi severní a jižní stranou hory se mohou dle obrázku níže lišit až o 200 výškových metrů.



Obr. 6.2.2: Výškový teplotní gradient (anonymous, 2022)

6.3 Počet sněžných dní

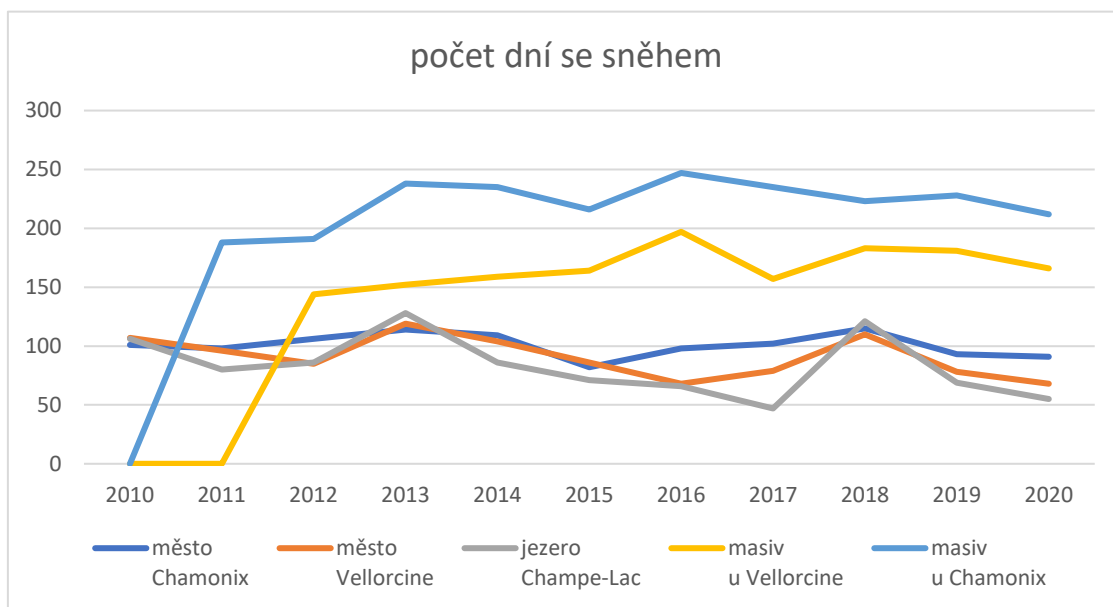
Graf níže nám dokládá, že množství dní se sněhovou pokrývkou, se v rozmezí let 2007 – 2020 dosti zásadně změnil. Od roku 2007 až do roku 2013 se počet námi sledovaných dní na většině měřených úseků zvýšil o více jak 50% procent, což by stavu ledovců mohlo zásadně pomoci, ale do roku 2020 se ve všech stanicích s nadmořskou výškou pod 1900 metrů vrátil stav takřka odpovídajícím roku 2007, Naopak u obou měrných stanic s vyšší nadmořskou výškou se počet dní se

sněhovou pokrývkou zvýšil, což by mohlo mít pozitivní vliv pro akumulaci zdroje všech námi sledovaných ledovců a rychlost tání by tak mohla být zpomalena.

Tabulka č. 6.3.1 – Počet sněžných dní

Zdroj: <https://atlas.creamontblanc.org/explorer/enneigement/>

počet dní	výška (m.n.m.)	místo měření	rok										
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	1054	město Chamonix	101	98	106	114	109	82	98	102	115	93	91
	1340	město Vellorcine	107	96	85	119	104	86	68	79	110	78	68
	1530	jezero Champe-Lac	106	80	86	128	86	71	66	47	121	69	55
	1970	masiv u Vellorcine			144	152	159	164	197	157	183	181	166
	2668	masiv u Chamonix		188	191	238	235	216	247	235	223	228	212

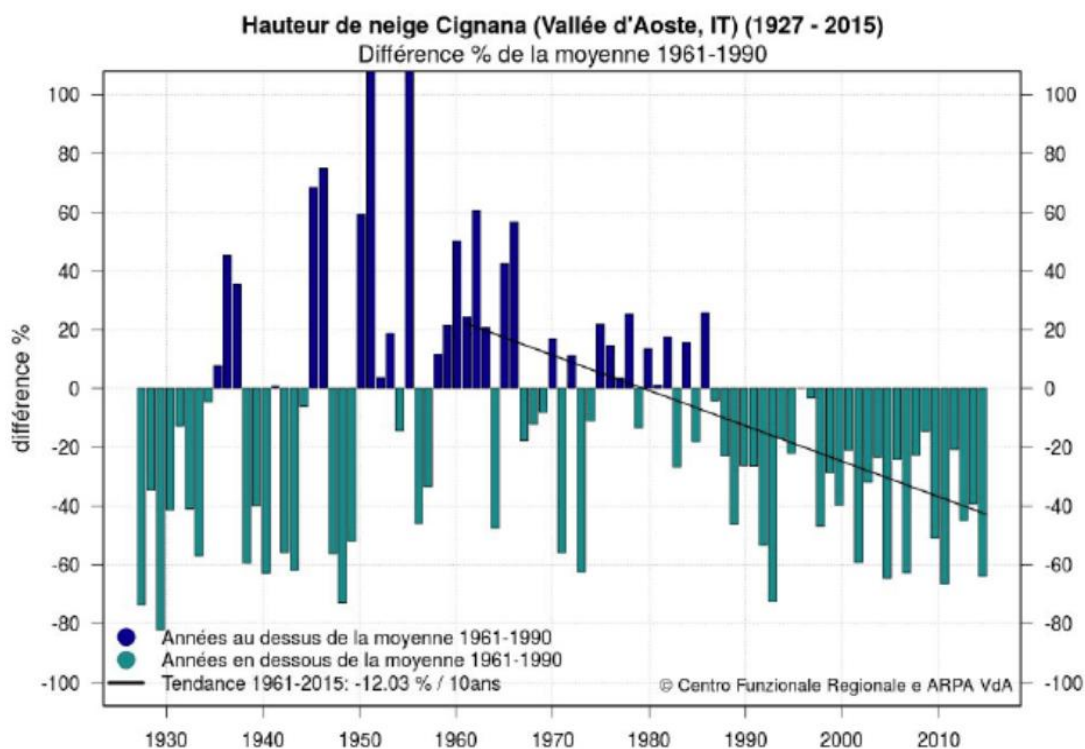


Graf 6.3.1: Počet dní se sněhem (autor, 2024)

6.4 Vývoj sněhové pokrývky v letech 1927 - 2015

Sněhová pokrývka odráží díky svému albedu sluneční paprsky a tím chrání ledovec před zahříváním, ale též ho i vyživuje. Od roku 1970 se trvání sněhové pokrývky ve středních nadmořských výškách tedy 1100 – 2500 m zkrátilo v severních Alpách o celých 5 týdnů (REF). V nadmořské výšce 1500 m byl počet sněhových dní snížen o 12%, ve výšce 2500 m došlo ke snížení až o 25%, což bylo způsobeno faktem, že v nižších nadmořských výškách je sněžných dnů podstatně méně. Například v lyžařském středisku Cignana (2150 m.n.m) došlo v letech 1961 -

1990 k 50% poklesu maximální výšky sněhové pokrývky. To znamená pokles o 10% za každé desetiletí.



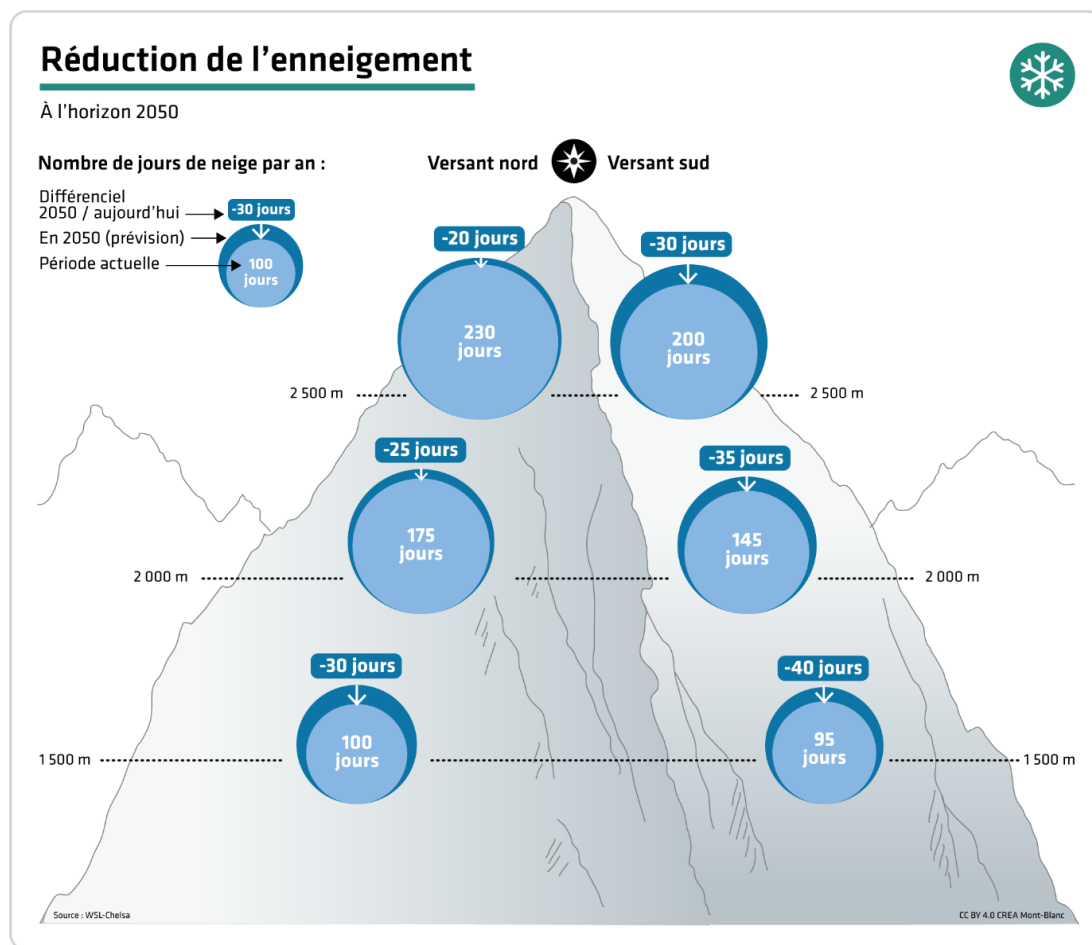
Obr. 6.4.1: Vývoj sněhové pokrývky (anonymous, 2022)

Srážkové úhrny jsou v posledních desetiletích stabilní. Nárůst teplot má za následek zvyšování nadmořské výšky pro sněžení v zimě a zrychlené tání sněhové pokrývky v jarních měsících (CREA). Glaciologové uvádějí, že hranice tzv. věčného sněhu, se mezi roky 1984 a 2010 posunula z 2900 m na 3100 m.

6.5 Predikce vývoje sněhové pokrývky

Dle nejnovějších vědeckých výzkumů by úbytek sněhové pokrývky měl pokračovat i do roku 2050 (CREA). Do tohoto roku by sněhová pokrývka z nízkých nadmořských výškách měla takřka vymizet a sníh by se měl nacházet ve výškách okolo 3000 m a to na severních stranách

Pokud bychom se zaměřili na údolí Chamonix, tedy místa kam směřují ledovce Mer de Glace, Argentiere a Bossonský ledovec, tedy jižních svazích, bude do 2000 m nadmořské výšky pozorovat sněhovou pokrývku o 4 – 5 týdnů méně, než s současnosti (Atlas Mont Blanc, 2022). Pro nadmořskou výšku 3000 m se předpokládá, že počet sněhových dní klesne o 10 – 15%, přičemž pokles by měl být výraznější v jarních než podzimních měsících.



Obr. 6.5.1: Redukce sněžných dní (anonymous, 2022)

Tento obrázek nám jasně demonstruje úbytky sněžových dnů mezi současností a předpokladem stanoveným na základě vědeckých výpočtů pro rok 2050. Ve třech nadmořských výškách se tento model zaměřuje na severní a jižní stranu. Dle předpokladu vyšší úbytky jsou dle odhadů plánovány pro jižní stranu, na níž jsou orientovány největší ledovce v naší zájmové oblasti. Z tohoto důvodu nelze předpokládat, že by se tání ledovců Mer de Glace, Argierre a Bosson mohlo jakkoli zpomalit. Neboť čím méně sněžných dní v masivu zaznamenáme, tím méně budeme moci doplňovat objem našich ledovců.

6.6 Znečištění ovzduší na francouzské straně masivu

Kvality místního ovzduší v masivu Mont Blanc má na stav ledovců též značný vliv. Když jsem v roce 2013 poprvé zavítal do Chamonix, občas jsem zahlédl lidi nosící respirátor. Bohužel ti lidé, kteří jej nosili byli místní obyvatelé, jenž si uvědomují, že kvalita místního ovzduší je již desítky let nejhorší z celé Francie a zároveň jedna z nejhorších v Evropě (Bernard Marclay. 2015). Úroveň některých chemických látek a škodlivých částic ve vzduchu jsou nejen nezákonně vysoké, ale jak se již potvrdilo, mají přímé důsledky pro lidské zdraví a též ovlivňují povrch ledovců jak ve svém prohlášení uvádí OSN (UN environment programme, 2019).

6.7 Důvody znečištění ovzduší

Geografická poloha údolí: Vzhledem k tomu, že se údolí Valee de l'Arve směrem k Chamonix zužuje a masiv Mont Blanc zvyšuje nadmořskou výšku, dochází k tomu, že údolí má tvar písmene V, což znamená, že vzduchová hmota je zde velmi stabilní, neboť je chráněna před větrem a často je zachycena teplotní inverzí. To za vysokého tlaku ovzduší brání vzduchu stoupat a cirkulovat, takže šíření znečišťujících látek je pomalejší a jejich akumulace v nižších vrstvách atmosféry je tím podporována. To je hlavní důvod, proč je tato oblast mimořádně citlivá na znečištění ovzduší.

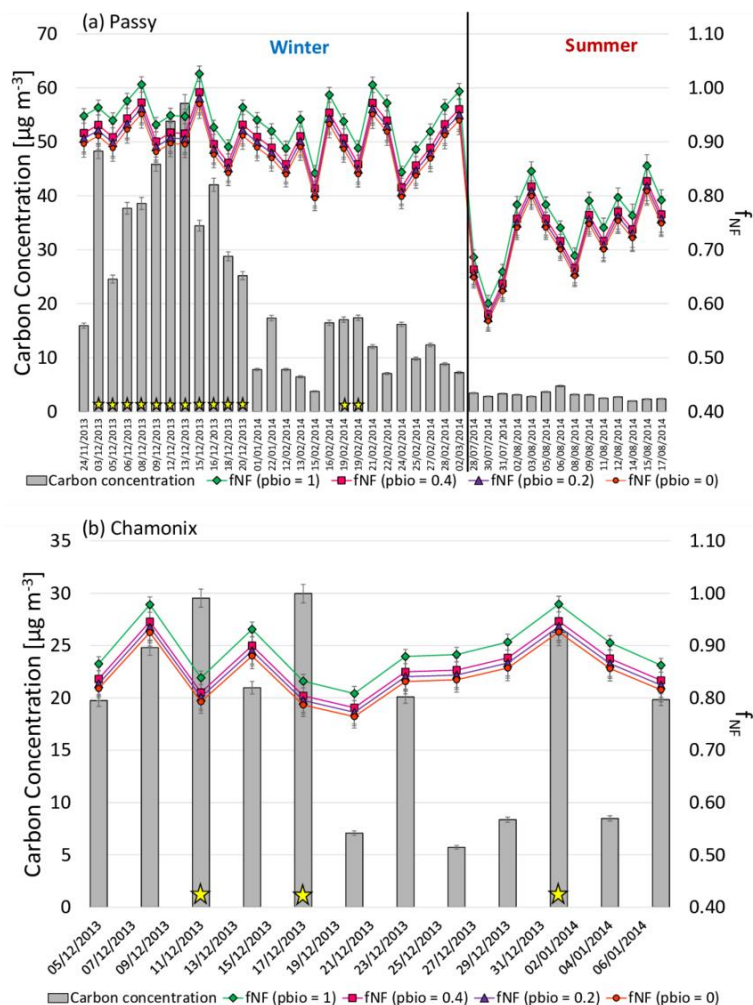
Chamonix se kromě vyhledávaného místa turisty též stalo tranzitním bodem mezi Francií a Itálií, neboť u něj ústí tunel Mont Blanc, kterým ročně projede kolem půl milionu nákladních aut a doprava v údolí je mnohdy tak hustá, že ji musí regulovat stát (Guardien, 2015). Před údolím Valee de l'Arve se nachází průmyslová oblast Passy a v samotném údolí se nachází několik průmyslových firem. K vytápění domů se využívá pálení dřeva a biomasy, což bylo v roce 2012 úředně zakázáno.

6.8 Černý uhlík

Černý uhlík, neboli saze (anglicky black carbon) se skládá z čistého uhlíku v několika propojených formách, jež vzniká za nedokonalého spalování fosilních paliv, biopaliv a biomasy. Jde o aerosolovou částici o velikosti 2,5 µm, neboli PM 2,5, která je emitována v antropogenních a přírodně se vyskytujících sazích. Černý uhlík je látka s poměrně krátkou životností po uvolnění do atmosféry kde setrvává od několika dnů až týdnů, oproti CO₂, který taktéž vzniká při nedokonalém spalování, ale v atmosféře může zůstat i 100 let. Uhlík je takzvaný činitel radiačního působení, jež způsobuje ohřívání naší planety, neboť díky své černé barvě absorbuje v atmosféře sluneční záření, které mění teplo a to přibližně 460 – 1500x více než CO₂ a také při dopadu snižuje albedo u sněhu a ledu a zvyšuje jejich teplotu, přičemž zásadně ovlivňuje i tvorbu oblačnosti a srážky. Zásadní dopad má i na zemědělství, kde díky ukládání se na listy rostlin zvyšuje jejich teplotu, stmívání slunečního světla, které dopadne na zemský povrch a též stojí za modifikací srážkových vzorců. V neposlední řadě pak ovlivňují i kvalitu lidského zdraví, kde je spojován s plicními a srdečními onemocněními, mrtvicemi a infarkty. Ačkoliv emise tohoto prvku v rozvinutých zemích za poslední desítky let výrazně klesly díky přísnější legislativě a monitoringu ovzduší a tak asi není překvapením, že 88% celosvětových emisí tohoto prvku vyprodukuje Asie, Afrika a Latinská Amerika. Přitom 51% je produkováno v domácnostech při vytápění a vaření. Pokud by se povedla prosadit celosvětová dohoda o snížení emisí tohoto prvku, mohlo by to v relativně krátké době přinést klimatické a zdravotní přínosy.

sektor	podíl na emisích (%)
domácnosti	51
doprava	26
zemědělství	8
průmyslová výroba	5
spalování odpady	5
těžba fosilních paliv	3
ostatní	2

Tabulka 6.8: produkce sazí (autor, 2023)



Obr. 6.8: Porovnání stavu sazí v ovzduší mezi zimou a létem (anonymous 2014)

Z obrázku 6.8 je jasně vidět diametrální rozdíl mezi obsahem sazí v ovzduší, mezi zimním a letním obdobím.

7. Srovnání změny stavu ledovců na leteckých snímcích

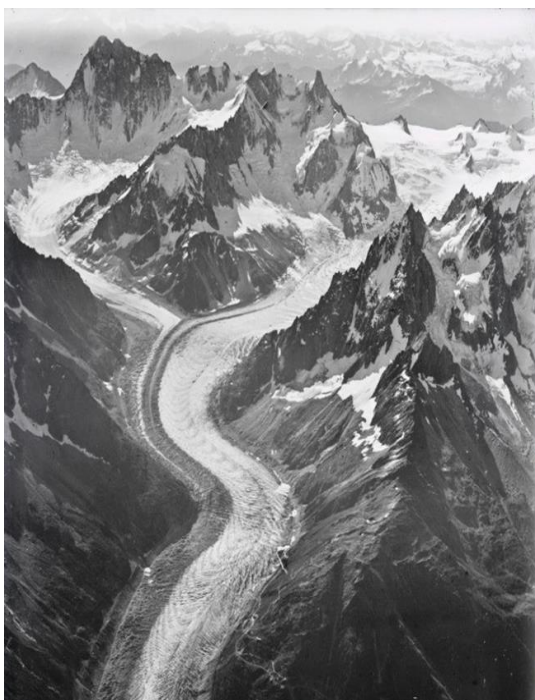
Nejsnadnější a nejrychlejší metodou pro porovnání stavu ledovce v čase je letecké, či satelitní snímkování. Nejde o nejlevnější metodu, ale rozhodně o nejrychlejší možnou. Abychom si utvořili lepší představu, jak se ledovce změnily za jedno století lze použít fotografie švýcarského pilota Waltera Mittelholzera, který v roce 1919 ze svého dvojplátníku pořídil fotografie tří největších ledovců masivu Mont Blanc. Tedy Mer de Glace, Bossonského ledovce a ledovce Argentiere. K nim v roce 2019 vytvořil Kieran Baxter a Alice Wattersonová z univerzity v Dundee a Islandske Univerzity srovnávací fotografie, díky nimž si lze jasně demonstrovat úbytky ledovců v krajině. Tyto fotografie, lze použít i pro porovnání vývoje krajiny, v okolí ledovce, z nichž je jasně patrné, jak uvolněné území díky samovolné sukcesy splynulo s okolím a znatelné jsou v některých případech jen kamenné svahy, které pro změnu svého rázu potřebují delší časový úsek, než je několik desítek let.

Dle vědeckých analýz se předpokládá, že horské oblasti mohou do roku 2100 ztratit vlivem změn klimatu až 80% svých ledovců. První dramatické změny se na stavu ledovců promítly již koncem 19. století a ve století minulém nabralo jejich odtávání na rychlosti, která akcelerovala posledních dvaceti letech století našeho.

Pro lepší představu jen uvádím, že černobílé fotografie pochází z roku 1919 a barevné byly pořízeny o 100 let později, tedy v roce 2019.

Ledovec Mer de Glace

Na srovnávacím snímku si lze povšimnout značné ztráty tloušťky ledovce, jež je na barevném snímku jasně patrna vrstvou horniny, jež se nachází v mezi ledovcem a zalesněnou plochou. Též dramaticky poklesl objem tzv. vyživovací ramene ledovce v levé horní straně. Ve vrcholových partiích hory je patrné, že tloušťka ledovce za posledních 100 let poklesla o desítky metrů a vrcholky hor jsou podstatně méně pokryty sněžnou pokrývkou, jež též slouží k vyživování ledovce.



Obr. 7.1 - stav ledovce v roce 1919



Obr. 7.2 - stav ledovce v roce 1919

Ledovec Argentiere



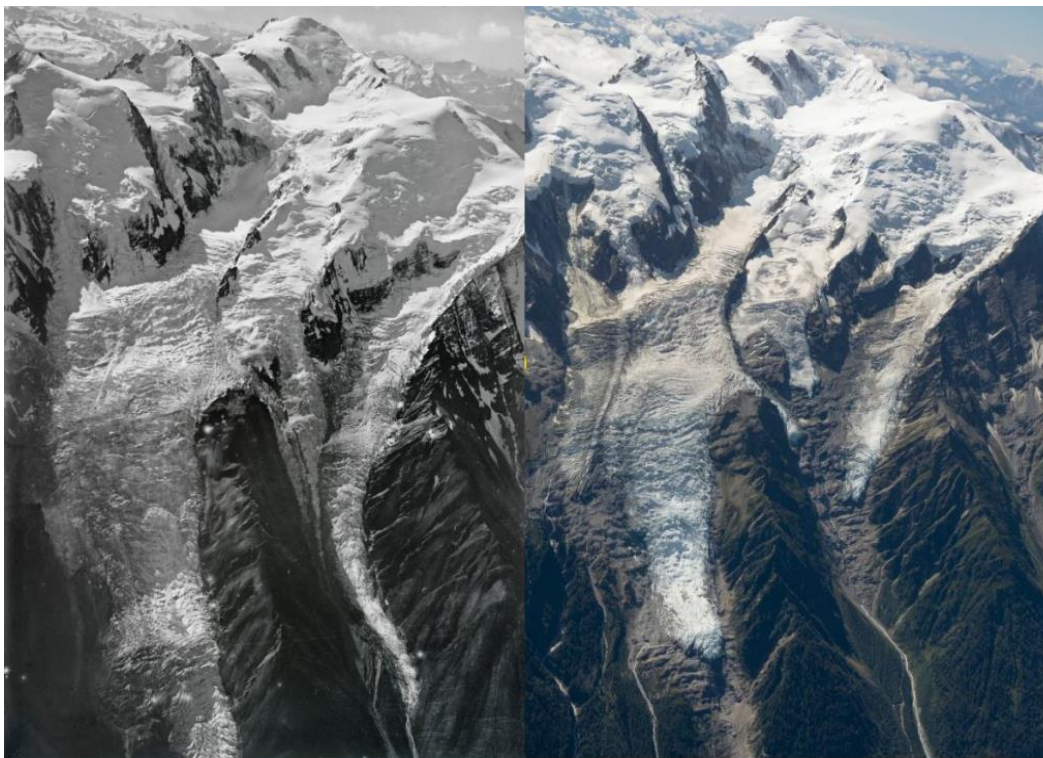
Obr. 7.4 – stav ledovce v roce 1919



Obr. 7.5 – stav ledovce v roce 2019

Na pravém snímku je jasně vidět o kolik stovek metrů se ledovec za posledních sto let zkrátil i o kolik desítek metrů poklesla tloušťka ledovcové masy. V pravém horním rohu je též patrné jak významně poklesla plocha zásobovací plochy ledovce. Která je na barevném snímku takřka neviditelná a svahy hor pokrývají úlomky horniny, které jasně naznačují, kam až led sahal v levé straně snímku, jež byla pořízena v roce 1919 a dává nám tak jasný důkaz o dramatickém odtávání ledovce.

Bossonský ledovec



Obr. 7.5

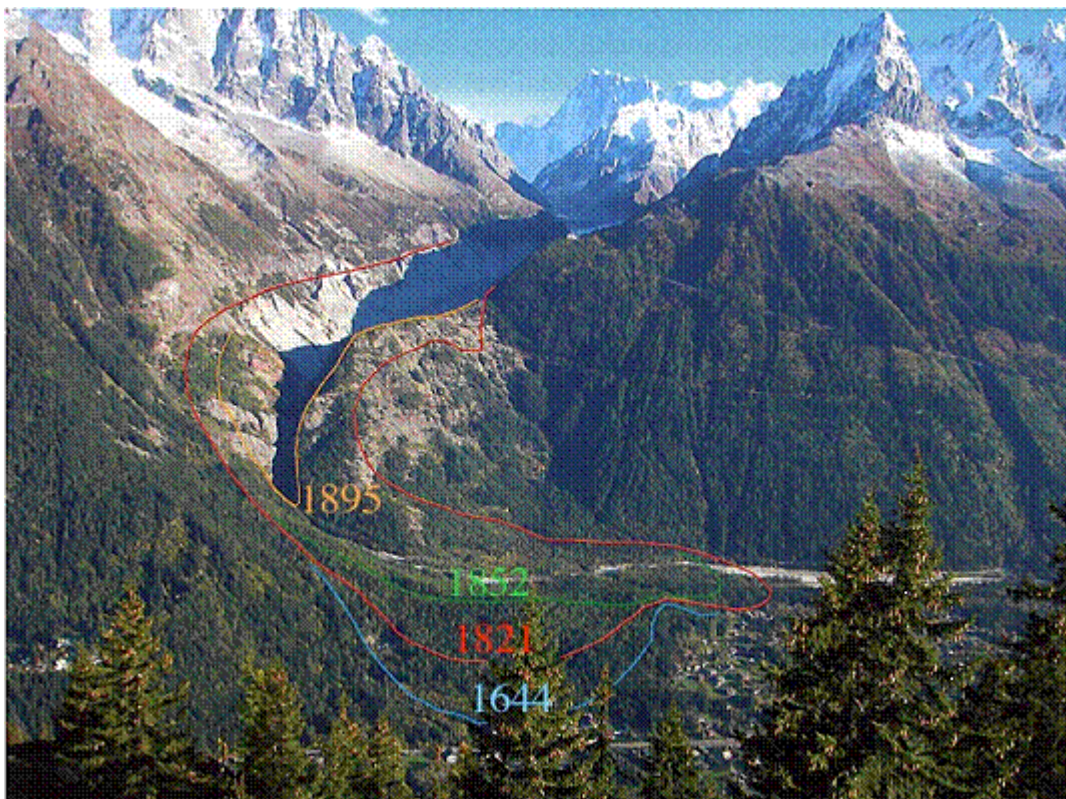
Obr. 7.6

Na snímku Bossonského ledovce, který sestupuje ze samého vrcholu hory Mont Blanc, si lze povšimnout, že ve spodních partiích se ledovec zkrátil o několik set metrů a plocha, jež kdysi zabíral, je již pokryta lesní vegetací, což znamená, že trend tání probíhá již desítky let. Stejně jako na předchozích snímcích je na barevné fotografii jasně patrná přechodová část mezi ledovcem a vegetací pokrytou plochou hory, jež je tvořena odlamujícími se kamením, jež ledovec při svém postupu do údolí za sebou zanechává. Díky tomu je jasně patrný pokles mocnosti ledovcové masy.

8. Výsledky studie

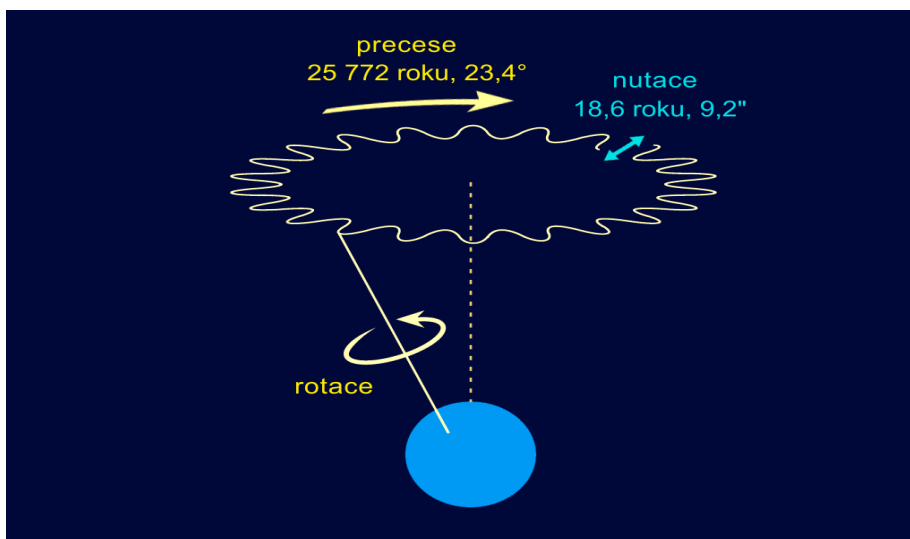
Roční ztráta ledovce Mer de Glace je 7,5 milionu metrů krychlových zmrzlé vody. Svého maximálního objemu dosahoval podle tabulky 3. Přehled ústupu ledovce v letech 1570 – 2005 v roce 1644, kdy byl o 50 m delší, jak v roce 1821, tedy období od něž máme přesné měření délky ledovce až po současnost. Nutno podotknout, že měření délky ledovce do roku 1800 jsou dosti nepřesná a mnohdy se vychází z písemných záznamů, jež se v pozdější době porovnávaly s reálnou mapou krajiny. Z vizualizace na obrázku 23 je patrné, že rozdíly v délce nejsou u tohoto ledovce ničím výjimečným, ovšem první dramatické výkyvy v délce započaly začátkem 18. století. Takřka do své původní délky se Mer de Glace dostal roku 1820,

tedy ke konci malé doby ledové. Za níž je označováno období mezi 14. a 19. stoletím a vrcholila ve století sedmnáctém. V tomto období poklesla průměrná teplota o 0,4 – 0,6 stupně Celsia, přičemž tento pokles je přičítán několika možným faktorům:

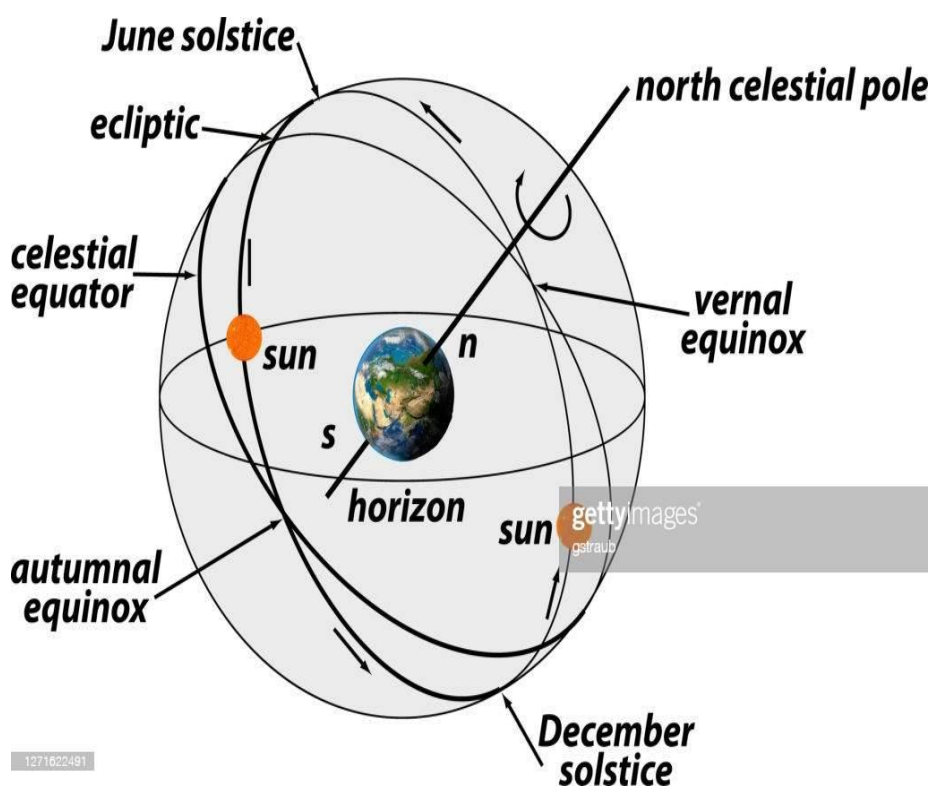


Obr. 8.1 – Přehled odtávání ledovce Mer de glace (S. Nussbaumer, 2008)

Milankovičovy cykly, což jsou klimatické kvaziperiodicky se opakující změny v příjmu slunečního záření, jež jsou zapříčiněny výkyvy v oběhu planety Země kolem Slunce v kombinaci s nehomogenitou příjmu Země (různé albedo, či možnost zalednění na různých hemisférách). Tyto změny mohou na naší planetě ovlivňovat řadu klimatických parametrů jako jsou změny podnebí, tedy zalednění nebo naopak globální oteplování. To vše je zapříčiněno faktem, že zemská osa uskuteční jeden cyklus precese (krouživý pohyb zemské osy přibližně po plášti dvoukužele viz obrázek 2) za přibližně 25.772 let, přičemž současně dochází ke změně sklonu osy a to v rozmezí 22,1 až 24,5 stupni. Navíc Země obíhá kolem Slunce po eliptické dráze, jejíž excentricita se mění od nuly (kruhová dráha) až po 0,06 v cyklu necelých 100.000 let. (Cílek V./5.9.1995/Vesmír 74, 488)



Obr. 8.2 – schéma pohybu Země (Christopher Crockett, 2021)



Obr. 8.3 - schéma rotace země kolem Slunce (anonymous 2020)

Maunderovo minimum, jež je minimum sluneční aktivity, které na planetě Zemi probíhalo v letech 1638 – 1715. V tomto období se na Slunci neobjevovaly téměř žádné sluneční skvrny, což zapříčinilo výrazně chladnější počasí na Zemi. Naopak 20. století je označováno jako sluneční maximum. (Science week, nedatováno)

Vulkanická zima je považována, za třetí faktor, který mohl vést díky různým erupcím vést k ochlazení klimatu. To je zapříčiněno vyvržením prachu a plynů do atmosféry po erupci sopky (Samalas v roce 1257, Kuwae roku 1453, či sopka Pinatubo v roce 1991)

Rozdíly v tání ledovce za období let 1570 – 2005 lze sledovat v tabulce 2 a grafu X. Z nich je patrné, že ledovec dosáhl své největší délky v roce 1645, tedy v druhé polovině malé doby ledové. V šestnáctém století jeho délka dorůstala a růst ledovce poprvé ustal až v roce 1610. Za následujících 10 let ledovec odtál o 350 m a poté opět prodlužoval svou délku až ke svému maximu. Na konci století byla jeho délka o 100m kratší. Ve století osmnáctém délka kulminovala mezi -650 až -150 m. Srovnáme-li měření délky z dalších let, dojdeme k závěru, že ledovec každých 100 let odtává o 100 metrů více. Alarmujícím faktem však zůstává, že za 20 let tohoto století odtál ledovec o tolik, co běžně odtaje za 100 let.

9. Diskuze

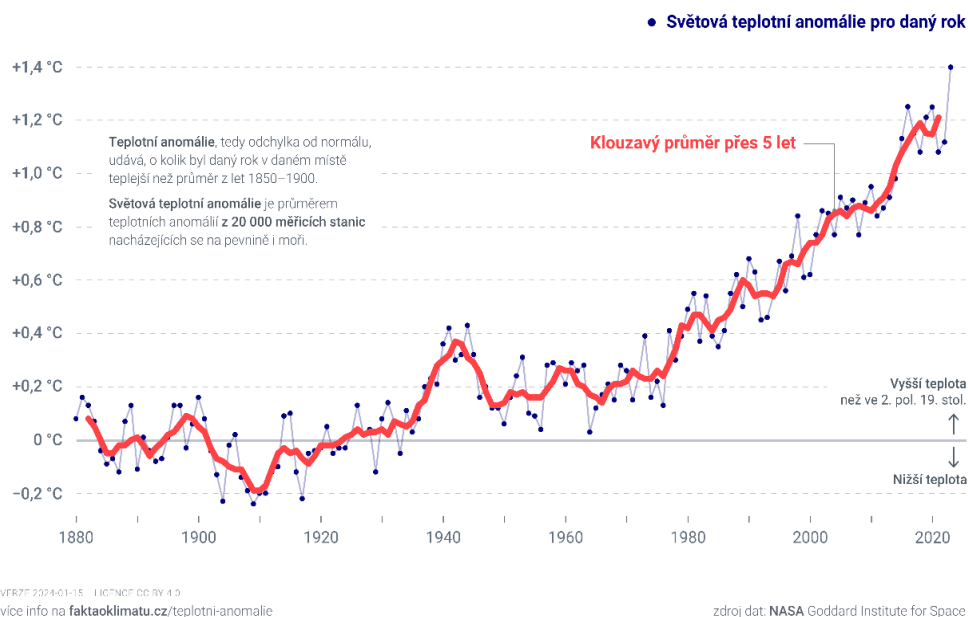
Dle Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude Chamonix (CREA) díky jejich výzkumům tato práce měla možnost získávat cenná data z oblasti masivu Mont Blanc, lze za hlavní faktory zrychleného tání ledovců patří celosvětově se zvyšující teplota a nárazové vlny veder.

Například vlna veder z roku 2013 by tak dle meteorologických simulací byla průměrným létem v roce 2060 – 2075. Důvod, proč se v horách zvyšuje teplota rychleji, než jinde na planetě je stále vědecky zkoumán, ale možné vysvětlení by mohlo být připisáno albedu, tedy podílu slunečního záření, který se odráží nebo rozptyluje od zaledněného, či zasněženého povrchu. Toho jak známo v našem zájmovém území ubývá ve prospěch oblastí tmavých hornin, které naopak teplo akumulují. Stejně tak jako albedo, koncentrace vodní páry v atmosféře kolem pohoří by mohla lokálně zvyšovat skleníkový efekt.

V případě, že se i nadále bude zvětšovat tvorba emisí skleníkových plynů jako doposud, tak dle studie zveřejněné (CREA) v tomto místě do roku 2050 zvýší teplota o další 3 °C v porovnání s roky 1981 – 2010. S tímto faktem lze ve své podstatě souhlasit, neboť od roku 2020 je Evropa a nejen ta postihována teplotními anomáliemi a teploty atakující 35 °C nejsou již ničím výjimečným ani na území České republiky. O důsledcích klimatických změn se tak lze více dozvědět na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMU, nedatováno). Graf globálního zvyšování teplot od doby předindustriální až po současnost vypracovala agentura NASA a pro nás jej otiskl na svých stránkách server Fakta o klimatu.

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLOTNÍ ANOMÁLIE

Svět je nyní o přibližně 1,2 °C teplejší než v letech 1850–1900. V posledních 40 letech se otepluje tempem 0,2 °C za desetiletí.



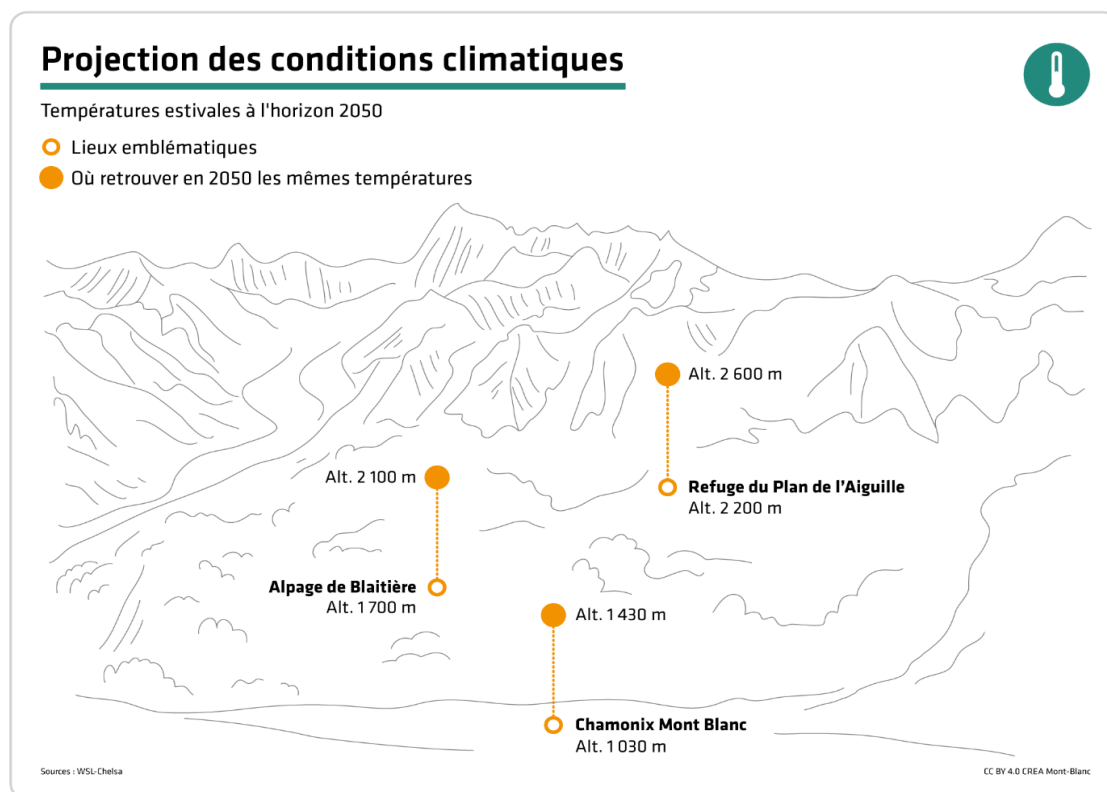
Obr. 9.1 – Vývoj světové teplotní anomálie (anonymus, 2022)

Z tohoto grafu je jasně patrné, že od roku 1920, tedy za 100 let stoupla globálně teplota o 1,2 °C, což je více jak alarmující.

Dalším závažným problémem pro existenci ledovců je úbytek tzv. mrazových dnů, tedy dnů s minimální teplotou pod 0 °C, kdy je ledovec schopen akumulovat ke svému růstu novou hmotu, tedy sněh a led. Dle výzkumu institutu CREA by pro vysoké hory tento úbytek měl činit do roku 2085 30 – 40%. V zimě a na jaře se očekává mírně vyšší množství srážek, zejména pak v extrémních událostech, kdy by tento nárůst měl činit 10 – 20%. Bohužel tyto srážky budou padat jako déšť a to až do vyšších nadmořských výšek. Pro nadmořskou výšku 2000 m se do roku 2050 předpokládá pokles srážek ve formě sněhu o 30 až 35%. Na tento fakt upozorňuje ve své knize *Glaciers, The Politics of Ice*, J. D. TAILLANT. Nutno též podotknout, že s podobným problémem se setkáváme i na našich horách.

Ovšem institut CREA, kromě alarmujících prognóz o vývoji ledovců v oblasti masivu Mont Blanc zašel ještě dále a poukazuje v jedné ze svých studií na fakt, že pokud by si dle teplotních měření a studií fauna a flora chtěla udržet stejné teplotní podmínky, musely by každých 10 let migrovat o 100 výškových metrů výše (Atlas Mont Blanc, nedatováno). Dle posledních předpokladů by do roku 2050 musely migrovat o 400 výškových metrů, neboť zrychlené tání ledovců by celý proces dramaticky urychlil. Jenže zde se dostáváme do paradoxu, neboť pokud ledovec skutečně odtaje, zbude po něm pouze žlab plný uvolněného kamení, který dokud nebude ovlivněn samovolnou sukcesí pouze akumuluje sluneční světlo a ve dne se stává pro faunu zcela nehostinným. Navíc uvažme, že z lokalita by přišla o významný zdroj vody, což by sukcesí a návrat flory a fauny ještě více zbrzdil, takže zde si s tvrzením dovoluji souhlasit pouze do momentu, kdy z ledovců zůstane ještě

ta část, která bude níže položená místa zásobovat vodou. V momentu, kdy ledovec odtaje, tak se lokalita stává pro zvěř i rostlinstvo zcela neatraktivní.



Obr. 9.2 – Projekce klimatických podmínek (anonymus, 2022)

Dle predikcí (CREA) by se v létě měl počet letních dní, kdy je teplota nad 25 °C ze současných 5 měl do roku 2050 zvýšit na 35 dní, zatímco tropické dny, kdy je teplota nad 32 °C by se z dnešních 2 mohl zvýšit až na 17 – 22 na dně údolí, což bude mít nevratné dopady na veškerou horskou krajinu.

Naopak počet mrazových dnů, kdy teplota klesne pod 0° C prudce klesá. V zimě se pro Chamonix předpokládá, že počet dní s celodenní zápornou teplotou se do roku 2100 sníží o 30 - 35%. V letních měsících by pak počet těchto dnů v nadmořských výškách 3500 – 4500 m měl poklesnout o 45 až 50%. Tento ústup chladu je symbolizován vzestupem izotermy 0 ° C, tj. výškové hranice, nad níž zůstávají průměrné teploty pro dané období záporné. Letní izoterma 0 ° C stoupne do roku 2050 z 3800 na 4200 metrů nad mořem.

Odtání ledovce bude mít ve své podstatě pro region dalekosáhlé následky, neboť jak ve své knize Gletscher den Alpen uvádí R.C. Bachmann: „Alpský ekosystém je velmi citlivý na klimatické změny, které mají vliv na ledovce, sníh, vegetaci a půdu. Cílem je ilustrovat dopady globálních změn na alpínský půdní ekosystém, což je optimální marker pro jejich zaznamenání. Rukopis rozšiřuje naše chápání vlivu globálních změn na alpínské prostředí: na morfologii, na led, na vegetaci a poukazuje na to, jak se změnily cykly půdních živin s přímým účinkem na půdy, které podporují rostlinné druhy. Změny v kryosféře, úbytek ledovců a periglaciální prostředí při ústupu ledovců, pokles rozsahu sněhové pokrývky a dřívější tání sněhu určují vliv na půdu (na strukturu, formy organické hmoty a humusu, půdní procesy a půdní typy) od vrcholu alpínského horizontu dolů. Procesy vyvolané klimatickou

změnou (jako je eroze a posun hranic lesa) mají přímý vliv na vodní bilanci, který lze pozorovat na charakterech půdního profilu s vlivem na vzestupnou migraci, změnu fenologie, rozsáhlé ztráty druhů. Rovnováha biogeochemických cyklů se změnila, což má přímý vliv na půdy, které podporují rostlinné druhy“.



Obr. 9.3 – Krajina po odtání ledovce, ledovec Bionassay (autor, 2014)

Jak vypadá krajina po odtání ledovce si můžeme ukázat na obrázku č. 26. Zde je jasně vidět, že úbočí bývalého ledovcového žlabu, který po sobě zanechal Bossonský ledovec tvoří svahy s nespevněným kamením a malé ledovcové jezero, z něž voda stéká do již zalesněných spodních částí údolí. Samovolná sukcese stejně jako spodní partie, kde se ledovec nacházel v 19. století zakryje v řádu několika desítek let.

Vzniklou situaci se vláda společně s místní samosprávou snaží vyřešit přijetím nápravných opatření, díky kterým chce situaci v maximálním možném rozsahu zbrzdit, neboť jak jsme si uvedli výše, prognózy pro masiv nejsou zrovna příznivé a již několikrát na ně při svých návštěvách regionu poukazoval i sám francouzský prezident Macron.

Stav ovzduší v první dekádě našeho tisíciletí byl natolik alarmující, že správa regionu musela v roce 2012 zavést v platnost dva akční plány, díky nimž by se situace v tomto území měla během několika let zlepšit a místním obyvatelům by tak vzrostla kvalita životní úrovně. Akční plány byly pro zlepšení kvality ovzduší byly rozděleny pro vážnost vzniklé situace na plán pro stav nouze a dlouhodobý plán.

Akční plán pro stav nouze

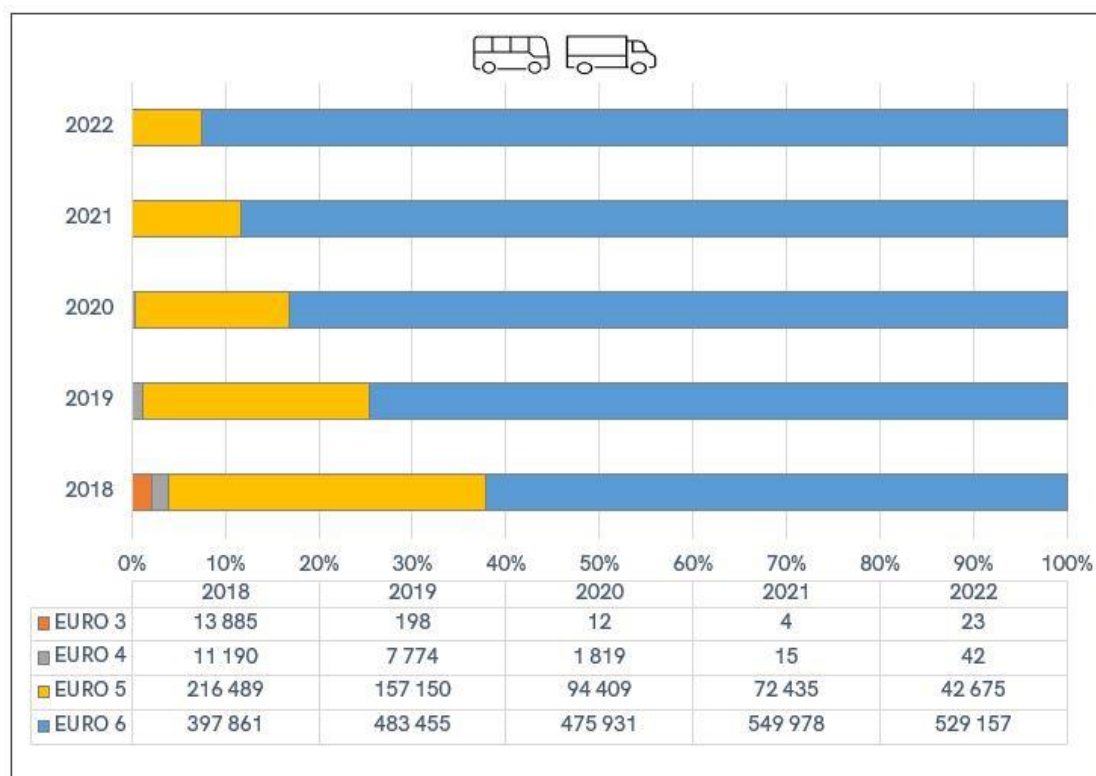
Jde o dočasná opatření, která mají být přijata při vyhlášení poplachu o znečištění ovzduší:

Zastavení všech systémů na vytápění dřevem, které nemají čisticí filtry, pokud nejsou výhradním prostředkem pro vytápění v budově. Toto opatření

Omezení provozu tunelem Mt. Blanc

V případě velmi špatného ovzduší by se část dopravy přesměrovala do údolí Vallée de Maurienne, pokud také nebude čelit kritickému znečištění ovzduší, v takovém případě bude provoz omezen během noci. Bohužel omezování dopravy tunelem Mt. Blanc pouze přesune problém do jiného údolí, pokud není spojeno s povinným přesměrováním na vlakový tunel, jako je autovlaková doprava AITON (Charmbery – Turino). Postupné omezování vjezdu nákladních aut a autobusů s katalyzátory pod EURO4 si lze povšimnout na přiloženém grafu.

Z něj je patrné, že s postupujícím časem tunelem projíždí stále méně autobusů a nákladních vozů s katalyzátory pod EURO 5, což je pro ovzduší v údolí velmi dobrá zpráva.



Obr. 9.4 - Přehled průjezdů tunelem Mont Blanc dle typu katalyzátoru pro nákl. a autobusovou dopravu (anonymous, 2023)

Nutno podotknout, že dle výsledků měření kvality ovzduší se v našem regionu kvalita vzduchu postupně zlepšuje a na ulicích již nepotkáváte obyvatele s respirátory, jež byly pro danou lokalitu typické pro období let 2010 – 2014.

Zákaz ohňostrojů: Obrovský nárůst částic v suspenzi je každoročně pozorován ve vzduchu během prvních několika hodin 1. ledna. Z tohoto důvodu bude zákaz ohňostrojů rozšířen na celé francouzské území masivu Mont Blanc.

Dlouhodobý plán

Konstantní opatření, která jsou přijímána nebo zaváděna za účelem dosažení zákonné úrovně znečištění ovzduší (do jednoho nebo dvou let)

Snížení emisí (PM10, PM2,5, HAP, COV) ze spalovacích zařízení

Tento záměr bude aplikován jak průmyslovém sektoru, tak i u soukromých domech. Některé nové stavební projekty v údolí budou dostávat finanční podporu nebo daňové úlevy na instalaci nebo výstavbu udržitelných systémů vytápění, jako jsou částicové filtry, solární panely a izolace budov. Byly zavedeny nové předpisy pro průmyslové emise. Se stejnou problematikou se ve své podstatě v zimních měsících potýkala i naše republika a nutno podotknout, že díky státním podporám pro solární energii a podpoře tepelných čerpadel namísto neekologických kotlů na tuhá paliva se situace dramaticky zlepšila i u nás, což v údolí, jež je z obou stran lemováno o 2 až 3 tisíce metrů vyššími štíty hor je něco co musíte poznat skoro okamžitě. Osobně musím uznat, že od roku 2018 se do údolí po horské túře schází podstatně lépe než jak tomu bylo v minulosti, kdy údolí bylo překryto krovem nedýchatelného vzduchu.

Zákaz spalování zeleného odpadu v zahradách, lesích a zemědělských polích

Dodržování tohoto zákazu má být ze strany obcí a policie důsledně kontrolováno, neboť bylo zjištěno, že spálení 50 kg vegetace se přibližně rovná 20 000 km jízdy s moderním benzínovým autem (pokud jde o emise PM10), nebo půl sezóny vytápění malého bytu. Obyvatelům budou nabízena alternativní řešení pro likvidaci odpadu jako jsou kompostování, či odvoz do sběrného dvora. Vezmeme-li v úvahu, že oněch 50 kg vegetace jste schopni nashromáždit každých 14 dní pouhým sečením trávy na pozemku o rozloze přibližně 1000 m², tak se dostáváme do skutečně astronomických hodnot, jež každá zahrada za rok vyprodukuje v případě, že vegetace bude spalována.

Bude se více kontrolovat zákaz "mýcení ohněm" v lesním a zemědělském hospodaření, který byl zaveden již v roce 2004. O problematice black carbonu neboli sazí, jsme již v této práci psali, takže tento zákaz bude pro naše zájmové území velmi prospěšný a velmi rychle pozorovatelný.

Snížení emisí v dopravě (NO₂, PM10, HAP, PM2,5):

- pro snížení emisí v celém údolí, byla zavedena bezplatná autobusová doprava. Ta již v roce 2015 přepravila 3 miliony cestujících, tedy trojnásobek než v předešlých letech. Ke zvyšování používání hromadné dopravy, přispěla bezplatná parkoviště, jež mohou turisté využívat v periferiích větších obcí. Bohužel o bezplatných parkovištích se dozvíte hned při vjezdu na ně, jenže o tom, že je možné využívat hromadnou dopravu zdarma se krom místních turista dozví velmi těžko. To je dle mnoha turistů velká škoda, neboť větší propagací bezplatné dopravy by i turisté více této služby využívali a doprava by se v regionu dramaticky snížila.

- Pro zlepšení veřejné dopravy, bude pokračováno ve výstavbě cyklostezek a chodníků, což zprvu vypadalo velmi úsměvně, ale vzhledem ke stále větší oblíbenosti cyklistiky a inline bruslí, získává region na atraktivitě, neboť původně mekka lyžování a horolezení rázem získala své využití celoročně. Větší společností se zaměří na dopravu svých zaměstnanců (např. sdílením aut, či firemních svozů zaměstnanců autobusovou dopravou). Do horských středisek budou zajištěny organizované dodávky zboží a potravin, což povede k regulaci dopravy v zimě. Tento model se postupně zavádí napříč celou Evropou a nutno podotknout, že jde o

jeden z nejrychlejších způsobů snížení CO₂ stopy na zaměstnance a ve své podstatě z něj může profitovat i samotná firma.

10. Závěr a přínos práce

Je jasné, že odtání pevninských ledovců nebude mít pro lidstvo až tak fatální důsledky oproti tání ledovců v Arktidě, ale jak je uvedeno v knize *Encyclopedia of snow, Ice and Glaciers*: „Zemská kryosféra, která zahrnuje sníh, ledovce, ledové čepice, ledové příkrovy, šelfové ledovce, mořský led, říční a jezerní led a permafrost, obsahuje asi 75 % sladké vody na Zemi. Existuje téměř ve všech zeměpisných šířkách, od tropů po póly, a hraje zásadní roli při kontrole globálního klimatického systému. Poskytuje také přímé viditelné důkazy o vlivu změny klimatu, a proto vyžaduje náležité pochopení její složité dynamiky“. Pokud se rychle nesníží produkce oxidu uhličitého (CO₂) a my o tuto zásobu sladké vody přijdeme, dojde k dalším mnohem závažnějším změnám v přírodě a tou jest okyselení oceánů. Průměrná kyselost (Ph) oceánů je nyní 8,1. Přičemž dle studií mnohých oceánologů se na snižování Ph nejvíce podílí spalování fosilních paliv, tedy ten samý jev, jež má velký podíl na tání ledovců v naší zájmové oblasti. Odhady uvádějí, že 30 – 40% lidstvem vyprodukovaného oxidu uhličitého vypuštěného do atmosféry se následně rozloží do vodních ploch, tedy řek, jezer a oceánů. Kyselost v roce 1750 se pohybovalo na hranici 8,25 a do roku 1996 kleslo na 8,14. Což znamenalo nárůst H⁺ iontů ve světových oceánech o 35%. To má zjednodušeně za následek dramatické změny v ekosystému, například odumírání korálů, migrace živých organismů a další.

Vše z výše uvedeného bude mít pokud v brzké době nenastane dramatická změna fatální důsledky z nichž ty socio-ekonomické nebudou ty nejhorší. Berme tedy tento výzkum jako určité varování neboť stále existuje možnost změny.

Jak nám ukázala měření délky ledovců od 17. století až po současnost, ledovce svou délku v rámci staletí měnily, jenže ústup za posledních 100 let je natolik enormní, že se veškerým dosavadním měřením vymyká a je zcela nepravděpodobné, že jde o přirozený jev, jak tomu bylo v minulosti.

V našem zájmovém území bychom pro zlepšení nepříznivého vývoje klimatu mohli odklonit nákladní a kamionovou dopravu, která touto lokalitou pouze projíždí a nezbytný transport směřovat na železnici. Ta by též měla v budoucnu převzít hlavní roli v osobní dopravě návštěvníků tohoto regionu. Tím by došlo ke značné eliminaci plynů CO₂ z dopravy a tím značně zlepšit kvalitu ovzduší. Pokud bude i nadále podporován moderní a značně ekologičtější způsob vytápění, budeme moci eliminovat jeden z nejdůležitějších faktorů, jež se na tání ledovců podílí.

Ostatní faktory se bohužel budou muset řešit na vyšší, než lokální úrovni.

Tuto práci bych si dovilil zakončit citací z knihy *Ledovce* od M. Beneše: „Led je fascinující materiál. Tajemný, někdy nevypočitatelně silný, ale také rychle zanikající. Ukrývá v sobě obrovskou ničivou sílu, aby vzápětí sám podlehl zkáze. Krásný a krutý, tvořící a ničící“.

11. Přehled literatury a použitých zdrojů

11.1 Doporučená literatura

- SHARP, R. P., 1991: Living Ice: Understanding Glaciers and Glaciation, Cambridge University Press, 248 s.
- TAILLANT, J. D., 2015: Glaciers, The Politics of Ice, Oxford University Press, 360 s.
- CUFFEY, K., PATERSON, W. S. B., 2010: The physics of Glaciers – 4th Edition, Academic Press, 704 s.
- DEMEK, J., 1987: Obecná geomorfologie, ACADEMIA, Praha, 476 s.
- BACHMANN, R.C., 1978: Gletscher den Alpen, Bern: Hallwag, 304 s.
- BENEŠ, M., 2005: Ledovce, Junior, s.r.o., 153 s.
- KRÁL, V., 1999: Fyzická geografie Evropy, ACADEMIA, 350 s.
- BEHRINGER, W., 2010: Kulturní dějiny klimatu, Od malé doby ledové po globální oteplování. Přeložil Vladimír Cinke. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Paseka, 408 s.
- BENN, D., EVANS, D. J. A., 2010: Glaciers and Glaciation, 2nd edition, Routledge, 816 s.
- SHRODER, J.F., BISHOP, M. P., TRANTER, M., HAEBERLI, W., BJOERNSSON, H., OERLEMANS, H., 2011: Encyclopedia of snow, Ice and Glaciers, Springer, 463 s.
- RUDA, A., 2014: Klimatologie a Hydrogeografie pro učitele, Masarykova Univerzita, 257 s.

11.2 Odborné články

- DAGGSON-WALDHAUSEROVA, P., MEINANDER, O., 2020: Atmosphere – Cryosphere Interaction in the Arctic, at High Latitudes and Mountains With Focus on Transport, Deposition and Effects of Ductm Black Carbon, and Other Aerosols, *Frontiers in Earth Science* 7, 337, 1 – 4
- DURGYEROV, M. B., MEIER, M. F., 2005: Glaciers and changing Earth System – 2004 Snapshot INSTAAR, Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Occasional Paper 58, 117.
- MEINANDER, O., DAGGSON-WALDHAUSEROVA, P., ARNALDS, O., 2016: Icelandic volcanic dust can have a significant influence on the cryosphere in Greenland and elsewhere, *Polar Research* 35, 3.

CASPARIAN, E.L., 2011, The Evolution of the Mer de Glace Glacier, Conqcontinents, Volume 1 / Numéro 2, str. 118-132

11.3 Internetové zdroje

Hammerer Aluminium Industries, 2022, str. 1:

<https://www.hai-aluminium.com/wp-content/uploads/2023/06/SUSTAINABILITY-REPORT-2022-EN.pdf>

Ekokom, 2022, str. 1:

<https://www.ekokom.cz/cz/ostatni/o-spolecnostia/system-eko-kom/vysledky-systemu/>

Centrum výzkumu dopravy, 2023, str. 1:

<https://www.cistadoprava.cz/tiskove-zpravy/q1-2023-v-eu-se-mezirocne-prodalo-o-43-vice-elektromobilu-jak-je-na-tom-cesko/>

ing. Miroslav Modlík, 2024, str. 1:

<https://energetika.tzb-info.cz//26437-vyvoj-spotreby-energie-v-cr-v-obdobi-1990-2022>

Copernicus, 2018, str. 1:

<https://climate.copernicus.eu/alpine-glaciers>

European commision, 2019, str. 1:

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024_/european-green-deal_en

Jaroslav Synek a kol., 2022, str. 8:

<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl/term.pl?ledovec>

International rights of nature, 2021, str. 10:

<https://blogs.egu.eu/divisions/cr/2020/09/04/climate-change-cryosphere-how-the-chalaati-glacier-georgian-caucasus-changed-since-the-little-ice-age/>

European geosciences union, 2020, str. 18:

<https://tc.copernicus.org/articles/14/3979/%202020/>

Atlas Mont Blanc, 2021, str. 27:

<https://atlas.creamontblanc.org/survoler/>

Atlas Mont Blanc, 2022, str. 30

<https://atlas.creamontblanc.org/explorer/enneigement/>

Bernard Marclay, 2015, str. 31:

<https://www.mountainwilderness.org/2015/06/11/economic-financial-costs-air-pollution-mont-blanc/>

UN environment programme, 2019, str. 31

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/glaciers-are-melting-and-air-pollution-cause>

Guardien, 2015, str 32:

<https://www.theguardian.com/environment/2015/mar/05/why-does-chamonix-have-some-worst-air-pollution-france>

Science week, nedatováno, str. 38:

www.scienceweek.cz/slunecni-skvrny-a-zmeny-klimatu-lid-11474

ČHMU, nedatováno, str.39:

<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>

Atlas Mont Blanc, nedatováno, str. 40:

<https://atlas.creamontblanc.org/survoler/>

11.4 Zdroje pro obrazovou přílohu

Obr. 3.1: https://www.researchgate.net/figure/Location-of-the-Mont-Blanc-Massif-and-the-Aiguille-du-Midi-red-triangle-modified-from_fig1_258623202

Obr. 3.2.1: <https://www.aqi.in/dashboard/france/auvergne-rhone-alpes/chamonix-mont-blanc/chamonix>

Obr. 3.2.2: <https://www.aqi.in/dashboard/france/auvergne-rhone-alpes/chamonix-mont-blanc/chamonix>

Obr. 3.2.3: <https://www.aqi.in/dashboard/france/auvergne-rhone-alpes/chamonix-mont-blanc/chamonix>

Obr. 3.2.4: <https://www.aqi.in/dashboard/france/auvergne-rhone-alpes/chamonix-mont-blanc/chamonix>

Obr. 3.2.5: <https://www.aqi.in/dashboard/france/auvergne-rhone-alpes/chamonix-mont-blanc/chamonix>

Obr. 3.2.6: <https://www.aqi.in/dashboard/france/auvergne-rhone-alpes/chamonix-mont-blanc/chamonix>

Obr. 5.1.1: [archiv autora práce](#)

- Obr. 5.1.2: <https://genevasolutions.news/climate-environment/rocked-by-heat-and-climate-breakdown-the-mont-blanc-valley-looks-into-its-future>
- Obr. 5.1.3: <https://www.chamonix.net/english/leisure/sightseeing/mer-de-glace>
- Obr. 5.1.4: <https://www.seechamonix.com/news/mer-de-glace-and-access-gondola-early-open-for-summer-season-centre-716464>
- Obr. 5.1.5: <https://newenergynews.blogspot.com/2015/09/climate-change-at-mont-blanc-glacier.html>
- Obr. 5.1.6: <https://tc.copernicus.org/articles/14/3979/2020/>
- Obr. 5.3.1: https://glaciers-climat.fr/Bossons/Glacier_des_Bossons.html
- Obr. 6.2.1: <https://atlas.creamontblanc.org/survoler/>
- Obr. 6.2.2: <https://atlas.creamontblanc.org/survoler/>
- Obr. 6.4.1: <https://atlas.creamontblanc.org/explorer/enneigement/>
- Obr. 6.5.1: <https://atlas.creamontblanc.org/explorer/enneigement/>
- Obr. 6.8: https://www.researchgate.net/figure/Results-for-a-Passy-and-b-Chamonix-Grey-bars-represent-carbon-concentration-Days_fig6_304065338
- Obr. 7.1: <https://skiflightfree.org/chamonix-glaciers-photos/>
- Obr. 7.2: <https://skiflightfree.org/chamonix-glaciers-photos/>
- Obr. 7.3: <https://skiflightfree.org/chamonix-glaciers-photos/>
- Obr. 7.4: <https://skiflightfree.org/chamonix-glaciers-photos/>
- Obr. 7.5: <https://skiflightfree.org/chamonix-glaciers-photos/>
- Obr. 7.6: <https://skiflightfree.org/chamonix-glaciers-photos/>
- Obr. 8.1: <https://www.presseportal.ch/fr/pm/100002863/100553288>
- Obr. 8.2: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2021_17_osa.php
- Obr. 8.3: <https://www.astrolot.cz>
- Obr. 9.1: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplotni-anomalie>
- Obr. 9.2: <https://atlas.creamontblanc.org/survoler/>
- Obr. 9.3: [archiv autora práce](#)
- Obr. 9.4: <https://www.tunnelmb.net/en-US/the-commitment-in-favour-of-the-environment>

12.3 Zdroje pro tabulky a grafy

Tabulka 5: https://wgms.ch/products_ref_glaciers

Tabulka 5.1.1: https://www.researchgate.net/figure/Fluctuations-of-the-Mer-de-Glace-France-during-and-following-the-LIA-reconstructed_fig1_322588185

Tabulka 5.1.2: https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

Tabulka 5.1.3: : : https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

Tabulka 5.2.1: https://wgms.ch/data/min-data-graphs/354-27_FV_rec_cum.png

Tabulka 5.2.2: https://wgms.ch/data/min-data-graphs/354-27_FV_rec_cum.png

Tabulka 5.3.1: https://www.researchgate.net/figure/a-Cumulative-glacier-length-changes-for-the-four-glaciers-Bossons-Mer-de-Glace-Oberer_fig7_323295691

Tabulka 6.1.1: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

Tabulka 6.1.2: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

Tabulka 6.1.3: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

Tabulka 6.1.4: <https://atlas.creamontblanc.org/mesurer/temperatures/>

Tabulka 6.3.1: <https://atlas.creamontblanc.org/explorer/enneigement/>