

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Michal OVČÁČÍK

Ledovce v Rakousku

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Irena SMOLOVÁ, Ph.D.

Olomouc 2009

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci řešil sám, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Olomouci dne 18. května 2009

.....

podpis

Chtěl bych poděkovat paní doc. RNDr. Ireně SMOLOVÉ, Ph.D. za rady, připomínky a doporučení, katedře geografie za umožnění studijního pobytu v Rakousku, svým přátelům a rodině za podporu a rady při tvorbě této práce a Dr. Astrid LAMBRECHT z Institutu Meteorologie a Geofyziky na Univerzitě v Innsbrucku za poskytnutá data.



Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geografie

Akademický rok 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student

Michal OVČÁČÍK

Obor (studijní kombinace)

Regionální geografie

Název práce:

LEDOVCE V RAKOUSKU

Glaciers in Austria

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je provést základní charakteristiku současného zalednění na území Rakouské republiky, která bude vycházet ze studia odborné literatury. Těžištěm práce bude rešerše literatury zabývající se problematikou výzkumu současného zalednění a glaciálních pochodů na území Rakouska a přehled v současné době realizovaných výzkumů v dané problematice v zájmovém území. Součástí práce bude základní typologie ledovců a charakteristika deglaciace v posledních 20 letech, vše ve vybraných regionech na území Rakouska.

Struktura práce:

1. Úvod
2. Cíle práce a metodika
3. Přehled dosavadních výzkumů a odborné literatury
4. Současný výzkum ledovců v Rakousku
5. Základní typologie ledovců
6. Současné zalednění na území Rakouska
 5. 1. Charakteristika nejvýznamnějších ledovců v Alpách
6. Vývoj zalednění v poledních 20 letech na vybrané lokalitě
7. Závěr
8. Shrnutí – Summary (česky a anglicky), klíčová slova – key words

Bakalářská práce bude zpracována v těchto kontrolovaných etapách:

rešerše literárních pramenů	červenec 2008 – únor 2009
tematické mapy	listopad 2008 – únor 2009
analýzy, typologie	únor – březen 2009

Rozsah grafických prací: text, grafy, mapy, fotodokumentace, tabulky.

Rozsah průvodní zprávy: 10 000 až 12 000 slov základního textu + práce včetně všech příloh v elektronické podobě

Seznam odborné literatury:


- DYURGEROV, M. B., MEIER, M. F. (2005): Glaciers and the Changing Earth System: a 2004 Snapshot. INSTAAR, Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Occasional Paper, 58, 71 s.
- GUTIÉRREZ, M. (2005): Climatic geomorphology. Developments in earth surface processes 8, Elsevier, Amsterdam, 760 s.
- HUGGETT, R. J. (2003): Fundamentals of Geomorphology. Routledge, London, New York, 386 s.
- HUGHES, T. (1973): Glacial Permafrost and Pleistocene Ice Ages. Permafrost. Nat. Academy of Sciences, Washington D.C., s. 213–223.
- KALVODA J. (2002): Glacial and periglacial processes. In: V. Čilek, R. H. Smith: Earth System: History and Natural Variability. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), EOLSS Publishers, Oxford.
- KNIGHT, P. G. (2005): Glaciers and Glacial Landscapes. Geographical Association, Sheffield, 56 s.
- STANLEY, S. M. (2005): Earth System History. New York: W.H. Freeman and Company, 567 s.
- STRAHLER, A., STRAHLER, A. (1999): Introducing Physical Geography. Wiley, New York, 575 s.
- SUMMERFIELD, M. A. (1991): Global geomorphology: an introduction to the study of landforms. Longman Scientific & Technical, New York, Singapore, 537 s.
- Webové stránky: např.: <http://www.gletscherarchiv.de/>, <http://www.swisseduc.ch/glaciers/>

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Irena Smolová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: červenec 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: květen 2009


vedoucí katedry


vedoucí bakalářské práce

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Cíle práce a metodika.....	7
3. Přehled dosavadních výzkumů a odborné literatury.....	9
4. Současný výzkum ledovců v Rakousku.....	14
5. Základní typologie ledovců.....	23
6. Současné zalednění na území Rakouska.....	30
6.1 Charakteristika nejvýznamnějších ledovců v Alpách.....	39
7. Vývoj zalednění v posledních 20 letech na vybrané lokalitě.....	47
8. Závěr.....	50
9. Summary.....	51
Seznam literatury.....	52
Seznam příloh	

1. Úvod

V posledních letech se na veřejnosti stále častěji hovoří o problému globálního oteplování, a jako důkaz jsou předkládány vysoké úbytky ledovců, jež mají podle mnohých odborníků velký vliv na další vývoj klimatu. Stále častěji se objevují katastrofální studie předních vědců, zabývajících se studiem klimatu, kteří ve svých pracích předpovídají v brzké budoucnosti zánik mnohých ledovců. Jedná se především o ledovce v nižších zeměpisných šířkách. Největší hrozbu však odborníci vidí v tání pevninských ledovců na Antarktidě a v Grónsku, což má za následky mimo zvyšování hladiny oceánů také změnu salinity, jež může negativně ovlivnit cirkulaci vody a narušit tak celý ekosystém oceánů. Navíc může mít změna v rozložení hmoty na Zemi také vliv na zemskou rotaci. Díky těmto obavám nastalo období zvýšeného zájmu o chování ledovců jak pevninských, tak i horských a snahy předpovědět jejich další vývoj. Velký vliv na charakter klimatu mají také horské ledovce v mírných šířkách, které ovlivňují sice menší oblasti, ale jejich vliv na odtok mnoha řek je také nezanedbatelný. Mezi nejlépe popsané ledovce patří ty v Alpách a ve Skandinávii. Díky dlouhým řadám záznamů a fotografiím je možno určit stav ledovců mnoho let zpět do minulosti, což je pro pochopení chování ledovců velmi důležité. Tato práce je zaměřena na alpské ledovce nacházející se na území Rakouska. Mezi nejvíce zaledněné oblasti patří v Rakousku Silvrettagruppe, Ötztaler Alpen, Stubaiier Alpen, Zillertal Alpen, Venedigergruppe, Glocknergruppe a další, které mají už podíl zalednění menší. Všechny ledovce jsou pozůstatkem rozsáhlého pleistocenního zalednění a krajina Alp se svými ledovcovými jezery, trogovými údolními a mnoha dalšími útvary jsou již jen pozůstatkem slavné doby ledovců na tomto území. V současnosti se zde jedná již jen o zbytky dříve rozsáhlého zalednění, které je i nadále na ústupu.

2. Cíle práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je provést základní charakteristiku současného zalednění na území Rakouska, jeho změn v posledních letech a seznámit s institucemi a projekty, které se zabývají zkoumáním ledovců.

Motivací pro výběr tohoto tématu pro mě byla především má záliba v horách a zimních aktivitách spojených se sněhem a ledem. Dalším podnětem byl také studijní

pobyt na Univerzitě v Klagenfurtu, který mi byl umožněn katedrou geografie. Má práce však započala již v české republice shromažďováním dostupné literatury týkající se zalednění, geomorfologie Rakouska a podobných témat o zájmovém území. Tuto velmi rozličnou literaturu, pocházející z knihoven v České Republice, knihovny katedry geografie v Olomouci a také z Universität Bibliothek Klagenfurt, jsem posléze použil jako podklady pro vypracování úvodu do problematiky ledovců. V této kapitole jsou popsány základy tvorby ledu a základní charakteristiky ledovců. Fotografie, které jsou přiložené, jsem pořídil při pobytu v Alpách v březnu 2008 a je na nich zachycena část ledovce ve známé lyžařské oblasti Pitztal v Ötztalských Alpách. Následující kapitola je přehledem institucí, které jsou podle mého nejdůležitější při výzkumu a sledování ledovců jak v globálním měřítku, tak pro Rakousko a jeho ledovce. K této kapitole jsem čerpal data téměř výhradně z oficiálních stránek těchto institucí a zpracoval jsem základní charakteristiku a pole působnosti každé z nich. Pro instituce pocházející přímo z Rakouska, kde se jedná především o výzkumné týmy univerzit, jsem charakterizoval také jejich nejnovější projekty a cíle. V 5. kapitole je popsána základní typologie ledovců, které jsem rozdělil na pevninské, horské a ostatní typy. Současné zalednění na území Rakouska je zpracováno s pomocí Astrid Lambrecht z Institutu pro Meteorologii a Geofyziku na Univerzitě v Innsbrucku, která mi velmi ochotně pomohla při získávání informací o stavu a vývoji ledovců v Rakousku. Sama se totiž v nedávné době podílela na vytváření ledovcového inventáře Rakouska. Data z této práce mi posloužila ke zpracování vývoje a celkových změn v rakouských Alpách v období mezi dvěma inventarizacemi. Konkrétněji je popsáno 5 ledovců, které jsem vybral podle velikosti (Pasterze, Gepatschferner), výjimečné poloze (Hallstätter Gletscher) a zaměření monitorovacích projektů. V posledním případě se jedná o Hintereisferner a Vernagtferner. Jako cenný zdroj informací mi posloužila kniha od Bachmanna (1975), která je sice staršího data vydání, ale obsahuje velké množství informací týkajících se popisu ledovců. Tuto publikaci jsem sehnal pouze v Národní knihovně v Praze, kde trvalo téměř půl roku než bylo možno si ji zapůjčit. Pro poslední kapitolu jsem vybral menší, již dříve zmíněný ledovec Vernagtferner, ležící v Ötztalských Alpách, který je jedním z nejdéle pozorovaných ledovců a existují tak dlouhé řady záznamů.

3. Přehled dosavadních výzkumů a literatury

Glaciologie je v úzkém slova smyslu věda zabývající se studiem ledovců. V podstatě o ní ale můžeme mluvit jako o vědě, která zahrnuje všechny aspekty sněhu a ledu. Je to interdisciplinární věda o Zemi, která v sobě spojuje poznatky z geofyziky, geologie, chemie, fyzické geografie, geomorfologie, klimatologie, meteorologie, hydrologie, oceánografie, biologie a ekologie (Knight, 1999). Název této disciplíny pochází ze slov „glacées - led“ a „logos - slovo“. Podstatou zájmů glaciologie je formování, distribuce, vlastnosti, chování a účinky ledovců na prostředí. Mezi prvními průkopníky této disciplíny se proslavil Jean Louis Rodolphe Agassiz (1807 - 1873). Jeho myšlenka, že ledovce jsou „velké radlice od Boha“ se stala velmi známá. Tento švýcarsko-americký zoolog, paleontolog, geolog a glaciolog se zasloužil o odhalení a propagaci pevninského zalednění na evropském kontinentu a je pokládán za iniciátora „Ledovcové teorie“. Trvalo však několik let než byla přijata vědeckou veřejností a vysloužila Agassizovi přívlastek „otec glaciologie“ (Knight, 1999).

Tabulka 1: Hustota a obsah vzduchu různých typů sněhu a ledu

Typ sněhu/ledu	Hustota g.cm ³	Obsah vzduchu
Čerstvý sníh	0,01-0,25	85 - 90%
Prachový sníh	0,05-0,20	Nedostupná data
Starý sníh	0,10-0,40	30 - 85%
Firn	0,55-0,84	20 - 30%
Ledovcový led	0,84-0,90	Méně jak 20%

Zdroj: (Demek, 1987; Euromedia Group, 2004)

Vznik ledovce začíná již v atmosféře, když se formují přechlazené vodní kapičky, které se srážejí na mikroskopických částicích prachu ve shluky a dávají tak základ pro vznik ledového jádra pro budoucí sněhové vločky. Ledová jádra se formují při teplotách okolo -10°C a na ně se postupně nabalují další kapičky podchlazené vody (Souček, 2007). K tomu stačí již teploty lehce pod nulou. Vznik sněhové vločky je provázen změnami podmínek, jako například teploty, obsahu vodních par, nečistot a dalších, jenž se mění vždy pro celou vločku, čímž je zajištěn její symetrický vývoj. Podmínky vzniku jednotlivých vloček jsou však tak rozmanité, že žádné dvě vločky nemají přesně stejnou strukturu. Čerstvě napadený sníh má hustotu $0,01 - 0,25 \text{ g.cm}^3$ (Demek, 1987) a 1 m^3 váží okolo 60 až 70 kg (Hughes, 1999). Postupem času prochází sníh na zemi mnohými změnami, jež jsou způsobovány proměnlivou teplotou a tlakem a

mění tvar svých krystalů. Sníh, který vlivem teplot taje a následně opět zamrzá se postupně přemění na firn, což je hmota tvořená malými kulatými ledovými zrny s hustotou $0,55 - 0,84 \text{ g.cm}^3$ (Demek, 1987). Pod tlakem novějšího sněhu se firnová zrna spojují do větších částic a postupně se zmenšuje podíl vzduchu ve zmrzlé hmotě natolik, až vznikne těžký ledovcový led s hustotou $0,84 - 0,90 \text{ g.cm}^3$. Tato část zhutňování se nazývá diagenese. Celý proces tvorby ledu může probíhat až několik let, přičemž každoroční přírůstek hmoty a jeho následná přeměna na led tvoří v ledu znatelné přechody, čehož si lze všimnout na obrázku 1.



Obrázek 1: Struktury přírůstku ledu. (M. Ovčáček, 2008)

V Ottově naučném slovníku jsou ledovce definovány takto: „Ledovce jsou proudy ledu vycházející z polí ledových, často obrovských rozměrů a posouvající se údolními někdy hluboko pod čáru sněžnou. Pole ledovcová tvoří se na horských kotlinách i rovinách nad sněžnou čárou, t. j. všude, kde ročně více sněhu napadá, než roztaje; takovým hromaděním se sněhu vzniká tlak na vrstvy spodnější, tlakem taje sníh, ale poněvadž tím současně teplo se utajuje, nastává přimrzání částecek sněhových a tvoří se tak led zrnitý- Firn, jehož dalším postupem rozmrzání povrchu zrněk ledových a opětovného zamrzání mění se nenáhle na led celistvý, průhledný, barvy namodralé. Na místech, kde jest dno, třeba jen nepatrně nakloněné, začíná se pohybovat.“ (Otto, 1999)

Chování ledovce se odvíjí od jeho teploty. Obecně existují dva druhy, a to ledovce se studenou bází, kam se řadí ledovce za polárním kruhem a ledovce s teplou bází, mezi něž se řadí ty ve středních zeměpisných šířkách a tropech. To však nemusí být striktní oddělení, jelikož i ledovce mimo polární kruh mohou mít svou studenou část a teplou část. Tavná voda se v teplejších obdobích dostává až k základu ledovce a vytváří si v ledu vlastní drenážní systém, který v chladnější části roku opět zamrzá

(Knight, 1999). Hlavní proud tavné vody vede vždy pod středem ledovce a vytéká ze středu čelní hrany, kde je nejnižší bod údolí. Díky vodě, která působí jako „mazadlo“ v podloží, je i pohyb těchto ledovců mnohem rychlejší oproti těm, se studenou bází. Teplota na ledovci je ovlivňována tepelnou energií přicházející prostřednictvím jeho povrchu, energií pocházející z geotermálního toku a teplem vznikajícím v důsledku vnitřního tření ledovce při pohybu a tlaku svrchních vrstev. U ledovců se studenou bází má vliv především geotermální energie a tlak. Vnější výkyvy teplot totiž působí na teplotu ledovce pouze do hloubky okolo 12m (Hambrey a Alean, 1992). Termální vlastnosti ledovců mají také velký vliv na krajinu a její modelování. V regionech, které byly někdy pokryty ledovcem lze podle typu toků a tvarů vytvořených nánosů z ledovce určit, jaký typ se na daném místě nacházel. Teplejší ledovce zanechávají na svém podloží, po kterém se posouvají, poměrně znatelné stopy, naopak studené ledovce, které jsou k podkladu přimrzlé a vykazují minimální pohyb slouží spíše jako ochrana proti podnebným vlivům prostředí. Jednotlivé typy ledovců jsou popsány v 5. kapitole této práce.

Svým pohybem ledovec způsobuje změny v krajině a vytváří charakteristické tvary reliéfu. Pohybem z vyšších poloh do údolí způsobuje ledovec zahlubování údolí. Materiál, který před sebou ledovec tlačí, pod velkým tlakem doslova rozrývá podloží a tvaruje tak údolí do typického tvaru trogového údolí s profilem ve tvaru U. Tento proces se nazývá brázdění (exarace). V mnoha případech se po stranách takto vyhloubeného údolí po ústupu ledovce nachází takzvané visuté údolí, jenž ústí do trogového údolí v mnohem větší výšce, než je dno hlavního údolí a často se v těchto místech tvoří vodopády. Rozrušováním podloží vlivem tání a následného mrznutí vody pod ledovcem dochází k odlamování (detrakce) horniny, která je následně unášena ledovcem dále do údolí. Materiál, jenž je vlečen se tře o podloží, kde způsobuje ohlazování (abraze) a obrušování (deterze) podkladových hornin a zanechává v nich exaracní rýhy, jež jsou dokladem pohybu. Akumulační část ledovce většinou spočívá v karu, sníženině vzniklé přetvořením údolního uzávěru, z něhož vychází splaz ledovce, který se pomalu sune dolů údolím. Erozní destrukcí předělů mezi jednotlivými kary vzniká karový amfiteátr (cirk). Vrchní vrstva ledovce je pevná, avšak spodní vrstvy pod velkým tlakem nadloží získávají plasticitu, jelikož při zvýšeném tlaku ve spodních vrstvách ledovce taje led i při teplotách nižších než je bod mrazu (Jung – Huttlová a Edmaier, 2005). V místech s největším sklonem, kde se svah láme vznikají v důsledku pnutí na povrchu trhliny (crevasses), jenž jsou velkým nebezpečím při pohybu po ledovci. Tyto trhliny bývají

totiž úzké, velmi hluboké a na povrchu překryté firnem, takže často nejsou vidět (Strahler a Strahler, 1998). Před čelem ledovce bývá sunuta čelní moréna, což je suťová vyvýšenina před čelem ledovce. Takovéto akumulace netříděného materiálu (tillu) se tvoří také v menších rozměrech na povrchu, okrajích, uprostřed a pod ledovci. Po ústupu ledu tyto nánosy slouží jako doklady o dřívějším rozsahu ledovce a čelní moréna v mnoha případech tvoří přehrazení údolí a dává tak vznik ledovcovým jezerům. Uprostřed ledovcového proudu se může vynořovat ostrý úzký hřbet nunatak, vytvarovaný do tvaru kánoe, jež je ohlazován a obrušován pohybujícím se ledovcem. Vyvýšeniny, jež nevystupují nad povrch ledu jsou modelovány do mírně protáhlých oválných konvexních tvarů- oblíků.

Každý ledovec se vyznačuje různými hodnotami základních charakteristik, mezi něž se řadí především jejich celková rozloha, délka, nejvyšší a nejnižší nadmořská výška, výška čáry rovnováhy (ELA – equilibrium line), hydrologická bilance, poměr mezi rozlohou zóny akumulace a celkovou rozlohou – AAR (accumulation area ratio) (Dyurgerov a Meier 2005). Navíc se v některých databázích objevují zeměpisné souřadnice, orientace akumulační a ablační oblasti ke světovým stranám a morfologický typ (WGMS, 2009). Některé hodnoty zůstávají stejné, jiné se mění v důsledku změn na ledovci a jejich pravidelné měření a porovnávání nám dává informace o chování ledovce. Takováto charakteristika je například rovnovážná čára, firnová čára, neboli ELA (equilibrium line), která rozděluje akumulační a ablační oblast ledovce. Změny její nadmořské výšky v čase dokládají ústup nebo postup ledovce. Pro kvantitativní určení změn se využívá například hydrologická bilance, která se vypočítává pomocí vzorce:

$$b_w + b_s = c_t + a_t = b_n$$

b_w je specifická zimní hydrologická bilance, b_s je specifická letní bilance, c_t je roční akumulace sněhu nebo ledu, a_t je roční ablace sněhu nebo ledu (Andrews, 1975).

Další důležitý ukazatel je hmotnostní bilance ledovce. Ta je vypočítávána z rozdílu množství sněhu nahromaděného v zimě a ledu odtátého v létě. Toto se pro sjednocení převádí na vodní ekvivalent. Přírůstek sněhu za zimní období se určuje pomocí jam vyhloubených ve sněhové vrstvě nebo stratigrafií na rozsedlinách. Pokud je akumulace sněhu větší než úbytek, jedná se o pozitivní bilanci a ledovec postupuje, je-li tomu naopak, ledovec má negativní hmotnostní bilanci a je na ústupu. Při zjišťování objemu je důležité určení mocnosti ledové pokrývky. Toto se provádí pomocí horké vody, která je tryskou vstříkována pod velkým tlakem na led, který rozpouští. K tomuto se používá dvouplášťová kovová tyč o délce 1,5 až 3 m, která je ukončena tryskou. Do

tyče se vhání voda pod tlakem 100 barů, která je spirálou ohřívána na teplotu blízko varu. Horká voda a tlak velmi účinně taví ledovec a sonda se tak rychle dostává do hloubky (Knight, 2006). Mimo přímých glaciologických metod se v současnosti stále častěji používají metody dálkového průzkumu Země. Při průzkumu se využívá různých druhů senzorů, z čehož můžu například zmínit ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) na satelitu Landsat 7, který snímá ve viditelném spektru. Jako velmi vhodné se však ukázaly také satelity, jež snímají v mikrovlnné části spektra.

Rozšíření ledovců je po celém světě s výjimkou Austrálie, od rovníku až po póly. Pouze podmínky pro vznik se liší podle zeměpisné šířky. Čím blíže rovníku, tím je potřeba vyšších nadmořských výšek, aby se sníh a led udržel po celý rok. Okolo rovníku se pohybuje tato potřebná nadmořská výška ve výškách nad 5 000 m n. m. (Hughes, 1999). S růstem zeměpisné šířky se nepřímo úměrně snižují nadmořské výšky, ve kterých se ledovce již vyskytují. Tyto dva faktory nejsou ovšem jedinými. Mezi další významné činitele se řadí například morfologie terénu, srážky, proudění vzduchu a další klimatické faktory, jež ovlivňují klima v dané lokalitě. Velikosti horských ledovců v nižších zeměpisných šířkách se pohybují od těch nejmenších, jež spočívají ve skalních depresích s rozlohou od několika set metrů čtverečných po zalednění větších horských systémů, kde ledovec pokrývá obrovské plochy. Nad polárním kruhem již ledovce tvoří zvláštní skupinu s názvem ledové štíty, jež nabývají rozsahu celých kontinentů (Andrews, 1975).

4. Současný výzkum ledovců v Rakousku

Výzkum ledovců je v současné době jedno z témat, které se nachází v popředí zájmu společnosti. Studie věnované úbytku rozlohy ledovců vychází ruku v ruce s pracemi meteorologických institutů, jež varují před následky globálního oteplování. Tyto dvě témata téměř přehlušují jiné neméně důležité oblasti výzkumů, které by si také zasloužily pozornost. Nicméně závěry bohužel prokazují, že se klima ve svém globálním měřítku mění, a proto pozornost, která se těmto okolnostem věnuje, je na místě. I přes velký zájem ovšem nejsou názory na příčiny globálního oteplování stále jednotné. Jednodušší situaci mají glaciologové, kteří se zabývají výzkumy ledovců. Ti znají příčinu procesů, které na ledovcích v současnosti probíhají. Zvýšení průměrné teploty a změna ostatních klimatických faktorů vede ke zvýšenému odtávání ledovců jak za polárním kruhem, tak i vysokohorských ledovců v nižších zeměpisných šířkách. Proto jsou současné výzkumy na ledovcích většinou výsledkem spolupráce odborníků na klimatologii a glaciologii, kteří se snaží zjistit a popsat změny na jednotlivých ledovcích v závislosti na změnách místních klimatických podmínek. Glaciologové se zaměřují většinou na projekty, v nichž jde o monitorování základních ukazatelů vybraných ledovců a následné zpracování bilancí objemových, plošných a jiných změn. Ve spolupráci s odborníky na dálkový průzkum a kartografy se pokouší zdokonalit monitorovací techniky a následné zobrazení výsledků. Asi největší pozornost se věnuje kontinentálním ledovcům v Antarktidě a Grónsku, jelikož změny v jejich ploše i objemu mají vliv na celou Zemi.

Na území České republiky se v současnosti nenachází žádný ledovec, ovšem i u nás najdeme skupiny, které se věnují glaciologii. Na Přírodovědecké Fakultě Univerzity Karlovy v Praze působí na Katedře Fyzické Geografie a Geoekologie prof. Jan Kalvoda, který se již dlouhou dobu zajímá o glaciologii a především o výzkum pleistocénního zalednění Krkonoš, kde se v tomto období uplatňovaly intenzivní periglaciální procesy a došlo zde k rozvoji lokálního horského zalednění. V současnosti v jeho práci pokračuje dr. Zbyněk Engel, který působí na stejné katedře (Katedra Fyzické Geografie a Geoekologie PřF UK v Praze, 2000-2009).

Přehled mezinárodních institucí

Z velkého množství institucí, jež se zabývají monitorováním, nebo jen shromažďováním informací o ledovcích v mezinárodním měřítku bych chtěl jmenovat například World Glacier Monitoring Service, National Snow and Ice Data Center, World Data Center for Glaciology Cambridge a International Glaciological Society, jelikož i tyto společnosti shromažďují a archivují data o ledovcích v Rakousku, nebo zde dokonce provádí výzkumy.

WGMS (World Glacier Monitoring Service)

Je služba, jež funguje pod záštitou několika důležitých mezinárodních organizací jako ICSU (International Council for Science), IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics), UNEP (United Nations Environment Programme), UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization) a WMO (World Meteorological Organization). Centrum této instituce se nachází na katedře geografie na Univerzitě v Curychu a v jejím čele na postu ředitele působí Prof. Dr. Wilfried Haeberli, jehož jméno se objevuje pod velkým množstvím studií týkajících se ledovců. WGMS dále zaměstnává řadu místních výzkumníků a korespondentů ve všech zemích monitoringu ledovců a ti pak shromažďují data pro svou zájmovou oblast a zpracovávají je do formátu podle standardů WGMS. Sběr informací v rámci celého světa započal již v roce 1894 mezinárodní ledovcovou konferencí ve švýcarském Curychu. V té době byla podnětem domněnka, že dlouhodobé pozorování ledovců a jejich změn může ukázat formování a změny v ledovcové pokrývce dob ledových. Od těchto prvopočátků se cíle měnily a rozšířily. Jako hlavní úkol je nyní sběr dat o ledovcích, změnách jejich objemu, rozlohy, délky a vedení statistických informací o distribuci ledu v prostoru. Změny v objemu ledu jsou prioritními daty při sledování změny klimatu a tvoří základní informace například pro hydrologické modelování. Dále jejich práce spočívá v řízení a aktualizování současného ledovcového inventáře a podpoře satelitního pozorování s cílem dosáhnout globálního pokrytí při monitoringu ledovců metodami dálkového průzkumu. V současnosti je největší množství informací shromážděno pro Alpy a Skandinávii, kde existují dlouhé řady záznamů o změnách v zalednění. WGMS spolupracuje s řadou dalších institucí jako NSIDC (National Snow and Ice Data Center in Boulder) a podílí se na vytváření jejich ledovcového inventáře GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space). Hlavní zaměření je však na bilanci ledovců, jež jsou

pravidelně zveřejňovány v publikaci „Glacier Mass Balance Bulletin“, jenž je vydáván v pravidelných dvouročních intervalech a každých 5 let jsou zveřejňovány výsledky o kolísání vybraných pozorovaných ledovců v publikaci „Fluctuations of Glaciers“. Na rakouském území je nejpodrobněji pozorovaným ledovcem Vernagtferner v Ötztalských Alpách (WGMS, 2009).

NSIDC (National Snow and Ice Data Center)

Tato organizace je část kooperačního institutu pro ekologické výzkumy na University of Colorado v Boulderu a její počátky podle oficiálních stránek sahají až do roku 1957 – 1958, kdy NSIDC začínalo jako analogový archiv, informační středisko a světové datové centrum pro glaciologii - WDC (World Data Centre), kde se shromažďovala a archivovala veškerá data týkající se zaledněných oblastí a ledovců. Mezi lety 1971 a 1976 bylo WDC pod vedením USGS (United States Geological Survey) a po roce 1976 bylo převedeno pod kompetence NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a bylo na pokyn prof. Rogera G. Barryho, který stál ve vedení, přesunuto na Univerzitu v Boulderu. V roce 1982 NOAA vytvořilo instituci s názvem NSIDC (National Snow and Ice Data Center), která rozšířila působení WDC a začala sbírat a archivovat data z programů NOAA a v 80. a 90. letech 20. století byla instituce dále rozšířena o podporu a spolupráci s NASA (National Aeronautics and Space Administration) a NSF (National Science Foundation). Tyto tři instituce se také podílí na financování a zadávání projektů. Nyní NSIDC zahrnuje několik různých datových center, správních programů a projektů, zpracovává digitální data z dálkového průzkumu Země pořízené ve spolupráci s NASA a podporuje výzkum kryosféry. Dále sbírá data z různých výzkumů po celém světě a zajišťuje k nim přístup pro výzkumné týmy ze všech zemí. Správci dat a programátoři spolupracují jednak přímo s vědci, kteří data dodávají, i s těmi, kteří je dále používají, aby byly pro uživatele srozumitelné a ve vhodném formátu. V roce 2008 odešel Roger Barry z postu ředitele po 31 letech ve funkci a jeho nástupcem se stal Mark Serreze, který působí na postu ředitele od počátku roku 2009. Dříve pracoval v NSIDC jako jeden z hlavních výzkumníků a působil také jako profesor na univerzitě v Koloradu. Vydal více než 90 publikací, působil v dozorčích radách a vědeckých organizačních výborech.

Jeden z hlavních projektů v rámci NSIDC je ledovcová databáze GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space). Tento projekt má za cíl vytvářet a

udržovat ledovcový inventář, který by měl uchovávat důležité informace o rozsahu a rychlostech změn na všech ledovcích na světě, jejichž počet se odhaduje někde okolo 160 000. GLIMS je projekt mezinárodní spolupráce, na němž se podílí více než 60 institucí z 28 zemí celého světa a jeho cílem je vytvoření komplexního inventáře zaledněných oblastí, který zahrnuje rozměry ledovců, tvary, povrchové rychlosti pohybu a hranice rovnovážné linie. Závěry a detekce změn jsou prováděny rozbořením map odvozených z historických map a snímků se záběry z odrazového radiometru (ASTRA) a Landsatu se senzorem ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), jež snímkuje v panchromatickém pásmu s rozlišením 15 m. Výsledky jsou zaznamenávány v databázi GLIMS. Ta je navržena tak, aby byla rozšiřujícím doplňkem WGI (World Glacier Inventory), jež je jedním z projektů WGMS (World Glacier Monitoring System). Každá analýza či projekt, které jsou přijaté do GLIMS databáze, jsou zpřístupněny veřejnosti přes WWW (World Wide Web). Webové rozhraní je hlavní způsob, jak se k celé databázi dostat a navíc je stále aktuální, jelikož je průběžně doplňována o nová data a umožňuje uživateli zobrazovat data v několika variantách. Požadované informace mohou být zobrazeny jako ESRI Shapefiles – vrstvy do GIS, MapInfo tabulky a GML (Geographic Mark-up Language) (NSIDC, 2009).

WDCG Cambridge (World Data Center for Glaciology)

Centrum se nachází ve Scottově Polárním Výzkumném Institutu Univerzity v Cambridge a společně s World Data Center for Glaciology v Boulderu a WDC for Glaciology and Geocryology v Lanzhou v Číně tvoří World Data Center System, jehož pracovníci vytváří abstrakty glaciologických vědeckých prací, které jsou zahrnuty do databáze SPRILIB, kde je možné je vyhledat. Najdeme ji pod názvem „SPRILIB - Ice and Snow“ na stránkách Scottova institutu (World Data Centre for Glaciology Cambridge, 2005).

SPRI- Scott Polar Research Institute

Byl založený 1920 v Cambridge jako památník kapitánu Robertu Falconovi Scottovy a jeho čtyřem společníkům, kteří zemřeli na cestě zpět z Jižního Pólu v roce 1912. Scott během svého života zdůrazňoval potřebu vědy, a proto na jeho památku byl založen tento výzkumný institut. Je nejstarším mezinárodním výzkumným institutem ledovců v rámci univerzity. Po dlouhou dobu však sídlil pouze v jedné místnosti

v univerzitní knihovně a vlastní sídlo získal až v roce 1934. To se stalo základnou několika cenných vědeckých výprav na Arktidu a Antarktidu. Nyní se skládá instituce skládá z několika výzkumných skupin zabývajících se různými problémy v oblasti přírodních věd, společenských věd, umění a humanitních věd, které mají souvislost s Arktidou a Antarktidou a spadají pod katedru geografie na univerzitě v Cambridge. Přibližně 60 akademických pracovníků, knihovníků a ostatního personálu společně s postgraduálními studenty a dalšími lidmi napojenými na výzkumné programy se podílí na činnosti instituce. Jedním z projektů je v současné době například Freeze Frame, kde tým pracovníků digitalizuje fotografie týkající se polárních expedic a zpřístupňuje je pro široké použití. Dalším významným projektem je databáze SPRILIB- Ice and Snow, která je provozována knihovnou ve Scottově Výzkumném Institutu společně s World Data Center for Glaciology v Cambridgi. Obsahuje záznamy z veškerých publikací o zájmových oblastech, dokonce i novinové články a knihy jsou skenovány a ukládány do databáze. V současné době obsahuje již více než 120 000 záznamů a ty nejstarší pochází až z roku 1661 (Scott Polar Research Institut, 2009).

IGS- International Glaciological Society

Byla založena Geraldem Seligmanem v roce 1936 a jejím cílem je poskytnout prostor pro jednotlivce nebo menší instituce, kteří se zajímají o zkoumání sněhu a ledu, stimulovat a povzbudit zájem o výzkum a technické problémy týkající se sněhu a ledu. IGS není přímo výzkumný institut, ale jeho členové jsou vědci z různých vědeckých institucí, kteří zde publikují závěry svých studií. Pro usnadnění a zrychlení toku myšlenek a informací vydává společnost periodika, ve kterých jednotliví vědci či vědecké instituce zveřejňují výsledky svých prací a výzkumů. Tyto periodika jsou „Journals of Glaciology“ a „Annals of Glaciology“. Dále vydává přehled zpráv mezinárodní glaciologické společnosti a jiné publikace jako knihy a monografie a v neposlední řadě také pořádá přednášky a sympozia, kde se řeší otázky problematiky ledovců a zalednění. Za svoji činnost byla společnost také již několikrát odměněna různými oceněními za úspěchy na poli glaciologie. Ve vedení společnosti stojí volené zastupitelstvo v čele s Atsumu Ohmurou a stará se o vydávání publikací, jejich ceny a chod instituce (International Glaciological Society, 2009).

Přehled institucí v Rakousku

Vzhledem k faktu, že rakouské ledovce téměř doslova „mizí před očima“, kvůli své poloze a poměrně nízkým středním nadmořským výškám, je poměrně velký zájem o monitorování jejich změn ze strany vlády, Evropské Unie a mnoha zahraničních a mezinárodních institucí. V Rakousku působí již dlouhou dobu řada výzkumných týmů, jež jsou součástí univerzit. Na prvním místě musím zmínit Univerzitu v Innsbrucku a její katedru geografie a Institut Meteorologie a Geofyziky, dále Univerzitu Karla Franze v Grazu - Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Salzburg, Universität für Bodenkultur Wien a Universität Wien- Institut für Meteorologie und Geophysik. Mezi ostatními institucemi, jež se zabývají ledovci je například sdružení ÖAV (Österreichischer Alpenverein), Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Hochgebirgsforschung und Alpen Land und Forstwirtschaft a Institut für Meteorologie und Geophysik (World Data Centre for Glaciology Cambridge, 2005).

Universität Innsbruck

Na poli glaciologie a výzkumu ledovců působí univerzita již dlouhou dobu. Na zdejší katedře geografie se zabývají tropickou glaciologií, tudíž neřeší projekty zaměřené na ledovce na rakouském území, nýbrž se zájem zdejších výzkumníků upírá na tropické ledovce. Konkrétně se katedra zaměřila na změny ledovce na Kilimanjaru v tropické Africe. Předmětem jejich zájmu je monitoring změn na ledovci v důsledku sezónní změny vlhkosti a zjišťování dopadů proměnlivé vlhkosti na chování ledovce (Geographie Innsbruck, 2008).

Pod Univerzitou v Innsbrucku však působí Institut Meteorologie a Geofyziky, jehož činnost zahrnuje širokou škálu témat a působí zde několik výzkumných skupin. O téma glaciologie se zajímá skupina s názvem „Ice and Climate“, která spolupracuje s mezinárodními a zahraničními institucemi a výzkumnými ústavy. Jedním z nejdůležitějších projektů nedávné doby bylo vytvoření ledovcového inventáře, který probíhal v letech 1996 až 2002 pod vedením Michaela Kuhna a Astrid Lambrecht.

V nedávné době byl také dokončen projekt OMEGA (Operational Monitoring System for European Glacial Areas - operační monitorovací systém pro evropské zaledněné oblasti). Hlavním koordinátorem tohoto projektu, do něhož se zapojují tři evropské země, je oddělení geografie na Univerzitě v Turku ve Finsku. Jako další se

podíleli Institut fotogrammetrie a dálkového průzkumu v Helsinkách a z Rakouska je to Institut Meteorologie a Geofyziky na Univerzitě v Innsbrucku. Finančně byl projekt OMEGA podporován z 5. rámcového programu Evropské Unie zaměřeného na životní prostředí a trvale udržitelný rozvoj a na vývoj generických monitorovacích systémů Země. Monitorování ledovců se totiž stává velice důležité v souvislosti se změnami klimatu a jejich účinky na zalednění. Cílem OMEGY bylo vyvinout operační monitorovací systém ledovců, jež bude využívat veškerých možných dat z minulosti, současnosti a budoucnosti, do něhož se budou zaznamenávat změny ledovců a výsledky budou implementovány do databáze a operačního monitorovacího systému. Monitorování ledovců a přesná data charakteristických a současných tendencí jsou totiž důležitá pro ochranu životního prostředí a pro studie globálních změn, jež mohou představovat ekonomickou a environmentální hrozbu pro horské oblasti Evropy. Hlavní zájem byl nejen studovat plošný rozsah ledovců, ale také topografii a objem ledu. Proto byl kladen největší důraz na vytváření digitálních výškových modelů (DEM) ledovcového povrchu, které se vytváří z různých typů dat, jako jsou pozemní fotografie, digitální kamerová data, laserová data, satelitní data a optické družicové údaje. Nicméně potenciál moderních typů dat a metody pro operativní monitorování a jejich přesnost nebyly v minulosti plně analyzovány. Monitorování změn v ledovcové topografii se provádí pomocí pozemských a leteckých snímků použitím metody dvojsnímkové fotogrammetrie. Prvotním cílem OMEGY bylo vyvinout nové metody pro dálkový průzkum ledovců, pro které bylo potřebné vytvořit nárysy glaciálních oblastí a ledovcových zón. Přesnost povrchových modelů se potvrzuje srovnáváním modelů zkonstruovaných podle různých zdrojů a měření. Radiometrickým měřením se určuje podloží a změny objemu ledovců. Změny ve zkoumaných oblastech tak jsou prostřednictvím počítačové kartografie zobrazovány jako animace a z dat naměřených na těchto ledovcích se vytváří algoritmy, které slouží pro výpočet změn na ostatních lokalitách. Výsledky z glaciologických výzkumů jsou obvykle kombinovány s daty meteorologickými v oblastních ledovcových databázích. Mimo jiné se projekt zajímal o původ a druh změn zkoumaných ledovců, odhad vývoje změn, perspektiv a rizik společenskohospodářských zásahů v horských oblastech a o využití monitorovacího systému při různých studiích. Projekt OMEGA probíhal na dvou družích studovaných ledovců. Jedny se používaly pro vývoj monitorovacího systému a metodologie a na další skupině ledovců se potom výsledky testovaly. Tyto zkušební i vývojové lokality musely být vždy ve stejném regionu. Pro tyto účely byly v Rakousku vybrány lokality

Hintereisferner a Kesselwandferner, které nejlépe splňovaly podmínky dobré dostupnosti pozemních historických snímků nebo leteckých snímků z minulosti a dlouhých sérií glaciologických a meteorologických dat. Dalším aspektem při výběru byla také přístupnost ledovců a možnost konstrukce pozemní kontrolní sítě a ovlivňování změnou klimatu. Mimo rakouské území se prováděly stejné výzkumy v rámci projektu OMEGA také v Norsku a Finsku.

Aktuálně probíhající projekty IMGJ jsou zaměřeny na dlouhodobé monitorování objemových změn (Mass Balance) na ledovcích Hintereisferner, Kesselwandferner, Jamtalferner, Hallstätter Gletscher a Mullwitzkees (IMGJ, 2009).

Univerzita v Salzburgu (Universität Salzburg)

V rámci univerzity v Salzburgu probíhá výzkumná činnost týkající se ledovců na Katedře Geografie a Geologie, kde působí několik výzkumných skupin. V oblasti výzkumu ledovců však pracují pouze „Arbeitsgruppe Geomorphologie und Umweltsysteme“ a „Arbeitsgruppe Landschaft- und Nachhaltige Entwicklung“. První z nich se právě zabývá několika projekty, týkajícími se sedimentů, geomorfologie a permafrostu ve vysokohorských oblastech. Práce, která probíhá od 1. 9 2008 do 1. 2011 má název „Sediment budget for a glacier forefield- quantification and temporal variability“ a zaměřuje se na kvantifikaci a změny sedimentárních vrstev na předpolí ledovce Pasterze ve Vysokých Taurách. Má za cíl určit časový a prostorový vývoj sedimentů, předpovědět příští vývoj a změny v těchto vysokohorských sedimentárních vrstvách. Druhá z výzkumných skupin se zaměřuje na práce okolo Halštatského ledovce v regionu Dachstein. V současné době připravují například podklady pro naučnou stezku na Dachsteinu a pracují na projektu, který má za cíl zjistit důsledky změny klimatu a ústup ledovce na vegetační kryt (Geographie und Geologie Universität Salzburg, 2009).

Univerzita Karla Franze v Grazu (Karl-Franzes Universität Graz)

Na univerzitě v Grazu stojí v popředí glaciologických výzkumů ve Vysokých Taurách profesor Gerhard Karl Lieb. Je hlavním vedoucím projektu „Gletschermessungen an der Pasterze“ Již více než 50 let probíhající projekt každoročních měření na největším ledovci ve východních Alpách odstartoval v roce 1958 Herbert Paschinger, když se stal vedoucím oddělení pro geografii na univerzitě v Grazu. Působil jako odpovědná osoba pro měření na Pasterze v období od roku 1947 do 1959. Po něm se jako vedoucí vystřídali Helmut Aigelsreiter (1960 - 1970), Herwig Wakonigg (1971- 1990) a od roku 1991 zastává tuto funkci profesor Gerhard Karl Lieb. Cílem projektu je každoročně provádět měření na ledovci Pasterze a zaznamenávat změny. Měří se změny délky, výšky a pohybu ledovce na určených liniích. Profesor Lieb výsledky měření zpracovává a publikuje v podobě grafů a článků na internetových stránkách projektu (Institut für Geographie und Raumforschung, 2009).

5. Základní typologie ledovců

Pojem ledovec v sobě skrývá velmi široký význam. Různé druhy ledovců se od sebe odlišují především rozlohou. Mohou totiž pokrývat povrch horských údolí, či depresí s plochou několika desítek metrů čtverečných, nebo zcela pohltnout celý kontinent. Nalezneme je od pólů, přes mírné pásmo až po rovník. V každé oblasti však mají ledovce jiné podmínky pro svůj vznik. Například nadmořská výška hraje důležitou roli u ledovců v tropickém pásmu, kde je možné je nalézt pouze ve vysokých nadmořských výškách. Půjdeme-li však dále od rovníku, objevíme i místa, kde se ledovce nacházejí i ve výšce hladiny oceánu, což by nebylo v nižších zeměpisných šířkách možné. Dále můžeme ledovce rozdělit podle rychlosti pohybu, podle jejich tvaru, a nebo podle bilance masy ledu.

Nejčastěji se v různé literatuře objevuje rozdělení na pevninské ledovce, kam můžeme zařadit Antarktický ledový příkrov nebo příkrov na ostrově Grónsko a na horské ledovce, jež se nacházejí ve vyšších nadmořských výškách po celém světě kromě Austrálie. V následujícím textu budou představeny jednotlivé typy ledovců na Zemi. Jsou seřazeny do čtyř skupin. První obsahuje ledovce větších rozměrů, jejichž vznik, ani tvar není podmíněn morfologií terénu. Ve druhé skupině jsou zařazeny ledovce, jejichž vznik je spojen s morfologií terénu a nadmořskou výškou. Do třetí skupiny jsem zahrnul speciální typy ledovců, které jsou spojené s oceánem.

1. Ledovce, které nejsou ovlivněny morfologií terénu

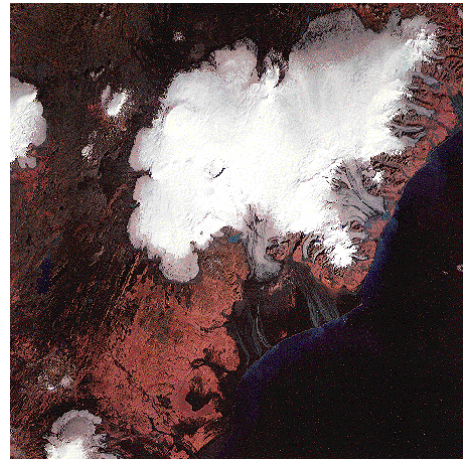
Typickým znakem takovéto skupiny ledovců je všesměrný pohyb, velké rozlohy a poloha nad polárním kruhem.

Pevninský ledový příkrov

Je rozsáhlý kontinentální ledovec, který se rozprostírá na ploše větší než 50 000 km² (NSIDC, 2008). Nalezneme jej pouze v Antarktidě a Grónsku. Na Antarktidě je tento příkrov až 4 200 metrů mocný a pokrývá veškerý povrch země, kromě vrcholů Transantarctic mountains, které vyčnívají nad ledem. Dalším příkladem kontinentálního ledovce je ostrov Grónsko, jehož ledovec se v současnosti rychlým tempem zmenšuje. Tento trend je přisuzován globálnímu oteplování.

Ledovcové čepice (Ice caps)

Ledovcové čepice jsou menší ledové příkrovy, které pokrývají méně než 50 000 km². Nacházejí se především v polárních a subpolárních regionech, které jsou ve vyšší nadmořské výšce, která dává možnost vzniku trvalého zalednění. Z těchto horských oblastí potom vytéká několik údolních ledovců směrem do nížiny. Rozdíl mezi ledovcovým štítem a ledovcovou čapkou je dobře viditelný na mapce světa, kde je vidět velikostní rozdíl mezi Grónským ledovcovým štítem a ledovci menšího rozsahu například na Islandu. To jsou již ledovcové čapky. Nejtypičtějším zástupcem této skupiny ledovců je Vatnajökull - největší ledovec na Islandu. (NSIDC, 2009) Ve střední Evropě bychom mohli v menším měřítku takto nazvat například Gepatschferner v Ötztalských Alpách nebo masiv Mont Blancu.



Obrázek 2: Satelitní snímek největší ledovcové čapky na Islandu – ledovec Vatnajökull (Montana State University, 1999)

Ledovcové proudy (Ice streams)

Ledovcové proudy jsou usměrněné ledové proudy, které obklopují tělo samotného ledovce a pohybují se větší rychlostí. (NSIDC, 2009)

Tento typ ledovců má své zástupce především na Antarktidě, kde tvoří 10 % plochy ledovců. Mohou dosahovat 50 km šířky, s mocností 2 km a délky set kilometrů. Tyto podmínky platí pro většinu ledovců opouštějících pevninský příkrov. Proudů mohou dosahovat rychlosti až okolo tisíce metrů za rok, což je vždy mnohem větší rychlost než jakou se pohybuje okolní led, který obklopují. Střižné síly na okrajích mohou být příčinou deformací a překrystalizování ledu. Na okrajích také vznikají nejčastěji v ledovci trhliny vlivem střižných sil. V základu ledovcových proudů je významné podloží, které umožňuje tok ledovce. Největších rychlostí dosahuje ledovec na měkkém a usazeninovém podkladu. Jako mazadlo slouží ledovcovému proudu tavná voda, která se drží při základu ledovce pod spodními vrstvami. Ledovcové proudy

přechází na konci své cesty v pobřežní ledovec (tidewater glacier) nebo výtokový ledovec (outlet glacier).

2. Ledovce, jejichž vznik je podmíněn morfologií terénu - Horské ledovce (mountain glaciers)

Tento typ ledovců je vyvinut ve většině hornatých regionů, často se jedná o ledovce, které vychází z firnových polí, které pokrývají skupinu vrcholů, nebo někdy i celá horská pásma. Největší horské ledovce se nachází v arktické Kanadě, na Aljašce, v Jižní Americe, v Himalájích, Asii a Antarktidě. Vyznačují se jednosměrným pohybem z vyšších poloh do údolí.

Ledovcová pole (Ice fields)

Ledová pole můžeme charakterizovat obdobně jako ledové čapky, pouze s tím rozdílem, že ledová pole mají menší rozlohu a jsou ovlivněná topografií podloží (NSIDC, 2009). Na obrázku je zachycen 4,8 km široký Kalstenius Ice Field, který se nachází na Ellesmerově ostrovu, patřícím Kanadě. Ledovcové pole vyživuje řadu výtokových ledovců, které přechází v ledovec údolní.



Obrázek 3: Kalstenius Ice Field
(NSIDC, 2009)

Údolní ledovec (valley glacier)

Vznikají z horských ledovců nebo ledovcových polí. Pokračují do údolí jako obrovské jazyky ledu, které dosahují délky přes sto kilometrů a často pokračují i pod hranici ledu až k hladině moře, pokud to umožňují místní podmínky. Například v Alpách nalezneme Aletšský ledovec ve Švýcarsku, jehož délka se pohybuje okolo 23 kilometrů (Hambrey, Alean, 1994). Na rakouské straně Alp je to potom Pašterský ledovec. V letních měsících dosahují na těchto ledovcích svého maxima průtoky tavných ledovcových vod.

Karový ledovec (Cirk glacier)

Dostal jméno podle mísovité prohlubně v příkrém svahu, v níž se tento typ nachází. Typické umístění je na úbočích hor, které jsou výrazně širší. Jsou tvořeny sněhem, který byl do prohlubní transportován větrem. Délka svahu nehraje při vzniku ledovce velkou roli, ovšem důležitá je expozice svahu. Na severní polokouli se karové ledovce vyskytují především na severních stěnách svahů, které jsou málo osvětlované slunečním zářením a vytváří tak nejvhodnější podmínky pro vznik tohoto typu ledovců.

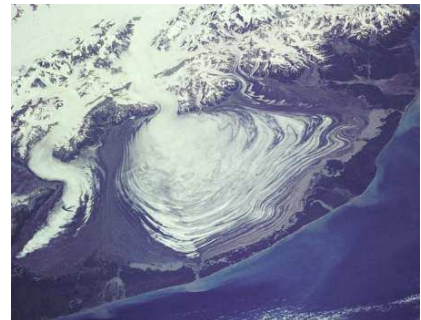


Obrázek 4 : Karový ledovec – Wyoming, USA (Montana State University, 1999)

Piedmontní ledovec

Vějíř nebo lalok, který se formuje v nižších polohách pod horami, kde se většinou jeden nebo několik údolních ledovců dostává na rovinnou, ničím neomezenou plochu a tam se značně rozšiřuje. Největší šířku 48 km dosahuje zároveň i plošně největší piedmontní ledovec Malaspina na Aljašce. (USGS,)

Tento snímek, jenž byl pořízen v roce 1989 z raketoplánu zachycuje masivní lalok ledovce Malaspina na Aljašce, jenž svou plochou pokrývá 5 000 čtverečných kilometrů a délka jeho čelní hrany je okolo 48km. Tímto se stal největším piedmontním ledovcem. Vybíhá ze Sewardova ledového pole, které je vidět u vrchu fotografie a vlevo se klikatí menší ledovec Agassiz glacier (NSIDC, 2009).



Obrázek 5: Malaspina glacier (1989) (NSIDC, 2009)

Dendritický ledovec

Je speciální formou údolního ledovce, jenž je vyživován z obou stran údolí bočními splazy, které přitékají do trogu a vytvářejí tak jeden mohutný ledovcový splaz. V Alpách můžeme takto označit i Aletský ledovec (Smolová a Vítek, 2007).

Lavinový ledovec (avalanche glacier, Lawinengletscher)

Je typ ledovce, jež leží pod sněžnou čarou v údolích, které jsou stíněné horami. Jeho původ je ve sněhových či ledových lavinách, řítících se z prudkých svahů dolů do údolí, kde se materiál ukládá a ve stínu je chráněn proti nadměrnému odtávání. Časem se sníh přeměňuje na ledovec. Nikdy nedosahují velkých rozměrů, protože odtávání je velmi rychlé. Avšak mají stejné vlastnosti jako ostatní ledovce. Nejnižše položený ledovec tohoto typu v Evropě - Watzmann, se nachází ve výšce 950 m nad mořem.(de.wikipedia.org)

Svahový ledovec, visutý ledovec (hanging glacier)

Stejně jako karový ledovec, i tento typ ledovce je menších rozměrů a nachází se většinou na širokých svazích na úbočích hor. Nahromadění ledu často končí bez zjevné příčiny, neboť se část ulomí a sjede do údolí. Extrémním případem jsou visuté ledovce, které vznikají na svazích kde je sklon větší jak 40° (de.wikipedia.org). Bývají příčinou řízení lavin. Jsou běžné v Alpách.



Obrázek 6 : Visutý ledovec Aoraki/Mount Cook, Nový Zéland (M. J. Hambrey, 2008)

Sít'ový ledovec (transection glacier, Eisstromnetz)

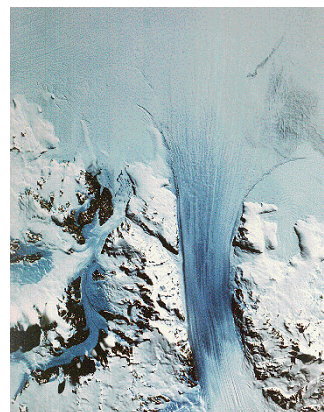
Tento typ ledovce vzniká, když údolní ledovec vyplní celé údolí a přebytečné masy ledu začnou přetékat příčně do vedlejších údolí a spojí se takto několik údolních ledovců. To vše je podmíněno morfologií podkladu. Mezi jednotlivými jazyky vystupují nunataky. Do této skupiny ledovců můžeme zařadit například Yakutat glacier na Aljašce, většinu ledovců na Špicberkách, ledovce v arktické Kanadě a během poslední ledové doby se nacházeli také poměrně často v Alpách.



Obrázek 7: Axel Heiberg-Insel – arktická Kanada (Alean J. , 2008)

Výtokový ledovec (Outlet glacier)

Se vytváří na okrajích ledovcových čapek nebo ledovcového pole, které ze svých ledových zásob vypouští jazyky, které transportují masy ledu do nižších poloh, pryč od zdrojových ledovců. Mají nejčastěji formu údolního ledovce, který kopíruje sníženiny terénu a dále je formuje.



Obrázek 8: Satelitní snímek Byrd Glacier na Antarktidě (Montana State University, 1999)

3. Ostatní typy

Šelfový ledovec (Ice shelf)

Šelfový ledovec vzniká ve chvíli, kdy pevninský štít nebo horský ledovec dosáhne svým rozšiřováním pobřeží a pokračuje do šelfového moře. Linie, kdy končí plovoucí pobřežní ledovec a začíná ledovec, který již spočívá na skalním pevninském podloží se nazývá grounding line (en.Wikipedia). Dosahují šířky několik set metrů, až tisíc metrů. Tyto ledovce jsou dobrým ukazatelem změny klimatu, jelikož při zvýšení teploty se jejich čelní části začnou lámat a padat do moře a pobřežní ledovec pomalu ustupuje. Odlomené bloky ledovce potom představují nebezpečí pro plující lodě, jelikož nad hladinou ční pouze 10% ledovce a největší část je skryta pod hladinou. Střet s takovouto plující masou ledu může být pro lodě tragický. Typickým příkladem může být tragédie zaoceánské lodi Titanic, která se potopila roku 1912 po střetu s takovýmto ledovcem. Šelfové ledovce obklopují například téměř celou Antarktidu a dále se nachází v Grónsku a v Kanadě (NSIDC, 2008).

Pobřežní ledovec (Tidewater glacier)

Je ledovec, jenž je zakončením údolního ledovce, který se dostal až k mořské hladině nebo zakončení výtokového či piedmontního ledovce a vlévá se do moře, kde odtává a čelní hrana ledovce se ulamuje. Tento proces se nazývá telení ledovce a vznikají tímto plovoucí ledové kry (icebergs).



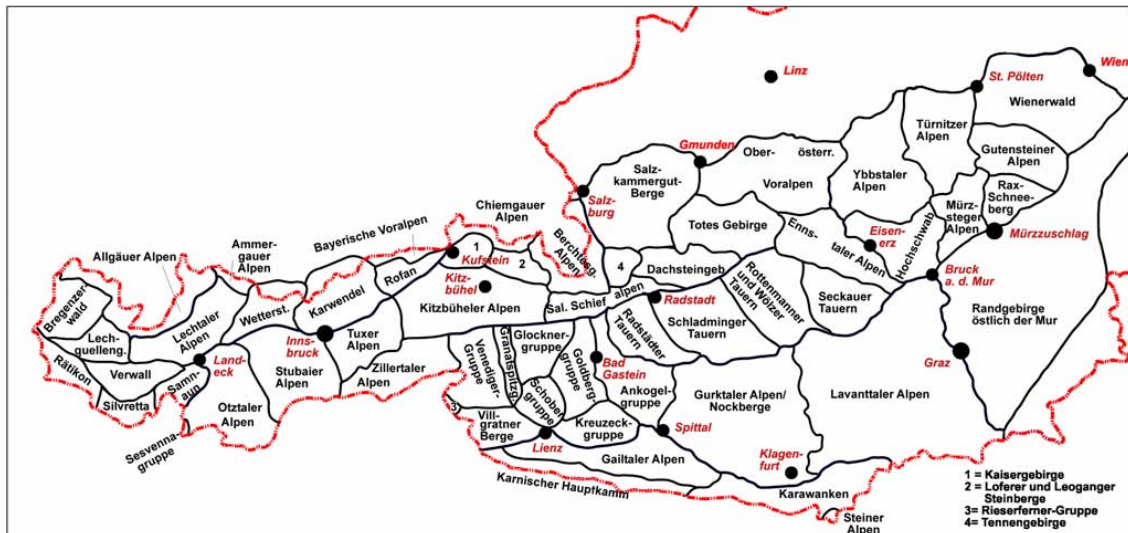
Obrázek 9: Kronebreen – Špicberky (J. Alean, 2008)

6. Současné zalednění na území Rakouska

Základní geografická charakteristika Alpského systému

Celé Alpy jsou velice významným pásebným pohořím v Evropě. Již odedávna tvořily důležitý předěl mezi jižní a střední Evropou a přes jejich průsmyky vedly důležité obchodní cesty mezi severem a jihem. Název pochází údajně z keltského slova znamenajícího horskou pastvinu a bylo přejato Římany od Keltů zhruba 300 let př.n.l. a rozšířilo se mezi další národy. Jedná se o jednu z nejmladších částí kontinentu, která vznikala zároveň s Karpaty teprve ve třetihorách, na místě druhohorního geosynklinálního moře. Pohoří tvoří horský oblouk, který se táhne v délce 1200 km od průsmyku Col di Cadibona (435 m n. m) v Itálii u města Savona až k údolí Dunaje u Vídně. Šířka tohoto horského oblouku dosahuje od 150 km až po 250 km a rozprostírá se na území o rozloze 190 000 km², pokud nepočítáme okolní pahorkatiny a nížiny. V roce 1884 zde byla doložena příkrovová stavba, která se zde vyvinula v době, kdy byla oblast zatopena mořem, na jehož dně se usadila velká vrstva sedimentů. Celá geosynklinála byla vystavena silným bočním tlakům, které způsobily její vrásnění, jež začínalo na konci druhohor až začátkem třetihor. Celý proces byl způsoben deskovou tektonikou, a to podsouváním Africké litosférické desky a její odštěpené Jadranské desky pod Eurasijskou litosférickou desku. Zdvihy však neprobíhaly pouze v minulosti, ale pokračují i nadále. Jen od pliocénu do současnosti tvořil zdvih okolo téměř 1000 m a i v současné době se Alpy zvedají o 4 až 8 mm ročně.

Současné území Rakouska se nachází na skupině Penninských příkrovů, které se dělí dále na spodní Grisonské a svrchní Tyrolské. Další geologické dělení celých Alp se díky různorodému politickému rozdělení rozchází. Každá země má své charakteristické členění. Nejvyšším geomorfologickým členěním, jež se obecně uznává na rakouském, německém a francouzském území je rozdělení na Alpy Západní a Východní, podle linie Rýn- Spluga- Como. V některé literatuře se objevuje také podélné dělení na severní vápencové Alpy, centrální krystalinické a jižní vápencové Alpy, které je ovšem pouze schematické a platí pouze ve Východních Alpách (Král, 1999). Jednotlivé horské skupiny v Rakousku jsou zobrazeny na obrázku 10.



Obrázek 10: Schéma alpských pohoří na Rakouském území (Wikimedia commons, 2006; upraveno: M. Ovčáčík, 2009)

Na současné podobě Alp se však nepodílely pouze zdvihy a vrásnění, nýbrž i čtvrtohorní zalednění, které pokrylo téměř celé území Alp a nad led se vyzdvihovaly pouze horské hřebeny jako nunataky (Král, 1999). Podle mezinárodní dohody je datována hranice mezi pliocénem a pleistocénem do období před 1,8 miliony let a konec pleistocénu před zhruba 11 000 lety. V této době již také pomalu ustupovalo poslední zalednění (Lichtenberger, 2000). Původně byly ve třetihorním období popsány čtyři doby ledové – Günz, Mindel, Riss, Würm. Postupem času byla ještě přidána další starší období Donau a Biber (Fitzsimons, 2001). Během Würmského zalednění pokrýval např. podle J. Krále (1999) ledovec plochu 47 050 km², což byla více než polovina současného dnešního území. Sněžná čára se pohybovala přibližně o 1 200 m níže než v současnosti, tudíž byla velká část Alp zaledněna a mohutné ledovcové proudy dosahovaly v údolích řek Inn a Drávy mocností až 1 500 m. Jejich plocha v pleistocénu byla v celých Alpách okolo 150 000 km², což představovalo necelých 80 % z rozlohy pohoří. Největší z ledovců dosahovaly až alpských předhůří, kde modelovaly terén svými koncovými splazy do podoby pánví, ve kterých po ústupu zalednění vznikala jezera. Takovýto původ mají na rakouském území například jezera Solné Komory (Salzkammergut) nebo jezera v Korutanech (Kärnten). Na východním okraji nedosahoval ledovec příliš velké mocnosti, a tudíž se nedostal do příliš velké vzdálenosti od Alpského oblouku. Ve vysokých Vápencových Alpách se nacházely již jen izolované zaledněné plochy a karové ledovce. Střední krystalické pohoří nebylo zaledněno téměř vůbec. Naopak na jihu Alp se Drávský ledovec dostal až do

Klagenfurtské pánve a celou ji vyplnil. Ovšem sousedního ledovce v údolí Muru již nedosáhl (Lichtenberger, 2000). Jako důkaz tohoto zalednění můžeme v oblasti nalézt řadu jezer glaciálního původu, jež vznikly na koncích čelních morén po ústupu ledovce. Nejrozsáhlejší jsou Wörthersee, Millstätter See, Ossiacher See, Weissensee. Největší z nich je Wörthersee, na jehož východním břehu leží město Klagenfurt a západní pobřeží zasahuje až do blízkosti Vilachu, je v současnosti intenzivně využíváno k rekreaci, což se také promítá na kvalitu vody. Nejhlubší je v této oblasti ovšem Millstaeter See, které dosahuje hloubek přes 140 m (Kärntner Institut für Seeforschung, 2009).

Díky rozdílným nadmořským výškám v Západních a Východních Alpách se dále prohlubovaly rozdíly mezi těmito částmi Alp vlivem různého stupně zalednění horských oblastí. Východní část pohoří je nyní poměrně bohatě zalesněná, v západní části Alp byla ledovcem modelována hluboká údolí do typického tvaru U se stupňovitými a visutými svahy. Tvořily se deprese, ve kterých později vznikala jezera. Naopak východní část Alp byla pokryta periglaciálními zbytky a získala tak charakter zarovnanějšího povrchu s množstvím morén, bažin a nánosů spraší.

Obecně se v oblasti Alp nachází mnoho různých druhů půd díky velice členitému reliéfu a různému horninovému podkladu. Většinou se jedná o mladé a nevyvinuté půdy, které se tvoří teprve od doby ústupu ledovce. Pro severní vápencovou oblast jsou typické rendziny, které přechází ve vyšších nadmořských výškách v litosoly. Ve střední části, v krystalických Alpách, pokrývají kyselé substráty litosoly a rankery, v nižších polohách to jsou potom podzoly nebo nenasycené kambisoly (Král, 1999).

Z hlediska podnebí se nachází Alpy na rozhraní mezi oceánickými a pevninskými vlivy prostředí a zároveň je jejich klima ovlivňováno i severskými (boreálními) a středomořskými vlivy. Najdeme zde místa s mírně teplým vlhkým podnebím západní Evropy, chladné a vlhké boreální podnebí, v horských a velehorských oblastech se projevuje sněhové a mrazové podnebí. Značné místní odchylky jsou podmíněny geomorfologií terénu. Místní klima může záviset na nadmořské výšce, sklonu svahu, orientaci, podloží, směru údolí, kotlinové nebo vrcholové poloze. Nejvýznamnějším činitelem rozdílů v místním klimatu je úhel dopadu slunečního záření. Bylo zjištěno, že jižní svahy dostávají 8 až 10 krát více tepla než svahy orientované severně a při pozorováních byl naměřen teplotní rozdíl na zemském povrchu mezi jižním a severním svahem až 54°C. Poměrně velký význam zde mají také inverze, které se vytváří v kotlinách. Některá místa, jako například kotlina

Lungau, si dokonce vysloužila přívlastek „Rakouská Sibiř“. Nejnižší teplota $-52,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ však byla naměřena v Dolních Rakousech v pohoří Durrenstein (1878 m n. m.). Nedílnou součástí Alp je také Fén – teplý padavý horský vítr, který s klesající nadmořskou výškou zvyšuje svou teplotu. Srážkové úhrny v rakouské části Alp nejsou tak vysoké jako na západní návětrné straně, kde dosahují roční průměry k hodnotám 3 000 – 3 500 mm.

Alpy na rakouském státním území náleží z větší části k povodí Dunaje a úmoří Černého moře. Pouze nejzápadnější část výběžku ve Vorarlbersku je odvodňována řekou Rýn do severního moře. Ledovce mají pro zdejší ekosystém velmi důležitou roli. Jejich objem je v Rakousku odhadován na 21 km^3 ledu, jež znamená zásoby okolo 19 km^3 sladké vody. Toto představuje přibližně pětinu průměrných ročních srážek. Ledovcový potenciál má mnoho využití. Jako příklad může posloužit stavba velké hydroelektrárny v Kaprunu ve Vysokých Taurách (Hohe Tauern), která byla započata již v roce 1938 a dokončena byla v extrémně těžkých podmínkách v roce 1950. Teplá léta a velké množství vody z ledovce vedlo ke zvýšení hráze o další dva metry, ale následná chladná období v 70. letech 20. století způsobila, že kapacita přehrady nebyla plně využita (Lichtenberger, 2000). Výroba energie v hydroelektrárnách je v Rakousku poměrně využívaný způsob, jelikož řeky mají díky tavné vodě z ledovců dostatek vody i v letním suchém období.

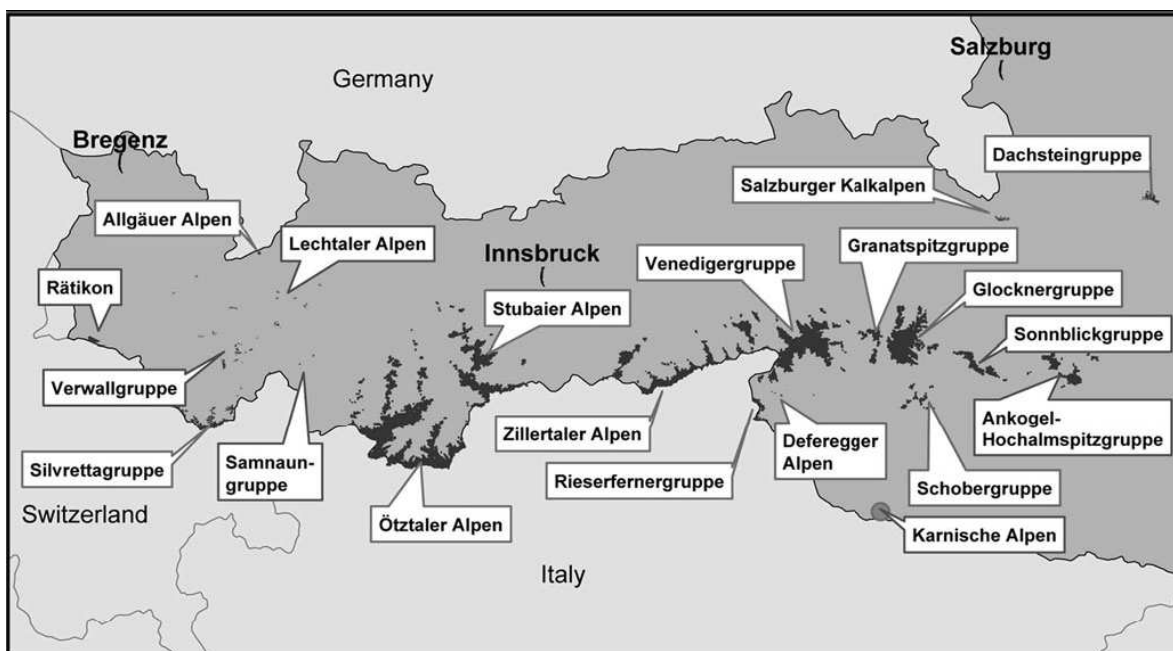
V současné době můžeme hovořit pouze o zbytcích z původního množství ledovců v Alpách. Ty totiž prochází již delší dobu fází ústupu, která byla jen občas důsledkem chladnějších roků nahrazena stagnací nebo mírným vzestupem. Údaje z roku 1950 uvádí v Alpách plochu zalednění 4140 km^2 . O 15 let později již katastr ledovců z roku 1975 uvádí v celých Alpách 4 244 ledovců, jež zabíraly plochu již jen $2\,707\text{ km}^2$ (Král, 1999).

Současné zalednění na území Rakouska

Historie mapování ledovců v Rakousku

První historické zmínky o ledovcích se podle Rotta (1993) objevují v dokumentech již ve středověku a okolo roku 1600 se začaly objevovat zmínky ve větším množství záznamů. Zpočátku šlo o popisy pozorování jednotlivých ledovců. Nejstarší zmínky existují o ledovci Vernagferner v Öztalských Alpách. První mapy se

zakreslenými ledovci přineslo až vojenské mapování, ze kterého vzešly mapy v měřítku 1: 28 800 a publikovány byly v období 1807 – 1834. V pozdější době se již zvyšoval počet pozorování, díky nimž máme v současnosti poměrně dobré zprávy o stavu ledovců v poměrně vzdálené minulosti. Kompletní přehled ledovců v Rakousku vznikl při 3. topografickém mapování v letech 1871 - 1873, ze kterého pocházejí mapy v měřítku 1: 25 000 na kterých jsou ledovce zakresleny. První ucelený inventář ledovců na území Rakouska byl sestaven v roce 1969 na Univerzitě v Innsbrucku (Lambrecht, 2007). Pro tento účel byly pořízeny letecké snímky, které zobrazovaly všechny ledovce a po fotogrammetrickém zpracování byly sestaveny mapy, které obsahovaly výškové obrysy, kóty, hranice ledovců a sněžnou čáru. Tyto mapy byly zpracovány v měřítku 1: 10 000 a 1: 5 000. Celkový výsledek studie byl, že na území Rakouska se nachází přibližně 540 km² plochy pokryté 925 ledovci. Pro některé oblasti však mapy z roku 1969 úplně chyběly nebo byly nekvalitní. Lichtenbergerová (2000) ve své práci používá data z roku 1980 a uvádí stejný počet ledovců, ovšem s plochou o 3 km² větší než v inventáři z roku 1969. Podle stejné práce mělo pouze 114 ledovců (12 %) plochu větší než 1 km². Ostatní jsou jen velmi malé karové ledovce. Největší zalednění na území Rakouska (32 %) je v Ötztalských Alpách (Lichtenberger, 2000).



Obrázek 11: Zalednění na rakouském území s názvy horských skupin (A.Lambrecht a M. Kuhn, 2007)

Inventarizace v roce 1996

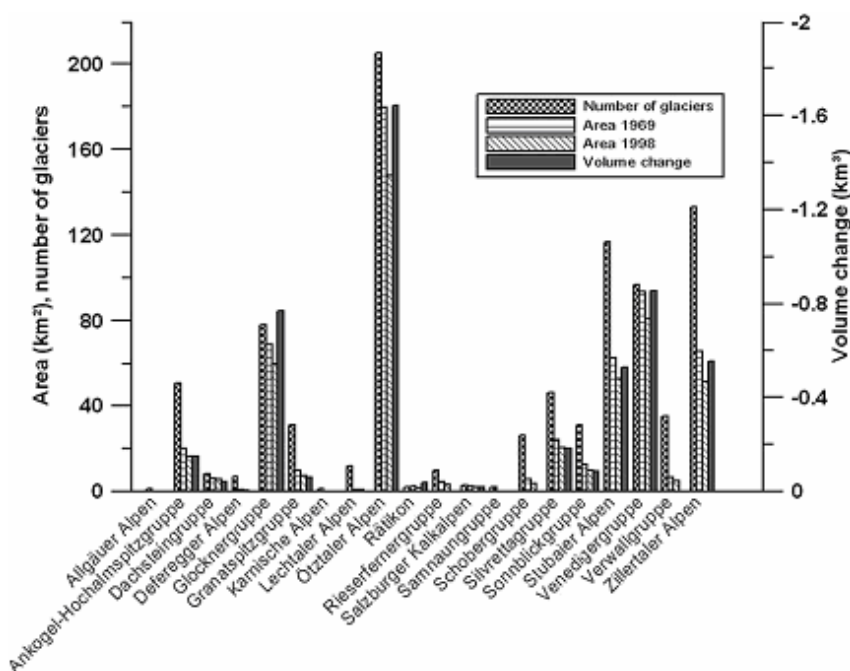
Pozorované změny v zalednění byly motivací pro iniciaci nového mapování na území. Dalším podnětem byla také inventarizace glaciálních ploch v okolních alpských zemích. Použita byla metoda leteckého snímkování, které odstartovalo v roce 1996 a probíhalo až do roku 2002. Nejvíce snímků bylo pořízeno v letech 1997 a 1998. Jako výstup vznikly mapy v měřítku 1: 10 000 a data jsou dostupná také přes geografické informační systémy (GIS). Během příprav nového mapování v roce 1996 byl vyvinut systém, jenž umožňuje poloautomatickou generaci digitálních modelů z leteckých snímků a ulehčil tak jejich vyhodnocování. Snímky byly poté použity pro srovnání se snímky pořízenými pro první inventář z roku 1969. Tyto dvě sady fotografií poskytly možnost srovnání změn během posledních tří desetiletí. Téměř na všech ledovcích byl během zkoumaného období pozorován úbytek a celkové snížení ledového příkrovu činí v tomto časovém úseku 17,1 %. Objem úbytku, vypočítaný z digitálního modelu je asi 5 km³ ledu, což představuje téměř 22 % z celkového objemu ledovců v Rakousku. Ovšem předchozí fáze, kdy ledovce nabývaly svou hmotu, neprobíhala v příliš vzdálené minulosti. Poměrně významné období akumulace ledovcové hmoty bylo reakcí na chladné roky v 70. letech. Tento trend rozšiřování plochy a objemu ledovců však postupně zpomaloval, až v polovině 80. let přešel vývoj do recese a od té doby ledovce v Rakousku vykazují úbytek. Kvantitativní analýza byla doposud udělána pouze pro několik ledovců, které spadají do mapovacích projektů. Do seznamu spadají především větší ledovce, které jsou zkoumány kvůli svému vlivu na hydrologický systém Alp. V ledu jsou totiž uloženy velké zásoby sladké vody, která se akumuluje ve srážkově bohatých a chladných částech roku a poté se uvolňuje během teplých a suchých období v létě. Proto jsou data o změnách velikosti ledovců velice důležitá a jejich pořizování se věnují na některých místech již dlouhou dobu. Pro několik ledovců v Ötztalských Alpách, které samy reprezentují 74 % zaledněné plochy naměřené v roce 1997, existují dlouhé série bilancí. Jedná se o Hintereisferner, Vernagtferner a Kesselwandferner.

Pro tyto lokality jsou shromažďována také klimatická data v přílehlých meteorologických stanicích. Analýza dat z dálkového průzkumu země signalizuje, že v letech 1969 až 1985 nedošlo k žádným významným změnám plochy ledovců, a proto se předpokládá, že změny počaly někdy mezi rokem 1985 a počátkem pravidelného klimatického měření na ledovcích. Změny v čase lze však těžko předpovídat. Jsou ovlivněny kolísáním teplot, a tudíž lineární interpolace dat ze dvou měření není příliš

vypovídající. Proto se na určování fluktuací ledovců použily složité výpočty. Nestandardizovaná plocha pro rok 1998 byla vypočtena na 470,9 km², avšak standardizovaná má 469,7 km². Rychlost změny plochy ledovců je tak vypočítána na -4,92 km² za běžný rok. To znamená změnu rozlohy -0,24 % a objem -2,07 % za jeden rok.

Změny v zaledněných oblastech

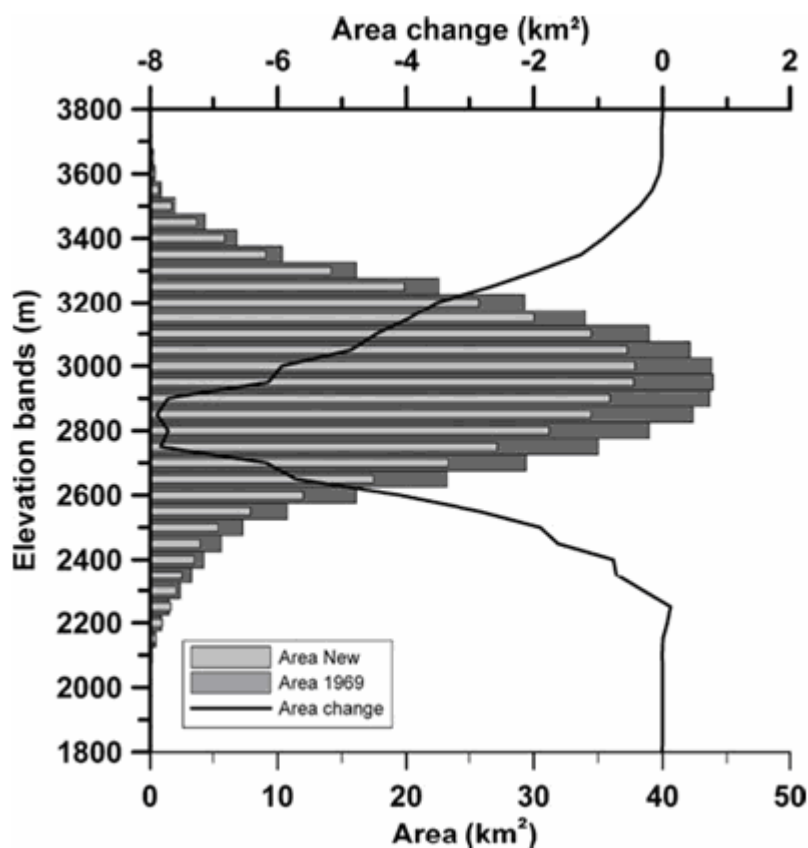
Při analýze dat z obou inventářů bylo prokázáno celkové snížení zaledněného území v rakouských Alpách během tří desetiletí o 17,1 %, z plochy 567 km² až na 470,9 km². Změny v jednotlivých zaledněných horských oblastech Rakouska naznačuje obrázek 12. Lze si všimnout, že 7 z 20 oblastí mělo v roce 1998 stále ledovcovou pokrývku větší než 10 km². Největší oblastí jsou Ötztalské Alpy, které mají rozlohu 148 km². V tomto regionu se projevila změna o -17,6 %, což je mírně nad průměrem. To potvrzuje skutečnost, že všechny oblasti s větší ledovcovou pokrývkou se vyznačují změnou své plochy blízko k celkovému průměru. Naopak regiony s menší plochou zalednění vykazují poměrně velké výkyvy změn. Například ledovce v Kärnische Alpen s celkovou rozlohou 0,18 km² se zvětšily o 11,3 %, naopak ledovce v Samnaungruppe s celkovou rozlohou 0,082 km² přišly o 59,8 % své rozlohy. Toto není pouze záležitost Rakouska, nýbrž stejné výkyvy jsou potvrzeny i na malých ledovcích ve Švýcarsku (Lambrecht, 2007).



Obrázek 12: Změny rozlohy ledovců v jednotlivých zaledněných oblastech Rakouska (A.Lambrecht a M. Kuhn, 2007)

Rozsah zalednění v různých hladinách nadmořské výšky

Na obrázku 13 je patrné, že největší zalednění v roce 1969 vychází na rozmezí okolo 2850 až 3000 m n. m. V novějším inventáři je tento interval největšího zalednění posunut do vyšších nadmořských výšek asi o 50 metrů. Největší změny v ledovcové oblasti se nacházejí ve výškovém rozsahu 2 700 až 2 900 m. Změna činí až 8 km². Průměrná nadmořská výška ledovců byla v roce 1998 ve výšce 2914 m. Oproti roku 1969, kdy byla ve výšce 2 902 m, zaznamenala změnu o 0,4%, což ukazuje na výraznější úbytky v nižších nadmořských výškách.



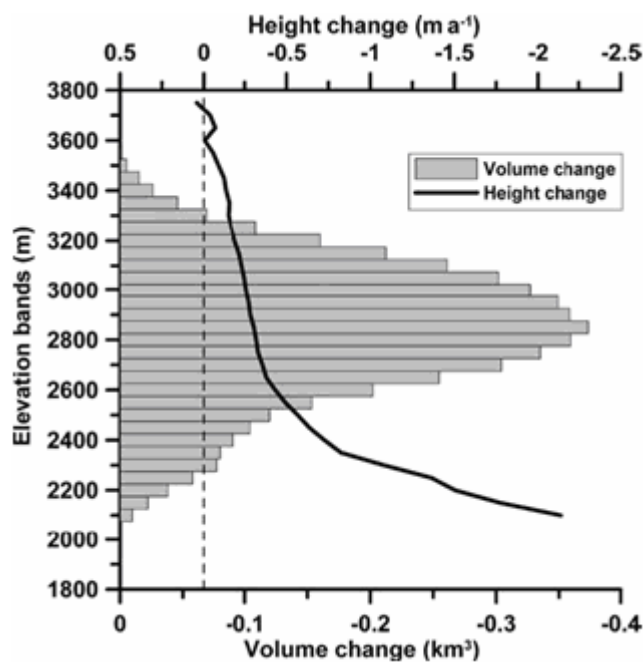
Obrázek 13: Plocha ledovců a změna v různých výškových hladinách. (A.Lambrecht a M. Kuhn, 2007)

Objemové změny

Celková změna objemu ledovců v období 1969 až 1998 činí 4,9 km³. Přibližně třetina tohoto objemu odtála v Ötztalských Alpách. I zde je změna objemu malých ledovců hodně nevyrovnaná. Analýza dat z jednotlivých ledovců ukazuje, že některé z nich ztratily více, jiné zase méně svého objemu. Největší ztráty vykazují ledovce, jenž se dostávají do nižších poloh. Jedná se většinou o údolní ledovce, které svými splazy

dosahují nízkých nadmořských výšek, kde ledovec odtává a zaniká. Typickými příklady jsou například Pasterze, Gurglerferner, nebo Obersulzbachkees. Naopak ledovce s výraznými firnovými oblastmi nebo vysokohorské karové ledovce takové velké úbytky nepostihují.

Maximální změny průměrných nadmořských výšek u malých ledovců dosahovaly 14,5 m. Naopak změny na velkých údolních ledovcích činily až 18,5 m. Toto je důsledek velkých ztrát těchto ledovců v nízkých nadmořských výškách v letech 1985 až 1998. Například Hintereisfernen ztratil ve zkoumaném období 6,6 m ve výškové hladině mezi 2 450 m a 2 700 m. Malé ledovce přetrvaly do dnešní doby pouze ve vyšších polohách, na dobře chráněných místech před sluncem a v místech s velkou akumulací sněhu. Celkově největší změny ledovcového objemu probíhají v rozpětí 2 800 až 2 850 m n. m., což je pouze o 100 m níže než nadmořská výška s největším podílem zalednění. Z tohoto vyplývá, že velkým ubýváním ledovců je ohroženo velké procento objemu. Obrázek 14 zobrazuje situaci nad rovnovážnou linií ve výškách okolo 3 000 – 3 200 m, kde ledovce velmi citlivě reagují na změny v nižších polohách. Ovšem existují také rozdíly v úbytku plošně rozsáhlejších ledovců, které ubývají rychleji, než masivní údolní ledovce. Z obrázku 14 vyplývá, že během zkoumaného období vykazují téměř všechny výškové skupiny ztrátu. Jen nejvyšší polohy vykazují nepatrné zvýšení masy ledu. Vertikální distribuce ledových mas ukazuje lineární zvyšování úbytku ledu až po 2 600 m a následné prudké zrychlení ablace s klesající nadmořskou výškou.



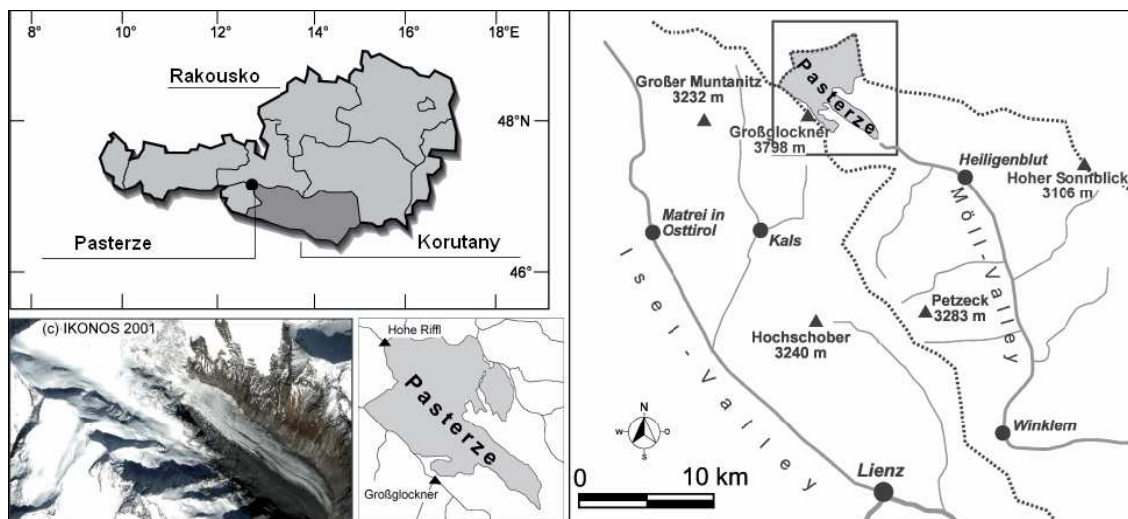
Obrázek 14: Objemové a výškové změny mezi roky 1969 až 1996. (A.Lambrecht a M. Kuhn, 2007)

6.1 Charakteristika nejvýznamnějších ledovců v Alpách

Ledovců v Rakousku je stále poměrně vysoký počet, ale ve většině případů se jedná o menší plochy pokryté ledovcem, které nejsou příliš ve středu zájmu a neobjevuje se o nich mnoho zmínek. I přesto jsou však zaznamenány jejich data v ledovcových inventářích a pro některé z nich jsou k dispozici i přehledy změn v jednotlivých letech. V příloze č. 4 je přiložena tabulka, ve které je zaznamenáno 115 rakouských ledovců s jejich základní charakteristikou a změnami v letech 2000 až 2005. Pro tuto kapitolu jsem však vybral jen ty největší nebo speciálně monitorované. Na prvním místě podle rozlohy je ledovec Pasterze, na druhém Gepatschferner. Kvůli výjimečné poloze jsem vybral Halštatský ledovec. Hintereisferner je zajímavý pro své dlouhé období pozorování, ze kterého existují velmi zajímavá data, které vypovídají o chování ledovců v dřívějších dobách.

Pasterze

Patří do skupiny údolních ledovců a na rakouském území a ve Východních Alpách se řadí svou délkou a rozlohou na první místo. Nachází se uprostřed národního parku Hohe Tauern na úpatí Grossglockneru - nejvyšší hory Rakouska.



Obrázek 15: Pozice Pasterze v Rakousku a Korutanech (M. Avian, 2007)

V pohoří Glocknergruppe se podle Lambrecht (2006) nacházelo 79 ledovců, jež zaujímaly plochu 69 km². Samotný Pasterze se rozkládal na více než 15 km² a ostatní ledovce tvořily zbytek plochy. Žádný z nich však neměl plochu větší než 5 km² a na rozloze do 1 km² se rozprostíralo 80 % ledovců. Díky svým rozsáhlým firnovým polím a dlouhému splazu je považován za ideální příklad údolního ledovce. Má vysoko položené firnoviště nacházející se na svazích hory s názvem Johannisberg (3 453 m n. m.), která svým tvarem jasně připomíná pyramidu. Toto zploštění dosahující šířky až 5 km je rozděleno na 2 firnová pole – Schneewinkel na jihu a Riffwinkel na severu. Z nich potom led proudí širokým průčelím mezi Mittleren Burgstall (2 933 m n. m.) a Kleinen Burgstall (2 709 m n. m.) a vytváří podkovovitý zlom, pod kterým následuje několik set metrů prudkého klesání terénu. Na hraně v důsledku rychlejšího pohybu ledu po strmém terénu vznikají povrchové trhliny (crevasses) a od 80. let 20. století se v okolí zlomu objevuje čím dál více holých míst bez sněhu, což je neklamný důsledek, že firnová pole v akumulární oblasti dodávají pro ledovec stále méně hmoty. Pod hranou zlomu již začíná vlastní tělo údolního ledovce Pasterze, které pokračuje dále do údolí v délce okolo 4 km (Lieb, 2007). Jazyk a ledovcové předpolí se rozprostírají na dně širokého trogového údolí jižně od Grossglockneru (3 798 m n. m.) a na sever od vrcholu Fuscherkarkopf (3 331 m n. m.). Toto údolí, společně s nejvyšším vrcholem Rakouska, nesoucí poetický název „Velký Zvoník“, jsou jakýmsi symbolem rakouských Alp a proto se tato oblast stala jedním z nejnavštěvovanějších míst. Jako základna pro pozorování Pasterze se stala Franz Josef Höhe, kde vyrostlo množství hotelů, restaurací a obchůdků se suvenýry, kam proudí tisíce turistů, kteří se mohou dostat až přímo na ledovec. Další skutečnost, která dokazuje, že je okolí Grossglockneru v centru zájmu je, že jeho okolí i ledovec Pasterze patří k nejlépe prozkoumaným částem Alp.

Pasterze

Foceno z Leiterkopf (2483m n. m.)



Obrázek 16: Paštorský ledovec (G. Lieb, 2002, upraveno: M. Ovčáčík 2009)

Na těle ledovce se nachází velký počet prasklin a rozsedlin, které jsou velmi nebezpečné pro výzkumníky, kteří se pohybují po ledovci. Nejvíce jich je na levé straně splazu, pravá strana je naopak dokonale překryta sutí, a proto často není vnímána nezasvěcenými pozorovateli jako součást ledovce. Tento suťový příkrov nad ledem představuje poměrně efektivní ochranu před odtáváním ledovce a ztráty na objemu jsou tak pod touto pokrývkou mnohem menší než na protější straně ledovce. Tudíž i výška ledovce je na pravé straně splazu vyšší než na levé, sutí nechráněné straně. Pravá část se také dostává níže do údolí a tvoří tak čelo ledovce, zatímco levá část se postupně ztrácí. Okolo 100 m před čelem ledovce se nachází první ze dvou jezer v údolí. Jeho název Sanderseersee již napovídá, že jeho dno je pokryto pískovými částicemi, jež jsou sem splavovány tavnou vodou z ledovce. Na fotografii O. Sklenáře, 2007 v příloho­vé části lze již pozorovat značné zanesení jezera, které věští jeho brzký zánik. O něco níže v údolí se nachází větší jezero s názvem Margaritzensee.

Celkové ztráty ledovce v období 1969 až 1998 byly odvozeny podle digitálních výškových modelů vypracovaných pro ledovcové inventáře. Úbytek v pohoří Glocknergruppe představoval 13 % objemu ledovce, což je číslo podobné úbytku

ledovců například v Ötztalských Alpách. Jeden z malých ledovců však úplně zanikl a jen úbytek na Pasterze představoval 48 % z celkové změny v pohoří.

Změny na Pasterze se podobají v mnoha ohledech kolísání i ostatních horských ledovců. Pro Pasterze jsou popsány změny od posledního postglaciálního vrcholu v roce 1852 a podle záznamů ledovec stejně jako většina ostatních vykazuje neustálý úbytek, jak ukazuje tabulka 2.

Tabulka 2: Délka, plocha a objem ledovce Pasterze a jejich vývoj od roku 1851

ROK	1851	1924	1969	1985	2002
DÉLKA	11,0 km	10,3 km	9,5 km	9 km	8,4 km
PLOCHA	26,5 km ²	22,6 km ²	19,8 km ²	18,9 km ²	18,5 km ²
OBJEM	3,5 km ³	2,9 km ³	2,2 km ³	2 km ³	1,8 km ³

Zdroj: Lieb, 2007

Jelikož se považuje Pasterze za nejlépe prozkoumaný ledovec, nebyly zde v poslední době prováděny žádné rozsáhlejší výzkumy, avšak menší vědecké projekty týkající se změny klimatu a tání ledovce zde probíhají v posledních letech neustále. Dále se ledovec může pochlubit například množstvím standardních měření, které má počátek v roce 1879 a trvá až do současnosti. První zmínky o rozsahu tohoto ledovce jsou zakresleny v mapce Korutan z roku 1612, další prameny pochází někde z poloviny 17. století. Podle rekonstrukce z těchto údajů však Pasterze nebyl o mnoho větší než při prvním oficiálním měření v roce 1852. Od této doby se však již ledovec značně zmenšil a v současnosti je více než zřejmé, že stav ledovce, v jakém se nachází nyní je na svém minimu ve známé historii.

Avian (2008) popisuje, že od roku 1969 do roku 2003 se zmenšilo zalednění v pohoří Glocknergruppe o 33 %, z čehož polovina úbytku připadá na posledních 5 let zkoumaného období a druhá polovina odtála v průběhu let 1969 až 1998. Toto poukazuje na zvyšující se rychlost ústupu ledovců. Dále také například Hall (2001) uvádí, že podle pozemních dat naměřených na Pasterze se délka jazyku ledovce v letech 1984 - 2000 zkrátila o 290 metrů. Snímky ze satelitu Landsat bohužel nemohou posloužit pro srovnání, jelikož pravá strana ledovce, jenž je kryta sutí je na těchto snímcích zobrazena jako část okolních morén a proto jsou tyto data pro srovnání nevhodná. Od roku 2001 však odstartovalo měření pozemním laserovým scannerem, které řídí Michael Avian z Institutu Dálkového Průzkumu a Fotogrammetrie na Technologické Univerzitě v Grazu. Jednalo se o testovací měření a Pasterze byl vybrán

pro svůj dobrý přístup až k ledovci po vysokohorské silnici Grossglockner Hochalpenstrasse, po níž se lze dostat až na vyhlídku Franz Josef Höhe.

Hintereisferner

Tabulka 3: Základní charakteristiky

Zeměpisné souřadnice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha km ²	Délka km
šířka	délka	horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005
46°48′	10°46′	3 710	3 050	2 426	8,72	7,13
Expozice		Změna délky čelní hrany [m]				
Akumulační, ablační	První měření	2001	2002	2003	2004	2005
V, SV	1848	-19,1	-18,4	-30,4	-14,1	-27,1

Zdroj: WGMS, 2009

Je údolní ledovec, který se nachází ve vnitřních, poměrně srážkově chudých Ötztalských Alpách v jižním Tyrolsku na hranici s Itálií. Bernard Markl (2007) ve svém



článku uvádí jeho rozlohu 8.9 km² a rozsah výšek v rozmezí 2 500 – 3 720 m n.m. Oblast s nejvyšším přírůstkem ledové hmoty se nachází ve výšce mezi 3 100 – 3 150 m n. m. Hintereisferner má severovýchodní expozici a je ve vrchních částech vyživován několika jazyky, jejichž počet vzrostl v posledních 100 letech. To má na svědomí ústup ledovce a snížení vrstvy ledu, které odhalilo morfologii terénu. Radioaktivním datováním bylo při výzkumech určeno stáří ledu na Hintereisferneru na 1 200 let. Hydrologicky můžeme tento ledovec zařadit na území na rozvodí Rofenache, které pokrývá plochu asi 98 km² a je ze 70% zaledněné. Střední linie rovnovážnosti prochází ve výšce okolo 3 000 m n. m. V této výšce se pohybuje průměrná teplota okolo -6 až -7 °C a roční srážky činí 1 450 mm. Tyto podmínky umožňují navýšení ledovce ze sněhových srážek ve vrchní části výjimečně až o 6 m. Ve spodních částech však ledovec ablací může přijít až o 7 metrů. Nejvyšší úbytek ledu je zde v termínu od května do září, kdy také teploty dosahují nejvyšších hodnot. Za dobu výzkumu bilance ledovce byly zaznamenány roční výkyvy v rozmezí od -1 325 do +925 mm za rok, což v průměru dává úbytek 449 mm. Všechny výzkumy a pozorování jsou usnadněny výzkumnou stanicí, kterou zde již od roku 1966 provozuje IMG I v Innsbrucku a která pojme až 8 výzkumníků (Markl, 2007).

Při průzkumu historických dokumentů lze dojít zpět až do roku 1601, ze kterého pochází první zmínka o této lokalitě, kde se popisuje i jezero zformované před čelem ledovce. Další zmínky a popis tohoto ledovce se objevují v listinách z roků 1678, 1774, 1770, a 1816. Avšak první systematické pozorování započalo až v roce 1847 a v letech 1870 a 1888 se objevily první mapy oblasti se zakresleným ledovcem. Kvalitní zobrazení oblasti na podrobné mapě pochází z roku 1894 a další následovaly v letech 1920, 1939, 1953, 1964, 1967, 1969, 1979, 1991 a 1997. Vědecké práce různých přírodovědeckých oborů v této lokalitě odstartovaly v roce 1957, který se nazývá „Mezinárodní Geofyzikální Rok“ (International Geophysical Year). V této době byly na ledovci vytvořeny sítě monitorovacích vrtů, které sloužily pro studii hmotnostní bilance ledové masy v ledovci. V současnosti díky tomuto vlastní Institut Meteorologie a Geofyziky na univerzitě v Innsbrucku z ledovce Hintereisferner nejdelší řadu záznamů na světě. Navíc je od roku 1969 v okolí ledovce v provozu také síť klimatických stanic se srážkoměry a totalizátory. Proto jsou data z této oblasti velice důležitá pro detekci změny klimatu spojenou s v současnosti ostře diskutovaným tématem globálního oteplování. Ledovec Hintereisferner byl vždy spojován také se sousedními ledovci (Kesselwandferner a Vernagtferner), podávajícími informace o místním chování ledovců. Výzkumy v této oblasti vznikaly součinností mnoha národních rakouských i mezinárodních projektů a byly zde testovány různé nástroje, modely a metody výzkumů, jež podmiňovaly i zájem o výzkum polárních oblastí. V roce 1998 v oblasti probíhalo například testování nových metod na určování bilance ledových mas výsadvými výškoměrnými senzory (Lambrecht, 2007).

Souvislá, nepřerušovaná řada dat každoroční hmotnostní bilance ledovce začíná již v roce 1952 (Escher-Vetter, 2009).

Hallstätter Gletscher

Tabulka 4: Základní charakteristiky

Zeměpisné souřadnice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha km ²	Délka km
šířka	délka	horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005
47°48′	13°62′	2 910	2 560	2 080	3,3	2,3
Expozice		Změna délky čelní hrany [m]				
Akumulační, ablační	První měření	2001	2002	2003	2004	2005
SV, SV	1848	-3,4	-6,6	-13,3	-4,7	-13,4

Zdroj: WGMS, 2009

Halštatský ledovec je nejsevernějším ledovcem Rakouských Alp a společně s Grosser Gosaugletscher, Kleiner Gosau Gletscher, Schladminger Gletscher, Nördlich a Südlich Torstein, Schneeloch, Edelgriess a Schmiedstock tvoří ledovcovou pokrývku v regionu Dachstein na východě severních vápencových Alp (Krobath, 2006).



Obrázek 17: Pohled na masív Dachsteinu s popisem jednotlivých ledovců (Krobath, 2006)

Ledovec se rozkládá na ploše 3,3 km² a jeho největší délka je 2,3 km (WGMS, 2009). Vědecký výzkum na tomto ledovci započal Friedrich Simony v roce 1840, avšak glaciologické měření se datuje až od roku 1848. Od svého maxima v roce 1856 ztratil do roku 1997 ledovec 41 % své rozlohy a trend ústupu ledovce stále pokračuje. Souvislá řada dat z každoročních měření existuje od roku 1946. Na konci roku 2006 bylo v této lokalitě započato používání přímých glaciologických metod k určování bilance masy ledu a společnost Bluesky Weatheranalysis, která se zabývá pořizováním klimatických dat začala monitorovat klima. Společné výsledky obou monitorování z hydrologického roku 2006/2007 ukazovaly, že Hallstätter Gletscher vykazuje mnohem menší úbytek hmoty ledu než ostatní ledovce v Rakousku. Toto je přisuzováno severnímu a východnímu proudění, způsobujícímu speciální povětrnostní podmínky a orograficky podmíněným srážkám (IMGI, 2009). I přes nejmenší úbytky na ledovcích v regionu Dachstein způsobilo teplé září a říjen v roce 2006 větší odtání ledu a snížení délky ledovce. Nejhorší situace je však podle Mandla (2006) na ploše zvané Hunnerkogel, kde jsou provozovány zimní a letní lyžařské aktivity a v důsledku nadměrného znečišťování

ledovce odpadky, které zde zanechávají lyžaři, se v posledních 38 letech na povrchu ledovce vytvořila načernalá vrstva špíny a odpadků, která má za následek zrychlené odtávání ledovce. Tato tmavá vrstva na povrchu ledovce totiž špatně odráží sluneční záření a má na svědomí vyšší povrchovou teplotu ledovce a následně rychlejší odtávání v teplejších měsících. Zemská vláda se tak v posledních letech snaží nalézt řešení tohoto problému, ale stále se nemohou dohodnout, kdo je za napáchané škody zodpovědný.

Gepatschferner

Tabulka 5: Základní charakteristiky

Zeměpisné souřadnice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha km ²	Délka km
šířka	délka	horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005
46°51′	10°46′	3 520	3 090	2 060	17,817	8,2
Expozice		Změna délky čelní hrany [m]				
Akumulační,ablační	První měření	2001	2002	2003	2004	2005
SV, S	1856	-22,9	-26,6	-62,6	-12,6	-20,5

Zdroj: WGMS, 2009

Je největší ledovec Ötztalských Alp a druhý největší ledovec v Rakousku. Rozkládá se na hranici s Itálií v uzavěru Kaunertalského údolí, jež je nedaleko vyplněno jezerem Stausee Gepatsch. Tento



největší ledovec Ötztalských a Stubaiských Alp je nejzvláštnějším ledovým tvarem. Jeho firnové pole se rozkládá okolo Weissseespitze (3526m n. m.) na západě a Hintereisspitzen (3486 m n. m.) na východě ve výšce okolo 3 100 m a dosahuje šířky 5 km. Jeho vrchní část je poměrně plochá, že pouhým okem není možné určit, kterým směrem se ledovec svažuje, ani kterým směrem led odtéká. Přesto ledovcový proud dosahující délky okolo kilometru stéká severním směrem do údolí Kaunertal. V době svého vrcholu, v roce 1856 byla určena rozloha 21,2 km². V roce 1971 byla plocha již jen 17,70 km², což znamená, že za období 115 let se rozloha zmenšila o 18,5 % a úbytek nebyl zaznamenán jen na splazu, nýbrž na celé ploše. I přes takový vysoký úbytek to byla mnohem menší ztráta než jaká byla zaznamenána na jiných ledovcích v Alpách za stejné období. Jazyk ledovce se zmenšil v období 1856 až 1950 asi o 1,5

km (Bachmann, 1975). První kartografické záznamy pochází z období 1750-1765, kdy Peter Anich zobrazoval do map celé severní Tyrolsko.

7. Vývoj zalednění v posledních 20 letech na ledovci Vernagtferner

Tabulka 6: Základní charakteristiky

Zeměpisné souřadnice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha km ²	Délka km
šířka	délka	horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005
46°53′	10°49′	3627	3142	2765	8,36	3,15
Expozice		Změna délky čelní hrany [m]				
Akumulační, ablační	První měření	2001	2002	2003	2004	2005
J, JV	1889	-21	-21	-40	-16	-27

Zdroj: WGMS, 2009

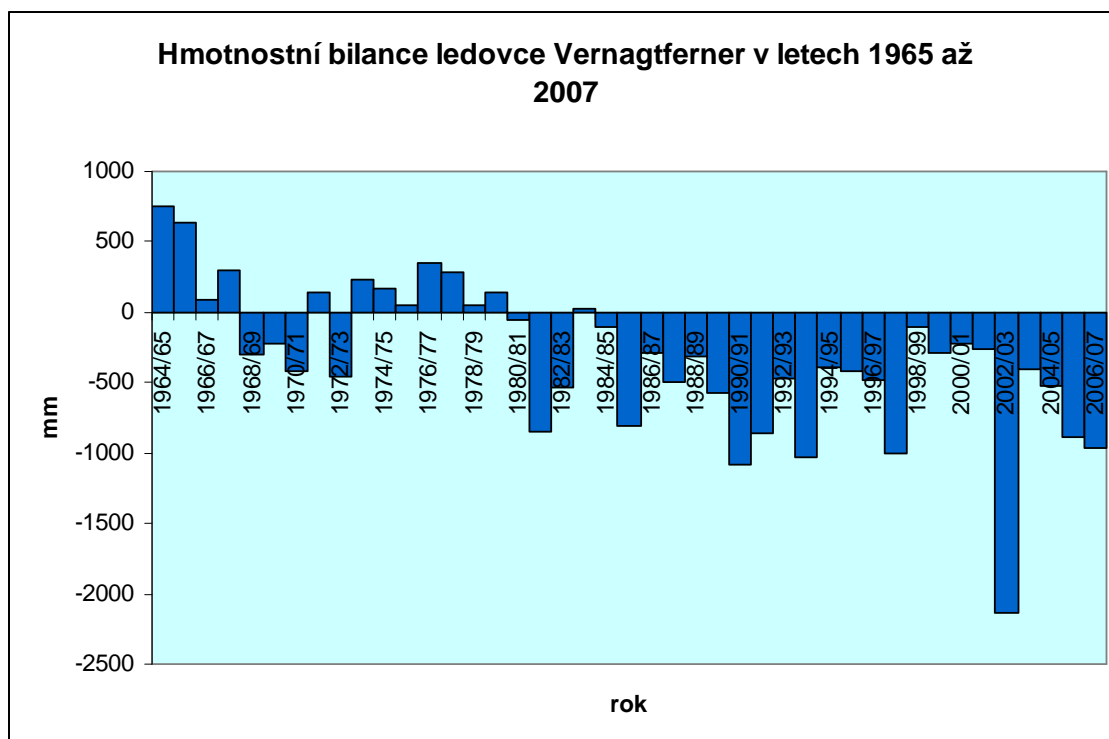
Ledovec se nachází v jižní části Ötztalských Alp ve spolkové zemi Tyrolsko. Jeho rozloha v roce 2007 podle WGMS (2007) byla 8,3 km², což jej řadí mezi ty větší rakouské ledovce. Jeho plocha se dělí na



Brochkogelbereich, který tvoří pravou část, střední část se nazývá Taschachjochbereich a levá část je Schwarzwandbereich. Jeho hmota je nerovnoměrně rozdělena ve výškách mezi 2 800 a 3 628 m n. m., přičemž průměrná nadmořská výška se pohybuje v současnosti okolo 3 150 m. Největší plocha (70 %) se rozkládá mezi 3 000 a 3 300 m n. m. V jeho blízkosti se nachází druhá největší hora Rakouských Alp – Wildspitze (3 770 m n. m.). Průměrná roční teplota vzduchu pro nadmořskou výšku 3 065 m byla vypočtena na základě záznamů z meteorologické stanice Vernagt (2640 m n. m.) a Schwarzkögele (3 050 m n. m.) na rozmezí -3,5 a -4,5 °C (Haeberli, 2007). Srážky v povodí Vernagtferneru, jež zabírá plochu 11,4 km² představují 1 550 mm za rok. První zmínky o vědeckém pozorování tohoto ledovce jsou z roku 1889, ale první glaciologické měření je zaznamenáno až v roce 1965 a dálkovým průzkumem byl ledovec poprvé snímán v roce 1974 (Haeberli, 2007). Souvislá řada měření je pořizována od roku 1964 (Escher - Vetter, 2009), díky čemuž se Vernagtferner řadí mezi ledovce s nejdelší souvislou řadou dat. Tento ledovec je celkově jeden z nejlépe popsaných, jelikož o něj byl velký zájem již od 16. století kvůli jezeru Rofener Eisse,

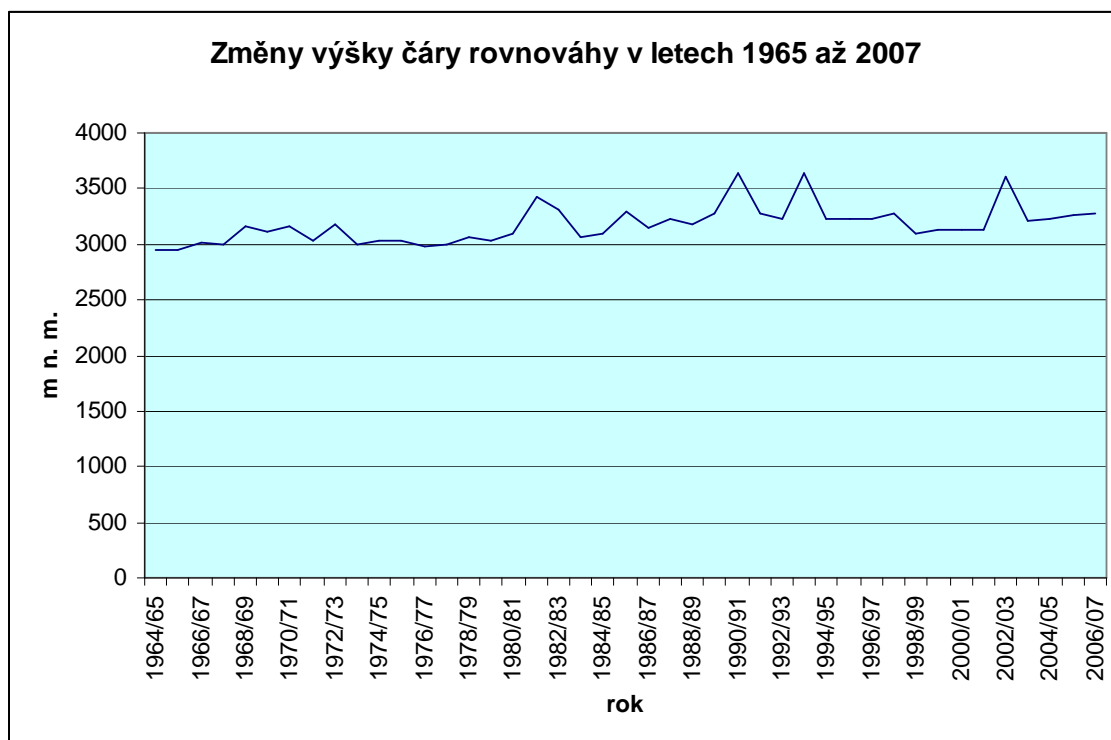
kteře se vytvářelo před jeho čelem a po protržení ledové hráze způsobilo přílivovou vlnu, která zničila obce Venter a Ötztal. To přineslo mnoho obětí a způsobilo bídu v údolí.

Z následujících grafů je více než patrné, jakým směrem se ubírá vývoj ledovce. Hmotnostní bilance určuje množství napadeného sněhu a velikost ztráty ledu přepočtené na vodní ekvivalent. Konečný výsledek potom představuje počet mm vodního sloupce. Pokud je číslo záporné, znamená to přebytek ablace ledovce nad akumulací a ledovec ustupuje, naopak ledovec narůstá. Pro větší názornost jsem použil delší časovou řadu dat, která více vypovídá o vývoji ledovce. Poslední nepatrný nárůst hmoty ledovce Vernagtferner byl zaznamenán v hydrologickém roce 1983/84 a od této doby je trend opačný a velikost ztrát narůstá značným tempem. Výjimku tvoří pouze rok 1998/99, kdy byl pouze nepatrný úbytek díky nadprůměrné akumulaci sněhu v zimním období. Zanedlouho, v roce 2002, však minimální srážky v zimě a téměř dvojnásobně dlouhá doba ablačního období následujícího roku, způsobily extrémní ztrátu hmoty ledovce, jakou ledovec ve známé historii nepamatuje. Náhorné rozložení ztrát na ledovci v různých hladinách nadmořské výšky v tomto roce je zobrazeno v příloze č. 3. Na tomto obrázku je zřetelně viditelné, že úbytek byl extrémní i pro vysoko položené úseky ledovce. Pro srovnání jsou v příloze připojeny také tyto změny pro jednotlivé hydrologické roky od 2001 do 2007.



Obrázek 18: Hmotnostní bilance na Vernagtferneru (M.Ovčáček, 2009) Zdroj: Commission for Glaciology, 2009

Čára rovnováhy ledovce (equilibrium line) znázorňuje hranici mezi oblastí, kde převažuje nárůst ledovce nad ablací a oblastí odtávání ledovce. Tato výška je rok od roku proměnná a závisí na množství napadeného sněhu a na délce období s vysokými teplotami. Z grafu je patrný nárůst průměrné nadmořské výšky této linie i jednotlivé extrémní situace, kdy výběžky znázorňují roky s minimem pevných srážek a teplým létem.



Obrázek 19: Vývoj výšky čáry rovnováhy na Vernagtferneru (M. Ovčáčfk) Zdroj: Commission for Glaciology, 2009

8. Závěr

Bakalářská práce je tématicky zaměřena na problematiku ledovců, regionálně na území Rakouska. Práce vychází z rešerše odborné literatury a využívá i data získaná při studijním pobytu na Alpen Adria Universität Klagenfurt.

Text práce je rozdělen na tři základní části, z nichž první je zaměřena na objasnění obecných procesů souvisejících se vznikem ledovců, jejich pohybem a modelační činností, což je zahrnuto ve 3. kapitole. Zvlášť je popsána v 5. kapitole typologie ledovců, které jsou rozdělené do tří skupin podle své morfologie. Tyto typy především u ledovců horských, jež jsou podmíněné morfologií terénu, ve kterém se nachází, se mohou často prolínat a například ledovec spočívající v karu může vytékat a pokračovat ze svahu trogovým údolím, kde by se jednalo spíše o ledovec údolní a ústít na široké pláni, kde se jeho splaz nápadně rozšíří a vznikne tak ledovec piedmontní. Proto tyto klasifikace nemusí být zcela striktní a mohou tak vystihovat pouze část celého ledovce.

Jako další část práce bych uvedl 4. kapitolu, která se zabývá současnými projekty, které probíhají v rámci výzkumu ledovců. V rámci mezinárodního monitoringu ledovců jsou nejdůležitějšími projekty databáze a ledovcové inventáře, kde se zaznamenávají nejnovější data a udržují se stále aktuální. Na rakouském jde v současnosti především o dlouhodobé pozorování na vybraných ledovcích a o vývoj nových metod pro pozorování pomocí dálkového průzkumu.

Do poslední tématické části, která je zaměřena již přímo na Rakousko a stav jeho zalednění, patří 6. a 7. kapitola. Pro porovnání rozdílů jsem použil výsledky z ledovcové inventarizace z let 1969 a 1996. Pro toto období téměř 30 let byla vypočítána celková změna rozlohy ledovců na $-17,1\%$ a objemová ztráta v tomto období podle údajů činí $4,9 \text{ km}^3$ ledu. Celková rozloha ledovců se zmenšila z plochy 567 km^2 v roce 1969 na $470,9 \text{ km}^2$ v roce 1996. Stejný trend potvrzují i data z jednotlivých ledovců, jako například největší ledovec Pasterze, nebo nejvýchodnější Halštatský ledovec. Důkladnější pohled na změny, který přináší 7. kapitola ukazuje na příkladu ledovce Vernagtferner v Ötztalských Alpách. Hmotnostní bilance tohoto ledovce vykazuje v průběhu let 1974 až 1980 dokonce nárůst ledu, avšak od počátku 80. let nastává období velkých úbytků, které pokračuje až do současnosti.

9. Summary

This Bachelor's thesis is thematically focused on issue of glaciers regionally located in the territory of Austria. The work is based on retrieval from specialized publications and uses data obtained during the course of stay at Alpen Adria Universität Klagenfurt.

The work is divided into three basic parts. The first is aimed at clarifying the general processes associated with the emergence of glaciers, their movement and moulding activities, which is included in the 3rd chapter. The typology of glaciers is particularly described in the 5th Chapter, where they are divided into three groups according to their morphology. These particular types of mountain glaciers are contingent on terrain morphology in which they are located and can be often linked. For example, a cirque glacier can escape from the slope and continue down through the U-shape valley, where we can then talk about the Valley glacier and so on. Therefore, these classifications don't have to be quite strict and may represent only the part of the mountain glacier.

As a further part of the work I would like to present 4th chapter, which deals with the current projects underway within the research of glaciers. Within the frame of international monitoring of glaciers are the most important projects are and glacier databases and fixtures, where the latest recorded data are kept and held up to date. The Austrian monitoring is focussing at present mainly on the long-term observations of selected glaciers and the development of new methods for observation by remote sensing.

The last thematic section, which is aimed directly at the Austrian territory and its glaciation, are the 6th and 7th chapter. To compare the differences, the results of the glacier inventory of the years 1969 and 1996 are used. For this period, almost 30 years, was calculated by the total area of glaciers on the amendment - 17, 1 % and volume loss in this period according to the data is 4.9 km^3 of ice. The total area of ice was reduced from the area of 567 km^2 in 1969 to $470, 9 \text{ km}^2$ in 1996. The same trend is confirmed by data from individual glaciers, such as the largest glacier Pasterze, or Hallstätter the easternmost glacier. A more thorough look at the changes, which brings the 7th chapter, are shown on the example of Vernagtferner glacier in the Ötztal Alps. Mass balance of glaciers shows over the years from 1974 to 1980 even increase of ice, but from the beginning of the 80's period is a major disposals, which continues until today.

Seznam literatury

Knižní zdroje:

ANDREWS, John. *Glacial systems : An approach to glaciers and their environments*. 1st edition. Belmont : Duxbury Press, 1975. 185 s. ISBN 0878120715.

DEMEK, Jaromír. *Obecná geomorfologie*. [s.l.] : Academia, 1987. 476 s. Euromedia Group. *Země*. Jana Jůzlová. 1. vyd. Praha : Euromedia Group - Knižní klub, 2004. 520 s

HAMBREY, Michael, ALEAN, Jurg. *Glaciers*. 2nd edition. Cambridge : Cambridge Oxford University Press, 1992. 207 s. ISBN 0-521-41915-8 .

HUGHES , James. *Velká obrazová všeobecná encyklopedie*. [s.l.] : Svojtka & Co., 1999. 792 s. ISBN 80-7237-256-4.

JUNG - HUTTLOVÁ, Angelika, EDMAIER, Bernhardt. *Ledovce*. Říčany u Prahy : Junior, 2005. 1 s. ISBN 80-7267-197-9.

KNIGHT, Peter G. *Glacier Science and Environmental Change* . 1st edition. [s.l.] : Blackwell Publishing, 2006. 527 s. ISBN 978-1-4051-0018-2.

KNIGHT, Peter G. *Glaciers*. [s.l.] : Routledge, 1999. 261 s. ISBN 0748740007.

KRÁL, Václav. *Fyzická geografie Evropy*. 1. vyd. Praha : Published by Academia, 1999. 348 s. ISBN 8020006842.

KUHLE , Matthias. *Glazialgeomorphologie*. 1. Auflage. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991. 213 s. ISBN 3-534-06892-0 .

LICHTENBERGER, E. *Austria : Society and Regions*. Vienna : Austrian Academy of Sciences Press, 2000. 494 s.

OTTO, Jan. *Ottův slovník naučný : Díl patnáctý - Krajčij- Ligustrum*. Argo : Paseka, 1999. 1069 s. ISBN 80-7185-226-0.

SMOLOVÁ, I., VÍTEK, J. *Základy geomorfologie : vybrané tvary reliéfu*.. Olomouc: Vydavatelství UP, 2007.

STRAHLER, Alan H., STRAHLER , Arthur. *Introducing physical geography*. Nanette Kauffman. 2nd edition. New York : John Wiley & Sons Inc., 1998. 567 s. ISBN 0-471-14713-3 .

BACHMANN, Robert C. *Gletscher den Alpen*. Bern : Hallwag, 1978. 304 s. ISBN 3-444-10210-0.

Odborné články:

ALEAN, J., HAMBREY, M.. *Glaciers online : Fotoglossar* [online]. 2008 , 20. 10. 2008 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/index-de.html>>.

AVIAN , Michael , et al. Glaciation Changes in the Hohe Tauern Range (Austria) between 1969 and 2003 based on Optical Remote Imagery: First Results. *Geophysical Research Abstracts* [online]. 2007, vol. 10 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.cosis.net/abstracts/EGU2008/09222/EGU2008-A-09222.pdf>>.

AVIAN , Michael, et al. Variations of Pasterze Glacier (Austria) Between 1994 and 2006 – Combination of Different Data Sets for Spatial Analysis. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* [online]. 2007, Band 43 [cit. 2009-04-26], s. 79-88. Dostupný z WWW: <http://www.kfunigraz.ac.at/geowww/hmrsc/pdf/hmrsc9/79_87_avian_et_al.pdf>.

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 s. (http://instaar.colorado.edu/other/download/OP58_dyurgerov_meier.pdf).

ESCHER-VETTER, Heidi, KUHN, Michael, WEBER, Markus. Four decades of winter mass balance of Vernagtferner and Hintereisferner, Austria: methodology and results. *Annals of Glaciology* [online]. 2009, vol. 50 [cit. 2009-04-24], s. 87-95. Dostupný z WWW: <<http://www.igsoc.org/annals/50/50/A50A032.pdf>>.

FITZSIMONS, Sean, VELT, Heinz. Geology and Geomorphology of the European Alps and the Southern Alps of New Zealand. *Mountain Research and Development* [online]. 2001, vol. 21, no. 4 [cit. 2009-03-10], s. 340-349. Dostupný z WWW: <[http://glaciers.otago.ac.nz/pdfs/Fitzsimons%20Veit%20\(2001\).pdf](http://glaciers.otago.ac.nz/pdfs/Fitzsimons%20Veit%20(2001).pdf)>.

HAEBERLI, Wilfried, HOELZLE, Martin, ZEMP, Michael . Glacier Mass Balance Bulletin. *Glacier Mass Balance Bulletin* [online]. 2007, vol. 2004- 2005, no. 9 [cit. 2009-04-22], s. 1-100. Dostupný z WWW: <<http://www.wgms.ch/mbb/mbb9/mbb9.pdf>>.

HALL, Dorothy, et al. Changes in the Pasterze Glacier, Austria, as Measured from the Ground and Space. *58th EASTERN SNOW CONFERENCE* [online]. 2001 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <http://www.easternsnow.org/proceedings/2001/Hall_1.pdf>.

IVY-OCHS, Susan , et al. *Chronology of the last glacial cycle in the European Alps*. *Journal of Quaternary Science* [online]. 2008, vol. 23, no. 6-7 [cit. 2009-04-01], s. 559-573. Dostupný z WWW: <<http://www.uibk.ac.at/geographie/personal/kerschner/ivyjqs2008.pdf>>.

- KROBATH, Michael, LIEB, Gerhard. *Die Dachsteingletscher im 20. Jahrhundert* [online]. 2006 , 2006 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.gosaunet.at/tipps/wasser-berge-schnee/dachsteingletscher.html>>.
- LAMBRECHT, A, KUHN, M. Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory. *Annals of Glaciology* [online]. 2007, no. 46 [cit. 2009-03-11], s. 177-184. Dostupný z WWW: <<http://www.igsoc.org/annals/46/a46a115.pdf>>.
- LAMBRECHT, Astrid. Glacier changes in the Glocknergruppe, Austria between 1969 and 1998. *Geophysical Research Abstracts* [online]. 2006, vol. 8 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.cosis.net/abstracts/EGU06/08183/EGU06-J-08183-2.pdf>>.
- LIEB, Gerhard Karl. *Gletschermessungen an der Pasterze* [online]. 2002 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <http://www.uni-graz.at/geowww/pasterze/homepage/ueberblick/pasterze_vom_leiterk.htm>.
- LIEB, Gerhard Karl. *Gletschermessungen an der Pasterze* [online]. 2007 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.uni-graz.at/geowww/pasterze/>>.
- MANDL, Franz. *Schladming Glacier—Hunerkogel, Hallstatt Glacier* [online]. 2006 , October 2006 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <http://www.anisa.at/dachstein_gletscher.htm>.
- MARKL, Gerhard, SCHNEIDER, Heralt. *Hinterisferner-General features* [online]. 2007 , 20 January 2007 [cit. 2009-03-11]. Dostupný z WWW: <<http://imgi.uibk.ac.at/IceClim/IceClim/Monitoring/hef.html>>.
- Montana State University. *Glacier Morphology and Classification : Shape and Temperature* [online]. 1999 , 5. 5. 2009 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://gemini.oscs.montana.edu/~geol445/hyperglac/morphology2/>>.
- ROTT, Helmut (The Austrian Alps), Scherler, K.E. (The Swiss Alps), Reynaud, L. (The Italian Alps), and Barbero, R.S., and Zanon, G.(The Italian Alps), 1993, *Glaciers of the Alps (E-1)*; Serrat, D., and Ventura, J., 1993, *Glaciers of the Pyrenees, Spain and France (E-2)*; Ostrem, G., and Haakensen, N., 1993, *Glaciers of Norway (E-3)*; Schytt, V., 1993, *Glaciers of Sweden (E-4)*, Liestol, O., 1993, *Glaciers of Svalbard, Norway (E-5)*; and Orheim, O., 1993, *Glaciers of Jan Mayen, Norway (E-6)*; in Williams, R.S., Jr., and Ferrigno, J.G., eds., *Satellite image atlas of glaciers of the world: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-E (Glaciers of Europe)*, 164 p., ISBN 0-607-71455-7.
- SOUČEK, Ondřej. *Glaciologie- fyzika pro otužilce* [online]. 2007 , 27.11 2007 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://geo.mff.cuni.cz/popularizace/2007-Soucek-Glaciologie.pdf>>.
- U.S. Geological Survey. *Glossary of Glacier Terminology : Types of glaciers* [online]. 2004 , 28. 5. 2004 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://pubs.usgs.gov/of/2004/1216/glaciertypes/glaciertypes.html>>.

Internet:

Commision for Glaciology of the Bavarian Academy of Sciences and Humanities [online]. 2009 , 08-05-2009 [cit. 2009-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.glaciology.de/>>.

De.wikipedia.org. *Gletscher* [online]. 2009 , 5. 3. 2009 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Gletscher>>.

En.wikipedia.org. *Glacier* [online]. 2009 , 6. 3. 2009 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Glacier>>.

En.wikipedia.org. *Ice Shelf* [online]. 2009 , 5. 3. 2009 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: < http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_shelf>.

Geographie Innsbruck [online]. 2008 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.uibk.ac.at/geographie/>>.

Geographie und Geologie Universität Salzburg [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.uni-salzburg.at/portal/page?_pageid=139,94438&_dad=portal&_schema=PORTAL>.

Institut für Geographie und Raumforschung [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.uni-graz.at/geowww/geo/neu/>>.

IMGI- Institut für Meteorologie und Geographie Innsbruck- Ice and Climate. *Mass balance Hallstätter Gletscher* [online]. 2009 [cit. 2009-03-22]. Dostupný z WWW: <<http://imgi.uibk.ac.at/http%3A/%252Fimgi.uibk.ac.at/IceClim/IceClim/Monitoring/ds.html>>.

Institute of Meteorology and Geophysics Innsbruck [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://imgi.uibk.ac.at/main/groups.html>>.

International Glaciological Society [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.igsoc.org/>>.

Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK v Praze [online]. c2000-2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<https://portal.natur.cuni.cz/geografie/fyzicka-a-geoekologie>>.

Kärntner Institut für Seenforschung [online]. c2008 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW:<<http://www.kis.ktn.gk.at/index.htm>>.

National Snow and Ice Data Center [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://nsidc.org/index.html>>.

National Snow and Ice Data Center. *All about glaciers : What types of glaciers are there?* [online]. 2008 [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://nsidc.org/glaciers/questions/types.html>>.

Scott Polar Research Institute [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.spri.cam.ac.uk/>>.

Wikimedia Commons. *Alps - Regions (Eastern Alps).png* [online]. 2006 , 28.12.2006 [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alps_-_Regions_\(Eastern_Alps\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alps_-_Regions_(Eastern_Alps).png)>.

World Data Centre for Glaciology Cambridge [online]. 2005 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: < <http://www.wdcgc.spri.cam.ac.uk/> >.

World Glacier Monitoring Service [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.wgms.ch/>>.

World Glacier Monitoring Service – Fluctuations of Glaciers 2000–2005. [online]. 2009 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: < <http://www.geo.unizh.ch/wgms/fog/fog9.pdf>

Přílohy

Seznam příloh:

1. Příloha č. 1: Fotodokumentace k ledovci Pasterze
2. Příloha č. 2: Charakteristiky ledovce Vernagtferner od roku 1965 do 2007
3. Příloha č. 3: Roční změny na ledovci Vernagtferner
4. Příloha č. 4: Přehled ledovců v Rakousku, monitorovaných službou WGMS

Příloha č. 1: Fotodokumentace k ledovci Pasterze



Obr.20: Pohled na Johannisberg, v popředí Franz-Josef Höhe (O.Sklenář, červenec 2007)



Obr.21: Pasterze z Franz-Josef Höhe (O.Sklenář, červenec 2007)



Obr.22: Sandersee (O. sklenář, červenec 2007)



Obr.23: Margaritzensee (O. sklenář, červenec 2007)

Příloha č. 2: Charakteristiky ledovce Vernagtferner od roku 1965 do 2007

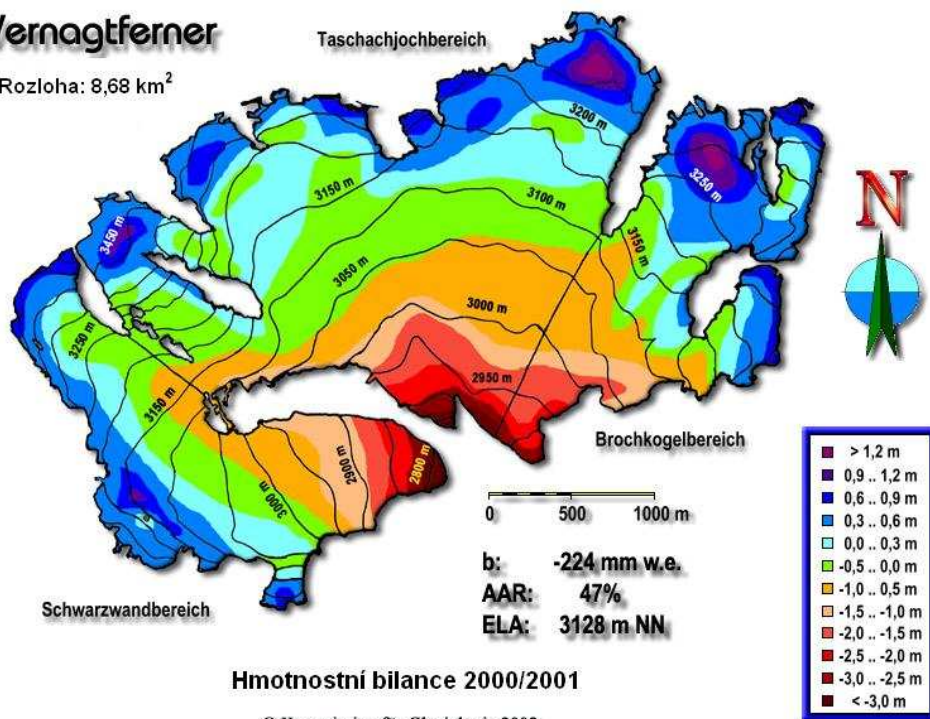
Rok	Rozloha Km ²	ELA (m n. m.)	AAR (%)	Bilance (mm)
1964/65	9,52	2946	92	751
1965/66	9,52	2940	93	632
1966/67	9,52	3015	70	83
1967/68	9,52	2995	86	301
1968/69	9,46	3153	56	-307
1969/70	9,46	3113	61	-224
1970/71	9,46	3155	39	-424
1971/72	9,46	3028	79	137
1972/73	9,3	3185	43	-460
1973/74	9,3	2999	81	230
1974/75	9,3	3025	80	171
1975/76	9,3	3036	75	50
1976/77	9,3	2984	88	352
1977/78	9,55	3004	85	288
1978/79	9,55	3059	73	44
1979/80	9,55	3027	77	140
1980/81	9,55	3101	72	-55
1981/82	9,35	3418	24	-845
1982/83	9,35	3304	25	-537
1983/84	9,34	3063	71	20
1984/85	9,34	3102	61	-112
1985/86	9,34	3291	19	-808
1986/87	9,34	3143	55	-290
1987/88	9,09	3230	39	-497
1988/89	9,09	3170	50	-312
1989/90	9,09	3283	32	-568
1990/91	9,09	3630	8	-1079
1991/92	9,09	3268	22	-858
1992/93	9,09	3225	37	-472
1993/94	9,09	3630	22	-1028
1994/95	9,09	3226	39	-398
1995/96	9,09	3225	40	-413
1996/97	9,07	3220	41	-487
1997/98	9,07	3280	30	-1003
1998/99	8,68	3097	56	-108
1999/00	8,68	3123	48	-287
2000/01	8,68	3128	47	-224
2001/02	8,68	3122	53	-266
2002/03	8,53	3600	0	-2133
2003/04	8,36	3205	34	-407
2004/05	8,36	3224	40	-523
2005/06	8,36	3261	25	-882
2006/07	8,17	3281	19	-966

Zdroj: Commision for Glaciology, 2009

Příloha č. 3: Roční změny na ledovci Vernagtferner

Vernagtferner

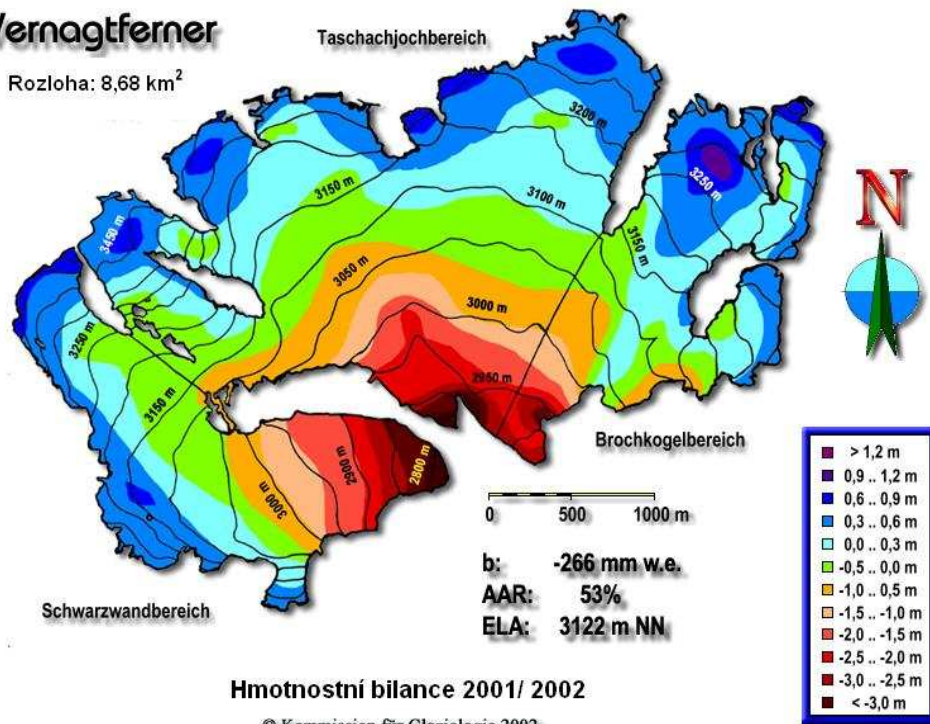
Rozloha: 8,68 km²



Hmotnostní bilance 2000/2001

Vernagtferner

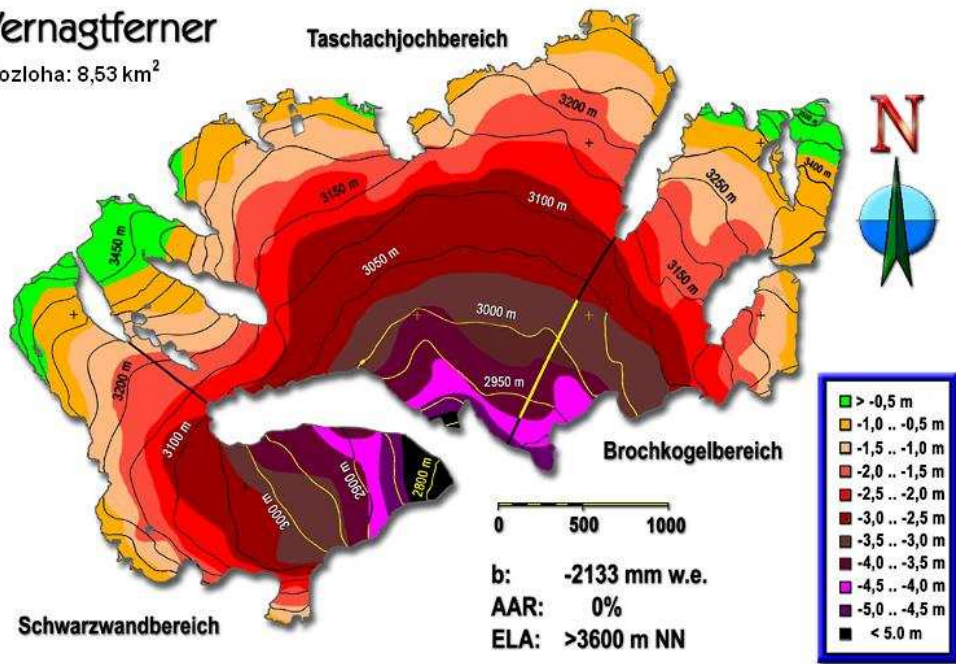
Rozloha: 8,68 km²



Hmotnostní bilance 2001/ 2002

Vernagtferner

Rozloha: 8,53 km²

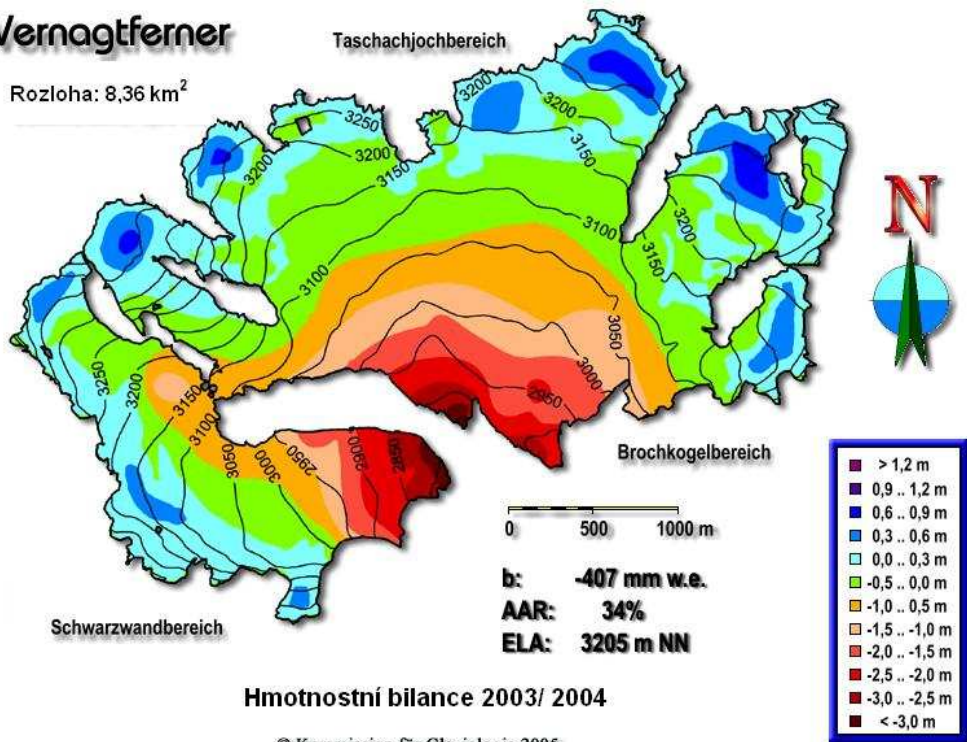


Hmotnostní bilance 2002/ 2003

© Kommission für Glaziologie 2004

Vernagtferner

Rozloha: 8,36 km²

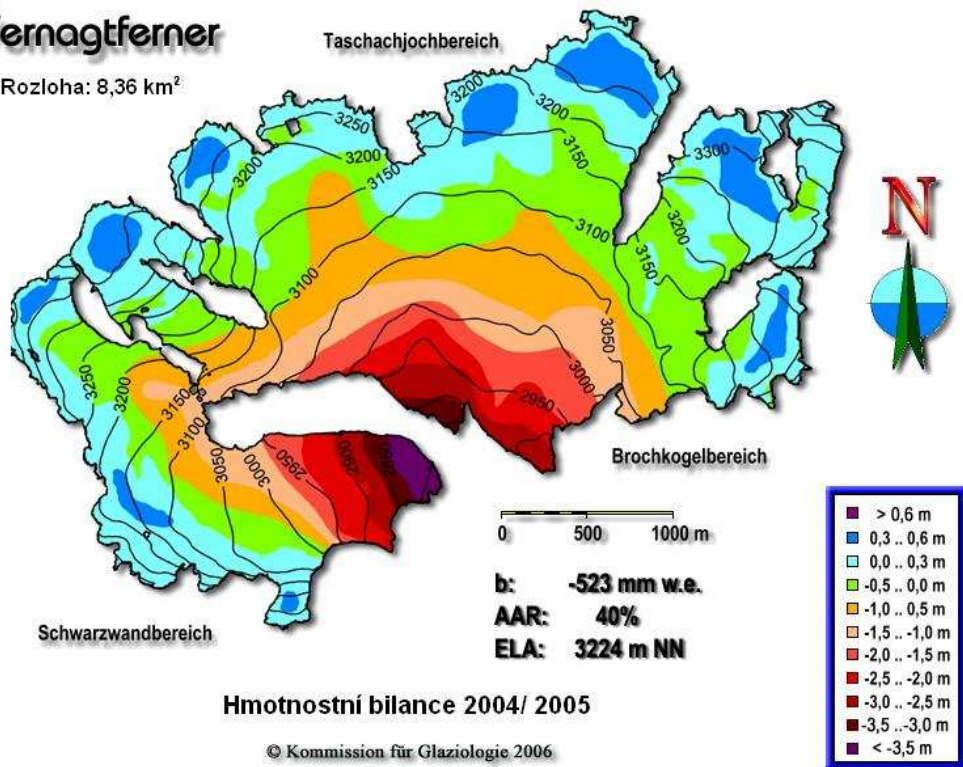


Hmotnostní bilance 2003/ 2004

© Kommission für Glaziologie 2005

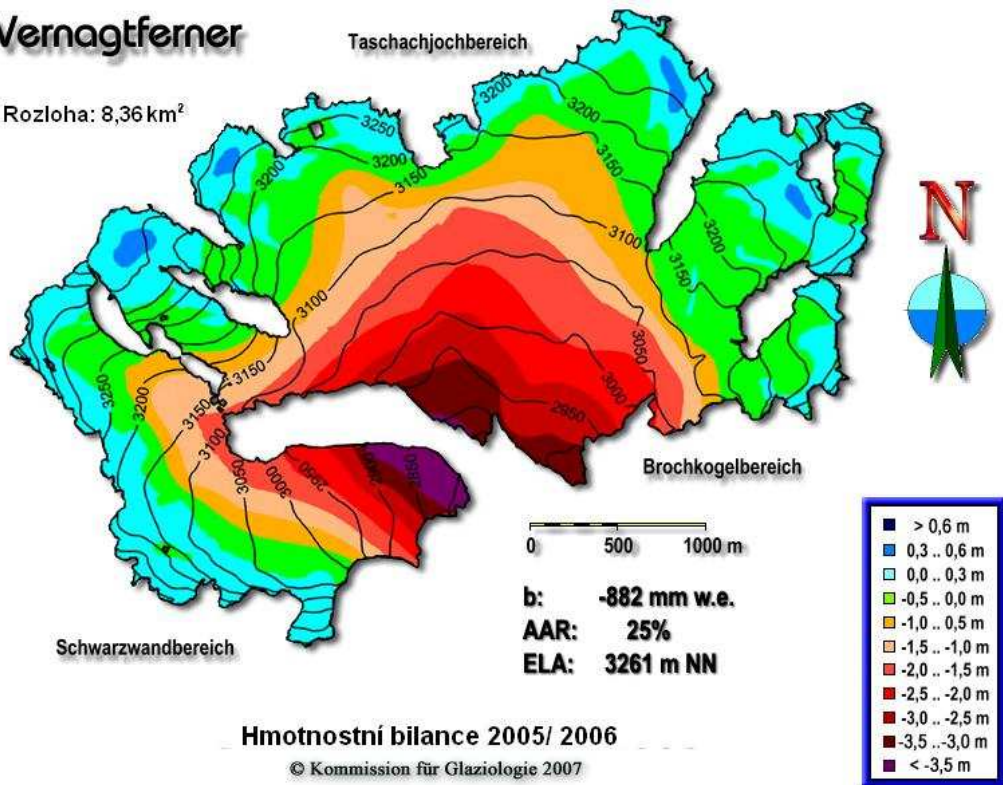
Vernagtferner

Rozloha: 8,36 km²



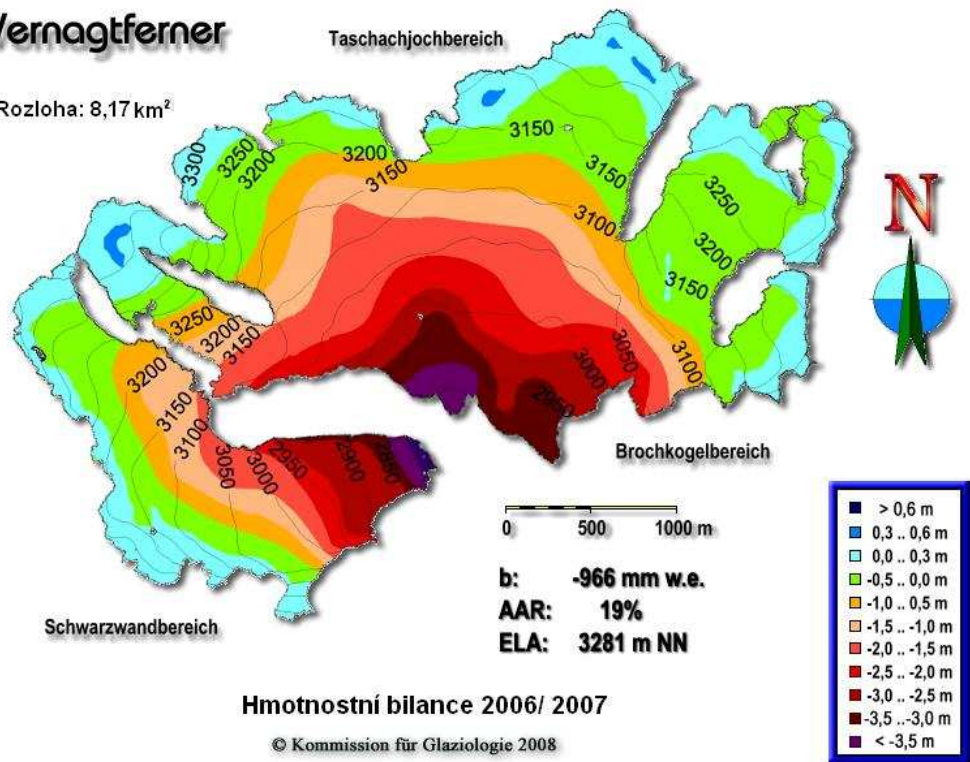
Vernagtferner

Rozloha: 8,36 km²



Vernagtferner

Rozloha: 8,17 km²



Hmotnostní bilance 2006/ 2007

© Kommission für Glaziologie 2008

Znázornění ročních změn od 2001 do 2007 (Commision for Glaciology, 2009)

Příloha č. 4 – Přehled ledovců v Rakousku, monitorovaných službou WGMS

Název	Zeměpisné souřadnice		Expozice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha (km ²)	Délka km	Změna délky ledovce (m)				
	Severní šířka	Východní délka			horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005	2001	2002	2003	2004	2005
AEU.PIRCHLKAR	47,00	10,92	SE	NE	3 260	3 030	2 720	0,94	1,90	-21	-6	-4,5	-30	N/A
ALPEINER F.	47,05	11,13	N	NE	3 340	2 930	2 310	3,94	4,60	-35	N/A	N/A	N/A	N/A
BACHFALLEN F.	47,08	11,08	N	N	3 120	2 850	2 580	2,55	2,90	N/A	N/A	-14	-7	-10
BAERENKOPF K.	47,13	12,72	N	N	3 400	3 030	2 270	2,50	3,10	-0,1	-13	N/A	-6,2	-7,6
BERGLAS F.	47,07	11,12	E	NE	3 290	2 990	2 490	1,47	2,50	-5,4	-7	-28	-3,5	-69
BIELTAL F. W	46,87	10,13	NW	NW	2 810	2 680	2 540	0,29	0,90	-4,4	-4,9	-24	-2,9	-8,6
BIELTAL F.	46,88	10,13	NW	NW	3 000	2 740	2 544	0,73	1,10	-2,9	-7,7	N/A	N/A	N/A
BIELTALF. MITTE	46,88	10,13	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-2,9	-7,7	-14	-1,2	-5,3
BRENNKOGL K.	47,10	12,80	N	N	2 960	2 670	2 430	0,59	1,20	-5,2	-11	-12	-0,5	-3,5
DAUNKOGEL F.	47,00	11,10	NE	NE	3 240	2 880	2 550	2,69	2,90	-7,4	-8,5	-26	-9,3	-14
DIEM F.	46,81	10,98	NW	NW	3 540	3 060	2 710	3,50	3,40	-6,2	-5	-42	-15,1	-11,4
DORFER K.	47,10	12,33	SE	SE	3 600	2 790	2 270	6,24	4,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EISKAR G.	46,62	12,90	N	N	2 390	2 250	2 160	0,15	0,40	N/A	-1,1	-4,9	N/A	-10
FERNAU F.	46,98	11,13	NW	N	3 310	2 850	2 380	2,02	2,50	-0,1	-7,8	-21	-2,1	
FREIGER F.	46,97	11,20	NE	NE	3 370	3 090	2 720	0,59	1,50	N/A	N/A	-3,2	-0,7	1,9
FREIWAND K.	47,10	12,75	SE	SE	3 130	2 890	2 690	0,35	1,10	-4,1	-0,1	-15	-2,3	-10
FROSNITZ K.	47,08	12,40	E	E	3 330	2 780	2 400	4,19	4,40	-14	-13	-32	-6,5	-7,5
FURTSCHAGL K.	47,00	11,77	NW	NW	3 480	2 890	2 542	1,00	1,60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
GAISKAR F.	46,97	11,12	SE	SE	3 190	3 070	2 890	0,75	1,10	N/A	-8,7	-22	-5	-11
GAISSBERG F.	46,83	11,07	NW	NW	3 390	2 850	2 460	1,35	3,30	-17	-17	-33	-6,3	-17

Název	Zeměpisné souřadnice		Expozice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha (km ²)	Délka km	Změna délky ledovce (m)				
	Severní šířka	Východní délka			horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005	2001	2002	2003	2004	2005
GEPATSCH F.	46,85	10,77	NE	N	3 536	3 057	2 060	17,35	8,20	-23	-27	-63	-13	-21
GOESSNITZ K.	46,97	12,75	NW	NW	3 060	2 690	2 520	0,86	1,50	-8,6	-7,1	-15	-10	-13
GOLDBERG K.	47,03	12,47	SE	NE	3 080	2 680	2 310	1,49	5,80	-3,7	-8,5	-10	0,9	-21
GR.GOSAU G.	47,48	13,60	NW	NW	2 810	2 520	2 250	1,48	2,20	-12	-4,8	-14	-0,6	-0,4
GROSSELEND K.	47,03	13,32	NW	NW	3 140	2 720	2 410	2,76	2,40	-4,9	-6,5	-11	N/A	N/A
GRUENAU F.	46,98	11,20	N	N	3 415	2 941	2 363	1,72	2,24	-5,6	-35	-8,9	N/A	N/A
GURGLER F.	46,80	10,98	NW	N	3 420	2 990	2 270	N/A	8,00	-8,8	N/A	N/A	-8	-17
GUSLAR F.	46,85	10,80	E	SE	3 480	3 120	2 780	N/A	2,50	-17	-16	-31	-17	-22
HABACH K.	47,15	12,37	N	N	3 240	2 670	2 170	5,03	2,40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HALLSTAETTER G	47,48	13,62	NE	NE	2 910	2 560	2 080	3,30	2,30	-3,4	-6,6	-13	-4,7	-13
HINTEREIS F.	46,80	10,77	E	NE	3 727	3 011	2 400	7,40	7,10	-19	-18	-30	-14	-27
HOCHALM K.	47,02	13,33	E	E	3 350	2 880	2 540	3,16	2,40	-1,2	-9,2	-20	-4,9	-12
HOCHJOCH F.	46,78	10,82	N	NW	3 500	3 030	2 580	7,13	3,80	-19	-26	-43	-18	-23
HOCHMOOS F.	47,05	11,15	E	NE	3 460	2 940	2 520	1,74	3,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HORN K.(SCHOB.)	46,97	12,77	N	NW	3 010	2 780	2 600	0,46	1,10	-4,8	-7,5	-15	-5,7	-6,1
HORN K.(ZILLER)	47,00	11,82	N	N	3 213	2 777	2 089	3,42	3,00	-21	-44	-52	N/A	-50
INN.PIRCHLKAR	47,00	10,92	E	NE	3 340	2 990	2 720	0,62	1,80	-6,3	-7,4	-25	-6,8	-7,2
JAMTAL F.	46,87	10,17	N	N	3 120	2 780	2 370	3,48	2,80	-9	-12	-22	-44	-14
KAELBERSPITZ K.	47,03	13,28	N	N	2 890	2 690	2 450	0,82	2,20	-6,8	-8	-16	2,7	-7,5
KAL.BAERENKOPF	47,11	13,60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-4,5	-0,1	-19	1	1,1

Název	Zeměpisné souřadnice		Expozice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha (km ²)	Délka km	Změna délky ledovce (m)				
	Severní šířka	Východní délka			horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005	2001	2002	2003	2004	2005
KARLINGER K.	47,13	12,70	NE	N	3 340	2 800	2 060	4,04	3,60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
KESSELWAND F.	46,84	10,79	SE	E	3 490	3 180	2 698	3,85	4,25	-17	-13	-32	-15	-17
KLEINFLEISS K.	47,05	12,95	W	W	3 080	2 840	2 510	0,90	2,30	-15	10	-161	2	-1,7
KLEINEISER K.	47,15	12,67	NW	NW	2 880	2 730	2 620	0,25	0,70	-3	-8,3	-12	N/A	-1,4
KLEINELEND K.	47,07	13,25	NE	NE	3 190	2 750	2 150	3,04	2,70	3,4	-4,1	-9	5,8	-5,6
KLOSTERTALER	46,87	10,07	W	W	3 220	2 940	2 640	0,45	1,60	-10	-7,3	-18	-2	-4,7
KLOSTERTALER	46,87	10,07	NW	NW	3 220	2 880	2 600	2,59	1,70	N/A	-2,2	N/A	N/A	N/A
KRIMMLER K.	47,08	12,25	NW	NW	3 490	2 550	1 910	7,52	3,50	-8,1	-9,5	-18	-8,5	-17
KRIMMLER K. O.	47,08	12,25	W	W	3 280	2 550	2 290	7,52	2,20	-8,1	-9,5	-18	N/A	N/A
LAENGENTALER F.	47,08	11,10	NE	N	3 200	2 820	2 540	0,89	2,20	N/A	-9,4	N/A	-23	N/A
LANDECK K.	47,13	12,58	N	N	2 940	2 600	2 430	0,41	0,90	-1,5	-7,7	-9,2	-0,3	-2,6
LANGTALER F.	46,79	11,01	N	NW	3 420	2 910	2 450	3,05	5,10	-14	-13	-27	-10	-23
LARAIN F.	46,90	10,22	N	N	3 170	2 750	2 430	1,64	2,10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LIESENER F.	47,08	11,12	NE	NE	3 270	2 930	2 430	4,17	4,60	-5	-12	-15	-1,7	N/A
LITZNERGL.	46,88	10,04	N	N	2 970	2 630	2 450	0,71	1,20	-2,9	-3,4	-15	-2,9	-7,3
MARZELL F.	46,78	10,88	NW	N	3 620	3 160	2 450	5,14	4,40	-6,8	-9,6	-23	-12	-12
MAURER K.G.	47,18	12,68	W	W	2 890	2 730	2 610	0,49	1,40	0,9	-3,5	-5,9	N/A	2,4
MAURER K. V.	47,08	12,30	S	S	3 490	2 840	2 330	7,33	3,10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
MITTERKAR F.	46,88	10,87	SE	SE	3 580	3 230	2 960	1,10	2,10	SN	-7	-43	-9,4	-8,4
MUTMAL F.	46,78	10,92	N	NW	3 520	3 080	2 720	0,79	1,50	-7,8	N/A	-45	-4,5	N/A

Název	Zeměpisné souřadnice		Expozice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha (km ²)	Délka km	Změna délky ledovce (m)				
	Severní šířka	Východní délka			horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005	2001	2002	2003	2004	2005
NIEDERJOCH F.	46,78	10,87	N	N	3 600	3 100	2 690	2,90	3,00	-7,8	-12	-64	-3,8	N/A
OBERSULZBACH	47,11	12,29	NW	NW	3 600	2 730	1 990	15,30	5,70	-24	N/A	-134	N/A	-29,2
OCHSENTALER G.	46,85	10,10	N	N	3 160	2 910	2 290	2,59	2,80	-19	-64	-31	-6,5	-59
OEDENWINKEL K.	47,11	12,64	NW	NW	3 180	2 590	2 130	2,22	3,80	-2,6	-6,7	-5,1	-4,1	-4,9
PASTERZEN K.	47,10	12,70	SE	SE	3 700	2 990	2 070	17,71	9,40	-19	-7,1	-30	-13	-23
PFÄFFEN F.	46,96	11,13	W	W	3 470	3 060	2 770	1,21	1,80	-11	-5,2	-12	-1,9	-4,5
PRAEGRAT K.	47,12	12,59	W	W	3 020	2 800	2 630	1,44	1,10	N/A	-36	-29	N/A	-5,4
RETTENBACH F.	46,93	10,93	N	N	3 350	2 920	2 610	1,79	2,50	-8,8	-6,3	-24	-5,6	-8,6
RIFFL K. N	47,13	12,67	W	SW	3 070	2 880	2 710	0,26	0,80	-5,3	-11	N/A	N/A	N/A
ROFENKAR F.	46,88	10,88	SE	SE	3 750	3 290	2 820	1,26	2,20	-8,2	-15	-24	-0,3	-7,6
ROTER KNOPF K.	46,97	12,75	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-1,1	-7,1	-1,9	-0,3
ROTMOOS F.	46,82	11,05	N	N	3 410	2 960	2 370	3,17	3,30	-19	-13	-31	-5	-23
SCHALF F.	46,78	10,93	NW	NW	3 500	3 130	2 500	8,47	5,60	-22	-24	-51	-24	-41
SCHAUFEL F.	46,98	11,12	NE	NE	3 150	2 850	2 560	1,46	2,30	-0,1	-12	-47	-5,2	N/A
SCHLADMINGER	47,47	13,63	NE	NE	2 700	2 600	2 420	0,81	0,90	-1,1	-0,6	-4,5	-4,3	-2
SCHLATEN K.	47,11	12,38	NE	NE	3 670	2 810	1 940	11,27	6,30	-7,5	-12	-14	-5,5	-16
SCHLEGEIS K.	46,98	11,77	NW	NW	3 480	2 846	2 446	1,70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCHMIEDINGER K.	17,18	12,68	NE	NE	3 160	2 750	2 410	1,81	2,00	-1,8	-4,7	-10	-0,2	-4,7
SCHNEEGLOCKEN	46,87	10,10	NE	NE	3 020	2 770	2 570	0,72	1,20	N/A	-3,1	-13	-0,3	-6,6
SCHNEELOCH G.	47,50	13,60	NW	NW	2 530	2 300	2 190	0,23	0,80	-6,9	-6	-17	-3,1	-5,7

Název	Zeměpisné souřadnice		Expozice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha (km ²)	Délka km	Změna délky ledovce (m)				
	Severní šířka	Východní délka			horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005	2001	2002	2003	2004	2005
SCHWARZENBERG	47,05	11,12	SE	SW	3 490	3 030	2 590	1,84	2,90	-15	-14	-29	-8,5	-22
SCHWARZENSTEIN	47,02	11,85	NW	NW	3 320	2 902	2 319	2,50	N/A	-4	-18	-15	N/A	-15
SCHWARZKARL K.	47,17	12,67	NW	NW	2 970	2 750	2 560	0,47	1,20	-6,2	-6,2	-16	-2,2	-5
SCHWARZKOEPLF	47,15	12,72	N	NW	2 860	2 570	2 340	0,54	1,20	-11	-18	N/A	-18	-8,1
SEXEGERTEN F.	46,90	10,80	N	NE	3 470	2 950	2 560	2,83	2,90	-14	-24	-74	-27	-43
SIMILAUN F.	46,78	10,88	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-12	-5	-26
SIMMING F.	46,98	11,25	N	N	3 170	2 700	2 340	2,52	2,30	-0,3		-22	-10	-30
SIMONY K.	47,07	12,27	SE	SE	3 490	2 810	2 230	4,16	3,50	-14	-16	-22	-8,9	-27
SONNBLICK K.	47,13	12,60	NE	E	3 050	2 780	2 500	1,39	1,50	-1,5	-2,9	-4,6	0,1	-0,4
SPIEGEL F.	46,83	10,95	NW	NW	3 430	3 080	2 780	1,11	1,70	-6,5	-6,1	-22	-16	-8,6
SULZENAUF.	46,98	11,15	N	N	3 501	3 012	2 468	4,47	3,64	-1	-11	-6,7	-2	-7,3
SULZTAL F.	47,00	11,08	N	N	3 350	2 860	2 290	4,48	4,10	-15	19	-31	-17	-85
TASCHACH F.	46,90	10,84	N	NW	3 760	3 130	2 240	8,16	5,60	-20	-20	-22	-61	-105
TAUFKAR F.	46,88	10,90	SE	SE	3 340	3 120	2 980	0,44	1,00	N/A	N/A	-18	N/A	N/A
TOTENFELD	46,88	10,15	NE	NE	3 040	2 790	2 550	0,72	1,50	-5,8	-10	-16	-1,1	-11
TOTENKOPF K.	47,13	12,66	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0,8	0,5	-7,1	-0,4	0,8
TRIEBENKARLAS.	46,96	11,15	W	W	3 460	3 040	2 760	1,79	2,00	N/A	-37	-17	-16	-21
UMBAL K.	47,05	12,25	SW	SW	3 440	2 850	2 230	7,33	5,00	-18	-70	-53	-34	-11
UNT. RIFFL K.	47,13	12,67	N	NW	2 910	2 530	2 290	1,01	2,00	-5,3	-11	-9	-1,9	-7
UNTERSULZBACH	47,13	12,35	N	NW	3 670	2 720	2 070	5,92	6,30	-17	-21	-29	-17	-47

Název	Zeměpisné souřadnice		Expozice		Nadmořská výška (m n. m.)			Plocha (km ²)	Délka km	Změna délky ledovce (m)				
	Severní šířka	Východní délka			horní	střední	spodní	2000/2005	2000/2005	2001	2002	2003	2004	2005
VERBORGENBERG	47,07	11,12	E	E	3 260	3 000	2 780	0,89	1,30	-5,8	N/A	-17	-2,1	-4,7
VERMUNT G.	46,85	10,13	NW	NW	3 130	2 790	2 430	2,16	2,80	-9,9	-11	-20	-2,7	-14
VERNAGT F.	46,88	10,82	S	SE	3 627	3 142	2 765	8,36	3,15	-21	-21	-40	-16	-27
VILTRAGEN K.	47,13	12,37	NE	E	3 480	2 660	2 190	4,35	4,50	-8,5	-12	-27	-18	-28
W. GRUEBL F.	46,98	11,22	NW	N	3 050	2 970	2 820	0,24	0,90	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
W. TRIPP K.	47,02	13,32	SE	S	3 230	2 880	2 780	0,60	1,50	-6,3	-6,3	-37	-0,2	N/A
WASSERFALLWIN.	47,12	12,72	SE	S	3 150	2 870	2 610	1,93	2,50	-2,1	-3,6	-14	-5,7	-6,2
WAXEGG K.	47,00	11,80	NE	N	3 310	2 852	2 394	3,21	1,97	-12	-21	-32	-9,5	-25
WEISSEE F.	46,85	10,72	N	N	3 530	2 970	2 540	3,48	3,40	-4,4	-15	-37	-8,5	-9,4
WEST.GRUEBLER	46,96	11,18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-3,2	N/A	N/A
WIELINGER K.	47,15	12,75	N	NW	3 560	2 940	2 180	0,98	2,40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
WILDGERLOS	47,15	12,11	N	N	3 260	2 650	2 110	3,68	2,80	-8,2	-17	-13	-5,3	-8
WINKL K.	47,02	13,32	W	W	3 100	2 710	2 390	0,66	1,50	-0,3	N/A	-9,3	3,1	N/A
WURTEN K.	47,03	13,01	SW	S	3 120	2 680	2 380	0,97	3,00	-10	-15	-22	-2,4	-13,4
ZETTALUNITZ K.	47,08	12,38	SW	SW	3 470	2 980	2 450	5,47	4,50	-15	-14	-17	-17	-35

Zdroj: WGMS, 2009 - Fluctuations of Glaciers 2000–2005.

Vysvětlivky: N/A – nedostupná data