

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra analytické chemie

**Analýza technického sněhu**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Autor:

Tereza Hňoupková

Studijní obor:

Chemie

Vedoucí práce:

doc. Ing. David Milde Ph.D.

2021 Olomouc

# Obsah

1	Úvod.....	8
2	Teoretická část .....	9
2.1	Přírodní a technický sníh.....	9
2.1.1	Vlastnosti přírodního sněhu .....	9
2.1.2	Vlastnosti technického sněhu.....	10
2.2	Historie umělého zasněžování.....	11
2.3	Výroba umělého sněhu.....	12
2.3.1	Princip výroby umělého sněhu .....	12
2.3.2	Typy sněžných děl .....	15
2.4	Vliv umělého sněhu a jeho výroby na životní prostředí .....	16
2.4.1	Vlivy na životní prostředí spojené s odběrem vody .....	16
2.4.2	Vlivy na půdu, vegetaci a živočichy .....	17
2.5	Aditiva pro výrobu technického sněhu .....	18
2.5.1	Sněhová aditiva.....	19
2.5.2	Prostředek Snomax a bakteriální aditiva .....	19
2.5.3	Prostředek Drift a aditiva na bázi trisiloxanů .....	20
2.6	Chemická úprava sjezdových tratí .....	21
2.7	Analýza technického sněhu – literární rešerše .....	22
2.7.1	Odběr vzorků technického sněhu.....	22
2.7.2	Analýza technického sněhu .....	22
3	Experimentální část.....	27
3.1	Příprava vzorků .....	27
3.2	Materiály a přístroje .....	27
3.3	Chemikálie .....	28

3.4	Pracovní postupy.....	28
3.4.1	Příprava kalibračních roztoků.....	28
3.4.2	Měření vzorků na ICP-MS.....	29
3.4.3	Stanovení Na a K na plamenovém fotometru.....	29
3.4.4	Stanovení chloridů pomocí iontově selektivní elektrody .....	30
3.4.5	Měření konduktivity a pH.....	30
3.4.6	Stanovení Na a K na atomovém absorpčním spektrometru.....	30
3.4.7	Stanovení Ca na atomovém absorpčním spektrometru.....	31
3.4.8	Statistické vyhodnocení dat .....	31
4	Výsledky a diskuze .....	32
4.1	Měření na ICP-MS .....	32
4.2	Měření konduktivity a pH .....	33
4.3	Stanovení obsahu chloridů pomocí ISE .....	34
4.4	Stanovení Na a K plamenovou fotometrií.....	35
4.5	Stanovení Na a K pomocí AAS .....	37
4.6	Stanovení Ca na atomovém absorpčním spektrometru.....	39
5	Závěr .....	41
6	Seznam literatury .....	43
7	Seznam zkratk .....	46
8	Přílohy.....	47

Prohlášení:

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

Souhlasím s tím, aby má práce byla zpřístupněna v knihovně Katedry analytické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a v informačním systému Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci 30. 4. 2021 .....

Podpis

**Poděkování:**

V první řadě bych chtěla poděkovat mému vedoucímu práce panu doc. Ing. David Mildemu Ph.D. za nezměrnou trpělivost a cenné připomínky během psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Martinu Galovi z Horského resortu Dolní Morava za velkou ochotu, zodpovězení všech dotazů a umožnění odběru technického a přírodního sněhu. Nakonec bych chtěla poděkovat své rodině za nekonečnou podporu a pomoc při psaní této práce.

## Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Tereza Hňoupková  
Název práce: Analýza technického sněhu  
Typ práce: bakalářská  
Pracoviště: Katedra analytické chemie  
Vedoucí práce: doc. Ing. DAVID MILDE Ph.D.  
Rok odevzdání práce: 2021

## Anotace:

Tato práce je zaměřena na analýzu technického sněhu a obsah některých iontů ve vzorcích technického a přírodního sněhu. Vzorky technického sněhu, přírodního sněhu a vody byly odebrány v lyžařském areálu Dolní Morava, ze sjezdovky Ondráš a z horního toku řeky Moravy. Dále byl zjišťován vhodný materiál pro uchovávání vzorků technického sněhu. Cílem bylo zjistit, zda-li technický sníh má vliv na životní prostředí, zejména z hlediska obsahu iontů, které mohou způsobovat nežádoucí hnojení.

Klíčová slova: Technický sníh, přírodní sníh, umělé zasněžování, obsah iontů ve sněhu, absorpční spektrometrie, plamenová fotometrie, ICP-MS

Počet stran: 47

Počet příloh: 2

Jazyk: čeština

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Tereza Hňoupková  
Title: Analysis of artificial snow  
Type of thesis: bachelor's  
Department: Department of Analytical Chemistry  
Supervisor: doc. Ing. DAVID MILDE Ph.D.  
The year of submission: 2021  
Annotation:

This work is focused on analysis of artificial snow and determination of some ions in artificial and natural snow samples. Samples of artificial snow, natural snow and water were taken in Mountain resort Dolní Morava, Czech Republic from ski slope Ondráš and from Morava river. Further the ideal material for storage snow samples was studied. The effect of artificial snow on the environment is researched especially ions which can caused unwanted fertilization.

Keywords: Artificial snow, natural snow, snowmaking, content of ions in artificial and natural snow, atomic absorption spectrometry, flame photometry, ICP-MS

Number of pages: 47

Number of appendices: 2

Language: Czech

# 1 Úvod

Lyžování patří v současné době k velmi populárním sportům. Nic na tom nezmění ani fakt, že první zmínky o lyžování pochází již z doby 4 500 až 2 500 př. n. l. [1] S lyžováním je neodmyslitelně spojený sníh, protože bez něj se lyžuje jen velmi těžko. Moderní doba vyžaduje, aby lyžařské areály byly dobře přístupné a pokud to jde, nenacházely se daleko od měst. Lyžaři zkrátka v této uspěchané době chtějí přijít odpoledne z práce, ujet několik kilometrů za město, nasadit lyže a užít si krásné sportovní odpoledne.

Tuto představu však značně komplikuje nejen měnící se podnebí, ale také fakt, že takové areály se nacházejí v malých nadmořských výškách, kde není dostatek sněhu po celou sezonu. Dalším aspektem, který je proti „odpolednímu“ lyžování, je ekonomická stránka věci. Aby byl lyžařský areál úspěšný a ekonomicky rentabilní, musí se na jeho sjezdovkách lyžovat nejméně 100 dnů po sedm let z deseti. [2] Takové areály se tedy nacházejí převážně v horských oblastech, s vhodnými meteorologickými podmínkami.

Nejen pro malé lyžařské areály, které potřebují prodloužit lyžařskou sezónu, je tady umělé zasněžování. Při vhodných povětrnostních podmínkách může výroba technického sněhu nejen lyžařskou sezónu prodloužit, ale také stabilizovat podmínky pro lyžování ve výše položených areálech. Pro ilustraci může posloužit lyžařský areál v Mont-Sainte-Anne v kanadské provincii Quebec. Místní sjezdovky jsou velmi závislé na technickém sněhu a jeho použití každoročně prodlouží sezónu ze 109 na 164 lyžařských dní, nemluvě o zvýšeném počtu lyžařů na sjezdovkách. [3]

Množství uměle zasněžovaných sjezdových tratí neustále stoupá. Ve Švýcarsku stoupl počet zasněžovaných tratí mezi lety 2000 a 2010 o 26 %, tedy na 36 % z celkového počtu a Itálie má dokonce lyžařské oblasti, které jsou uměle zasněžovány zcela. [4] Úměrně s těmito čísly, roste i počet diskuzí a výzkumů o vlivu technického sněhu na život obecně.

Výroba technického sněhu je fyzikální proces, který lze ovlivnit přidávkem chemických látek. Cílem této bakalářské práce je pokusit se přiblížit celý proces výroby technického sněhu, včetně přísad tzv. aditiv a posoudit vliv pokrývky technického sněhu na životní prostředí z chemického hlediska.



## 2 Teoretická část

### 2.1 Přírodní a technický sníh

Sníh je jednou z forem srážek, které se vyskytují v oblastech, kde trvale nebo přechodně klesají teploty k 0 °C. Právě v chladných oblastech sníh doplňuje pro život velmi důležitý koloběh vody.

Pro přírodní sníh jsou jeho typické vlastnosti velmi důležité k tomu, aby mohl plnit svůj účel v přírodě. Sníh například působí jako pokrývka půdy a chrání tak zeminu před mrazem. Vlastnosti sněhu se však poměrně značně mění a je tedy dobré si tyto vlastnosti shrnout. [1]

#### 2.1.1 Vlastnosti přírodního sněhu

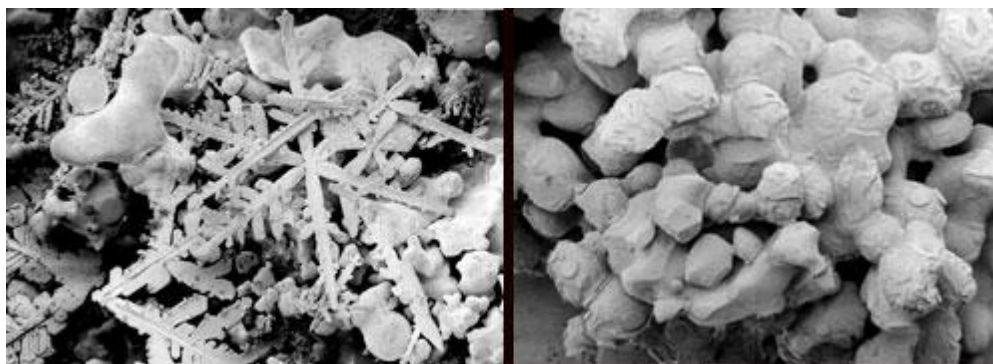
Přírodní sníh má v našich zeměpisných šířkách důležitý význam jako zásobárna vody pro období, která jsou klimatologicky sušší, hlavně léto a začátek podzimu. S obsahem vody ve sněhu souvisí několik důležitých parametrů. Tím prvním je vodní hodnota sněhu. Je to výška sloupce, která vznikne, pokud všechen sníh necháme roztát. Tato charakteristika umožňuje předpovědět zásoby vody uložené ve sněhu v dané oblasti. Pro ilustraci, čerstvý sníh obsahuje asi 5 % vody a nemá jako zásobárna vody velký význam. Oproti tomu sníh, který několikrát roztál a zase zmrznul (fír) obsahuje více jak 50 % vody. Pokud vodní hodnotu sněhu dáme do poměru s jeho výškou, získáme ještě důležitější parametr pro charakterizaci sněhové pokrývky – hustotu sněhu. [1, 5]

Hustota sněhu je vyjádřena jako poměr ekvivalentu sněhové vody ke sněhové hloubce, tedy poměrem hmotnosti k objemu. Ekvivalent sněhové vody se obvykle udává v milimetrech a jako jednotka hustoty sněhu se tedy používá  $\text{kg/m}^3$ . Hustota sněhu na daném místě je dále ovlivněna meteorologickými podmínkami a v průběhu sezóny se často mění. Čerstvý sníh obsahuje více vzduchu, a proto se i jeho hustota bude snižovat, naopak mokřý sníh, kde více než polovinu objemu tvoří voda, má hustotu daleko vyšší. V průběhu zimního období sníh několikrát taje a zase mrzne, čímž se zvyšuje podíl vody ve sněhu a roste i jeho hustota. Hustota sněhu může pomoci meteorologům určovat stáří sněhu, obsah vody, nebo vodní hodnoty sněhu. Zde se vychází z faktu, že sníh v podobné klimatické oblasti se hodnotou hustoty příliš neliší. [1, 5] Přehled vlastností sněhu je uveden v tabulce (Tab. I).

## 2.1.2 Vlastnosti technického sněhu

Technický sníh je produkován sněžnými děly a ze způsobu výroby pramení také zcela odlišné vlastnosti oproti sněhu přírodnímu. Technický sníh je asi 4krát hustší než sníh přírodní, což je způsobeno rychlou produkcí sněhu, která vede ke sněhovým krystalkům téměř bez obsahu vzduchu, ale s větším obsahem vody. Hustota se navíc ještě zvětšuje v průběhu sezóny, což je dáno pohybem těžké techniky po vyrobeném sněhu. Sněhové vločky technického sněhu jsou spíše malé kuličky, což vyplývá z vysoké hustoty (Obr. 1). [1, 2, 5]

Technický sníh se svými vlastnostmi přibližuje starému sněhu, který se několikrát přeměnil (tání, mrznutí či sublimace). Na konci sezóny se z technického sněhu vlivem stoupající teploty a přeměn stává spíše led, po kterém voda stéká dolů a nedostane se do půdy. [1, 2] Vlastnosti technického sněhu a jeho porovnání s přírodním sněhem jsou uvedeny níže (Tab. I).



Obrázek 1. Ukázka tvaru umělých sněhových krystalů (vpravo) a sněhových vloček přírodního sněhu (vlevo)

Tabulka I. Porovnání nejdůležitějších rozdílů mezi technickým a přírodním sněhem

Vlastnost	Technický sníh	Přírodní sníh
Hustota	$\geq 500 \text{ kg/m}^3$	20–500 $\text{kg/m}^3$ (dle typu sněhu)
Tvar a velikost krystalů	Sférický, složený z malých kuliček, krystalizuje od povrchu do středu; 0,05 – 2 mm	Dendritický, krystalizuje od středu; 0,2 – několik mm
Kompaktnost a soudržnost	Velká, díky tvaru krystalů	Malá
Konduktivita	85 $\mu\text{S/cm}$	Přibližně 8,5 $\mu\text{S/cm}$
Obsah iontů	Asi 10krát vyšší v technickém sněhu, což způsobuje nežádoucí hnojení	
Síla, kterou sníh působí na půdu	36 N	0,6 N
Teplotní poměry	Fluktuace okolo 0 °C	Od -3 °C do -5 °C
Tepelná vodivost	V technickém sněhu přibližně 2krát vyšší než v přírodním	

## 2.2 Historie umělého zasněžování

První počátky umělého zasněžování za účelem zimních sportů pochází z přelomu let 1949 a 1950 z USA. [2] Tato zima nebyla ve státě Connecticut příliš vhodná pro lyžování. Pochopitelně nejvíce byli postiženi majitelé lyžařských areálů, kteří prakticky přišli o většinu zákazníků. Velmi příhodně se to pokusil vyřešit majitel jednoho z nich Walter Schoenknecht. Na svoji sjezdovku navezl přibližně 500 tun ledu, který rozemlel a umožnil tak alespoň částečně zachránit nepodařenou sezónu. [6]

Podobné problémy měli také obchodníci s lyžařským náčiním. Nebylo na čem lyžovat, tudíž nikdo nepotřeboval lyže. S tím se však nehodlali smířit tři američtí prodejci lyží Art Hunt, Dave Richey a Wayne Pierce. [1] Poslední zmíněný zkonstruoval první sněžné dělo ze zahradní hadice, kompresoru a rozprašovače. Během čtyř let spolu se svými kolegy vynález zdokonalil a v roce 1954 si jej společně nechali patentovat. [1]

Umělé zasněžování pochází z USA, kde bylo komerčně využíváno také během Zimních olympijských her v roce 1960. [6] V Evropě se k umělému zasněžování přikročilo až v 70. letech 20. století, tedy o zhruba dvě desítky let později.

Další roky přinášely zejména úpravy samotných strojů, protože první sněžná děla nebyla příliš praktická, měla velké nároky na vodní a energetické zdroje a byla poměrně hlučná. Přicházely nové technologie a stroje na výrobu technického sněhu se prudce měnily také v závislosti na změnách klimatu. [1, 6]

V České republice, respektive v Československu, se s umělým zasněžování začalo už 12. listopadu roku 1965. V tento den bylo v Zadní Telnici u Ústí nad Labem do provozu uvedeno sněžné dělo, které místnímu lyžařskému klubu přivezl z Rakouska profesor ČVUT Vladimír Chlumský. Lyžařský areál v Telnici se tak stal prvním areálem s umělým zasněžováním nejen v Československu, ale také v celém tehdejším východním bloku. [6, 7]

V současné době se ve světě nachází jen málo lyžařských areálů, které nevyužívají moderních technologií k zasněžování technickým sněhem. Pro většinu světových závodů nejen v lyžování, ale i v jiných zimních sportech, je třeba připravit závodní tratě právě technickým sněhem. Pořadatelé těchto akcí však musí počítat s jedním závažným faktem. Pokud na sjezdovou trať umístíme 1 m<sup>3</sup> umělého sněhu, pohybují se náklady na jeho výrobu přibližně mezi 2,5–5 euro, což v přepočtu vychází přibližně na 66–132 Kč (kurz eura platný ke dni 13. 11. 2020). [1, 8] Toto množství však zásadně nestačí a je tedy třeba vyrobit daleko více technického sněhu, a tak stoupají celkové náklady. Díky této úvaze lze říct, že technický sníh je v současné době velmi dobrý pomocník pro zkvalitnění zimní sezóny, ale také velmi důležitý ekonomický faktor.

## **2.3 Výroba umělého sněhu**

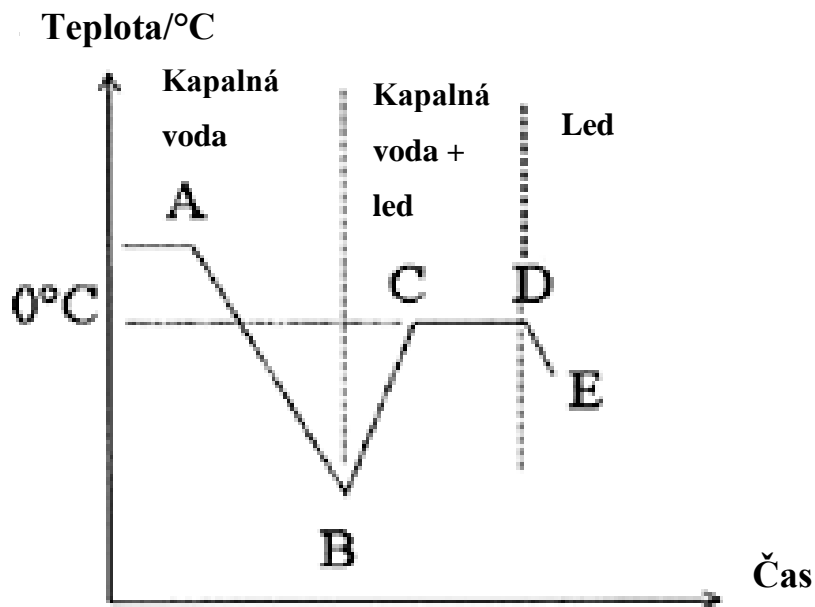
### **2.3.1 Princip výroby umělého sněhu**

Výroba sněhu od svého počátku zaznamenala velký pokrok a neustálý posun zaznamenává i teď. V prvním přiblížení lze princip výroby sněhu rozdělit do dvou kategorií podle toho, kde dochází ke smísení vody a vzduchu. V prvním tzv. vnitřním smísení je voda chlazená těsně nad bod mrazu a následně pumpována pod vysokým tlakem společně se stlačeným vzduchem do mixovací komory, která je umístěna ve vnitřní části sněžného děla.

V druhém, tzv. vnějším smísení jsou voda i vzduch odděleny každý ve svém prostoru a k jejich smísení dochází až během nástřiku, tedy mimo sněžné dělo. [1]

Sněžná děla však nepracují jen v těchto dvou režimech, ale také s různými systémy nebo technikami. V současné době se používají v zásadě tři typy systémů. V našich lyžařských areálech je nejběžnější systém trysek, kdy je voda smíšena se vzduchem a následným rozstříkem se tvoří sníh. Jedná se o levnou techniku, nicméně produkce sněhu vždy bude záviset na teplotě a meteorologických podmínkách. Zbylé dvě techniky nejsou na teplotě tolik závislé a umožňují produkci sněhu i nad teplotou 0 °C, tedy v podmínkách, kdy tryskové systémy selhávají. Jejich velkou nevýhodou je však obrovská spotřeba elektrické energie a s tím spojená i vysoké provozní náklady. Patří sem metoda kryogenní, kdy je do vzduchu rozstříkována směs vody, vzduchu a kryogenního média, a metoda chladicí. Ta je charakterizována použitím ledových plátů, které se nadrtí a jsou rozfoukány spolu s vodou a vzduchem. [9] Tyto metody nejsou v evropských lyžařských areálech příliš rozšířené, a proto zde bude popsán pouze postup výroby technického sněhu tryskovou technikou.

Celý proces výroby technického sněhu lze popsat dvěma kroky. Nejprve je nutné vygenerovat malé vodní kapky a zajistit jejich pohyb, následně dochází k jejich zmrznutí. Voda je rozprašována pod vysokým tlakem skrz malé trysky do vzduchu. Rozdíl v tlaku vody, který se pohybuje od 30 do 105 Pa, a tlaku vzduchu urychluje drobné kapky vody. K dalšímu urychlení kapek dochází za pomoci turbulencí, ty jsou vyvolány nejčastěji pomocí turbíny. Tímto způsobem lze dosáhnout rychlosti kapek až 30 m/s. Úspěšné zmrznutí kapek závisí na více faktorech. Jedná se o délka letu, dostatek energie a přítomnost nukleačních jader. Čím dále kapky doletí, tím více času mohou mrznout a celý proces je úspěšnější. Dále je nutné do celého systému dodat dostatek energie, který zajistí přeměnu velkého objemu vody v led, respektive sníh. Nukleační jádra, tedy malé částice, jsou důležité zejména na začátku celého procesu, protože na jejich povrchu mrznutí začíná. [9] Na obrázku (Obr. 2) je zobrazena závislost teploty na čase během procesu mrznutí. V bodě A se nachází kapalná voda, která vychází z ústí trysky. V bodě B teplota prudce klesá, až dosáhne nukleační teploty (tvoří se menší částice, na kterých dochází k vymrzávání). Bod C charakterizuje mrznutí části kapek, tedy během přechodu z bodu B do bodu C se část vody změní na led. V bodě D jsou již všechny kapky zmrzlé, od tohoto bodu teplota klesá až do bodu E, kde už máme ledové kapky. [9]



Obrázek 2. Závislost teploty na čase během procesu mrznutí jednotlivých kapek

Nejdůležitější procesy při výrobě umělého sněhu tedy probíhají ve vzdálenosti přibližně 50 cm od sněhového děla. Směs vody a vzduchu opouští trysky, rozstříkuje se do okolí a velmi rychle mrzne. Tento proces se nazývá atomizace, kdy se voda zmenšuje do malých kapek o velikosti 200–300  $\mu\text{m}$ . K atomizaci patří další procesy: nukleace a růst jader (seeding). Oba tyto procesy doprovázejí atomizaci společně, ale některý z nich vždy dominuje. V nukleaci vodní kapky mrznou do malých částecek, na kterých pak mrznutí pokračuje. Tyto částice mají velikost okolo 50 nm. Nukleace dominuje ve vzdálenosti 50-100 cm od sněžného děla. [1]

Ve vzdálenosti 100–200 cm od sněžného děla se nejvíce projevuje proces růstu jader. Dochází k vypařování vody a voda kondenzuje okolo malých částecek – jader, které vznikly v nukleaci. Původně malý krystal roste až do velikosti 5-100  $\mu\text{m}$ . Potenciál pro růst jader však značně ovlivňují meteorologické podmínky, zvláště pak teplota. [1]

Ve větší vzdálenosti od sněžného děla, přibližně 200-500 cm, sílí výpar vody, který podporuje chlazení a další růst ledových krystalků. Po překročení této vzdálenosti dochází hlavně k mísení jednotlivých krystalků. Někdy lze procesy probíhající ve vzdálenosti jeden metr od děla souhrnně nazvat jako fáze rozptylu. Do této fáze by pak patřilo vypařování a mísení krystalků. [1]

Běžně pracující sněžné dělo dokáže produkovat technický sníh do míst vzdálených až 80 m od samotného děla a celková produkce může dosáhnout až 100  $\text{m}^3$  za hodinu. [9]

Pro výrobu technického sněhu je dobré nastavit podmínky tak, aby množství vyrobeného sněhu bylo co největší, sníh byl kvalitní a na jeho výrobu se spotřebovalo co nejméně energie. Meteorologické podmínky ovlivnit nelze, a proto je nutné výrobu technického sněhu načasovat tak, aby byla nízká relativní vlhkost vzduchu, nízká rychlost větru a teplota kolem  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Neméně důležitá je i teplota povrchu. Pokud je povrch příliš teplý, sníh se po dopadu ihned rozpouští a nevytváří souvislou vrstvu. [1]

Každý provozovatel si může sám nastavit systém sněžného děla, případně koupit lepší techniku, a přispět k lepší tvorbě technického sněhu. Parametry, které lze ovlivnit, jsou především délka letu vodních kapek a přítomnost nukleačních jader. Čím více těchto jader je přítomno, tím rychlejší proces výroby sněhu bude. [1, 9]

### **2.3.2 Typy sněžných děl**

Umělé zasněžování je dnes již tak běžné, že zasněžovací technika tvoří novou scénérii horských areálů. Díky tomu se na trhu objevují nejrůznější druhy sněžných děl a jiných výrobníků technického sněhu. Provozovatelé lyžařských areálů však standardně volí ze tří typů sněžných děl, které se dále upravují a modernizují. Jedná se o turbínová sněžná děla, tyčová sněžná děla a nejmodernější provedení tzv. Snow factory.

Turbínová děla patří k těm nejběžnějším na našich sjezdovkách. Jejich konstrukce umožňuje postavení tohoto děla kamkoliv na sjezdovou trať, díky umístění na podvozek. V jiném provedení jsou turbíny pevně připojené na zdvihací zařízení, věže, nebo ramena. V tomto děle je voda sprejována pod nízkým tlakem skrz soustavu trysek do proudu vzduchu, který je vytvářen turbínou. [9, 10]

Tyčová, někdy nazývaná věžová děla, mají velké použití v cíleném zasněžování. Vyráběný sníh není rozprašován na co největší plochu, ale na plochu menší výměry a cíleně, čímž odpadá někdy složitá a neekonomická doprava vyrobeného sněhu pomocí aut do vzdálených míst sjezdových tratí. Voda pod vysokým tlakem prochází přes soustavu trysek společně se stlačeným vzduchem a ke zmrznutí kapiček dochází díky gravitaci, tedy tím, jak kapičky padají k zemi. V principu tedy tato děla nepotřebují turbínu a mohou pracovat i za vyšších teplot. [9, 10]

V současné době nejmodernější zařízení k výrobě technického sněhu se nazývá Snow factory. Jedná se o zařízení, které produkuje sníh při jakékoliv teplotě, a to i nad bodem mrazu. Tento stroj obsahuje výměník tepla, který chladí vodu na bod mrazu bez chemických aditiv.

Zařízení tak může připomínat stroje na výrobu zmrzliny. Celý systém je umístěn na nákladní auto, což dovoluje přesun Snow factory na různá místa, kde je třeba sněh vyrobít. [1, 10]

## **2.4 Vliv umělého sněhu a jeho výroby na životní prostředí**

Produkce technického sněhu v jednotlivých lyžařských areálech se každým rokem zvyšuje, k čemuž přispívá i měnící se podnebí. Jen mezi lety 1990 a 2001 se množství švýcarských sjezdovek pokrytých umělým sněhem zvýšilo o 7 %, přičemž v této době nepatřilo umělé zasněžování k takové samozřejmosti jako dnes. A tak se čím dál častěji dostávají do popředí úvahy o vlivu umělého zasněžování na životní prostředí. Tato práce se věnuje převážně chemickému složení vyráběného sněhu, přesto tyto úvahy nelze pominout a bude o nich částečně pojednáno. [11]

Nejen samotná výroba technického sněhu ovlivňuje životní prostředí, ale také veškeré ostatní práce, které se samotnou přípravou sjezdovek na zimu souvisí. Nejvýznamnější dopady jsou patrné na vegetaci, půdě a při odběru vody k výrobě technického sněhu.

### **2.4.1 Vlivy na životní prostředí spojené s odběrem vody**

Voda je nejzákladnější látkou, která se v přírodě nachází, a proto má v životním prostředí nezastupitelnou úlohu. K samotnému zasněžování se používá voda velmi často z přírodních zdrojů, jako jsou řeky či potoky, v současnosti dochází k budování nádrží, ve kterých se voda zadržuje. Ať už se pro výrobu technického sněhu použije voda z různého zdroje, projeví se tento odběr na vodním cyklu.

Odebere-li provozovatel vodu z tekoucího zdroje, způsobí tento odběr kolísání v průtoku potoka nebo řeky. V případě velmi suché zimy, tedy v případě nedostatečného množství srážek, se odběr vody projeví velmi výrazně a má velký dopad na vodní společenství. Organismy žijící ve vodě nemají dostatečné množství vody k přezimování a mráz může způsobit jejich vymrzávání. [12]

Přestože na tocích je odběr vody rychle kompenzován, kolísání průtoku může být nebezpečné z dlouhodobého hlediska zejména na malých tocích. Zde jsou odběry vody v poměru k průtoku příliš velké a kompenzace odběru je řešena v delším časovém úseku. Na velkých tocích se odběr vody v celkovém průtoku příliš neprojevuje. [13]



Obecně panuje představa, že pouze přesuneme část vody z potoků, řek či nádrží na sjezdovky a voda se na jaře vrátí zpět. Vytváříme však krátkodobý deficit, který není nezanedbatelný zejména v zimním období s malým množstvím srážek. Podstatný je i fakt, že sníh sice leží na sjezdovkách, zároveň ale dochází k vypařování vody z tohoto sněhu i při jeho výrobě. Těmito procesy se může ztratit až 30 % použité vody. [1, 12]

V současné době se množí snahy kontrolovat odebrané množství vody zejména z tekoucích zdrojů. Proti této snaze však mluví vodní zákon, podle kterého se „za odběr povrchové vody neplatí, pokud odebrané množství povrchové vody je menší nebo rovno 6 000 m<sup>3</sup> za kalendářní rok nebo je menší nebo rovno 500 m<sup>3</sup> v každém měsíci kalendářního roku. Neplatí se též za odběry povrchových vod ...pro výrobu sněhu vodními děly, ...“. Přesto existují limity, které umožňují odebírat jen určitá množství vody k výrobě technického sněhu. Tyto regulace jsou stanoveny dle povahy zdroje a velikosti lyžařského areálu. [14]

Moderní sněhová děla dokážou pracovat s velkým množstvím vody, a tak se lyžařské areály často snaží najít nové zdroje vody. Jednou z možností je budování umělých nádrží, které slouží jako zásobárna vody pro zasnežování během celé zimní sezóny. Ani umělá vodní nádrž však není z hlediska vodního cyklu zcela přínosná, protože vodu k jejímu naplnění je třeba někde vzít. Nejčastěji se tak děje opět z potoků a řek a problém tak dostává stejný rozměr. [1, 12]

## **2.4.2 Vlivy na půdu, vegetaci a živočichy**

Hned po vlivu na vodní toky se výroba technického sněhu velmi výrazně projevuje na půdě a na ní rostoucí vegetaci. Umělý sníh leží na sjezdovkách přibližně o 3–4 týdny déle než sníh přírodní, což způsobuje zkrácení vegetačního cyklu. V oblastech s vyšší nadmořskou výškou je vegetační doba pro růst rostlin obvykle ještě kratší a další zkrácení této doby neumožňuje nejen samotný růst rostlin, ale může docházet i k tvorbě permafrostu, tedy trvale zamrzlé půdy. Podstatný je také fakt, že k omezení vegetačního cyklu dochází nejen na jaře, kdy se lyžařské areály snaží prodloužit zimní sezónu, ale také na podzim, kdy lyžařské areály připravují sjezdovky a se samotným provozem začínají poměrně brzy. [1, 3, 11]

Ležící sníh může způsobovat vymrzávání rostlin, zejména v prvních částech zimy, kdy rostliny na zimu ještě nejsou zcela připraveny. Pokud je vrstva sněhu nedostatečná, nebo příliš kompaktní, dochází k mechanickému poškozování rostlin pod sněhem a k problematické výměně plynů mezi povrchem a sněhovou vrstvou. Toto se týká zejména oxidu uhličitého

a kyslíku. Rostliny tak mohou trpět nedostatkem kyslíku a jsou snadněji napadány plísněmi a jinými patogeny, k čemuž přispívá i vysoká koncentrace oxidu uhličitého pod sněhovou vrstvou. [11]

Bezvýznamné není ani používání vody z řek a potoků k výrobě technického sněhu. Tato voda obsahuje velké množství iontů, oproti přírodnímu sněhu a tyto ionty mají nezastupitelný vliv na rostliny. Řada těchto iontů je pro vývoj a růst rostlin nezbytná ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , atd.), ale jen v menší míře. Dochází tak k druhotnému hnojení často horských luk a druhů, které nejsou odolné vůči tomuto velkému přísunu živin, se musí přizpůsobit, nebo jsou nahrazeny odolnějšími druhy. Přídavek iontů dále mění pH v půdě a následně také vody pocházející z tajícího sněhu, což opět přispívá k biodiverzitě v rámci horských luk. [11]

Půda samotná je ohrožována erozí. Technický sníh odtéká ze svahů přibližně dvakrát rychleji a tím s sebou může odnášet také zeminu. Další eroze nastává změnou biodiverzity na sjezdovkách. Vlivem kratší vegetační doby a použití významně mineralizované vody k výrobě technického sněhu, dochází k výměně některých druhů rostlin za odolnější druhy a půda je k erozi náchylnější. Přibývá více dřevin, ty jsou ale ze sjezdovek odstraňovány, což ještě více k vymílání půdy přispívá. [1, 11, 15]

Určitá míra ovlivnění živočichů provozem lyžařských areálů je dána k diskusi. Tyto vlivy dosud zkoumány nebyly, je však nutné je do celkového pohledu na tuto problematiku zahrnout. Každý lyžařský areál působí v krajině jako zdroj hluku, který může být příčinou komplikací při komunikaci mezi jedinci stejného druhu. Velká část prací probíhá v areálech hlavně v nočních hodinách a je nutné k nim využívat umělé zdroje světla. Osvětlení snižuje úspěšnost lovu nočních šelem a celkově ovlivňuje biorytmus živočichů. [2, 11, 16]

Všechny zmíněné vlivy na životní prostředí se v průběhu let opakovaným používáním technického sněhu kumulují a je třeba sledovat tyto vlivy i z dlouhodobého hlediska. [15]

## **2.5 Aditiva pro výrobu technického sněhu**

Jak již bylo uvedeno, je nutné, aby teplota byla pro výrobu umělého sněhu co nejideálnější. Nejmodernější sněhová děla dokáží vyrábět kvalitní sníh v teplotách okolo  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v případě některých typů již při teplotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Stroje běžného typu, nebo starší stroje však nejsou tak výkonné a pro výrobu sněhu potřebují teplotu okolo  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přestože technologie posunula výrobu technického sněhu do nových teplot, existují prostředky, které umožňují

výrobu technického sněhu i při teplotě  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  bez závislosti na typu přístroje. Tato aditiva mohou být různého, nejen chemického původu. [11]

### 2.5.1 Sněhová aditiva

Při výrobě technického sněhu dochází v procesu atomizace ke zmenšení vodních kapek, následně se malé kapičky spojují do větších, společně mrznou a na zem dopadají ve formě sněhu. Aby však proces růstu jednotlivých ledových krystalků, probíhal uspokojivě, je nutná přítomnost určitého množství nukleačních jader. Tato jádra mají funkci zárodků, na kterých dochází k nukleaci. Při výrobě bez aditiv plní tuto funkci malé kapičky vody. Je však jasné, že čím více nukleačních jader bude, tím více se zrychlí výroba a odpadá závislost na teplotě vzduchu. [1, 11]

Jako sněhová aditiva lze použít různé druhy látek, chemické (jodidy stříbra, mědi, rtuti, soli vápníku nebo hořčíku, mýdla, detergenty, heptamethyltrisiloxany), biologické (bakterie, houby, plísně, lišejníky) nebo jiné povahy (popel, kaolín, montmorillonit). Všechny tyto látky se liší nejen svojí cenou, ale také účinností. Z tohoto důvodu se nejčastěji používají dva druhy již připravených směsí – prostředky Drift a Snomax. [1, 16, 17]

### 2.5.2 Prostředek Snomax a bakteriální aditiva

Snomax je prostředek na bakteriální bázi. Jeho hlavní složkou je inaktivovaná bakteriální kultura *Pseudomonas syringae*. Tento prostředek kromě zmíněné bakterie obsahuje také jiné složky, například uhlovodíky (15 %), nukleové kyseliny (10–11 %) nebo různé druhy kovů (Ca, K, Mg, Zn, Mn, Cu, aj.). [16, 17]

Zmíněnou bakterii se podařilo izolovat v roce 1974 z listů severoamerické olše. Téměř vzápětí byly zjištěny její nukleační schopnosti. Přítomnost přirozených nukleátorů je v přírodě běžná. Tyto organismy mají roli kondenzačních jader a jsou důležité v mracích, kde přispívají k formování ledu, sněhu a ledových srážek. Kromě již zmíněné bakteriální kultury mají tuto funkci také *Xanthomonas Campestris* a *Erwinia Herbicola*. Tyto rody bakterií jsou fytopatogenní, způsobují nemoci rostlin a jsou gramnegativní. Jsou schopné produkovat proteiny, které působí jako templáty při spojování molekul vody do ledových struktur. [11, 17, 18, 19]

Jeden gram výsledného produktu Snomax obsahuje přibližně  $10^{11}$  až  $10^{12}$  nukleačních center této bakterie. Při výrobě trvajících 8-12 hodin je potřeba 300-500 litrů vody, do které

se aplikuje aditivum o přibližné hmotnosti 300 g. Celým procesem se získá 380 m<sup>3</sup> technického sněhu, ve kterém je koncentrace bakteriálních kultur 3-12 g/l, což je přibližně 10<sup>5</sup> až 10<sup>6</sup>krát více, než je běžná přítomnost této bakterie v horských vodách a půdách. [11, 17]

Přestože se Snomax a jemu podobné produkty používají v polovině resortů v Severní Americe, objevují se náznaky, že dopad na životní prostředí je značný. Některé státy už přistoupily k zákazu tohoto výrobku nebo k jeho regulaci. V alpských zemích je jeho použití povoleno pouze v některých regionech Švýcarska a Rakouska a do posledních let benevolentní Francie již také přistoupila k zákazu Snomaxu. Důvodů je více, zejména vliv na horské louky, patogenní působení na rostlinách či v půdě a pro živočichy nebezpečný aerosol, který vzniká při výrobě technického sněhu. [11, 17]

### **2.5.3 Prostředek Drift a aditiva na bázi trisiloxanů**

Drift se řadí mezi chemická aditiva, která fungují na principech detergentů. Jejich úkolem je snížit povrchové napětí kapek vycházejících z trysek sněžného děla. Zajistí se tak velmi rychlé zmrznutí kapičky vody. Tyto látky obsahují siloxanové skupiny, ve kterých se střídá atom kyslíku s atomem křemíku. V současné době mají největší použití detergenty na bázi trisiloxanů, zvláště heptamethyltrisiloxanů, které se velmi často upravují polyethery. Do této skupiny patří také Drift. [16, 20, 21, 2]

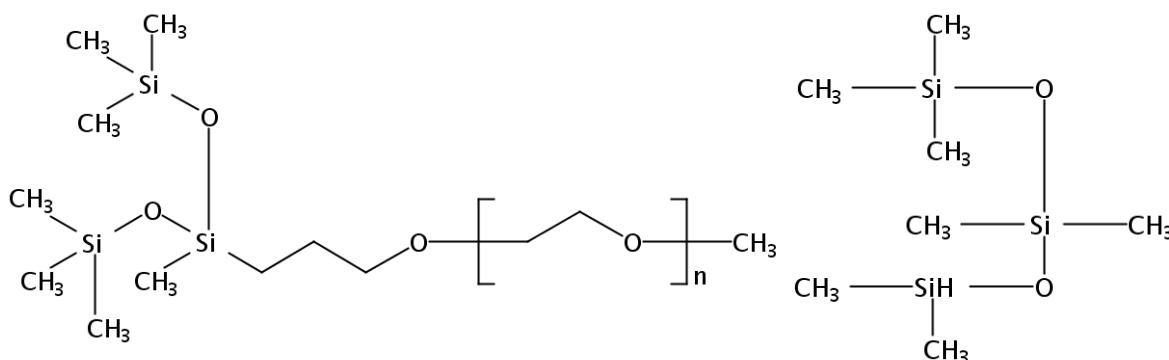
Prostředek Drift patří ke komerčním produktům, které lze jako aditivum k výrobě technického sněhu použít. Jedná se o světle žlutou kapalinu s hustotou 1,007 g/cm<sup>3</sup>, která se ve vodě nerozpouští, ale rozptyluje. Složení produktu odpovídá ze 70 % modifikovanému heptamethyltrisiloxanu (Obr. 3). Zbýlých přibližně 30 % produktu také odpovídá heptamethyltrisiloxanům, ale tato struktura podléhá obchodnímu tajemství. [20]

Prostředek Drift má velké použití zejména v teplotách, které jsou pro výrobu technického sněhu méně vhodné nebo hraniční. Při teplotách kolem 0 °C pracují běžná děla s menší účinností, vyrobený sníh má menší kvalitu a musí se upravovat mechanicky (pomocí roleb), nebo chemicky (použití chemických solí, viz odstavec 2.6). Drift modifikuje tok vody, která vychází ze sněžného děla, což způsobí rychlé a mnohem důkladnější promrznutí malých kapek. Tímto procesem se zlepšuje účinnost celého procesu, získává se sníh lepší kvality, který se již nemusí upravovat. [20]

Drift se používá pro sněžná děla, která pracují se systémem vzduch-voda. Tuto kapalinu lze dávkovat přímo do systému sněžná děla s vysokým průtokem. Pro sněžová děla s nízkým

průtokem je nutné smíchat Drift s vodou v nádrži, a poté lze tuto vodu k výrobě umělého sněhu použít. Běžně se dávkuje 2,54 mg tohoto aditiva na jeden litr vody určené k výrobě technického sněhu. [16, 21, 22]

Heptamethyltrisiloxany jsou pro člověka toxické, zejména při vdechování. Velkou toxicitu vykazují ve vztahu k vodním organismům a mají velký bioakumulační potenciál. Samotný Drift obsahující 84 % heptamethyltrisiloxanů je nebezpečný nejen při inhalování, ale může způsobovat také podráždění oční sliznice a kožní vyrážky. V systému značení GHS je řazen mezi látky dráždivé a je nutné s ním zacházet jako s jinými chemikáliemi této kategorie. Při práci se tedy používají ochranné rukavice a brýle, respirátory zabráňující vdechování a případně ochranné obleky. Výrobce sám doporučuje skladovat Drift a pracovat s ním jen v dobře větraných prostorech. [21, 22]



Obrázek 3. Látky, které jsou základem prostředku Drift, vpravo struktura heptamethyltrisiloxanu, vlevo modifikovaný heptamethyltrisiloxan, který je součástí prostředku Drift

## 2.6 Chemická úprava sjezdových tratí

Při většině velkých závodů se pořadatelé často nespolehnají jen na přírodní sních, umělé zasnežování je pro tento typ akcí dnes již nutností. Výsledná úprava lyžařských či snowboardových tratí se pak provádí chemickými prostředky, nejčastěji různými solemi. Účelem chemických úprav je zlepšit kvalitu závodního povrchu a upravit vlastnosti těchto tratí. [11]

Chemická úprava sjezdovek má význam především pro technický sních, který vykazuje nevhodné vlastnosti pro konaný závod. Povrch tratí může být málo pevný, lepkavý a bořivý. Přidáním chemického přípravku na tento povrch dochází k jeho zpevnění a případně ztvrdnutí. Vytváří se pevný, lehce ledový povrch, který je rychlejší a není nutné ho tak často upravovat. [23, 11]

Každá sůl má jiné vlastnosti a její použití závisí na konkrétním počasí a teplotě. Velmi časté je použití chloridů a dusičnanů kvůli jejich příznivé ceně a dobré dostupnosti. Použité chemické látky lze obecně rozdělit do dvou skupin na látky endotermické a exotermické. První skupinu představují NaCl, KCl a močovina, druhou skupinu reprezentují MgCl<sub>2</sub> a CaCl<sub>2</sub>. Dále lze použít chlorid amonný, dusičnan amonný a případně fosforečnan. [23, 11]

Všechny tyto látky mají žíravé vlastnosti, jsou snadno absorbovatelné do půdy a mohou se dostávat také do povrchových a podzemních vod. Použití dusičnanů a fosforečnanů může přispívat k hnojení nejen horských luk a způsobovat změny v druhové pestrosti. Chemické prostředky mohou být použity nárazově, pro úpravu tratě na plánovanou akci, nebo pravidelně, pro úpravu sjezdovek na jarní lyžování, kdy už podmínky nejsou ideální. [23, 11]

## **2.7 Analýza technického sněhu – literární řešerše**

### **2.7.1 Odběr vzorků technického sněhu**

Odběr technického sněhu není zcela běžnou záležitostí. Technický sníh ležící na sjezdovkách je většinou tvrdý, ledový a uježděný od lyžařů, případně těžké techniky. Proto je nutné jej nejprve rozbít například pomocí kovové lopatky, kterou dále lze využít k bodovému odběru. Pro dostatečnou reprezentativnost vzorku lze použít vzorkovače celého sedimentu, například zatloukací pŕlený jádrový vzorkovač. [3, 21]

K uchování vzorků sněhu se používají nejčastěji plastové nádoby. V případě analýzy heptamethyltrisiloxanů je nutné použít jiný druh nádob, protože tyto látky se mohou do plastů sorbovat. Vzorky v nádobách se uchovávají za konstantní teploty, případně se použije zmrazení vzorků na teploty okolo -10 °C nebo nižší. [3, 21]

### **2.7.2 Analýza technického sněhu**

Získané vzorky technického sněhu se nechají v laboratoři rozpustit při teplotě kolem 4-5 °C, a to podle toho, jaké analýze se vzorky podrobují. Jako první se ve vzorcích zjišťují hodnoty pH a konduktivity. Dále se zjišťuje obsah jednotlivých kationtů a aniontů, případně i kovů. K těmto analýzám je dobré vzorky zfiltrvat přes mikrofiltry. Nejčastěji analyzovanými ionty jsou Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. [3, 11, 23, 21]

K analýze technického sněhu se využívá několik metod, konkrétně atomová absorpční spektrometrie (AAS), iontová chromatografie (IC), optická emisní spektrometrie (OES), a případně volumetrické metody. [3, 23, 11]

Spektrální metody poskytují poměrně dobré výsledky, nicméně jejich pořizovací a provozní náklady jsou vyšší. Některé laboratoře tedy mohou volit z klasických volumetrických metod, které jsou sice méně přesné, ale levnější a nevyžadují tak proškolený personál jako metody spektrální. Význam má především titrace podle Mohra pro stanovení chloridů. [23]

Analýzy technického sněhu se v mnoha ohledech podobá analýze přírodního sněhu. Z tohoto důvodu lze použít k analýze i další techniky, které byly použity pro analýzu přírodního sněhu, ale pro technický sníh jako analyt mohou poskytovat také dobré výsledky. Příkladem těchto metod může být kapilární elektroforéza a hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Tato metoda má velmi nízké meze detekce, což umožňuje detekovat velmi malé koncentrace kovů v přírodním i technickém sněhu. [24]

Přehled metod použitých k analýze technického sněhu a jejich výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tab. II).

Tabulka II. Vybrané analytické metody použité k analýze technického sněhu a jejich výsledky

Druh analýzy	Popis analýzy a použitých metod	Výsledky			Reference
		Technický sníh	Přírodní sníh	Jednotka	
Měření konduktivity	K měření byl použit pH metr s možností měření konduktivity. Tato měření byla provedena ihned po roztátí vzorků sněhu.	87,3 ± 9,1	7,1 ± 3,0	μS/cm	[3]
Měření pH		8,4 – 9,0	4,0	-	
Iontová chromatografie	Měření bylo provedeno pomocí iontového chromatografu, byly zjišťovány koncentrace vybraných aniontů (Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).	Cl <sup>-</sup> : 1,98 ± 0,34 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 1,20 ± 0,19 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : 4,23 ± 0,51	Cl <sup>-</sup> : 1,67 ± 0,25 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 1,43 ± 0,12 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : 0,63 ± 0,05	mg/l	
Atomová absorpční spektrometrie	Byla provedena analýza hlavních kationtů (Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> ) atomovou absorpční spektrometrií.	Ca <sup>2+</sup> : 7,11 ± 0,86 Mg <sup>2+</sup> : 1,20 ± 0,55 Na <sup>+</sup> : 2,23 ± 0,30 K <sup>+</sup> : 0,30 ± 0,05	Ca <sup>2+</sup> : 0,49 ± 0,18 Mg <sup>2+</sup> : 0,05 ± 0,01 Na <sup>+</sup> : 1,20 ± 0,30 K <sup>+</sup> : 0,23 ± 0,21		
Měření konduktivity	Získané hodnoty pocházejí z přehledového článku a popis metod se nepodařilo dohledat. Bylo provedeno stanovení vybraných iontů: Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> a NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	61,0 ± 30,0	15,0 ± 7,0	μS/cm	[11]
Stanovení aniontů		Cl <sup>-</sup> : 3,12 ± 4,31 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : 6,38 ± 5,84 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 0,64 ± 0,26	Cl <sup>-</sup> : 1,18 ± 0,69 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : 0,47 ± 0,20 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 0,53 ± 0,21	mg/l	



Druh analýzy	Popis analýzy a použitých metod	Výsledky			Reference
		Technický sníh	Přírodní sníh	Jednotka	
Stanovení kationtů	Získané hodnoty pocházejí z přehledového článku a popis metod se nepodařilo dohledat. Bylo provedeno stanovení vybraných iontů: Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .	Ca <sup>2+</sup> : 5,34 ± 3,12 K <sup>+</sup> : 0,75 ± 0,43 Mg <sup>2+</sup> : 1,28 ± 1,32 Na <sup>+</sup> : 2,18 ± 2,23 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 0,01 ± 0,06	Ca <sup>2+</sup> : 0,71 ± 0,51 K <sup>+</sup> : 0,75 ± 0,28 Mg <sup>2+</sup> : 0,09 ± 0,06 Na <sup>+</sup> : 1,03 ± 0,46 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 0,14 ± 0,06	mg/l	[11]
Spektrofotometrie	Bylo provedeno stanovení vybraných iontů (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ).	Údaje o analýze technického sněhu pocházejí z konferenčního příspěvku a jejich přesné výsledky se nepodařilo dohledat			[23]
Mohrova titrace	Mohrovou titrací byl stanoven obsah chloridů ve vzorcích technického sněhu, které se nechaly volně rozpustit.				
Atomová absorpční a emisní spektrometrie, ICP-MS	Tyto metody byly použity na stanovení některých, zejména toxických kovů, např. Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Cu, Zn, Cd, Ba, Pb.				
Měření konduktivity	K měření byl použit přenosný přístroj k měření pH a konduktivity. Tyto údaje byly změřeny ihned po roztátí vzorků.	74,6	23,3	μS/cm	[25]
Měření pH		9,58	4,53	-	

Druh analýzy	Popis analýzy a použitých metod	Výsledky			Reference
		Technický sníh	Přírodní sníh	Jednotka	
Atomová absorpční spektrometrie	Na atomovém absorpčním spektrometru s plamenovou atomizací bylo provedeno stanovení kationtu $\text{Ca}^{2+}$ .	$\text{Ca}^{2+}$ : 8,22	$\text{Ca}^{2+}$ : 0,11	mg/l	[25]
Injekční průtoková analýza	Metodou FIA bylo provedeno stanovení aniontů $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$ a $\text{NH}_4^+$ .	$\text{SO}_4^{2-}$ : 115,18 $\text{NO}_3^-$ : 1080,0 $\text{NH}_4^+$ : 477,0	$\text{SO}_4^{2-}$ : 1,17 $\text{NO}_3^-$ : 616,0 $\text{NH}_4^+$ : 616,0	mg/l $\mu\text{g/l}$ $\mu\text{g/l}$	

## 3 Experimentální část

### 3.1 Příprava vzorků

Bylo odebráno celkem 8 vzorků přírodního sněhu, technického sněhu, jejich směsi a vody, která byla k výrobě technického sněhu použita. Každý vzorek byl odebrán do skleněné a plastové nádoby. Odběr byl proveden 13. 12. 2020 v Horském resortu Dolní Morava ze sjezdovky Ondráš. Teplota odebíraného sněhu byla  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a k jeho odběru byla použita plastová lopatka. Voda byla odebrána z řeky Moravy ve stejném resortu, její teplota byla  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplota vzduchu v den odběru byla  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vzorky byly volně rozpuštěny při teplotě  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Fotodokumentace odběru je uvedena v přílohách I a II.

Pro další analýzy byly jednotlivé vzorky označeny dle druhu a materiálu, ve kterém byly uchovávány a to následovně: VS (vzorek vody ve skle), SS (vzorek směsi technického a přírodního sněhu ve skle), TS (vzorek technického sněhu ve skle), PS (vzorek přírodního sněhu ve skle), SP (vzorek směsi technického a přírodního sněhu v plastu), TP (vzorek technického sněhu v plastu), VP (vzorek vody v plastu), PP (vzorek přírodního sněhu v plastu).

### 3.2 Materiály a přístroje

K přípravě vzorků a kalibračních roztoků byly použity následující materiály: skleněné odměrné baňky třídy A o objemu 10 a 25 ml (GLASSCO, Česká republika), skleněné odměrné baňky třídy A o objemu 50 ml (SIMAX, Česká republika), automatická pipeta s nastavitelným objemem 100–1000  $\mu\text{l}$  (THERMO FISFER SCIENTIFIC, USA), stříkačkový filtr s nylonovou membránou s velikostí pórů 0,45  $\mu\text{m}$ , velikost filtru 25 mm, polyethylenové vzorkovnice (KARTELL, Itálie), skleněné vzorkovnice (SIMAX, Česká republika) a navažovací lodička.

V celé experimentální části byly použity následující přístroje: Analytické váhy AB204 (METTLER-TOLEDO, USA), pH metr Inolab 7110 (WTW, Německo), skleněná elektroda Sen Tix 41 (WTW, Německo), chloridová iontově selektivní elektroda typ 17-37 (MONOKRYSTALY, Česká republika), merkurosulfátová referentní elektroda typ RME 121 (MONOKRYSTALY, Česká republika), konduktometr MC 226 (METTLER-TOLEDO, USA),

vodivostní cela InLab 730 (METTLER-TOLEDO, USA), atomový absorpční spektrometr Savant AA s plamenovou atomizací, plamen acetylen-vzduch (GBC, Austrálie), plamenový fotometr (BWB-XP, Velká Británie) a ICP-MS spektrometr Agilent 7700x (AGILENT TECHNOLOGIES, Japonsko).

### 3.3 Chemikálie

K přípravě vzorků a kalibračních roztoků byly použity následující chemikálie: chlorid sodný p.a., kyselina dusičná 65%, chemikálie byly zakoupeny od firmy PENTA, Česká republika, certifikovaný referenční materiál TMDA 64.3 (A2LA, USA), směsný certifikovaný referenční materiál Ca, Na, K, Mg, P, S o koncentraci  $100 \pm 0,2$  mg/l (ANALYTIKA, spol. s r.o., Česká republika), certifikovaný referenční materiál Na o koncentraci  $1,000 \pm 0,002$  g/l (ANALYTIKA, spol. s r.o., Česká republika) a certifikovaný referenční materiál Ca o koncentraci 1000 mg/l (MERCK, Německo).

### 3.4 Pracovní postupy

#### 3.4.1 Příprava kalibračních roztoků

Ze směsného certifikovaného referenčního materiálu Ca, Na, K, Mg, P, S o koncentraci 100 mg/l byla připravena řada kalibračních roztoků o koncentracích 1, 2, 5, 7, 10, 25, 50, 100 mg/l. Celá kalibrační řada byla připravena postupným ředěním koncentrovaného standardu do skleněných odměrných baněk o objemu 25 ml.

Z certifikovaného referenčního materiálu Na o koncentraci 1 g/l byly připravena kalibrační roztoky o koncentracích 0,5; 1; 2; 5; 7 a 10 mg/l. Nejprve byl připraven zásobní roztok o koncentraci 100 mg/l zředěním koncentrovaného standardu do skleněné odměrné baňky o objemu 25 ml. Z tohoto roztoku bylo postupným ředěním připraveno pět kalibračních roztoků do skleněných odměrných baněk o objemu 25 ml. Nejméně koncentrovaný standard byl připraven zředěním roztoku o koncentraci 10 mg/l do skleněné baňky o objemu 25 ml.

Pro stanovení chloridů byl připraven základní roztok NaCl o koncentraci  $10^{-1}$  mol/l rozpuštěním 0,292 g bezvodého NaCl v destilované vodě. Po rozpuštění byl tento roztok kvantitativně převeden do 50 ml baňky a doplněn po rysku. Ostatní roztoky o koncentracích  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$ ,  $10^{-4}$ ,  $3 \cdot 10^{-5}$  a  $10^{-5}$  mol/l byly připraveny postupným ředěním základního

roztoku. Do všech roztoků byla pro zvětšení iontové síly přidána kyselina dusičná o koncentraci 1 mol/l (5 ml kyseliny na 50 ml roztoku). Následně byly roztoky doplněny na definovaný objem. [25]

Z certifikovaného referenčního materiálu Ca o koncentraci 1000 mg/l bylo připraveno 25 ml zásobního roztoku o koncentraci 100 mg/l. Z tohoto roztoku byly postupným ředěním připraveny kalibrační roztoky o koncentracích 0,5; 1; 2; 5; 7 a 10 mg/l. Všechny roztoky byly připravovány do skleněných baněk o objemu 25 ml. Nejméně koncentrovaný standard byl připraven zředěním kalibračního roztoku o koncentraci 10 mg/l do skleněné baňky o objemu 25 ml.

Vzhledem k velmi malým koncentracím zjištěným během prvního měření, byla původní kalibrační řada o koncentracích 1, 2, 5, 7, 10, 25, 50 a 100 mg/l upravena přidáním dalšího kalibračního roztoku o koncentraci 0,5 mg/l. Kalibrační roztoky o koncentracích 25, 50 a 100 mg/l již dále nebyly používány. Tato kalibrační řada byla dále používána ve všech měřeních.

### **3.4.2 Měření vzorků na ICP-MS**

Všechny vzorky byly zfiltrány přes stříkačkový filtr s nylonovou membránou. Na ICP-MS spektrometru byla provedena semikvantitativní analýza. Bylo proměřeno všech osm vzorků, jeden slepý pokus a certifikovaný referenční materiál TMDA 64.3 (A2LA, USA). Získané řádové koncentrace jednotlivých prvků byly zaznamenány a zapsány do tabulky.

### **3.4.3 Stanovení Na a K na plamenovém fotometru**

Na plamenovém fotometru byla proměřena celá kalibrační řada o koncentracích 0,5; 1; 2; 5; 7 a 10 mg/l včetně slepého pokusu. Byla získána kalibrační závislost, graficky byla znázorněna závislost emisního signálu raw z plamenového fotometru na koncentraci standardů. Následně byly proměřeny všechny vzorky. Ze získané kalibrační rovnice byly vypočítány koncentrace obou prvků ve vzorcích.

### 3.4.4 Stanovení chloridů pomocí iontově selektivní elektrody

Před měřením byla iontově selektivní elektroda ponořena do kalibračního roztoku NaCl o koncentraci  $10^{-3}$  mol/l a byla takto ponechána 30 minut kondiciovat. Po uplynutí této doby byly proměřeny všechny kalibrační roztoky o koncentracích  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$ ,  $10^{-4}$ ,  $3 \cdot 10^{-5}$  a  $10^{-5}$  a to od nejméně koncentrovaného standardu po nejkonzentrovanější.

Všech 8 vzorků bylo zředěno kyselinou dusičnou o koncentraci 1 mol/l tak, aby byla zajištěna dostatečná iontová síla. Do 10 ml baněk byl odpipetován vždy 1 ml  $\text{HNO}_3$  o koncentraci 1 mol/l a ten byl doplněn vzorkem na definovaný objem. Následně byly všechny vzorky proměřeny pomocí iontově selektivní elektrody, získané hodnoty napětí v mV byly zaznamenány. Graficky byla znázorněna závislost napětí E na koncentraci pCl. Ze získané rovnice kalibrační přímky byly vypočítány koncentrace chloridů v jednotlivých vzorcích.

### 3.4.5 Měření konduktivity a pH

Vzorky sněhu a vody byly ponechány volně, aby dosáhly pokojové teploty. Následně byla pomocí konduktometru změřena konduktivita všech osmi vzorků. Byly získány hodnoty konduktivity v  $\mu\text{S/cm}$ . Spolu s konduktivitou byla zaznamenána také teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ) během měření.

Ve vzorcích sněhu bylo při pokojové teplotě změřeno pomocí pH metru také pH. Společně s hodnotami pH byla zaznamenána také teplota měření ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.4.6 Stanovení Na a K na atomovém absorpčním spektrometru

Na atomovém absorpčním spektrometru bylo nejprve provedeno emisní měření sodíku. Byla proměřena kalibrační řada standardních roztoků sodíku. Získaná kalibrační křivka byla zaznamenána a graficky byla vynesena závislost emisního signálu na koncentraci standardů. Po zaznamenání kalibrační křivky bylo postupně proměřeno všech 8 vzorků. Ze získané rovnice kalibrační závislosti byly vypočítány koncentrace sodíku v jednotlivých vzorcích.

Podobným způsobem bylo provedeno emisní měření draslíku. Nejprve byla proměřena kalibrační řada připravená ze směsného standardu Ca, Na, K. Získaná kalibrační křivka byla

zaznamenána a byla vynesena závislost emisního signálu na koncentraci standardů. Následně byly získány emisní signály všech 8 vzorků.

Na atomovém absorpčním spektrometru bylo provedeno také absorpční měření draslíku. Zdrojem záření v tomto případě byla draslíková výbojka s dutou katodou. Kalibrační řada směsného standardu o koncentracích 0; 0,5; 1; 2; 5; 7 a 10 mg/l byla proměřena od nejméně koncentrovaného standardu k nejkonzentrovanejším. Získaná kalibrační křivka byla graficky zaznamenána jako závislost absorbance na koncentraci standardů. Následně byly proměřeny všechny vzorky a koncentrace draslíku v nich byly vypočítány ze získané kalibrační rovnice.

### **3.4.7 Stanovení Ca na atomovém absorpčním spektrometru**

Na atomovém absorpčním spektrometru bylo dále provedeno absorpční měření vápníku. Nejprve byly proměřeny všechny kalibrační roztoky od nejméně koncentrovaného po nejkonzentrovanejším. Po získání kalibrační křivky byly proměřeny všechny vzorky. Byla vynesena grafická závislost absorbance na koncentraci kalibračních standardů a ze získané rovnice byly vypočteny koncentrace vápníku v jednotlivých vzorcích.

### **3.4.8 Statistické vyhodnocení dat**

Naměřená data byla zpracovávána v softwarech MS Excel (MICROSOFT CORPORATION, USA) a QC Expert 3.2 (TRILOBYTE, s.r.o., Česká republika). Vyhodnocení koncentrací Na, K a Ca bylo provedeno v modulu Kalibrace v QC Expertu. V tomto modulu byly současně vypočteny hodnoty LOD a LOQ přímou metodou signálu. Pro porovnání výsledků byl použit párový test v softwaru QC Expert na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$ .

## 4 Výsledky a diskuze

### 4.1 Měření na ICP-MS

Na ICP-MS spektrometru s kvadrupólovým analyzátozem byla provedena semikvantitativní analýza, pomocí které byly získány celkové koncentrace různých prvků. Získané výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tab. III).

Tabulka III. Prvkové zastoupení v jednotlivých vzorcích získané semikvantitativní analýzou na ICP-MS

Vzorek	VS	SS	TS	PS	SP	TP	VP	PP
Koncentrace								
10 <sup>5</sup> mg/l	N	N	N	N	N	N	N	N
10 <sup>3</sup> mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C
10 <sup>2</sup> mg/l	Si						Si	Cl
10 <sup>1</sup> mg/l	Na, S, Cl, Ca	Na, Si, S, Cl	Si, S, Cl	Na, Si, S, Cl	Si, S, Cl	Si, S, Cl	Na, S, Cl, Ca	Si, S
10 <sup>0</sup> mg/l	Mg, K	P, K	Na, P, K, Ca	K	Na, P, K	Na, P, Ca	Mg, P, K	Na, P, K
10 <sup>2</sup> µg/l	P, Cu, Br	Mg	Mg	Mg, P	Mg	Mg, K		Mg
10 <sup>1</sup> µg/l	Al, Sr, Ba	Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Br	Mn, Fe, Zn	Al, Fe, Cu, Zn	Mn, Fe, Zn	Al, Zn	Al, Br, Sr	Mn, Fe, Zn, Br
10 <sup>0</sup> µg/l	Cr, Mn, Fe, As, I	Cr, Ni, Ga, Ba, Pb	Cr, Cu, Br, Sr, I, Ba, Hg, Pb	V, Cr, Mn, Ni, As, Br, Sr, Ba, Pb	Cr, Ni, Cu, Sb, Ba	Cr, Mn, Fe, I	Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, I, Ba	Cr, Cu, Sr, Ba, Pb
10 <sup>2</sup> ng/l	V, Zn, Ga, Rb, Sb, Cs, Hg, Pb, U	V, Co, Sr, I, Au, Hg, Bi, U	V, Ni, Rb, Au	Co, Mo, In, I, Au, Hg	Co, Sr, I, Cs, Au, Hg, Pb	V, Cu, Rb, Sr, Au, Hg, Pb, Bi	V, Co, Ni, Ga, Au, Hg, Pb, U	Co, Ni, Ga, Cd, I, Cs, Au, Hg
10 <sup>1</sup> ng/l	Au, Bi	Cs	U		Bi	U	Bi	
10 <sup>0</sup> ng/l		Rb		Rb			Rb	



Ze získaných výsledků je zřejmé, že nejvyšší koncentrace Na, K, Ca a Cl se vyskytují ve všech vzorcích. Z tohoto důvodu byly tyto prvky podrobeny dalším analýzám. Obsahy C, N, S a P ukazují, že vzorky nejsou znečištěné a neobsahují téměř žádné organické látky, což potvrzuje tvrzení provozovatele lyžařského areálu Dolní Morava, že při výrobě technického sněhu nebyla použita žádná aditiva. Vzorky také neobsahují téměř žádné těžké kovy.

## 4.2 Měření konduktivity a pH

Získané hodnoty pH a konduktivity včetně teplotních podmínek byly zapsány do tabulky (Tab. IV).

Tabulka IV. Naměřené hodnoty konduktivity a pH ve všech vzorcích

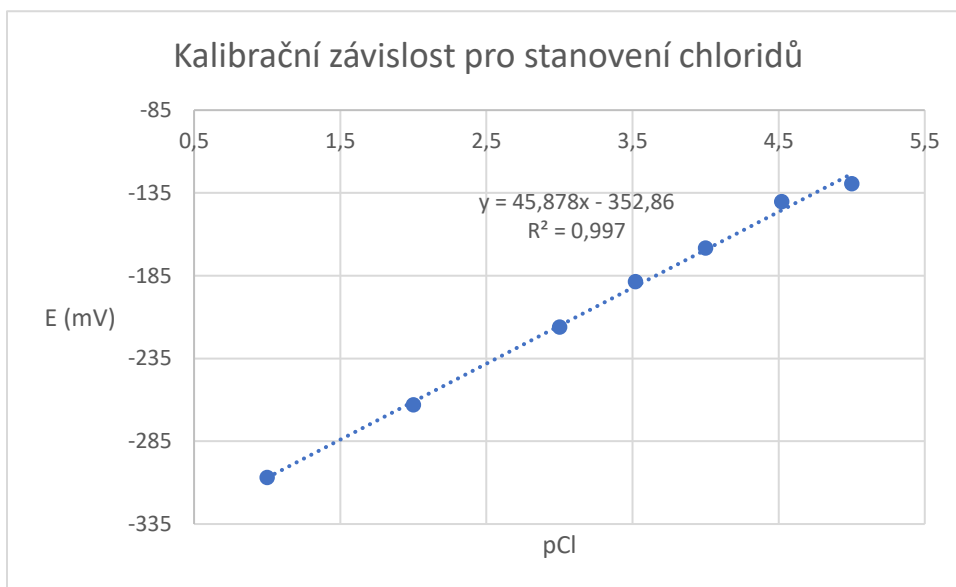
Vzorek	Měření konduktivity		Měření pH	
	Konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )
Destilovaná voda	2,63	23,3	7,13	24,9
VP	76,30	19,7	7,14	23,4
SP	12,53	21,9	7,17	23,5
PP	21,60	22,2	6,78	23,4
TP	7,63	21,3	6,35	23,4
PS	39,10	21,5	7,15	23,1
VS	76,20	21,0	6,81	23,3
TS	19,36	22,1	6,65	23,5
SS	32,80	21,2	6,91	23,3

V literatuře je uváděna konduktivita technického sněhu od 74,6 do 87,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . [3, 11, 25] Výsledky získané během v této práci jsou však mnohem nižší. Vzorky přírodního sněhu mají v porovnání s literaturou [3, 11] nižší konduktivitu, ale podle literatury [25] jsou hodnoty konduktivity u vzorků přírodního sněhu srovnatelné. Na základě měření tak nelze potvrdit předpoklad, že technický sníh má mnohem vyšší konduktivitu, jak je uváděno v literatuře.

Hodnoty pH u všech vzorků sněhu se pohybují okolo pH = 7, tedy neutrální. Literatura [3, 25] však uvádí větší rozdíly mezi pH technického a přírodního sněhu. Technický sníh má podle těchto literárních zdrojů spíše zásaditější charakter, ale přírodní sníh je spíše kyselější. Tyto rozdíly však nejsou z výsledků v této práci znatelné.

### 4.3 Stanovení obsahu chloridů pomocí ISE

Bylo provedeno stanovení chloridů pomocí iontově selektivní elektrody. Byl sestaven kalibrační graf (Obr. 4) a výsledky byly uvedeny do tabulky (tab. V).



Obrázek 4. Kalibrační závislost pro stanovení chloridů a rovnice pro výpočet koncentrací chloridů ve vzorcích

Tabulka V. Naměřené hodnoty napětí, vypočítané koncentrace chloridů a přepočtení na hmotnostní koncentrace jednotlivých vzorků

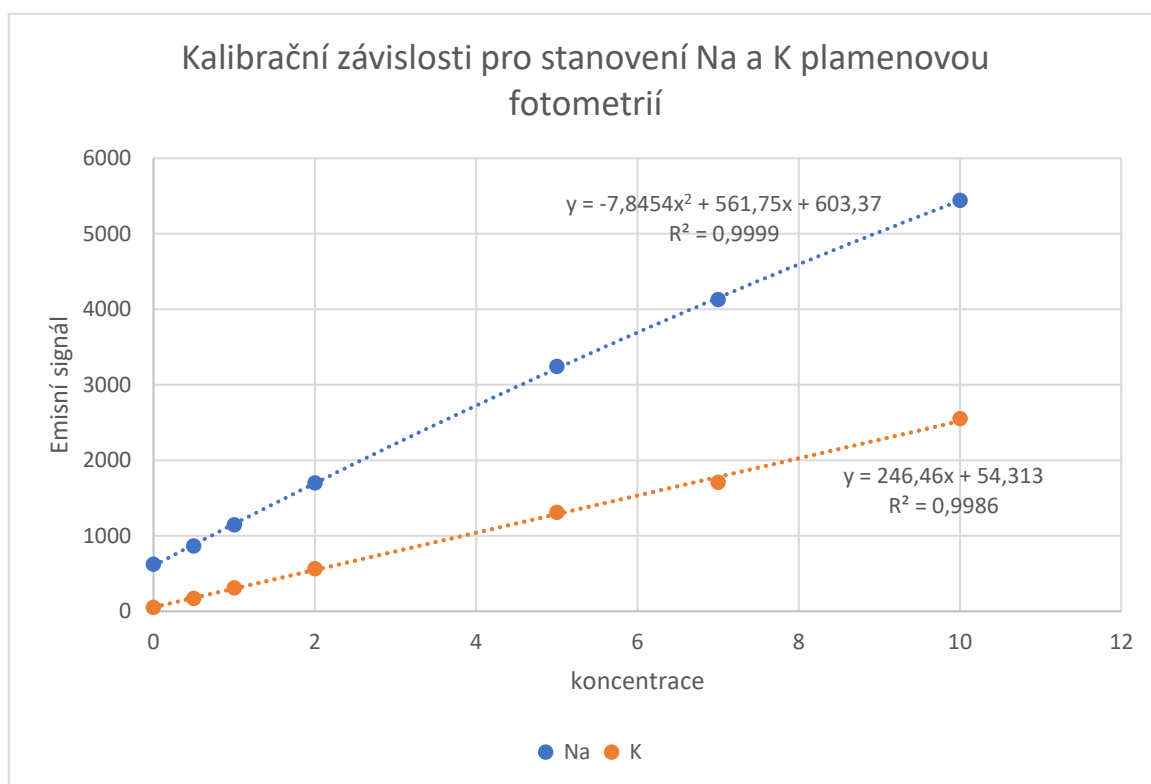
Vzorek	E (mV)	pCl	c (mol/l)	c (mg/l)
VS	-138,4	4,67	$2,12 \cdot 10^{-5}$	0,750
SS	-150,3	4,42	$3,84 \cdot 10^{-5}$	1,363
TS	-138,2	4,68	$2,09 \cdot 10^{-5}$	0,742
PS	-147,5	4,48	$3,34 \cdot 10^{-5}$	1,184
SP	-162,3	4,15	$7,02 \cdot 10^{-5}$	2,489
TP	-120,7	5,06	$8,70 \cdot 10^{-5}$	0,308
VP	-136,7	4,71	$1,94 \cdot 10^{-5}$	0,689
PP	-143,6	4,56	$2,75 \cdot 10^{-5}$	0,974

Literatura [3] uvádí téměř srovnatelný obsah chloridů v technickém a přírodním sněhu, literatura [11] udává větší rozdíly v koncentraci chloridů v technickém a přírodním sněhu. V této práci byly zjištěny také rozdíly v koncentraci chloridů mezi technickým a přírodním sněhem (Tab. V), nicméně nejsou tak výrazné a technický sníh má menší obsah chloridů než sníh přírodní, v čemž se tato práce s literaturou [11] rozchází.

Podle údajů uvedených v tabulce (Tab. V) lze říct, že největší obsah chloridů mají oba směsné vzorky a ve vzorku SP je obsah  $\text{Cl}^-$  vyšší téměř o 1 mg/l. Směs může obsahovat i jiné nečistoty, což může způsobovat nejvyšší obsahy  $\text{Cl}^-$ .

## 4.4 Stanovení Na a K plamenovou fotometrií

Bylo provedeno stanovení koncentrace Na a K na plamenovém fotometru. Byla získána kalibrační závislost (Obr. 5), získané koncentrace byly zaznamenány do tabulky (Tab. VI).



Obrázek 5. Kalibrační závislosti koncentrací sodíku a draslíku a rovnice pro výpočet koncentrací v jednotlivých vzorcích

Jak bylo popsáno v odstavci 3.4.8 byly získány meze detekce a stanovitelnosti pro fotometrické stanovení Na a K. Meze detekce Na byla stanovena na hodnotě  $\text{LOD} = 0,21 \text{ mg/l}$  a mez stanovitelnosti Na byla stanovena na hodnotě  $\text{LOQ} = 0,30 \text{ mg/l}$ . Mez detekce pro K byla stanovena na hodnotě  $\text{LOD} = 0,54 \text{ mg/l}$  a mez stanovitelnosti byla stanovena na hodnotě  $\text{LOQ} = 0,80 \text{ mg/l}$ .

Tabulka VI. Koncentrace Na a K ve všech vzorcích vyhodnocované softwarem QC Expert 3.2 a odečítané přímo z plamenového fotometru

Vzorek	Koncentrace Na (mg/l)	Koncentrace Na (mg/l) přímo z plamenového fotometru	Koncentrace K (mg/l)	Koncentrace K (mg/l) přímo z plamenového fotometru
VS	2,06	2,1	<LOQ	0,2
SS	1,58	1,6	1,60	1,5
TS	0,63	0,7	0,57	0,1
PS	1,21	1,2	1,83	1,8
SP	<LOQ	0,3	<LOD	0,0
TP	<LOD	0,0	<LOD	0,0
VP	2,08	2,1	<LOQ	0,2
PP	0,93	1,0	<LOD	0,1

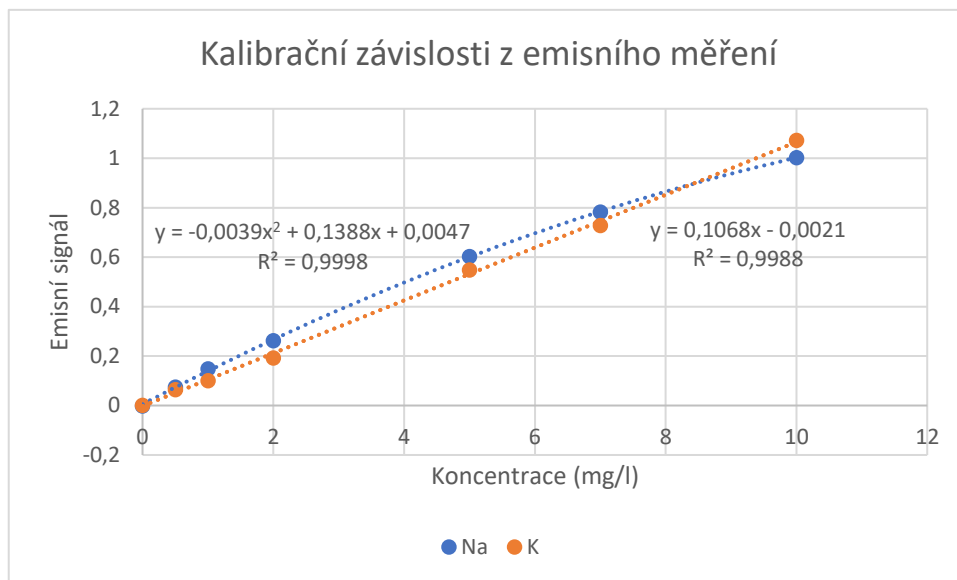
Podle údajů v literatuře [3, 11] je obsah Na vždy vyšší ve vzorcích technického sněhu (2,23 a 2,18 mg/l). Takto vysoké hodnoty nebyly v žádném ze vzorků naměřeny a dle výsledků uvedených v této práci jsou vyšší koncentrace Na obsaženy ve vzorcích přírodního sněhu. Pouze literatura [3] udává, že byly vzorky uchovávány v plastových vzorkovnicích a výsledné koncentrace tedy nejsou ovlivněny uchováváním vzorků ve skleněných vzorkovnicích. U ostatních literárních zdrojů však tato informace chybí. Koncentrace K uvedené v této práci jsou ve všech případech srovnatelné s literaturou. [3, 11]

Z porovnání obou materiálů, ve kterých byly vzorky uloženy, je jasně patrné, že vzorky ve skle mají až na výjimky vyšší obsah Na a téměř vždy také K. Přírodní sníh má také ve všech případech vyšší obsah Na i K (kromě případu PP a TP, kde jsou obsahy K pod mezí detekce). Nejvyšších obsahů Na dosahují oba vzorky vody, nejvyšší obsah K byl nalezen ve vzorku přírodního sněhu ve skleněné vzorkovnici.

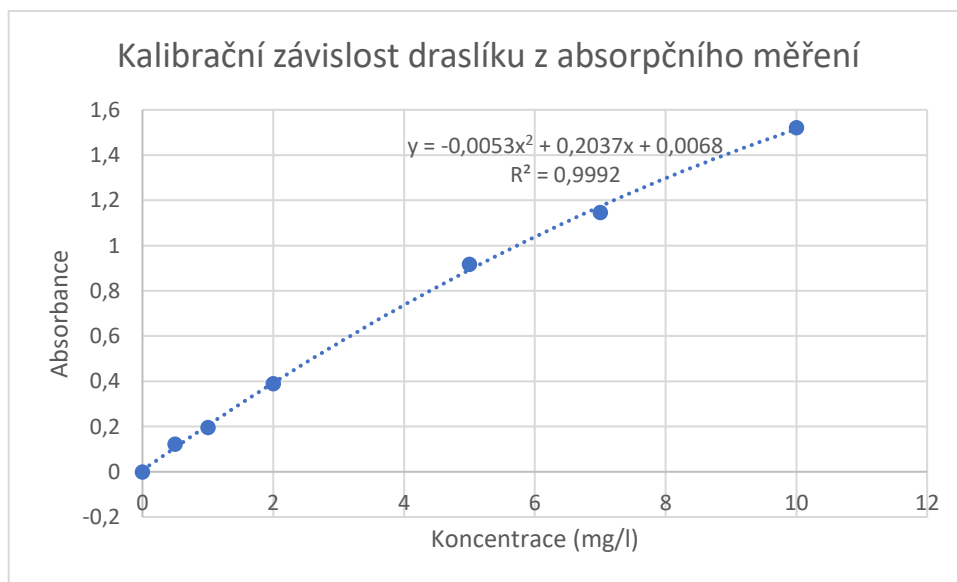
Během měření bylo možno přímo z plamenového fotometru zaznamenat vypočtené koncentrace Na a K (Tab. VI). K porovnání výsledků získaných přímo z plamenového fotometru a pomocí softwaru QC Expert 3.2 byl použit párový test ze stejného softwaru, podle kterého jsou rozdíly ve výsledcích nevýznamné.

## 4.5 Stanovení Na a K pomocí AAS

Bylo provedeno absorpční stanovení draslíku a emisní stanovení obou prvků pomocí metody AAS. Absorpční stanovení Na nemohlo být z důvodu chybějící sodíkové výbojky s dutou katodou provedeno. Byla zaznamenána kalibrační křivka (Obr. 6) a získané hodnoty byly zapsány do tabulky (Tab. VII).



Obrázek 7. Kalibrační závislosti sodíku a draslíku z emisního měření a kalibrační rovnice k výpočtu koncentrací v jednotlivých vzorcích



Obrázek 6. Kalibrační závislost draslíku z emisního měření a kalibrační rovnice k výpočtu koncentrací v jednotlivých vzorcích

Pro emisní i absorpční měření byly získány meze detekce a stanovitelnosti způsobem popsaným v kapitole 3.4.8. Pro emisní měření sodíku byla stanovena mez detekce na hodnotu  $LOD = 0,21 \text{ mg/l}$  a mez detekce byla stanovena na hodnotu  $LOQ = 0,31 \text{ mg/l}$ . Pro emisní měření draslíku byla mez detekce stanovena na hodnotu  $LOD = 0,50 \text{ mg/l}$  a mez stanovitelnosti byla stanovena na hodnotu  $LOQ = 0,74 \text{ mg/l}$ . Pro absorpční měření draslíku byla stanovena mez detekce na hodnotu  $LOD = 0,48 \text{ mg/l}$  a mez stanovitelnosti byla stanovena na hodnotu  $LOQ = 0,69$ .

Tabulka VII. Koncentrace sodíku a draslíku měřené na AAS

Vzorek	Emisní měření		Absorpční měření
	Obsah Na (mg/l)	Obsah K (mg/l)	Obsah K (mg/l)
VS	2,00	0,93	0,99
SS	1,43	2,82	1,69
TS	0,56	1,09	0,87
PS	1,00	2,97	2,18
SP	<LOQ	<LOD	<LOD
TP	<LOD	<LOD	1,37
VP	1,64	1,28	0,70
PP	0,69	0,81	<LOD

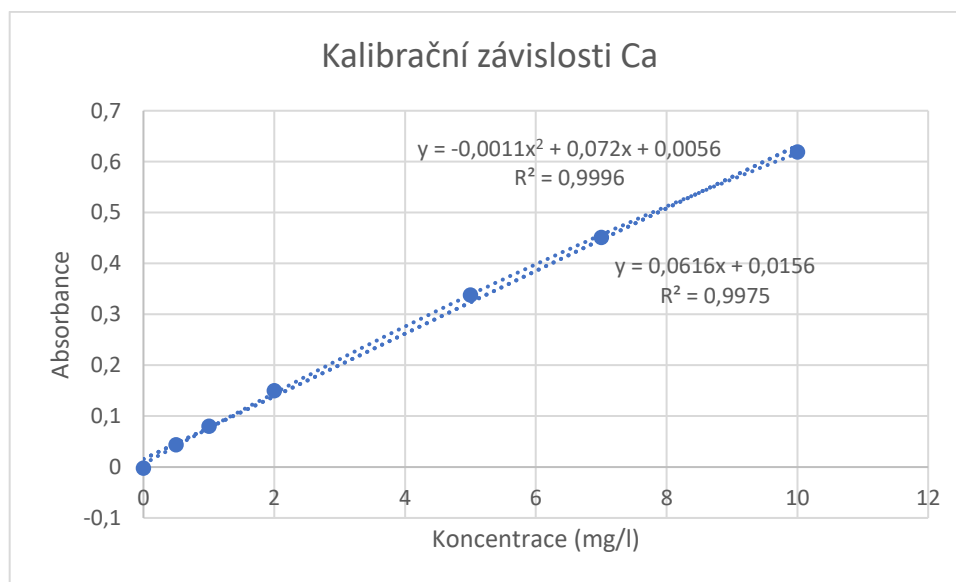
Podle údajů v literatuře [3, 11] jsou koncentrace Na v technickém sněhu značně vyšší než hodnoty naměřené v této práci, podobně jak bylo uvedeno v odstavci 4.4. Koncentrace Na v přírodním sněhu uvedené v této práci jsou však dobře srovnatelné s hodnotami, které uvádí literatura (1,20 a 1,03 mg/l). [3, 11] Koncentrace K naměřené v této práci jsou v některých případech vyšší, než uvádí literatura, a to jak ve vzorcích přírodního, tak technického sněhu.

Z uvedených hodnot (Tab. VII) je patrné, že koncentrace Na i K jsou ve vzorcích ve skleněných vzorkovnicích až na výjimky vyšší než u vzorků uchovávaných v plastových vzorkovnicích. Nejvyšší obsah Na lze opět očekávat ve vzorcích vody, podobně jako z výsledků plamenové fotometrie. Celkový obsah K ve vzorcích vod je poměrně nízký, nejvyšší obsah draslíku můžeme pozorovat ve vzorku označeném PS.

Získané výsledky z měření na AAS a na plamenovém fotometru byly podrobeny párovému testu. Výsledek tohoto testu ukázal, že rozdíly mezi výsledky jsou významné a nelze je tedy porovnávat. Dále lze říct, že plamenový fotometr poskytuje vyšší hodnoty.

## 4.6 Stanovení Ca na atomovém absorpčním spektrometru

Stanovení vápníku bylo provedeno pomocí AAS. Byla zaznamenána kalibrační závislost (obr. 8) a ze získané kalibrační rovnice byly vypočítány koncentrace vápníku v jednotlivých vzorcích. Při zpracování výsledků softwarem QC Expert 3.2 byly použity dva kalibrační modely – lineární a kvadratický. Přestože software doporučil kvadratický model, jsou v tabulce (Tab. VIII) uvedeny výsledky vyhodnocované oběma modely.



Obrázek 8. Kalibrační závislosti Ca (lineární i kvadratický kalibrační model) a rovnice k výpočtu koncentrací v jednotlivých vzorcích

Pro stanovení vápníku metodou AAS byly vypočítány meze detekce a stanovitelnosti postupem uvedeným v odstavci 3.4.8. Pro kvadratický kalibrační model byla mez detekce stanovena na hodnotu LOD = 0,38 mg/l a mez stanovitelnosti na hodnotu LOQ = 0,55 mg/l. Pro lineární kalibrační model byla mez detekce stanovena na hodnotu LOD = 0,74 mg/l a mez stanovitelnosti na hodnotu LOQ = 1,08 mg/l. Lineární kalibrační model tedy poskytuje vyšší hodnoty meze detekce a meze stanovitelnosti.

Tabulka VIII. Získané koncentrace Ca v jednotlivých vzorcích

	Kvadratický model	Lineární model
Vzorek	koncentrace Ca (mg/l)	
VS	8,82	8,77
SS	0,91	<LOQ
TS	0,81	<LOQ
PS	0,76	<LOD
SP	<LOD	<LOD
TP	<LOQ	<LOD
VP	8,79	8,74
PP	<LOQ	<LOD

Koncentrace Ca v jednotlivých vzorcích zjištěné v této práci jsou podstatně nižší, než je uvedeno v literatuře (7,11; 5,34 a 8,22 mg/l). [3, 11, 25] Naopak, koncentrace Ca v přírodním sněhu jsou s již zmíněnou literaturou zcela srovnatelné (0,49; 0,71 a 0,11 mg/l).

Z koncentrací vápníku v jednotlivých vzorcích (tab. VIII) lze říct, že kvadratický model poskytuje lepší výsledky. Dále můžeme konstatovat, že všechny vzorky vody obsahují výrazně vyšší množství vápníku než vzorky sněhu.



## 5 Závěr

Bylo provedeno několik analýz různých vzorků přírodního a technického sněhu a vody, ze které byl sníh vyroben. Nejprve byla změřena konduktivita a pH všech vzorků. Podle výsledků analýzy provedené na spektrometru ICP-MS byly největší obsah sodíku, draslíku, vápníku a chlóru. Z tohoto důvodu byly sodík a draslík stanovovány plamenovou fotometrií a absorpční spektrometrií, vápník také atomovou spektrometrií a chloridy pomocí chloridové iontově selektivní elektrody.

Literatura uvádí, že technický sníh má větší konduktivitu a také větší obsah iontů, díky způsobu výroby. Toto tvrzení však nebylo v žádném měření prokázáno, a navíc výsledky měly spíše opačný trend. Vzorky technického sněhu měly nižší konduktivitu i obsah stanovovaných iontů. Dále literatura uvádí kyselější pH pro vzorky přírodního sněhu a zásaditější pH pro vzorky technického sněhu. Zjištěné pH všech vzorků se však pohybuje okolo hodnoty  $\text{pH}=7$ . Toto mohlo být způsobeno dlouhodobým skladováním vzorků sněhu v lednici. Hodnoty pH tak nemohou být použity k vyvozování závěrů.

Pokud budeme brát v úvahu vliv výroby technického sněhu na životní prostředí, je tento vliv z hlediska obsahu stanovovaných iontů zcela zanedbatelný. Mluvit můžeme pouze o vlivech, které jsou způsobovány dlouhodobým ležením sněhu na sjezdových tratích. Přítomnost dalších iontů, které nebyly stanovovány, ve vyšších koncentracích ale nelze vyloučit.

Jednou z dalších zjišťovaných skutečností byly vhodné materiály pro uložení získaných vzorků sněhu. Vzorky uložené ve skle mají vyšší obsah zejména sodíku a dále draslíku v porovnání se vzorky uloženými v plastu. Pokud tedy plánujeme analýzy kovů ve vzorcích sněhu, je dobré použít plastové vzorkovnice. Pro jiné analýzy, zejména analýzu organických látek, je možné použít skleněné vzorkovnice.

Závěrem lze říct, že voda, která byla k výrobě technického sněhu použita, neobsahuje příliš velká množství stanovovaných iontů a není znečištěná přestože, obsah stanovovaných iontů ve vzorcích vody byl v téměř všech měřeních největší. Vzorky sněhu také nejsou na ionty příliš bohaté, což může být způsobeno relativně čistou vodou, která je k výrobě technického sněhu používána a také čistým horským prostředím. V žádném ze vzorků sněhu dále nebyla prokázána žádná aditiva.

Původním záměrem bylo provést několik odběrů vzorků sněhu a vody v Horském resortu Dolní Morava a sledovat tak měnící se složení sněhu a vody v průběhu celé lyžařské sezóny. Vzhledem k aktuální pandemické situaci a z toho plynoucí uzávěry lyžařských areálů však bylo možné zrealizovat pouze jeden odběr vzorků, a to v prosinci 2020.

## 6 Seznam literatury

- [1] Singh, Vijay P., ed. *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Dordrecht: Springer, 2011.
- [2] Fuksa, Josef K. „Technický sníh a zasněžování – O co jde“. *Limnologické noviny* 61, č. 1 (únor 2018): 1–6.
- [3] Jones, H. G, a G. Devarenes. „The chemistry of artificial snow and its influence on the germination of mountain flora“. In *Biogeochemistry of seasonally snow-covered catchments*, 228. vyd. IAHS Press, 1995.
- [4] Rixen, Christian, Michaela Teich, Corina Lardelli, David Gallati, Mandy Pohl, Marco Pütz, a Peter Bebi. „Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential“. *Mountain Research and Development* 31, č. 3 (2011): 229–36
- [5] [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_3.0.0.htm?fbclid=IwAR0pTMilPmQ6opejwYyuCmiLaYwoh2zn3rvRpGD6s0mTZ6xJwMdwTHzkyqg](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_3.0.0.htm?fbclid=IwAR0pTMilPmQ6opejwYyuCmiLaYwoh2zn3rvRpGD6s0mTZ6xJwMdwTHzkyqg), staženo 9. listopadu 2020
- [6] [https://www.lidovky.cz/byznys/firmy-a-trhy/prvni-umely-snih-v-socialistickem-bloku-v-telnici-jsou-snehova-dela-od-60-let.A151108\\_112618\\_firmy-trhy\\_mct.](https://www.lidovky.cz/byznys/firmy-a-trhy/prvni-umely-snih-v-socialistickem-bloku-v-telnici-jsou-snehova-dela-od-60-let.A151108_112618_firmy-trhy_mct.), staženo 8. listopadu 2020
- [7] <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/1304708-prvni-umely-snih-v-socialistickem-bloku-chlubit-se-mohla-ceska-telnice>, staženo 16. října 2020
- [8] <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu.>, staženo 15. listopadu 2020
- [9] Bartelt, P., a International Conference on Snow Engineering, ed. *Snow Engineering V: Proceedings of the Fifth International Conference on Snow Engineering, 5-8 July, 2004, Davos, Switzerland*. Leiden: Balkema, 2004.
- [10] <https://www.technoalpin.com/en.html>., staženo 1. února 2021

- [11] Rixen, Christian, Veronika Stoeckli, a Walter Ammann. „Does Artificial Snow Production Affect Soil and Vegetation of Ski Pistes? A Review". *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 5, č. 4 (leden 2003): 219–30.
- [12] Fuksa, Josef K. „Umělý sníh a vodní režim v horách dnes a zítra". *Vodní hospodářství* 67, č. 10 (2017): 25–27.
- [13] Treml, Pavel, Martin Hanel, Ladislav Kašpárek, Oldřich Novický, a Stanislav Březina. „Vliv odběru vody pro technické zasnežování na odtokovou výšku hlavních toků v Krkonoších". *Opera Corcontica* 49, č. 1 (2012): 73–87.
- [14] Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), §101, <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>, staženo dne 12. 2. 2021.
- [15] Wipf, Sonja, Christian Rixen, Markus Fischer, Bernhard Schmid, a Veronika Stoeckli. „Effects of Ski Piste Preparation on Alpine Vegetation: Ski Piste Preparation and Alpine Vegetation". *Journal of Applied Ecology* 42, č. 2 (18. duben 2005): 306–16.
- [16] Flousek, Jiří. „Vliv lyžování na horskou přírodu: shrnutí současných poznatků a stav v Krkonoších". *Opera Corcontica* 53, č. 1 (2016): 15–60
- [17] Lagriffoul, Arnaud, Jean-Luc Boudenne, Rafik Absi, Jean-Jacques Ballet, Jean-Marc Berjeaud, Sylvie Chevalier, Edmond E. Creppy, et al. „Bacterial-Based Additives for the Production of Artificial Snow: What Are the Risks to Human Health?" *Science of The Total Environment* 408, č. 7 (březen 2010): 1659–66.
- [18] Christner, B. C., C. E. Morris, C. M. Foreman, R. Cai, a D. C. Sands. „Ubiquity of Biological Ice Nucleators in Snowfall". *Science* 319, č. 5867 (29. únor 2008): 1214–1214.
- [19] Rosypal, Stanislav. *Nový přehled biologie*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2003.
- [20] Aquatrols corporation, Bezpečnostní list produktu Drift, Aquatrols, USA, <https://aquatrols.com/wp-content/uploads/2016/09/DRIFT-USA-SDS-5-2020.pdf>, staženo dne 25. 4. 2020.
- [21] Kubík, Michal. „Úskalí odběru technického sněhu". In *Hydroanalytika*, 2019:85–87. Hradec Králové, 2019.

- [22] Aquatrols corporation, Uživatelská příručka produktu Drift, Aquatrols, USA, <https://aquatrols.com/wp-content/uploads/2016/10/DRIFT-Use-Guidelines.pdf>, staženo dne 25. 4. 2020.
- [23] Roncevic, S., a L. Pitarevic. „Analytical investigation of metal and non-metal elements presence in artificial snow samples". In *International conference on inorganic environmental analysis*, 139–40. Pardubice, 2005.
- [24] Petr, Jan, Silke Gerstmann, a Hartmut Frank. „Determination of Some Heavy Metal Cations in Molten Snow by Transient Isotachopheresis/Capillary Zone Electrophoresis". *Journal of Separation Science* 29, č. 14 (září 2006): 2256–60.
- [25] KOČKOVÁ, Jitka, *Srovnání vegetace sjezdových tratí s umělým a přírodním sněhem v CHKO Bílé Karpaty a v CHKO Beskydy*. České Budějovice, 2011. Diplomová práce. Jihočeská univerzita.
- [26] MASAŘÍKOVÁ, Eliška. *Minerální složení pramenů v lázních Skalka*. Olomouc, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

## 7 Seznam zkratek

AAS	Atomová absorpční spektrometrie
FIA	Průtoková vstřikovací analýza
GHS	Globálně harmonizovaný systém klasifikace a označování chemikálií
ICP-MS	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
ISE	Iontově selektivní elektroda
LOD	Mez detekce
LOQ	Mez stanovitelnosti

## 8 Přílohy

### Příloha I. Odběr vzorku směsi technického a přírodního sněhu



### Příloha II. Uložení získaných vzorků ve skleněné a v plastové vzorkovnici

