

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO  
MODELOVÁNÍ



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vývoj sněhové pokrývky ve ski areálu  
Alšovka v Krušných horách**

**Snow cover dynamics at ski resort  
Alšovka – Krušné hory Mts.**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Roman Juras, Ph.D.

Diplomant: Jan Fořt

2022

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Fořt

Voda v krajině

Název práce

Vývoj sněhové pokrývky ve ski areálu Alšovka v Krušných horách

Název anglicky

Snow cover dynamics at ski resort Alšovka – Krušné hory Mts.

---

### Cíle práce

- Vyhodnotit dynamiku vývoje vodní hodnoty sněhu na experimentálních plochách
- Porovnání rychlosti tání přírodního a umělého sněhu

### Metodika

- Na základě pravidelného měření SWE na experimentálních plochách bude vyhodnocena dynamika technické a přírodní sněhové pokrývky (1-2 týdenní interval)
- Porovnat rychlost tání technického a přírodního sněhu na základě změny SWE
- Grafické zpracování dat v GIS prostředí a MS Excel.

---

**Doporučený rozsah práce**

45 stran

**Klíčová slova**

sjezdovka, technický sníh, tání, GNSS

---

**Doporučené zdroje informací**

Mikloš, M., Igaz, D., Šinka, K., Škvareninová, J., Jančo, M., Vyskot, I. and Škvarenina, J.: Ski piste snow ablation versus potential infiltration (Veporic Unit, Western Carpathians), J. Hydrol. Hydromechanics, 68(1), 28–37, doi:10.2478/johh-2019-0026, 2020.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

Ing. Roman Juras, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Konzultant**

Mgr. Markéta Součková

---

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2022

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vývoj sněhové pokrývky ve Skiareálu Alšovka v *Krušných horách* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne: .....

.....

podpis autora



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Romanu Jurasovi, Ph.D. za jeho rady a konzultace. Další dík patří celému týmu Skiareálu Alšovka za výbornou spolupráci a pomoc při tomto výzkumu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za všeobecnou podporu při realizaci této diplomové práce.

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá monitorováním experimentálních sněhových ploch pomocí metody využívající technologii GNSS ve Skiareálu Alšovka. V rešeršní části práce je popsána technická specifikace umělého sněhu a technologie GNSS použitá pro naměření topologických dat.

Na základně nejmenší střední kvadratické chyby (RMSE) ve vertikálním směru je v práci stanovena nejvhodnější interpolační technika z prostředí programu ArcGis pro naše zájmové území, a to metoda Natural Neighbour s hodnotou RMSE 0,1207 m.

Je zde vyhodnocena na základě pravidelného měření SWE dynamika vývoje vodní hodnoty technického a přírodního sněhu na experimentálních plochách, popsána měrnými veličinami vodní hodnoty sněhu (SWE) a výšky (mocnosti) sněhové pokrývky.

Dále je zde porovnána rychlost tání monitorovaného technického a přírodního sněhu v jednotlivých časových intervalech. Dle předpokladu vyšla rychlost tání přírodního oproti umělému sněhu vyšší, a to průměrně 1,8krát. Na tento výsledek měla však vliv řada faktorů výrazně ovlivňující rychlost tání, jakými jsou např. tvar monitorovaných ploch a chyba měření.

## **Klíčová slova**

Sjezdovka, technický sníh, tání, Globální navigační satelitní systémy

## **Abstract**

The diploma thesis is focused on monitoring of experimental snow areas using GNSS technology based method in Alsovka sky resort. In research part of the thesis there is a description of technical specification of artificial snow and GNSS technology which was used to measure topological data.

The most suitable interpolation technique for our area of interest in ArcGis program environment was determined based on the smallest root mean squared error (RMSE) in the vertical direction. The Natural Neighbour method with RMSE of 0,1207 m was selected as optimal.

The dynamics of progression of water value of technical and natural snow spread over an experimental areas was assessed on periodic SWE measurement basis and described by specific quantities, such as snow water equivalent (SWE) and height (thickness) of snow cover.

Furthermore there is a comparison of snow melting rate of monitored technical and natural snow done at particular time intervals. As expected, the melting rate of natural snow was higher (1,8 times on average) when compared to the melting rate of natural snow. However, this result was influenced by a number of factors, such as the shape of monitored areas and the measurement error.

## **Key words**

Ski slope, artificial snow, melting, Global Navigation Satellite System

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíle Práce .....	3
3. Literární rešerše .....	4
3.1. Vlastnosti technického sněhu .....	4
3.2. Vznik sněhových krystalů .....	5
3.2.1. Přírodní proces vzniku sněhového krystalu .....	5
3.2.2. Výroba technického sněhu .....	6
3.3. Měření vodní hodnoty sněhu .....	9
3.4. GNSS .....	9
3.4.1. GNSS systémy .....	10
3.4.2. GPS .....	11
3.4.3. GLONAS .....	11
3.4.4. GALILEO .....	12
3.4.5. Compas-Beidou .....	12
3.5. Metody určování polohy u GNSS systémů .....	12
3.5.1. Absolutní metody určování polohy .....	13
3.5.2. Relativní metody určení polohy .....	13
3.5.3. Kódové měření .....	13
3.5.4. Fázové měření .....	13
3.5.5. Statické měření .....	14
3.5.6. Rychlá statická metoda .....	14
3.5.7. Real Time Kinematic (RTK metoda) .....	14
3.6. Síť permanentních stanic .....	15
3.6.1. CZEPOS (Czech Positing Systém) .....	15
3.6.2. Trimble VRS Now Czech .....	17
3.7. Vlivy působící na přesnost GNSS měření .....	18
3.7.1. Chyby související s přijímačem .....	19
3.7.2. Chyby související s družicemi .....	19
3.7.3. Chyby s šířením signálu v atmosféře .....	20
3.7.4. Chyby související s místem měření .....	20
4. Data a metody .....	21
4.1. Skiareál Alšovka .....	21
4.2. Podnebí v dané oblasti .....	21
4.3. Hydrologické poměry .....	22

4.4. Měření topologických bodů pomocí Trimble R8s s využitím VRS Now metody .....	23
4.5. Metodika interpolace topografických dat sněhové pokrývky .....	24
4.6. Tvorba digitálního modelu terénu (DMT) .....	27
4.7. Výpočet hodnoty SWE a mocnosti sněhové pokrývky jednotlivých experimentálních ploch .....	28
4.8. Výpočet tání .....	29
5. Výsledky .....	30
5.1. Vytvoření DMT .....	30
5.2. Vyhodnocení nejvhodnější metody interpolace .....	32
5.3. Změny SWE v průběhu času .....	32
5.4. Vývoj mocnosti sněhové pokrývky .....	32
5.5. Objemy zadržené vody na monitorovaných plochách .....	34
5.6. Tání sněhu mezi jednotlivými intervaly měření .....	34
5.7. Vývoj hustoty sněhu v kupách umělého a přírodního sněhu .....	35
6. Diskuze .....	37
7. Závěr .....	39
8. Přehled literatury a použitých zdrojů .....	40
9. Přílohy .....	45

# 1. Úvod

Sněhová pokrývka je jednou z důležitých složek vodní bilance. Představuje významnou zásobárnu akumulované vody v pevném skupenství na zemském povrchu. Tím, že sněhová pokrývka leží na velké části horského terénu často i po dobu delší nežli polovina roku, působí jako podstatný přírodní činitel (Janásková, 2006).

Poznávání vlastností a způsob monitorování sněhové pokrývky představuje velmi komplexní problematiku (Křístek, 2011). Od počátku 20. století lze vysledovat o tuto problematiku zvýšený zájem. V Československu byly první studie zaznamenány až v 60. letech 20. století (Ferda et al., 1971). Měření a kvalitativní i kvantitativní popis sněhové pokrývky má význam hlavně pro hydrologii, zasahuje však do dalších vědních disciplín, jakými jsou např. meteorologie, klimatologie, pedologie, geologie, či termiky, se kterými úzce spolupracuje a jejichž poznatky využívá a dále rozvíjí (Singh, 2011).

Sněhová pokrývka vyžaduje důkladné studium a kontinuální měření. Pro vodohospodáře je nejdůležitější údaj akumulované vody ve sněhové pokrývce, kterou udává veličina vodní hodnota sněhu (SWE). Další důležitou měřenou veličinou je výška (mocnost) sněhové pokrývky např. i pro predikci sněhových lavin (Juras et al., 2011). V této práci je shrnut monitoring právě těchto veličin naměřených na monitorovaných místech ve Skiareálu Alšovka.

Pro provoz skiareálu je monitorování těchto veličin velmi důležité. Úspěšnost zimní sezóny závisí zejména na jejím včasném startu a nepřerušovaném průběhu až do jarních měsíců. K tomu ale potřebují na svazích adekvátní množství sněhové pokrývky. Lyžařská střediska se tak upínají k umělému zasněžování, kde technický sníh značně prodlužuje lyžařskou sezónu (Hergesell, 2017). Během mé studie se právě rozdíl v rychlosti tání umělého a přírodního sněhu porovnával.

V práci se hodnota SWE měřila sněhoměrným válcem a mocnost sněhové pokrývky buď ručně lavinovou sondou, nebo za použití GNSS stanice Trimble



R8s s využitím VRS Now metody pro naměření topologických bodů, ze kterých se následně provedla interpolace jednotlivých vrstev v prostředí programu ArcGis.

Korekční datová služba VRS Now byla upřednostněna před metodou Cze-pos. Korekční data poskytovaná sítí VRS Now jsou nezbytná pro eliminaci chyb GNSS při určování polohy a zajištění vysoké přesnosti měření. Služba poskytuje okamžitý přístup k přesné zeměpisné poloze prostřednictvím internetového připojení (Říha, 2014).

## 2. Cíle Práce

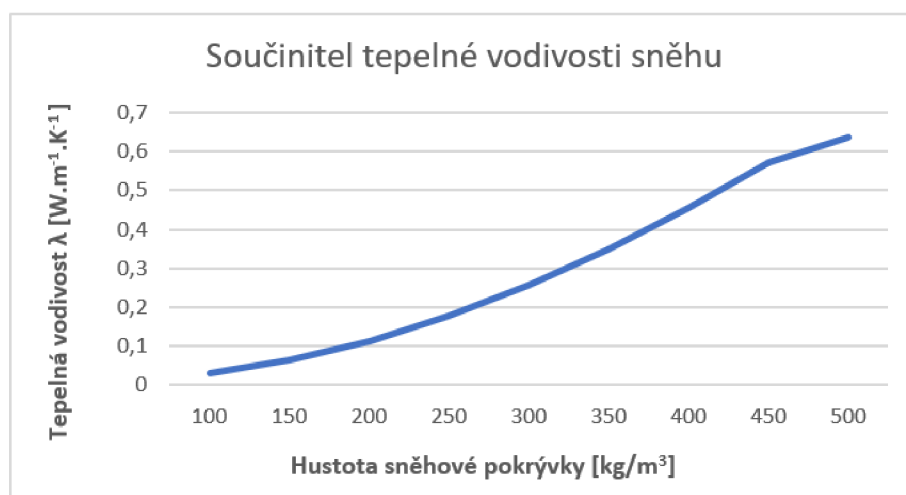
Tato diplomová práce si klade za cíl:

- vyhodnotit dynamiku vývoje vodní hodnoty sněhu na experimentálních plochách ve Skiareálu Alšovka;
- vyhodnotit dynamiku mocnosti sněhové pokrývky na experimentálních plochách ve Skiareálu Alšovka;
- stanovit nejvhodnější interpolační techniku v prostředí programu ArcGis pro dané území na základě střední kvadratické chyby (RMSE);
- porovnat rychlosti tání monitorovaného přírodního a umělého sněhu.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1. Vlastnosti technického sněhu

Rozdíly umělého a přírodního sněhu jsou především v chemických fyzikálních vlastnostech. Umělý sníh má krystaly zaoblenějšího tvaru, které dosahují velikosti mezi 0,1 až 0,8 mm, což je méně než u sněhu přírodního. Jeho kvalita je závislá na rychlosti a intenzitě promrznutí kapiček vody, kterými je sníh tvořen před dopadem na zem. Ledové krystaly umělého sněhu promrzají zvenku směrem dovnitř, což je přesně naopak než u sněhu přírodního. Umělý sníh má větší hustotu než sníh přírodní, to je způsobeno nižším obsahem vzduchu, díky menší pórovitosti (Keller at al., 2004). Od toho se odvíjí tepelná vodivost znázorněná na Obr. 1, u které platí, že čím větší hustotu látka má, tím dosahuje větší hodnoty tepelné vodivosti. Tato závislost je popsána exponenciálním průběhem. Jinými slovy je technický sníh horším tepelným izolantem, což je méně příznivé z hlediska ochrany půdy před promrznáním (Rixen at al., 2003). S tím souvisí i plynová propustnost která je o mnoho menší u umělého sněhu, a to nejen kvůli větší hustotě ale také díky ledové vrstvě, která se nachází v jeho profilu. Opět je tím, negativně ovlivňována půda, na jejímž povrchu je koncentrace kyslíku až o 5 % menší a zároveň koncentrace oxidu uhličitého až o 8 % větší (Rixen, 2013).



Obr. 1: Součinitel tepelné vodivosti (www.tzb-info.cz)

Zásadně se liší i voda pro výrobu technického a umělého sněhu. Na technický sníh se využívá voda povrchová obsahující několikanásobně více minerálu než voda dešťová, ze které vzniká sníh přírodní. Jedná se především o ionty hořčíku, vápníku, chloridů a síranů, které po roztání sněhu působí na půdu jako hnojivo a ovlivňují tím druhová společenstva rostlin a edafonu (Rixen at al., 2003). Koncentrace minerálu ve vodě je ovlivněna konkrétní geologií, ve kterém se zdrojová voda nachází. Kvůli vyšší koncentraci a vyšší hustotě má umělý sníh i větší tvrdost než sníh přírodní (Flousek, 2016).

## **3.2. Vznik sněhových krystalů**

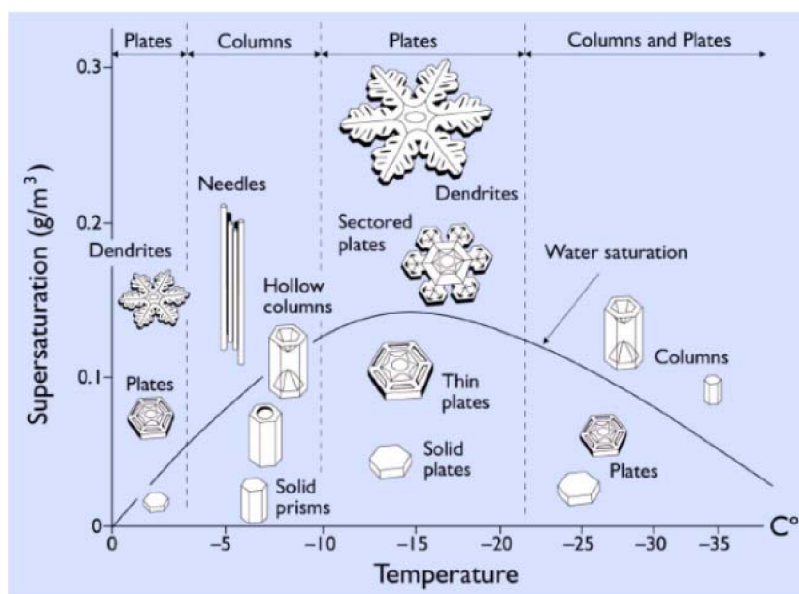
### **3.2.1. Přírodní proces vzniku sněhového krystalu**

Se změnou teploty a tlaku se mění i fáze skupenství vody. Pokud hovoříme o tlaku, nejedná se pouze o atmosférický ale taky o tlak vodní páry a o tlaky uvnitř kapaliny (Záhorová, 2004).

Nás nejvíce zajímá změna ze skupenství kapalného na skupenství pevné. Tedy kapalina se ochlazuje a následně vznikají částičky ledu, které tvoří sníh (Lustigová, 1998).

Aby nastala změna skupenství z kapalného na pevné, musí teplota klesnout k teplotě tuhnutí při konkrétním tlaku a poté se musí odvádět teplo. Měrná tepelná kapacita vody je  $4,18 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , to znamená, že pokud chceme snížit teplotu 1 gramu vody o  $1^\circ\text{C}$  nebo o 1 K, odebereme 4,18 J energie. Jakmile nastane proces tuhnutí vznikne nukleační (krystalizační) jádro, které je tvořeno pravidelným shlukováním molekul. To platí pouze u chemicky čistých látek. (Záhorová, 2004).

Určité podmínky, při kterých sněhové krystaly vznikají, ovlivňují směr jejich růstu viz schéma v Obr. 2. Od  $-5^\circ\text{C}$  až do teploty přesahující  $-25^\circ\text{C}$  se molekuly vážou převážně na svislé strany šestibokého hranolu a vzniká tak plochý tvar vločky. Při teplotách okolo  $-30^\circ\text{C}$  a výš se molekuly naopak přichytávají na šesti-



**Obr. 2:** Schéma skladby krystalu při růstu za konkrétních podmínek (Nakaya, 1954)

boké hranolové podstavy a tvar se vyvíjí do podlouhlých hranolků. Se stoupající vlhkostí vznikají vločky složitějších tvarů díky většímu počtu volných molekul vody v okolí. Roste tak pravděpodobnost pro vývoj složitějších tvarů vločky, jelikož se molekuly dokáží přichytit na vrchol či hranu krystalu. V mracích za těchto teplot může být voda v kapalném stavu a následná tvorba krystalu závisí na dané nukleaci (Nakaya, 1954).

### 3.2.2. Výroba technického sněhu

Výroba umělého sněhu musí být v dnešní době ekologicky nezávadná, proto je postavená na přírodních fyzikálních jevech.

Zjednodušeně je výroba technického sněhu smícháním vody a vzduchu za určitých podmínek. Částice vody v mikroskopickém měřítku jsou vpuštěny do prostoru pod určitým tlakem kde se mísí se vzduchem. Proces velmi ovlivňují okolní podmínky, kterými jsou především teplota a vlhkost prostředí (Záhorovová, 2004).

Při výrobě technického sněhu vyrábějí takzvané nukleátory směs vody a stlačeného vzduchu, která při rozstříkávání do atmosféry vytváří sněhová zrníčka (nukleidy). Potřebné teploty ke krystalizaci je docíleno náhlou změnou objemu a tlaku média dle Gay-Lussacova fyzikálního zákona. Prostřed-

nictvím trysek sněžných děl se voda rozprašuje na malé kapičky, které se spojují s krystalizačními jádry. Během svého letu na zem následně zamrzají na sněhové krystalky. Tuto cestu simulují různé druhy sněžných děl odlišně. Při turbínových sněžných dělech k tomu dochází přes ventilátor, v případě stožárových sněžných děl se využívá přirozený spád vysoký přibližně deset metrů. Lyžařské středisko může nastavovat různé parametry a tím regulovat kvalitu sněhu. Při tomto procesu obsluha zasněžovacího systému bere hlavně v potaz příkon elektrické energie, potřebu vody a vzduchu pro dané sněžné dělo a množství vyrobeného sněhu (Mayer a Steiger, 2007).

Nukleační jádra jsou tvořena především minerály a nečistotami, které se nacházejí v povrchové vodě, ze které se vyrábí technický sníh. Povrchová voda obsahuje přirozeně více minerálu než voda chemicky čistá, proto je tento proces rychlejší. Na tato jádra následně desublimují další molekuly vodní páry. Tento jev závisí především na fyzikálním stavu atmosféry a jejího vrstvení. Po dosažení dostatečné hmotnosti krystal začne padat k zemi (Rogers a Yau, 2009).

Aby se mohlo uměle zasněžovat, musí teplota a vlhkost vzduchu splnit určité podmínky. Poměr mezi teplotou a relativní vlhkostí vzduchu se u problematiky zasněžování nazývá teplota vlhkého teploměru. Platí, že teplota

relativní vlhkost vzduchu (%)	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
Teplota vzduchu (°C)																			
-9	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9
-8	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8
-7	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7
-6	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6
-5	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5
-4	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-4
-3	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3
-2	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2
-1	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1
0	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0
1	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	1
2	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	2	2	2
3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3
4	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4

Tab. 1: **Limitní podmínky pro umělé zasněžování v závislosti na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu** (upraveno, Paccard, 2010)

vlhkého teploměru je vždy menší, než je teplota venkovního okolí. Čím má vzduch vyšší relativní vlhkost, tím nižší musí být teplota vzduchu, aby byla možná výroba sněhových krystalů (Záhorová, 2004). Při velmi nízké vlhkosti vzduchu ji lze dosáhnout již při mírně zvýšených teplotách, při vysoké vlhkosti vzduchu je potřeba nízká teplota (Tab. 1). Čísla v tabulce znázorňují tzv. vlhkou teplotu. Čím nižší je relativní vlhkost vzduchu, tím nižší je hodnota vlhké teploty. Pro umělé zasněžování je vhodná oblast nad čarou, kde modrá barva poukazuje na ideální podmínky (Paccard, 2010).

Vlhký teploměr na výrobu sněhu se u většiny sněžných děl pohybuje od teploty  $-2,5^{\circ}\text{C}$ . Jakmile se teplota pohybuje kolem bodu mrazu, nazýváme teplotu hraniční nebo také mezní. Důležitá je i teplota vody, a to především právě v těchto hraničních teplotách (Paccard, 2010).

Aby byla výroba umělého sněhu rychlejší a efektivnější používají se chemické a biologická aditiva. Díky těmto aditivům je umožněno zasněžování i v takových podmínkách, kde by to jinak nebylo možné (Steiger, 2008).

Mezi nepoužívanější biologické přípravky patří Snomax. Jedná se o protein vytvořený vymražením bakterie *P. syringae* z rodu *Pseudomonas*. Název získala podle šeríku (*Syringa vulgaris*), na kterém byla poprvé odebrána. K procesu výroby umělého sněhu napomáhá tím, že přitahuje molekuly vody tím pádem zrychluje nukleaci (Paccard, 2010).

K nejznámějším chemickým přípravkům patří dusičnan amonný ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) a chlorid amonný ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Ty způsobují zvýšení eutrofizace půdy a toku a také mění půdní poměry.

Co se týče legality ohledně používání těchto chemických a biologických přípravků v České republice tak není vydán žádný obecný právní předpis. Tyto nařízení si spravují konkrétní daná území. Například pokud by se území vyskytovalo v ochranném pásmu 2010–20, tak by při umělém zasněžování nebylo možné použití aditiv jak chemických, tak i biologických. Provádějí se kontroly ohledně složení, ale výskyt biologických aditiv je velmi složité odhalit kvůli podobnosti biologického pozadí.

### 3.3. Měření vodní hodnoty sněhu

SWE je zkratka z anglického slova Snow Water Equivalent a používáme ji pro označení vodní hodnoty sněhu. Vyjadřuje množství vody ve sněhové pokrývce. Lze jej představit jako výšku vodního sloupce, jenž vznikne rozpuštěním sněhové pokrývky bez ztrát výparem (Durand, 2011). Pro nás je to nejdůležitější parametr, který o sněhu zjišťován.

Nejběžnějším způsobem měření SWE je pomocí sněhoměrného válce, kde se odečítá výška sněhové pokrývky a váží se odebrané sněhové jádro z válce (Hancvencl a Holko, 2019).

Dále se používají techniky založené na hmotnosti sněhu. Tyto techniky jsou označovány jako sněhoměrný polštář a váhy sněhu (Šmídl et al., 2010). Již Cox et al., 1978 shrnuje použití sněhoměrných polštářů. Jedná se o ploché zařízení naplněné nemrznoucí kapalinou umístěné v úrovni terénu. Kapalina přenáší tlak sněhové pokrývky na tlakoměry. Tato metoda je vhodná především na rovinnaté terény s těžkým sněhem (Sorteberg et al., 2001). Sněhové váhy pracují na podobném principu jako sněhoměrné polštáře. Výhodou této metody je, že nehrozí znečištění životního prostředí nemrznoucí kapalinou (Johnson, 2004).

Díky specifickým elektrickým vlastnostem sněhu je také možné určovat hodnotu SWE např. pásy systému SPA, kde je metoda založena na měření dielektrické konstanty sněhu na několika frekvencích (Špulák et al., 2012).

Pro tuto práci však nejdůležitějším způsobem pro získání dat o sněhové pokrývce je využití globálního polohového systému, kde tuto metodu pro získání výšky sněhu popisuje ve své práci již Larson et al. (2009). Začátky aplikace této metody také popisuje Jacobson (2010).

### 3.4. GNSS

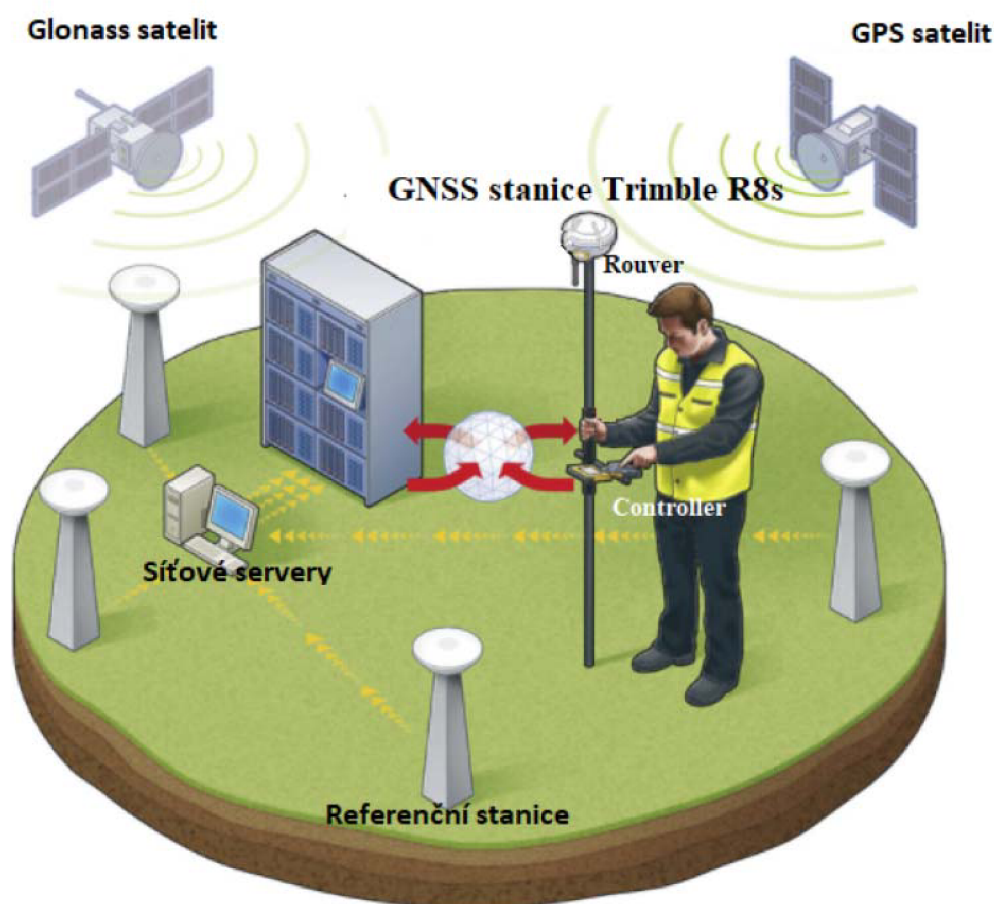
Pojmeme GNSS se obecně rozumí jako zkratka pro Global Navigation Satellite System, neboli globální navigační satelitní systém, kterým se dá označit každá



technologie či systém pro družicovou navigaci. Tento systém dokáže na základě zpracovaných signálů vysílaných z družic určit prostorovou polohu. Systém není závislý na charakteru počasí, je možné ho využívat v jakémkoliv čase a na kterémkoliv místě na Zemi. GNSS využívá různé metody měření a zpracování dat, ze kterých získáme souřadnice měřící aparaturou, s rozdílnou přesností (Kratochvíl, 2001). Na Obr. 3 je znázorněno schéma měření pomocí GNSS.

### 3.4.1. GNSS systémy

V současnosti jsou známy celkem čtyři plně automatizované GNSS systémy. Mezi ně patří americký NAVSTAR neboli NAVigation Satellite Timing And Ranging. Dále obdobný ruský GLONASS – Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, evropský GALILEO a čínský Compass-Beidou (Staněk at al., 2007).



Obr. 3: Schéma měření pomocí GNSS stanice (upraveno, sitech-czech.cz)

GNSS systémy mají schopnost určovat souřadnice bodů vzdálených až desítky kilometrů s centimetrovou přesností. Tuto vysokou relativní přesnost měřič ocení právě u větších vzdálenostech, jelikož technologie nevyžaduje viditelnost mezi body. Díky tomu jsou systémy využívány při určování souřadnic rozsáhlých investičních celků a kontrolních sítí pro monitoring sesuvů, velkých mostních objektů, vytyčování sítě tunelů a tak dále (Staněk at al., 2007).

Systém ovšem nabývá i nevýhodami jako je například nutnost volného prostoru nad přijímačem. Ten se obvykle definuje alespoň  $15^\circ$  nad elevačním kuželem. Pod tímto úhlem jsou vysílané signály z družic schopny překonávat překážky, které ruší či dokonce způsobují výpadek v příjmu. Omezením měření jsou jeskyně, tunely, podzemí či interiéry. Problémem mohou být také zarostlé terény v podobě hustých lesů či městské zástavby s vysokými budovami (Staněk at al., 2007).

### **3.4.2. GPS**

Na počátku 70. let započal vývoj systému Ministerstvem obrany Spojených států amerických pro vojenské účely. V roce 1973 se upustilo od podlahového systému a přešlo se na zmodernizovaný NAVSTAR GPS. Družice létají v šesti oběžných drahách, ve kterých jsou zároveň umístěny 4 družice. Systém je vybaven i tzv. aktivní rezervou v případě vypovězení funkce. Družice se pohybují ve výšce 20 183 km nad Zemí a pod úhlem  $55^\circ$  vzhledem k rovníku. Družice obletí Zemi za 11 h a 58 min (Machotka a Fixel, 2007).

### **3.4.3. GLONAS**

Jedná se ruský radionavigační systém vyvinutý pro vojenské účely na začátku 80. let. Je obdobou GPS s několika odlišnostmi. Tento systém se skládá z 24 družic a tří oběžných drah se sklonem  $64,8^\circ$  k rovníku, které jsou od sebe posunuté o  $120^\circ$  a družice v jedné dráze o  $45^\circ$ . Družice obletí Zemi za 11 h a 15 min. ve výšce 19 100 km nad zemským povrchem (Machotka a Fixel, 2007).

#### **3.4.4. GALILEO**

Je to první družicový systém Evropské unie, jenž byl zahájen roku 1999. Má být nejmodernějším systémem pro určování polohy a času. Taktéž by měl být prvním systémem navrhnutým a provozovaným civilním řízením. Složen by měl být z třiceti družic ve třech oběžných drahách se sklonem  $56^\circ$  k rovníku. Družice pak rozděleny po  $40^\circ$  ve výšce 23 616 km nad zemským povrchem. Tento systém byl vyvinut za účelem osamostatnění se od Ruska a Ameriky (Marša, 2005).

#### **3.4.5. Compass-Beidou**

O tento systém se zasloužila Čína za vidiny soběstačnosti. Družice Compass-Beidou se na rozdíl od předchozích systémů nevyskytují v Medium Earth Orbit, ale ve geostacionárních drahách. Díky tomu není vyžadováno tolik družic oproti předešlým systémům. Ovšem omezením je fakt, že signál bude pokrývat pouze oblasti nad kterými je družice umístěná nastálo.

Momentálně by měla být funkční oblast v rozmezí souřadnic  $70^\circ$  až  $140^\circ$  východní délky a  $5^\circ$ – $55^\circ$  severní šířky. V budoucnu by měl být systém rozšířen na 35 družic pokrývajících celý zemský povrch. Tento systém nese přívlastek Beidou 2. Měl by poskytovat jednak koncesovanou službu pro vojenské účely, tak bezplatnou službu pro běžné uživatele s přesností deseti metrů a rychlost s přesností 0,2 m/s (Czech Space Portal ©2022).

### **3.5. Metody určování polohy u GNNS systémů**

GNNS systémy využívají nejrůznější metody měření, které lze i různě kombinovat. Lze je rozdělit jednak podle způsobu určení polohy na absolutní, relativní a diferenční. Podle použitých veličin na kódové a fázové. Dále pak podle režimu pohybu přijímače během měření na statické a kinematické. A podle doby měření v reálném čase či s následným zpracováním tzv. postprocessing (Kratochvíl a Fixel, 2001).

### **3.5.1. Absolutní metody určování polohy**

Podstata této metody je v určení tzv. pseudovzdálenosti mezi jedním přijímačem a družicí získané kódovým měřením. Určuje se časový rozdíl mezi časem vyslání elektromagnetické vlny a jejím přijetím přijímačem. Ke stanovení polohy jsou zapotřebí alespoň čtyři tyto pseudovzdálenosti (Mechotka a Fixel, 2007).

### **3.5.2. Relativní metody určení polohy**

Tato metoda se na rozdíl od absolutní vyznačuje využitím dvou a více přijímacích aparatur. Poloha se určuje vzhledem k poloze referenčního bodu přijímače, jehož geocentrické souřadnice jsou známy. Přijímač neboli base je zdrojem korekčních dat nezbytných pro druhý přijímač neboli rover. Relativní metoda k určení vzdálenosti družice využívá fázového měření. Relativní metoda zajišťuje vyšší přesnost měření (Mechotka a Fixel, 2007).

### **3.5.3. Kódové měření**

Jak již bylo zmiňováno výše kódové měření je založeno na tzv. pseudovzdálenostech. Je tomu dáno nesynchronizací přijímaných kódů s generovaným kódem vlivem časového posunu při překonávání vzdálenosti. Určení pseudovzdálenosti vychází ze vztahu  $d = \Delta t \cdot c$ , přičemž  $\Delta t$  vyjadřuje časový interval mezi vyslaným a přijímaným signálem a  $c$  jako rychlost radiových vln. Přesnost se zde pohybuje v intervalu 3–6 metrů (Rapant, 2002).

### **3.5.4. Fázové měření**

Fázové měření je založeno na zpracování vlastní nosné vlny signálu. Přijímač zjišťuje počet vlnových délek. Jejich desetinnou část určuje relativně přesně a rychle. Ovšem u stanovení celých délek se vyskytují tzv. ambiguity neboli nejednoznačnosti. Se zanedbáním ostatních vlivů je přesnost v řádech milimetrů. To je také důvod k využívání za geodetickými účely (Rapant, 2002).

### 3.5.5. Statické měření

Jednou z nejpřesnějších a nejužívanějších metod je statické relativní fázové měření. Je hojně používáno pro budování geodetických sítí. Stanovuje se vektor mezi referenční stanicí a stanovovaným bodem, jenž je vzdálen desítky až stovky kilometrů. Přesnost pohybující se v řádu milimetrů je ovlivňována geometrickým uspořádáním družic, délka základny či počtem měřených simultánních družic. Stěžejní podmínkou je nepřerušovaný simultánní příjem signálů, a to minimálně ze čtyř družic. Od počtu družic, délky základny, přesnosti a počtu frekvencí se odvíjí doba trvání. Většinou to však bývá více jak 20 minut (Hefty a Husar, 2003).

### 3.5.6. Rychlá statická metoda

Je analogem statické s rozdílem časového intervalu, jenž se pohybuje okolo 5–15 minut díky rychlému vyhodnocení ambiguit. Důvodem je schopnost současného zpracování fázového a kódového měření. Zásadním parametrem je dostatečný počet družic se správnou konfigurací. Rychlá statická metoda je používána při zhušťování sítí, dále při podrobných či hraničních měření (Hefty a Husar, 2003).

### 3.5.7. Real Time Kinematic (RTK metoda)

RTK metoda stanovuje polohu přijímače a antény s centimetrovou přesností přímo v terénu a bez následného postprocessingu, což obnáší výhodu především ve zkrácení času. V případě neznámého bodu se časový interval pohybuje v řádech minut, u známého dokonce v řádu několika sekund. Lze využít jak statické, tak kinematické metody. Přístroj je schopen hodnotit kvalitu stanovovaných souřadnic. Také tyto parametry ukládá do paměti a lze se k nim tedy zpětně navrátit a zanalyzovat výsledky. Tato metoda je taktéž obohacena o značnou výhodou, kterou je vyhledávání ztracených bodů. Je používána například v inženýrské geodézii či v geografických informačních systémech. Interval přesnosti činí 1–2 cm + 2 ppm (Švábenský at al., 2007).

### 3.6. Síť permanentních stanic

Ekonomicky silné státy světa si vybudovaly síť permanentních GNSS stanic, protože vysílají a určují uživatelům korekce a tím jim zvyšují komfort. Další velkou výhodou stanic je jejich bezobslužnost.

Získané výsledky mají všestranné využití, což vedlo ke vzniku více sítí stanic GNSS, které všechny přístupné stanice neustále monitorovaly. Měření permanentních sítí je zajištěno pouze jednou aparaturou, která využívá metody relativního (diferenciálního) určování polohy, nebo metody RTK pro vysílání korekcí v reálném čase (Staněk at al., 2007).

Státy vede k vybudování husté sítě stanic fakt, že při veškerých relativních metodách narůstá s délkou vektoru chyba. Měření kratších vektorů zvyšuje požadavky na přesnost. Díky tomu došlo k vzájemnému propojení referenčních stanic a modelování chybových vlivů v reálném čase. Na celém území pokrývající permanentními stanicemi tímto způsobem získáme konstantní přesnost (Fixel, 2000).

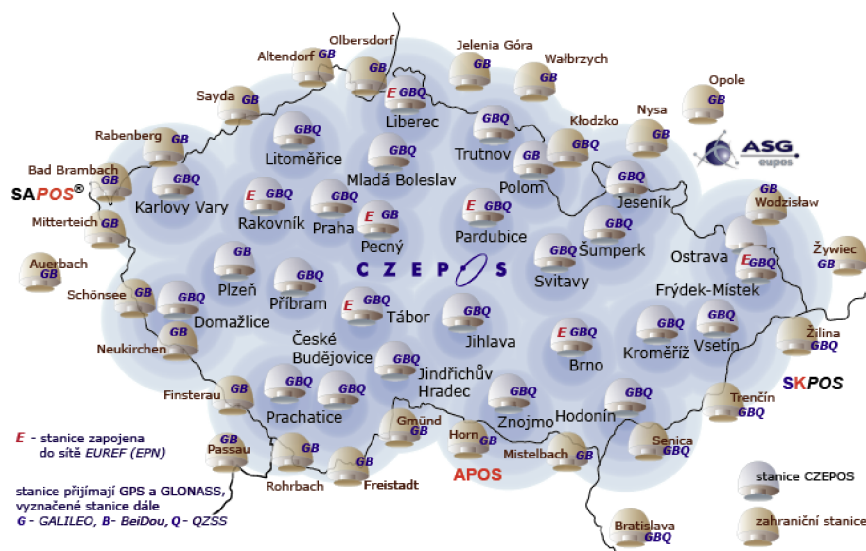
Na území České republiky se nachází GNSS síť CZEPOS, VRS Now, by/S@T, GEONAS, TopNet, VESOG a Georbit (CUZK ©2022). V této práci byly použity metody VRS Now a CZEPOS.

#### 3.6.1. CZEPOS (Czech Positioning System)

Tato síť permanentních stanic GNSS České republiky poskytuje uživatelům GNSS korekční data pro přesné určení polohy na celém území ČR.

Stala se první celoplošnou referenční sítí v ČR zprovozněnoua přelomu roku 2005 a 2006.

Obsahuje 28 rovnoměrně rozmístěných stanic na území celé České republiky (Obr. 4) a v blízkém pohraničí doplňuje síť 27 zahraničních stanic. Jednotlivé stanice jsou od sebe vzdálené okolo 60 km. Ve správě Zeměměřičského úřadu jich je 23 a jsou umístěny na budovách katastrálních úřadů. 5 externích stanic je spravováno vědeckými a akademickými pracovišti. Mezi tyto stanice patří: Brno TUBO, Ostrava VSBO, Polom u Dobrušky, Pecný u Prahy a Plzeň. Tyto externí



**Obr. 4:** Síť permanentních stanic CZEPOS (CZEPOS, online)

stanice jsou zapojeny v rámci výzkumné sítě VESOG. Všechny stanice 24 hodin denně provádí měření GNSS. Uživatelům naměřené hodnoty zpracovává a poskytuje formou korekčních dat (Řezníček, 2007).

Referenční stanice jsou vybavené dvoufrekvenční aparaturou Leica, Topcon a Ashtech. Proti negativním vlivů vícecestného šíření signálu GPS mají antény Choke Ring.

Antény jsou připevněny k pevným částem budovy a to tak, aby umožnily příjem družicového signálu GPS. Kromě toho mají i ochranný kryt.

Neustálý příjem signálů je zabezpečen z družic v intervalu 1 sekundy všem stanicím. Pro případ výpadku elektrického proudu jsou stanice zabezpečeny záložním zdrojem UPS. V přijímači jsou data ukládána na compactflash kartu a posílány etherportem na centrální server v radiocomu centru sítě CZEPOS (Taraba, 2007).

Síť WAN pak zajišťují přenos dat ze stanic a z externích stanic přes internet.

Postprocessingové data jsou přenášeny v půlhodinových intervalech a každou celou hodinu je vytvořený z přenášených dat hodinový balík dat ve formě RINEX, které jsou vytvořené pro každou referenční stanici.

V Systém CZEPOS v roce 2020 byla spuštěna nová služba označená RTK3-MSM poskytující korekční data se signály evropského navigačního satelitního systému Galileo a čínskou BeiDou (CUZK ©2022).

CZEPOS celkem poskytuje 3 kategorie služeb: DGPS, RTK a VRS. Registrovaným uživatelům CZEPOS poskytuje služby a produkty, které jsou zpoplatněny dle příslušných cenových tarifů. Vše se odvíjí od požadované přesnosti souřadnic a charakteru prací. Pro aplikaci v reálném čase se data posílají formou datových paketů a vypočítané korekce pomocí internetu (Machora a Fixel, 2007).

Zprostředkování služeb a produktů CZEPOS využívá software od společnosti GEO++. Ten vytváří korekce pro měření v reálném čase ve formátu RTCM 2.3, které byly vytvořeny pro DGPS a RTK. Tento formát obsahuje zprávy s informacemi o referenční anténě pro zpřesnění měření RTK a pro podporu systému GLONASS (Šnajdrová, 2009).

### 3.6.2. Trimble VRS Now Czech

V České republice se tato síť permanentních stanic GNSS začala budovat v roce 2009. Provozování sítě a službu síťových korekcí se rozhodla firma Trimble VRS Now Czech podpořit uživatele GNSS v České republice. Zprovoznění a otevření této sítě pro uživatele bylo 9.9.2009. Operátoři Trimble VRS Now v Německu v Mnichově se starají o provoz sítě. Dotazy a problémy v České republice řeší firma GEOTRONICS Praha (Černý, 2011).

VRS Now má v současnosti v České republice k dispozici 29 stálých, pevných referenčních stanic (Obr. 5) a 10 stanic pohraničních v Německu a Rakousku.



Obr. 5: Síť referenčních stanic Trimble VRS Now Czech (Geotronics, online)



Síť využívá vlastní technologii, pracující metodou virtuální referenční stanice nazývanou VRS NOW, kterou vyvinula firma Trimble. Uživatel není limitovaný vzdáleností od měřících stanic. Tato síť je charakteristická ve zpracování signálů a poskytnutí síťových řešení. Síť vytváří optimalizované korekce, kdy počítá s troposferickými, ionosferickými a dráhovými modely v reálném čase. GLONASS tyto data podporuje a celkový objem posílaných dat je velmi nízký.

Stejně tak síť poskytuje jak pro fázové měření tak pro kódové měření (GIS) korekce v reálném čase. Pro postprocessing jsou data ve formátě RINEX.

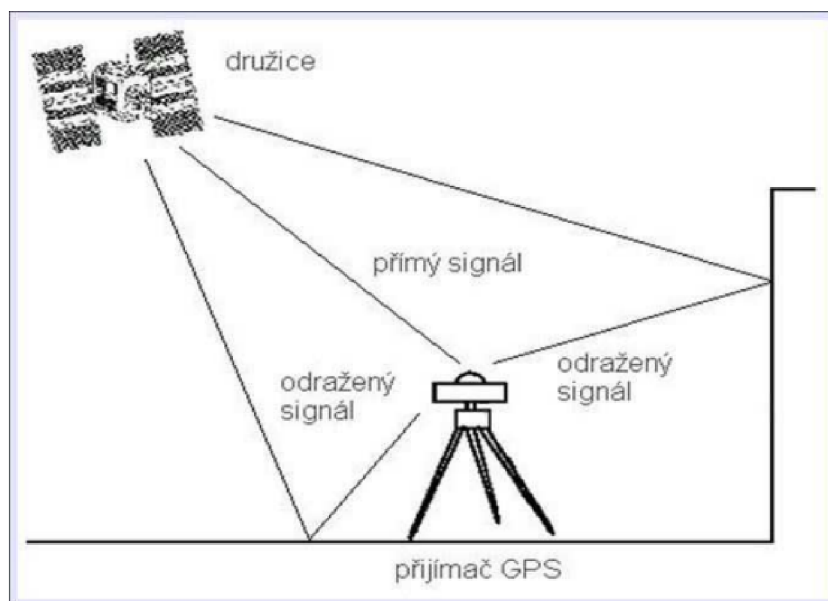
Další výhodou sítě jsou funkce roveru při měření přímo v terénu a to korekce ve formátě CMRx. Je velmi úsporný a díky tomu je uživatel méně závislý na kvalitě připojení GPRS. Také je další možností si vyžádat korekce RTK, přičemž pro uživatele platí možnost se přemísťovat mezi měřenými body a přitom zastavit příjem korekcí aniž by se musel od sítě odpojit a následně zase připojit. Díky tomu uživatel šetří data a GPRS tarify (Černý, 2011).

Nepřetržité monitorování sítě 24 hodin denně a 7 dní v týdnu po celé ČR poskytuje uživatelům přístup ke kinematickým (RTK) a postprocesingovým (PP) korekcím v reálném čase.

Od 1. 6. 2017 mohou jako první v České republice uživatelé sítě Trimble VRS Now přijímat signály z evropského satelitního systému Galileo a čínského BeiDou sestávajícími korekčními daty ze systémů GPS a GLONASS. Více družic při měření pro uživatele této sítě znamená kvalitnější a přesnější měření. Při dobré konstalaci je možné se dostat na území České republiky až k 30 družicím (Geotronics Praha ©2016).

### **3.7. Vlivy působící na přesnost GNSS měření**

Měření pomocí GNSS tak jako všechny měření jsou zatíženy systematickými a náhodnými chybami. Hlavní a podstatné chyby jsou systematické, kdež to ty



**Obr. 6: Vícecestné šíření GNSS signálu (Švábenský at al., 2007)**

náhodné jsou malé a dají se zlepšit větším počtem měření. Systematické chyby ovlivní přesnost výsledků (Hefty, 2003).

### **3.7.1. Chyby související s přijímačem**

U přijímačů je nejčastější chybou, chyba hodin. Oproti družicím kde jsou atomové hodiny. U přijímače jsou časové údaje korigované vzhledem k systémovému času GPS.

Další z chyb je spoždění v obvodech přijímačů při příjmu a zpracování signálu GPS.

Jednou z chyb je i nesouměrnost fázových center GPS antény. Pro obě frekvence je poloha fázového centra rozdílná, a tudíž se neshoduje s geometrickým centrem antény. S tímto problémem pomůžou kalibrované antény (Švábenský, 2007).

### **3.7.2. Chyby související s družicemi**

Na měření tranzitního času mezi družicí a přijímačem jsou navigační systémy. Přesnost měření ovlivňuje zpoždění signálu v aparatuře na družici a chyby družicových hodin.

Satelitní hodiny jsou monitorovány pozemními stanicemi. Ty jsou porovnávány s hlavním řídicím systémem. V navigační správě jsou potom zjištěné od-

chylky. Skutečný čas přenosu signálu mezi družicí a přijímačem získá tak, že odpočítá tuto chybu od získaného přenosového času (Darmopylová, 2014).

### **3.7.3. Chyby s šířením signálu v atmosféře**

Družice vysílá signál, který prochází celou atmosférou jejíž prostředí se různě láme a ohýbá, tím ovlivňuje jeho rychlost a následně způsobí chybu v určení vzdálenosti družice od přijímače.

Nejhustší a nejnižší vrstvou atmosféry je troposféra, její šířka je 8–12 km a je nedisperzním prostředím pro vlny do 15 GHz, a to rádiové vlny splňují. Frekvence signálu nemá vliv na refrakci (Kratochvíl a Fixel, 2001).

Větší korekce signálu jsou, pokud se družice nachází nad horizontem přechodu signálu troposférou.

Ve výšce 50 až 1 000 km nad zemským povrchem je ionosféra složená z iontů a volných elektronů, tato část velmi významně ovlivňuje šíření signálu. Rádiové vlny z družic, tedy ionosféra nejvíce ovlivňuje. Podle obsahu elektronů v ionosféře se počítají hodnoty korekcí, které se získají modelováním nebo přímým měřením (Darmopylová, 2014).

### **3.7.4. Chyby související s místem měření**

Nejčastější jsou chyby způsobené více cestným šířením signálu, které způsobuje společný příjem přímých a odražených vln anténou GNSS přijímače, tzv. multipath (Obr. 6) (Kratochvíl a Fixel).

## 4. Data a metody

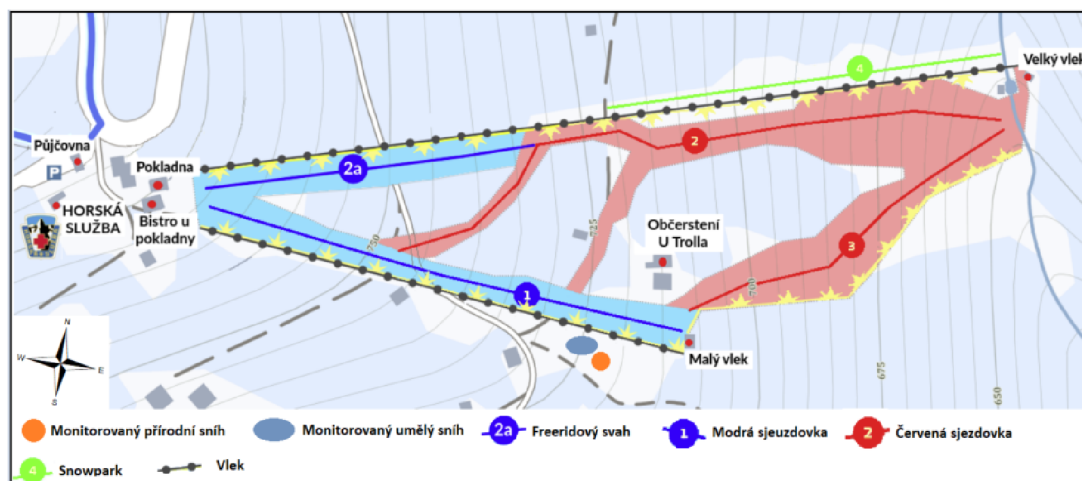
### 4.1. Skiareál Alšovka

Skiareál Alšovka se nachází na severozápadě Čech v Krušných horách v nadmořské výšce 675–771 metrů nad mořem. Součástí skiareálu jsou tři sjezdovky se dvěma vleky viz. mapa skiareálu (Obr. 7). Celý areál je zasněžován technickým sněhem a díky umělému osvětlení je zde k dispozici i večerní lyžování. Pro snowboardisty se zde nachází i snowpark (Alšovka.cz ©2021). Lyžařská sezóna zde obvykle začíná v první polovině prosince a trvá až do druhé poloviny března (Alšovka, 2022).

Monitorované plochy se nachází ve spodní části modré sjezdovky vyznačené v mapě na Obr. 7. Plochy byly ohraničovány plůtky pro znepřístupnění veřejnosti (Obr. 8a a Obr. 9b)

### 4.2. Podnebí v dané oblasti

Krušným horám náleží označení (CH), tedy chladná oblast a konkrétně pak podoblasti CH7, CH6 a CH4. Přičemž čím vyšší označení podoblasti, tím teplejší a sušší klima (Quitt, 1971).



Obr. 7: Mapa skiareálu Alšovka (upraveno, Skiareál Alšovka, 2022)



**Obr. 8a a 8b: Monitorované plochy technického (modrý) a přírodního (oranžový) sněhu ve dnech 12.2. a 2.4. 2021 (Fořt, 2021)**

Krušné hory jsou vzhledem k nadmořské výšce a otevřenosti směrem k severu podrobeny drsnému podnebí. Silné větry a velké bouře ovlivňující rychlé změny počasí jsou typické pro podnebí v této lokalitě. Ve Skiareálu Alšovka nacházející se ve výšce přibližně 750 m n. m. jsou časté ranní, ale i celodenní mlhy (Soukup a David, 2000). Průměrná roční teplota vzduchu je zde 5,8°C a denní průměr srážek 1,2 mm. Dále je zde průměrně 91 dní se sněhovou pokrývkou za rok (ČHMÚ ©2021).

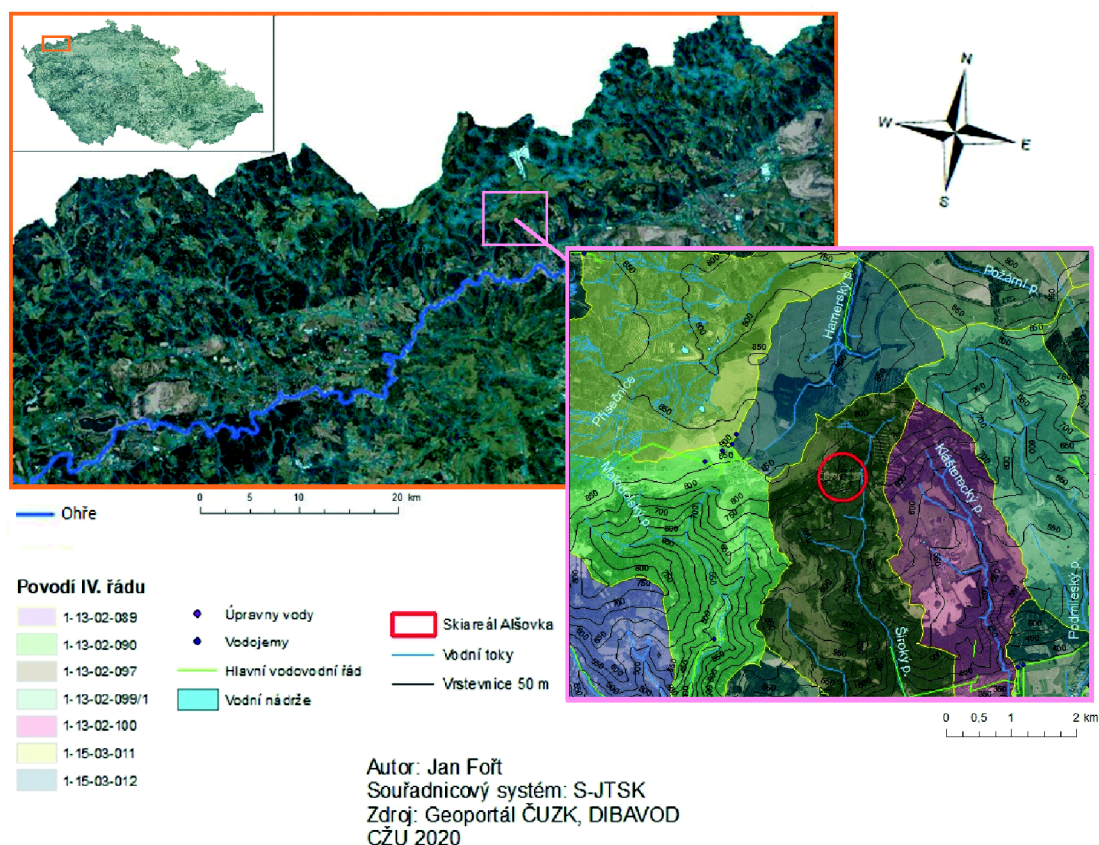
### 4.3. Hydrologické poměry

Hlavním vodním tokem Krušných hor je řeka Ohře (Obr. 10), do které se odvodňuje česká strana Krušných hor. Černý a Zlatý potok odvádí pouze malou část vod do Saska (CEVT ©2020).

Nejbližší nádrž k monitorované lokalitě je Přísečnice, která je také s celkovým objemem 50,43 mil. m<sup>3</sup> největší nádrž Krušných hor. Dalšími významnými vodními nádržemi jsou Fláje, Křímov a Jezeří (VÚV TGM ©2022).

Skiareál Alšovka se nachází v povodí II. řádu Ohře a Labe od Ohře po Biliinu, dále pak III. řádu Teplá a Ohře od Teplé po Libocký potok a v povodí IV. řádu s hlavním tokem Široký potok (Obr. 10) ze kterého probíhá odběr vody pro umělé zasněžování skiareálu.





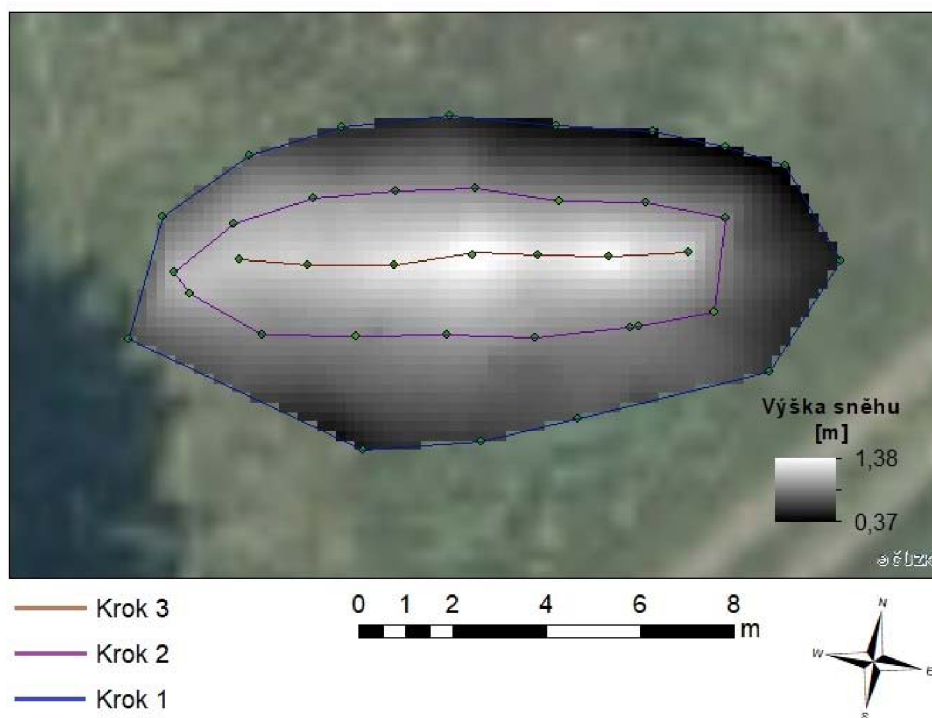
**Obr. 10: Hydrologie oblasti**

#### 4.4. Měření topologických bodů pomocí Trimble R8s s využitím VRS Now metody

Po spuštění roveru a controlleru bylo zařízení připojeno k síti pomocí mobilního internetu t-mobile. V nastavení měření byla vybrána metoda VRS Now CZ, dále pak výška výtyčky 2 m. Body byly naměřeny jako podrobný bod – během pěti vteřin proběhnou tři měření, naměřené hodnoty se zprůměrují a uloží s tím, že byla nastavena minimální přijatelná horizontální, tak i vertikální přesnost do 5 cm.

Dále byla využita metoda stop and go při kontinuálním měření, kdy bylo nastaveno ukládání bodu po konstantním časovém intervalu, konkrétně po 5 sekundách. Toto měření bylo použito pouze když se již neměřily ve stejném místě validační lavinovou sondou.

Během měření bylo ve snaze stát severně od roveru z důvodu chytání většiny satelitů z jižní strany. Monitoring sněhových ploch byl prováděn pomocí GNSS stanice Trimble R8s. Rover byla stabilizována ve špičce sněžnic, se kterými bylo



**Obr. 11: Postup měření validačních bodů** (Fořt, 2022)

chozeno po neporušované sněhové pokrývce tak, aby při tom nebyla ovlivněna její výška. Na stanici bylo nastaveno měření bodové, z důvodu měření validačních bodů lavinovou sondou ihned ve stejném bodě. Validační body se měřili lavinovou sondou na čtyřikrát, z čehož se následně udělal průměr. Dále se pak měřilo kontinuálně, pokud se již validační body nezaměřovaly.

Validační body byly nejdříve měřeny na rozhraní sněhových kup a sjezdovky, tedy podél obvodu dané sněhové kupy znázorněné na Obr. 11 krokem 1. Dále jsme pak pokračovali měření v jednotlivých elipsách vedených po vrstevnicích viz. Obr. 11 krok 2, až k vrcholu sněhové kupy, kde bylo vždy provedeno měření po jejím hřbetu, naznačeno na Obr. 11 krokem 3.

#### 4.5. Metodika interpolace topografických dat sněhové pokrývky

Vhodná interpolační technika byla vybrána z nabídky ArcMap. Jako kritérium výběru sloužila minimální střední kvadratická chyba (RMSE). Body byly interpolovány čtyřmi interpolačními metodami z nabídky programu ArcGis,

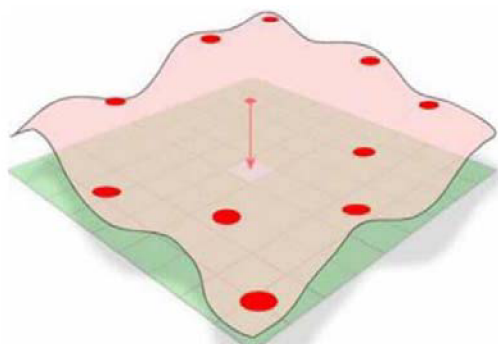
kteře jsou dostupné v rámci základního panelu nástrojů 3D Analyst Tools (ESRI ©2015).

#### a) □ **Metoda IDW**

IDW (Inverse distance weighting) je metoda váženého průměrování metodou inverzních vzdáleností. Je založena na jednoduchém principu, který spočívá v tom, že určité dva jevy, které jsou vedle sebe se budou více shodovat než jevy, které jsou mnohonásobně vzdálené (Lu et Wong, 2008). Jako nevýhoda této metody je považováno generování povrchů, které jsou charakteristické výskytem koncentrických struktur kolem interpolovaných bodů, tzv. bulls eyes (Ježek, 2008).

#### b) **Metoda Spline**

□ Jde o deterministické metody, které produkují povrchy o minimální křivosti. Pracující na základě radiálních bázových funkcí (Ježek, 2008). Povrchy generované splinem jsou proto značně shladené (Obr. 12) a jsou vhodné pro interpolaci jevů, které se nemění skokově, ale spojitě – v takových případech může tato technika produkovat falešné okolní extrémny.



**Obr. 12: Technika spline** (Křikavová, 2009)

#### c) **Metoda Kriging**

Jedná se o geostatickou techniku. Liší se od deterministických metod tím, že jejich princip interpolace je na základě předpokladu a umožňuje optimalizovat konkrétní váhy ve výpočtu na základě prostorové shodnosti bodových měření na základě jejich analýzy (Goovaerts, 1997).

#### d) **Metoda Natural Neighbour**

Jedná se o metodu lokálního průměrování na základě přirozeného okolí. Stejně jako u IDW jde tedy o interpolační metodu založenou na váženém průměru



interpolace. Nicméně se od této metody liší váhovou funkcí, kde hodnota bodu vstupující do interpolace je vážena plochou Thiessenova polygonu příslušejícího tomuto bodu. Výborně pracuje s nepravidelně rozmístěnými body v prostoru, nevytváří zde falešné okolní extrémny (Sambridge et al., 2009).

Výška sněhu = DMP - DMT. Následně se tyto interpolované hodnoty porovnávaly s hodnotami přímého měření lavinovou sondou v tentýž bodě.

Následovala validace každé interpolované techniky ze dvou dnů měření, a to konkrétně z 20. 2. 2021 a 28. 2. 2021. Tyto dny byly vybrány z důvodů nejlepší kvality nasbíraných dat v rámci všech měření.

Ruční měření lavinovou sondou představuje maximální možnou přesnost. Důvodem odchylek je tedy fakt, že tento validační proces je zatížen především chybou interpolovaného DMT a interpolovaných jednotlivých vrstev sněhové pokrývky (DMP). S rostoucím rozdílem odvozených hodnot mocnosti sněhové pokrývky od hodnot ručně naměřených pochopitelně klesá přesnost výsledného SWE sněhových kup v jednotlivých dnech měření.

Z tohoto důvodu byly testovány interpolační metody nabídky programu ArcGis, které jsou dostupné v rámci základního panelu nástrojů 3D Analyst Tools, pro nalezení ideální interpolační metody, tedy s nejmenší střední kvadratickou chybou (RMSE).

Pro výpočet RMSE bylo z interpolací vždy vynecháno šest bodů, které následně sloužily jako body validační (N). Vztah pro výpočet:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (H_i - \widehat{H}_i)^2},$$

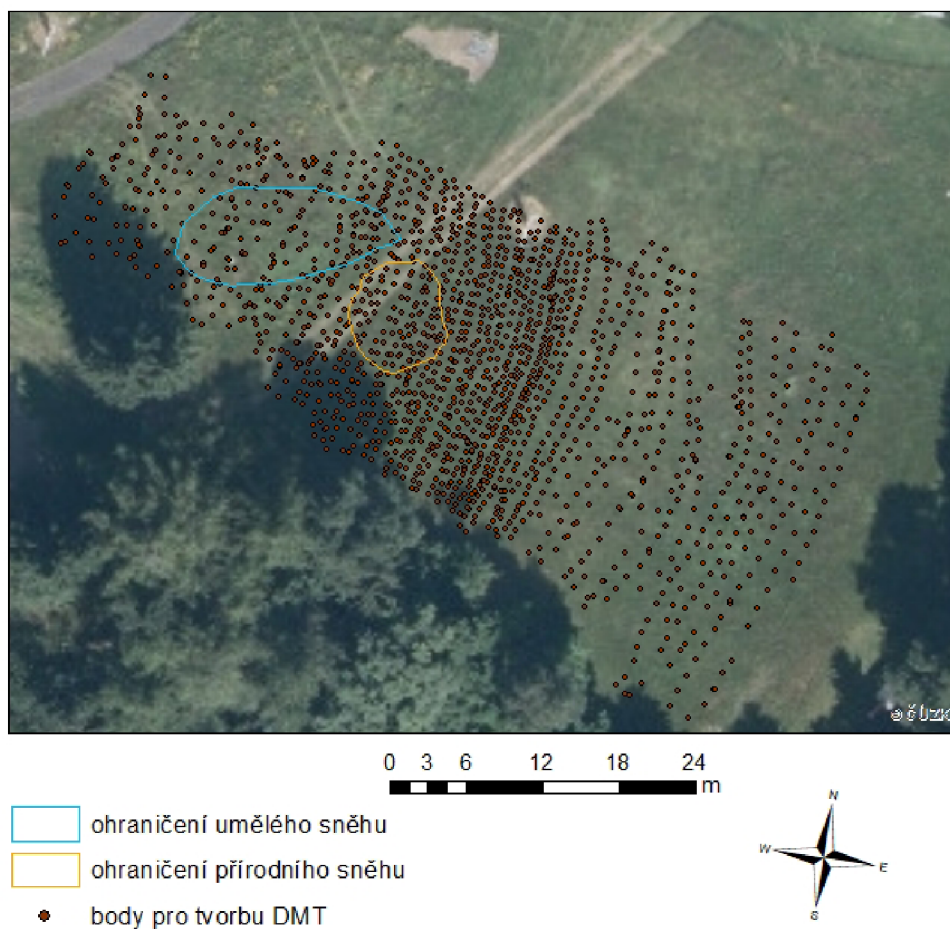
kde N je počet validačních bodů,  $H_i$  je manuálně měřená výška i-tého validačního bodu a je interpolovaná výška téhož bodu. Hodnoty RMSE blížící se nule ukazují na minimální rozdíl mezi měřenými a interpolovanými hodnotami. nejvhodnější model pro naši situaci. Vhodná interpolační metoda byla vybrána podle nejnižší RMSE (Juras et al., 2011).

## 4.6. Tvorba digitálního modelu terénu (DMT)

Topografické body byly měřeny po celé rozloze zájmového území pomocí GNSS stanice Trimble R8s metodou Czepon kvůli nefunkčnosti VRS Now z technických důvodů. Každý bod byl naměřen s maximální přesností, kde největší přípustná odchylka v horizontálním, tak i vertikálním směru byla 6 cm. Naměřené body jsou znázorněné na Obr. 13.

Skiareál Alšovka, která spadá pod obec Měděnec je z hlediska morfologie heterogenní s častými terénními zlomy. Z těchto důvodů byla zvolena podrobnější síť topologických bodů, a to vzdálenými mezi sebou přibližně  $1 \times 1$  m, ze kterých se následně prováděla interpolace DMT.

Pro interpolaci byla vybrána neúspěšnější interpolační metoda z nabídky programu ArcMap na základě RMSE stejně jako u DMP (ESRI ©2015).



**Obr. 13:** Naměřené body pro tvorbu DMT (Fořt, 2022)

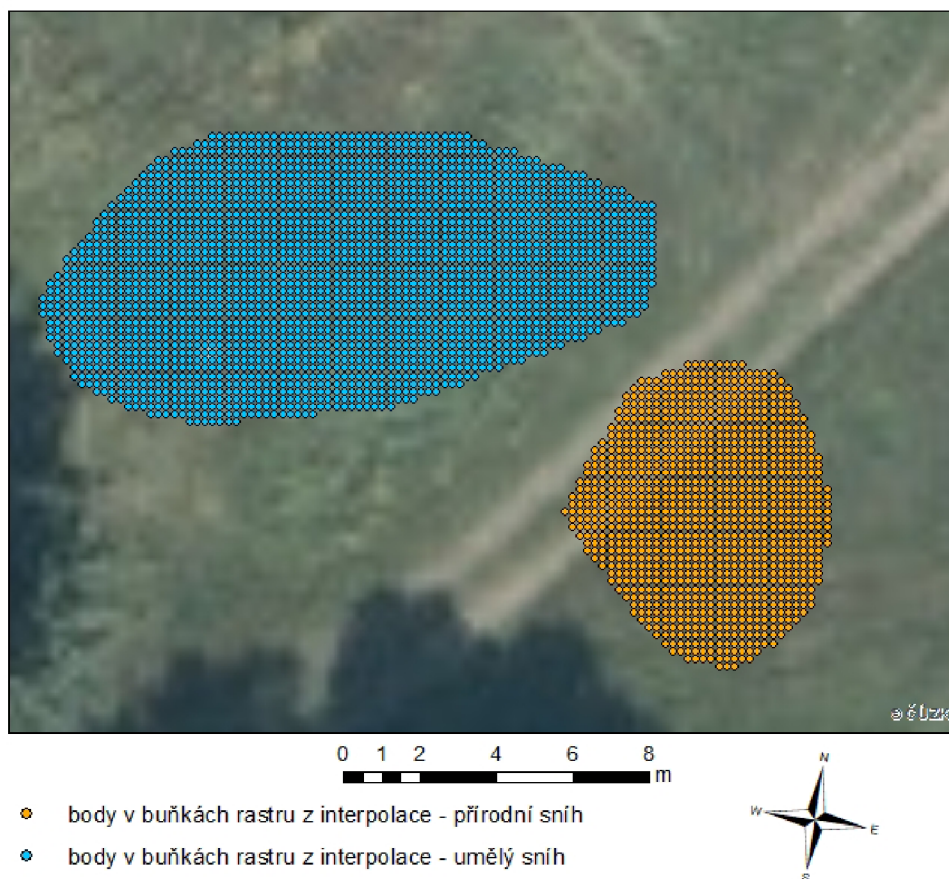
#### 4.7. Výpočet hodnoty SWE a mocnosti sněhové pokrývky jednotlivých experimentálních ploch

Bylo provedeno sedm měření s 1–2týdenními intervaly sněhových kup znázorněných na Obr. 14. Během každého měření byla určena hustota sněhu ze čtyř stran obou sněhových kup pomocí odběrného válce standardním postupem (Hancvencel a Holko, 2019):

Vypočtení objemové hmotnosti pomocí vzorce:

$$\rho = \frac{m}{s * h}$$

- kde je hustota,  $m$  je hmotnost odebraného sněhu,  $s$  je plocha podstavy válce a  $h$  je výška sněhu.
- Zprůměrování naměřených hustot v dané sněhové kupě. Uvažujeme zde, že změny hustoty v rámci jedné kupy jsou minimální, tudíž považujeme hustotu pro celkový výpočet SWE stejnou v celé hromadě.



Obr. 14: Síť bodů nesoucí hodnoty SWE (Fořt, 2022)

Dále každá interpolovaná vrstva sněhové pokrývky se v prostředí ArcGis 10.7.1 odečetla od DTM pomocí příkazu *Raster calculator*. Získaná rastrová vrstva reprezentující mocnost sněhové pokrývky byla dále vynásobena podílem naměřené hustoty sněhu v příslušný den měření pomocí příkazu *Raster calculator*. Výsledná vrstva znázorňuje vodní hodnotu rastrové vrstvy. Tato vrstva byla pomocí příkazu *Raster to point* převedena do sítě bodů, kde každé buňce rastru náležel právě jeden bod nesoucí hodnotu SWE. Tato síť bodů je znázorněna na Obr. 14.

Průměr hodnot z bodů jednotlivé vrstvy se vynásobily plochou dané sněhové kupy. Bylo tak dosaženo celkové hodnoty vody zadržené ve sněhové kupě.

#### 4.8. Výpočet tání

Pro výpočet tání byl z důvodu porovnatelnosti proveden průnik naměřených ploch jednotlivých sněhových kup. Touto plochou se následně v arcgisovém prostředí ořízly pomocí funkce *Clip* všechny topologické vrstvy bodů z jednotlivých dnů měření, ze kterých byla určena vodní hodnota na stejný obsah pro umělou i přírodní sněhovou kupu. Na monitorované kupě s technickým sněhem byla pro výpočet tání použita plocha o velikosti 46,3 m<sup>2</sup> a se sněhem přírodním plocha o velikosti 17,86 m<sup>2</sup>. Pouze pro vrstvu s topografickými body umělé sněhové pokrývky ze dne 14. 4. 2022 byla stanovena plocha o rozloze 15,67 m<sup>2</sup>. Celková hodnota SWE naměřená v jednotlivých dnech na daných plochách byla vydělena těmito rozlohami pro zjištění průměrné vodní hodnoty sněhu na jeden metr čtvereční.

Průměrná hodnota tání za den byla následně dosažena pomocí vzorce:

$$t_i = \frac{SWE_1 - SWE_2}{Nd}$$

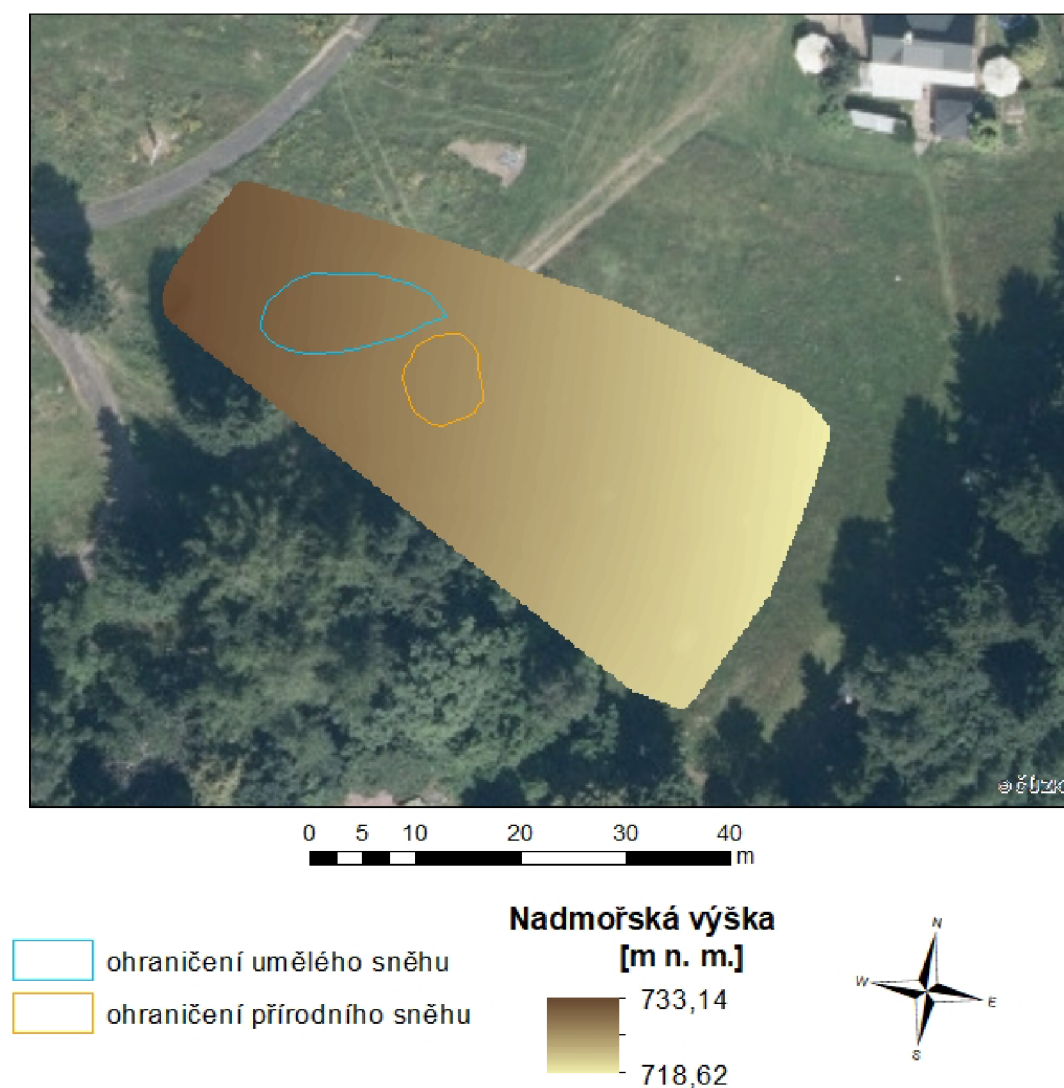
kde  $t_i$  je hodnota průměrného tání v daném intervalu,  $SWE_1$  je vodní hodnota naměřena na začátku intervalu,  $SWE_2$  je vodní hodnota naměřena na konci daného intervalu a  $Nd$  je počet dní v intervalu.

## 5. Výsledky

### 5.1. Vytvoření DMT

DMT bylo vytvořeno s velkými přesahy okolo zájmového území nejen z důvodu okrajového efektu, ale také pro možné využití modelu v budoucnu u dalších navazujících měření ve Skiareálu Alšovka.

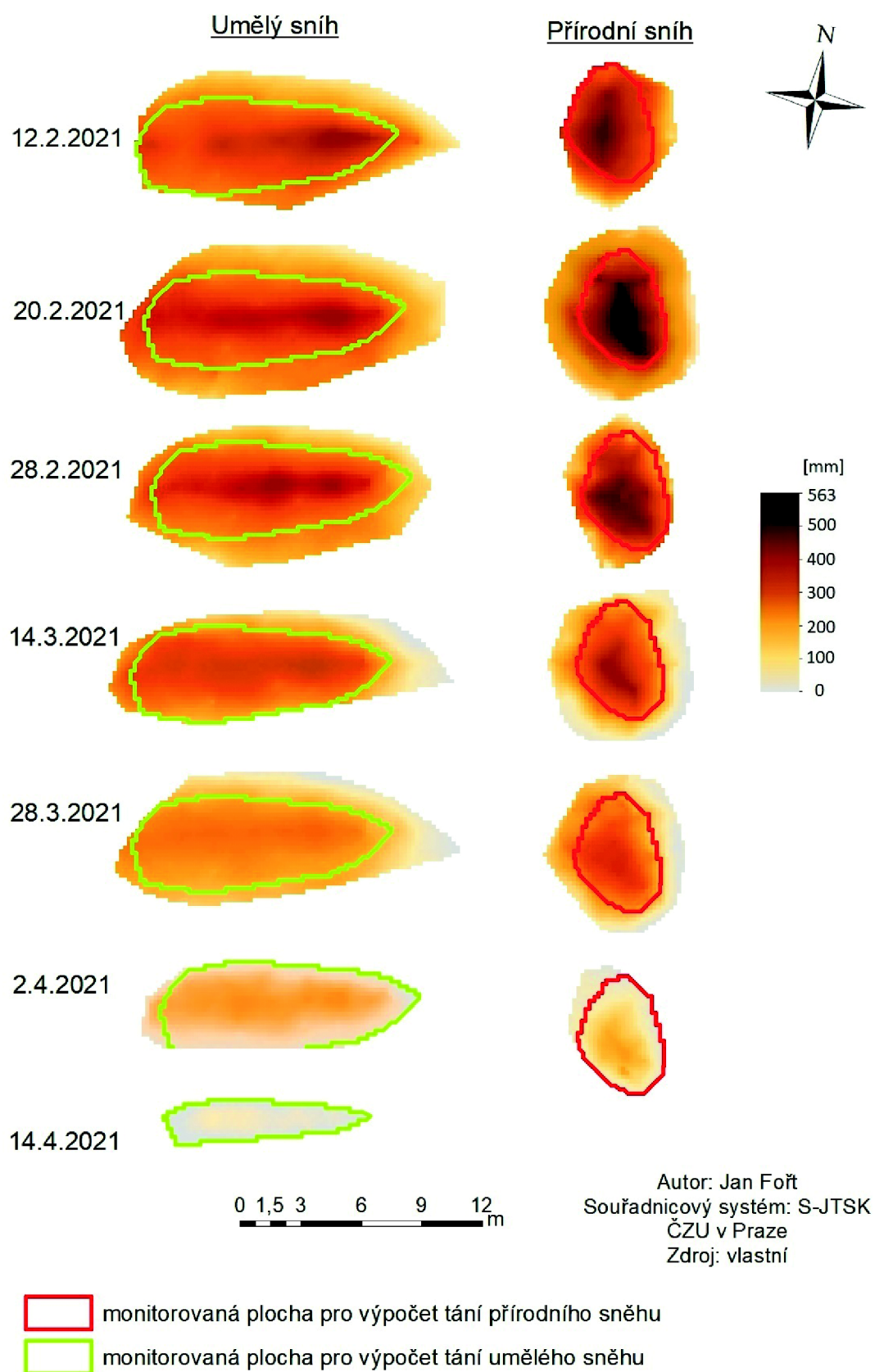
Na Obr. 15 jsou znázorněny místa sněhových kup na DMT. Nejúspěšnější interpolační technika pro interpolaci topologických bodů byla vybrána na základě nejmenší hodnoty RMSE – metoda Natural Neighbour viz. Tab. 2.



**Obr. 15: DMT** (Fořt, 2022)



# HODNOTY SWE V JEDNOTLIVÝCH DNECH MĚŘENÍ



Obr. 16: Vývoj vodní hodnoty sněhu (Fořt, 2022)

## 5.2. Vyhodnocení nevhodnější metody interpolace

Ze čtyř testovaných metod vyšla nejlépe Natural Neighbour se s průměrnou střední kvadratickou chybnou z obou dnů měření 0,1207 m ve vertikálním směru. Výsledky jsou znázorněné v Tab. 2.

datum měření	typ interpolace	počet val. bodů	RMSE	RMSE průměr
28.02.2021	Natural	6	0,1231	0,1207
20.02.2021	Natural	6	0,1184	
28.02.2021	Kriging	6	0,1306	0,1334
20.02.2021	Kriging	6	0,1361	
28.02.2021	Spline	6	0,1159	0,1885
20.02.2021	Spline	6	0,2611	
28.02.2021	IDW	6	0,1837	0,1755
20.02.2021	IDW	6	0,1673	

Tab. 2: *RMSE* (Fořt, 2022)

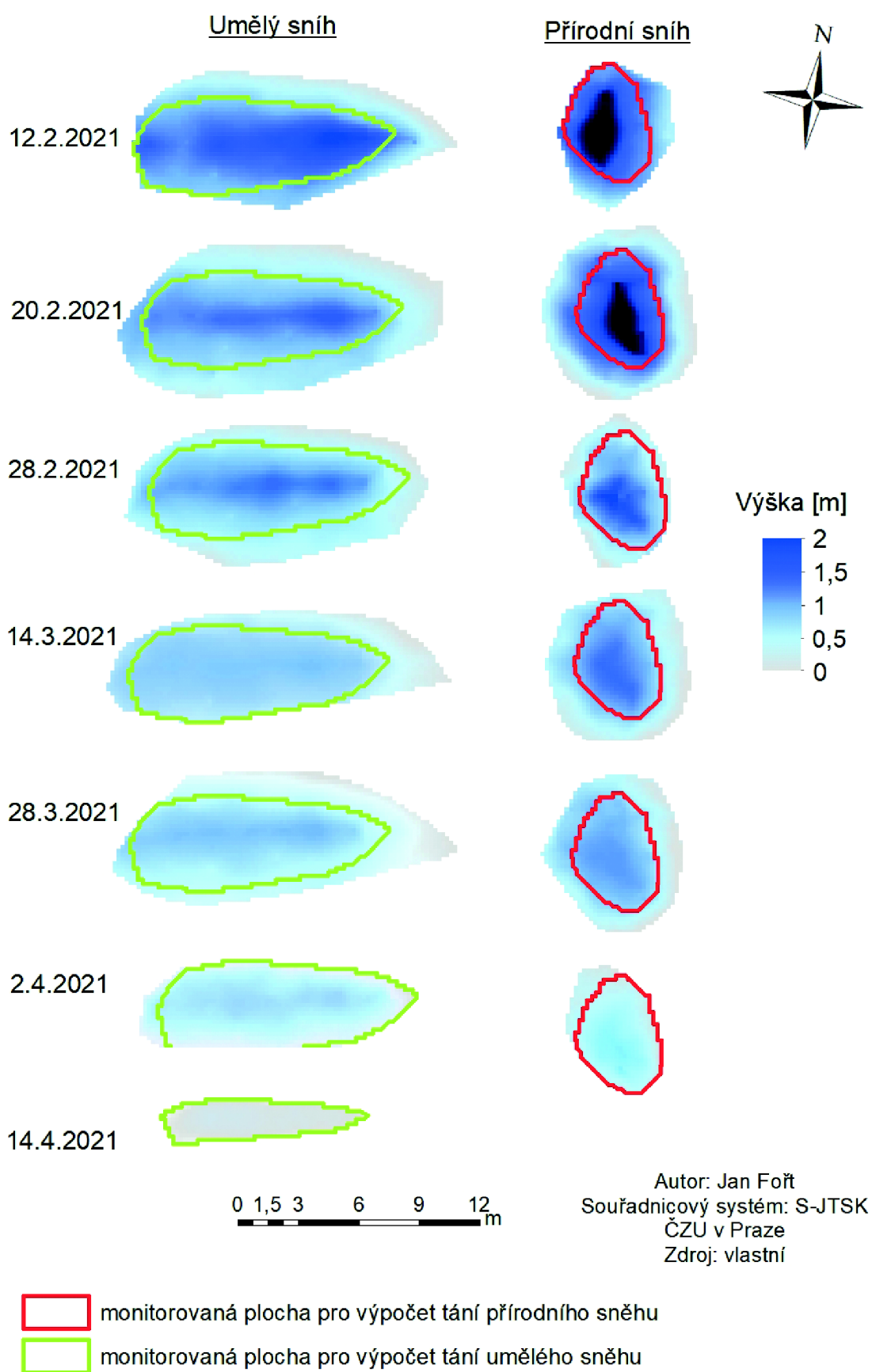
## 5.3. Změny SWE v průběhu času

Dle předpokladů tál přírodní sníh rychleji nežli sníh umělý, a tak je a proměna SWE v jednotlivých dnech výraznější. Nejvyšší vodní hodnota sněhu dosahovala ve vrcholcích 563 mm. Celá dynamika SWE obou experimentálních ploch je znázorněná na Obr. 16.

## 5.4. Vývoj mocnosti sněhové pokrývky

Výška sněhu na monitorovaných plochách dosahovala až dva metry u přírodního sněhu a 1,5 m u sněhu umělého. Na Obr. 17 je znázorněna celá dynamika mocnosti sněhové pokrývky v monitorovaných dnech. Je zde vidět, že nejvýraznější změny výšky sněhové pokrývky byly zaznamenány ve vrcholcích jednotlivých sněhových kup.

## VÝŠKA SNĚHU V JEDNOLIVÝCH DNECH MĚŘENÍ

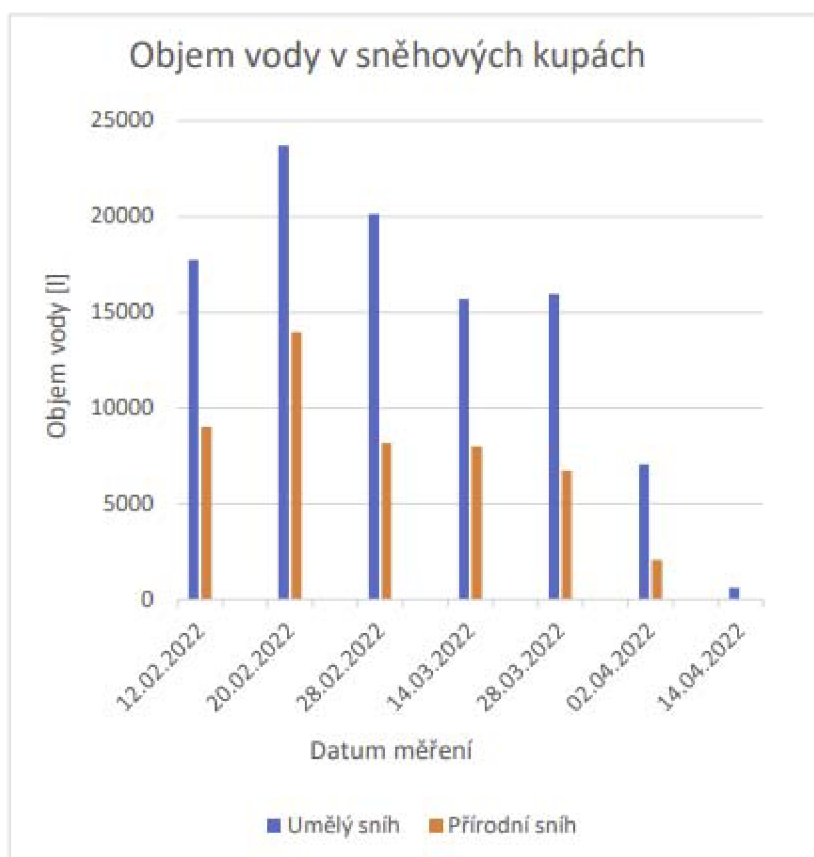


Obr. 17: Výšky sněhu v jednotlivých dnech měření (Fořt, 2022)



## 5.5. Objemy zadržené vody na monitorovaných plochách

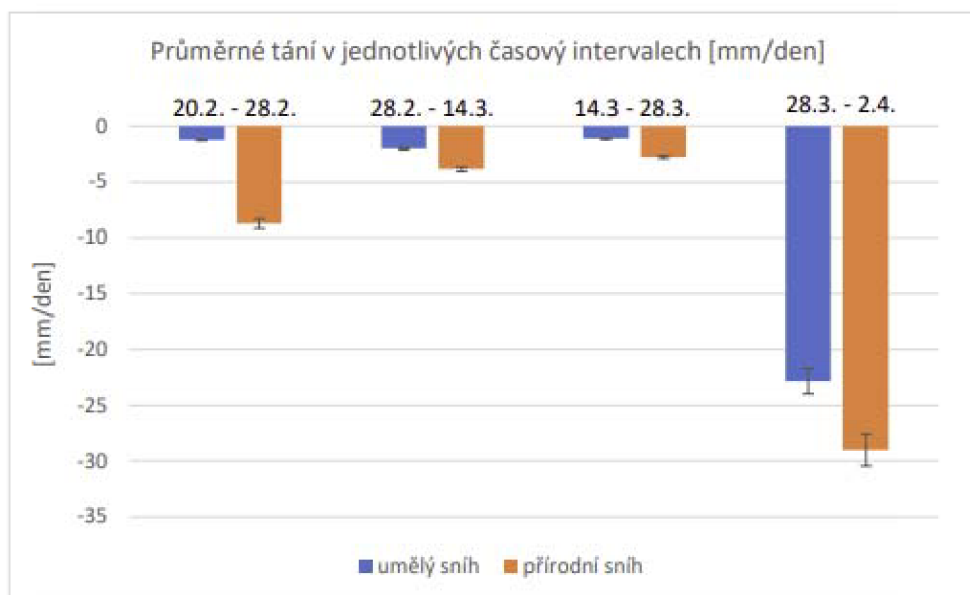
Nejvyšší hodnota zadržené vody byla naměřena u obou monitorovaných ploch 20. února (Obr. 18), a to přesně 23 720 litrů u sněhu umělého a 13 964 litrů u sněhu přírodního. V dalších dnech měření již množství akumulované vody klesalo.



Obr. 18: Graf zadržené vody v jednotlivých dnech měření (Fořt, 2022)

## 5.6. Tání sněhu mezi jednotlivými intervaly měření

Nejvyšší průměrná hodnota tání vyšla v intervalu od 28. března do 2. dubna. V tomto intervalu však byly zaznamenány nejnižší rozdíly tání mezi technickým a přírodním sněhem. Z fotodokumentací můžeme usoudit, že je to z důvodu již malého množství původního technického sněhu, na kteréhož napadal sníh přírodní. Proto je tento interval velmi málo vypovídající pro porovnání jednotlivých experimentálních ploch.



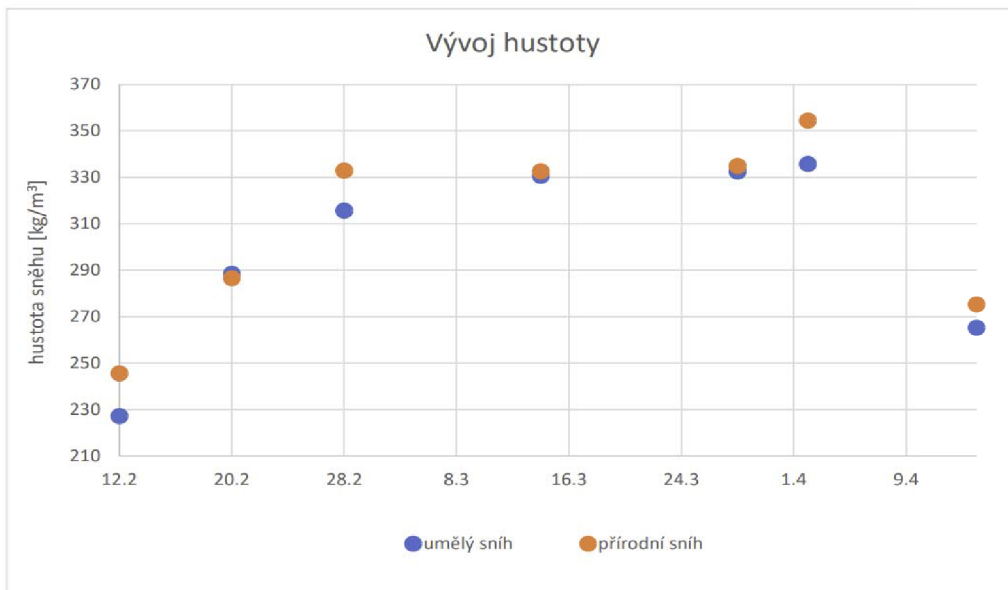
Obr. 19: Graf průměrného tání v jednotlivých časových intervalech s chybovou úsečkou (Fořt, 2022)

intervaly mezi měřeními	tání [mm/den]		Rozdíl tání přírodního oproti umělému [mm/den]
	umělý sníh	přírodní sníh	
20.2. - 28.2.	1,2	8,7	7,5
28.2. - 14.3.	2,0	3,8	1,8
14.3. - 28.3.	1,1	2,7	1,6
28.3. - 2.4.	22,9	29,0	6,2
průměrně	4,1	7,5	2,8

Tab. 3: Rychlost tání (Fořt, 2022)

## 5.7. Vývoj hustoty sněhu v kupách umělého a přírodního sněhu

Hustota ztuhlého přírodního sněhu rolbou po většinu měření dosahovala vyšších hodnot. Vývoj hustoty je znázorněn na Obr. 20, ze kterého je patrná stoupající hodnota objemové hmotnosti až na poslední měření, kde byly zaevidovány opět nižší hodnoty z důvodu již nízkého množství původní sněhové pokrývky, na níž byl napadnut čerstvý sníh.



**Obr. 22: Vývoj hustoty** (Fořt, 2022)

## 6. Diskuze

Monitoring dynamiky vodní hodnoty a mocnosti sněhové pokrývky se podařilo stanovit podle uvedené metodiky. Je ovšem potřeba počítat s chybou způsobenou interpolací DMT a jednotlivých povrchů sněhových pokrývek.

Výsledný model terénu bude obsahovat řadu nepřesností z důvodů aplikací interpolačních technik. Je velmi pravděpodobné, že model nezaznamenal jemnější terénní nerovnosti.

Ve své práci Juras at al. (2011) uvádí, že proces výpočtu plošného rozložení mocnosti ovlivňuje i chronologie výpočtů v metodice, kde má vliv fakt, zda výsledný model obdržíme prostým rozdílem stanovených modelů DMT a DMP, anebo bude proveden rozdíl nadmořské výšky sněhové pokrývky a interpolovaného DTM v jednotlivých topografických bodech sněhu a až z těchto hodnot bude interpolován výsledný model znázorňující mocnost sněhové pokrývky.

Při porovnání tání jednotlivých sněhových kup vyšlo dle předpokladů, že přírodní sníh oproti umělému taje 1,8krát rychleji. Musíme zde však v potaz vzít fakt, že pro monitoring tání byla oříznuta plocha, ke které se následně výpočet tání vztahoval z důvodů porovnatelnosti. Byly zde ovlivněny faktory, které mají vliv na tání sněhu. Nejvýraznějším faktorem mohl být rozdílný tvar jednotlivého povrchu monitorované pokrývky, kdy kupa přírodního sněhu měla špičatější korunu, která tak měla větší plochu pro výměnu tepla. Značný vliv na hustotu, a tak i rychlost tání přírodního sněhu, mělo nahrnutí dané experimentální plochy sněhovou rolbou.

Umělý sní během monitorovaných 42 dní tál průměrně 4,1 mm/d a sníh přírodní 7,5 mm/d. Mikloš et al., (2020) ve své práci uvádí průměrnou hodnotu tání zbylého sněhu na sjezdovce 9,5 mm/d během jednoho měsíce, kde vychází z měření pěti sezón ve skiareálu Košútka na jihu Slovenska. Výsledky není možné přímo porovnávat i z důvodů absence meteorologických údajů v této práci, které nebyly v době psaní práce ještě k dispozici.

V této práci bylo pro monitoring sněhové pokrývky využíváno měření pomocí GNSS stanic, či ruční měření lavinovou sondou a sněhoměrným válcem. Pro monitoring větších ploch by byly tyto metody velmi neefektivní. Proto se v těchto případech využívá metoda dálkového průzkumu země, o které ve své práci pojednává např. Lillesand at al. (2004), či projekt FLOREO (Flood Risk Earth Observation Monitoring), který se zabývá monitorováním sněhové pokrývky v České republice. Dálkový průzkum země umožňuje zpracovávání časových řad použitelných zejména pro sledování vývoje sněhových charakteristik a je možné monitorovat mnohem větší rozsah území. Pro účely monitorování sněhové pokrývky je navíc možné využít dat z většího počtu družic (FLOREO, 2007).

Na tuto práci již navazuje v sezóně 2021/2022 další měření ve Skiareálu Alšovka, kde byly tentokrát kromě znovu připravených ploch umělého a přírodního sněhu nainstalovány i tři lyzimetry, z čehož jeden se nachází přímo pod monitorovanou kupou umělého sněhu. Bude tedy možné pomocí člunkového průtokoměru monitorovat data v hodinovém kroku. Následné práce by se zde mohli zaměřit na srážkoodtokové modely.

## 7. Závěr

Práce si brala za cíl monitorovat experimentální plochy se sněhem přírodním a umělým ve Skiareálu Alšovka pomocí GNSS. Pravidelná měření v sezóně 2020/2021 probíhala od 12. února až po úplné roztátí sněhové pokrývky, a to do 14. dubna.

Měření se ukázalo jako efektivní. Úspěšně byla zdokumentována dynamika vývoje SWE a výšky sledovaných ploch. Dále pak byla prezentována rychlost tání umělého i přírodního sněhu.

V této práci lze ze všech hledisek považovat pro dané zájmové území za nejvhodnější interpolační techniku metodu Natural Neighbour.

Pro další výzkum je nutné důkladně zvážit strategii měření experimentálních ploch. Pro výpočet rychlosti tání bylo zásadní vycházet ze stále stejné monitorované plochy. Což v této práci nebylo možné z důvodů naměření vždy plochy odlišné. Muselo tak dojít k průniku naměřených oblastí z každého dne měření. Následně se počítalo z oříznutých ploch, u kterých již bylo ztraceno monitorování okrajů.

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

- ČERNÝ, M 2011: Jeden a pul roku zkušeností s provozováním sítě TRIMBLE VRS NOW CZECH – Sledování stability, zařazení do kampaně CZECH, měření v katastru nemovitostí. In Seminář s mezinárodní účastí, GNSS v geodetické praxi, Sborník referátů. Brno: ECON publishing, s. r. o., 2011. 80 s. ISBN: 978-80-86433-52-3.
- DARMOPILOVÁ 2014: GPS měření na polygonu Tetčice, Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Stavební, Ústav geodézie.
- DOUMIT, JEAN. 2015: Lebanese ski resort snow cover monitoring using remote sensing technologies.
- DURAND M. 2011: Snow Water Equivalent. In: Singh, V. P. et al. (eds.): Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Dordrecht, Springer: 1070–1071.
- FIXEL, J. 2000: Geodetická astronomie I. a základy kosmické geodézie, Brno: VUT FAST, 183 s. ISBN 80-214-1786-2
- FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J. 1971: Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. Sborník prací HMÚ, sv. 17, HMÚ, Praha, s. 22–126.
- GOOVAERTS, P. 1997: Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Applied Geostatistics. Oxford University Press, Inc., New York, USA, ISBN: 978-0-19-511538-3.
- HANCVENCL, R., HOLKO, L. 2019: Laminátový snehomer DOLFI – vývoj a porovnanie s meraniami inými snehomermi. Slovenský hydrometeorologický ústav, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, 7–8 s. ISBN 978-80-99929-01-3.
- HEFTY, J. – HUSAR, L. 2003: Družicová geodézia – Globálny polohový systém. Bratislava: Vydavateľstvo STU v Bratislave, 2003. 188 s. ISBN 80-227-1823-8.
- JACOBSON M.D. 2010: Inferring snow water equivalent for a snowcovered ground rector using GPS multipath signals. Remote Sensing, 2: 2426–2441.

- JANÁSKOVÁ, B. 2006: Ukládání a odbourávání sněhu ve vrcholové oblasti východních Krkonoš. *Opera Corcontica* 43, s: 57–80.
- JENÍČEK, M., (2011): *Základy hydrologie sněhu a ledu*. Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.
- Ježek, J. a kolektiv 2008: *Geostatistika: metody prostorových interpolací, Kriging*. UAMVT, PŘF UK Praha, Albertov 6, 128 43 Praha 2, učební texty; nepublikováno.
- JURAS, R., BAŠTA, P., PAVLÁSEK, J., GDULOVÁ, K. 2011: Stanovení plošného rozložení sněhové pokrývky na Stříbrném hřbetě pomocí GPS. *Česká zemědělská univerzita v Praze* s: 203–212.
- KELLER, T., PIELMEIER, C., RIXEN, C., GADIANT, F., GUSTAFSSON, D., & STÄHLI, M. 2004: Impact of artificial snow and ski-slope grooming on snow-pack properties and soil thermal regime in a sub-alpine ski area. *Annals of Glaciology*, 38, 314–318. doi:10.3189/172756404781815310.
- KRATOCHVÍL, V.; FIXEL, J. 2001: *Globální systém určování polohy – GPS Využití v geodézií*. Brno: Vojenská akademie v Brně.
- KŘÍSTEK, Š., SAMEC, P., RYCHTECKÁ, P., HOLUŠA, J. 2008: Numerická analýza časové a prostorové distribuce sněhové pokrývky v povodí Ostravice (Moravskoslezské Beskydy) v zimách 2005/2006 a 2006/2007. *Meteorologický časopis*, 11, 107–117.
- KŘÍSTEK, Š., UBAŇCOVÁ, N., HOLUŠA, J., TOMEČEK, P. 2011: Měření vlastností sněhové pokrývky v lese a mimo les. *Lesnický průvodce 2/2011 – certifikovaná metodika*. Strnady. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 75 s., ISBN 978-80-7417-044-7, ISSN 0862-7657.
- Larson K.M., Gutmann E.D., Zavorotny V.U., Braun J.J., Williams M.W., Nievin-ski F.G. 2009. Can we measure snow depth with GPS receivers? *Geophysical Research Letters*, 36, L17502, 5.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. 2004: *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, Hoboken, 763 s.



- LU, G. Y., WONG, D. W. 2008: An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences* 34, 1044–1055, 2008 copyright Elsevier Ltd.
- LUSTIGOVÁ, Z. 1998: Fyzika pro 6. a 7. ročník základních škol a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 80 s. ISBN 80-7168-512-7.
- MACHOTKA, Radovan a Jan FIXEL 2007: Geodetická astronomie a kosmická geodézie II: Modul 01: Kosmická geodézie [intranet] [cit. 2013-11-13].
- MARŠA, J., Družicový systém GALILEO 2005: Vývoj a současnost, , In: Seminář s mezinárodní účastí, Vývoj metod a technologií GPS v geodézii, Sborník referátů, Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, , 107 s., ISBN 80-86433-32-3.
- MIKLOŠ, M., IGAZ, D., ŠINKA, K., ŠKVARENINOVÁ, J., JANČO, M., VYSKOT, I. AND ŠKVARENINA, J. 2020: Ski piste snow ablation versus potential infiltration (Veporic Unit, Western Carpathians), *J. Hydrol. Hydromechanics*, 68(1), 28–37, doi:10.2478/johh-2019-0026
- PACCARD, P. 2010: Gestion durable de l'eau en montagne: Le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver. Thèse de doctorat de géographie. Université de Savoie, Chambéry, 480 s.
- QUITT, E. 1971: Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, Brno, 73 s. + 5 map.
- RAPANT, P. 2002: Družicové polohové systémy, VŠB – TU, Ostrava, 200 s. ISBN 80-248-0416-6. Dostupné z: <http://gis.vsb.cz>
- ŘEZNÍČEK, J. 2007: Současné činnosti zeměměřického úřadu v geodetických základech. In: Seminář s mezinárodní účastí, Aplikace družicových měření v geodézii, Sborník referátů. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 113 s. ISBN 978-80-86433-41-7.
- SAMBRIDGE, M., BRAUN, J., MCQUEEN, H. 1995: Geophysical parameterization and interpolation of irregular data using natural neighbours. *Geophysical Journal International* 122, s. 837–857.
- SINGH, P., SINGH, V. 2011: Snow and glacier hydrology. Kluwer Academic Publisher, London, 742p.

- SORTEBERG H.K., ENGESET R.V., UDNAES H.C. 2001. A national network for snow monitoring in Norway: snow pillow verification using observations and models. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial and Planetary Science*: 723–729.
- STANĚK, V.; HOSTINOVÁ, G.; KOPÁČIK, A. 2007: *Geodézia v stavebníctve*, Vydavateľstvo JAGA GROUP, s.r.o., Bratislava, 110 s. ISBN 978-80-8076-048-9 *Geodézia v stavebníctve*, vlastníci Staněk, Gabriela Hostinová, Alojz Kopáček.
- ŠMÍDL J., ŠANDA M., KULASOVÁ A. 2010: Kontinuální sledování sněhové pokrývky na povodí uhlířská, aplikace metody degreeday. In: Jiráček, J. (ed.): *XV. Medzinárodné stretnutie snehárov*. Kouty nad Desnou, Hrubý Jeseník. Praha, ČHMÚ: 35–43.
- ŠPULÁK, O., SOUČEK, J., ČERNOHOUS, V., (2012). Pozemní metody a technologie měření vodní hodnoty sněhu: review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57, 2012 (4): 304–313. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno.
- ŠNAJDROVÁ, M. 2009: Současný stav sítě CZEPOS, In: *Seminář s mezinárodní účastí, Družicová měření a sítě v geodézii*, Sborník referátů, Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 95 s. ISBN 978-80-86433-51-6.
- ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGEL, J., MACHOTKA, R. 2007: *Seminář GPS, HE09 Modul 01, Metodika GPS měření a vyhodnocení*, Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2007, 140 s. Dostupné na: [http://fast.darmy.net/opory%20-%20IV%20nMgr/HE09\\_M01-Semin%C3%A1%C5%99%20GPS.pdf](http://fast.darmy.net/opory%20-%20IV%20nMgr/HE09_M01-Semin%C3%A1%C5%99%20GPS.pdf).
- TARABA, P. 2007: Testování skutečné přesnosti produktu a služeb české sítě permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS, Sborník referátů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 113 s. ISBN 978-80-86433-41-7.

### **Internetové zdroje**

- ESRI. 2015: *ArcGIS for Desktop*. [Online] 2022. [Citace: 22. 2. 2015.] Dostupné z: [www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop](http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop).

FLOREO [on-line]. The European Space Agency. Dostupný na: [www.floreo.cz/](http://www.floreo.cz/)

GEOTRONICS Praha 2022: s. r. o. Trimble VRS Now Czech. GEOTRONICS Praha, s. r. o. [online]. Dostupné na: [www.geotronics.cz/specifikace-site](http://www.geotronics.cz/specifikace-site).

HERGESEL, O., 2017: Krakonošovi novodobí lyžníci: Na českých horách se točí miliardy (online) [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [www.euro.cz/byznys/skiare-aly-cr-lyzovani-investice-1327076](http://www.euro.cz/byznys/skiare-aly-cr-lyzovani-investice-1327076).

ŘÍHA 2014 <https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf>

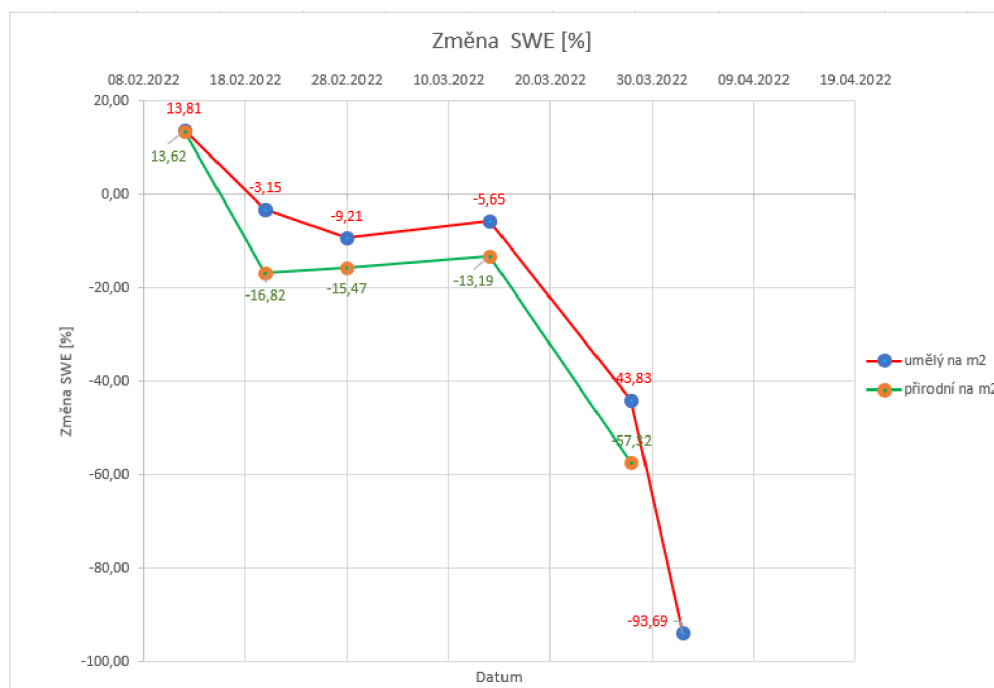
ZÁHOROVI, V. 2004: Chlazení trochu jinak- výroba technického sněhu (online) [cit. 2020-02-10], dostupné z <https://1url.cz/7zaXe>. ZEZULA, P., 2011: Historie výroby (technického) umělého sněhu část II. (online) [cit. 2020-02-10], dostupné z <https://1url.cz/Kzav7>.

Zeměměřický úřad 2022. CZEPOS, Síť permanentních stanic GNSS České Republiky, [online], Dostupné na: <http://czeapos.cuzk.cz/>

## 9. Přílohy



**Příloha 1: Fotodokumentace měření SWE (Fořt, 2022)**



**Příloha 2: Změny vodní hodnoty vzhledem k předchozímu měření (Fořt, 2022)**



**Příloha 3: Fotodokumentace ze spodní části sjezdovky s vyznačenými experimentálními plochami**  
(Fořt, 2021)





**Příloha 4: Fotodokumentace měření topologických bodů pomocí GNSS (Fořt, 2021)**