

**Mendlova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky

Mapování sněhového pole Mapa republiky pomocí bezpi-  
lotních létajících prostředků

Bakalářská práce

**2016/17**

**Zuzana Hendrychová**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci: **Mapování sněhového pole Mapa republiky pomocí bezpilotních létajících prostředků** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 4.5.2017

Podpis.....

Zuzana Hendrychová

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Tomáši Mikitovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, poskytování cenných rad a trpělivost. Dále chci poděkovat Ing. Přemyslu Janatovi, Ph.D. za pomoc s praktickým měřením přímo na sněhovém poli Mapa republiky. Chtěla bych poděkovat i své rodině za podporu při studiu zvláště pak své mamince Ing. Ludmile Hendrychové za pomoc s překlady článků z angličtiny. Děkuji i manželům Pawlikovým a Tomáši Pejchalovi za poskytnutí rad ohledně češtinářské stránky mé práce. Ing. Petru Vahalíkovi, Ph.D. za poskytnutí fotek z prvního měření. V poslední řadě patří mé poděkování Pavlu Cingrovi, členovi horské služby Krkonoše, který mě vzal s sebou na praktickou ukázkou měření sněhu horskou službou.

**Autor:** Zuzana Hendrychová

**Název:** Mapování sněhového pole Mapa republiky pomocí bezpilotních létajících prostředků

**Title:** Mapping snow field Map Republic using UAVs

**Abstrakt:** Od roku 1999 Správa KRNAP měří množství sněhu na sněhovém poli nazývaném Mapa republiky. Výsledkem je pak výška sněhu, která je kolmá na vodorovnou rovinu. Cílem této práce bylo mapování sněhu za pomoci bezpilotních létajících prostředků, které by se dalo využívat v těžko přístupných horských terénech. V praktické části jsme nejdříve třikrát s měsíčním odstupem změřili výšku sněhu a následně mračno bodů zpracovali v programu GIS (geografický informační systém).

Dalším cílem bylo vytvoření map výšek sněhů v jednotlivých měsících konkrétního roku a porovnání s jinými výsledky v dalších letech. Posledním krokem bylo zhodnocení využitelnosti této metody při mapování sněhu, možnosti a limity jejího dalšího použití.

**Klíčová slova:** bezpilotní létající prostředky, sníh, sněhové pole, Mapa republiky

**Abstract:** The KRNAP has been measuring the amount of snow on the snowfield known as the Map of the Republic since 1999. The result is the snow height that is vertical to the horizontal plane. The aim of this work was to test the snow mapping using unmanned flying means (UAVs) that could be used in hard-to-reach mountain terrains. We first recorded the snow height three times with a month interval and then we worked out the cloud of points in the GIS (geographic information system) program in the practical part of the work.

Another goal was to create maps of snow heights in individual months of a particular year, and compare these results with other years. It was also necessary to evaluate the usefulness of this method in mapping of the snow, the possibilities and limits of its further practical use.

**Key words:** UAVs, snow, snow field, Map of the Republic

# Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl práce.....	8
3	Přehled řešené problematiky.....	10
3.1	UAV.....	10
3.1.1	Typy dronů.....	10
3.1.2	Legislativa.....	13
3.2	Mapování sněhu.....	14
3.2.1	Použití malých bezpilotních systémů (UAS).....	14
3.2.2	Dřívější snahy o fotogrammetrické zaměření sněhové pokrývky.....	15
3.2.3	Studované území a data.....	15
3.3	Fotogrammetrie.....	17
3.3.1	Metodický přehled termínů.....	18
3.3.2	Základy.....	18
3.3.3	Kalibrace fotoaparátu.....	19
3.3.4	Snímek.....	19
3.3.5	Úprava svazku.....	19
3.4	Digitální modely terénu.....	20
4	Metodika.....	22
4.1	Lokalita.....	22
4.2	Přírodní podmínky Krkonoš.....	22
4.2.1	Krkonošský národní park.....	22
4.2.2	Geohistorický vývoj.....	23
4.2.3	Vliv člověka.....	23

4.2.4	Geologie.....	24
4.2.5	Geomorfologie .....	25
4.2.6	Půdy Krkonoš.....	25
4.2.7	Vodopis .....	26
4.2.8	Flóra a vegetace .....	27
4.2.9	Podnebí .....	27
4.2.10	Větrohoropisné systémy.....	27
4.2.11	Spodní alpínský (subalpínský) stupeň .....	28
4.2.12	Svrchní alpínský stupeň.....	28
4.2.13	Fauna Krkonoš .....	29
4.2.14	Krkonošská arкто-alpínská tundra .....	29
4.3	Metodika mapování sněhu HS .....	30
4.4	Metodika mapování sněhu KRNAP.....	31
4.5	Metoda mapování pomocí UAV .....	34
4.6	Zpracování dat.....	35
5	Diskuze .....	36
6	Závěr .....	39
8	Summary .....	40
	Použitá literatura a zdroje .....	41
	Přílohy.....	42

# 1 Úvod

Tématem mé práce je mapování sněhu na sněhovém poli Mapa republiky za pomoci bezpilotních létajících prostředků. Téma jsem si vybrala z mnoha důvodů. Od dětství se pohybuji v Krkonoších a mám tyto hory opravdu ráda. Proto jsem si jako místo své práce vybrala lavinový svah v Modrém dole se slavným sněhovým polem s názvem Mapa republiky. Lákala mě i představa, že se dostanu někam, kde se člověk běžně nesmí pohybovat, neboť Mapa leží v první zóně Krkonošského národního parku. Člověk, který není vědcem ani nepracuje ve Správě KRNAP, když zde měří sníh či provádí jiné vědecké práce, by se sem neměl dostat. Líbila se mi i možnost spolupráce s horskou službou Krkonoše. S Pavlem Cingrem, členem krkonošské horské služby, jsem byla na konci ledna 2017 měřit sněhové profily. Měří se na všech lavinových svazích a jde o měření vrstev sněhu a jejich stability. Díky praktické zkušenosti se mi lépe psala kapitola o metodice mapování sněhu horskou službou. Drony jsou poměrně novým prostředkem k mapování a mapování sněhu dronem bylo prozatím málo popsáno. Chtěla jsem vyzkoušet novou metodiku a popsat její výhody a nevýhody pro další uživatele.

Hodně let se odborníci ze správy KRNAP zabývají sněhovými podmínkami v nejvyšších místech Krkonoš, a to především kvůli výzkumu jediné tundry v srdci Evropy, která se na vrcholcích nachází. Sněhové i přírodní poměry v horních částech pohoří jsou ovlivňovány i větrohoropisnými systémy, které byly popsány poprvé právě v Krkonoších. Studovanými místy jsou lavinové svahy, kterých je zde přes třicet. Jedním z nich je i sněhové pole Mapa republiky, ležící na jižním úbočí Studniční hory.

V minulosti už proběhlo několik pokusů o měření výšky sněhu na tomto snad nejnámějším sněhovém poli v Krkonoších, ale nikdy nebyly výsledky dostatečně přesné. Vrstva sněhu, která v některých místech mohla dosáhnout až 15 m, zdeformovala jakékoliv tou dobou dostupné měřidlo. GPS a GIS daly teprve možnost sněhové pole přesněji zaměřit, a to nejen výšku sněhu, ale zároveň i jeho polohu.

## 2 Cíl práce

Cílem mé práce bylo vyzkoušet nový způsob mapování sněhu za pomoci bezpilotních létajících prostředků a zjistit jeho výhody či nevýhody.

Teoretická část zahrnuje přehled řešené problematiky, metodiku a diskuzi. Přehled řešené problematiky a jeho několik odstavců pojednává o dalším způsobu měření sněhu. Je jím mapování sněhu pomocí UAV na území Tasmánie. Obecně je popsáno, co jsou to bezpilotní létající prostředky a jak se dají využít k mapování. Následně jsou shrnuty výhody a nevýhody práce s drony. Poslední téma představují digitální modely terénu, a to včetně těch, které se vyskytují v České republice.

Metodika obsahuje popis zájmového území, přírodní podmínky, metodu mapování pomocí UAV, metodu mapování horskou službou, metodu mapování KRNAPem a zpracování dat. Popis zájmového území obsahuje rovněž údaje o lokalitě. Přírodní podmínky popisují KRNAP jako národní park, jeho geohistorický vývoj, vliv člověka, geologii, geomorfologii, půdy, vodopis, větrohoropisné systémy, spodní alpínský stupeň, svrchní alpínský stupeň, faunu a krkonošsko arкто-alpínskou tundru. Metoda mapování území pomocí UAV se zabývá měřeními a jejich výstupy. Další dvě kapitoly odhalují metodiku mapování sněhu, kterou používá horská služba a KRNAP. Posledním pododstavcem je zpracování dat, kde se vyskytují výsledky, mapy a jejich popis.

Diskuze obsahuje zhodnocení metodiky a její výhody či nevýhody.

Praktické měření znamenalo trojí měření sněhové pokrývky přímo na Mapě republiky. První proběhlo v březnu 2016 a kvůli nepříznivým povětrnostním podmínkám a oblačnosti bylo nutno jej o 14 dní později zopakovat. V tu dobu je na Mapě nejvíce sněhu a po ní už začíná proces tání. Další měření se uskutečnilo na konci dubna, kdy nám velmi dobře vyšly povětrnostní podmínky i oblačnost, a proto bylo území velmi rychle změřeno. Poslední měření se odehrávalo na začátku června, kdy na území ležely poslední zbytky sněhu. O týden později roztál poslední sníh. V posledním měření bylo potřeba zaměřit i povrch, abychom měli přesná data, která nám budou vstupovat do modelů výšky sněhu. Zpracováním dat v programu GIS nám pak vznikly 3 mapy výšek sněhu v jednotlivých



měsících. Ty jsme pak porovnali s výsledky z jiných let. Loňský rok byl, co se sněhu týče, spíše podprůměrný. Poslední zbytky sněhu na lokalitě roztály mnohem dříve než v předchozích letech.

## 3 Přehled řešené problematiky

### 3.1 UAV

Bezpilotní letadlo (někdy UAV z anglického Unmanned Aerial *Vehicle* nebo také dron z anglického drone) je letadlo, které nemá posádku a lze ho řídit na dálku nebo ovládat pomocí před programování leteckého plánu či pomocí složitějších dynamických autonomních systémů. Bezpilotní letadla využívá často armáda k průzkumným i útočným letům. Používají se také pro civilní úkoly – mapování terénu, natáčení akcí nebo hašení požárů.

První bezpilotní letadlo bylo z roku 1916 od profesora Archibalda Montgomeryho Lowa a jmenovalo se *Aerial Target*. Následoval rychlý vývoj a vznik mnoha letadel řízených na dálku, včetně Hewitt-Sperry Automatic Airplane, vyrobené během první světové války v USA.

Jedna z dalších možností využití může být fotografování ze vzduchu. Mezi tento typ počítáme také fotografie z RC modelů.

S miniaturizací všech technologií v 80. a 90. letech 20. století zájem o bezpilotní letadla vzrostl. První generaci tvořily spíše průzkumné letouny, ale některé na sobě nesly zbraň, jako třeba MQ-1 Predator, který obsahoval střely vzduch-země. (UAV,2017)

#### 3.1.1 Typy dronů

Drony se dělí do kategorií dle svého účelu, ke kterému byly vyrobeny, nebo podle konstrukce. Drony mohou být zřízeny za účelem vojenským či nevojenským. V posledních letech se čím dál více objevují drony pro volný čas. Běžné jsou i drony pro filmařské a fotografické účely. Dle konstrukce je dělíme na drony, které mají křídla stejná jako jsou u běžných letadel, anebo vrtule, kterým říkáme koptéry. Vrtule udržují celý stroj ve vzduchu. Koptéry pak dělíme dle počtu vrtulí. (Typy dronů, 2017)

## **Multikoptéry**

Multikoptéra, jak už sám název naznačuje, značí koptéru neboli vrtulník s kolmým vzletem, k čemuž má určitý počet vrtulí a motorů. Pro jednodušší označování konkrétních multikoptér platí, že se označují podle počtu vrtulí a motorů. Nejčastější jsou multikoptéry se čtyřmi vrtulemi (kvadrokoptéra), šesti vrtulemi (hexakoptéra) nebo osmi vrtulemi (oktokoptéra).

Při běžném uložení vrtule na ramenech vedle sebe platí, že sousední vrtule se točí opačným směrem. Vrtule s motory mohou být uloženy proti sobě, tudíž na 4 ramenech může být celkem 8 vrtulí/motorů. Obecně platí, že čím více vrtulí, tím větší bezpečnost přistání při náhodném poškození jednoho motoru/vrtule. Stejně tak platí, že s větším počtem vrtulí stoupá výkon dronu a zvětšuje se jeho stabilita pohybu ve vzduchu.

Výhodou multikoptér je, že je lze využít k manuálnímu létání, stejně tak k automatickému létání podle letových plánů, nebo k jejich kombinaci. Samotný vzlet i přistání jsou kolmé vzhůru nebo dolů, tudíž prostor potřebný ke vzletu i přistání je minimální a možný téměř kdekoli, včetně interiérů. Nevýhodou multikoptér je, že vydrží oproti letounům mnohem kratší dobu ve vzduchu, což způsobuje hlavně jejich výrazně větší hmotnost a náročnější pohyb ve vzduchu.

Dále je možné u multikoptér měnit snímací a jiné senzory, které jsou umístěny pod dronem buď na speciálním závěsu pohlcujícím vibrace, nebo přímo pod dronem. Na těchto závěsech je možné přes dálkové ovládání řídit pohyb senzoru až ve všech třech osách a montovat objekt nezávisle na trajektorii letu. Závěs dále doplňuje video vysílač napojený na obrazový senzor pod dronem, který umožňuje vysílání obrazu ze vzduchu v reálném čase na monitor s přijímačem nebo základní stanicí, které jsou umístěny na zemi. Tato metoda je velice často využívána k různému leteckému monitoringu v reálném čase.

## **Výhody využití**

- výrazně levnější provoz (oproti využití pilotovaných strojů)

- snadná manipulace a mobilita
- vysoká flexibilita nasazení strojů do akce
- možné použití na špatně přístupných místech
- online přenos obrazu z dronu na velkou vzdálenost
- vysoké rozlišení fotek a videí
- potenciální výhody při pořizování specifických dat ve spojení s různými mikro senzory
- nízká hlučnost provozu
- využití za nízké oblačnosti
- možné využití v určitých interiérech

### **Nevýhody využití**

- krátký dolet, jen několik km
- krátký letový čas, pouze v jednotkách minut
- malá nosnost, pouze pár kg
- v každé zemi jiné legislativní předpisy ohledně dronů

### **Využití pro mapování**

Drony vyvinuli původně pro letecký monitoring a mapování různorodých území. Proto jsou velké možnosti v jejich komerčním využití pro mapování.

Letecké mapy se díky dostupností na mapových serverech, jako jsou Google nebo Bing, staly velice oblíbené v zahraničí i u nás a spousta lidí se je naučila využívat, pokud plánuje trasu. Letecká mapa zobrazuje kolmý pohled na přírodní památky, zástavbu a celý svět, ukazuje nám hledané místo v podobě shora a usnadňuje nám tak orientaci v terénu.

Letecké mapy – ortofota, vznikají nejčastěji z pořízených kolmých leteckých fotografií ze speciálních velkoformátových leteckých kamer, které dosud pořizovaly speciální pilotovaná letadla nebo družice. Tomu také odpovídalo obrazové rozlišení těchto ortofotomap, které se pohybovalo u družic kolem půl metru a u letadel 20 centimetrů. Samozřejmě v komerčním mapování je možné z letadla při speciálních podmínkách dosáhnout obrazového rozlišení ortofotomapy až 3 cm na pixel, což ale způsobuje vyšší cenu takové mapy.

Letecké mapování z dronů lze využít například pro:

### **Aktuální letecké mapy**

- ortofotomapy s vysokým rozlišením
- pro účely marketingu
- pro správu areálů
- aktualizace podkladů map
- podklady pro projektanty staveb

### **Krizové události**

- mapování škod, které se staly při nějaké přírodní katastrofě
- preventivní mapování opakované po určitém časovém úseku

### **Geografické informační systémy**

- databázové prvky digitálních map s podklady pro vyhodnocení

### **3 D modely a digitální modely**

- 3 D modely pro marketing a digitalizaci
- náhrada nebo doplnění geodetického zaměření
- modely vrstevnicové a výškové
- analýzy prostoru
- výpočty objemů prvků v terénu

#### **3.1.2 Legislativa**

Jakékoliv civilní využívání vzdušného prostoru a provoz letadel podléhá v ČR zákonu č. 49/1997 Sb., o civilním letectví, ve znění pozdějších předpisů (dále pouze „zákon o civilním letectví“). Dle jeho § 2 odst. 2 se pro účely tohoto zákona nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 20 kg. Provoz modelů letadel tak podléhá především občanskému zákoníku, ze kterého vyplývá odpovědnost pilota. Dne 1. března 2012 však vešel v platnost Doplněk X předpisu L2 dle ustanovení § 102 odst. 2 zákona o civilním letectví, který již zavedl pojem "bezpilotní letadlo", pro jehož

provoz stanovil podmínky přibližující se ke zvyklostem v pilotovaném letectví, a velmi striktně tak oddělil modelářské aktivity od komerčního využití dálkově ovládaných strojů.

Dálkově ovládané letadlo využívané pro čistě sportovní, soutěžní a rekreační účely je nazýváno modelem letadla. Pro úplnost je potřeba dodat, že pojmy bezpilotní letadlo, bezpilotní prostředek, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) a jeho zkrácená podoba UA (Unmanned Aircraft), někdy RPA (Remotely Piloted Aircraft) a nově i z angličtiny přejatý pojem dron (drone), jsou víceméně synonyma a platí pro ně v Doplnku X stejná definice jako pro bezpilotní letadlo.

Doplněk X stanovuje závazná pravidla pro provoz všech bezpilotních letadel nebo modelů letadel se vzletovou hmotností nad 20 kg, pro modely letadel jsou z něj vyplývající letová omezení pouze doporučením. Dohled nad veškerým provozem ve vzdušném prostoru ČR včetně dohledu nad letadlovou technikou a piloty provádí Ministerstvem dopravy zřízený Úřad pro civilní letectví ČR (ÚCL). (Karas, Tichý, 2016)

## **3.2 Mapování sněhu**

### **3.2.1 Použití malých bezpilotních systémů (UAS)**

Bezpilotní létající systémy mají čím dál tím větší možnosti i využití v různých vědeckých činnostech. Důvody pro jejich pořízení mohou být různé, mimo jiné třeba nižší náklady na provoz, neboť je jednodušší udržovat UAS než snímkovací letadlo s posádkou. Pro vědecké měření na místní úrovni jsou UAS ideální hlavně díky datům s vysokým rozlišením.

Možnosti UAS v současném výzkumu tvoří také průzkumy v archeologii, půdní sesuvy kvůli deformacím povrchu, posuny ledovců a mapování vegetace. Díky snížení hmotnosti a celkovému zmenšení laserových skenerů je možné mít mapovací systém LIDAR s přesností dat pro vědecké účely a s hmotností do třech kilogramů.

UAS opět pozvedlo zájem o fotogrammetrické metody. Studie obsahují využití technik s optimalizovanou úpravou svazku (BA) a generují vysokou hustotu 3 D mračen bodů. Ve

srovnání s jinou vzdušnou plochou lze využít zvýšeného rozlišení díky nižší letové výšce provozu UAS. Spolehlivost metodiky roste též se zvýšením rozlišení některých lesnických metrik.

Mnou provedený výzkum je prvním pokusem o spojení fotogrammetrických metod, mapování sněhu a měření za pomoci UAS na lavinových svazích na území České republiky.

### **3.2.2 Dřívější snahy o fotogrammetrické zaměření sněhové pokrývky**

Dříve se povrch sněhu mapoval ze snímků ze vzdušných platform za pomoci fotogrammetrických technik. Fotogrammetrický způsob neměří přímo hloubku sněhu, nýbrž je založen na dvou mračnecích bodů. První odpovídá zemi a druhé povrchu sněhu, přičemž tyto dvě položky se následně od sebe odečítají. Odečtem obou mračen od sebe dostaneme hloubku sněhu. Oba jsou založeny na instalaci dřevěných měřičských kúlů. Výšku sněhu lze stanovit i na nespojitých místech, ale je potřeba ji dopočítat a dodat do programu ručně. Přesnost měření výšky sněhu byla zatížena značnou chybou (24 cm). Pro střední zaujatost 15 cm se odstranění provádělo z různorodých povrchových bodů. Poté šlo určit výšku sněhu s přesností na 21 cm. Studie jsou z roků 1965 a 1967, ale stále jsou vodítkem a zároveň prostředkem ke zdokonalení.

Všechny předchozí studie s využitím fotogrammetrických metod se spoléhaly na fotoidentifikovatelné kontrolní pozemní body (GCP), které se rozmístí po celé ploše pro určení polohy a parametry orientace centra fotoaparátu přes svazek paprsků (BA). Následně došlo i k průzkumu možnosti palubního GPS s aerotriangulací. S příchodem UAS dochází ke změně, protože se body měří spíše na obloze než na zemi. Většina měření se uskutečňuje s metrickými kamerami a s vysoce přesnými inerciálními navigačními systémy. Pro tuto studii se spoléháme na spotřebitelský stupeň COTS digitálních fotoaparátů. Výhody přímého přístupu jsou v tom, že sněhová výška může být vyřešena bez GCP.

### **3.2.3 Studované území a data**

Území se nachází v centrální Tasmánii v národním parku Mount Field v nadmořské výšce okolo 1150 m nad mořem. Horské prostředí představuje výzvu pro fotogrammetrické

měření mnohem větší než měření v rovinatém terénu. Studovanou plochu vyznačují nejen silný sklon ve výšce, ale i hustá vegetace nebo skalnaté podloží.

V Tasmánii padání sněhu ani jeho nahromadění nelze předvídat. První sada dat byla pořízena v půlce července roku 2013. Kvůli podmínkám pro let UAS byla data pořizována na východní straně Mt. Mawson. Velikost mapované oblasti je okolo 0,007 km<sup>2</sup>. Na mapované plochu bylo rozmístěno 31 bodů za účelem nezávislého ověření. Vlícovací bod tomto případě může být černo bílá tabulka kruhového tvaru s po čtvrt kole se střídajícími barvami o průměru 45 cm. Je třeba ji umístit na plochu a polohově zaměřit za pomoci GPS. Přesnost naměřených souřadnic dosahovala 2-4 cm.

Hloubka sněhu byla měřena jako sledování GPS pozic na povrchu sněhu a na povrchu terénu. Bylo uskutečněno třicet sedm pozorování na celé ploše.

Hloubky sněhu se pohybovaly od 33 do 121 cm s odchylkou 68,1 cm nebo 24,4 cm. Málokteré měření bylo provedeno v závějích, kde sněhová pokrývka přesahovala 1 m. Technika je problematická z důvodu neviditelnosti porostu pod povrchem.

UAS užitá ve studii je na elektrický pohon a má více rotorovou plošinu. Octopter vyvíjela na Tasmánské univerzitě speciální skupina a byl upraven tak, aby se přizpůsobil sadě senzorů, které byly užity ve studii. UAS s rotorem zvyšuje stabilitu a ovladatelnost v porovnání s jinými platformami. Rozmazání obrazu lze snížit díky rozložení zatížení na tuhém rámu, který je mimo vibrace motoru. UAS má osm střídavých motorů, které pracují za různých rychlostí pro dosažení směrového letu. Celkový náklad tvořil senzor, který měl zajistit sběr dat s délkou letu okolo 3 minut. Mezi 11-14 hodinou byla ideální doba, kdy bylo možno minimalizovat efekty stínů.

Pro sběr snímků bylo použito digitální zrcadlovky Canon 550 D s pevným objektivem a ohniskovou vzdáleností 20 mm. Nadmožská výška a rychlost letu v UAS způsobuje snížení hustoty vzorkování obrazů. Kamera byla kalibrována před letem za použití standardních metod. Vnitřní parametry zahrnují neznámé v úpravě svazku. Fotoaparát a objektiv kalibrujeme s dostatečnou přesností pro vnitřní parametry orientace v pozorování s malými nejistotami měření.



GPS pozorování polohy kamery byly zaznamenány při 20 Hz na obou frekvencích L1 a L2 pomocí Novatel OEMV1-df přijímače. Přesnost 2-3 cm byla dosažena díky diferenciálnímu zpracování. Jde o předpovězené hodnoty, jak je možné ověřit správnost řešení, když je plošina v pohybu. IMU neboli inerciální měřicí jednotku, odebíráme za pomoci mikroprocesoru 3DM-GX3 35 IMU, které zaznamenává úhlovou rychlost a zrychlení rychlostí 100 Hz. Zrychlení a úhlové rychlosti datových proudů byly časově synchronizovány s vestavěným přijímačem GPS, což poskytuje polohu a orientaci dat potřebných pro metody seřizování svazku. Fúze dat IMU s pozorováními z přijímače GPS bylo provedeno v rámci Sigma Point Kalman hladší s cílem překonat přítomnost velkých chyb orientace, které jsou převládající při použití MEMS-IMU senzory.

Jednou z výhod UAS je jejich dostupnost a přístupnost prostřednictvím COTS senzorů. (Mapování sněhu, 2017)

### **3.3 Fotogrammetrie**

Fotogrammetrie je metoda měření a vyhodnocování metod dálkového průzkumu, ze kterých je možné zjišťovat polohu v prostoru nebo trojrozměrný tvar fotografií a přesných měřicích snímků objektu. Za normálních okolností jsou snímky pořízeny za pomoci speciálních měřicích kamer.

Poprvé se fotogrammetrie začala užívat v roce 1990, přičemž se oddělila od geodzie a spadá pod metody dálkového průzkumu Země. Jako většina metod dálkového průzkumu Země je fotogrammetrie pasivní dálkové snímání, protože umožňuje bezkontaktní rekonstrukce trojrozměrných předmětů. Objekty snímáme v přirozeném světle a z mnoha různých poloh kamery.

#### **Úkoly fotogrammetrie**

Kamery zaznamenávají a vyhodnocují původní fotografické snímky měření pro stanovení struktury, tvaru a umístění jakéhokoliv předmětu. Dnešní optoelektronika dovoluje zpracovat digitální obraz díky inovativním snímacím zařízením, výpočetní technice a digitálním velkokapacitním paměťovým zařízením. Geodzie je hlavní oblastí, ve které se fotogrammetrie používá.

Další využití může být i v oblasti výroby map, výroby digitálních modelů GIS krajiny a třeba i pro speciální úkoly v lékařských aplikacích nebo architektuře.

Ve vysokých horách a při inženýrských měřeních se využívá pozemní fotogrammetrie, kdy jde o snímání zemních pevných bodů. V aerofotogrametrii se nasnímané body využívají pro tvorbu topografických map. Po započítí využití stereofotogrammetrie je možno měření více obrazů odlišit.

Negeodetické aplikace zahrnují měření architektury a uměleckých děl, také balistiky (viz satelitní fotoaparát), zemědělství, lesnictví, radiologii a konstrukční a technické experimentování.

### **3.3.1 Metodický přehled termínů**

Troj rozměrný prostor udává lokalizační souřadnice bodů objektu v 3 D prostoru. Obraz koordinuje určité umístění obrazu objektu bodů na fotografické desky, film nebo elektronickým zobrazovacím zařízením. Exteriér orientace fotoaparátu se odkazuje na jeho umístění v prostoru, jakož i jejich zorném poli. Vnitřní orientace určuje na obrázku příslušné parametry kamery.

Nejdůležitější z těchto parametrů je ohnisková vzdálenost čočky, která zahrnuje i popis zkreslení objektivu k ní.

Každá ze čtyř hlavních proměnných může být viděna jako podmínka nebo jako důsledek fotogrammetrické metody. Jednotlivé způsoby jsou popsány v následujících částech.

### **3.3.2 Základy**

Cílem fotogrammetrického vyhodnocení je obnovit prostorové umístění obrazů k sobě, ve kterém byly umístěny v době záznamu. Tato obnova je prováděna v souladu se zákony o centrální projekci. V zásadě je možné provést tento výpočet v jednom kuse v průběhu společné úpravy, výrobní technologie, nicméně tento výpočet je procesem rozděleným do několika samostatných kroků. Můžeme je dělit do těchto druhů orientace: Absolutní orientace: V dané lokalitě je transformujeme do známých bodů za pomoci Helmertovy transformace modelové souřadnicové sítě.

Vnější orientace: Na rozdíl od relativní orientace, ve které se provádí pouze vzájemná obnova prostorové polohy dvou obrazů, vnější orientace umožňuje prostorově jednoznačné rekonstrukce polohy obrazu v záznamu.

Vnitřní orientace: Aby bylo možné měřit v obraze, musí být známo, kde se hlavní bod (v ideálním případě ho najdeme na středu obrázku) vyskytuje. Tento bod je tvořen tryskou, postavením kolmo k rovině objektivu přes kontaktní místo v obraze. Tento bod, a náhodně i komorová konstanta a zkreslení objektivu je určena měřením a umožňuje transformaci měřeného bodu.

### **3.3.3 Kalibrace fotoaparátu**

Při kalibraci kamery, zobrazovací vlastnosti, takže je vnitřní orientace kamery a vnější orientace jsou vypočteny ze známé zobrazování a 3 D souřadnic objektu bodů.

### **3.3.4 Snímek**

Měřený obraz určí přesné souřadnice objektu bodu v obraze. V nejjednodušším případě se měření souřadnic provádí ručně. Dělení probíhá na negativní nebo pozitivní, poloha předmětu zájmu bodu od člověka s měřicím zařízením je určena. Vzhledem k tomu, že tato metoda je velmi náchylná k chybám a pomalou počítačovou metodou pro vyhledávání a měření objektů, v obrazech se dnes používají téměř bez výjimky. Tyto metody se používají pro digitální zpracování obrazu a rozpoznávání vzorů. Jeden může zjednodušit tyto úkoly pomocí umělých značek signálu. Ty mohou být identifikovány pomocí automatických metod a velmi přesně umístěn na 1/50 až 1/100 obrazových bodů v obraze.

### **3.3.5 Úprava svazku**

Konstruktivní fotogrammetrie je nejdůležitější způsob fotogrammetrie. S ním lze vypočítat všechny neznámé množství v kolinearitě rovnic hrubých aproximací pro vnější i vnitřní orientaci současně. Tato metoda je nejčastěji používanou metodou fotogrammetrie pro statické měřené objekty. Hlavní výhoda spočívá v možnosti souběžné kalibrace. To znamená, že měřicí kamera je kalibrována během vlastního měření. Měření a kalibrování

jsou tak totožné, což snižuje úsilí potřebné k měření a současně zaručuje, že měřením je fotoaparát vždy kalibrován.

Úpravy svazku vychází, jak již název napovídá, na bloky běžné výpočetní svazku. Z teoretického strany, to je přísnější postupy ve srovnání s kompenzací modelu bloku. Pořízení výstupních dat, je však jednodušší. Další výpočet pomocí modelování, dokud není absolutní orientace provádí v jednom proložení křivky. Výzva pro čísla jsou však mnohem vyšší než v kompenzaci modelu bloku: normální rovnice nejsou rozpadnout a počet neznámých je až několik tisíc výrazně vyšší. (Fotogrammetrie,2017)

### **3.4 Digitální modely terénu**

Digitální model terénu, který neznamena to samé jako anglický výraz *digital terrain model*, je obecným konceptem pro digitální reprezentaci terénního reliéfu nebo povrchu.

Zjednodušená definice pro digitální model terénu je množina reprezentativních bodů, linií a ploch uložená v paměti počítače a algoritmus pro interpolaci nových bodů nebo pro odvození bodů z jiných zdrojů. Správně dělíme digitální modely terénu na:

DMP je modelem terénu, který zahrnuje vegetaci a budovy.

DMT představuje geometrický popis reliéfu terénu.

Zdrojem dat mohou být geodetická měření, fotogrammetrie, radarová data neboli interferometrie a vrstevnice na mapách.

V České republice můžeme ze starších modelů najít: DMR 1, DMR 2, DMÚ 200, DMÚ 25 (podrobností srovnatelný se ZABAGED)

ZABAGED vrstevnice 3 D – Výškopisnou část tvoří 3 typy vrstevnic s intervaly 1,2 a 5 m. Má i další výškopisné prvky klasifikované body a hranami.

DMR 4G – Digitální model reliéfu České republiky 4. generace. Přirozený nebo upravený povrch s výškovými body v pravidelné síti 5x5 m. Model z dat díky metodě leteckého laserového skenování v letech 2009-2013.

DMR 5G – Digitální model reliéfu České republiky 5. generace. Přirozený nebo upravený povrch s výškovými body v nepravidelné trojúhelníkové síti. Z dat leteckého laserového skenování mezi lety 2009-13. Základním zdrojem pro tvorbu vrstevnic pro mapy velkých měřítek.

DMP 1G – Digitální model povrchu 1. generace. Zatím není dostupný

GEODIS – Je komerčním systémem. Využívá ho státní správa. (Digitální modely terénu, 2017)

## **4 Metodika**

### **4.1 Lokalita**

Lavinový svah v Modrém dole zahrnuje nejznámější sněhové pole v Krkonoších, které mnoho turistů zná jako Mapu republiky. Věhlas této lokality je dán polohou – nachází se na turisticky frekventovaném místě, viditelností – je možné ho spatřit z mnoha směrů a má dobře zapamatovatelný tvar. Zajímavostí je velké množství sněhu na jižním svahu, které je možné v některých letech vidět až do léta. Mapa republiky leží přibližně v místech, kam sjíždějí rozsáhlé laviny. Je to útvar zajímavý nejen pro turisty, ale i pro badatele z různých oborů. Tento útvar můžeme pozorovat převážně od druhé poloviny května do začátku června. Nejvíce se sněhové pole podobá prvorepublikové mapě. Obrys Čech zůstává z celé mapy nejdéle. Mapu můžeme najít na jižním úbočí Studniční hory v Modrém dole. Spodní část má nadmořskou výšku 1440 m n. m. a horní část 1470 m n. m. Dochází zde k nahromadění sněhu, kde délka sněhového pole dosahuje asi 300 m a šířka 100 m. Pole se rozpíná od jiho-východního svahu Luční hory přes dolní okraj Kamenité stráně po jižní svah Studniční hory. Poslední sníh zde můžeme najít na přelomu července a srpna, výjimečně i v září.

Přesné zaměření výšky sněhu se podařilo až po roce 2000 s rozvojem GPS technologií. Od té doby se měří každoročně a za zimu s dobrými sněhovými podmínkami je možno naměřit i 15 m sněhu. Vítr hromadí sníh na území po celou zimu. (Šebesta, 1978)

### **4.2 Přírodní podmínky Krkonoš**

#### **4.2.1 Krkonošský národní park**

Krkonošský národní park byl založen v roce 1963 a v roce 1991 se přehlásil dle nových legislativních pravidel. Rozloha včetně ochranného pásma činí 550 km<sup>2</sup>. Péči o národní park zajišťuje Správa KRNAP (Krkonošského národního parku) sídlící ve Vrchlabí. KR-

NAP a jeho ochranné pásmo se rozkládá na území okresů Trutnov, Semily a Jablonec nad Nisou. Východní část je v kraji Královéhradeckém a západní část v kraji Libereckém.

Národní park se dělí na tři zóny s rozdílným ochranným režimem.

- **I. zóna KRNAP** nazývaná přísně přírodní, se nachází v nejvyšších částech pohoří a má rozlohu 6 984 ha
- **II. zóna KRNAP** nazývaná řízená přírodní, navazuje pásem kolem alpské hranice lesa na I. zónu a má rozlohu 9 836 ha
- **III. zóna KRNAP** nazývaná okrajová, má rozlohu 19 507 ha a je ve středních a nižších polohách v Krkonoších.

Zvláštní ochranný režim mají území mimo hřebeny Krkonoš s významnými přírodními zajímavostmi, například přírodními památkami – Lom Strážné, Slunečná stráž nebo Sklenářovické údolí.

**Ochranné pásmo** nespadá do území KRNAPu, ale je přechodem mezi III. zónou a volnou krajinou Podkrkonoší.

Zonace chce zachovat maximální ochranu přírodních hodnot Krkonoš a umožňuje jejich zpřístupnění a k přírodě šetrné využití pro turistiku a sport. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.2 Geohistorický vývoj**

Starší prvohory a starohory byly geologickými počátky Krkonoš. Krkonoško-jizerské krystalinikum vzniklo díky horotvorným pochodům přibližně v této době. Současná podoba Krkonoš, jak je známe dneska, byla vytvářena řadou faktorů, jako bylo druhohorní zvětrávání, třetihorní alpské vrásnění a potom vodní eroze a opakované zalednění ve čtvrtohorách. Nejvíce za posledních tisíc let ovlivnil krkonošskou krajinu člověk. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.3 Vliv člověka**

V podhůří docházelo k osidlování v době 12.-14. století a po něm se začaly těžit nerostné suroviny jako železná, měděná, arsenová či stříbrná ruda. Krkonošská sídla se díky těžbě nerostných surovin začala vyvíjet.

Významný podíl na rozvoji měla nejen těžba, ale i sklářství. Obojí ale napomohlo devastaci horských lesů. Těžba byla přesunuta do sousedních hor a krkonošští horalé přešli na zemědělství a budní hospodářství.

Do hor se během třicetileté války ukrývali obyvatelé Podkrkonoší. Tak začala vznikat nová sídla kolem horní hranice lesa. Konec války znamenal změny mezi majiteli jednotlivých panství. Chov dobytka se rozšiřoval a stal se pro zdejší obyvatele hlavním zdrojem obživy. Nad horní hranicí lesa se začalo sklízet seno a využíval se též pro pastvu. Tak se pomalu začalo formovat budní hospodářství. Díky němu vznikla většina bud, která slouží jako restaurační či ubytovací zařízení dodnes. První boudy začaly vznikat během 17. století. Louky a pastviny nahradily kosodřevinu. Horní hranice lesa byla snížena někde až na 1000 m n. m.

Rozvoj turistiky byl zahájen díky rozvoji budního hospodářství. Turistika začala poškozovat vrcholky hlavně v 19. a 20. století. Postupně se přišlo na to, že by bylo dobré přírodu v Krkonoších chránit. Na polské straně byl v roce 1959 založen Karkonoski Park Narodowy. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.4 Geologie**

Krkonoše spolu s Jizerskými horami tvoří geologický komplex tzv. krkonošsko-jizerského krystalinika, který je budován starohorními a prvohorními krystalickými břidlicemi (zejména svory, fylity a ortorulami) o stáří 600 milionů až jedné miliardy let. Z dalších hornin se na stavbě Krkonoš podílejí křemence, krystalické vápence a v menší míře i třetihorní čedič, které i přes malý rozsah mají velký význam pro utváření reliéfu a vegetace. Na jižním okraji Krkonoš se krkonošsko-jizerské krystalinikum noří pod zemský povrch a je překryto různými sedimenty mladšího geologického stáří, zejména usazenými permokarbonskými horninami.

V karbonu proniklo pod starší horniny mohutné žulové těleso, kterému říkáme krkonošsko-jizerský pluton. Tvoří Slezský (hraniční) hřbet Krkonoš od úpatí Sněžky po Harrachov, téměř celé Jizerské hory a polské svahy Krkonoš. S jeho existencí je spojen vznik tvrdého kontaktního pásma, majícího zásadní vliv na další vývoj reliéfu některých částí



hor, a zvláště na kontaktu s karbonátovými horninami se vytvořila některá krkonošská ložiska nerostných surovin. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.5 Geomorfologie**

Krkonoše jsou geologicky velmi starým pohořím, nicméně jejich geomorfologický vývoj a modelaci lze sledovat teprve v období třetihor a čtvrtohor. Nejstaršími dochovanými zbytky někdejšího reliéfu jsou třetihorní zarovnané povrchy v podobě dvou rozlehlých náhorních planin západních a východních Krkonoš.

Pohoří se zvedlo po třetihorním alpínském vrásnění, a to vedlo k říční erozi, řeky se díky tomu začaly zahlubovat a rozdělily povrch Krkonoš do podoby několika rozsoch a sítě hlubokých údolí řek. Severní i jižní svahy byly modelovány každý jinak.

Doby ledové a meziledové přemodelovaly vyšší polohy Krkonoš jako ledovcové kary, sněžníky, trogy a ledovcová údolí. Ledovcové morény a jezera dokazují střídání opakovaného zaledňování a tání. Typický jehlanovitý tvar Sněžky je díky ledovcové, mrazové a říční erozi.

Nejvyšší polohy neměly nikdy trvalé zalednění, ale mráz nebo led a sníh pomohly vzniku zvláštního typu reliéfu, který je jedinou tundrou v srdci Evropy. Kryoplanační terasy, mrazové půdy, tory a skalní hradby, thufury, girlandy, putující kamenné bloky, periglaciální sutě či soliflukční valy představují geodiverzitu, kterou jsou Krkonoše daleko široko proslulé. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.6 Půdy Krkonoš**

Ze zemské kůry a organické hmoty se kvůli půdotvorným procesům vyvinul půdní povrch.

Půda je výrazně výškově zonální a kvalitu ovlivňuje zejména kyselé, minerálně chudé geologické podloží a vlhké a chladné klima. Hnědozemě se vyskytují převážně v nejspodnějších polohách, výše pak humusové a rašelinné podzoly a podzolové rankery, na vápencích se zde vyskytují rendziny a na nejvyšších vrcholech mráz třídí kamenité a mělké alpínské půdy. V údolích řek převládají glejové nebo oglejené nivní půdy. Raše-

linné půdy se vyskytují na vrchovištních rašeliništích a jejich mocnost není větší než 2-3 m. Je to přirozené místo pro tundrové druhy. Jsou zároveň i přírodním fenoménem. Svahy Krkonoš modelují zemní laviny a mohutné sesuvy půd. Imisní kalamita, která se udála v 70.- 90. letech minulého století, způsobila zhoršení kyselosti krkonošských půd. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.7 Vodopis**

Významné středoevropské toky pramení právě v Krkonoších. Slezský hřeben tvoří rozvodí mezi Baltským a Severním mořem.

Srážky ze západní části odtékají Labem do Severního moře. Polská strana míří do Baltského moře díky Odře.

Říční síť Krkonoš má stromovité uspořádání a má původ již ve třetihorách. Mají prudký spád a nevyrovnaný podélný profil, kde se střídají úseky s větším a menším sklonem. Na české straně tvoří říční síť přes 140 vodních toků, jejichž vody sytí 7 velkých krkonošských řek – Jizeru, Mumlavu, Jizerku, Labe, Bílé Labe, Malé Labe a Úpu. Říční síť polských Krkonoš je chudší a kratší a tvoří jí 31 vodních toků. Mezi hlavní patří Kamienna, Podgórna, Wrzosówka, Łomniczka, Łomnica a Jedlica.

Krkonošským veletokem je Labe, které má pramen na Labské louce v západních Krkonoších ve výšce 1 387 m n. m. Od pramene až k ústí do Severního moře má Labe délku 1 062 km.

Nejhezčími vodopisnými útvary jsou vodopády (např. Pančavský a Labský vodopád, Horní Úpský vodopád, na polské straně Wodospad Kamieńczyka a Szklarki). Pokud půjdeme za Luční boudou na polskou stranu Krkonoš, dojdeme ke dvěma ledovcovým jezerům – Wielki a Mały Staw (s hloubkou 24 m a 7 m). V korytech Mumlavy, Jizery a Labe nalezneme tzv. hrnce a kotle, které modeluje prudce pádící voda. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.8 Flóra a vegetace**

Krkonošská flóra patří do oblasti středoevropské lesní květeny (Hercynicum) a společně s Rýchorami patří do podoblasti sudetské flóry (Sudeticum). Hercynská pohoří mají květenu výrazně chudší ve srovnání s alpskými a karpatskými pohořími. Krkonoše jsou v tomto směru výjimkou, vzhledem ke své významné biogeografické poloze. V minulosti došlo v oblasti Krkonoš k opakovaným setkáním severské, alpské a středoevropské květeny. Druhová rozmanitost krkonošské květeny je nejvyšší ze všech okolních středoevropských pohoří a vyznačuje se vysokým zastoupením glaciálních reliktních a endemických druhů.

Flóra cévnatých rostlin Krkonoš obnáší přes 1200 taxonů (424 rodů ze 105 čeledí). Z nich přibližně dvě třetiny jsou v Krkonoších původní a zbytek je nepůvodních. Ty se do Krkonoš dostaly v průběhu různých etap osídlování a využívání pohoří. Flóru mechů tvoří 500 druhů mechorostů (150 druhů mechů a 350 druhů játrovek), roste tu přes 250 druhů lišejníků a více než 1000 druhů hub. Fytocenologové odtud uvádějí 100 rostlinných asociací z 20 vegetačních tříd, 23 vegetačních řádů a 43 vegetačních svazů. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.9 Podnebí**

Nejvyšším hercynským pohořím jsou právě Krkonoše. Rozkládají se těsně nad 50. rovnoběžkou s. š. Tvoří přirozenou zábranu pro větry západního proudění od Atlantiku. Proto jsou zde nízké teploty a vysoká vlhkost. Klima je typicky horské a drsné a má oceánický charakter. Dochází tu k výraznému střídání ročních období a je větší a rychlejší proměnlivost v čase. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.10 Větrohoropisné systémy**

Díky západnímu proudění vzduchu od Atlantského oceánu ve spojení se západovýchodním uspořádáním hlavních krkonošských hřbetů a údolí dochází k existenci zvláštního přírodního jevu. Větrné proudy, stoupající návětrnými údolími Mumlavy, Bílého Labe nebo Dolského potoka, zvyšují díky zužujícím se profilům údolí svou rychlost, a to i při proudění nad náhorními plošinami Labské, Pančavské, Bílé a Čertovy louky.

Silné větrné proudy pak přepadají za vzniku mohutných turbulencí do závětrí ledovcových karů Kotelních, Labských, Sněžných a Studniční jam, do Úpské jámy či jam Stawů. Po tisíciletí proudí tyto lokální větry stále stejnými cestami a zásadním způsobem tak ovlivňují rozmístování dešťových a sněhových srážek a tvorbu sněhových lavin. Lavinové svahy jsou proto trvale bezlesé, je zde světlo, slunce, závětrí a dostatek vlhkosti z dlouhodobě ležících sněhových polí. Větry však transportují z návětrí do závětrí také semena rostlin, drobné živočichy a částičky půdy z blízkých i vzdálenějších míst. V závětrí ledovcových karů tak funguje jakési „biologické smetiště“, tvořené nejpestřejší přírodou z celého pohoří. V odborné literatuře je tento fenomén označován termínem anemo-orografické systémy (větrohoropisné soustavy). Byl objeven a podrobně popsán pro světovou vědu právě zde, v Krkonoších. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.11 Spodní alpínský (subalpínský) stupeň**

Polohy nad alpínskou hranicí lesa v nadmořských výškách 1 200 až 1 450 m, se nachází převážně na náhorních plošinách západních a východních Krkonoš a na přilehlých svazích. Velkoplošná rozmanitost rozsáhlých klečových porostů, přirozených i druhotných smilkových luk a severských rašelinišť je na našem území ojedinělá. Stromy zde už nerostou, jen keře, keříčky, traviny a byliny. (Popis území KRNAP, 2017)

#### **4.2.12 Svrchní alpínský stupeň**

Zaujímá polohy mezi 1 450 až 1 602 m n. m. Je vytvořen pouze ostrůvkovitě, a to na nejvyšších, vzájemně izolovaných vrcholech Krkonoš – na Sněžce, Studniční a Luční hoře, Smogorni a Vysokém Kole. Reliéf i vegetaci nejvyšších horských poloh Krkonoš ovlivňuje opakované mrznutí a tání trvale vlhké a podchlazené půdy, tvorba půdního ledu, půdotok a vznik nejrůznějších kamenných kopečků, brázd a věnců, připomínajících severskou tundru. Charakter vegetace tu určují drobné keříčky, traviny, mechy a lišejníky. (Popis území KRNAP, 2017)

#### 4.2.13 Fauna Krkonoš

Celkový počet krkonošských druhů živočichů je velmi vysoký. Známe nejméně 15 000 druhů bezobratlých. Jejich celkový počet však není ani zdaleka konečný, pouze u několika skupin existuje publikovaný přehled počtu druhů, např. u měkkýšů 74, u brouků asi 1 300 druhů, z toho přes 120 druhů střevlíků, více než 1 000 druhů motýlů, u pavouků 428 druhů, u sekáčů 15 nebo u vážek 20 druhů.

Zoologové z Krkonoš uvádějí přes 400 druhů obratlovců, z čehož je 1 zástupce kruhoústých – mihule potoční (*Lampetra planeri*), 5 původních druhů ryb, 11 druhů obojživelníků a 6 druhů plazů. Bylo tu zjištěno 280 druhů ptáků, hnízdících, pravidelně migrujících i náhodně zatoulaných. Z Krkonoš se uvádí 76 druhů savců, z nichž sedm je však již vyhybnulých, např. medvěd hnědý (*Ursus arctos*), vlk (*Canis lupus*), kočka divoká (*Felis silvestris*), rys ostrovid (*Lynx lynx*), sysel obecný (*Spermophilus citellus*) nebo křeček obecný (*Cricetus frumentarius*) a 12 druhů je v Krkonoších nepůvodních. Neočekávaně bohatá je fauna netopýrů (20 druhů). Spousta krkonošských živočichů patří ke glaciálním reliktvům (z obratlovců například kulík hnědý (*Charadrius morinellus*) nebo hraboš mokřadní (*Microtus agrestis*), dále téměř dvě desítky bezobratlých). V druzích fauny jsou oproti floře jen dva endemické poddruhy bezobratlých – plž vřetenovka krkonošská (*Cochlodina dubiosa corcontica*) a motýl huňatec žlutopásný krkonošský (*Psodos quadrifarius ssp. sudeticus*). (Popis území KRNAP, 2017)

#### 4.2.14 Krkonošská arкто-alpínská tundra

Různorodost ekosystémů alpínských vrcholů (lišejníková tundra), klečových porostů, trávníků a rašelinišť náhorních plošin (travnatá tundra) a závětrných svahů ledovcových karů Krkonoš (květnatá tundra) je jedinečná. Je zvláštní kombinací severských, středoevropských a alpínských organismů a jejich společenstev. Pokrývá území nad alpínskou hranicí lesa, jež zaujímá plochu pouze 47 km<sup>2</sup>, což je jen 7,4 % z celkové rozlohy Krkonoš (32 km<sup>2</sup> na české a 15 km<sup>2</sup> na polské straně hor). Je to přírodně velmi rozmanité území a obsahuje jedny z nejcennějších druhů, se kterými se lze v Krkonoších setkat jako: klečové a smilkové trávníky, severská rašeliniště, lišejníková tundra, alpínské křoviny a nivy ledovcových karů a horská tundra. (Popis území KRNAP, 2017)

### 4.3 Metodika mapování sněhu HS

Horská služba měří stabilitu vrstev sněhu nejen na sněhovém poli Mapa republiky, ale i na všech dalších lavinových svazích. V Krkonoších je těchto svahů přes třicet. Jsou to všechny svahy, které mají přes 30°. Nejprve se vykope jáma, která má metr na šířku a kolem 2 m do hloubky. Nikdy nekopeme jámu až úplně na zem, necháváme tam cca 20 cm sněhu. Do zápisníku nejprve napíšeme obecné informace jako jméno člověka, který daný profil měřil; lokalitu, na které byl sníh měřen; datum měření; výška stanoviště, kde sněhový profil děláme měřená v metrech nad mořem; sklon svahu ve stupních (lavinové svahy se nachází na svazích nad 30°); sklon svahu k určité světové straně; ze které světové strany fouká vítr a jeho rychlost v kilometrech za hodinu; teplota vzduchu; oblačnost (měří se buď v desetínách nebo v osminách a řešíme kolik osmin nebo desetín oblohy je pokryto mraky- polojasno je tedy buď 4/8 nebo 5/10) a zeměpisnou délku a šířku ve stupních.

Teploměrem měříme teplotu sněhu zhruba po deseti centimetrech. Poslední měření provádíme na povrchu sněhu.

Tvrдость sněhu se určuje podle toho, jak moc velkou část těla můžeme dát do sněhové vrstvy. Nejměkčí vrstva je ta, kam dáme pěst. Další v pořadí, kam dáme 4 prsty, pak jen jeden prst. Na další dvě tvrdosti už potřebujeme pomůcky, k té méně tvrdší tužku a k té tvrdší nůž.

V každé vrstvě si vezmeme trochu sněhu a pak ho pozorujeme pod lupou, a tak určíme jeho velikost, a ještě tvary vloček. Dle rychlosti tání na rukavici pak určíme i množství vody, které vločky obsahují. Vločky dělíme na vysrážené částice, rozložené částice, kulaté vločky, tvárné krystaly, hluboké vločky, povrchové vločky, tající sníh, ledové formace, tvárné kruhové vločky, plískanice anebo krusta. Dle velikosti lze rozdělovat na velmi jemné (do 0,5 mm); jemné (0,5-1 mm); střední (1-2 mm); hrubý (2-4 mm) a velmi hrubý (4 mm a větší). Tvary vloček jsou nový sníh, částečně usazený sníh, zrnitý a kulatý sníh; zrnitý sníh s plnými krystaly a led.

Nakonec uděláme tzv. kluzný blok. Jeho šířku určujeme za pomoci šířky lavinové lopatky. Máme kluzný blok komplexní, který je na šířku jedné lopaty a pak kluzný blok rozší-

řený, který je na šířku 3 lopat. Blok obkopeme a pak ho uřízneme od stěny, abychom na něm mohli vyzkoušet stabilitu jednotlivých vrstev sněhu ležících na sobě. Provedeme třikrát deset poklepů, ale pokaždé se tyto poklepy na lavinovou lopatku dělají jinak. První poklepy se provádí jen dlaní, kterou necháme dopadat na lopatku. Pokud se nám za těchto poklepů blok utrhne, sníh na svahu je nestabilní. Druhých deset poklepů je vahou předloktí, které dopadá na lopatku. Pokud se nám utrne blok až při druhých deseti poklepech, říkáme o něm, že je středně stabilní. Třetích deset poklepů provádím vahou celé své paže, a pokud blok ustojí poklep celou paží bez trhlin nebo zhroucení, pak ho můžeme prohlásit za stabilní. (Horská služba,2017)

#### **4.4 Metodika mapování sněhu KRNAP**

Od zimy 2000 probíhá měření výšky sněhu na lavinovém svahu v Modrém dole. V letech 2006 a 2007 byly v rámci studií zaměřených na porovnání reliéfových a vegetačních forem horských komplexů Krkonoš a oblasti Abiska současně využívány možnosti moderních technologií (GPS, GIS, ortofotomapy, družicové snímky, DTM – digitální modely terénu). Tento příspěvek se zabývá některými výsledky sněhových měření v Modrém dole a detailním mapováním jedné z forem reliéfu – kryoplanačních teras, jež jsou vyvinuté na svazích Luční a Studniční hory v Krkonoších.

Jako modelové území byla vybrána oblast Luční a Studniční hory v Krkonoších, konkrétně vrcholové části těchto hor v rozpětí nadmořských výšek 1500–1555, které jsou částečně pokryty kryoplanačními terasami. V případě Luční hory jde především o její východní svah, u Studniční hory naopak o svah západní. Jedná se prakticky o protilehlé svahy s mezilehlým Modrým sedlem, které ústí ze severu do Modrého dolu a soustřeďuje větry vanoucí od severozápadu až severovýchodu. Pod sedlem na jižním svahu Modrého dolu dochází proto v zimním období k ukládání sněhu navátého z náhorní plošiny Bílé louky. Každoročně zde vzniká velké sněhové pole, tzv. „Mapa republiky“, na které je vázaná lavinová dráha č. 8 v Modrém dole. První kinematické měření GPS umožňující přesné stanovení mocnosti sněhové pokrývky proběhlo na této lokalitě v dubnu roku 2000. Měření pak bylo zopakováno ještě v květnu a červnu téhož roku. Po odtání sněhového pole

byl v průběhu srpna 2000 stejným způsobem zaměřen i reliéf terénu a po zpracování všech dat v prostředí GIS byl proveden výpočet mocnosti sněhové pokrývky na ploše uvedené lavinové dráhy. V dalších letech pak pokračovala měření podle stavu sněhové pokrývky 1–3x během každé zimy.

V letním období roku 2003 byla provedena další kinematická měření, a to na zájmových svazích obou hor od jejich úpatí až po vrcholovou plošinu. Na Luční hoře byla proměřena menší plocha o velikosti asi 200 x 170 m, na Studniční hoře prostor o rozměrech asi 400 x 170 m s delší osou orientovanou západním směrem od vrcholu k úpatí. Pro měření byly využity jednofrekvenční přístroje typu PathFinder Pro XR americké firmy Trimble. Ke korekcím získaných dat byla použita data z referenčního bodu umístěného na bunkru mezi oběma svahy, tj. ve vzdálenosti do 1 km od všech bodů detailně zaměřovaných ploch. Zpracováním dat bylo bodově vyčísleno výškové pole zájmových oblastí s přesností do 10 cm. Z takto vytvořeného pole byl vypočítán digitální model terénu, který sloužil jako podklad k dalším analýzám. Při práci s digitálními daty a tvorbě modelů i při jejich analýze byl použit program ArcGis 8.3. Jedná se především o příkaz TOPOGRID, který je založen na programu ANUDEM vyvinutým M. Hutchinsonem a který je určen pro výpočet hydrologicky korektního digitálního modelu terénu. Pro výpočet byly použity původní nastavené parametry. Následně byla pro oblasti svahů na Luční a Studniční hoře provedena i analýza sklonů a orientace terénu vzhledem ke světovým stranám. Jako další možnost zpracování, pro lepší vizualizaci terénu, byly vytvořeny projekce ortofotomap na digitální model.

Možnosti detailní identifikace kryoplanačních teras na testovaných svazích Luční a Studniční hory dokumentují dvojice modelů. Pro ilustraci byla zvolena kombinace digitálního modelu s ortofotomapou a modelu svažitosti terénu. Zatímco druhý model zobrazuje místa s minimálním sklonem, která tvoří jednotlivé terasy, velmi zřetelně, na modelu s ortofotomapou jsou dílčí terasové stupně málo zřetelné.

Monitorování mocnosti sněhové pokrývky v Modrém dole („Mapa republiky“) v letech 2000 až 2003 probíhalo nepravidelně. Nepravidelnosti v měření byly zčásti způsobeny nepřízní počasí, lavinovým nebezpečím a zčásti technickými možnostmi, kdy bylo nutné



s předstihem zajistit zapůjčení dalších přístrojů. Přes tyto obtíže se podařilo zachytit v každém roce maximální výšku sněhové pokrývky. Doposud nejvyšší hodnota byla zjištěna hned v prvním roce měření, a to na začátku dubna 2000. Výška sněhu tehdy byla 15,7 m vertikálně. Nejedná se tedy o výšku sněhu kolmo na svah, ale o rozdíl výškových souřadnic povrchu sněhu a holého terénu. Jako poslední příklad využití kinematických fázových měření uvádíme zjištěnou mocnost sněhové pokrývky v zájmové oblasti na Luční hoře v období prvního sněhu v druhé polovině října 2003. Sníh se tehdy udržel pouze ve výškách zhruba nad 1300 m n. m. a mocnost sněhové pokrývky se pohybovala v průměru jen od 5 do 20 cm. Z provedeného měření je však patrné, že v závětrných partiích mrazových srážů kryoplanačních teras došlo během jednoho týdne vzhledem k převládajícímu západnímu proudění v době sněžení k nahromadění sněhu až do výšky téměř 3 m.

Směrem k černé barvě narůstá hodnota sklonu terénu.

Při zjišťování výšky sněhové pokrývky na lavinové dráze v Modrém dole (sněhové pole „Mapa republiky“) v Krkonoších bylo s úspěchem zahájeno využívání kinematických měření GPS. Během uplynulých čtyř let byla detailně propracována metodika samotných měření s tím, že standardní způsob zpracování (doplňný o kontrolní ruční měření výšky sněhu) zaručuje dostatečnou spolehlivost a přesnost výstupních údajů. Z výsledků výzkumu vyplývá, že použití tohoto způsobu měření pomocí GPS a následného zpracování v prostředí GIS obecně umožňuje získávání cenných a kvalitních dat, která splňují požadavky kladené na monitorovací typy měření. Tato data lze primárně využít k poznávání zákonitostí ukládání sněhu a skutečné výšky sněhové pokrývky ve vazbě na klimatický průběh jednotlivých zimních období. Kromě toho však mohou mít tyto údaje i další uplatnění. Po rozšíření měřených ploch na oblast celého závěru Modrého dolu mohou pomoci při zpřesnění celkové vodní bilance povodí Modrého potoka pro jednotlivé hydrologické roky, a to stanovením množství sněhu, který je během zimy přinesen do údolí větrem z oblasti Bílé louky a Modrého sedla, a při novém stanovení korelací a vazeb mezi sněhovou pokrývkou a vegetací. V neposlední řadě, za podmínky realizace obdobného výzkumu na dalších světových lokalitách, by mohla takto získaná data umožnit vypracování podrobných srovnávacích studií zkoumajících vliv globálního oteplování na horské

ekosystémy, neboť sníh je velmi citlivým indikátorem teplotních změn. Presentované modely kryoplanačních teras nejsou zatím dostatečné pro poznání detailní morfologie celé oblasti Luční a Studniční hory. Jednalo se o pilotní měření, jehož cílem bylo především ověření různých variant zpracování přesných výškových dat. V budoucnu bude potřebné doplnit data proměřením celé oblasti Luční a Studniční hory i jejich okolí. S takto rozsáhlým datovým souborem bude možné provést komplexnější analýzu reliéfu povrchu, sumarizovat plochy a identifikovat kryoplanační terasy i v místech, kde nejsou na první pohled patrné nebo kde jsou již částečně překryté (analýzou pomocí modelu svažitosti terénu). Současně bude možné analyzovat rozložení kryoplanačních teras vzhledem ke světovým stranám a stanovit nejlépe vyvinuté struktury teras v celé oblasti. Vytvořený digitální model terénu zkoumané oblasti bude sloužit i jako podklad pro geodatabázi s přesnou lokalizací periglaciálních tvarů ve východní části krkonošské tundry. S modelem rozsáhlejší oblasti bude možné dále pracovat, kromě jiného se zde otevírá možnost simulovat různé podmínky větrného proudění a ukládání sněhu, hledat závislosti v rozložení rostlinných společenstev i jednotlivých rostlinných druhů, stanovit optimální postup managementových opatření ve vztahu k výsadbám kosodřeviny apod. (Metodika mapování KRNAP, 2017)

#### **4.5 Metoda mapování pomocí UAV**

Mapování pomocí UAV bylo provedeno pomocí hexakoptéry DJI S800 Spreading Wings (Obr 1) s neseným fotoaparátem Sony NEX 5R s objektivem sigma s ohniskovou vzdáleností 19 mm. Fotoaparát byl nastaven na kontinuální snímání po 1 vteřině. Letová hladina byla zvolena na 150 m nad zemí a byl zvolen překryv 90 % v podélném a 80 % v příčném směru letu. Tímto bylo přibližně dosaženo rozlišení 3 cm na pixel.

Snímkování území bylo provedeno v minulém roce ve třech termínech. První proběhlo 10. 3. 2016. Počasí ani povětrnostní podmínky našemu měření nepřály a bylo třeba měření 27. 3. 2016 zopakovat. V tento den dosáhla výška sněhové pokrývky v nejvyšším místě 7,28 m (Obr 2,3). Další měření proběhlo na konci dubna a to konkrétně 29. 4. 2016. Během celého týdne předtím sníh ještě připadával. Povětrnostní podmínky i počasí byly dobré a nalétání celého sněhového pole trvalo 2x 15 minut. Nejvyšší naměřená výška

sněhové pokrývky byla 6,42 m (Obr 4,5). Naposled jsme na lokalitu navštívili 7. 6. 2016. Bylo to týden před roztátím posledních zbytků sněhu. Foukal jen mírný vítr a bylo velké horko. V posledních zbytcích sněhu měla nejvyšší naměřená výška sněhové pokrývky 0,47 m (Obr 6). Při posledním měření jsme mimo zbytků sněhu zaměřili i terén celé oblasti sněhového pole.

Při každém měření bylo nejprve potřeba na okraje mapovaného území umístit vlíčovací body a ty za pomoci systému GPS (Obr 8) přesně polohově zaměřit. Po zaměření dostatečného množství vlíčovacích bodů se mohlo začít snímkovat. Bylo třeba naprogramovat dron. Samotné měření trvalo přibližně 15 minut, ale museli jsme vyčkat na vhodné povětrnostní podmínky a nízkou oblačnost.

#### **4.6 Zpracování dat**

Data byla naměřena ve formě mračen bodů. Ta se pak dále zpracovávala v programu GIS. Nejprve bylo třeba převést mračen bodů do formátu LAS. Pak za pomoci funkce create LAS data set. V souřadnicovém systému S-JTSK a zobrazit jako RGB. LAS data set to raster na digitální model povrchu i se sněhem. S velikostí buňky 0,5. Zpracovat naměřená data o povrchu do formy digitálního modelu reliéfu 5G a na něm bude vidět terén beze sněhu. Oba digitální modely od sebe odečteme a vznikne nám výška sněhu momentálně se nacházející na lokalitě.

## 5 Diskuze

Tématem mé práce je využití bezpilotních létajících prostředků k měření sněhu v první zóně KRNAP na sněhovém poli Mapa republiky. První částí úkolu bylo zaměření sněhového pole Mapa republiky ve třech termínech, a to na začátku března, kdy by na lokalitě mělo být nejvíce sněhu, pak v dubnu, kdy sníh už bude pomalu ubývat, a nakonec v červnu, kdy už ho tam budou poslední zbytky a bude možno zaměřit i terén, což je třeba pro další zpracování dat.

První měření proběhlo 10.3. 2016. V březnu na lokalitě bývá většinou nejvíce sněhu a pak začíná sníh pomalu tát. Ač počasí vypadalo celou cestu nahoru dobře, za několik hodin, které jsme na lokalitě strávili, se vítr natolik nezmírnil a oblačnost neustoupila pryč, takže lokalitu bylo třeba zaměřit znovu o Velikonočních svátcích dne 27. 3. 2016. Počasí bylo příznivější a bylo tak možné lokalitu změřit.

Druhé měření proběhlo 29. 4.2016. Ač se jednalo o konec dubna, celý týden předtím na lokalitu sněžilo a byla tam výrazná vrstva nového sněhu. Povětrnostní podmínky byly dobré a oblačnost malá, proto jsme lokalitu nalétali velmi rychle. Nejprve jsme lokalitu nalétali s klasickým snímkovacím fotoaparátem a pak s fotoaparátem s infračerveným světlem. Celé měření trvalo 2x15 minut.

Poslední měření proběhlo 7.6.2016, kdy na Mapě republiky zbývaly poslední zbytky sněhu a o týden i ty poslední zbytky ztály. Bylo velké horko a nebe bez mráčku. Foukal mírný vítr, který ale dronu nevadil. Zároveň se zbytky sněhu jsme nasnímkovali i terén, kde se Mapa republiky nachází.

Druhou částí pak bylo zpracování mračen bodů v programu GIS. Bylo třeba vytvořit digitální modely povrchů a od nich odečíst digitální model terénu. Tak jsme pak získali tři výšky sněhu na lokalitě. Výšky sněhu se pak porovnávají s výškami sněhu v jiných letech ve stejnou dobu a z toho usuzujeme, jak je sněhově dobrý nebo naopak špatný rok.

Obecně za výhody práce s drony na mé lokalitě považuji:

- není nutno vstupovat na plochu

- když jsou vhodné povětrnostní podmínky a nízká oblačnost, dá se nalétat velmi rychle (2x15 minut)
- metoda využitelná do těžkých horských terénů
- měřicí zařízení včetně kamer i měřičského kufříku s počítačem, který řídí celý provoz bezpilotního letounu, je lehké a přenosné
- v programu GIS jde mračno bodů jednoduše zpracovat
- Mapa republiky i další lavinové svahy leží většinou v první zóně, tudíž na plochu smí jen ti, kdo jsou z horské služby nebo vědeckí pracovníci KRNAPu

Za nevýhody považují:

- baterka má výdrž přibližně na jedno nalétání území, při větším větru ani jedno celé nalétání nevydrží
- problémem se může stát horské počasí, nelze s dronem vzlétnout, když moc fouká, dron by nebyl schopen letět; když je velká oblačnost, nasnímkovat se to sice dá, ale na snímcích není nic pořádně vidět a v neposlední řadě, když padá sníh nebo voda v jiném skupenství
- je třeba mít někoho, kdo je schopen řídit dron i v těžších podmínkách, kterými ty horské určitě jsou, nejen někoho, kdo si to už zkoušel, ale kdo dron opravdu uřídí i za zhoršených povětrnostních podmínek a kdo s ním bude schopen bezpečně přistát za jakýchkoliv podmínek
- kvalitní snímkovací dron stojí poměrně velké peníze

Obecné další informace týkající se dronů nebo sněhu v podmínkách Krkonoš:

- minulý rok bylo poměrně málo sněhu a jeho poslední zbytky ztály už v půlce června, týden po našem posledním měření
- nejsilnější naměřenou vrstvou bylo 15 m sněhu
- poslední roky má smysl na lokalitě Mapa republiky, ale i na jiných lavinových svazích začít měřit až tak od začátku ledna, protože do té doby zde neleží dostatečná vrstva sněhu, což je škoda, protože se tím ztrácí část dat, která by se dala porovnávat

- běžně zde sníh roztává na přelomu června a července, jeden rok se udržel do poloviny září a chvíli po jeho roztátí napadl opět nový sníh
- konkrétně na lokalitě Mapa republiky byly za posledních 65 let tři laviny – první v roce 1952, kdy pod ní tragicky zahynulo 5 lidí a dodnes mají na lokalitě kříž; další byla v roce 2008, kdy ji utrhli lyžaři, kteří jeli na zakázaná místa. Ta se obešla na rozdíl od první laviny bez ztráty na životech a třetí lavina spadla v únoru roku 2015 a taktéž bez ztráty na životech

## 6 Závěr

Podle zpracování dat popsaného výše bude možné zpracovat jakékoliv mračno bodů naměřené za pomoci bezpilotního létajícího prostředku na sněhových polích v České republice.

V porovnání s dřívějšími metodami má snímkování za pomoci bezpilotních létajících prostředků řadu výhod. Není třeba vstupovat přímo na plochu, což znamená, že jsou vhodné i pro měření na lavinových svazích. Další výhodou je nízká váha měřičského zařízení, a proto je možno donést dron i s příslušenstvím do nejvyšších poloh našich hor. Oproti tomu nejzávažnější nevýhodou zůstává nemožnost měřit při vyšších rychlostech větru a větší oblačnosti.

Problematika UAV a fotogrammetrie, či jiných metod mapování sněhu na lavinových svazích je rozsáhlá. Jako jiné metodiky mapování jsem popisovala metodiku horské služby a KRPNAPu. Metodika horské služby je zaměřena na měření vlastností sněhu a stability na sobě ležících sněhových vrstev. Metodika KRNAP pojednává o měření sněhu na lokalitě za pomoci GPS, které zde probíhá už od roku 1999. V kapitole o UAV jsem se věnovala popisu toho, co UAV znamená, jak se dělí a jaké je jejich užití při mapování, nebo jiných lidských činnostech. U kapitoly Fotogrammetrie jsem napsala, co tato metoda obnáší a jakými úkoly se zabývá.

## 8 Summary

Based on the data processing described above, it will be possible to process any measured point clouds with using unmanned aerial vehicle on the snowfields in the Czech Republic.

Imaging with using an unmanned aircrafts has a number of benefits compared to earlier methods. It is not necessary to enter directly the surface, which means they are also suitable for measurements on avalanche slopes. Another advantage is the low weight of the meter, so it is possible to bring the drone with accessories to the highest positions of our mountains. On the other hand, measurement at higher wind speeds and higher cloudiness remain the most serious drawbacks.

The problematics of UAV and photogrammetry or other methods of mapping snow on avalanche slopes is extensive. I described the methodology of the Mountain Rescue Service and KRNAP as other mapping methodologies. The Mountain Rescue Service methodology is focused on measuring of snow properties and the stability of the snow-covered layers. The KRNAP methodology deals with the measurement of snow on the site using GPS, which has been going since 1999. In the UAV chapter, I have dealt with the description of what the UAV means, how it is divided, and how it is used in mapping or other human activities. In the chapter Photogrammetry I wrote what this method implies and what tasks it deals with.



## Použitá literatura a zdroje

Digitální modely terénu, [online], Fakulta stavební ČVUT, 2017, [cit. 2017-04-28], Dostupné z:

[http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/GPU/2016\\_GPU\\_03.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/GPU/2016_GPU_03.pdf)-

Fotogrammetrie, [online], wikipedie, 2017, [cit. 2017-04-28], Dostupné

z:(<https://de.wikipedia.org/wiki/Photogrammetrie>)-

Horská služba, (28.1.2017), ústní vysvětlení a názorné předvedení metodiky horské služby Pavlem Cingrem

Karas J., Tichý T., 2016, Drony, Computer Press, 264 s

Mapování sněhu, [online], School of Earth sciences, 2017, [cit. 2017-01-01], Dostupné z:

(<http://www.mdpi.com/2076-3263/5/3/264>)-

Metodika mapování KRNAP, [online], Správa Krkonošského národního parku, 2017, [cit. 2017-03-16], Dostupné z:

([http://opera.krnep.cz/apex/apex\\_util.get\\_blob?s=6267530456347&a=103&c=6251526924540477&p=8&k1=650&k2=&ck=yf6FR61F8MkiKk\\_3RnsvtYiR9WkWoZUE8QnP45NRwkaZiPBVy8aNZ1n9kkLp6FNzZx7QL3cy7dMB\\_mFF43NUOw&rt=CR](http://opera.krnep.cz/apex/apex_util.get_blob?s=6267530456347&a=103&c=6251526924540477&p=8&k1=650&k2=&ck=yf6FR61F8MkiKk_3RnsvtYiR9WkWoZUE8QnP45NRwkaZiPBVy8aNZ1n9kkLp6FNzZx7QL3cy7dMB_mFF43NUOw&rt=CR))-

POPIS ÚZEMÍ KRNAP, [online], Správa Krkonošského národního parku, 2016, [cit.

2016-12-16], Dostupné z:< <http://www.krnep.cz/>>.

ŠEBESTA, J. Sněhová pole na české straně Krkonoš, Opera Corcontica 15, str. 25-49, Praha 1978

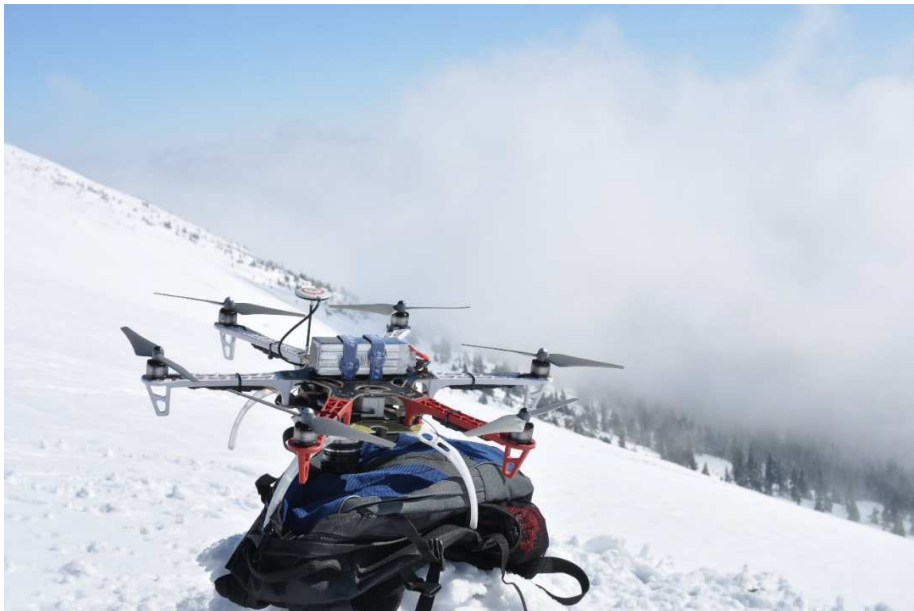
Typy dronů, [online], Droni Beta, 2017, [cit. 2017-04-28], Dostupné

z:(<https://www.droni.cz/co-je-to-dron/>)

UAV, [online], wikipedie, 2017, [cit. 2017-01-01], Dostupné z:

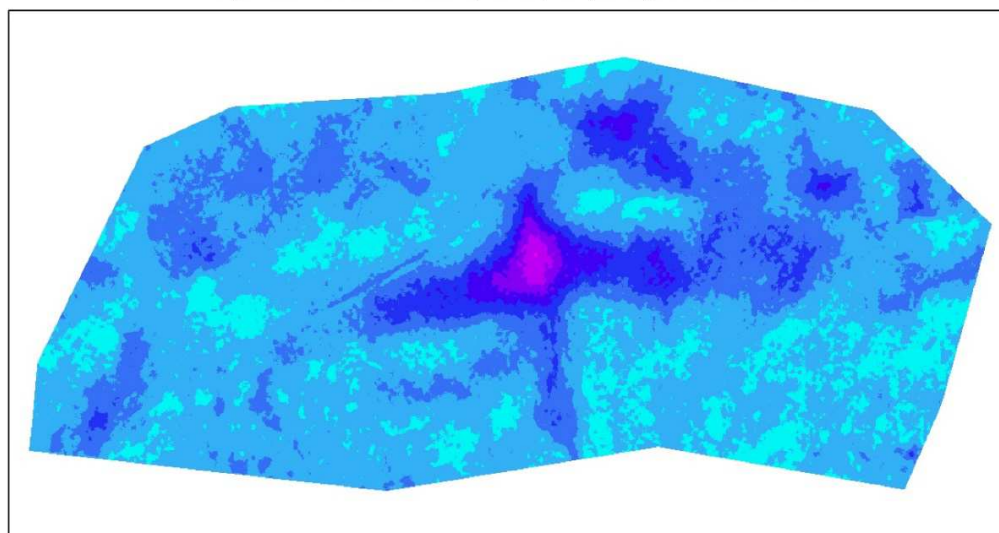
([https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpilotn%C3%AD\\_letadlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpilotn%C3%AD_letadlo))-

## Přílohy



Obr 1- Hexakoptéra DJI S800 Spreading Wings

Výška sněhu na sněhovém poli Mapa republiky ke dni 27.3.2016



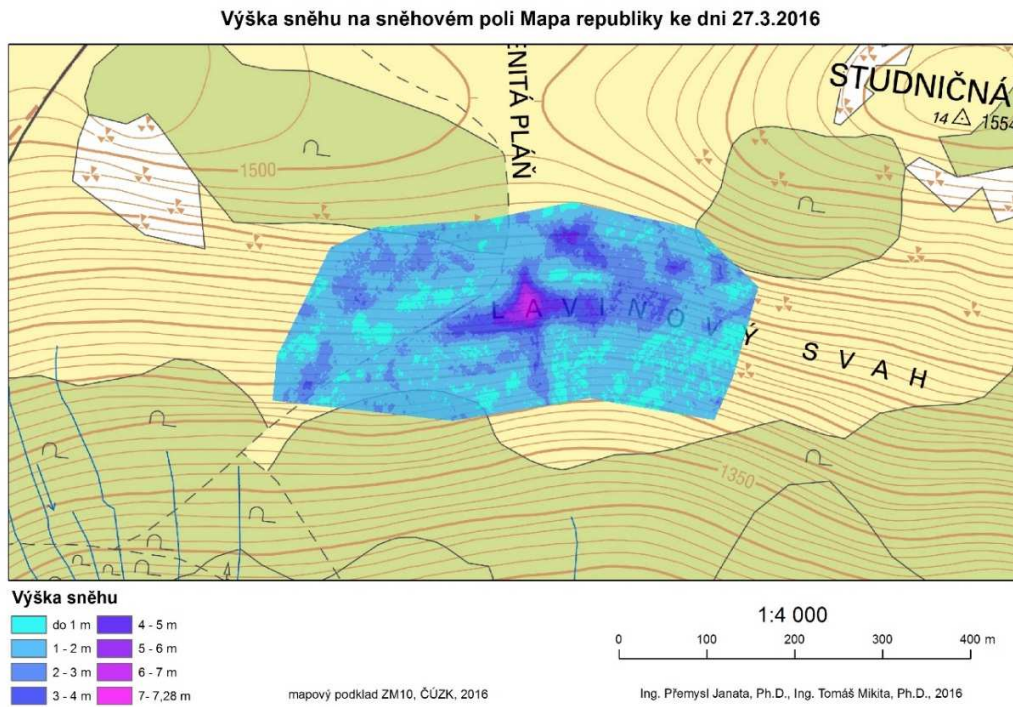
**Výška sněhu**

do 1 m	4 - 5 m
1 - 2 m	5 - 6 m
2 - 3 m	6 - 7 m
3 - 4 m	7 - 7,28 m

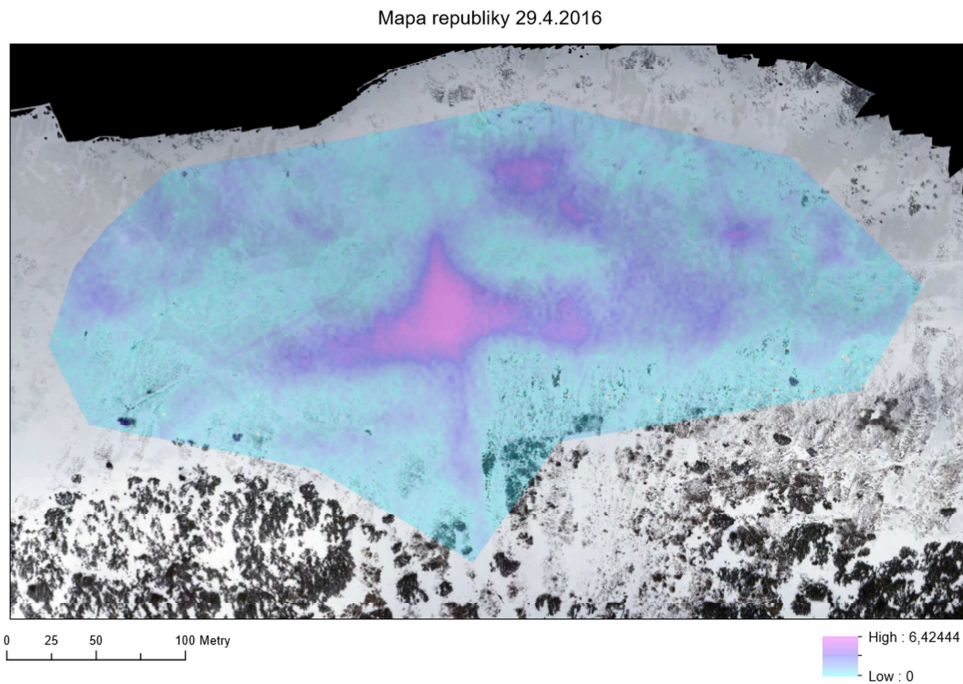
1:2 000  
0 50 100 150 200 m

Ing. Přemysl Janata, Ph.D., Ing. Tomáš Mikita, Ph.D., 2016

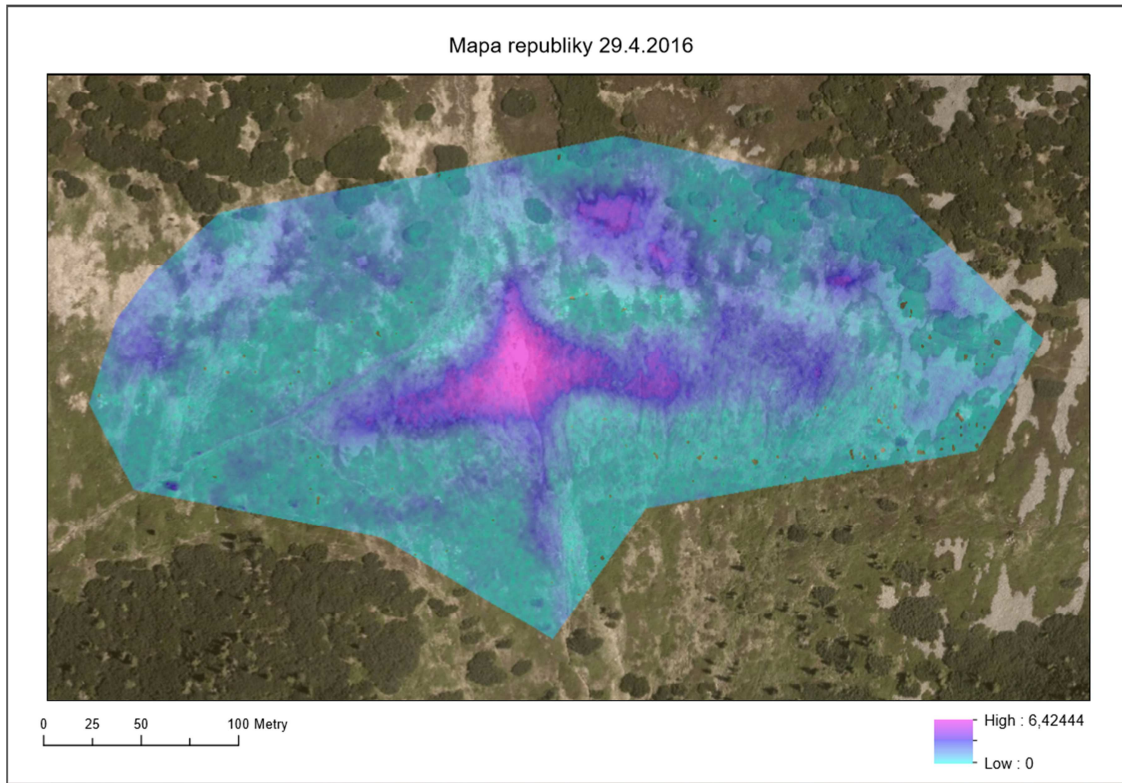
Obr 2- Výška sněhu na Mapě republiky z 27.3.2016



Obr 3- Výška sněhu na Mapě republiky z 27.3.2016



Obr 4- Výška sněhu na Mapě republiky z 29.4.2016



Obr 5- Výška sněhu na Mapě republiky z 29.4. 2016



Obr 6- Výška sněhu z 7.6.2016



Obr 7- měření horské služby na lokalitě



Obr 8- zaměření vlčcovacích bodů za pomoci GPS