



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

3D MODEL SKALNÍHO ÚTVARU V PRACHOVSKÝCH SKALÁCH

3D MODEL OF ROCK FORMATION IN PRACHOV ROCKS

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Katedra speciální geodézie



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Nedbalová</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>468601</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra speciální geodézie</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie, kartografie a geoinformatika</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>3D model skalního útvaru v Prachovských skalách</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>3D model of rock formation in Prachov Rocks</u>	
Pokyny pro vypracování: Praktické nasnímání skalního útvaru pomocí UAV. Zaměření vřícovacích bodů a následné zpracování v programu Agisoft Photoscan. Zaměření profilových bodů na útvaru pro kontrolu výsledného mračna. Porovnání profilů a mračna v programu Cloudcompare. Zakreslení výstupových tras a zajišťovacích prostředků do výsledného modelu pro potřeby elektronického průvodce.	
Seznam doporučené literatury: Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015. Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>11.2.2019</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>27.5.2019</u> <i>Údaj uvedte v souladu s datem v časovém plánu příštího ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

11.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma 3D model skalního útvaru v Prachovských skalách zpracovala samostatně. Veškeré použité podklady jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne ...

.....

Jméno Příjmení



PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych velmi poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D., za dobré rady, zajímavé postřehy a za čas, který mi věnoval. Děkuji firmě RSGeo-pro s.r.o. za zapůjčení přístrojů, za nafocení měřeného objektu a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat mému otci za společný výstup na skalní věž Krakonoš a rady ohledně horolezectví pro tuto práci. Děkuji celé rodině za velikou podporu při studiu a psaní této práce. Také bych chtěla poděkovat předsedovi horolezeckého oddílu TJ Český ráj za námět k této práci.



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením 3D modelu skalního objektu v Prachovských skalách. Model následně slouží k vyhotovení námětu na 3D horolezeckého průvodce. Skalní objekt byl nasnímán pomocí UAV (kvadrokoptéry DJI INSPIRE 1 PRO). Vlícovací body a body podélných profilů pro kontrolu modelu byly zaměřeny totální stanicí, kde stanoviště byla zaměřena přijímačem GNSS. Zpracování proběhlo v programech Groma, Agisoft PhotoScan, CloudCompare a FastStone Image Viewer. Vypočtené mračno bodů bylo porovnáno se zaměřenými podélnými profily.

KLÍČOVÁ SLOVA

Prachovské skály, 3D model, Agisoft PhotoScan, UAV, vlícovací body, GNSS, fotogrammetrie, horolezecký průvodce

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the creation of a 3D model of a rock object in the Prachov Rocks. The model is then used to form a draft for a 3D alpinist guide. That rock object was scanned using UAV - drone DJI INSPIRE 1 PRO. The control points and the points of the longitudinal sections were targeted by the total station, and these stations were focused by the GNSS receiver. Processing had been done in Groma, Agisoft PhotoScan, CloudCompare and FastStone Image Viewer software. The calculated cloud of points was compared with the measured longitudinal profiles.

KEYWORDS

Prachov rocks, 3D model, Agisoft PhotoScan, UAV, control points, GNSS, photogrammetry, climbing guide



Obsah

1.	ÚVOD.....	6
2.	POPIS LOKALITY	7
2.1	GEOLOGIE.....	7
2.2	HISTORIE.....	7
2.3	HOROLEZECTVÍ	8
2.4	SKALNÍ VĚŽ	8
3.	POUŽITÉ METODY MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ	9
3.1	GNSS.....	9
3.1.1	METODA RTK.....	10
3.2	FOTOGRAMMETRIE	10
3.2.1	PRŮSEKOVÁ METODA	11
3.3	METODA STRUCTURE FROM MOTION	11
4.	VLÍCOVACÍ BODY	12
5.	POPIS PŘÍSTROJŮ	12
5.1	UAV	12
5.1.1	HISTORIE UAV	13
5.1.2	KVADROKOPTÉRA DJI INSPIRE.....	14
5.1.3	LEGISLATIVA PROVOZU UAV V ČR.....	15
5.2	TOTÁLNÍ STANICE.....	16
5.3	GNSS.....	16
6.	POPIS MĚŘENÍ.....	17
6.1	REKOGNOSKACE TERÉNU	17
6.1.1	SKALNÍ VĚŽ KRAKONOŠ	18
6.2	LETECKÉ SNÍMKOVÁNÍ	19
6.3	GNSS MĚŘENÍ	20
6.4	MĚŘENÍ VLÍCOVACÍCH BODŮ.....	21



6.5	MĚŘENÍ PODÉLNÝCH PROFILŮ.....	22
7.	POPIS ZPRACOVÁNÍ	23
7.1	PROGRAM GROMA	23
7.2	PROGRAM AGISOFT PHOTOSCAN	24
7.3	PROGRAM CLOUD COMPARE.....	30
7.4	POSTUP ZAKRESLENÍ CEST DO 3D MODELU.....	31
8.	VÝSLEDKY.....	32
9.	ZÁVĚR.....	42
10.	SEZNAM LITERATURY.....	42
11.	SEZNAM OBRÁZKŮ	44
12.	SEZNAM TABULEK	45
13.	SEZNAM PŘÍLOH	45



1. ÚVOD

Horolezectví v Prachovských skalách se provozuje více jak sto let. Za tu dobu bylo vydáno několik podob horolezeckých průvodců v papírové či knižní podobě. V horolezeckých průvodcích jsou zakresleny veškeré horolezecké cesty vedoucí na skalní věže v dané skalní oblasti. Tyto průvodce vytváří horolezci nebo horolezecké oddíly po celém světě. Já sama jsem členkou jednoho z horolezeckých oddílů, proto znám nejrůznější podoby horolezeckých průvodců.

Předseda horolezeckého oddílu TJ Český ráj se zabývá editací a vydáváním horolezeckých průvodců přes 30 let. Rád navštěvuje zahraniční lezecké oblasti, kde jeho nejoblíbenější destinací je Meteora v Řecku, kterou můžeme najít na Google Earth ve 3D. Jelikož si je vědom pokroku v technologii, požádal mě o vytvoření 3D modelu skalního objektu v jedné z lezeckých oblastí v Českém ráji a zakreslení lezeckých cest do tohoto modelu, aby viděl, jak by vypadal lezecký průvodce vyhotovený ve 3D.

Takto vytvořený průvodce by sloužil k evidenci, opravě a výměně jisticích prostředků, ke kontrole opotřebení lezeckých cest, a především k nastudování horolezeckých výstupů.

Byly tedy vybrány Prachovské skály pro jejich dobrý přístup, které leží nedaleko města Jičín. V tomto skalním městě byla vybrána skalní věž Krakonoš, na kterou vede velké množství lezeckých cest.

V současné době se pro tvorbu 3D modelu objektů využívá stále častěji UAV, což bylo pro tuto úlohu ideálním řešením. Objekt byl nasnímán bezpilotním letounem kvadrokoptérou DJI INSPIRE 1 PRO s 4K kamerou Zenmuse X5 firmou RSGeo-pro s.r.o. Dále byly zaměřeny přirozeně signalizované vlíčovací body, kterými byly jisticí prostředky – kruhy pevně připevněné ve skále. Také byly zaměřeny body podélných profilů pro porovnání s výsledným mračnem.

Pro vyhotovení 3D modelu skalního objektu byl vybrán program Agisoft PhotoScan. Program CloudCompare byl zvolen pro porovnání výsledného mračna bodů s podélnými profily.

Cílem této bakalářské práce bylo tedy vytvoření 3D modelu skalního objektu s popisem lezeckých cest, který by sloužil jako námět na horolezeckého průvodce ve 3D formě.



2. POPIS LOKALITY

Prachovské skály se nachází v Královéhradeckém kraji severozápadně od Jičína mezi vesnicemi Prachov, Pařezská Lhota, Dolní Lochov a Blata (Obr. 1 Poloha). Oblast leží v nadmořské výšce 300-462 m n. m. a její rozloha činí 2619144 ha. Jedná se o pískovcovou skalní oblast patřící do Chráněné krajinné oblasti Český ráj. V roce 1933 byla skalní oblast vyhlášena rezervací.



Obr. 1 Poloha

2.1 GEOLOGIE

Dnešní podoba Prachovských skal je výsledkem erozních pochodů, zejména působením dešťové vody v kombinaci s ostatními klimatickými a biologickými faktory a charakterem sedimentů.

Podloží Prachovských skal tvoří jílovitopísčité slínovce s vložkami písčitéjších sedimentů ve vyšších polohách. Samotné pískovcové objekty jsou tvořeny kaolinickými, světle šedými, žlutavými až bílými pískovci. Pískovce jsou středně až hrubě zrnité, místy se štěrčíkovitými polohami dle [1].

2.2 HISTORIE

Prachovské skály získal v roce 1637 hrabě Jindřich Schlik, kdysi velitel pluku moravských stavů v bitvě na Bílé hoře r. 1620, později císařský generál a prezident dvorské válečné rady. Skalní oblast zůstala v držení jeho potomků až do komunistického převratu v roce 1948.

V roce 1948 byly Prachovské skály spolu s celkovým majetkem tehdejšího vlastníka – Jindřicha Marii Schlika – zabaveny a na více než padesát let se o jejich provoz staral stát, případně město Jičín. V roce 1993 byl rodině Schliků jejich historický majetek



navrácen. Od roku 2000 se rodina ujala také správy v turistické oblasti v Prachovských skalách. Text k této kapitole byl čerpán z [2].

2.3 HOROLEZECTVÍ

Prachovské skály jsou významnou horolezeckou oblastí (Obr. 2), která patří do Chráněné krajinné oblasti Český ráj. Horolezecká činnost probíhá s podporou současných majitelů a ve spolupráci se Správou CHKO Český ráj. Lezení je zde povoleno pouze s platným členstvím ČHS¹ nebo UIAA².

První záznam o horolezectví na Prachovských skalách je z roku 1907. Skupina jičínských studentů založila Lezecký kroužek Prachov (LKP). Vytvořili několik prvovýstupů na velké množství skalních věží. Nejvýznamnější prvovýstup byl na dominantu Prachovských skal, na skalní věž Mnich. Od té doby bylo vytvořeno veliké množství lezeckých cest různými horolezci a ty se vytváří do dnes. Informace pro tento text byly čerpány z [2].



Obr. 2 Horolezectví na Prachovských skalách – fotografie z vrcholu Krakonoše

2.4 SKALNÍ VĚŽ

Skalní věží se nazývá takový skalní útvar, který je ze všech stran přístupný pouze horolezeckými výstupy. Na skalní věž vede jedna nebo více lezeckých cest různých obtížností. Lezecká cesta se říká výstupu na skalní útvar, kterou dříve vylezl a zajistil známý či neznámý horolezec. Pokud se na skálu dá vyjít turisticky („pěšky“), pak se nazývá masív.

¹ ČHS – Český horolezecký svaz

² UIAA – Mezinárodní horolezecká federace (Union Internationale des Associations d'Alpinisme)



3. POUŽITÉ METODY MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ

V této kapitole jsou popsány metody měření, použité pro vyhotovení 3D modelu skalního objektu.

3.1 GNSS

Pro určení dočasné geodetické sítě, která byla využita pro zaměření skalního objektu, byla zvolena metoda GNSS – Globální navigační satelitní systém. Tato metoda využívá družice na oběžné dráze Země pro určení polohy přijímače, který se nachází na zemském povrchu. Hlavní princip je v určení vzdálenosti mezi přijímačem a družicí, a následně výpočet polohy přijímače prostorovým protínáním z délek. Signál vysílaný z družice lze dělit na kódový a fázový.

Využívají se především systémy GPS (americký) a GLONASS (ruský), v současnosti existují i Galileo (evropský) a BeiDou (čínský). Systémy jsou realizovány kosmickým segmentem, který je dán přesným počtem družic (24 pro GPS) s danou polohou v prostoru. Družice jsou vybaveny atomovými hodinami.

Kódové měření určuje vzdálenost metodou tranzitního času. Určují se pouze tzv. pseudovzdálenosti kvůli nepřesné synchronizaci časů přijímače a družice. K výpočtu se využívají 4 neznámé, tedy souřadnice X, Y, Z a přesný čas, a proto je zapotřebí alespoň 4 družicových signálů. Souřadnice stanoviště jsou následně počítány délkovým prostorovým vyrovnáním.

Fázové měření určuje vzdálenost pomocí nosných vln, kterých je vysíláno několik. Při tomto měření je měřen fázový doměrek s milimetrovou přesností. Tímto měřením nelze měřit přesný počet celých vlnových délek od přijímače k družici, proto se toto měření využívá pro relativní určení souřadnic. Přesné souřadnice se určí pomocí dvou přijímačů, kdy jeden stojí na známém bodě a druhý na bodě určovaném. Výpočet je velmi složitý a využívá difference daných i měřených veličin mezi přijímačem a družicí. Fázové měření ke svému výpočtu používá také měření kódové pro přibližné určení neznámých parametrů. Fázové měření se dá použít, pouze pokud oba přijímače registrují signál ve stejném časovém úseku. Pro jednodušší měření se v současnosti používá místo druhého přijímače síť referenčních stanic (metoda RTK).

GNSS fungují v různých souřadnicových systémech, v tomto případě ve WGS 84. Pro měření v jiném souřadnicovém systému je zapotřebí transformace. Výpočet probíhá uvnitř přijímače za pomoci obecného transformačního klíče. Měření pomocí GNSS je



zatíženo mnoha chybami, které jsou následně potlačovány. Text k této kapitole byl čerpán z [3].

3.1.1 METODA RTK

Metoda RTK je taková, která v reálném čase zpracovává korekce ze systému referenčních stanic dle [3]. Dostatečná observace při této metodě trvá pouze pár vteřin. RTK využívá síť referenčních stanic místo přijímače na známém bodě. Připojení k síti se provádí prostřednictvím internetu, nejčastěji GSM modemem v reálném čase. Na našem území jsou tři sítě referenčních stanic, a to CZEPOS (ČÚZK-přijímače Leica), Trimble VRS NOW (Geotronics Praha, s. r. o. – přijímače Trimble), TOPnet (GB-geodezie, spol. s r.o. – přijímače Topcon). Pro tuto metodu je zapotřebí pouze jeden GNSS přijímač.

3.2 FOTOGRAMMETRIE

Pro vyhotovení 3D modelu z naměřených snímků byla použita fotogrammetrie, která se zabývá získáváním velkého množství informací o předmětech na základě zpracování fotografických snímků v digitální či analogové podobě. Definic fotogrammetrie je velké množství, které se v průběhu doby mění kvůli použitým technologiím a využití výsledných dat. Podle [4] je fotogrammetrie definována jako „obor, který se zabývá získáváním geometrických informací z obrazového záznamu“. Další z definic „Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z fotografického záznamu“ uvedeno v [5].

Fotogrammetrie prošla za období cca 150 let velmi různorodým vývojem. Nejprve se používaly pouze průřezové metody a pozemní fotogrammetrie. Ve 20. století byly využívány i stereoskopie a letecká fotogrammetrie. S rozvojem počítačů přišly analytické metody a metody digitální. Mezi tyto metody patří družicová fotogrammetrie a laserové skenování. Digitální fotogrammetrie přinesla nový pohled na 3D dokumentaci.

V současné době se fotogrammetrie dělí podle:

- polohy stanoviště (pozemní fotogrammetrie, letecká fotogrammetrie, družicová fotogrammetrie)
- počtu a konfigurace vyhodnocovaných snímků (jednosnímková a vícesnímková fotogrammetrie)
- technologického způsobu zpracování (metody analogové, metody analytické, metody digitální)
- typu výstupu (grafické, číselné)



Pro 3D modelování je nejdůležitější dělení podle počtu snímků.

Jednosnímková fotogrammetrie používá pouze jeden měřický snímek, ze kterého lze získat pouze rovinné souřadnice.

Vícesnímková fotogrammetrie se používá pro 3D zpracování. U této metody je potřeba dvou a více měřických snímků stejné scény. Ze dvou snímků téhož objektu lze získat jeho prostorové souřadnice. Mají-li snímky přibližně rovnoběžné osy záběru, je možno využít stereoskopii. Pokud jsou osy záběru snímků konvergentní, jedná se o vícesnímkové prostorové protínání. Při vyhodnocení prostorového protínání na více snímcích mluvíme o průřezové metodě. Text k této kapitole byl čerpán z [4], [6] a [7].

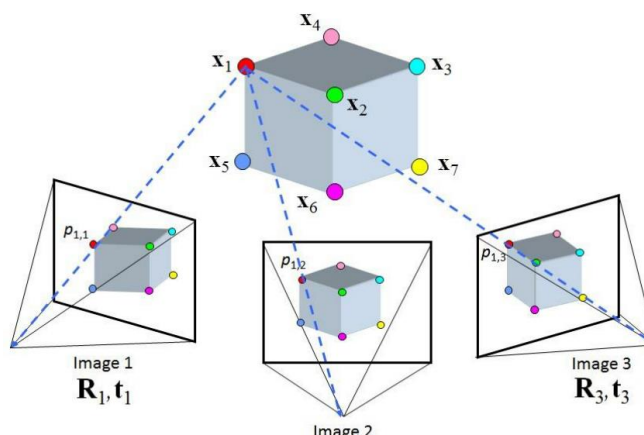
3.2.1 PRŮSEKOVÁ METODA

Průřezová metoda dle [4] porovnává body na více snímcích a vyhodnocuje jejich prostorové souřadnice. Pro 3D modelování ze snímků je využívána právě průřezová metoda. Vyhodnocování se provádí z velkého množství snímků v různých úhlech a výškách polohy kamery kolem snímaného objektu. Metoda požaduje nafocení velkého počtu konvergentních snímků, které obsahují část nebo celý snímaný objekt. Snímky musí mít 80 % překryt s možností identifikace spojovacích bodů. V současné době využívá analytické řešení průřezové metody.

3.3 METODA STRUCTURE FROM MOTION

Při vyhotovení 3D modelu skalního objektu byla použita metoda SfM (Structure from Motion), která je založena na principu průřezové fotogrammetrie. Tato metoda vznikla koncem 80. let 20. století, ale rozšířila se až s vývojem moderních vysokorychlostních počítačů.

Podstata této metody je získání 3D souřadnic z dvourozměrných snímků, které jsou pořízeny z pohybujícího se nosiče (Obr. 3). Snímky mohou být pořízeny s rovnoběžnými



Obr. 3 Structure from Motion



i konvergentními osami záběru. U této metody se nemusí dodržovat přísné zásady při pořizování snímků. Jedinou podmínkou jsou velký překryv (80 %) a dostatečná kvalita fotografií kvůli identifikaci. Při této metodě nemusí být známy prvky vnitřní orientace, ty jsou automaticky vypočítány při orientaci snímků. Informace k této kapitole byly čerpány z [8], [9].

4. VLÍCOVACÍ BODY

Vlícovací body dle [4] se používají v pozemní i letecké fotogrammetrii pro určení orientace, pro transformaci do geodetického systému a pro určení měřítka. Také slouží jako kontrola správného provedení fotografických a měřičských prací.

Vlícovací body musí mít jednoznačně určitelnou polohu pro geodetické zaměření, také musí být dobře identifikovatelné na měřičských snímcích. Vlícovací body mohou být přirozeně signalizované (např. kruh na skále) nebo uměle signalizované (např. reflexní samolepící terčíky).

5. POPIS PŘÍSTROJŮ

V této kapitole budou popsány jednotlivé přístroje použité pro měření v této bakalářské práci, parametry přístrojů, co se těmito přístroji měřilo a další technické možnosti přístrojů. Speciálně u UAV bude řečeno něco obecně, historie a legislativa v ČR.

Zaměření bakalářské práce bylo provedeno třemi přístroji. Bylo použito UAV, pomocí kterého byly leteckým snímkováním pořízeny fotografie pro vytvoření 3D modelu skalního objektu. Pro zaměření vlícovacích bodů byla použita totální stanice Trimble S5. Stanoviska pro zaměření vlícovacích bodů byla zaměřena pomocí GNSS. Použité stroje byly zapůjčeny od firmy RSGeo-pro s.r.o.

5.1 UAV

UAV (Unmanned Aerial Vehicle - česky bezpilotní letecké prostředky), jsou letecké systémy bez pilota na palubě. Přesná definice UAV zní dle [10]: „Bezpilotní letecké prostředky, známé také jako drony, jsou letecké prostředky bez posádky na palubě, které jsou ovládány manuálně na dálku, nebo mohou létat automaticky dle předem nadefinovaných letových plánů, nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů.“



Bezpilotní letecké prostředky můžeme dělit různými způsoby, ale nejzákladnější rozdělení je v tom, jestli se jedná o UAV pro běžné uživatele, nebo pro profesionály. Tyto drony se liší velikostí, hmotností, materiálem, nastavením a především cenou. Dělit UAV můžeme tedy například podle zaměření, pohonu, typu (multikoptéry, letouny), celkové hmotnosti, způsobu ovládání/řízení, počtu motorů, nosnosti a podle dostupné výšky a vzdálenosti.

5.1.1 HISTORIE UAV

Historie bezpilotních systémů sahá až k srbskému vynálezci Nikolovi Teslovi. V roce 1898 si nechal patentovat tzv. telekomunikaci, jednalo se o dálkové ovládání motorové loďky na vodě. Později byly nalezeny i jeho poznámky k sestrojení bezpilotního leteckého systému. Podobnost s bezpilotními letouny měly i horkovzdušné balóny bez pilotů, které se používaly již v roce 1849.

První bezpilotní letadlo vytvořil anglický inženýr Archibald Montgomery Low v roce 1916. Letadlo se jmenovalo Aerial Target. V tu dobu bylo vyrobeno několik bezpilotních letadel, mezi známé patří bezpilotní letadlo Kettering Bug. Několik let byly a stále jsou drony používány v armádě jako terče, pro nácvik střelby na letící cíl a reakce pilotů na řízené střely. Dále byly používány i jako průzkumná letecká zařízení. Nejznámějším vojenským bezpilotním letadlem je MQ-1 Predator. Poprvé vzlétl v roce 1994 a sloužil výhradně pro průzkumné účely ve válečných konfliktech. Byl také nasazen při hledání Usámy Bin Ládina. Po roce 2001 vznikly ozbrojené verze bezpilotních letounů s řízenými střelami.

Nejznámějším průzkumným bezpilotním letounem v České republice je Sojka III, která sloužila mezi roky 2000 až 2010, kdy byla vyřazena z provozu a nyní je k vidění v Kbelském leteckém muzeu.

V této době mají armády velké množství nejrůznějších bezpilotních leteckých prostředků od velikých, které vydrží 24 hodin provozu, až po miniaturní tzv. nanodrony. Jedná se o bezpilotní letouny, které se vejdou do dlaně. Používají se především k průzkumu interiéru. Do budoucna se dle [10] budou UAV rozšiřovat a využívat častěji a ve velkém rozsahu.



5.1.2 KVADROKOPTÉRA DJI INSPIRE

Pro pořízení snímků za účelem vytvoření 3D modelu skalního objektu byla použita kvadrokoptéra DJI INSPIRE 1 PRO s 4K kamerou Zenmuse X5 (Obr. 5). Parametry kamery jsou uvedeny v tabulce (Obr. 4).

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC550 (17 mm)	4608 x 3456	17 mm	3.76 x 3.76 μm	No

Obr. 4 Parametry kamery

Bezpilotní letoun je vybaven palubní kamerou na tříosém stabilizovaném závěsu, která pořizuje snímky s rozlišením 16 mpx a videozáznam 4K (4096x6160/25p). Zorné pole kamery je 360°.

UAV se skládá z těla, 4 ramen s motory, 4 vrtulí, baterie, závěsu s kamerou a vysílačem s držákem na mobilní zařízení či tablet. Jedna baterie vydrží až 18 minut letu, a tedy pro vlastní měření bylo zapotřebí 4 plně nabitých baterií. Tento dron lze spojit s mobilní aplikací a díky tomu je možné sledovat obraz kamery na tabletu (v mém případě). Hmotnost tohoto UAV je 526 g. Maximální rychlost letu dosahuje 22 m/s.



Obr. 5 UAV v terénu



5.1.3 LEGISLATIVA PROVOZU UAV V ČR

V České republice jakékoli civilní využití vzdušného prostoru a provozu letadel podléhá zákonu č. 49/1997 Sb. o civilním letectví dle [10]. Podle jeho § 2 odst. 2 se pro účely tohoto zákona nepovažuje za letadlo to, jehož vzletová hmotnost nepřesahuje 20 kg. Provoz bezpilotních letadel podléhá především občanskému zákoníku. Velký a rychlý nástup bezpilotních systémů vyžadoval úpravu zákona, a proto v roce 2012 byl vydán Doplněk X, který se zaměřuje na bezpečnost, zodpovědnost, vizuální kontakt nebo také na nutné ukončení letu v případě krizové situace. Doplněk X určuje legislativu provozu bezpilotních letounů podle hmotnosti, účelu a vzdušného prostoru (Obr. 6).

Tabuška 1 (viz ust. 16)										
ř.	maximální vzletová hmotnost	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 20 kg		> 20 kg		bepilotní letadlo provozované mimo dohled pilota
		rekre-ačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekre-ačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekre-ačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekre-ačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	
	účel použití požadavek									
1	evidence letadla	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
5	povolení k provádění LP a LČPVP	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze
6	označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka	ne / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ano
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150
8	pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč)	ne / 0,25	dle nař. č. 785/2004 ¹	ne / 1	dle nař. č. 785/2004 ¹	ne / 3	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹
9	dozor	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne
10	„failsafe“ systém	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne
12	hlášení události	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano

Obr. 6 legislativa provozu UAV



5.2 TOTÁLNÍ STANICE

Totální stanicí Trimble S5 Robotic DR Plus (výrobní číslo 37010632) byly zaměřeny vlíčovací body. Tento přístroj umožňuje automatické cílení a je vybaven velmi přesným dálkoměrem DR Plus. Tato totální stanice má úhlovou přesnost $\sigma_\varphi = 10''$ (0,3 mgon) a přesnost měření vzdálenosti je při měření na hranol 1 mm + 2 ppm a při bezhranolovém měření 2 mm + 2 ppm. Dosah totální stanice Trimble S5 (Obr. 7) je 2500 m na hranol, bezhranolový dosah je 2200 m. Přístroj obsahuje krabicovou libelu umístěnou v trojnožce a elektrickou dvouosou libelu na displeji. Zvětšení je 30x. Zdrojem napětí je dobíjecí baterie Li-Ion.



Obr. 7 Trimble S5 v terénu

5.3 GNSS

Přijímač GNSS se skládá z antény a přijímače s kontrolerem. Zaměření stanovisek bylo provedeno GNSS systémem Trimble R4 Model 3 (výrobní číslo 5321437687) a kontrolerem Trimble TSC 3. Přijímač Trimble R4 umožňuje přijímat signály na 220 kanálech. Přístroj je bezdrátový, používá technologii Bluetooth. Přijímač obsahuje GSM model, který umožňuje neustálé připojení k internetu, tedy k síti referenčních stanic Trimble VRS NOW. Tento přístroj je podporován pro systémy GPS a GLONASS.

Přesnosti přístroje u jednotlivých metod dle výrobce jsou obsaženy v (Tab. 1).



Tab. 1 Polohová přesnost

METODA	POLOHA	VÝŠKA
Přesnost diferenčního kódového měření	0,25 m + 1 ppm RMS	0,50 m + 1 ppm RMS
Vysoce přesná statická metoda	3 mm + 0,1 ppm RMS	3,5 mm + 0,4 ppm RMS
Statická a rychlá statická metoda	3 mm + 0,5 ppm RMS	5 mm + 0,5 ppm RMS
Následně zpracované kinematické měření GNSS	8 mm + 1 ppm RMS	15 mm + 1 ppm RMS
Kinematické měření v reálném čase	8 mm + 1 ppm RMS	15 mm + 1 ppm RMS
Síťové RTK	10 mm + 1 ppm RMS	20 mm + 1 ppm RMS

6. POPIS MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno ve dvou dnech 28.11.2018 a 21.12.2018. První den byl objekt nejprve nafocen kvůli světelným podmínkám (počasí) a následně byly zaměřeny stanoviska a přirozeně signalizované vlčovací body (střed jisticích kruhů na skále), které nebyly pro další zpracování úplně vhodné. Druhý den byla tedy pomocí protínání zpět z již zaměřených vlčovacích bodů zaměřena nová stanoviska. Z nich byly přeměřeny přirozeně signalizované vlčovací body (dřík u kruhů) a byly zaměřeny podélné profily pro porovnání výpočtu modelu z fotografií.

6.1 REKOGNOSKACE TERÉNU

V Českém ráji je velké množství skalních oblastí a měst. Byly vybrány dvě oblasti Hrubá skála a Prachovské skály. Na Hrubé skále byla vybrána skalní věž s názvem Kapelník. Po důkladné rekognoskaci bylo od této věže odstoupeno z důvodu špatného přístupu UAV. Kolem věže roste velké množství vzrostlých stromů, které zasahují moc blízko k věži, proto tato věž byla pro nafocení nevhodná. Skalní věže na Hrubé skále jsou všechny v hustém lese, a proto byly vybrány Prachovské skály (Obr. 8).



Obr. 8 Prachovské skály - město



V Prachovských skalách byla provedena rekognoskace místních věží. Pro tuto práci byla vybrána skalní věž s názvem Krakonoš.

Skalní věž Krakonoš byla tedy vybrána kvůli dobrému přístupu, viditelnosti ze všech stran a umístění v údolí kvůli stálosti světelných podmínek. Dále byla provedena rekognoskace terénu okolo věže. Byla vybrána vhodná místa stanovisek pro zaměření vřícovacích bodů. Rekognoskace zahrnovala i výběr vhodných vřícovacích bodů (jistící kruhy).

6.1.1 SKALNÍ VĚŽ KRAKONOŠ

Skalní věž Krakonoš se nachází v lezeckém sektoru Skalní město II. Přístup k této věži je od hlavní cesty, která vede od hlavního vstupu do Prachovských skal. Na tuto věž vede 21 lezeckých cest. První výstup na tuto věž byl proveden okolo roku 1908. Krakonoš je věž, která je zasazena do stráně, její severní (údolní) stěna je vysoká přibližně 40 metrů a jižní je vysoká pouhých 12 metrů (Obr. 9). Text k této kapitole byl čerpán z [2].



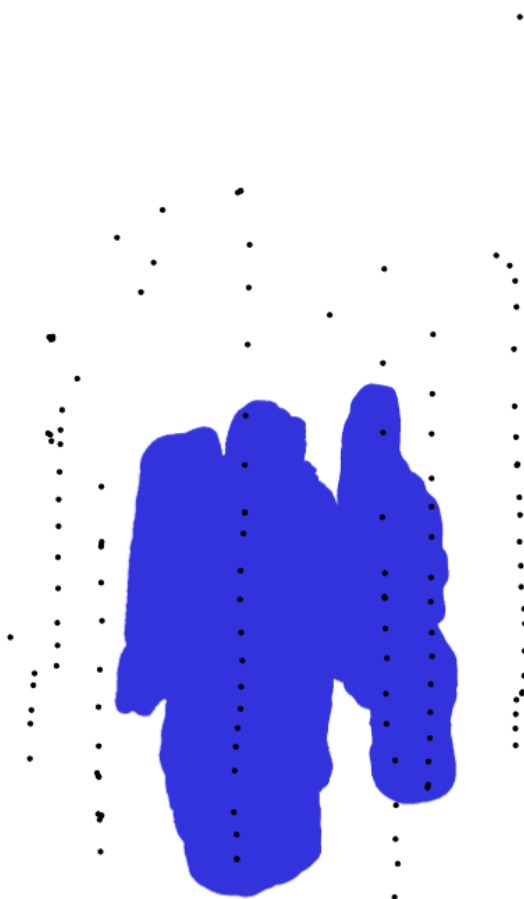
Obr. 9 Skalní věž Krakonoš



6.2 LETECKÉ SNÍMKOVÁNÍ

Skalní objekt v Prachovských skalách byl nasnímán 28.11.2018 v dopoledních hodinách. Objekt nafotila firma RSGeo-pro s.r.o, která má povolení k provozu UAV od ÚCL, zároveň bylo vyřízeno povolení od majitelů Prachovských skal rodiny Schliků k nafocení objektu. Po dobu měření jsem držela tablet a pořizovala snímky mačkáním spouště.

Snímání objektu bylo realizováno kvadrokoptérou DJI INSPIRE 1 PRO s 4K kamerou Zenmuse X5. Let byl rozdělen do 4 úseků kvůli výdrži baterií. Dráha letu byla navržena tak, aby byl minimální překryv dvojice snímků 70 %, což je nutné k tomu, aby při zpracování program mohl lépe určit spojovací body na snímcích kvůli přesnému spojení modelu. Bylo pořízeno celkem 136 fotografií, z čehož bylo použito 133 snímků (3 fotografie neobsahovaly snímání objektu). Počet snímků odpovídá počtu pozic kamery (Obr. 10). Nejprve byla nafocena přední nejdelší stěna skalní věže. Dále byly nafoceny boční stěny a stěna zadní. Nakonec byl nafocen vrchol skály kvůli dobrému vytvarování modelu. Tato část byla snímána z velké výšky. Po pořízení dostatečného počtu snímků byla provedena kontrola snímků, ostrost, barva a viditelnost vlíčovacích bodů. Kontrola proběhla na místě. Fotografie z prvního měření byly v pořádku, proto další letecké snímání nebylo potřeba.



Obr. 10 Pozice kamer



6.3 GNSS MĚŘENÍ

Pomocí GNSS byla zaměřena stanoviška, ze kterých byly následně měřeny vřícovací body totální stanicí. Byla zaměřena celkem 3 stanoviška na cestě vedoucí údolím pod skalami (Obr. 11).



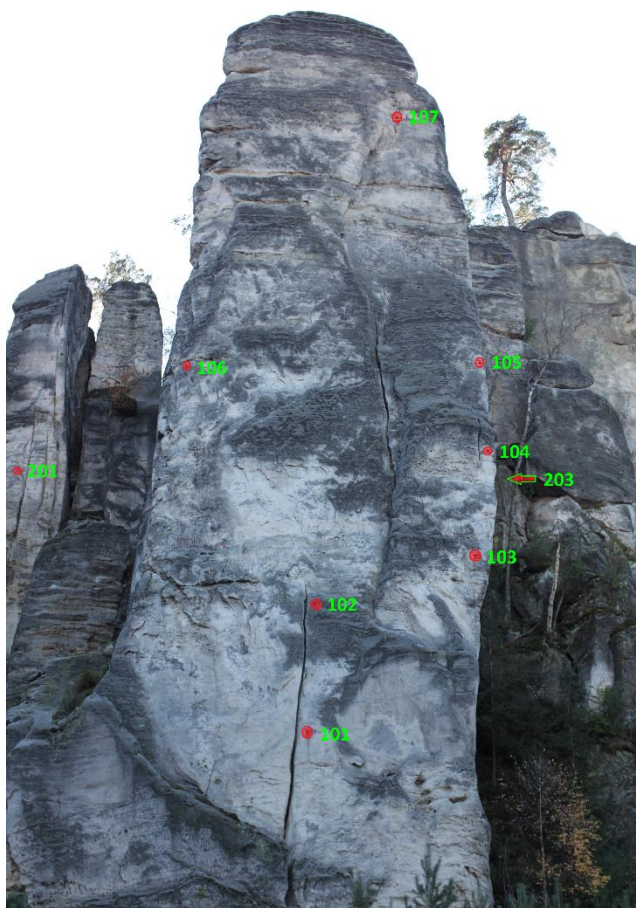
Obr. 11 Stanoviška

Body byly vyznačeny černým fixem na zemi. Na bod byl postaven GNSS přijímač na výtyčce. Byly změřeny souřadnice stanoviška metodou RTK, použity byly virtuální stanice ze sítě VRS Now. Doba observace na jednom bodě byla 30 vteřin. Měření bylo provedeno dvakrát, aby byla ověřena správnost měření. Mezi skalami byl slabý signál, proto bylo měření často přerušeno, po více pokusech se měření podařilo dokončit.



6.4 MĚŘENÍ VLÍCOVACÍCH BODŮ

Vlícovací body pro tvorbu 3D modelu skalního objektu byly stabilizovány přirozeně prostřednictvím železných kruhů (Obr. 12), které slouží jako jistící prostředky k zajištění lezecké cesty. Železné kruhy jsou ve skále navrtány, tedy mají jednoznačně určitelnou neměnnou polohu a jsou dobře geodeticky změřitelné. Část vyčnívající ze skály ven tvoří malou plochu, na kterou lze dobře zacílit totální stanicí. Na snímcích jsou kruhy dobře viditelné. Počet vlícovacích bodů byl omezen počtem kruhů (Obr. 13). Na skalní objekt nemohly být přidány umělé značky kvůli zákazu lezení na pískovcové skály v zimním období.



Obr. 12 Vlícovací body



Na zaměřeném stanovisku pomocí GNSS byla provedena horizontace a centrace totální stanice. Nejprve byla zaměřena orientace na dvě vedlejší stanoviska a poté bylo zaměřeno 10 vřícovacích bodů (8 kruhů a dvě díry ve skále) prostorovou polární metodou. Tyto body byly měřeny ve dvou polohách. Nejprve bylo cíleno na střed kruhu, což se ukázalo při zpracování fotogrammetrie jako zcela nevhodné (prostorová interpretace kruhu nebyla jednoznačná), proto bylo měření opakováno 21.12.2018.

Druhý den měření byla nejprve protínáním zpět vytvořena nová stanoviska, jelikož ta původní nebylo možné použít. Při měření bylo využito automatické cílení, které totální stanice umožňuje. Po novém zaměření stanovisek byly měřeny již správně vřícovací body (měření na železnou plochu, vyčnívající ze skály ven).



Obr. 13 Jistící prostředek - kruh

6.5 MĚŘENÍ PODÉLNÝCH PROFILŮ

Podélné profily byly zaměřeny pro porovnání s výsledným mračnem bodů z fotogrammetrie. Od spodní části skály byly po jednom metru změřeny body až po vrchol. Byly měřeny dva profily, jeden značen body 500 – 528 a druhý 600 – 626 (Obr. 14). Pro zaměření podélných profilů byla použita totální stanice.



Obr. 14 Body podélných profilů

7. POPIS ZPRACOVÁNÍ

V této kapitole je popsáno zpracování měření v jednotlivých programech. Byly použity programy Groma, ve kterém byly vypočteny souřadnice vlíčovacích bodů a bodů profilů, AgiSoft Photoscan, ve kterém byl vypočten 3D model měřeného skalního objektu, Cloud Compare, ve kterém byl též vypočten 3D model objektu a proběhlo porovnání modelu se zaměřenými profily, a program FastStone Image Viewer, ve kterém byly zakresleny lezecké cesty do modelu. Data pro zpracování byly fotografie pořízené pomocí UAV, souřadnice stanovisek a zápisník měření vlíčovacích bodů a bodů profilů.

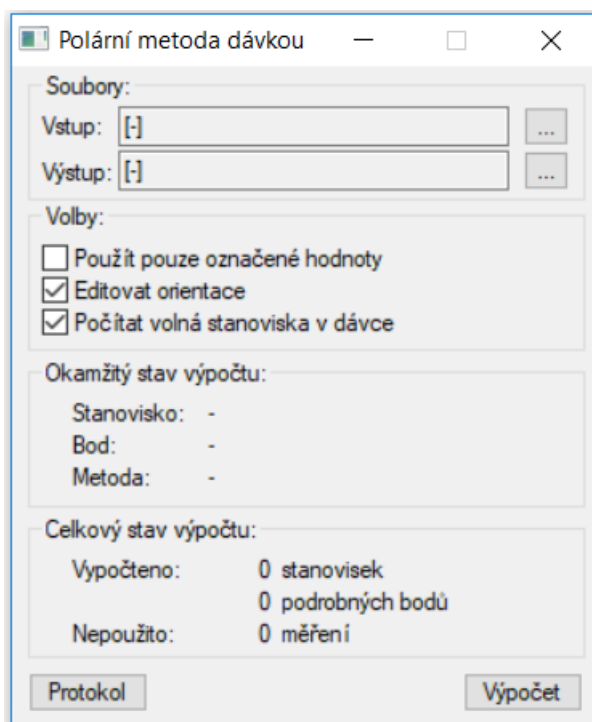
7.1 PROGRAM GROMA

Měření z totální stanice Trimble S5 Robotic DR Plus bylo nahráno do programu Groma přes tlačítko *Soubor – otevřít* (soubor s příponou mes „model.mes“). Dále bylo



měření zpracováno pomocí tlačítka *měření - zpracování zápisníku*. Tímto krokem bylo zpracováno měření v obou polohách.

Výpočet souřadnic zaměřených vlícovacích bodů a profilů byl proveden polární metodou dávkou, kterou lze najít v programu Groma na hlavním panelu v záložce *výpočty* – *polární metoda dávkou* (Obr. 15).



Obr. 15 Polární metoda dávkou

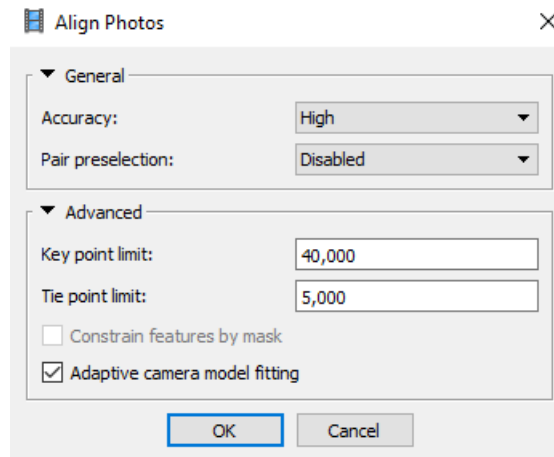
Pro další použití byly souřadnice z tvaru X, Y, Z převedeny na tvar -Y, -X, Z. Převod byl proveden kvůli programu Agisoft PhotoScan, protože tento program pracuje s matematickým uspořádáním souřadnicových os.

7.2 PROGRAM AGISOFT PHOTOSCAN

Zpracování dat z UAV bylo vyhotoveno v programu Agisoft PhotoScan 1.2.6 build 2834 [64-bit]. Pořízené fotografie byly nahrány do programu. Pomocí funkce *align photos* (Obr. 16) bylo vytvořeno řídké mračno bodů. Funkce využívá epipolární geometrii pro nalezení klíčových bodů na jednom snímku a následně vyhledá odpovídající body na

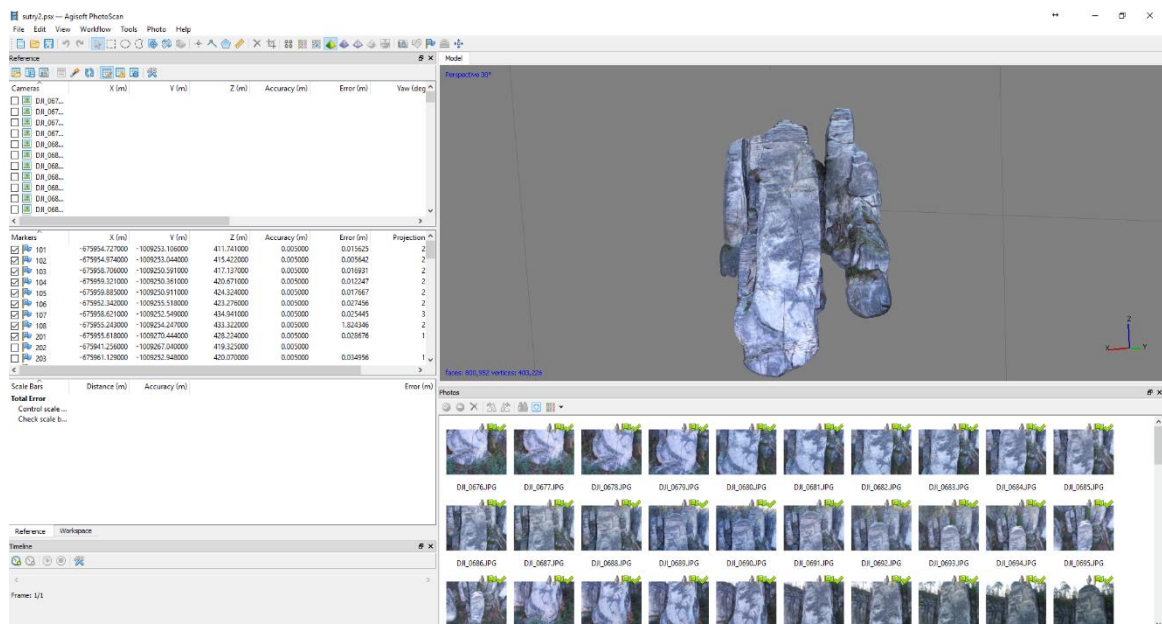


ostatních snímcích. Vytvoří se řídké mračno a vyrovnáním se následně určí poloha jednotlivých snímků a vypočtou se prvky vnitřní a vnější orientace.



Obr. 16 Align photos

Do programu byly vloženy souřadnice vlíčovacích bodů, které byly vypočteny v programu Groma, což je uvedeno v kapitole 7.1. Tyto souřadnice byly nahrány ve formátu -Y, -X, Z, přes ikony *reference* -> *import* -> kde byl následně vybrán txt soubor se souřadnicemi. Vlícovací body byly otevřeny jako seznam bodů na levém okraji okna programu (Obr. 17).



Obr. 17 Vložené snímky a vlícovací body

Byl otevřen první snímek, do kterého byly vyznačeny všechny viditelné vlícovací body. Bod byl do snímku vložen přes pravé tlačítko myši -> *place marker* -> výběr konkrétního bodu (číslo bodu). Po vložení se objeví ve snímku vlaječka, kterou je nutno přesunout na správné místo vlícovacího bodu. Pokud je na snímku více viditelných bodů,



tento krok se udělá pro všechny body. Po vložení bodů do první fotografie se body vloží stejným postupem i do fotografie následující. Je-li jeden vlíčovací bod vložen do dvou fotografií, program sám dopočítá jeho polohu i na dalších snímcích, kde se konkrétní vlíčovací bod nachází. Na ostatních fotografiích se objeví šedá vlaječka, kterou je nutno posunout na správné místo vlíčovacího bodu. Po umístění na bod se vlaječka vybarví a zpřesní se umístění bodu na dalších snímcích. Po každém umístění vlaječky na bod je poloha bodu přesnější. Celý tento postup se udělá pro každý vlíčovací bod a pro všechny snímky. Do snímků byly vloženy pouze jasně identifikovatelné body (byly odstraněny dva vlíčovací body, které byly zaměřeny, jako díra ve skále). V průběhu vkládání vlíčovacích bodů do snímků se provádí optimalizace přes pravé tlačítko myši -> *optimize cameras*. Optimalizace přepočítá model za pomoci již vložených vlíčovacích bodů.

Po optimalizaci modelu byly vypočteny souřadnicové rozdíly vlíčovacích bodů X error, Y error a Z error (Obr. 18) jako rozdíl vypočtených souřadnic z modelu a referenčních souřadnic. Dále se vypočte prostorová souřadnicová odchylka Error (1) pro každý vlíčovací bod. Následně byly vypočteny směrodatné odchylky pro každou souřadnici Total X Error, Total Y Error a Total Z Error. Poslední byla vypočtena celková prostorová směrodatná odchylka Total(2). Image (pix) je odchylka v pixelech.

$$Error = \sqrt{Xerror^2 + Yerror^2 + Zerror^2} \quad (1)$$

$$Total = \sqrt{\frac{Error_1^2 + \dots + Error_n^2}{n}} \quad (2)$$

Kde: n je celkový počet použitých bodů.

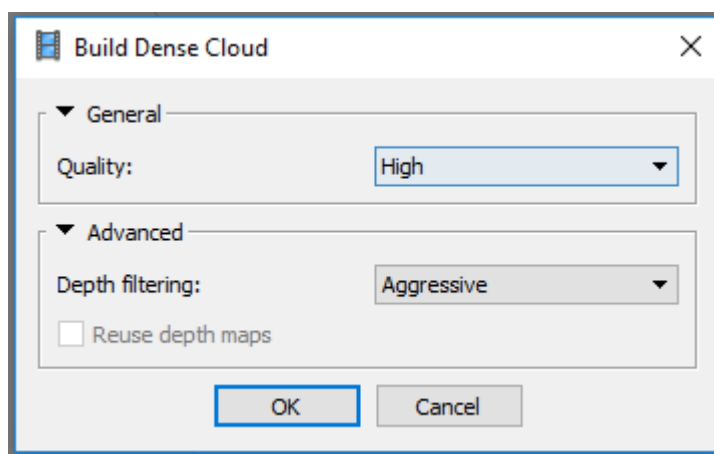


Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
101	0.000505917	0.00832369	0.0132133	0.0156247	0.699 (27)
102	0.00197451	0.00278797	-0.0044895	0.00564155	0.918 (26)
103	0.0159813	0.000819238	-0.00553196	0.0169315	0.764 (27)
104	0.00465301	-0.0105922	-0.0040193	0.0122475	0.641 (23)
105	-0.00434547	-0.0170962	-0.000984259	0.0176672	0.634 (24)
106	0.00491832	0.0246212	-0.0111109	0.0274563	0.906 (20)
107	0.00525886	-0.00460234	-0.0244661	0.0254446	0.926 (33)
201	-0.00540554	-0.0216227	0.0180423	0.0286755	0.529 (12)
Total	0.00690249	0.0140407	0.0126986	0.0201504	0.784

Obr. 18 Souřadnicové rozdíly

Následoval výpočet výsledného mračna *workflow* -> *build dense cloud* (Obr. 19).

Zde byla nastavena míra kvality (*Quality*) neboli množství bodů na vysokou (*High*), abychom dostali co nejvíce bodů. Dále byl nastaven způsob filtrování bodů (*Depth filtering*), kde jsou tři možnosti *mild/moderate/aggressive*, zde byla zvolena možnost *aggressive*. Informace o nastavení byly čerpány z [11].



Obr. 19 Dense Cloud

Výpočet mračna 3D modelu trval několik hodin.

ČAS VÝPOČTU MODELU: 5 hodin 52 minut

POČET BODŮ MRAČNA: 43 956 391

Mračno bodů vypočteného 3D modelu bylo následně ořezáno od přebytečných bodů. Na hlavním panelu je ikona s obrázkem pro vybrání objektu. Po zvolení této ikony



byl vybrán kus mračna, který byl následně odstraněn. Model byl očištěn od přebytečných bodů, aby obsahoval pouze snímání objekt.

POČET BODŮ MRAČNA PO OŘEZÁNÍ: 12 014 306

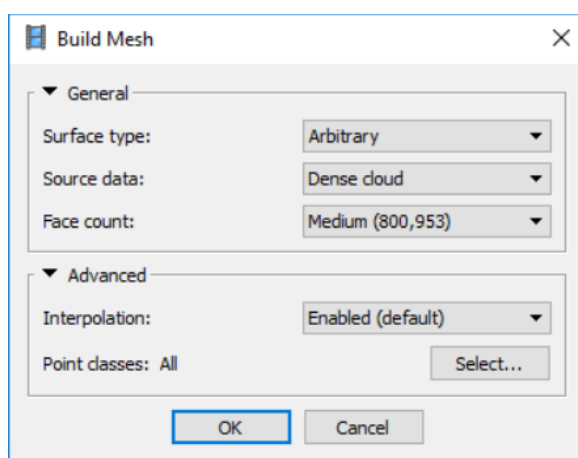
Po ořezání modelu byl vygenerován report, který obsahuje informace o výpočtu modelu (Obr. 20).

General	
Cameras	136
Aligned cameras	133
Markers	9
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Point Cloud	
Points	57,802 of 100,769
RMS reprojection error	0.258414 (0.817287 pix)
Max reprojection error	1.6355 (17.8916 pix)
Mean key point size	3.13605 pix
Effective overlap	7.32111
Alignment parameters	
Accuracy	High
Pair preselection	Disabled
Key point limit	40,000
Tie point limit	5,000
Constrain features by mask	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	2 hours 2 minutes
Alignment time	1 minutes 5 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Optimization time	3 seconds
Dense Point Cloud	
Points	12,014,306
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Mld
Depth maps generation time	5 hours 52 minutes
Dense cloud generation time	3 hours 24 minutes
Model	
Faces	199,999
Vertices	101,983
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Mld
Face count	800,953
Processing time	7 minutes 32 seconds
Software	
Version	1.2.6 build 2834
Platform	Windows 64 bit

Obr. 20 Report – informace o výpočtu 3D modelu



Dalším krokem bylo spojit mračno bodů do síťového modelu (mesh). Vytvoření finální podoby modelu bylo provedeno funkcí *Build Mesh* (Obr. 21). V tomto procesu se husté mračno bodů spojí do plošek. Zde byl nejprve nastaven požadovaný typ povrchu (*Surface type*) na *Arbitrary*. Tento typ se používá pro vytvoření prostorových modelů objektů, na rozdíl od druhé možnosti *Height field*, která se používá pro modelování rovinných povrchů. V *Source data* neboli zdrojová data bylo nastaveno husté mračno (*Dense cloud*). Poslední bylo nastaveno rozlišení obrazu (*Face count*) na *Medium*. Informace o parametrech byly čerpány z [11].



Obr. 21 *Build Mesh*



7.3 PROGRAM CLOUD COMPARE

Mračno bodů 3D modelu skalního objektu bylo nahráno do programu Cloud Compare v 2.8.1 [64-bit]. Mračno bylo ořezáno funkcí *nůžky*, kde se vybrala část mračna, která se vložila do nové vrstvy a ta se následně smazala. Takto byl celý model ořezán od přebytečného mračna. Body podélných profilů byly vloženy do programu (Obr. 22), následně bylo zjištěno, že kvůli zakřivení skály část jednoho profilu byla posunuta. Ořezané mračno bylo následně porovnáno s podélnými profily v záložce *tools-> funkce distances-> cloud/cloud* a dále bylo pomocí triangulace dokončeno porovnání *local-> triangulation*. Principem bylo porovnání vzdáleností nejbližších bodů mračna bodů a profilů, ze kterých byla vypočtena výsledná odchylka v metrech. Porovnání je uvedeno v kapitole 8.

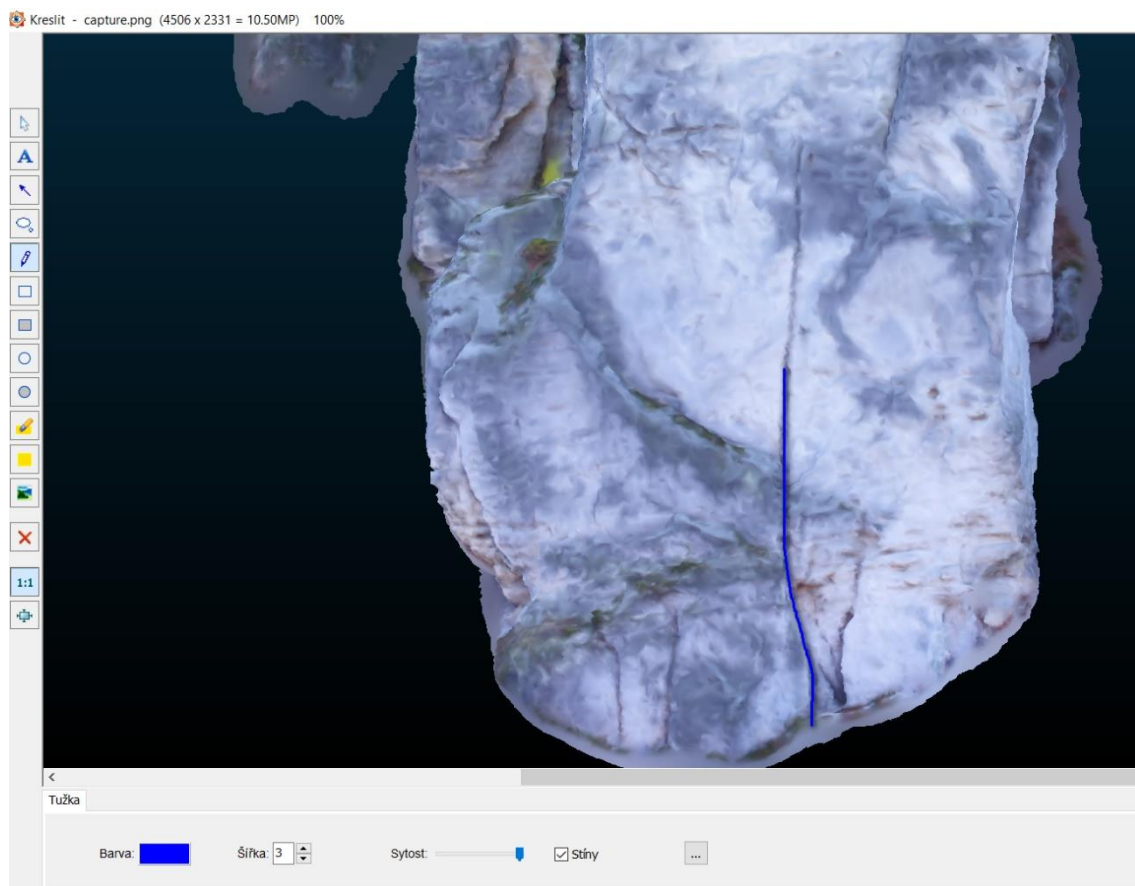


Obr. 22 Podélné profily



7.4 POSTUP ZAKRESLENÍ CEST DO 3D MODELU

Lezecké cesty byly do modelu skalní věže zakresleny v programu FastStone Image Viewer. Podkladem k zakreslení cest byl Horolezecký průvodce Prachovské skály, ze kterého byl převzat popis cest, jejich názvy a klasifikace. Obrázky všech lezeckých stran věže byly vloženy do tohoto programu a přes *Upravit -> Kreslit* a následně funkcí tužka byly cesty do modelu zakresleny (Obr. 23).

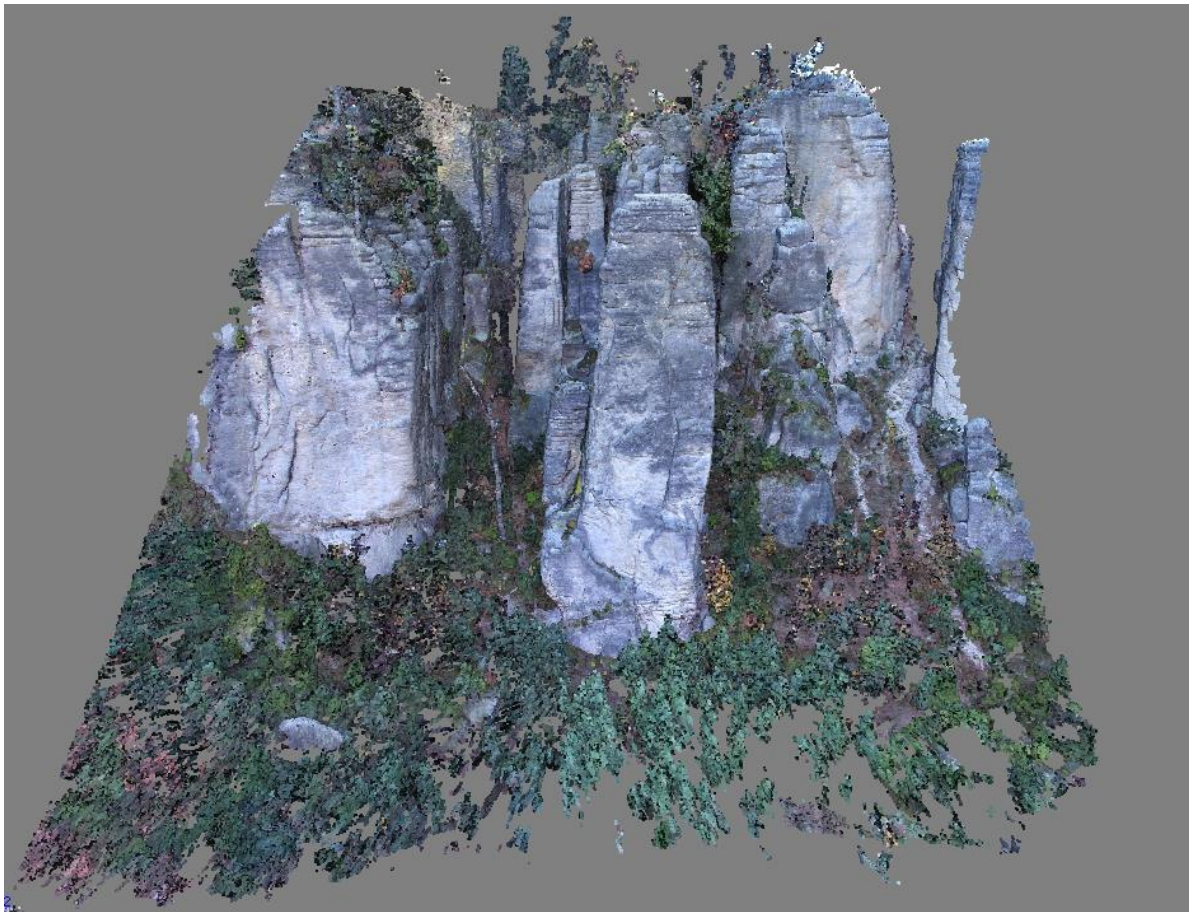


Obr. 23 Ukázka zakreslování cest do modelu



8. VÝSLEDKY

Výstup z výpočtu funkce „*Build Dense Cloud*“ bylo nejprve neořezané mračno bodů (Obr. 24). Fotografie mají větší záběr, proto vzniklo více bodů, než bylo požadováno.



Obr. 24 Výsledné neořezané mračno

Mračno bodů bylo tedy ořezáno pouze na měřený objekt (Obr. 25). Nepotřebné body byly definitivně smazány. Veškerá zeleň okolo objektu byla smazána kvůli následnému vytvoření Mesh (zeleň splyne do zelené plochy, která pro model není vhodná).



Obr. 25 Ořezané mračno

Výslednému ořezanému mračnu byla dodána struktura pomocí funkce Mesh. Výsledný 3D model skalního objektu byl exportován do formátu pdf, který je uveden jako příloha této bakalářské práce. Zde jsou pro názornost přiloženy snímky severní stěny³ věže (Obr. 26), západní stěny (Obr. 27) a východní stěny (Obr. 28).

³ Stěna – horolezci takto nazývají stranu skály, na kterou vedou lezecké cesty. Stěna je vždy označena světovou stranou.



Obr. 26 Severní stěna skalního objektu



Obr. 27 Západní stěna skalního objektu



Obr. 28 Východní stěna skalního objektu

Výsledné mračno bylo porovnáno v programu CloudCompare s naměřenými podélnými profily. Porovnání je uvedeno v tabulce (Tab. 2), porovnání souřadnic mračna bodů (x, y, z) a bodů měření (X, Y, Z) .



Tab. 2 Porovnání mračna bodů s podélnými profily

Č. B.	X [m]	Y [m]	Z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	ODCHYLKA
501	-675954,802	-1009253,351	409,004	-675954,802	-1009253,351	409,004	0,008433
502	-675954,782	-1009253,325	410,009	-675954,782	-1009253,325	410,009	0,021147
503	-675954,692	-1009253,209	411,017	-675954,692	-1009253,209	411,017	0,008468
504	-675954,682	-1009253,195	412,049	-675954,682	-1009253,195	412,049	0,009288
505	-675954,683	-1009253,197	413,032	-675954,683	-1009253,197	413,032	0,004725
506	-675954,636	-1009253,137	413,998	-675954,636	-1009253,137	413,998	0,016076
507	-675954,679	-1009253,191	415,007	-675954,679	-1009253,191	415,007	0,016813
508	-675954,767	-1009253,306	416,011	-675954,767	-1009253,306	416,011	0,006745
509	-675954,769	-1009253,308	417,015	-675954,769	-1009253,308	417,015	0,009706
510	-675954,757	-1009253,293	418,018	-675954,757	-1009253,293	418,018	0,017006
511	-675954,757	-1009253,293	419,011	-675954,757	-1009253,293	419,011	0,018669
512	-675954,711	-1009253,233	420,015	-675954,711	-1009253,233	420,015	0,025031
513	-675954,767	-1009253,307	421,024	-675954,767	-1009253,307	421,024	0,01502
514	-675954,892	-1009253,469	422,017	-675954,892	-1009253,469	422,017	0,016693
515	-675954,932	-1009253,520	423,010	-675954,932	-1009253,520	423,010	0,027118
516	-675954,973	-1009253,573	424,022	-675954,973	-1009253,573	424,022	0,022763
517	-675955,061	-1009253,687	425,013	-675955,061	-1009253,687	425,013	0,01036
518	-675958,097	-1009252,128	426,013	-675958,097	-1009252,128	426,013	0,023716
519	-675958,434	-1009252,491	429,028	-675958,434	-1009252,491	429,028	0,028641
520	-675958,437	-1009252,495	430,015	-675958,437	-1009252,495	430,015	0,022709
521	-675958,456	-1009252,515	431,016	-675958,456	-1009252,515	431,016	0,037233
522	-675958,401	-1009252,456	432,020	-675958,401	-1009252,456	432,020	0,033507
523	-675958,452	-1009252,510	433,013	-675958,452	-1009252,510	433,013	0,027063
524	-675958,518	-1009252,581	434,019	-675958,518	-1009252,581	434,019	0,012772
525	-675958,482	-1009252,542	435,012	-675958,482	-1009252,542	435,012	0,035875
526	-675958,382	-1009252,434	436,008	-675958,382	-1009252,434	436,008	0,036546
527	-675958,416	-1009252,472	437,023	-675958,416	-1009252,472	437,023	0,023047
528	-675958,483	-1009252,544	438,022	-675958,483	-1009252,544	438,022	0,014062
601	-675953,575	-1009254,428	410,027	-675953,575	-1009254,428	410,027	0,013772
602	-675953,541	-1009254,379	411,016	-675953,541	-1009254,379	411,016	0,013472
603	-675953,525	-1009254,357	412,037	-675953,525	-1009254,357	412,037	0,011296
604	-675953,517	-1009254,345	413,015	-675953,517	-1009254,345	413,015	0,009499
605	-675953,493	-1009254,311	414,010	-675953,493	-1009254,311	414,010	0,018297
606	-675953,454	-1009254,255	415,021	-675953,454	-1009254,255	415,021	0,015074
607	-675953,458	-1009254,262	416,022	-675953,458	-1009254,262	416,022	0,005744
608	-675953,475	-1009254,285	417,013	-675953,475	-1009254,285	417,013	0,011598
609	-675953,460	-1009254,264	418,015	-675953,460	-1009254,264	418,015	0,018979
610	-675953,543	-1009254,165	419,014	-675953,543	-1009254,165	419,014	0,015885
611	-675953,505	-1009254,112	420,012	-675953,505	-1009254,112	420,012	0,014138
612	-675953,581	-1009254,219	421,014	-675953,581	-1009254,219	421,014	0,012071
613	-675953,611	-1009254,263	422,021	-675953,611	-1009254,263	422,021	0,018368
614	-675953,652	-1009254,320	423,013	-675953,652	-1009254,320	423,013	0,021921
615	-675953,673	-1009254,349	424,020	-675953,673	-1009254,349	424,020	0,012651
616	-675953,765	-1009254,479	425,023	-675953,765	-1009254,479	425,023	0,015865



617	-675953,754	-1009254,464	426,012	-675953,754	-1009254,464	426,012	0,023796
618	-675953,751	-1009254,459	427,015	-675953,751	-1009254,459	427,015	0,027005
619	-675953,774	-1009254,492	428,013	-675953,774	-1009254,492	428,013	0,02305
620	-675953,865	-1009254,621	429,012	-675953,865	-1009254,621	429,012	0,016232
621	-675953,985	-1009254,789	430,026	-675953,985	-1009254,789	430,026	0,030018
622	-675954,019	-1009254,837	431,018	-675954,019	-1009254,837	431,018	0,020098
623	-675954,035	-1009254,86	432,019	-675954,035	-1009254,86	432,019	0,021028
624	-675954,067	-1009254,905	434,022	-675954,067	-1009254,905	434,022	0,022841
625	-675954,159	-1009255,035	435,017	-675954,159	-1009255,035	435,017	0,019222
626	-675954,282	-1009255,208	436,021	-675954,282	-1009255,208	436,021	0,000457

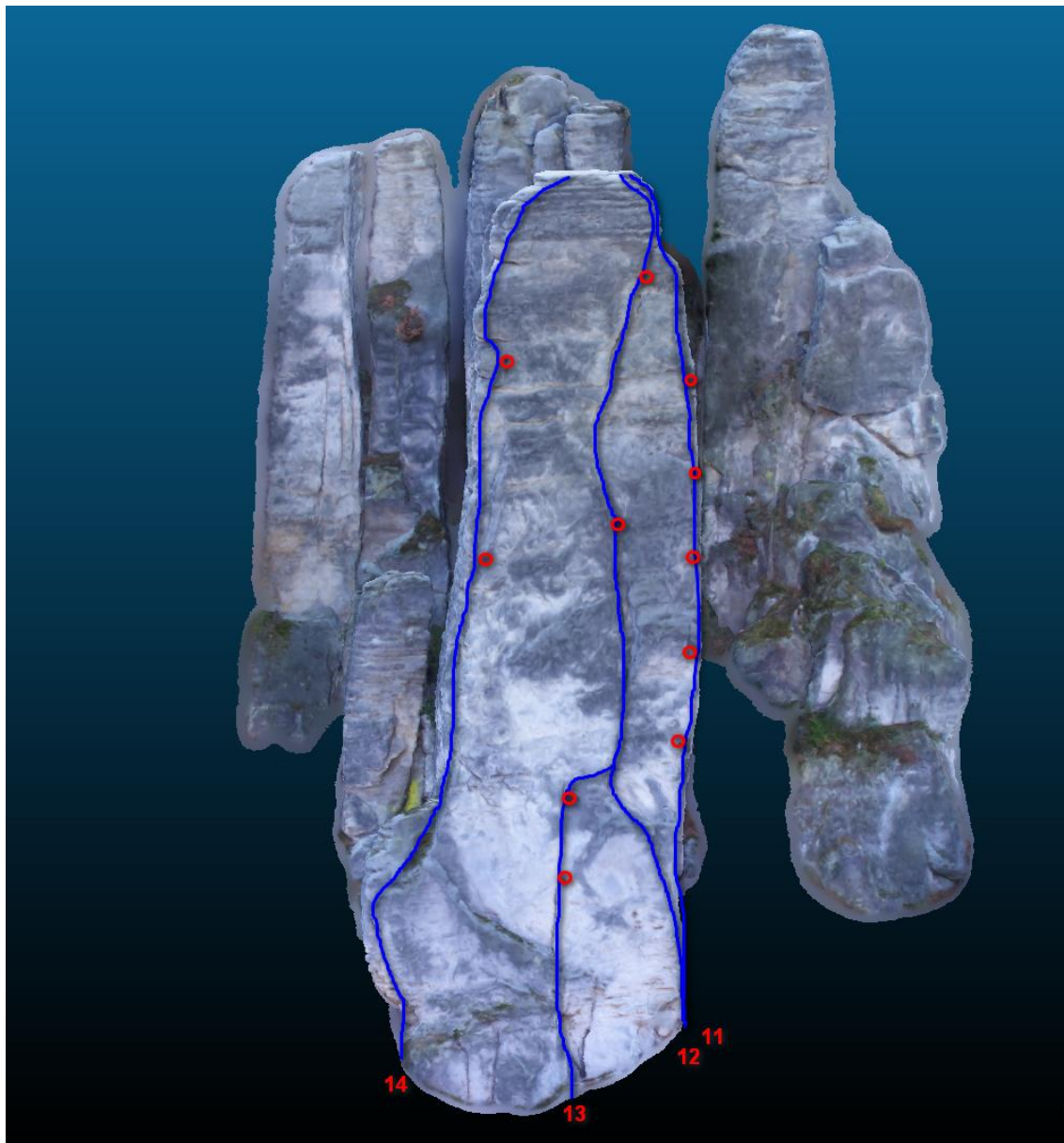
Následně byly do výsledného modelu zakresleny lezecké cesty, které jsou uvedeny v Tab. 3, jejich popis je uveden v horolezeckém průvodci [2]. V tabulce je uveden název cesty a její obtížnostní klasifikace, která se používá na pískovcových skalách a jmenuje se Czech-Sasisch. Klasifikací je na světě více a je pro ně vytvořena převodní tabulka, která je uvedena v [1]. Horolezeckých cest vedoucích na tuto skalní věž je 21.

Tab. 3 Seznam lezeckých cest a jejich obtížnost (klasifikace)

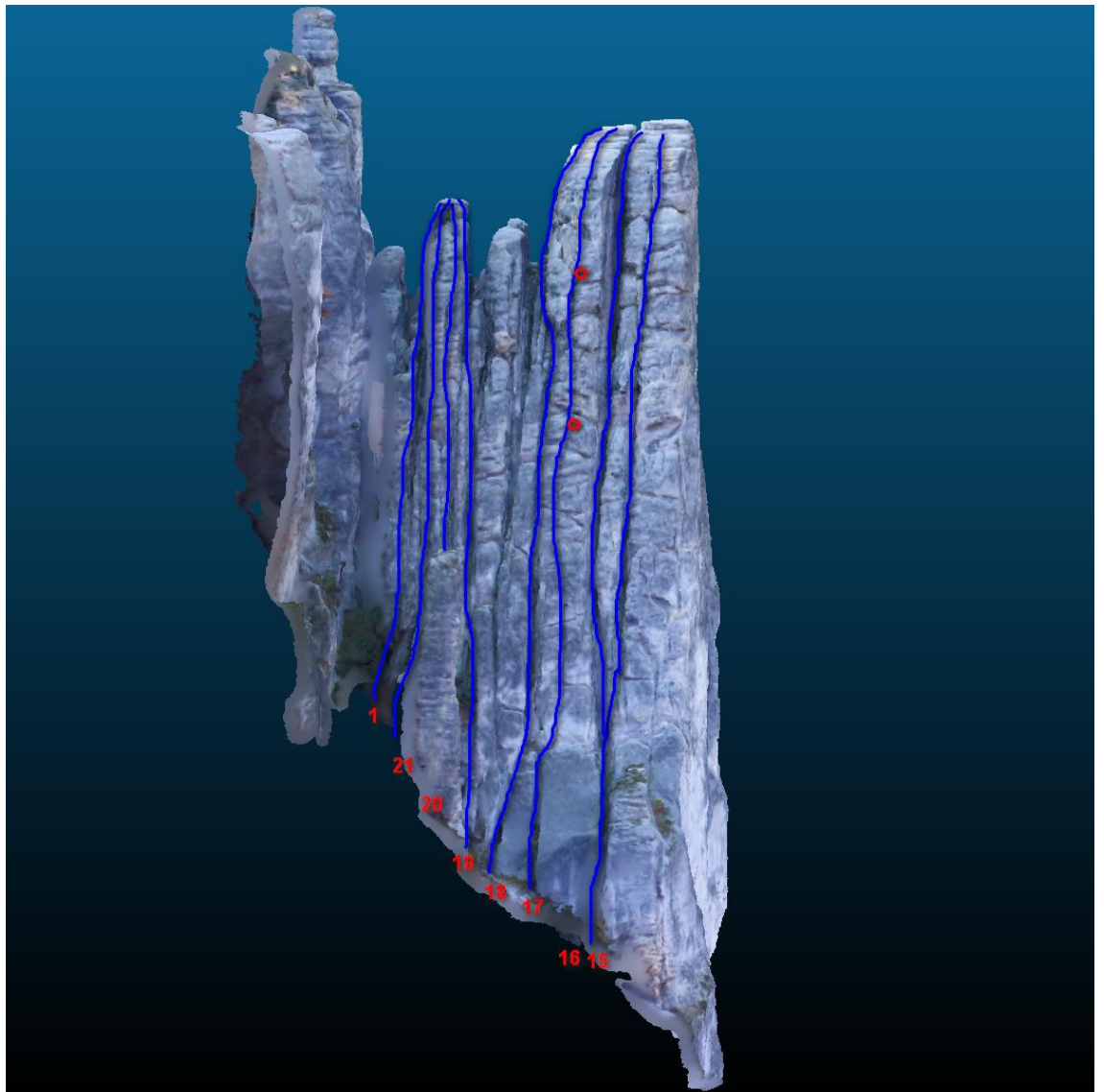
ČÍSLO	LEZECKÁ CESTA	KLASIFIKACE
1.	Stará cesta	II
2.	Západní pravý komín	III
3.	Poskvrněné početí	VIIb
4.	Západní střední komín	II
5.	Západní levý komín	IV
6.	Západní pilíř	VIIc
7.	Trautenberkova cesta	VIIc
8.	Volební cesta	VII
9.	Západní spára	VII
10.	Holota líná	IXb
11.	Játro desolato	IXc
12.	Massachusetts	VIIIb
13.	var. Bad day	VIIb
14.	Modré džíny	VIIb
15.	Dlouhá spára	V
16.	Dlouhý východní komín	III
17.	Ponikelská bába	VII
18.	Východní široký komín	III
19.	Pouť k jezulátku	VIIb
20.	Východní střední cesta	IV
21.	Madončina cesta	IV



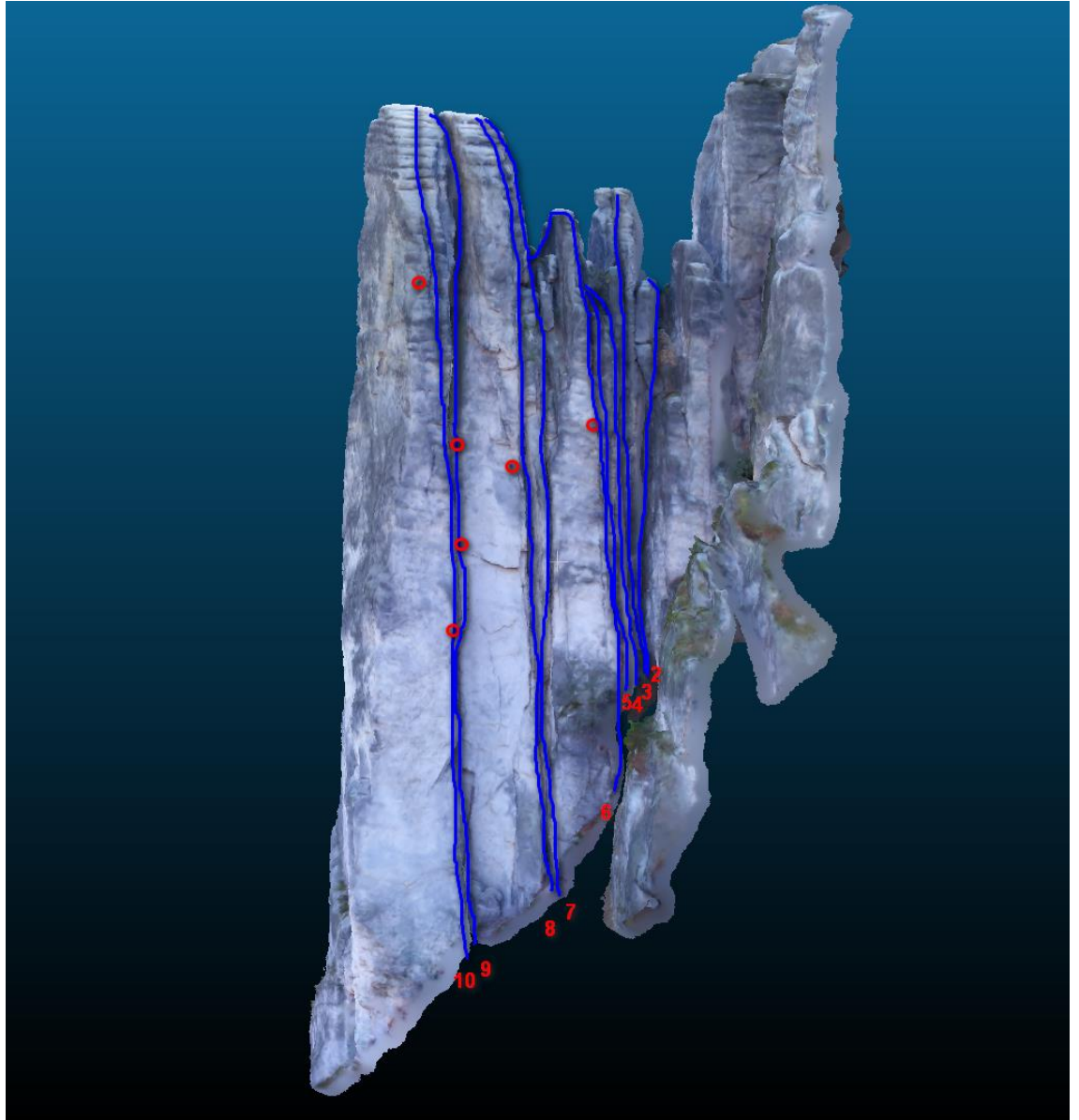
Podle popisu byl proveden zákres všech lezeckých cest vedoucích na skalní věž Krakonoš. Já jsem na tuto věž vylezla cestou „Modré džíny“, což je jedna z nejhezčích cest na tuto věž. Nejprve byly cesty zakresleny do severní stěny (Obr. 29), dále do stěny východní (Obr. 30) a nakonec do cesty západní (Obr. 31).



Obr. 29 Lezecké cesty v severní stěně



Obr. 30 Lezecké cesty ve východní stěně



Obr. 31 Lezecké cesty v západní stěně



9. ZÁVĚR

Byl vytvořen 3D model skalního objektu v Prachovských skalách s následným zakreslením veškerých lezeckých cest vedoucích na tuto skalní věž.

Nejprve bylo vyhotoveno měření, které zahrnovalo nasnímání objektu bezpilotním letounem, zaměření vřícovacích bodů a zaměření bodů podélných profilů. Snímky objektu byly v dobré kvalitě a měly dostatečný překryv (70%) mezi sebou, proto mohly být použity pro vytvoření modelu. Měření vřícovacích bodů muselo být provedeno dvakrát, jelikož nejprve bylo měřeno na střed jisticího kruhu což se ukázalo, že není vhodné. Při měření na střed kruhu nebylo cíleno pokaždé na stejné místo a tím nevycházely správné hodnoty. Vřícovací body byly zaměřeny podruhé. Bylo měřeno na dřík jisticího kruhu což už bylo v pořádku. Dále byly měřeny dva podélné profily. Druhý měřený profil má část bodů posunutý do strany kvůli zakřivení skály. V programu Agisoft Photoscan bylo nejprve vypočteno řídké mračno bodů. Dále do programu byly vloženy vřícovací body, který mračno zorientovaly. Z řídkého mračna bylo vypočteno husté mračno funkcí Dense Cloud a tomu byla přidána struktura funkcí Build Mesh. Mračno bodů bylo porovnáno s podélnými profily v programu CloudCompare. Odchyly souřadnic mračna a bodů profilů jsou nejvýše 0,03 m což je pro tento model vyhovující. Do modelu byly zakresleny lezecké cesty vedoucí na skalní věž Krakonoš v programu FastStone Image Viewer.

Byl tedy vyhotoven návrh na 3D horolezeckého průvodce pro následné využití, nastudování lezeckých cest, k opravě jisticích prostředků a celkové kontrole skalní věže.

10. SEZNAM LITERATURY

- [1] Dlabola,P., Šoltys,V., Všetečka,J., PRACHOVSKÉ SKÁLY, horolezecký průvodce, Lezecký kroužek Prachov a East Publishing, Jičín 1998
- [2] Hejtmánek,P., Kořátko,Z., Petráň,Z., PRACHOVSKÉ SKÁLY, lezecký průvodce, NH Savana, Praha 2018
- [3] Urban,R., Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů, ČVUT v Praze, 2015, ISBN 978-80-01-05786-5
- [4] Pavelka,K., Fotogrammetrie 1, FSv ČVUT v Praze, 2019, ISBN 978-80-01-04249
- [5] Pavelka,K., Fotogrammetrie 10, FSv ČVUT v Praze, 1998, ISBN 80-01-01863
- [6] Srnský,P., Možnosti využití dronů v oblasti 3D modelování objektů, Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017



- [7] Marek, R., Tvorba 3D modelů z dat UAV, Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, 2018
- [8] Rýglová, H., Testovací metody SfM se zaměřením na UAV při zaměřování vodohospodářského modelu, ČVUT v Praze, Diplomová práce, 2018
- [9] Šiková, Z., Využití metod optického skenování v geomorfologických analýzách, Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, 2015
- [10] Karas, J., Tichý, T., Drony, Computer Press, Brno, 2016, ISBN 978-80-251-4680-4
- [11] Křížová, A., UAV snímkování a jeho aplikace ve fyzické geografii, Diplomová práce, Masarykova univerzita v Brně, 2014
- [12] Geotronics Praha [online], [cit. 2019-04-04], Dostupné z: http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022516-153A-CZE_TrimbleS5_DS_0515_LR_Geotronics.pdf
- [13] Geotronics Praha [online], [cit. 2019-04-04], Dostupné z: http://www.geotronics.sk/wp-content/uploads/2014/10/CZE_TrimbleR4GNSS_DS.pdf
- [14] Hampacher, M., Štroner, M., Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii, FSv ČVUT v Praze, 2015, ISBN 978-80-01-05843-5



11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Poloha.....	7
Obr. 2 Horolezectví na Prachovských skalách – fotografie z vrcholu Krakonoše..	8
Obr. 3 Structure from Motion.....	11
Obr. 4 Parametry kamery	14
Obr. 5 UAV v terénu	14
Obr. 6 legislativa provozu UAV.....	15
Obr. 7 Trimble S5 v terénu.....	16
Obr. 8 Prachovské skály - město	17
Obr. 9 Skalní věž Krakonoš	18
Obr. 10 Pozice kamer	19
Obr. 11 Stanoviska	20
Obr. 12 Vlíčovací body	21
Obr. 13 Jistící prostředek - kruh.....	22
Obr. 14 Body podélných profilů.....	23
Obr. 15 Polární metoda dávkou.....	24
Obr. 16 Align photos	25
Obr. 17 Vložené snímky a vlíčovací body	25
Obr. 18 Souřadnicové rozdíly	27
Obr. 19 Dense Cloud	27
Obr. 20 Report – informace o výpočtu 3D modelu.....	28
Obr. 21 Build Mesh	29
Obr. 22 Podélné profily	30
Obr. 23 Ukázka zakreslování cest do modelu	31
Obr. 24 Výsledné neořezané mračno	32
Obr. 25 Ořezané mračno	33
Obr. 26 Severní stěna skalního objektu.....	34
Obr. 27 Západní stěna skalního objektu.....	35
Obr. 28 Východní stěna skalního objektu	36
Obr. 29 Lezecké cesty v severní stěně	39
Obr. 30 Lezecké cesty ve východní stěně	40
Obr. 31 Lezecké cesty v západní stěně.....	41



12. SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Polohová přesnost	17
Tab. 2 Porovnání mračna bodů s podélnými profily	37
Tab. 3 Seznam lezeckých cest a jejich obtížnost (klasifikace).....	38

13. SEZNAM PŘÍLOH

Veškeré přílohy jsou přiloženy k této bakalářské práci na digitálním médiu.

1. PDF s textovými dokumenty
 - Seznam souřadnic vřícovacích bodů a stanovisek (ve formátu pro Agisoft Photosca) a Seznam souřadnic bodů podélných profilů (ve formátu pro Agisoft Photosca)
 - Protokol o měření GNSS
 - Protokol o měření totální stanicí
 - Protokol o výpočtu z programu Groma
2. Složka s fotogrammetrickými daty
 - Fotografická dokumentace skalního objektu (133 snímků)
3. 3D model objektu
 - 3D model skalního objektu ve formátu PDF
 - Výstup 3D modelu z Agisoft PhotoScan (soubor ve formátu PSX + složka souborů FILES)
 - Výstup 3D modelu z CloudCompare (soubor ve formátu 3D Object(.ply))