

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Zaměření štoly dělostřelecké tvrze Stachelberg

Measurement of the Stachelberg artillery fortress gallery

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

Katedra speciální geodézie

Praha, 2021

Barbara Štropová

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Štropová Jméno: Barbara Osobní číslo: 486019

Zadávací katedra: Speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zaměření štoly dělostřelecké tvrze Stachelberg

Název bakalářské práce anglicky: Measurement of the Stachelberg artillery fortress gallery

Pokyny pro vypracování:

Vlastní zaměření části pracovní štoly pomocí laserového skenování v závazných referenčních systémech. Rozbory přesnosti. Vyrovnání připojovacího měření. Vyhotovení dokumentace ve formě příčných řezů a podélného profilu štoly.

Seznam doporučené literatury:

Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2015. 227 s. ISBN 978-80-01-05786-5.

Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 16.2.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

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 nutné 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“.*

17.2.21

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Zaměření štoly dělostřelecké tvrze Stachelberg“ vypracovala samostatně a veškeré využití zdroje jsou řádně ocitovány v kapitole Citace.

V Praze dne .....

.....

Barbara Štropová

## Poděkování

Chtěla bych především poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D. za pomoc při měřických pracích a za trpělivost a čas, který mi věnoval při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Tomášovi Křemenovi, Ph.D. za pomoc s programem při zpracování měřených mračen bodů. Také bych chtěla vyjádřit poděkování spolku Občanského sdružení Stachelberg a Marku Šikolovi za zprostředkování možnosti zúčastnit se tohoto projektu. A nakonec bych chtěla vyjádřit poděkování mé praradě prof. Vlastě Hlasivcové a strýcovi Jakobovi Karhánkovi za pomoc se závěrečnou editací práce.

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zaměřením pracovní štoly dělostřelecké tvrze Stachelberg a vyhotovením dokumentace pro budoucí projekt sanace štoly. Zaměření štoly probíhalo metodou 3D laserového skenování s využitím přístroje Leica ScanStation P40. Skeny byly připojeny do souřadnicového a výškového systému za využití totální stanice Trimble S6 HP metodou blokové tachymetrie. Síť byla připojena na body zaměřené technologií GNSS s využitím přijímače Trimble GeoXR s externí anténou Trimble Zephyr Model 2. Zaměřená připojovací síť byla pro zvýšení přesnosti vyrovnána v programu EasyNET. Skeny byly nejprve zpracovány, registrovány a očištěny v programu Leica Cyclone a následně byly nařezány v programu CloudCompare. Výsledné výstupy této práce, představující příčné řezy štolou, podélný profil a půdorys štoly, byly vyhotoveny v programu AutoCAD.

# Klíčová slova

dělostřelecká tvrz Stachelberg, Babí, pracovní štola, sanace, geodetické zaměření, dokumentace, příčný řez, podélný profil

# Abstract

This bachelor thesis describes the measuring process of an underground service gallery, which is a part of Stachelberg artillery fortress, and providing documentation for a future project of the gallery reconstruction. The gallery was measured by the 3D laser scanning method using Leica ScanStation P40. The scans were connected to coordinate and height system using the total station Trimble S6 HP and the method of block tachymetry. The point network was connected to points defined by the GNSS technology using Trimble GeoXR receiver with an external antenna Trimble Zephyr Model 2.

To improve accuracy, the measured point network was adjusted in the EeasyNET software. The scans were first processed, registered and cleaned in the Leica Cyclone software and then the cross-sections were created using the CloudCompare software. The final outcomes of this thesis are the cross-sections of the gallery, the longitudinal profile and the floor projection of the gallery, all created in the AutoCAD software.

## Keywords

Stachelberg artillery fortress, Babí, service gallery, reconstruction, geodetic measurement, documentation, cross-section, longitudinal profile

## Obsah

1	Úvod.....	8
2	Popis Lokality.....	9
2.1	Historie .....	9
2.2	Současnost .....	10
2.3	Měřená pracovní štola .....	11
3	Měření .....	13
3.1	Pomůcky.....	13
3.1.1	Trimble GeoXR .....	13
3.1.2	Trimble S6 HP.....	14
3.1.3	Leica ScanStation P40 .....	14
3.1.4	Další pomůcky.....	15
3.2	Postup měření.....	15
4	Zpracování .....	18
4.1	Rozbory přesnosti .....	18
4.2	Vyrovnaní .....	18
4.3	Zpracování mračna.....	21
4.3.1	Program Leica Cyclone.....	21
4.3.2	Program CloudCompare .....	22
4.4	Vyhotovení grafických výstupu .....	23
5	Závěr .....	25
	Citace.....	26
	Seznam obrázků .....	28
	Seznam Tabulek .....	29
	Seznam Příloh.....	30
	Přílohy v podobě výkresů .....	30
	Digitální přílohy na CD .....	30

# 1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je zaměření pracovní štoly dělostřelecké tvrze Stachelberg a vyhotovení dokumentace, která bude sloužit pro budoucí projekt sanace štoly. Požadavek zadaný na obsah dokumentace je výkres podélného profilu a příčných řezů po třech metrech. Pracovní štola je třeba zajistit proti zřícení, protože slouží k odčerpávání vody z podzemních prostor tvrze Stachelberg a zároveň je to jediný vodorovný vstup do těchto prostor.

Pro zaměření byla zvolena metoda laserového 3D skenování, která je pro zaměření nepravidelných povrchů stěn štoly nejvhodnější. Skeny byly připojeny do souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální a do výškového systému Balt po vyrovnání. Pro připojení byla zvolena metoda blokové tachymetrie, která vychází z bodů zaměřených pomocí technologie GNSS. Dokumentace byla vyhotovena za využití specializovaných počítačových programů.

První kapitolou je úvod, kde je stručně popsán obsah celé této práce.

V druhé kapitole je popsána lokalita, kde se měřená štola nachází. Dále jsou zde stručně shrnuty základní milníky a informace o dělostřelecké tvrzi Stachelberg jejíž podzemních chodeb je pracovní štola součástí. Je zde popsáno něco z historie a výstavby objektu během druhé světové války a také je zde zmíněn současný stav tvrze. Nakonec je zde popsána samotná pracovní štola.

Ve třetí kapitole jsou uvedené informace o provedeném měření. Nejprve jsou postupně popsány základní informace o využitých přístrojích a pomůckách spolu se základní charakteristikou přesností. Následně je popsán celý postup měření.

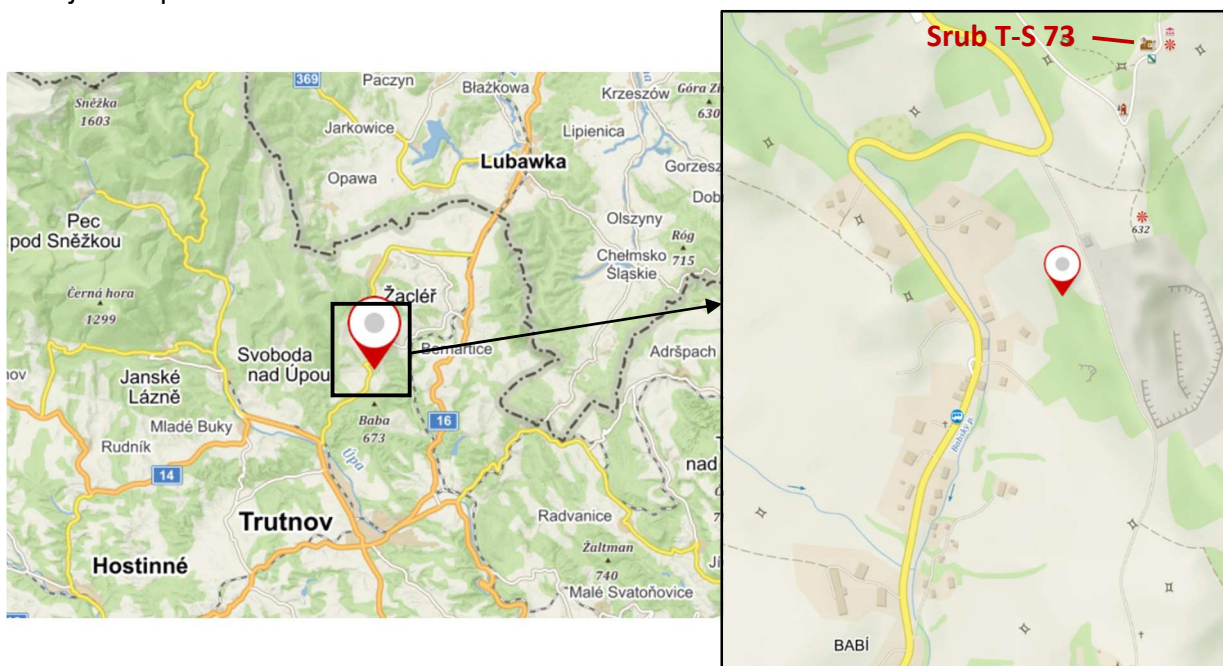
Ve čtvrté kapitole je uvedeno, jak bylo celé měření zpracováno a jaké jsou zde výstupy. Pojednává se zde o vyrovnání zaměření připojovací sítě a o zpracování, registraci a čištění změřených mračen bodů. Dále je zde popsán postup vytvoření výkresů, které tvoří hlavní výstupy této práce.

Závěrečná pátá kapitola obsahuje výsledné, stručné shrnutí informací z celé práce.



## 2 Popis Lokality

Měření probíhalo v pracovní štolě dělostřelecké tvrze Stachelberg, nacházející se v blízkosti vesnice Babí, asi 7 km severně od Trutnova (Obr. 1). Jedná se o rozsáhlé vojenské podzemní dílo budované k obraně hranic.



Obr. 1 – Poloha pracovní štoly tvrze Stachelberg [1]

### 2.1 Historie

Z důvodu vzrůstající hrozby vojenské agrese hitlerovského Německa vůči Československu, bylo v roce 1934 rozhodnuto o vybudování stálého opevnění. Jako nejohroženější se jevila severní hranice státu, kde pomezí hor prolamuje Libavské sedlo, které sloužilo k vojenským vpádům z německého Slezska do Čech v historii již několikrát.

Koncem září 1937 se nad vesnicí Babí začíná stavět největší dělostřelecká tvrz v Československu a jedna z největších v Evropě. Vše je neprodyšně obklopeno vojenskými strážními jednotkami. Co se ve skutečnosti staví, ví pouze skupina zasvěcených na Hlavním štábu a v Ředitelství opevňovacích prací. Tvrz měla dle projektu tvořit skupinu dvanácti železobetonových bunkrů, z nichž 11 by bylo propojených v hlubokém podzemí (20–60 m) soustavou chodeb a sálů. Tam se nacházelo veškeré zabezpečení tvrze – muniční a jiné sklady, kasárny, elektrárna, filtroventilační zařízení a další. Vstup do podzemí byl řešen zvláštním vchodovým objektem. Kapacita činila až 1000 mužů posádky. Termín pro vybudování byl pouze 2 roky, bylo třeba zajistit, aby československá obrana byla připravena dříve než německý útok. V zimě 1937–1938 se provádějí razící práce, které byly souběžně zahájeny z několika směrů. Od jara 1938 probíhá intenzivní výstavba na povrchu, u většiny objektů byly vyhloubeny stavební jámy a výtahové šachty do podzemí. Z důvodu pohybu německých vojsk k československým hranicím je vyhlášena květnová tzv. „částečná mobilizace“ čs. armády, která na Stachelbergu buduje provizorní systém polního opevnění – zákopy, palebná postavení pro kulometry a protitankový kanón (Obr. 2). V srpnu byl vybetonován první z pěchotních srubů T-S 73. Výlom v podzemí byl již téměř hotov a začínali zde betonářské práce.



Obr. 2 – Ukázka polního opevnění [2]

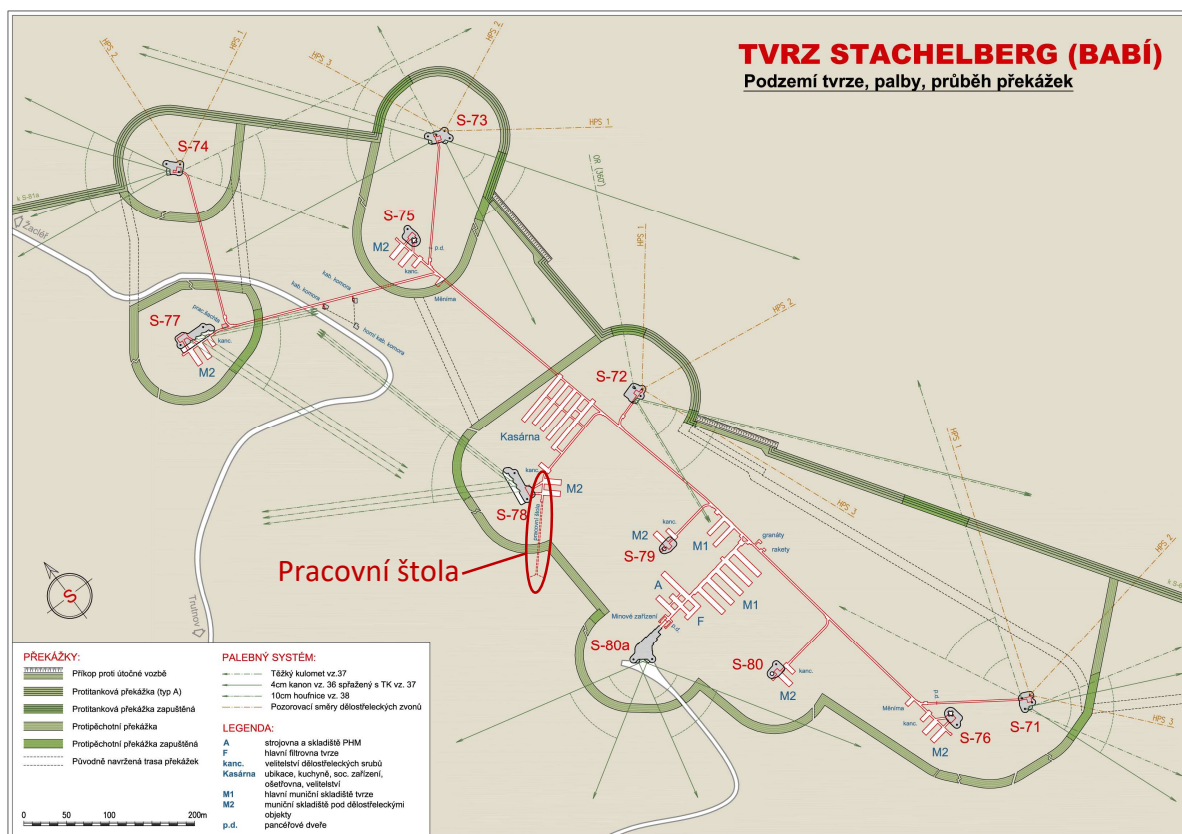
20. září 1938 propuká povstání Němců v Sudetech, které je během dvou dnů potlačeno. Mnoho tamních Němců prchá do Německa – např. vesnice Babí je téměř vyliďněná. Napětí dosahuje vrcholu 23. září. V předpolí se vede boj o pohraniční vesnici Královec, ve večerních hodinách má mít prezident republiky důležité sdělení, z toho důvodu se vedení stavby rozhodne nezahajovat betonáž dalšího pěchotního srubu. 23. září 1938 večer je vyhlášena mobilizace. 30. září 1938 jsou všichni vojáci připraveni v nedokončené, provizorně vyzbrojené tvrzi Stachelberg, chránit svou vlast. O půl šesté odpoledne je předsedou vlády vyhlášeno přijetí Mnichovské dohody, která znamená odstoupení našeho pohraničí Německu a kapitulaci bez boje. Pro vojáky připravené na boj je to osobní tragédie, jednotky odpalují v chodbách připravené nálože a tím celé podzemní prostory zaplavují vodou. 8. října 1938 je pevnost zcela vyklizena. [2]

## 2.2 Současnost

V roce 1958 byl Stachelberg zapsán do seznamu nemovitých kulturních památek. Ovšem v roce 1966 bylo do pěchotního srubu T-S 73 uloženo více než sto tun vysoce toxického odpadu. V srpnu 1990 byl založen spolek Fortis, který v roce 1991 získá hospodářskou smlouvu o užívání devatenácti bunkrů na Stachelbergu a v blízkém okolí. Spolek v průběhu 2 let vyklidil srub T-S 73 od chemikálií, vytvořil nové podlahy a připravil vojensko-historickou expozici pojednávající o událostech roku 1938 a o boji našich vojáků za druhé světové války. 22. května 1993 se pevnost poprvé otevírá veřejnosti. V roce 2000 se při jarním tání vzdemula voda v podzemí a přelila se přes zával v pracovní štolě. Zával prorazila a tím se zpřístupnila část podzemí. V květnu 2001 vstupují první návštěvníci do zrekonstruovaného podzemí. V centru pevnosti se nachází aktivní lom Babí. Ten se postupně zahluhoval až na úroveň podzemí Stachelbergu a začal ze zbývajících chodeb vodu postupně odčerpávat. Po roce 2005 přebírá pevnost nová generace spolu se založením nové organizace – Občanské sdružení Stachelberg. V roce 2007 se návštěvníkům zpřístupnily i nově odhalené sály kasáren. V roce 2011 byla tvrz po dvaceti letech jednání převedena do majetku Občanského sdružení Stachelberg. Nejnovější zrekonstruované chodby jsou z roku 2019, kdy bylo zákazníkům zpřístupněno dalších přibližně 100 m od kasáren k nouzovému východu. [2]

## 2.3 Měřená pracovní štola

Pracovní štola představuje jediný vodorovný vstup do podzemních chodeb. V roce 1938 sloužila dělníkům k vyvážení vytěžené horniny. Je přibližně 70 m dlouhá, 2 m vysoká a 2,5 m široká a nachází se jihozápadně od kasáren, u srubu T-S 78 (Obr. 3). V současné době skrze štolu probíhá odčerpávání vody z podzemních chodeb a z toho důvodu je potřebné provést její sanaci proti zřícení. Prvních 6 metrů štoly již bylo v minulosti zasanováno, nacházejí se zde vrata a důlní ocelová výztuž (Obr. 4, Obr. 5). Dalších přibližně 40 m je bez jakékoliv výztuže nebo zajištění. Na některých místech se nachází násypy zříceného kameniva ze stropu a místy jsou ulomené kmeny a fošny staré výztuže. Štola je ve většině místech této části průchozí ve vzpřímené poloze (Obr. 6). Na dalších 20 m se stále nachází stará výztuž, která je ovšem ve velmi špatném stavu a hrozí její zřícení. V této části je průchod možný pouze v podřepu se zvýšenou opatrností (Obr. 7). Posledních skenovaných cca 6 m zabírá velká katedrála o šířce a výšce cca 5 m.



Obr. 3 – Schéma tvrže s vyznačenou pracovní štolou [3]





*Obr. 4 – Opravená část pracovní štoly  
[vlastní zdroj]*



*Obr. 5 – Opravený vstup do pracovní štoly  
[vlastní zdroj]*



*Obr. 6 – Neopravená část štoly bez staré výztuže [vlastní zdroj]*



*Obr. 7 – Pracovní štola se starou výztuží [vlastní zdroj]*

## 3 Měření

Štolu bylo třeba zaměřit kvůli vyhotovení podkladové dokumentace pro budoucí projekt na sanaci štoly. Vzhledem k značné nepravidelnosti štoly bylo pro měření zvolena metoda 3D laserového skenování, která je pro tento druh práce nejvhodnější. Pro připojení zaměřené štoly do souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (dále JTSK) nebyly kladeny velké požadavky na přesnost a zásadní byly spíše relativní vztahy přímo uvnitř štoly. Proto byla pro připojení zvolena metoda blokové tachymetrie s připojením na body měřené za pomoci globálního navigačního satelitního systému (dále GNSS).

### 3.1 Pomůcky

V této kapitole jsou popsány použité přístroje a pomůcky a jejich základní charakteristiky přesnosti. Veškeré přístroje a pomůcky pro měření bakalářské práce byly zapůjčeny katedrou speciální geodézie.

#### 3.1.1 Trimble GeoXR

Pro připojení měření do souřadnicového systému JTSK byl využit GNSS přijímač Trimble GeoXR s externí anténou Trimble Zephyr Model 2 (Obr. 8). Trimble GeoXR je ruční přijímač od firmy Trimble vybavený vnitřní, méně přesnou, anténou. Přesnost měření síťového RTK (real-time positioning = určování polohy v reálném čase) s využitím interní antény je 25 mm + 1 ppm RMS v horizontálním směru a 40 mm + 1 ppm RMS ve směru vertikálním. K Trimble GeoXR je možné připojit externí anténu a přesnost je poté 10 mm + 0,5 ppm RMS v horizontálním směru a 15 mm + 0,5 ppm RMS ve směru vertikálním. Přijímač má vestavěný 3G modem a Wi-Fi technologii pro webové aplikace a přijímání korekcí. V našem případě byla využita metoda RTK s externí anténou s připojením na síť virtuálních stanic CZEPOS a s dobou observace 15 s na každém bodě. [4]



Obr. 8 – Trimble GeoXR a externí anténa Trimble Zephyr Model 2 [5]

### 3.1.2 Trimble S6 HP

Za pomoci totální stanice Trimble S6 HP (Obr. 9) bylo bodové pole přivedeno až ke štoli a dále bylo provedeno zaměření identických bodů uvnitř štoly. Jedná se o totální stanici od značky Trimble, řady S6 s přívlastkem high precision (HP). Totální stanice má zvětšení dalekohledu 30x, směrodatná odchylka měření úhlu je 1" a přesnost dvouosého kompenzátoru s rozsahem  $\pm 6'$  je 0,5". Směrodatná odchylka dálkoměru je udávána 1 mm + 1 ppm při standardním měření na hranol a 3 mm + 2 ppm při standardním bezhranolovém měření (DR). [6]



Obr. 9 – Trimble S6 HP [7]

### 3.1.3 Leica ScanStation P40

Pro zaměřování štoly byl využit skener Leica ScanStation P40 (Obr. 10). Jedná se o skener od firmy Leica s rychlostí skenování až 1 milion bodů za vteřinu, dosahem až 270 m a zorným polem 360° v horizontálním směru a 270° ve směru vertikálním. Přesnosti jednotlivých měření skeneru jsou 1,2 mm + 10 ppm pro délková měření, 8" pro úhlová měření v horizontálním i vertikálním směru a 3 mm v 50 m a 6 mm v 100 m pro přesnost 3D pozice. Skener je vybaven dvouosým kompenzátozem s rozsahem  $\pm 5'$  a přesností 1,5". Skener je možné ovládat integrovaným, barevným dotykovým displejem přímo na přístroji, popřípadě lze využít kontroleru Leica nebo za pomoci jakéhokoliv zařízení schopného připojit se na vzdálenou plochu systému Windows. V našem případě byl využívám integrovaný displej. [8]



Obr. 10 – Leica ScanStation P40 [9]



### 3.1.4 Další pomůcky

Pro měření s totální stanicí a pro první sken před vstupem do štoly byly využity standardní stativy od firmy Leica (Obr. 11). Pro následné skenování uvnitř štoly byl z důvodu stísněných podmínek využíván ministativ (Obr. 12). Při přípravě bodového pole bylo pro zaměřování bodů využíván minihranol Leica se součtovou konstantou +17,5 mm, protože byla využívána totální stanice od firmy Trimble, byla do ní zadávána konstanta -16,9 mm. Pro možnost navázat výsledné skeny na sebe a transformovat je do souřadnicového systému, byly využívány referenční koule o průměru 145 mm (Obr. 13) a černobílé skenovací terče o velikosti 4,5 palce (Obr. 14) se stojánky.



Obr. 11 – Stativ Leica [10]



Obr. 12 – Ministativ [vlastní zdroj]



Obr. 13 – Referenční koule 145 mm [11]



Obr. 14 – Skenovací terče [12]

## 3.2 Postup měření

Dne 23. 10. 2020 bylo spolu s vedoucím práce doc. Ing. Rudolfem Urbanem, Ph.D. provedeno měření. Po příjezdu na místo byla provedena rekognoskace okolí, při které bylo zjištěno, že vstup do štoly je schován v lesnatém porostu, a proto bylo rozhodnuto, že pro připojení následných skenů do souřadnicového systému JTSK bude za pomoci GNSS vytvořeno připojovací bodové pole na příjezdové cestě u lomu Babí, kde byla dobrá viditelnost. Vzhledem k nízkým požadavkům na přesnost připojení výsledků do souřadnicových systémů byly zvoleny tři relativně krátké orientace, které byly určeny pomocí GNSS (4001–4003) a za využití totální stanice bylo metodou blokové tachymetrie bodové pole protaženo až do štoly (Obr. 16). Metoda blokové tachymetrie spočívala v postavení stroje na volné stanovisko, které bylo určeno ze známých bodů (na prvním stanovisku body GNSS) a následně dopředu zaměřeny a stabilizovány body nové, na které bylo připojeno další volné stanovisko. Měření probíhalo ve dvou polohách dalekohledu, tedy v jedné skupině. Na 4. stanovisku, které již bylo před vstupem do štoly,

byly stabilizovány a zaměřeny první dva skenovací terče (Obr. 17), za pomoci kterých se skeny následně transformovaly do souřadnicového systému JSTK. Celkem jich bylo po celé délce štoly 8. Pro kvalitnější registraci mračen bodů byly využity také referenční koule.

Na Obr. 15 jsou černě zakresleny body měřené za využití GNSS, body s číslem 5000 jsou volnými stanovisky přístroje, body s čísly 4000 jsou stabilizované body sítě a body s číslem 100 jsou skenovací terče uvnitř štoly, bíle je na obrázku zakreslena samotná štola.

Se skenováním bylo započato před vstupem do štoly, kde obsluhu a nastavení skeneru prováděl především doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D. Rozlišení skenování bylo nastaveno na hodnotu 12,5 mm/10 m. Pro urychlení měřících prací probíhalo zaměřování terčů a skenování současně tak, že totální stanice byla vždy ve štole dále a skener postupoval za ní na již připravená místa, ze kterých bylo vidět dostatečné množství vlíčovacích bodů v podobě terčů či koulí (Obr. 18). I z toho důvodu byl na výsledných skenech často zachycen člověk nebo i totální stanice. Všechny tyto nežádoucí objekty byly následně během zpracování ze skenů vyčištěny. Kvůli nestabilní zadní části štoly se starou výztuží a celkové bezpečnosti byla během celého měření přítomna kontrola z báňského úřadu.



Obr. 15 – Schéma připojovací sítě [vlastní zdroj]

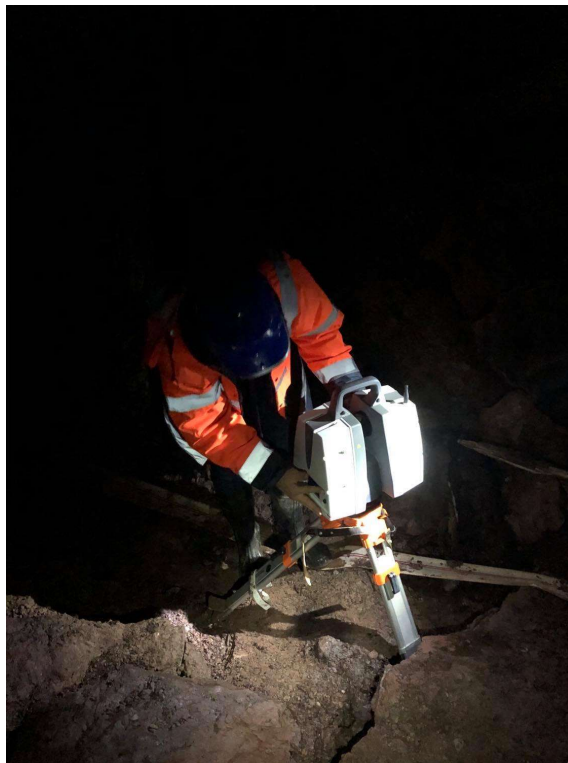




Obr. 16 – Měření blokové tachymetrie  
[vlastní zdroj]



Obr. 17 – Měření prvních skenovacích terčů  
[vlastní zdroj]



Obr. 18 – Skenování uvnitř štoly [vlastní zdroj]

## 4 Zpracování

Měřená síť byla nejprve vyrovnána. Následně byly měřené skeny za využití vyrovnané sítě napojeny na sebe (registrovány), transformovány do souřadnicové soustavy JTSK a výškového systému Balt po vyrovnání (dále Bpv) a vyčištěny.

Pro budoucí projekt sanace štol byl prof. Ing. Jiří Bartákem, DrSc. zadán požadavek na vyhotovení podélného profilu a příčných řezů po třech metrech. Těmto požadavkům byly přizpůsobeny i používané programy.

### 4.1 Rozbory přesnosti

Před příjezdem na místo měření nebylo známo mnoho informací o vzhledu a požadavcích na měření, ovšem vzhledem k tomu, že štola se nachází od Prahy daleko, bylo neekonomické jet na místo dvakrát kvůli rekognoskaci a následně kvůli měření. S přihlédnutím na skutečnost, že na přesnost připojení nebyly kladeny vysoké požadavky, bylo rozhodnuto rozbory přesnosti před měřením neprovádět a měření přizpůsobit až na místě daným podmínkám.

Rozbor přesnosti při měření probíhal formou kontrol volného stanoviska přímo v totální stanici, kdy totální stanice po každém protnutí vypíše na displeji odchylky v jednotlivých souřadnicích. Na všech stanoviskách vycházely hodnoty odchylek do 2 mm.

Rozbor přesnosti po měření probíhal formou kontroly aposteriorní jednotkové odchylky  $s_0$  po vyrovnání sítě. Pro testování bylo zvoleno kritérium mezní výběrové odchylky, která se počítá dle vzorce [13]

$$s_M = \sigma_0 * \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{n'}\right) \quad (1)$$

Kde

$\sigma_0$  je apriorní jednotková směrodatná odchylka,

$n'$  je počet nadbytečných měření.

Protože vyšlo  $s_0 < s_M$  bylo vyhodnoceno, že měření splňuje odpovídající přesnost, s pravděpodobností 95 %. Hodnoty jsou uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 – hodnoty testování aposteriorní odchylky

$s_0$	0,890
$\sigma_0$	1
$n'$	41
$s_M$	1,221
$s_0 < s_M$	

### 4.2 Vyrovnání

Měřená připojovací síť byla vyrovnána pro získání lepší přesnosti výsledku. Pro vyrovnání byla zvolena metoda nejmenších čtverců (dále MNČ), konkrétně vyrovnání měření zprostředkujících jako volná síť (helmertova podmínka). Pro identifikaci odlehlých měření byl využit Huberův M-odhad.

Pro vyrovnání byla zvolena aplikace EasyNET. Jedná se o softwarovou aplikaci sloužící k snadnému zpracování přesných geodetických měření. Do EasyNETu byl načten zápisník, pro redukci délek byla do aplikace zadána hodnota měřítkového koeficientu kartografického zobrazení a definován způsob určení koeficientu pro redukci z nadmořské hladiny (Obr. 19). Jako přibližné hodnoty pro vyrovnání byly použity

souřadnice bodů, dané totální stanicí přímo z měření. Před samotným vyrovnáním byla nastavena požadovaná přesnost měřených veličin. Vyrovnání probíhalo s odchylkami 1 mgon ve vodorovném směru i zenitovém úhlu a 2 mm v šikmé délce, což lépe odpovídalo relativně krátkým záměrům oproti apriorní přesnosti přístroje. Jako apriorní jednotková směrodatná odchylka byla zvolena hodnota 1 (Obr. 20). Jako jediný fixní bod pro umístění sítě do prostoru byl zvolen bod 5000, který byl tedy z vyrovnání vyřazen. Tento krok byl proveden z důvodu interního výpočtu souřadnic programem EasyNET. Výsledné vyrovnané souřadnice bodů přípojovací sítě jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 2). Přesnost vyrovnaných souřadnic je dobře viditelná z grafického výstupu programu, kde jsou zobrazeny jednotlivé body sítě spolu s elipsami chyb (Obr. 21). Vzhledem k tomu, že připojení do systému JTSK bylo pouze formální a požadavky na jeho přesnost byly v řádech 5 cm jsou směrodatné odchylky na jednotlivých bodech více než vyhovující. Celý protokol z vyrovnání je součástí CD s přílohami (P4). [14]

Nastavení - Redukce délek

**Redukce z nadmořské výšky**

Poloměr referenční koule [m]: 6380000

**Typ výškové hladiny**

Nulová hladina

Střední hladina geodetické sítě (minimální redukce)

Hladina v nadmořské výšce [m]:

**Redukce do kartografického zobrazení**

Měřitkový koeficient: 1.0000000

Vložit [Ent] Ukončit [Esc]

Obr. 19 – Nastavení redukce délek v programu EasyNET [vlastní zdroj]

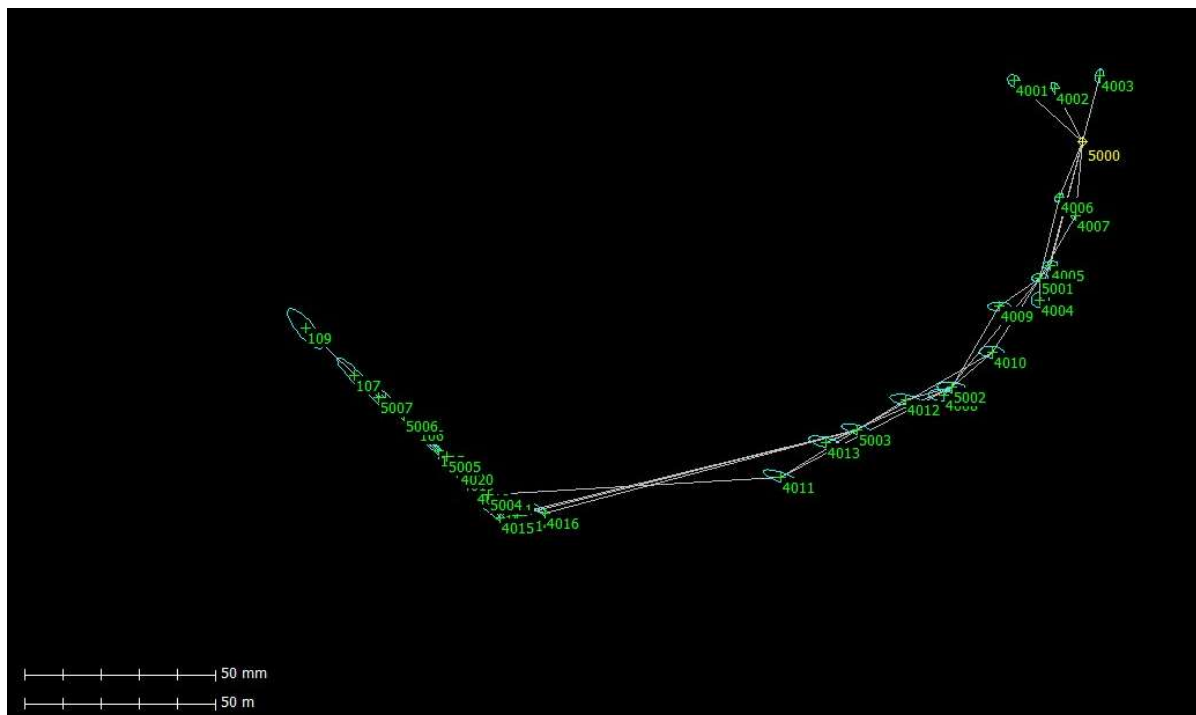
Stanovisko			Cíl		Měřené veličiny				
Pořadí	Číslo	Výška [m]	Číslo	Výška [m]	Vodorovný směr [gon]	Zenitový úhel [gon]	Šikmá délka [m]		
1	5000	0.0000	4007	0.4000	106.23660	116.93140	20.1970		
			4006	0.4000	125.79400	117.07790	16.5620		
			4005	0.1000	116.52810	114.55430	34.4450		
			4004	0.0000	116.85120	112.70420	43.9130		
			4003	0.1000	315.49305	103.74200	17.7720		
			4002	0.1000	269.41195	103.05120	15.7770		
			4001	0.1000	245.78375	101.77990	24.1620		
						298.21850		24.1620	
							296.94590		15.7770
							296.25410		17.7710
2	5001	0.0000				287.29650	43.9160		
						285.44210	34.4460		
						282.91590	16.5630		
						283.06310	20.1980		
						113.89160	23.8120		
						113.94100	13.4090		
						112.28420	40.6890		
						95.23740	18.9080		
						93.16860	21.7680		
						111.55650	4.3500		
3	5002	0.0000				120.94080	6.1380		
						279.05780	6.1380		
						288.42980	4.3500		
						306.82470	21.7680		
						304.75500	18.9090		
						287.71550	40.6870		
						286.05310	13.4100		
						286.10280	23.8120		
						110.34240	36.5700		
						116.71480	12.9850		
			112.01450	51.6170					
			119.43520	3.1400					
			334.06663	89.87970	24.9310				
			354.64973	92.31880	14.1580				
			154.65303	307.67310	14.1590				

Obr. 20 – Nastavení přesnosti sítě v programu EasyNET [vlastní zdroj]

Tab. 2 – Vyrovnané souřadnice sítě se směrodatnými odchylkami

Č. bodu	Souřadnice			Směrodatné odchylky		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	$\sigma_x$ [mm]	$\sigma_y$ [mm]	$\sigma_z$ [mm]
101	996975,727	630179,691	584,135	5,31	3,53	0,86
103	996974,779	630182,344	584,018	5,17	3,62	0,86
104	996962,555	630172,740	584,221	4,91	3,87	0,85
105	996957,634	630167,094	584,965	4,80	4,00	0,86
106	996952,135	630160,308	585,525	4,70	4,18	0,87
107	996935,686	630147,303	584,973	4,60	4,70	0,88
108	996943,679	630153,334	585,273	4,62	4,43	0,87
109	996922,679	630134,927	584,864	4,59	5,22	0,95
4001	997108,855	630069,948	603,439	1,63	1,58	0,34
4002	997119,742	630071,884	603,359	1,16	1,63	0,24
4003	997131,301	630068,641	603,071	1,09	1,75	0,27
4004	997115,768	630127,394	595,511	2,36	1,99	0,58
4005	997118,413	630118,282	596,308	1,95	1,09	0,40
4006	997120,730	630100,537	599,424	1,12	1,07	0,37
4007	997125,120	630105,253	598,506	1,17	1,00	0,34
4008	997090,320	630152,413	589,691	3,84	1,56	0,61
4009	997104,994	630129,124	594,180	3,04	1,17	0,48
4010	997103,078	630141,113	591,938	3,24	1,50	0,50
4011	997047,612	630173,983	580,549	4,62	2,01	0,66
4012	997080,355	630153,645	586,863	4,03	1,48	0,60
4013	997059,414	630164,850	584,719	4,38	1,71	0,59
4014	996978,302	630184,038	583,073	5,19	3,51	0,86
4015	996973,926	630184,524	584,468	5,20	3,78	0,85
4016	996985,563	630183,241	582,845	5,16	3,28	0,86
4017	996967,135	630176,475	584,939	5,18	3,80	0,86
4018	996967,538	630176,862	583,114	5,17	3,77	1,10
4019	996963,650	630173,441	583,173	5,07	3,93	0,90
4020	996963,161	630171,950	585,352	5,01	3,98	0,87
5001	997115,697	630121,587	597,494	2,09	1,14	0,34
5002	997092,440	630150,299	590,634	3,72	1,39	0,51
5003	997067,813	630161,468	585,532	4,25	1,52	0,58
5004	996970,664	630178,359	584,613	4,99	3,62	0,85
5005	996959,838	630168,542	584,970	4,83	3,95	0,86
5006	996948,587	630157,708	585,930	4,65	4,26	0,87
5007	996941,868	630153,029	585,195	4,63	4,48	0,87
5000	997127,026	630085,859	604,215	-	-	-





Obr. 21 – Body připojovací sítě se zakreslenými elipsami chyb [vlastní zdroj]

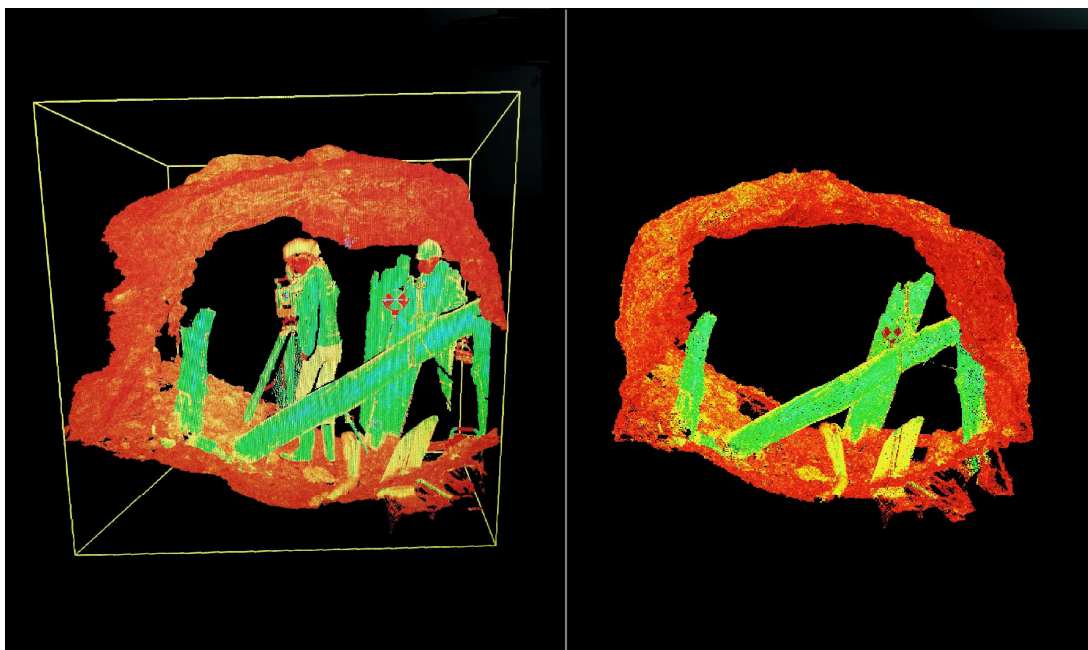
## 4.3 Zpracování mračna

Naskenovaná mračna na jednotlivých stanovištích byla spojena a transformována do souřadnicového systému JTSK a Bpv. Následně bylo mračno vyčištěno a nařezáno pro vytvoření příčných řezů. Pro zpracování byly zvoleny dva programy, a to Leica Cyclone a CloudCompare.

### 4.3.1 Program Leica Cyclone

Nejprve byla mračna zpracována v programu Leica Cyclone, verze 9.4.2 64-bit. Jedná se o software pro import měřených dat a zpracování mračna bodů, jehož předností je propracovaná databázová struktura, díky níž je možno pracovat i s velkým objemem dat. Program je dělen na různé moduly, kdy každý z nich nabízí jiné funkce a zákazník si může vybrat takové, které jsou pro něj užitečné. [15]

Mračna bodu z jednotlivých skenů byla naimportována do programu. V mračnu byly vyhledány skenovací terče a přidány jim vyrovnané souřadnice z EasyNETu, dále byly ručně vyhledány a proloženy referenční koule do požadovaného průměru a za pomoci automatické funkce byly vymodelovány. Poté bylo možné mračno registrovat – spojit jednotlivá mračna do sebe. Odchyly na skenovacích terčích po jejich propojení mezi jednotlivými skeny se pohybovaly od 0,2 mm po 3,3 mm, odchyly propojení referenčních koulí se pohybovaly v rozmezí od 0,7 mm po 5,6 mm a průměrná absolutní chyba provedené registrace je 1,5 mm. Celý protokol z registrace je součástí CD s přílohami (P5). Spojené mračno bylo dále očištěno od nežádoucích předmětů jako jsou osoby, totální stanice nebo stojánky terčů (Obr. 22). Pro vytvoření půdorysu bylo mračno obarveno v závislosti na výšce, čímž vznikly vodorovné pruhy o různých barvách a za jejich pomoci bylo možné vytvořit křivku, která tvoří půdorysný řez po celé délce mračna ve stejné výšce. Nakonec bylo mračno i s půdorysem vyexportováno pro další zpracování.

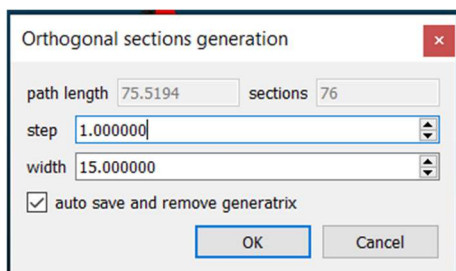


Obr. 22 – Mračno před a po čištění [vlastní zdroj]

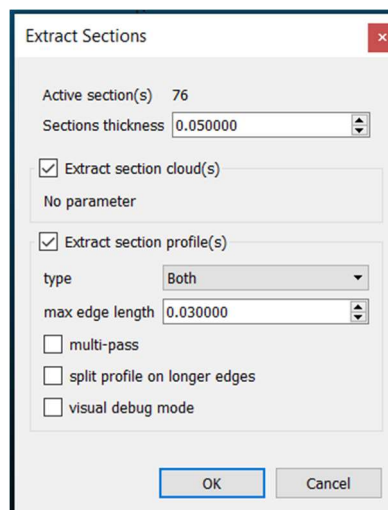
#### 4.3.2 Program CloudCompare

Dále bylo mračno nařezáno pro vytvoření příčných řezů a podélného profilu, pro tento úkon byl zvolen program CloudCompare, verze 2.11.3 64-bit. Jedná se o open source software pro zpracování mračen bodů a trojúhelníkových sítí, který zvládá i pokročilejší algoritmy jako jsou registrace, převzorkování, výpočty statistiky a podobně. Jeho největší předností je jeho volná dostupnost, i z toho důvodu byl vybrán právě pro tuto práci. [16]

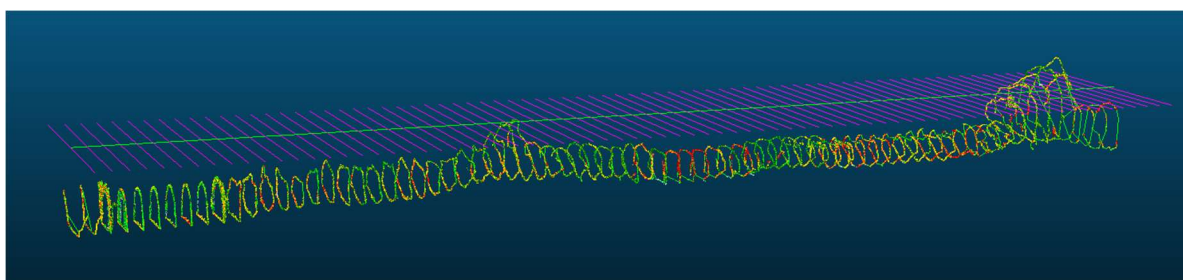
Pro následnou jednodušší práci s vytvořenými řezy bylo nejprve celé mračno otočeno tak, aby jeho osa byla rovnoběžná s osou x. Mračno bylo naimportováno do programu a byly na něm určeny 2 body – na začátku a na konci, které určují jeho osu. Poté byl vypočten úhel, který tato osa svírá se souřadnicovými osami a o tento úhel bylo celé mračno pootočeno kolem osy z tak, aby se v žádném bodě nezměnila výška, která je pro následné řezy důležitá. Úhel, o který bylo mračno otočeno, je  $42,9379^\circ$ . Z dvou určených bodů, které tvořily osu celého mračna, byla vytvořena polylinie, na kterou byly za pomoci funkce programu, po 1 m, vytvořeny kolmé linie, které tvořily osu 5 cm širokého výřezu v mračnu bodů (Obr. 23, Obr. 24). Na Obr. 25 je zelenou barvou vidět polylinie tvořící osu štoly, růžovou barvou osy jednotlivých řezů po 1 m a pod nimi jsou vidět jednotlivé řezy mračna. Program CloudCompare také nabízí možnost při vytváření řezů mračnem automaticky vytvořit obrys tohoto mračna, přičemž je možné nastavit hodnotu nejmenší vzdálenosti mezi dvěma body, které budou propojeny. Tato hodnota byla nastavena na 3 cm, kdy vytvořená linie vypadala nejpřirozeněji. Ale i tak tento nástroj není dokonalý a tyto linie musely být při následném zpracování ještě doopravovány, aby lépe odpovídaly skutečnosti. U vstupu do štoly bylo zvoleno staničení 0,00 m a tedy řez u vstupu do štoly byl vybrán a vyexportován jako první řez a od něj, vždy po třech metrech, byly vyexportovány další řezy. Dohromady jich bylo 25 se staničením od 0,00 m do 72,00 m. Mimo to byly vyexportovány ještě 2 řezy, se staničením 26,00 m a 68,00 m, které tvořily v daném místě významně nejvyšší bod. Nakonec bylo mračno nařezáno ještě jednou tentokrát po 0,5 m a to pro vytvoření podélného profilu. U těchto řezů byly vyexportovány pouze automaticky vytvořené křivky řezu bez mračen bodů.



Obr. 23 – Nastavení kroku řezů [vlastní zdroj]



Obr. 24 – Nastavení parametrů řezů [vlastní zdroj]

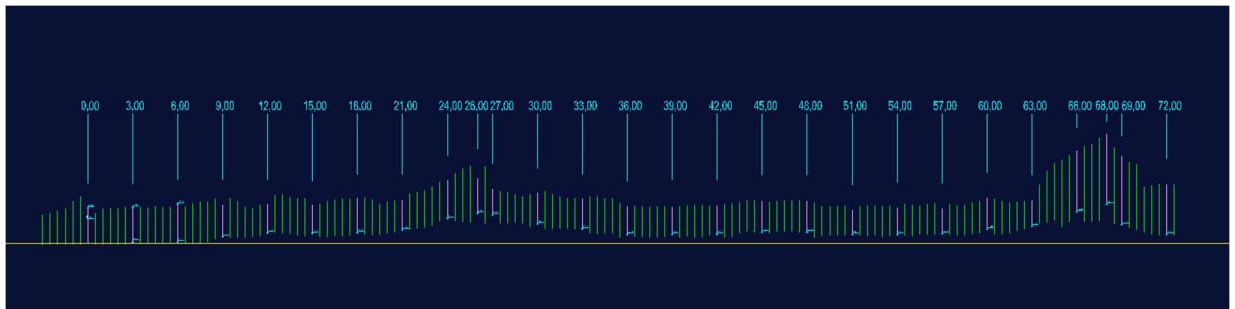


Obr. 25 – Nařezané mračno bodů [vlastní zdroj]

## 4.4 Vyhotovení grafických výstupu

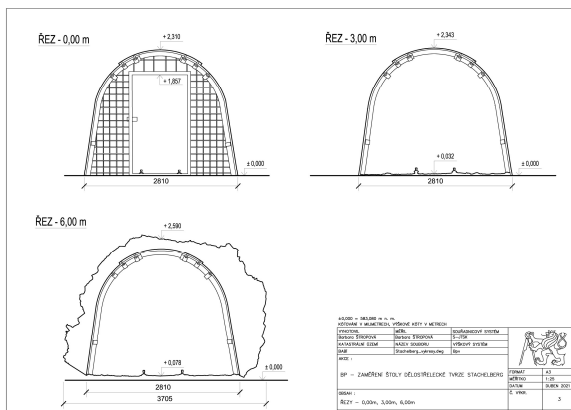
Zadaný požadavek na výstupy zaměření byl podélný profil a příčné řezy po třech metrech, s tím, že byl k tomuto přidán ještě výkres půdorysu. Pro zpracování výstupů byl vybrán program AutoCAD 2018, verze O.49.0.0. Jedná se o CAD (Computer-Aided Design = počítačem podporované projektování) software pro tvorbu 2D a 3D výkresů provozovaný firmou Autodesk. AutoCAD je možné využívat v základní verzi, nebo si k němu přidat některou ze specializovaných sad nástrojů (Architecture, Map 3D, Electrical, ...), které Autodesk nabízí pro zvýšení produktivity při práci. [17]

Nejprve byl v programu otevřen výkres křivky půdorysného řezu, který byl vytvořen v programu Leica Cyclone. Ten byl doopraven, odstraněny špatně přichycené body a dále byly dokresleny kruhy značící řez skrz trámy staré výztuže, které byly v Leica Cyclone kresleny pouze pro naznačení jako půlkruh nebo obecná křivka. Po vyhotovení výkresu půdorysu byly v programu postupně otevírány řezy mračnem spolu s linií řezu vytvořenou automaticky programem CloudCompare. Tato linie byla porovnávána s mračnem a byly odstraňovány případné nepřesnosti nebo naopak zbytečné přesnosti, které by ve výsledném měřítku působily rušivě. Ke každému řezu byla nakreslena srovnávací rovina zvolena na výšku 593,080 m n. m. v systému Bpv. Dále byly jednotlivé řezy okótovány v jejich charakteristických místech. Jako poslední byl vytvářen výkres podélného profilu. Byl otevřen vyexportovaný výkres s řezy po 0,5 m. Na místech, kde byly vyhotoveny příčné řezy, byly automaticky vytvořené řezy smazány a místo nich vloženy ty upravené. Na Obr. 26 je vidět boční pohled na všechny řezy, který byl využíván pro vytvoření podélného profilu, kde zeleně jsou vyznačeny automaticky vytvořené řezy a růžově příčné řezy po třech metrech. Podélný profil byl vytvořen s rozdílnými měřítky pro staničení a pro výšky.

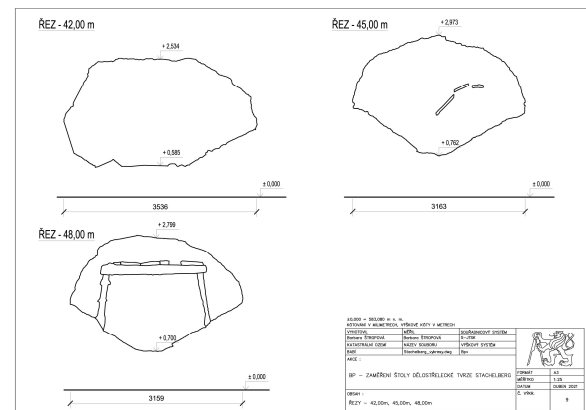


Obr. 26 – Boční pohled na řezy štolou [vlastní zdroj]

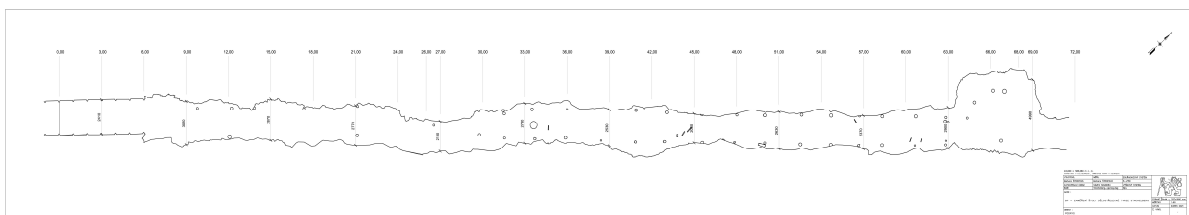
Výstupem této práce je 27 příčných řezů na 12 výkresech formátu A3 v měřítku 1:25, výkres podélného profilu štolu formátu A3 v měřítku 1:200 pro staničení a měřítku 1:500 pro výšky a výkres půdorysu ve formátu 8xA4 = 297x1680 mm v měřítku 1:50. Typové ukázky výkresů jsou na Obr. 27, Obr. 28 a Obr. 29. Veškeré výkresy jsou součástí příloh této bakalářské práce.



Obr. 27 – Ukázka výkresu řezů se staničením 0,00, 3,00 a 6,00 m [vlastní zdroj]



Obr. 28 – Ukázka výkresu řezů se staničením 42,00, 45,00 a 48,00 m [vlastní zdroj]



Obr. 29 – Ukázka výkresu půdorysu [vlastní zdroj]



## 5 Závěr

Zadáním této bakalářské práce bylo zaměření pracovní štoly dělostřelecké tvrže Stachelberg a vytvoření dokumentace příčných řezů a podélného profilu, která bude sloužit pro budoucí projekt sanace štoly. Pro zaměření štoly byla zvolena metoda laserového 3D skenování přístrojem Leica ScanStation P40 s připojením za pomoci totální stanice Trimble S6 HP a GNSS přijímače Trimble GeoXR s externí anténou Trimble Zephyr Model 2.

Pracovní štola představuje jediný vodorovný vstup do podzemních chodeb tvrže Stachelberg, rozsáhlého obranného objektu z doby druhé světové války, a v současné době za její pomoci probíhá odčerpání vody z chodeb objektu, kde se nachází historické muzeum provozované dobrovolníky ze spolku Občanského sdružení Stachelberg. Z toho důvodu je nutné provést její sanaci proti zřícení.

Měření probíhalo dne 23. 10. 2020 spolu s vedoucím práce doc. Ing. Rudolfem Urbanem, Ph.D., kde celému měření, pro zajištění bezpečnosti práce, přihlížela také kontrola z báňského úřadu. Změřené skeny štoly byly připojeny do systému JTSK a Bpv za využití metody blokové tachymetrie připojené na body změřené technologií GNSS. Zaměřená připojovací síť byla vyrovnána v programu EasyNET. Výsledné směrodatné odchylky souřadnic na bodech se po vyrovnání pohybovaly maximálně do hodnoty 5,3 mm. Připojení do systému JTSK bylo pouze formální a nebyly zde kladeny vysoké požadavky na přesnost. Pro výsledné výstupy jsou podstatné především relativní vztahy přímo ve štole.

Pro zpracování mračna byl využit nejprve program Leica Cyclone, kde byly v mračnech označeny identické body a byla provedena registrace. Průměrná absolutní chyba provedené registrace byla 1,5 mm. Dále bylo mračno vyčištěno od nežádoucích objektů a vyexportováno. Následné zpracování mračna probíhalo v programu CloudCompare, kde bylo mračno nařezáno a řezy mračnem byly vyexportovány pro vytvoření výkresů dokumentace. Výsledná dokumentace vznikala v programu AutoCAD.

Požadavek zadaný prof. Ing. Jiří Bartákem, DrSc., který bude dělat projekt sanace, byl vytvořit dokumentaci obsahující příčné řezy po třech metrech délky štoly, podélný profil štoly a výkres půdorysu štoly. Tento požadavek se podařilo splnit a výstupem této práce je 25 příčných řezů po třech metrech, po celé délce štoly se staničením od 0,00 m po 72,00 m. K tomu jsou přidány ještě dva doplňující řezy se staničením 26,00 m a 68,00 m, které jsou dvěma nejvyššími body štoly. Dalšími výstupy jsou výkresy podélného profilu a půdorysu štoly. Veškeré výkresy i s další doplňující dokumentací jsou součástí příloh této bakalářské práce.

## Citace

- [1] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, c2021 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.8486732&y=50.6161813&z=12&source=base&id=1703861>
- [2] KEJZLAR, Miroslav a Pavel HOLZKNECHT. *Stachelberg: pevnost, která vstala z mrtvých*. Červený Kostelec: Ing. Pavla Čermáková - Fortbooks, 2017. ISBN 978-80-904463-6-6.
- [3] Poskytnuto Markem Šikolou, členem Občanského sdružení Stachelber z jejich osobního archivu.
- [4] *GeoExplorer 6000 Geoxr: GNSS přijímač do ruky* [online]. Trimble Navigation Limited, c2011-2013 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-592015/022543-536C-CZE\\_GeoXR\\_DS\\_0413\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-592015/022543-536C-CZE_GeoXR_DS_0413_LR.pdf)
- [5] GeoExplorer GeoXR Network Rover. *AGEA* [online]. Casagiove: AGEA [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://www.agea.info/prodotti/prodotto.php?idDescr=89>
- [6] *TRIMBLE S6 total station* [online]. Trimble Navigation Limited, c2005-2007 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://www.inlandgps.com/Products/S6%20Datasheet%20200707.pdf>
- [7] *Totální stanice Trimble S6* [online]. Trimble Navigation Limited, c2005 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [http://www.geoinvent.cz/doc/trimbles6\\_bro\\_cz.pdf](http://www.geoinvent.cz/doc/trimbles6_bro_cz.pdf)
- [8] *Leica ScanStation P30/P40* [online]. Praha: GEFOS, 2015 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [https://www.gefos-leica.cz/data/original/skenery/p40/leica\\_scanstation\\_p30-p40\\_cz.pdf](https://www.gefos-leica.cz/data/original/skenery/p40/leica_scanstation_p30-p40_cz.pdf)
- [9] *ScanStation P40 / P30* [online]. Bangkok: ACA Pacific Group, c2019 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://aca-apac.com/th/products/product-detail/scanstation-p40-p30>
- [10] Leica GST20-9 Stativ. *Amazon* [online]. Amazon.com, c1996-2021 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.amazon.de/-/en/dp/B07VXNNGV1>
- [11] Sada 6 referenčních koulí (Basic) vč. podstavců. *Geoshop* [online]. Praha: GEOTRONICS Praha [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://geoshop.cz/vsechny-produkty/geodezie/prislusenstvi-pro-3d-skenovani/sada-6-referencnich-kouli-basic-vc.-podstavcu-%5B030-10595-02%5D?ItemIdx=26>
- [12] 6" černobílý skenovací terč v otočné vidlici. *Gefos* [online]. Gefos, c2011-2021 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [https://www.gefos-leica.cz/e-shop/3d-skenovani/prislusenstvi-pro-3d-skenovani/6-cernobily-skenovaci-terc-v-otocne-vidlici\\_\\_\\_793350](https://www.gefos-leica.cz/e-shop/3d-skenovani/prislusenstvi-pro-3d-skenovani/6-cernobily-skenovaci-terc-v-otocne-vidlici___793350)
- [13] HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [14] EasyNET. *Adjust Solutions* [online]. Adjust Solutions, c2016 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://adjustsolutions.cz/easynet/>

- [15] Leica Cyclone. *Gefos* [online]. Gefos, c2011-2021 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/software/leica-cyclone>
- [16] Introduction. *CloudCompare* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.danielgm.net/cc/>
- [17] AutoCAD. *Autodesk* [online]. Autodesk, c2021 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/autocad/overview?term=1-YEAR>
- [18] RITSCHEL, Ladislav. *Zaměření části štoly Josef a vytvoření základní důlní mapy* [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77550/F1-BP-2018-Ritschel-Ladislav-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie.
- [19] ZEMAN, Jaroslav. *Tvorba nového bodového pole v Ponikelské jeskyni* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84355/F1-BP-2019-Zeman-Jaroslav-Zeman\\_2019.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84355/F1-BP-2019-Zeman-Jaroslav-Zeman_2019.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie.
- [20] HÁNEK, Pavel a Zdeněk NOVÁK. *Geodézie v podzemních prostorech 10*. Dotisk druhého přepracovaného vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-03004-2.

## Seznam obrázků

Obr. 1 – Poloha pracovní štoly tvrže Stachelberg [1] .....	9
Obr. 2 – Ukázka polního opevnění [2] .....	10
Obr. 3 – Schéma tvrže s vyznačenou pracovní štolou [3] .....	11
Obr. 4 – Opravená část pracovní štoly [vlastní zdroj] .....	12
Obr. 5 – Opravený vstup do pracovní štoly [vlastní zdroj] .....	12
Obr. 6 – Neopravená část štoly bez staré výztuže [vlastní zdroj] .....	12
Obr. 7 – Pracovní štola se starou výztuží [vlastní zdroj].....	12
Obr. 8 – Trimble GeoXR a externí anténa Trimble Zephyr Model 2 [5] .....	13
Obr. 9 – Trimble S6 HP [7] .....	14
Obr. 10 – Leica ScanStation P40 [9].....	14
Obr. 11 – Stativ Leica [10] .....	15
Obr. 12 – Ministativ [vlastní zdroj] .....	15
Obr. 13 – Referenční koule 145 mm [11] .....	15
Obr. 14 – Skenovací terče [12] .....	15
Obr. 15 – Schéma připojovací sítě [vlastní zdroj] .....	16
Obr. 16 – Měření blokové tachymetrie [vlastní zdroj] .....	17
Obr. 17 – Měření prvních skenovacích terčů [vlastní zdroj] .....	17
Obr. 18 – Skenování uvnitř štoly [vlastní zdroj] .....	17
Obr. 19 – Nastavení redukce délek v programu EasyNET [vlastní zdroj] .....	19
Obr. 20 – Nastavení přesnosti sítě v programu EasyNET [vlastní zdroj] .....	19
Obr. 21 – Body připojovací sítě se zakreslenými elipsami chyb [vlastní zdroj].....	21
Obr. 22 – Mračno před a po čištění [vlastní zdroj].....	22
Obr. 23 – Nastavení kroku řezů [vlastní zdroj] .....	23
Obr. 24 – Nastavení parametrů řezů [vlastní zdroj].....	23
Obr. 25 – Nařezané mračno bodů [vlastní zdroj] .....	23
Obr. 26 – Boční pohled na řezy štolou [vlastní zdroj] .....	24
Obr. 27 – Ukázka výkresu řezů se staničením 0,00, 3,00 a 6,00 m [vlastní zdroj] .....	24
Obr. 28 – Ukázka výkresu řezů se staničením 42,00, 45,00 a 48,00 m [vlastní zdroj] .....	24
Obr. 29 – Ukázka výkresu půdorysu [vlastní zdroj] .....	24

## Seznam Tabulek

Tab. 1 – hodnoty testování aposteriorní odchylky.....	18
Tab. 2 – Vyrovnané souřadnice sítě se směrodatnými odchylkami.....	20

# Seznam Příloh

Příloha č. 1 – Desky s výkresy dokumentace

Příloha č. 2 – CD s přílohami

## Přílohy v podobě výkresů

Výkres č. 1 – Půdorys

Výkres č. 2 – Podélný profil

Výkres č. 3 – Řezy 0,00 m, 3,00 m, 6,00 m

Výkres č. 4 – Řezy 9,00 m, 12,00 m, 15,00 m

Výkres č. 5 – Řezy 18,00 m, 21,00 m

Výkres č. 6 – Řezy 24,00 m, 26,00 m

Výkres č. 7 – Řezy 27,00 m, 30,00 m

Výkres č. 8 – Řezy 33,00 m, 36,00 m, 39,00 m

Výkres č. 9 – Řezy 42,00 m, 45,00 m, 48,00 m

Výkres č. 10 – Řezy 51,00 m, 54,00 m, 57,00 m

Výkres č. 11 – Řezy 60,00 m, 63,00 m

Výkres č. 12 – Řez 66,00 m

Výkres č. 13 – Řez 68,00 m

Výkres č. 14 – Řezy 69,00 m, 72,00 m

## Digitální přílohy na CD

P1 – Obsah CD (P1\_Obsah\_CD.txt)

P2 – Složka s výkresy v pdf (P2\_Vykres\_pdf)

P3 – Data z měření totální stanici (P3\_STACHELBE\_mereni.asc)

P4 – Protokol vyrovnání z programu EasyNET (P4\_Protokol\_vyrovnnani.txt)

P5 – Protokol registrace z programu Leica Cyclon (P5\_Protokol\_registrace.txt)

P6 – Vyčištěné a registrované mračno bodů (P6\_stachelberg\_mracno\_ciste\_5mm.las)

P7 – Zvolená polyline tvořící osu štoly (P7\_Polyline\_osy.dxf)

P8 – Výkresy v dwg (P8\_Stachelberg\_vykresy.dwg)

P9 – Plný text bakalářské práce (Zamereni-stoly-Stachelberg.pdf)