ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra speciální geodézie

Doplnění bodového pole štoly Josef body s boční stabilizací

Adding Wall-mount Measuring Points in Josef Mine

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní obor: Geodézie a kartografie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Jiřikovský, Ph.D.

Tadeáš Šimek **Praha 2023**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šimek Jméno: Tadeáš Osobní číslo: 494269

Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor/specializace: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Doplnění bodového pole štoly Josef body s boční stabilizací

Název bakalářské práce anglicky: Adding Wall-mount Measuring Points in Josef Mine

Pokyny pro vypracování:
Doplnění základního důlního bodového pole v UEF/URC Josef o měřické značky s boční stabilizací. Návrh umístění bodů, zaměření vhodonu metodou a přesností, zpracování a vyrovnání měření v návaznosti na stávající stav, určení výsledných souřadnic a sestavení technické zprávy.

Seznam doporučené literatury:
Vyhláška 435/1992 sb., Vyhláška Českého báňského úřadu o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem
HAMPACHER, M. a ŠTRONER, M. Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze. 2015, sv. 1. ISBN 978-80-01-05843-5.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Tomáš Jiřikovský, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 24.2.2023 Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023
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“.

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci zpracoval a vyhotovil samostatně a výlučně s pomocí doporučené literatury a dalších zdrojů ze seznamu v závěru.

V Praze dne …… Tadeáš Šimek ……

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Jiřikovskému, Ph.D. za trpělivost, ochotu pomoci s problémy, odborné rady a věnovaný čas při při měření a během konzultací. Dále bych chtěl poděkovat Katedře speciální geodézie za vypůjčení nejmodernějších pomůcek, které byly využívány pro měření.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ

Anotace

Cílem této bakalářské práce je doplnění základního důlního polohového bodového pole štoly Josef o body s boční stabilizací. Součástí práce bylo navržení vhodných míst pro body s boční stabilizací, zaměření polygonového pořadu ve štole s novými body, následné zpracování naměřených dat, výpočet a vyrovnání nově určených bodů v měřické síti.

Klíčová slova

Základní důlní polohové bodové pole, polygonový pořad, měřická síť, důlní měřictví, štola Josef, vyrovnání, body s boční stabilizací.

Abstract

The aim of this bachelor's project is adding the coordinates of the mine geodetic control network of the Josef Gallery with a wall-mount measuring points. Project includes planning location of new points, measurement by traverse, measured data processing, calculation work and adjustment of new points.

Key words

Mine geodetic control network, measurement by traverse, positional network, mining surveying, Josef Gallery, adjustment, wall-mount measuring points.

Obsah

Úvod **6**

1 Štola Josef 7

1.1 Popis a základní informace 7
1.2 Historie 8
1.3 Současnost 10
1.4 Výuka a výzkum 11

2 Důlní bodové pole 13

2.1 Stávající důlní bodové pole 13
2.2 Souřadnicové systémy ve štole 14
2.3 Polohové bodové pole 14
2.4 Stabilizace nových bodů 16

3 Měřické přístroje a pomůcky 17

3.1 Totální stanice Trimble S9 HP 17
3.2 Centrovač Freiberger FG–L30 18
3.3 Pomůcky k měření 19

4 Měření a přípravné práce 21

4.1 Rekognoskace terénu 21
4.2 Průběh měření polygonového pořadu 22

5 Zpracování dat a výpočty 25

5.1 EasyNET 25
5.1.1 Zpracování dat a výpočty 25
5.1.2 Analýza dat v softwaru EasyNET 26
5.2 Testování dle vyhlášky č. 435/1992 Sb. 28
5.3 Vyrovnání geodetické sítě 29
5.3.1 Metoda nejmenších čtverců 29
5.3.2 Vyrovnání a transformace 30

5.3.3 Vyrovnání bodů podrobného bodového pole 33
5.4 Transformace do souřadnicového systému S-JTSK 34

Výsledky **36**

Závěr **37**

Zdroje **38**

Seznam obrázků **39**

Seznam tabulek **40**

Seznam příloh **41**

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá doplněním základního důlního polohového bodového pole (ZDBP) štoly Josef v oblasti Páteřní štoly o kontrolní body s boční stabilizací, jejich výpočet a vyrovnání. Měření polygonového pořadu bylo provedeno pomocí totální stanice Trimble S9 HP dne 6.4.2023. Polygonový pořad byl veden z bodu 501 před vstupním portálem do štoly až přes body 502 a 503 na bod 504 v páteřní chodbě s hlavními stanovisky na bodech 502 a 503. Vzhledem k blízkosti nově zvolených bodů s boční stabilizací ke stanoviskům, byly jako vedlejší stanoviska zvoleny nové body BS01 (u bodu 502) a BS02 (u bodu 503), aby bylo zajištěno protisměrné měření. Mimo nově zvolených bodů byly ve štole zaměřeny i další body (trny a vrty) pro větší univerzálnost výpočtů a vyrovnání měřické sítě v programu EasyNET.

V první kapitole se nachází základní popis a historie štoly Josef a její aktuální využití pro výuku a výzkum.

V druhé kapitole jsou informace o bodovém poli štoly a jeho stabilizaci a o všech využitých bodech využitých při měření polygonového pořadu. Dále se zde nachází informace o souřadnicových systémech štoly.

Třetí kapitola se věnuje informacích o pomůckách a přístrojích použitých pro měření

Čtvrtá kapitola se věnuje všem informacím spojených s měřením a jeho přípravám. Specificky se jedná o informace při měření polygonového pořadu.

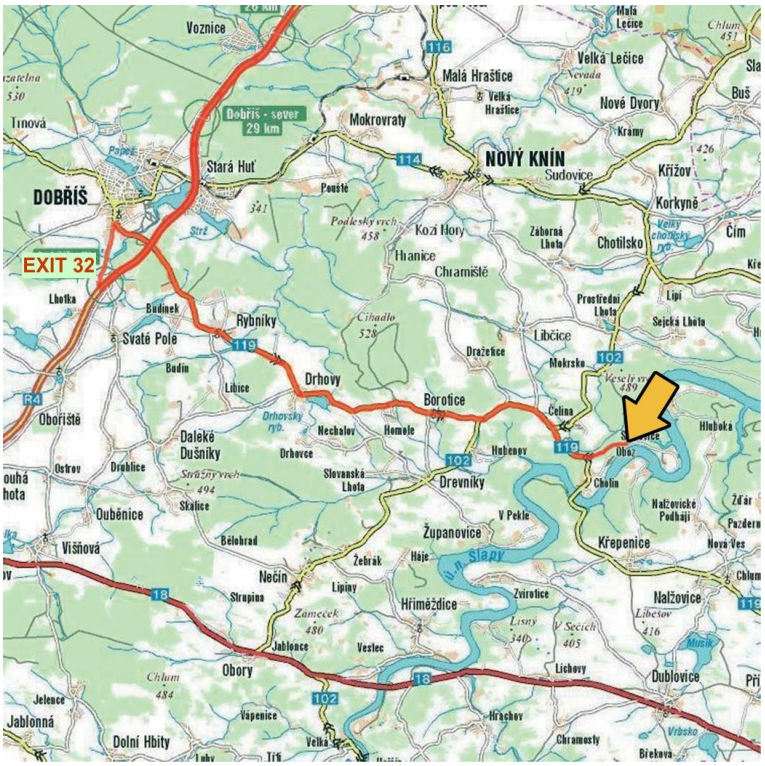
V páté kapitole se probírá zpracování naměřených dat a výpočty spojené s vyrovnáním geodetické sítě. Je zde popsána editace a zpracování dat v programu EasyNET a jejich vyrovnání. Vyrovnání je provedeno jak pro souřadnicový systém S-JTSK, tak pro místní systém štoly S-Josef.

1 Štola Josef

1.1 Popis a základní informace

Štola Josef je podzemní komplex, nacházející se ve Středočeském kraji, přibližně 50 km jižně od Prahy, mezi obcemi Čelina a Mokrsko v okrese Příbram v blízkosti Slapské přehrady. Byla vyražena v období 1981-1991 kvůli průzkumu zlatonosných ložisek. Štola je součástí zlatorudného revíru Psí hory. Vnitřní prostředí štoly je tvořeno slabě metamorfovanými, vulkanickými a vulkanosedimentárními horninami (bazalty, andenzity, tufy a tufity) a mladšími horninami (granodiority a albitické žuly). Štola slouží od roku 2007 jako Centrum experimentální geotechniky ČVUT v Praze. [1][2]

Páteřní chodba prochází severo-severo-západním směrem napříč horninovým masivem Veselého vrchu v délce 1835 m a profilem 14-16 m^2. Na páteřní chodbu je navázáno hned několik dalších liniových průzkumných děl a výzkumných aktivit (např. pro výuku studentů ČVUT) v délce přibližně 6018 m a profilem 9 m^2, které jsou částečně napojeny do dalších dvou pater štoly. Konec páteřní štoly je propojen s povrchem terénu 136 m vysokým větracím komínem. Celkem dosahuje délka chodeb kolem 7853 m. [1]



obr. 1: Umístění štoly Josef [1]

1.2 Historie

Zlatorudní revír Psí hory se nachází na Novoknínsku. Zlato se zde v minulosti těžilo ještě v revírech novoknínském, kozohorském a libčickém. Oblast Psích hor je situována v horninách Jílovského pásma, které sehrálo významnou roli ve středověké historii naší země (ražba lucemburských dukátů). K úplnému ukončení těžby došlo až v roce 1968. O historii těžby zlata na Psích horách existuje velmi málo záznamů, avšak na několika místech revíru se dochovaly pozůstatky starých hornických prací. [1][2]

Těžba zlata byla na našem území poprvé zaznamenána už za dob Keltů, kteří většinu zlata získávali z rýžovišť na Čelinském potoce a na místech dnes zatopených slapskou vodní nádrží. Avšak hlavní rozvoj těžby zlata na Psích horách přinesl až středověk. S dolováním se začalo už ke konci 13. století, největší rozkvět těžby pak ve 14. století. V této době bylo zlato dobýváno z křemenných žil pomocí štol. Podzemní díla dosahovala až do 60 m pod povrchem. V blízkosti největší šachty byla zřízena kovárna na výrobu hornického nářadí. Vytěžená ruda byla přepravována do rudních mlýnů, kde se drtila a mlela. Zlato se pak z rozemleté rudy oddělovalo amalgamací. Období největšího rozkvětu těžby skončilo na začátku 15. století z důvodu rostoucích nákladů, vyčerpání zlatonosných křemenných žil, technických problémů a politické situace v zemi. Dobývání zlata tak bylo na několik desetiletí přerušeno. [1][3]

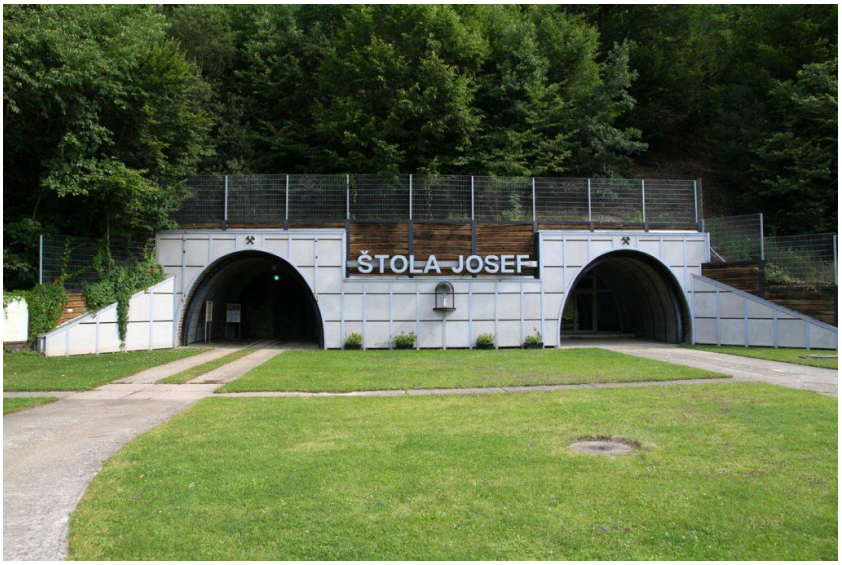
Na začátku 16. století. Došlo k obnově dolů a začala druhá etapa těžby zlata, která však už nebyla tak významná a ustala už po polovině 16. století. Není známo, kolik zlata bylo během obou hlavních období těžby na Psích horách získáno. Avšak v celé novoknínské oblasti ve středověku byly vytěženy asi 4 tuny zlata. Na rozdíl od jiných revírů v okolí Nového Knína, kde těžba a průzkumné práce probíhaly i v pozdějších obdobích, Psí hory zůstaly stranou veškerých hornických aktivit téměř až do konce 20. století. Až v 80. let 20. století vynesl archeologický průzkum AV ČSSR na světlo mnoho záznamů po zaniklém dolování. Došlo k nalezení částí mlýnských kamenů na drcení rudy, zbytků středověké kovárny a hornického nářadí. [1]

Zlatorudní revír Psí hory zůstal až do konce 20. století nevyužit. V 80. letech 20. století zde probíhal podrobný průzkum, jehož součástí bylo geologické mapování, geofyzikální průzkum, podrobný geochemický průzkum půdního pokryvu, průzkum pomocí vrtů z povrchu až do hloubky 300–600 m a konečně báňský průzkum z nově ražené štoly Josef, kombinovaný s podzemními vrty. Provedené práce: 103 jádrových vrtů z povrchu o celkové délce 23 378 m, 127 podzemních jádrových vrtů o celkové délce 13 137 m, vyražení štoly Josef: hlavní chodba vedoucí

napříč ložisky v délce 1835 m, postranní chodby na jednotlivých ložiscích s celkovou délkou 6018 m, 3 větrací komíny s celkovou délkou 330 m, dále bylo odebráno a zanalyzováno 9 818 půdních vzorků a přes 25 000 vzorků z vrtů a z podzemí. [1][2]

Průzkum měl za výsledek zhodnocení zásob zlata na dosud známých ložiscích Čelina a Mokrsko-východ a především objevení nového ložiska Mokrsko-západ, s využitelnými zásobami až 75 t zlata, což z něho činí jedno z nejbohatších v Evropě. Celkový potenciál všech ložisek revíru byl odhadnut až na 130 t zlata. V rámci průzkumu probíhala v na přelomu 90. let 20. století i experimentální podzemní těžba ložiska Čelina, kdy bylo vytěženo 19 500 t rudniny, z které bylo získáno 21,5 kg zlata. [1][2][3][4]

Vzhledem k předpokládanému negativnímu vlivu na životní prostředí, nebylo k průmyslovému využití štoly nikdy přistoupeno. V polovině 90. let a později i kolem roku 2016 dokonce projevily o těžbu v lokalitě zájem zahraniční těžební společnosti, ale kvůli protestům místních obyvatel a různých ekologických organizací k ní nikdy nedošlo. Po ukončení všech průzkumných prací v polovině 90. let, začala štola i její okolí postupně chátrat, což v roce 2000 vedlo až k zabetonování obou přístupových portálů do štoly. [1][2][3]



obr. 2: Vstupní portál štoly Josef [1]

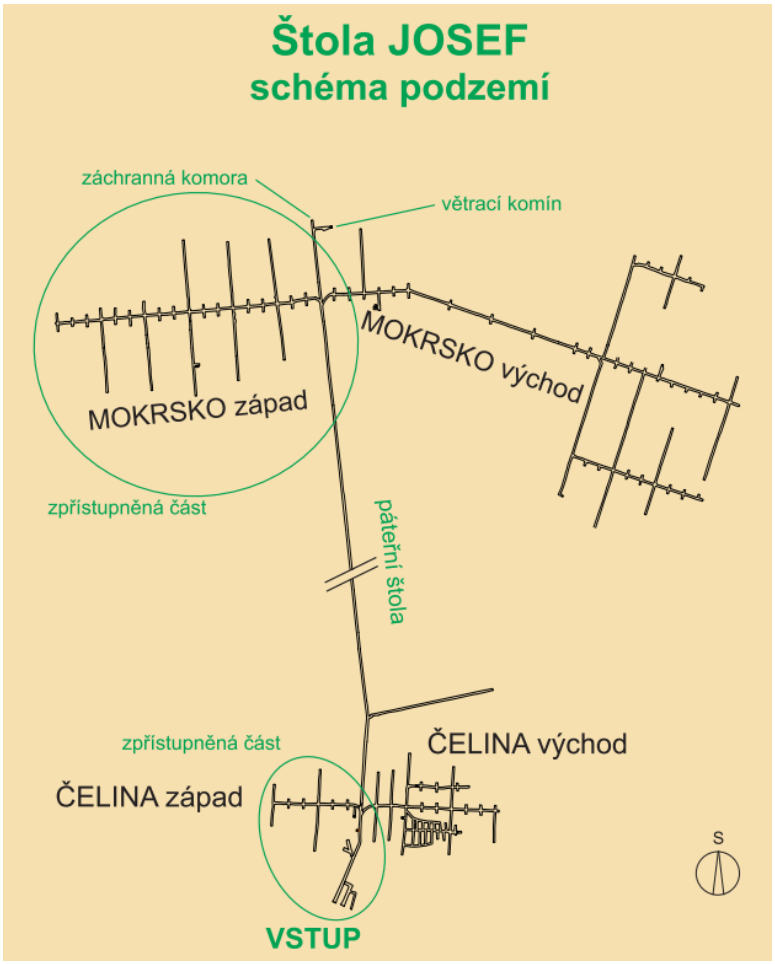
1.3 Současnost

V roce 2003 byl vznesen na ČVUT nápad o využití opuštěného podzemního díla Josef jako podzemního pracoviště pro výuku a experimentální činnost. Už v květnu 2005 byla podepsána smlouva mezi Fakultou stavební ČVUT a vlastníkem průzkumného díla Ministerstvem životního prostředí o zapůjčení štoly pro vzdělávací a výzkumné účely. O rok později v srpnu byly proraženy zabetonované portály a došlo tak k znovuzpřístupnění štoly. Stav štoly byl zkontrolován Báňskou záchrannou službou a mohlo se začít s rekonstrukcí podzemních prostor. [1][3]

V červnu 2007 již byla v provozu Podzemní výukové středisko Josef (UEF[1] Josef) dnes Podzemní laboratoř Josef reprezentující počátek využití podzemních prostor ve štole Josef. V letech 2006 – 2007 bylo realizováno zprovoznění prvních 650 m chodeb oblasti Čelina západ, které bylo financováno společností Metrostav a.s. částkou činící 9,5 mil. Kč. Vybudování povrchového zázemí bylo financováno z Evropského sociálního fondu, státního rozpočtu ČR a rozpočtu hlavního města Prahy. A v roce 2009 bylo toto pracoviště zařazeno do prestižní desetičlenné mezinárodní skupiny URF[2] jejichž činnost koordinuje Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA[3]) se sídlem ve Vídni. V roce 2010 byly v oblasti Mokrsko západ z prostředků Centra experimentální geotechniky (CEG[4]) Fakulty stavební zprovozněny další podzemní prostory. Došlo tak k vzniku Regionálního výzkumného centra Josef (URC[5] Josef), které společně s UEF Josef poskytuje prostory jak pro přípravu odborníků podzemního stavitelství, tak pro vlastní výzkumy soukromým firmám. [1][3]

Během června 2014 byla v oblasti Čelina východ zpřístupněna kaverna, která je pozůstatkem experimentální těžby z roku 1991. Díky zprovoznění více prostor rostou i nabídky pro výzkum a výuku ve štole, a tím i množství realizovaných experimentů. [1][3]

[1] Underground Educational Facility
[2] Underground Research Facility
[3] International Atomic Energy Agency
[4] Centrum experimentální geotechniky
[5] Underground Research Centre



obr. 3: Schéma štoly Josef [1]

1.4 Výuka a výzkum

V podzemí probíhá především výuka předmětů bakalářských a magisterských oborů orientovaná na podzemní stavitelství. Souběžně s výukou je však v Podzemní laboratoři Josef realizován výzkum související zejména s problematikou ukládání radioaktivních odpadů. [1][3]

Výuka se plně rozjela v akademickém roce 2007/2008 a je výrazně prakticky orientována a studenti tak mají možnost vyzkoušet si měření v reálném prostředí. Výuku pro studenty ČVUT probíhající v Podzemní laboratoři Josef zajišťují tři pracoviště Fakulty stavební ČVUT v Praze: Centrum experimentální geotechniky, Katedra geotechniky a Katedra speciální geodézie. [1]

V roce 2010 z dotací od MŠMT vznikla pro studenty v oblasti Mokrsko západ Meziuniverzitní podzemní laboratoř MeziLab I, na které spolupracovaly Fakulta stavební a Fakulta jaderná a fyzikálně-inženýrská ČVUT Praha, Vysoká škola chemicko-technologická Praha, Masarykova univerzita Brno a Technická univerzita Liberec. [1]

V roce 2014 byla taktéž z prostředků MŠMT[1] vybudována podzemní laboratoř MeziLab II. Na projektu se podílejí Fakulta stavební a Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT[2] a Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [1]

Příklady projektů a výzkumů ve štole:

TIMODAZ[3]: (2006 – 2010) mezinárodní projekt se spoluprací 14 evropských institucí zabývající se dlouhodobým vlivem tepelného zatížení na stabilitu ostění tunelu.

CEBAMA[4]: (2015 - 2018) evropský projekt 27 institucí o výzkumu cementových materiálů pro využití při výstavbě hlubinných úložišť.

Anette[5]: (2016 - 2019) projekt 25 evropských institucí v rámci EU programu HORIZONT 2020, který navazuje na dříve realizované projekty oblasti vzdělávání odborníků na ukládání radioaktivních odpadů.

Tiché tunely: (2019 – 2021) projekt na kterém spolupracovala společnost EKOLA group, spol. s r.o. a Fakulta stavební ČVUT o prostorovém šíření zvuku v tunelu a návrhu akustických obkladů k omezení negativních vlivů odrazů hluku.

EURAD[6]: (2019 - 2024) mezinárodní projekt se spoluprací 51 institucí v 21 evropských zemích o výzkumu pro bezpečné nakládání s radioaktivním odp adem a rozvoj hlubinných úložišť a posílit znalosti mezi organizacemi a státy.

Dismantling in situ experimentu Mock-up-Josef: (2022 - 2024) projekt Fakulty stavební ČVUT v Praze. Původní projekt o popisu chování a změn vlastností bentonitové bariéry nainstalované v roce 2011, zatěžované působením tepla a podzemní vody. V říjnu 2022 byl projekt ukončen a navázal na něj projekt rozebrání experimentu.

A desítky dalších projektů. [1]

---

[1] Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

[2] České vysoké učení technické

[3] Thermal Impact on the Damage Zone

[4] Cement-based materials, properties, evolution, barrier functions

[5] Advanced Networking for Nuclear Education and Training and Transfer of Expertise

[6] European Joint Programme on Radiactive Waste Management

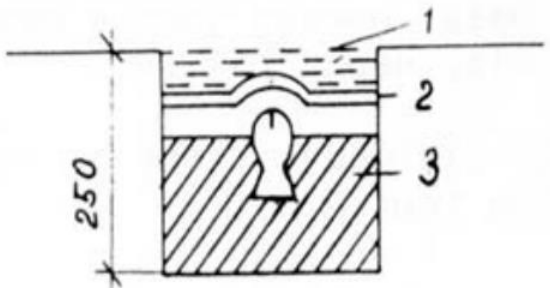
2 Důlní bodové pole

Důlní bodová pole ve štole se dělí na polohová a výšková, dále na základní a podrobná, měřená v podzemí a na povrchu.

2.1 Stávající důlní bodové pole

Základní důlní polohové bodové pole v podzemí tvoří body základních orientačních přímek (ZOP) určených při připojovacím a usměrňovacím měření a body dalších orientačních přímek. Podrobné důlní polohové bodové pole v podzemí tvoří stabilizované body určené polygonovým pořadem a navazující na základní polohové bodové pole. K výškovým měřením slouží ve stěnách osazené klasické čepové nivelační značky. Podrobné důlní výškové bodové pole je určováno technickým měřením. [1][5]

Stabilizace bodů se dělí na trvalou a dočasnou. Spolehlivé body jsou trvale stabilizované a určují ve spolupráci s geologem. Působením tlaků nadloží může dojít k posunům bodů a tím ke změnám úhlů a délek, takže při připojování na stávající body je důležité vycházet alespoň ze tří bodů. Proto je nutné znát přesnost a způsob měření jak původního, tak připojovacího. Trvalá stabilizace se dělí na stabilizaci v počvě a stabilizaci ve stropě. U stabilizace v počvě je poloha bodu stabilizována válečkem z ušlechtilého kovu s vyvrtanou dírkou a výška hřebovou značkou. Stabilizace ve stropě je běžně používaným způsobem v dolech, pokud není výška stropu příliš veliká. Výhodou je snadná dostupnost, body se méně znečišťují a poškozují, lépe se vyhledávají a signalizují. [1][5]



obr. 4: Stabilizace bodu v počvě [1]
(1 - zásyp, 2 - poklop, 3 – beton)

U dočasně stabilizovaných bodů, kde se nepředpokládá stálost bodů, se jedná zejména o stabilizaci ve výdřevě, která se často bortí, nebo o použití troj-podstavcové soupravy. [1][5]

2.2 Souřadnicové systémy ve štole

Ve štole je používaný výškový systém Balt po vyrovnání (Bpv). Jeho výchozím bodem je nula stupnice vodočtu umístěného na břehu Baltského moře v Kronštadtu a je definován souborem normálních Moloděnského výšek. Polohové bodové pole je tvořeno ze dvou souřadnicových systémů. Prvním je Systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální s počátkem poblíž Petrohradu a se zkreslením ze zobrazení podle Josefa Křováka. Tento systém je závazný pro celou Českou republiku. Druhým je místní souřadnicový systém S-Josef s počátkem v bodě 501 před vstupním portálem štoly. Svým natočením odpovídá S-JTSK a jeho měřítkový koeficient je 1. Tento systém tedy zobrazuje skutečně měřené a ze zobrazení nezkreslené vzdálenosti. [4][5]

2.3 Polohové bodové pole

Zájmovým územím štoly je oblast páteřní chodby a body základního důlního bodového pole využité pro měřické práce v polygonovém pořadu jsou 501, 502, 503 a 504.

Způsoby stabilizace bodů: bod 501 je stabilizován hřebem v betonovém válci s ochranou destičkou, bod 502 značkou v betonu v úrovni terénu štoly, bod 503 pomocí zabetonované značky v podloží pod ochranou destičkou a bod 504 pomocí zabetonované značky v podloží.

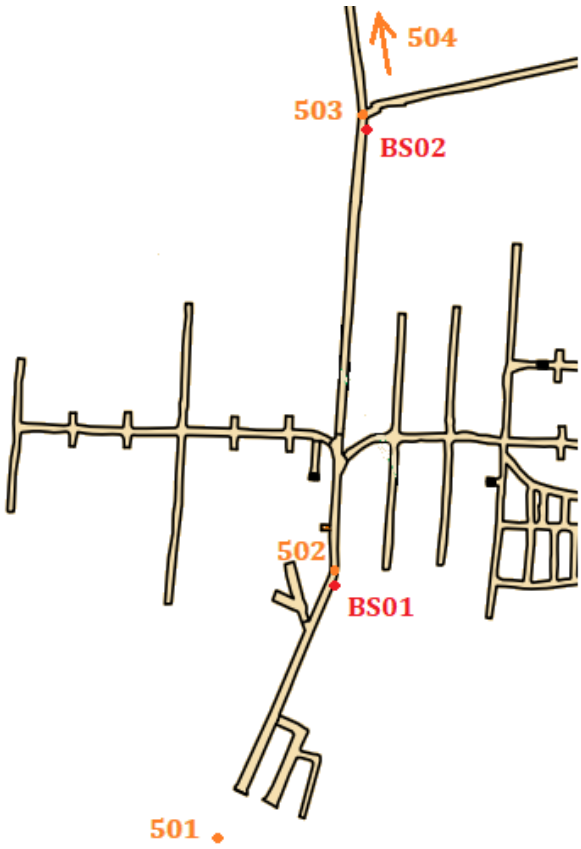
Další body využité pro propojení polygonového pořadu: trny ve stěně – 7031, 7033, P03002, P03202, P03204, vrty v kolejnici – 4003, 5102.

obr. 5: Umístění nové boční stabilizace, bod BS01 [vlastní foto]

obr. 6: Umístění nové boční stabilizace, bod BS02 [vlastní foto]

2.4 Stabilizace nových bodů

Důlní polohové bodové pole je tvořeno jak body na zemi, tak trny na stěnách. U tohoto měření bylo polohové bodové pole doplněno o dva kontrolní body BS01 a BS02 s boční stabilizací ve stěně na tzv.[1] „pádlech“ (NCC). Nové body se nachází v oblasti páteřní chodby v blízkosti bodů základního důlního polohového bodového pole 502 a 503. Umístění nových bodů bylo zvoleno tak, aby z nich v polygonovém pořadu byla dobrá viditelnost na další body měřické sítě.
Z bodu BS01 byla zajištěna viditelnost na body 501, 503 a 502, který se nachází právě v blízkosti nové boční stabilizace BS01. Z bodu BS02 byla zase zajištěna viditelnost na body 502, 504 a 503, který je blízko nového BS02.



obr. 7: Situace nového bodového pole [vlastní zpracování]

[1] takzvaných

3 Měřické přístroje a pomůcky

3.1 Totální stanice Trimble S9 HP

Vzhledem k požadované přesnosti bylo nutné k měření v polygonovém pořadu použít velmi přesnou totální stanici. Proto byla použita totální stanice Trimble S9 HP, která díky své přesnosti v měření úhlů 1“ a délkovou přesností 0,8 mm + 1 ppm, je jedna z nejpřesnějších pro práci v podmínkách s vysokou požadovanou přesností.

Svou přesnost a výkon zaručuje díky řadě specializovaným funkcím. Je možnost kombinovat skenování, snímkování a měření nebo se soustředit na vysokou přesnost s doplňky jako jsou LongRange, FineLock a Trimble DR High Precision EDM. Mezi jeho další výhody patří např. rychlost a bezhlučný provoz díky magnetickým servoustanovkám. Přístroj byl zapůjčen katedrou 154. [6]

obr. 8: Totální stanice Trimble S9 HP [6]

3.2 Centrovač Freiberger FG–L30

Dalším přístrojem použitým při měření byl optický centrovač FG-L30 od německé firmy Freiberger Präzisionsmechanik. Má zvětšení 9x a dosahuje přesnosti ± 1 mm / 30 m a přesnosti trubicové libely 20 "/ 2 mm. Díky tomu se i tento centrovač staví mezi ty nejlepší pro práci v podmínkách s vysokou přesností. [7]

obr. 9: Centrovač Freiberger FG-L30 [7]

3.3 Pomůcky k měření

„pádlo“ NCC 2x

obr. 10: NCC „pádlo“ a zděř pro zavrtání do stěny [vlastní foto]

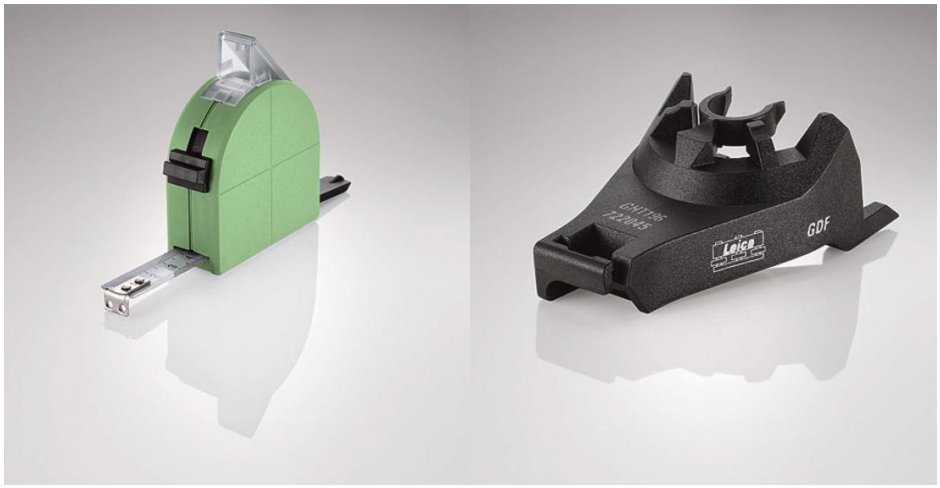
Stativ Leica GST120-9 (těžký dřevěný stativ se šrouby, bukové dřevo) 2x + lehký stativ 1x

obr. 11: Stativ Leica GST120-9 [vlastní foto]

Hranol Trimble VX/S, 3x + trojnožka a Leica minihranol na blízko 7x (5x minihranol černý byl použit pro blízká měření na trojnožce a trny ve stěnách, 2x minihranol červený byl použit pro vrty na kolejnici s výtyčkou)

obr. 12: Trimble hranol VX/S a Leica minihranol GMP-101 *[vlastní foto]*

Měřidlo výšky přístroje Leica GHM007 a Distanční držák Leica GHT196



obr. 13: Měřidlo vp Leica GHM007 a Distanční držák Leica [8]

Další pomůcky: Trojnožka Leica GDF111 bez optického centrovače, stojánek pro výtyčku, lampy, teploměr, barometr, libela pro urovnání pádla.

4 Měření a přípravné práce

V této kapitole a podkapitolách jsou uvedeny všechny informace, postupy a činnosti spojené s polohovým měřením ve štole Josef. Jsou zde hlavně práce spojené s měřením polygonového pořadu.

Základní důlní polohové bodové pole v podzemí je tvořeno z bodů základních orientačních přímek, určených při připojovacím a usměrňovacím měření a body orientačních přímek, které jsou součástí velmi přesných polygonových pořadů. Orientační přímky se rozmísťují tak, aby délky těchto polygonových pořadů mezi nimi nebyly větší než 1000 m. Z tohoto důvodu byly k měření využity přístroje splňující přesnosti velmi přesného měření [5]

4.1 Rekognoskace terénu

Dne 16.3.2023 proběhla s vedoucím bakalářské práce Ing. Tomášem Jiřikovským, Ph.D. ve štole Josef rekognoskace podzemních prostor za účelem prohlédnutí zájmové oblasti a vybrání vhodných umístění pro boční stabilizaci nových kontrolních bodů. Místa pro stabilizaci byla vybrána tak, aby jak mezi novými body, tak na další body základního důlního polohového bodové pole byla co nejlepší vzájemná viditelnost.

Vybrání vhodných míst bylo provedeno za pomoci lamp a stojánků postavených na každé dva body ze kterých byla potřebná viditelnost na nový bod. Na možném místě nového bodu bylo od oka posouzeno vhodné umístění u stěny a pokud byla viditelná světla obou lamp na stojáncích, místo se označilo barvou pro pozdější vyvrtání provedené techniky URC Josef.

4.2 Průběh měření polygonového pořadu

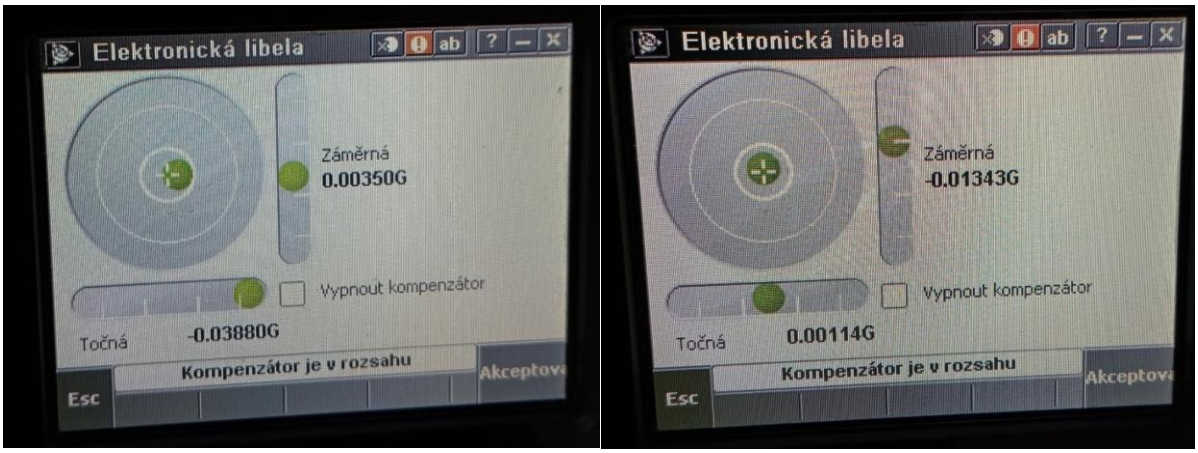
Měření ve štole Josef probíhalo dne 6.4.2023. Teplota ve štole dosahovala okolo 6 °C, tlak se pohyboval kolem 985 hPa s vlhkostí postupně stoupající, jak probíhalo měření dál ve štole. Byl měřen polygonový pořad velmi přesnou metodou už dříve uvedeným přístrojem Trimble S9 HP ve 3 skupinách s využitím automatického cílení FineLock a AutoLock. Polygonový pořad byl změřen od vstupního portálu štoly přes páteřní štolu (hlavní chodbu) na čtyřech trvale stabilizovaných bodech společně s vedlejším připojením dvou nových kontrolních bodů. Jako hlavní stanoviska sítě byly voleny body základního důlního polohového bodového pole 502 a 503 s vedlejšími stanovisky na nových bodech BS01 a BS02. Celý polygonový pořad byl situován jako volná měřická síť s nefixními body 501, 502, 503 a 504 a novými body pro vyrovnání BS01 a BS02. Do měření byly také zahrnuty další body ve štole sloužící jako možnost lepšího propojení pořadu a pro více nadbytečných měřených hodnot. Jednalo se o trny ve stěnách a vrty v kolejnici. Těmito body byly: 7031, 7033, P03002, P03202, P03204 a 4003, 5102.

Jelikož vedlejší stanoviska BS01 a BS02 jsou stabilizována bočně pádly ve vzdálenosti asi 30 cm od zdi, při postavení totální stanice na ně se začaly pádla prohýbat a tím hrozilo, že by kompenzátor přístroje nebyl v rozsahu jeho funkčnosti. Tento problém byl vyřešen vyfotografováním hodnot na elektronické libele a následně lehkým urovnáním přístroje. Po ukončení měření na stanovisku, se přístroj dorovnal na předchozí hodnoty. (*obr. 12 a 13)*

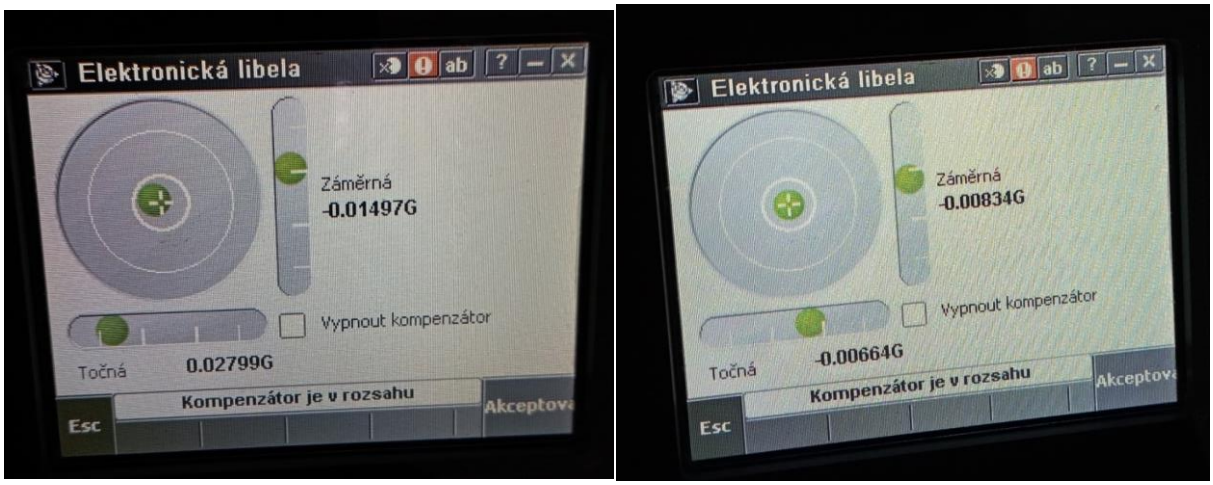
Při měření na stanovisku 503 došlo k problému, kdy totální stanice nedokázala sama docílit funkcí FineLock na předchozí bod polygonového pořadu 502 z důvodu blízkosti ve směru s bodem BS01. Když se však docílení povedlo, bylo zjištěno, že se pokaždé zacílilo na jiný bod. Měření na stanovisku 503 ve 3 skupinách tedy proběhlo ještě jednou, tentokrát s ručním cílením na bod 502 a BS01. Stejný problém nastal při měření z bodu BS02, takže byl opakován stejný postup a to ruční cílení na body 502 a BS01. Podobný důvod nastal také u měření jednoho z vrtů v kolejnici 5102, u kterého se tento problém vyřešil změnou výšky minihranolu na výtyčce.

Vzhledem k faktu, že na nových bodech s boční stabilizací byl při měření hranol postaven na trojnožce, bylo nutné změřit doměrek trojnožky. Tedy vertikální vzdálenost ode dna trojnožky k vrcholu upínacího šroubu, který se poté přičetl k výšce stanoviska. U prvního pádla na bodě BS01 byl změřen doměrek + 30,1 mm a u druhého pádla + 31,9 mm. Doměrky byly určeny strojírenským hloubkoměrem (posuvkou).

Dne 4.5.2023 byla štola znovu navštívena z důvodu získání hodnot nutných k vypracování místopisů a následně geodetických údajů pro nové body s boční stabilizací.



obr. 14: Stav kompemzátoru na bodě BS01, před a po dorovnání [vlastní foto]



obr. 15: Stav kompemzátoru na bodě BS02, před a po dorovnání [vlastní foto]

obr. 16: Trimble S9 HP na NCC, bod BS01 [vlastní foto]

obr. 17: Trimble S9 HP na NCC, bod BS02 [vlastní foto]

5 Zpracování dat a výpočty

Tato kapitola a její podkapitoly se obecně zabývají zpracováním a vyrovnáním naměřených dat z měření v polygonovém pořadu. Dále zde bude uveden způsob a postup při vyrovnání a transformaci v programu EasyNET.

5.1 EasyNET

EasyNET je softwarová aplikace vytvořená Prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. a Ing. Pavlem Třasákem, Ph.D, která slouží pro snadné zpracování přesných geodetických měření. Měřická data jsou automaticky vyhodnocována metodou vyrovnání prostorové geodetické sítě. Při zpracování je vyžadováno měření ve dvou polohách dalekohledu, které je uspořádané do měřických skupin, které jsou graficky rozčleněny. Klasická měření pomocí totálních stanic mohou být doplněna o nivelační měření či měření gyroteodolitem. Jedinečnost softwaru spočívá v použití pokročilých výpočetních metod, které přinášejí stabilitu výpočtu a vysokou kvalitu dosažených výsledků. Aplikace je vyvíjena pro operační systémy MS Windows a je poskytována v českém a anglickém jazyce. [9][10]

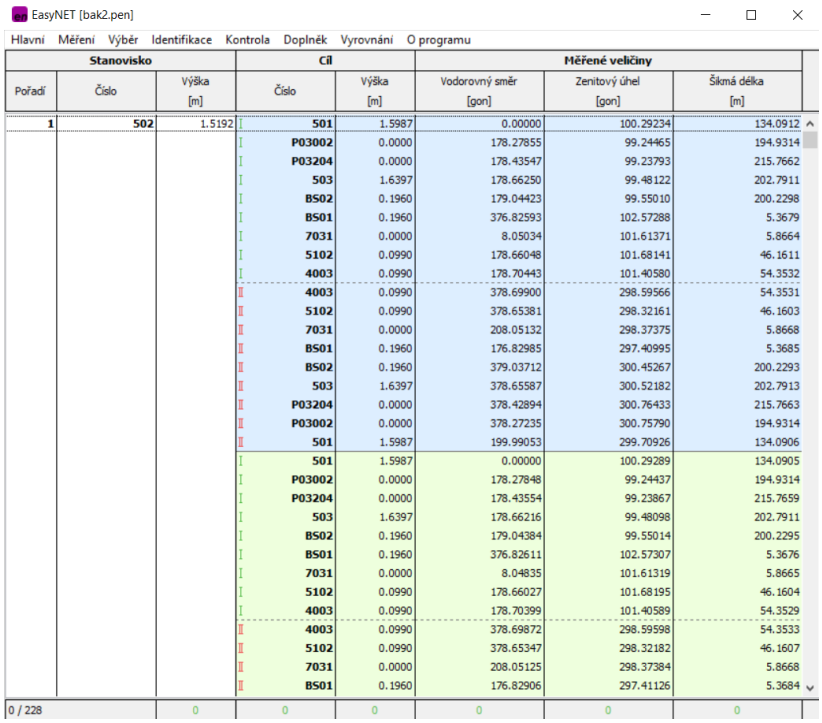
5.1.1 Hlavní funkce softwaru

Významnou předností softwaru EasyNET je funkce pro automatickou detekci a vyloučení odlehlých měření. Testovaná detekční metoda je založena na robustním vyrovnání geodetických měření. Software umožňuje práci s projekty, které ukládají veškerá měřická data spolu s kompletním programovým nastavením, což umožňuje snadný přenos dat mezi jednotlivými uživateli. Vedle četných tabulkových výstupů aplikace disponuje funkcí grafického znázornění geodetické sítě s vykreslením středních elips chyb na jednotlivých bodech sítě a dále funkcí tvorby výpočetního protokolu. Výstupní kresbu geodetické sítě lze exportovat ve formě obrázku či jako výkres ve formátu DXF. [9][10]

5.1.2 Analýza dat v softwaru EasyNET

Nejdříve byla data z měření vyexportována z totální stanice Trimble S9 HP a soubor dat upraven tak, aby mohl být importován do vyrovnávacího softwaru.

Byla provedena základní kontrola měření, jejíž cílem bylo vyhledání hrubých chyb a omylů, které se přirozeně mohou vyskytnout v měřených datech. Při kontrole bylo posuzováno, zda data nabývají očekávaných hodnot a zda splňují stanovené mezní rozdíly jak pro měření v I. a II. poloze dalekohledu, tak i pro opakované měření ve více skupinách. Při překročení mezních rozdílů byla podezřelá měření označena a proces zpracování pozastaven. Odlehlá měření se ve většině případů objevila u vzájemně blízkých bodů. Z tohoto důvodu byla přesnost pro tato měření ručně upravena, aby odpovídala daným okolnostem. [9]


EasyNET [bak2.pen]

Hlavní Měření Výběr Identifikace Kontrola Doplněk Vyrovnání O programu

Stanovisko			Cíl		Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo	Výška [m]	Číslo	Výška [m]	Vodorovný směr [gon]	Zenitový úhel [gon]	Šikmá délka [m]
1	502	1.5192	501	1.5987	0.00000	100.29234	134.0912
			P03002	0.0000	178.27855	99.24465	194.9314
			P03204	0.0000	178.43547	99.23793	215.7662
			503	1.6397	178.66250	99.48122	202.7911
			BS02	0.1960	179.04423	99.55010	200.2298
			BS01	0.1960	376.82593	102.57288	5.3679
			7031	0.0000	8.05034	101.61371	5.8664
			5102	0.0990	178.66048	101.68141	46.1611
			4003	0.0990	178.70443	101.40580	54.3532
			4003	0.0990	378.69900	298.59566	54.3531
			5102	0.0990	378.65381	298.32161	46.1603
			7031	0.0000	208.05132	298.37375	5.8668
			BS01	0.1960	176.82985	297.40995	5.3685
			BS02	0.1960	379.03712	300.45267	200.2293
			503	1.6397	378.65587	300.52182	202.7913
			P03204	0.0000	378.42894	300.76433	215.7663
			P03002	0.0000	378.27235	300.75790	194.9314
			501	1.5987	199.99053	299.70926	134.0906
			501	1.5987	0.00000	100.29289	134.0905
			P03002	0.0000	178.27848	99.24437	194.9314
			P03204	0.0000	178.43554	99.23867	215.7659
			503	1.6397	178.66216	99.48098	202.7911
			BS02	0.1960	179.04384	99.55014	200.2295
			BS01	0.1960	376.82611	102.57307	5.3676
			7031	0.0000	8.04835	101.61319	5.8665
			5102	0.0990	178.66027	101.68195	46.1604
			4003	0.0990	178.70399	101.40589	54.3529
			4003	0.0990	378.69872	298.59598	54.3533
			5102	0.0990	378.65347	298.32182	46.1607
			7031	0.0000	208.05125	298.37384	5.8668
			BS01	0.1960	176.82906	297.41126	5.3684
0 / 228		0	0	0	0	0	0

obr. 18: Hlavní okno a importovaná data [z EasyNET]

Měřené zenitové úhly a šikmé délky byly redukovány na přímou spojnici značek měřených bodů opravou z výšky přístroje a cíle. Dále se musely nastavit redukce délek z nadmořské výšky. Vyrovnání bylo provedeno v souřadnicovém systému S-Josef, který nemá zkreslení do nulové

hladiny, takže byl nulový horizont v nastavení přesunut do výškového středu sítě, čímž se zajistilo minimální zkreslení délek při redukci z nadmořské výšky. Protože nemá S – Josef ani kartografické zobrazení, měřítkový koeficient byl zvolen 1. [9]

Součástí procesu zpracování měření je automatický výpočet přibližných souřadnic bodů geodetické sítě robustní metodou výpočtu. Tyto souřadnice jsou určovány pomocí základních geodetických úloh, a to opakovaně z různých zadaných či již vypočtených bodů geodetické sítě. Z důvodu maximální eliminace vlivu hrubých chyb jsou výsledné souřadnice bodů určeny jako medián ze všech vypočtených kombinací. Kontrola hrubých chyb měření či chyb zadaných bodů sítě je prováděna na základě porovnání rozdílů měřených šikmých délek a délek vypočtených z přibližných hodnot. Vypočtené rozdíly jsou porovnávány s mezními definovanými rozdíly. [9][10]

V softwaru se provádí apriorní analýza geodetické sítě, která má za účel určení apriorních směrodatných odchylek hlavních měřených veličin, z jejichž hodnot se pak odvíjí stanovení vah měření vstupujících do vyrovnání a tím správné použití metody detekce odlehlých hodnot. Jsou zde dva způsoby výpočtu apriorní sítě, a to určení vnitřní nebo vnější přesnosti sítě. Výpočet vnitřní přesnosti sítě je založen na určení výběrových směrodatných odchylek měřených veličin. Tyto odchylky jsou vypočtený z opakovaných měření a výsledné výběrové směrodatné odchylky popisují pouze náhodnou složku celkové směrodatné odchylky měření a systematický vliv je zanedbán. Princip výpočtu vnější přesnosti sítě vychází z vyrovnání protisměrně měřených šikmých délek a zenitových úhlů a z vyrovnání vodorovných směru měřených mezi trojicemi bodů sítě, které vytvářejí trojúhelníkové uzávěry. Oproti vnitřní analýze výsledné směrodatné odchylky popisují i možné systematické vlivy působící na měření v geodetické síti. Detekce odlehlých měření vychází z posouzení velikosti oprav měření, které jsou získány z výsledků robustního vyrovnání geodetické sítě. Jedná se o iterační vyrovnání při kterém dochází k postupnému snižování vlivu odlehlých hodnot měření a k získání odhadu měřených veličin, který je nezávislý na odlehlých hodnotách. Pro toto vyrovnání se použil právě tento způsob výpočtu vnitřní přesnosti apriorní sítě.

5.2 Testování dle vyhlášky č. 435/1992 Sb.

Tato vyhláška pojednává o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a dalších činnostech prováděných hornickým způsobem. Jedná se o testování přesností protisměrně měřených délek pro 4 druhy přesností, jedná se o velmi přesnou, přesnou, technickou a speciální. V tomto případě byl test proveden pro parametry velmi přesného měření. Vyhláška stanovuje, že při použití elektronického dálkoměru nesmí střední relativní chyby měřené délky překročit hodnotu 1 : 18 000, tedy 1 mm na 18 m. Pro přesná měření je toto kritérium 1 : 14 000 a pro technická měření 1 : 10 000. [1][5]

Tab. 1: Testování protisměrně měřených délek dle vyhlášky

Mezi body	Tam [m]	Zpět [m]	Průměr [m]	Rozdíl [mm]	Δ_M [mm]	Vyhovuje
502 - 503	202,7913	202,7913	202,7913	0,0	11,3	ANO
502 - BS01	5,3681	5,3676	5,3679	0,5	0,3	NE
502 - BS02	200,2297	200,2287	200,2292	1,0	11,1	ANO
503 - BS01	208,1555	208,1541	208,1548	1,4	11,6	ANO
503 - BS02	2,8393	2,8392	2,8393	0,1	0,2	ANO
BS01 - BS02	205,5910	205,5914	205,5912	0,4	11,4	ANO

[vlastní zpracování]

Z Tab. 1 je patrné, že testováním prošly všechny délky, kromě délky na spojnici bodů 502 - BS01. Vzhledem k velké blízkosti lze vyvodit, že pravděpodobným důvodem chyby je rozdílné měření v první a druhé poloze totální stanice spojené s prohnutím pádla bodu boční stabilizace BS01. Pro výpočet a vyrovnání uvažujeme, že měření bylo provedeno v souladu s vyhláškou č. 435/1992 Sb.

5.3 Vyrovnání geodetické sítě

Vyrovnání proběhlo v programu EasyNET, kde jsou veškerá měření vyrovnávána souhrnně v podobě homogenní prostorové sítě. Pro vyrovnání sítě byl zvolen souřadnicový systém S-Josef se známými souřadnicemi vedených ve výpočtu jako nefixní neboli „opěrné“ body. Následně byla provedena transformace sítě.

5.3.1 Metoda nejmenších čtverců

Program EasyNET používá pro výpočet vyrovnání měření metodu nejmenších čtverců. Pro tento způsob výpočtu je potřeba nadbytečný počet měřených dat, aby mohlo dojít k vyrovnání. Celková přesnost geodetické sítě závisí na jejich minimálním součtu čtverců oprav. [11][12]

Podmínka řešení:

$$\Omega = [\hat{v}\hat{v}] = [pvv] = \boldsymbol{v}^T \cdot \boldsymbol{P} \cdot \boldsymbol{v} = min. \tag{5.1}$$

Kde:

$$\boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix} je\ vektor\ oprav\ a\ \boldsymbol{P} = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & p_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & p_n \end{pmatrix} je\ matice\ vah \tag{5.2}$$

Vyrovnání geodetické sítě lze podle způsobu vyrovnání dělit na vyrovnání vázané sítě a volné sítě. Vzhledem k faktu, že použité známé souřadnice stanovisek nemají ověřenou aktuálnost, počítala se síť jako volná. Jedná se tedy o měření zprostředkujících veličin s podmínkou transformace.

5.3.2 Vyrovnání a transformace

Jak už bylo dříve poznamenáno, vyrovnání proběhlo jako volná geodetická síť v místním souřadnicovém systému S-Josef. Do vyrovnání vstupovaly jak známé souřadnice bodů vrcholů polygonového pořadu 501, 502, 503 a 504 a nově určované boční stabilizace BS01 a BS02, tak další body štoly. Jednalo se o trny ve stěně (7031, 7033, P03002, P03202, P03204) a vrty v kolejnici (4003, 5102). Souřadnice známých bodů byly poskytnuty vedoucím bakalářské práce z předchozích měřických prací ve štole.

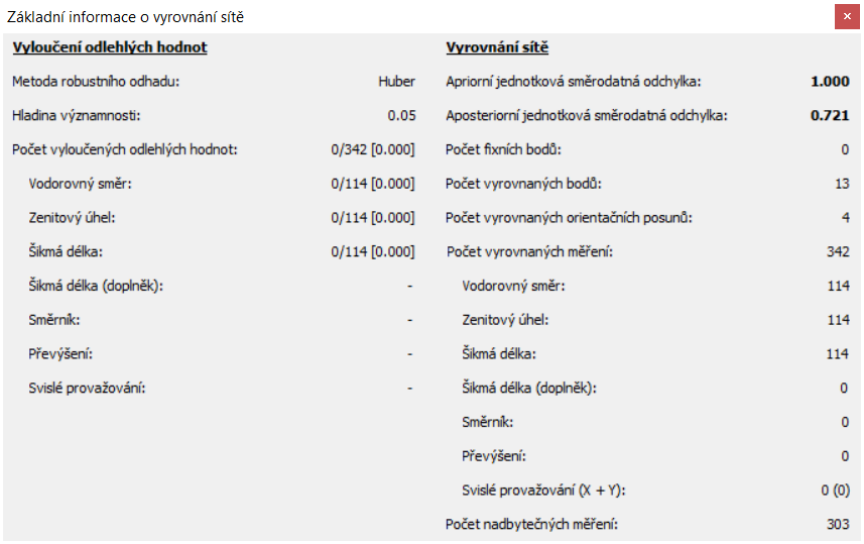
Po prvním vyrovnání sítě bylo programem z měření v síti vyloučeno několik hodnot, které se tím do vyrovnání nezapočítávaly. Z tohoto důvodu byla nutná postupná úprava apriorních přesnosti u měřených hodnot, které přesahovali mezní opravu a u kterých bylo překročení očekávané. Jednalo se o vodorovné směry, zenitové úhly i délky.

Tab. 2: Známé souřadnice bodů v souřadnicovém systému S-Josef

Bod	X [m]	Y [m]	Z [m]
501	10000,000	5000,000	284,547
502	9876,785	4947,105	285,238
503	9674,503	4932,867	286,779
504	9236,359	4985,941	289,453

[Ing. Tomáš Jiřikovský, Ph.D.]

Po úpravě apriorních přesností pro jednotlivá měření, nebyly z měření vyloučeny žádné hodnoty a celkem tedy bylo do vyrovnání geodetické sítě zahrnuto všech 342 hodnot. Vyrovnání v programu proběhlo jako volná síť tvořena 4 známými body a 2 nově určovanými s měřeními na dalších 7 bodů sloužící jako komplexnější propojení polygonového pořadu. Celkem bylo vyrovnáno 13 bodů a 4 orientační posuny. Apriorní jednotková směrodatná odchylka byla nastavena na 1. Aposteriorní směrodatná odchylka sítě po vyrovnání dosahovala hodnoty 0,721.



obr. 19: Ukázka základních informací o vyrovnání sítě [z EasyNET]

Po konečném vyrovnání sítě, bez vyloučených měření, přišla na řadu transformace sítě. Transformace po vyrovnání byla nutná z důvodu posunutí a natočení sítě, které bylo viditelné i z rozdílů vyrovnaných souřadnic a známých souřadnic bodů. Vzhledem k charakteru zpracovaných měření, která představují velmi přesné práce v inženýrsko-geodetických sítích, je v programu nabízen pouze jeden typ transformace. Je jím čtyřprvková transformace, která se skládá z rovinné shodnostní transformace a posunu výškových souřadnic ve svislém směru.

Pro transformaci sítě do správného směru byla použita metoda transformace s vyrovnáním. Jako identické body byly zvoleny již známé body ZDBP (501 - 504). Vyrovnané hodnoty po vyrovnání a následné transformaci jsou zobrazeny v *tab. 3.* Apriorní jednotková směrodatná odchylka byla nastavena na hodnotu 1. Výsledná aposteriorní směrodatná odchylka sítě po vyrovnání s transformací dosahovala hodnoty 0,928.

Tab. 3: Vyrovnané souřadnice bodů ***metodou transformace s vyrovnáním****, v S-Josef*

Bod	X [m]	Y [m]	Z [m]
501	10000,002	4999,999	284,545
502	9876,786	4947,106	285,237
503	9674,502	4932,866	286,779
504	9236,357	4985,941	289,456
BS01	9882,145	4947,330	286,312
BS02	9677,144	4931,854	287,955

[vlastní zpracování]

Výsledné vyrovnané souřadnice jsou jedním z výsledků této bakalářské práce. Tyto body jsou dále bez nových bočních stabilizací využity jako identické body pro transformaci mezi systémy S-Josef a S-JTSK.

Tab. 4: Tabulka směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic

Bod	σ_x [mm]	σ_y [mm]	σ_z [mm]	σ_{xyz} [mm]
501	0,4	0,8	1,2	0,9
502	0,1	0,2	0,4	0,3
503	0,1	0,4	0,5	0,3
504	0,3	0,8	3,8	2,2
BS01	0,1	0,2	0,4	0,3
BS02	0,1	0,4	0,5	0,3

[vlastní zpracování]

Kde:

$$\sigma xyz = \sqrt{\frac{\sigma x^2 + \sigma y^2 + \sigma z^2}{3}} \tag{5.3}$$

je směrodatná odchylka souřadnicová v prostoru

Ze směrodatných odchylek souřadnic v *tab. 4* je vidět, že celkově panují nejmenší odchylky ve směru osy „X“. Už dříve bylo poznamenáno, že páteřní chodba, ve které se měřilo, má průběh přibližně v ose „X“ souřadnicového systému. Z této skutečnosti a z důvodu měření dlouhých záměr ve štole, lze potvrdit velmi přesné měření dálkoměru totální stanice. Patrně největší nepřesnosti panovaly na známých bodech 501 a 504. Vzhledem k faktu, že tyto body jsou na krajích polygonového pořadu a v geodetické síti se na ně měřilo pouze ze dvou stanovisek, jsou na nich větší nepřesnosti očekávané. Největší odchylka pak je v souřadnici „Z“ bodu 504, což k již popsaným skutečnostem, zakřivení Země a dlouhé záměře na bod od nejbližšího stanoviska téměř 0,5 km, považujeme za očekávanou hodnotu.

Tab. 5: Porovnání známých bodů sítě s body vyrovnanými v S-Josef

Bod	S-Josef známé			S-Josef vyrovnané			Rozdíly souřadnic		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Δx [mm]	Δy [mm]	Δz [mm]
501	10000,000	5000,000	284,547	10000,002	4999,999	284,545	-2,4	0,6	1,9
502	9876,785	4947,105	285,238	9876,786	4947,106	285,237	-0,8	-1,4	0,9
503	9674,503	4932,867	286,779	9674,502	4932,866	286,779	1,1	0,9	0,0
504	9236,359	4985,941	289,453	9236,357	4985,941	289,456	2,0	-0,1	-2,8

[vlastní zpracování]

Z rozdílu souřadnic známých bodů s vyrovnanými v *tab. 5* jsou viditelné větší rozdíly právě na bodech 501 a 504.

5.3.3 Vyrovnání bodů podrobného bodového pole

Společně se známými a nově určovanými body, byly ve štole vyrovnány také body podrobného bodového pole. Jednalo se tedy o: trny ve stěně – 7031, 7033, P03002, P03202, P03204 a vrty v kolejnici – 4003, 5102.

Tab. 6: Vyrovnané souřadnice podrobných bodů v S-Josef

Bod	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_{xyz} [mm]
4003	9822,582	4943,252	285,458	0,4
5102	9830,754	4943,865	285,440	0,4
7031	9881,840	4950,082	286,607	0,3
7033	9844,241	4943,333	286,695	0,5
P03002	9682,271	4934,574	289,071	0,4
P03202	9661,980	4935,161	288,849	0,4
P03204	9661,516	4932,709	289,334	0,4

[vlastní zpracování]

Tyto body jsou vedlejší částí výsledných hodnot. Body sloužily jako zhuštění geodetické sítě a k lepšímu propojení polygonového pořadu.

5.4 Transformace do souřadnicového systému S-JTSK

Po vyrovnání geodetické sítě v souřadnicovém systému místním S-Josef, byla provedena transformace sítě do celostátního souřadnicového systému S-JTSK. Stejně jako při vyrovnání v S-Josef, byly jako známé body určeny body základního důlního bodového pole: 501, 502, 503 a 504. Body byly převzaty z výpočtů z bakalářské práce Martina Fencla z roku 2013 [3]. Dále pak byl převzat i jím vypočítaný jednotný transformační klíč pro transformaci ze souřadnicového systému S-JTSK do místního S-Josef, který sloužil ke kontrolnímu výpočtu transformace [13].

Tab. 7: Jednotný transformační klíč, z S-JTSK do S-Josef

posun ΔY [m]	-748 430,157
posun ΔX [m]	-1 071 634,809
měřítko	1,0001409854
rotace [gon]	0,0000

[13]

Nejdříve byla provedena kontrolní transformace v programovém prostředí MATLAB [15] pomocí jednotného transformačního klíče mezi dvěma souřadnicovými systémy štoly, složeného z 13 identických bodů [13]. Finální transformace byla provedena v aplikaci Groma [14], která obsahuje mnoho funkcí pro výpočty a práci s daty ze zeměměřických činností. Jako identické body pro transformaci byly použity známé body ZPBP v S-JTSK [3] a k nim dříve vyrovnané body v S-Josef. Do transformace byly zahrnuty všechny vyrovnané body v souřadnicovém systému S-Josef z *tab. 3* a z *tab. 6*.

Tab. 8: Porovnání kontrolní transformace se známými souřadnicemi v S-JTSK

Bod	**Známé**		**Transformované**		**Rozdíly souřadnic**	
	X [m]	**Y [m]**	**X [m]**	**Y [m]**	**Δx [mm]**	**Δy [mm]**
501	1081634,670	753430,173	1081634,672	753430,172	-1,5	0,9
502	1081511,472	753377,287	1081511,473	753377,287	-0,9	0,5
503	1081309,217	753363,049	1081309,217	753363,049	-0,4	0,5
504	1080871,136	753416,116	1080871,134	753416,116	1,8	-0,1

[vlastní zpracování]

Mezi 13 body použitými jako identické pro jednotný transformační klíč vyhotovený Martinem Fenclem [13] byly 4 známé body ZDBP využité v této práci.

V *tab. 8* jsou zobrazeny rozdíly mezi známými body v S-JTSK a body vyrovnanými a poté podle tohoto klíče transformovanými do S-JTSK. Vzhledem k mírně rozdílným hodnotám byla jako druhý způsob použita nová podobnostní transformace s těmito 4 identickými body, která nebude měnit souřadnice identických bodů a bude pro tento případ lépe aplikovatelná.

Tab. 9: Nový transformační klíč, z S-Josef do S-JTSK

posun ΔY [m]	748430,900
posun ΔX [m]	1071636,120
měřítko	0.9998547672
rotace [gon]	-0,0001

[vlastní zpracování]

Tab. 10: Souřadnice výsledných bodů transformovaných z S-Josef do S-JTSK

Bod	X [m]	Y [m]
501	1081634,670	753430,173
502	1081511,472	753377,287
503	1081309,217	753363,049
504	1080871,136	753416,116
BS01	1081516,830	753377,511
BS02	1081311,859	753362,037

[vlastní zpracování]

Tab. 11: Souřadnice podrobných bodů transformovaných z S-Josef do S-JTSK

Bod	X [m]	Y [m]
4003	1081457,276	753373,434
5102	1081465,447	753374,047
7031	1081516,525	753380,263
7033	1081478,932	753373,515
P03002	1081316,985	753364,757
P03202	1081296,697	753365,344
P03204	1081296,233	753362,892

[vlastní zpracování]

Z důvodu pouze jednoho výškového systému pro oba souřadnicové systémy ve štole, se výšky netransformují a jsou počítány pouze při vyrovnání v S-Josef. Stejné hodnoty výšek tedy platí i pro body transformované do S-JTSK.

Výsledky

Výsledkem této bakalářské práce byly nově vytvořené kontrolní body pro ZDBP[1] s boční stabilizací a jejich geodetické údaje. Jednalo se o body BS01 a BS02, které byly vyrovnané v geodetické síti z bodů ZDBP. Do výsledků jsou zahrnuty také jak ostatní vyrovnané body ZDBP, tak PDBP[2] použité pro výpočet a vyrovnání prostorové sítě.

Tab. 12: Vyrovnané souřadnice bodů ZDBP a nových bočních stabilizací

Bod	S-JTSK		S-Josef		Z [m]	σ_{xyz} [mm]	Způsob stabilizace
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]			
501	1081634,670	753430,173	10000,002	4999,999	284,545	0,9	hřeb v betonu
502	1081511,472	753377,287	9876,786	4947,106	285,237	0,3	hřeb v betonu
503	1081309,217	753363,049	9674,502	4932,866	286,779	0,3	hřeb v betonu
504	1080871,136	753416,116	9236,357	4985,941	289,456	2,2	hřeb v betonu
BS01	1081516,830	753377,511	9882,145	4947,330	286,312	0,3	boční (zděř)
BS02	1081311,859	753362,037	9677,144	4931,854	287,955	0,3	boční (zděř)

[vlastní zpracování]

Tab. 13: Vyrovnané souřadnice bodů PDBP

Bod	S-JTSK		S-Josef		Z [m]	σ_{xyz} [mm]	Způsob stabilizace
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]			
4003	1081457,276	753373,434	9822,582	4943,252	285,458	0,4	vrt v kolejnici
5102	1081465,447	753374,047	9830,754	4943,865	285,440	0,4	vrt v kolejnici
7031	1081516,525	753380,263	9881,840	4950,082	286,607	0,3	trn ve stěně
7033	1081478,932	753373,515	9844,241	4943,333	286,695	0,5	trn ve stěně
P03002	1081316,985	753364,757	9682,271	4934,574	289,071	0,4	trn ve stěně
P03202	1081296,697	753365,344	9661,980	4935,161	288,849	0,4	trn ve stěně
P03204	1081296,233	753362,892	9661,516	4932,709	289,334	0,4	trn ve stěně

[vlastní zpracování]

[1] Základní důlní bodové pole
[2] Podrobné důlní bodové pole

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo doplnění základního důlního bodového pole o body s boční stabilizací na NCC „pádlech“ v oblasti páteřní štoly a vytvoření jejich geodetických údajů.

V první fázi proběhla rekognoskace terénu za účelem vybrání vhodných umístění pro dva nové body. Vyvrtání děr pro stabilizaci a finální stabilizaci provedli technici URC Josef na námi vyznačených místech.

Měření bylo vedeno jako polygonový pořad se stanovisky na bodech ZDBP se zaměřením nových bodů a dalších bodů PDBP štoly pro větší počet nadbytečných měření a variabilitu polygonového pořadu. Měření bylo prováděno velmi přesnou metodou a dle důlní vyhlášky [5].

Celý polygonový pořad byl vyrovnáván jako prostorová síť metodou nejmenších čtverců v programu EasyNET v souřadnicovém systému místním S-Josef. Vyrovnání proběhlo se známými body ZDBP, novými body i body PDBP. Následně byla provedena podobnostní transformace v aplikaci Groma do souřadnicového systému S-JTSK s body ZDBP vedenými jako identické body pro transformaci mezi systémy.

Později byla štola znovu navštívena, aby byly získány informace a míry pro místopisy a k vytvoření geodetických údajů bodů.

Všechny cíle práce byly splněny.

Zdroje

[1] Centrum experimentální Geotechniky. Dostupné z: https://ceg.fsv.cvut.cz/

[2] RITSCHEL, Ladislav. Zaměření části štoly Josef a vytvoření základní důlní mapy. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie, 2018, Bakalářská práce.

[3] FENCL, Martin. Polohové zaměření a připojení základního bodového pole štoly Josef. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie, 2013, Bakalářská práce.

[4] KOLÁŘ Vilém, Doplnění základního důlního bodového pole ve štole Josef. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie, 2018, Bakalářská práce.

[5] Vyhláška českého báňského úřadu č. 435/1992 Sb., o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem

[6] Informace o totální stanici Trimble S9 HP. Dostupné z: https://geospatial.trimble.com

[7] Informace o centrovači Zeiss FG-l30. Dostupné z: https://www.fpm.de/

[8] Obrázek měřidla vp Leica GHM007 + Distanční držák Leica GHT196. Dostupné z: https://shop.leica-geosystems.com

[9] EasyNET návod, dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/wp-content/uploads/2022/02/Navod_EasyNet.pdf

[10] Aplikace EasyNET, dostupné z: http://adjustsolutions.cz/easynet/#download

[11] Informace o vyrovnání MNČ z přednášek prof. Ing. Martina Štronera, Ph.D., Dostupné z jeho osobních stránek: https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1

[12] doc. Ing. Miroslav Hampacher, CSc. a doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D. Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Praha: CTN – nakladatelství ČVUT, 2011, 312 stran.

[13] FENCL, Martin. Možnosti připojení a usměrnění základního důlního bodového pole v Podzemní laboratoři Josef. [Online] Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie, 2015, str.54. Diplomová práce.

[14] Programové prostředí Matlab, dostupné z licenčního serveru ČVUT: https://ist.cvut.cz/nase-sluzby/download/

[15] Aplikace Groma s licencí od ČVUT, placená verze dostupná z: https://www.groma.cz/cz/

Seznam obrázků

obr. 1: Umístění štoly Josef [1]……7

obr. 2: Vstupní portál štoly Josef [1] ……9

obr. 3: Schéma štoly Josef [1]……11

obr. 4: Stabilizace bodu v počvě [1]……13

obr. 5: Umístění nové boční stabilizace, bod BS01 [vlastní foto]……15

obr. 6: Umístění nové boční stabilizace, bod BS02 [vlastní foto]……15

obr. 7: Situace nového bodového pole [vlastní zpracování]……16

obr. 8: Totální stanice Trimble S9 HP [6]……17

obr. 9: Centrovač Freiberger FG-L30 [7]……18

obr. 10: NCC „pádlo“ *a zděř pro zavrtání do stěny* [vlastní foto]……19

obr. 11: Stativ Leica GST120-9 [vlastní foto]……19

obr. 12: Trimble hranol VX/S a Leica minihranol GMP-101 *[vlastní foto]*……20

obr. 13: Měřidlo vp Leica GHM007 a Distanční držák Leica [8]……20

obr. 14: Stav kompemzátoru na bodě BS01, před a po dorovnání [vlastní foto]……23

obr. 15: Stav kompemzátoru na bodě BS02, před a po dorovnání [vlastní foto]……23

obr. 16: Trimble S9 HP na NCC, bod BS01 [vlastní foto]……24

obr. 17: Trimble S9 HP na NCC, bod BS02 [vlastní foto]……24

obr. 18: Hlavní okno a importovaná data [z EasyNET]……26

obr. 19: Ukázka základních informací o vyrovnání sítě [z EasyNET]……31

Seznam tabulek

Tab. 1: Testování protisměrně měřených délek dle vyhlášky……..28

Tab. 2: Známé souřadnice bodů v souřadnicovém systému S-Josef……..30

Tab. 3: Vyrovnané souřadnice bodů metodou transformace s vyrovnáním, v S-Josef……31

Tab. 4: Tabulka směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic……..32

Tab. 5: Porovnání známých bodů sítě s body vyrovnanými v S-Josef……..33

Tab. 6: Vyrovnané souřadnice podrobných bodů v S-Josef……33

Tab. 7: Jednotný transformační klíč, pro transformaci z S-JTSKS do S-Josef……..34

Tab. 8: Porovnání kontrolní transformace se známými souřadnicemi v S-JTSK……34

Tab. 9: Nový transformační klíč, z S-Josef do S-JTSK……35

Tab. 10: Souřadnice výsledných bodů transformovaných z S-Josef do S-JTSK……35

Tab. 11: Souřadnice podrobných bodů transformovaných z S-Josef do S-JTSK……35

Tab. 12: Vyrovnané souřadnice bodů ZDBP a nových bočních stabilizací……36

Tab. 13: Vyrovnané souřadnice bodů PDBP……36

Seznam příloh

Příloha č. 1 – geodetické údaje nově určených bodů

Příloha č. 2 – protokol o výpočtu z programu Easynet a Groma

Příloha č. 3 – elipsy chyb ve vyrovnané geodetické síti z programu EasyNET

Příloha č. 4 – střední chyby a parametry elips chyb

Digitální příloha na CD:

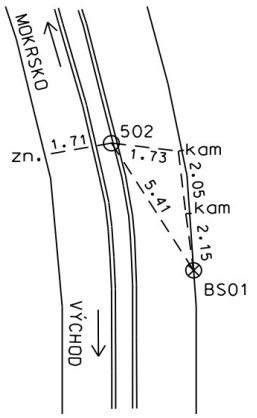
1_surová_data	- surová data exportována z totální stanice (ASC, TXT)
2_zápisníky_TS	- zápisníky TS z měření polygonového pořadu (JPG)
3_výpočty	- data z programů a protokoly o výpočtu (ASC, PEN, TXT, M)
4_porovnání_hodnot	- porovnání vyrovnaných souřadnic a test délek (XLSX)
5_místopisy	- geodetické údaje nově určených bodů (PDF, XLSX)
6_bakalářská_práce	- bakalářská práce v elektronické podobě (PDF)

Příloha č. 1 – geodetické údaje nově určených bodů

GEODETICKÉ ÚDAJE ZDBP

Kat. území: Čelina Obec: Smilovice Str.:

Bod BS01	Y	753377,511	Nadm. výška (Bpv) 286,312	SMO-5
	X	1081516,830	Nárys nebo detail	Místopisný náčrt
Oriantace na bod		501, 502, 503		
Popis, způsob stabilizace **Bod je stabilizován ve stěně mosaznou zděří pro boční stabilizaci. Souřadnice jsou pak vztaženy k vrcholu upínacího šroubu.**				
Určení bodu:				

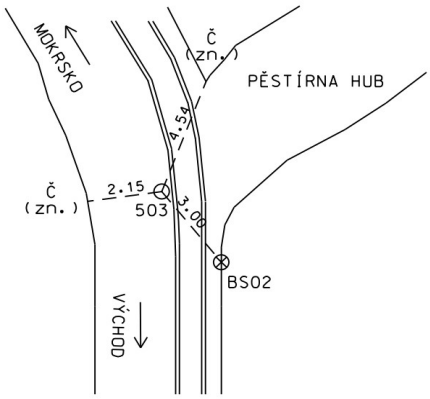


Bod zřídil	Rok	Poznámky
UEF Josef	2023	"zn." znázorňuje červenou značku a kovové označení na stěně, "kam" znázorňuje kameru ve výšce přibližne 2 m
Vyhotovil:	Tadeáš Šimek	

GEODETICKÉ ÚDAJE ZDBP

Kat. území: Čelina Obec: Smilovice Str.:

Bod BS02	Y	753362,037	Nadm. výška (Bpv) 287,955	SMO-5
	X	1081311,859	Nárys nebo detail	Místopisný náčrt
Oriantace na bod		502, 503, 504		
Popis, způsob stabilizace **Bod je stabilizován ve stěně mosaznou zděří pro boční stabilizaci. Souřadnice jsou pak vztaženy k vrcholu upínacího šroubu.**				
Určení bodu:				
Bod zřídil UEF Josef Vyhotovil:	Rok 2023 Tadeáš Šimek		Poznámky "Č (zn.)" znázorňuje červenou značku na stěně	



Příloha č.2 – protokol o výpočtu

2.1 EasyNET (ukázka)

```
EasyNET 3.5.1 Non-commercial (19.06.2016)
*****************************************
Kontakt: Ing. Pavel Třasák, Ph.D. (pavel.trasak@gmail.com)


Protokol C - Vyrovnání sítě
***************************
Vytvořeno: 24.05.2023 17:51:52


C-01 Základní informace o vyrovnání sítě
========================================

Vyloučení odlehlých hodnot
--------------------------
Metoda robustního odhadu:                              Huber
Hladina významnosti:                                    0.05
Počet vyloučených odlehlých hodnot:           0/342 [0.000]
Vodorovný směr:                               0/114 [0.000]
Zenitový úhel:                                0/114 [0.000]
Šikmá délka:                                  0/114 [0.000]
Šikmá délka (doplněk):                                   -
Směrník:                                                 -
Převýšení:                                               -
Svislé provažování:                                      -

Vyrovnání sítě
--------------
Apriorní jednotková směrodatná odchylka:             1.000
Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:         0.721
Počet fixních bodů:                                      0
Počet vyrovnaných bodů:                                 13
Počet vyrovnaných orientačních posunů:                   4
Počet vyrovnaných měření:                              342
Vodorovný směr:                                        114
Zenitový úhel:                                         114
Šikmá délka:                                           114
Šikmá délka (doplněk):                                   0
Směrník:                                                 0
Převýšení:                                               0
Svislé provažování (X + Y):                          0 (0)
Počet nadbytečných měření:                             303


C-02 Vyrovnané souřadnice (Aposteriorní přesnost)
=================================================

Legenda:
~~~~~~~~
A: Pořadové číslo
B: Číslo bodu
C: Souřadnice X [m]
D: Souřadnice Y [m]
E: Souřadnice Z [m]
F: Souřadnice X - Směrodatná odchylka [mm]
G: Souřadnice Y - Směrodatná odchylka [mm]
H: Souřadnice Z - Směrodatná odchylka [mm]

Data:
~~~~~
 A       B       C[m]        D[m]       E[m]   F[mm]  G[mm]  H[mm]
-------------------------------------------------------------------
 1     501  9999.9983  5000.0028  284.5451   0.42   0.82   1.21
 2     502  9876.7851  4947.1017  285.2371   0.12   0.21   0.44
 3     503  9674.5022  4932.8481  286.7790   0.10   0.38   0.46
 4     504  9236.3538  4985.8945  289.4559   0.32   0.75   3.79
 5    4003  9822.5820  4943.2437  285.4581   0.20   0.32   0.60
 6    5102  9830.7537  4943.8575  285.4400   0.20   0.29   0.57
 7    7031  9881.8395  4950.0772  286.6072   0.10   0.23   0.44
```

8	7033	9844.2406	4943.3261	286.6947	0.28	0.39	0.62
9	BS01	9882.1440	4947.3251	286.3124	0.11	0.22	0.44
10	BS02	9677.1445	4931.8364	287.9548	0.09	0.37	0.46
11	P03002	9682.2714	4934.5567	289.0711	0.18	0.37	0.46
12	P03202	9661.9798	4935.1420	288.8492	0.28	0.41	0.47
13	P03204	9661.5161	4932.6904	289.3335	0.20	0.40	0.47

D-02 Základní informace o transformaci s vyrovnáním - Identické body

Základní informace

Počet identických bodů:	4

Vyloučení odlehlých hodnot

Metoda robustního odhadu:	Huber
Hladina významnosti:	0.05
Počet vyloučených odlehlých hodnot:	0/12 [0.000]
Souřadnice X:	0/4 [0.000]
Souřadnice Y:	0/4 [0.000]
Souřadnice Z:	0/4 [0.000]

Vyrovnání souřadnic identických bodů

Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:	0.928
Počet vyrovnaných souřadnic:	12
Souřadnice X:	4
Souřadnice Y:	4
Souřadnice Z:	4
Počet nadbytečných souřadnic:	8

D-03 Základní informace o transformaci s vyrovnáním - Transformační klíč

Základní informace

Počet transformovaných bodů:	13
Počet fixních bodů:	0
Počet vyrovnaných bodů:	13

Parametry transformačního klíče

Vyrovnané hodnoty:

Translace:

X [m]:	-0.3224
Y [m]:	0.6497
Z [m]:	0.0000
Rotace [gon]:	399.99584

Apriorní/Aposteriorní směrodatné odchylky:

Translace:

X [mm]:	1.00 : 0.93
Y [mm]:	1.00 : 0.93
Z [mm]:	1.00 : 0.93
Rotace [mgon]:	0.218 : 0.203

D-06 Transformované souřadnice (Aposteriorní přesnost)

Legenda:

~~~~~~~~
A: Pořadové číslo
B: Číslo bodu
C: Souřadnice X [m]
D: Souřadnice Y [m]
E: Souřadnice Z [m]
F: Souřadnice X - Směrodatná odchylka [mm]
G: Souřadnice Y - Směrodatná odchylka [mm]
H: Souřadnice Z - Směrodatná odchylka [mm]

Data:
~~~~~

A	B	C[m]	D[m]	E[m]	F[mm]	G[mm]	H[mm]
1	501	10000.0024	4999.9994	284.5451	0.42	0.82	1.21
2	502	9876.7858	4947.1064	285.2371	0.12	0.21	0.44
3	503	9674.5019	4932.8661	286.7790	0.10	0.38	0.46
4	504	9236.3570	4985.9411	289.4558	0.32	0.75	3.79
5	4003	9822.5824	4943.2519	285.4580	0.20	0.32	0.60
6	5102	9830.7541	4943.8652	285.4399	0.20	0.29	0.57
7	7031	9881.8404	4950.0816	286.6072	0.10	0.23	0.44
8	7033	9844.2410	4943.3330	286.6947	0.28	0.39	0.62
9	BS01	9882.1446	4947.3295	286.3124	0.11	0.22	0.44
10	BS02	9677.1442	4931.8542	287.9548	0.09	0.37	0.46
11	P03002	9682.2712	4934.5741	289.0711	0.18	0.37	0.46
12	P03202	9661.9796	4935.1607	288.8492	0.28	0.41	0.47
13	P03204	9661.5157	4932.7092	289.3335	0.20	0.40	0.47

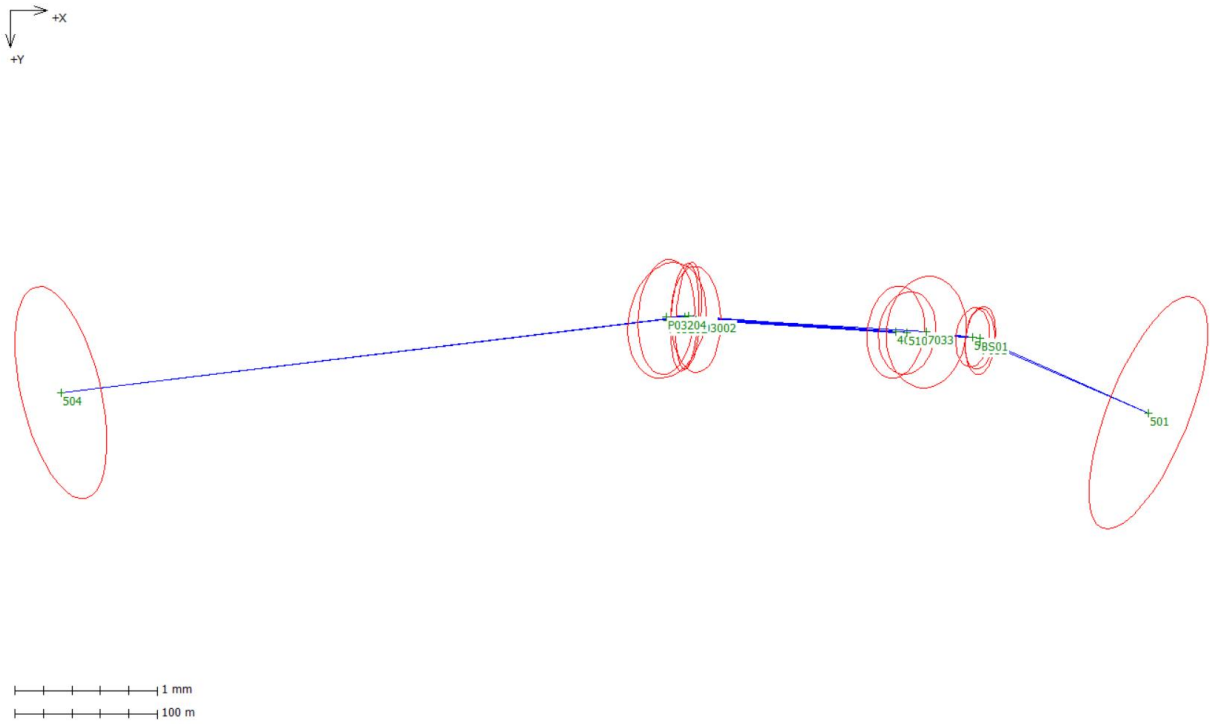
2.2 Groma

```
IMPORT SOUŘADNIC
================
Název vstupního souboru  : C:\Users\Tadeáš\OneDrive - České vysoké učení technické v
Praze\Plocha\CVUTged\3 rocnik\přilohy\souradnice_sjosef.txt
Název výstupního souboru : C:\Users\Tadeáš\OneDrive - České vysoké učení technické v
Praze\Plocha\CVUTged\3 rocnik\přilohy\souradnice_sjosef.crd


STATISTIKA:
-----------
Počet chybných položek          :      0
Počet načtených bodů            :     13
Počet bodů s výškou / bez výšky :      0 / 13
Počet bodů s kódem / bez kódu   :      0 / 13
Číslo min / Číslo max           : 501 / P03204
Y min / Y max                   :    4931.854 /    4999.999
X min / X max                   :    9236.357 /   10000.002

Kontrola duplicity - soubor C:\Users\Tadeáš\OneDrive - České vysoké učení technické v
Praze\Plocha\CVUTged\3 rocnik\přilohy\souradnice_sjosef.crd
Počet duplicitních položek: 0



IMPORT SOUŘADNIC
================
Název vstupního souboru  : C:\Users\Tadeáš\OneDrive - České vysoké učení technické v
Praze\Plocha\CVUTged\3 rocnik\přilohy\souradnice_sjtsk.txt
Název výstupního souboru : C:\Users\Tadeáš\OneDrive - České vysoké učení technické v
Praze\Plocha\CVUTged\3 rocnik\přilohy\souradnice_sjtsk.crd


STATISTIKA:
-----------
Počet chybných položek          :      0
Počet prázdných řádků           :      1
Počet načtených bodů            :      4
Počet bodů s výškou / bez výšky :      0 / 4
Počet bodů s kódem / bez kódu   :      0 / 4
Číslo min / Číslo max           : 501 / 504
Y min / Y max                   :  753363.049 /  753430.173
X min / X max                   : 1080871.136 / 1081634.670

Kontrola duplicity - soubor C:\Users\Tadeáš\OneDrive - České vysoké učení technické v
Praze\Plocha\CVUTged\3 rocnik\přilohy\souradnice_sjtsk.crd
Počet duplicitních položek: 0




[67] TRANSFORMACE SOUŘADNIC
===========================
Identické body:
          Bod I         I. Y         I. X          Bod II       II. y'       II. x'
-------------------------------------------------------------------------------------
            501   753430.173  1081634.670             501     4999.999    10000.002
            502   753377.287  1081511.472             502     4947.106     9876.786
            503   753363.049  1081309.217             503     4932.866     9674.502
            504   753416.116  1080871.136             504     4985.941     9236.357
-------------------------------------------------------------------------------------

Transformační parametry:
------------------------
Typ transformace: Podobnostní (4 parametry)
Rotace   : -0.0001
Měřítko  : 0.999854767182  (-14.5 mm/100m)

Souřadnice těžiště:
Soustava              Y            X
-------------------------------------
```

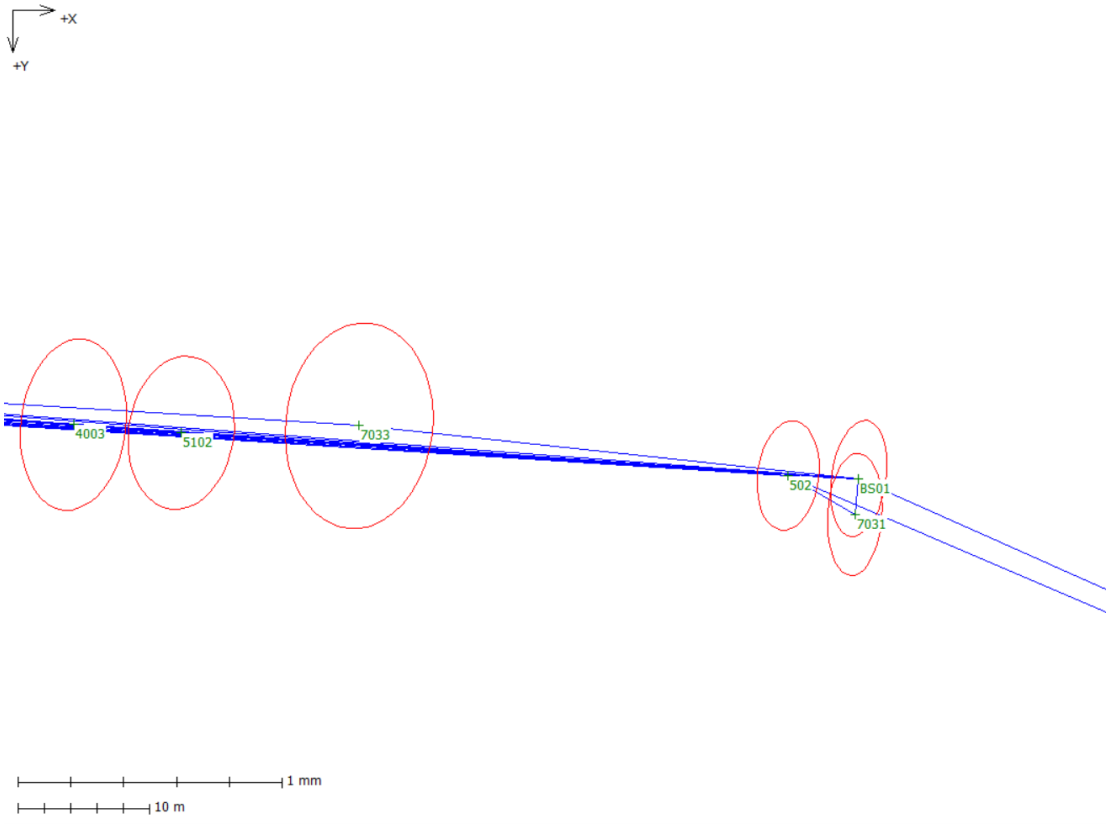
```
I.           753396.656  1081331.624
II.            4966.478     9696.912
-------------------------------------

Souřadnicové opravy na identických bodech:
            Bod           vY           vX
-----------------------------------------
            501        0.000        0.000
            502       -0.000        0.000
            503       -0.000       -0.000
            504        0.000        0.000
-----------------------------------------
Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.000

Transformované body:
            Bod         I. Y         I. X       II. y'       II. x'
-------------------------------------------------------------------
Kontrolní určení bodu číslo 501
-------------------------------
Bod                 Y            X         Z  Popis
-----------------------------------------------------------------
Starý      753430.173  1081634.670         -
Nový       753430.173  1081634.670         -
Rozdíl          0.000        0.000         -    Polohová odchylka: 0.000  Stř. souř. chyba:
0.000
-----------------------------------------------------------------
Uložený    753430.173  1081634.670         -
             (Neukl.)     (Neukl.)

            501   753430.173  1081634.670     4999.999    10000.002
Kontrolní určení bodu číslo 502
-------------------------------
Bod                 Y            X         Z  Popis
-----------------------------------------------------------------
Starý      753377.287  1081511.472         -
Nový       753377.287  1081511.472         -
Rozdíl         -0.000        0.000         -    Polohová odchylka: 0.000  Stř. souř. chyba:
0.000
-----------------------------------------------------------------
Uložený    753377.287  1081511.472         -
             (Neukl.)     (Neukl.)

            502   753377.287  1081511.472     4947.106     9876.786
Kontrolní určení bodu číslo 503
-------------------------------
Bod                 Y            X         Z  Popis
-----------------------------------------------------------------
Starý      753363.049  1081309.217         -
Nový       753363.049  1081309.217         -
Rozdíl         -0.000       -0.000         -    Polohová odchylka: 0.000  Stř. souř. chyba:
0.000
-----------------------------------------------------------------
Uložený    753363.049  1081309.217         -
             (Neukl.)     (Neukl.)

            503   753363.049  1081309.217     4932.866     9674.502
Kontrolní určení bodu číslo 504
-------------------------------
Bod                 Y            X         Z  Popis
-----------------------------------------------------------------
Starý      753416.116  1080871.136         -
Nový       753416.116  1080871.136         -
Rozdíl          0.000        0.000         -    Polohová odchylka: 0.000  Stř. souř. chyba:
0.000
-----------------------------------------------------------------
Uložený    753416.116  1080871.136         -
             (Neukl.)     (Neukl.)

           BS01   753377.511  1081516.830     4947.330     9882.145
           BS02   753362.037  1081311.859     4931.854     9677.144
           4003   753373.434  1081457.276     4943.252     9822.582
           5102   753374.047  1081465.447     4943.865     9830.754
           7031   753380.263  1081516.525     4950.082     9881.840
           7033   753373.515  1081478.932     4943.333     9844.241
         P03002   753364.757  1081316.985     4934.574     9682.271
         P03202   753365.344  1081296.697     4935.161     9661.980
         P03204   753362.892  1081296.233     4932.709     9661.516
```

Příloha č.3 – elipsy chyb

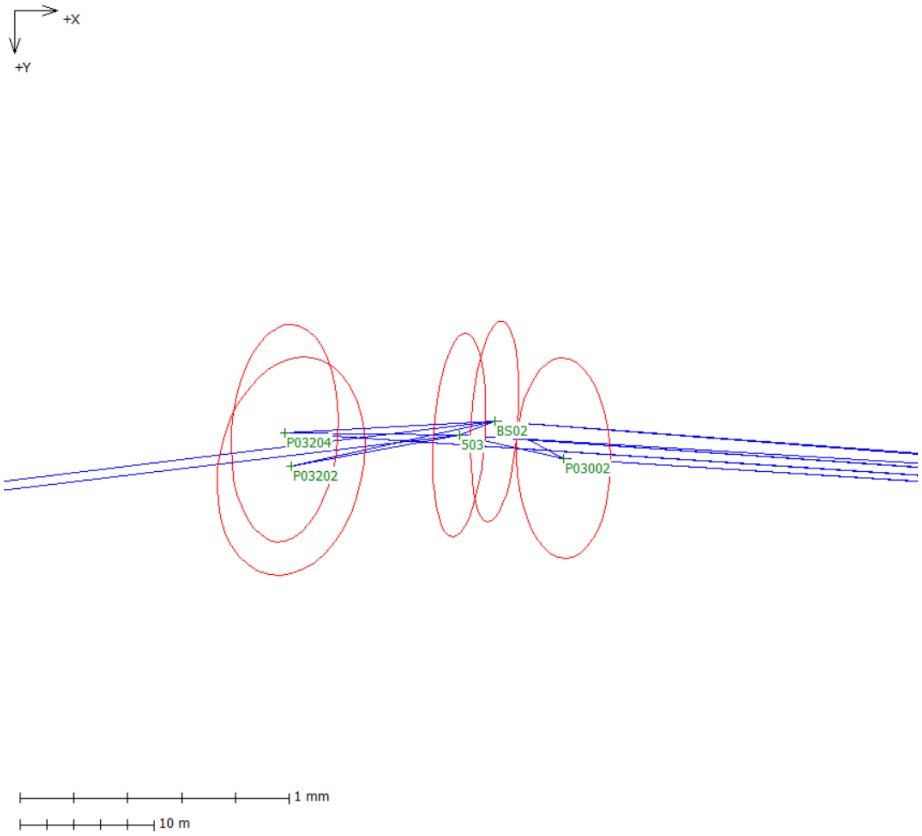
Zobrazení elips chyb pro celou měřenou geodetickou síť :



Elipsy chyb - detail v místě boční stabilizace BS01 :



Elipsy chyb - detail v místě boční stabilizace BS02 :



Příloha č.4 – parametry elips chyb

Bod	σ_p [mm]	σ_{xy} [mm]	a [mm]	b [mm]	α [gon]
501	0,9	0,6	0,9	0,3	324,1773
502	0,2	0,2	0,2	0,1	307,7592
503	0,4	0,3	0,4	0,1	104,1217
504	0,8	0,6	0,8	0,3	285,2616
BS01	0,2	0,2	0,2	0,1	308,6186
BS02	0,4	0,3	0,4	0,1	104,3468
P03002	0,4	0,3	0,4	0,2	298,7864
P03202	0,5	0,3	0,4	0,3	112,7153
P03204	0,5	0,3	0,4	0,2	104,6268
4003	0,4	0,3	0,3	0,2	107,4409
5102	0,4	0,2	0,3	0,2	108,7068
7031	0,3	0,2	0,2	0,1	304,1310
7033	0,5	0,3	0,4	0,3	106,8383