



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie

Geodetické práce při úpravě cyklostezky (Tuchoměřice a Přední Kopanina)

**Geodetic surveying on the modification of the cycleway (Tuchoměřice a
Přední Kopanina)**

Bakalářská práce

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

Vedoucí práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Jan Šikola

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: ŠIKOLA Jméno: Jan Osobní číslo: 458666

Zadávací katedra: 11154 (speciální geodézie)

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Geodetické práce při úpravě cyklostezky (Tuchoměřice a Přední Kopanina)

Název bakalářské práce anglicky: Geodetic surveying on the modification of the cycleway (Tuchoměřice a Přední Kopanina)

Pokyny pro vypracování:

Pro potřeby podrobného měření provést rekognoskaci zájmového území a vyhledání bodů bodového pole (. Poloha daných bodů (ZBPB, ZhB, PPBP) se ověří. Pomocné měřické body pro podrobné měření se určí z bodů referenční sítě permanentních stanic (RTK) nebo pomocí polygonového pořadu, nadmořské výšky trigonometricky. Podrobné měření polohopisu a nadmořských výšek terénu pomocí totální stanice, výpočet souřadnic a výšek podrobných bodů v systému Groma.

Vyhotovení digitálního výkresu ve vztažném měřítku 1 : 1000, vrstevnice a podélný řez z digitálního modelu terénu (Atlas DMT).

Seznam doporučené literatury:

/1/ Návod pro správu geodetických základů ČR. Praha: ČUZK, 2015

/2/ Návod pro obnovu kat. operátu a převod. Praha: ČUZK, 2015

/3/ Atlas DMT 16. Příručka uživatele

Jméno vedoucího bakalářské práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Datum zadání bakalářské práce: 19. 2. 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27. 5. 2018

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“.

1. 3. 2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Geodetické práce při úpravě cyklostezky (Tuchoměřice a Přední kopanina)* vypracoval samostatně pod vedením Dr. Ing. Zdeňka Skořepy a uvedl jsem v ní všechny použité literární a jiné zdroje.

V Praze dne

Jan Šíkola

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za cenné rady a vstřícnost při zpracování mé práce. Poděkování patří také Petru Cabrnchovi za možnost účastnit se měření zakázky, zapůjčení geodetických přístrojů a softwaru pro zpracování.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá geodetickými pracemi během polohopisného a výškopisného zaměření zadané lokality v obcích Tuchoměřice a Přední Kopanina. Náplní práce je představení dané lokality, popsání způsobu kontroly a budování měřických bodů, postup zaměření, výpočtu a zpracování výkresu. Podle zadání je výsledkem účelová mapa ve vztahném měřítku 1 : 1000 a digitální model terénu, které slouží pro tvorbu projektu rekonstrukce cyklostezky.

Klíčová slova

polygonový pořad, účelová mapa, digitální model terénu, polární metoda, redukce délek

Abstract

The bachelor thesis deals with a geodetic work during the planimetric and altimetric measurement of assigned area in the villages of Tuchoměřice and Přední Kopanina. The content of this thesis is a characterization of this area, description of the way of control and construction of measuring points, a procedure of measurement, calculation and processing of drawing. According to the assignment of this bachelor thesis, the result is the thematic map in a reference scale of 1 : 1000 and the digital model of the terrain. These outputs serve as resource materials for creating a project of reconstruction of the cycleway.

Key words

polygonal travers, thematic map, digital model of the terrain, polar method, correction of distance

Seznam použitých zkratek

S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Baltský-po vyrovnání
GNSS	Globální navigační družicový systém (Global Navigation Satellite System)
TS	Totální stanice
SM5	Státní mapa v měřítku 1:5 000
KN	Katastr nemovitostí
KÚ	Katastrální území
PBP	Polohové bodové pole
PPBP	Podrobné polohové bodové pole
ZhB	Zhušřovací bod
PDOP	Parametry přesnosti polohy u GNSS
DKM	Digitální katastrální mapa
KM-D	Katastrální mapa digitalizovaná

Obsah

Obsah.....	7
1. Úvod.....	9
2. Rekognoskace terénu.....	10
2.1 Obec Tuchoměřice	10
2.2 Popis cyklostezky	10
2.3 Polohové bodové pole	11
2.3.1 Vyhledání bodů polohového bodového pole.....	11
2.3.2 Ověření bodů polohového bodového pole.....	12
3. Terénní práce.....	15
3.1 Použité přístroje a pomůcky	15
3.1.1 Totální stanice Trimble 5601	15
3.1.2 GNSS přijímač Trimble R2 s kontrolerem Trimble TSC3.....	16
3.2 Polygonový pořad.....	17
3.3 Měření podrobných bodů	19
4. Výpočetní práce.....	20
4.1 Výpočet polygonového pořadu	20
4.1.1 Definice polygonového pořadu	20
4.1.2 Úhlové vyrovnání	20
4.1.3 Souřadnicové vyrovnání.....	22
4.2 Redukce měřených délek.....	23
4.3 Výškový výpočet polygonového pořadu	24
4.3.1 Výpočet mezního rozdílu výškového pořadu	24
4.3.2 Výpočet mezního rozdíl pro oboustranně vypočtené převýšení	28
4.3.3 Výškový výpočet pořadu.....	29
4.4 Polární metoda.....	31
4.4.1 Pevné stanoviště s jednou orientací.....	31
4.4.2 Pevné stanoviště se dvěma orientacemi	32
4.5 Výpočetní práce ve výpočetním softwaru Groma	33
4.5.1 Výpočet polygonového pořadu	33
4.5.2 Výpočet souřadnic podrobných bodů.....	35
5. Tvorba účelové mapy	37

5.1 Polohopisná a výškopisná mapa v programu Kokeš	37
5.2 Digitální model terénu v programu Atlas	38
6. Závěr.....	39
Seznam zdrojů	40
Seznam obrázků	41
Seznam tabulek	42
Seznam elektronických příloh.....	43
Seznam tištěných příloh	44

1. Úvod

Geodetické práce se staly nezbytnou součástí plánované výstavby. Počínaje tvorbou mapového podkladu pro projekt, dohled při stavbě, až po skutečné provedené stavby. Mapový podklad pro projekt odhalí členitost terénu, rozsah stavebních prací, vlastnické poměry a slouží pro tvorbu cenového rozpočtu.

V dnešní době je vhodné měřit mapový podklad pro projekt polární metodou za použití totální stanice nebo metodou GNSS. V oblastech s výstavbou vysokých budov, v zalesněných oblastech a v místech, kde je velký počet bodů na malém území je vhodné použít polární metodu. V nezastavěných, nekrytých a málo členitých oblastech je vhodné použít metodu GNSS.

Náplní této bakalářské práce je vyhotovení podkladu pro projekt rekonstrukce cyklostezky v obcích Tuchoměřice a Přední Kopanina, kde byla vytvořena účelová mapa a digitální model terénu. Práce je rozdělena do čtyř hlavních částí, kde je popsána rekognoskace terénu s kontrolou a budováním měřických bodů, terénní práce, výpočetní práce, tvorba účelové mapy a digitálního modelu terénu. Zaměření, výpočty a zpracování výkresu bylo provedeno v zadaném vztázném měřítku 1 : 1000, souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

2. Rekognoskace terénu

2.1 Obec Tuchoměřice

Obec Tuchoměřice (obr. 1) se nachází na severozápadní hranici Prahy (v blízkosti letiště Václava Havla) v údolí, kterým protéká Únětický potok. Obec se rozkládá na dvou katastrálních územích – Kněžívka a Tuchoměřice. Lokálně obec sestává ze tří částí – Kněžívka, Pazderna a Tuchoměřice. V obci se nachází klášter sv. Víta. Obec je turisticky známou oblastí, protože téměř všechny turistické trasy vedoucí na známou zříceninu hradu Okoř, vedou přes obec Tuchoměřice. Do obce zasahuje souvislý lesní porost, který navazuje pěšími komunikacemi na údolí Šáreckého potoka až k Vltavě [2].

Obec Tuchoměřice se nachází v hlukovém pásmu letiště Václava Havla, které obci vyplácí kompenzace za hluk. Z těchto peněz bude spolufinancována rekonstrukce cyklostezky.



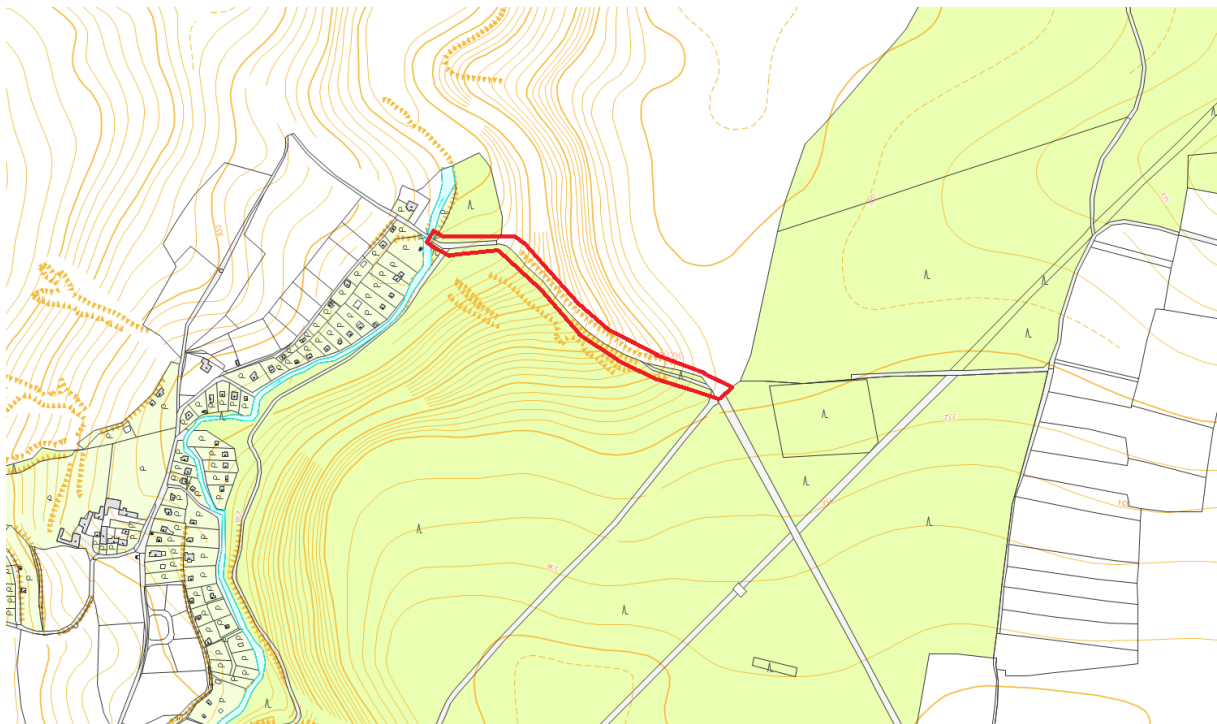
Obr. 1 Poloha obce Tuchoměřice [1]

2.2 Popis cyklostezky

Stávající část cyklostezky, která bude procházet rekonstrukcí, se nachází na hranici katastrálního území Tuchoměřice a Přední Kopaniny. Cyklostezka se nachází na parcelách číslo 653-KÚ Tuchoměřice, 801/1-KÚ Přední Kopanina a 805-KÚ Přední Kopanina. Největší část

cyklostezky leží na parcele 801/1. Tyto parcely mají způsob využití „ostatní komunikace“ a druh pozemku je „ostatní plocha“. Délka cyklostezky je přibližně 430 metrů a celkové převýšení činí 50 metrů. Její povrch je převážně kamenitý a písčitý. Cyklostezka nemá vybudované žádné odvodňování, proto je její povrch místy vymletý, což tvoří nebezpečné díry pro cyklisty.

V terénu proběhla pochůzka a představení zájmové oblasti měření s místostarostou obce Tuchoměřic panem Ing. Karolem Böhmem. Na obr. 2 je zakreslena zájmová oblast měření nad SM5.



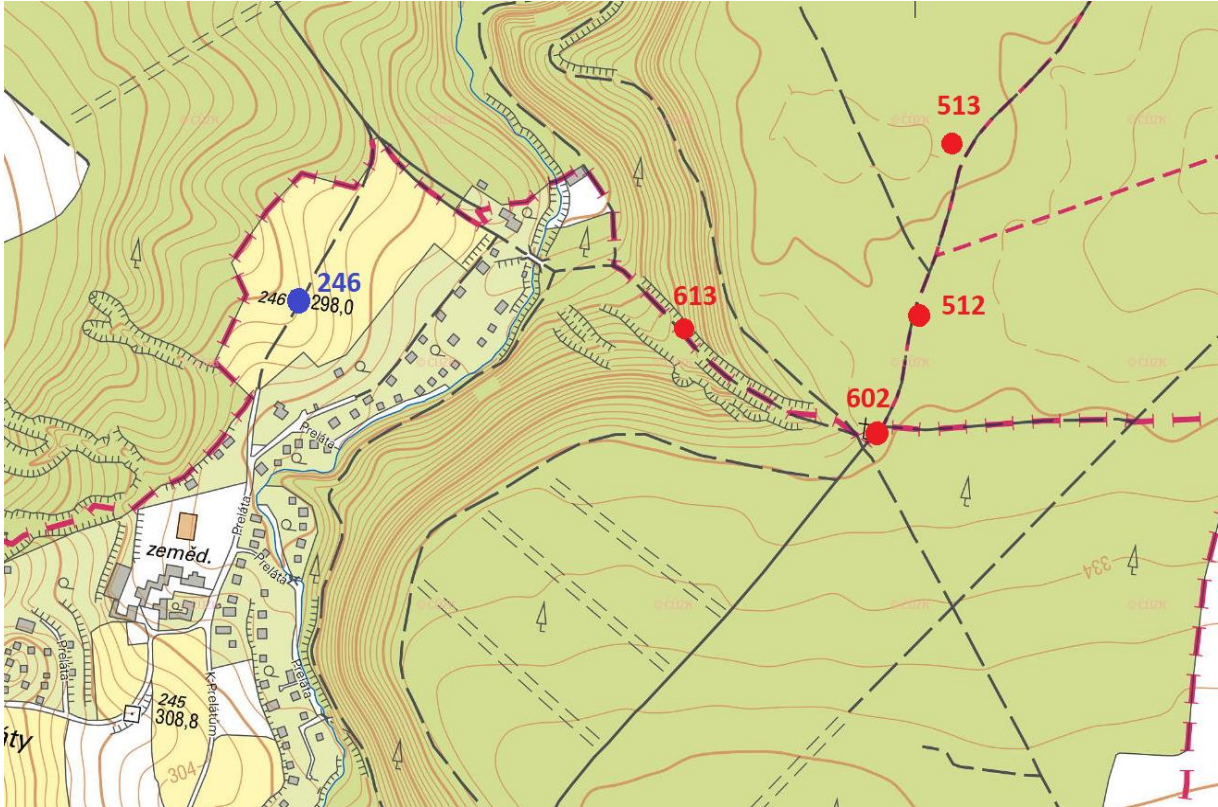
Obr. 2 Zakreslená zájmová oblast měření nad SM5 [3]

2.3 Polohové bodové pole

2.3.1 Vyhledání bodů polohového bodového pole

Na cyklostezce se nachází dva body PPBP, které jsou stabilizovány kamennými mezníky. Jedná se o body 613 a 602, které jsou zobrazeny na obr. 3. Body byly vytvořeny v roce 1967 a revize proběhla v roce 2014. Tyto body byly použity pro měření polygonového pořadu a podrobných bodů. Body PPBP 512 a 513 nebyly v terénu nalezeny. Na východ od zájmového území se nachází ZhB číslo 246. Bod je stabilizován žulovým mezníkem a byl vytvořen v roce 1999. Souřadnice a výšku má určenou metodou GNSS. Z bodu 246 je viditelný

ZhB 256. Bod 256 leží na středu makovice věže kostela sv. Máří Magdalény v Přední Kopanině a byl zřízen v roce 1999. Zhušťovací body byly použity při měření polygonového pořadu. Geodetické údaje bodů PBP jsou k nalezení v elektronické příloze č. 9.



Obr. 3 Polohové bodové pole [3]

2.3.2 Ověření bodů polohového bodového pole

Zhušťovací body 246 a bod PPBP 602 byly ověřeny metodou GNSS. Observace na bodech probíhala přibližně 2 minuty a bylo provedeno dvojí měření s odstupem minimálně jedné hodiny. Přesnou dobu měření a časové odstupy měření jsou k nalezení v tab. 1. Kompletní protokol měření GNSS je k nalezení v elektronické příloze č. 7.

Tab. 1 Měření bodů PBP GNSS

Měření GNSS 10.12.2017				
1. měření				
Bod	Y[m]	X[m]	Čas měření [hod]	Doba měření [s]
246	750 667,625	1 037 322,657	13,49	127
602	750 050,765	1 037 468,994	14,17	182

2. měření				
Bod	Y[m]	X[m]	Čas měření [hod]	Doba měření [s]
246	750 667,663	1 037 322,652	16,38	157
602	750 050,763	1 037 468,990	15,20	176
Rozdíly 1. a 2. měření				
Bod	ΔY [m]	ΔX [m]		
246	0,038	0,005		
602	0,002	0,004		

Podle [4] musí zhušťovací body při kontrolním určení souřadnic S-JTSK rozdíly nově určených a původních souřadnic ΔX a ΔY splňovat kritérium:

$$\Delta X^2 + \Delta Y^2 \leq 13 \quad (1)$$

kde ΔX , resp. ΔY jsou vyjádřeny v centimetrech.

Pro body PPBP nesmí skutečná souřadnicová chyba překročit mezní hodnotu souřadnicové chyby u_{xy} , která se stanoví dvojnásobkem základní střední souřadnicové chyby $\sigma_{xy} = 0,06$ [m].

Tab. 2 Porovnání souřadnic měřených GNSS a souřadnic z geodetických údajů

Bod	GNSS		Geodetické údaje	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
246	750 667,644	1 037 322,655	750 667,65	1 037 322,66
602	750 050,764	1 037 468,992	750 050,78	1 037 469,09
Rozdíl souřadnic				
Bod	ΔY [cm]	ΔX [cm]	$\Delta X^2 + \Delta Y^2$	Mezní odchylka
246	0,6	0,6	0,72	13
Bod	ΔY [cm]	ΔX [cm]	$(\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{1/2}$ [cm]	Mezní odchylka [cm]
602	1,6	9,8	3,95	12

Jak je z tab. 2 zřejmé, Zhb 246 nepřekročil mezní odchylku a je považován za identický. Bod PPBP 602 nepřekročil mezní odchylku, ale rozdíly souřadnic jsou velké, proto pro výpočet polygonového pořadu byly použity souřadnice určené metodou GNSS.

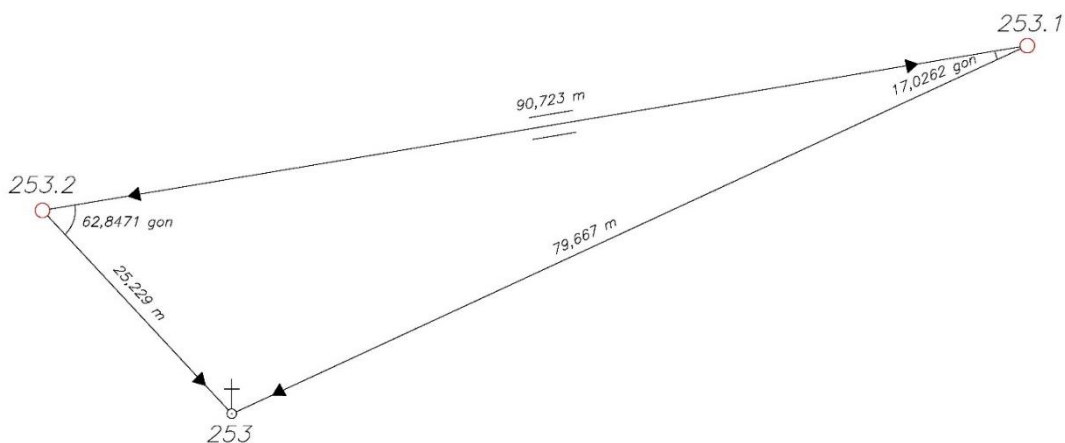
Pro ověření zhušťovacího bodu 253 bylo měřeno TS ze zajišťovacích bodů 253.1 a 253.2. Zajišťovací body jsou stabilizovány kamennými mezníky. Ze zajišťovacích bodů byly měřeny vodorovné směry. Byla změřena šikmá délka mezi zajišťovacími body. Měřená šikmá délka byla redukována na rovinou délku v S-JTSK a do S-JTSK. Z měřených vodorovných směrů byly vypočteny úhly v trojúhelníku a pomocí sinové věty byly doloženy zbylé strany.

Vypočtené délky byly porovnány s délkami z geodetických údajů a jsou k nalezení v tab. 3. Náčrt situace s měřeními a vypočtenými hodnotami je znázorněn na obr. 4.

Tab. 3 Porovnání délek

Strana	Délka měřená/vypočtená [m]	Délka z geodetických údajů [m]	Rozdíl [m]
253.1-253.2	90,723	90,737	0,014
253.1-253	79,667	79,620	0,001
253.2-253	25,229	25,230	0,047

Podle výsledných rozdílů bylo zjištěno, že zajišťovací body jsou identické, protože rozdíl mezi nimi není velký a je způsobený měřickými chybami. Největší rozdíl délek je u strany 253.2-253. Byly porovnány i směrníky z geodetických údajů a směrníky vypočtené. U těchto směrníků byly rozdíly v řádech grádových minut. Vzhledem k tomu, že délky jsou krátké, tak nelze těmto rozdílům přiřadit velkou váhu. Podle obrázků kostela z webu obecního úřadu [5] je zřejmé, že střecha kostela dostala rekonstrukce a ZhB nebyl nově určen. Protože rozdíly nejsou velké a ZhB slouží jako orientace polygonového pořadu, která má délku přibližně 1,2 kilometru, tak je bod považován za identický. Zápisník z měření TS je k nalezení v elektronické příloze č. 8.



Obr. 4 Zajišťovací body pro ZhB

3. Terénní práce

3.1 Použité přístroje a pomůcky

3.1.1 Totální stanice Trimble 5601

Trimble 5601 (obr. 5) je robotická TS, která je vybavena nekonečnými ustanovkami, optickým centrovačem a elektronickou libelou. Přístroj byl použit k budování pomocných měřických bodů, kontroly polohového bodového pole a pro zaměření podrobných bodů polohopisného a výškopisného měření. Technické specifikace TS jsou uvedeny v tab. 4.



Obr. 5 TS Trimble

Tab. 4 Technické specifikace TS

Měření délek	Dosah na hranol	2 m až 5 500 m
	Dosah bezhranolového dálkoměru	300 m
	Přesnost měření na hranol	3 mm + 3 ppm
	Doba měření délek	2 s
Měření úhlů	Přesnost měření úhlů	1 "(0,3 mgon)
Kompensátor	Typ	Dvouosý
	Rozsah	6 '(± 100 mg)
Pracovní teplota		-20°C až +50°C
Hmotnost		6,4 kg

Dalšími pomůckami pro měření TS byl použit stativ a odrazný hranol na teleskopické tyči od značky Trimble.

3.1.2 GNSS přijímač Trimble R2 s kontrolerem Trimble TSC3

Trimble R2 (obr. 6) je dvoufrekvenční GNSS přijímač využívající signály GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou. Využívá korekce z různých zdrojů – EGNOS, Trimble VRS Now, Trimble RTX.

Trimble TSC3 (obr. 6) je kontrolní jednotka, která disponuje polním softwarem ACCES. Operační systém využívá Windows Mobile 6.5.3. Součástí kontrolní jednotky je interní Quad-band 3,5G/UMTS modem a integrovaný Bluetooth, pomocí kterého je schopna komunikovat s přijímačem. Tuto kontrolní jednotku je možno využívat i k obsluze totálních stanic značky Trimble.

GNSS sestava byla použita pro budování pomocných měřických bodů a kontroly polohového bodového pole.



Obr. 6 GNSS přijímač a kontroler Trimble

3.2 Polygonový pořad

Na základě rekognoskace terénu byl vytvořen oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad. Připojený je na ověřený ZhB 246 a nově určený bod 602. Orientovaný je z bodu 245 na ověřený ZhB 253 a z bodu 602 je orientovaný na nově vybudovaný pomocný měřický bod 4008, který je stabilizován dřevěným kolíkem s hřebem. Bod 4008 byl určen metodou GNSS, kde observace trvala přibližně 15 minut a bylo provedeno dvojí měření s odstupem jedné hodiny. Přesnou dobu měření a časové odstupy měření jsou k nalezení v tab. 5. Polygonový pořad je veden přes nově vybudované pomocné měřické body 4001-4007 a přes bod PPBP 613. Nově vybudované body byly stabilizovány v místech s měkkým povrchem dřevěnými kolíky s hřeby a v místech s pevným povrchem měřickými hřeby.

Tab. 5 Měření pomocného měřického bodu 4008 GNSS

Měření GNSS 10.12.2017					
1. měření					
Bod	Y[m]	X[m]	Z[m]	Čas měření [hod]	Doba měření [s]
4008	750 163,294	1 037 607,187	332,461	14,36	943
2. měření					
Bod	Y[m]	X[m]	Z[m]	Čas měření [hod]	Doba měření [s]
4008	750 163,276	1 037 607,188	332,476	15,42	950
Rozdíly 1. a 2. měření					
Bod	ΔY [m]	ΔX [m]	ΔZ [m]		
4008	0,018	0,001	0,015		

Na některých bodech polygonového pořadu byl zvolen počátek (body mimo polygonový pořad) s nastaveným nulovým čtením, který sloužil jako kontrola měřených směrů na stanovisku. Počátek byl kontrolován na konci měření. Byly měřeny levostranné vrcholové úhly a šikmé délky. K měření byl použit odrazný hranol na teleskopické tyči, který byl uchycen do stojánku s klipsnou (obr. 7). Nejdříve byl měřen vodorovný směr v obou polohách dalekohledu na předchozí bod polygonového pořadu. Poté byl hranol přesunut na následující bod polygonové pořadu a bylo provedeno stejné měření jako na bod předchozí. Šikmá délka byla měřena současně s vodorovnými směry. Délky byly měřeny pouze v jedné poloze dalekohledu, protože TS neumožňuje měření délek v druhé poloze dalekohledu. Z připojovací bodu 246 byl měřen pouze vodorovný směr na orientační bod 253. Z připojovací bodu 602 byl měřen vodorovný směr a šikmá délka na orientační bod 4008. Měřená šikmá délka byla redukována do S-JTSK a byla porovnána s vypočtenou délkou ze souřadnic z měření GNSS. Porovnání délek je k nalezení v tab. 6. Nákres polygonového pořadu s měřenými veličinami je

zobrazen na obr. 8. Některé body polygonového pořadu byly kontrolně zaměřeny GNSS. Všechny měřené hodnoty byly registrovány do paměti TS. Zapisník z měření polygonového pořadu je k nalezení v elektronické příloze č. 1.

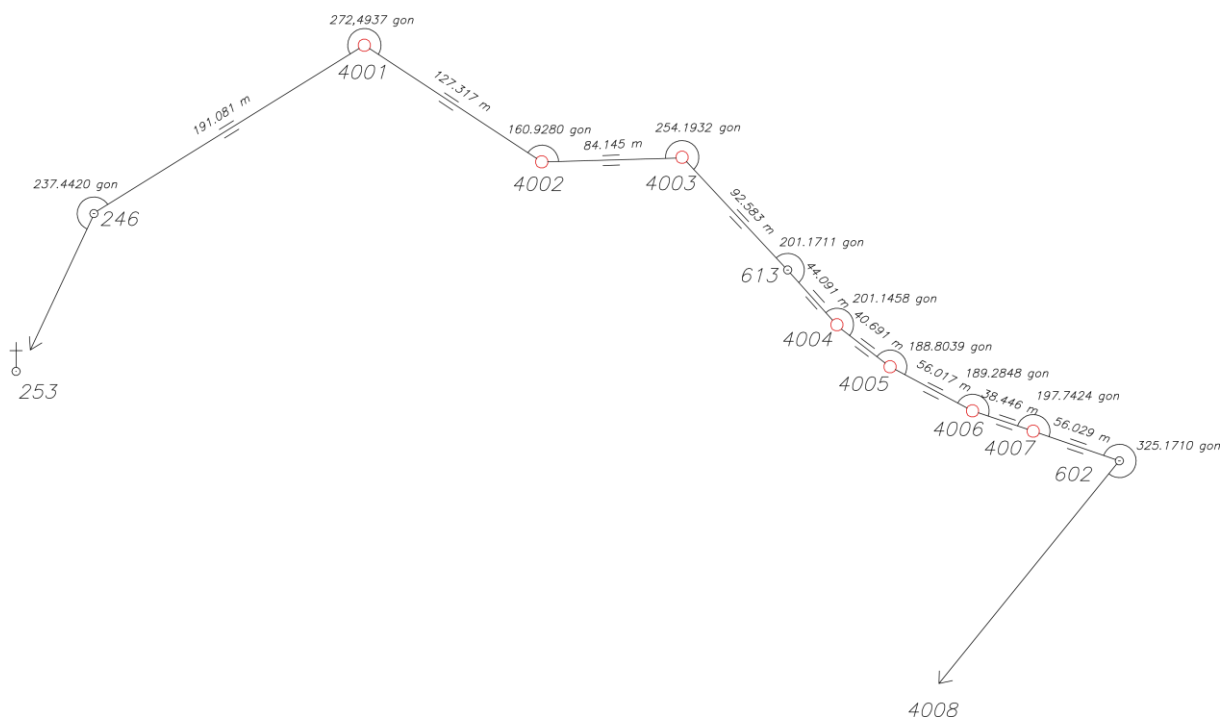
Výškově byl polygonový pořad vetknut mezi ZhB 246 a bod 602, které mají určenou výšku v systému Bpv.



Obr. 7 Odrasný hranol ve stojánku s klipsnou

Tab. 6 Porovnání délky ze souřadnic a z měření

Porovnání délky ze souřadnic a z měření		
Bod	Y[m]	X[m]
602	750 050,764	1 037 468,992
4008	750 163,285	1 037 607,188
Délka vypočtená [m]	178,211	
Délka měřená [m]	178,204	
Rozdíl [m]	0,007	



Obr. 8 Měřický náčrt polygonového pořadu

3.3 Měření podrobných bodů

Podrobné body byly měřeny polární metodou současně s polygonovým pořadem. Předmětem měření byly okraje a osa stávající cyklostezky, terénní hrany a další prvky polohopisu jako jsou dopravní značky, ploty, rozcestník a stromy. Dopravní značky, rozcestník a stromy byly měřeny s úhlovým odsazením. Obvod stromů byl zaměřen třemi body. Body polohopisu byly měřeny v pásmu přibližně dvou metrů od okraje cyklostezky. Měřená data byla registrována do paměti TS. Registrovanými daty byly šikmé délky, vodorovné směry, zenitové úhly a výška cíle. Na každém stanovisku byla taktéž měřena výška stroje metrem 5M. Byl zaměřen kamenný mezník, který slouží jako hraniční znak katastrální hranice a je veden v KN s kódem kvality 3. Porovnání měřených souřadnic a souřadnic z KN je k nalezení v tab. 7. Celkem bylo zaměřeno 284 podrobných bodů. Zápisník z měření TS je k nalezení v elektronické příloze č. 2.

Tab. 7 Porovnání souřadnic hraničního bodu

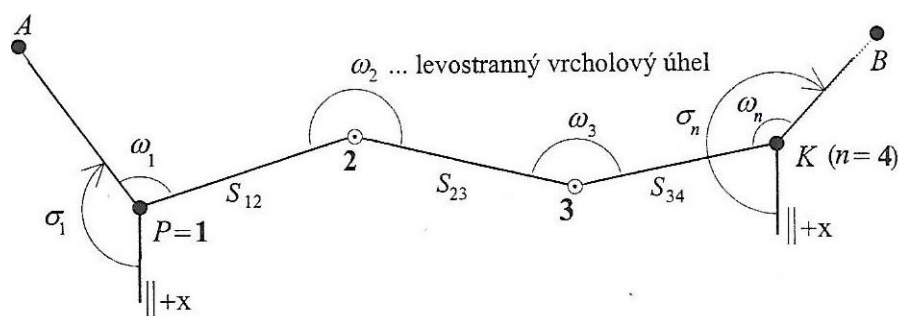
Bod	Vypočtené souřadnice		Souřadnice z KN		Rozdíly	
	Y[m]	X[m]	Y[m]	X[m]	ΔY [m]	ΔX [m]
135	750 194,870	1 037 412,733	750 194,88	1 037 412,65	0,010	0,083

4. Výpočetní práce

4.1 Výpočet polygonového pořadu

4.1.1 Definice polygonového pořadu

Polygonový pořad je útvar daný vrcholy lomené čáry. Je určen pomocí měřených délek a vrcholových úhlů. V oboustranně orientovaném a připojeném polygonovém pořadu je určeno $(n-2)$ nových bodů, pořad obsahuje $(n-1)$ stran a $(n-2)$ vrcholových úhlů, kde n je počet bodů polygonového pořadu. Pro orientaci pořadu slouží dva orientační úhly ω_1 a ω_n . Polygonový pořad je na počátečním a koncovém bodě souřadnicově připojen, tj. souřadnice koncových bodů jsou známy. Na počátečním i koncovém bodě jsou měřeny orientační úhly ω_1, ω_n na známé body A a B (obr. 9). Pro výpočet polygonového pořadu se polární souřadnice převádějí na pravoúhlé. V takto vypočteném polygonovém pořadu vznikají odchylky, které jsou důsledkem nadbytečného počtu měření, proto probíhá přibližné úhlové a souřadnicové vyrovnání tzv. podmínkové rovnice s daným součtem [6].



Obr. 9 Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad [6]

4.1.2 Úhlové vyrovnání

Úhlová odchylka se počítá jako rozdíl směrniců na připojovacích bodech polygonového pořadu a součtem měřených vrcholových úhlů zmenšených o násobek 200^g

$$O_\omega = \sigma_n - \alpha_n, \quad (2)$$

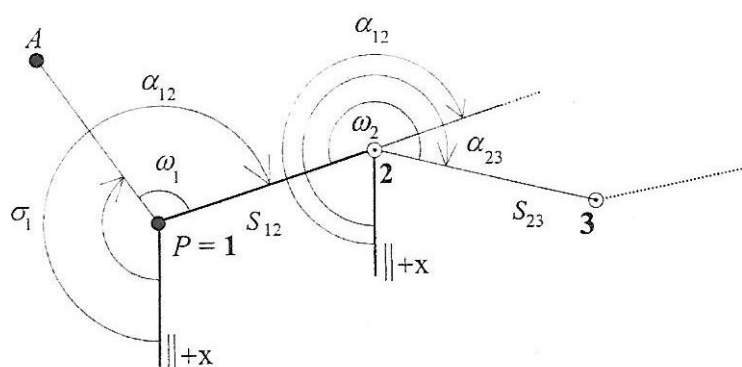
kde α_n se odvodí z výpočtu přibližných směrniců

$$\alpha_{12} = \sigma_1 + \omega_1, \text{ kde } \sigma_1 = \sigma_{PA} = \arctg \frac{y_A - y_P}{x_A - x_P}, \quad (3)$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} - 200^g + \omega_2 = \sigma_1 + (\omega_1 + \omega_2) - 200^g \text{ (obr. 10)}. \quad (4)$$

Stejně se pokračuje i u dalších přibližných směrniců, takže můžeme obecně psát

$$\alpha_n = \sigma_1 + (\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n) - (n - 1) 200^g, \alpha_n \in \langle 0^g, 400^g \rangle. \quad (5)$$



Obr. 10 Výpočet směrniců polygonové strany [6]

Přibližné směrnicí se při numerickém výpočtu polygonového pořadu nepočítají, počítá se až směrnicí α_n . Vlivem nevyhnutelných měřických chyb a polohové přesnosti daných bodů obecně platí $\sigma_n \neq \alpha_n$. Úhlová odchylka $\Delta\omega$ se porovná s mezní úhlovou odchylkou a pokud je $O_\omega \leq \Delta\omega$, tak se odchylka rovnoměrně rozdělí na všechny měřené vrcholové úhly. Vyrovnaný vrcholový úhel se vypočte podle vzorce

$$\hat{\omega}_i = \omega_i + v_\omega, i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

kde oprava v_ω se vypočte podle vzorce

$$v_\omega = \frac{1}{n} \cdot O_\omega. \quad (7)$$

Z vyrovnaných vrcholových úhlů se vypočtou vyrovnané směrnicí, kde jako kontrola je $\sigma_{KB} = \hat{\alpha}_{KB}$.

4.1.3 Souřadnicové vyrovnání

Z vyrovnaných vypočtených směrniců a z měřené délky se vypočtou souřadnicové rozdíly podle vzorce

$$\Delta X_{i,i+1} = s_{i,i+1} \cos \hat{\alpha}_{i,i+1}, \Delta Y_{i,i+1} = s_{i,i+1} \sin \hat{\alpha}_{i,i+1}. \quad (8)$$

Souřadnicové odchylky O_x a O_y jsou rozdílem daných bodů P, K a součtem příslušných vypočtených souřadnicových rozdílů

$$O_x = \Delta X_{PK} - [\Delta X]^{n-1}, \quad (9)$$

$$O_y = \Delta Y_{PK} - [\Delta Y]^{n-1}. \quad (10)$$

Polohová odchylka se vypočte ze vztahu

$$O_p = \sqrt{O_x^2 + O_y^2}. \quad (11)$$

Polohová odchylka se porovná s mezní polohovou odchylkou a je-li splněno $O_p \leq \Delta p$, vypočtou se opravy souřadnicových rozdílů, kde odchylky O_x a O_y se rozdělí úměrně absolutním hodnotám souřadnicových rozdílů.

$$v_{\Delta X_{i,i+1}} = |\Delta X_{i,i+1}| \cdot \frac{O_x}{\sum_1^{n-1} |\Delta X|}, \quad v_{\Delta Y_{i,i+1}} = |\Delta Y_{i,i+1}| \cdot \frac{O_y}{\sum_1^{n-1} |\Delta Y|}. \quad (12)$$

Ze souřadnicových rozdílů se vypočtou výsledné vyrovnané souřadnice bodů polygonového pořadu.

4.2 Redukce měřených délek

Délky naměřené elektronickými dálkoměry se opravují o fyzikální redukce (teplota, tlak), o matematické redukce (do vodorovné roviny, z nadmořské výšky) a o redukce do zobrazovací roviny S-JTSK.

Měřená šikmá délka se převede na vodorovnou podle vzorce

$$d_h = \frac{d_s \cdot \sin(z - \varphi)}{\cos \frac{\varphi}{2}}, \quad (13)$$

kde $\varphi = \frac{d_s \cdot \sin z}{R} \cdot \frac{200}{\pi}$ je středový úhel tížnic, z je zenitový úhel, d_s je šikmá délka a $R = 6380$ km je poloměr koule. Pro krátké vzdálenosti lze uvažovat, že $\cos \frac{\varphi}{2} \approx 1$ a $\sin(z - \varphi) \approx \sin z$. Vypočtená vodorovná délka d se převede do nulového horizontu (redukce z nadmořské výšky) dle vzorce

$$d_0 = d \cdot \frac{R}{R+H}, \quad (14)$$

kde H je výška horizontu přístroje. Délka v nulovém horizontu d_0 se převede do S-JTSK

$$s = d_0 \cdot m, \quad (15)$$

kde m je měřítko Křovákova zobrazení.

Pro zájmovou oblast měření je měřítko zobrazení uvedeno v tab. 8. Pro výpočet měřítka byly použity souřadnice bodu PPBP, který leží na středu území.

Tab. 8 Měřítka zobrazení a měřítkový koeficient pro zájmovou oblast

Měřítka zobrazení	0.999903913891
Měřítkový koeficient (včetně nadmořské výšky)	-142,84 PPM

Tab. 9 Oboustranně měřené délky v polygonovém pořadu

Stanovisko	Směr	Měřené vodorovné délky		Rozdíly		Průměr [m]	Délka v S-JTSK [m]
		Tam [m]	Zpět [m]	Rozdíl [m]	Mezní rozdíl [m]		
253	4001	191,113	191,105	0,008	0,02	191,109	191,082
4001	4002	127,327	127,345	0,018		127,336	127,318
4002	4003	84,156	84,159	0,003		84,158	84,146
4003	613	92,590	92,603	0,013		92,597	92,584
613	4004	44,090	44,105	0,015		44,980	44,974
4004	4005	40,693	40,710	0,017		40,702	40,696
4005	4006	56,025	56,037	0,012		56,031	56,023
4006	4007	38,458	38,445	0,013		38,452	38,447
4007	602	56,038	56,037	0,001		56,038	56,030

Podle [7] nesmí rozdíl dvojice měřených délek přesáhnout 0,02 m a to u délek do 500 m. Oboustranně měřené délky v polygonovém pořadu nepřesáhly tuto mezní odchylku (tab. 9).

4.3 Výškový výpočet polygonového pořadu

4.3.1 Výpočet mezního rozdílu výškového pořadu

Nadmořské výšky se určí výpočtem pořadu trigonometrické nivelace. Jednostranně zaměřený výškový rozdíl se vypočte podle vzorce

$$h = d_s \cdot \cos z, \quad (16)$$

kde h je převýšení, d_s je měřená šikmá délka a z je zenitový úhel. Vypočte se převýšení tam a zpět, výsledné převýšení je průměr.

Podle zákona hromadění skutečných chyb je

$$\varepsilon_h = \frac{\partial h}{\partial d_s} \varepsilon_{d_s} + \frac{\partial h}{\partial z} \varepsilon_z, \quad (17)$$

$$\varepsilon_h = \varepsilon_{d_s} \cdot \cos z - d_s \cdot \varepsilon_z \cdot \sin z. \quad (18)$$

Po přechodu na směrodatné odchyly je

$$\sigma_h^2 = \cos^2 z \cdot \sigma_{d_s}^2 + d_s^2 \cdot \sin^2 z \cdot \sigma_v^2, \quad (19)$$

kde σ_d je směrodatná odchylna měřené délky a σ_v je směrodatná odchylna zenitového úhlu. Předpokládáme, že ve výškovém pořadu jsou zenitové úhly blízké 100 gon a měřené délky jsou do 100 metrů. Po tomto předpokladu platí, že $\cos z \approx 0$. Tento předpoklad poukazuje na to, že při jeho splnění nemá vzdálenost na přesnost převýšení vliv. Po úpravách a odmocnění je

$$\sigma_h = 10^6 \cdot d_{skm} \cdot \sigma_v \cdot \sin z \text{ [mm]}, \quad (20)$$

kde po uplatnění předchozího předpokladu pro zenitové úhly lze psát $\sin(z) \approx 1$, pak výsledný vztah je

$$\sigma_h = 10^6 \cdot d_{skm} \cdot \sigma_v = \sigma_0 \cdot d_{skm}, \quad (21)$$

kde σ_0 je směrodatná odchylna jednotková (kilometrová) [mm/km].

$$\sigma_0 = 10^6 \cdot \sigma_v. \quad (22)$$

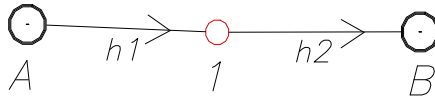
Pro totální stanici Trimble, kde $\sigma_v = 0,3$ mgon je $\sigma_0 = 5$ mm. Pro váhy platí

$$p \cdot \sigma_h^2 = \sigma_0^2, \quad (23)$$

$$p \cdot (10^6 \cdot d_{skm} \cdot \sigma_v)^2 = (\sigma_0)^2, \quad (24)$$

$$p = \frac{1}{d_{km}^2}. \quad (25)$$

V žádném předpisu ani literatuře nebyl nalezen mezní rozdíl pro trigonometrický výpočet výškového pořadu. Mezní rozdíl byl určen ze vztahů, které vycházejí z teorie chyb.



Obr. 11 Modelový výškový pořad

Body A a B jsou body o známé výšce. Výška bodu I je určovaná. Základní podmínková rovnice má tvar

$$(\hat{h}_1 + \hat{h}_2) - (H_B - H_A) = 0, \quad (26)$$

kde H_A, H_B jsou dané nadmořské výšky bodů A, B a \hat{h}_1, \hat{h}_2 jsou vyrovnaná převýšení. Tato rovnice se přepíše na tvar pro měřená převýšení a dostaneme přetvořené podmínkové rovnice

$$(h_1^m + v_1) + (h_2^m + v_2) - (H_B - H_A) = 0, \quad (27)$$

$$v_1 + v_2 + u = 0, \quad (28)$$

kde uzávěr $u = (h_1^m + h_2^m - (H_B - H_A))$, v_1, v_2 jsou opravy převýšení, h_1^m, h_2^m jsou měřená převýšení. Podle metody nejmenších čtverců se uzávěr rozděluje na jednotlivé veličiny úměrně jejím recipročním vahám

$$v_1 = q_1 \cdot \frac{u}{\Sigma q}, \quad v_2 = q_2 \cdot \frac{u}{\Sigma q}, \quad (29)$$

$$p = \frac{1}{d_{km}^2}, \quad (30)$$

kde $q = \frac{1}{p}$ a p jsou reciproční váhy.

Pro chybový model platí

$$(h_1^m + \varepsilon_1) + (h_2^m + \varepsilon_2) - (H_B - H_A) = 0, \quad (31)$$

kde ε_1 a ε_2 jsou skutečné chyby. Potom uzávěr u se vypočte

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + u = 0, \quad (32)$$

$$u = -(\varepsilon_1 + \varepsilon_2), \quad (33)$$

Po přechodu na směrodatné odchytky

$$\sigma_u^2 = \sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2, \quad (34)$$

kde podle (21) je $\sigma_h = \sigma_0 \cdot d_{s_{km}}$, pak

$$\sigma_u^2 = \sigma_0^2 \cdot \Sigma d_{s_{km}}, \quad (35)$$

potom mezní odchytka výškového pořadu je

$$u_M = t \cdot \sigma_u + \sigma_h \sqrt{2} = t \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{\Sigma d_{km}^2} + \sigma_h \sqrt{2}. \quad (36)$$

kde $t = 2$, $\sigma_0 = 5$ mm. Výškový pořad je připojen na ZhB a nově určený bod, kde byly výšky určeny metodou GNSS. Podle [8] je $\sigma_h = 0,06$ m, proto je k výškové mezní odchylce přičteno 80 mm. Po dosažení

$$u_M = 10 \cdot \sqrt{\sum d_{km}^2} + 80 \text{ [mm]}. \quad (37)$$

4.3.2 Výpočet mezního rozdíl pro oboustranně vypočtené převýšení

Pro výpočet oboustranně měřeného převýšení slouží rovnice

$$h = d_s \cdot \cos z \dots \text{převýšení tam}, \quad (38)$$

$$h' = d_s \cdot \cos z' \dots \text{převýšení zpět}. \quad (39)$$

Protisměrné převýšení se liší ve znaménku. Rozdíl převýšení se vypočte podle

$$\rho = h + h' = d_s \cdot (\cos z + \cos z'). \quad (40)$$

Podle zákona o hromadění středních chyb je směrodatná odchylka rozdílů ρ

$$\sigma_\rho^2 = d_s^2 \cdot (\sin^2 z + \sin^2 z') \cdot \sigma_v^2, \quad (41)$$

$$\sigma_\rho^2 = 2d_s^2 \cdot \sin^2 z \cdot \sigma_v^2, \quad (42)$$

kde podle předpokladu z předchozí kapitoly je $\sin^2 z \approx 1$. Potom po úpravách a odmocnění

$$\sigma_\rho = d_s \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_v. \quad (43)$$

Mezní odchylka u_M je podle

$$u_M = 2 \cdot \sigma_\rho, \quad (44)$$

$$u_M = 2\sqrt{2} \cdot d_s \cdot \sigma_v. \quad (45)$$

K mezní odchylce bylo přičteno 5 mm z důvodu měření výšky přístroje metrem 5M a umístění cíle na teleskopické tyči.

$$u_M = 2\sqrt{2} \cdot d_s \cdot \sigma_v + 0.005 \text{ [m]}. \quad (46)$$

4.3.3 Výškový výpočet pořadu

Výpočet převýšení probíhal ve směru od zhušťovacího bodu 246 do bodu 602. Převýšení bylo spočteno z vodorovné délky a zenitového úhlu podle

$$h = d_h \cdot \cotg z + v_p - v_c, \quad (47)$$

kde d_h je vodorovná délka, z je zenitový úhel, v_p je výška přístroje a v_c je výška cíle. Tímto výpočtem bylo získáno převýšení mezi body. Převýšení bylo vypočteno tam i zpět. Rozdíl mezi převýšeními byl porovnán s mezním rozdílem, který nebyl překročen. Výsledné převýšení je průměr (tab. 10).

Tab. 10 Výpočet převýšení

Stanovisko	Směr	Měřená převýšení		Rozdíly		Měřená délka	Průměr [m]
		Tam	Zpět	Rozdíl	Mezní rozdíl		
		h [m]	h' [m]	ρ [m]	u_M [m]	d_h [m]	
246	4001	-10,254	+10,240	0,014	0,022	191,109	-10,247
4001	4002	-4,267	+4,254	0,013	0,016	127,336	-4,261
4002	4003	+3,173	-3,178	0,005	0,012	84,158	+3,176
4003	613	+11,654	-11,659	0,004	0,013	92,597	+11,656
613	4004	+6,736	-6,739	0,004	0,009	44,980	+6,738
4004	4005	+6,594	-6,598	0,004	0,009	40,702	+6,596
4005	4006	+7,568	-7,572	0,004	0,010	56,031	+7,570
4006	4007	+5,415	-5,419	0,005	0,008	38,452	+5,417
4007	602	+4,513	-4,518	0,005	0,010	56,038	+4,515
	Součet	+31,132	-31,189				+31,160

K výšce zhušťovacího bodu 246 z geodetických údajů byla přičtena vypočtená převýšení, a tak získáme hrubou výšku bodu 602.

$$H'_{602} = H_{246} + \Sigma h_i. \quad (48)$$

Vypočtená výška bodu 602 byla porovnána s výškou danou měřením GNSS. Byl spočten rozdíl a byl porovnán s mezním rozdílem. Mezní odchylka nebyla překročena (tab. 11), proto výšková odchylka byla rovnoměrně rozdělena na jednotlivá převýšení (tab. 12). Z vyrovnaných převýšení byly následně vypočteny výsledné nadmořské výšky bodů (tab. 13).

Tab. 11 Výpočet výškového uzávěru

Bod	H [m]	H' [m]	Rozdíl [m]	Mezní rozdíl [m]
602	329,133	329,200	-0,067	0,098

Tab. 12 Vyrovnaná převýšení

Stanovisko	Směr	Měřená převýšení [m]	Vyrovnaná převýšení [m]
246	4001	-10,247	-10,254
4001	4002	-4,261	-4,268
4002	4003	+3,176	+3,168
4003	613	+11,656	+11,649
613	4004	+6,738	+6,730
4004	4005	+6,596	+6,589
4005	4006	+7,570	+7,562
4006	4007	+5,417	+5,410
4007	602	+4,515	+4,508
	Součet	+31,160	+31,093

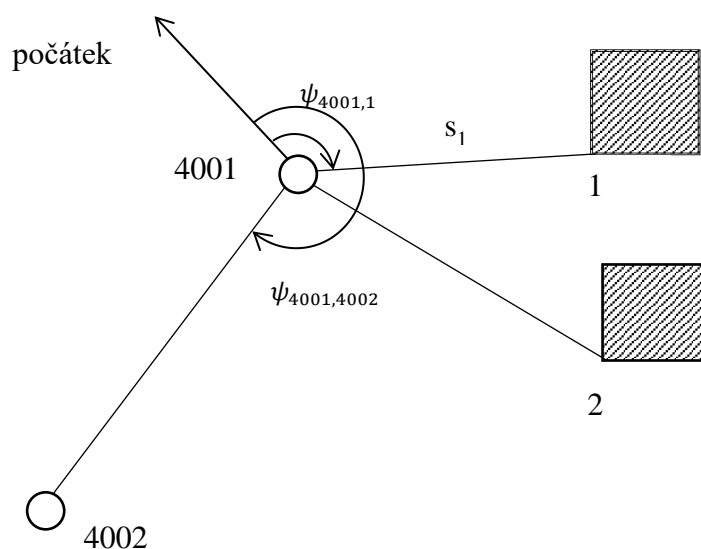
Tab. 13 Vypočtené nadmořské výšky

Bod	Nadmořská výška
246	298,040
4001	287,788
4002	283,521
4003	286,689
613	298,336
4004	305,066
4005	311,654
4006	319,216
4007	324,625
602	329,133

4.4 Polární metoda

4.4.1 Pevné stanoviště s jednou orientací

Body 4001 a 4002 (obr. 12) mají dané souřadnice. Body 1 a 2 jsou určované. Totální stanicí je měřeno z bodu 4001. Na body 4002, 1 a 2 jsou měřeny vodorovné směry a délky. Změřená délka na bod 4002 slouží jako kontrola, kde lze porovnávat měřenou délku a délkou vypočtenou z daných souřadnic.



Obr. 12 Polární metoda – pevné stanoviště s jednou orientací

Pro výpočet souřadnic bodu 1 slouží rovnice

$$X_1 = X_{4001} + s_1 \cdot \cos \sigma_{4001,1}, \quad (49)$$

$$Y_1 = Y_{4001} + s_1 \cdot \sin \sigma_{4001,1}, \quad (50)$$

kde s_1 je měřená vzdálenost na bod 1. Směrník $\sigma_{4001,1}$ se vypočte ze vztahu

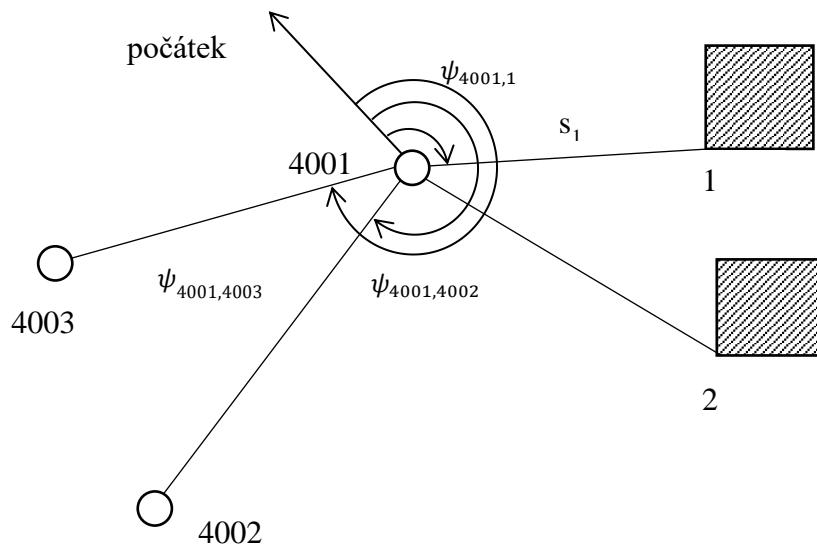
$$\sigma_{4001,1} = \psi_{4001,1} + o, \quad (51)$$

$$o = (\sigma_{4001,4002} - \psi_{4001,4002}), \quad (52)$$

kde o je orientační posun, $\psi_{4001,1}$ a $\psi_{4001,4002}$ jsou měřené vodorovné směry. Pro výpočet souřadnic bodu 2 se použije stejný postup jako u bodu 1.

4.4.2 Pevné stanoviště se dvěma orientacemi

Pro výpočet souřadnic podrobných bodů se použije stejný postup jako s jednou orientací. Jediný rozdíl je v tom, že při zaměření vodorovných směrů na dva body o daných souřadnicích lze vypočítat průměrný orientační posun podle



Obr. 13 Polární metoda – pevné stanoviště se dvěma orientacemi

$$o_1 = \sigma_{4001,4002} - \psi_{4001,4002}, o_2 = \sigma_{4001,4003} - \psi_{4001,4003} \text{ (obr. 13),} \quad (53)$$

kde $\psi_{4001,4002}$ a $\psi_{4001,4003}$ jsou měřené vodorovné směry. Směrníky $\sigma_{4001,4002}$ a $\sigma_{4001,4003}$ jsou vypočtené z daných souřadnic. Z vypočtených orientačních posunů se vypočte průměrný orientační posun $o = \frac{o_1 + o_2}{2}$ a vypočte se směrník na bod 1 podle

$$\sigma_{4001,1} = o + \psi_{4001,1}. \quad (54)$$

Po vypočtení směrníku se postupuje stejně jako u předchozí kapitoly.

4.5 Výpočetní práce ve výpočetním softwaru Groma

Zpracování měřených dat a výpočty souřadnic bodů polygonové pořady a podrobných bodů proběhl ve výpočetním softwaru Groma verze 12.0.

Registrované měřené veličiny byly z totální stanice importovány do výpočetního softwaru Groma. Před importem dat do programu předcházela výpočet měřítka zobrazení pro redukci délek z nadmořské výšky a ze zobrazení. Pro měřítko zobrazení byly nastaveny souřadnice bodu PPBP 613 (obr. 14), který leží přibližně na středu zájmového území. Redukce šikmých délek na vodorovné proběhla automaticky při načtení měřených dat. V importovaných datech bylo zpracováno měření v obou polohách dalekohledu a byla zprůměrována oboustranně měřená délka funkcí *Zpracování zápisníku*.

The screenshot shows the 'Křovák' window with the following data:

Pravoúhlé souřadnice:		Polární souřadnice:	
Y:	750251.774	Ro:	1280228.937 m
X:	1037356.451	Epsilon:	35.87574454 °
Z:	298.336	Kartografické souřadnice:	
		Šířka:	78.65994199 °
		Délka:	36.61071546 °

Měřitkový koeficient:

<input checked="" type="checkbox"/> Oprava z kartografického zkreslení	0.999903913891
<input checked="" type="checkbox"/> Oprava z nadmořské výšky:	0.999953246214
Výsledný měřitkový koeficient:	0.999857164598

Buttons: Nastavit, Výpočet

Obr. 14 Výpočet měřítka zobrazení

4.5.1 Výpočet polygonového pořadu

Výpočet polygonového pořadu byl proveden funkcí *Polygonový pořad*, kde byl vstupní soubor upravený zápisník z měření a výstupní soubor byl seznam souřadnic, kde byly zadány souřadnice připojovacích bodů. V seznamu stanovisek byl vybrán bod, na kterém polygonový pořad začíná. Dále byly postupně přidávány další body polygonového pořadu. Po provedení této funkce byl určen typ pořadu, spočteny souřadnice polygonového pořadu a byl vytvořen protokol s parametry a přesnostmi polygonového pořadu. Parametry polygonového pořadu a souřadnice bodů jsou uvedeny v tab. 14. a v tab. 15. Výpočet polygonového pořadu probíhá postupným vyrovnáním, které je popsáno v kapitole 4.1.2 a 4.1.3. Vypočtené souřadnice byly porovnány se souřadnicemi určenými metodou GNSS, které byly kontrolně zaměřeny. Porovnány byly i souřadnice bodu PPBP 613 z geodetických údajů a z výpočtu polygonového pořadu (tab. 17). Pro následný výpočet podrobných bodů byly použity souřadnice vypočtené.

The screenshot shows the 'Načtení polygonového pořadu' dialog box with the following data:

Vstupní soubor: D:\skola\bc\raw\mereni\916.mes

Nápověda: 1. V seznamu stanovisek vyberte bod, na němž polygonový pořad začíná. Jestliže na počátečním bodě nebylo měřeno (veliknutý pořad), nebude v seznamu

Zadejte bod pořadu: 2460

Body pořadu: 4004, 613, 4003, 4002, 4001, 2460

Buttons: Přidat, Ubrat, OK

Obr. 15 Výpočet polygonového pořadu

Tab. 14 Parametry polygonového pořadu

Připojovací body	Nejkratší strana [m]	Nejdelší strana [m]	Mezní délka strany [m]	Délka pořadu [m]	Mezní délka pořadu [m]
PPBP,ZhB	38,440	191,094	50-400	730,397	1500
Odchyly v uzávěru pořadu					
Úhlová [gon]	Mezní [gon]	Polohová [m]	Mezní [m]		
-0,0138	0,0316	0,045	0,162		

Byl překročen geometrický parametr pro minimální délku strany o 11,5 metru (minimálně má být 50 m). Kvůli tvaru cyklostezky nebylo možno udělat pomocný měřický bod na jiném místě. Protože polohová a úhlová odchylka nebyla překročena a požadavky na přesnost nejsou vysoké, byl tento fakt zanedbán. Mezní odchylky jsou stanoveny podle [7].

Tab. 15 Vypočtené souřadnice polygonového pořadu

Bod	Y [m]	X [m]
4001	750 505,490	1 037 221,611
4002	750 399,101	1 037 291,542
4003	750 315,005	1 037 288,823
4004	750 222,258	1 037 389,205
613	750 251,774	1 037 356,451
4005	750 190,308	1 037 414,402
4006	750 140,932	1 037 440,856
4007	750 104,482	1 037 453,078

Kontrolně zaměřené body polygonového pořadu metodou GNSS byly porovnány s vypočtenými souřadnicemi a jsou uvedeny v tab. 16.

Tab. 16 Porovnání bodů polygonového pořadu s GNSS

Bod	Vypočtené souřadnice		GNSS		Rozdíl	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	ΔY [m]	ΔX [m]
4001	750 505,490	1 037 221,611	750 505,475	1 037 221,625	0,015	0,014
4003	750 315,005	1 037 288,823	750 315,931	1 037 290,590	0,926	1,767
4004	750 222,258	1 037 389,205	750 222,272	1 037 389,217	0,014	0,012
4005	750 190,308	1 037 414,402	750 190,336	1 037 414,424	0,028	0,022
4006	750 140,932	1 037 440,856	750 140,960	1 037 440,876	0,028	0,020
4007	750 104,482	1 037 453,078	750 104,482	1 037 453,078	0,022	0,007

Bod 4002 a 613 nebylo možné měřit metodou GNSS. Největší rozdíl v souřadnicích je u bodu 4003, kde je v řádech metrů. Z protokolu měření GNSS bylo zjištěno, že na bodu 4003 bylo měřeno s přesností XY 0,019 metru a PDOP 3,24. Tyto hodnoty nenaznačují, že by rozdíl měřených souřadnic s vypočtenými měl být tak markantní. Proto je v zalesněných oblastech i s nejmodernější technologií GNSS lepší pro určení souřadnic pomocných měřických bodů použít polygonový pořad. Ostatní odchylky jsou v řádech centimetrů a potvrzují správnost vypočtených souřadnic. Protokol o výpočtu polygonového pořadu je k nalezení v elektronické příloze č. 3.

Tab. 17 Porovnání souřadnic bodu 613

Bod	Vypočtené souřadnice		Geodetické údaje		Rozdíl	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	ΔY [m]	ΔX [m]
613	750 251,774	1 037 356,451	750 251,74	1 037 356,48	0,034	-0,029

4.5.2 Výpočet souřadnic podrobných bodů

Výpočet souřadnic podrobných bodů byl proveden polární metodou a výšky byly vypočítány trigonometricky. Ve výpočetním softwaru Groma bylo pro výpočet souřadnic použita funkce *polární metoda dávkou*. Vstupními daty pro výpočet je zápisník měření a seznam souřadnic stanovisek. Po provedení výpočtu jsou výstupem spočtené souřadnice a protokol o výpočtu, který jde uveden v elektronické příloze č. 3. Při výpočtu souřadnic probíhal test polární metody, který testoval opravy orientace a porovnával s mezní odchylkou

pro práce v KN [7]. Tyto odchylky nebyly překročeny. Kompletní seznam souřadnic podrobných bodů je uveden v elektronické příloze č. 6.

5. Tvorba účelové mapy

5.1 Polohopisná a výškopisná mapa v programu Kokeš

Výkres byl vytvářen v programu Kokeš V13. Pro tvorbu výkresu bylo zvoleno vztažné měřítko 1 : 1000 a obecná technologie tvorby výkresu WKOKES.

Program pracuje odděleně se seznamem souřadnic a výkresem, proto je potřeba vypočtené souřadnice z výpočetního softwaru Groma v textovém formátu importovat do programu Kokeš funkcí *body seznamu souřadnic do výkresu*. Následovala tvorba kresby, která byla vytvářena na základě měřického náčrtu z terénu. Prvky polohopisu byly umísťovány do nově založených vrstev. Liniové prvky byly vytvořeny funkcí *tvorba linie*, mapové značky funkcí *práce se symboly*. Stromy byly zakresleny funkcí *složené prvky-strom*, kde lze zvolit druh stromu a obvod kmene. Dále lze v této funkci zvolit šířku koruny a výšku stromu, ale protože tyto údaje nebyly v terénu zjišťovány, tak nebyly do mapy zapsány. Svahové šrafy byly do výkresu přidány funkcí *složené prvky-svahové šrafy*, kde byla vybrána horní a následně dolní hrana svahu, kde měly být šrafy zakresleny. Seznam umístění prvků do jednotlivých vrstev je uveden v tab. 18.

Vrstevnice byly interpolovány funkcí *interpolace vrstevnic*. Takto bylo interpolováno mezi body jednotlivými body s intervalem 1 m. Interpolované body byly uloženy do nového pomocného seznamu souřadnic. Následně byly tyto body o stejné výšce spojeny *spline křivkou*. Vrstevnice byly zalomeny na terénních hranách a okrajích cesty. Zdůrazněné vrstevnice byly zvoleny s intervalem 5 m, byly zakresleny zesílenou čarou a byl k nim přidán popis s výškou. Do výkresu byly ke každému bodu umístěny výškopisné kóty funkcí *Popis seznamu souřadnic do textu*.

Do výkresu byla zakreslena část katastrální mapy obce Tuchoměřice a Přední Kopaniny (DKM a KM-D). Byla zakreslena katastrální hranice, hranice pozemků, mapové značky pro druh pozemku a parcelní čísla.

Účelová mapa byla vytištěna do PDF. Výškové kóty jsou uloženy v příslušné vrstvě a nebyly tisknuty, protože jsou při tisku nečitelné. V tištěných příloze č. 10 je ukázka účelové mapy. Kompletní účelová mapa je k nalezení v elektronické příloze č. 4.

Tab. 18 Přehled vrstev a prvků výkresu

Polohopis		Vrstva
KN	Mapová značka pro druh pozemku	DRUH_POZEMKU
	Kamenný mezník	MEZNIK
	Hranice pozemku	HRANICE_POZEMKU
	Parcelní číslo	PARCELNI_CISLO
Stavební objekty	Most vedoucí přes potok	MOST
	Pomník	POMNIK
Hranice	Plot rozlišený typem čáry	PLOT
	Cyklostezka	CESTA
Zeleň	Samostatně stojící stromy	STROMY
Symboly	Rozcestník, dopravní značka	SYMBOLY
Terénní hrany		TERENNI_HRANA
Výškopis		
Vrstevnice		VRSTEVNICE_ZAKLAD
Svahové šrafy		SVAHOVE_SRAFY
Výškové kóty		VYSKOVE_KOTY

5.2 Digitální model terénu v programu Atlas

Do programu Atlas byly importovány vypočtené souřadnice podrobných bodů v textovém formátu. Byl vytvořen nový dokument, kde byla nastavena velikost papíru A0 na šířku. Dále byla spuštěna funkce *Generace DMT*, kde byly jako vstup zvoleny podrobné body, byly nastaveny vlastnosti volného formátu a vlastnosti pro generaci modelu. Po skončení funkce byla vytvořena nepravidelná trojúhelníková síť. Byly zakresleny povinné hrany (lomové a ostrovní). Na lomových hranách se vrstevnice lámou a uvnitř ostrovních hran nejsou vrstevnice vykresleny. Byla spuštěna funkce *výpočet vrstevnic*, kde byl nastaven interval vrstevnic základních a zdůrazněných. Na zdůrazněných vrstevnicích byl doplněn popis.

Byl vytvořen podélný řez tak, že na osu cesty byl zakreslen polygon, ze kterého byl funkcí pro tvorbu řezu vytvořen podélný řez, který byl umístěn k digitálnímu modelu terénu.

Podélný řez je k nalezení v tištěné příloze č. 11. Ukázka digitálního modelu terénu je v tištěné příloze č. 12. Kompletní tisk digitálního modelu terénu je v elektronické příloze č. 5.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření účelové mapy cyklostezky v obci Tuchoměřice a Přední Kopanina, která slouží jako podklad pro projekt rekonstrukce cyklostezky. Oblast byla geodeticky zaměřena a naměřená data sloužila pro tvorbu výkresu.

Konečným výsledkem této bakalářské práce je účelová mapa pro zadanou zájmovou oblast ve vztažném měřítku 1 : 1000 a digitální model terénu. Z účelové mapy byl vytvořen projekt pro rekonstrukci cyklostezky. Samotná rekonstrukce má započít v roce 2019.

Seznam zdrojů

- [1] *Mapy.cz. Seznam* [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.mapy.cz/>
- [2] Obec Tuchoměřice. *Oficiální stránky obce Tuchoměřice* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.tuchomerice.eu/>
- [3] ČÚZK: Geoportál. *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [4] ČÚZK. *Návod pro správu geodetických základů* [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/>
- [5] *Obec Přední Kopanina* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.prednikopanina.cz/>
- [6] *GEODÉZIE 1, 2: Návod na cvičení*. Praha, 2005. Vysokoškolská skripta. ČVUT v Praze Fakulta stavební. Ing. Pavla Vobořilová, Dr. Ing. Zdeněk Skořepa.
- [7] *Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod* [online]. 2015. Český úřad zeměměřický a katastrální. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK.aspx>
- [8] *Vyhláška č. 31/1995 Sb., zpřesnění globální transformace mezi ETRS89 A S-JTSK, přetrvávající „omyly“ při využití GNSS*. Praha, 2014. Český úřad zeměměřický a katastrální

Seznam obrázků

Obr. 1 Poloha obce Tuchoměřice [1]	10
Obr. 2 Zakreslená zájmová oblast měření nad SM5 [3].....	11
Obr. 3 Polohové bodové pole [3]	12
Obr. 4 Zajišťovací body pro ZhB.....	14
Obr. 5 TS Trimble	15
Obr. 6 GNSS přijímač a kontroler Trimble.....	16
Obr. 7 Odrazný hranol ve stojánku s klipsnou	18
Obr. 8 Měřičský náčrt polygonového pořadu.....	19
Obr. 9 Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad [6]	20
Obr. 10 Výpočet směrniců polygonové strany [6].....	21
Obr. 11 Modelový výškový pořad.....	26
Obr. 12 Polární metoda – pevné stanoviště s jednou orientací	31
Obr. 13 Polární metoda – pevné stanoviště se dvěma orientacemi.....	32
Obr. 14 Výpočet měřítka zobrazení	33
Obr. 15 Výpočet polygonového pořadu	33

Seznam tabulek

Tab. 1 Měření bodů PBP GNSS	12
Tab. 2 Porovnání souřadnic měřených GNSS a souřadnic z geodetických údajů	13
Tab. 3 Porovnání délek.....	14
Tab. 4 Technické specifikace TS	15
Tab. 5 Měření pomocného měřičského bodu 4008 GNSS.....	17
Tab. 6 Porovnání délky ze souřadnic a z měření.....	18
Tab. 7 Porovnání souřadnic hraničního bodu.....	19
Tab. 8 Měřítko zobrazení a měřítkový koeficient pro zájmovou oblast	23
Tab. 9 Oboustranně měřené délky v polygonovém pořadu	24
Tab. 10 Výpočet převýšení.....	29
Tab. 11 Výpočet výškového uzávěru	30
Tab. 12 Vyrovnaná převýšení	30
Tab. 13 Vypočtené nadmořské výšky	30
Tab. 14 Parametry polygonového pořadu	34
Tab. 15 Vypočtené souřadnice polygonového pořadu	34
Tab. 16 Porovnání bodů polygonového pořadu s GNSS	35
Tab. 17 Porovnání souřadnic bodu 613.....	35
Tab. 18 Přehled vrstev a prvků výkresu	38

Seznam elektronických příloh

Příloha 1: Zápisník měření polygonového pořadu

Příloha 2: Zápisník měření podrobných bodů

Příloha 3: Protokoly o výpočtu z výpočetního softwaru Groma (načtení zápisníku, polygonový pořad, polární metoda dávkou)

Příloha 4: Účelová mapa v měřítku 1 : 1000

Příloha 5: Digitální model terénu v měřítku 1 : 1000

Příloha 6: Souřadnice podrobných bodů

Příloha 7: Protokol GNSS (RTK) měření

Příloha 8: Zápisník měření ZhB

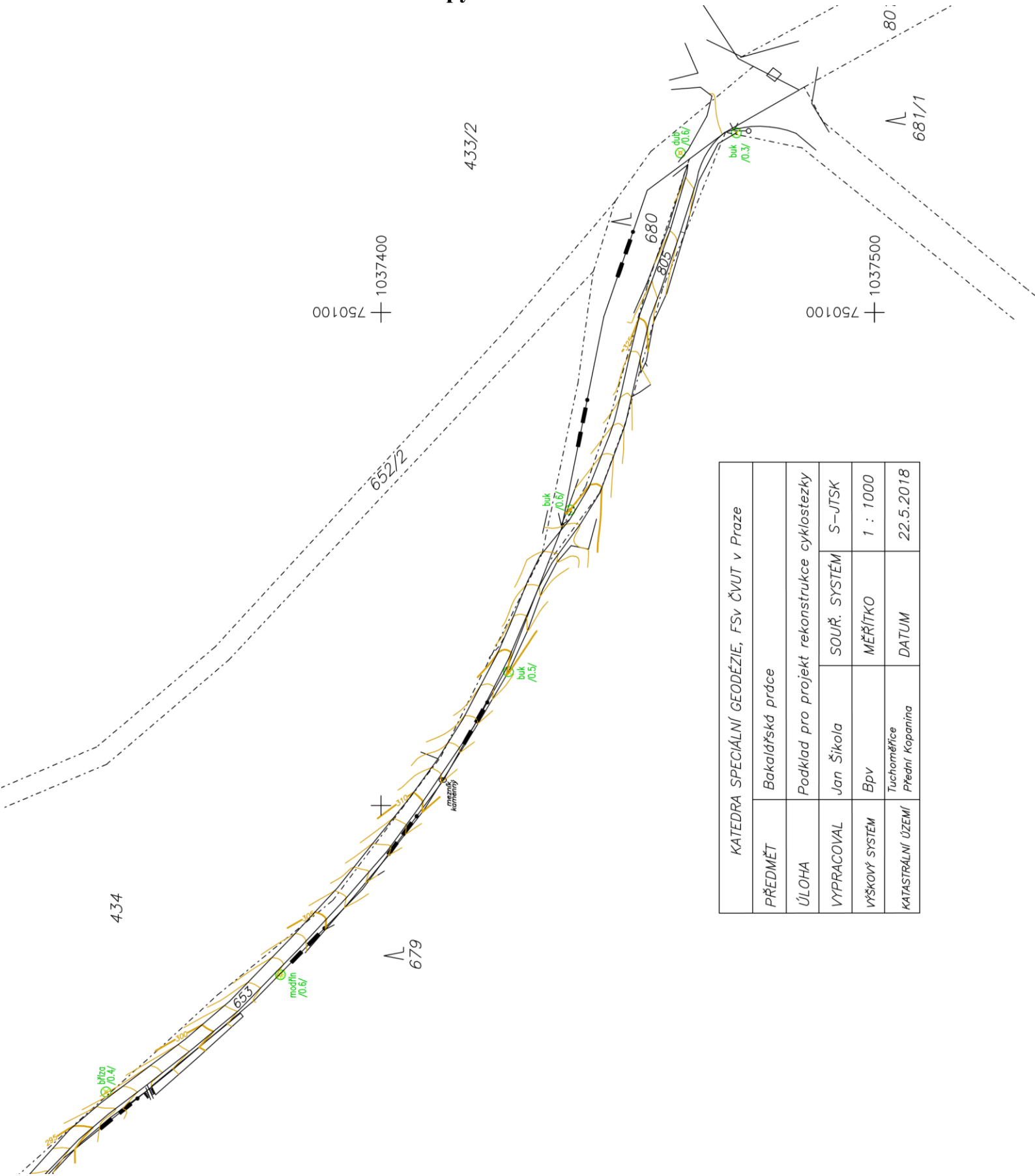
Příloha 9: Geodetické údaje bodů PBP

Elektronické přílohy jsou komprimovány do souboru *F1-BP-2018-SIKOLA-JAN.zip*.

Seznam tištěných příloh

Příloha 10: Ukázka účelové mapy.....	44
Příloha 11: Podélný řez.....	45
Příloha 12: Ukázka digitálního modelu terénu.....	46

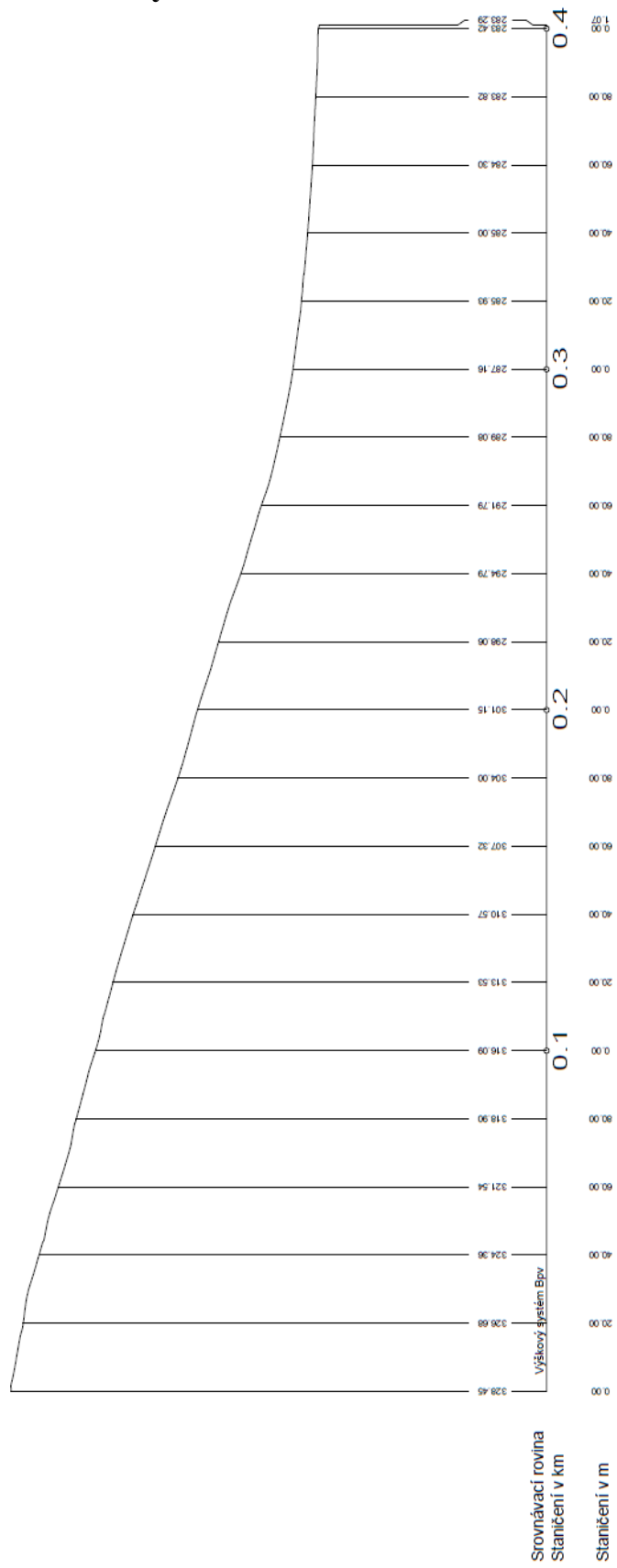
Příloha 10: Ukázka účelové mapy



KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE, FSv ČVUT v Praze			
PŘEDMĚT	Bakalářská práce		
ÚLOHA	Podklad pro projekt rekonstrukce cyklostezky		
VYPRACOVAL	Jan Šíkola	SOUŘ. SYSTÉM	S-JTSK
VÝŠKOVÝ SYSTÉM	Bpv	MĚŘÍTKO	1 : 1000
KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ	Tuňoměřice Přední Kopanina	DATUM	22.5.2018

Příloha 11: Podélný řez

PODÉLNÝ PROFIL



Příloha 12: Ukázka digitálního modelu terénu

