

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

**Porovnání dvou digitálních modelů terénu  
z lokality Mariánská (tachymetrie vs. 5G)**



Bakalářská práce

Studijní program:	Geodézie a kartografie
Studijní obor:	Geodézie, kartografie a geoinformatika
Vedoucí práce:	Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Martin Lipert



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: L I P E R T Jméno: Martin Osobní číslo: 424015

Zadávací katedra: 11154 (speciální geodézie)

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Porovnání dvou digitálních modelů terénu z lokality Mariánská (tachymetrie vs. DMR 5G)

Název bakalářské práce anglicky: Comparison of two Digital Terrain Models of Locality Mariánská (Tacheometry versus DMR 5G)

Pokyny pro vypracování:

1. V zadané části terénu provést na základě rekognoskace volbu a zaměření bodů měřické sítě polygonovým pořadem oboustranně připojeným a orientovaným. Výpočet souřadnic bodů s vyrovnání MNC s využitím vlastního skriptu v Matlabu. Výškové vyrovnání pořadu připojeného na nivelační body PNS - Karlovy Vary
2. Podrobné měření výškopisu pomocí tachymetrie, na části terénu se použije technologie GNSS (RTK)
3. Výpočet souřadnic a výšek podrobných bodů polohopisu a výškopisu v systému Groma (registrovaná data jsou nedílnou součástí práce)
4. Zapůjčení dat DMR 5G z leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky (Zeměměřický úřad)
5. Zpracování a analýza obou modelů terénu v systému Atlas DMT
6. Závěry pro praxi


Seznam doporučené literatury:

- /1/ Blažek, R. - Skořepa, Z.: Geodézie 3. Praha, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009. 162 s.
- /2/ Skořepa, Z.: Geodézie 4. Praha, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. 132 s.
- /3/ Atlas DMT 16. Příručka uživatele

Jméno vedoucího bakalářské práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

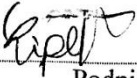
  
Podpis vedoucího práce

  
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)

## Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně za odborného vedení Dr. Ing. Zdeňka Skořepy a s použitím uvedené odborné literatury a zdrojů informací.

Praze dne: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za jeho nekončící podporu, za jeho čas strávený nad mou prací a dále za poskytnutí jeho cenných rad a všech důležitých podkladů pro mou práci.

Dále děkuji Ing. Miroslavu Šoulovi za pomoc s používáním softwaru Atlas DMT a za jeho bezplatné zapůjčení.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je porovnání dvou digitálních modelů terénu, které byly vytvořeny ze dvou různých zdrojů dat. Jedním zdrojem pro vyhotovení modelu jsou data naměřená totální stanicí Trimble M3 a GNSS přijímačem metodou tachymetrie, druhým zdrojem jsou data DMR 5G zakoupená z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Předmětem měření byla louka v oblasti Mariánské u Jáchymova.

Naměřená i zakoupená data byla zpracovávána v programu Atlas DMR. Ze souřadnic byly vygenerovány digitální modely terénu. První model z dat 5. generace nebyl dále upravován, v druhém modelu z tachymetrie byly dodělány všechny potřebné hrany, aby model lépe prezentoval zájmovou oblast.

Hlavním výstupem této práce je třetí model, který byl vygenerován z výškových rozdílů mezi oběma modely, které byly zjištěny výpočtem kubatur ze dvou výše zmíněných modelů.

## **Klíčová slova**

Digitální model terénu, tachymetrie, Atlas DMR, kubatury

## **Abstract**

The purpose of this bachelor thesis is comparison between two digital models of the terrain, which has been created from two different sources. One model has been created from data measured with theodolite Trimble M3 and GNSS receiver with the tachymetry method, the other source of data is the surveying and cadastral czech office. The region of interest is a meadow located near village Mariánská.

Measured and bought data were both processed in the Atlas DMR software. The digital terrain models were generated from the coordinates. The first model created from the data of the 5. generation was not further edited, the second model was edited to better represent the region of interest.

The main coming-out of this bachelor thesis is the third digital model, which has been generated from the high-rise differences between both models, which have been calculated by the cubic capacity calculation from both of the digital models.

## **Key words**

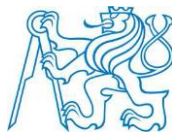
Digital terrain model, tachymetry, Atlas DMR, cubic capacity

## Obsah

Čestné prohlášení .....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Klíčová slova .....	5
Abstract.....	6
Key words .....	6
1 Úvod.....	9
2 Obec Mariánská .....	10
3 Metody, přístroje a software .....	11
3.1 Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad .....	11
3.1.1 Trojpodstavcová souprava .....	12
3.2 Metoda tachymetrie.....	12
3.2.1 Měření totální stanicí .....	12
3.2.2 Měření GNSS přijímačem .....	13
3.3 Použité softwary.....	13
4 Výpočet polygonového pořadu vyrovnáním MNC .....	14
4.1 Podmínkové vyrovnání .....	15
4.2 Vyrovnání polygonového pořadu.....	17
4.3 Přesnost souřadnic bodů polygonového pořadu.....	20
4.4 Výškové vyrovnání polygonového pořadu s připojením na nivelační body....	22
5 Digitální model reliéfu 5. generace.....	24
6 Zpracování dat v programu ATLAS DMT .....	24
6.1 Atlas DMT .....	25
6.1.1 Souřadné soustavy .....	25
6.2 DMT.....	26
6.2.1 Bodové modely .....	26
6.2.2 Rastrové modely .....	26
6.2.3 Vlastnosti modelu terénu .....	26
6.3 Zpracování dat.....	30
6.3.1 Tvorba hran a další zpracování .....	30
6.3.2 Výpočet objemů.....	31
7 Závěr .....	344

8	Použitá literatura .....	36
	Seznam obrázků .....	37
	Seznam příloh .....	38





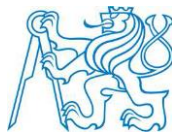
## 1 Úvod

Digitální modely reliéfu (DMR) jsou v současné době využívány stále více. Jejich využití spočívá především v analýze terénních poměrů (většinou lokálního rozsahu), při projektování pozemkových úprav a plánování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb.

Mimo jiné jsou jako zdrojová databáze pro digitální modely terénu využívány data 5. generace (data 5G) z leteckého laserového skenování, která lze zakoupit na Českém úřadu zeměměřickém a katastrálním (ČÚZK). Cílem této práce je zaměření vybrané lokality (druh pozemku - louka), vytvoření digitálního modelu a porovnání digitálních modelů z tachymetrie (M1) a z dat 5G (M2).

Výsledkem této práce je digitální model terénu vytvořený z výškových rozdílů modelů M1 a M2. Model M1 je brán jako referenční. Výškové rozdíly byly zjištěny výpočtem kubatur, tudíž je zřejmé, kde se modely shodují a kde se liší. Výsledek práce lze využít i pro výuku, která se týká tvorby DMR.

Souřadnicový systém:	S-JTSK
Výškový systém:	Bpv
Vztažné měřítko:	1 : 500.



## 2 Obec Mariánská

Mariánská (původní název Sorg) je malá vesnice ležící v Krušných Horách. Zmínky o její existenci se pohybují již kolem roku 1465, tedy 50 let před vznikem horního města Jáchymov, jehož součástí se později stala a jehož součástí je až do současnosti. Po založení Jáchymova se z Mariánské stala zásobovací osada pro důlní těžbu – dřevo bylo použito na výstavbu dolů a vznikali statky na maso. Během třicetileté války Sorg téměř přestal existovat a důlní těžba v Jáchymově také značně ochabla. Roku 1691 byla na Vlčím hřbetě (vrchol nad Mariánskou) postavena kaple Panny Marie a byla podána žádost, aby byla vesnice přejmenována na Mariasorg, podle čehož se jí dnes říká Mariánská.

V 50. letech 20. století bylo Jáchymovsko proměněno na pracovní tábor pro politické vězně určeného k těžbě uranové rudy. Tyto tábory byly zrušeny až v 60. letech po vytěžení veškerého uranu, dodnes však můžeme v lesích v okolí Jáchymova najít pozůstatky této doby. Po roce 1958 se horníci začali odstěhovávat do Ostrova nad Ohří a domy v Mariánské byly prodávány pro rekreační účely. Tento účel plní dodnes – poskytuje ubytování pro lyžařská střediska, školní výlety a mimo jiné se zde nachází i výukové středisko Stavební fakulty ČVUT v Praze.

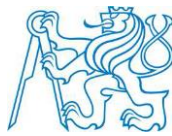
Jak už bylo řečeno, vesnice Mariánská leží v Krušných horách přibližně 2 kilometry od města Jáchymov. Spadá do jeho katastrálního území, její nadmořská výška se pohybuje 780 do 870 metrů nad mořem a čítá okolo 260 obyvatel a 140 domů. Spadá do kraje a okresu Karlovy Vary.

Okolí Mariánské, jak už vyplývá z její polohy, je velmi členité a kopcovité. Mezi blízké vrcholy patří již zmiňovaný Vlčí hřbet (902 m. n. m.), Plešivec (1028 m. n. m.), Božídarský Špičák (1115 m. n. m.), Popovská hora (900 m. n. m.) nebo nejvyšší vrchol Krušných hor – Klínovec (1244 m. n. m.). V okolí se nachází velké množství dolů a lomů jako pozůstatek důlní činnosti. Krajina je z velké části zalesněná nebo se po ní rozléhají louky využívané především jako pastviny pro dobytek. Jedna z takových luk byla i předmětem mého měření.

Měřená oblast se rozprostírá v poměrně prudkém svahu podél silnice vedoucí z Mariánské do Jáchymova. Oblast je zmíněnou silnicí rozdělena na levou a pravou část.

Levá část je zleva vymezena polní cestou, která vede z křižovatky v severním cípu oblasti. Zdola je hranice tvořena nejprve mezí, poté plotem ohraničujícím soukromý pozemek. Zprava je tato část vymezena silnicí. Levá část tvoří přibližně dvě třetiny celkové oblasti. Stojí zde stožár vysokého napětí a nachází se zde vyhloubené území, které je pravděpodobně pozůstatkem důlní činnosti.

Pravá část je zprava ohraničena polní cestou vedoucí z výše zmiňované křižovatky a dále začátkem lesa. Spodní hranice byla určena přibližně jako spojnice rohu lesa a spodního pravého cípu levé části. Levá hranice je opět tvořena silnicí. V této části se také nachází jeden stožár elektrického vedení, jinak se zde kromě menšího hloučku stromů nenachází nic výjimečného. [1]



Obr. 1 Měřená lokalita v oblasti Mariánská (vlastní tvorba autora)

### 3 Metody, přístroje a software

Měření polygonového pořadu probíhalo za použití totální stanice a bylo při něm využito trojpodstavcové soupravy. Polygonový pořad byl oboustranně připojený a orientovaný. Výškově byl polygonový pořad oboustranně připojený na dva nivelační body. K podrobnému měření byla použita polární metoda s měřením výšek (tachymetrie). Byly použity přístroje Leica TC403, Trimble M3, Trimble GeoXR (GNSS přijímač). Ke zpracování dat byly využity softwary Groma, Kokeš, Atlas DMT a MATLAB.

#### 3.1 Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad

Prvním krokem při měření polygonového pořadu byla důkladná rekognoskace terénu. Počátek polygonového pořadu byl zvolen na zhušťovacím bodu 233 s orientací na trigonometrický bod Plešivec, tur. rozhledna (č. bodu 27), konec polygonového pořadu pak na zhušťovacím bodu 234 s orientací na kříž na Kobrově hoře (č. bodu 103.3). Mezi počátkem a koncem polygonového pořadu bylo stabilizováno 7 stanovišek (4001 až 4007). Stanoviska byla stabilizována dočasně dřevěným kolíkem s křížkem nebo hřebem v silnici. Vzdálenost mezi stanovisky nepřesáhla 250 metrů, první polovina polygonu vedla podél hlavní silnice přes Mariánskou, druhá polovina vedla měřenou lokalitou. K měření polygonového pořadu bylo využito trojpodstavcové soupravy (viz níže).

Výškový pořad byl měřen zároveň s polygonovým pořadem. Počátek výškového pořadu byl na nivelačním bodu KV-037-108 (bod na rohu hospody Krmelec). Dalšími body výškového pořadu byly body 4003 až 4007. Koncovým bodem výškového pořadu



byl nivelační bod *KV-037-113*, který se nachází u křižovatky silnic v horním cípu měřené louky. Ověření těchto nivelačních bodů probíhá v rámci výuky v terénu.

Poměr největší / nejmenší délka: 1 : 2.00

Max. poměr sousedních délek: 1 : 1.54

Tab. 1 Souřadnice připojovacích bodů

Souřadnice připojovacích bodů				
Bod	Y	X	H	Druh bodu
233	846565,71	997372,53	-	ZhB
234	845936,11	996771,45	-	ZhB
27	850085,70	996914,61	-	TB
103.3	845267,08	998338,55	-	bod výukové sítě
<i>KV-037-108</i>	846193,00	997527,00	840,547	NB
<i>KV-037-113</i>	845733,00	996941,00	913,748	NB

### 3.1.1 Trojpodstavcová souprava

Jak již bylo uvedeno, k měření bylo využito trojpodstavcové souprava. K této metodě je potřeba totální stanice (v našem případě Leica TC403 v. č. 725554), dále 3 stativy a 2 odrazné hranoly. Měření na jednom stanovisku probíhá v jedné skupině (v obou polohách dalekohledu). Nejprve je měřen směr a vzdálenost na předchozí stanovisko (vzad), poté na následující stanovisko (vpřed) a dále opět vpřed a vzad, ovšem v druhé poloze dalekohledu. Takto probíhá měření postupně na všech stanoviscích. Na prvním a na posledním bodu polygonového pořadu je buď vzad (na prvním) nebo vpřed (na posledním) měřen směr na orientaci.

Využití trojpodstavcové souprava má několik výhod. První výhodou je odstranění chyby z opakované centrace totální stanice a hranolů. Další výhodou je rychlé měření úhlů a délek mezi stanovisky, čímž se z velké části eliminuje vliv prostředí a počasí.

### 3.2 Metoda tachymetrie

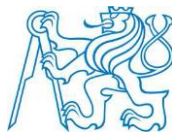
Metoda tachymetrie je geodetická metoda, při které se určuje poloha a výška velkého množství bodů. Důležitým aspektem pro příznivé výsledky této metody je volba podrobných bodů. Je potřeba zachytit všechny význačné čáry terénní kostry (hřbetnice, údolnice, úpatnice, hrany atd.), význačné body terénní kostry (vrchol kupy, dno dolíku, vrchol sedla atd.), změny terénního sklonu (spádnice). Pokud je terén pravidelný a málo členitý, pak lze podrobné body volit v pravidelných vzdálenostech s využitím přibližně čtvercové sítě.

Měření bylo rozděleno na měření totální stanicí (Trimble M3) a měření GNSS přijímačem (Trimble GeoXR). V případě měření totální stanicí je poloha bodů určována polárními souřadnicemi (vodorovný směr a šikmá délka), výšky bodů jsou určovány trigonometricky. Při měření GNSS přijímačem jsou data z družic rovnou zpracována pomocí sítě CZEPOS a výstupem jsou souřadnice (v S-JTSK) a výšky bodů (ve výškovém systému Bpv). Celkem bylo zaměřeno 997 podrobných bodů. [2]

#### 3.2.1 Měření totální stanicí

Totální stanicí Trimble M3 (v.č. D047353) bylo měřeno ze stanoviska 4006. Jako orientace byly použity body 4005 a 4007. Byly změřeny podrobné body terénu a





byly změřeny prvky polohopisu a výškopisu. V oblasti zaměřované totální stanicí se nachází pozůstatky zřejmě povrchového dolu, které byly zaměřeny s menšími vzdálenostmi mezi body. Totální stanicí byly zaměřeny body 1 až 274.

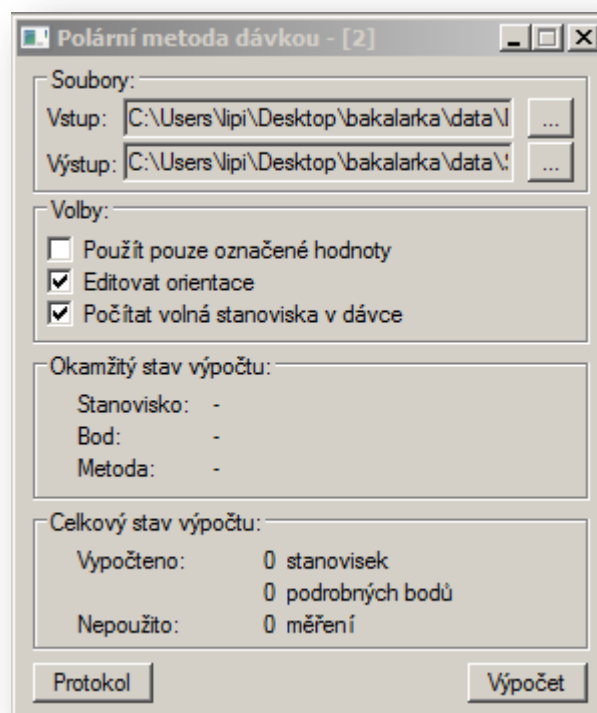
### 3.2.2 Měření GNSS přijímačem

Další podrobné body byly zaměřeny pomocí GNSS přijímače CZEPOS a Trimble GeoXR (v.č. 5135407185) metodou RTK s dobou observace 5 vteřin. Touto metodou byla zaměřena horní a dolní část louky, dále silnice dělicí zájmové území a nakonec celé měřené území vpravo od silnice. Některé oblasti nebylo možné pro nepřístupnost terénu zaměřit. GNSS přijímačem byly měřeny podrobné body 1001 až 1335 a 2001 až 2550.

### 3.3 Použité softwary

V programu MATLAB byl metodou nejmenších čtverců (MNC) proveden exaktní výpočet polygonového pořadu. Tabulka vyrovnaných souřadnic polygonového pořadu je níže v 4. kapitole. Byly také vypočteny a vykresleny elipsy chyb. Dále bylo v programu MATLAB vypočítáno výškové vyrovnání polygonového pořadu.

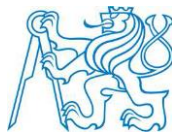
Naměřená data z totální stanice byla importována do geodetického systému GROMA. V tomto programu byla provedena polární metoda dávkou, kterou byly vypočteny souřadnice a výšky podrobných bodů.



Obr. 2 Polární metoda dávkou (dialog z Gromy) (vlastní tvorba autora)

Výpočet souřadnic MNC byl pomocí tohoto programu doplněn o kontrolní (přibližný) výpočet polygonového pořadu:

- a) transformací



- b) klasicky - vyrovnáním polygonového pořadu rovnoměrným rozdělením úhlové odchylky a rozdělení odchylky souřadnicové úměrně absolutním hodnotám souřadnicových rozdílů

Tab. 2 Geometrické parametry a kritéria přesnosti polygonového pořadu (Resortní předpisy a opatření, ČÚZK – návody)

Připojovací body	Mezní délka strany [m]	Mezní délka pořadu [m]	Mezní odchylka v uzávěru pořadu	
			úhlová [mgon]	polohová [m]
ZPBP, ZhB	200-1500	5000	$2,5 \cdot \sqrt{k}$	$0,0025 \cdot \sqrt{\sum d}$
ZPBP, ZhB	50-400	3000	$5,0 \cdot \sqrt{k}$	$0,004 \cdot \sqrt{\sum d}$
PPBP, ZPBP, ZhB	50-400	1500	$10,0 \cdot \sqrt{k}$	$0,006 \cdot \sqrt{\sum d}$

kde  $k$  je počet bodů polygonového pořadu včetně bodů připojovacích,  
 $\sum d$  je součet délek stran polygonového pořadu;  
 pořad má nejvýše 15 nových bodů,  
 mezní poměr délek sousedních stran v polygonovém pořadu je 1:3.[3]

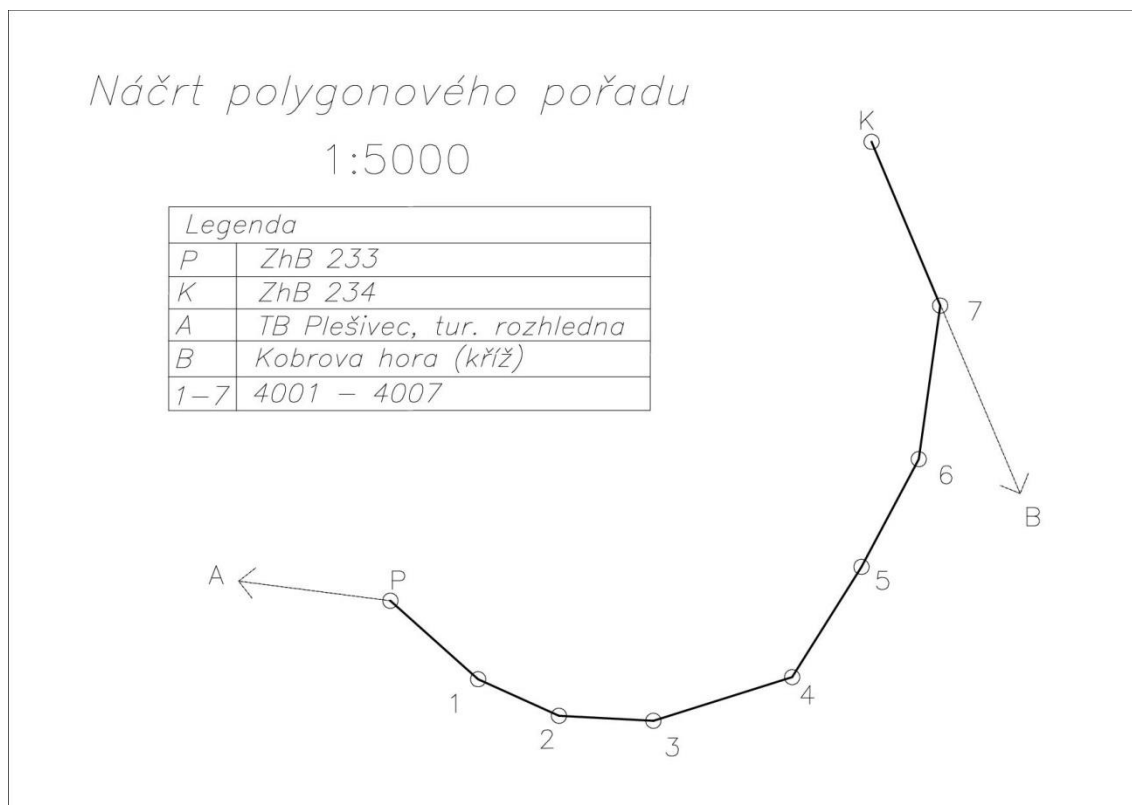
Kritéria přesnosti pro polygonové pořady, určené z dokumentu „Resortní předpisy a opatření“, nebyly při měření překročeny.

Souřadnice z měření totální stanicí i z GNSS byly z textového souboru importovány do geodetického systému ALTAS DMT. V tomto programu proběhlo vytvoření digitálních modelů (M1 i M2). Model M1 byl upraven (vlození povinných, lomových a ostrovních hran) a byly vypočteny kubatury.

Naposledy byl použit geodetický program KOKEŠ, kde byl graficky zpracován polygonový pořad s orientacemi a odchylkami souřadnic (souřadnice byly vypočteny pomocí MNČ, transformací a úhlovým a souřadnicovým vyrovnáním). Dále byly v programu KOKEŠ dokresleny značky polohopisu.

#### 4 Výpočet polygonového pořadu vyrovnáním MNČ

Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad má  $k$  bodů, dále  $(k - 1)$  stran a  $k$  vodorovných úhlů, celkem tedy  $(2k - 1)$  měření, počet souřadnic určených bodů je  $(2k - 2)$ . Jelikož má polygonový pořad  $k = 9$  bodů (včetně připojovacích bodů), bylo měřeno 9 vodorovných úhlů a 8 stran, dohromady tedy 17 měření. Počet nadbytečných měření je vždy  $n = (2k - 1) - (2k - 4) = 3$ .



Obr. 3 Náčrt polygonového pořadu (vlastní tvora autora)

#### 4.1 Podmínkové vyrovnání

Polygonový pořad byl vypočten s vyrovnáním MNČ (podmínkové vyrovnání). Jedním z důvodů tohoto postupu je určení mezních odchylek, které vyplývají z přesnosti měření a tvaru polygonového pořadu. Vstupem pro vyrovnání je soubor měřených hodnot ( $L$ ) a směrodatné odchylky úhlů a délek. Počet formulovaných matematických podmínek se rovná počtu nadbytečných měření ( $n$ ) a tyto podmínky musí být vzájemně nezávislé. Po vyrovnání naměřených hodnot jsou splněny tyto matematické podmínky, které vycházejí z geometrie sítě.

Obecný nelineární matematický model má podobu:

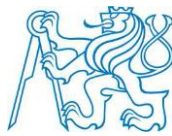
$$F(\bar{L}) = 0,$$

kde  $\bar{L} = L + \varepsilon_L$  je vektor skutečných hodnot měřených prvků,  $L$  je vektor naměřených hodnot a  $\varepsilon_L$  je vektor skutečných chyb měřených prvků, které mají charakter náhodných chyb.

Jelikož geometrické podmínky nejsou splněny (měření jsou zatíženy chybami), dostáváme uzávěry

$$u = F(L).$$

Požadavek na vyrovnané měření je takový, aby byly splněny podmínkové rovnice, tedy



$$\mathbf{F}(\hat{\mathbf{L}}) = \mathbf{F}(\mathbf{L} + \mathbf{v}) = \mathbf{0}, \quad (1)$$

po linearizaci

$$\frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{L})}{\partial \mathbf{L}} \mathbf{v} + \mathbf{u} = \mathbf{D}\mathbf{v} + \mathbf{u} = \mathbf{0}, \quad (2)$$

kde  $\mathbf{v}$  je vektor oprav měření a  $\mathbf{D}$  je matice parciálních derivací podle jednotlivých měřených veličin. Tato rovnice se nazývá systém přetvořených rovnic.

Pro splnění požadavku (2) a kritéria MNČ

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P}\mathbf{v} = \min$$

byl použit Lagrangeův postup hledání minima

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P}\mathbf{v} - 2 \cdot \mathbf{k}^T (\mathbf{D}\mathbf{v} + \mathbf{u}) = \min, \quad (3)$$

kde  $\mathbf{P}$  je váhová matice a  $\mathbf{k}$  je vektor neznámých Lagrangeových koeficientů, tzv. korelát.

Měření vstupující do vyrovnání mají váhu závislou na jejich přesnosti (čím větší přesnost, tím větší vliv při výpočtu). Diagonální matice  $\mathbf{P}$  má prvky

$$p_{ii} = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{L_i}^2}$$

kde  $\sigma_0$  je apriorní hodnota jednotkové směrodatné odchylky a  $\sigma_{L_i}$  je směrodatná odchylka měření  $L_i$ .

Derivací rovnice (3) dostaneme vztah

$$\mathbf{P}\mathbf{v} - \mathbf{D}^T \mathbf{k} = \mathbf{0},$$

ze kterého lze vyjádřit vektor oprav  $\mathbf{v}$

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{k}. \quad (4)$$

a dále koreláty s použitím (2) jsou

$$\mathbf{k} = -(\mathbf{D}\mathbf{P}^{-1}\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{u}.$$

Po dosazení korelát do rovnice (4) dostáváme konečnou rovnici oprav splňující podmínky uvedené výše

$$\mathbf{v} = -\mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T (\mathbf{D}\mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{u}.$$

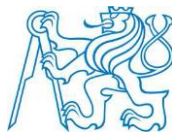
Se získanými opravami měření snadno spočítáme vyrovnané hodnoty měření

$$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{v},$$

které ve výpočtu polygonového pořadu zajišťují přesnější a jednoznačné souřadnice určených bodů.

Kontrolou vyrovnání je splnění původních podmínek.





Aposteriorní směrodatná odchylka se vypočítá podle vzorce

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n'}}$$

kde  $n'$  je počet stupňů volnosti, který se rovná počtu nadbytečných měření. [4]

## 4.2 Vyrovnání polygonového pořadu

Nejprve byl vytvořen vektor měření  $\mathbf{L} = (d_{p1}, d_{12}, \dots, d_{7k}, \omega_p, \omega_1, \dots, \omega_k)^T$ . Délky byly opraveny o fyzikální a matematické redukce a o redukce do zobrazovací roviny S-JTSK. Dalším krokem byla formulace matematických podmínek. Ty jsou následovně

$$F_1: (\sigma_{PA} - \sigma_{KB}) + \sum \omega - (k - 1) \cdot 200 = 0$$

$$F_2: \Delta X_{p,1} + \Delta X_{1,2} + \Delta X_{2,3} + \dots + \Delta X_{7,p} - (X_K - X_P) = 0$$

$$F_3: \Delta Y_{p,1} + \Delta Y_{1,2} + \Delta Y_{2,3} + \dots + \Delta Y_{7,p} - (Y_K - Y_P) = 0.$$

Souřadnicové rozdíly pro X-ové souřadnice byly vypočteny následovně

$$\Delta X_{p,1} = s_{p,1} \cdot \cos(\sigma_{PA} + \omega_p),$$

$$\Delta X_{1,2} = s_{1,2} \cdot \cos(\sigma_{PA} + \omega_p + \omega_1 - 200 \text{ gon}),$$

...

$$\Delta X_{7,k} = s_{7,k} \cdot \cos(\sigma_{PA} + \omega_p + \omega_1 + \dots + \omega_7 - (i \cdot 200 \text{ gon})),$$

analogicky pak souřadnicové rozdíly pro Y-ové souřadnice

$$\Delta Y_{p,1} = s_{p,1} \cdot \sin(\sigma_{PA} + \omega_p),$$

$$\Delta Y_{1,2} = s_{1,2} \cdot \sin(\sigma_{PA} + \omega_p + \omega_1 - 200 \text{ gon}),$$

...

$$\Delta Y_{7,k} = s_{7,k} \cdot \sin(\sigma_{PA} + \omega_p + \omega_1 + \dots + \omega_7 - (i \cdot 200 \text{ gon})).$$

Následoval výpočet uzávěrů, nejprve uzávěr úhlový

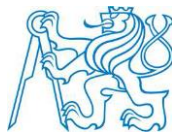
$$u_1 = (\sigma_{PA} - \sigma_{KB}) + \sum \omega - (k - 1)200 = -0,0138 \text{ gon}$$

kde  $\sigma_{PA} - \sigma_{KB}$  je rozdíl směrniců na bodech 233 a 234,  $\sum \omega$  je součet úhlů na jednotlivých bodech polygonového pořadu a  $k$  je počet bodů polygonového pořadu.

Dále uzávěry souřadnicových rozdílů

$$u_2 = (X_{234} - X_{233}) - \sum \Delta X_{i,i+1} = 0,065 \text{ m},$$

$$u_3 = (Y_{234} - Y_{233}) - \sum \Delta Y_{i,i+1} = -0,105 \text{ m},$$



kde  $\sum \Delta x_{i,i+1}$  a  $\sum \Delta y_{i,i+1}$  jsou součty souřadnicových rozdílů. Polohová odchylka  $u_p = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} = 0,12 \text{ m}$ . Podle tab. 2 byla vypočtena mezní polohová odchylka 0,220 cm a mezní úhlová odchylka 30,0 mgon. Dosažené odchylky nepřekračují tyto mezní odchylky.

Parciálními derivacemi těchto podmínek podle jednotlivých prvků vektoru  $\mathbf{L}$  byla vytvořena matice  $\mathbf{D}$  ( $3 \times 17$ )

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ \cos \alpha_{P,1} & \dots & \cos \alpha_{7,K} & -\Delta Y_{P,K} & -\Delta Y_{1,K} & \dots & -\Delta Y_{7,K} & 0 \\ \sin \alpha_{P,1} & \dots & \sin \alpha_{7,K} & \Delta X_{P,K} & \Delta X_{1,K} & \dots & \Delta X_{7,K} & 0 \end{pmatrix}$$

Váhová matice  $\mathbf{P}$  ( $17 \times 17$ ) je diagonální matice. Na diagonále byly dosazeny váhy měření. Pro délky  $\sigma_d = 2 \text{ mm}$  a pro úhly  $\sigma_\omega = 1,0 \cdot \sqrt{2} [\text{mgon}]$  (přesnost měření směru  $\sigma_{HZ} = 1,0 \text{ mgon}$ ). Apriorní hodnota  $\sigma_0 = 1$ . Ve výpočtu jsou použité jednotky metry a radiány.

$$p_i \sigma_i^2 = \sigma_0^2 \rightarrow p_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$$

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_d^2} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_\omega^2} \end{pmatrix}$$

Byl vypočítán vektor oprav  $\mathbf{v}$

$$\mathbf{v} = (v_{d_{P,1}}, v_{d_{1,2}}, \dots, v_{d_{7,K}}, v_{\omega_P}, v_{\omega_2}, \dots, v_{\omega_K})^T.$$

Tyto opravy byly připočteny k vektoru měření  $\mathbf{L}$ , čímž vznikl vektor vyrovnaných měření  $\hat{\mathbf{L}}$ . Z těch pak byly vypočteny vyrovnané souřadnice bodů polygonového pořadu. Byly splněny původní podmínkové rovnice.

Byla vypočtena empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové

$$\sigma_0' = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n'}} = 2,207.$$

Tato hodnota byla podrobena testu pro riziko  $\alpha = 0,05$ .

$$\mathbf{P} \left\{ \sqrt{\frac{\chi_{n'}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{n'}} \leq \frac{\sigma_0'}{\sigma_0} \leq \sqrt{\frac{\chi_{n'}^2 \left(\frac{\alpha}{2}\right)}{n'}} \right\} = 1 - \alpha,$$

kde  $\chi_{n'}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$  a  $\chi_{n'}^2 \left(\frac{\alpha}{2}\right)$  jsou kritické hodnoty  $\chi^2$  rozdělení.

$$\mathbf{P}\{0,268 \leq 2,207 \leq 1,765\} \rightarrow \text{neplatí}$$



Tento výsledek je zřejmě způsoben vlivem chyb v podkladu (připojovací a orientační body), který nebyl do výpočtu zahrnut.

Kovarianční matice uzávěru s použitím  $\sigma_0'$  je

$$\Sigma_u = \sigma_0'^2 \mathbf{D} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T = \sigma_0'^2 \mathbf{Q}_u.$$

Z této kovarianční matice uzávěru byly odvozeny mezní odchylky pro jednotlivé uzávěry. Koeficient spolehlivosti  $t = 2$ . Mezní odchylka pro úhlový uzávěr

$$\delta_{u_\omega} = t \sigma_0' \sqrt{Q_u(1,1)} = 0,0187 \text{ gon}$$

a pro souřadnicové uzávěry

$$\delta_{u_x} = t \sigma_0' \sqrt{Q_u(2,2)} = 0,096 \text{ m},$$

$$\delta_{u_y} = t \sigma_0' \sqrt{Q_u(3,3)} = 0,171 \text{ m}.$$

V tabulce 3 jsou uvedeny souřadnice vypočtenými různými způsoby.

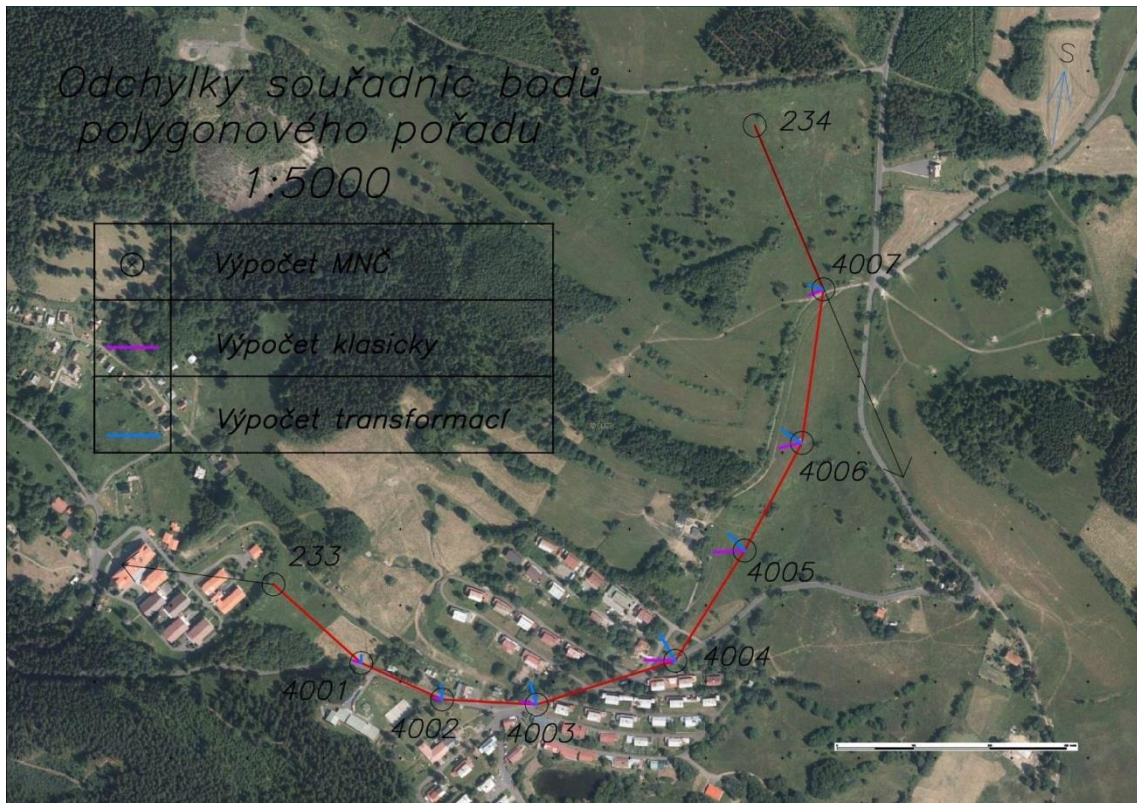
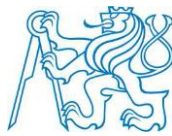
Tab. 3 Porovnání souřadnic

<b>bod</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>způsob výpočtu</b>
4001	997475,408	846450,833	a)
	997475,406	846450,840	b)
	997475,396	846450,833	c)
4002	997523,239	846345,099	a)
	997523,236	846345,113	b)
	997523,218	846345,101	c)
4003	997529,808	846221,542	a)
	997529,804	846221,564	b)
	997529,780	846221,550	c)
4004	997472,641	846040,015	a)
	997472,640	846040,050	b)
	997472,610	846040,033	c)
4005	997328,242	845949,310	a)
	997328,244	845949,346	b)
	997328,217	845949,334	c)
4006	997187,167	845874,350	a)
	997187,174	845874,382	b)
	997187,151	845874,375	c)
4007	996985,976	845846,267	a)
	996985,984	845846,286	b)
	996985,970	845846,287	c)

kde výpočet

- a) s vyrovnáním MNČ
- b) klasicky
- c) transformací

V obrázku jsou odchylky zvětšeny tisíckrát ve směru vychýlení.



Obr. 4 Odchytky souřadnic bodů polygonového pořadu (vlastní tvorba autora)

### 4.3 Přesnost souřadnic bodů polygonového pořadu

Po vyrovnání polygonového pořadu byly vypočteny směrodatné odchytky vyrovnaných měření a střední elipsy chyb. Souřadnice připojovacích bodů jsou považovány za bezchybné. K výpočtu bylo potřeba nejprve vypočítat matici parciálních derivací X-ových funkcí

$$\hat{X}_{i+1} = X_P + \hat{d}_{P,1} \cos(\sigma_{PA} + \hat{\omega}_P) + \dots + \hat{d}_{i-1,i} \cos(\sigma_{PA} + \sum_{j=1}^{i-1} (\hat{\omega}_j) - 200 \cdot (i - 1))$$

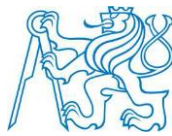
a Y-ových funkcí

$$\hat{Y}_{i+1} = Y_P + \hat{d}_{P,1} \sin(\sigma_{PA} + \hat{\omega}_P) + \dots + \hat{d}_{i-1,i} \sin(\sigma_{PA} + \sum_{j=1}^{i-1} (\hat{\omega}_j) - 200 \cdot (i - 1))$$

podle jednotlivých prvků vektoru  $\hat{L}$  vyrovnaných měření. Tato matice  $F$  má rozměr  $(2k - 4) \times (2k - 1)$  a její členy vypadají takto

$$F = \frac{\partial X_{i+1}}{\partial \hat{L}_i}(\hat{L}) \quad \text{pro liché řádky matice,}$$

$$F = \frac{\partial Y_{i+1}}{\partial \hat{L}_i}(\hat{L}) \quad \text{pro sudé řádky matice.}$$



Kovarianční matice souřadnic určených bodů polygonového pořadu

$$\Sigma_x = \sigma_0'^2 \mathbf{F} \mathbf{Q}_L \mathbf{F}^T,$$

kde matice váhových koeficientů vyrovnaných měření  $\mathbf{Q}_L = \mathbf{K} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{K}^T$  a modelová matice  $\mathbf{K} = \mathbf{E} - \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T (\mathbf{D} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{D}$ , kde  $\mathbf{E}$  je jednotková matice.

Kovarianční matice pro každý bod je submatice  $2 \times 2$  podél hlavní diagonály

$$\Sigma_{x_i} = \begin{pmatrix} \sigma_{X_i}^2 & Cov_{XY_i} \\ Cov_{XY_i} & \sigma_{Y_i}^2 \end{pmatrix}.$$

Nyní lze vypočítat souřadnicovou směrodatnou odchylku bodu

$$\sigma_{XY_i} = \sqrt{\frac{\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{Y_i}^2}{2}}.$$

Parametry elips chyb bodů se vypočítají z vlastních čísel  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  kovarianční matice  $\Sigma_{x_i}$  podle vzorců  $a = \sqrt{\lambda_1}$  (hlavní poloosa) a  $b = \sqrt{\lambda_2}$  (vedlejší poloosa), kde platí  $\lambda_1 > \lambda_2$ . [4]

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + c}{2} = \sigma_{XY}^2 + \frac{c}{2}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - c}{2} = \sigma_{XY}^2 - \frac{c}{2}$$

$$c = \sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2 + 4 \cdot Cov_{XY}^2}$$

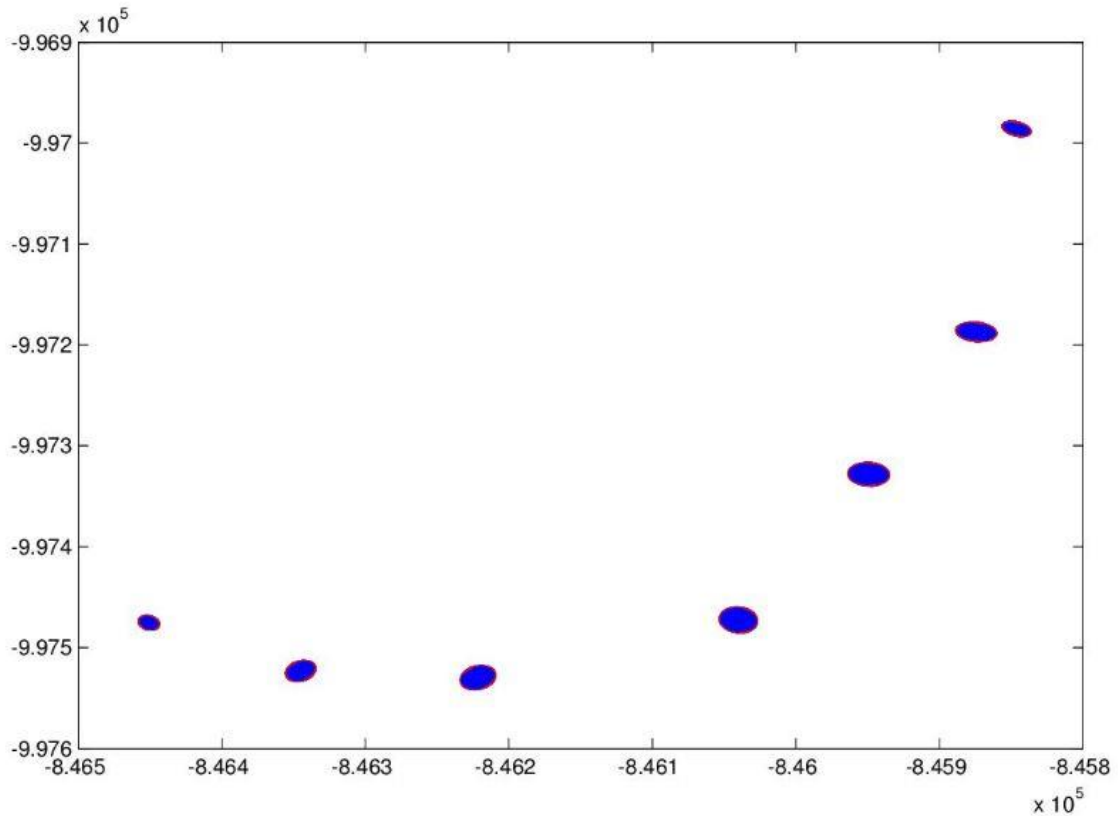
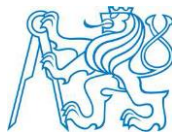
Směrníky  $\alpha$  hlavních poloos elips chyb byly vypočteny podle vzorce

$$tg(2\alpha) = \frac{2 \cdot Cov_{XY}}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2} \rightarrow \alpha = 0,5 \cdot arctg \frac{2 \cdot Cov_{XY}}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2}.$$

Elipsy chyb byly vykresleny v programu MATLAB. Parametry  $a$  a  $b$  byly zvětšeny 1500krát. Z obrázku lze vidět, že přesnost souřadnic je na krajních bodech polygonového pořadu větší než ve středu.

Tab. 4 Parametry chybových elips

bod	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$\alpha$ [gon]
4001	5,4	4,4	152,7373
4002	7,8	6,1	48,6822
4003	9,0	7,3	45,9200
4004	9,1	8,3	166,3230
4005	9,8	7,6	193,1410
4006	9,6	6,2	188,1721
4007	7,2	4,3	173,4984



Obr. 5 Elipsy chyb (vlastní tvorba autora)

#### 4.4 Výškové vyrovnání polygonového pořadu s připojením na nivelační body

Tvar podmínková rovnice je lineární

$$\hat{h}_{108,3} + \hat{h}_{3,4} + \hat{h}_{4,5} + \hat{h}_{5,6} + \hat{h}_{6,113} = 0, \quad (5)$$

kde  $\hat{h}$  jsou vyrovnaná převýšení.

Jednotlivá převýšení v (5) se počítají podle vzorce

$$h_{i,i+1} = s_{d_{i,i+1}} \cdot \sin\left(\frac{z_{tam} - z_{zpět}}{2}\right), \quad (6)$$

kde  $s_d$  jsou šikmé délky a  $z$  jsou zenitové úhly.

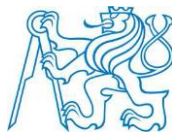
Na stanovisku je výška přístroje a výška hranolu stejná, proto lze použít vzorec (6) v této podobě. V podmínkové rovnici (5) se převýšení vztahují ke středu přístroje a odrazných hranolů (nebyla zavedena výška přístroje a výška hranolu).

Připojení bylo provedeno na nivelační body PNS-KV.

Byl vypočítán výškový uzávěr podle vzorce

$$u_h = h_{108,3}^m + h_{3,4}^m + h_{4,5}^m + h_{5,6}^m + h_{6,113}^m - (H_{113} - H_{108}) = 0,0024 \text{ m}$$





Mezní uzávěr je

$$\delta_h = 40 \cdot \sqrt{\sum s_d^2 [km]} + 15 [mm] = 30 mm$$

Váhy jednotlivých měřených převýšení jsou

$$p_i = \frac{1}{s_{d_i}^2 [km]}$$

Opravy  $v_i$  byly vypočteny podle vzorce

$$v_i = \frac{-q_i}{\sum q} u_h,$$

kde  $q_i = \frac{1}{p_i}$ . Výšková odchylka se rozděluje podle MNC na jednotlivá převýšení úměrně jejich reciprokým vahám.

Opravy byly připočteny k měřeným převýšením  $h^m$ . Z vyrovnaných převýšení byly určeny vyrovnané nadmořské výšky bodů polygonového pořadu

$$H_i = H_{i-1} + \hat{h}_{i-1,i} + h_{str_{i-1}} - h_{str_i},$$

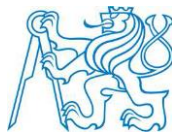
kde  $h_{str}$  je výška přístroje na stanoviskách.

Tab. 5 Hodnoty výškového vyrovnání polygonového pořadu

Strana polygonového pořadu	h [m]	p	q	v [m]	$\hat{h}$ [m]
108 - 4003	2,633	420,017	0,0024	-0,00004	2,633
4003 - 4004	11,141	27,502	0,0364	-0,0006	11,140
4004 - 4005	21,003	33,860	0,0295	-0,0005	21,002
4005 - 4006	21,027	38,498	0,0260	-0,0004	21,026
4006 - 4007	15,763	24,076	0,0415	-0,0007	15,762
4007 - 113	1,637	71,965	0,0139	-0,0002	1,636
$\Sigma$	73,204	615,918	0,1497	-0,0025	73,201

Tab. 6 Vyrovnané nadmořské výšky bodů polygonového pořadu

Bod	H [m]
4003	842,234
4004	853,686
4005	874,577
4006	895,552
4007	911,346



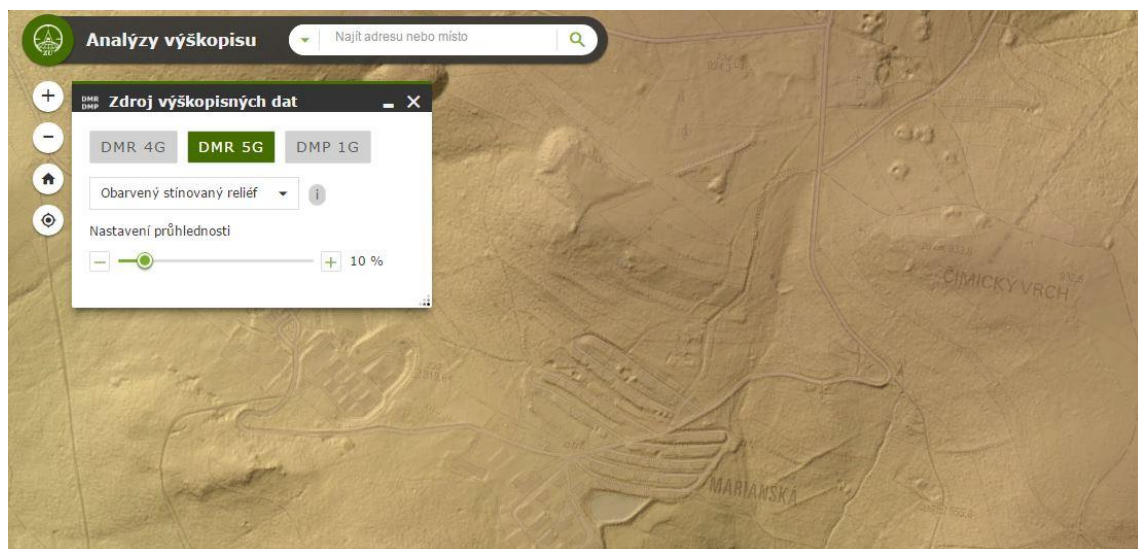
## 5 Digitální model reliéfu 5. generace

V současné době se využívají 3 hlavní zdroje výškopisných dat – DMR 4G, DMR 5G a digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G). DMR 4G zobrazuje přirozený nebo lidskou činností upravený povrch území ČR bez budov a rostlinného pokryvu (reliéf) a je tvořen pravidelnou sítí 5x5 metrů. DMR 5G také zobrazuje reliéf ČR, ale je tvořen nepravidelnou trojúhelníkovou sítí (TIN - Triangulated Irregular Network), což mu umožňuje lépe reprezentovat reálnou podobu povrchu. Digitální model povrchu 1. generace zobrazuje povrch území ČR s budovami a rostlinným pokryvem a je také tvořen nepravidelnou sítí.

Všechny tyto modely (DMR 4G, DMR 5G i DMP 1G) jsou výstupem z leteckého laserového skenování ČR, které probíhalo v letech 2009 až 2013. Data byla přefiltrována podle potřeby jednotlivých map, byly vymazány nežádoucí skupiny bodů jako střechy domů, koruny stromů atd. Jsou určeny především k analýzám terénních poměrů pro plánování a projektování pozemkových úprav, vodohospodářských, dopravních a pozemních staveb apod. DMR 5G je navíc využíván jako zdrojová databáze pro tvorbu vrstevnic map velkých měřítek a vysoce podrobné počítačové vizualizace výškopisu, zatímco DMP 1G slouží lokálně i k modelování různých jevů (šíření škodlivých látek, šíření radiových vln).

Jak už bylo řečeno, DMR 5G zobrazuje reliéf ČR a je tvořen sítí (TIN). Body sítě mají souřadnice X, Y, H, kde X a Y jsou souřadnice bodů v S-JTSK (Krovak East North) a H výšky bodů v systému Balt po vyrovnání (Bpv). Úplná střední chyba výšky podle zeměměřického úřadu je udávána 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v terénu zalesněném. Tato data jsou nejpřesnějšími dostupnými výškopisnými daty v ČR.

Od roku 2013 je DMR 5G průběžně aktualizován Zeměměřickým úřadem v návaznosti na aktualizaci dat ZABAGED metodou digitální stereografie a metodou laserového skenování. Model lze zdarma využít online na internetovém portálu ČÚZK. [5]

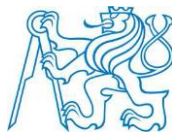


Obr. 6 Ukázka DMR 5G z geoportálu ČÚZK

## 6 Zpracování dat v programu ATLAS DMT

Po získání dat 5G a výpočtu polygonového pořadu následovala tvorba digitálního modelu terénu. Modely byly vytvořeny v programu Atlas DMT 16.11.2.





## 6.1 Atlas DMT

Program Atlas DMT slouží k tvorbě, komplexním editacím digitálních modelů terénů a tvorbou výstupů nad těmito modely. Jeho použití je ovšem širší.

Pro tvorbu modelů je nutno nejprve založit tzv. dokument (s příponou **\*.a4d**). V menu *Soubor* zvolíme možnost *Nový*. Nový dokument lze založit i podle již dříve hotového vzoru. Tento dokument obsahuje jednotlivé listy, do kterých lze vkládat grafické objekty. V listech jsou grafické objekty spravovány v rámci jedné stromové struktury. První *list* se založí s vytvořením nového dokumentu, počet listů pro jeden dokument není omezen. Pro každý list je možné mít otevřeno libovolný počet oken.[6]

### 6.1.1 Souřadné soustavy

Specifickým rysem pro Atlas DMT je způsob zacházení se souřadnými soustavami, ve kterých jsou objekty konstruovány a zobrazovány. Každý tzv. *hlavní objekt* určuje souřadné soustavy všech svých podobjektů. Pro jednoduché objekty jde především o posun počátku souřadné soustavy, který je zpravidla umístěn do referenčního bodu objektu. Tím je některý z důležitých bodů objektu, např. u kružnice je to její střed. Složitější značky se k sobě dají fixovat tak, že lze posouvat celou značku, protože počátek soustavy se posouvá s referenčním bodem.

Program podporuje práci ve dvou souřadných soustavách pod jedním objektem. To umožňuje konstruovat vlastní zobrazení reálných objektů i jejich popisovou část zároveň. Tuto možnost nám poskytují objekty *půdorys* a *sestava řezů*. Tyto objekty umožňují pro své podobjekty *modelovou* a *výkresovou soustavu*, sami jsou v soustavě výkresové. Díky tomu lze v jednom listu dokumentu vytvořit např. výkres s několika sestavami řezů vedle půdorysných zobrazení, tyto objekty lze bez omezení přesouvat, kopírovat celé podstromy do jiných výkresů a zde je opět libovolně editovat v odpovídajících souřadných soustavách.

List dokumentu zavádí souřadnou soustavu výkresového typu, která má počátek v levém dolním rohu listu, osa x je vodorovná a kladná poloosa směřuje doprava, osa y je svislá a kladná poloosa směřuje nahoru (kartézský systém souřadnic). Jednotkami jsou milimetry. Z hlediska souřadných soustav rozlišujeme tyto objekty:

- a) Objekty zavádějící modelovou soustavu (půdorys, sestava řezů)

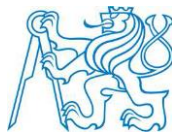
Ty svým podobjektům umožňují výkresovou i modelovou soustavu. Lze k nim připojit objekty modelového i výkresového typu.

- b) Objekty výkresové (kružnice, úsečka atd.)
- c) Objekty modelové

Vkládají se pod modelové objekty (nebo objekty zavádějící modelovou soustavu). Tyto objekty určují pro své podobjekty modelovou i výkresovou soustavu se společným počátkem, který je určen souřadnicemi v modelové soustavě objektu, ke kterému je připojen.

- d) Zvláštní objekty (pro programové nadstavby)

Objekty mají své vlastnosti. Jedná se o vlastnosti určující barvu, styl a tloušťku čáry objektu, barvu vzoru a pozadí výplně a typ vzoru výplně. Pro každý objekt lze nastavit samostatně hodnotu u každé z těchto šesti vlastností. Tyto vlastnosti lze převzít z objektu, ke kterému je připojen (od tzv. předka) nebo z vlastností hladiny, ke které patří. [6]



## 6.2 DMT

Objekt digitálního modelu terénu slouží ke grafickému zobrazení a k editaci digitálního modelu terénu. Je vždy podobjektem půdorysu, který definuje zobrazený výřez, měřítko a umístění na lisu dokumentu. Obsahuje název modelu a způsob zobrazení jeho prvků, zatímco vlastní data, která určují tvar terénu, zůstávají uložena mimo dokument v souborech s příponami .bod, .hrn., .trj., .rbo, .bpr. Lze vytvářet trojúhelníkové, bodové a rastrové modely. [6]

### 6.2.1 Bodové modely

Jsou užitečné pro velké množství dat, jelikož dokáží rychle zobrazovat bodový soubor .bod (jeden soubor trojúhelníkového modelu) jako plochu s možností nastavení stínování, hypsometrie atd. Toto zobrazení je pouze náhledové, slouží především pro dobrou orientaci v datech, protože je při interpolaci odlehklých bodů brán ohled především na rychlost. [6]

### 6.2.2 Rastrové modely

Rastrový model je uložen v souboru s příponou .rgb, který obsahuje pouze výškové souřadnice a v souboru s příponou .gri, který definuje souřadnice počátku modelu a rozteč bodů ve směru x a y. Lze zobrazovat plošným způsobem i 3D-pohledem.

Pro vložení digitálního modelu terénu do výkresu je potřeba nejprve model terénu vygenerovat (*DMT -> Operace s modelem -> Generace modelu terénu*). Pak je možno vložit model. Model je možné vložit buď s půdorysem (*DMT -> Vložit model terénu -> Založit i s půdorysem*) nebo ho vložit do již existujícího půdorysu (*DMT -> Vložit model terénu -> Do existujícího půdorysu*). Atlas DMT umožňuje také snadné vytvoření modelu terénu z dat ZABAGED pro vstupní soubory DXF a DGN. [6]

### 6.2.3 Vlastnosti modelu terénu

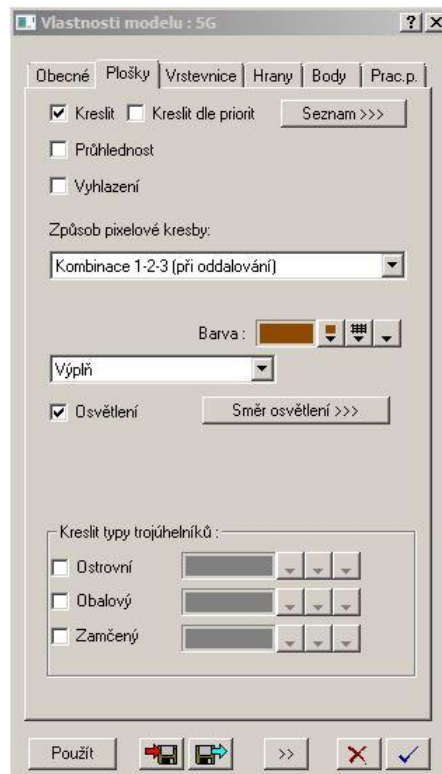
Digitální model terénu má kromě obecných vlastností ještě následující vlastnosti, jejichž zobrazení lze upravovat – plošky, vrstevnice, hrany, body a pracovní popis bodů. [6]

#### 6.2.3.1 Plošky

Jedná se o výplň trojúhelníkové sítě DMT, které tvoří dojem prostorového vjemu. Tyto plošky se dají vybarvit třemi způsoby:

- Hypsometrie – znázornění výšky barvou. Intervaly mezi barevnými přechody lze nastavit podle potřeby, dělí se na hypsometrii s plynulými přechody a s ostrými přechody.
- Osvětlení – zbarvení podle sklonu terénu a orientaci vzhledem ke zvolenému úhlu osvětlení.
- Grafická výplň – každý trojúhelník je vybarven zvolenou barvou nebo vyšrafován podle vzoru.

Dále se zde nastavuje způsob pixelové kresby a to po trojúhelnících, po pixelech (dle trojúhelníků nebo dle bodů) nebo kombinací. [6]



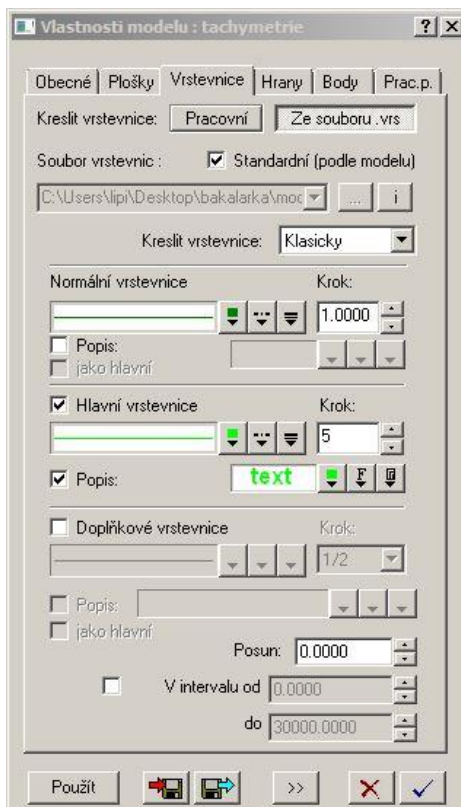
Obr. 7 Dialogové okno pro vlastnosti plošek DMT (vlastní tvorba autora)

### 6.2.3.2 Vrstevnice

Vrstevnice lze zapnout ve dvou režimech. Jedním jsou pracovní vrstevnice, druhým jsou přesně spočítané vrstevnice, které je potřeba nejprve vygenerovat (soubor **.vrs**), než mohou být zobrazeny. Vrstevnice se dělí následovně:

- Normální vrstevnice – každá vrstevnice zobrazována podle zvoleného kroku v jednotkách výšky terénu.
- Hlavní vrstevnice – je každá  $n$ -tá vrstevnice podle zvoleného  $n$ .
- Doplňková vrstevnice – používají se pouze v oblastech s malým sklonem (lokálně). Opět jsou vypočteny podle zvoleného kroku.

Popis vrstevnic je tvořen samostatnými objekty připojenými k objektu modelu. Popisy lze snadno přesouvat nebo mazat. Popisy vrstevnic lze vkládat jednotlivě nebo hromadně (u této možnosti lze nastavit počet popisů na jednotlivých druzích vrstevnic). Do modelu lze vkládat i oblasti bez vrstevnic. [6]

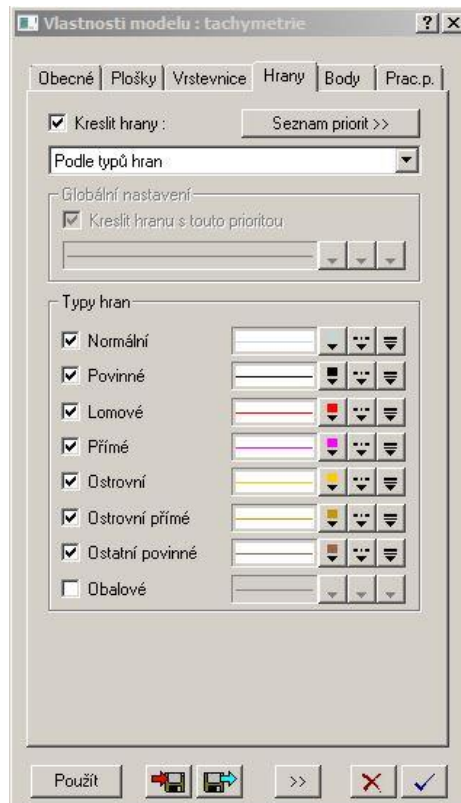
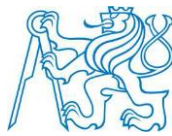


Obr. 8 Dialogové okno pro vlastnosti vrstevnic DMT (vlastní tvorba autora)

### 6.2.3.3 Hrany

Hrany jsou spojnice trojúhelníkové sítě digitálního modelu. Dělí se na několik druhů:

- Normální – jedná se o hrany vytvořené programem, jsou platné (neboli nejsou obalové) a nemají další zvláštní vlastnosti.
- Povinné – jedná se o hrany, které musí při optimalizaci zůstat nezměněny. V podélném i v příčném směru má model přes tuto hranu hladký průběh, tj. vrstevnice nemají přes tuto hranu ostrý přechod. Jsou používány pro hlavní kosterní čáry (údolnice, hřbetnice). Všechny další druhy hran jsou zároveň povinnými hranami.
- Lomové – jsou povinné hrany, které v podélném směru zachovávají hladký průběh modelu, v příčném ale nikoliv. V tomto směru je přechod přes hranu ostrý. Používá se na vytvoření hran komunikací, os silnic, ostrých hran příkopů atp.
- Přímé – jsou povinné hrany, u kterých dochází v příčném i podélném směru k odstranění vlivu vyhlazení. Jde o pouhé přímé prostorové spojení konkrétních bodů modelu. Používá se u břehových čar, obvodů budov, betonových útvarů atp.
- Ostrovní – jsou hrany, které ohraničenou oblast vyřadí z modelu, tak že v této oblasti neprobíhají další výpočty ani není vybarvena ploškami.
- Obalové – ohraničují okrajové oblasti, kde už není model vyhodnocován, jsou v modelu pouze kvůli požadavku konvexnosti. [6]

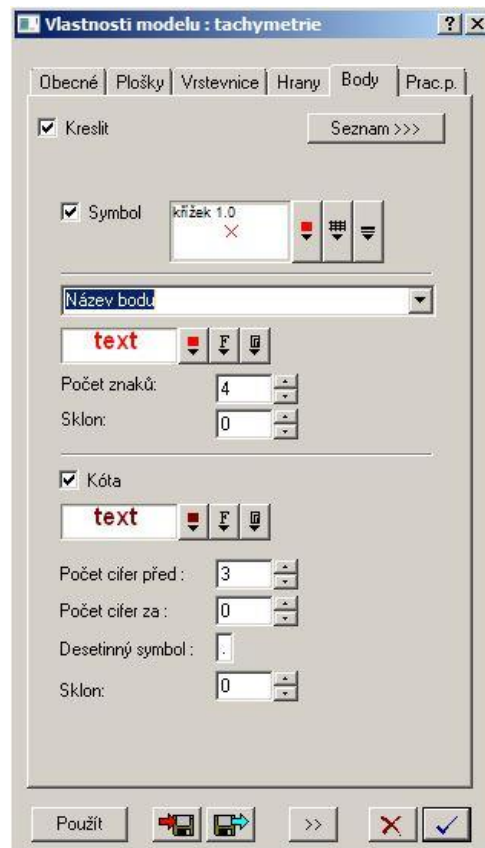


Obr. 9 Dialogové okno pro vlastnosti hran DMT (vlastní tvorba autora)

#### 6.2.3.4 Body

Body lze v modelu vykreslit třemi prvky – symbolem, názvem a výškou. U symbolu lze nastavit tvar, tloušťku a barvu značky, kterou bude bod vykreslen. U názvu bodu lze nastavit font, barvu, výšku atd. Lze také vybrat, které informace o bodu budou zobrazeny. Výšky bodů mají své vlastní nastavení.

Popisy bodů lze vytvořit hromadně pro celý rám půdorysu (*DMT -> Popis bodů -> Vložit popisy názvů bodů hromadně*) nebo jednotlivě pro každý bod zvlášť. S každým názvem bodu lze samostatně pohybovat. Obdobně lze vygenerovat hromadně výšky bodů. [6]



Obr. 10 Dialogové okno pro vlastnosti bodů DMT (vlastní tvorba autora)

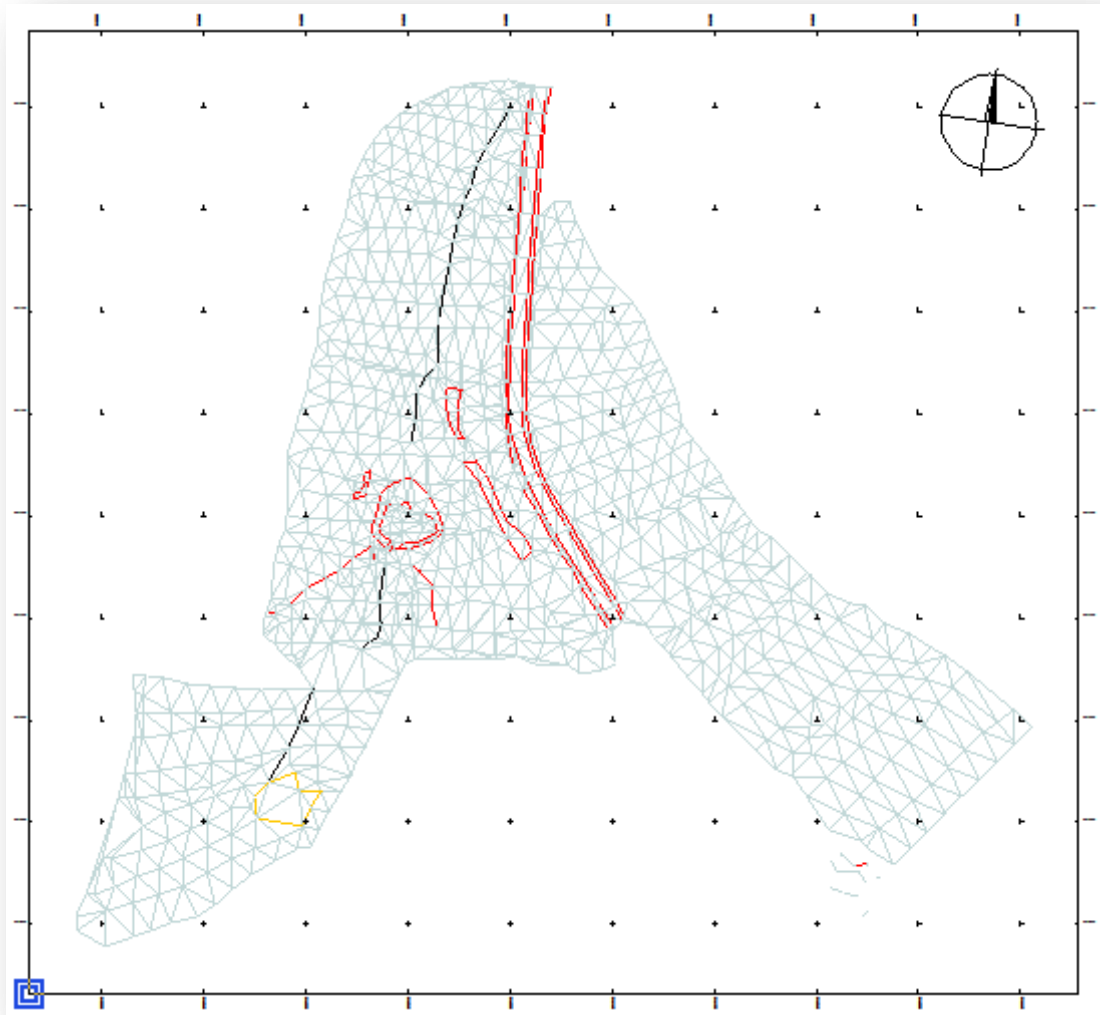
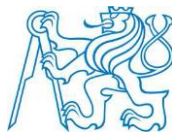
## 6.3 Zpracování dat

Nejprve byl založen nový dokument. Poté byla nahrána data z tachymetrického měření, která byla shromážděna v jediném souboru v této podobě – číslo bodu, souřadnice Y, souřadnice X, souřadnice H (dohromady 997 bodů). Byl vytvořen digitální model z těchto bodů a byl vložen do listu s novým půdorysem.

### 6.3.1 Tvorba hran a další zpracování

Dalším krokem byla tvorba hran. Byly vytvořeny lomové hrany, např. silnice procházející měřenou lokalitou a meze (červená barva). Povinné hrany byly v modelu použity pouze pro kresbu údolnice (černá barva). Nakonec byla menší oblast vyjmuta ostrovní hranou z důvodu nepřístupnosti při měření (žlutá barva). Také byly odstraněny některé normální hrany v okrajových oblastech, kde nebyl zaměřen dostatek podrobných bodů (např. ve středu levého okraje) kvůli nepřístupnosti terénu.





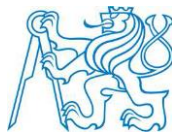
Obr. 11 Ukázka hran a TIN v M1 (vlastní tvorba autora)

Byly vypočteny a vykresleny vrstevnice. Pro názornost byly vybarveny plošky trojúhelníků hypsometrií podle nadmořské výšky.

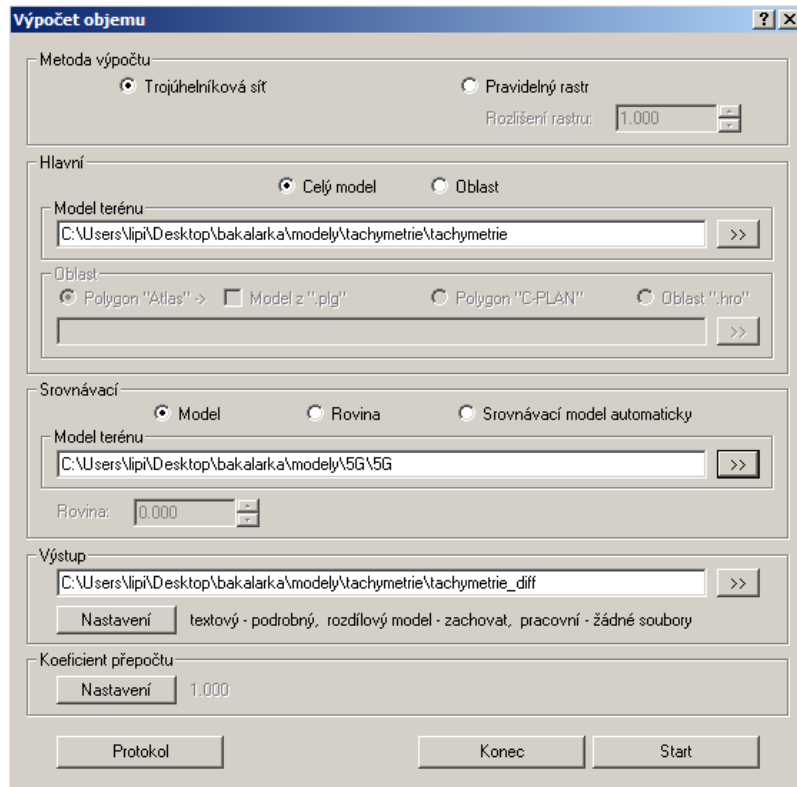
Model z dat 5G (M2) nebylo nutno po jeho vytvoření dále upravovat, protože je tvořen nepravidelnou trojúhelníkovou sítí a díky hustotě bodů dostatečně reprezentuje pokryté území. Jelikož zakoupený mapový list (Jáchymov 8-8) obsahuje data pro oblast velkou 2,5 x 2 km, tudíž tisíce bodů nepotřebné pro další výpočty, byl model pro urychlení výpočtů ořezán podle oblasti měřené tachymetrií.

### 6.3.2 Výpočet objemů

Následoval výpočet výškových rozdílů mezi modely. K tomu byla využita funkce *Výpočet objemu*. Vstupními soubory pro tuto funkci jsou 2 digitální modely terénu – hlavní (M1) a srovnávací (M2), resp. soubory \*.bod, \*.hrn, \*.trj a \*.bpr těchto modelů. Výpočet je omezen pouze na oblast zachycenou hlavním i srovnávacím modelem. Vypočtený objem tělesa ohraničeného těmito dvěma modely je součtem objemů trojbokých kolmých hranolů, jejichž objem se počítá jako násobek plochy podstavy a střední hodnoty výškových rozdílů. Podstavy těchto hranolů tvoří při zobrazení v půdorysu trojúhelníkovou sítí. Ta vznikne prolnutím trojúhelníkových sítí



obou modelů. Vypočtený objem se dělí na kladný a záporný – kladná část objemu je ta, kde terén hlavního modelu leží nad terénem modelu srovnávacího, záporná část právě naopak. Pokud je místo protnutí v prostoru, rozdělí se objemový hranol na kladnou a zápornou část. Mohou vzniknout i nulové plochy, pokud se terény obou modelů v dané části shodují. Ostrovní a obalové oblasti nejsou do výpočtu zahrnuty. [6]



Obr. 12 Dialogové okno funkce „Výpočet objemu“ z ATLAS DMR (vlastní tvorba autora)

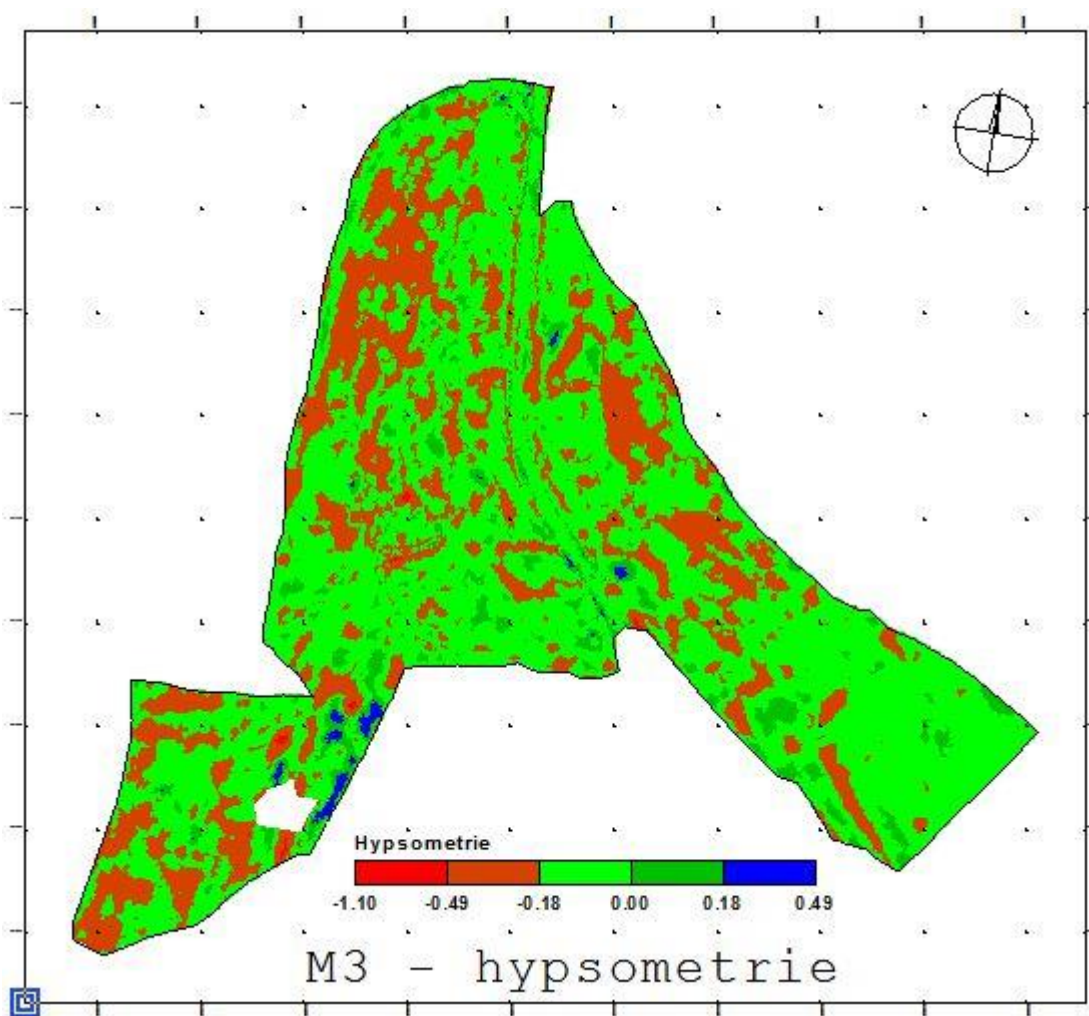
Vznikl nový model (M3), jehož souřadnice H mají hodnotu výškových rozdílů mezi oběma modely. Jelikož Zeměměřický úřad garantuje přesnost výšek dat 5G v nezalesněném terénu do 18 centimetrů, byly plošky tohoto modelu obarveny hypsometrií následovně:

	<input checked="" type="checkbox"/>	5<	0.485
	<input checked="" type="checkbox"/>	4<	0.18
	<input checked="" type="checkbox"/>	3<	0
	<input checked="" type="checkbox"/>	2<	-0.18
	<input checked="" type="checkbox"/>	1<	-0.485
			-1.1

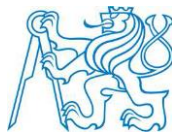
Obr. 13 Intervaly hypsometrie M3 (vlastní tvorba autora)

Hodnoty 0,485 m a -1,100 m jsou extrémy výškových rozdílů modelů M1 a M2.





Obr. 14 Model M3 obarvený hypsometrií (vlastní tvorba autora)



## 7 Závěr

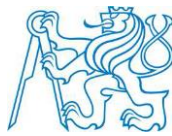
V rámci této bakalářské práce byl zpracován celý proces od rekognoskace terénu a měření polygonového pořadu po tvorbu digitálních modelů a jejich vzájemného porovnání. Výstupem jsou digitální modely terénu M1 (tachymetrie), M2 (data DMR 5G) a M3 (rozdílový model) zaměřované lokality o celkové ploše 7,1 ha. Všechny souřadnice jsou v systému S-JTSK a výšky v systému Bpv.

Měření tachymetrickou metodou je při vyšším požadavku na podrobnost (hustší síť než 20x20 metrů) pro takto velkou lokalitu časově velmi náročné. Zároveň nastává problém při měření nepřístupného terénu (soukromé pozemky) nebo terénu s vysokým porostem. V takovém terénu se velmi těžce zaměřují důležité rysy terénu jako například meze, údolnice atd. V blízkosti vysokých stromů navíc často selhává přijímač GNSS a tyto stromy zároveň omezují viditelnost totální stanice. K tachymetrické metodě se navíc váže zaměření a výpočet polygonového pořadu. Nespornou výhodou této metody je přesné zaměření důležitých terénních tvarů (údolnice, hřbetnice, prohlubně, meze) tam, kde jsou dobře rozlišitelné a také přesnost tohoto měření. Metodou tachymetrie bylo zaměřeno 997 podrobných bodů (kombinace měření totální stanicí a GNSS přijímačem). V průměru tedy vychází 1 bod na 100 m<sup>2</sup>, body tvoří síť o hustotě 10x10 metrů. Při vztahném měřítku 1 : 500 jsou od sebe body vzdáleny přibližně 2 cm. To je dostatečná hustota bodů pro tvorbu digitálního modelu terénu a lze tvrdit, že bychom po zhuštění sítě nedosáhli výrazně lepších výsledků.

Letecké laserové skenování se jeví jako velmi efektivní sběr dat pro tvorbu digitálních modelů terénu především pro svou podrobnost, komplexnost i přesnost. Díky velkému množství bodů není nutné model vytvořený z dat 5G dále upravovat, což přispívá k menší časové náročnosti při zpracovávání dat. Nevýhodou je nepřítomnost měřického náčrtu, tudíž nemáme jistotu, že jsou vymodelovány důležité prvky terénu. Další nevýhodou je menší přesnost v zalesněných lokalitách. Leteckým laserovým skenováním bylo zaměřeno nepoměrně více bodů než metodou tachymetrie (pro stejné území bylo zaměřeno zhruba 12,5krát více bodů). Průměrně vychází 18 bodů na 100 m<sup>2</sup>, tzn., že jsou od sebe body vzdáleny přibližně 0,5 metru. Takovou hustotu bodů tachymetrií téměř nelze dosáhnout. Menší hustota bodů je však u tachymetrie nahrazena přesnou volbou bodů tak, aby byly terénní prvky vystiženy.

Na modelu M3 je vidět, že většina území odpovídá garantované přesnosti (zelená barva). V některých místech jsou však velmi velké výškové rozdíly mezi M1 a M2. Tato místa jsou hlavně poblíž špatně přístupného terénu, v dolní části modelu se jedná o vysokou trávu podél ohrady a menší území (skupinka stromů) dokonce musela být ostrovními hranami vyjmuta z modelu. Dalším problematickým územím je silnice, která je lemovaná vysokými smrky. V některých oblastech s většími výškovými rozdíly by pro posouzení přesnosti bylo zapotřebí většího množství podrobných bodů. Nutno zmínit také fakt, že většina terénu M3 (cca 70%) má zápornou hodnotu, to znamená, že srovnávací model M2 je z větší části nad hlavním modelem M1. Jedním z možných vysvětlení tohoto úkazu by mohla být výška porostu na louce v době leteckého laserového skenování.

Výškové rozdíly obou modelů získané z protokolu o výpočtu objemu byly zpracovány v programu Microsoft Excel. Jedná se přibližně o 45000 hodnot (většina bodů vznikla prolínáním 2 sítí – z měření a z dat 5G). Byly z nich vypočteny základní statistické údaje a vyhotoven graf rozdílů nadmořských výšek (viz níže). Extrémy z M3 a z tohoto grafu se liší, protože v M3 se nachází extrémy v místech, která byla z výpočtu objemu vyřazena (na okraji modelu nebo ostrovními hranami).



Průměr	-0,136
Maximální hodnota	0,49
Minimální hodnota	-0,76
Medián	-0,14
Směrodatná odchylka	0,11

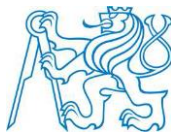


*Graf 1* Soubor hodnot výškových rozdílů M3 (vlastní tvorba autora)

Z dosažených výškových rozdílů lze tvrdit, že měření tachymetrií pro úlohy méně náročné na přesnost (pro úlohy, kde dostačuje decimetrová přesnost) lze nahradit daty 5G, například pro úlohy pozemkových úprav (přípustná délka svahu). Toto řešení by v některých případech bylo vhodnější než měření v terénu (v méně svažitéch a otevřených lokalitách).

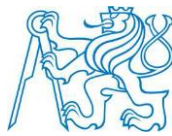
Pro úlohy náročnější na přesnost, například pro projektové účely (projektování kanalizace) bych raději volil měření v terénu. Toto řešení bych volil i pro zalesněné lokality a pro lokality s hustým porostem, kde data 5. generace nedosahují dostatečné přesnosti.

Tímto bych chtěl vřele poděkovat firmě ATLAS, spol. s r. o. za bezplatné zapůjčení softwaru Atlas DMT a za ochotu při konzultování mé práce. Další poděkování patří Zeměměřickému úřadu za zapůjčení dat DMR 5G.



## 8 Použitá literatura

- [1] Marianska.cz - Jáchymov Mariánská - Krušné hory. *Marianska.cz - Jáchymov Mariánská - Krušné hory* [online]. Copyright © 2017 [cit. 12.05.2017]. Dostupné z: <http://www.marianska.cz/>
- [2] BLAŽEK, Radim a Zdeněk SKOŘEPA. *Geodézie 3: výškopis*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04358-5.
- [3] ČÚZK - Návody ČÚZK. *ČÚZK - Úvod* [online]. Copyright © [cit. 12.05.2017]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK.aspx>
- [4] Dvořáková V. *Určení železničního bodového pole na TÚ 802 Děčín-Dolní Žleb státní hranice: diplomová práce*. Praha: České vysoké učení technické, fakulta stavební, 2015, 53 s., 14 příl.
- [5] Datové sady [online]. ČÚZK. [vid. 25.07.2016]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>
- [6] Atlas LTD - Manuály a dokumentace k programovému systému ATLAS DMT: Příručka uživatele [online]. [2006] [cit. 2009-06-01]. Dostupné z: <http://www.atlasltd.cz/manualy.html>



## Seznam obrázků

<i>Obr. 1</i> Měřená lokalita v oblasti Mariánská (vlastní tvorba autora).....	11
<i>Obr. 2</i> Polární metoda dávkou (dialog z Gromy) (vlastní tvorba autora).....	13
<i>Obr. 3</i> Náčrt polygonového pořadu (vlastní tvora autora).....	15
<i>Obr. 4</i> Odchytky souřadnic bodů polygonového pořadu (vlastní tvorba autora) .....	20
<i>Obr. 5</i> Elipsy chyb (vlastní tvorba autora) .....	22
<i>Obr. 6</i> Ukázka DMR 5G z geoportálu ČÚZK .....	24
<i>Obr. 7</i> Dialogové okno pro vlastnosti plošek DMT (vlastní tvorba autora).....	27
<i>Obr. 8</i> Dialogové okno pro vlastnosti vrstevnic DMT (vlastní tvorba autora).....	28
<i>Obr. 9</i> Dialogové okno pro vlastnosti hran DMT (vlastní tvorba autora) .....	29
<i>Obr. 10</i> Dialogové okno pro vlastnosti bodů DMT (vlastní tvorba autora) .....	30
<i>Obr. 11</i> Ukázka hran a TIN v M1 (vlastní tvorba autora) .....	31
<i>Obr. 12</i> Dialogové okno funkce „Výpočet objemu“ z ATLAS DMR (vlastní tvorba autora) .....	32
<i>Obr. 13</i> Intervaly hypsometrie M3 (vlastní tvorba autora).....	32
<i>Obr. 14</i> Model M3 obarvený hypsometrií (vlastní tvorba autora) .....	33

## Seznam příloh

### A – Tištěné přílohy

1. Měřické zápisníky
2. Redukce délek v polygonovém pořadu
3. Skript výpočtu souřadnic polygonového pořadu MNČ v programu MATLAB
4. Skript výpočtu nadmořských výšek polygonového pořadu MNČ v programu MATLAB
5. Geodetické informace o připojovacích bodech
6. Výstupy z programu Atlas DMT

### B – DVD

1. Vstupní data
  - data 5. generace
  - soubor z měření totální stanicí (.sdr)
  - vstupní soubor pro Atlas DMT (.a4d)
2. Protokoly
  - protokol z měření GNSS přijímačem (1. část)
  - protokol z měření GNSS přijímačem (2. část)
  - protokol z výpočtu souřadnic polární metody dávkou z programu Groma
3. Výstupy z Atlas DMT
  - M1 v 3D zobrazení
  - M1 zobrazený hypsometrií
  - M1 zobrazený vrstevnicemi
  - M1 zobrazený výplní plošek
  - M2 v 3D zobrazení
  - M2 zobrazený hypsometrií
  - M2 zobrazený vrstevnicemi
  - M2 zobrazený výplní plošek
  - M3 v 3D zobrazení
  - M3 zobrazený hypsometrií
  - M3 zobrazený vrstevnicemi
  - ortofoto měřené oblasti









# Příloha A-2 Redukce délek v polygonovém pořadu

Stavisko	Směr	H <sub>z</sub> [gon]	Z [gon]	Šířka děleka [m]	Strany	Směr N [gon]	Vyř. směry [gon]	Polygon delh <sub>1</sub> [m]	delta x'	oprava y	oprava x	delta y	delta x
J.606	4001	238,2567	94,7963	154,761	233-Pláševic	108,2356	108,2356						
<b>4001</b>	233	58,0000	105,2068	154,762	233-4001	346,6923	<b>346,6923</b>	-114,8796	102,8747	0,0012	0,0025	-114,8784	102,8772
J.448	4002	238,5475	96,8373	116,211	4001-4002	327,0398	<b>327,0429</b>	-105,7360	47,8274	0,0011	0,0012	-105,7349	47,8385
<b>4002</b>	4001	374,0000	103,063	116,211	4002-4003	303,3743	<b>303,3789</b>	-123,5578	6,5641	0,0002	0,0002	-123,5565	6,5642
J.568	4003	150,3345	97,7133	123,840	4003-4004	280,5693	<b>280,5754</b>	-181,3256	-57,1725	0,0019	0,0014	-181,3237	-57,1711
<b>4003</b>	4002	26,0000	102,2873	123,841	4004-4005	235,6970	<b>235,7047</b>	-90,7029	-144,4012	0,0009	0,0035	-90,7020	-144,3978
J.646	4004	263,1550	96,2793	190,885	4005-4006	231,0837	<b>231,0829</b>	-74,9255	-141,0756	0,0008	0,0034	-74,9287	-141,0722
<b>4004</b>	4003	323,0580	103,2723	190,885	4006-4007	189,8445	<b>189,8425</b>	-89,8445	-301,4939	0,0003	0,0069	-89,8445	-301,4970
J.334	4005	78,1277	92,2013	171,882	4007-244Kobrovka	174,1488	<b>174,1521</b>	89,5365	-214,5271	0,0009	0,0032	89,5374	-214,5219
<b>4005</b>	4004	1,0000	107,8010	171,884	244Kobrovka (na byt)	374,3126	<b>374,3126</b>	-629,0283	-601,1021	-0,0083	0,0221	-629,6000	-601,0800
J.446	4006	196,3867	91,6735	161,168	uhlva odchyka	0,0288		809,281258	915,6344199				
<b>4006</b>	4005	53,5430	102,2415	45,241	mezi odchyka	0,0015							
J.497	4007	166,7348	95,0735	203,801	delta								
<b>4007</b>	4006	89,0000	104,8310	203,802									
J.465	234	254,9223	96,4440	232,997									
<b>234</b>	4007	162,0000	103,5635	232,999									
J.533	Kobrovka	161,5580	-	-									

Použité konstanty  
 R [m] 0,025708  
 r [m] 0,000000  
 m, f [TK] 0,999901

	X	Y
233	997372,53	846565,71
234	996771,45	845936,11

bod	Y	X
233	846565,71	997372,53
4001	846450,8316	997476,4072
4002	846345,0966	997529,2357
4003	846221,5401	997529,8000
4004	846040,0164	997472,6289
4005	845949,3145	997328,2311
4006	845874,3558	997187,1589
4007	845846,2726	996986,9719
234	845936,1100	996771,4500

Bod	H	Redukce délek [m]
Krmelec	840,5470	
4003	842,2342	
4004	833,6860	
4005	874,5761	
4006	895,5516	
4007	911,3454	
113	913,4850	
113	<b>911,748</b>	
333	810,6976	
4001	832,8954	
4002	837,8643	
234	924,2790	

zprůměrovaná d.	f [gon]	uhlva odchyka	mezi odchyka	prům. převýšení	prům. převýšení
0,0015	154,7615	0,0015	0,0288	1,6872	1,6872
0,0012	116,2110	0,0012	0,0015	11,4526	11,4518
0,0012	123,8405	0,0012	0,0019	20,8907	20,8901
0,0019	190,6860	0,0019	161,1685	20,9761	20,9755
0,0017	171,8530	0,0017	203,8015	15,7947	15,7938
0,0016	161,1685	0,0016	232,9960	2,4029	2,4026
0,0020	203,8015	0,0020			
0,0023	232,9960	0,0023			

f [gon]	prévýšení	rozíl	Trigonometrická nůvace	prům. převýšení	prům. převýšení
4003-4004	0,0005	1,6872		1,6872	1,6872
4004-4003	0,0019	-11,4522		11,4526	11,4518
4004-4005	0,0017	20,8898		20,8907	20,8901
4005-4004	0,0016	-20,9817		20,9761	20,9755
4006-4005	0,0015	20,9807		15,7947	15,7938
4006-4007	0,0020	-15,7987		2,4029	2,4026
4007-4006	0,0020	15,7987			
4007-113	0,0012	2,4029			
Převýšení [m]			<b>73,2043</b>		
Převýšení má odchyka			<b>73,2010</b>		
mezi odchyli					

233-4001	4001-233	4001-4002	4002-4001	4002-4003	4003-4002	4003-234	234-4007
0,0015	-12,7959	-0,0039	0,0185	12,7978			
-12,7957							
5,4697	0,0016	0,0151	5,4689				
-5,4681							
4,3705	0,0012	0,0158	4,3699				
-4,3693							
-12,9201	-0,0190	0,0253	12,8336				
-12,9831							

## Příloha A-3 Skript výpočtu souřadnic polygonového pořadu MNČ v programu MATLAB

```
clc;
clear;
format longG

%% vstupní data
P233 = [846565.71, 997372.53]; % bod 233 Y,X
K234 = [845936.11, 996771.45]; % bod 234 Y,X
Plesivec = [850085.70, 996914.61]; % orientace z 233 Y,X
Kobrovka = [845267.083, 998338.548]; % orientace z 234 Y,X

ro = pi/200;
d = [154.2094 % d 233-1
116.0498 % d 1-2
123.7320 % d 2-3
190.3161 % d 3-4
170.5249 % d 4-5
159.7537 % d 5-6
203.1424 % d 6-7
232.5779]; % d 7-234

w = [238.2567 % w233
180.5475 % w1
176.3345 % w2
177.1950 % w3
155.1277 % w4
195.3867 % w5
177.7348 % w6
165.9223 % w7
399.5580]*ro; % w234

k = 9; % počet vrcholů polygonu
n = 3; % počet nadbytečných měření

smer1 = atan2(Plesivec(1)-P233(1),Plesivec(2)-P233(2)); % 233 - Plešivec
smer2 = atan2(Kobrovka(1)-K234(1),Kobrovka(2)-K234(2))+2*pi; % 234 - Klínovec

L(1:length(d),1) = d;
L(length(d)+1:length(d)+length(w),1) = w; % matice měření

%% uzávěry
w_sum = 0;
for i = 1:length(w)
    w_sum = w_sum + w(i); % součet naměřených úhlů v polygonu
end
u1 = smer1 - smer2 + w_sum - (k-1)*pi % úhlový uzávěr

smer(1) = smer1 + w(1);
for i = 2:(length(w)-1)
    smer(i) = smer(i-1) + w(i) - pi;
end

deltax_sum = 0;
for i = 1:length(d)
    deltax_sum = deltax_sum + d(i)*cos(smer(i));
end
u2 = K234(2) - P233(2) - deltax_sum % uzávěr X-ových souřadnicových rozdílů

deltay_sum = 0;
for i = 1:length(d)
    deltay_sum = deltay_sum + d(i)*sin(smer(i));
end
u3 = K234(1) - P233(1) - deltax_sum % uzávěr Y-ových souřadnicových rozdílů
u = [u1; -u2; -u3];
%% matice D
for i = 1:length(d)
    deltax(i) = d(i)*sin(smer(i));
end
dy = deltax';
for i = 1:length(d)
    deltax(i) = d(i)*cos(smer(i));
end
```



```

fi23 = smer1 + w(1) + w(2) + w(3)-400*ro;
fi34 = smer1 + w(1) + w(2) + w(3) + w(4)-600*ro;
fi45 = smer1 + w(1) + w(2) + w(3) + w(4) + w(5)-800*ro;
fi56 = smer1 + w(1) + w(2) + w(3) + w(4) + w(5) + w(6)-1000*ro;
fi67 = smer1 + w(1) + w(2) + w(3) + w(4) + w(5) + w(6) + w(7)-1200*ro;
fi7K = smer1 + w(1) + w(2) + w(3) + w(4) + w(5) + w(6) + w(7) + w(8)-1400*ro;

```

```

yP1 = dy(1);
yP2 = dy(1) + dy(2);
yP3 = dy(1) + dy(2) + dy(3);
yP4 = dy(1) + dy(2) + dy(3) + dy(4);
yP5 = dy(1) + dy(2) + dy(3) + dy(4) + dy(5);
yP6 = dy(1) + dy(2) + dy(3) + dy(4) + dy(5) + dy(6);
yP7 = dy(1) + dy(2) + dy(3) + dy(4) + dy(5) + dy(6) + dy(7);
xP1 = dx(1);
xP2 = dx(1) + dx(2);
xP3 = dx(1) + dx(2) + dx(3);
xP4 = dx(1) + dx(2) + dx(3) + dx(4);
xP5 = dx(1) + dx(2) + dx(3) + dx(4) + dx(5);
xP6 = dx(1) + dx(2) + dx(3) + dx(4) + dx(5) + dx(6);
xP7 = dx(1) + dx(2) + dx(3) + dx(4) + dx(5) + dx(6) + dx(7);
y12 = dy(2);
y13 = dy(2) + dy(3);
y14 = dy(2) + dy(3) + dy(4);
y15 = dy(2) + dy(3) + dy(4) + dy(5);
y16 = dy(2) + dy(3) + dy(4) + dy(5) + dy(6);
y17 = dy(2) + dy(3) + dy(4) + dy(5) + dy(6) + dy(7);
x12 = dx(2);
x13 = dx(2) + dx(3);
x14 = dx(2) + dx(3) + dx(4);
x15 = dx(2) + dx(3) + dx(4) + dx(5);
x16 = dx(2) + dx(3) + dx(4) + dx(5) + dx(6);
x17 = dx(2) + dx(3) + dx(4) + dx(5) + dx(6) + dx(7);
y23 = dy(3);
y24 = dy(3) + dy(4);
y25 = dy(3) + dy(4) + dy(5);
y26 = dy(3) + dy(4) + dy(5) + dy(6);
y27 = dy(3) + dy(4) + dy(5) + dy(6) + dy(7);
x23 = dx(3);
x24 = dx(3) + dx(4);
x25 = dx(3) + dx(4) + dx(5);
x26 = dx(3) + dx(4) + dx(5) + dx(6);
x27 = dx(3) + dx(4) + dx(5) + dx(6) + dx(7);
y34 = dy(4);
y35 = dy(4) + dy(5);
y36 = dy(4) + dy(5) + dy(6);
y37 = dy(4) + dy(5) + dy(6) + dy(7);
x34 = dx(4);
x35 = dx(4) + dx(5);
x36 = dx(4) + dx(5) + dx(6);
x37 = dx(4) + dx(5) + dx(6) + dx(7);
y45 = dy(5);
y46 = dy(5) + dy(6);
y47 = dy(5) + dy(6) + dy(7);
x45 = dx(5);
x46 = dx(5) + dx(6);
x47 = dx(5) + dx(6) + dx(7);
y56 = dy(6);
y57 = dy(6) + dy(7);
x56 = dx(6);
x57 = dx(6) + dx(7);
y67 = dy(7);
x67 = dx(7);

```

```

% x1 y1 x2 y2 x3 y3 x4 y4 x5 y5 x6 y6 x7 y7
F = [cos(fiP1) sin(fiP1) cos(fiP1) sin(fiP1) cos(fiP1) sin(fiP1) cos(fiP1) sin(fiP1) cos(fiP1) sin(fiP1) cos(fiP1) sin(fiP1) cos(fiP1) sin(fiP1)
0 0 cos(fi12) sin(fi12) cos(fi12) sin(fi12) cos(fi12) sin(fi12) cos(fi12) sin(fi12) cos(fi12) sin(fi12) cos(fi12) sin(fi12) cos(fi12) sin(fi12)
0 0 0 0 0 0 cos(fi23) sin(fi23) cos(fi23) sin(fi23) cos(fi23) sin(fi23) cos(fi23) sin(fi23) cos(fi23) sin(fi23) cos(fi23) sin(fi23)
0 0 0 0 0 0 cos(fi34) sin(fi34) cos(fi34) sin(fi34) cos(fi34) sin(fi34) cos(fi34) sin(fi34) cos(fi34) sin(fi34) cos(fi34) sin(fi34)
0 0 0 0 0 0 cos(fi45) sin(fi45) cos(fi45) sin(fi45) cos(fi45) sin(fi45) cos(fi45) sin(fi45) cos(fi45) sin(fi45) cos(fi45) sin(fi45)
0 0 0 0 0 0 cos(fi56) sin(fi56) cos(fi56) sin(fi56) cos(fi56) sin(fi56) cos(fi56) sin(fi56) cos(fi56) sin(fi56) cos(fi56) sin(fi56)
0 0 0 0 0 0 cos(fi67) sin(fi67) cos(fi67) sin(fi67) cos(fi67) sin(fi67) cos(fi67) sin(fi67) cos(fi67) sin(fi67)
-yP1 xP1 -yP2 xP2 -yP3 xP3 -yP4 xP4 -yP5 xP5 -yP6 xP6 -yP7 xP7
0 0 -y12 x12 -y13 x13 -y14 x14 -y15 x15 -y16 x16 -y17 x17
0 0 0 0 -y23 x23 -y24 x24 -y25 x25 -y26 x26 -y27 x27
0 0 0 0 0 0 -y34 x34 -y35 x35 -y36 x36 -y37 x37
0 0 0 0 0 0 0 0 -y45 x45 -y46 x46 -y47 x47
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -y56 x56 -y57 x57
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -y67 x67
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
F = F';

```

```

K = eye(length(F),length(F)) - inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*D;
Q_L = K*inv(P)*K';
SigmaX = (sigma0^2)*F*Q_L*F'; % kovarianční matice určených souřadnic

j = 1;
for i = 1:2:(length(SigmaX)-1)
    c(j) = sqrt((SigmaX(i,i)-SigmaX(i+1,i+1))^2+4*(SigmaX(i,i+1)^2));
    a(j) = sqrt((SigmaX(i,i)+SigmaX(i+1,i+1) + c(j))/2);
    b(j) = sqrt((SigmaX(i,i)+SigmaX(i+1,i+1) - c(j))/2);
    sigma_xy(j) = sqrt(((SigmaX(i,i)+SigmaX(i+1,i+1))/2));
    phi(j) = atan(2*(SigmaX(i,i+1)/(SigmaX(i,i)-SigmaX(i+1,i+1))));
    if phi(j) < 0
        phi(j) = phi(j)+2*pi;
    end
    phi(j) = phi(j)/2;
    j = j + 1;
end

koef = 1500;
axis equal
pdeellip(-Y_vyr(2),-X_vyr(2),a(1)*koef,b(1)*koef,phi(1))
pdeellip(-Y_vyr(3),-X_vyr(3),a(2)*koef,b(2)*koef,phi(2))
pdeellip(-Y_vyr(4),-X_vyr(4),a(3)*koef,b(3)*koef,phi(3)) %problém v X-ové souřadnici
pdeellip(-Y_vyr(5),-X_vyr(5),a(4)*koef,b(4)*koef,phi(4))
pdeellip(-Y_vyr(6),-X_vyr(6),a(5)*koef,b(5)*koef,phi(5))
pdeellip(-Y_vyr(7),-X_vyr(7),a(6)*koef,b(6)*koef,phi(6))
pdeellip(-Y_vyr(8),-X_vyr(8),a(7)*koef,b(7)*koef,phi(7))

```

## Příloha A-4 Skript výpočtu nadmořských výšek polygonového pořadu MNČ v programu MATLAB

```
clc;
clear;
format longG

ro = pi/200;
sd = [48.794 % sd Krmelec-3
190.686 % sd 3-4
171.853 % sd 4-5
161.169 % sd 5-6
203.802 % sd 6-7
117.880]; % sd 7-Krizovatka

z = [96.2793 % z 3-4
103.7223 % z 4-3
92.2013 % z 4-5
107.8010 % z 5-4
91.6735 % z 5-6
108.3325 % z 6-5
95.0735 % z 6-7
104.9310 % z 7-6
103.4375 % z 3-Krmelec
99.1160]*ro; % z 7-Krizovatka

h(1) = -sd(1)*cos(z(9)); % h Krmelec-3
for i = 1:(length(sd)-2)
h(i+1) = sd(i+1)*sin((z(i*2)-z((i*2)-1))/2);
end
h(6) = sd(6)*cos(z(10)); % h 7-Krizovatka

H_Krmelec = 840.547;
H_Krizovatka = 913.748;

delta_h = h(1)+h(2)+h(3)+h(4)+h(5)+h(6)-(H_Krizovatka-H_Krmelec)

sd_2 = 0;
for i = 1:length(sd)
sd_2 = sd_2 + (sd(i)/1000)^2;
end
u_h = 40*sqrt(sd_2)+15

sigma_z = 0.001*ro;
sigma_h0 = (10^6)*sigma_z;
sigma_h = sigma_h0*((sum(sd)/1000)^2)

for i = 1:length(sd)
p(i) = 1/((sd(i)/1000)^2);
end
q = 1./p;
v = -q*delta_h/sum(q); % opravy

h_vyr = h + v;

h_r = 0.7;
h_str = [1.646
1.334
1.446
1.497
1.465];

H4003 = H_Krmelec + h_vyr(1) - h_str(1) + h_r;
H4004 = H4003 + h_str(1) + h_vyr(2) - h_str(2);
H4005 = H4004 + h_str(2) + h_vyr(3) - h_str(3);
H4006 = H4005 + h_str(3) + h_vyr(4) - h_str(4);
H4007 = H4006 + h_str(4) + h_vyr(5) - h_str(5);
H_Krizovatka2 = H4007 + h_str(5) + h_vyr(6) - h_r;

H = [H_Krmelec;H4003;H4004;H4005;H4006;H4007;H_Krizovatka2];
```



# Příloha A-5 Geodetické informace o připojovacích bodech

## GEODETICKÉ ÚDAJE zhušťovacího bodu

Kraj: Karlovarský kraj  
Okres: Karlovy Vary  
Obec: Jáchymov

List č.: 1/1  
Stav k: 2002

Vytvořeno pro web 22.03.2017

TL	0525
ZM-50	11-21
SMO-5	030388

Číslo a název bodu		233	Nad ústavem			233	
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		φ	
233	ZHB	846565.71	997372.53	819.61	hranol		
ETRS-89		B	L	Helips	STATIC	Bod určen : metodou GPS	
233	50 21 24.3383	12 53 21.1409	865.52				
Orientace na body (v grádech) :							
Bod číslo :	Jižník	Délka strany	Bod číslo :	Jižník	Délka strany		
70405/27	108.23562	3549.651					
Místopisný popis : Bod je u příkopu, vedle plotu Ústavu sociální péče, 0.7 km SSZ od vrchu Vlčí hřbet a 1.6 km SZ od vrchu Popovská hora.							
Bod určen : 233 - GPS,							
Bod	233						
Stab. údaje	0.00	žula 16x16x70	0.00		0.00		
	.90	žula 20x20x10					
Ochranný znak: (druh,rok)	OT-1999						
Kat.území Parc.čís.	Jáchymov 4001						
Rok	Bod	233					
	Zřízení	1999 KÚ Pízeň					
	Určení YX	2002					
	Určení výšky	2002					
	[Pře]Stabilizace	1999					
Rok	Údržba	2002					
	Obnova						
Poznámka :							

GEODETICKÉ ÚDAJE  
zhušťovacího bodu

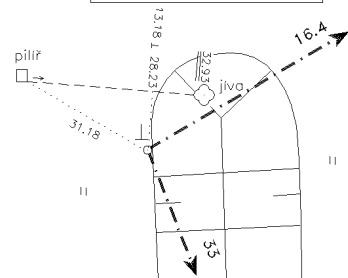
Kraj: Karlovarský kraj  
Okres: Karlovy Vary  
Obec: Jáchymov

List č.: 1/1  
Stav k: 2002

Vytvořeno pro web 22.03.2017

TL	0525
ZM-50	11-21
SMO-5	030388

Číslo a název bodu	234	Důl Rovnost II				234	II	
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		Bp	vztahuje se na	
				924.29	hranol			
ETRS-89		B	L	Helips				
234		50 21 46.7439	12 53 47.8403	970.22			STATIC	
Orientace na body (v grádech) :								
Bod číslo :	Jižník	Délka strany	Bod číslo :	Jižník	Délka strany			
16.4	270.09615	6254.071						
33	374.56503	1707.692				Bod určen : metodou GPS		



Místopisný popis : Bod je v trvalém travním porostu na svahu, 1.6 km JZ od kostela Jáchymov a 0.2 km JZ od odbočky silnice do bývalého dolu Adam.

Bod určen : 234 - GPS,

Bod	234						
Stab. údaje	0.00	žula 16x16x70	0.00		0.00		0.00
	.90	žula 20x20x10					
Ochranný znak: (druh,rok)	OT-1999						
Kat.území Parc.čís.	Jáchymov 3888/2						

--	--	--	--	--	--	--	--

Bod	234						
Organizace, rok	Zřízení	1999 KÚ Plzeň					
	Určení YX	2002					
	Určení výšky	2002					
	[Pře]Stabilizace	1999					
Rok	Údržba	2002					
	Obnova						

Poznámka :

# GEODETICKÉ ÚDAJE

trigonometrického bodu

Kraj: Karlovarský kraj  
 Okres: Karlovy Vary  
 Obec: Abertamy

List č.: 1/2  
 Stav k: 2010

Vytvořeno pro web 22.03.2017

TL	0405
ZM-50	11-21
SMO-5	030208

Číslo a název bodu		27		Plešivec, tur. rozhledna		27	
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		vzťahuje se na	ZB1
				Bpv			
27	TB	850085.70	996914.61	1053.11		vrch hromosv.	<p> <math>\alpha = 24^{\circ} 54' 38''</math>  <math>\beta = 49^{\circ} 10' 05''</math>  <math>\gamma = 5^{\circ} 47' 15''</math>  <math>\delta = 9^{\circ} 51' 33''</math> </p>
27.2	ZB2	850087.23	996938.51	1027.93		hranol	
27.4	ZB1	850043.67	996905.48	1027.43		hranol	
27.3	SV1	850073.30	996923.56	1029.73		čepová značka	
ETRS-89 27		B 50 21 21.0918	L 12 50 21.6293	Helips 1099.14		RTK	

\* Omezené využití – viz níže

Orientace na body (ve stupních)

Číslo	Jižník	Délka strany	Číslo	Jižník	Délka strany
27.2	3 39 57.8	23.944			
27.4	257 44 33.1	43.014			
27.4-27.2		54.665			

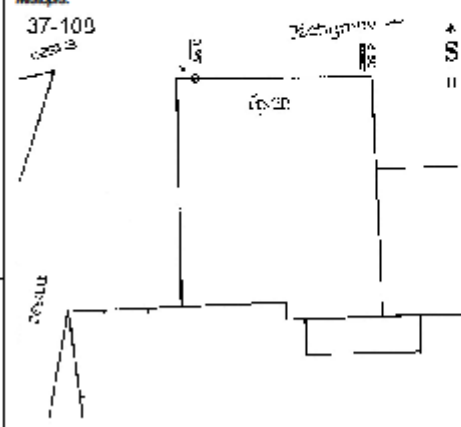
Místopisný popis: Bod je vrchol bleskosvodu věže turistické rozhledny na vrcholu Plešivce. Bod 27.1 zrušen.

Bod	27	27.2	27.4	27.3
Stab. údaje	0,00 vrch hromosvodu	0,00 žula 16.16.65	0,00 žula 20.20.75	0,00 niv.zn.typ Č.VI., 1,5m nad zemí
		.88 žula 30.30.15	.82 žula 30.30.8	
			1.03 žula 16.16.4	
Označ. povrch, značky na boku:				
Ochranný znak (druh, rok):		OT-2000	OT-2000, OSK-2000	
Kot. území, Prac.čís. Druh poz.:	Abertamy st.700	Abertamy 1999/2	Abertamy 2013/8	Abertamy 1999/2

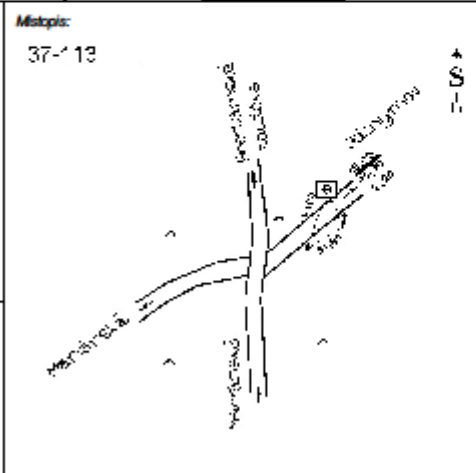
27.4-bez OT. Zjištěno martin.sobotka@cuzk.cz 2015.

Druh a výška signal. stavby nebo nárys trvalého cíle: Signalizace z roku: .....	27 	Poznámky:
--	--------	-----------

# NIVELAČNÍ ÚDAJE

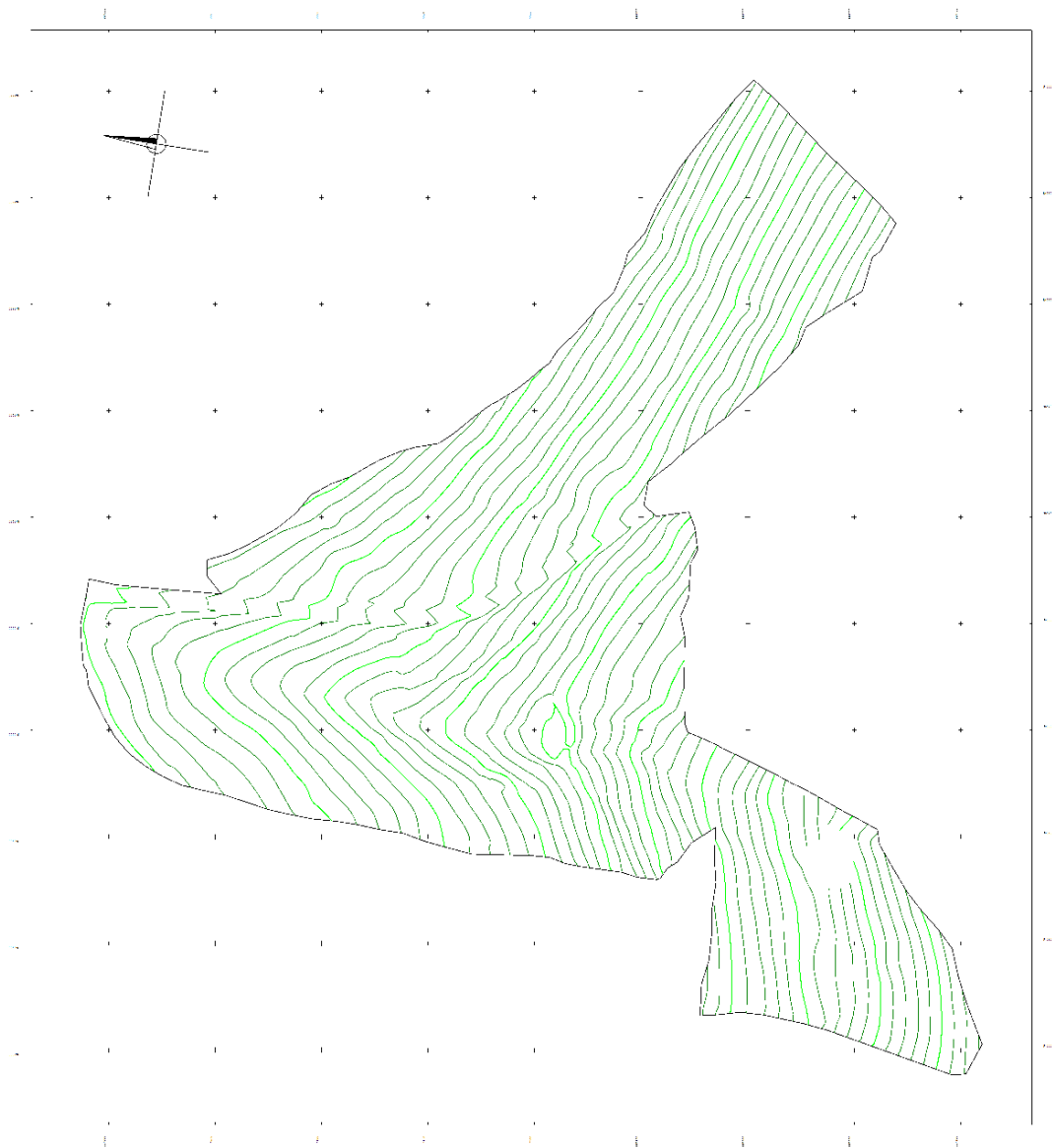
Nivelační pořad: PNS-KV 037 Jáchymov															
Přechodní bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku										
		oddlu	od počátku												
	KV-037-108	0.000	0.000	840.547 m	1949										
<p>Místopisný popis: dům čp. 20</p>		<p>Místopis: 37-108 203-2</p> 													
<p>Stava stáří objektu: značka 0.5 m nad zemí, omítnutá, kamenná stavba z r. 1913</p> <p>Poznámky:</p>		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Č. jednotky:</td> <td>340302501</td> </tr> <tr> <td>Okres:</td> <td>Karlovy Vary</td> </tr> <tr> <td>Obec:</td> <td>JÁCHYMOV</td> </tr> <tr> <td>Kat. území:</td> <td>JÁCHYMOV</td> </tr> <tr> <td>Mastřík/parc. č.:</td> <td>/</td> </tr> </table>				Č. jednotky:	340302501	Okres:	Karlovy Vary	Obec:	JÁCHYMOV	Kat. území:	JÁCHYMOV	Mastřík/parc. č.:	/
Č. jednotky:	340302501														
Okres:	Karlovy Vary														
Obec:	JÁCHYMOV														
Kat. území:	JÁCHYMOV														
Mastřík/parc. č.:	/														
ZM-50	11-21	SMO-5	Jáchymov 8-8												
Druh zn.	Stupeň stav.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK											
Č	3	KNV, ing. Halásek		Y	846193 m	dig.									
	Druh stav.			X	997527 m										
	N			1949											
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka	Gs	Gn	Bs										
0° 0' 0,0"		0° 0' 0,0"	0 mgal	0 mgal	0 mgal										
Datum: 6.4.2017															

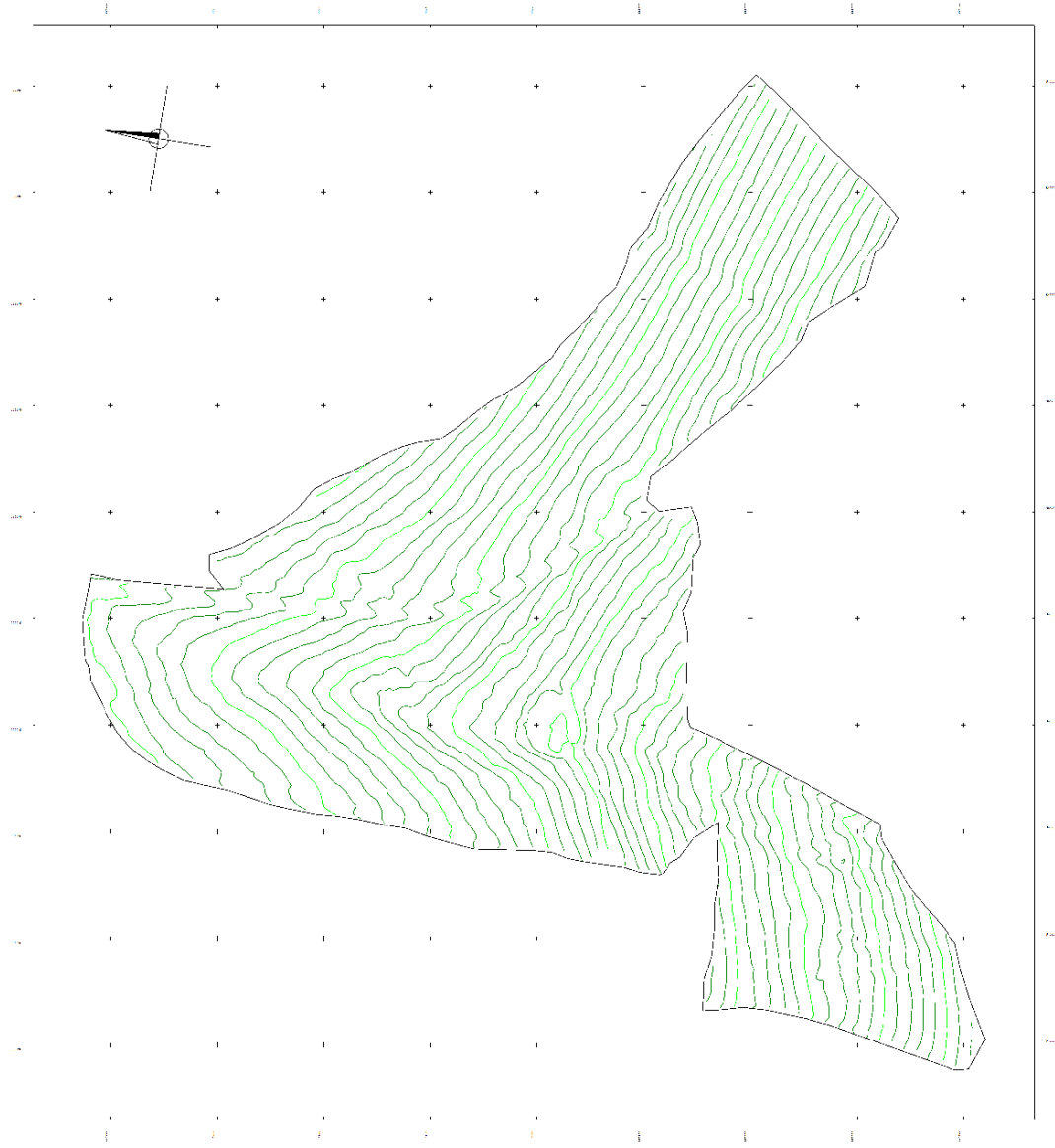
# NIVELAČNÍ ÚDAJE

Nivelační pořad: PNS-KV 037 Jáchymov						
Předchozí bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku	
		oddlu	od počátku			
	KV-037-113	0.000	0.000	913.748 m	1949	
<p>Matopisný popis: nivelační kámen</p>		<p>Matopis: 37-113</p> 				
<p>Stava stálí objekt: značka shora, 15.0 m severozápadně od křížku, žulový hranol</p> <p>Poznámky:</p>		<p>Č. jednotky: 340302501 Okres: Karlovy Vary Obec: JÁCHYMOV Kat. území: JÁCHYMOV Mastníčper. č.: /</p>				
ZM-50	11-21	SMO-5	Jáchymov 8-8			
Druh zn.	Stupeň stab.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK		
H	3	KNV, ing. Halásek		Y	845733 m	dig.
	NK			1949	X	
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka	Gs	Gn	Bs	
0° 0' 0,0"		0° 0' 0,0"	0 mgal	0 mgal	0 mgal	
Datum: 6.4.2017						

# Příloha A-6 Výstupy z programu Atlas DMT

NAZEV VÝKRESU	<b>M1 Vrstevnice</b>		
Město	Karlovarský	Vypracoval	Martin Lipert
Číslo	Karlovy Vary	Datum	3. 5. 2017
Číslo	Mariánská	Maš. číslo	1:500
Č. J.	Jáchymov		

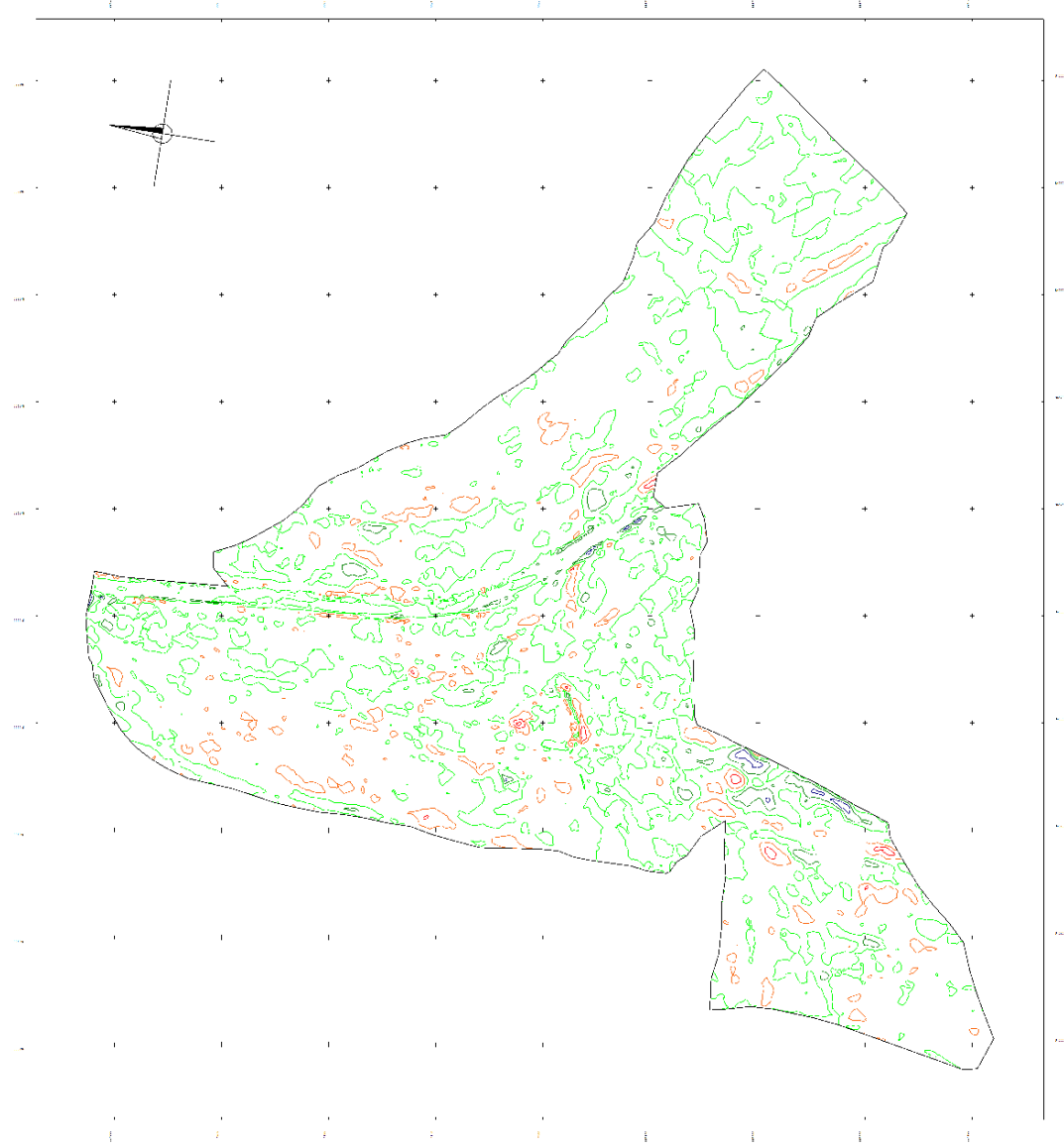
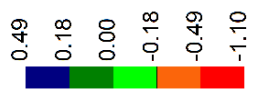




NAZEV VÝKRESU		<b>M2 Vrstevnice</b>	
Město	Karlovarský	Vytvořil	Martin Lipert
Číslo	Karlovy Vary	Datum	3. 5. 2017
Objekt	Mariánská	náčr. číslo	1:500
Č.Ú.	Jáchymov		



Barvěné rozdělení vrstevnic podle výšek



NAZEV ÚKRSU		<b>M3 Vrstevnice</b>	
Město	Karlovarský	Úřadovna	Martin Lipert
Číslo	Karlovy Vary	Datum	3. 5. 2017
Opis	Mariánská	náčr. číslo	1:500
Č.O.	Jáchymov		

## Rozdílový model M3 v 3D pohledu

