



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

GRAVIMETRICKÁ MĚŘENÍ A OPAKOVANÁ NIVELACE NA POLYGONU TETČICE

GRAVITY MEASUREMENTS AND REPEATED LEVELING AT POLYGON TETČICE.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Katarína Zajíčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. RNDr. LUBOMIL POSPÍŠIL, CSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Katarína Zajíčková
Název	Gravimetrická měření a opakovaná nivelace na polygonu Tetčice
Vedoucí práce	doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Použít dostupná data GPS z publikací, sborníků atd., využít údaje o zemětřeseních z databáze AV ČR, USGS, ÚFZ MU v Brně, geomorfologické podklady, mapy, informace o sesuvných oblastech, poddolování a jiné podklady vztahující se ke změnám na zemském povrchu.

Z publikací a dat GEOFONDU zpracovat geologicko-geofyzikální podklady mající vztah k recentní stavbě území Moravy.

Z dostupných databází (ČÚZK, VÚZGK atd.) zpracovat podklady a data z opakovaných nivelací, ZABAGED, ortofota atd.

Využít práce Vyskočil, J. 1996, Pospíšil et al., a Švábenský et al., 2008, 2009, 2010 2012, 2013, 2014, Pospíšil et al., 2012, Roštínský et al., 2013

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zpracování daného tématu bude provedeno pro širšího okolí polygonu Tetčice. Cílem práce je sesbírat výsledky nivelačních a tíhových měření a zpracování v okolí bodů GNSS sítě MORAVA a polygonu Tetčice a provést vlastní tíhová a přesná opakovaná nivelační měření na bodech polygonu Tetčice. Pro práci budou využity i archivní informace o vertikálních pohybových tendencích v daném území, s využitím údajů z nivelačních pořadů 1 řádu Státní nivelační sítě.

Výstupem budou mapy vektorů rychlostí, geodynamická mapa území v okolí polygonu Tetčice a interpretační řezy přes aktivní tektonické zóny.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Predmetom tejto diplomovej práce bolo výškové a tiažové zameranie polygónu Tetčice, cez ktorý prechádza zlom Boskovickej brázdy. Jedná sa o 10. etapu nivelačných a 2. etapu gravimetrických meraní. Teoretická časť popisuje geologickú stavbu lokality, technológiu veľmi presnej nivelácie a technológiu gravimetrického merania. Prvá časť praktickej časti sa zaoberá vlastným nivelačným meraním, výpočtom výsledných prevýšení a výšok, následným porovnaním výsledkov s predchádzajúcimi etapami a najmä vyhodnotením vertikálnych pohybových tendencií. Druhá časť praktickej časti sa venuje vlastnému gravimetrickému meraniu, výpočtu úplných Bouguerových anomálií, tvorbe mapy UBA a tiež vyhodnoteniu gravimetrického merania v nadväznosti na výsledky predchádzajúcich etáp.

KĹÚČOVÉ SLOVÁ

veľmi presná nivelácia, gravimetria, úplná Bouguerova anomália, geológia, Boskovická brázda

ABSTRACT

The object of this master's thesis was levelling and weight measurement of the Tetčice polygon through which passes the fault of the Boskovice furrow. This is the 10th period of levelling and the second period of gravimetric measurement. The theoretical part describes the geological structure of the site, technology of high-precision levelling and technology of gravimetric measurement. The first part of the practical part deals with my own levelling measurement, the calculation of the resulting cambers and heights, consequential comparasion of the results with previous periods and, especially, with evaluation of the vertical movement tendencies. The second part of the practical part deals with my own gravimetric measurement, the calculation of the complete Bouguer gravity anomaly, creation map of complete Bouguer gravity anomaly and as well as evaluation of gravimetric measurement in relation to the results of the previous periods.

KEYWORDS

high-precision levelling, gravimetry, complete Bouguer gravity anomaly, geology, Boskovice furrow

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA VŠKP

Bc. Katarína Zajíčková *Gravimetrická měření a opakovaná nivelace na polygonu Tetčice*. Brno, 2017. 71 s., 40 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 25. 5. 2017

Bc. Katarína Zajíčková
autor práce

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som chcela poďakovať vedúcemu svojej diplomovej práce, doc. RNDr. Lubomilovi Pospíšilovi, CSc., za cenné rady a odborné vedenie diplomovej práce. Zároveň by som tiež chcela menovite poďakovať Bc. Radoslavovi Centovému, Bc. Monike Lazarikovej, Bc. Romane Lokšovej, Bc. Veronike Oboňovej, Bc. Karlovi Petrlíkovi, Bc. Ivete Pospíšilovej a Petrovi Gunárovi za výpomoc pri meračských prácach. V neposlednej rade sa chcem tiež poďakovať mojej rodine za podporu počas celého štúdia.

Obsah

1. Úvod	10
2. Lokalita.....	11
2.1. Geológia	12
2.1.1. Český masív	12
2.1.1.1. Moravikum	14
2.1.1.2. Brunovistulikum	14
2.1.1.3. Boskovická brázda.....	16
2.2. Faktory možných posunov	17
2.2.1. Hladina podzemnej vody	18
2.2.2. Vplyv železničnej a cestnej dopravy	19
3. Veľmi presná nivelácia.....	20
3.1. Metóda VPN.....	20
3.1.1. Požiadavky na používané vybavenie	20
3.1.2. Požiadavky na metódu merania (pre PN, VPN, ZPN).....	21
3.1.3. Požiadavky na metódu merania (pre VPN v II. ráde ČSNS).....	21
3.1.4. Zdroje chýb v nivelácii	22
3.2. Metodika merania VPN.....	25
3.2.1. Skoršie merania.....	25
3.2.2. Prípravné práce a rekognoskácia	26
3.2.3. Vlastné meranie VPN	27
3.2.3.1. Meračská technika	28
3.2.3.2. Skúška nivelačného prístroja.....	29
3.2.3.3. Skúška páru nivelačných lát	31
3.2.4. Spracovanie meraní.....	33
3.2.4.1. Korekcia z dĺžky latového metra a teploty	33
3.2.4.2. Dosiahnutá presnosť a kritériá presnosti merania	34
3.2.4.3. Normálne Molodenského korekcie.....	37
3.2.4.4. Výpočet výsledných prevýšení a výšok a ich stredných chýb	40
3.2.5. Porovnanie jednotlivých etáp.....	41
3.2.6. Vyhodnotenie vertikálnych pohybových tendencií	43
4. Gravimetria.....	46

4.1.	Metodika gravimetrického merania	46
4.1.1.	Meranie s relatívnym gravimetrom.....	46
4.1.1.1.	LaCoste & Romberg.....	47
4.1.1.2.	Chod gravimetra	49
4.1.2.	Bouguerove anomálie	49
4.2.	Gravimetrické meranie.....	53
4.2.1.	Skoršie merania.....	53
4.2.2.	Vlastné gravimetrické meranie	54
4.2.3.	Spracovanie meraní.....	55
4.2.3.1.	Výpočet UBA	56
4.2.3.2.	Presnosť gravimetrického merania	57
4.2.3.3.	Mapa UBA.....	59
4.2.4.	Vyhodnotenie gravimetrického merania.....	60
5.	Záver	62
6.	Zoznam použitej literatúry	64
7.	Zoznam použitých skratiek.....	67
8.	Zoznam tabuliek	68
9.	Zoznam obrázkov	69
10.	Zoznam grafov	70
11.	Zoznam príloh.....	71

1. Úvod

Predmetom tejto diplomovej práce je nivelačné a tiažové zameranie polygónu Tetčice v obci Tetčice (Brno-venkov). Výškové zameranie má spĺňať požiadavky veľmi presnej nivelácie a má byť pripojené na bod ČSNS Ocd - 17.3, ktorý je zároveň bodom profilu (106).

Hlavným dôvodom pre realizovanie týchto meraní je zistenie vertikálnych pohybových tendencií v priestoroch obce, ktoré sa prejavujú poruchami stavebných konštrukcií. Pre vyhodnotenie výškových posunov je potrebné porovnať získané výsledky z poslednej 10. etapy nivelačného merania a 2. etapy gravimetrického merania s výsledkami z predchádzajúcich etáp. Tie boli zamerané v rokoch 2008-2014. Pre porovnanie sú vždy zvolené tie etapy, ktoré boli zamerané v rovnakom ročnom období, kde je možné predpokladať rovnaké pôsobenie vonkajších vplyvov na meranie. Vzhľadom k tomu, že tento profil nebol od roku 2014 znovu zameraný, nie je možné interpretovať krátkodobé posuny na bodoch profilu.

Faktorov, ktoré tieto posuny môžu spôsobovať je viacero. Jedná sa najmä o kolísanie hladiny podzemnej vody, ktorá je blízko k povrchu (1m), prítomnosť aktívneho zlomu Boskovickej brázdy alebo tiež vibrácie spôsobované blízkou železničnou traťou a cestou.

Práca tiež popisuje všetky fázy spracovania nameraných dát. Na začiatok bolo potrebné využiť podklady, zoznámiť sa s danou lokalitou a vykonať rekognoskáciu terénu a bodového poľa. Potom sa pristúpilo k samotnému nivelačnému a gravimetrickému meraniu. Výškové meranie bolo realizované s využitím prístroja Leica DNA03 a tiažové meranie s využitím prístroja LaCoste & Romber G-176. Namerané nivelačné dáta boli z nivelačného prístroja stiahnuté v podobe elektronického zápisníka zatiaľ čo tiažové dáta boli zapisované do terénneho zápisníka pri meraní. Všetky tieto dáta boli následne spracované v programe Microsoft Excel 2007. Napokon sa výsledky meraní použili pri tvorbe topografických máp a máp úplných Bougureových anomálií v programe Surfer 11.

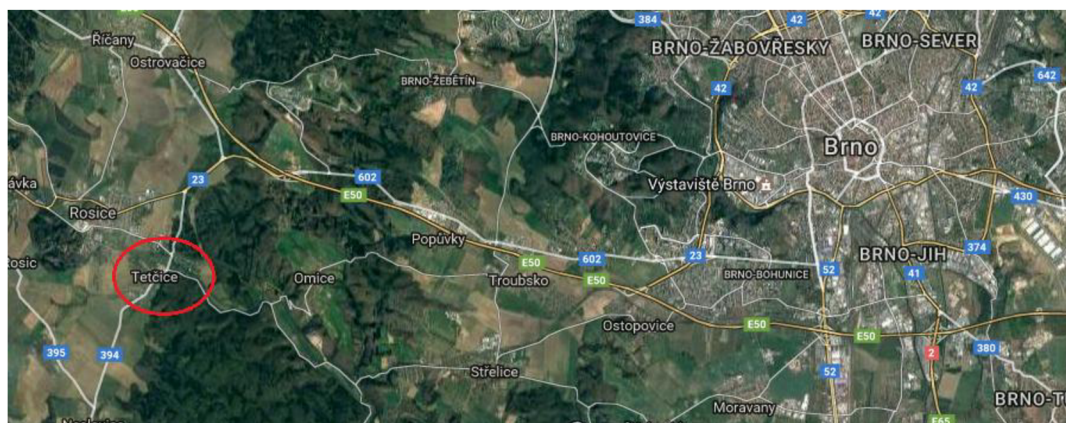
2. Lokalita

Záujmový nivelačný a tiažový profil sa nachádza v obci Tetčice, ktorá leží v Juhomoravskom kraji asi 15 km od Brna, v západnej časti okresu Brno - venkov, južne od mesta Rosice. Z geomorfologického hľadiska sa nachádza v Boskovickej brázde na okraji prírodného parku Bobrava v nadmorskej výške 300 až 340 m.n.m. Dominantu tvorí hora Bučín (444 m.n.m.) ako najvyšší bod hrebeňa Bobravská vrchovina. Druhou dominantou obce Tetčice je rieka Bobrava vstupujúca do údolia, ktorým Bobravskú vrchovinu pretína. Okolie tohto údolia je známe ako Prírodný park Bobrava. [1]



Obrázok č. 1 Pohľad na obec Tetčice od kapličky Nejsvätější trojice (autor)

Z geologického hľadiska obec leží na východnom okraji Boskovickej brázdy, ktorá tvorí hranicu medzi dvoma geologickými jednotkami - moravikom a brunovistulikom (Obr.č.4). Preto sa budeme v ďalších kapitolách venovať iba týmto jednotkám.



Obrázok č. 2 Obec Tetčice (prevzaté z www.maps.google.com)

2.1. Geológia

Na území Českej Republiky zasahujú dve základné geologické jednotky, ktoré tvoria základ geologickej stavby Európy. Jedná sa o Český masív a Západné Karpaty.



Obrázok č. 3 Schematická geologická mapa ČR [2]

Český masív predstavuje územie celých Čiech, väčšiny Moravy a Sliezska. Západné Karpaty tvorí, na území Českej Republiky, východná časť Moravy a Sliezska. [3]

2.1.1. Český masív

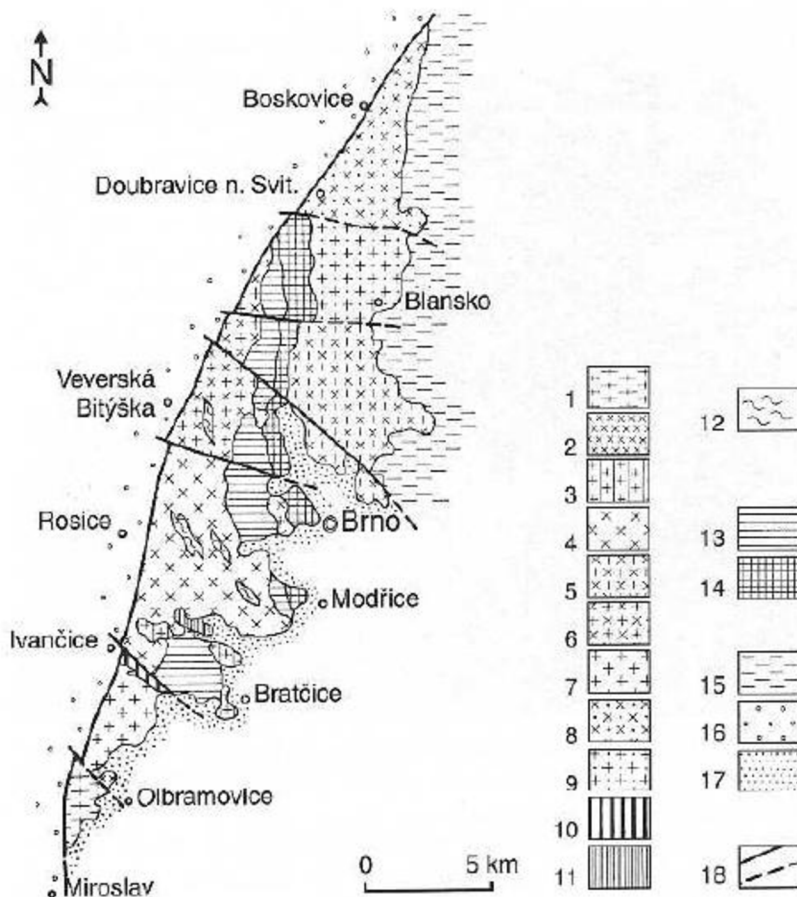
Podľa dochovaných hornín v rôznych častiach Českého masívu môžeme geologickú minulosť u nás sledovať približne od dôb pred 700 - 900 miliónmi rokov. Z tejto doby sa nám zachovali premenené celky morských uloženín, vulkanických a plutónických hornín. Morská sedimentácia bola zvyčajne sprevádzaná vulkanickou činnosťou, ktorá súvisela napríklad s podsúvaním litosférických dosiek. Intenzita týchto procesov vzrástla s nástupom variského vrásnenia (pred 300 - 380 miliónmi rokov), vyvolaného kolíziou litosférických dosiek Gondwany na juhu a Severoatlantického kontinentu na severe.

Český masív je teda zvyškom variského horstva, ktorého pôvodne súvislé pásma boli už pri svojom vzniku porušované zlomami v zemskej kôre. To znamená, že dnes vystupujú na povrch len ich vzájomne izolované zvyšky, oddelované mladšími uloženinami. Variské horstvo teda predstavuje územie od južného Anglicka a z Pyrenejského polostrova, cez Francúzsko až do strednej Európy, kde je Český masív považovaný za najväčší povrchový zvyšok variscíd. Jeho okrajové časti zasahujú až do Rakúska, Nemecka a Poľska.

Český masív rozdeľujeme do 5 horninových celkov:

- a) Moldanubická oblasť - moldanubikum, stredočeský plutón, moldanubický plutón, třebečský plutón, kutnohorsko - svratecká oblasť
- b) Stredočeská oblasť (bohemikum) - Barrandien, domažlické a tepelské krystalinikum, Železné hory (chrudimské paleozoikum, železnohorské proterozoikum, železnohorský plutón, hlinské paleozoikum), podložie českej kriedovej panvy, letovické krystalinikum
- c) Sasko-durynská oblasť (saxothuringikum) - krušnohorské krystalinikum, krušnohorský plutón, durynsko -vogtlandské paleozoikum
- d) Západosudetská oblasť - krkonoško - jizerské krystalinikum, lužický plutón, krkonoško - jizerský plutón, orlicko - snežnické a zábřežské krystalinikum
- e) Moravskoslezská oblasť (moravosilezikum) - brunovistulikum, moravikum, silesikum, žulovský masív, moravskoslezské paleozoikum [3]

V malých výskytoch vystupuje aj v okolí mesta Olomouc. Táto jednotka tvorí podklad paleozoických uloženín Boskovickej brázdy. Ide o permo-karbónske sedimenty s ložiskami uhoľných slojov. Grábenová štruktúra Boskovickej brázdy pokračuje na sever až k mestu Boskovice, na juh až k Miroslavi (obr.5).



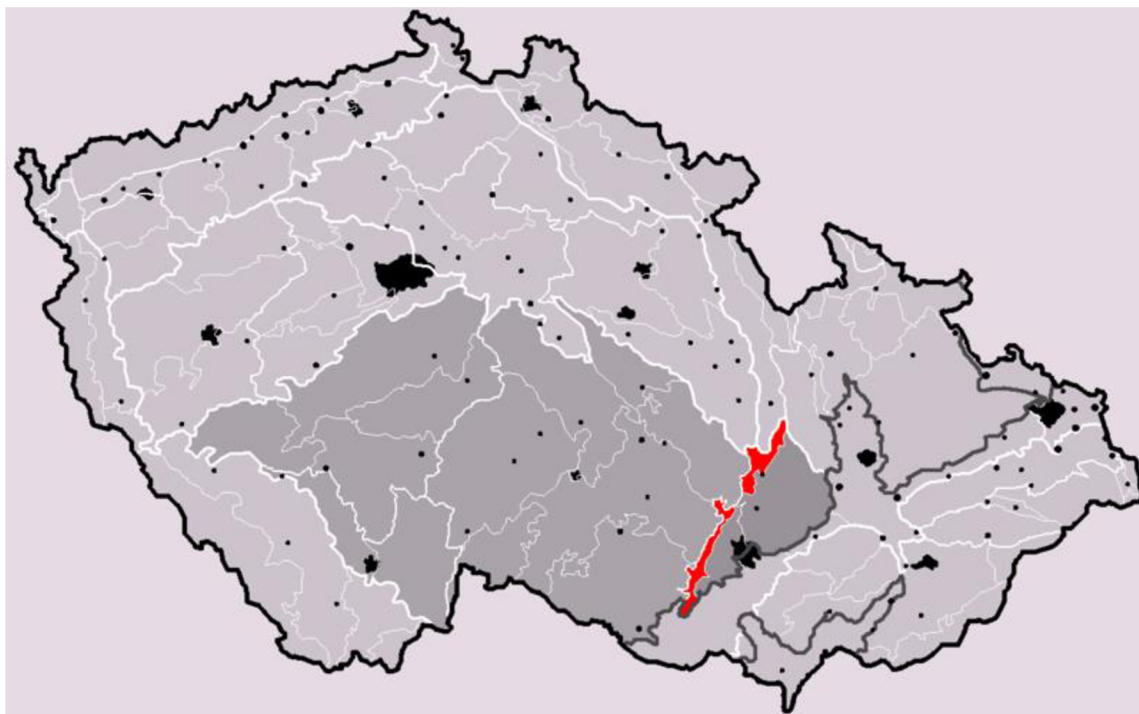
Obrázok č. 5 Brnenský masív [3]

kde 1 - 11 - rôzne miestne typy biotitických a amfibolicko - biotitických granodioritov a granitov; 12 - zvyšky krystalinického plášťa; 13 a 14 - metabazity; 15 - devón a spodný karbón; 16 - permokarbón boskovickej brázdy; 17 - terciér karpatskej predhĺbne; 18 - zlomy.

Brnenský masív tvorí rôznorodý komplex tvorený magmatickými horninami od granitov až k bazickým a ultrabazickým členom, popr. vzácnejšími premenenými vulkanitmi. Premena sa v granitoch prejavuje najmä tlakovým postihnutím a metasomatickými premenami minerálov (metasomatóza - staré minerály sa rozpúšťajú, nové vznikajú). [3]

2.1.1.3. Boskovická brázda

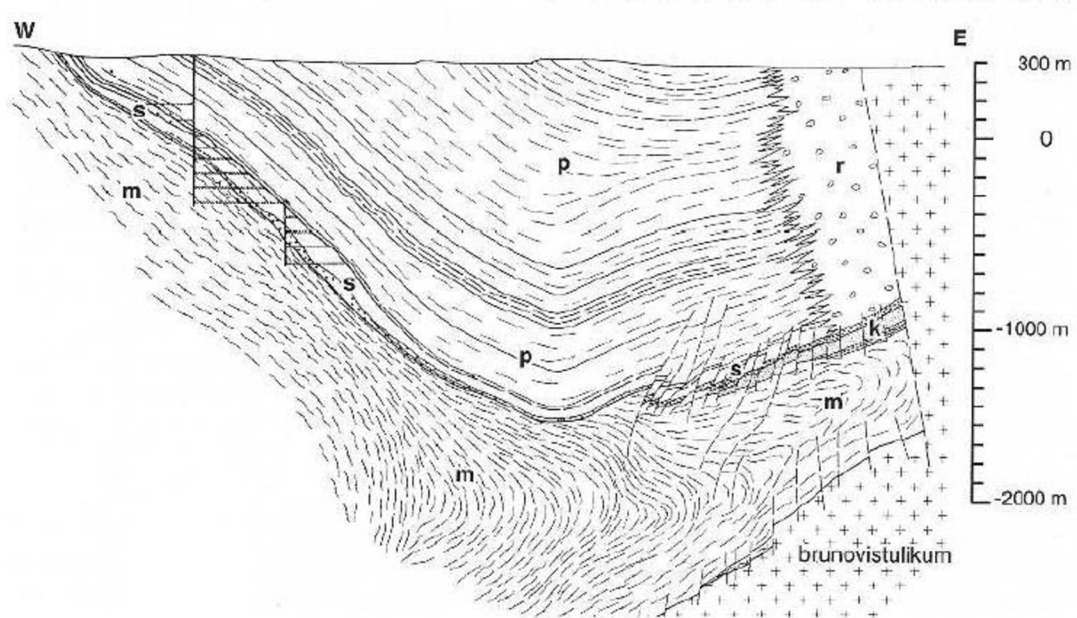
Boskovická brázda je pretiahnutá, asi 100 kilometrov dlhá a 3 - 10 kilometrov široká prepadlina, ktorá vedie severojužne od Moravskej Třebovej cez Letovice, Boskovice a Rosice do Moravského Krumlova. Boskovická brázda je vnútrozemská panva, ktorej usadeniny vznikali v sladkovodných jazerách, močiaroch a rašeliniskách. [6]



Obrázok č. 6 Pozícia Boskovickej brázdy [7]

Väčšia časť prepadliny je vyplnená usadeninami spodného permu, ktoré môžu dosiahnuť mocnosti až niekoľko tisíc metrov. Len v južnej časti v okolí Rosíc a Oslavan sa nachádzajú vrstvy sedimentov vrchného karbónu. Výplň brázdy je výrazne asymetrická. Východnú hranicu predstavuje príkry až vertikálny či prekotený zlom, ktorý poskytoval pri zdvíhaní východnej kry hrubý klastický materiál. Ten sa hromadil pri východnej strane ako rokytenské zlepenice. V západnej časti brázdy sú vrstvy miernejšie uklonené k východu a porušené len menej významnými zlomami. Zlepenice sa tu označujú ako balinské, majú klastický materiál z krystalinických komplexov (moravikum, moldanubikum, letovické krystalinikum) a v menšej miere z devónu a spodného karbónu. Celkovo prevládajú vo výplni brázdy červenohnedé piesčité, pri krajoch hrubozrnné sedimenty riečneho a jazerného pôvodu. [3]

V boskovickej brázde rozlišujeme podľa odlišného charakteru sedimentov štyri súvrstvia: rosicko-oslavanské súvrstvie, padochovské súvrstvie, veverskobytišské súvrstvie. [8]



Obrázok č. 7 Pričný profil Boskovickej brázdou v rosicko-oslavanskej časti - cez baňu Jindřich v Zbýšove [3]

kde m - krystalinikum moravika; k - devónske a kulmské horniny; s - vrchnokarbónske balinské slepence a nadložie uhlonosnej vrstvy; p - spodnopermské uloženiny, prevažne prachovce a pieskovce; r - rokytenské zlepenec. [3]

2.2. Faktory možných posunov

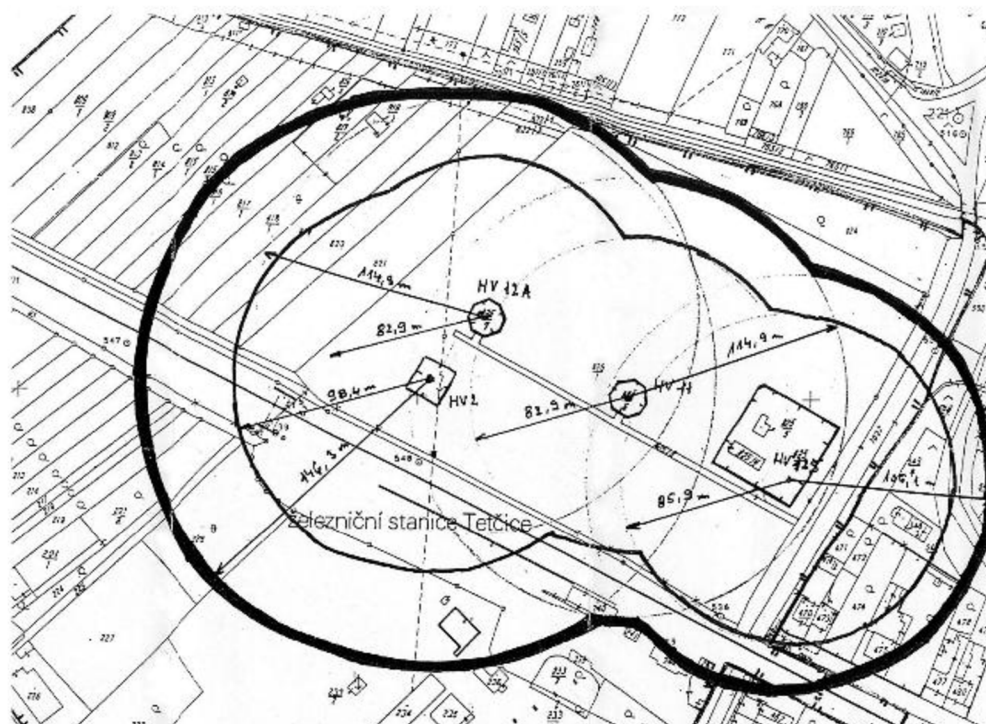
Hlavným dôvodom pre realizovanie meraní v danej lokalite bolo zistenie vertikálnych pohybových tendencií v priestoroch obce (poruchy stavebných konštrukcií). Výškové posuny v tejto lokalite nemusia byť výsledkom len tektonických pohybov v zlome Boskovickej brázdy a pôsobenia geologickej stavby pôdy (väčšia časť obce sa nachádza na území bývalého rybníka). Môžu byť spôsobené aj inými faktormi ako sú vibrácie blízkej frekventovanej železnice a cesty, vibrácie spôsobené drevospracujúcim závodom, výška hladiny podzemnej vody alebo vplyv baníckej činnosti.



Obrázok č. 8 Poškodená budova na ulici Sušilova s vyznačenými prasklinami (autor)

2.2.1. Hladina podzemnej vody

V záujmovej lokalite je hladina podzemnej vody (HPV) blízko povrchu (až 1m) a v prípade extrémnych zrážok môže lokálne postúpiť až na úroveň terénu. Táto voda je čerpaná pre účely zásobovania obcí Rosice a Tetčice pitnou vodou. Pre čerpanie pitnej vody sa v priestoroch obce nachádza štvorica vrtov - HV-2, HV-125, HV12A, HV11.



Obrázok č. 9 Teoretický dosah depresie pri čerpaní podzemnej vody zo štyroch vrtov v množstve 15l/s (slabšia čiara) a 20l/s (hrubšia čiara) [9]

Na základe hydrodynamických skúšok vrtov sa zistili nasledujúce údaje:

Tabuľka č. 1 Prehľad jednotlivých vrtov [9]

vrt	hĺbka [m]	výdatnosť [l/s]
HV11	16,6	5,61
HV12A	15,5	6,75
HV125	17,5	8,66
HV2	17,0	12,27

Z uvedených meraní vyplýva, že celková výdatnosť prameniska je cez 30l/s. To však znamená výrazný pokles HPV a dosah depresie výrazne mimo hranice prameniska. Tento dosah bol určený z výsledkov hydrodynamických skúšok pre rôzne varianty čerpania a to buď z dvoch alebo zo štyroch vrtov. Výsledky skúšok preukazujú, že počet čerpaných objektov znižuje dosah depresie a preto je vhodnejšie čerpať vodu zo všetkých štyroch vrtov súčasne. V prípade čerpania vody zo štyroch objektov v navrhnutom množstve 20l/s je rozsah depresie obmedzený na vlastné územie prameniska. [9]

Zmeny hladiny podzemnej vody môžu byť spôsobené aj čerpaním súkromných studní a čerpaním na pramenisku. Je potrebné tiež uviesť, že boli v priestoroch obce vybudované drenáže a drenážne struhy, ktorých súčasný stav (zanesenie bahnom) môže mať tiež dopad na výšku HPV. [10]

2.2.2. Vplyv železničnej a cestnej dopravy

Výškové posuny v tejto lokalite spôsobujú aj nezanedbateľné faktory antropogénneho pôvodu - železničná a cestná doprava. Stredom obce Tetčice vedie cesta II. triedy (č.394), ktorá predstavuje hlavný ťah medzi diaľnicou D1 a regiónom Invančička a cesta III. triedy (č.3945), ktorá spája obce Rosice a Střelice. To je príčinou vysokej intenzity premávky, ktorá presahuje 10 000 áut za deň vrátane množstva nákladných áut. V tesnej blízkosti nivelačného profilu sa nachádza železničná trať č. 240, ktorá spája Brno s Jihlavou. Po tejto trati prejde za deň približne 50 osobných vlakov a 10 rýchlikov. Tento jav bolo dostatočne cítiť počas výškového merania profilu. [1]

3. Veľmi presná nivelácia

Metóda a technológia výškového zamerania profilov bola stanovená vedúcim práce. Na základne výberu vhodných pomôcok, postupu merania a tiež zavedenia príslušných korekcií bola splnená technológia veľmi presne nivelácie (VPN). Z toho dôvodu sa budeme v nasledujúcich kapitolách zaoberať len touto technológiou.

3.1. Metóda VPN

Metóda veľmi presnej nivelácie sa využíva pri práci v základnom výškovom bodovom poli, najmä u nivelačných ťahov I. a II. rádu ČSNS. Môže sa tiež využívať pri špeciálnych prácach s vysokým nárokom na presnosť ako je napríklad určovanie poklesov a náklonov pilierov, presné meranie vertikálnych posunov a iné.

O jednotlivých zavádzaných korekciách a požiadavkách na VPN bude pojednávané v nasledujúcich kapitolách. [11]

3.1.1. Požiadavky na používané vybavenie

Prístroj:

- konštantná dĺžka ďalekohľadu
- priemer výstupnej pupily minimálne 1,5 mm
- minimálne 30x zväčšenie
- optický mikrometer, stredná chyba čítania na late $< 0,1$ mm
- stredná chyba urovnania zámernej priamky $< 0,2''$
- klinové usporiadanie zámerného kríža

Laty:

- celistvé
- krabicová libela s citlivosťou $< 15'$
- operné tyče
- stupnica na invarovom páse

Statív:

- celistvé (nie zasúvacie) nohy

3.1.2. Požiadavky na metódu merania (pre PN, VPN, ZPN)

- postavenie stroja s maximálnou excentricitou 0,5 m v rámci zostavy (ak nie je možné podmienku dodržať, zavádza sa oprava zo zakrivenia Zeme); zámery sa rozmeriavajú pásmom
- používa sa slnečník pri slnku a daždi, chráni sa aj nohy statívu
- vybavenie je nutné nechať temperovať pri vonkajšej teplote
- úsek sa meria najskôr celý tam a potom celý späť
- geometrická nivelácia zo stredu obojsmerná
- používa sa pár lát, pre vylúčenie chýb z odsadenia nuly stupnice páry počet zostáv (pokiaľ oddiel pozostáva z jednej zostavy použije sa jedna lata)
- nivelačný oddiel sa meria bez prerušenia

3.1.3. Požiadavky na metódu merania (pre VPN v II. ráde ČSNS)

- maximálna dĺžka zámery 40 m
- minimálna výška zámery nad terénom 0,8 m, pre zámery < 20 m stačí 0,4 m
- meranie späť sa realizuje v inom dni a inej dobe než meranie tam
- stupnica sa v zostave číta v poradí Z_1 , P_1 , P_p , Z_p (Z_1 - vzad ľavá, P_1 - vpred ľavá, P_p - vpred pravá, Z_p - vzad pravá)
- medzná odchýlka pre rozdiel medzi prevýšením tam a späť v oddieli je

$${}^I\Delta[mm] = 2,25\sqrt{R[km]}$$

R je dĺžka oddielu

- medzná odchýlka pre rozdiel medzi prevýšením tam a späť v úseku je

$${}^{II}\Delta[mm] = 2,25\sqrt{L^2[km]}$$

L je dĺžka úseku

- medzná stredná jednotková kilometrová chyba je

$${}^{III}\Delta[mm] = 0,45 + \frac{0,80}{\sqrt{n_R}}$$

n_R je počet oddielov [12]

3.1.4. Zdroje chýb v nivelácii

Rovnako ako pri meraní uhlov a dĺžok sú aj nivelačné práce ovplyvnené nevyhnutnými chybami, ktoré môžu mať systematický alebo náhodný charakter. Tieto chyby pôsobia v meraných veličinách obvykle spoločne a ich súčet tvorí chybu úplnú ε . Platí pre ňu nasledujúci vzťah:

$$\varepsilon = \varepsilon_c + \varepsilon_\mu$$

kde ε_c predstavuje systematickú zložku a ε_μ náhodnú zložku.

Chyby sa delia na :

Prístrojové chyby:

- chyba zo sklonu zámernej priamky (L||Z)
 - a) libelové prístroje
 - táto podmienka nie je splnená ani po rektifikácii nivelačného prístroja
 - narastá s dĺžkou zámery
 - prejavuje sa stále rovnakým znamienkom tzn. jej vplyv sa pri rovnako dlhých zámerách vzad a vpred eliminuje
 - b) kompenzátorové prístroje
 - táto chyba vzniká nedokonalou funkciou kompenzátora (automatické urovnanie zámernej priamky)
 - odklon od vodorovného smeru nie je konštantný
 - nedá sa eliminovať rovnakou dĺžkou zámer
- chyba z nezávislej polohy laty
 - odklon od zvislice v smere kolmom na zámeru sa zistí podľa zvislej rysky zámerného obrazca
 - vybočenie zo zvislice v smere zámery merač nerozozná

- v prípade nezávislosti laty sa číta väčšie čítanie a vzniká tak kladná systematická chyba
- urovnávanie do zvislice sa realizuje pomocou rektifikovanej krabicovej libely umiestnenej na late
- chyba z nesprávnej dĺžky latového metra
 - dĺžka latového metra sa mení pôsobením vonkajšieho prostredia, najmä zmenou teploty a vlhkosti na materiál, z ktorého je lata vyrobená ale tiež zmenou napínacej sily invarového pásu
 - dĺžka latového metra sa určuje v laboratóriách na komparátoroch
- chyba z nekolmosti pätky nivelačnej laty k jej ose
 - kolmosť pätky laty sa overuje čítaním na stupnici laty v jej piatich polohách
 - v prípade kolmosti bude hodnota všetkých piatich čítaní rovnaká
- chyba preostrovania ďalekohľadu
 - táto chyba sa prejavuje pri nerovnako dlhých zámerych v zostave, kedy je nutné preostrovať ďalekohľad
 - aby táto chyba nevznikala, je nutné starostlivo rozmeriavať zámery
- chyba runová

Meračské chyby:

- chyba z nepresného urovnania nivelačnej libely
 - presnosť urovnania nivelačnej libely je charakterizovaná uhlovou hodnotou, ktorá je uvedená v prospekte nivelačného prístroja (pri priamom urovnaní - 1/5 dielika, pri koincidenčnom spôsobe - 1/10 dielika)
- chyba z čítania na late
 - vzniká pôsobením rôznych faktorov - meračom, zväčšením ďalekohľadu, stavom atmosféry, dĺžkou zámer, tvarom a veľkosťou latového dielika, tvarom zámerného obrazca, použitím a parametrami optického mikrometra
 - vplyv tejto chyby je možné znížiť voľbou dĺžok zámer, technologickými postupmi, vhodnými atmosférickými podmienkami, voľbou minimálnych výšok zámer nad terénom
- chyba z nepevného postavenia prístroja a lát
 - chyba je spôsobená klesaním statívu s prístrojom a nivelačných podložiek v menej únosnej pôde a tiež vytláčaním na trávnom a ílovitom povrchu

- chyba z vibrácie
 - prejavuje sa najmä v letnom období, kedy obraz cieľa v ďalekohľadu kmitá
 - vibrácia je spôsobená turbulentným prúdením vzduchu [13]

V nivelačných prácach je potrebné brať do úvahy vplyv zakrivenia Zeme. Pri urovnaní nivelačného prístroja pomocou nivelačnej libely alebo po ustálení kompenzátora je zámerná priamka urovnaná vo vodorovnej rovine totožná s dotyčnicovou rovinou hladinovej plochy. Vo vzdialenosti S tak dochádza k výškovému rozdielu ε_1 medzi zámernou priamkou a zakriveným povrchom Zeme. Zanedbaním tohto rozdielu by vznikla v každom čítaní systematická chyba. [13]

3.2. Metodika merania VPN

V tejto kapitole sa budeme zaoberať prípravnými prácami a rekognoskáciou terénu, vlastným meraním a spracovaním nameraných dát metódou veľmi presnej nivelácie na polygóne Tetčice.

3.2.1. Skoršie merania

Nivelačné body 101-110, ktoré tvoria nivelačný profil slúžiaci pre meranie vertikálnych posunov v danej lokalite, boli vytvorené v roku 2008 Michalom Witiskom. Body sú stabilizované na ulici Sušilova v obci Tetčice, kolmo na hlavný zlom Boskovickej brázdy meračskými klincami v asfalte, pričom bod 106 je totožný s bodom Ocd-17.3 ČSNS a je stabilizovaný čapovou nivelačnou značkou v skale. Tento profil bol zameraný v štyroch etapách (jún 2008, október 2008, november 2008, marec 2009). [14]

Ďalšie tri etapy zamerala Simona Neudtrová, a to v júli 2009, októbri 2009 a v marci 2010. [15]

V priebehu rokov 2009 a 2010 bola vybudovaná polygónová sieť približne štyridsiatich nivelačných bodov vrátane siedmich betónových pilierov s hĺbkovou stabilizáciou. Body sú stabilizované pozdĺž železnice a tiež v zastavanej časti obce v miestach, kde by bolo možné očakávať prípadné výškové zmeny. Vzhľadom k tomu,

že polygónová sieť nie je predmetom tejto diplomovej práce, nebudeme sa ňou ďalej zaoberať. [16]

Ďalšie meranie na bodoch profilu prebiehalo v júni 2013 a realizovala ho Katarína Bitalová, ktorá nivelačný profil doplnila o ďalšie body (111 - 117). [17]

Ďalšie dve etapové merania vykonal Antonín Staněk opäť technológiou VPN. Meranie prebiehalo v júni 2013 a v marci 2014. [18]

3.2.2. Prípravné práce a rekognoskácia

Pred samotným meraním bolo potrebné získať geodetické údaje o bodoch nivelačného profilu a potom realizovať dôslednú rekognoskáciu. Tá prebiehala v dvoch etapách.

Prvá etapa prebiehala za spoluúčasti Bc. Karla Petrlika, ktorý v tejto oblasti realizuje GPS meranie a Ing. Michala Witisku. Ten nás zoznámil s danou lokalitou, s bodmi na ktorých prebiehalo GPS meranie (Bučín, U potoka, Vodojem, Kaple nejsvätější trojice) a s bodmi polygónu Tetčice (101-104).

Druhá etapa prebiehala z dôvodu overenia polohy bodov profilu 105 - 110 a to s využitím geodetických údajov o bodoch a s využitím technológie GNSS (Trimble R4-3).



Obrázok č. 11 Trimble R4-3 (autor)

Pri obhliadke nebol nájdený bod 110 a preto boli pre meranie, po dohode s vedúcim práce, zvolené body 101 - 109. Geodetické údaje o bodoch sú uvedené v samostatnej prílohe č.1.

3.2.3. Vlastné meranie VPN

Vlastné meranie VPN bolo realizované vo výškovom systéme Bpv v dňoch 24. a 25.6. 2016 pri priemernej teplote 27,9°C s jasnou oblohou. Pre meranie bol použitý elektronický nivelačný prístroj Leica DNA03, ktorý bol zapožičaný stavebnou fakultou VUT. Pred a po meraní bola vykonaná skúška nivelačného prístroja, z ktorej bola získaná merná oprava O_{ϕ} . Tá bola použitá následne pre výpočet opravy prevýšenia v oddiely $O_{\Delta h}$. Pred samotným meraním bola realizovaná tiež skúška pätiiek nivelačných lát, ktorá nepreukazovala odchýlku väčšiu ako 0,1mm.

Namerané údaje boli počas merania ukladané do pamäte nivelačného prístroja a v upravenej podobe sú súčasťou prílohy č.2. V prístroji bol pri meraní nastavený taký mód merania, kde čítanie na latu prebehlo vždy tri krát a z týchto hodnôt bol ukladaný priemer.

Pre pripojenie nivelačného merania bol použitý bod Ocd-17.3 (bod 106), ktorý je stabilizovaný čapovou nivelačnou značkou v skale a považuje sa za stabilný (nevykazuje pohybové tendencie). K tomuto bodu sa vzťahujú aj predchádzajúce etapové merania. Ostatné body sú stabilizované meračským klincom v asfalte.



Obrázok č. 12 Ukážka stabilizácie bodov nivelačného profilu (autor)

Postup merania bodov nivelačného profilu:

- 1.nivelačný ťah
 - TAM - 106 - 104 - 103 - 102 - 101 - P₁
 - SPÄŤ - P₁ - 101 - 102 - 103 - 104 - 106
- 2.nivelačný ťah
 - TAM - 106 - 105 - 107 - 108 - 109
 - SPÄŤ - 109 - 108 - 107 - 105 - 106

3.2.3.1. Meračská technika

Všetky použité prístroje a pomôcky pri meraní tejto diplomovej práce boli zapožičané od Ústavu geodézie a kartografie Fakulty stavebnej v Brne.

Zoznam použitých prístrojov a pomôcok:

- nivelačný prístroj Leica DNA03 v.č.339511

Tabuľka č. 2 Technické parametre nivelačného prístroja [19]

stredná kilometrová chyba obojsmerného merania	
- invarová lata	±0,3mm
- štandardná lata	±1,0mm
stredná chyba merania vzdialeností	5mm/10m
dosah na invarovú latu	1,8m až 60m
doba merania	3s
interná pamäť	6000 meraní
odčítanie laty	0,01 mm
kompensátor	
- citlivosť	0,3''
- rozsah	±10'
d'alekohľad	
- zväčšenie	24x
- priemer objektívu	36mm
- zorný uhol	2°C
- minimálna cieľová vzdialenosť	0,6m



Obrázok č. 13 Leica DNA03 [20]

- drevený statív s celistvými nohami
- 2 invarové kódové laty Wild GPCL3 3 m (v.č.26346, 26353)
- 2 nivelačné liatinové podložky
- 4 drevené operné tyče
- pásmo
- slnečník
- teplomer

3.2.3.2. Skúška nivelačného prístroja

Pred začatím samotného merania bolo nutné vykonať skúšku nivelačného prístroja. Skúškou nivelačného prístroja rozumieme kontrolu jeho osových podmienok, pretože aj pri správnom nastavení prístroja môže po dlhšej dobe užívania dôjsť k ich porušeniu.

Dotyčnicová rovina urovnanej krabicovej libely musí byť kolmá k ose alhidády ($L' \perp V$)

Splnenie tejto podmienky je dôležitejšie u kompenzátorových prístrojov než u libelových prístrojov, pretože kompenzátor má obmedzený stupeň kompenzácie (8'-10'). Funkčnosť kompenzátoru sa dá overiť jemným poklepaním na teleso urovnaného

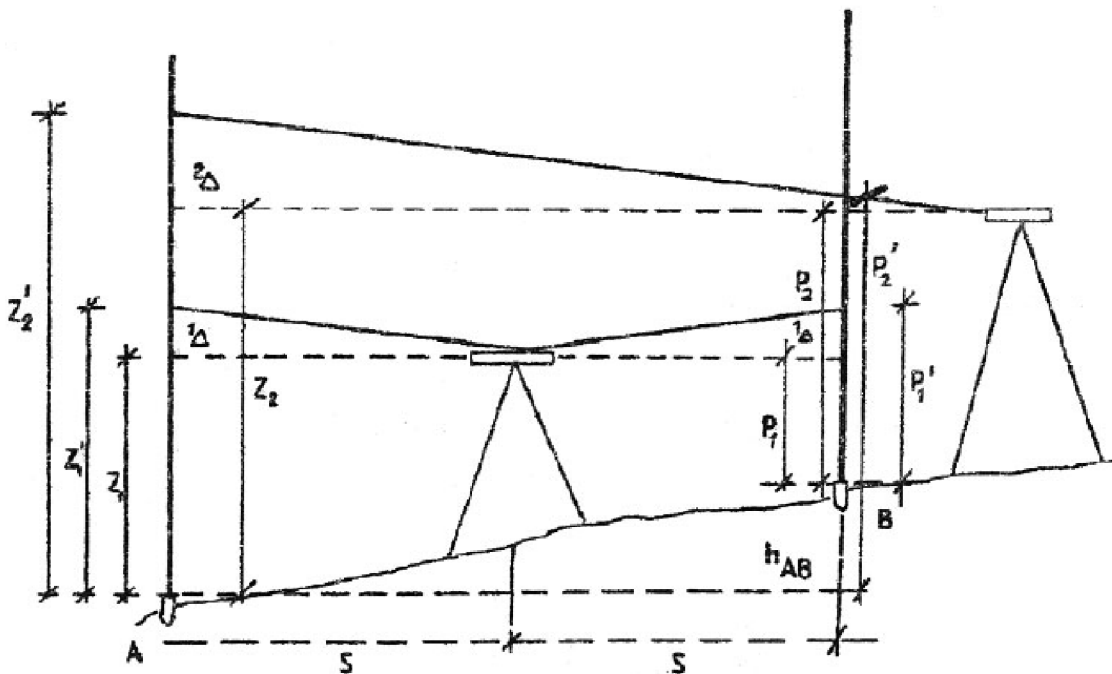
d'alekohľadu. Pokiaľ je pri poklepaní zámerný obrazec nepohyblivý, sklon zámernej priamky presiahol v dôsledku nesplnenia podmienky kompenzačný interval tzn. kompenzátor nie je funkčný.

Vodorovné vlákno zámerného obrazca musí byť kolmé ku ose alhidády ($R \perp V$)

Táto podmienka sa kontroluje tak, že sa zameria ľavým okrajom horizontálnej rysky zámerného obrazca na jednoznačne vyznačený bod. Potom sa jemnou ustanovkou d'alekohľadu posúva smerom k pravému okraju horizontálnej rysky. Odchýlenie horizontálnej rysky od vyznačeného bodu signalizuje nesplnenie tejto podmienky. [13]

Osa nivelačnej libely musí byť rovnobežná so zámernou priamkou ($L // Z$)

Táto podmienka je hlavnou podmienkou správnej funkčnosti prístroja a kontroluje sa priamo v teréne. Je možné ju kontrolovať viacerými spôsobmi. Najčastejší spôsob spočíva v porovnaní prevýšení v zostave, ktoré boli určené z postavenia prístroja uprostred medzi latami a tesne za jednou z lát. Dĺžka tejto zostavy by nemala prekročiť 30 metrov z dôvodu pohodlného a presného čítania. Postavenie prístroja za jednou z lát je obmedzené minimálnou zaostrovacou vzdialenosťou optiky prístroja. [12]



Obrázok č. 14 Skúška podmienky $L // Z$ [13]

- chyba v prevýšení na dĺžku realizovanej zostavy

$$\Delta = \Delta h'_{AB} - \Delta h_{AB}$$

$\Delta h'_{AB}$ prevýšenie pri postavení prístroja za jednou z lát

Δh_{AB} prevýšenie pri postavení prístroja uprostred medzi latami

- odklon zámernej priamky od vodorovnej roviny

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta}{s_{AB}}$$

Δ chyba v prevýšení na dĺžku realizovanej zostavy

s_{AB} dĺžka zostavy

- merná oprava

$$o_{\varphi} = -\frac{\Delta}{s_{AB}} \text{ [mm/m]}$$

- oprava prevýšenia v oddiely

$$o_{\Delta h} = o_{\varphi} * [s_Z - s_P]$$

s_Z/s_P dĺžka zámery vzad/vpred [12]

Tabuľka č. 3 Odchýlky nivelačného prístroja Leica DNA03 v. č. 339511

odchýlky	10.etapa (pre meraním)	10.etapa (po meraní)
Δ [mm]	-0,235	-0,195
φ [']	-2,04	-1,68
O_{φ} [mm/m]	0,0099	0,0081

3.2.3.3. Skúška páru nivelačných lát

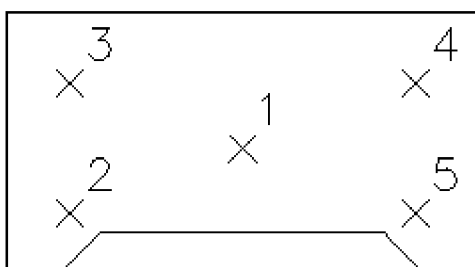
Okrem skúšky nivelačného prístroja bola pred začatím samotného merania vykonaná skúška páru nivelačných lát.

Kontrola krabicovej libely lavy v pozdĺžnom smere

Merač kontroluje zvislosť lavy, ktorá je postavená bokom k prístroju pomocou zvislého vlákna zámerného obrazca. Toto zvislé vlákno sa nastaví na jeden z koncov lavy a na druhom konci lavy je možné odchýlku od zvislého smeru odmerať či odhadnúť. Následne sa spočíta vplyv odchýlky na čítanie a rozhodne sa či je možné s týmito lavami merať.

Kontrola pätky lavy

Po odstránení ochrannej krytky z lavy sa vykoná čítanie na late pri jej postavení na niekoľkých miestach pätky (postavenie je znázornené na obrázku č.15). Rozdiel medzi jednotlivým čítaním na late nesmie presiahnuť 0,1 mm. V prípade prekročenia medznej hodnoty musí byť lavy vyradená z prevádzky a je nutné nechať pätku prebrúsiť. Vplyv tejto chyby je možné eliminovať stávaním lavy stále na rovnaké miesto pätky.



Obrázok č. 15 Postavenie pätky lavy

(autor)

Tabuľka č. 4 Odchýlky pätiiek lát v [mm]

10. etapa		
bod	lavy v.č. 26 353	lavy v.č. 26 346
1	0,00	0,00
2	-0,02	-0,06
3	-0,08	0,02
4	-0,07	0,03
5	-0,10	-0,02

Komparácia páru lát

Lavy, ktorá je určená na komparáciu sa uloží do vodorovnej polohy a podoprie sa na dvoch miestach, no nie na koncoch, aby nedochádzalo k ich ohybu. Na každej lavy sa premeriavajú obe stupnice na troch úsekoch a každý úsek 4x s malým posunom. Pri komparácii sa používa zrovnávací meter, čo je cez 1 meter dlhý invarový etalón. Tento etalón má obdĺžnikový prierez so stupnicami po 0,1 mm a s mikroskopmi na koncoch, ktoré prevracajú obraz. Vždy sa najskôr číta ľavý mikroskop a následne potom pravý.

Výsledkom tohto merania je odchýlka latového metra od metra zrovnávacieho Δl_k . Pre výpočet priemernej dĺžky latového metra musíme ešte poznať odchýlku zrovnávacieho metra od laboratórneho štandardu za aktuálnej teploty t_k pri komparácii lát

ds_k . Tá sa určí pomocou hodnôt z kalibračného listu zrovnávacieho metra. Súčtom týchto dvoch hodnôt získam odchýlku latového metra od laboratórneho štandardu Δl_k . Následne sa spočítajú priemery zo stupníc lát a priemer z páru lát a tým dostaneme priemernú dĺžku latového metra $^{priem}\Delta l_k$.

Hodnota dĺžky priemerného latového metra zostavenia lát v. č. 26 346 a 26 353 bola prevzatá z kalibračného listu, ktorý je uvedený v prílohe č.3. [12]

3.2.4. Spracovanie meraní

Namerané dáta z terénu boli z pamäte nivelačného prístroja exportované do pamäte počítača vo formáte *GSI. Potom boli dáta importované do prostredia Microsoft Office Excel 2007, kde boli upravené do tvaru zápisníka (príloha č.2) a následne tu boli aj spracované (príloha č.4; príloha č.5).

3.2.4.1. Korekcia z dĺžky latového metra a teploty

Pri oprave nameraného prevýšenia z dĺžky latového metra je potrebné ešte jeho hodnotu prepočítať z komparačnej teploty na teplotu pri meraní t_m .

$$\Delta l_m = ^{priem}\Delta l_k + b(t_m - t_k)$$

$^{priem}\Delta l_k$	priemerná dĺžka latového metra z kalibračného listu
b	dĺžková teplotná rozťažnosť pre invar $b = 1,6 \cdot 10^{-3} \frac{mm}{m \cdot ^\circ C}$
t_m	teplota pri meraní
t_k	teplota pri komparácii páru nivelačných lát

Potom sa namerané prevýšenie opraví podľa vzorca:

$$\Delta h_{opr} = \Delta h_{mer} \left(1 + \frac{\Delta l_m}{1000} \right)$$

Δh_{mer}	namerané prevýšenie
Δl_m	má jednotky [mm/m]

Následne sa ako priemer z merania tam a späť určí výsledné prevýšenie $\Delta h'$. [12]

Tabuľka č. 5 Opravy nameraných prevýšení z teploty a z latového metra

10. ETAPA										
bod		TAM				SPÄŤ				$\Delta h'$ [m]
		Δh_{mer} [m]	t_m [°C]	Δl_m [m]	Δh_{opr} [m]	Δh_{mer} [m]	t_m [°C]	Δl_m [m]	Δh_{opr} [m]	
z	na									
101	P1	0,80528	29,1	0,02982	0,80530	-0,80522	30,3	0,03174	-0,80525	0,80527
102	101	-0,19485	28,9	0,02950	-0,19485	0,19493	29,6	0,03062	0,19494	-0,19490
103	102	-1,32192	27,6	0,02742	-1,32195	1,32207	29,8	0,03094	1,32211	-1,32203
104	103	-1,81824	26,2	0,02518	-1,81828	1,81876	28,5	0,02886	1,81881	-1,81855
106	104	-6,18214	25,1	0,02342	-6,18229	6,18297	27,3	0,02694	6,18313	-6,18271
106	105	-2,01542	24,2	0,02198	-2,01546	2,01590	25,6	0,02422	2,01595	-2,01571
105	107	-0,86907	25,1	0,02342	-0,86909	0,86932	25,9	0,02470	0,86934	-0,86921
107	108	-0,65403	25,9	0,02470	-0,65405	0,65425	26,8	0,02614	0,65426	-0,65416
108	109	1,58189	26,4	0,02550	1,58193	-1,58148	27,1	0,02662	-1,58152	1,58172

3.2.4.2. Dosiahnutá presnosť a kritériá presnosti merania

Po ukončení výpočtu výsledného prevýšenia opraveného o korekciu z dĺžky latového metra a teploty sa porovnávajú dosiahnuté rozdiely ρ s medznými odchýlkami. Jedná sa o rozdiel medzi prevýšeniami tam a späť v oddieli (ρ_1), v úseku (ρ_2) a tiež sa s medznou odchýlkou porovnáva jednotková stredná kilometrová chyba.

Rozdiel medzi prevýšeniami tam a späť v oddieli

- porovnáva sa s medznou odchýlkou

$${}^I\Delta[mm] = 2,25\sqrt{R[km]}$$

R je dĺžka oddielu

Tabuľka č. 6 Porovnanie rozdielu prevýšení tam a späť v oddieloch s medznou odchýlkou

bod		R [km]	TAM	SPÄŤ	ρ^1 [mm]	${}^I\Delta$ [mm]	$\rho^1 < {}^I\Delta$
z	na		dh _{opr} [m]	dh _{opr} [m]			
101	P1	0,01816	0,80530	-0,80525	0,06	0,30	Áno
102	101	0,09085	-0,19485	0,19494	0,09	0,68	Áno
103	102	0,19432	-1,32195	1,32211	0,15	0,99	Áno
104	103	0,18628	-1,81828	1,81881	0,53	0,97	Áno
106	104	0,29046	-6,18229	6,18313	0,85	1,21	Áno
106	105	0,11908	-2,01546	2,01595	0,49	0,78	Áno
105	107	0,24902	-0,86909	0,86934	0,25	1,12	Áno
107	108	0,22272	-0,65405	0,65426	0,21	1,06	Áno
108	109	0,40132	1,58193	-1,58152	0,41	1,43	Áno

Rozdiel medzi prevýšeniami tam a späť v úseku

- porovnáva sa s medznou odchýlkou

$${}^II\Delta [mm] = 2,25\sqrt{L^2 [km]}$$

L je dĺžka úseku

Tabuľka č. 7 Porovnanie rozdielu prevýšení tam a späť v úseku s medznou odchýlkou

bod		L [km]	TAM	SPÄŤ	ρ^2 [mm]	${}^{II}\Delta$ [mm]	$\rho^2 < {}^{II}\Delta$
z	na		dh _{opr} [m]	dh _{opr} [m]			
106	P1	0,78006	-8,71186	8,71351	1,68	1,91	Áno
106	109	0,99214	-1,95663	1,95799	1,36	2,24	Áno

Jednotková kilometrová stredná chyba

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n_R} \left[\frac{\rho^{12}}{R [km]} \right]}$$

n_R je počet oddielov

- porovnáva sa s medznou odchýlkou

$${}^{III}\Delta [mm] = 0,45 + \frac{0,80}{\sqrt{n_R}}$$

Tabuľka č. 8 Porovnanie jednotkovej kilometrovej strednej chyby s medznou odchýlkou

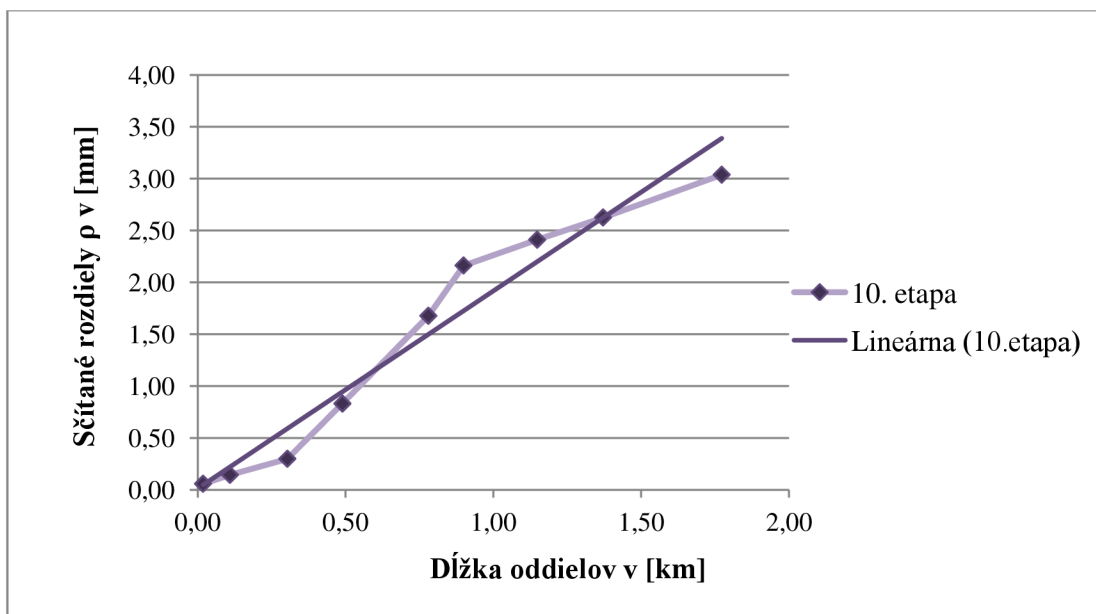
bod		n _R	R [km]	m ₀ [mm]	IIIΔ [mm]	m ₀ < IIIΔ
z	na					
106	P1	5	0,78006	0,26	0,81	Áno
106	109	4	0,99214	0,18	0,85	Áno

Vypočítané jednotkové kilometrové stredné chyby odpovedajú presnosti prístroja Leica DNA03, ktorú uvádza výrobca tzn. 0,3 mm/km. [12]

Stredná systematická kilometrová chyba

Stredná kilometrová chyba m_0 nám udáva vplyv náhodných chýb a náhodných výkyvov systematických chýb. Pomocou m_0 môžeme určiť strednú chybu prevýšenia len na krátke vzdialenosti, pretože s rastúcou dĺžkou narastá vplyv systematických chýb.

Aby sme mohli určiť účinky systematických vplyvov na meranie, bolo nutné vytvoriť grafy sčítaných odchýlok ρ^1 . Tie sa vytvorili tak, že vo zvolenej pravouhlej sústave boli na jednu os vynesené dĺžky oddielov v kilometroch a na druhú os postupne sčítané odchýlky ρ^1 v milimetroch. Tak sme získali bodovú radu, ktorá má vzostupný charakter. Táto bodová rada bola spojená pomocou úsečiek a následne doplnená o vyrovnávaciu priamku tak, aby plochy vymedzené lomenou čiarou a vyrovnávacou priamkou boli na oboch stranách priamky rovnaké a minimálne. Čím väčší je sklon vyrovnávacej priamky, tým väčší je vplyv systematických chýb.



Graf č. 1 Vplyv systematických chýb

Stredná systematická kilometrová chyba sa vypočíta:

$$\sigma = \frac{\mu}{2L}$$

μ rozdiel koncového a počiatočného bodu vyrovnávacej priamky v grafe, ktorý bol vytvorený v prostredí Microsoft Office Excel 2007

L dĺžka nivelačného ťahu v [km]

Hodnota systematickej chyby je len približná, pretože bola vypočítaná len z malého počtu oddielov. [21]

Tabuľka č. 9 Stredná systematická kilometrová chyba

etapa č.	μ	L	σ
10	3,34	1,77	0,94

3.2.4.3. Normálne Molodenského korekcie

Žiadny z rozdielov ρ medzi prevýšeniami tam a späť neprekračuje medznú odchýlku. Preto sa následné pristúpilo k výpočtu priemerného prevýšenia z merania tam a späť a tiež k výpočtu korekcií z tiaže. Normálna Molodenského korekcia C_N pozostáva

z dvoch zložiek a to normálnej ortometrickej korekcie C_γ a korekcie z anomálie tiaže $C_{(g-\gamma)}$.

Tabuľka č. 10 Približné súradnice a výšky bodov profilu

bod	φ				H [m]
	°	'	''	°	
101	49	10	11,1	49,2	288,14682
102	49	10	12,8	49,2	288,34171
103	49	10	15,4	49,2	289,66374
104	49	10	17,5	49,2	291,48229
105	49	10	19,9	49,2	295,64929
106	49	10	17,1	49,2	297,66500
107	49	10	23,0	49,2	294,78008
108	49	10	25,5	49,2	294,12592
109	49	10	29,6	49,2	295,70765
P1	49	10	10,8	49,2	288,95209

$$C_N = C_\gamma + C_{(g-\gamma)}$$

Tabuľka č. 11 Výsledné prevýšenia opravené o normálne Molodenského korekcie

bod		C_γ	$C_{(g-\gamma)}$	C_N	Δh [m]
z	na	[mm]	[mm]	[mm]	
P1	101	0,00	-0,03	-0,03	-0,80530
101	102	-0,01	0,01	-0,01	0,19489
102	103	-0,02	0,04	0,03	1,32206
103	104	-0,02	0,06	0,05	1,81859
104	106	0,00	0,21	0,21	6,18292
106	105	-0,02	-0,07	-0,09	-2,01580
105	107	-0,02	-0,03	-0,05	-0,86927
107	108	-0,02	-0,02	-0,04	-0,65420
108	109	-0,03	0,05	0,02	1,58175

$$C_\gamma [\text{mm}] = -0,0000254 H_S [\text{m}] \Delta\varphi [']$$

H_S priemer približných nadmorských výšok

$\Delta\varphi$ rozdiel zemepisných šírok koncových bodov oddielu

Tabuľka č. 12 Normálne ortometrické korekcie

bod		H _s [m]	Δφ [′′]	C _γ [mm]
z	na			
P1	101	288,54945	0,3	0,00
101	102	288,24426	1,7	-0,01
102	103	289,00273	2,6	-0,02
103	104	290,57302	2,1	-0,02
104	106	294,57365	-0,4	0,00
106	105	296,65715	2,8	-0,02
105	107	295,21469	3,1	-0,02
107	108	294,45300	2,5	-0,02
108	109	294,91679	4,1	-0,03

$$C_{(g-\gamma)}[mm] = 0,0010193\Delta g_{F_S}[mGal]\Delta h'[m]$$

Δg_{F_S} Fayova anomália získaná tiažovým meraním

Δh prevýšenie v oddieli

$$\Delta g_{F_S} = g_s - \gamma_s$$

g_s merané tiažové zrýchlenie (priemer z koncových bodov oddielu)

γ_s normálne tiažové zrýchlenie

$$\gamma_s[mGal] = \gamma_0[mGal] - 0,3086H_S[m]$$

γ_0 normálne tiažové zrýchlenie (podľa Helmertovho vzorca)

$$\gamma_0 = 978030(1 + 0,005302\sin^2\varphi_s - 0,000007\sin^2 2\varphi_s)$$

φ_s priemer zemepisných šírok koncových bodov oddielu

Tabuľka č. 13 Korekcie z anomálie tiaže

z	na	g_s [mGal]	φ_s [°]	γ_0 [mGal]	γ_s [mGal]	Δg_{F_S} [mGal]	$\Delta h'$ [m]	$C_{(g-\gamma)}$ [mm]
P1	101	980936,177	49,1697	980992,101	980903,055	46,923	-0,80527	-0,03
101	102	980936,253	49,1700	980992,126	980903,174	46,880	0,19490	0,01
102	103	980935,860	49,1706	980992,179	980902,993	46,667	1,32203	0,04
103	104	980935,410	49,1712	980992,238	980902,567	46,643	1,81855	0,06
104	106	980934,635	49,1715	980992,259	980901,354	47,081	6,18271	0,21
106	105	980934,161	49,1718	980992,289	980900,740	47,220	-2,01571	-0,07
105	107	980934,311	49,1726	980992,362	980901,259	46,852	-0,86921	-0,03
107	108	980934,416	49,1734	980992,432	980901,564	46,652	-0,65416	-0,02
108	109	980934,239	49,1743	980992,514	980901,503	46,536	1,58172	0,05

3.2.4.4. Výpočet výsledných prevýšení a výšok a ich stredných chýb

Výsledné prevýšenia medzi bodmi profilu boli získané opravením nameraných prevýšení o príslušné korekcie - korekciu z dĺžky latového metra, korekciu z teploty a tiež korekcie z tiaže. Súčasne boli určené stredné chyby týchto prevýšení $m_{\Delta hi}$.

$$m_{\Delta hi} = m_0 * \sqrt{R_i}$$

R_i dĺžka oddielu

m_0 jednotková kilometrová stredná chyba

Tabuľka č. 14 Výsledné prevýšenia a ich stredné chyby

bod		R [km]	Δh [m]	$m_{\Delta hi}$ [mm]
z	na			
P1	101	0,01816	-0,80530	0,03
101	102	0,09085	0,19489	0,08
102	103	0,19432	1,32206	0,11
103	104	0,18628	1,81859	0,11
104	106	0,29046	6,18292	0,14
106	105	0,11908	-2,01580	0,06
105	107	0,24902	-0,86927	0,09
107	108	0,22272	-0,65420	0,08
108	109	0,40132	1,58175	0,11

Následne sa pristúpilo k výpočtu výsledných výšok bodov profilu a ich stredných chýb. Výšky jednotlivých bodov boli určené na základe známej výšky bodu 106 (Ocd-17.3) a príslušných opravených prevýšení. Stredné chyby výšok nivelačných bodov boli určené pomocou zákona hromadenia stredných chýb. Tzn., že stredné chyby jednotlivých výšok boli určené pomocou strednej chyby výšky vychádzajúceho bodu a stredných chýb jednotlivých prevýšení. Stredná chyba výšky bodu 106 je nulová.

Napr.:

Výška bodu 105

$$H_{105} = H_{106} + \Delta h_{106,105}$$

Stredná chyba výšky bodu 105

$$m_{H_{105}}^2 = m_{H_{106}}^2 + m_{\Delta h_{106,105}}^2$$

Tabuľka č. 15 Výsledné výšky bodov a ich stredné chyby

bod	H _i [mm]	m _{Hi} [mm]
P1	288,95184	0,23
101	288,14654	0,22
102	288,34143	0,21
103	289,66348	0,18
104	291,48208	0,14
105	295,64920	0,06
106	297,66500	0,00
107	294,77994	0,11
108	294,12574	0,14
109	295,70749	0,18

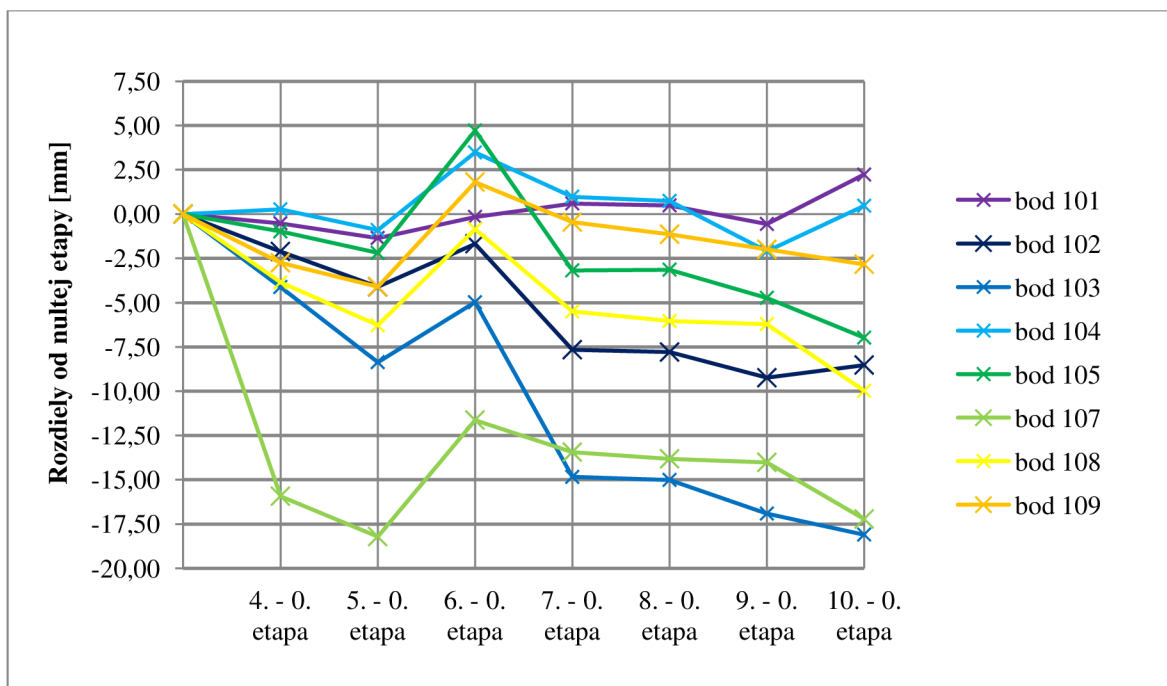
3.2.5. Porovnanie jednotlivých etáp

Za účelom porovnania jednotlivých etáp bolo primárne nutné prevziať údaje o výškach z predchádzajúcich diplomových prác. Výsledné výšky bodov profilu z etáp zameraných metódou VPN boli porovnané s výškami bodov zo základnej etapy. Toto porovnanie bolo realizované v podobe nižšie uvedenej tabuľky a spojnicového grafu a tiež vo forme stĺpcového grafu, ktorý je znázornený v prílohe č.6. Z dôvodu lepšej prehľadnosti boli vytvorené samostatné grafy pre jednotlivé body profilu, ktoré sú súčasťou rovnakej prílohy.

Význam znamienok: + zdvih /- pokles

Tabuľka č. 16 Porovnanie jednotlivých etáp k základnej etape v [mm]

bod	4. - 0. etapa	5. - 0. etapa	6. - 0. etapa	7. - 0. etapa	8. - 0. etapa	9. - 0. etapa	10. - 0. etapa
	7/09-7/08	10/09-7/08	3/10-7/08	6/13-7/08	6/13-7/08	3/14-7/08	6/16-7/08
101	-0,52	-1,35	-0,16	0,6	0,49	-0,56	2,23
102	-2,11	-4,11	-1,68	-7,66	-7,79	-9,24	-8,52
103	-4,12	-8,36	-4,98	-14,84	-15,01	-16,91	-18,10
104	0,27	-0,9	3,48	0,98	0,74	-2,1	0,47
105	-0,98	-2,19	4,72	-3,18	-3,14	-4,73	-6,98
106							
107	-15,93	-18,21	-11,63	-13,44	-13,82	-14,02	-17,21
108	-3,86	-6,28	-0,85	-5,5	-6,04	-6,21	-9,98
109	-2,75	-4,1	1,81	-0,45	-1,14	-1,99	-2,83



Graf č. 2 Zmeny výšok bodov

Okrem porovnania 4. - 10. etapy zo základnou etapou bolo realizované porovnanie poslednej etapy z etapami, ktoré boli zamerané rovnakou metódou - VPN. Jedná sa o 4. až 9. etapu. Vyhodnotenie bolo realizované rovnakým spôsobom ako v predchádzajúcom prípade, tzn. v podobe tabuľky, celkového grafu a čiastkových grafov, ktoré sú uvedené v prílohe č.6.

Význam znamienok: + zdvih /- pokles

Tabuľka č. 17 Porovnanie jednotlivých etáp k 10. etape v [mm]

bod	10. - 4. etapa	10. - 5. etapa	10. - 6. etapa	10. - 7. etapa	10. - 8. etapa	10. - 9. etapa
	6/16-7/09	6/16-10/09	6/16-3/10	6/16-6/13	6/16-6/13	6/16-3/14
101	2,75	3,58	2,39	1,63	1,74	2,79
102	-6,41	-4,41	-6,84	-0,86	-0,73	0,72
103	-13,98	-9,74	-13,12	-3,26	-3,09	-1,19
104	0,20	1,37	-3,01	-0,51	-0,27	2,57
105	-6,00	-4,79	-11,70	-3,80	-3,84	-2,25
106						
107	-1,28	1,00	-5,58	-3,77	-3,39	-3,19
108	-6,12	-3,70	-9,13	-4,48	-3,94	-3,77
109	-0,08	1,27	-4,64	-2,38	-1,69	-0,84

Následne boli vypočítané vertikálne rýchlosti jednotlivých bodov meraného profilu, pričom najväčšiu rýchlosť vykazuje bod 107 (-6,43 mm/rok) a bod 103 (-3,44 mm/rok).

Tabuľka č. 18 Vertikálna rýchlosť bodov v [mm/rok]

bod	t = 13	t = 16	t = 21	t = 60	t = 60	t = 69	t = 98	priemer
	4. - 0. etapa	5. - 0. etapa	6. - 0. etapa	7. - 0. etapa	8. - 0. etapa	9. - 0. etapa	10. - 0. etapa	
	7/09-7/08	10/09-7/08	3/10-7/08	6/13-7/08	6/13-7/08	3/14-7/08	6/16-7/08	
101	-0,48	-1,01	-0,09	0,12	0,10	-0,10	0,27	-0,17
102	-1,95	-3,08	-0,96	-1,53	-1,56	-1,61	-1,04	-1,68
103	-3,80	-6,27	-2,85	-2,97	-3,00	-2,94	-2,22	-3,44
104	0,25	-0,68	1,99	0,20	0,15	-0,37	0,06	0,23
105	-0,90	-1,64	2,70	-0,64	-0,63	-0,82	-0,85	-0,40
106	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
107	-14,70	-13,66	-6,65	-2,69	-2,76	-2,44	-2,11	-6,43
108	-3,56	-4,71	-0,49	-1,10	-1,21	-1,08	-1,22	-1,91
109	-2,54	-3,08	1,03	-0,09	-0,23	-0,35	-0,35	-0,80

3.2.6. Vyhodnotenie vertikálnych pohybových tendencií

Hlavný profil, ktorý predstavujú body 101-109, bol meraný už od roku 2008 až do polovice roku 2010. Potom sa meranie opakovalo až v lete roku 2013 a v zime roku 2014. Odvtedy tento profil meraný nebol a preto nie je možné interpretovať krátkodobé posuny na bodoch profilu.

Z grafov jednotlivých bodov (príloha č.6) je zrejmé, že väčšina bodov má klesajúcu výškovú tendenciu. Z porovnania jednotlivých etáp vzhľadom k základnej etape vyplýva, že k najväčším posunom dochádza na bodoch 103 (-18,10 mm), 107 (-17,21 mm) a tiež na bodoch 108 (-9,98 mm) a 102 (-8,52 mm). Na bode 103 dochádza k takémuto posunu pravdepodobne z toho dôvodu, že sa nachádza v blízkosti zlomu. Tento zlom môže mať vplyv aj na bod 102, ktorý oproti bodu 103 klesá polovičnou rýchlosťou. Na východ od bodu 102 a na západ od bodu 103 tzn. na bodoch 101, 104 a 105 neboli zaznamenané väčšie dlhodobé zmeny. V západnej časti profilu sa vykazujú výraznejšie vertikálne pohybové tendencie na bode 107 a to asi z toho dôvodu, že sa nachádza v tesnej blízkosti vodného zdroja "Pramenište Tetčice". Tento zásobník vody má pravdepodobne vplyv aj na bod 108, ktorý sa pohybuje o polovicu pomalšie než bod 107.

Okrem uvedených faktorov, môže vertikálne posuny spôsobovať aj zmena hladiny podzemnej vody. Pre vyhodnotenie miery vplyvu HPV na vertikálne posuny boli porovnávané len niektoré etapy. Jedná sa o etapy, ktoré boli zamerané v tom istom období (jún, júl) a to z toho dôvodu, že sa predpokladajú rovnaké vonkajšie vplyvy na meranie (hladina podzemnej vody, teplo). Toto porovnanie je uvedené v tabuľke č.19.

Tabuľka č. 19 Porovnanie jednotlivých etáp k základnej etape v [mm]

bod	10. - 0.	10. - 4.	10. - 7.	10. - 8.
	etapa	etapa	etapa	etapa
	6/16-6/08	6/16-7/09	6/16-6/13	6/16-6/13
101	2,23	2,75	1,63	1,74
102	-8,52	-6,41	-0,86	-0,73
103	-18,10	-13,98	-3,26	-3,09
104	0,47	0,20	-0,51	-0,27
105	-6,98	-6,00	-3,80	-3,84
106				
107	-17,21	-1,28	-3,77	-3,39
108	-9,98	-6,12	-4,48	-3,94
109	-2,83	-0,08	-2,38	-1,69

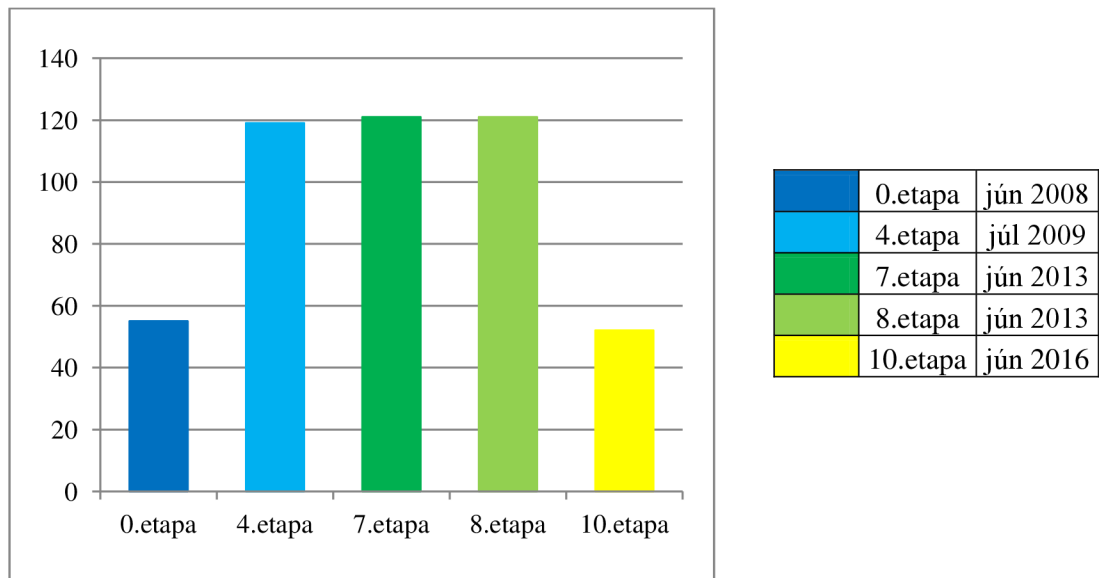
Aby bolo možné posúdiť vplyv HPV, bolo potrebné na portáli Českého hydrometeorologického ústavu získať archívne dáta zrážkových úhrnov pre územie Juhomoravského kraja a to v mesiacoch jún (2008), júl (2009), jún (2013) a jún (2016). V archíve sú uvedené úhrny zrážok v mm (graf č.3) a tiež dlhodobý zrážkový normál 1961 - 1990 v %. Tieto údaje sú uvedené v tabuľke č.20.

Tabuľka č. 20 Údaje o zrážkach [22]

	0.etapa	4.etapa	7.etapa	8.etapa	10.etapa
	jún 2008	júl 2009	jún 2013	jún 2013	jún 2016
dlhodobý zrážkový normál 1961-1990 [%]	74	186	161	161	69
zrážky v [mm]	55	119	121	121	52

Z tabuľky č.19 vyplýva, že väčšina bodov má klesajúcu výškovú tendenciu. To znamená, že pri meraní 10.etapy sa predpokladajú nižšie úhrny zrážok než v predchádzajúcich etapách. Túto domnienku potvrdzujú údaje z portálu CHMI o zrážkach. Môžeme teda predpokladať, že vertikálne posuny bodov sú okrem iného

ovplyvňované aj aktuálnymi zrážkami. Pre lepšie posúdenie vplyvu HPV by bolo potrebné mať údaje o zrážkach priamo z obce Tetčice.



Graf č. 3 Úhrny zrážok v [mm] [22]

4. Gravimetria

Gravimetria je vedná disciplína, zaoberajúca sa meraním a vyhodnocovaním hodnôt tiažového zrýchlenia. Získané dáta sú obvykle využívané v oblasti fyzikálnej geodézie alebo užitej gravimetrie. V oblasti užitej gravimetrie sa výsledky meraní využívajú pre geologické účely (zisťovanie anomálnych hmôt), zatiaľ čo vo fyzikálnej geodézii sa získané hodnoty používajú pre určenie tvaru Zeme.

Pre tiažové zrýchlenie g je základnou meranou fyzikálnou veličinou, odvodenou v sústave SI, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Ale z dôvodu, že je v užitej gravimetrii hlavným predmetom prieskumnej činnosti zisťovanie rušivých anomálnych hmôt v zemskej kôre, ktoré vyvolávajú tiažové anomálie, používa sa v praxi o mnoho menšia jednotka 1mGal . Pričom 1mGal odpovedá $10^{-5}\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. [23]

4.1. Metodika gravimetrického merania

Prístroje, ktoré sa používajú pre meranie tiažového zrýchlenia sa nazývajú gravimetre a podľa meracieho princípu a druhu získanej hodnoty ich delíme na relatívne a absolútne. Absolútne gravimetre sú prístroje, ktoré nám poskytujú výsledok v podobe hodnoty tiažového zrýchlenia g . Jedná sa o laboratórne prístroje, ktorých merací princíp je založený buď na voľnom páde alebo na princípe fyzikálneho kyvadla. Meračský proces tohto druhu je veľmi časovo náročný, no naopak nám poskytuje veľmi presné hodnoty g (s presnosťou $0,1\ \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ - $0,001\ \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), ktoré sú potrebné pre vedecké ale aj praktické účely. Prostredníctvom takýchto meraní sa vytvárajú body štátnej gravimetrickej siete. [24]

Relatívne gravimetre sú prístroje, ktoré nám umožňujú merať relatívne tiažové rozdiely. Umožňujú nám realizovať rýchle meranie relatívnych hodnôt tiažového zrýchlenia na pevnine, pod morskou hladinou a tiež aj v rámci leteckých meraní. [23]

4.1.1. Meranie s relatívnym gravimetrom

Primárne je nutné urovnať prístroj, pomocou oboch libiel umiestnených na gravimetri, do horizontálnej polohy s využitím otočných šrubov a odaretovať meráciu

pružinu vo vnútri prístroja. Následne je potrebné pomocou číselníku, ktorý je umiestnený na vrchu gravimetra, nastaviť v okulári prístroja výrobcom definovanú meráciu rysku a odčítať hodnotu dielikov na čítacom zariadení. Táto hodnota sa potom prevedie pomocou prevodovej konštanty prístroja, ktorá je daná výrobcom alebo sa určí ciachovaním prístroja, na hodnotu v miligaloch. Vzhľadom k tomu, že sa s časom elastické vlastnosti kremenných pružín menia, je potrebné túto konštantu v určitých časových obdobiach prekontrolovať.

Napriek tomu, že terénne meranie s gravimetrom trvá len niekoľko minút, jedná sa o zložitý a časovo náročný proces, pretože je nutné niektoré body merať opakovane z dôvodu určenia chyby merania a tzv. chodu gravimetra. [24]

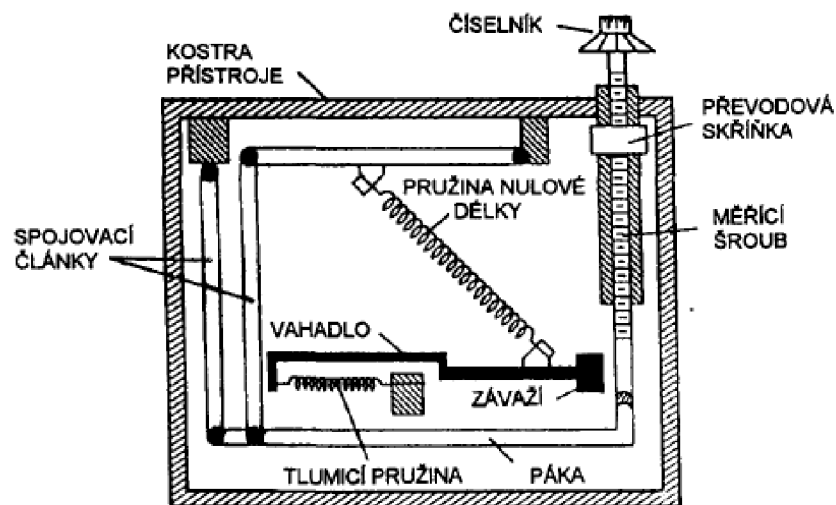
4.1.1.1. LaCoste & Romberg

Merací systém gravimetra LaCoste & Romberg (LCR) je kovový a skonštruovaný na princípe váhy s vahadlom, kedy moment sily vahadla je kompenzovaný momentom sily špirálovej pružiny.

Vahadlo v nulovej rovnovážnej polohe je vodorovné a ku kostre je pripevnené dvoma symetricky umiestnenými vodorovnými tlmiacimi pružinami, ktoré potláčajú vplyv otrasov na systém. Spojnica bodov, na ktorých sú tieto pružiny upevnené, predstavuje os otáčania vahadla. Hlavná pružina systému je sklonená ku horizontu pod uhlom cca 45° , pričom horný bod upevnenia pružiny je takmer vertikálne nad osou otáčania vahadla.

Pri meraní musí byť vahadlo (v nulovej rovnovážnej polohe, do ktorej ho dostávame vertikálnym posunom bodu upevnenia hlavnej pružiny) aj jeho os otáčania vodorovné a merací systém musí mať optimálnu citlivosť. Ďalej je nutné určiť na čítacom zariadení vhodnú "odčítaciu rysku" na stupnici okuláru.

Významnou negatívnou vlastnosťou gravimetrov LCR je vysoká citlivosť na zmenu horizontácie v smere vahadla systému. [25]



Obrázok č. 16 Schéma gravimetra LaCoste & Romberg [25]

Modely LCR G a D sa od seba odlišujú najmä meracím rozsahom a presnosťou. Model G má rozsah 7000 mGal a presnosť 0,04 mGal, zatiaľ čo model D má rozsah iba 200mGal ale presnosti dokážeme, pri použití metódy nulovej dĺžky, dosiahnuť lepšej než 0,01mGal. [26]



Obrázok č. 17 LaCoste & Romberg G-176 (autor)

4.1.1.2. Chod gravimetra

V priebehu terénneho merania sa čítanie na stupnici gravimetra mení a to v dôsledku zmeny tiažového zrýchlenia, no najmä v dôsledku toho, že prístroj registruje tiažové účinky nežiaducich faktorov. Tzn. na rovnakých bodoch nameriame každý krát inú hodnotu. Tieto nežiaduce zmeny v čítaní gravimetra nazývame chod gravimetra a patria medzi nich vplyvy, ktoré súvisia s procesmi vo vlastnom meracom systéme ako sú nárazy pri transporte, zmeny teploty a tlaku, ale tiež gravitačný účinok Slnka a Mesiaca. Za účelom určenia chodu gravimetra sa asi u 10% - 15% bodov realizuje po 2 - 3 hodinách opakované meranie. Tiež sa na základnom tiažovom bode, na ktorom sa meranie začína a končí, realizuje meranie uprostred každého denného profilu.

Pri samotnom meraní sa okrem hodnôt dielikov zaznamenáva čas merania, na základe ktorého je možné vytvoriť grafické znázornenie chodu gravimetra. Najskôr sa tiažové hodnoty u opakovaných bodov vynesú v závislosti na čase a rovnaké body sa spoja priamkami. Takto vzniknuté úsečky sa následne posunú rovnobežne s vertikálnou osou tak, aby spolu vytvorili plynulú krivku, ktorá definuje priebeh veľkosti zmien tiažových hodnôt v závislosti na čase.

Potom sa odčíta od každej nameranej hodnoty tiažového zrýchlenia hodnota jednotlivých opráv - oprava o chod gravimetra - a získajú sa reálnejšie relatívne hodnoty tiaže. Absolútne hodnoty tiaže sa na podrobných bodoch získajú tak, že sa k relatívnym hodnotám tiaže pripočíta hodnota absolútneho tiažového zrýchlenia základného bodu, vzhľadom ku ktorému boli podrobné body zamerané. [23]

4.1.2. Bouguerove anomálie

Pre riešenie úloh v oblasti všeobecnej a inžinierskej geológie sú dôležitým podkladom odchýlky tiaže od normálnych hodnôt tzv. anomálie tiaže. Táto anomália je rozdiel medzi nameranou hodnotou a určitou teoretickou hodnotou, ktorú by sme namerali na ideálnej Zemi. Preto nemôže užitá geofyzika používať pre riešenie tejto problematiky priamo hodnoty tiažového zrýchlenia, ale musí z nich najskôr odstrániť účinky rôznych nežiaducich faktorov. Odstránením nežiaducich vplyvov z hodnôt tiažových zrýchlení

v základnej podobe sa rozumie zavedenie rôznych druhov oprav a redukcií, medzi ktoré patrí:

- 1) oprava o hodnotu tzv. normálneho poľa
- 2) Fayova redukcia
- 3) Bouguerova redukcia
- 4) topografická korekcia
- 5) oprava zo zakrivenia Zeme (Bullardov člen).

Ak sa z hodnôt tiažových zrýchlení uvedených v ich základnej podobe odstránia všetky nežiaduce vplyvy, získame úplnú Bouguerovu anomáliu, ktorá je daná vzťahom:

$$\Delta g_B(h, \varphi, \lambda) = g - g_n(\varphi) + 0,3086h - 0,0419h\rho + T(h, \varphi, \lambda) - B[mGal]$$

kde h je nadmorská výška tiažového bodu; φ , λ sú zemepisná šírka a dĺžka meračského stanoviska; g je nameraná hodnota tiažového zrýchlenia (opravená o chod a prepočítaná na absolútnu hodnotu); $g_n(\varphi)$ je tzv. normálne pole, ktoré je funkciou zemepisnej šírky; ρ je tzv. redukčná hustota Bouguerovej dosky; $T(h, \varphi, \lambda)$ sú tzv. topokorekcie a B je tzv. Bullardov člen.

- 1) normálne tiažové pole $g_n(\varphi)$

Od nameraného tiažového zrýchlenia sa odčíta normálne pole, ktoré charakterizuje účinok elipsoidu (sféroidu) - gravitačné zrýchlenie. Jeho vonkajšie ohraničenie je totožné s nulovou nadmorskou výškou a jeho hustota sa v povrchovej časti blíži k hodnote $2,7 \text{ g.cm}^{-3}$. Táto oprava tiež zohľadňuje zmeny, ktoré sú vyvolané rotáciou Zeme.

$$g_n^{Helmert} = 978\,030 (1 + 0,005\,302 \sin^2\varphi - 0,000\,007 \sin^2 2\varphi)$$

$$g_n^{WGS} = 978\,032,677\,137 + 5\,163,074\,975 \sin^2\varphi + 22,760\,576 \sin^4\varphi +$$

$$+ 0,123\,445 \sin^6\varphi + 0,000\,714 \sin^8\varphi + 0,000\,004 \sin^{10}\varphi$$

kde φ je zemepisná šírka gravimetrického stanoviska v súradnicovom systéme WGS 84. Pre výpočet normálneho tiažového poľa bol v tejto diplomovej práci použitý Helmertov vzorec.

2) Fayova redukcia R_F

Vzhľadom k tomu, že sú vypočítané hodnoty normálnej tiaže definované na úrovni povrchu hustotne homogénnych a geometricky jasne definovaných hmotných objektov, ako sú sféroid a geoid, je nutné previesť namerané dáta na hladinovú plochu geoidu, od ktorej sa určujú výšky zemského povrchu. Tzn. "presúvame" teoretickú hodnotu normálneho poľa z úrovne 0 m.n.m. do bodu merania s výškou h . To je možné realizovať zavedením tzv. Fayovej redukcie.

$$R_F = -0,3086 h$$

kde h je nadmorská výška príslušného bodu.

Fayova anomália sa potom určí zo vzťahu:

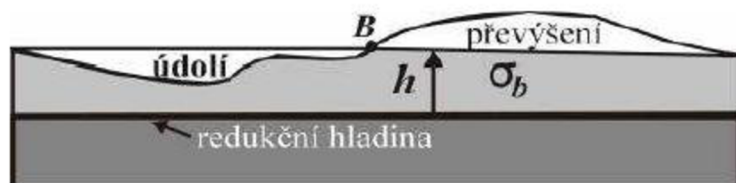
$$\Delta g_F = g - (g_n - 0,3086 h) = g - g_n + 0,3086 h$$

3) Bouguerova redukcia $2\pi f\sigma h$

Zavedením tzv. Bouguerovej redukcie sa rozumie odpočítanie účinkov hmôt medzi bodom merania a nulovou úrovňou. Ak od Fayových anomálií odpočítame gravitačný účinok všetkých topografických hmôt rozložených nad hladinou mora, získame úplne Bouguerove anomálie. V prípade, že by sme odpočítali len gravitačný účinok Bouguerovej dosky (rovinná hmotná doska s konštantnou hustotou, ktorej výška sa rovná nadmorskej výške daného bodu), získame Bouguerove anomálie bez terénnej korekcie. Bouguerova redukcia je daná vzťahom:

$$2\pi f\sigma h = 0,0419 \sigma h$$

kde σ je hustota Bouguerovej dosky (redukčná hustota).



Obrázok č. 18 Bouguerova doska [23]

4) topografická korekcia

Zavedením topokorekcií sa odstraňuje gravitačný účinok okolitých terénnych tvarov a tiež sa opravuje odčítanie účinkov výplní dolín, ktoré boli spôsobené zavedením Bouguerovej redukcie. Výpočet topografických korekcií je náročný a vždy sa k hodnotám Bouguerových anomálií bez terénnej korekcie pričítajú tzn. táto korekcia je vždy kladná. [23] [24]

Celková topografická korekcia sa vypočíta:

$$\Delta g_t = T_1 + T_2 + T_3$$

kde, T_1 predstavuje terénne korekcie v štvorcovom okolí meraného bodu, tj. vo vnútri štvorca so stranou 500 m; T_2 je z vonkajšej oblasti štvorcového okolia, až do vzdialenosti 5,24 km; T_3 zahŕňa oblasť od 5,24 km až do 166,7 km. [11]

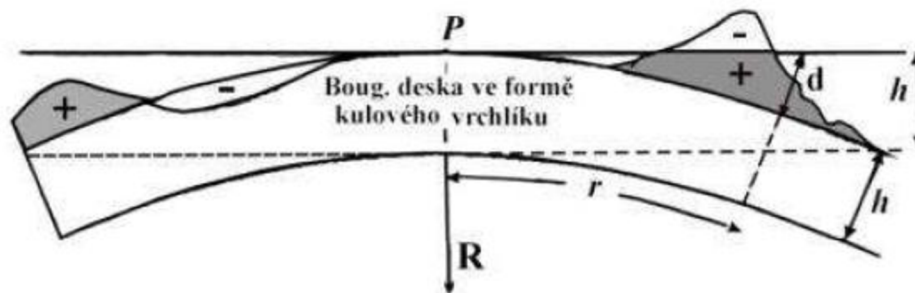
Pre výpočet úplnej tiažovej anomálie boli vypočítané topokorekcie T_1 a T_3 . Topokorekcia T_2 bola stanovená programom TOPO na pracovisku Gtrend s.r.o. v Bratislave (Dr. j. Mikuška).

5) Bullardov člen

Vzhľadom k tomu, že nie je možné Zem považovať za rovinnú, je potrebné namiesto Bouguerovej dosky uvažovať vrstvu vo forme guľového vrchlíka, ktorý má vrchol v meranom bode. Účinok takejto vrstvy sa líši od nekonečnej Bouguerovej dosky o Bullardov člen $B(h, \sigma)$. Ten je funkciou nadmorskej výšky uvažovaného bodu a hustoty guľového vrchlíka.

$$B = 0,001\,464\,71\,H - 3,534 * 10^{-7}H^2$$

kde H je nadmorská výška meraného bodu (v metroch). Vo výpočtoch v rámci diplomovej práce nebol tento člen do výpočtu uvažovaný. [23]



Obrázok č. 19 Schéma predstavujúca vplyv topografických hmôt [23]

kde P je meračské stanovisko; r je rádius okolia meračského stanoviska; R je polomer Zeme; d je vzdialenosť medzi povrchom Bouguerovej dosky a sférickým povrchom; +/- znamienka hodnôt tiažového efektu hmôt; h je mocnosť Bouguerovej dosky.

4.2. Gravimetrické meranie

Pre gravimetrické meranie bol vedúcim diplomovej práce zapožičaný relatívny gravimeter LaCoste & Romberg G-176. Vzhľadom k tomu, že sa týmto gravimetrom určujú len relatívne hodnoty tiažového zrýchlenia, bolo nevyhnutné určiť bod pre pripojenie. Tzn. bod, ktorého hodnotu absolútneho tiažového zrýchlenia poznáme - tiažový bod ZB Tetčice. Hodnotu absolútneho tiažového zrýchlenia na bode určila diplomantka Katarína Bitalová roku 2013 a preto bola pred začatím samotného merania táto hodnota overená. Overenie bolo realizované s využitím merania na bode základného tiažového bodového poľa Ostravačice č. 3453,01. Miestopisy oboch bodov sú uvedené v prílohe č.7. Pred samotným meraním bola určená metodika merania, ktorá spočívala v meraní v čo najkratšom čase, a to kvôli minimalizácii chýb spôsobených vonkajšími vplyvmi na prístroj.

4.2.1. Skoršie merania

Body profilu 101-109, na ktorých prebiehalo gravimetrické meranie boli vytvorené už v roku 2008 Michalom Witiskom. Tie boli pôvodne určené pre nivelačné merania. Prvé tiažové meranie na týchto bodoch (0.etapa) boli realizované v júni 2013 a opakované (1.etapa) aj vo februári 2014. [17]

4.2.2. Vlastné gravimetrické meranie

Samotnému meraniu predchádzala realizácia prípravných prác a rekognoskácia. Vzhľadom k tomu, že gravimetrické aj nivelačné meranie prebiehalo na rovnakých bodoch profilu, tak túto etapu už nie je nutné popisovať, pretože je uvedená v kapitole 3.2.2..

Vlastné tiažové meranie (2.etapa) bolo realizované dňa 25.6.2016 pri priemernej teplote 27,9°C s jasnou oblohou. Pred začatím podrobného merania bolo nutné overiť hodnotu absolútneho tiažového zrýchlenia na bode ZB Tetčice a to s využitím merania na tiažovom bode Ostravačice. Bod ZB Tetčice bol zameraný celkovo tri krát a tiažový bod Ostravačice dva krát, pričom opakované meranie bolo nutné vykonávať pre určenie chodu gravimetra. Pri každom meraní boli odčítané dve hodnoty čítania na gravimetrickom prístroji a v prípade veľkej odchýlky dvoch meraní boli odčítané tri hodnoty. Na každom bode boli zaznamenávané hodnoty čítania a čas merania do terénneho zápisníka, ktorý je v upravenej forme uvedený v prílohe č. 8. Toto meranie prebiehalo približne 1 hodinu s využitím automobilu pre presun medzi tiažovými bodmi.

Podrobné gravimetrické meranie bolo realizované rovnakým spôsobom ako meranie, ktoré slúžilo pre overenie tiažového bodu ZB Tetčice. Pre možnosť určenia chodu gravimetra bolo meranie na niektorých bodoch realizované dvakrát (body ZB Tetčice, 102, 105). Na každom bode boli zaznamenávané hodnoty čítania a čas merania do terénneho zápisníka, ktorý je tiež v upravenej forme uvedený v prílohe č. 8.

Meranie na bode P1, ktorý je súčasťou GNSS siete nebolo do výpočtu zahrnuté a to z dôvodu, že na tomto bode nebolo absolútne tiažové zrýchlenie určené ani v predchádzajúcich etapách.



Obrázok č. 20 Meranie prístrojom LaCoste & Romberg G-176 (autor)

4.2.3. Spracovanie meraní

Pri meraní gravimeter neposkytuje priamo hodnoty relatívneho tiažového zrýchlenia, ale odčítajú sa hodnoty v dielikoch, ktoré sa na základe tabuľky pre LC&R č.176 prevedú na hodnoty v miligaloch.

Opravou takto vypočítaných hodnôt o chod gravimetra (príloha č.9) bolo získané relatívne tiažové zrýchlenie na bodoch. Chod gravimetra bol zostrojený na základe opakovaného merania na niektorých bodoch a bol zostrojený dva krát. Prvý raz pre určenie

relatívne tiažového zrýchlenia na bode ZB Tetčice a druhý raz pre stanovenie relatívneho tiažového zrýchlenia na podrobných bodoch v 2. etape.

Následne sa pristúpilo k výpočtu absolútnych tiažových zrýchlení na bodoch. Primárne sa na základe tiažového bodu Ostravačice určila hodnota absolútneho tiažového zrýchlenia na bode ZB Tetčice a z bodu ZB Tetčice sa určovali hodnoty absolútneho tiažového zrýchlenia na podrobných bodoch 101-109 (príloha č.10).

Tabuľka č. 21 Výsledná hodnota skutočného g bodu ZB Tetčice a podrobných bodov

bod	skutočné g [mGal]
Tetčice	980934,028
101	980936,366
102	980936,141
103	980935,579
104	980935,242
105	980934,294
106	980934,028
107	980934,328
108	980934,504
109	980933,974

4.2.3.1. Výpočet UBA

Z vypočítaných hodnôt absolútneho tiažového zrýchlenia na bodoch boli následne vypočítané úplné Bouguerove anomálie (UBA). Výpočet UBA pre jednotlivé podrobné body sa nachádza v prílohe č.10.

Vzorec pre výpočet UBA:

$$\Delta g_B(h, \varphi, \lambda) = g - g_n(\varphi) + 0,3086h - 0,0419h\rho + T(h, \varphi, \lambda) - B[mGal]$$

kde h je nadmorská výška tiažového bodu; φ , λ sú zemepisná šírka a dĺžka meračského stanoviska; g je nameraná hodnota tiažového zrýchlenia (opravená o chod a prepočítaná na absolútnu hodnotu); $g_n(\varphi)$ je tzv. normálne pole, ktoré je funkciou zemepisnej šírky; ρ je tzv. redukčná hustota Bouguerovej dosky; T (h, φ , λ) sú tzv. topokorekcie a B je tzv. Bullardov člen. [23]

Tabuľka č. 22 Úplné Bouguerove anomálie podrobných bodov

bod	Úplná Bouguerova anomália Δg_B [mGal]
	101
102	14,703
103	14,362
104	14,301
105	14,039
106	14,459
107	13,784
108	13,740
109	13,418

4.2.3.2. Presnosť gravimetrického merania

Stredná výberová chyba m_{g1} počítaná z dvojíc merania

Pri gravimetrickom meraní bola na každom bode odčítaná hodnota čítania 2 krát. Rozdiel čítaní sa posudzuje na základne výberovej strednej chyby m_{g1} , ktorá sa vypočíta podľa vzťahu:

$$m_{g1} = \sqrt{\frac{\sum \Delta\Delta}{2n}}$$

kde Δ je rozdiel čítaní na jednom bode a n je počet dvojíc merania.

Vzhľadom k tomu, že táto stredná chyba nám udáva chybu jedného čítania, bolo potrebné ju previesť na strednú chybu rozdielu.

$$m_{\Delta g1} = m_{g1} * \sqrt{2}$$

Zo strednej chyby rozdielu čítaní bola následne vypočítaná medzná chyba rozdielu, s ktorou sa porovnávali rozdiely medzi čítaním na jednotlivých bodoch.

$$\delta_{\Delta g1} = m_{\Delta g1} * t$$

kde t je súčiniteľ konfidencie ($t = 2$).

Tabuľka č. 23 Stredné chyby čítania pri gravimetrickom meraní

	[dieliky]	[mGal]
stredná chyba jedného čítania m_{g1}	0,009	0,009
stredná chyba rozdielu $m_{\Delta g1}$	0,012	0,013
medzná chyba rozdielu $\delta_{\Delta g1}$	0,025	0,026

Tabuľka č. 24 Posúdenie odchýlok dvojíc čítania pri podrobnom gravimetrickom meraní

bod	čítanie 1 [dieliky]	čítanie 2 [dieliky]	Δ [dieliky]	posúdenie $\Delta < \delta_{\Delta g1}$
Tetčice	4366,095	4366,080	0,015	vyhovuje
101	4368,135	4368,130	0,005	vyhovuje
102	4367,920	4367,930	-0,010	vyhovuje
103	4367,395	4367,405	-0,010	vyhovuje
104	4367,085	4367,095	-0,010	vyhovuje
Tetčice	4366,025	4366,010	0,015	vyhovuje
102	4367,975	4367,955	0,020	vyhovuje
105	4366,285	4366,265	0,020	vyhovuje
107	4366,270	4366,280	-0,010	vyhovuje
108	4366,460	4366,455	0,005	vyhovuje
109	4365,980	4365,985	-0,005	vyhovuje
105	4366,290	4366,300	-0,010	vyhovuje
Tetčice	4365,890	4365,905	-0,015	vyhovuje

Stredná chyba m_{g2} určená z kontrolných bodov

Stredná chyba meranej tiaže m_{g2} bola určená z hodnôt tiaže zmeraných na kontrolných bodoch podľa vzťahu:

$$m_{g2} = \sqrt{\frac{\sum vv}{n - k}}$$

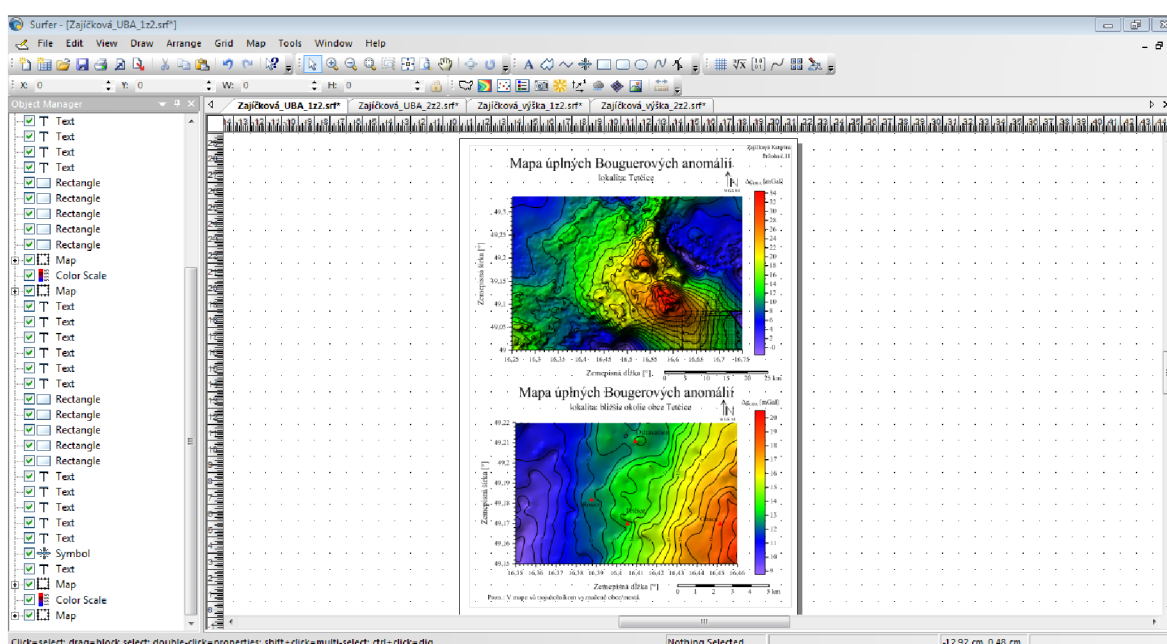
kde n je počet všetkých meraní na kontrolných bodoch, k je počet kontrolných bodov a v je odchýlka od strednej hodnoty tiaže v mGal.

Tabuľka č. 25 Stredná chyba určená z kontrolných bodov

	[mGal]
ZB Tetčice	0,051
podrobné body	0,057

4.2.3.3. Mapa UBA

Dáta pre vyhotovenie mapy UBA boli poskytnuté z máp tiažového mapovania 1:25 000 a to pre celé mapové listy M-33-105 B, M-33-105 D a príľahlých polovic máp M-33-105 A a M-33-105 C. Dáta boli upravené do tabuľky vo formáte *xlsx (Microsoft Excel). Jednalo sa o zoznam bodov s uvedenou zemepisnou šírkou, zemepisnou dĺžkou, nadmorskou výškou, hodnotou absolútneho tiažového zrýchlenia a UBA. Do tejto tabuľky boli doplnené zhodné informácie o podrobných bodoch polygónu Tetčice a následne bola mapa UBA vyhotovená v programe Surfer 11.



Obrázok č. 21 Ukážka z prostredia Surfer 11 (autor)

Mapa UBA bola vyhotovená vo viacerých formách, ktoré sa odlišujú rozsahom zobrazovaného územia. Jedná sa o mapu UBA pre širšie okolie obce Tetčice (cca 36 x 36 km), pre bližšie okolie obce Tetčice (cca 7,5 x 8 km) a pre okolie polygónu Tetčice (cca 0,9 x 1,7 km). Rovnakým spôsobom a v rovnakých formách boli vyhotovené aj topografické mapy. Okrem týchto máp boli vyhotovené aj pozdĺžne profily, ktoré znázorňujú výškový priebeh a priebeh UBA na polygóne Tetčice. Všetky grafické výstupy z programu Surfer 11 sú súčasťou prílohy č.11 (*pdf a *srf).

4.2.4. Vyhodnotenie gravimetrického merania

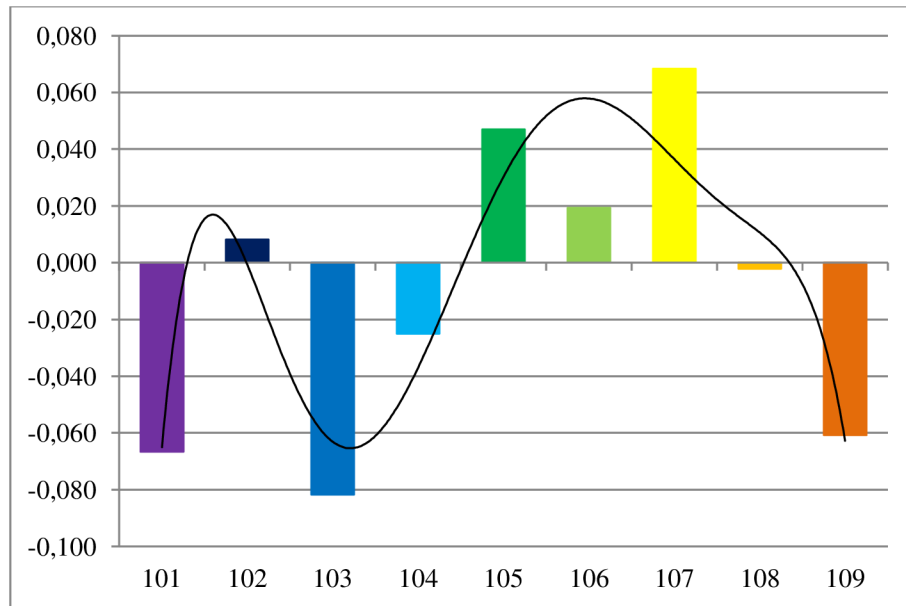
Pre vyhodnotenie gravimetrického merania bolo nutné využiť namerané dáta z poslednej etapy zameranej v rovnakom období a to z toho dôvodu, že môžeme predpokladať rovnaké pôsobenie vonkajších vplyvov na meranie (hladina podzemnej vody, teplo). U gravimetrického merania sa jedná o 0.etapu zameranú v júni 2013 a u nivelačného merania ide o 7.etapu zameranú v rovnakom období.

Úlohou porovnania jednotlivých etáp má byť potvrdenie predpokladaných príčin vertikálnych pohybových tendencií uvedených v kapitole 3.2.6..

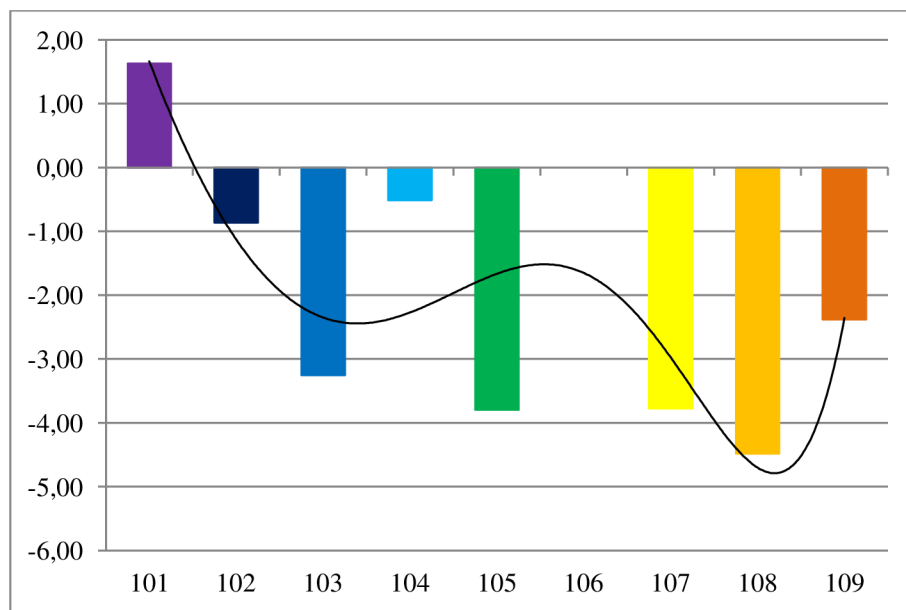
Z rozdielov g a H boli vytvorené grafy (graf č.4 a graf č.5), ktoré boli preložené polynomicou krivkou 6.stupňa. Pri porovnaní týchto grafov je evidentná podobnosť kriviek medzi bodmi 103 - 108 no u ostatných bodov profilu sú už tieto krivky mierne vychýlené.

Tabuľka č. 26 Výpočet rozdielov skutočného g a H medzi etapami

bod	výška H [m]		ΔH [m] 7.etapa	skutočné g [mGal]		Δg [mGal]
	7.etapa	10.etapa		0.etapa	2.etapa	
	jún 2013	jún 2016		jún 2013	jún 2016	
101	288,14491	288,14654	1,63	980936,299	980936,366	0,067
102	288,34229	288,34143	-0,86	980936,149	980936,141	-0,008
103	289,66674	289,66348	-3,26	980935,497	980935,579	0,082
104	291,48259	291,48208	-0,51	980935,217	980935,242	0,025
105	295,65300	295,64920	-3,80	980934,341	980934,294	-0,047
106	297,66500	297,66500	0,00	980934,047	980934,028	-0,019
107	294,78371	294,77994	-3,77	980934,396	980934,328	-0,068
108	294,13022	294,12574	-4,48	980934,502	980934,504	0,002
109	295,70987	295,70749	-2,38	980933,913	980933,974	0,061



Graf č. 4 Rozdiel Δg [mGal] medzi 0. a 2. etapou



Graf č. 5 Rozdiely ΔH [m] medzi 7. a 10. etapou

Na základe týchto vyhodnotení by mohli byť potvrdené predpokladané príčiny vertikálnych pohybových tendencií na bodoch polygónu Tetčice. Medzi hlavné príčiny posunov radíme kolísanie HPV, prítomnosť zlomov Boskovickej brázd a vibrácie spôsobované železničnou a cestnou dopravou.

5. Záver

Úlohou diplomovej práce bola realizácia a vyhodnotenie nivelačných a tiažových meraní na polygóne Tetčice. Hlavným dôvodom tohto merania bolo zistenie vertikálnych pohybových tendencií v priestoroch obce Tetčice, ktoré sa prejavujú poruchami stavebných konštrukcií. Práca pojednáva tiež o možných príčinách týchto posunov, ktorými môže byť prítomnosť stále aktívneho zlomu Boskovickej brázdy, kolísanie hladiny podzemnej vody a tiež vibrácie spôsobené železničnou traťou a cestou, ktoré sa nachádzajú v bezprostrednej blízkosti polygónu.

Diplomová práca mala za úlohu tieto domnienky potvrdiť. Pre posúdenie správnosti stanovených predpokladov boli výsledky tiažových a výškových meraní porovnávané s výsledkami z etáp, ktoré boli zamerané v rovnakom ročnom období. U týchto etáp bolo totiž možné uvažovať rovnaké pôsobenie vonkajších vplyvov na meranie. Pre porovnanie výšok boli zvolené výsledky z etáp zameraných v júni 2008, júli 2009 a v júni 2013. Pre porovnanie vypočítaných absolútnych tiažových zrýchlení na bodoch boli využité výsledky z 0.etapy, ktorá bola zameraná v júni 2013. Vzhľadom k tomu, že tento profil nebol od marca 2014 znovu zameraný, nebolo možné interpretovať krátkodobé posuny na bodoch profilu.

Porovnanie výsledkov nivelačných meraní s predchádzajúcimi etapami bolo realizované v podobe tabuliek a grafov. Z grafov je zrejmé, že väčšina bodov má klesajúcu výškovú tendenciu, pričom k najväčším posunom došlo na bodoch 102,103,107 a 108. Na bode 103 došlo k takémuto posunu pravdepodobne z toho dôvodu, že sa nachádza v blízkosti zlomu. Tento zlom môže mohol vplyv aj na bod 102, ktorý oproti bodu 103 klesá polovičnou rýchlosťou. Na východ od bodu 102 a na západ od bodu 103 tzn. na bodoch 101, 104 a 105 neboli zaznamenané väčšie dlhodobé zmeny. V západnej časti profilu sa preukázali výraznejšie vertikálne pohybové tendencie na bode 107 a to asi z toho dôvodu, že sa nachádza v tesnej blízkosti vodného zdroja "Pramenište Tetčice". Tento zásobník vody mal pravdepodobne vplyv aj na bod 108, ktorý sa pohybuje o polovicu pomalšie než bod 107. Okrem týchto faktorov mohlo vertikálne pohybové tendencie spôsobiť aj kolísanie hladiny podzemnej vody. Vzhľadom k tomu, že väčšina bodov má klesajúcu výškovú tendenciu, tak bolo možné predpokladať nižší úhrn zrážok počas merania 10.etapy, než bol počas merania predchádzajúcich etáp. Tento predpoklad

bol potvrdený na základe získaných údajov o zrážkových úhrnoch z portálu CHMI pre územie Juhomoravského kraja. Pre lepšie posúdenie vplyvu HPV by bolo potrebné mať údaje o zrážkach priamo z obce Tetčice.

Na základne porovnaní výsledkov gravimetrického merania s výsledkami z predchádzajúcich etáp boli zistené odchýlky absolútneho tiažového zrýchlenia, ktoré boli porovnané s výškovým posunmi medzi odpovedajúcimi etapami. S využitím týchto hodnôt boli pre lepšiu interpretáciu vytvorené grafy, ktoré boli doplnené o polynomicnú krivku šiesteho stupňa. Na základe porovnaní týchto kriviek je zrejma podobnosť ich priebehu medzi bodmi 103 - 108, no u ostatných bodov profilu sú už tieto krivky mierne vychýlené.

Jedným z doplnkových výstupov tejto diplomovej práce sú mapy úplných Bouguerových anomálií a topografické mapy. Mapy boli vyhotovované v programe Surfer 11 a to vo viacerých podobách, ktoré sa odlišujú rozsahom zobrazovaného územia.

6. Zoznam použitej literatúry

- [1] *Tetčice - oficiální webové stránky obce* [online].2017 [cit 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.tetcice.cz/>
- [2] *Geologie ČR* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3174223/>
- [3] CHLUPÁČ,Ivo, Rostislav BRZOBOHATÝ, Jiří KOVANDA a Zdeněk STRÁNÍK. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 436 s. ISBN 80-200-0914-0.
- [4] *Základy regionální geologie České republiky*[online]. 2017 [cit 2017-05-18]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/298>
- [5] *Geologická encyklopedie* [online]. 2007 [cit 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>
- [6] *Boskovická brázda* [online]. 2007 [cit 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.boskovicka-brazda.cz/>
- [7] *Boskovická brázda* [online]. 2016 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Boskovick%C3%A1_br%C3%A1zda
- [8] PAVLÁTOVÁ, Alžběta. *Petrografie hornin zastížených v profilu boskovické brázdy v údolí řeky Oslavy* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/327905/prif_b/bakalarska_prace.pdf Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd. Vedoucí práce doc. RNDr. Jindřich Štelcl, CSc.
- [9] BÍLEK, D.: *Doplnění stávajícího jímacího území Tetčice o vrty HV2 a HV125 a navýšení čerpání ze stávajících z 15 l/s na 20 l/s. Dokumentace o hodnocení vlivů záměru na životní prostředí*, Brno, 2008. [on-line]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX0pITTQzMI9kb2t1bWVudGFjZURPQ18xLnBkZg/JHM432_dokumentace.pdf

- [10] WITISKA, Michal. *Integrace bodů sítě MORAVA do měření na polygonech Tetčice a Znojmo*. Závěrečná zpráva řešení projektu specifického výzkumu VUT FAST-J-10-13/143, 2013, 29 s.
- [11] *Velmi přesná nivelace* [online]. 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: [http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=5618&l=velmi-presna-nivelace--nivelace-vysoke-presnosti-\(vpn\)](http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=5618&l=velmi-presna-nivelace--nivelace-vysoke-presnosti-(vpn))
- [12] BUREŠ, J., KRATOCHVÍL, R., MACHOTKA, R., POSPÍŠIL, L., ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGEL, J. : *Výuka v terénu IV. HE11 – Modul 01*, VUT v Brně. 2007. 139 s.
- [13] NEVOSÁD, Z., VITÁSEK, J.: *Geodézie III – 1.vydanie*. Brno: VUT v Brně. 2000. ISBN 80-214-1774-4.
- [14] WITISKA, Michal. *Opakovaná přesná nivelace a GPS měření na diendorfsko - čebínském zlomu*. Brno, 2009. 64 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [15] NEUDERTOVÁ, Simona. *Opakovaná přesná nivelace, gravimetrie a GPS měření na seismotektonicky aktivním systému*. Brno, 2010. 56 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [16] DANIEL, Radek. *Opakovaná přesná nivelace a GPS měření na polygonu Tetčice*. Brno, 2010. 95 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [17] BITALOVÁ, Katarína. *Gravimetrická měření a opakovaná nivelace na polygonu Tetčice*. Brno, 2014. 64 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [18] STANĚK, Antonín. *Měření přesné opakované nivelace na polygonu Tetčice*. Brno, 2014. 59 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

- [19] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica DNA03/DNA10: Návod k použití* [online]. Switzerland, 2004 [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: http://www.gefosleica.cz/ftp/DNA/DNA_User_Manual_cs_1.2.0.pdf
- [20] *Leica DNA03* [online] 2017 [cit 2017-04-14]. Dostupné z: <https://nivelacne-pristroje-laty.heureka.sk/leica-dna03/#ng:579b98fc8411ac45f84ac7c8feacc422>
- [21] VYKUTIL, Josef. *Vyšší geodézie*. Praha: Kartografie, n.p., Praha, 1982, 544 s.
- [22] Portál ČHMÚ [online]. [cit.2017-05-16]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>
- [23] POSPÍŠIL, L.: *Geofyzika a geodynamika. Modul 01, HE02 – Geofyzika a geodynamika*, VUT v Brně, Fakulta stavební, 2007, 218 s.
- [24] PAŠTEKA, R.: *Gravimetria. Meranie a vyhodnocovanie tiažových meraní*. [online]. [cit.2017-04-07]. Dostupné z: <http://www.fns.uniba.sk/uploads/media/Gravimetria.pdf>
- [25] ŠIMON, Zdeněk. *Gravimetry LaCoste Romberg*. Geodetický a kartografický obzor. 1995, roč. 41(83), č. 3, s. 52-54.
- [26] JANÁK, Juraj. *Gravimetria*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia skrípt. ISBN 978-80-227-3254-3.

7. Zoznam použitých skratiek

<i>VPN</i>	veľmi presná nivelácia
<i>PN</i>	presná nivelácia
<i>ZPN</i>	zvlášť presná nivelácia
<i>ČSNS</i>	Česká štátna nivelačná sieť
<i>UBA</i>	úplná Bouguerová anomália
<i>ZB</i>	základný bod
<i>Bpv</i>	výškový systém Balt po vyrovnaní
<i>g</i>	tiažové zrýchlenie
<i>H</i>	nadmorská výška v systéme Bpv

8. Zoznam tabuliek

Tabuľka č. 1 Prehľad jednotlivých vrtov [9]	19
Tabuľka č. 2 Technické parametre nivelačného prístroja [19]	28
Tabuľka č. 3 Odchýlky nivelačného prístroja Leica DNA03 v.č. 339511	31
Tabuľka č. 4 Odchýlky pätiiek lát v [mm].....	32
Tabuľka č. 5 Opravy nameraných prevýšení z teploty a z latového metra.....	34
Tabuľka č. 6 Porovnanie rozdielu prevýšení tam a späť v oddiely s medznou odchýlkou .	35
Tabuľka č. 7 Porovnanie rozdielu prevýšení tam a späť v úseku s medznou odchýlkou	35
Tabuľka č. 8 Porovnanie jednotkovej kilometrovej strednej chyby s medznou odchýlkou	36
Tabuľka č. 9 Stredná systematická kilometrová chyba	37
Tabuľka č. 10 Približné súradnice a výšky bodov profilu	37
Tabuľka č. 11 Výsledné prevýšenia opravené o normálne Molodenského korekcie	38
Tabuľka č. 12 Normálne ortometrické korekcie	39
Tabuľka č. 13 Korekcie z anomálie tiaže	39
Tabuľka č. 14 Výsledné prevýšenia a ich stredné chyby.....	40
Tabuľka č. 15 Výsledné výšky bodov a ich stredné chyby	41
Tabuľka č. 16 Porovnanie jednotlivých etáp k základnej etape v [mm]	41
Tabuľka č. 17 Porovnanie jednotlivých etáp k 10. etape v [mm].....	42
Tabuľka č. 18 Vertikálna rýchlosť bodov v [mm/rok]	43
Tabuľka č. 19 Porovnanie jednotlivých etáp k základnej etape v [mm]	44
Tabuľka č. 20 Údaje o zrážkach [22].....	44
Tabuľka č. 21 Výsledná hodnota skutočného g bodu ZB Tetčice a podrobných bodov	56
Tabuľka č. 22 Úplné Bouguerove anomálie podrobných bodov	57
Tabuľka č. 23 Stredné chyby čítania pri gravimetrickom meraní	58
Tabuľka č. 24 Posúdenie odchýlok dvojíc čítania pri podrobnom gravimetrickom meraní	58
Tabuľka č. 25 Stredná chyba určená z kontrolných bodov	58
Tabuľka č. 26 Výpočet rozdielov skutočného g a H medzi etapami	60

9. Zoznam obrázkov

Obrázok č. 1 Pohľad na obec Tetčice od kapličky Nejsvätější trojice (autor).....	11
Obrázok č. 2 Obec Tetčice (prevzaté z www.maps.google.com).....	11
Obrázok č. 3 Schematická geologická mapa ČR [2]	12
Obrázok č. 4 Schematická geologická mapa ČR [4]	14
Obrázok č. 5 Brněnský masív [3]	15
Obrázok č. 6 Pozícia Boskovické brázdy [7].....	16
Obrázok č. 7 Priečny profil Boskovickou brázdou v rosicko-oslavanskej časti [3].....	17
Obrázok č. 8 Poškodená budova na ulici Sušilova s vyznačenými prasklinami (autor)	18
Obrázok č. 9 Teoretický dosah depresie pri čerpaní podzemnej vody zo štyroch vrtov [9]	18
Obrázok č. 10 Vplyvy z nepevného postavenia prístroja a lát [13].....	24
Obrázok č. 11 Trimble R4-3 (autor)	26
Obrázok č. 12 Ukážka stabilizácie bodov nivelačného profilu (autor).....	27
Obrázok č. 13 Leica DNA03 [20].....	29
Obrázok č. 14 Skúška podmienky L//Z [13].....	30
Obrázok č. 15 Postavenie pätky laty (autor).....	32
Obrázok č. 16 Schéma gravimetra LaCoste & Romberg [25].....	48
Obrázok č. 17 LaCoste & Romberg G-176 (autor)	48
Obrázok č. 18 Bouguerova doska [23]	51
Obrázok č. 19 Schéma predstavujúca vplyv topografických hmôt [23].....	53
Obrázok č. 20 Meranie prístrojom LaCoste & Romberg G-176 (autor)	55
Obrázok č. 21 Ukážka z prostredia Surfer 11 (autor).....	59

10. Zoznam grafov

Graf č. 1 Vplyv systematických chýb	37
Graf č. 2 Zmeny výšok bodov	42
Graf č. 3 Úhrny zrážok v [mm] [22]	45
Graf č. 4 Rozdiel Δg [mGal] medzi 0. a 2. etapou.....	61
Graf č. 5 Rozdiely ΔH [m] medzi 7. a 10. etapou	61

11. Zoznam príloh

- Príloha č.1 Geodetické údaje o bodoch profilu (digitálne + analógovo)
- Príloha č.2 Zápisníky nivelačného merania (digitálne + ukážka analógovo)
- Príloha č.3 Kalibračný list (digitálne)
- Príloha č.4 Výpočet prevýšení (digitálne + analógovo)
- Príloha č.5 Výpočet tiažových korekcií nivelačných meraní (digitálne + analógovo)
- Príloha č.6 Porovnanie jednotlivých etáp (digitálne + analógovo)
- Príloha č.7 Geodetické údaje o tiažových bodoch (digitálne + analógovo)
- Príloha č.8 Zápisníky gravimetrického merania (digitálne + analógovo)
- Príloha č.9 Chod gravimetra (digitálne + analógovo)
- Príloha č.10 Výpočet skutočného g a UBA (digitálne + analógovo)
- Príloha č.11 Topografické mapy a mapy UBA (digitálne + analógovo)
- Príloha č.12 Prehľad meračskej siete (digitálne + analógovo)