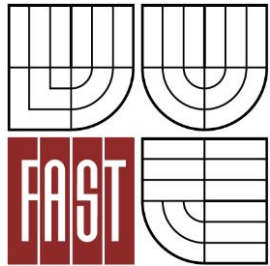




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

GRAVIMETRICKÁ MĚŘENÍ A OPAKOVANÁ NIVELACE NA POLYGONU TETČICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. KATARÍNA BITALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. RNDr. LUBOMIL POSPÍŠIL, CSc.

BRNO 2014



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	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Katarína Bitalová
Název	Gravimetrická měření a opakovaná nivelace na polygonu Tetčice
Vedoucí diplomové práce	doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

Švábenský, O., Witiska, M., Ratiborský, J., Blažek, R., Pospíšil, L., Weigel, J.: Preliminary results of repeated measurement in local geodynamic network Morava. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2011, vol. 8, no. 3 (163), s. 291-301.

Pospíšil, L., Švábenský, O., Weigel, J., Witiska, M.: Geodetic and geophysical analyses of Diendorf-Čebín tectonic zone. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2009, vol. 6, no. 3, p. 309-321. ISSN: 1214- 9705.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Zadáním a cílem diplomové práce je realizace tíhových měření na polygonu Tetčice a využití jejich výsledků pro sledování geodynamických poměrů v této oblasti. Výstupy bude tvořit mapa tíhových anomálií, kterou doplní interpretační profil přes Boskovickou brázdou. Profil bude dokumentovat i změny tíže za měřené období. V DP budou zahrnuty i terénní zápisníky.

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

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá tiažovým a výškovým zameraním profilu v obci Tetčice, cez ktorú prechádza východný zlom Boskovickej brázdy. Etapové gravimetrické meranie má preukázať pôsobenie vysokej hladiny podzemnej vody na možné posuny. Opakovania sú realizované v rozsahu 2 etáp. V práci je detailne popísaný výpočet úplných Bouguerových anomálií a ich kvantitatívna interpretácia. Z tiažových dát je vyhotovená mapa úplných Bouguerových anomálií a interpretačný profil cez Boskovickú brázdu, ktorý má lokalizovať zlom, ktorého tektonická aktivita patrí medzi možné faktory výškových posunov v obci. Výškové zameranie má splňovať požiadavky na veľmi presnú niveláciu. Výsledky meraní sú diskutované s predchádzajúcimi etapami výskumu.

Kľúčové slová

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

Abstract

This master's thesis deals with measurements of highs and gravity of points polygon located in village Tetčice, through which is crossing a eastern fault of Boskovic furrow. With repeated measurement should be proved effect to high levels of groundwater. Repeated measurements are realized in the range 2 stages. In thesis is in detail described calculation complete Bouguer gravity anomaly and their quantitative interpretation. From the gravimetric of dates is created map of complete Bouguer gravity anomaly and interpretative profile through Boskovic furrow. Interpretative profile has localized fault, whose tectonic activity belong to possible factors level movement in the village. Level measurements meets the requirement of precise levelling. The results of the measurements are compared and discussed with the previous stages of the research.

Keywords

gravimetry, geology precise levelling, complete Bouguer gravity anomaly, Boskovic furrow

Bibliografická citácia VŠKP

BITALOVÁ, Katarína. *GPS, gravimetrická měření a opakovaná nivelace na polygonu Tetčice*. Brno, 2013. 64 s., 23 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracovala samostatne, a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 24. 5. 2014

.....

podpis autora

Pod'akovanie:

Ďakujem svojmu vedúcemu diplomovej práce doc. RNDr. Lubomilovi Pospíšilovi, CSc. za cenné rady a pripomienky, odbornú, technickú a materiálnu pomoc pri vypracovávaní diplomovej práce.

Za pomoc pri meraní patrí moja veľká vďaka J. Darmopilovej, A. Stankovi, J. Jašurkovi a B. Baganovi.

V neposlednom rade by som chcela poďakovať svojim rodičom, že mi umožnili štúdium na tejto škole a za ich podporu počas štúdia.

V Brne dňa 24. 5. 2014

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. LOKALITA.....	10
2.1. Boskovická brázda	10
2.2. Profil Tetčice	16
2.3. Faktory možných posunov	17
3. VEĽMI PRESNÁ NIVELÁCIA.....	20
3.1. Úvod do teórie VPN	20
3.1.1. Požiadavky pre VPN	20
3.1.2. Skúšky vybavenia pre VPN	22
3.1.3. Normálne Molodenského korekcie.....	23
3.2. Prípravné práce – VPN.....	24
3.3. Meračské práce – VPN	26
3.4. Výpočtové práce – VPN.....	27
3.5. Posúdenie presnosti VPN	28
3.6. Vyhodnotenie vertikálnych posunov	33
4. GRAVIMETRIA.....	38
4.1. Úvod do teórie gravimetrie	38
4.1.1. Meranie tiažového zrýchlenia	38
4.1.2. Bouguerova anomálie	39
4.2. Prípravné práce – gravimetria	41
4.3. Meračské práce – gravimetria	42
4.4. Výpočtové práce - gravimetria	44
4.4.1. Výpočet UBA	46
4.5. Presnosť gravimetrického merania	47

4.6. Kvantitatívna interpretácia UBA	48
4.6.1. Mapa UBA	49
4.6.2. Interpretačný profil cez Boskovickú brázdú.....	50
4.7. Vyhodnotenie gravimetrického merania.....	52
7. ZÁVER.....	56
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	58
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	60
ZOZNAM OBRÁZKOV	61
ZOZNAM TABULIEK	62
ZOZNAM GRAFOV	62
ZOZNAM PRÍLOH	63

1. ÚVOD

Lokalita polygónu v obci Tetčice je z hľadiska merania výškových posunov veľmi zaujímavá. Profil sa nachádza na rozhraní Brnenského masívu a Boskovickej brázdy. Východný zlom Boskovickej brázdy, ktorý sa pokladá sa pokračovanie Diendorfského zlomu, je jedným z faktorov, ktorý môže spôsobovať možné posuny. Boskovická brázda spolu s Diendorfským zlomom sa nazývajú aj Diendorfsko-čebínska tektonická zóna (DCTZ). Predpokladá sa, že tektonika tejto zóny je stále aktívna.[1]

Okrem spomínaného aktívneho pôsobenia DCTZ môžu v záujmovej lokalite pôsobiť aj ďalšie faktory: blízkosť frekventovanej cesty a železničnej trate, kolísavá výška podzemnej vody alebo vplyv baníckej činnosti. Na možné posuny u sledovaných bodov profilu Tetčice tak nemusí ani zďaleka pôsobiť len geologická stavba pôdy (väčšia časť obce sa nachádza na území bývalého rybníka), rozmiestnenie a tektonika geologických celkov.

Účelom práce bolo stávajúci profil v obci Tetčice (body 101 až 110) predĺžiť a zamerať ho gravimetricky i výškovo. Výškové zameranie malo spĺňať požiadavky veľmi presnej nivelácie a malo byť pripojené na bod ČSNS Ocd – 17.3, ktorý je zároveň aj bod profilu 106.

Etapové gravimetrické meranie by malo preukázať pôsobenie vysokej hladiny podzemnej vody. Opakovania tiažového merania mali byť realizované v rozsahu dvoch etáp. Z nameraných tiažových dát mala byť vyhotovená mapa úplných Bouguerových anomálií a interpretačný profil cez Boskovickú brázdou, ktorý mal lokalizovať zlom, ktorého tektonická aktivita patrí medzi možné faktory výškových posunov v obci.

2. LOKALITA

Obec Tetčice leží v západnej časti okresu Brno-venkov južne od mesta Rosice v nadmorskej výške 300 až 340 m. n. m a je vzdialená od Brna asi 20 km. Prvá historicky overená zmienka o obci pochádza z roku 1349. Hlavnou turistickou dominantou je najvyšší bod lesnatého hrebeňa Bobravskej vrchoviny, nazývajúci sa Bučín (444 m.n.m.). Jeho pomenovanie súvisí s bukovým lesom pokrývajúci tento masív.[2]



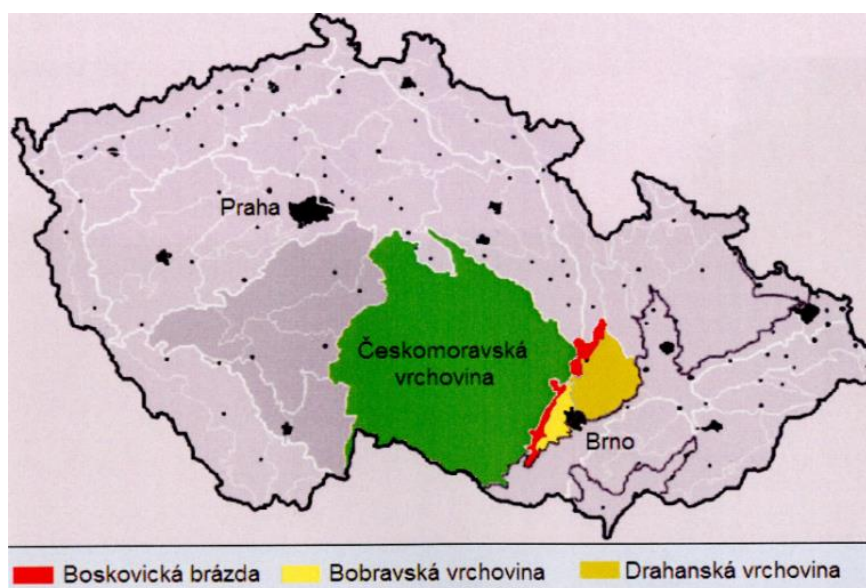
Obr. 1. Mapa lokalizácie Tetčíc (upravené: maps.google.com)

Z geomorfologického hľadiska sa obec rozkladá na príkopovej prepadline nazývanej Boskovická brázda. V záujmovej oblasti táto brázda susedí na východe s Bobravskou vrchovinou a na západe s Českomoravskou vrchovinou (Obr. 2). Cez meraný profil prechádza okrajový zlom Boskovickej brázdy.

2.1. Boskovická brázda

Boskovická brázda je asi 3 až 10 km široká a 95 km dlhá zníženina a geomorfologický celok v oblasti Brnenskej vrchoviny. Tiahne sa od JJZ k SSV a Žernovnická hrásť ju rozdeľuje na 2 časti. Severná časť sa nazýva Malá Haná a južná

oblasť je Oslavská brázda. Rozkladá sa od Jevíčku cez Boskovice, Rosice, Ivančice až k Moravskému Krumlovu. Vytvára zreteľný pruh nezalesnenej krajiny medzi lesnatejšou krajinou na JJV a SSZ. Na západe ju ohraničuje Českomoravská vrchovina a na východe Bobravská a Drahanská vrchovina (Obr. 2).[3,4]

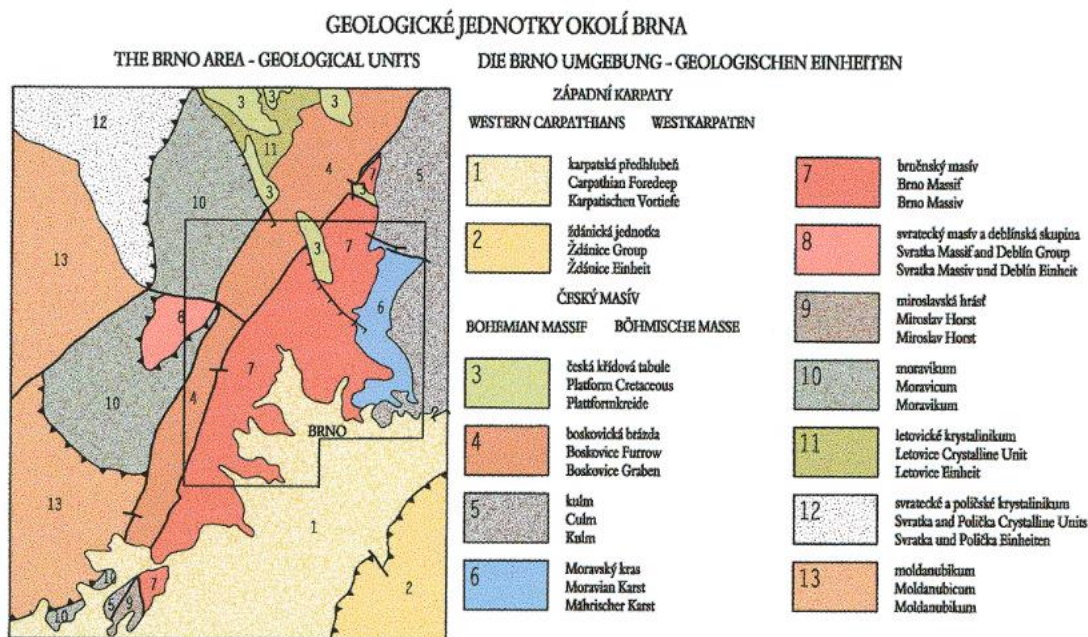


Obr. 2. Prehľadná mapa geomorfologických celkov

Jej vznik sa predpokladá pred 300 až 380 miliónmi rokov. Vznikla ako hlboká priekopová prepadlina ohraničená na východe i západe tektonickými zlomami. Dodnes patrí k najvýraznejšej tektonicky ohraničenej znížene na území Českej republiky. Tento výrazný tektonický zlom nadväzuje na v súčasnosti najaktívnejší Diendorfsko-čebínský zlom, u ktorého je indikovaný aj horizontálny posun.[3][5]

Vznik zlomového pásma Boskovickej brázdy spadá do prekambria. K jej založeniu došlo na starom poruchovom pásme v západomoravskom krystalinickom podklade. V závere hercynskej orogenézie v stephanu a autunu prebiehali najvýraznejšie pohyby na zlomoch boskovickej brázdy. V návaznosti na vertikálne pohyby vznikli v svrchnom karbone a permu pozdĺž hlavného zlomu Boskovickej brázdy úzke pretiahnuté depresie.[2] [6]

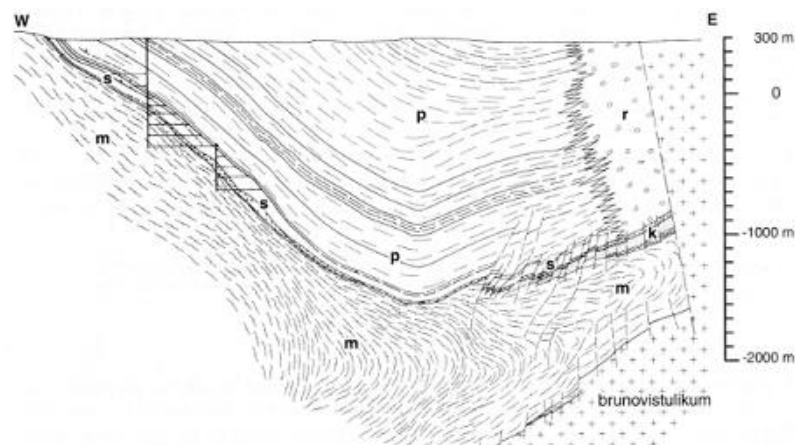
Boskovická brázda zakrýva styk základných stavebných jednotiek Českého masívu: lugodanubika a moravosilezika a predovšetkým moravosilezika a brunovistulika.[7]



Obr. 3. Geologické jednotky okolia Brna (upravené z geologická mapa okolia Brna)

Väčšinu výplne Boskovickej brázdy tvoria prevažne uloženiny spodného permu. V južnej časti brázdy (Oslavanská brázda) je okrem uloženín spodného permu prítomný aj najvyšší karbon, severná časť (Malá Haná) je vyplnená len spodným permom. Výplň brázdy je výrazne asymetrická (Obr. 4).[3]

Vo výplni brázdy prevládajú červenohnedé zafarbené piesčité, pri okrajoch hrubozrnné sedimenty riečneho a jazerného pôvodu, ktoré sa uložili v záverečnej etape paleozoika. Miestami ich celková mocnosť presahuje až dva kilometre. V tomto období sa vytvorili tiež mocné uhoľné sloje.[3]



Obr. 4. Priečny profil Boskovicickou brázdou v rosicko-oslavanskej časti^[3]

Vysvetlivky k Obr. 4.: m – krystalinikum moravika, k – devonské a kulmské horniny, s – svrchnokarbonské balinské slepence a nadložné uhlonosné vrstvy (stephan), p – spodnopermské uloženiny (prevažne prachovce a pieskovce), r – rokytenské zlepenice, orientácia: W - západ, E - východ.

Východnú hranicu tvorí príkry skoro vertikálny zlom, ktorý bol aktívny aj behom zaplňovania príkopu a poskytoval zo zdvihovanej východnej kry materiál, ktorý sa hromadil pri východnej strane ako rokytenské zlepenice.[3]

Rokytnské zlepenice sú nevrstevnaté a obsahujú bloky hornín brnenského masívu s prevahou kulmských drob a prachovcov a miestami hojnými devonskými a spodnokarbonskými vápencami. Sú považované za najvýraznejší a najčastejšie vystupujúci horninový typ východného okraja Boskovickej brázdy.[3][6]

V západnej časti brázdy sú vrstvy mierne naklonené k východu a porušené len menej významnými zlomami.[3]

Tektonický vývoj Boskovickej brázdy

Jedná sa o asymetrickú depresiu, ktorá je tektonicky výrazne obmedzená na východe. V jej vývoji môžeme rozlíšiť tri etapy.

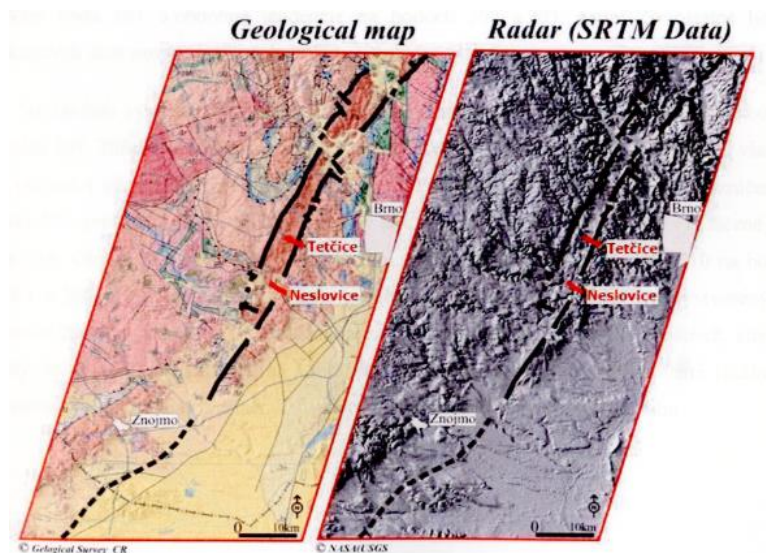
- založenie panvy vplyvom interstephanskej fázy;
- vyplňovanie panvy, ktorá začala v stephanu C;

- deformácie výplne právny pri vplyvu salskej fáze.[4][5]

Stlačením sa brázda stala ešte viac asymetrická než pôvodná sedimentačná panva. Jej os svojim priebehom nesúhlasí s tektonickou osou panvy, pretože bočným stlačením brázdy behom salskej fázy došlo k jej posunu k východu. V priečnom profile má Boskovická brázda skôr tvar nesymetrickej synklinály, ktorá je na východe ohraničená hlavným zlomom, pričom jej východné a západné okraje majú výrazne odlišný charakter.[7]

Jej vývoj v pozícií zásadne ovplyvnil hlavný zlom. Ide o mladovarinský zlom naložený na starovariskú stavbu moravskosliezskej oblasti, ktorý nemá znaky hlbinného zlomu. Západná transgresivná plocha uložená pod rôznym úklonom s podklesom od severu k juhu bola porušená radou poklesových alebo prešmykových dislokácií, prevažne diagonálneho charakteru.[6]

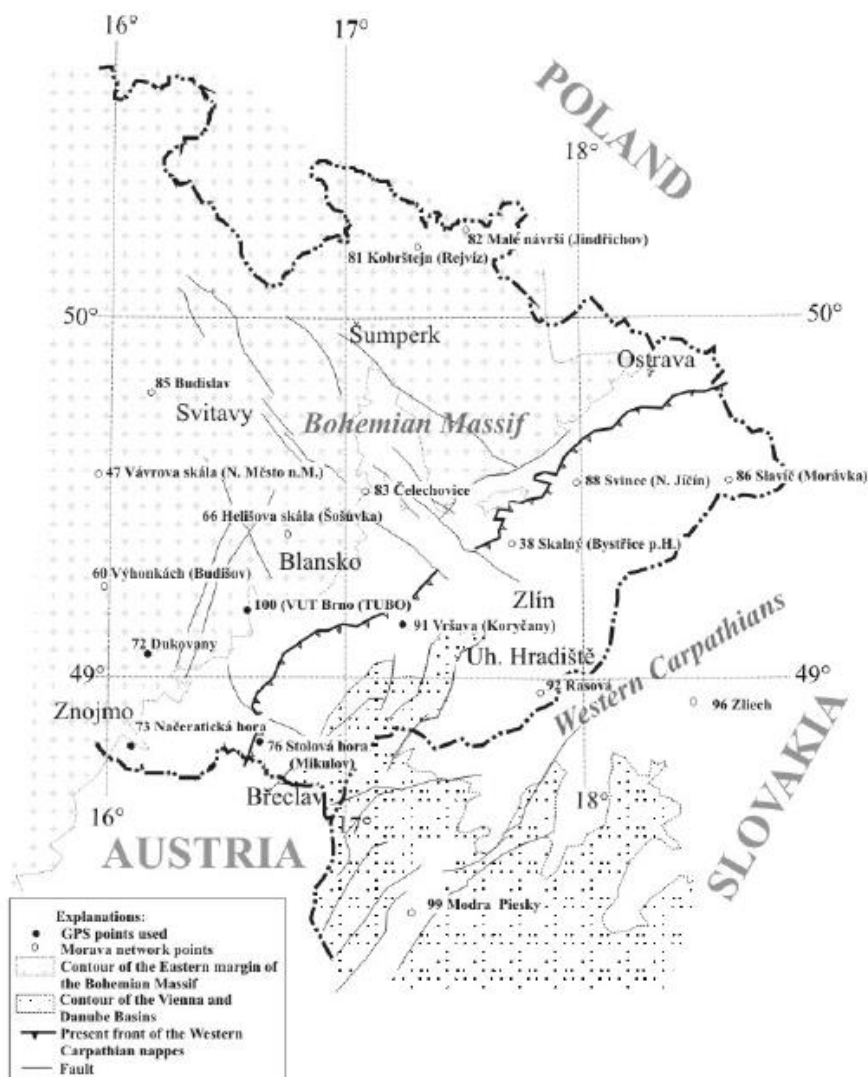
Malý (1993, s. 87-99) popisuje tektonickú stavbu Boskovickej brázdy tak, že permokarbonské sedimenty boli stlačené brnenskou vyvrelinou vystupujúcou pozdĺž východnej okrajovej dislokácie a krystalinikom Českomoravskej vrchoviny a rozdeľuje tektonické pochody v brázde z časového hľadiska na predsedimentačné, sysedimentačné a postsedimentačné.



Obr. 5. Diendorfsko-čebínsko tektonická zóna s vyznačenými profilmi Tetčice, Neslovice^[1]

Geodynamická sieť Morava

Táto sieť patrila medzi prvé GPS geodynamické projekty v Českej Republike. Bola vytvorená v roku 1994 a v súčasnosti má 19 bodov. Jej cieľom je zistiť polohové zmeny na hraničnom pásme medzi Českým masívom a Karpatmi (DCTZ). Počiatočný projekt zahŕňal tri po sebe nasledujúce GPS kampane v období 1994-1996. Projekt bol pozastavený z dôvodu nedostatku podpory a ďalšia kampaň bola až po 15 rokoch (v roku 2010). Pri porovnaní súčasných a predchádzajúcich výsledkov je možné potvrdiť aktivitu tejto oblasti aj v súčasnej dobe. Podľa týchto výsledkov je súčasná aktivita DCTZ oveľa väčšia než sa predpokladalo.[9]



Obr. 6. Lokálna geodynamická sieť MORAVA s vyznačenými bodmi siete^[9]

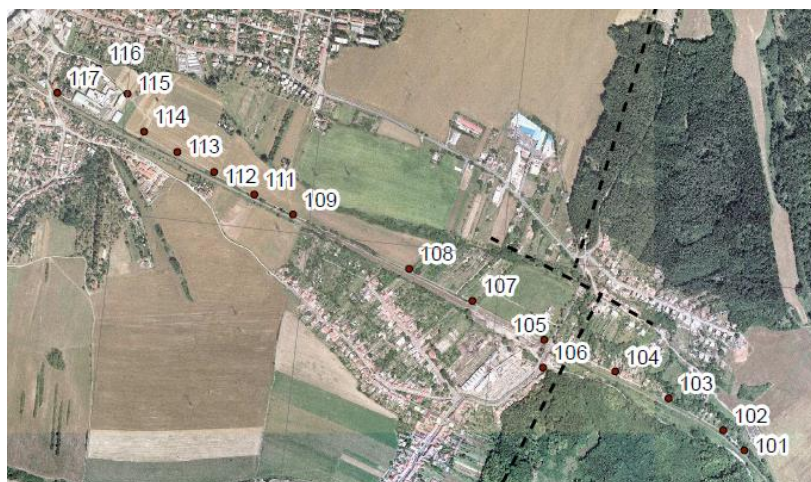
2.2. Profil Tetčice

Cez vybudovaný profil v obci Tetčice prechádza východný zlom Boskovickej brázdy. Pre lokalizovanie tohto zlomu bolo využité gravimetrické meranie. V súčasnosti sa predpokladá, že zlom je stále aktívny a preto bolo vykonané aj výškové zameranie. Výškové posuny v porovnaní s úhrnmi zrážok za určité obdobie môžu tiež interpretovať pôsobenie hladiny podzemnej vody.

Prevzatý profil obsahoval body 101-110. Tento profil bol predĺžený o ďalších 7 bodov smerom k mestu Rosice.

Meranie vertikálnych posunov na profile Tetčice začalo v júni roku 2008 Ing. Witiskom. Ten zameral 4 etapy. (0., 1., 2., 3. etapa). Na ďalší rok v jeho práci pokračovala Ing. Neudertová, ktorá zamerala 3 etapy (4., 5., 6. etapa). Až do roku 2013 nebol tento profil zameriavaný. V tejto diplomovej práci bolo vykonané výškové zameranie 7. etapy (jún 2013). Výškové zameranie sa týkalo všetkých bodov profilu. Určené nadmorské výšky boli využité pri výpočte UBA.

Gravimetrické meranie sa týkalo celého profilu - body 101 až 117. Meranie prebiehalo v dvoch etapách. 0. etapa bola zameraná v júni 2013 a 1. etapa vo februári 2014. Etapové meranie malo preukázať pôsobenie výšky podzemnej vody.



Obr. 7. Prehľad sledovaných bodov profilu Tetčice s vyznačeným predpokladaným východným zlomom Boskovickej brázdy (podklad ortofotomapa)

2.3. Faktory možných posunov

Okrem spomínaného aktívneho pôsobenia DCTZ môžu v záujmovej lokalite pôsobiť aj ďalšie faktory, ako napríklad: vibrácie blízkej frekventovanej cesty a železnice, výška podzemnej vody alebo vplyv baníckej činnosti. Na možné posuny u sledovaných bodov profilu Tetčice tak nemusí ani zďaleka pôsobiť len geologická stavba pôdy (väčšia časť obce na nachádza na území bývalého rybníka), rozmiestnenie a tektonika geologických celkov.



Obr. 8. Poškodená budova na ulici Tyršova p.č. 163 s vyznačenými prasklinami (červenou farbou)

Vplyv cestnej a železničnej dopravy

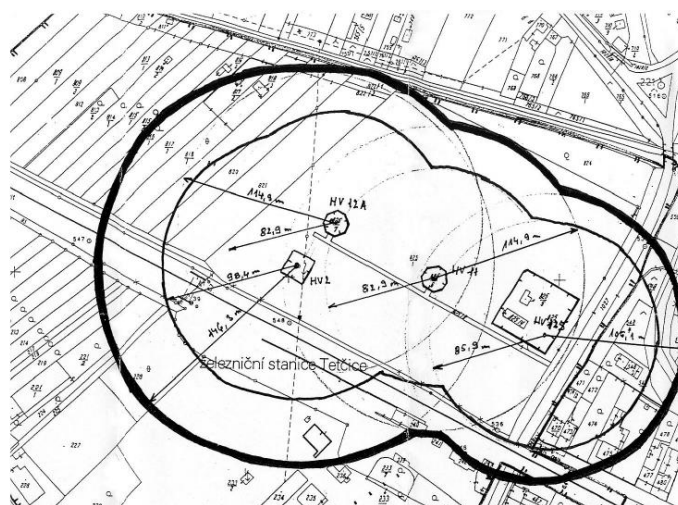
V záujmovej lokalite obce Tetčice sa kríži železnica s frekventovanou cestou II/394 spojujúcou Rosice s Ivančicami. Popri väčšej časti profilu Tetčice prechádza v tesnej blízkosti železničná trať č. 240, ktorá spája Brno s Jihlavou. Po tejto trati jazdí behom dňa

približne 50 osobných vlakov a 10 rýchlikov. Tento jav bolo veľmi cítiť počas výškového zamerania profilu.

Hladina podzemnej vody

V záujmovej oblasti sa nachádza vysoká hladina podzemnej vody. Táto voda je čerpaná pre účely zásobovania Rosic a Tetčic pitnou vodou. Do roku 2008 sa čerpalo len z dvoch vrtov: HV11 a HV12. V roku 2008 pribudli k týmto vrtom ďalšie dva a taktiež bolo navýšené čerpanie z pôvodných 15l/s na 20l/s. Občianske združenie pre ochranu čerpania podzemných vôd v obci Tetčice s týmto čerpaním nesúhlasilo. Toto združenie uvádzalo, že pri čerpacích skúškach v roku 1982 zo stávajúcich vrtov a na pozemku drevárskych závodov a tiež aj na konci Tyršovej ulice došlo k veľkému poklesu vody v studniach a poškodeniu budov, za ktoré bola na základe odhadu poskytnutá aj náhrada škody. Táto pripomienka však bola zargumentovaná tým, že poškodenie spôsobené pri čerpaní v roku 1982 nie je popísané a bolo údajne kompenzované. Pochybnosti týkajúce sa kontroly čerpaného množstva boli zamietnuté s odôvodnením, že sa postupovalo podľa platných právnych predpisov.[10]

Sledovanie hladiny podzemnej vody (HPV) v okolitých kontrolných bodoch (vrty a studne) behom meraní vykazovalo relatívne malé pohyby HPV vplyvom čerpania.[10]



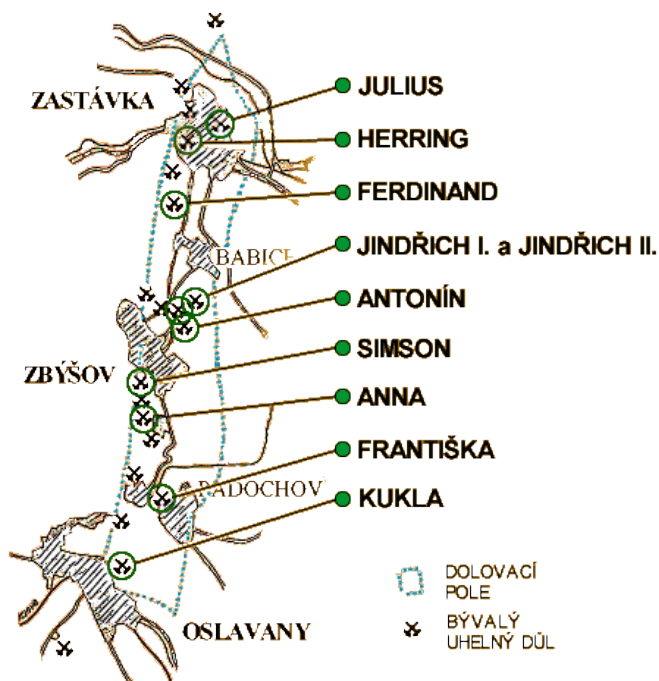
Obr. 9. Teoretický dosah depresie hladiny podzemnej vody pri čerpaní podzemnej vody zo štyroch vrtov v množstve 15l/s (slabšia čiara) a 20l/s (hrubšia čiara)^[10]

Vplyv bývalých uhoľných baní

Rosicko-oslavanská uhoľná panva sa nachádza na území: Zastávka u Brna, Zbyšov, Babice, Padochov a Oslavany. Uhoľné sloje tu boli objavené už v roku 1760, kedy aj začala ťažba. Ťažba kulminovala v 60. rokoch 19. storočia a na začiatku 20. storočia, následne v roku 1992 bola ťažba zastavená. Po ukončení ťažby boli šachty postupne uzatvárané železobetónovou doskou alebo zasypávané. Ani to však nepomohlo k ochrane okolitého územia pred negatívnymi vplyvmi. V roku 1999 bola zatopená Dedičná štola a v rieke Oslava sa objavila veľká koncentrácia železa. Taktiež únik nebezpečných plynov (CO₂) bol veľmi častý. V roku 1995 bol v štole František zistený prepád o 80 metrov, táto jama musela byť následne dosypaná.[11]

Meranie možných posunov v poddolovaných oblastiach vykonáva štátny podnik Diamo, ktorý každoročne tieto posuny sleduje a zameriava sa na nápravu škôd a zlepšenie životného prostredia po ukončení ťažby.

Bývalé bane sú už v dnešnej dobe zaplavené podzemnou vodou. Je preto otázne, ako moc sa poddolovanie a zmeny únosnosti terénu podpísali na možných posunoch v neďalekých Tetčiciach.



Obr. 10. Prehľadná mapa rosicko-oslavanskej uhoľnej panvy^[11]

3. VEĽMI PRESNÁ NIVELÁCIA

Metóda a technológia výškového zamerania bola stanovená vedúcim práce. Výškové meranie malo spĺňať požiadavky presnej nivelácie. Vďaka výberu prístrojov, postupu merania a zavedením korekcií sa však splnila technológia veľmi presnej nivelácie (VPN), preto sa v ďalších častiach kapitoly bude pojednávať o VPN.

3.1. Úvod do teórie VPN

Táto metóda sa využíva pre práce v základnom bodovom poli predovšetkým medzi výškovými bodmi ČSNS I. a II. rádu. Môže sa využívať aj v inžinierskej geodézii prípadne pri špeciálnych prácach, kde je požadovaná vysoká presnosť nameraných dát. U VPN sa zavádzajú korekcie, o ktorých bude popísané v ďalších častiach diplomovej práce.

3.1.1. Požiadavky pre VPN

Požiadavky na používané vybavenie pre VPN:

a.) Prístroj:

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

b.) Lata:

- celistvé;
- stupnica na invarovom páse;

- krabicová libela s citlivosťou < 15';
- operné tyče.

c.) Statív s celistvými nohami[13]

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

- geometrická nivelácia zo stredy;
- pri meraní sa používa slnečník;
- stupnica sa v zostave odčíta v poradí Zl, Pl, Pp, Zp (Z, P: označuje čítanie vzad, vpred; l,p: označuje ľavú alebo pravú stupnicu);
- maximálna dĺžka zámery 40m;
- minimálna výška zámery nad terénom 0,8m , pre zámery < 20m stačí 0,4m;
- meranie späť sa vykonáva v inom dni a v inej dobe než meranie tam;
- postavenie prístroja s maximálnou excentricitou 0,5m v rámci zostavy;
- párný počet zostáv s párom invarových lát;
- medzná odchýlka pre rozdiel medzi prevýšením tam a späť v oddiele sa určí:

$${}^1\Delta [\text{mm}] = 2,25\sqrt{R} \quad [\text{km}], \quad (3.1)$$

kde R je dĺžka oddielu v km;

- medzná odchýlka pre uzávery v nivelačných polygónoch sa určí:

$${}^2\Delta [\text{mm}] = 2,25\sqrt{F} \quad [\text{km}], \quad (3.2)$$

kde F je dĺžka obvodu polygónu v kilometroch;

- medzná stredná jednotková kilometrová chyba sa určí:

$${}^3\Delta [\text{mm}] = 0,45 + \frac{0,80}{n_R}, \quad (3.3)$$

kde n_R je počet oddielov.[13][14]

3.1.2. Skúšky vybavenia pre VPN

Skúška prístroja:

Overenie prístrojovej podmienky nivelačného prístroja

Táto podmienka je spôsobená odklonom zámernej priamky od vodorovnej roviny. Môžeme ju vykonávať viacerými spôsobmi. Najpoužívanejší spôsob využíva porovnanie prevýšenia v zostave určených z postavenia prístroja medzi latami a tesne za jednou z lát. Ďalším spôsobom môže byť napríklad postavenie prístroja medzi latami a tesne pred jednu z lát. Dĺžka zostavy je doporučená na 30 m. Postavenie prístroja tesne za alebo pred jednu z lát je obmedzené minimálnou zaostrovanou vzdialenosťou optiky prístroja.[13]

Chyba v prevýšení na dĺžke realizovanej zostavy sa určí [13]:

$$\Delta = \Delta h'_{AB} - \Delta h_{AB}, \quad (3.4)$$

kde Δh_{AB} je teoreticky správne prevýšenie určené z postavenia prístroja v strede zostavy a $\Delta h'_{AB}$ je prevýšenie ovplyvnené chybou.

Oprava sa vypočíta [13]:

$$o = \frac{\Delta}{s_{AB}}, \quad (3.5)$$

a jej hodnota o nám vyjadruje chybu v mm na 1 m zostavy a s_{AB} je vzdialenosti medzi bodmi v prípade, kedy je druhé postavenie prístroja za latou.

Oprava prevýšenia v oddiele sa určí [13]:

$$o_{\Delta h} = o [s_z - s_p], \quad (3.6)$$

kde s_z a s_p sú dĺžky zámer vzad a vpred.

Skúšky páru nivelačných lát:

Kontrola pätky laty

Z pätky laty sa odoberie ochranná krytka a prevedie sa meranie na late pri jej postavení na rôznych miestach pätky. Ak rozdiel v čítaniach na late dosahuje hodnotu väčšiu ako 0,1mm je nutné túto latu vyradiť z merania a prebrúsiť jej pätku. Vplyv tieto chyby sa dá eliminovať stávaním laty pri meraní na stále rovnaké miesto alebo sa na pätku nasadí ochranná krytka.[13]

Komparácia páru lát

Pri komparácií sa využíva zrovnávací meter. Toto meradlo je cez 1 m dlhý invarový etalon obdĺžnikového prierezu so stupnicami po 0,1mm a mikroskopmi na oboch koncoch. Kvôli lepšej manipulácii a odčítaní je komparovaná lata uložená do vodorovnej polohy. Na každej late sa premeriavajú obe stupnice na 3 úsekoch a každý úsek 4x s drobným posunom. Výpočtom nameraných údajov získavame odchýlku latového metra od zrovnávacieho. Pre výslednú odchýlku z komparácie je nutné poznať aj odchýlku zrovnávacieho metra od laboratórneho štandardu za aktuálnej teploty pri komparácií. Túto odchýlku určíme za pomoci hodnôt z kalibračného listu zrovnávacieho metra. Súčtom týchto dvoch odchýlok získavame výslednú opravu z komparácie lát.[13]

3.1.3. Normálne Molodenského korekcie

Táto korekcia zahrňuje vplyv tiažového poľa a jej zavedenie je u VPN nevyhnutné. Určí sa podľa vzorca[13]:

$$C_N^{A,B} = C_\gamma^{A,B} + C_{(g-\gamma)}^{A,B} \quad (3.7)$$

kde $C_\gamma^{A,B}$ je normálna ortometrická korekcia, ktorá opravuje meranie o vplyv zbiehavosti hladinových plôch normálneho tiažového poľa a $C_{(g-\gamma)}^{A,B}$ je korekcia z vplyvu anomálie tiaže.

Body tej istej hladinovej plochy majú rôzne výšky nad geoidom v smere sever-juh. V nivelácií sa čítajú údaje na latách vytýčených zámernou priamkou, ktorá je dotyčnicou k hladinovej ploche prechádzajúcou osou ďalekohľadu. Preto je potrebné nivelačné údaje opraviť o korekciu zo zbiehavosti hladinových plôch.

Normálna ortometrická korekcia je daná vzorcom[13]:

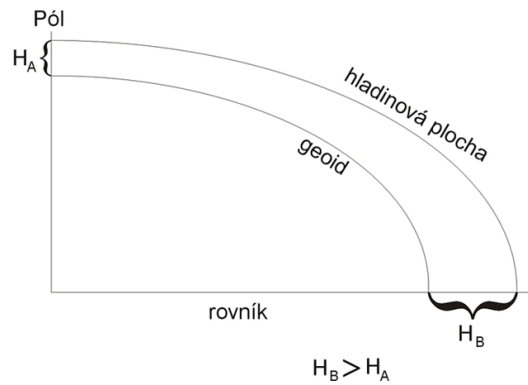
$$C_\gamma^{A,B} [\text{mm}] = -0,000\,0254 H_s [\text{m}] \Delta\varphi''_{A,B} ['], \quad (3.8)$$

kde $H_s = \frac{H_A + H_B}{2}$ je priemerná nadmorská výška a $\Delta\varphi''_{A,B} = \varphi_B - \varphi_A$ je rozdiel zemepisnej šírky.

Korekcia z vplyvu anomálie tiaže sa určí zo vzťahu[13]:

$$C_{(g-\gamma)}^{A,B} [\text{mm}] = 1,0193 \cdot 10^{-3} \Delta g_{Fs} [\text{mgal}] \Delta h_{\text{mër}}^{A,B} [\text{m}], \quad (3.9)$$

kde $\Delta g_{Fs} = \frac{\Delta g_{FA} + \Delta g_{FB}}{2}$ je stredná Fayova anomália pre oddiel a $\Delta h^{A,B}_{m\acute{e}r}$ je merané prevýšenie.



Obr. 11. Zbiehavosti hladinových plôch

Fayova anomália sa dá získať tiažovým meraním, alebo z mapy Bouguerových anomálií. Pri použití tiažového merania je výpočet nasledujúci[13]:

$$\Delta g_{Fs} = g_s - \gamma_0 \text{ [mgal]} - 0,3086 H_s \text{ [m]}, \quad (3.10)$$

kde g_s je namerané tiažové zrýchlenie (priemer medzi koncovými bodmi oddielu) a γ_0 je normálne tiažové zrýchlenie (určuje sa pomocou Helmertovho vzorca) a H_s je priemerná nadmorská výška v oddieli.

Pri použití mapy Bouguerových anomálií sa hodnoty pre koncové body oddielu určia interpoláciou izolíní. Pri výpočtoch používame strednú hodnotu Bouguerovej anomálie Δg_{Bs} a nej určíme strednú hodnotu Fayovej anomálie pomocou vzťahu[13]:

$$\Delta g_{Fs} \text{ [mgal]} = \Delta g_{Bs} \text{ [mgal]} + 0,1119 H_s \text{ [m]} \quad (3.11)$$

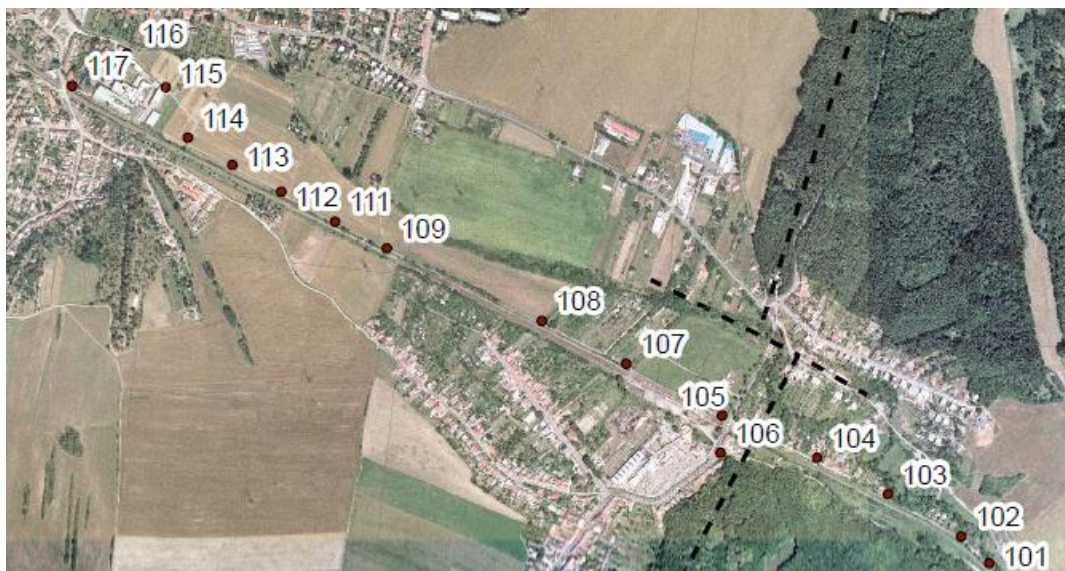
3.2. Prípravné práce – VPN

Pred samotným meraním prebehla dôkladná rekognoskácia terénu, uvedenie do problematiky záujmovej lokality a taktiež prevzatie meračskej siete (body 101 až 110).

Pri rekognoskácii nebol nájdený bod číslo 110, a preto číslo tohto bodu nebolo použité pri číslovaní nových bodov. Ostatné záujmové body (101 - 109) boli neporušené. Prevzaté nivelačné údaje sa nachádzajú v prílohe č. 1.

Úlohou diplomovej práce bolo predĺženie profilu v obci Tetčice (body 101 -109), a preto boli stabilizované ďalšie nivelačné body v smere stávajúceho profilu (body 111-117). Tieto body boli stabilizované tak, aby sa nenachádzali v blízkosti priepustku alebo kanála, kvôli ktorým by mohli byť znehodnotené tiažové údaje. Nové body boli stabilizované meračským klincom a boli v rozstupe 100-150m. Prehľad bodov profilu na podklade ortofotomapy sa nachádza v prílohe č. 13. Bol vytvorený v programe ArcMap 10.1. a ako podklad boli použité dáta, poskytnuté Zememeračským úradom sídlom v Prahe. Pre novovytvorené body boli vytvorené nivelačné údaje a nachádzajú sa v prílohe č. 1.

Pre pripojenie nivelačného merania bol použitý bod Ocd-17.3 (taktiež aj bod profilu 106), ktorý sa nachádza na pevnej skale a bol použitý u všetkých doposiaľ meraných etapách.



Obr. 12. Body profilu Tetčice s vyznačeným predpokladaným zlomom



Obr. 13. Použitá stabilizácia bodov

3.3. Meračské práce – VPN

K meraniu bol stavebnou fakultou VUT v Brne požičaný elektronický nivelačný prístroj Leica DNA003. Pred a po meraní profilu bola vykonaná skúška prístroja a tá bola následne v prístroji aj uložená. U nivelačných lát prebehla skúška pätiiek, ktorá nepreukazovala odchýlku väčšiu ako 0,1mm.

Meranie bodov profilu dlhého približne 2,7km trvalo celkovo 2 dni. Namerané údaje boli počas merania ukladané v prístroji. Ich upravená podoba sa nachádza v prílohe č. 2. Prístroj bol prepnutý do módu merania, kde čítanie na late prebehlo 3-krát a z týchto hodnôt bol zaregistrovaný ich priemer. Vďaka použitému prístroju bolo možné kontrolovať rozdiel dĺžok zámer vpred a vzad. Počas merania bola elektronickým teplomerom zaznamenávaná teplota pri meraní.

Postup výškového zamerania bodov profilu (smer TAM):

101 - 102 - ... - 106

105 - 107 - 108 - 109 - 111 - ... - 117

Z bodu Ocd – 17.3 bol výškovo zameraný aj bod ZB Tetčice.

Parametre použitého nivelačného prístroja Leica DNA003

- zväčšenie ďalekohľadu 24x;
- minimálna zámera 0,6m; zorný uhol 2°;

- rozsah kompenzátoru 10', odchýlka kompenzácie 0,3'';
- stredná kilometrová chyba tam a späť s invarovou latou 0,3mm.[15]



Obr. 14. Použitý nivelačný prístroj Leica DNA003 (prevzaté google.com)

3.4. Výpočtové práce – VPN

Namerané nivelačné údaje boli spracované v tabuľkovom editore Microsoft Excel 2010. Výpočet prevýšení sa nachádza v prílohe č. 3.

Z kalibračného listu č. 29 839/2009 bola prevzatá dĺžka priemerného latového metru l_m+10,9μm. Pre opravu z dĺžky latového metru je treba jeho hodnotu ešte prepočítať z komparačnej teploty na teplotu pri meraní t_m podľa vzorca[13]:

$$\Delta l_m = \Delta l + b \cdot (t_m - t_k) \text{ [mm/m]}, \quad (3.12)$$

kde t_m je teplota pri meraní a t_k je teplota pri komparácii latového metru a Δl je korekcia z komparácie.

Merané prevýšenie sa potom opravilo podľa vzťahu[13]:

$$\Delta h' = \Delta h'_{\text{mer}} \left(1 + \frac{\Delta l_m}{1000}\right) \text{ [m]}, \quad (3.13)$$

kde Δh' je prevýšenie opravené o korekciu z latového metra tam (späť), Δl_m je korekcia latového metru z komparačnej teploty na teplotu pri meraní a Δh'_{mer} je namerané prevýšenie tam (späť).

Ďalšou opravou prevýšení sú tiažové korekcie (normálne Molodenského korekcie), ktoré boli počítané podľa kapitoly 3.1.3. Normálne Molodenského korekcie K ich určeniu boli použité namerané tiažové údaje, z ktorých sa priamo vypočítala hodnota Fayovej anomálie Δg_F. Výpočet korekcií sa nachádza v prílohe č. 4.

Tab. 1. Výsledné normálne Molodenského korekcie

Medzi bodmi	C _N [mm]	Medzi bodmi	C _N [mm]
101-102	0,00	109-111	0,00
102-103	0,04	111-112	0,00
103-104	0,07	112-113	0,03
104-105	0,18	113-114	0,05
105-106	0,12	114-115	0,00
105-107	-0,09	115-116	0,02
107-108	-0,05	116-117	0,15
108-109	0,04	106-Tetčice	-0,03

Výsledné prevýšenia opravené o normálne Molodenského korekcie sa určia zo vzťahu[13]:

$$\Delta h = \Delta h_s + C_N^{A,B}, \quad (3.14)$$

kde Δh_s je spriemerované prevýšenie opravené o korekcie z teploty pri meraní a z dĺžky late merania tam a späť a $C_N^{A,B}$ je normálna Molodenského korekcia.

Tab. 2 Výsledné prevýšenia opravené o normálne Molodenského korekcie

Medzi bodmi	Δh_i [m]	Medzi bodmi	Δh_i [m]
101 - 102	0,19739	111 - 112	0,25378
102 - 103	1,32445	112 - 113	0,89529
103 - 104	1,81585	113 - 114	1,25163
104 - 105	4,17041	114 - 115	0,62659
105 - 106	2,01200	115 - 116	0,72612
105 - 107	-0,86929	116 - 117	2,71838
107 - 108	-0,65349	106 - ZB Tetčice	-0,60528
109 - 111	0,23998		

3.5. Posúdenie presnosti VPN

Pre posúdenie splnenia presnosti VPN bol použitý Metodický návod pre práce v ZVBP.

Rozdiel merania tam a späť ρ

Odchýlka ρ medzi nivelačným meraním v smere tam a späť nesmie v nivelačnom oddiele prekročiť hodnoty stanovené pre II. rád ČSNS[14]:

$${}^1\Delta [\text{mm}] = 2,25\sqrt{R}, \quad (3.15)$$

kde R je dĺžka oddielu.

Medzná odchýlka pri všetkých rozdieloch meraní tam a späť nebola prekročená.

Tab. 3. Hodnoty rozdielov prevýšení tam a späť a ich medzné odchýlky

Medzi bodmi	ρ [mm]	${}^1\Delta$ [mm]
101 - 102	0,13	0,68
102 - 103	0,47	0,99
103 - 104	-0,01	0,97
104 - 105	0,89	1,16
105 - 106	0,04	0,74
105 - 107	-0,22	1,13
107 - 108	-0,44	1,06
108 - 109	0,02	1,43
109 - 111	0,09	0,82
111 - 112	-0,14	0,85
112 - 113	0,07	0,83
113 - 114	0,14	0,78
114 - 115	0,22	0,88
115 - 116	0,21	0,78
116 - 117	0,13	0,93
106 - ZB Tetčice	0,03	0,33

Stredná jednotková kilometrická chyba

Kvalitu merania charakterizuje stredná jednotková kilometrická chyba obojsmernej nivelácie sa vypočíta zo vzťahu [14]:

$$m_0 [\text{mm}] = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n_R} \left[\frac{\rho^2}{R[\text{km}]} \right]}, \quad (3.16)$$

kde n_R je počet oddielov, ρ je rozdiel merania prevýšenia tam a späť, R je dĺžka oddielu.

Medzná jednotková kilometrická chyba pre II. rád ČSNS sa určuje zo vzťahu [14]:

$${}^3\Delta [\text{mm}] = 0,45 + \frac{0,80}{n_R}, \quad (3.17)$$

kde n_R je počet oddielov.

Dosiahnutá jednotková kilometrická chyba $m_0 = 0,32\text{mm}$ neprekročila medznú jednotkovú kilometrickú chybu ${}^3\Delta = 0,65\text{mm}$.

Určená stredná jednotková kilometrická chyba obojstrannej nivelácie $m_0 = 0,32\text{mm}$ je adekvátna hodnote $m_0^{\text{prist}} = 0,3\text{mm}$, ktorú udáva výrobca prístroja pre nivelačný prístroj Leica DNA003 s invarovou latou.

Stredná chyba nivelovaného prevýšenia

Stredná chyba nivelovaného prevýšenia sa určí pomocou vzorca[16]:

$$m_{\Delta hi}[\text{mm}] = m_0\sqrt{R_i}, \quad (3.18)$$

kde m_0 je stredná jednotková kilometrická chyba obojsmernej nivelácie vypočítaná zo vzorca (3.13), R_i sú dĺžky jednotlivých oddielov v kilometroch.

Tab. 4. Výsledné prevýšenia medzi bodmi s ich strednými chybami

Medzi bodmi	Δh_i [m]	$m_{\Delta hi}$ [mm]
101 - 102	0,19739	0,10
102 - 103	1,32445	0,14
103 - 104	1,81585	0,14
104 - 105	4,17041	0,17
105 - 106	2,01200	0,10
105 - 107	-0,86929	0,16
107 - 108	-0,65349	0,15
108 - 109	1,57965	0,20
109 - 111	0,23998	0,12
111 - 112	0,25378	0,12
112 - 113	0,89529	0,12
113 - 114	1,25163	0,11
114 - 115	0,62659	0,13
115 - 116	0,72612	0,11
116 - 117	2,71838	0,13
106 - ZB Tetčice	-0,60528	0,05

Stredné chyby výšok bodov profilu

Keďže výšky bodov profilu boli vypočítané ako suma prevýšení pričítaných k bodu 106 (Ocd-17.3), stredné chyby výšok sa určili zo stredných chýb prevýšení.

Príklad určenia strednej chyby výšky bodu 104:

Výška bodu 104 bola určená:

$$H_{104} = H_{106} + \Delta h_{106,105} + \Delta h_{105,104} \quad (3.19)$$

Zákonom hromadenia stredných chýb získavame:

$$m_{H_{104}}^2 = m_{H_{106}}^2 + m_{\Delta h_{105,106}}^2 + m_{\Delta h_{104,105}}^2, \quad (3.20)$$

kde $m_{\Delta h_{105,106}}^2$ je stredná chyba prevýšenia medzi bodmi 105, 106, $m_{\Delta h_{105,104}}^2$ je stredná chyba prevýšenia medzi bodmi 104, 105, $m_{H_{106}}^2$ je stredná chyba výšky bodu 106 (táto chyba bola uvážená ako nulová). Výsledná stredná chyba $m_{H_{104}}$ je bez uváženia vplyvu východzej siete.

Tab. 5. Výsledné výšky a ich stredné chyby

č. bodov	H_i [m]	m_{H_i} [mm]
101	288,14491	0,29
102	288,34229	0,28
103	289,66674	0,24
104	291,48259	0,20
105	295,65300	0,10
106	297,66500	0,00
107	294,78371	0,19
108	294,13022	0,24
109	295,70987	0,32
111	295,94985	0,34
112	296,20362	0,36
113	297,09891	0,38
114	298,35054	0,39
115	298,97714	0,41
116	299,70325	0,43
117	302,42163	0,45
ZB Tetčice	297,05972	0,05

Posúdenie nezávislého zamerania bodov profilu

Táto etapa bola tiež nezávisle zameraná aj študentom Bc. Antonínom Staňkom. Jeho vypočítané nadmorské výšky H_i bodov 101 až 109 spolu so strednými chybami m_{Hi} boli prevzaté a použité pri posudzovaní odchýlok medzi nezávislým výškovým zameraním bodov profilu.

Odchýlky Δ medzi výškami bodov boli porovnané s medznou strednou chybou vypočítanou podľa vzorca:

$$\delta_{\Delta} = m_{\Delta} \cdot t, \quad (3.21)$$

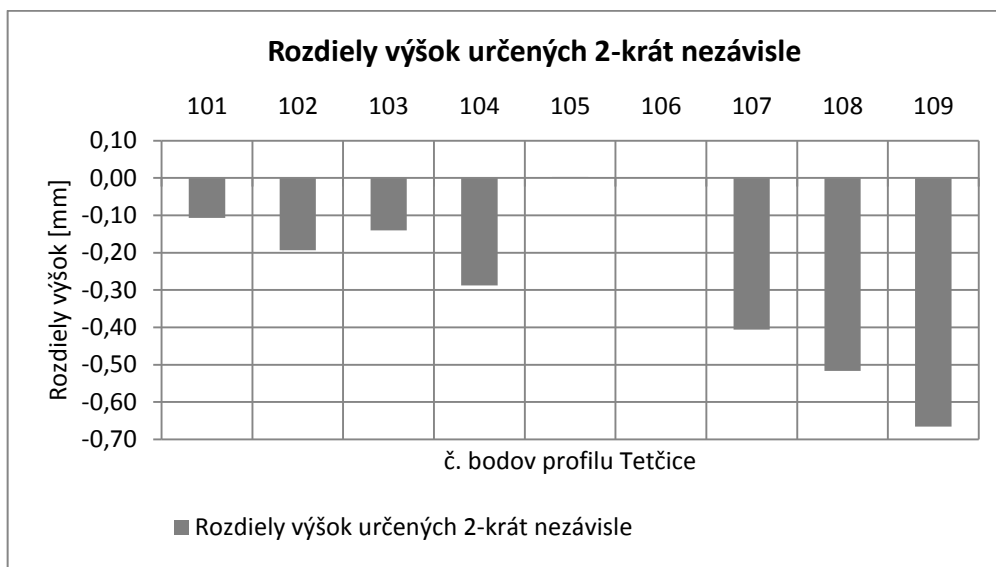
kde t je súčiniteľ konfidencie (použitá hodnota 2) a m_{Δ} je stredná chyba rozdielu výšok určených s rôznou presnosťou určená podľa:

$$m_{\Delta}^2 = \sqrt{m_{Hi}^2 + m_{Hj}^2}, \quad (3.22)$$

kde m_{Hi} a m_{Hj} sú stredné chyby výšok určených nezávisle. Odchýlky u žiadneho z bodov neprekračuje medznú strednú chybu. Podmienka $\Delta < \delta\Delta$ je splnená. Pri ďalších výpočtoch boli použité výšky H_j a ich stredné chyby m_{Hj} .

Tab. 6. Posúdenie odchýlok 2-krát určených výšok bodov profilu

č. bodu	H_i [m]	m_{Hi} [mm]	H_j [m]	m_{Hj} [mm]	Δ [mm]	m_{Δ} [mm]	δ_{Δ} [mm]	$\Delta < \delta\Delta$
101	288,14480	0,24	288,14491	0,29	-0,11	0,38	0,76	splňuje
102	288,34210	0,22	288,34229	0,28	-0,19	0,35	0,71	splňuje
103	289,66660	0,19	289,66674	0,24	-0,14	0,31	0,61	splňuje
104	291,48230	0,15	291,48259	0,20	-0,29	0,25	0,49	splňuje
105	295,65300	0,08	295,65300	0,10	0,00	0,13	0,26	splňuje
106	297,66500	0,00	297,66500	0,00	-	-	-	-
107	294,78330	0,16	294,78371	0,19	-0,41	0,25	0,50	splňuje
108	294,12970	0,20	294,13022	0,24	-0,52	0,32	0,63	splňuje
109	295,70920	0,27	295,70987	0,32	-0,67	0,42	0,83	splňuje



Graf 1. Rozdiely výšok určených 2-krát nezávisle

Na Graf 1. je možné vidieť, v ktorých oddieloch nastali odchýlky merania v 1. alebo 2. nezávislom zameraní. Oddiely medzi bodmi 105, 106 a 104 , 105 boli pre meranie veľmi nebezpečné, pretože sa nachádzajú blízko železničného priestestia a v dobe merania cez neho prechádzal vlak každú pol hodinu. Preto zameranie týchto oddielov prebiehalo rýchlo a je možné, že meranie tak bolo menej dôkladné.

3.6. Vyhodnotenie vertikálnych posunov

Meranie posunov na profilu Tetčice začalo v júni roku 2008 Ing. Witiskom. Ten zameral 4 etapy. (0., 1., 2., 3. etapa). Na ďalší rok v jeho práci pokračovala Ing. Neudertová, ktorá zamerala 3 etapy (4., 5., 6. etapa). Až do roku 2013 nebol tento profil zameriavaný. Výšky bodov profilu bolo potrebné zistiť pre gravimetrické výpočty, a keďže meranie splňovalo požiadavky VPN, bolo možné toto meranie považovať za ďalšiu etapu (7.etapa – jún 2013). Výšky a stredné chyby 7. etapy sa nachádzajú v Tab. 5.

Pre určenie posunov boli použité tie predchádzajúce etapy, ktoré boli zamerané v tom istom období (jún), a to v dôsledku rovnakých vonkajších vplyvov pri meraní (hladina podzemných vôd, teplota, sucho). Ide o 0. etapu a 4. etapu. Prevzaté údaje obsahovali len výšky (bez stredných chýb), preto nebolo možné urobiť posúdenie či

posuny u jednotlivých bodoch profilu nastali alebo nie. Podrobnejšie vyhodnotenie a grafické spracovanie bolo úlohou študenta Bc. Antonína Staňka.

Tab. 7. Výšky bodov profilu v jednotlivých etapách

č. bodu	Výšky H v etapách [m]		
	0. etapa jún 2008	4. etapa jún 2009	7. etapa jún 2013
101	288,14430	288,14379	288,14491
102	288,34990	288,34784	288,34229
103	289,68160	289,67746	289,66674
104	291,48160	291,48188	291,48259
105	295,65620	295,65520	295,65300
106	297,66500	297,66500	297,66500
107	294,79720	294,78122	294,78371
108	294,13570	294,13186	294,13022
109	295,71030	295,70757	295,70987

Podľa [1] sa najväčšie vertikálne posuny môžu predpokladať u bodoch 105 a 107. U bodoch 101 - 104 sa predpokladá, že výškové posuny môžu byť spôsobené veľkou výškou podzemnej vody alebo poruchovými zlomami v tejto oblasti. V prípade bodov 107-109 možno prezentovať dva spôsoby interpretácie. Ako prvý by mohol byť, že podložie je ovplyvnené ťažbou uhlia, ktoré na tomto území prebiehalo v minulosti. Ako druhý, ktorý sa považuje za viac pravdepodobný je, že v blízkosti bodu 107 sa nachádza zásobník vody pre mesto Rosice a obec Tetčice.

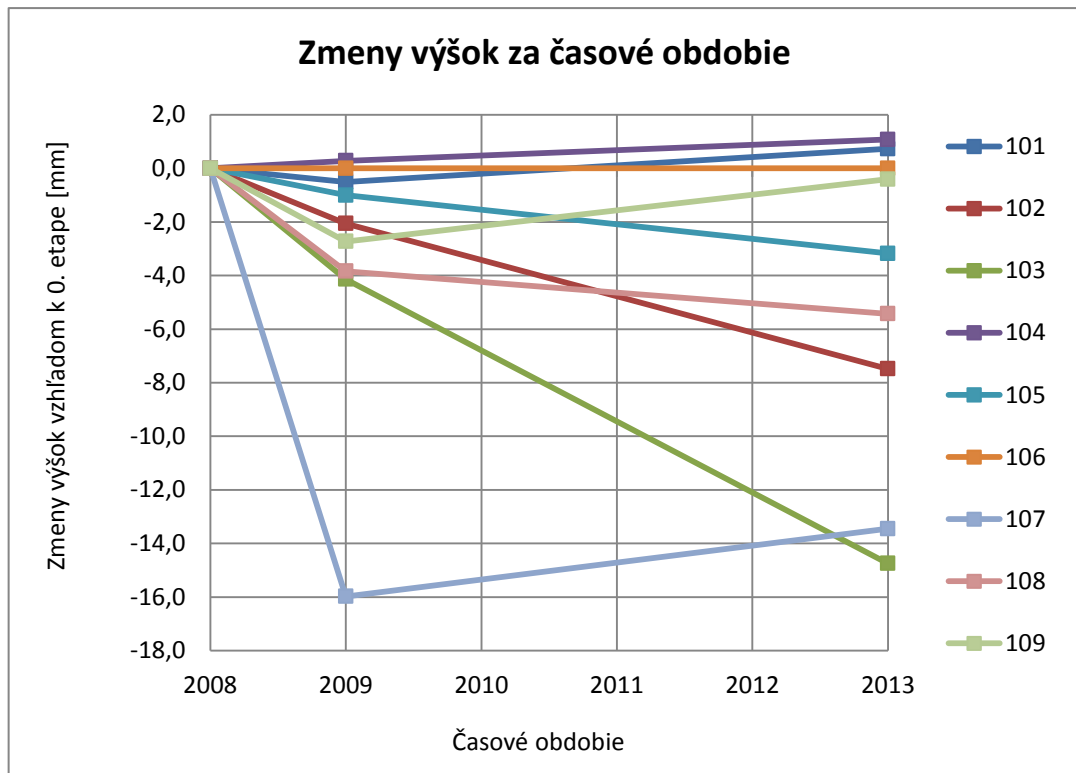
Výšky bodov 7. etapy (jún 2013) v porovnaní s 0. etapou (jún 2008) vykazujú u niektorých bodoch výrazné posuny. Najväčšie zmeny preukazujú body č. 103 a bod č.107 (Tab. 8). Najväčšie posuny medzi etapou 4. a 7. preukazuje bod č. 103 a č. 102.

Význam znamienok u posunov:

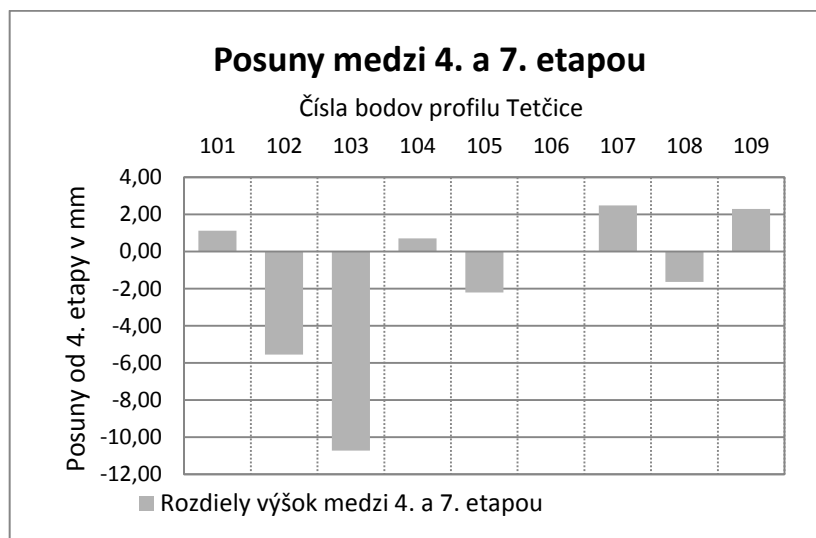
- pokles
- + zdvih

Tab. 8. Posuny u jednotlivých bodov medzi etapami

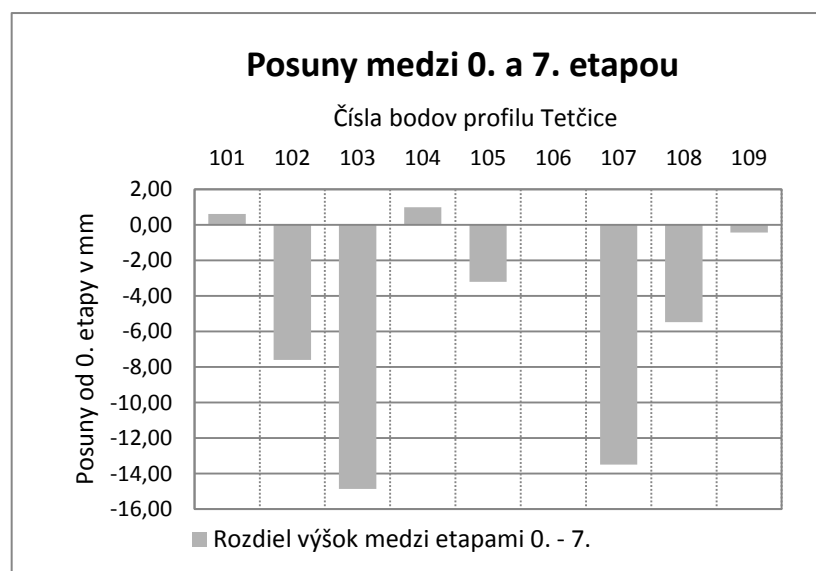
č. bodu	Posuny medzi etapami [mm]		
	0. - 4.	0. - 7.	4. - 7.
101	-0,51	+0,61	+1,12
102	-2,06	-7,61	-5,55
103	-4,14	-14,86	-10,72
104	+0,28	+0,99	+0,71
105	-1,00	-3,20	-2,20
106	0,00	0,00	0,00
107	-15,98	-13,49	+2,49
108	-3,84	-5,48	-1,64
109	-2,73	-0,43	+2,30



Graf 2. Priebeh posunov u jednotlivých bodov za časové obdobie



Graf 3. Posuny medzi 4. a 7. etapou



Graf 4. Posuny medzi 0. a 7. etapou

Na Graf 2. je možné vidieť zmeny výšok bodov profilu za časové obdobie od 0. etapy (2008) až k etape 7. (2013). Body 101,102,103 sa nachádzajú v časti Brnenského masívu a vykazujú periodické výkyvy. Mierny rastúci vertikálny posun bodu 101 môže byť spôsobený skutočnosťou, že sa nachádza v tesnej blízkosti ČOV obce Tetčice a rieky Bobrava, Nasledujúce body profilu 102, 103, ktoré sa približujú ku zlomovému pásmu, vykazujú za merané obdobie postupné klesanie. Podľa Graf 4. je možné predpokladať

poruchový zlom medzi bodmi 103 a 104, kde sa prejavuje najväčšia zmena vo výške. U bodov 107, 108, 109, ktoré sa nachádzajú v časti Boskovickej brázdy za zlomovým pásmom postupne klesajú. Tento pokles slabne zväčšujúcou sa vzdialenosťou bodov od zlomového pásma.

Najväčšie zaznamenané posuny za časové obdobie 5 rokov preukázali body 103 (-14,86mm) a 107 (-13,49mm). Ako už bolo napísané vyššie podľa [1] je pokles bodu 107 spôsobený možným pôsobením podzemných vôd (blízkosť zásobníka vody mesto Rosice a obec Tetčice). Pokles u bodu 103 v prednej časti profilu by mohol spôsobovať vplyv tektonického rozhrania, ktoré sa podľa geologickej mapy nachádza v tejto časti profilu. Aby bolo možné túto interpretáciu potvrdiť, bolo vykonané gravimetrické meranie, ktorého vyhodnotenie sa nachádza v podkapitole 4.7.

4. GRAVIMETRIA

4.1. Úvod do teórie gravimetrie

Gravimetria je vedná disciplína, ktorá sa zaoberá meraním a následne aj vyhodnotením hodnôt tiažového zrýchlenia v rozsahu zemského telesa.[18]

Základnou meranou fyzikálnou veličinou odvodenou v sústave SI pre tiažové zrýchlenie g je v užitej gravimetrii $m.s^{-2}$, resp. $\mu m.s^{-2}$. V praxi sa však skôr využíva jednotka 1mGal (miligal).

4.1.1. Meranie tiažového zrýchlenia

Prístroje na meranie tiažového zrýchlenia sa nazývajú gravimetre a delia sa podľa meracieho princípu a druhu získanej hodnoty na tzv. absolútne a relatívne [18][20].

Relatívne gravimetre sú prenosné prístroje, ktoré umožňujú meranie relatívnych rozdielov v tiažovom zrýchlení medzi jednotlivými bodmi navzájom. Preto pri relatívnom meraní je potrebné vychádzať z bodu, u ktorého poznáme absolútnu hodnotu tiažového zrýchlenia. Základom meracieho systému vo väčšine relatívnych gravimetrov je systém kremenných pružín. Zmena polohy meracieho systému je spojená so zmenou tiažového zrýchlenia, čo sa prejaví natiahnutím (skrútením) pružiny pri náraste (poklese) hodnoty g . Tieto prístroje sú veľmi citlivé na otrasy a celkovo je ich výroba veľmi náročná. [18][20]

Meranie s relatívnym gravimetrom La Coste&Romberg G-176

Ako prvé pred samotným meraním je nutné ,aby bol prístroj urovnaný pomocou libiel umiestnených na gravimetru do horizontálnej polohy prostredníctvom otočných skrutiek. Následne je treba odistiť (odaretovať) meraciu pružinu vnútri prístroja. Pomocou otočnej skrutky navrchu prístroja je potrebné nastaviť v okuláru prístroja výrobcom definovanú meraciu rysku a odčítať hodnotu na odčítacom zariadení. Táto hodnota čítania sa prevedie z dielikov meracieho zariadenia na hodnoty v miligaloch pomocou prevodovej konštanty prístroja. Táto konštanta je uvedená na štítku od výrobcu, alebo zistená pri

ciachovaní. Vzhľadom k tomu, že sa elastické vlastnosti kremenných pružín časom menia, je nutné hodnotu prístrojovej konštanty v určitých časových obdobiach skontrolovať.

Meranie relatívnym gravimetrom na jednom bode síce trvá zväčša rádovo minúty, okrem toho je však potrebné niektoré body merať opakovane z dôvodu určenia chodu prístroja. Relatívny pružinový gravimeter má jednu nepríjemnú vlastnosť a síce, že počas dňa meria zakaždým inak. Je to v dôsledku nárazov počas prenosu, zmien tlaku a teploty, gravitačného účinku Slnka a Mesiaca. Táto vlastnosť sa nazýva chod gravimetru. Tieto zmeny sú blízke k lineárnemu priebehu. Počas merania sa spolu s tiažovým zrýchlením zaznamenáva aj čas, pomocou ktorých sa vyhotoví graf a určí sa tak chod gravimetru. Z tohto grafu sú určené hodnoty opráv, o ktoré sa opraví namerané tiažové dáta. Po oprave o chod a prepočtom zisteného relatívneho rozdielu v tiažovom zrýchlení na bod zo známou absolútnou hodnotou g získavame absolútnu hodnotu g na meranom bode.[18][20]

4.1.2. Bouguerova anomália

Vzhľadom k tomu, že pre riešenie úloh, najmä z oblasti všeobecnej a inžinierskej geológie, sú dôležité len odchýlky tiaže od normálnych hodnôt tiaže – tzv. anomálie tiaže, nemôže užitá geofyzika využívať k riešeniu tejto problematiky priamo hodnoty tiažového zrýchlenia, ale musí z nich najskôr odstrániť účinky rôznych nežiaducich faktorov.[18][20]

Odstránenie nežiaducich vplyvov, ktoré ovplyvňujú hodnoty tiažového zrýchlenia sa vykonáva prostredníctvom zavedenia rôznych druhov oprav a redukcií, medzi ktoré patrí:

- a.) oprava o hodnotu normálneho poľa (g_n);
- b.) redukcia Fayova;
- c.) redukcia o účinok Bouguerovej dosky;
- d.) topografická korekcia.[18]

Ak sú z nameraných hodnôt odstránené všetky možné nežiaduce vplyvy, získavame **úplnú Bouguerovu anomáliu**, ktorá je daná vzťahom[18]:

$$\Delta g_B(h, \varphi, \lambda) = g - g_n(\varphi) - 0,3086h - 0,0419h\rho - T(h, \varphi, \lambda) - B(h, \sigma) \quad [\text{mGal}] \quad (4.1)$$

kde g – nameraná hodnota tiažového zrýchlenia; $g_n(\varphi)$ – hodnota zrýchlenia normálneho tiažového poľa; h – nadmorská výška tiažového bodu; ρ – redukčná hustota Bouguerovej dosky; $T(h,\varphi,\lambda)$ – topokorekcia; φ,λ – zemepisná šírka a zemepisná dĺžka tiažového bodu; B – Bullardov člen.

a.) oprava o hodnotu normálneho poľa (g_n)

Na území ČR sa využíva vzťah Helmertov alebo medzinárodný vzorec pre systém WGS84 [18]:

$$g_n^{\text{Helmert}} = 978030 (1 + 0,005302\sin^2\varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \quad (4.2)$$

$$g_n^{\text{WGS84}} = 978\,032,677\,137 + 5\,163,074\,975\sin^2\varphi + 22,760\,576\sin^4\varphi + 0,123\,445 \sin^6\varphi + 0,000\,714 \sin^8\varphi + 0,000\,004 \sin^{10}\varphi \quad (4.3)$$

kde φ je zemepisná šírka gravimetrického stanoviska v systéme WGS84.

b.) Fayova redukcia

Hodnoty namerané na zemskom povrchu by mali byť s hodnotami normálnej tiaže vzťahované k rovnakej hladinovej ploche zemskej tiaže. Preto je potrebné previesť merané dáta na hladinovú plochu, od ktorej sa určujú výšky zemského povrchu (ide o presun vo voľnom vzduchu). Táto redukcia sa nazýva Fayova a je daná vzťahom [18]:

$$R_f = 0,3086h, \quad (4.4)$$

kde h je nadmorská výška bodu.

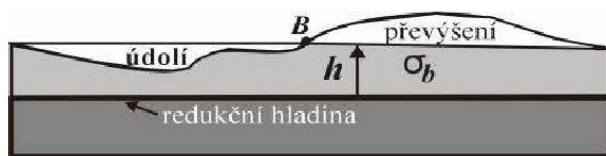
Celý výraz odčítania normálneho poľa sa dá napísať v tvare $g - (g_n - 0,3086h) = g - g_n + 0,3086h$, kde g je anomália tiažového zrýchlenia; g_n – hodnota normálneho poľa; h – nadmorská výška bodu.

c.) redukcia o účinok Bouguerovej dosky

„Voľný vzduch“ medzi bodom merania a nulovou úrovňou je nahradený hmotami. Účinok týchto hmôt je potrebné odpočítať zavedením tzv. Bouguerovej redukcie. Tento účinok je definovaný vzťahom[18]:

$$2\pi f\sigma h = 0,0419\sigma h \quad (4.5)$$

kde σ je hustota Bouguerovej dosky (redukčná hustota)



Obr. 15. Bouguerova doska^[18]

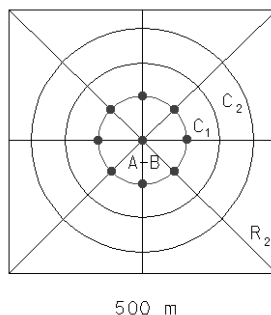
Vysvetlivky k Obr. 15: h – mocnosť Bouguerovej dosky, σ_b – hustota Bouguerovej dosky.

d.) topografická korekcia (redukcia nerovnosti topografického reliéfu)

Tieto korekcie odstraňujú gravitačný účinok okolitých terénnych tvarov a taktiež opravujú odčítanie účinkov výplní dolín, ktoré boli spôsobené pri vykonaní redukcie o účinok Bouguerovej dosky.

Celková topografická korekcia je daná súčtom korekcií: $T = T_1 + T_2 + T_3$

- T_1 terénna korekcia zo štvorcového okolia (0-250 m) meraného bodu;
- T_2 súhrnné korekcie z oblasti od 250 m do 5,24 km;
- T_3 súhrnné korekcie z oblasti od 5,24 km do 166,7 km.[19]



Obr. 16. Paletka pre odčítanie hodnôt topokorekcií T_1

4.2. Prípravné práce – gravimetria

Pre gravimetrické meranie bol vedúcim práce poskytnutý relatívny gravimeter La Coste & Romberg G-176, ktorý určuje len relatívne hodnoty tiažového zrýchlenia, a preto bolo potrebné určiť bod pre pripojenie (bod, ktorého absolútnu hodnotu tiažového

zrýchlenia poznáme). Ako najbližší pripojovací tiažový bod určený tiažový bod číslo 3453.01 v Ostrovačiciach.

Z dôvodu veľkej vzdialenosti k pripojovaciemu bodu českej gravimetrickej siete, na ktorý by mohlo byť gravimetrické meranie pripojené, bolo potrebné zriadiť základný tiažový bod v blízkosti meraných bodov. Ten bol stabilizovaný v blízkosti bodu 106, ktorý bol aj ako pripojovací bod pri nivelačnom meraní a nachádzal sa približne v strede záujmovej lokality. Jeho označenie v zápisníkoch a výpočtoch je ZB Tetčice a bol stabilizovaný meračským klincom. Pre bod ZB Tetčice boli vytvorené gravimetrické údaje (príloha č. 5).

Pred samotným meraním bola určená metodika merania. Meranie muselo byť vykonané v čo najkratšom čase, kvôli minimalizácii chýb spôsobených vonkajšími vplyvmi na prístroj (chod gravimetru).

4.3. Meračské práce – gravimetria

Pri gravimetrickom meraní bol použitý prístroj La Coste & Romberg G-176. Tento prístroj patrí k prístrojom, ktoré merajú relatívne hodnoty tiažového zrýchlenia s presnosťou okolo $\pm 0,01\mu\text{ms}^{-2}$.



Obr. 17. Prístroj La Coste & Romberg G-176

0. ETAPA – jún 2013

Nad rámec zadania diplomovej práce bol zameraný novo zriadený tiažový bod VUT-TUBO v areálu FAST VUT. Na tomto bode sa začínalo meranie a ďalej sa pokračovalo na bodoch Ostravačice a ZB Tetčice. Body Ostravačice a ZB Tetčice boli zamerané celkovo 5-krát v rôznych časoch. Meranie sa končilo na bode VUT-TUBO. Opakované meranie bolo v dôsledku určenia chodu gravimetru. Pri každom meraní boli odčítané 2 hodnoty čítania (pri veľkej odchýlke dvoch meraní boli odčítané 3 hodnoty) na gravimetrickom prístroji a taktiež bol zaznamenaný aj čas merania. Terénne zápisníky, do ktorých boli tieto údaje zapisované, sa nachádzajú v prílohe č. 6.

Počas prenosu prístroja medzi bodmi boli kvôli kontrole chodu gravimetru vypočítané relatívne hodnoty tiažového zrýchlenia. Tieto hodnoty by mali mať u jednotlivých bodoch rastúci trend. V niekoľkých prípadoch to tak nebolo. Tieto nepravidelné zmeny mohli byť spôsobené prenosom prístroja autom, prípadne chybným skoincidovaným rysky v prístroji a následného zlého odčítania hodnoty.

Podrobné gravimetrické meranie prebiehalo približne 4 hodiny. Pre určenie chodu gravimetru bolo zameraných niekoľko bodov viackrát. Metodika merania bola premyslená tak, aby meranie začínalo a končilo na tom istom bode v časovom úseku jedna hodina. Kvôli tejto podmienke bol v jednom úseku dočasne stabilizovaný bod označený ako PB (pomocný bod).

Postup gravimetrického merania podrobných bodov:

ZB Tetčice - 101 - ... - 105 - ZB Tetčice - 101 - 106 - ...109 - PB - 106 - ZB Tetčice - PB - 111 - ... - 115 - PB - 116 - 117 - 115 - 106 - 101 - ZB Tetčice

U podrobných tiažových bodoch boli zaznamenávané 2 hodnoty čítania (s presnosťou na stotiny) a čas odčítania, ktoré boli zapísané do terénnych zápisníkov. Pomocou turistickej GPS boli zistené zemepisné súradnice φ , λ .

1. ETAPA – február 2014

Obdobie zamerania tejto etapy bolo zvolené z dôvodu zásob vody v podzemí nazbieranej počas zimných mesiacov.

U každého bodu boli zaznamenané 2 hodnoty čítania (s presnosťou na stotiny) a čas odčítania, ktoré boli zapísané do terénnych zápisníkov (príloha č. 6).

Pri meraní bolo použité motorové vozidlo a tak bolo meranie vykonané rýchlejšie (cca 2 hodiny) než u 1.etapy

Postup gravimetrického merania podrobných bodov:

VUT-TUBO - Ostrovačice - ZB-Tetčice - 101 - 102 - 103 - ... - 106 - ZB-Tetčice - 101 - 107 - 108 - 109 - ... - 117 - 108 - 107 - 101 - ZB-Tetčice - Ostrovačice.



Obr. 18. Meranie prístrojom La Coste & Romberg G-176

4.4. Výpočtové práce - gravimetria

Spracovanie nameraných tiažových dát prebiehalo v kancelárskom prostredí. Výpočty UBA a g sa nachádzajú v prílohe č. 9. Použitým gravimetrom sa nemerali priamo hodnoty relatívneho zrýchlenia, odčítali sa len hodnoty čítania, ktoré sa previedli z dielikov meracieho zariadenia na hodnoty v miligaloch pomocou prevodovej konštanty prístroja. Táto konštanta bola prevzatá.

Tieto vypočítané hodnoty relatívneho zrýchlenia bolo potrebné opraviť o chod gravimetru (príloha č. 7). Tento chod bol zostrojený pomocou bodov, ktoré boli zamerané viackrát v iných časoch. Chod gravimetru bol zostrojený celkovo 3-krát. V prvom prípade pre pripojenie a určenie absolútnej hodnoty tiažového bodu ZB Tetčice a v druhom a treťom prípade pre podrobné gravimetrické meranie v 0. a 1. etape.

Z vypočítaných hodnôt relatívneho zrýchlenia opravených o chod gravimetru sa vypočítali konečné hodnoty skutočného tiažového zrýchlenia. Z bodu Ostravačice boli určené hodnoty skutočného zrýchlenia bodov ZB-Tetčice a VUT-TUBO a z bodu ZB Tetčice jednotlivé body 101 až 117 (Tab. 9, Tab. 10).

Hodnota tiažového zrýchlenia bodov VUT-TUBO a ZB Tetčice bola určená v oboch etapách. Výsledná hodnota bola určená ako priemer týchto hodnôt z oboch etáp.

Tab. 9. Výsledná hodnota skutočného g bodov VUT-TUBO a ZB Tetčice

Bod	Skutočné g[mGal]
VUT-TUBO	980944,465
ZB Tetčice	980934,096

Tab. 10. Výsledné hodnoty skutočného g podrobných bodov v etapách

Bod	Výsledné skutočné g[mGal]		Bod	Výsledné skutočné g[mGal]	
	0. etapa	1. etapa		0. etapa	1. etapa
101	980936,299	980936,309	109	980933,913	980934,025
102	980936,149	980936,090	111	980933,804	980933,919
103	980935,497	980935,613	112	980933,625	980933,741
104	980935,217	980935,259	113	980933,384	980933,493
105	980934,341	980934,397	114	980933,122	980933,130
106	980934,047	980934,151	115	980933,005	980933,109
107	980934,396	980934,378	116	980932,840	980932,868
108	980934,502	980934,515	117	980931,924	980932,018

4.4.1. Výpočet UBA

Zo skutočných hodnôt tiažového zrýchlenia bolo ďalej potrebné vypočítať úplné Bouguerove anomálie (UBA). Výpočet UBA pre jednotlivé podrobné body sa nachádza v prílohe č. 9. a týkal sa len 0. etapy. 1. etapa slúžila k porovnaniu rozdielov skutočného tiažového zrýchlenia medzi etapami. Vyhodnotenie etáp sa nachádza v kapitole 4.7.

Vzorec pre výpočet UBA [18]:

$$\Delta g_{UBA}(h,\varphi,\lambda) = g - g_n(\varphi) - 0,3086h - 0,0419h\rho - T(h,\varphi,\lambda) - B(h, \sigma) \text{ [mGal]} \quad (4.6)$$

kde g - nameraná hodnota tiažového zrýchlenia; $g_n(\varphi)$ – hodnota zrýchlenia normálneho tiažového poľa; h – nadmorská výška tiažového bodu; ρ – redukčná hustota Bouguerovej dosky; $T(h,\varphi,\lambda)$ – topokorekcia; φ,λ – zemepisná šírka a zemepisná dĺžka tiažového bodu; B – Bullardov člen.

Výpočet UBA pozostával z výpočtu:

- normálneho tiažového zrýchlenia;
- Fayovej redukcie;
- korekcie z Bouguerovej dosky (použitá redukčná hustota $\sigma = 2,67\text{gcm}^{-3}$);
- topokorekcií.

Pre určenie topokorekcií T_1 boli z Ústavu geodézie FAST VUT požičané topografické mapy lokality v systéme S-42 v mierke 1:25 000 a tiež bola vyhotovená paletka pre odčítanie hodnôt topokorekcií T_1 v mierke 1:25 000. Topokorekcie T_1 boli vytabelované pomocou tabuliek v literatúre Instrukce pro gravimetrické mapování v měřítku 1:25 000 pre jednotlivé sektory.

Topokorekcie T_2 boli určené pomocou počítačového programu.

Topokorekcie T_3 boli odčítané z poskytnutej mapy tiažových topografických korekcií od vedúceho diplomovej práce (normálna časť topografickej korekcie z nomogramu a anomálna časť z mapy izočiar).

Hodnoty všetkých topokorekcií boli zapísané do Katalógu bodov a výpočet topokorekcií T_1, T_2, T_3 . (príloha č. 8).

Tab. 11. Úplné Bouguerove anomálie bodov profilu Tetčice

Bod	Δg_{UBA}	Bod	Δg_{UBA}
101	14,951 mGal	109	13,358 mGal
102	14,712 mGal	111	13,265 mGal
103	14,281 mGal	112	13,091 mGal
104	14,275 mGal	113	12,995 mGal
105	14,086 mGal	114	12,935 mGal
106	14,479 mGal	115	12,856 mGal
107	13,853 mGal	116	12,783 mGal
108	13,738 mGal	117	12,491 mGal

4.5. Presnosť gravimetrického merania

Stredná chyba m_g počítaná z kontrolných bodov:

Stredná chyba m_g v meranej tiaži sa vypočíta z hodnôt tiaže na kontrolných bodoch (viackrát zamerané body) podľa vzťahu:

$$m_g = \sqrt{\frac{[vv]}{n-v}} \quad [\text{mGal}] \quad (4.7)$$

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

Z nameraných hodnôt z 0.etapy vyšla stredná chyba $m_g = 0,043$ mGal. Pri 1.etape bola určená stredná chyba gravimetrického merania $m_g = 0,017$ mGal a u gravimetrického merania bodov VUT-TUBO a ZB Tetčice $m_g = 0,035$ mGal.

Stredná výberová chyba m_{g1} určená z dvojíc merania

Pri gravimetrickom meraní bola odčítaná hodnota čítania vždy 2-krát. Rozdiel týchto čítaní je možné posúdiť na základne vypočítanej výberovej strednej chyby podľa:

$$m_{g1} = \sqrt{\frac{\sum \Delta\Delta}{2n}}, \quad (4.8)$$

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

Táto výberová stredná chyba sa týka jedného merania, preto ju je nutné previesť na strednú chybu rozdielu meraní:

$$m_{\Delta g} = m_{g1} \sqrt{2} \quad (4.9)$$

Rozdiely medzi čítaniami sa porovnali s medznou chybou rozdielu čítania:

$$\delta_{\Delta g} = m_{\Delta g} \cdot t, \quad (4.10)$$

kde t je súčiniteľ konfidencie (použitá hodnota 2).

Stredná chyba aritmetického priemeru 2 čítaní:

$$m_{gx} = \frac{m_{g1}}{\sqrt{2}} \quad (4.11)$$

Toto posúdenie sa týkalo 0. aj 1. etapy zvlášť, výpočet sa nachádza v prílohe č. 10. U každého bodu bola požadovaná medzná chyba $\delta_{\Delta g}$ dodržaná.

Tab. 12. Výberové stredné a medzné chyby čítania pri tiažovom meraní

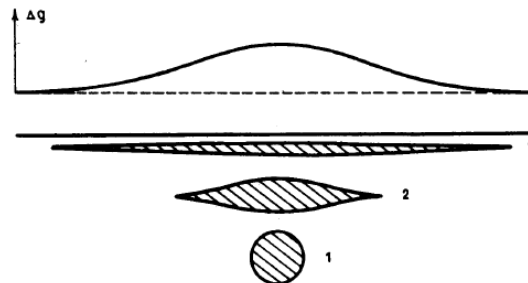
	Hodnoty v mGal	
	0. etapa	1. etapa
m_{g1}	0,007	0,007
$m_{\Delta g}$	0,010	0,010
$\delta_{\Delta g}$	0,020	0,020
m_{gx}	0,005	0,005

4.6. Kvantitatívna interpretácia UBA

Mapy UBA vytvorené na základe gravimetrického merania sú len odrazom hustotných nehomogenít nachádzajúcich sa pod zemským povrchom. Sú zbavené účinku zemského telesa ako celku a aj účinku topografických nerovností. Cieľom ich kvantitatívnej interpretácie je zostavenie fyzikálne-geologického modelu podpovrchovej stavby podľa priebehu tiažového poľa.

Tiažové anomálie vznikajú len v tom prípade, kedy sa horniny, z ktorých je budovaná skúmaná oblasť, dostatočne líši v hustotách a kedy hranice medzi nimi nie sú horizontálne. Čím väčší je rozdiel medzi hustotou vyhľadávaného objektu a okolitého

prostredia (tzv. diferenčná hustota), tým väčšia je úspešnosť gravimetrických výskumov.[21]



Obr. 19. Mnohoznačnosť interpretácie tiažovej anomálie^[21]

Interpretácia tiažových anomálií je vo svojej podstate mnohoznačná. Neexistuje matematické riešenie jednoznačne vyjadrujúce zdroje tiažového poľa. Na Obr. 19. je znázornená jednoduchá tiažová anomália a môže odpovedať guli (1), môže byť vyvolaná aj šošovkovitým telesom (2) nachádzajúcim sa v menšej hĺbke alebo tenkou doskou (3) umiestnenou pri zemskom povrchu.[21]

Pre jednoznačné určenie hĺbky a tvaru telesa vyvolávajúceho tiažovú anomáliu je nutné mať ďalšie doplňujúce údaje. Týmto údajmi sú údaje o hĺbkach hustotných rozhraní získané z vrtu a banských diel, eventuálne hĺbkové údaje podľa výsledkov ďalších geofyzikálnych metód (seizmických, geoelektrických). Čím viacej konkrétnych údajov o hĺbkach a hustotách máme k dispozícii, tým lepšie výsledok interpretácie odpovedá geologickej skutočnosti.

4.6.1. Mapa UBA

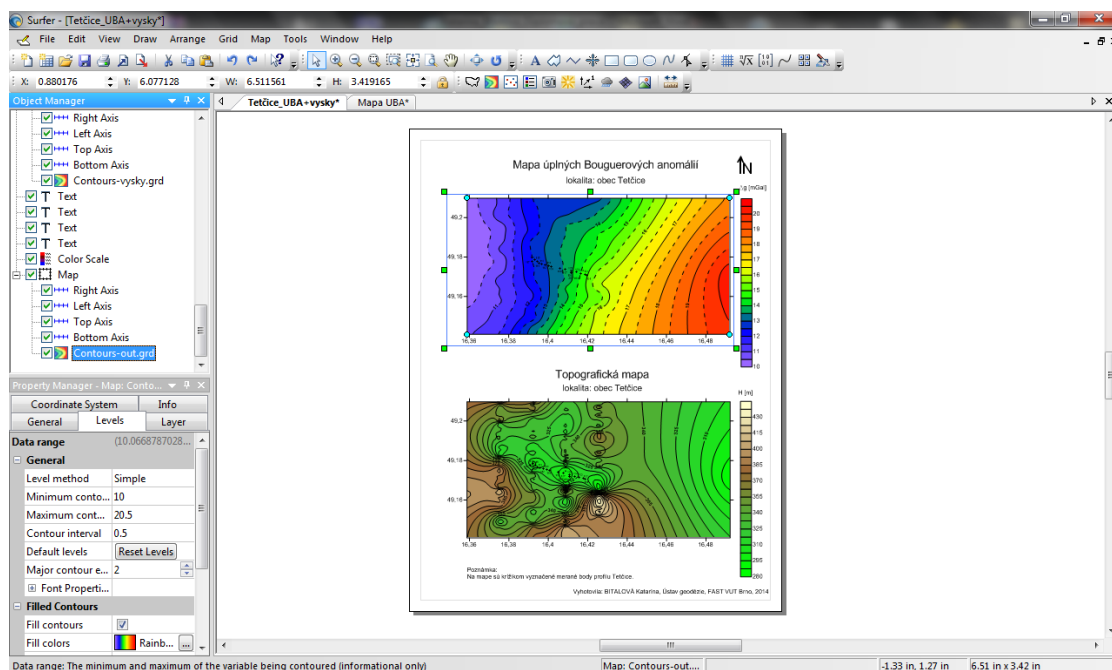
Dáta k vytvoreniu mapy UBA boli získané od konzultanta GEOINFORM Consultants. Dáta boli prevzaté v tabuľkovom editore (Microsoft Excel) a obsahovali body so zemepisnou šírkou a dĺžkou, nadmorskú výšku, hodnoty normálneho tiažového zrýchlenia a UBA. K týmto údajom boli doplnené určené hodnoty UBA (Tab. 11.) a výšky bodov profilu Tetčice (Tab. 5.). K tvorbe máp bol použitý program Surfer 11.5.

Mapa UBA bola vytvorená v dvoch vyhotoveniach:

- pre širšie okolie obce Tetčice
- pre obec Tetčice

U mapy UBA, ktorá sa týka širšieho okolia obce Tetčice, je vyznačený interpretačný profil cez Boskovickú brázdou, ktorý je bližšie popísaný v kap. 4.6.2. Profil začína v obci Újezd u Rosic, ďalej smerom na východ prechádza cez Zastávku u Brna, Rosice, Tetčice a končí v obci Střelice. Dáta tohto profilu boli zdigitalizované a použité k vytvoreniu interpretačného. V prípade úseku profilu Rosice – Tetčice boli použité hodnoty nachádzajúce sa v Tab. 11.

Mapy UBA boli doplnené o topografické mapy, ktoré boli taktiež vytvorené v programe Surfer 11.5. Výsledné mapy sú vyhotovené v systéme WGS 84 a nachádzajú sa v prílohe č. 11.



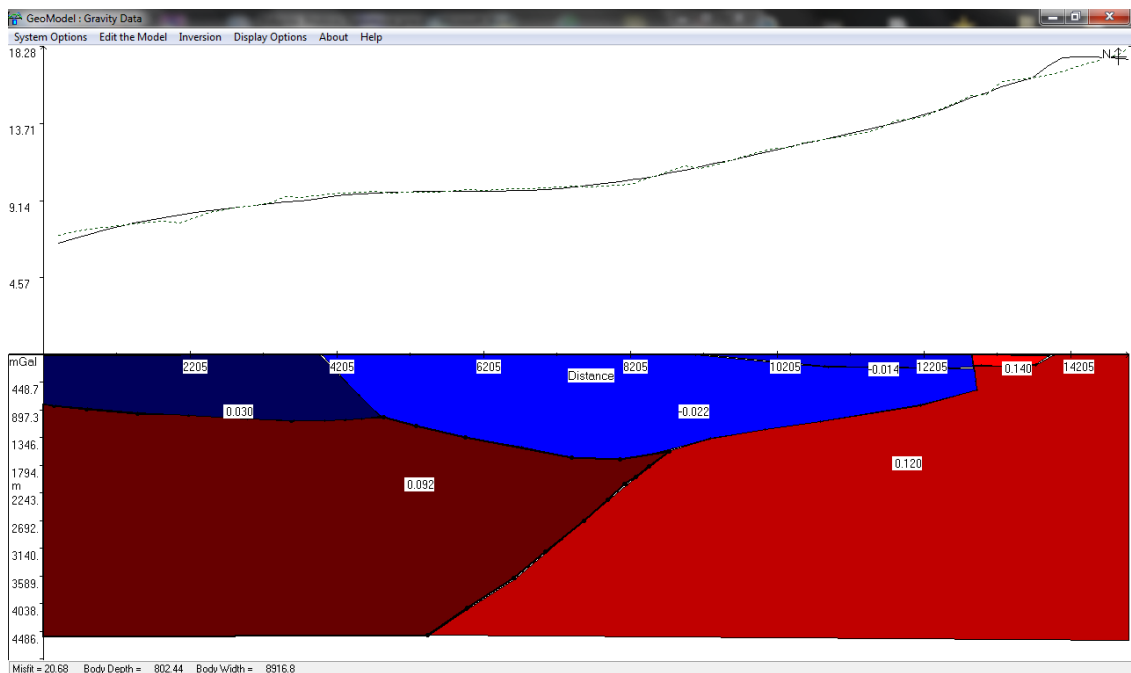
Obr. 20. Prostredie programu Surfer 11.5.

4.6.2. Interpretačný profil cez Boskovickú brázdou

Vďaka zinterpolovaným dátam (vzdialenosti medzi bodmi, hodnoty UBA) z vyhotovených máp UBA, bolo možné vytvoriť profil cez Boskovickú brázdou. Pre

výpočet bol použitý program GeoModel 2.00. Pred samotným výpočtom bolo nutné preštudovať základnú geologickú mapu M-33-105-B-d (Rosice) 1:25 000 a jej prílohy (jednotlivé profily) a geologickú mapu okolia Brna 1:50 000. Vďaka týmto podkladom boli v programe vykreslené približné polohy telies jednotlivých geologických celkov. Program vykresľuje krivku vypočítaných tiažových účinkov jednotlivých telies a táto krivka sa musí približovať krivke zinterpolovaných hodnôt UBA. Aby sa krivka účinkov priblížila krivke určených hodnôt, je potrebné body telies presúvať a hľadať ich správnu polohu.

Výsledný profil cez Boskovickú brázdú (Újezd u Rosic – Střelice) bol doplnený o hustoty geologických celkov určený výpočtom v programe GeoModel 2.00 a o graf rozdielu Δg medzi etapami 0. a 1. v meranom úseku Rosice – Tetčice. Interpretačný profil sa nachádza v prílohe č. 12.



Obr. 21. Prostredie programu GeoModel 2.00

4.7. Vyhodnotenie gravimetrického merania

Meranie v dvoch etapách malo preukázať pôsobenie podzemných vôd v sedimentárnom podloží. V 1. etape (jún 2013) malo ísť o meranie pred obdobím sucha a v 2. etape v období, kedy je pôda nasýtená vodou nazbieranou počas zimných mesiacoch.

Z archívu portálu českého hydrometeorologického ústavu [22] boli poskytnuté archívne dáta zrážkových úhrnov od mesiaca jún 2013 po mesiac február roku 2014 pre územie Juhomoravského kraja. Tieto údaje sú prezentované v Graf 5. V archíve sa nachádzajú tiež údaje úhrnov zrážok v percentách normálu zrážkového úhrnu z rokov 1961 až 1990. V júni 2013, kedy prebiehala 1. etapa gravimetrického merania, bola táto hodnota až 161%. To znamená, že zrážkové úhrny boli v tomto období o 61% väčšie než je hodnota normálu z rokov 1961-1990. Obdobie november a december 2013 preukazovali zníženie úhrnu zrážok až o 67% menej než je hodnota normálu. Tieto hodnoty vypovedajú o tom, že podložie počas zimných mesiacov nenazbieralo také množstvo vody ako sa predpokladalo a naopak v júni boli zrážky veľmi časté a toto obdobie sa teda nedá nazvať suchým obdobím.



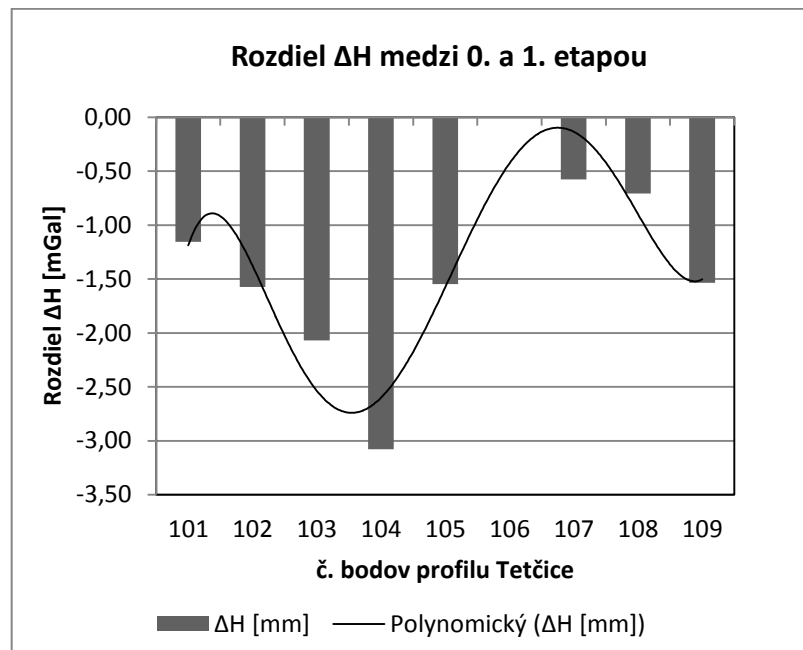
Graf 5. Zrážkové úhrny pre Juhomoravský kraj

Ako už bolo spomenuté vyššie gravimetrické meranie bodov profilu malo preukázať pôsobenie spodnej vody. K potvrdeniu tohto tvrdenia boli použité rozdiely skutočného g a H medzi etapami 0. (jún 2013) a 1. (február 2014) na niektorých bodoch profilu (body 101 až 109). Výšky 1. etapy boli prevzaté od študenta Bc. Antonína Staňka. Z rozdielov g a H boli pre lepšiu prezentáciu vytvorené grafy (Graf 7, Graf 6) s preloženou polynomicou krivkou 6. stupňa. Pri porovnaní týchto grafov je možné vidieť istú podobnosť preložených polynomických kriviek medzi bodmi 101 - 104. Tým by mohlo byť preukázané, že u týchto bodov zmeny výšok za merané obdobie spôsobuje kolísanie spodnej vody. U bodoch profilu 105 – 109 sú už tieto krivky od seba mierne vychýlené.

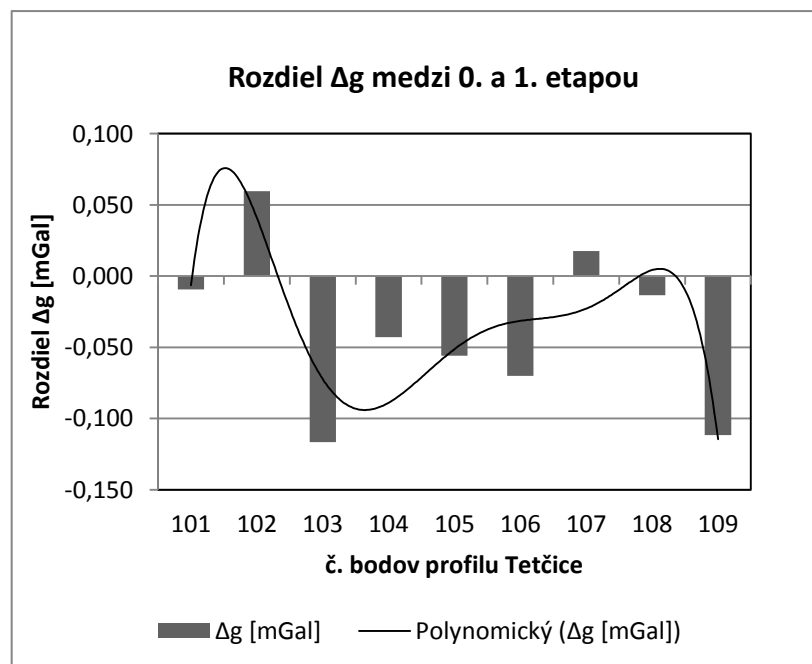
Vďaka vyhotovenému interpretačnému profilu cez Boskovickú brázdou bol zistený zlom v úseku profilu Tetčice v blízkosti bodov 103,104. Lokalizáciu tohto zlomu by potvrdzovali aj zistené výškové posuny. Preukázaný najväčší výškový rozdiel (15,83mm) je taktiež medzi týmito bodmi (Graf 4.). Týmto výsledkami boli sčasti potvrdené interpretácie posunov z literatúry [1].

Tab. 13. Výpočet rozdielov skutočného g a H medzi etapami

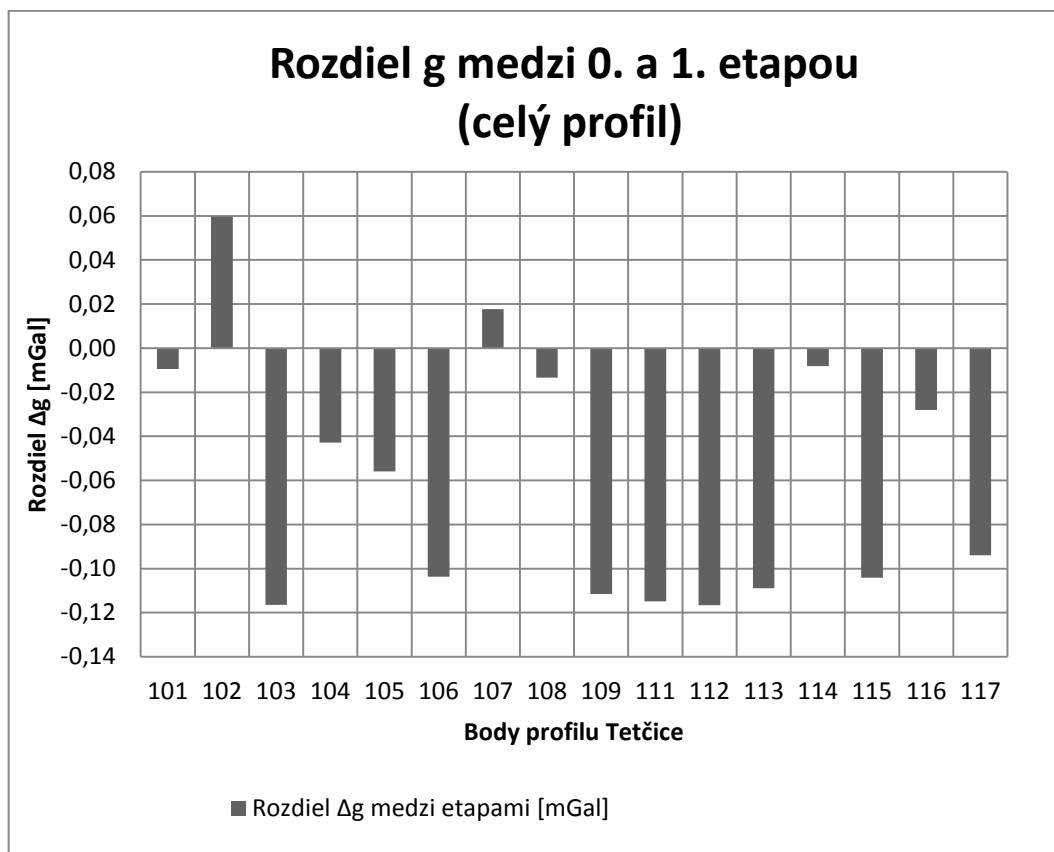
Bod	Skutočné g [mGal]		Výšky H [m]		Δg [mGal]	ΔH [mm]
	0. etapa	1. etapa	0. etapa	1. etapa		
101	980936,299	980936,309	288,14491	288,14375	-0,009	-1,16
102	980936,149	980936,090	288,34229	288,34072	0,060	-1,57
103	980935,497	980935,613	289,66674	289,66467	-0,117	-2,07
104	980935,217	980935,259	291,48259	291,47951	-0,043	-3,08
105	980934,341	980934,397	295,65300	295,65145	-0,056	-1,55
106	980934,047	980934,151	297,66500	297,66500	-0,070	0,00
107	980934,396	980934,378	294,78371	294,78313	0,018	-0,58
108	980934,502	980934,515	294,13022	294,12951	-0,013	-0,71
109	980933,913	980934,025	295,70987	295,70833	-0,112	-1,54



Graf 6. Rozdiel ΔH medzi 0. a 1. etapou



Graf 7. Rozdiel skutočného g medzi 0. a 1. etapou



Graf 8. Rozdiel skutočného g medzi 0. a 1. etapou (celý profil)

7. ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bola realizácia a vyhodnotenie tiažových meraní na polygóne Tetčice a jeho predĺženie o 1km smerom k mestu Rosice. Cez meraný polygón prechádza východný zlom Boskovickej brázdy, ktorý je súčasťou Diendorfsko-čebínského tektonického zlomu, ktorý sa pokladá za stále aktívny a je jedným z faktorov možných posunov. Okrem aktívneho pôsobenia DCTZ môžu v záujmovej lokalite pôsobiť aj ďalšie faktory: blízkosť frekventovanej cesty a železničnej trate, kolísavá výška podzemnej vody alebo vplyv baníckej činnosti.

Diplomová práca mala za účel zistiť pôsobenie podzemnej vody na možné posuny. K posúdeniu slúžilo etapové gravimetrické meranie. Prebehli 2 etapy merania, kde na základe porovnania skutočného tiažového zrýchlenia boli zistené odchýlky a tie boli porovnané s výškovými posunmi medzi týmito etapami. Z týchto hodnôt boli pre lepšiu prezentáciu vytvorené grafy s preloženou polynomickou krivkou 6. stupňa. Pri porovnaní týchto grafov je možné vidieť istú podobnosť preložených polynomických kriviek medzi bodmi 101 - 104. Tým by mohlo byť preukázané, že u týchto bodov zmeny výšok za merané obdobie spôsobuje kolísanie spodnej vody. U bodoch profilu 105 – 109 sú už tieto krivky od seba mierne vychýlené.

Meranie vertikálnych posunov na profilu Tetčice začalo v júni roku 2008 Ing. Witiskom. Ten zameral 4 etapy. Na ďalší rok v jeho práci pokračovala Ing. Neudertová, ktorá zamerala 3 etapy. Až do roku 2013 nebol tento profil zameriavaný. Popri tiažovému meraniu bolo vykonané aj výškové zameranie jednej etapy (jún 2013). Pri porovnaní s predchádzajúcimi etapami je možné sledovať určité pravidelnosti v posunoch. Body profilu 101, 102, 103 sa nachádzajú v časti Brnenského masívu a vykazujú periodické výkyvy. Mierny rastúci vertikálny posun bodu 101 môže byť spôsobený skutočnosťou, že sa nachádza v tesnej blízkosti ČOV obce Tetčice a rieky Bobrava. Nasledujúce body profilu 102, 103, ktoré sa približujú ku zlomovému pásmu, vykazujú za merané obdobie postupné klesanie. U bodov 107, 108, 109, ktoré sa nachádzajú v časti Boskovickej brázdy za zlomovým pásmom postupne klesajú. Tento pokles slabne zväčšujúcou sa vzdialenosťou bodov od zlomového pásma. Najväčšie zaznamenané posuny za časové obdobie 5 rokov preukázali body 103 (-14,86mm) a 107 (-13,49mm).

Vďaka vyhotovenému interpretačnému profilu cez Boskovickú brázdú bol zistený zlom v úseku profilu Tetčice v blízkosti bodov 103,104. Lokalizáciu tohto zlomu by potvrdzovali aj zistené výškové posuny. Preukázaný najväčší výškový rozdiel (15,83mm) je taktiež medzi týmito bodmi.

Interpretačný profil cez Boskovickú brázdú bol vyhotovený na základe nameraných ťažových dát a dát poskytnutých konzultantom GEOINFORM Consultants. Začína v obci Újezd u Rosic, prechádza cez Zastávku, Rosice, Tetčice a končí v obci Střelice. Na tomto vyhotovenom profile Boskovická brázdá siaha až do mocnosti 1900m a je široká približne 9km. V mieste profilu Tetčice je jej mocnosť 600m.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] POSPÍŠIL, L., ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGEL, J., WITISKA, M.: Geodetic and geophysical analyses of Diendorf-Čebín tectonic zone. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2009, vol. 6, no. 3, p. 309-321. ISSN: 1214- 9705.
- [2] Internetové stránky obce Tetčice [online]. [cit. 2013-16-10]. Dostupné z <<http://www.tetčice.cz/>>.
- [3] CHLUPÁČ, L., A KOL.: Geologická minulost České republiky, 1. vyd., Brno: ACADEMICA, 2002. 436 s. ISBN 80-200-0914-0.
- [4] MALÝ, L.: Formování sedimentační pánve permokarbonu boskovické brázdy a vývoj svrchnostefanské sedimentace v rosicko-oslavanské pánvi - *Geologie Moravy a Slezska*, 87–99, Brno, 1993.
- [5] JAROŠ, J.: Geologický vývoj jižní části Boskovické brázdy v permokarbonu - *Práce Brněn. Zák. Čs. Akad. Věd*, Brno. 1961, 545-569.
- [6] JAROŠ, J., MÍSAŘ, Z.: Problém hlubinného zlomu boskovickej brázdy, *Práce Brněn. Zák. Čs. Akad. Věd*, Brno. 1967, 131-147.
- [7] PEŠEK, J., HOLUB, V., JAROŠ, J., MALÝ, L., MARTÍNEK, K., PROUZA, V., SPUDIL, J., TÁSLER, R.: *Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánví České republiky*. Praha: Český geologický ústav. 243 s. 2001.
- [8] WITISKA, M.: Opakovaná přesná nivelace a GPS měření na diendorfsko-čebínském zlomu. Brno: VUT FAST. 2009. Diplomová práce. 64 s.
- [9] ŠVÁBENSKÝ, O., WITISKA, M., RATIBORSKÝ, J., BLAŽEK, R., POSPÍŠIL, L., WEIGEL, J.: Preliminary results of repeated measurement in local geodynamic network Morava. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2011, vol. 8, no. 3 (163), s. 291-301.
- [10] BÍLEK, D.: Doplnění stávajícího jímajícího území Tetčice o vrty HV2 a HV125 a navýšení čerpání ze stávajících z 15 l/s na 20 l/s. Dokumentace o hodnocení vlivů áměru na životní prostředí, Brno, 2008. [on-line]. [cit. 2013-16-10]. Dostupné z: <www.cenia.cz/eia/download/view=eia_cr&id=JHM432&file=dokumentaceDOC>

- [11] DIAMO, štátny podnik odštepny závod GEAM: Technická zpráva z měření na bývalém dobývacím prostoru, 2009.
- [12] VLASTIVĚDNÝ SPOLEK ROSICKO – OSLAVANSKA 2001: Stručná historie revíru [on-line]. [cit. 2013-16-10]. Dostupné z: <www.rosicko-oslavansko.cz/13-historie/29-strucna-historie/>.
- [13] 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.
- [14] Metodický návod pre práce v základním výškovém bodovém poli., PRAHA. 2003. 46 s.
- [15] Manuál k elektronickému nivelačnímu přístroji Leica DNA03 [on-line]. [cit. 2013-16-09]. Dostupné z: <www.gefos.cz/cz/leica/produty/51/dna03>.
- [16] NEVOSÁD, Z., VITÁSEK, J.: Geodézie III – 1.vydanie. Brno: VUT v Brně. 2000. ISBN 80-214-1774-4.
- [17] NEUDERTOVIÁ, S.: Opakovaná přesná nivelace, gravimetrie a GPS měření na seismotektonicky aktivním systému. Brno: VUT FAST. 2010. Diplomová práce. 56 s.
- [18] POSPÍŠIL, L.: Geofyzika a geodynamika. Modul 01, HE02 – Geofyzika a geodynamika, VUT v Brně, Fakulta stavební, 2007, 218 s.
- [19] POSPÍŠIL, L., ŠUTORA, A.: Praktická geofyzika. Učební texty pro geodety. Úvod do užití geofyziky. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 130 s.
- [20] PAŠTEKA, R.: Gravimetria. Meranie a vyhodnocovanie tiažových meraní. [online]. [cit.2013-16-10]. Dostupné z: <<http://www.fns.uniba.sk/uploads/media/Gravimetria.pdf>>.
- [21] Tíhové pole Země. [online]. [cit. 2013-27-11]. Dostupné na: <http://www.fyzikazeme.sk/mainpage/stud_mat/dokument/tiaz_pole_zeme.pdf>
- [22] Portál ČHMÚ [online]. [cit.2014-16-04]. Dostupné na <<http://www.chmi.cz>>.
- [23] Internetová stránka Databázy bodových poli [online]. [cit. 2013-16-10] Dostupné na <<http://bodovapole.cuzk.cz/>>.

Zoznam použitých skratiek a symbolov

Bpv	- výškový systém Baltský po vyrovnaní
ČHMÚ	- Český hydrometeorologický ústav
ČUZK	- Český úrad zememeračský a katastrálny
DCTZ	- Diendorfsko-čebínsky tektonický zlom (zóna)
g	- tiažové zrýchlenie
H	- nadmorská výška v systéme Bpv
JJV	- Juho-juho východ
JJZ	- Juho-juho západ
S-JTSK	- súradnicový systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
SSV	- Severo-severo východ
SSZ	- Severo-severo západ
UBA	- úplná Bouguerova anomália
VPN	- veľmi presná nivelácia
ZB	- základný bod

Zoznam obrázkov

Obr. 1. Mapa lokalizácie Tetčíc (upravené maps.google.com)	10
Obr. 2. Prehľadná mapa geomorfologických celkov	11
Obr. 3. Geologické jednotky okolia Brna (upravené geologická mapa okolia Brna).....	12
Obr. 4. Priechny profil Boskovickou brázdou v rosicko-oslavanskej časti ^[3]	13
Obr. 5. Diendorfsko-čebínsko tektonická zóna s vyznačenými profilmi Tetčice, Neslovice ^[1]	14
Obr. 6. Lokálna geodynamická sieť MORAVA s vyznačenými bodmi siete ^[9]	15
Obr. 7. Prehľad sledovaných bodov profilu Tetčice s vyznačeným predpokladaným východným zlomom Boskovickej brázdy (podklad ortofotomapa)	16
Obr. 8. Poškodená budova na ulici Tyršova p.č. 163 s vyznačenými prasklinami (červenou farbou).....	17
Obr. 9. Teoretický dosah depresie hladiny podzemnej vody pri čerpaní podzemnej vody zo štyroch vrtov v množstve 15l/s (slabšia čiara) a 20l/s (hrubšia čiara) ^[10]	18
Obr. 10. Prehľadná mapa rosicko-oslavanskej uhoľnej panvy ^[11]	19
Obr. 11. Zbiehavosti hladinových plôch.....	24
Obr. 12. Body profilu Tetčice s vyznačeným predpokladaným zlomom	25
Obr. 13. Použitá stabilizácia bodov	26
Obr. 14. Použitý nivelačný prístroj Leica DNA003 (prevzaté google.com)	27
Obr. 15. Bouguerova doska ^[18]	41
Obr. 16. Paletka pre odčítanie hodnôt topokorekcií T_1	41
Obr. 17. Prístroj La Coste & Romberg G-176.....	42
Obr. 18. Meranie prístrojom La Coste & Romberg G-176.....	44
Obr. 19. Mnohoznačnosť interpretácie tiažovej anomálie ^[21]	49
Obr. 20. Prostredie programu Surfer 11.5.	50
Obr. 21. Prostredie programu GeoModel 2.00	51

Zoznam tabuliek

Tab. 1. Výsledné normálne Molodenského korekcie	28
Tab. 2 Výsledné prevýšenia opravené o normálne Molodenského korekcie	28
Tab. 3. Hodnoty rozdielov prevýšení tam a späť a ich medzné odchýlky.....	29
Tab. 4. Výsledné prevýšenia medzi bodmi s ich strednými chybami.....	30
Tab. 5. Výsledné výšky a ich stredné chyby.....	31
Tab. 6. Posúdenie odchýlok 2-krát určených výšok bodov profilu	32
Tab. 7. Výšky bodov profilu v jednotlivých etapách.....	34
Tab. 8. Posuny u jednotlivých bodov medzi etapami	35
Tab. 9. Výsledná hodnota skutočného g bodov VUT – TUBO a ZB Tetčice	45
Tab. 10. Výsledné hodnoty skutočného g podrobných bodov v etapách	45
Tab. 11. Úplné Bouguerove anomálie bodov profilu Tetčice.....	47
Tab. 12. Výberové stredné a medzné chyby čítania pri tiažovom meraní.....	48
Tab. 14. Výpočet rozdielov skutočného g a H medzi etapami	53

Zoznam grafov

Graf 1. Rozdiely výšok určených 2-krát nezávisle	33
Graf 2. Priebeh posunov u jednotlivých bodov za časové obdobie	35
Graf 3. Posuny medzi 4. a 7. etapou	36
Graf 4. Posuny medzi 0. a 7. etapou	36
Graf 5. Zrážkové úhrny pre Juhomoravský kraj	52
Graf 6. Rozdiel ΔH medzi 0. a 1. etapou	54
Graf 7. Rozdiel skutočného g medzi 0. a 1. etapou	54
Graf 8. Rozdiel skutočného g medzi 0. a 1. etapou (celý profil)	55

Zoznam príloh

Zoznam viazaných príloh

Príloha č. 1	Miestopisy bodov profilu (ukážka)
Príloha č. 2	Zápisníky nivelačných meraní (ukážka)
Príloha č. 3	Výpočet prevýšení
Príloha č. 4	Výpočet tiažových korekcií nivelačných meraní
Príloha č. 5	Miestopisy tiažových bodov (ukážka)
Príloha č. 6	Terénne zápisníky gravimetrického merania
Príloha č. 7	Chod gravimetru
Príloha č. 8	Výpočet topokorekcií (ukážka)
Príloha č. 9	Výpočet UBA a skutočného g
Príloha č. 10	Posúdenie odchýlok dvojíc čítania pri podrobnom gravimetrickom meraní
Príloha č. 11	Mapy UBA a topografické mapy
Príloha č. 12	Interpretačný profil cez Boskovickú brázd
Príloha č. 13	Prehľad bodov profilu Tetčice

Zoznam elektronických príloh

Príloha č. 1.	Miestopisy bodov profilu
Príloha č. 2	Zápisníky nivelačných meraní
Príloha č. 3	Výpočet prevýšení
Príloha č. 4	Výpočet tiažových korekcií nivelačných meraní
Príloha č. 5	Miestopisy tiažových bodov
Príloha č. 6	Terénne zápisníky gravimetrického merania

Príloha č. 7	Chod gravimetru
Príloha č. 8	Výpočet topokorekcií
Príloha č. 9	Výpočet UBA a skutočného g
Príloha č. 10	Posúdenie odchýlok dvojíc čítania pri podrobnom gravimetrickom meraní
Príloha č. 11	Mapy UBA a topografické mapy
Príloha č. 12	Interpretačný profil cez Boskovickú brázdú
Príloha č. 13	Prehľad bodov profilu Tetčice
Príloha č. 14	Mapy UBA a topografické mapy v programe Surfer 11.5
Príloha č. 15	Interpretačný profil cez Boskovickú brázdú v programe Geomodel 2.0