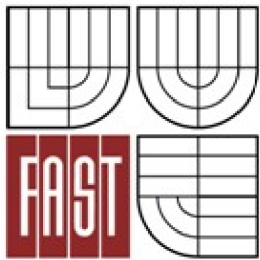




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE**

**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY**

MĚŘENÍ PŘESNÉ OPAKOVANÉ NIVELACE NA POLYgonu TETČICE

THE PRECISE REPEATED LEVELING MEASUREMENTS AT TETČICE POLYGON

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ANTONÍN STANĚK

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. Antonín Staněk |
| Název | Měření přesné opakované 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.

Švábenský O, Weigel J, 2004: Optimized Technology for GPS Height Determination, CD ROM, Proceedings of the FIG Conference "Olympic Spirit in Surveying", Athens.

Vyskočil P, 1996: Recent crustal movements their properties and results of studies at the territory of Czech Republic. In: Seismicity, Neotectonics, and Recent dynamics with special regard to the Territory of Czech Republic. ISBN 80-85881-04-7, Roc.42, c.15. VUGTK Zdíby, 77–120.

Zásady pro vypracování

Zadání a cíl diplomové práce je zaměřen na realizaci měření přesné opakované nivelace na polygonu Tetčice. Výsledky budou využity pro sledování geodynamických poměrů v této oblasti. Výstupem bude mapa geodynamických jevů v dané oblasti doplněná profily a grafickou dokumentací.

Výstupy budou tvořit - Přehledná mapa geodynamických jevů v okolí měřeného profilu, roční rychlosti na měřených bodech a jejich srovnání s předcházejícími etapami, dokumentace ve formě interpretačních profilů, terénních zápisníků a grafů.

Předepsané přílohy

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá sledováním výškových posunů v obci Tetčice, ležící na styku dvou geologických jednotek v oblasti Boskovické brázdy. Teoretická část popisuje geologickou stavbu lokality a technologii velmi přesné nivelace. Dále obsahuje měřické a grafické zpracování včetně návaznosti na výsledky z předchozích etap.

ABSTRACT IN ENGLISH LANGUAGE

The diploma thesis deals with monitoring vertical shifts in the village Tetčice, located at the contact of two geological units in Boskovice furrow. The theoretical part describes the geological structure of the site and the technology high-precision levelling. It also includes measuring and graphic processing, including follow-up on results of previous stages.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tetčice, velmi přesná nivelace, geologie, Boskovická brázda

KEYWORDS IN ENGLISH LANGUAGE

Tetčice, high-precision levelling, geology, Boskovice furrow

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Antonín Staněk *Měření přesné opakované nivelace na polygonu Tetčice*. Brno, 2014. 59 s., 35 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30. 5. 2014

.....
podpis autora
Bc. Antonín Staněk

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Lubomilu Pospíšilovi, CSc. za cenné rady a připomínky při zpracování diplomové práce. Dále děkuji Kataríně Bitalové, Lence Bockové, Janě Darmopilové a Jozefu Jašurkovi za pomoc při měřických pracích.

OBSAH

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 9 |
| 2. Lokalita | 10 |
| 3. Geologie | 11 |
| 3.1. Český masiv | 11 |
| 3.2. Západní Karpaty | 12 |
| 3.3. Moravikum | 13 |
| 3.4. Brunovistulikum | 13 |
| 3.5. Boskovická brázda | 15 |
| 3.6. Tetčice | 16 |
| 4. Další možné důvody posunů | 18 |
| 4.1. Vliv podzemní vody – problémy s čerpáním pitné vody | 18 |
| 4.2. Vliv hornické činnosti | 20 |
| 4.3. Jiné vlivy | 20 |
| 5. Velmi přesná nivelace | 21 |
| 5.1. Požadavky VPN | 21 |
| 5.2. Zdroje chyb při nivelaci | 22 |
| 5.2.1. Hrubé chyby | 22 |
| 5.2.2. Nevyhnutelné chyby | 23 |
| 5.2.2.1. Systematické chyby | 23 |
| 5.2.2.2. Náhodné chyby | 27 |
| 6. Měření VPN | 29 |
| 6.1. Dřívější měření | 29 |
| 6.2. Rekognoskace a přípravné práce | 30 |
| 6.3. Vlastní měření | 31 |
| 6.3.1. Pomůcky | 32 |
| 6.3.1.1. Leica DNA03 | 32 |
| 6.3.1.2. Příslušenství | 33 |
| 6.3.2. Zkoušky nivelačního přístroje | 33 |
| 6.3.3. Zkoušky nivelačních latí | 35 |

| | | |
|--------|---|----|
| 7. | Zpracování měření | 37 |
| 7.1. | Korekce z délky laťového metru a teploty | 37 |
| 7.2. | Dosažená přesnost a kritéria přesnosti měření VPN | 37 |
| 7.3. | Normální (Moloděnského) korekce | 41 |
| 7.4. | Výsledné výšky, porovnání etap 8 a 9 | 42 |
| 8. | Zhodnocení výsledků | 44 |
| 8.1. | Porovnání s předchozími etapami | 45 |
| 8.1.1. | Hlavní profil | 46 |
| 8.1.2. | Body v intravilánu obce | 46 |
| 8.2. | Vliv srážek na etapy | 47 |
| 8.3. | Recentní vertikální pohyby | 49 |
| 8.4. | Grafické znázornění | 50 |
| 9. | Závěr | 52 |
| | Seznam použitých zdrojů | 53 |
| | Seznam zkratk | 56 |
| | Seznam obrázků | 57 |
| | Seznam tabulek | 58 |
| | Seznam grafů | 58 |
| | Seznam příloh | 59 |

1. ÚVOD

Podle prasklin ve zdech místních budov a z předchozích měření je zřejmé, že v obci Tetčice a jejím okolí dochází k pohybům zemského povrchu. Jedná se o mírné pohyby ve směru horizontálním a výraznější ve směru vertikálním v dlouhodobém či krátkodobém časovém období. Úkolem této práce je zaměřit vertikální změny technologií přesné nivelace ve dvou etapách s časovým odstupem alespoň půl roku a zpracovaná data navázat na dostupné předešlé výsledky výškových měření v této lokalitě vykonané s potřebnou přesností – technologií PN a VPN.

Součástí práce je úvod do geologie a podrobnější vyličení geologických celků v blízkosti lokality, aby bylo možné pochopit souvislosti geofyzikálních procesů a geologické stavby. Okrajově se zabývám také jinými možnými příčinami posunů, které mohou spolupůsobit s tektonicky aktivním zlomem Boskovické brázdy.

Dalším úkolem je přiblížit metodu a postup vlastního měření spolu s postupem zpracováním dat jednotlivých etap, jejich porovnání a grafické vizualizace. Zapojení výsledků diplomantů z předešlých let může napomoci k určení charakteru a povahy současných vertikálních pohybů. Může vést k nastínění jejich příčin vzniku a v poslední řadě i k přibližné předpovědi časového průběhu pohybu zemského povrchu. Tyto informace by se daly využít při nové výstavbě budov v obci nebo k zjištění předpokládaných následků a škod na stávajících objektech v rizikových zónách a k zajištění jejich bezpečnosti.

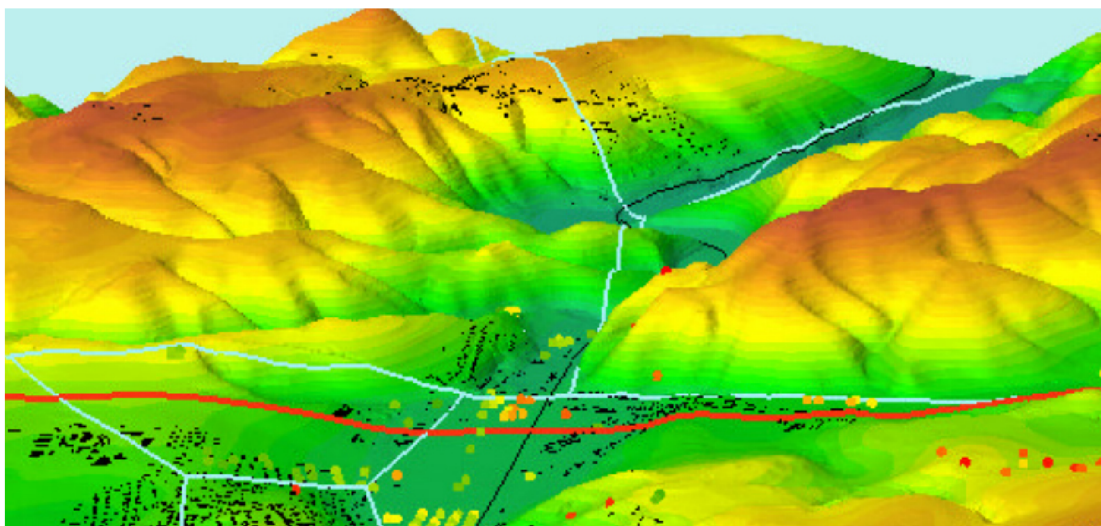
2. LOKALITA

Obec Tetčice se nachází 15 km západně od Brna poblíž města Rosice v nadmořské výšce 300 až 340 m n. m. Hlavní dominantou je kopec Bučín vypínající se jihovýchodně od obce, který je součástí Přírodního parku Bobrava. Druhou dominantou je říčka Bobrava protékající středem lokality údolní nivou.

První historicky ověřená zmínka o obci pochází z roku 1349. O rozvoj se nepřímo postaraly nedaleké černouhelné doly Rosicko-Oslavanského revíru, v letech 1852 – 1855 se totiž do dolů postavila železnice z Brna. Ta zapříčinila podstatné změny ve vzhledu obce – zánik velkého rybníka, který je dodnes ve znaku obce, a vybudování nádraží, které umožnilo ve své blízkosti postavit pilu. [1]

Z geologického hlediska leží Tetčice na východním okraji Boskovické brázdy, kde se stýkají dvě geologické jednotky – západomoravské krystalinikum a brněnský masiv. Lokalita je také v blízkosti poddolovaného území a zároveň v blízkosti vodního zdroje (hydrogeologické vrty), nacházejícího se prakticky v centru obce. [3] [4]

První měřený profil, určený ke sledování vertikálních posunů, který vede podél železnice kolmo na hlavní zlom Boskovické brázdy, byl vybudován diplomantem Michalem Witiskou v roce 2008. Druhý profil prochází přes vybrané body plošné sítě zřízené VUT v Brně na konci roku 2009. Do měřické sítě jsou též zahrnuty tři pilíře v intravilánu obce.



Obr. 1 Vizualizace vrstevnicových dat ZABAGED v lokalitě Tetčice, (červeně průběh východní zlomové linie Boskovické brázdy) [3]

3. GEOLOGIE

Území České republiky se z regionálního hlediska rozkládá na dvou velkých blocích s odlišnou geologickou minulostí - Českém masivu a na vnější okrajové části Západních Karpat.

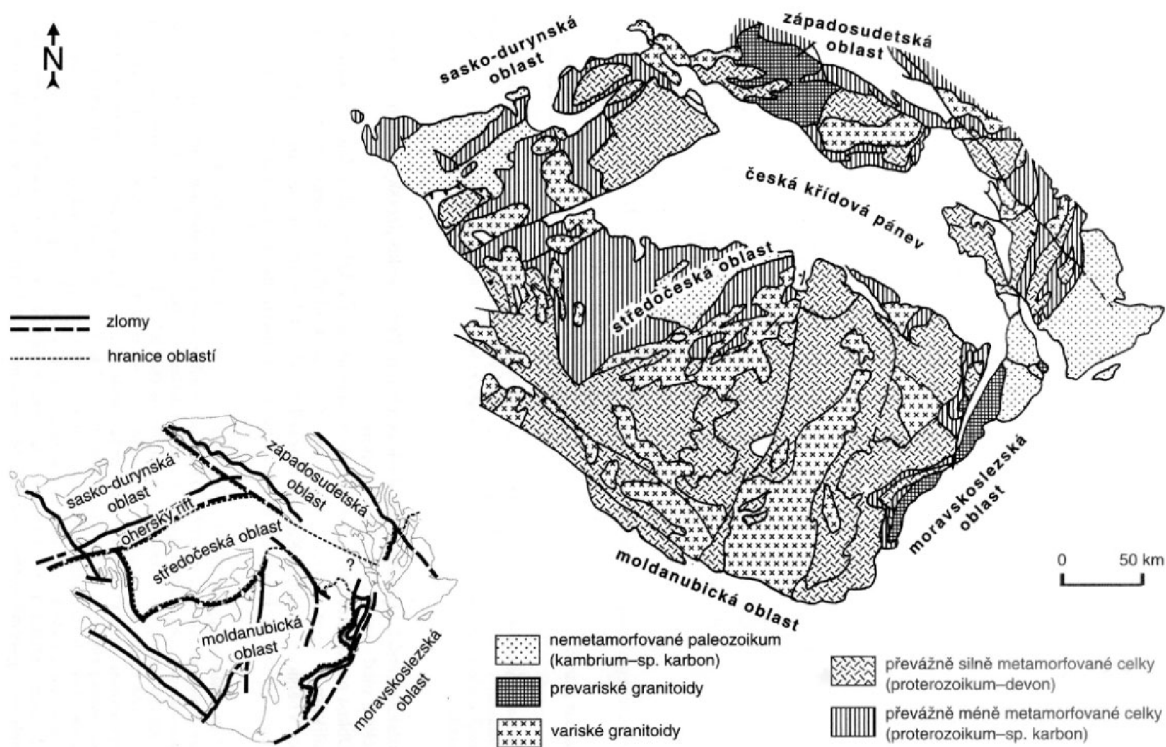
3.1. ČESKÝ MASIV

Do Českého masivu patří na našem území Čechy a většina Moravy a Slezska, okrajové části přesahují do Rakouska, Německa a Polska. Český masiv je zbytkem rozsáhlého variského horstva, které bylo vyvrásněno při variském vrásnění hlavně v době od středního devonu do svrchního karbonu. Příčinou vzniku horstva byla kolize zemských desek – Gondwany na jihu a Laurussie na severu.

Souvislé vrstvy variského horstva byly již při svém vzniku i poté porušovány zlomy v zemské kůře, takže na povrch vystupují pouze jejich izolované části, které jsou rozdělené pokryvy mladších uloženin. Variské horstvo se nalézá od jižní Anglie a Pyrenejského poloostrova až po střední Evropu, kde je jeho největší povrchovou částí právě Český masiv.

Skládá se především z hornin z prekambriického a prvohorního stáří. Velké celky těchto hornin se spojovaly v jeden pevný celek (dnešní Český masiv) teprve procesy variského vrásnění v nestejných dobách a s různou intenzitou, před vrásněním spolu patrně přímo nesouvisely. Tyto horninové celky vzniklé při a před vrásněním dělíme v Českém masivu do pěti hlavních oblastí:

- Oblast moldanubická (moldanubikum)
- Oblast středočeská
- Oblast sasko-durynská
- Oblast západosudetská (lužická)
- Oblast moravskoslezská – reprezentuje východní část Českého masivu, skládá se z brunovistulika, moravika, silesika, žulovského masivu a moravskoslezského paleozoika. [2]



Obr. 2 Základní regionálně geologické rozdělení variské stavby Českého masivu [2]

3.2. ZÁPADNÍ KARPATY

Karpatská soustava je výrazně mladší než Český masiv, byla vytvořena až procesy alpinského vrásnění od svrchní křídý do terciéru. Důvodem vrásnění byla kolize litosférických desek – jižnější africké desky s varisky konsolidovanou severnější deskou Evropy. Horstva vzniklé alpickým vrásněním již nebyla ovlivněna dalšími horotvornými procesy, a tak se dochovala lépe než výrazně starší variská horstva. Jejich průběh můžeme sledovat od Pyrenejí přes Alpy a Karpaty dále k východu až do Himalájí.

Do České republiky zasahuje pouze malý díl vnější části Západních Karpat, který je tvořený příkrovy mezozoických a terciérních hornin. Toto pásmo tzv. fryšovských Karpat bylo při alpických horotvorných procesech nasunuto na jihovýchodní okraj Českého masivu. Do oblasti Karpat řadíme i mořské a sladkovodní sedimenty (písky a jíly) s mocností až několik kilometrů, které se zachovaly v karpatské předhlubni nebo uvnitř tektonicky pokleslých částí horstva – vídeňská pánev. Na našem území rozlišujeme tři hlavní části:

- Fryšové pásmo
- Karpatská předhlubeň
- Vídeňská pánev [2]

3.3. MORAVIKUM

Tato poměrně úzká geologická jednotka leží na jihovýchodním okraji Českého masivu v moravskoslezské oblasti. Vybíhá z Rakouska a končí u Svojanova, v celkové délce měří přes 130 km. [5] Vystupuje z podloží moldanubika a dělí se na dvě dílčí jednotky – jižnější dyjskou klenbu, jejíž většina leží na rakouském území, a severnější svrateckou klenbu. K moraviku se také řadí útvary prostorově oddělené: svinovsko-vranovské krystalinikum, krystalinikum miroslavské hrásti, nectavské a krhovické krystalinikum.

Svratecká klenba je na severu tektonicky oddělena křetínským zlomem od letovického krystalinika, na západě je překryta moldanubickými příkrovy. Jižní okraj tvoří bítešský zlom a náměšťská dislokace, na východě je zřetelně ohraničena sedimenty boskovické brázdy, ale horniny svratecké klenby pokračují pod permokarbonské sedimenty až k hlavnímu zlomu boskovické brázdy.

Geologicky lze ve svratecké klenbě oddělit tišnovské brunidy a morávní příkrovy. Tišnovské brunidy neboli parautochtonní brunovistulikum leží v jádru struktury a spadá do komplexu deblínské skupiny, tvořící převážně metapelity (ruly a migmatity). Morávní příkrovy, přesunuté přes deblínskou skupinu podél dřínovského nasunutí s mocností 3-4 km, se dále člení na skupinu Bílého potoka, bítýšskou a olešnickou skupinu. [6] [7]

Dyjská klenba sahá od Moravského Krumlova na jih až po Dunaj. Na západě je od moldanubika oddělena moravskoslezským zlomovým pásmem a na východě od brunovistulika diendorfským zlomovým pásmem. Převážně ji tvoří vulkanosedimentární metamorfované horniny, stavbou se podobá svratecké klenbě. [7]

3.4. BRUNOVISTULIKUM

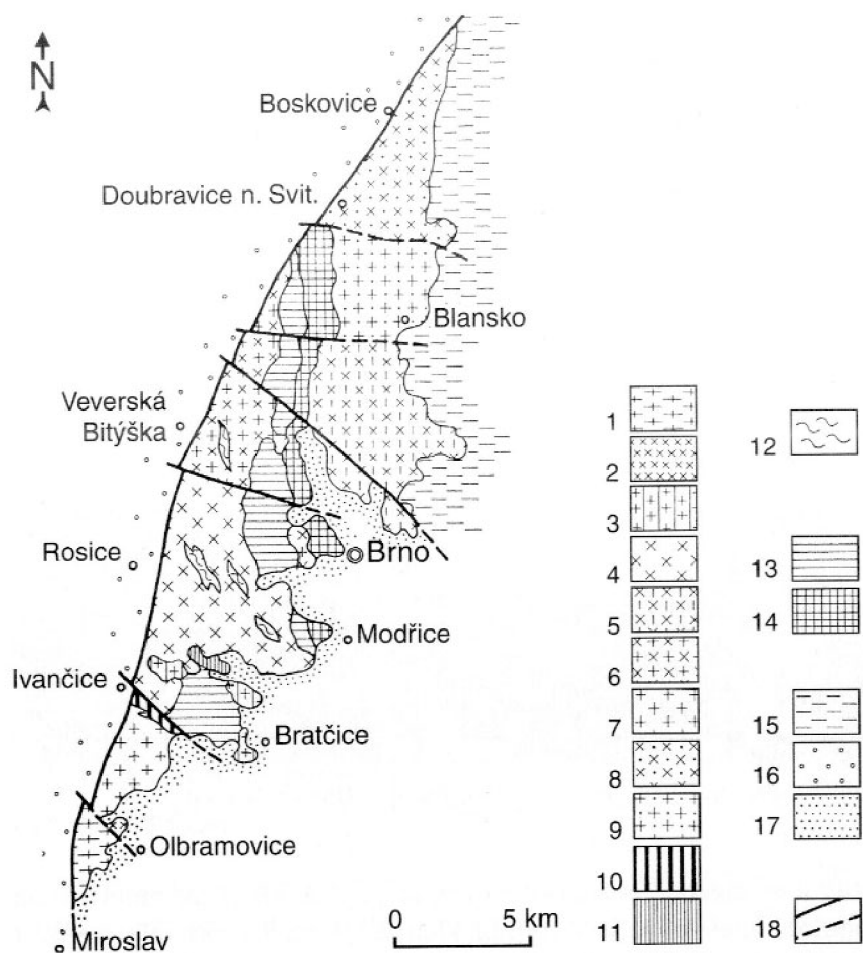
Tato jednotka se rozprostírá přibližně od Krakova na severu až po Dunaj na jihu. Na východ pokračuje podle geofyzikálních údajů pod příkrovy Západních Karpat až k bradlovému pásu v Pováží, na západě leží v podloží moravika a moldanubika. [6]

Brunovistulikum považují mnozí autoři vzhledem k jádru Českého masivu za samostatnou jednotku vytvořenou kadomskou orogenezí, která se oddělila od okraje Gondwany počátkem paleozoika a byla samostatným mikrokontinentem. K jádru Českého masivu se připojila teprve při variské orogenezi, kdy se podsouvala pravostrannou rotací pod kry moldanubika a moravika.

Brunovistulikum je různorodým komplexem, na jehož stavbě se podílejí především různé typy magmatických hornin od granitů až k bazickým a ultrabazickým členům. V okolí Brna vystupuje na povrch jako brněnský masiv, v jádře dyjské klenby jako dyjský masiv, v jádře svratecké klenby jako deblínská skupina se svrateckým metagranitem a v několika malých výskytech vystupuje i v okolí Olomouce.

V oblasti brněnského masivu převládají různé typy granodioritů, které jsou rozdělené severojižní zónou metabazitů na monotónnější východní část a pestřejší západní. Obě části se výrazně liší složením a směrem magnetické lineace. [2]

Západní granodioritová oblast se táhne od Černé Hory až k Miroslavi, jejíž západní hranici tvoří zlom Boskovické brázdý. Mezi těmito městy bylo popsáno několik typů granodioritů, jejichž složení není většinou příliš odlišné - je ovlivněno litologickou pestrostí pláště, do něhož magma intrudovalo. A tak se velmi často shrnují pod jedno společné označení jako typ Tetčice. [6]



Obr. 3 Schematická geologická mapa brněnského masivu: 1-11 – různé místní typy biotitických a amfibolicko-biotitických granodioritů a granitů; 12 – zbytky krystalinického pláště; 13, 14 – metabazity; 15 – devon a spodní karbon; 16 – permokarbon boskovické brázdý; 17 – terciér karpatské předhlubně; 18 – zlomy. [2]

3.5. BOSKOVICKÁ BRÁZDA

Boskovická brázda je příkopová propadlina přes 80 km dlouhá, 3 – 10 km široká, o rozloze necelých 500 km². Je protáhlá ve směru ssv.-jjz. a leží od severního okolí Boskovic až k Moravskému Krumlovu. Tišnovsko-kuřimským příčným prahem je rozdělena na jižní rosicko-oslavanskou část a severní letovickou.

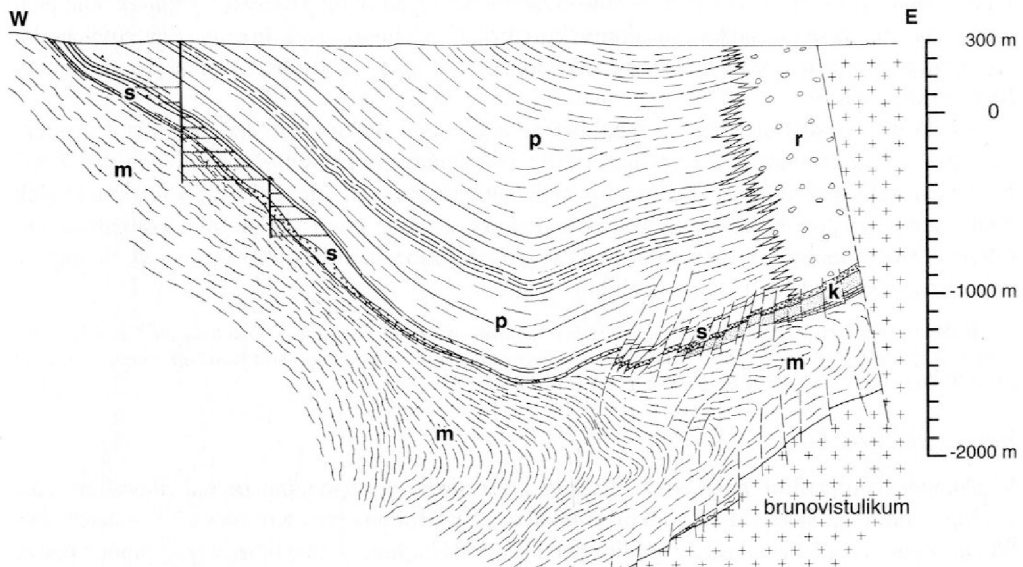
Patří mezi pánve tzv. limnického permokarbonu (svrchnopaleozoické limnické pánve). Severní část brázdy je vyplněna pouze uloženinami spodního permu, zatímco jižní část obsahuje i nejvyšší karbon. [2] [4]

Tato terénní sníženina byla založena na styku dvou geologických jednotek – brněnského masivu a západomoravského krystalinika, zastoupeného krystalikem moravika nebo na něm tektonicky ležícím moldanubikem a letovickým krystalinikem. Přesunutím tohoto komplexu krystalinik na kulm (plášť brněnského masivu) vznikl terénní stupeň, v jehož místech se tlakem variské orogeneze vytvořil zlom, který dnes tvoří východní hranici brázdy. Tento dodnes aktivní zlom se označuje jako hlavní zlom boskovické brázdy. Lze ho sledovat v délce asi 200 km od severní části Dražanské vrchoviny až do Rakouska, kde navazuje na diendorfský zlom.

Vznik hlavního zlomu boskovické brázdy je uvažován na přelomu devonu a spodního karbonu, kdy došlo k horizontálním posunům, které podle některých autorů způsobily oddělení brněnského a dyjského masivu. Po zformování svratecké klenby moravika však probíhají na hlavním zlomu jen pohyby vertikální. Mimo podélnou tektoniku se ve stavbě boskovické brázdy vyskytují také příčné až diagonální zlomy, v jižní části jsou orientovány hlavně ve směru sz.-jv. až ssz.-jjv. [4]

Výplň brázdy je výrazně asymetrická (obr. 4), na východě je omezena strmým až vertikálním či překocným zlomem. Ten byl aktivní i během vyplňování příkopu a poskytoval ze zvedané východní kry brněnského masivu hrubý klastický materiál, který se hromadil na východní straně jako rokytenské slepence. V západní části brázdy jsou vrstvy mírněji ukloněny k východu a porušeny jen méně významnými zlomy. Při bazální sedimentaci se zde vyvinuly balinské slepence, které mají klastický materiál převážně z komplexů krystalinik (moldanubikum, moravikum, letovické) a v menší míře z devonu a spodního karbonu. [2]

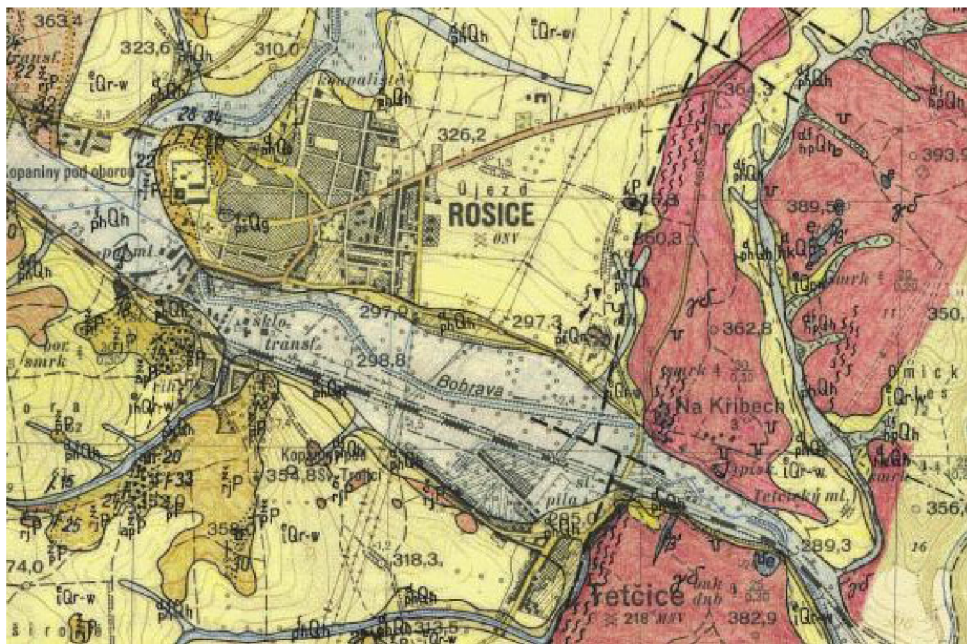
Ve výplni brázdy celkově převládají červenohnědě zbarvené písčité, na krajích hrubozrnné usazeniny říčního a jezerního původu. Podle odlišného charakteru sedimentů a jejich cyklické stavby se dělí vnitropánvevní komplex na čtyři souvrství: rosicko-oslavanské, padochovské a veverskobítyšské souvrství, vyplňující jižní rosicko-oslavanskou depresi, a dále letovické souvrství, které vyplňuje severní letovickou depresi. Rosicko-oslavanské souvrství tvoří uhlonosný komplex, tzv. spodní šedé pásmo, se třemi černouhelnými slojemi. [2] [4]



Obr. 4 Příčný profil boskovickou brázdou v rosicko-oslavanské části (přes důl Jindřich ve Zbýšově), m – krystalinikum moravika; k – devonské a kulmské horniny; s – svrchnokarbonské balinské slepence a nadložní uhlonosné vrstvy (stephan); p – spodnopermské uložení, převážně prachovce a pískovce; r – rokytenské slepence. [2]

3.6. TETČICE

Z regionálně geologického hlediska leží zájmové území v jižní části boskovické brázdy, při jejím východním okraji. Téměř středem obce prochází hlavní zlom boskovické brázdy (obr. 5). Podrobnější průběh hlavního a příčných zlomů je vykreslen v geologické mapě v příloze č. 9.



Obr. 5 Geologická mapa: $ph^f Qh$ – fluvialní písčitohlinité sedimenty (holocén), $ph^d Qh$ – deluvialní písčitohlinité sedimenty (holocén), $i^o Qr-w$ – spraše a fosilní pídy (pleistocén), $r^j P$ – jílovce až prachovce (perm), $\gamma\delta$ – biotitický až dvojslídny granodiorit [8]

Stavbu území vytváří hlubší geologické podloží sedimentární horniny limnického karbonu (včetně uhelných slojí), spodního permu (pískovce, prachovce a slepence), zbytky miocenních uloženin (jíly, písky, štěrky) a pokryv kvartérních sedimentů. Kvartérní pokryv tvoří hlinité a jílovité fluviální sedimenty, nesouvislé akumulace sprašových hlín, štěrkovité a štěrkopískovité akumulace pleistocenního a holocenního stáří. [8]

4. DALŠÍ MOŽNÉ DŮVODY POSUNŮ

Výškové posuny terénu ve sledované lokalitě nemusí být způsobeny pouze tektonickými pohyby ve zlomu Boskovické brázdy, ale mohou být výslednicí několika různých vlivů. V této kapitole jsou uvedeny další pravděpodobné důvody naměřených posunů na sledovaných bodech.

4.1. VLV PODZEMNÍ VODY – PROBLÉMY S ČERPÁNÍM PITNÉ VODY

V obci Tetčice v údolní nivě řeky Bobravy (na dně bývalého rybníka) je situováno několik jímacích objektů a pozorovacích vrtů z doby hydrogeologického průzkumu. Jímací objekty slouží k odběru podzemní vody pro skupinový vodovod pro veřejnou potřebu Ivančice – Rosice, který zásobuje zhruba 27 tisíc obyvatel. O zabezpečení zásobování pitnou vodou se stará Svazek vodovodů a kanalizací Ivančice.

Prameniště Tetčice bylo zprovozněno v roce 1983 a zásobuje se jím zejména obec Tetčice a město Rosice. Do roku 2005 byly k odběru využívány vrty HV11 a HV12 s celkovým odběrem 15 l/s, po havárii výstroje vrtu HV12 byl vrt přestrojen a označen jako HV12A. Úroveň hladiny podzemní vody se pohybuje nejčastěji v rozmezí 2-4 m pod terénem a její kolísání obvykle nepřesahuje 0,5 m.

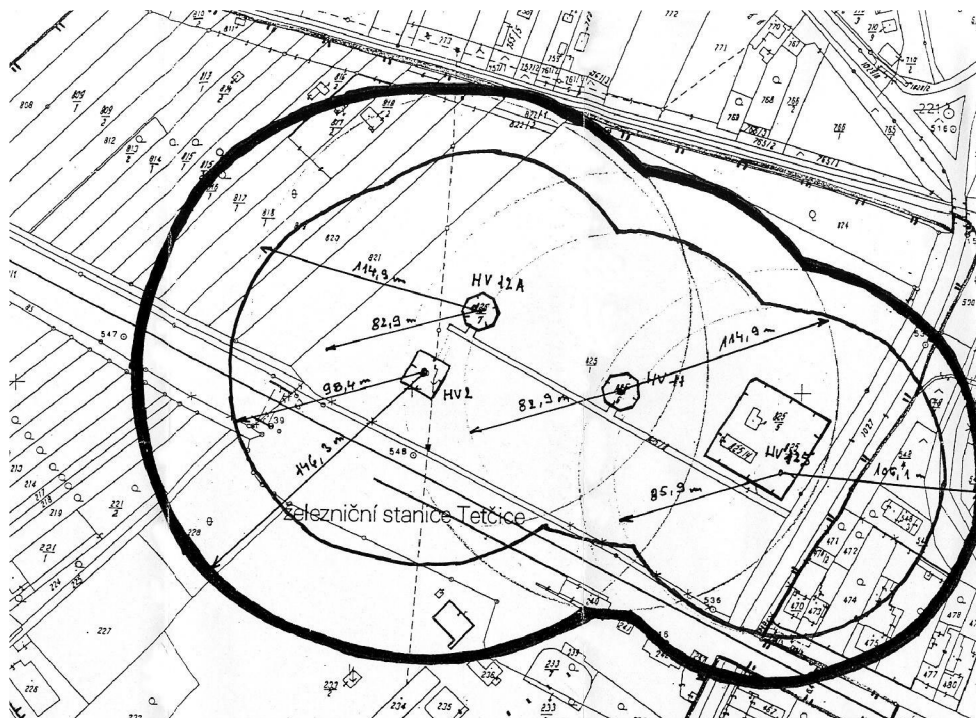
Voda je v současnosti odebírána z terciálního kolektoru, který je zakryt kvarténními aluviálními sedimenty, ve kterých je vyvinuta samostatná zvedeň. Terciální kolektor je napájen podzemní vodou ze severozápadních svahů Bobravské vrchoviny dotovaných srážkami. Odvodnění kolektoru probíhá omezeně do toku Bobravy v místech, kde je říční erozí porušen nebo oslaben kvarténní kryt nepropustných sedimentů, proto je hladina podzemní vody mírně napjatá.

Rozvojem obce Tetčice a především rozpínající se zástavbou města Rosice se zvýšila poptávka po pitné vodě. Svazek vodovodů a kanalizací Ivančice se situaci rozhodl řešit realizací záměru navýšení čerpání ze stávajících 15 l/s na 20 l/s a doplnění stávajícího území Tetčice o vrty HV2 a HV125. Proti záměru se však postavili obec Tetčice a Občanské sdružení pro ochranu čerpání podzemních vod v obci Tetčice. Obávali se degradace základových půd vlivem proudící vody, posuvů půdy a následného poškození budov.

Již při řádných čerpacích zkouškách v roce 1982 došlo na pozemku dřevařských závodů a na konci Tyršovy ulice k velkému poklesu vody ve studních a poškození budov v Tyršově ulici, kde byla na základě odhadu poskytnuta náhrada škody.

Z provedených měření bylo zjištěno, že celková vydatnost prameniště při nepřekročení kritických rychlostí na pláštích filtrů vrtů je přes 30 l/s. Tato hodnota však znamená velký pokles hladiny podzemní vody, výrazné překročení dosahu deprese za hranice prameniště a v extrémních případech (v období sucha) infiltraci povrchových vod do terciálního kolektoru, čímž může dojít ke znečištění pitné vody.

Z výsledků hydrodynamických zkoušek byl stanoven rozsah deprese hladiny spodní vody a bylo prokázáno, že počet čerpaných objektů snižuje dosah deprese. V případě navrženého čerpaného množství 20 l/s ze čtyř vrtů je rozsah deprese omezen převážně na vlastní území prameniště a snížení hladiny podzemní vody v nejbližším okolí by se pohybovalo řádově v cm. Celkově dojde k prohloubení minimálních stavů hladiny, zatímco maxima budou zachována (při extrémních srážkách hladina stoupá až k povrchu terénu).



Obr. 6 Teoretický dosah deprese hladiny podzemní vody při čerpání podzemní vody ze čtyř vrtů v množství 15 l/s (tenká čára) a 20 l/s (silná čára) [8]

Právě vysoká hladina podzemní vody má podle Svazku vodovodů a kanalizací Ivančice rozhodující vliv na stabilitu stavebních objektů, jejichž základová spára je situována v jemnozrnných zeminách (jíly, spraše, hlíny), které mají při zvýšené vlhkosti nižší únosnost. Úroveň hladiny v kvartérním (svrchním) kolektoru však výrazněji než čerpání ovlivňují srážkové poměry.

I přes odborné posudky uvádějící, že zvýšený odběr nevyvolá změny hladiny podzemních vod takové, aby mohly negativně působit na stabilitu stávajících objektů, jsou obavy občanů z nestability podloží s následkem dalšího poškozování staveb oprávněné. Proto bylo od záměru prozatím upuštěno a provozují se pouze zkušební čerpání.

Bez konkrétních údajů o objektech a jejich poruchách není možné závazně určit příčiny a dobu jejich vzniku, bylo proto navrženo provést před realizací záměru pasportizaci dotčených objektů, jež bude podkladem pro možné budoucí řešení sporů o případném poškození nemovitosti, jeho příčinách a vyrovnání utrpěné újmy. Pasportizace by se týkala pouze nejbližších staveb (vždy první budovy v daném směru) a jedná se především o ulice: Sušilova, Nádražní, Tyršova a Mlýnská. [8] [9]

4.2. VLIV HORNICKÉ ČINNOSTI

Zájmová oblast Tetčice leží nedaleko Rosicko-oslavanského uhelného revíru, jenž může nepříznivě ovlivňovat stabilitu základové půdy a hladinu pozemní vody v širším okolí. Dobývací prostor se rozkládá na ploše 22,5 km² pod obcemi Zastávka, Babice, Zbýšov, Padochov a Oslavany.

Počátek těžby černého uhlí v této oblasti spadá do roku 1760. Postupně bylo otevřeno celkem 66 hlavních důlních děl, které dobývaly 3 sloje o maximální mocnosti do 6 m a dosáhly hloubky až 1450 m (jáma Jindřich II). [10]

Těžba byla ukončena v roce 1992, především z důvodu velké hloubky, nebezpečí průtrží uhlí a jeho náchylnosti k samovznícení. S těžbou byl zastaven i provoz tepelné elektrárny v Oslavanech, která tvořila v podstatě poslední odbyt tohoto černého uhlí. Celkem ho bylo vytěženo téměř 65 mil. tun, zbytkové zásoby ve výši 26 mil. tun byly odepsány. Šachty byly zasypány nebo jen uzavřeny betonovou zátkou, po zatopení podzemí revíru musela být kvůli vysoké koncentraci železa ve vodě vytékající z Dědičné štoly do řeky Oslavy postavena čistírna důlních vod. O sledování a postupnou sanaci poklesů na poddolovaném území s postupným zlepšením kvality životního prostředí se stará státní podnik Diamo. [10] [11]

4.3. JINÉ VLIVY

Nezanedbatelný vliv na výškové posuny může mít také železniční a přetížená silniční komunikace procházející středem obce. Silnice II. třídy č. 394 tvoří hlavní tah Ivančice-Rosice, a vede také z Ivančic k nejbližšímu nájezdu na dálnici D1 – exit 182 Kývalka, který způsobuje velmi vysokou intenzitu provozu přesahující 10 000 aut za den včetně množství nákladních aut. Po železniční trati spojující Brno s Jihlavou dnes jezdí převážně osobní vlaky v půlhodinovém až hodinovém intervalu v závislosti na špičce. [12]

Nestabilitě podloží a posunům v Tyršově a Nádražní ulici mohou dále napomáhat vibrace z místní pily, která se nachází uprostřed obce.

5. VELMI PŘESNÁ NIVELACE

Podle zadání diplomové práce měly být nivelační profily zaměřeny technologií PN, avšak výběrem vhodných pomůcek, postupem měření a zavedením příslušných korekcí byla dodržena technologie VPN. Proto se již budu v této a dalších kapitolách věnovat pouze problematice VPN.

Tato technologie se používá k výškovému určení bodů především v nivelačních sítích I. a II. řádu, dále v inženýrské geodézii při pracích s vysokými nároky na dosaženou přesnost a při speciálních pracích. Technologie měření se příliš neliší od PN v nivelačních pořadech III. řádu, rozdíl je zejména v přiměřeně přísnějších kritériích přesnosti. [13]

5.1. POŽADAVKY VPN

Požadavky na používané vybavení:

- Přístroj
 - konstantní délka dalekohledu
 - min. 30 x zvětšení
 - průměr výstupní pupily min. 1,5 mm
 - střední chyba urovnání záměrné přímky $< 0,2''$
 - optický mikrometr, střední chyba čtení na lati $< 0,1$ mm
 - klínové uspořádání záměrného obrazce
- Latě
 - celistvé
 - stupnice na invarovém pásu (pro optické měření 2, pro elektronické stačí 1)
 - rektifikovaná krabicová libela s citlivostí 2' až 4' na 2 mm
 - opěrné tyče
 - patky opracovány s vysokou přesností do roviny, kolmo k ose latě
 - ochranné krytky patek
- Stativ s celistvými nohami

[14] [16]

Požadavky na metodu měření pro VPN ve II. řádu:

- princip metody geometrické nivelace ze středu, obousměrně
- před měřením nutná temperace vybavení při venkovní teplotě
- použití sluníku vždy, při slunci a dešti ochrana i noh stativu
- sudý počet sestav v oddíle kvůli vyloučení chyb z odsazení nuly stupnice páru latí, jestliže oddíl obsahuje pouze jednu sestavu, je nutné použít pouze jednu lat'
- postavení stroje s max. excentricitou 0,5 m v rámci sestavy
- měření nivelačního oddílu bez přerušení
- měření celého úseku tam a pak zpět
- měření úseku tam a zpět se nepřerušuje na stejném bodě
- čtení stupnic v jedné sestavě v pořadí: Z_L , P_L , P_P , Z_P
- max. délka záměry 40 m
- min. výška záměry nad terénem 0,8 m, při záměrách < 20 m stačí 0,4 m
- měření zpět v jiném dni a jiné denní době než měření tam

[14]

5.2. ZDROJE CHYB PŘI NIVELACI

Nivelační práce jsou provázány občasným výskytem hrubých chyb a téměř vždy řadou nevyhnutelných chyb, které mají systematický nebo náhodný charakter.

5.2.1. HRUBÉ CHYBY

Jejich výskyt je při nivelaci častý zejména u méně zkušených měřičů, pro jejich omezení je třeba zvýšit pečlivost a soustřednost celé nivelační skupiny. Do měřických prací omyly a hrubé chyby nepatří, nejčastěji vznikají chybným čtením, neurovnáním nivelační libely, neurovnáním krabicové libely a tím znemožnění funkčnosti kompenzátoru, nedodržením technologie měření, nevhodnými atmosférickými podmínkami, nebo také záměnou výstupku na podložce či posunem podložky. Tyto chyby je nutné vyloučit vhodně zvolenými měřickými postupy a kontrolami. [13] [15]

5.2.2. NEVYHNUTELNÉ CHYBY

Provázejí měření prakticky vždy i při maximální pečlivosti, dělí se na systematické a náhodné chyby. Tyto chyby v měřených veličinách působí zpravidla společně, celkovou střední chybu m v naměřeném převýšení vypočteme podle vzorce:

$$m = \sqrt{n \cdot \mu^2 + n^2 \cdot c^2},$$

kde n je počet sestav, μ označíme jako střední chybu náhodnou a c jako průměrnou chybu systematickou. Vliv náhodných chyb roste s odmocninou počtu postavení přístroje a vliv systematických chyb úměrně počtu sestav.

Znalost příčin nevyhnutelných chyb a způsobů jejich odstranění nebo snížení umožňuje vytvořit metodu měření s potřebnou přesností výsledků za daných podmínek při nejmenších nárocích na čas a náklady.

Použitím moderních nivelačních přístrojů s automatickým odečítáním latě na principu čárkového kódu se výrazně omezuje vliv náhodných měřických chyb. Přesnost výsledků je tedy v první řadě závislá na míře eliminace i nepatrných systematických chyb a omezení vlivu prostředí. [16] [13]

V řadě případů však nelze určitou chybu jednoznačně posuzovat jako náhodnou nebo systematickou, protože náhodná chyba může vlivem podmínek působit jako systematická a chyba systematická může náhodně měnit znaménko i velikost.

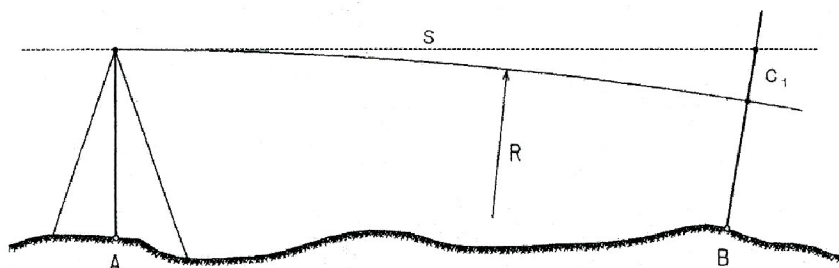
5.2.2.1. SYSTEMATICKÉ CHYBY

Systematické chyby se dají částečně vyloučit postupem měření nebo zavedením početních korekcí. Většinou bývají stejného znaménka s konstantní střední hodnotou. Jsou četnější než náhodné chyby a šíří se lineárně.

- Chyba ze zakřivení horizontu

Při urovnání nivelačního přístroje pomocí nivelační libely nebo po ustálení kompenzátoru je záměrná přímka urovnaná ve vodorovné rovině, ta je totožná s tečnou rovinou hladinové plochy. V každé záměře tak dochází k výškovému rozdílu mezi skutečným horizontem a záměrnou přímkou ve zdánlivém horizontu. Velikost chyby je malá (asi 0,2 mm/50 m) a při geometrické nivelaci ze středu se její vliv odstraní. Může se projevit pouze částečně v přesných nivelačních pracích při nestejně dlouhých záměrách.

[13] [15]

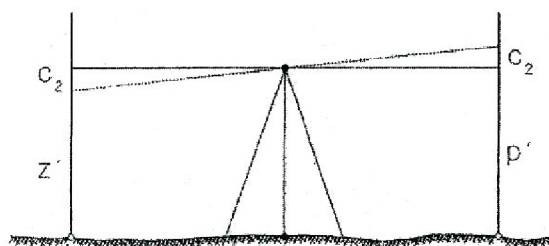


Obr. 7 Vliv zakřivení Země [13]

- Chyba ze sklonu záměrné přímky

U libelových přístrojů je způsobena nepřesnou rektifikací přístroje (nesplněním osové podmínky $L \parallel Z$). Chyba se opakuje se stejným znaménkem při každé záměře a její velikost se dá určit zkouškou přístroje. Vliv této chyby se při geometrické nivelaci ze středu zcela vyloučí při stejně dlouhých záměrech. Při nesterénně dlouhých záměrech a vyšších nárocích je nutné měřená převýšení početně opravit o zjištěnou korekci.

U přístrojů s automatickým urovnáním záměrné přímky je chyba způsobena nedokonalou funkcí kompenzátoru, chybnou justáží, ale i nepřesnou horizontací. Chyba se projevuje tzv. šikmým horizontem a nelze ji vyloučit stejnou délkou záměr, neboť se při rozdílu čtení vzad a vpřed sčítá. Její vliv lze do jisté míry zmenšit vhodným měřickým postupem – důkladným urovnáním krabicové libely v každé sestavě na záměru vzad. U moderních nivelačních přístrojů není chyba příliš velká a uvažuje se spíše při velmi přesných pracích, kdy lze její vliv vyloučit obousměrnou nivelací.

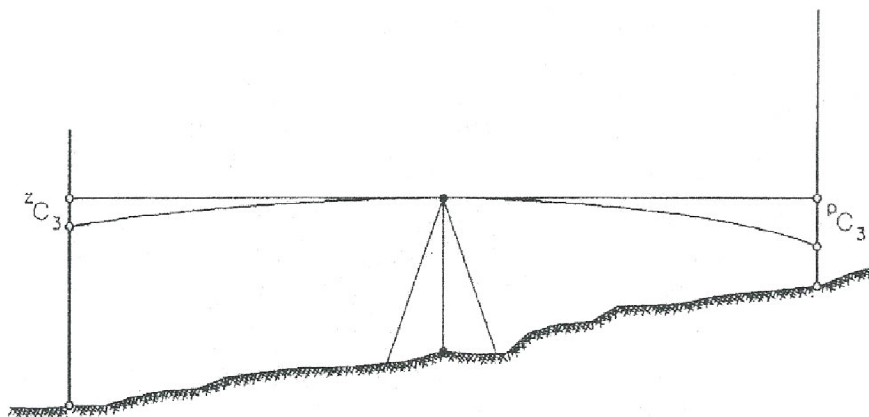


Obr. 8 Vliv chyby z kompenzace [13]

- Chyba ze svislé složky refrakce

Vliv refrakce závisí především na vertikálním teplotním gradientu (změny teploty s výškou nad terénem). V případě přibližně vodorovného terénu nebo konstantního vertikálního teplotního gradientu se tato chyba při geometrické nivelaci ze středu vyloučí. V případě svažitého terénu má záměra níže nad terénem větší teplotní gradient a tím i větší zakřivení, chyba se pak v nivelačních pořadech systematicky sčítá.

Velké teplotní změny jsou zejména při ohřevu nebo ochlazování vzduchových vrstev od zemského povrchu, proto je nevhodnější provádět přesná měření při zatažené obloze a mírném větru. Nevhodné podmínky jsou především při východu a západu slunce (maximální refrakce) a při jasném bezvětrném počasí se silným slunečním svitem (v létě kolem poledne). Technologický postup nivelace omezuje tuto chybu stanovením minimální výšky záměry.



Obr. 9 Vliv chyby ze svislé složky refrakce [13]

- Chyba z nesprávné délky laťového metru

Působením vlivu vnějšího prostředí, především změnami teploty a vlhkosti na materiál stupnice a změnami napínací síly invarového pásku, se mění délka laťového metru. Chyba dosahuje pouze malé velikosti, proto se uplatňuje pouze u přesných nivelačních měření s velkým převýšením. Délka laťového metru se určuje polní komparací nebo přesnější komparací v laboratoři. Hodnota délky laťového metru zjištěná z komparace se vynásobí hodnotou nivelačního převýšení, které se pak početně opraví v zápisníku.

Další příčinou vzniku této chyby může být neztotožnění nuly (počátku stupnice) s vodorovnou rovinou procházející patkou latě – tzv. indexová chyba latě. Chyba se vyloučí při nivelaci s použitím jedné latě nebo měřickým postupem při nivelaci s párem latí – rozměřením nivelačního oddílu na sudý počet sestav a pravidelným střídáním latí.

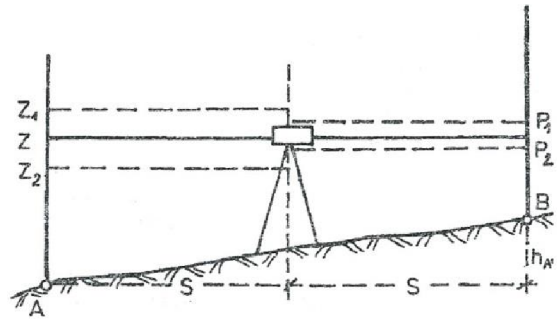
[13]

- Chyba z nesvislé polohy latě

Nivelační lať musí být v okamžiku čtení postavena přesně ve svislé poloze, do které se urovnává podle krabicové libely. Není-li však libela rektifikována nebo je-li lať nedbale urovnávána, dochází k odklonu latě od svislice. Naměřené hodnoty jsou pak vždy větší a vzniká systematická chyba, která se projeví zejména při měření větších převýšení (při čtení v horní části latě). Vybočení ze směru kolmého na záměru je snadno poznat podle svislé rysky záměrného obrazce a na pokyn měřiče se opraví, ale ve směru záměry se prakticky nepozná. Krabicová libela na lati se proto musí častěji rektifikovat a lať pečlivě urovnávat. [16]

- Chyba ze změny výšky přístroje a latě

Chyba je způsobena zapadáváním noh stativu a nivelační podložky do málo únosné půdy (také do asfaltového povrchu v letních měsících) nebo jejich vytlačováním na travnatém nebo jílovém povrchu. Chyba se snižuje rychlým měřením sestav (použitím automatických nivelačních přístrojů), přiměřeným zašlápnutím noh stativu a nivelačních podložek (nesmí pružit), kdy je v kritických místech nutné odkopnout drn či zarazit pod nohy stativu dřevěné kolíky, a omezením chůze v blízkosti noh stativu a nivelačních podložek. Při přesných měřicích pracích se vliv této chyby částečně eliminuje technologií čtení Z_L , P_L , P_P , Z_P , za předpokladu rovnoměrného klesání přístroje a stejných časových intervalů mezi čteními. [15] [13]



Obr. 10 Vliv chyby ze změny výšky přístroje [15]

- Vliv Měsíce a Slunce

Přitažlivými účinky Měsíce a Slunce vzniká oscilace tížnice, jejíž směr a velikost závisí na vzájemném postavení obou nebeských těles vzhledem k Zemi (Měsíc má dvakrát větší vliv než Slunce). Na tyto změny reaguje libela i kompenzátor, ale také zemská kůra, která vytváří slapy, jež snižují vliv oscilace tížnice asi o 20 %. Působením nebeských těles vzniká malá chyba, která lze početně opravit nebo zmírnit měřením ve dvou různých dobách dne.

- Vlnění zemské kůry

Toto vlnění je pravděpodobně způsobené exogenními pohyby tepelného původu. J. Vignal odhadl délku vln na několik desítek kilometrů s amplitudou řádově 5 mm a periodou několik týdnů, případně měsíců. Toto vlnění způsobuje systematické chyby, které se nahromadí v dlouhých pořadech a lze je zmírnit použitím tzv. metody přerušované nivelace. Zjednodušeně se jedná o postup, kdy jsou úseky v nivelačním pořadu měřeny napřeskáčku s kontrolním překrytem.

- Změna výšek nivelačních značek

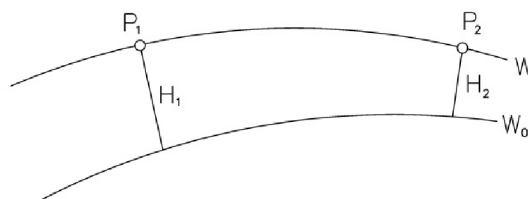
Nivelační značky jsou zasazovány do starších pevných objektů nebo se zřizuje speciální stabilizace. Vlivem vysychání, bobtnání a promrzání půdy může docházet ke změně jejich výšky, zejména u značek osazených do nivelačních kamenů. Protože většina vnějších vlivů pravidelně kolísá během roku, jedná se převážně o roční (sezónní) kolísání bodů. Měří-li se tedy dlouhodobé posuny, mělo by se ročně měřit ve stejném období.

- Vertikální pohyby zemské kůry

Na našem území jsou vertikální pohyby tektonického původu poměrně malé, pohybují se kolem 0,5 mm/rok, v aktivnějších oblastech nepřesáhnou 2 mm/rok [27]. Vertikální pohyby mohou nastávat i náhle vlivem zemětřesení, lokálně se mohou projevit na poddolovaném území, kde dosahují i několika metrových poklesů.

- Vliv tíhového pole Země

Vlivem zploštění Země a její rotace roste tíhové zrychlení od rovníku k pólu, takže se hladinové plochy směrem k pólu sbíhají. Budeme-li uvažovat nivelační pořadí jdoucí k severu s koncovými body na jedné hladinové ploše, nenaměříme žádné převýšení (při cestě po této hladinové ploše). Výšky bodů se však určují od nulové hladinové plochy a vlivem sbíhavosti hladinových ploch bude mezi body převýšení existovat. Při přesných nivelačních pracích závisí naměřené převýšení na cestě měření, a proto je třeba tuto chybu uvažovat a zavést korekci z vlivu tíhového pole Země.



Obr. 11 Vliv tíhového pole Země dle [16]

V důsledku nepravidelného rozdělení hustoty hmot mezi povrchem Země a geoidem nejsou hladinové plochy pravidelné, ale zvlněné, takže se musí zavádět také korekce z anomálie tíže. [16]

5.2.2.2. NÁHODNÉ CHYBY

Náhodné chyby nelze z měření odstranit, nabývají různé velikosti i různého znaménka. Při velkém počtu měření se jejich součet blíží nule.

- Chyba z nepřesného urovnání nivelační libely (zbytková náhodná složka chyby činnosti kompenzátoru)

Nivelační libelu s koincidenční úpravou lze urovnat s maximální přesností 1/10 její citlivosti. V důsledku špatného urovnání dochází k odklonu záměry od vodorovného směru. Tento odklon není konstantní a mění se na každé záměře.

Zbytková chyba u kompenzátorových nivelačních přístrojů dosahuje menších hodnot. Výrobci těchto přístrojů udávají určitou nejistotu urovnání záměry do vodorovného směru, která u přesných přístrojů odpovídá 0,1-0,5''. [15]

- Chyba ze čtení laťové stupnice

Tato chyba je výsledkem současného působení několika faktorů – měřičem, zvětšením dalekohledu, stavem atmosféry, délkou záměr, tvarem a velikostí laťového dílku, tvarem záměrného obrazce, použitím optického mikrometru a jeho parametry. U přesných prací se v podstatě jedná o chybu v koincidenci. Vliv chyby lze snížit volbou délek záměr,

technologickými postupy, vhodnými atmosférickými podmínkami a volbou minimálních výšek záměr nad terénem. [15]

- Chyba z nestejnoměrného dělení laťové stupnice

Tato chyba má podobný charakter jako chyba ze čtení laťové stupnice, u přesných invarových latí však dosahuje mnohem menší velikosti. [13]

- Chyba z nekolmosti patky nivelační latě

Týká se především přesných měření s použitím invarových latí. Kolmost kovové patky se kontroluje čtením na stupnici latě při postavení latě na pěti místech patky (střed a rohy). V případě nekolmosti je nutné dát patku k odbornému přebroušení nebo lať vyřadit.

- Chyba z přeastření dalekohledu (paralaxy záměrného obrazce)

Projevuje se při nestejně dlouhých záměrách v sestavě, kdy je nutné přeastřovat dalekohled. Chybu vyloučíme přesným rozměřováním sestav, přičemž krátké záměry je nutno rozměřit přesněji ($10 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$) než delší ($40 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$).

- Chyba z vibrace

Zpravidla se projevuje v horkých letních dnech, kdy obraz cíle v dalekohledu kmitá (vibruje). Vibrace znesnadňuje čtení na lati, je způsobena turbulentním prouděním vzduchu, které vzniká, jestliže je sluneční záření silnější než vyzařování terénu.

- Runová chyba

Tato chyba se vyskytuje u přesných nivelačních přístrojů, které jsou vybaveny optickými mikrometry. Vzniká, jestliže jedné otočce bubínku mikrometru přesně neodpovídá jeden dílek na laťové stupnici.

[15]

6. MĚŘENÍ VPN

6.1. DŘÍVĚJŠÍ MĚŘENÍ

První nivelační body v lokalitě určené k měření lokálních vertikálních posunů byly stabilizovány v roce 2008 Michalem Witiskou. Vytvořil nivelační profil deseti bodů 101 – 110 podél železnice v ulici Sušilova (kolmo na hlavní zlom Boskovické brázdy), které stabilizoval pomocí měřických hřebů, přičemž bod 106 je totožný s bodem Ocd-17.3 ČSNS. Tento profil zaměřil metodou VPN ve čtyřech etapách v červnu, na přelomu září – říjen a v listopadu 2008 a v březnu 2009. [17]

Další tři etapová měření provedla Simona Neudertová opět technologií VPN. Měření probíhalo v červnu a říjnu 2009 a v březnu 2010. [18]

Během roku 2009 a počátkem roku 2010 byla vytvořena nová polygonová síť přibližně čtyřiceti nivelačních bodů včetně sedmi betonových pilířů s hloubkovou stabilizací. Nivelační značky byly rozmístěny nejen podél železnice ale také v zastavěné části obce v místech, kde bylo možné případné výškové změny očekávat (ulice Sušilova, Nádražní, Tyršova a Hybešova). Nivelační body 300 – 327 byly stabilizovány čepovými nebo hřebovými nivelačními značkami, body R1 – R9 zabetonovanými roxory s opracovanými hlavami. Betonové pilíře P1 – P7 byly osazeny nivelačními značkami a nucenou centrací pro umístění GPS aparatury a vhodně rozmístěny v blízkosti zlomu i v širším okolí pro komplexní sledování celé lokality.

Jako první měřil v nové nivelační síti Radek Daniel, který provedl dvě etapová měření v březnu a květnu 2010 metodou PN. Krátký časový rozestup měření byl způsoben termínem dokončení stabilizace celé sítě. [19]

Další měření v nové síti vykonal Ondřej Vlk ve třech etapách metodou PN. Etapy probíhaly na přelomu červenec – srpen a v září 2010 a v dubnu 2011. [20]

Dalším diplomantem byl Pavel Čáp, který zaměřil tři etapy na přelomu červenec – srpen a v říjnu 2011 a v březnu 2012. Upravil stávající nivelační síť (sedm bodů vypustil a šest doplnil), použil metodu PN. [21]

Současně s Pavlem Čápem zaměřil tři etapy metodou PN také Jiří Dvořák. Ten se však věnoval opakovanému GPS měření a měřil převýšení pouze k pilířům P1 a P2. Vzhledem k tomu, že měření proběhlo ve stejné dny a rozdílná převýšení způsobují pouze náhodné a systematické chyby při měření (nesouvisí s posuny bodů), nebyly výsledky této nivelace brány v úvahu. [22]

6.2. REKOGNOSKACE A PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Před začátkem měření je vždy nutné zjistit stav stávající sítě nivelačních bodů v terénu. Jedná se zejména o zjištění přístupnosti bodů, o jejich ověření polohy podle místopisů a kontroly poškození či použitelnosti. Podle stávajícího stavu se rozhodne o případné změně sítě – doplnění či vypuštění některých nivelačních bodů. Nivelační údaje jsou v samostatné příloze č. 2.

Na profilu v ulici Sušilova (kolmo ke zlomu) byly po dohodě s vedoucím práce zvoleny body 101 – 109. Tyto body byly měřeny o dva roky dříve, než nová síť bodů, a jsou tedy výhodnější pro zjištění dlouhodobějších vertikálních pohybů. Dále byly zaměřeny nivelační značky na pilířích P1 a P2 z důvodu hloubkové stabilizace pilířů, která zamezuje nežádoucím změnám v poloze bodů, a z důvodu možného srovnání výšek VPN s výškami určenými pomocí technologie GNSS v diplomové práci kolegyně Jany Darmopilové.

Pro druhý profil, který vede přes intravilán obce, byly zvoleny body: 302, 315, 317, 319, 320, 322.1, 326.1, 327 a P3. Zničený bod 326 byl nově stabilizován jako bod 326.1.

| Vypuštěné body z měřické sítě | |
|-------------------------------|---|
| Nivelační bod | Důvod vypuštění |
| 110 | zničen |
| 316 | nepřístupný |
| 318 | nepoužitelný – zateplená budova |
| 321 | nepřístupný |
| 322.2 | nadbytečný |
| 325 | nebezpečný přístup – měření přes a po kraji frekventované silnice |
| 326 | zničen |
| 328 | nepoužitelný – kamenný obklad budovy |

Tab. 1 Vypuštěné nivelační body z měřické sítě

Před samotným měřením je dobré pečlivě rozměřit sudý počet sestav a označit místa postavení stroje a latě barvou. Vzhledem k použitému digitálnímu přístroji nebylo přesné rozměření sestav nutné. V první etapě se sestavy pouze krokovaly a hlídal se jejich sudý počet v oddíle a celková excentricita postavení. Před druhou etapou bylo rozměření provedeno pásmem především z důvodu urychlení měření a menšího počtu pracovníků měřické skupiny.

6.3. VLASTNÍ MĚŘENÍ

Opakované měření VPN proběhlo ve výškovém systému Bpv ve dvou etapách s časovým rozestupem přibližně půl roku. První etapa byla měřena 8. – 9. 6. 2013 při průměrné teplotě 26,5 °C s jasnou až polojasnou oblohou a občasným mírným větrem. Druhá etapa probíhala 8. – 9. 3. 2014 při průměrné teplotě 13,8 °C s jasnou oblohou a mírným až silným větrem. Zápisníky z jednotlivých etap měření jsou v příloze č. 3.

Měřická síť je rozdělena na dva profily P1 – 109 a 322.1 – 326.1. Oba profily jsou připojeny na bod Ocd-17.3 ČSNS, který je pevně stabilizovaný ve skále blízko pošty a považuje se za stabilní (nevykazující pohybové tendence). Určením stabilních bodů ČSNS v lokalitě Tetčice se okrajově věnoval dřívější diplomant Pavel Čáp, takže se tímto tématem nebudu zabývat. K bodu Ocd-17.3 označovaného také jako bod 106 byly vztaženy i dřívější etapová měření. Před měřením byla výška bodu ověřena k vedlejšímu bodu Ocd-17.4, aby se zajistilo, že nedošlo k částečnému poškození značky.

| $\Delta H'$ [m] | | | ΔH [m] | rozdíl [mm] | δ [mm] |
|-----------------|---------|--------|----------------|-------------|---------------|
| tam | zpět | průměr | | | |
| 0,1764 | -0,1765 | 0,1765 | 0,177 | 0,5 | 2,3 |

Tab. 2 Ověření bodu Ocd-17.3 k bodu Ocd-17.4

Převýšení ΔH v tabulce je získáno z nivelačních údajů, které byly převzaty z geoportálu ČÚZK a které obsahuje příloha č. 2. Mezní odchylka δ mezi daným a nově změřeným převýšením byla vypočtena podle vztahu pro nivelační pořad II. řádu:

$$\delta = 2,0 + 2,25 \cdot \sqrt{R},$$

kde R je délka oddílu v km. [24]

Vzhledem k zaměření prvního profilu ve starší síti, kde již bylo provedeno sedm etap (0 - 6), a druhého profilu v části novější sítě s osmi uskutečněnými etapami (0 – 7) jsem se rozhodl číslovat nové etapy v návaznosti na celkově nejvyšší použité číslo etapy, tedy jako 8. a 9. etapu.

Při měření byl dodržen postup a technologie VPN, výška záměry nad terénem klesla pod minimální mez pouze z bezpečnostních důvodů při přechodu přes železnici a frekventovanou silniční komunikaci.

6.3.1. POMŮCKY

6.3.1.1. LEICA DNA03

Při měření byl použit elektronický kompenzátorový nivelační přístroj Leica DNA03, v.č. 339511, zapůjčený FAST VUT v Brně.



Obr. 12 Leica DNA03



Obr. 13 Leica DNA03

Technické parametry:

- Střední kilometrová chyba obousměrného měření:

| | |
|-------------------|--------|
| na invarovou lať | 0,3 mm |
| na standardní lať | 1,0 mm |
- Střední chyba měření vzdáleností 5 mm/10 m
- Dosah na invarovou lať 1,8 m – 60 m
- Doba měření 3 sekundy
- Dalekohled: Zvětšení 24 x
Průměr objektivu 36 mm
Zorný úhel 2°
- Citlivost krabicové libely 8' / 2 mm
- Kompenzátor: magneticky tlumený kyvadlový kompenzátor s elektronickou kontrolou rozsahu kompenzace

| | |
|---------------------|-------|
| Rozsah kompenzace | ± 10' |
| Odchylka kompenzace | 0,3" |
- Opravy měřených hodnot: Oprava kolimační chyby
Oprava ze zakřivení Země

- Interní paměť 6000 měření, 1650 sestav
- Teplotní rozsah pro měření -20 °C až +50 °C
- Displej LCD, 8 řádků, 24 znaků

Díky automatickým opravám elektronicky měřených čtení na lati o kolimační chybu uloženou v přístroji a o vliv zakřivení Země není nutné záměry během měření rozměřovat pásmem. Při použití tohoto přístroje stačí krokovat a průběžně kontrolovat a korigovat úhrnnou excentricitu postavení, kterou stroj po každé sestavě spočítá. Pro maximální celkovou excentricitu v nivelačním oddíle byla zvolena hodnota 3 m.

Leica DNA03 má k dispozici tři měřické programy: základní měření (measure only), pořadová nivelace (line levelling) a zkouška přístroje (check & adjust). K měření byl použit program pořadová nivelace, který umožňuje výběr metody ZPPZ. Tato metoda dovoluje kontrolovat nejen maximální vzdálenost záměry, nejnižší povolenou výšku latě a již zmíněnou excentricitu postavení, ale také maximální povolený rozdíl dvakrát měřeného převýšení a maximální povolený rozdíl dvojité operace (zjištění pohybu stativu).

Přístroj také umožňuje použití několika módů měření: jednotlivá (single), střední hodnota (mean), medián, střední hodnota s (mean s) a opakování jednotlivých měření (repeat single). Při měření byl použit mód střední hodnota, kdy se výsledná hodnota čtení získá zprůměrováním tří za sebou provedených odečtů na lati. [23]

6.3.1.2. PŘÍSLUŠENSTVÍ

Další použité pomůcky při měření:

- dřevěný stativ s celistvými nohami
- 2 invarové kódové latě Wild GPCL2, 2 m (v.č. 38997, 23274)
- 2 invarové kódové latě Wild GPCL3, 3 m (v.č. 26353, 26346)
- 4 dřevěné opěrné tyče
- 2 nivelační litinové podložky
- sluník
- ocelové pásmo, sprej, teploměr

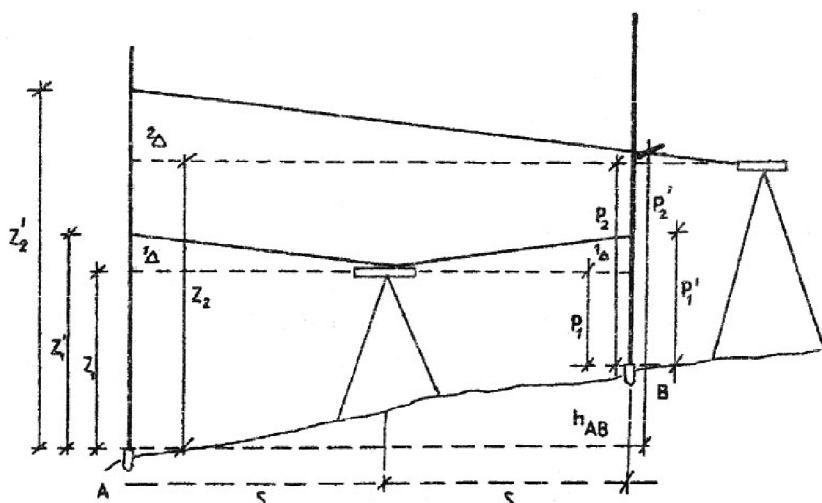
6.3.2. ZKOUŠKY NIVELAČNÍHO PŘÍSTROJE

- Podmínka L // Z - osa nivelační libely má být rovnoběžná se záměrnou přímkou

Jedná se o hlavní podmínku nivelačních přístrojů. U kompenzátorových přístrojů urovnává kompenzátor záměrnou přímkou do vodorovné roviny. Vlivem nedokonalé funkce kompenzátoru však dochází k odklonu této záměrné přímky o kolimační chybu, jejíž hodnota se určuje pomocí zkoušky přístroje. Při elektronické nivelaci se o zjištěnou kolimační chybu

automaticky opravuje čtení na lati, při optickém měření se chyba odstraňuje seřízením nitkového kříže nebo zaváděním početní korekce při nestejně dlouhých záměrech.

Použitý přístroj má na výběr v měřickém programu check & adjust ze dvou metod zkoušek pro elektronická měření: "A x Bx" a "A x x B", kde A, B znázorňují postavení latě a x postavení přístroje. Provedena byla klasická zkouška ze středu (metoda A x Bx) a to vždy na začátku a na konci obou etap. Zkoušky nivelačního přístroje obsahuje příloha č. 4.



Obr. 14 Zkouška podmínky $L // Z$ [15]

V mírně svažitém terénu byly postaveny latě na podložky ve vzdálenosti 30 – 40 m od sebe a přístroj urovnán v polovině vzdálenosti s přesností jednoho metru. Protože je přístroj umístěn uprostřed, čtení vzad a vpřed obsahuje chybu stejné hodnoty a při výpočtu převýšení se vyloučí. Poté se přístroj přesune za jednu z latí (přibližně 3 m) a opět se přečtou čtení. Ve čtení na bližší lať se chyba vzhledem ke krátké záměře neprojeví, takže rozdílem čtení je chybné převýšení. Hledanou chybu pak získáme rozdílem chybného a správného převýšení. [23] [15]

$$\text{Platí: } h_{AB} = z'_1 - p'_1 = (z_1 + \Delta) - (p_1 + \Delta) = z_1 - p_1$$

| Odchyly | 8. etapa | | 9. etapa | |
|--------------------|----------|-------|----------|--------|
| Δ [mm] | 0,22 | -0,19 | 0,19 | 0,06 |
| φ ["] | 0,99 | -1,17 | 1,35 | 0,89 |
| O φ [mm/m] | -0,005 | 0,006 | -0,007 | -0,004 |

Tab. 3 Odchyly nivelačního přístroje Leica DNA03 v.č. 339511

- Podmínka $L' \perp V$ - osa pomocné alhidádové libely má být kolmá k ose alhidády

Splnění této podmínky je důležité obzvláště u kompenzátorových přístrojů. Jestliže se přístroj nezhorizontuje v rozsahu kompenzačního intervalu ($8^\circ - 10^\circ$), kompenzátor nebude funkční a přečtené hodnoty nebudou správné. Kontrola pomocné alhidádové libely se provádí otočením stroje o 180° a sleduje se, jestli se vychýlí bublina libely, případně se může

funkčnost kompenzátoru ověřit poklepaním dalekohledu a pozorováním kývání nitkového kříže. Novější přístroje mají elektronickou kontrolu rozsahu kompenzace. [13]

- Podmínka $H \perp V$ - vodorovné vlákno nitkového kříže má být kolmé k ose alhidády

Kontroluje se při dobře urovnaném přístroji tak, že se levým okrajem vodorovné rysky záměrného obrazce zaměří na zřetelný bod a pak pomocí jemné ustanovky posune k pravému okraji rysky. Nesplnění podmínky se vyskytuje pouze výjimečně, nemá vliv na elektronickou nivelaci. [15]

- Zkouška přístroje a jeho přesnost v laboratorních podmínkách

Pro ověření správné funkce přístroje a porovnání výsledků zkoušek z terénu byla provedena kalibrace nivelačního přístroje. Kalibrace byla vykonána metodikou klasické zkoušky ze středu, kdy se přístroj urovnal uprostřed mezi dvěma upevněnými latěmi, jejichž svislost se během měření kontrolovala. Po záměrech na latě se přístroj přesunul blíž k jedné z nich a opět se provedly záměry (systémem ZPPZ). Tato zkouška se pro dostatečný počet nezávislých měření opakovala desetkrát, přičemž stroj se stavěl vždy na stejná předem rozměřená místa.

Sklon záměrné přímky je vypočten z měřených vzdáleností a z rozdílu průměrů desetkrát měřeného převýšení ze středu a z excentrického postavení. Dále byla vypočtena výběrová směrodatná odchylka sklonu záměrné přímky.

Z deseti měření ze středu byla určena výběrová směrodatná odchylka jedné sestavy, která byla přepočtena na kilometrovou odchylku a porovnána pomocí chí-kvadrát testu se základní střední chybou udávanou výrobcem. Nulová hypotéza byla přijata na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, takže přístroj vyhovuje. Výpočet a výsledky kalibrace jsou v příloze č. 4.

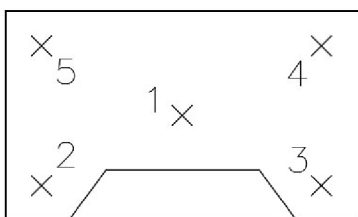
6.3.3. ZKOUŠKY NIVELAČNÍCH LATÍ

- Zkouška a rektifikace kruhové libely

Při měření je třeba stavět lať do svislé polohy za pomoci krabicové libely. Jestliže libela není správně umístěna vzhledem k lati, lať se odklání od svislice a při měření vzniká systematická chyba. Zkouška se provádí pomocí olovnice, která je zavěšená na lati a podle níž je lať urovnána. Případná výchylka bubliny libely se eliminuje rektifikačními šrouby.

- Zkouška patky nivelační latě

Plocha patky latě musí být dokonale vybroušena do roviny kolmé ke stupnici latě a měla by se shodovat s počátkem stupnice. Kolmost se zkontroluje opětovným čtením na lati ze vzdálenosti asi 25 m, kdy se lať postupně staví do pěti různých poloh patky. Pokud je rozdíl čtení uprostřed a v rozích patky větší než 0,1 mm, musí se patka přebrousit nebo lať vyřadit z měření.



Obr. 15 Postavení patky latě

| Poloha | 8. etapa | | 9. etapa | |
|--------|----------|-------|----------|-------|
| | Lať v.č. | | Lať v.č. | |
| | 23274 | 38997 | 26353 | 26346 |
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | -0,05 |
| 3 | 0,03 | -0,03 | 0,02 | 0,06 |
| 4 | -0,07 | -0,03 | 0,07 | 0,00 |
| 5 | -0,01 | 0,06 | 0,01 | -0,04 |

Tab. 4 Odchytky patek latí v mm

- Komparace latí

Latě pro VPN mají stupnici vynesenu na invarovém pásu s vysokou přesností. Okamžitý rozměr laťového metru se však mění v závislosti na meteorologických podmínkách, při otřesech během dopravy a při nešetrném zacházení. Neznalostí skutečného rozměru latě vzniká systematická chyba, a tak bývají latě pro přesná měření pravidelně kalibrovány v laboratořích. Latě pro optickou nivelaci je možné komparovat v terénu pomocí polního etalonu, tzv. srovnávacího metru. Kalibrační listy použitých kódových latí jsou v příloze č. 11. [16]

Pro měření obou etap nebyly použity stejné latě, neboť se po 8. etapě zjistilo, že kalibrační list latě v.č. 23274 není dohledatelný. Pro určení korekce z délky laťového metru byla tedy použita pouze hodnota z kalibračního listu latě v.č. 38997, která činí 10,9 μm na metr a po přepočtení na největší převýšení mezi vztažným a měřeným bodem (9,5 m k bodu 101) dosahuje hodnoty 0,10 mm. Lze tedy konstatovat, že pro dosažení maximální systematické chyby 0,10 mm na všech bodech musí být rozsah korekce z délky laťového metru druhé latě od -10,9 do +32,7 μm . Podle běžných hodnot korekcí invarových latí usuzují, že lať bude s velkou pravděpodobností v tomto intervalu.

Z uvedeného rozboru vyplývá, že v 8. etapě mohla být na některých bodech (s větším převýšením) překročena přesnost VPN, avšak pro účel měření je přesnost dostačující, neboť posuny sledovaných bodů probíhají ve většině případů v mm.

7. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ

Data naměřená v terénu byla exportována z interní paměti nivelačního přístroje na paměťovou kartu ve formátu GSI a dále importována do softwaru Microsoft Office Excel 2010. V prostředí tohoto programu byla data následně upravena do tvaru zápisníku měření (příloha č. 3) a bylo provedeno jejich další zpracování (příloha č. 5).

7.1. KOREKCE Z DÉLKY LAŤOVÉHO METRU A TEPLoty

Vlivem nepřesné délky laťe a jejími změnami, vyvolanými různými teplotami při měření, nejsou vypočtená převýšení mezi jednotlivými oddíly správná a musí se tedy opravit.

Korekce z rozdílu teploty byla vypočtena pomocí vztahu:

$$\Delta l_t = \Delta h' \cdot \alpha_{invar} \cdot (t - t_0),$$

kde $\Delta h'$ je naměřené převýšení, α_{invar} koeficient délkové roztažnosti pro invar ($1,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), t je teplota během měření a t_0 teplota při komparaci laťí. Teplota v terénu byla měřena vždy na začátku a konci oddílu.

Největší teplotní rozdíl mezi první a druhou etapou dosáhl 21°C . Na převýšení 10 m mezi nejvyšší a nejnižší značkou v jednom polygonu vznikne chyba z vlivu teploty 0,25 mm. Korekci je nutné vzhledem k zadané přesnosti zavádět.

Pro korekci ze skutečného rozměru laťového metru byla v 9. etapě z kalibračního listu převzata průměrná délka laťového metru (průměr z hodnot obou laťí), pro 8. etapu byla z důvodu nedohledatelnosti kalibračního listu převzata pouze hodnota jedné laťe.

7.2. DOSAŽENÁ PŘESNOST A KRITÉRIA PŘESNOSTI MĚŘENÍ VPN

Přesnost měření se posuzuje na základě rozdílů měření ρ ve směru tam a zpět. Tyto rozdíly nesmí v nivelačních oddílech II. řádu překročit mezní odchylku

$${}^1\Delta_{max} = 2,25 \cdot \sqrt{R},$$

kde R je délka nivelačního oddílu v km a výsledek je vyjádřen v mm. Při překročení stanoveného kritéria se opakuje měření v obou směrech. [24]

| Nivelační oddíl | | R [km] | 8. etapa ρ [mm] | 9. etapa ρ [mm] | Δ_{max} [mm] |
|-----------------|-----|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Z | Na | | | | |
| P1 | 101 | 0,014 | -0,04 | 0,10 | 0,27 |
| 101 | 102 | 0,090 | -0,07 | -0,09 | 0,68 |
| 102 | 103 | 0,195 | 0,09 | 0,09 | 0,99 |
| 103 | 104 | 0,187 | -0,32 | -0,37 | 0,97 |
| 104 | 106 | 0,298 | -0,53 | 0,26 | 1,23 |
| 106 | 105 | 0,091 | -0,32 | -0,23 | 0,68 |

| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 105 | P2 | 0,234 | -0,36 | -0,31 | 1,09 |
| P2 | 107 | 0,023 | -0,02 | 0,08 | 0,34 |
| 107 | 108 | 0,223 | -0,02 | -0,64 | 1,06 |
| 108 | 109 | 0,402 | 0,03 | -0,41 | 1,43 |
| 322.1 | 320 | 0,243 | 0,03 | -0,24 | 1,11 |
| 320 | 319 | 0,248 | -0,16 | -0,27 | 1,12 |
| 319 | 317 | 0,062 | -0,15 | 0,06 | 0,56 |
| 317 | 315 | 0,171 | 0,00 | 0,09 | 0,93 |
| 315 | P3 | 0,148 | -0,33 | -0,31 | 0,86 |
| P3 | 106 | 0,304 | 0,01 | -0,15 | 1,24 |
| 106 | 302 | 0,084 | -0,07 | 0,08 | 0,65 |
| 302 | 327 | 0,165 | 0,24 | -0,04 | 0,92 |
| 327 | 326.1 | 0,132 | -0,26 | 0,23 | 0,82 |

Tab. 5 Porovnání rozdílů měření ve směru tam a zpět s mezní odchylkou

Dále je třeba dodržet mezní odchylku pro rozdíl mezi převýšením tam a zpět v úseku, z důvodu krátké délky pořadu je počítána pro celý nivelační pořad. Mezní hodnota je dána vztahem:

$${}^2\Delta_{max} = 2,25\sqrt[3]{L^2},$$

kde L je délka pořadu v km. [14]

| Etapa | P1 - 109 | | | 322.1 - 326.1 | | |
|-------|----------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| | L [km] | $\Sigma\rho$ [mm] | Δ_{max} [mm] | L [km] | $\Sigma\rho$ [mm] | Δ_{max} [mm] |
| 8 | 1,78 | -1,56 | 3,30 | 1,56 | -0,69 | 3,03 |
| 9 | | -1,53 | | | -0,55 | |

Tab. 6 Porovnání součtu rozdílů měření tam a zpět v nivelačních pořadech s mezní hodnotou

Mezní odchylky ${}^1\Delta$ a ${}^2\Delta$ byly v obou etapách dodrženy.

Důležitou informací o vnitřní přesnosti poskytuje střední kilometrová chyba m_o odvozená z rozdílů ρ_i , které jsou zatíženy převážně náhodnými chybami. Přibližně můžeme odhadnout střední kilometrové chyby m_o náhodného charakteru v jednotlivých oddílech pomocí vztahu:

$$m_{oi} = \frac{|\rho_i|}{2\sqrt{R_i}},$$

kde R_i jsou délky jednotlivých nivelačních oddílů v km a ρ_i jsou rozdíly měření ve směru tam a zpět.

Vzhledem k velmi malé spolehlivosti chyby vypočtené pouze z jednoho rozdílu měřické dvojice je třeba získat střední jednotkovou kilometrovou chybu jako střední hodnotu z většího počtu měřených oddílů:

$$m_o = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n_R} \cdot \sum_1^{n_R} \frac{\rho_i^2}{R_i}}$$

kde n_R je počet oddílů měřených stejnou metodou. [15]

Vypočtenou chybu je nutné porovnat s mezní hodnotou střední jednotkové chyby pro II. řád danou vztahem:

$$\bar{m} = 0,45 + \frac{0,80}{\sqrt{n_R}} \quad [24]$$

| Etapa | P1 - 109 | | 322.1 - 326.1 | | Celková | |
|-------|----------|-----------|---------------|-----------|---------|-----------|
| | m_o | \bar{m} | m_o | \bar{m} | m_o | \bar{m} |
| 8 | 0,29 | 0,70 | 0,24 | 0,72 | 0,27 | 0,63 |
| 9 | 0,36 | | 0,23 | | 0,30 | |

Tab. 7 Porovnání střední jednotkové kilometrové chyby s mezní hodnotou

Vypočtené střední jednotkové kilometrové chyby odpovídají přesnosti přístroje Leica DNA03 udávané výrobcem (0,3 mm/km).

Odhad střední chyby měřených převýšení je vyjádřen vztahem:

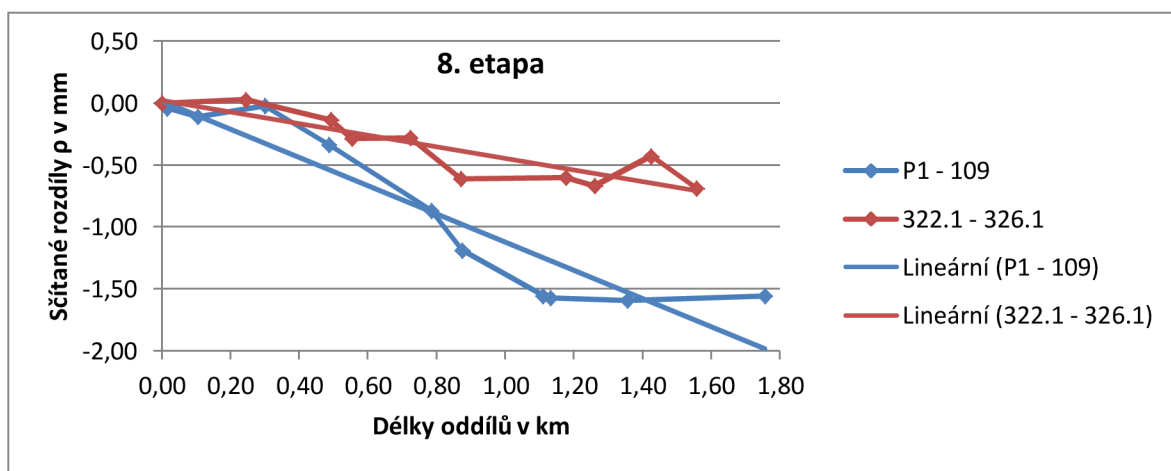
$$m_{hi} = m_o \sqrt{R_i} \quad [15]$$

| Nivelační oddíl | | R [km] | 8. etapa m_{hi} | 9. etapa m_{hi} |
|-----------------|-------|--------|----------------------|----------------------|
| Z | Na | | | |
| P1 | 101 | 0,014 | 0,03 | 0,04 |
| 101 | 102 | 0,090 | 0,08 | 0,09 |
| 102 | 103 | 0,195 | 0,12 | 0,13 |
| 103 | 104 | 0,187 | 0,12 | 0,13 |
| 104 | 106 | 0,298 | 0,15 | 0,16 |
| 106 | 105 | 0,091 | 0,08 | 0,10 |
| 105 | P2 | 0,234 | 0,13 | 0,15 |
| P2 | 107 | 0,023 | 0,04 | 0,06 |
| 107 | 108 | 0,223 | 0,13 | 0,14 |
| 108 | 109 | 0,402 | 0,17 | 0,19 |
| 322.1 | 320 | 0,243 | 0,13 | 0,15 |
| 320 | 319 | 0,248 | 0,13 | 0,15 |
| 319 | 317 | 0,062 | 0,07 | 0,08 |
| 317 | 315 | 0,171 | 0,11 | 0,13 |
| 315 | P3 | 0,148 | 0,10 | 0,11 |
| P3 | 106 | 0,304 | 0,15 | 0,17 |
| 106 | 302 | 0,084 | 0,08 | 0,09 |
| 302 | 327 | 0,165 | 0,11 | 0,12 |
| 327 | 326.1 | 0,132 | 0,10 | 0,11 |

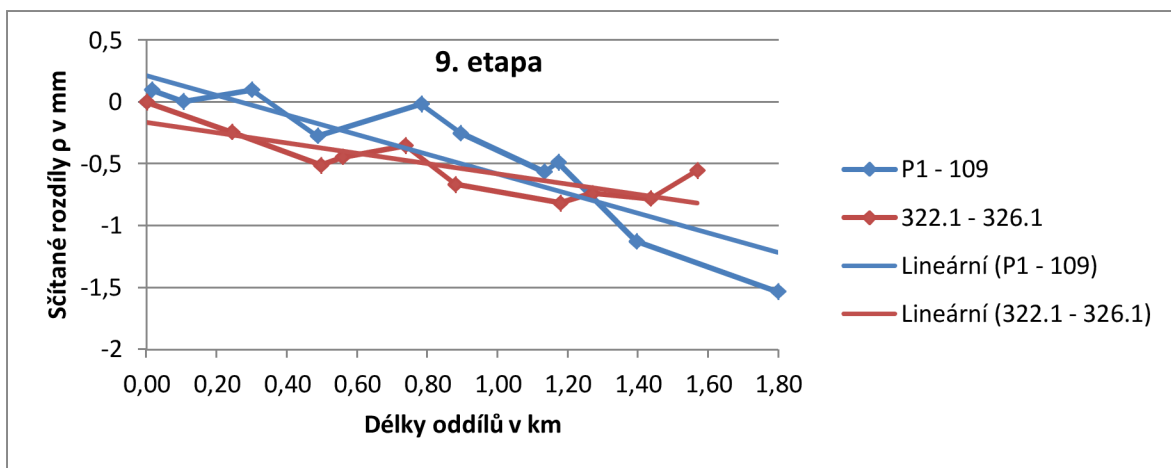
Tab. 8 Střední chyby měřených převýšení

Střední kilometrová chyba m_0 zahrnuje vliv náhodných chyb a náhodné výkyvy systematických chyb. Je možné podle ní spolehlivě určit střední chybu převýšení pouze na krátké vzdálenosti (do několika kilometrů), s rostoucí délkou pořadu se však stále více uplatňuje vliv systematických chyb. Aby bylo možné získat představu o účincích různých systematických vlivů na měření, byly vyhotoveny grafy sčítaných odchylek ρ .

Na osu X se vynesly délky oddílů v km a na osu Y postupně sčítané rozdíly ρ měření tam a zpět v mm. Bodová řada se proložila vyrovnávací přímkou a podle jejího sklonu se posoudil vliv systematických chyb (čím větší sklon, tím výraznější vliv). Grafy byly vytvořeny po dvou nivelačních pořadech pro každou etapu samostatně v programu Microsoft Office Excel 2010. [16]



Graf 1 Vliv systematických chyb v 8. etapě



Graf 2 Vliv systematických chyb v 9. etapě

Z vyhotovených grafů lze odvodit, že systematické vlivy působily během celé doby měření. Protože sčítané rozdíly q jsou vždy záporné, i když byly latě při měření tam a zpět pravidelně střídány a v jednotlivých etapách byly použity jiné latě, jsou systematické chyby zřejmě způsobeny stejnými vnějšími podmínkami při měření. Celé měření obou etap probíhalo za jasného počasí nad asfaltovým povrchem, takže se s největší pravděpodobností

jedná o chybu z refrakce. Tuto domněnku potvrzují největší hodnoty sčítaných rozdílů v 8. etapě, kdy bylo měřeno za bezvětří.

Střední systematická kilometrová chyba pro nivelační úsek nebo krátký pořad lze podle Ch. Lallemanda vypočítat podle vztahu:

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

kde L je délka pořadu v km a μ je rozdíl sčítaných ρ v koncovém a počátečním bodě vyrovnávací přímky. Výsledná systematická chyba je vypočtena z malého počtu oddílů, a tak je její hodnota pouze velmi přibližná. [16]

| Etapa | P1 - 109 | | 322.1 - 326.1 | |
|-------|------------|---------------|---------------|---------------|
| | μ [mm] | σ [mm] | μ [mm] | σ [mm] |
| 8 | 2,00 | 0,57 | 0,73 | 0,23 |
| 9 | 1,43 | 0,40 | 0,65 | 0,21 |

Tab. 9 Střední systematické kilometrové chyby

7.3. NORMÁLNÍ (MOLODĚNSKÉHO) KOREKCE

Normální Moloděnského výšky jsou používány na území České republiky od konce 50. let 20. století, kdy byl zaveden výškový systém Bpv.

Po dodržení stanovených mezních odchylek je možné vypočítat z měření tam a zpět průměrná převýšení a opravit jednotlivé oddíly o korekci z vlivu tíhového pole Země. Tato normální (Moloděnského) korekce se vypočte ze vztahu:

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

kde C_γ je normální ortometrická korekce a $C_{(g-\gamma)}$ korekce z anomálie tíže.

- Normální ortometrická korekce – vliv sbíhavosti hladinových ploch normálního tíhového pole

V praxi bývá pro výpočet korekce na území České republiky použit zjednodušený vzorec:

$$C_\gamma [mm] = -0,0000254 \cdot H_s [m] \cdot \Delta\varphi ["],$$

kde H_s je průměr přibližných nadmořských výšek a $\Delta\varphi$ rozdíl zeměpisných šířek koncových bodů oddílu. Zeměpisné šířky nivelačních bodů byly převzaty z nivelačních údajů.

- Korekce z anomálie tíže – rozdíl mezi skutečně měřenými hodnotami tíže a idealizovanými normálními hodnotami tíže

Pro území České republiky se používá vztah:

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

kde Δh je převýšení v oddíle a Δg_{Fs} je střední Fayova anomálie platná pro oddíl. Fayova anomálie byla získána z mapy Bouguerových anomálií kolegyně Kataríny Bitalové, která se v diplomové práci zabývá gravimetrickým zaměřením této lokality. Mapa je v systému GRS 1964.

Hodnoty Bouguerovy anomálie Δg_{Bi} koncových bodů oddílu se určili lineární interpolací izolinií a střední hodnota Δg_{Bs} pro oddíl se pak získala průměrem z hodnot koncových bodů.

Fayova anomálie byla vypočtena podle vztahu:

$$\Delta g_{Fs} [mGal] = \Delta g_{Bs} [mGal] + 0,1119 \cdot H_s [m]$$

$$\Delta g_{Bs} = \frac{\Delta g_{Bi} + \Delta g_{Bi+1}}{2} \quad [14]$$

| Nivelační oddíl | | H _s [m] | Δφ ["] | C _γ [mm] | Δg _{Bs} [mGal] | Δg _{Fs} [mGal] | Δh [m] | C _(g-γ) [mm] | C _N [mm] |
|-----------------|-------|--------------------|--------|---------------------|-------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|---------------------|
| Z | Na | | | | | | | | |
| P1 | 101 | 288,6 | 0,3 | 0,00 | 14,70 | 46,99 | -0,805 | -0,04 | -0,04 |
| 101 | 102 | 288,2 | 1,7 | -0,01 | 14,65 | 46,90 | 0,197 | 0,01 | 0,00 |
| 102 | 103 | 289,0 | 2,6 | -0,02 | 14,40 | 46,74 | 1,324 | 0,06 | 0,04 |
| 103 | 104 | 290,6 | 2,1 | -0,02 | 14,10 | 46,62 | 1,816 | 0,09 | 0,07 |
| 104 | 106 | 294,6 | -0,4 | 0,00 | 13,85 | 46,81 | 6,182 | 0,30 | 0,30 |
| 106 | 105 | 296,7 | 2,8 | -0,02 | 13,65 | 46,85 | -2,012 | -0,10 | -0,12 |
| 105 | P2 | 295,4 | 3,2 | -0,02 | 13,50 | 46,55 | -0,545 | -0,03 | -0,05 |
| P2 | 107 | 294,9 | -0,1 | 0,00 | 13,40 | 46,40 | -0,325 | -0,02 | -0,01 |
| 107 | 108 | 294,5 | 2,5 | -0,02 | 13,35 | 46,30 | -0,654 | -0,03 | -0,05 |
| 108 | 109 | 294,9 | 4,1 | -0,03 | 13,10 | 46,10 | 1,579 | 0,07 | 0,04 |
| 322.1 | 320 | 297,3 | -4,2 | 0,03 | 12,90 | 46,17 | -1,045 | -0,05 | -0,02 |
| 320 | 319 | 295,4 | -0,6 | 0,00 | 13,05 | 46,11 | -2,760 | -0,13 | -0,13 |
| 319 | 317 | 294,2 | 1,5 | -0,01 | 13,15 | 46,07 | 0,395 | 0,02 | 0,01 |
| 317 | 315 | 295,0 | -3,5 | 0,03 | 13,25 | 46,27 | 1,233 | 0,06 | 0,08 |
| 315 | P3 | 296,6 | -3,2 | 0,02 | 13,30 | 46,49 | 1,930 | 0,09 | 0,12 |
| P3 | 106 | 297,6 | 3,6 | -0,03 | 13,50 | 46,80 | 0,072 | 0,00 | -0,02 |
| 106 | 302 | 296,6 | 2,3 | -0,02 | 13,70 | 46,88 | -2,229 | -0,11 | -0,12 |
| 302 | 327 | 297,0 | 5,2 | -0,04 | 13,70 | 46,93 | 3,032 | 0,15 | 0,11 |
| 327 | 326.1 | 299,8 | 4,1 | -0,03 | 13,70 | 47,25 | 2,691 | 0,13 | 0,10 |

Tab. 10 Korekce z vlivu tíhového pole Země

7.4. VÝSLEDNÉ VÝŠKY, POROVNÁNÍ ETAP 8 A 9

Střední chyby výšek m_{Hi} nivelačních bodů byly určeny podle zákona hromadění středních chyb ze středních chyb příslušného počtu jednotlivých převýšení od fixního bodu

106 (Ocd-17.3):

$$m_{Hi} = \sqrt{\sum m_{hj}^2}$$

Při zjištění malých hodnot posunů je těžké rozhodnout, zda posun nastal nebo jestli za získané hodnoty mohou pouze měřické chyby. Proto bylo k určení posunů použito statické testování pomocí intervalů spolehlivosti podle vztahů:

$$\Delta H < m_{\Delta H} \quad \text{posun nenastal}$$

$$m_{\Delta H} \leq \Delta H \leq t \cdot m_{\Delta H} \quad \text{posun mohl nastat, ale nebyl prokázán}$$

$$t \cdot m_{\Delta H} < \Delta H \quad \text{posun nastal (s pravděpodobností 95% pro } t = 2)$$

kde ΔH je naměřený posun, $m_{\Delta H}$ střední chyba určení posunu a t součinitel konfidence, který je roven hodnotě 2. [25]

Střední chyba určení posunu byla získána podle zákona hromadění středních chyb vztahem:

$$m_{\Delta H} = \sqrt{m_{Hi}^2 + m_{Hj}^2},$$

kde m_{Hi} a m_{Hj} vyjadřují střední chybu určení výšky nivelační značky ze dvou různých etap.

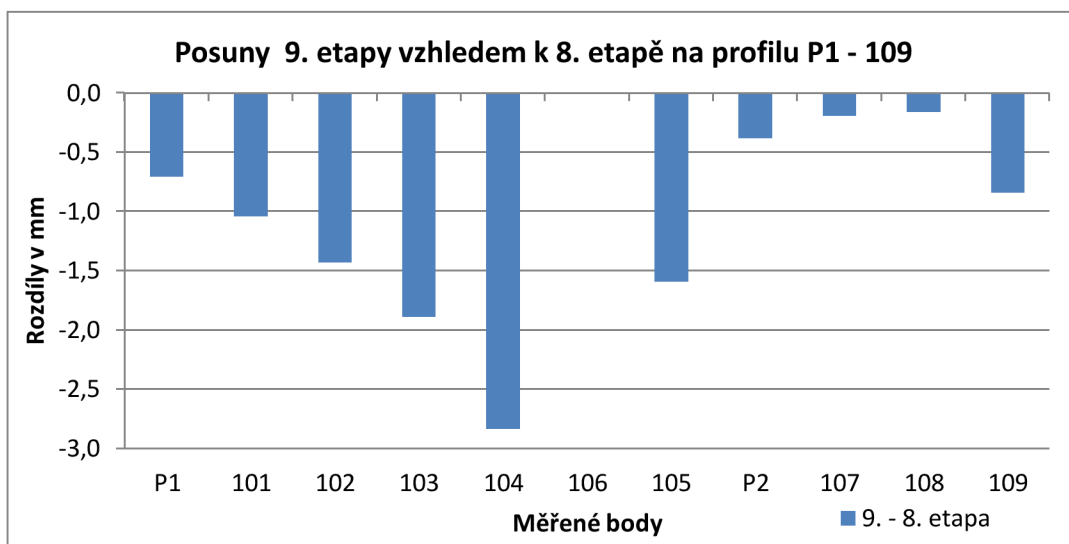
| Bod | 8. etapa | | 9. etapa | | 9. - 8. etapa | | | |
|------|----------|-------|----------|-------|---------------|----------------|---------------------|-------|
| | H [m] | m_H | H [m] | m_H | ΔH | $m_{\Delta H}$ | $\delta_{\Delta H}$ | posun |
| 101 | 288,1447 | 0,24 | 288,1437 | 0,27 | -1,04 | 0,36 | 0,71 | ano |
| 102 | 288,3421 | 0,22 | 288,3407 | 0,25 | -1,43 | 0,33 | 0,67 | ano |
| 103 | 289,6665 | 0,19 | 289,6646 | 0,21 | -1,89 | 0,28 | 0,56 | ano |
| 104 | 291,4823 | 0,15 | 291,4795 | 0,16 | -2,83 | 0,22 | 0,44 | ano |
| 105 | 295,6530 | 0,08 | 295,6514 | 0,10 | -1,59 | 0,13 | 0,26 | ano |
| 106 | 297,6650 | 0,00 | 297,6650 | 0,00 | | | | |
| 107 | 294,7833 | 0,16 | 294,7831 | 0,19 | -0,19 | 0,25 | 0,49 | ne |
| 108 | 294,1296 | 0,20 | 294,1295 | 0,24 | -0,16 | 0,31 | 0,63 | ne |
| 109 | 295,7091 | 0,27 | 295,7083 | 0,31 | -0,84 | 0,41 | 0,81 | ano |
| P1 | 288,9499 | 0,24 | 288,9492 | 0,27 | -0,71 | 0,36 | 0,72 | možný |
| P2 | 295,1082 | 0,15 | 295,1078 | 0,18 | -0,38 | 0,24 | 0,47 | možný |
| P3 | 297,5927 | 0,15 | 297,5922 | 0,17 | -0,51 | 0,22 | 0,45 | ano |
| 302 | 295,4356 | 0,08 | 295,4353 | 0,09 | -0,31 | 0,12 | 0,24 | ano |
| 315 | 295,6623 | 0,18 | 295,6622 | 0,20 | -0,06 | 0,27 | 0,54 | ne |
| 317 | 294,4290 | 0,21 | 294,4278 | 0,24 | -1,15 | 0,32 | 0,64 | ano |
| 319 | 294,0338 | 0,22 | 294,0332 | 0,25 | -0,54 | 0,34 | 0,67 | možný |
| 320 | 296,7942 | 0,26 | 296,7938 | 0,29 | -0,49 | 0,39 | 0,78 | možný |
| 322. | 297,8391 | 0,29 | 297,8381 | 0,33 | -0,96 | 0,44 | 0,88 | ano |
| 326. | 301,1589 | 0,17 | 301,1578 | 0,19 | -1,06 | 0,25 | 0,50 | ano |
| 327 | 298,4673 | 0,14 | 298,4663 | 0,15 | -1,06 | 0,20 | 0,41 | ano |

Tab. 11 Porovnání 8. a 9. etapy

8. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

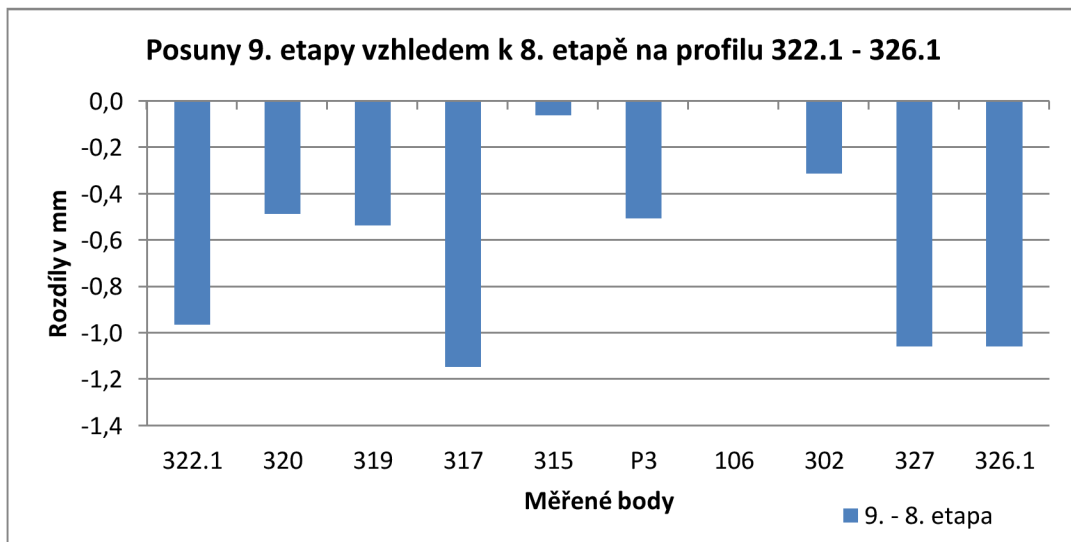
Z porovnání 8. a 9. etapy je patrné, že všechny měřené body s prokázaným i možným (neprokázaným) posunem v průběhu devíti měsíců mají klesající tendenci. Celkový pokles lokality v průměru o 1 mm lze zdůvodnit extrémními podmínkami před měřením obou etap. Podle údajů měsíčních úhrnů srážek v příloze č. 8 byl v květnu více než dvakrát větší úhrn srážek, než udává dlouhodobý průměr. Na začátku června, před zaměřením 8. etapy, bylo navíc velmi deštivo. Naopak zima před 9. etapou byla poměrně suchá a teplá, prakticky beze sněhu. Od prosince do března nenapadla vzhledem k dlouhodobému průměru ani polovina srážek.

Rozdíl mezi úhrnem srážek v měsíci před začátkem měření etap činí 125 mm. Tento údaj však musíme brát jako přibližný, neboť nejbližší hydrometeorologická stanice, ze které byla data převzata, se nachází v Brně Tuřanech, ležících 20 km východně od lokality. Rozdíl srážek je však tak velký, že i s určitou nejistotou dat musel značně ovlivnit výšku hladiny podzemní vody a tím i výšky bodů v obou etapách.



Graf 3 Posuny na profilu P1 - 109

Největší posun byl zaznamenán na bodě 104, od něhož se naměřené odchylky v hlavním profilu P1 – 109 postupně zmenšují. Výjimkou je bod 109, u kterého se nepředpokládal pohyb, ale oproti bodu 107 a 108 byl naměřen malý pokles.



Graf 4 Posuny na profilu 322.1 – 326.1

Na druhém profilu 322.1 – 326.1 byly naměřeny menší odchylky než v případě prvního. Můžeme si zde všimnout souvislosti kvality stabilizace bodů se získanými posuny. Na bodě 315 upevněném ve zdi sokolovny nebyl zjištěn žádný posun a můžeme tudíž předpokládat, že budova sokolovny má dostatečně hluboké základy a nepůsobí na ni vliv hladiny podzemní vody. Naproti tomu bod 317 stabilizovaný hřebovou značkou v obrubníku zaznamenal relativně velký pokles.

Rozdíl hodnot posunu mezi bodem 302 a sousedními body 104 a 105 je pravděpodobně také způsoben různou stabilizací. Body 101 – 109 jsou stabilizovány hřebovými značkami v asfaltu místní komunikace a jsou tedy náchylnější ke krátkodobým či sezónním vlivům než bod 302 stabilizovaný roxorem v betonovém celku kolem šachty.

8.1. POROVNÁNÍ S PŘEDCHOZÍMI ETAPAMI

Souhrnné výsledky etap, včetně etap předcházejících diplomantů, jsou k dispozici v příloze č. 6. Tato příloha rovněž obsahuje číselné porovnání jednotlivých etap vzhledem k nulté a porovnání etap ve stejném měsíci či ročním období pro odstranění sezónních vlivů. Získané odchylky byly dále převedeny na vertikální rychlost pohybu bodů za rok.

Pro lepší názornost posunů byly pro jednotlivé body vyhotoveny grafy časového průběhu odchylek vzhledem k nulté etapě. Grafy jsou doplněny přímkou výškové tendence, která by měla znázorňovat dlouhodobější charakter pohybu a odstranit působení sezónních či jiných krátkodobých jevů. Pro vzájemné porovnání posunů bodů byly vytvořeny dva souhrnné grafy, kdy jeden obsahuje body starší nivelační sítě (101 – 109) a druhý obsahuje body nověji vybudované sítě. Grafy lze nalézt v příloze č. 7.

8.1.1. HLAVNÍ PROFIL

Hlavní profil obsahující body 101 – 109 je měřený již od roku 2008, avšak od poloviny roku 2010 až do poloviny roku 2013 měřen nebyl. Tato tříletá mezera brání interpretaci krátkodobých posunů a zhoršuje přesnost určení dlouhodobých výškových trendů.

Z grafů jednotlivých bodů je patrné, že většina bodů má sestupnou výškovou tendenci. Nejrychleji klesá bod 103, který má přibližnou rychlost $-2,9$ mm/rok a který leží podle geologické mapy v blízkosti příčného tektonického zlomu. Tento zlom by mohl mít také vliv na bod 102, který klesá přibližně poloviční rychlostí než bod 103.

Dále na bodě 101 již žádné dlouhodobé pohyby nenastávají. Ovšem v jeho blízkosti na pilíři P1 s hloubkovou stabilizací byla zjištěna stoupající tendence téměř 2 mm/rok. Tato velká změna na poměrně malé vzdálenosti je nezvyklá a vyžaduje další etapová měření. Dle mého názoru může mít na výraznou změnu trendu vliv ne zcela vhodné místo pro stabilizaci bodu P1, který je umístěn v „bahenních“ sedimentech říčky Bobrava v těsné blízkosti železniční trati.

Na západ od bodu 103 směrem ke zlomu, tedy na bodech 104, 302 a 105, nebyly zaznamenány větší dlouhodobé změny. Zajímavý je pouze rozdílný směr tendence blízkých bodů 302 a 105, kdy prvně jmenovaný bod mírně stoupá a bod 105 mírně klesá. Podle geologické mapy České geologické služby (viz. příloha č. 9) probíhá v okolí bodu 105 jeden ze skrytých zlomů boskovické brázdy, který by mohl rozdílnou tendenci způsobovat. Avšak trend těchto bodů je vzhledem k jejich krátkodobým pohybům poměrně malý, takže je třeba v budoucnu vykonat další měření pro potvrzení pohybu tohoto zlomu.

Západní část profilu prochází kolem vodního zdroje „Prameniště Tetčice“, jehož deformační kužel hladiny podzemní vody zasahuje pod body P2 a 107. U bodu 107 lze spatřit kolem roku 2009 strmý pokles o 25 mm a jeho následné částečné vyrovnání, pravděpodobně způsobené změnami množství čerpání pitné vody. Po roce 2010 můžeme pozorovat mírnou klesající tendenci, která je též potvrzena bodem P2. Obdobné klesání bylo zjištěno i na bodě 108. Naproti tomu bod 109 dlouhodobé posuny nevykazuje.

8.1.2. BODY V INTRAVILÁNU OBCE

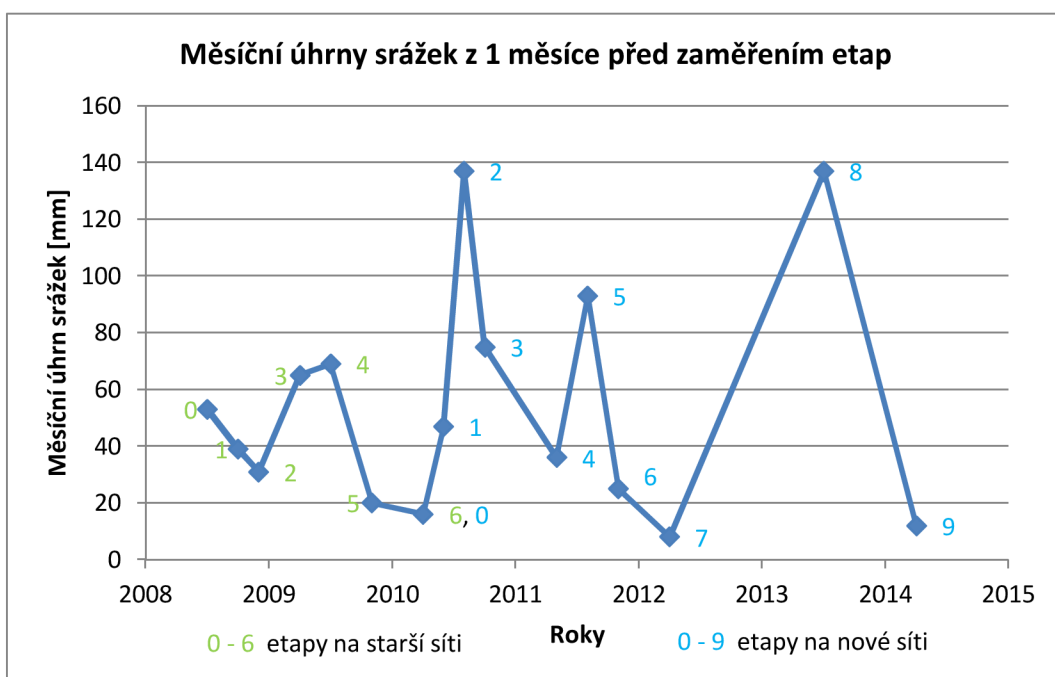
Body ve středu a v západní části obce (P3 a 315 – 322.1) mají klesající tendenci, přičemž body P3, 315 a 317 klesají rychlostí 1 mm/rok a body 319, 320 a 322.1 skoro o polovinu pomaleji. Výraznější klesající tendence je dána 2. – 4. etapou okolo roku 2011, kdy byly naměřeny hodnoty v průměru o 5 mm vyšší než v ostatních etapách. Nebýt těchto tří etap byly by výšky bodů dlouhodobě stabilní, kromě bodu 317, kde lze pozorovat mírný pokles. Je tedy otázkou, zda okolo roku 2011 nedošlo pouze k ojedinělé deformaci povrchu nebo k nechtěnému zavedení chyb do výpočtu, a mají-li být odlišné etapy započítány do dlouhodobého trendu.

Na bodě 327 byla zaznamenána stoupající tendence téměř 0,5 mm/rok a na bodě 326 (již zničeném) klesající -2,3 mm/rok. Ovšem tři etapy kolem roku 2011 se opět vymykají ostatním etapám, a to přibližně o -3 až -4 mm. Bez těchto etap zůstává bod 327 stabilní a bod 326 má výraznou klesající tendenci -3,5 mm/rok. Bod 326 byl však měřen pouze dva roky a poté byl nalezen zničený – roxor byl propadlý mezi betonovými díly, takže není vyloučeno, že výrazné klesání mohlo být způsobeno špatnou stabilizací.

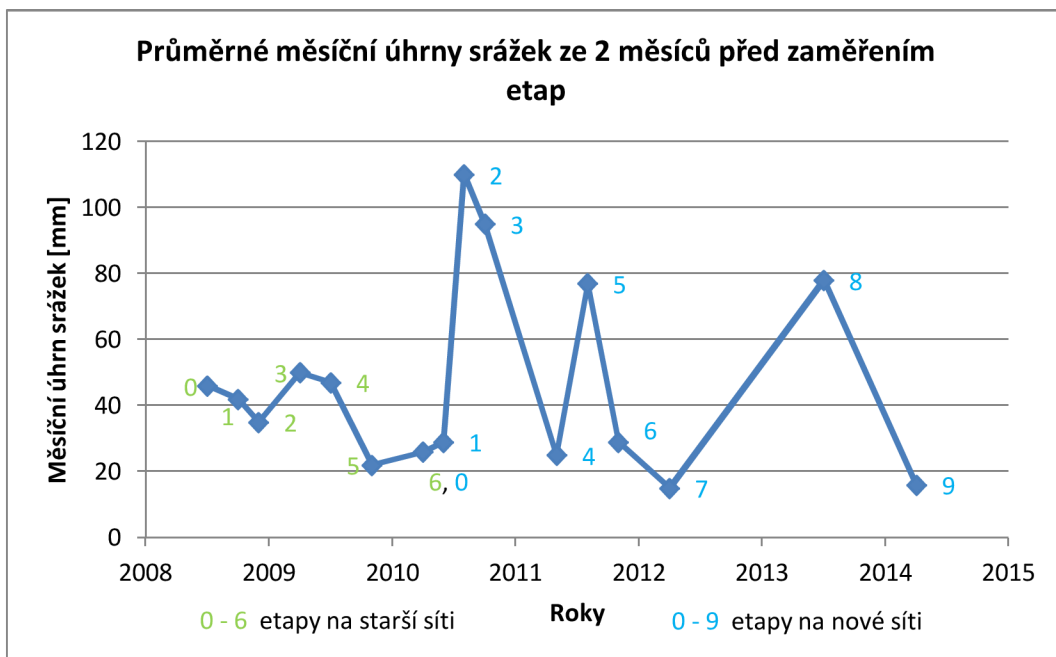
8.2. VLIV SRÁŽEK NA ETAPY

Většina pozorovaných bodů prokazuje nepravidelné vertikální posuny, a proto je vhodné zjistit, nemají-li na krátkodobý pohyb bodů zásadní vliv srážkové poměry. Údaje o úhrnech srážek byly získány z hydrometeorologické stanice v Brně Tuřanech, která zaznamenává měsíční data.

Byly vytvořeny dva grafy, v prvním je znázorněn úhrn srážek za jeden měsíc před měřeními pro každou z etap. K dispozici jsou ovšem jen měsíční data, takže byla-li etapa měřena v polovině kalendářního měsíce, vstupují do grafu průměrovaná data z měsíce měření a z předcházejícího kalendářního měsíce. Druhý graf je vyhotoven obdobně jako první s tím rozdílem, že je ke každé etapě přiřazen průměr srážek ze dvou měsíců před měřením.



Graf 5 Měsíční úhrny srážek z 1 měsíce před zaměřením etap



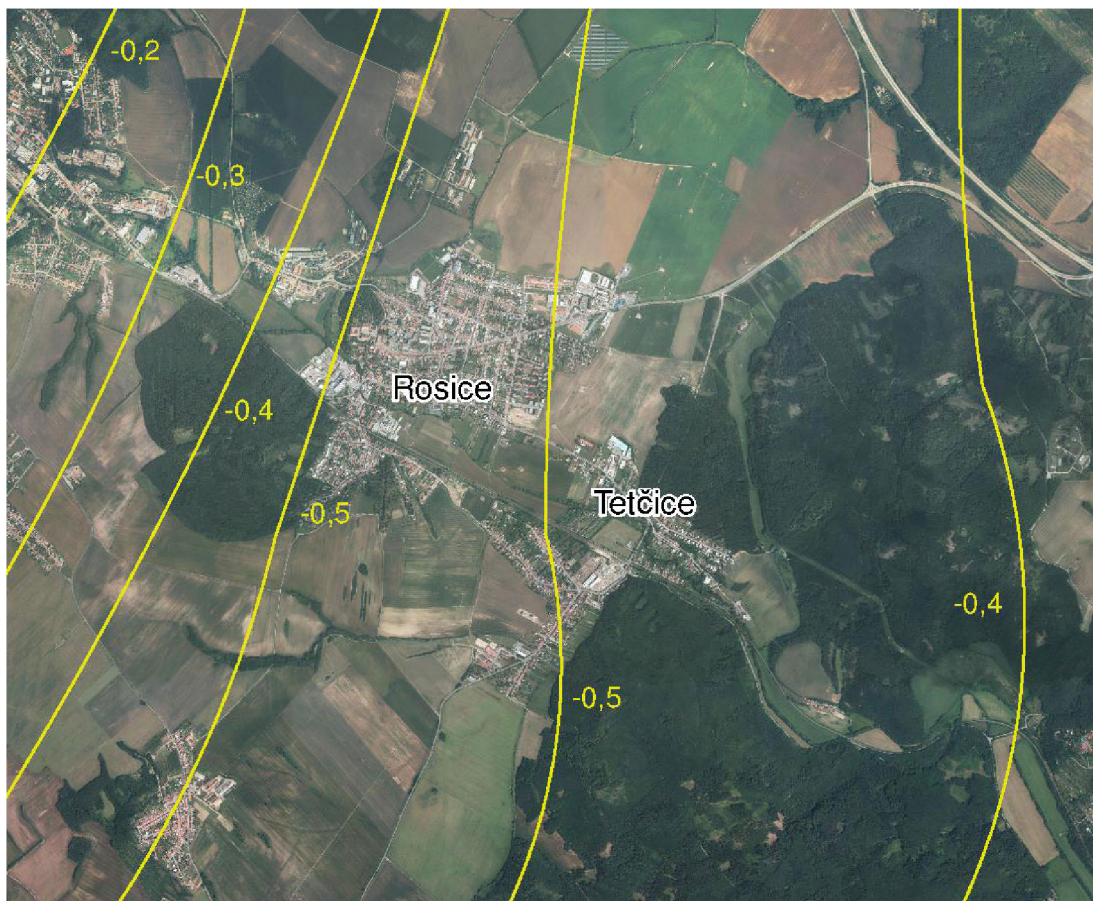
Graf 6 Průměrné měsíční úhrny srážek ze 2 měsíců před zaměřením etap

Z porovnání grafů srážek a grafů posunů jednotlivých bodů je vidět, že jsou body ovlivňovány aktuálními srážkami pouze v malé míře nebo vůbec, jako například na pilířích P1 a P2. Největší rozdíly se projevují v jarních měsících, kdy je srážek málo, ale většina bodů zaznamenává výrazné stoupání. Tento jev je pravděpodobně způsoben táním sněhu a je nejlépe viditelný na bodech 101 – 109. Výjimkou pak je jaro 2014, které následovalo po nezvykle suchém a teplém zimním období.

Pro lepší posouzení vlivu srážek je třeba měřit úhrny srážek přímo v Tetčicích nebo v okolních obcích, v nejlepším případě zjišťovat i výšky hladiny podzemní vody v místních studnách.

8.3. RECENTNÍ VERTIKÁLNÍ POHYBY

Zájmové území se podle mapy recentních vertikálních pohybů nachází v oblasti s ročním sedáním okolo 0,5 mm/rok. Okrajové části lokality (východní a západní) se mohou vzájemně lišit v poklesu až o 0,1 mm/rok. Tento rozdíl je vzhledem k době pozorování území (4 – 6 let) zanedbatelný a ve vyhotovené mapě dlouhodobých vertikálních tendencí (příloha č. 9) se viditelně neprojevuje. Ze zjištěných trendů jednotlivých bodů naopak vyplývá, že východní část území klesá rychleji.



Obr. 16 Mapa recentních vertikálních pohybů dle [27], rychlost uvedena v mm/rok

8.4. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ

Grafy, které byly použity pro znázornění posunů bodů, množství srážek a vliv systematických chyb, byly vytvořeny v programu Microsoft Office Excel 2010.

Další grafické zpracování proběhlo v softwaru ArcGIS 10.2 for Desktop. Tento program slouží především k zobrazování dat GIS, jejich analýze a k tvorbě mapových výstupů a obsahuje nástroje pro tvorbu, správu a editaci dat. Dále umožňuje vytvářet, upravovat a spravovat vektorové datové formáty a provádět kontroly topologie.

Při tvorbě grafických výstupů byly z balíku programů ArcGIS použity některé aplikace:

- ArcMap – centrální aplikace sloužící pro všechny mapové úlohy včetně kartografie, prostorových analýz a editace dat
- ArcToolbox – obsahuje kompletní sadu funkcí pro zpracování prostorových dat (geoprocessing) včetně nástrojů pro správu, generalizaci a konverzi dat a transformaci mezi souřadnicovými systémy
- ArcCatalog – pomáhá organizovat a spravovat data GIS
- ArcScene – nástroj sloužící k vizualizaci 3D dat [29]

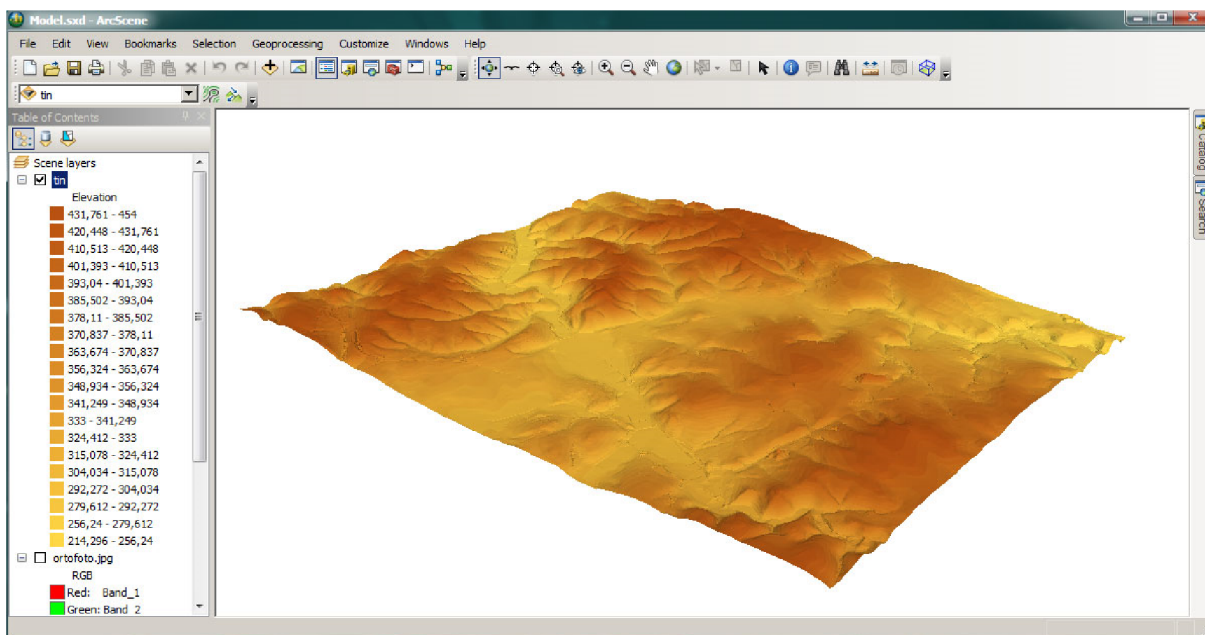
Samotné zpracování začalo v aplikaci ArcMap nastavením referenčního systému JTSK a importem měřených bodů, jejichž souřadnice byly převzaty z geodetických údajů. Bodům byly přiřazeny příslušné značky a čísla, vektorové kresby byly vytvořeny v nových vrstvách pomocí nástroje *Editor*.

Pro přehled měřické sítě v příloze č. 1 bylo jako podkladová mapa použito ortofoto z geoportálu ČÚZK, které bylo připojeno pomocí prohlížečské služby WMS. Mapa byla nakonec doplněna o legendu, měřítko, severku a zeměpisnou síť.

Geologická mapa lokality v příloze č. 9 byla převzata od České geologické služby v měřítku 1 : 25 000 včetně legendy mapy. Rastrová mapa pak byla natransformována na identické body ortofota pomocí nástroje *Georeferencing*.

Jako další příloha byly vyhotoveny dvě mapy geodynamických jevů (příloha č. 10). Jedna znázorňuje výškové odchylky mezi 8. a 9. etapou a druhá výškovou tendenci zájmového území zjištěnou ze všech proběhlých etap. Po nahrání bodů do programu byl z nabídky *3D Analyst Tools* vytvořen TIN ve 2D a dále převeden na rastr metodou přirozeného souseda. Na rastru se poté vytvořily vrstevnice a hypsometrické znázornění odchylek či trendu ve vhodné zvolené škále barev. Protože je rozmístění měřených bodů nerovnoměrné, dochází v okrajových oblastech lokality při interpretaci hypsometrií ke zkreslení. Jedná se především o oblasti kolem spojnic bodů P1 – P3 a P1 – 326/326.1, kde se tedy nemůžeme na správnost zobrazení spoléhat. Právě pro částečné zmírnění tohoto zkreslení nebyla pro tvorbu rastru použita metoda lineární interpolace, ale metoda přirozeného souseda.

Posledním grafickým výstupem je příloha č. 11, a to 3D model lokality Tetčice. Model byl vytvořen z dat ZABAGED získaných od Zeměměřického úřadu. Jednalo se o území velikosti čtyř mapových listů Základní mapy ČR 1 : 10 000 (24-34-01, 24-34-02, 24-34-06, 24-34-07). Z výškových dat (vrstevnice, výškové kóty, hrany terénu) byl vytvořen TIN ve 2D a následně v aplikaci ArcScene TIN ve 3D, kde bylo pro lepší názornost dvojnásobně zvětšeno měřítko výšek. Na tento TIN se dále přiložily ortofota zájmového území (Moravský Krumlov 40, 41, 50, 51) získané opět od Zeměměřického úřadu a doplnily se měřickou sítí a geologickými zlomy.



Obr. 17 TIN model reliéfu v prostředí programu ArcScene

9. ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo provést dvě etapová měření na polygonu Tetčice, který protíná tektonicky aktivní zlom, a navázat na výsledky dřívějších etap měřených již od roku 2008. Aby bylo možné plošně zachytit vertikální pohyby v lokalitě a následně je vyhodnotit, byl zaměřen druhý polygon přes vybrané body nivelační sítě vybudované na přelomu let 2009/2010. Etapy byly zaměřeny v červnu 2013 a březnu 2014 metodou VPN pomocí přístroje Leica DNA03. Nivelační polygony obsahují dohromady 20 bodů, včetně tří pilířů s hloubkovou stabilizací a jednoho bodu ČSNS stabilizovaného ve skále (vztažného bodu), a dosahují celkové délky téměř 3,5 km.

Při měření byla splněna přesnost metody VPN pro nivelační sítě II. řádu dodržením stanovených mezních odchylek, průměrná střední kilometrová chyba z obou etap nepřesáhla 0,3 mm. Naměřená data byla zpracována v programu Microsoft Office Excel 2010, kde byla opravena o korekce z teploty, délky laťového metru a z vlivu tíže. V prostředí tohoto softwaru byly také vyhotoveny grafické výstupy ve formě grafů výškových odchylek. Další grafické přílohy byly vytvořeny v programu ArcGIS 10.2 for Desktop. Výsledek měření je zobrazen v příloze č. 10, kde jsou hypsometricky znázorněny odchylky mezi mnou měřenou 8. a 9. etapou a dlouhodobé vertikální tendence zájmového území.

Mezi 8. a 9. etapou došlo k poklesu téměř celé lokality, pokles se neprokázal pouze v západní části území při okraji hlavního zlomu Boskovické brázdy. Největší posun nastal na bodě 104, který dosahoval téměř -3 mm. Celkový pokles lokality mají pravděpodobně na svědomí extrémní srážkové poměry, jejichž vliv (i když jen malý) je, společně se sezónními vlivy, sledovatelný na většině bodů.

Z dlouhodobého hlediska je výškový vývoj v lokalitě dosti různorodý. Většina západní části území klesá rychlostí 0,5 až 1 mm/rok, pouze na bodech 107 a 109 byla zjištěna mírná stoupavá tendence. Východní část je také převážně klesající, největší pokles probíhá na bodě 103, a to rychlostí téměř 3 mm/rok. Další výrazný pokles se projevuje na bodě 326, na který však může mít velký vliv špatná stabilizace. Naopak stoupající tendence probíhá na bodech 302 a 327. Zajímavostí je bod P1, který zaznamenává největší stoupání v lokalitě (téměř 2 mm/rok), které je zřejmě způsobeno kombinací vlivu blízké železnice, vodního toku a jílovým podložím.

Aktivita tektonického zlomu není na první pohled příliš patrná, její viditelný projev může nastávat mezi body 105 a 302, kde se mění směr výškové tendence, a v okolí bodu 103, kde může působit příčný zlom. Data jsou však získána z relativně krátkého období a pro přesnější určení účinků zlomu, je třeba měřit ještě několik let. Pro odstranění sezónních a srážkových vlivů je vhodné měřit výšky hladin podzemní vody v místních studnách, jak při, tak před etapovým měření přesné nivelace.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Tetčice - oficiální stránky obce [online]. 2013 [cit. 2013-09-19]. Dostupné z: <http://www.tetcice.cz/>
- [2] 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.
- [3] WITISKA, Michal. *Geodetické měření v síti Tetčice, Znojmo a Morava* [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-09-20]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/6.1/Witiska_Michal_CL.pdf. VUT, FAST, Ústav geodézie, Brno.
- [4] PAVLÁTOVÁ, Alžběta. *Petrografie hornin zastížených v profilu boskovické brázdy v údolí řeky Oslavy* [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-09-20]. Dostupné z: http://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.
- [5] ČOUPEK, Petr. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Geologická encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2013-10-03]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>
- [6] MÜLLER, Pavel a Zdeněk NOVÁK. *Geologie Brna a okolí*. 1. vyd. Praha: Český geologický ústav, 2000, 92 s. ISBN 80-707-5416-8.
- [7] Přehled geologické stavby moravika. *Geologická stavba moravika* [online]. Brno, 2006, 2011 [cit. 2013-10-03]. Dostupné z: http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/Nedvedice-mramor/moravikum_geologie.htm
- [8] BÍLEK, Dalibor. *Doplnění stávajícího jímacího území Tetčice o vrty HV2 a HV 125 a navýšení čerpání ze stávajících 15 l/s na 20 l/s: Dokumentace o hodnocení vlivů záměru na životní prostředí* [online]. Brno, 2008 [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: http://www.cenia.cz/eia/download/view=eia_cr&id=JHM432&file=dokumentaceDOC
- [9] BÍLEK, Dalibor a Juraj NÉMETH. *Stanovisko k posouzení vlivů provedení záměru na životní prostředí* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-10-20]. Dostupné z: http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX0pITTQzMl96YXZlcnlTdGFuRE9DXzEuZG9j/JHM432_zaveryStan.doc
- [10] Rosické uhelné doly. DIAMO, státní podnik. *O společnosti | DIAMO, státní podnik* [online]. 2013 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.diamo.cz/rosice>
- [11] PLCHOVÁ, Jarmila a Martin HORKÝ. *Stručná historie. VLASTIVĚDNÝ SPOLEK ROSICKO-OSLAVANSKA. Vlastivědný spolek Rosicko-Oslavanska* [online]. 2001

- [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.rosicko-oslavansko.cz/13-historie/29-strucna-historie/>
- [12] Tetčice - Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2.11.2013 [cit. 2013-11-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tet%C4%8Dice>
- [13] BLAŽEK, Radim a Zdeněk SKOŘEPA. *Geodézie 3: Výškopis*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 162 s. ISBN 978-80-01-04358-5.
- [14] BUREŠ, Jiří, Radim KRATOCHVÍL, Radovan MACHOTKA, Lubomil POSPÍŠIL, Otokar ŠVÁBENSKÝ a Josef WEIGEL. *Výuka v terénu IV: HE11 - Modul 01* [intranet]. Brno, 2007,
- [15] NEVOSÁD, Zdeněk a Josef VITÁSEK. *Geodézie III*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2000, 140 s. ISBN 80-214-1774-9.
- [16] VYKUTIL, Josef. *Vyšší geodézie*. Praha: Kartografie, n.p., Praha, 1982, 544 s.
- [17] 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.
- [18] NEUDERTOVIÁ, 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.
- [19] DANIEL, Radek. *Opakovaná přesná nivelace a GPS měření na polygonu Tetčice*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [20] VLK, Ondřej. *Zjištění stability výškového bodového pole: polygon Tetčice*. Brno, 2011. 42 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [21] ČÁP, Pavel. *Opakovaná nivelace na vodním zdroji Tetčice*. Brno, 2012. 50 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [22] DVOŘÁK, Jiří. *Opakovaná GPS měření na polygonu Tetčice a jejich interpretace*. Brno, 2012. 95 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [23] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica DNA03/DNA10: Návod k použití* [online]. Switzerland, 2004 [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/ftp/DNA/DNA_User_Manual_cs_1.2.0.pdf

- [24] *Metodický návod pro práce v základním výškovém bodovém poli*. Praha: Zeměměřický úřad, 2003.
- [25] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie I: Geodézie ve stavebnictví, GE16 Modul 02* [intranet]. Brno, 2006 [cit. 2014-02-12]
- [26] Portál ČHMÚ: Historická data: Počasí: Měsíční data. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_9_Mesicni_data&nc=1&portal_lang=cs#PP_Mesicni_data
- [27] VYSKOČIL, Pavel. Recent crustal movements, their properties and results of studies at the territory of Czech Republic. In: KOPECKÝ, A, Ludvík LOYDA a P VYSKOČIL. *Seismicity, neotectonics, and recent dynamics, with special regard to the territory of Czech Republic*. 1st ed. Zdíby: Research Institute of Geodesy, Topography, and Cartography, 1996, s. 77-120. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (Series), roč. 42, č. 15. ISBN 8085881047.
- [28] Geologická mapa 1 : 25 000. *Česká geologická služba* [online]. Česká geologická služba, 2013 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/
- [29] ArcGIS for Desktop. *ARCDATA PRAHA* [online]. ARCDATA PRAHA, s.r.o., 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/>
- [30] Prohlížečská služba WMS - Ortofoto. *Geoportál ČÚZK: přístup k mapovým produktům a službám resortu* [online]. ČÚZK, 2010 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(fget13452fa3agzo3opu5i45\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3121](http://geoportal.cuzk.cz/(S(fget13452fa3agzo3opu5i45))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3121)

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|---------|--|
| Bpv | - Balt po vyrovnání |
| ČSNS | - Česká státní nivelační síť |
| ČÚZK | - Český úřad zeměměřický a katastrální |
| GIS | - Geografický informační systém |
| GNSS | - Global Navigation Satellite System (Globální navigační satelitní systém) |
| GPS | - Global Positioning System (globální polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických) |
| PN | - Přesná nivelace |
| S-JTSK | - Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální |
| TIN | - Triangulated Irregular Network (nepravidelná trojúhelníková síť) |
| VPN | - Velmi přesná nivelace |
| WMS | - Web Map Service (webová mapová služba) |
| ZABAGED | - Základní báze geografických dat |

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Vizualizace vrstevnicových dat ZABAGED v lokalitě Tetčice [3]
- Obr. 2 Základní regionálně geologické rozdělení variské stavby Českého masivu [2]
- Obr. 3 Schematická geologická mapa brněnského masivu [2]
- Obr. 4 Příčný profil boskovickou brázdou v rosicko-oslavanské části [2]
- Obr. 5 Geologická mapa [8]
- Obr. 6 Teoretický dosah deprese hladiny podzemní vody při čerpání podzemní vody ze čtýř v množství 15 l/s (tenká čára) a 20 l/s (silná čára) [8]
- Obr. 7 Vliv zakřivení Země [13]
- Obr. 8 Vliv chyby z kompenzace [13]
- Obr. 9 Vliv chyby ze svislé složky refrakce [13]
- Obr. 10 Vliv chyba ze změny výšky přístroje [15]
- Obr. 11 Vliv tíhového pole Země
- Obr. 12 Leica DNA03,
dostupné z <http://central-surveying.com/image/cache/data/Leica%20DNA03%20Digital%20Level%20for%20Hire-500x500.jpg> [2. 2. 2014]
- Obr. 13 Leica DNA03
dostupné z http://geomarket.in.ua/image/cache/data/images/Leica/Leica_DNA_1-500x500.jpg [2. 2. 2014]
- Obr. 14 Zkouška podmínky L // Z [15]
- Obr. 15 Postavení patky latě
- Obr. 16 Mapa recentních vertikálních pohybů dle [27]
- Obr. 17 TIN model reliéfu v prostředí programu ArcScene

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 Vypuštěné nivelační body z měřické sítě
- Tab. 2 Ověření bodu Ocd-17.3 k bodu Ocd-17.4
- Tab. 3 Odchyšky nivelačního přístroje Leica DNA03 v.č. 339511
- Tab. 4 Odchyšky patek latí v mm
- Tab. 5 Porovnání rozdílů měření ve směru tam a zpět s mezní odchylkou
- Tab. 6 Porovnání součtu rozdílů měření tam a zpět v nivelačních pořadech s mezní hodnotou
- Tab. 7 Porovnání střední jednotkové kilometrové chyby s mezní hodnotou
- Tab. 8 Střední chyby měřených převýšení
- Tab. 9 Střední systematické kilometrové chyby
- Tab. 10 Korekce z vlivu tíhového pole Země
- Tab. 11 Porovnání 8. a 9. etapy

SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1 Vliv systematických chyb v 8. etapě
- Graf 2 Vliv systematických chyb v 9. etapě
- Graf 3 Posuny na profilu P1 – 109
- Graf 4 Posuny na profilu 322.1 – 326.1
- Graf 5 Měsíční úhrny srážek z 1 měsíce před zaměřením etap
- Graf 6 Průměrné měsíční úhrny srážek ze 2 měsíců před zaměřením etap

SEZNAM PŘÍLOH

| | | |
|-------------------------------------|----------|----------------------------|
| 1. Přehled měřické sítě | 1 strana | volná příloha |
| 2. Nivelační údaje | 13 stran | pouze elektronická příloha |
| 3. Nivelační zápisníky | 35 stran | pouze elektronická příloha |
| 4. Zkoušky přístroje | 4 strany | volná příloha |
| 5. Výpočet převýšení a výšek | 5 stran | volná příloha |
| 6. Číselné výsledky a srovnání etap | 6 strany | volná příloha |
| 7. Grafy posunů | 11 stran | volná příloha |
| 8. Měsíční úhrny srážek | 4 strany | volná příloha |
| 9. Geologická mapa | 1 strana | volná příloha |
| 10. Mapa geodynamických jevů | 2 strany | volná příloha |
| 11. 3D model lokality Tetčice | 1 strana | volná příloha |
| 12. Kalibrační listy latí | 4 strany | pouze elektronická příloha |