

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Gravimetrické měření nad dálničním tunelem Valík

Bakalářská práce

František Staněk



Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Vratislav Blecha, CSc.

Praha 2009

UŽITÁ GEOFYZIKA
GRAVIMETRIE
(GRAVIMETRICKÝ MĚŘENÍ,
TUNEL VALÍK
TÍHOVÉ ZRYCHLENÍ)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím zdrojů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Praze dne 12. 8. 2009



František Staněk

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi pomáhali a podpořili mě při vypracování této bakalářské práce.

Zejména bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce RNDr. Vratislavu Blechovi, CSc. za metodické vedení, cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval.

Klíčová slova

Tunel, gravimetrický průzkum, interpretace gravimetrických dat.

Abstrakt

Tato práce se zabývá aplikací gravimetrického měření při průzkumu podzemních dutin. Popisuje měření v terénu, zpracování a interpretaci naměřených dat. Objektem průzkumu je dálniční tunel Valík (dálnice D5) na jih od Plzně. U tohoto objektu známe, jak technické parametry, tak horninové prostředí, ve kterém je tunel vyražen.

Měření bylo provedeno na 200 m dlouhém profilu s gravimetrickými body vzdálenými 5 m. Všechny body byly změřeny dvakrát v různých časech kvůli určení chyby měření. Nad tunelem Valík byla zjištěna záporná tíhová anomálie, jejíž amplituda odpovídá předběžnému hustotnímu modelu. Jižně od tunelu Valík byla na měřeném profilu zaznamenána další výrazná záporná anomálie, jejíž zdroj je v současnosti neznámý.

Keywords

Tunnel, gravity survey, gravity interpretation.

Abstract

This work deals with application of gravity measurement in survey of subsurface cavities. It describes field measurements, processing and interpretation of measured data. The object of survey is highway tunnel Valík (highway D5) on the south of Plzeň. We know technical parameters of this object and geological situation of the place in which the tunnel is driven.

Measurement was done on 200 m long profile with distance 5 m between gravity stations. All stations were measured twice at different times for detection of error of measurements. Above the tunnel Valík was discovered negative gravity anomaly, which amplitude had been predicted by preliminary density model. On the south of the tunnel was recorded on measured profile another negative anomaly, caused by unknown source at this time.

SEZNAM OBRÁZKŮ V TEXTU

- Obr. 1: Postup ražby
- Obr. 2: Příčný řez tunelem
- Obr. 3: Geologická mapa v okolí tunelu Valík
- Obr. 4: Podélný řez tunelovou troubou
- Obr. 5: Geologický příčný řez v místě gravimetrického profilu
- Obr. 6: Mapy s orientačním vyznačením geofyzikálního profilu nad tunelem Valík
- Obr. 7: Relativní výšky gravimetrických bodů
- Obr. 8: Nivelační stroj Zeiss Ni 007
- Obr. 9: Digitální gravimetr Scintrex CG-3M
- Obr. 10: Časové variace tíhového pole
- Obr. 11: Bouguerovy anomálie dvakrát změřeného profilu s křivkami regionálního trendu. L1 první měření, L2 druhé měření.
- Obr. 12: Bouguerovy anomálie L1 a L2 opravené o regionální trend (reziduální anomálie) s červeně vyznačenou negativní anomálií
- Obr. 13: Rozdíl naměřených hodnot prvního a druhého měření L1 a L2
- Obr. 14: Souhrnné grafické výsledky gravimetrického měření nad tunelem Valík

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Originální naměřená data (výstup z gravimetru)
 - a) Měření na základním bodě
 - b) První měření profilu
 - c) Druhé měření profilu
- Příloha 2: Vybrané části projektové dokumentace SO 600 TUNEL VALÍK
 - a) Situace
 - b) Charakteristický příčný řez
 - c) Podélný řez levou tunelovou troubou
- Příloha 3: Fotodokumentace

OBSAH

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

KLÍČOVÁ SLOVA (KEYWORDS), ABSTRAKT (ABSTRACT)

SEZNAM OBRÁZKŮ V TEXTU

SEZNAM PŘÍLOH

1. ÚVOD.....	1
2. TUNEL VALÍK.....	2
2.1. Technický popis.....	2
2.2. Geologická situace.....	3
3. TERÉNNÍ PRÁCE.....	5
4. ZPRACOVÁNÍ DAT.....	8
5. INTERPRETACE DAT.....	13
6. ZÁVĚR.....	15

LITERATURA

PŘÍLOHY

1. ÚVOD

Gravimetrie je geofyzikální metoda studující přirozené tíhové pole Země. Pomocí gravimetrů měříme tíhové zrychlení, které působí na daném místě na Zemi na všechny hmoty stejně bez ohledu na jejich hmotnost. Při měření používáme jednotku soustavy CGS miliGal (mGal); $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m.s}^{-2}$. Metoda využívá různých hodnot tíhového zrychlení na měřených bodech. Odlišné hodnoty jsou způsobeny různými hustotami hornin v mělkých oblastech zemské kůry, kdy vyšší hustota objektu způsobuje vyšší tíhové zrychlení a nižší hustota způsobuje nižší tíhové zrychlení. Měřené tíhové zrychlení také závisí na nadmořské výšce a na poloze měřeného bodu, kdy klesá s rostoucí nadmořskou výškou a s postupem od rovníku k pólům roste díky klesajícímu odstředivému zrychlení Země rotující kolem své osy. Naměřené hodnoty jsou dále ovlivněny časovými variacemi pole způsobenými slapovými účinky Slunce a Měsíce, chodem gravimetru a vlivem okolních regionálních hornin (Lowrie 1997).

Nejčastější způsob měření je měření relativní, které se opírá o síť základních tíhových bodů, na kterých jsou známy absolutní hodnoty zemského tíhového zrychlení, nebo se může vztahovat k vlastnímu opěrnému bodu. Výsledkem je pak porovnání hodnot tíhového zrychlení na jednotlivých měřených bodech. Relativní měření se provádí pomocí přenosných terénních gravimetrů. Principem těchto přístrojů je sledování dilatace pružiny se závažím, která se mění s tíhovým zrychlením na měřených bodech. Dnes se využívají gravimetry většinou digitální s velmi vysokou citlivostí $1 \mu\text{Gal}$.

Mapováním tíže se lokalizují místní odchylky (anomálie) tíhového zrychlení od tzv. normálního tíhového zrychlení. Normální (teoretické) tíhové zrychlení je vypočtené pro pravidelný matematický model Země. Naměřená terénní data se zpracovávají standardním způsobem, kdy zavádíme opravy na negeologické změny tíže a změřené hodnoty porovnáváme s teoreticky predikovaným modelem. V závislosti na standardu, který používáme, rozeznáváme anomálie Fayeovy, Bouguerovy a anomálie izostatické. Nejčastějším způsobem zpracování naměřených dat v aplikované geofyzice je výpočet Bouguerovy anomálie. Vypočtené anomálie se pak využívají při interpretaci, jejímž úkolem je určení zdroje anomálie.

Gravimetrie je tedy možné využít všude tam, kde se v geologickém prostředí nacházejí hustotní nehomogenity projevující se jako anomálie vůči okolí. Uplatnění v geologii nachází například při studování geologické stavby povrchových partií Země, při lokalizaci podpovrchových dutin, lokalizaci zlomových a rozvolněných zón, při průzkumu a vyhledávání ložisek nerostných surovin, v hydrogeologii, při řešení inženýrsko-geologických problémů apod.

Cílem bakalářské práce mělo původně být srovnání přesnosti dvou různých mikrogalových gravimetrů: Scintrex CG-3M Přírodovědecké fakulty UK v Praze a ZLS Burris Západočeské univerzity v Plzni. Bohužel, během terénního měření došlo u stroje ZLS Burris k poruše. Byli jsme proto nuceni téma modifikovat. Novým úkolem se stalo seznámit se s organizací terénního gravimetrického měření, zpracováním naměřených dat do formy Bouguerových anomálií, kvalitativní interpretací a prezentací výsledků měření. Jako objekt průzkumu byl zvolen dálniční tunel Valík jižně od Plzně na dálnici D5. U tohoto objektu známe jeho velikost, tvar, hloubku pod povrchem a rovněž geologickou stavbu okolí. Této skutečnosti bude možné využít později při psaní diplomové práce pro výpočet přesného modelu prostředí a jeho porovnání s naměřenými daty.

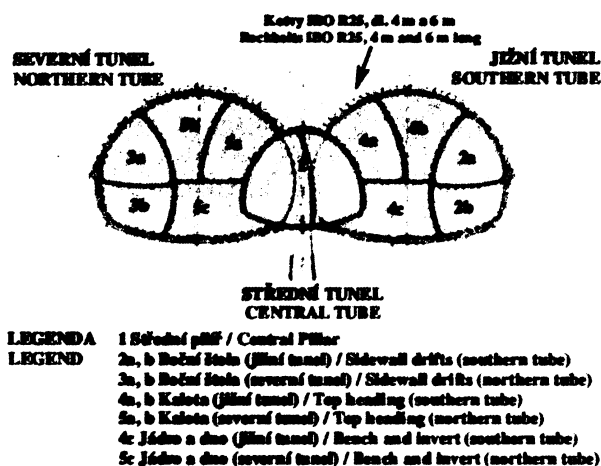
2. TUNEL VALÍK

2.1. Technický popis

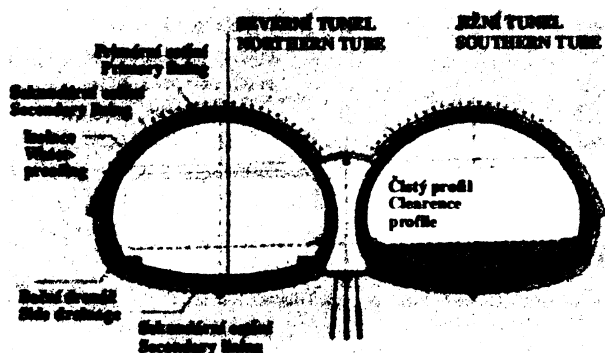
Tunel Valík byl uveden do provozu 6. října 2006 jako poslední chybějící část dálnice D5 spojující Prahu a Rozvadov. Objekt ražený v nezastavěném lesním území pod stejnojmenným vrchem je nejdůležitějším úsekem dálničního obchvatu města Plzně v blízkosti obcí Radobyčice, Štěnovice a Útušice.

Tunel Valík je relativně krátký dvoutroubový dálniční tunel, kde v každé troubě jsou dva jízdny pruhy široké 3,75 m a jeden nouzový pruh široký 3,25 m. Obě tunelové trouby jsou vybudovány těsně vedle sebe. Oddělené jsou pouze společným železobetonovým pilířem, z důvodu minimalizace zásahu do krajiny (Obr. 2). Severní tunelová trouba je dlouhá 390 m a jižní je o deset metrů kratší, 380 m dlouhá. Maximální výška průjezdního profilu je 4,8 m při běžném provozu a pro dopravu mimořádných nadměrných nákladů je možná výška 5,2 m (Hajič nedatováno). Součástí objektu je i provozně technický objekt u rozvadovského portálu.

Po prvotním podrobném průzkumu horninového masivu realizovaném průzkumnou štolou a sanaci horninového prostředí injektáží se postupně začalo se s ražbou, jak je vidět na Obr. 1. Jako první byl vyražen střední tunel, kde v jeho centru je umístěn střední pilíř vysoký 7,40 m. Dále se postupovalo symetricky s osou dálnice ražbou bočních štol, kalot, jádra a dna. Ražba tunelu byla provedena novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) s minimálním použitím trhavin. Kvůli zjištěným složitým geologickým podmínkám bylo rozhodnuto o použití observační metody, pomocí které je možné průběžně vyhodnocovat správnost původně určeného postupu práce a měnit jej v průběhu ražby na základě pravidelně vypracovávaných prací geotechnického monitoringu. Zásadou technologického postupu bylo vybudování nejprve 300 mm silného primárního ostění z vyztuženého stříkaného betonu v celém tunelu (včetně středního pilíře) a následně sekundárního (definitivního) ostění, které je monolitické železobetonové (Svoboda a Švarc 2005).



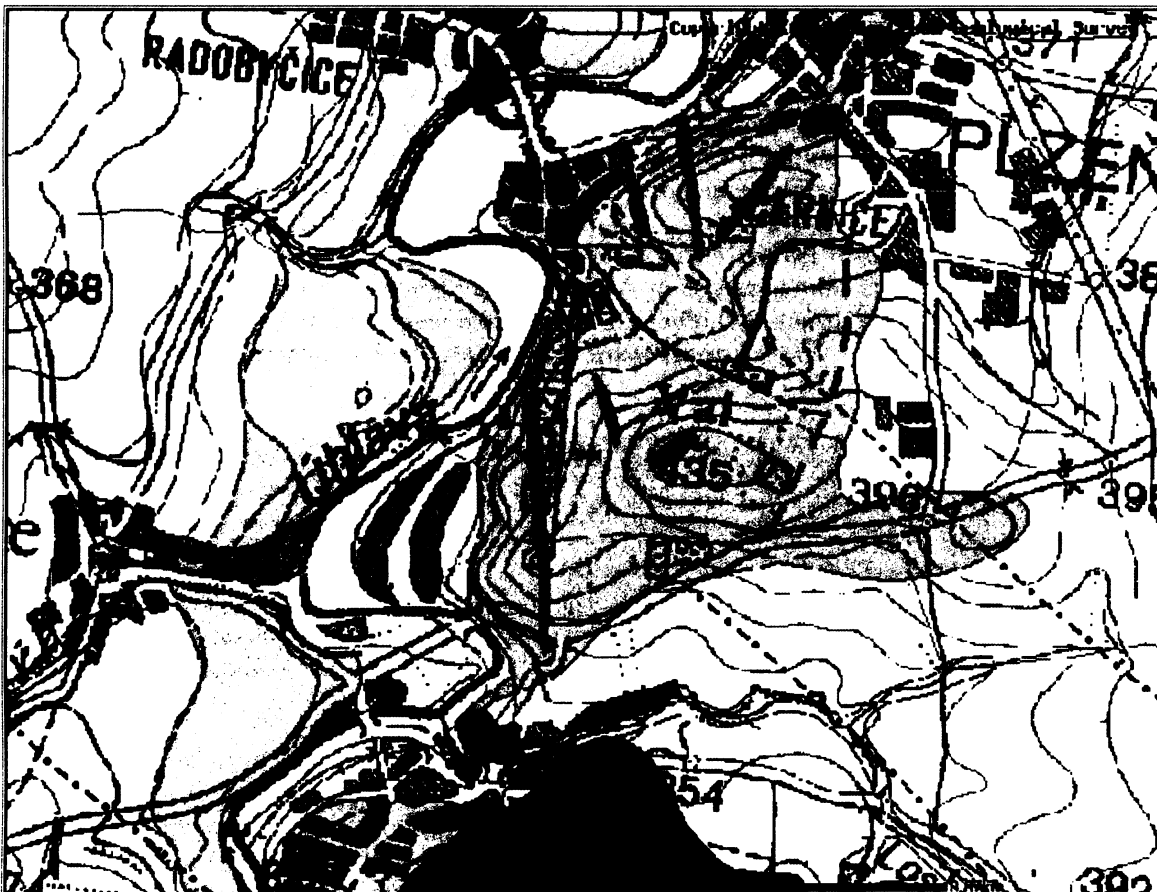
Obr. 1: Postup ražby (zdroj: Svoboda a Švarc 2005)



Obr. 2: Příčný řez tunelem (zdroj: Svoboda a Švarc 2005)

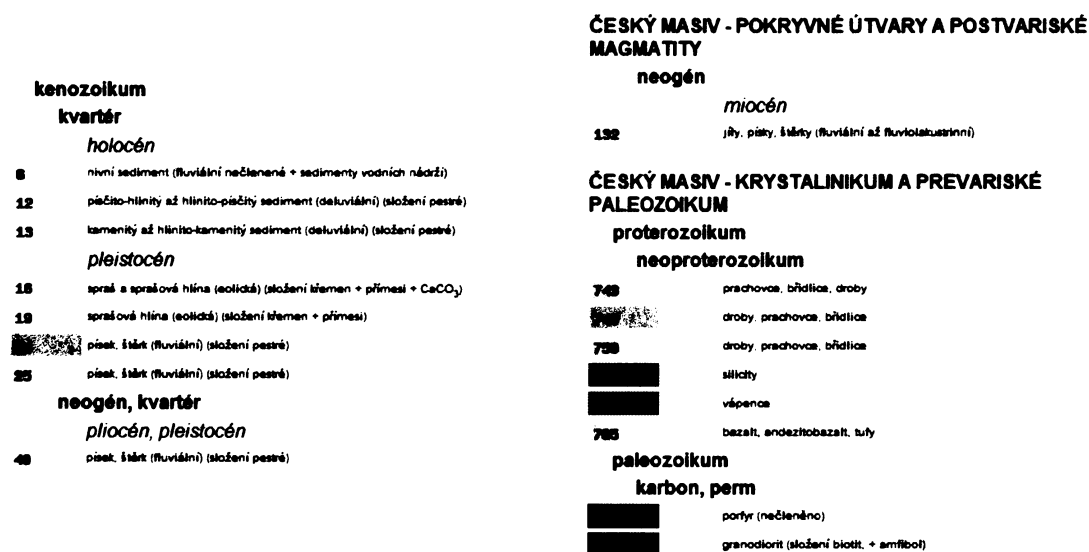
2.2. Geologická situace

Tunel je veden jihozápadně od vrchu Val (435 m n. m.) menším kopcem Valík. Lokalita je podle geologické mapy (Obr. 3) situována v oblasti bohemika jižně od plzeňské pánve v jednotce proterozoika. Vyskytují se zde hlavně proterozoické břidlice, prachovce a droby prostoupené paleozoickými porfýry.



Levý horní a pravý dolní roh (Křovák) : [-823583; -1075455] [-819246; -1078756], 1:14000

Sjednocená legenda GeoČR 60

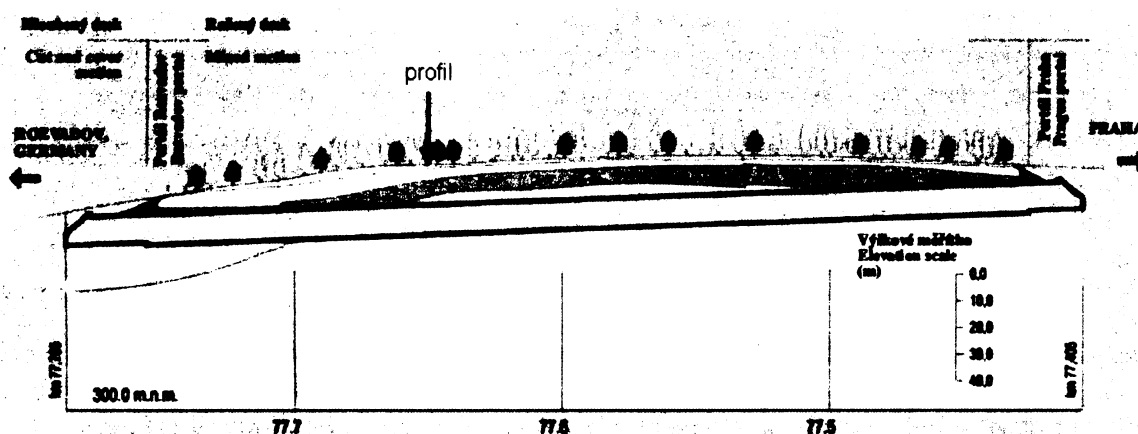


Obr. 3: Geologická mapa v okolí tunelu Valík (zdroj: Česká geologická služba)

Podle Svobody a Švarce (2005) je vrch Valík pokryt 0,5 – 2 m mocnými svahovými kvartérními sedimenty. Na povrchu jsou pod humózní hlínou písčité štěrky, místy jílovité s ostrohrannými úlomky silně zvětralých porfyrů a spilitů. Tunel je ražen v slabě metamorfovaných proterozoických břidlicích. Břidlice jsou zvětralé až silně zvětralé. Silné zvětrání se pohybuje v hloubkách od 3 m až do hloubky přibližně 20 m po celé délce tunelu. Tektonické postižení je silné, břidlice jsou rozpukané, místy intenzivně čtyřmi a více puklinovými systémy. Silné rozpukání minimálně ve třech směrech, výplň puklin limonitem a jílovými minerály, spolu s navětráním až zvětráním porfyru jsou velice vhodným prostředím pro tvorbu větších nezáviněných nadvýlomů.

Vzhledem k mělkému umístění tunelu (geotechnicky nevýhodnému) s nadloží mocným 5 – 12 m byla vyžadována pro zajištění bezpečnosti práce a optimalizaci technologie provádění perfektní znalost o horninovém prostředí. Proto byl realizován podrobný geologický průzkum pomocí ražené průzkumné štoly. Ostění této štoly bylo navrženo asi uprostřed budoucího středového tunelu a separováno tak od ostění budoucích tunelových trub.

Ze zkušenosti s předstihovou ražbou štoly se předpokládalo tvoření nadvýlomů od 0 % do 10 % plochy výrubu. Po délce tunelu, jak je vidět i z Obr. 4, se nacházejí minimálně dvě tektonická pásma, která mají oproti okolní hornině horší mechanické a stabilitní vlastnosti a ještě výraznější tendenci k tvoření nadvýlomů (Svoboda a Švarc 2005; Hajič nedatováno).

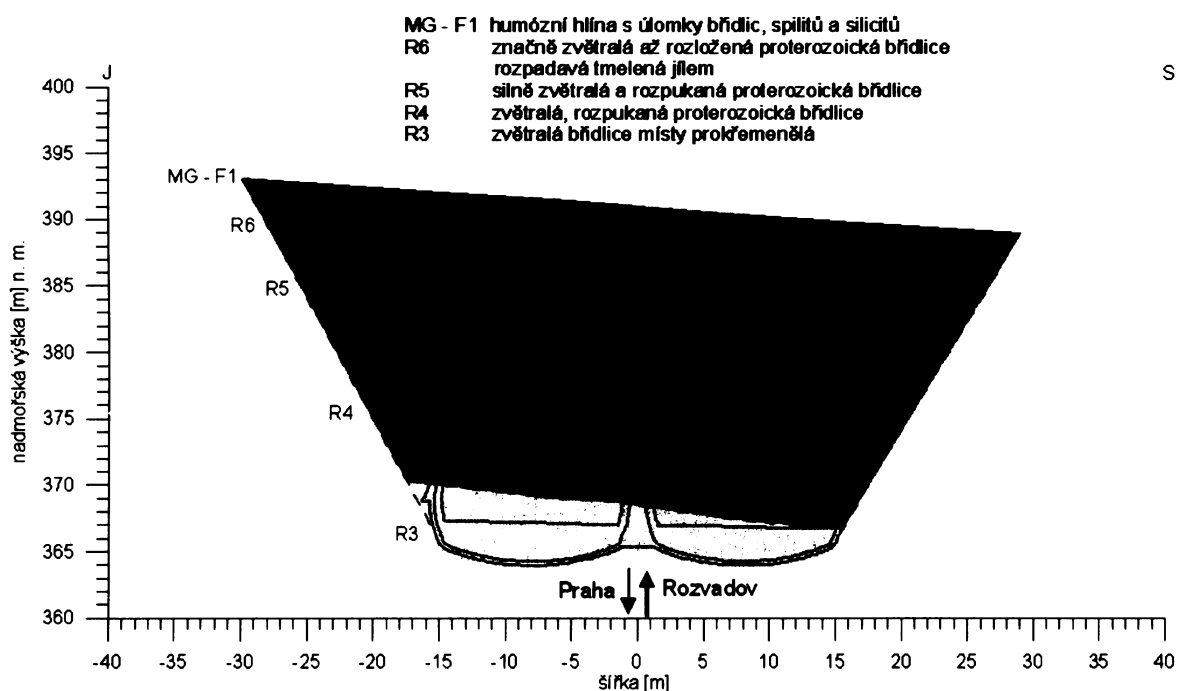


Obr. 4: Podélný řez tunelovou troubou (zdroj: Svoboda, Švarc, 2005)

Skalní horniny se rozdělují do šesti tříd R1 až R6 podle pevnosti a stupně zvětrání. Nejpevnější jsou horniny třídy R1 (Hájek 2003). Základová půda pod plošnými základy tunelu Valík je v horninách třídy R4 s pevností 5 – 15 MPa a v horninách třídy R3 s pevností 15 – 50 MPa (viz Obr. 5). Hornina je však tektonicky porušená a značně rozpukaná, což způsobuje nestabilitu nezajištěného výrubu (Svoboda a Švarc 2005).

Pro zpracování a interpretaci naměřených dat je důležitá informace o hustotě okolní horniny. Podle práce vypracované Markem (2005) je průvodní horninou navětralý skalní materiál, do kterého nezasahuje podzemní voda a jehož fyzikálním parametrem je mimo jiné i objemová tíha $\gamma_{unsat} = 23 \text{ kN/m}^3$. Tuto vlastnost lze převést na hustotu po vydělení průměrným tíhovým zrychlením $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Dostáváme tak hustotu $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$.

GEOLOGICKÝ PŘÍČNÝ ŘEZ

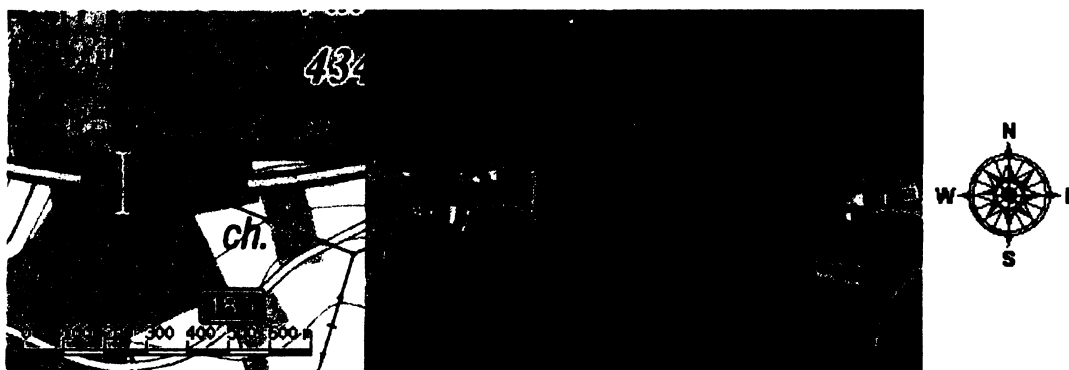


Obr. 5: Geologický příčný řez v místě gravimetrického profilu (dle předlohy Pragoprojekt, a.s.)

3. TERÉNNÍ PRÁCE

Pro přípravu terénních prací bylo použito přesných plánů a map. Části projektové dokumentace dálničního tunelu Valík (viz Příloha 2) byly zapůjčeny po předchozí domluvě s vedoucím střediska podzemních staveb projektově-inženýrské společnosti Pragoprojekt, a.s. Ing. Jiřím Svobodou. Tato společnost specializující se na dopravní stavby projektovala i tunel Valík.

Z technických plánů a přehledových map bylo určeno místo pro měření, potřebná délka geofyzikálního profilu a délkový interval mezi jednotlivými gravimetrickými body na měřeném profilu tak, aby byla z naměřených dat dostatečně viditelná předpokládaná anomálie způsobená tunelem. Jelikož vede kolmo přes tunel v jinak zalesněném území zpevněná pěší cesta, byla vyhodnocena jako nejvhodnější místo pro měřený profil (viz Obr. 6). Předběžně určená délka profilu byla 120 m a vzdálenost mezi jednotlivými gravimetrickými body 5 m.

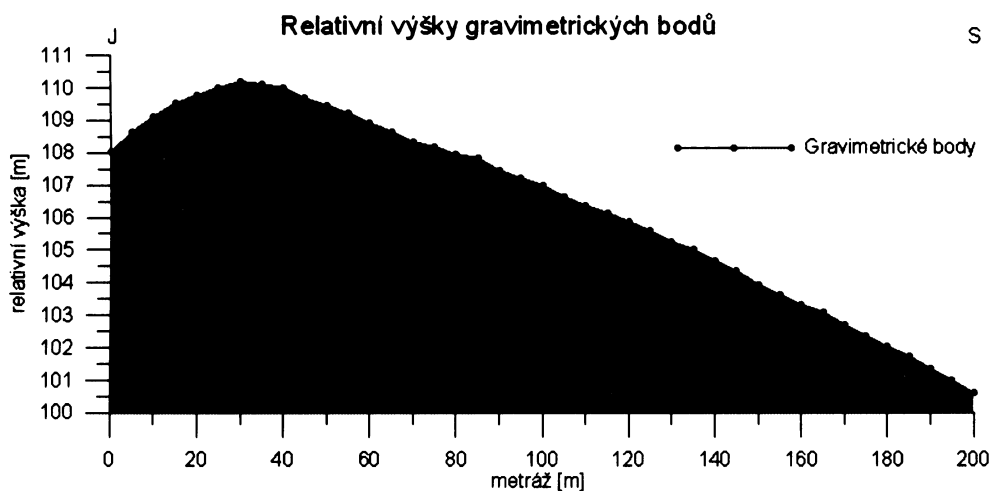


Obr. 6: Mapy s orientačním vyznačením geofyzikálního profilu nad tunelem Valík

Dne 11. června 2009 po příjezdu k vrchu Valík a prohlédnutí lokality byla z důvodu dobré přístupnosti cesty délka profilu zvětšena na 200 m, což mělo za cíl spolehlivěji pokrýt a přesáhnout celou šířku předpokládané anomálie. Poté bylo pomocí pásma a vyznačovacího spreje na povrchu cesty vyznačeno po 5 m všech 41 gravimetrických bodů profilu v J - S směru a jeden základní bod v blízkosti nejsevernějšího bodu profilu. Počáteční nulový bod profilu byl zvolen na jižním kraji profilu.

Pro gravimetrické body je nutné znát jejich nadmořské výšky. Proto byly ve spolupráci s kolegy ze Západočeské univerzity v Plzni výškově zaměřeny, pomocí nivelačního stroje Ni 007 od firmy Carl Zeiss Jena (viz Obr. 8), metodou geometrické nivelace ze středu na lať. Měření výšek bylo stejně jako měření gravimetrické relativní. Nevztahovalo se tak k bodu s přesně známou hodnotou nadmořské výšky, ale k určené výšce 102 m v místě počátku nivelování. Všechny ostatní měřené výšky se tak vztahovaly k tomuto místu a byly relativní.

Čtením na lati vzad byla určena výška horizontu nivelačního stroje. Od této výšky se pak odečtením hodnoty na lati měřily výšky jednotlivých bodů, to se nazývá bočné čtení na lati. Pokud nebylo možné díky morfologii terénu dohlédnout na nivelační lať a zaměřit tak výšku dalších bodů, bylo potřeba přestavit polohu stroje. To se dělá pomocí přestavového bodu a čtením na lati vpřed. Následovalo čtení na lati vzad pro opětovné určení nového horizontu stroje. Poté se opakoval stejný postup měření výšky bodů do té doby, než došlo k uzavěru měření pro kontrolu přesnosti měření. Chyba na uzavěru vyšla 7 mm, což je možné zanedbat, neboť vliv této chyby na měření je v řádu prvních μGal a je srovnatelný s přesností měření. Veškeré změřené hodnoty byly postupně zapisovány do zápisníku pro technickou a plošnou nivelaci.



Obr. 7: Relativní výšky gravimetrických bodů



Obr. 8: Nivelační stroj Zeiss Ni 007

Tíže byla změřena digitálním gravimetrem CG-3M, vyrobeným v Kanadě firmou Scintrex Limited (viz Obr. 9). Tímto přenosným digitálním gravimetrem s křemennou pružinou a citlivostí 1 μGal se měří relativní tíhové zrychlení. To znamená, že se neměří hodnota tíhového zrychlení na jednom bodě, ale měří se rozdíly mezi určenými gravimetrickými body. Relativně měřená hodnota se může vztahovat k přesné hodnotě tíhového zrychlení na bodu státní gravimetrické sítě nebo k hodnotě na individuálně určeném základním bodě. V našem případě byl zvolen vztahový bod individuálně.

Naměřená hodnota tíže g obsahuje účinky všech faktorů včetně těch, které nás nyní nezajímají. Mezi ně patří například vliv slapových jevů, vliv hlubší geologické stavby, vliv regionálních geologických hmot, vliv topografie, vliv změn chodu gravimetru.

Vzhledem k tomu, že moderní gravimetry měří tíži velmi citlivě, je vliv časových variací slapových jevů při přesném mikrogravimetrickém měření nezanedbatelný. Variace dosahují hodnot až 0,3 mGal s periodou 6 hod. Musíme proto zavádět opravy na slapové efekty, které se mění s místem a denním časem. Z tohoto důvodu byla před vlastním měřením v gravimetru nastavena zeměpisná šířka a zeměpisná délka měřené lokality, datum a čas měření. Zabudovaný software pak sám přepočítával a opravoval měřené hodnoty o slapové jevy. Software dále automaticky opravoval data i o dlouhodobý lineární chod gravimetru způsobený přirozeným stárnutím pružin uvnitř stroje.

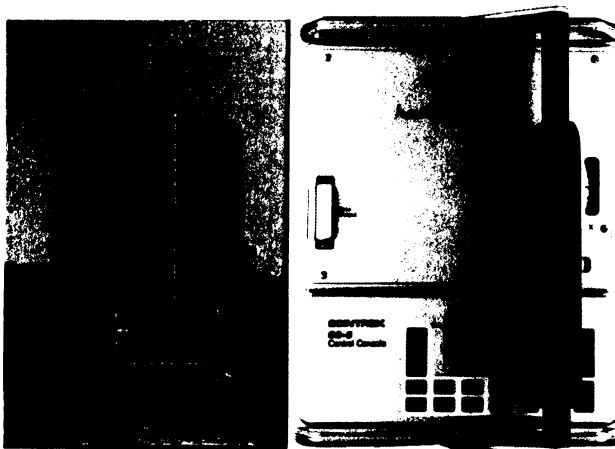
Pro zvýšení přesnosti výsledků měření bylo na základním bodě opakováno měření zhruba každou hodinu. Při tomto opakovaném měření registrujeme reziduální chod gravimetru a reziduální hodnoty slapových jevů dané lokálními proměnlivými podmínkami, jako například horninové složení, tlak vzduchu, hladina podzemní vody, atd. Tyto vlivy od sebe ve výsledku neumíme odlišit, ale to nám nevádí, neboť chceme vyloučit oba a odstraňujeme je společně od naměřených dat. Časový interval jedné hodiny byl dán proto, že během jedné hodiny jsou změny takřka lineární a není proto potřeba častějšího měření (Blecha 2009).

Samotné měření se začalo s dvakrát opakovaným měřením na základním bodě pro ustálení pružiny gravimetru po jeho převozu automobilem. Dále bylo realizováno na vyznačených bodech profilu ve směru od jihu k severu, s rostoucí tíží. V našich zeměpisných šířkách roste o 1 μGal / 1,2 m k severu díky snižujícímu se odstředivému zrychlení rotující Země. Celý profil byl změřen dvakrát vzhledem k původnímu záměru měření, kterým bylo porovnat přesnost gravimetru Scintrex CG-3M s gravimetrem ZLS Burris vlastněným Západočeskou univerzitou v Plzni. Z důvodu poruchy stroje ZLS Burris během měření jsme byli nuceni pozměnit téma této bakalářské práce. Dále zpracována jsou tedy jen data změřená gravimetrem Scintrex CG-3M a opakované změřené profilu využito pro ověření přesnosti měření a pro výpočet střední kvadratické chyby měření.

Postup měření byl na všech bodech stejný. Po postavení gravimetru na stativ (tzv. tripod) nad gravimetrický bod se pomocí kompenzačních šroubů srovnal náklon stroje do přibližně vodorovné polohy. Na displeji se zobrazovala odchylka od vodorovné polohy v obou směrech. Po dorovnání do přesně vodorovné polohy číselně potvrzené na displeji, bylo spuštěno měření. Stroj pak každou vteřinu zaznamenával hodnotu, dokud jich nezaznamenal šedesát, z nichž jako výsledek spočetl průměr. Toto měření však většinou netrvalo 60 sekund, neboť vždy, když byla zaregistrována příliš velká odchylka od průměrné hodnoty, byla tato hodnota vyřazena a dále nezapočítávána, což se objevovalo na displeji, a musela být nahrazena jinou. Zvětšení odchylky bylo pravděpodobně způsobeno okolními vibracemi přenesenými na stroj. Nakonec bylo nutné změřit kapesním metrem výšku stativu a její hodnotu uložit do paměti pomocí tlačítek u displeje na horní straně stroje spolu s naměřenou průměrnou hodnotou. Pak se mohl stroj a stativ přenést na následující bod profilu, kde se stejný postup opakoval.

Kontinuita celého měření byla narušena bouří a prudkým deštěm v čase od 11:35 do 13:00 hod., kdy nebylo možno používat gravimetr. Tento fakt má za následek výpadek registrace hodnot reziduálních časových variací pole, což může mít vliv na přesnost měření.

Výše popsaným postupem vznikl soubor dat, který byl dále zpracován. Proces zpracování je popsán v následující kapitole.



Obr. 9: Digitální gravimetr Scintrex CG-3M (zdroj: Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Scintrex Ltd.)

4. ZPRACOVÁNÍ DAT

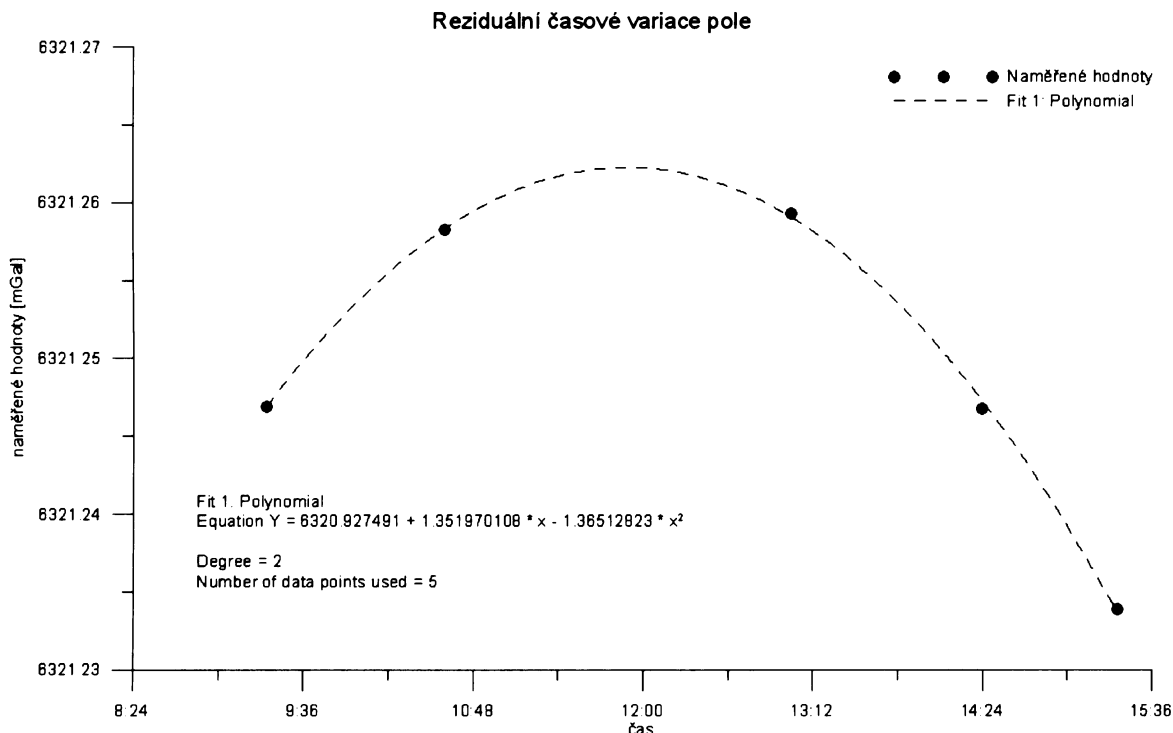
Naměřené hodnoty tíže g obsahují účinky všech faktorů včetně těch, které nás nyní nezajímají. Mezi ně patří například vliv slapových jevů, vliv hlubší geologické stavby, vliv zakřivení Země, vliv topografie, vliv změn chodu gravimetru. Gravimetrická data naměřená v terénu jsou tedy bez zpracování nic neříkající informací. Je proto nutné provést početní operace a upravit je do grafické podoby tak, aby z nich byla dobře viditelná hledaná lokální anomálie tíhového pole.

Po přenosu naměřených dat z gravimetru do počítače (viz Příloha 1) a po jejich formálních úpravách, díky kterým bylo možné zkopírovat všechna data do programu Excel, se data dále opravovala o výše zmiňované nežádoucí vlivy.

Jako první byly opraveny reziduální časové variace tíhového pole (viz Obr. 10). Tyto změny jsou dány reziduálním chodem gravimetru a reziduálními slapovými jevy. Reziduální proto, že gravimetr po přednastavení polohy během měření sám odstraňoval pomocí zabudovaného softwaru slapové účinky a dlouhodobý chod gravimetru. Pro přesné mikrogravimetrické měření však byly v terénu zaznamenávány zhruba každou hodinu na základním gravimetrickém bodě profilu reziduální hodnoty těchto vlivů. Ty jsou způsobeny místními podmínkami. Stačilo měřit jednou za hodinu, protože změny během jedné hodiny jsou téměř lineární. Reziduální chod gravimetru a reziduální slapové jevy nelze od sebe odlišit, ale to v našem případě nevádí, neboť chceme odstranit oba tyto vlivy společně. Kvůli dešti bylo s časovým rozestupem zaznamenáno 5 hodnot. Z nich byl v programu Grapher vytvořen graf (Obr. 10), ze kterého by při delším měření byla vidět periodicitu. Graf byl proložen polynomiální regresní křivkou druhého stupně určenou rovnicí:

$$y = -1,36512823 \cdot x_i^2 + 1,351970108 \cdot x_i + 6320,927491,$$

pomocí které byly po dosazení času měření na jednotlivých bodech za proměnnou x , všechny změřené hodnoty tíhového zrychlení opraveny o reziduální časové změny tíhového pole.



Obr. 10: Časové variace tíhového pole

Dále je potřeba opravit data o negeologické vlivy na změny tíže a o vliv normálního (teoretického) pole. To se dělá standardními postupy, jejichž cílem je výpočet do některé z tíhových anomálií zdůrazňujících hledané anomální hmoty a struktury. Termín anomálie používáme proto, že při zavádění oprav teoreticky vyčíslujeme, jaká by v měřeném místě měla být tíže opravená o vliv negeologických příčin. Při tomto teoretickém výpočtu považujeme horninové prostředí za hustotně homogenní a vypočítáme tak teoretickou normalitu v místě měření. Po odečtení normality od skutečně naměřené tíže, obdržíme odchylku od normality – anomálii. V anomáliích se tak projevují účinky hustotních nehomogenit (Blecha 2009). V užité geofyzice se používají anomálie Fayeovy, Bouguerovy a izostatické, kde každá z nich má jiný fyzikální i geologický význam.

Fayeova anomálie je tzv. anomálie z volného vzduchu. Je definována vzorcem

$$\Delta g_f = g - g_i + 0,3086 \cdot h,$$

kde se odečítá od naměřeného tíhového zrychlení g jen účinek normálních hmot g_i a přičítá se Fayeova redukce. Tím se srovná pole na jednotnou výškovou úroveň a zůstávají účinky všech hmot mezi topografickým povrchem Země a referenčním elipsoidem. Tato anomálie většinou není vhodná pro řešení geologických problémů (Mareš a kol. 1984).

Nejčastějším a nejvhodnějším způsobem vyjádření je v aplikované geofyzice zpracování dat do podoby Bouguerových anomálií, které se počítají stejně jako Fayeovy anomálie a navíc se odečítá i vliv hmot mezi povrchem Země a referenčním elipsoidem pomocí vzorce:

$$\Delta g_B = g - g_i + 0,3086 \cdot h + (0,3086 - 0,0419 \cdot \rho) \cdot H + T - B,$$

kde:

Δg_B	...Bouguerova anomálie [mGal]
g	...naměřená hodnota tíhového zrychlení již opravená o časové změny [mGal]
g_t	...teoretické (normální) tíhové zrychlení [mGal]
h	...výška stativu [m]
H	...relativní výška bodu měření [m]
ρ	...hustota [g/cm^3]
T	...oprava na topografii [mGal]
B	...Bullardův člen [mGal]

Teoretické (normální) tíhové zrychlení g_t roste na severní polokouli směrem od rovníku k severu díky snižující se odstředivé rychlosti rotující Země. Proto se s postupem na sever musí odečítat více než na jihu. V našich podmínkách vzroste tíže o 1 μGal s délkou 1,2 m. Opravy se provádí dle vzorce:

$$\Delta g, [\text{mGal/m}] = 0,000801 \cdot \Delta s$$

Na nejnižším bodu našeho profilu platí $g_t = 0$ a vzdálenost mezi jednotlivými gravimetrickými body $\Delta s = 5$ m. Po spočtení bylo teoretické tíhové zrychlení odečteno od naměřené hodnoty každého bodu. Délka celého profilu ΔS byla 200 m, proto celková změna teoretického tíhového zrychlení $g_t = 0,1602$ mGal.

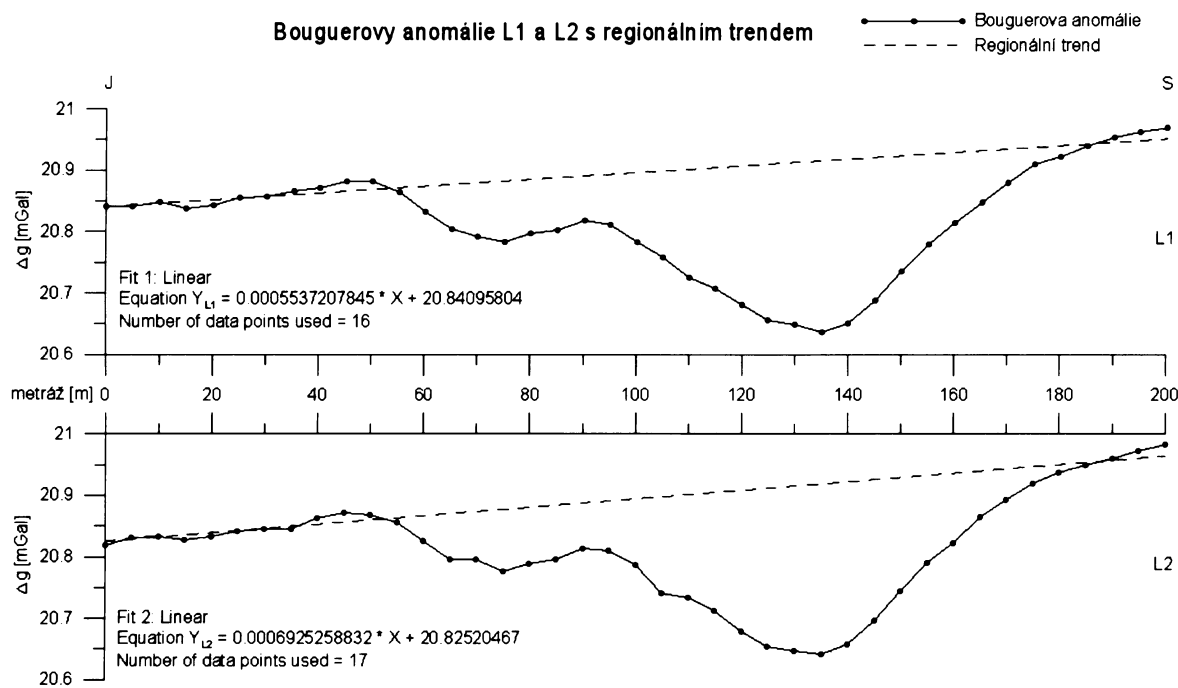
Výška stativu h byla součástí terénního měření na každém gravimetrickém bodě. Díky tomu byla provedena oprava na Bouguerovu desku a Fayeova redukce, tzv. redukce z volného vzduchu.

Nadmořská výška H je určena relativně pomocí geometrické nivelace a slouží k opravě na Bouguerovu desku.

Pro přesnost interpretace gravimetrie je důležité znát údaje o hustotách hornin. V našem případě je redukční hustota ρ stanovena na $2,35 \text{ g/cm}^3$.

Člen T (topokorekce) jsme v našem případě nepočítali a B (Bullardův člen) se při mikrogravimetrických měřeních obvykle nepočítá, neboť má význam až při větších regionálních měřeních.

Tímto postupem vznikla upravená data pro profil měřený poprvé (L1) a podruhé (L2) a následně byly z těchto dat vykresleny dva grafy (Obr. 11).



Obr. 11: Bouguerovy anomálie dvakrát změřeného profilu s křivkami regionálního trendu. L1 první měření, L2 druhé měření.

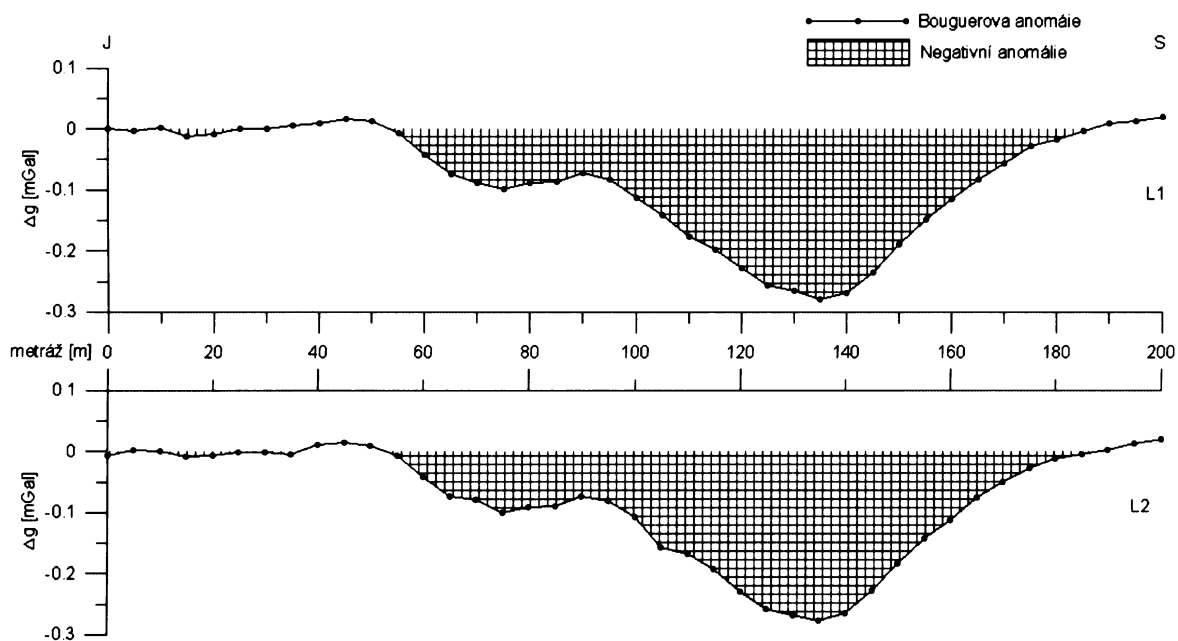
Z grafů Bouguerových anomálií je dále vidět regionální trend způsobený vlivem vzdálených hmot či hmot ve velké hloubce na naměřené hodnoty. Směrem k severu s postupující metráží profilu se objevuje lineární růst. Ten je možno odstranit po proložení regresních křivek jednotlivými grafy. Lineární křivky prochází jen krajními hodnotami grafů, které jsou mimo zřetelné anomálie (viz Obr. 11). Pomocí rovnic těchto křivek (pro L1 a L2)

$$Y_{L1} = 0,0005537207845 \cdot x_i + 20,84095804,$$

$$Y_{L2} = 0,0006925258832 \cdot x_i + 20,82520467$$

odečteme po dosazení metráží za proměnnou x_i regionální vliv od všech naměřených dat. Odstraněním tohoto vlivu a vykreslením dat dostaneme ještě přehlednější grafy reziduálních anomálií (viz Obr. 12).

Bouguerovy anomálie L1 a L2 opravené o regionální trend (reziduální anomálie)



Obr. 12: Bouguerovy anomálie L1 a L2 opravené o regionální trend (reziduální anomálie) s červeně vyznačenou negativní anomálií

Z upravených dat byla následně vypočtena střední kvadratická chyba dvojice měření podle vzorce:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{2 \cdot n}}$$

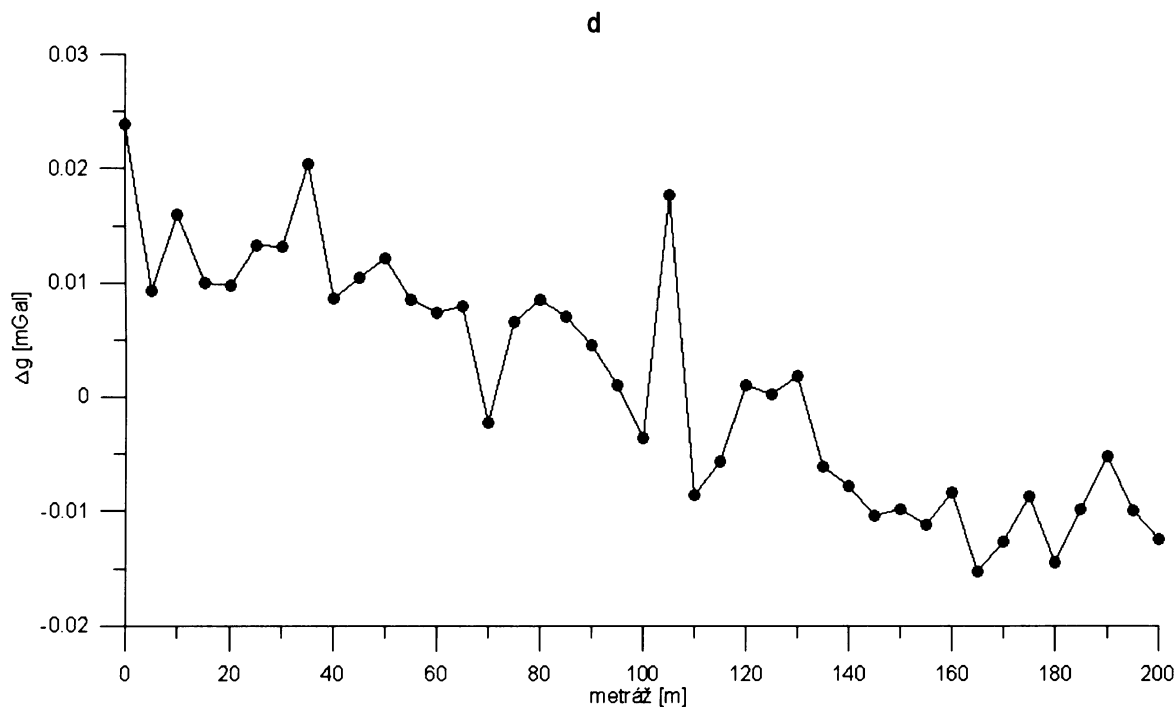
Kde:

d ...rozdíl naměřených hodnot prvního (L1) a druhého (L2) měření na každém bodě (Obr. 13)

n ...počet opakovaných bodů

Vypočtená chyba měření m je $\pm 7,47 \mu\text{Gal}$.

Při měření gravimetrem Scintrex CG-3M se chyba obvykle pohybuje v rozmezí 3 – 5 μGal . Vyšší chyba je v našem případě nejspíše způsobena přerušením kontinuity měření v čase od 11:35 do 13:00 hod. z důvodu průtrže mračen. Během této doby nebylo možné měřit a registrovat časové změny tíže na základním bodu.



Obr. 13: Rozdíl naměřených hodnot prvního a druhého měření L1 a L2

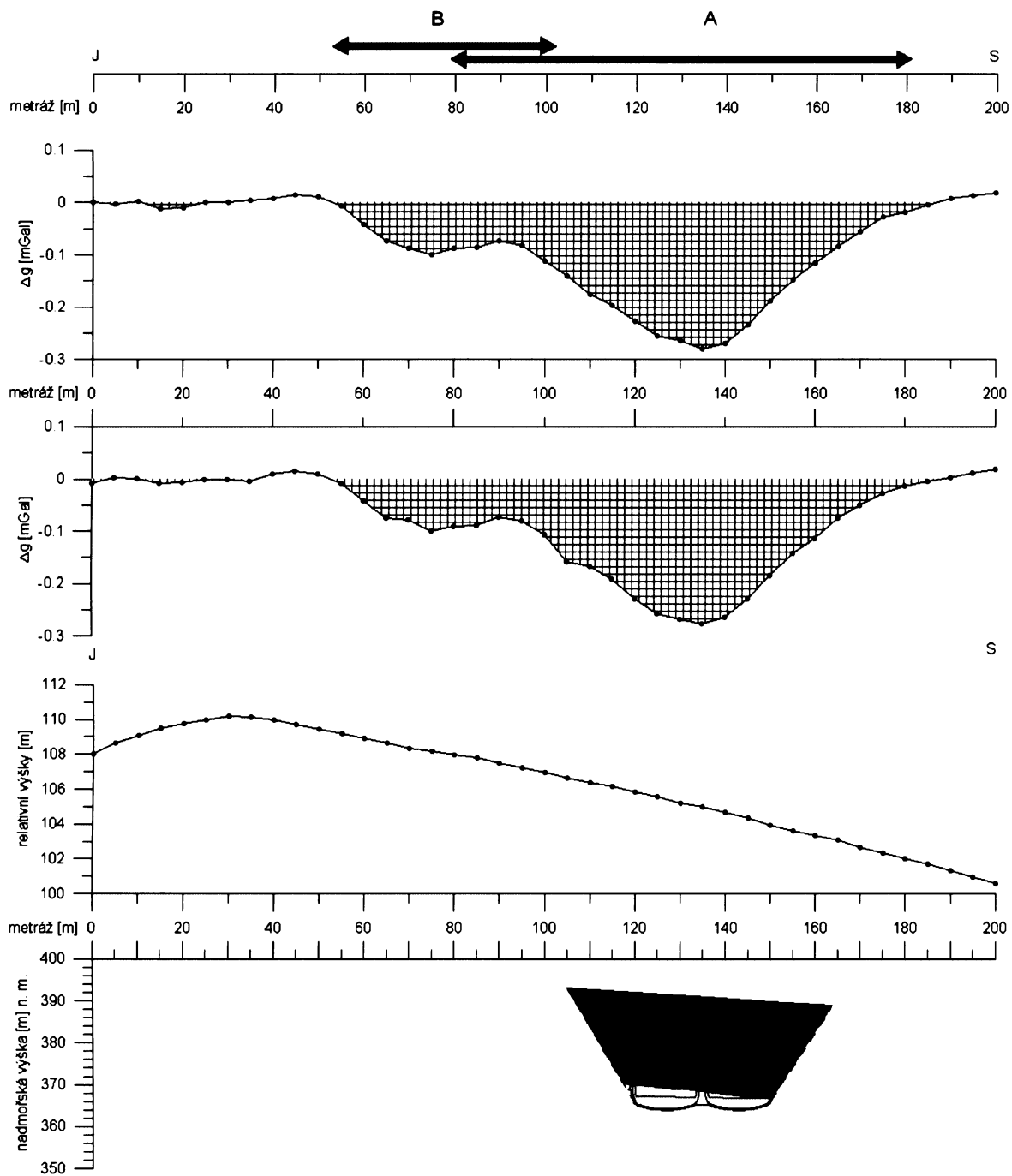
5. INTERPRETACE DAT

Z výsledných grafů Bouguerových anomálií opravených o regionální vliv (Obr. 12) je patrný výskyt lokálních hustotních nehomogenit. Průběhy obou těchto grafů dvakrát měřeného profilu L1 a L2 jsou téměř totožné, vzájemné odchylky jsou zobrazeny na Obr. 13.

Záporné hodnoty grafů reziduálních Bouguerových anomálií ukazují oblasti s relativním deficitem hmot vůči okolí (červeně vyznačená oblast na Obr. 14). Vzhledem k tomu, že známe polohu tunelu a jeho rozměry, můžeme určit přibližnou polohu středu tunelu na měřeném J – S profilu vedeném kolmo na tunel. Středový pilíř se nachází na metrů 130 od jižního kraje profilu. Předpokládaná záporná anomálie způsobená tunelem se středem na 130 m profilu opravdu vyskytuje (zóna A). Maximální amplituda anomálie je na metrů 135 a dosahuje hodnot 280 μGal . Šířka anomálie je při pohledu na graf opravených Bouguerových anomálií o regionální trend (Obr. 14) směrem od 135 m doprava zhruba 50 m, což odpovídá předběžnému hustotnímu modelu (Blecha ústní sdělení). Projev nehomogenity není však dle předpokladů symetrický, neboť nalevo od středu tunelu je křivka grafu ovlivněna jinou zápornou anomálií. Možnost chyby měření je nepravděpodobná vzhledem k tomu, že tato deficitní zóna je značně rozsáhlá. Chyba měření je dále v podstatě plně vyloučena při pohledu na graf opakovaného měření L2, který vykazuje tutéž anomálii. Spočtená střední kvadratická chyba 7 μGal je vzhledem k amplitudě anomálie (280 μGal) nevýznamná.

Záporná anomálie na metrů 50 – 100 (zóna B) s amplitudou 100 μGal není způsobena tunelem a je tedy dána nějakým neznámým objektem jižně od tunelu. V těchto místech však není v projektové dokumentaci společnosti Pragoprojekt a.s., které máme k dispozici, zakreslen žádný objekt (viz příloha 2). Zdroj záporné anomálie je proto pro nás v současné době neznámý. Můžeme zde předpokládat výskyt tektonicky porušené zóny, silně zvětralé podloží, ale může se zde vyskytovat i nějaká neznámá dutina.

Souhrnné grafické výsledky gravimetrického měření nad tunelem Valík



Obr. 14: Souhrnné grafické výsledky gravimetrického měření nad tunelem Valík

7. ZÁVĚR

Prvotním cílem této práce mělo být porovnání přesnosti gravimetru Scintrex CG-3M Přírodovědecké fakulty UK v Praze s gravimetrem ZLS Burris vlastněným Západočeskou univerzitou v Plzni. Poté, co došlo k poruše stroje ZLS Burris během terénního měření, jsme byli nuceni téma pozměnit.

Úkolem této bakalářské práce se tak stalo seznámení se s organizací terénního gravimetrického měření, zpracováním naměřených dat do formy Bouguerových anomálií, kvalitativní interpretací a prezentací výsledků měření.

Objektem gravimetrického průzkumu byl dálniční tunel Valík (dálnice D5), který je součástí dálničního obchvatu na jih od Plzně. Průzkum byl proveden dne 11. června 2009 na zpevněné cestě vedoucí v J – S směru kolmém na tunel. Profil byl dlouhý 200 m a měřené gravimetrické body byly od sebe vzdáleny 5 m. Tíhová data byla naměřena relativním digitálním gravimetrem Scintrex CG-3M a pro zaměření výšek gravimetrických bodů byl použit nivelační stroj Zeiss Ni 007.

Celý profil byl změřen dvakrát pro ověření přesnosti měření a pro možnost výpočtu střední kvadratické chyby měření.

Naměřená data byla opravena o nežádoucí negeologické vlivy a byla vypočtena Bouguerova anomálie. Opakované měření ukázalo totožné anomálie a vypočtená chyba 7 μGal je vzhledem k velikosti anomálie zanedbatelná.

Výsledkem kvalitativní interpretace jsou křivky reziduálních Bouguerových anomálií z prvního a druhého měření na tíhovém profilu. V místě nad tunelem byla zaregistrována předpokládaná záporná anomálie s maximální amplitudou 280 μGal , která dosahuje šířky 100 m, což odpovídá předběžnému hustotnímu modelu. Na grafu reziduálních Bouguerových se však vyskytuje ještě jedna výrazná záporná anomálie jižně od anomálie tunelu. Tato anomálie má amplitudu 100 μGal na metrů 75 profilu a je široká 50 m. Zdroj vzdálený zhruba 45 m od kraje jižní trouby tunelu je nám však v současnosti neznámý a můžeme pouze spekulovat, zda se jedná o nějakou menší podzemní dutinu, zlom, tektonickou zónu či silně zvětralé podloží.

LITERATURA

- Blecha V., 2004. *Geofyzika, Kapitola 2: Gravimetrie*
http://www.natur.cuni.cz/uhigug/present/geo_fyz.htm, 23. 2. 2008
- Blecha V., 2009. *Bouguerova anomálie – výpočet. MS, Přírodovědecká fakulta UK v Praze*
- Česká geologická služba. *Výřez geologické mapy Topo ZM 1:50 000*
<http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/viewer2.htm>, 6. 6. 2009
- Hájek P., 2003. *Základové konstrukce, spodní stavba.*
http://people.fsv.cvut.cz/~hajekp/vyuka/002kp20/7_kp20_zaklady.pdf, 11. 8. 2009
- Lowrie W., 1997. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, 354 str.
- Marek R., 2005. *Vliv nehomogenit a anizotropie horninového masívu na kvalitativní a kvantitativní obraz přetváření výlomu tunelu – Studentská odborná vědecká činnost VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Stavební*
http://fast10.vsb.cz/svoc/svoc2005/prace/4_roman_marek.pdf, 5. 7. 2009
- Mareš S., et al., 1984. *Introduction to Applied Geophysics*. D. Riedel publishing Company, Dordrecht; SNTL, Praha, 581 str.
- Pragoprojekt, a.s., 2003. *Projektová dokumentace SO 600 Tunel Valík*
- Přírodovědecká fakulta UK v Praze. *Obrázek digitálního gravimetru Scintrex CG-3M*
<http://www.natur.cuni.cz/uhigug/geoph/pristroje/index.htm>, 11. 8. 2009
- Scintrex Ltd., 1995. *Scintrex CG-3M Autograv, Operator manual*
<http://www.scintrexltd.com/downloads/CG3.pdf>, 11. 8. 2009
- Hajič T., nedatováno. *Tunel Valík*. Stavební a investorské noviny, str. 80 - 81
http://www.dsp.cz/soubory/tiskove/Clanek_Valik_06.pdf, 5. 7. 2009
- Svoboda J., Švarc V.; 2005. *Tunel Valík – klíč k dálničnímu obchvatu Plzně*. Tunel - 14. ročník - č. 1/2005
<http://www.ita-aitec.cz/files/tunel/2005/1/cast4.pdf>, 5. 7. 2009

Příloha 1: Originální naměřená data (výstup z gravimetru)

a) Měření na základním bodě

SCINTREX V5.2 AUTOGRAV / Field Mode R5.31
Ser No: 601312.
Line: 0. Grid: 1. Job: 2009. Date: 09/06/11 Operator: 1.
GREF.: 0. mGals Tilt x sensit.: 288.1
GCAL.1: 6327.292 Tilt y sensit.: 278.9
GCAL.2: 0.0 Deg.Latitude: 49.84
TEMPCO.: -0.1236 mGal/mK Deg.Longitude: -13.40
Drift const.: 0.298 GMT Difference: -2.hr
Drift Correction Start Time: 11:09:18 Cal.after x samples: 12
Date: 09/05/29 On-Line Tilt Corrected = "*"

Station	Grav.	SD.	Tilt x	Tilt y	Temp.	E.T.C.	Dur	#	Rej	Time
999.	6321.194*	0.031	4.	-1.	-0.15	-0.044	60	0	0	09:18:38
999.	6321.196*	0.021	4.	-2.	-0.16	-0.043	60	0	0	09:20:36
				A:	0.165					
999.	6321.203*	0.016	-1.	3.	-0.21	-0.009	60	0	0	10:35:40
				A:	0.179					
999.	6321.205*	0.019	4.	10.	-0.20	0.064	60	0	0	13:02:51
				A:	0.176					
999.	6321.194*	0.019	5.	-0.	-0.18	0.066	60	2	2	13:07:33
				A:	0.176					
999.	6321.194*	0.023	1.	7.	-0.22	0.086	60	3	3	14:23:57
				A:	0.171					
999.	6321.178*	0.018	-10.	4.	-0.20	0.089	60	1	1	15:21:27
				A:	0.181					

b) První měření na profilu

```

-----
SCINTREX V5.2          AUTOGRAV / Field Mode          R5.31
Ser No: 601312.
Line: 1. Grid: 1. Job: 2009. Date: 09/06/11 Operator: 1.
GREF.: 0. mGals Tilt x sensit.: 288.1
GCAL.1: 6327.292 Tilt y sensit.: 278.9
GCAL.2: 0.0 Deg.Latitude: 49.84
TEMPCO.: -0.1236 mGal/mK Deg.Longitude: -13.40
Drift const.: 0.298 GMT Difference: -2.hr
Drift Correction Start Time: 11:09:18 Cal.after x samples: 12
Date: 09/05/29 On-Line Tilt Corrected = "*"
-----

```

Station	Grav.	SD.	Tilt x	Tilt y	Temp.	E.T.C.	Dur	#	Rej	Time
0.	6319.343*	0.014	-2.	1.	-0.23	-0.039	60	0	0	09:30:02
				A:	0.156					
5.	6319.218*	0.017	-5.	5.	-0.22	-0.038	60	0	0	09:33:17
				A:	0.156					
10.	6319.133*	0.014	-5.	-3.	-0.22	-0.037	60	0	0	09:35:56
				A:	0.162					
15.	6319.034*	0.014	14.	10.	-0.22	-0.036	60	0	0	09:38:16
				A:	0.163					
20.	6318.990*	0.015	7.	-4.	-0.22	-0.035	60	3	0	09:40:33
				A:	0.162					
25.	6318.960*	0.014	7.	-2.	-0.22	-0.034	60	0	0	09:43:04
				A:	0.163					
30.	6318.927*	0.019	8.	-2.	-0.22	-0.032	60	0	0	09:45:39
				A:	0.163					
35.	6318.953*	0.011	3.	9.	-0.21	-0.032	60	2	0	09:47:43
				A:	0.163					
40.	6318.991*	0.018	-6.	-5.	-0.22	-0.030	60	2	0	09:50:51
				A:	0.173					
45.	6319.060*	0.012	4.	-7.	-0.22	-0.029	60	0	0	09:53:37
				A:	0.188					
50.	6319.118*	0.016	5.	7.	-0.22	-0.028	60	1	0	09:56:51
				A:	0.18					
55.	6319.157*	0.014	-7.	3.	-0.21	-0.025	60	0	0	10:02:55
				A:	0.186					
60.	6319.190*	0.017	0.	0.	-0.20	-0.023	60	0	0	10:06:15
				A:	0.18					
65.	6319.222*	0.020	4.	1.	-0.20	-0.022	60	0	0	10:09:30
				A:	0.182					
70.	6319.280*	0.017	-9.	9.	-0.21	-0.020	60	1	0	10:12:53
				A:	0.186					
75.	6319.309*	0.014	2.	6.	-0.21	-0.019	60	1	0	10:15:59
				A:	0.185					
80.	6319.374*	0.019	-0.	-1.	-0.21	-0.017	60	0	0	10:19:34
				A:	0.184					
85.	6319.412*	0.013	0.	-1.	-0.21	-0.016	60	0	0	10:22:25
				A:	0.190					
90.	6319.505*	0.019	-6.	6.	-0.20	-0.014	60	1	0	10:25:05
				A:	0.193					
95.	6319.553*	0.014	-8.	5.	-0.20	-0.013	60	0	0	10:28:07
				A:	0.189					
100.	6319.584*	0.014	4.	1.	-0.20	-0.011	60	0	0	10:30:52
				A:	0.190					
105.	6319.632*	0.021	-1.	7.	-0.21	-0.006	60	0	0	10:41:08
				A:	0.184					
110.	6319.664*	0.023	0.	0.	-0.20	-0.005	60	0	0	10:43:33
				A:	0.188					
115.	6319.700*	0.018	-7.	1.	-0.20	-0.004	60	0	0	10:46:28
				A:	0.181					
120.	6319.736*	0.024	-5.	5.	-0.19	-0.002	60	2	0	10:49:20
				A:	0.181					
125.	6319.767*	0.030	22.	9.	-0.19	-0.001	60	1	0	10:52:15
				A:	0.182					
130.	6319.844*	0.027	-7.	13.	-0.19	0.001	60	0	0	10:55:15

135.	6319.886*	0.027	-13.	A: 0.183	15.	-0.20	0.003	60	0	10:57:51
				A: 0.179						
140.	6319.974*	0.023	-6.	6.	-0.20	0.004	60	0	11:00:54	
				A: 0.184						
145.	6320.076*	0.017	-3.	-4.	-0.20	0.006	60	0	11:03:47	
				A: 0.196						
150.	6320.216*	0.019	5.	11.	-0.20	0.007	60	0	11:06:17	
				A: 0.193						
155.	6320.329*	0.019	-13.	17.	-0.20	0.008	60	1	11:08:51	
				A: 0.185						
160.	6320.435*	0.019	14.	-7.	-0.20	0.009	60	0	11:11:22	
				A: 0.180						
165.	6320.529*	0.011	-5.	-4.	-0.20	0.011	60	0	11:14:22	
				A: 0.181						
170.	6320.642*	0.015	12.	10.	-0.21	0.013	60	1	11:17:07	
				A: 0.183						
175.	6320.744*	0.021	7.	7.	-0.20	0.014	60	0	11:19:36	
				A: 0.187						
180.	6320.834*	0.013	-4.	2.	-0.20	0.015	60	1	11:22:08	
				A: 0.182						
185.	6320.919*	0.015	-3.	4.	-0.21	0.017	60	0	11:25:38	
				A: 0.185						
190.	6321.012*	0.020	-4.	2.	-0.20	0.019	60	5	11:28:13	
				A: 0.19						
195.	6321.103*	0.036	-9.	5.	-0.20	0.020	60	0	11:30:49	
				A: 0.187						
200.	6321.195*	0.043	-6.	11.	-0.20	0.021	60	0	11:33:07	
				A: 0.187						

c) Druhé měření na profilu

```

-----
SCINTREX V5.2          AUTOGRAV / Field Mode          R5.31
Ser No: 601312.
Line: 2. Grid: 1. Job: 2009. Date: 09/06/11 Operator: 1.
GREF.: 0. mGals Tilt x sensit.: 288.1
GCAL.1: 6327.292 Tilt y sensit.: 278.9
GCAL.2: 0.0 Deg.Latitude: 49.84
TEMPCO.: -0.1236 mGal/mK Deg.Longitude: -13.40
Drift const.: 0.298 GMT Difference: -2.hr
Drift Correction Start Time: 11:09:18 Cal.after x samples: 12
Date: 09/05/29 On-Line Tilt Corrected = "*"
-----

```

Station	Grav.	SD.	Tilt x	Tilt y	Temp.	E.T.C.	Dur	#	Rej	Time
0.	6319.326*	0.012	-3.	6.	-0.22	0.069	60	0	0	13:15:24
				A:	0.163					
5.	6319.214*	0.014	5.	6.	-0.22	0.070	60	0	0	13:18:40
				A:	0.165					
10.	6319.122*	0.012	8.	4.	-0.22	0.071	60	0	0	13:22:07
				A:	0.169					
15.	6319.028*	0.016	-1.	10.	-0.22	0.072	60	6	6	13:24:53
				A:	0.171					
20.	6318.984*	0.013	-3.	16.	-0.22	0.073	60	0	0	13:27:49
				A:	0.168					
25.	6318.950*	0.017	-4.	4.	-0.22	0.074	60	8	8	13:31:29
				A:	0.168					
30.	6318.916*	0.015	3.	7.	-0.23	0.075	60	0	0	13:33:58
				A:	0.169					
35.	6318.935*	0.017	18.	5.	-0.22	0.076	60	13	13	13:36:33
				A:	0.166					
40.	6318.985*	0.015	-1.	6.	-0.22	0.077	60	0	0	13:39:43
				A:	0.172					
45.	6319.050*	0.018	-6.	4.	-0.22	0.078	60	0	0	13:43:53
				A:	0.191					
50.	6319.106*	0.015	-5.	0.	-0.22	0.079	60	0	0	13:46:49
				A:	0.181					
55.	6319.147*	0.014	-1.	12.	-0.22	0.079	60	0	0	13:49:22
				A:	0.188					
60.	6319.180*	0.020	2.	6.	-0.21	0.080	60	0	0	13:51:35
				A:	0.183					
65.	6319.210*	0.060	-3.	11.	-0.22	0.081	60	1	1	13:57:26
				A:	0.185					
70.	6319.278*	0.015	-9.	20.	-0.23	0.082	60	0	0	13:59:54
				A:	0.187					
75.	6319.297*	0.016	1.	2.	-0.22	0.083	60	0	0	14:02:21
				A:	0.187					
80.	6319.360*	0.016	-2.	4.	-0.22	0.083	60	0	0	14:05:39
				A:	0.183					
85.	6319.399*	0.014	3.	11.	-0.22	0.084	60	1	1	14:07:57
				A:	0.188					
90.	6319.494*	0.013	-2.	5.	-0.22	0.084	60	0	0	14:11:00
				A:	0.190					
95.	6319.544*	0.018	6.	9.	-0.22	0.085	60	0	0	14:13:43
				A:	0.188					
100.	6319.579*	0.015	3.	9.	-0.21	0.085	60	0	0	14:16:59
				A:	0.188					
105.	6319.603*	0.019	-6.	11.	-0.21	0.086	60	0	0	14:19:16
				A:	0.186					
110.	6319.660*	0.020	-4.	9.	-0.22	0.087	60	0	0	14:29:18
				A:	0.187					
115.	6319.693*	0.019	-5.	6.	-0.21	0.088	60	0	0	14:32:36
				A:	0.177					
120.	6319.720*	0.025	-0.	3.	-0.21	0.088	60	0	0	14:35:29
				A:	0.182					
125.	6319.752*	0.024	4.	5.	-0.20	0.088	60	0	0	14:37:50
				A:	0.180					
130.	6319.827*	0.038	14.	8.	-0.20	0.088	60	0	0	14:40:00

135.	6319.876*	0.019	12.	A: 0.180 8. -0.20	0.088	60	0	14:42:55
140.	6319.965*	0.025	8.	A: 0.176 5. -0.20	0.089	60	0	14:45:28
145.	6320.066*	0.024	-3.	A: 0.181 7. -0.21	0.089	60	0	14:51:53
150.	6320.204*	0.015	-5.	A: 0.199 -8. -0.20	0.089	60	0	14:54:35
155.	6320.317*	0.015	2.	A: 0.198 -1. -0.19	0.089	60	1	14:57:10
160.	6320.421*	0.015	39.	A: 0.192 -4. -0.19	0.089	60	2	14:59:34
165.	6320.519*	0.020	-3.	A: 0.182 9. -0.19	0.089	60	0	15:01:52
170.	6320.629*	0.019	17.	A: 0.190 7. -0.19	0.089	60	1	15:04:22
175.	6320.727*	0.017	-9.	A: 0.191 11. -0.20	0.089	60	0	15:06:31
180.	6320.822*	0.018	-3.	A: 0.193 8. -0.20	0.089	60	0	15:08:58
185.	6320.901*	0.025	-5.	A: 0.188 0. -0.20	0.089	60	3	15:11:18
190.	6320.989*	0.019	-0.	A: 0.193 14. -0.20	0.089	60	11	15:13:38
195.	6321.084*	0.022	-4.	A: 0.197 10. -0.20	0.089	60	1	15:16:15
200.	6321.179*	0.030	-11.	A: 0.194 8. -0.21	0.089	60	0	15:18:42
				A: 0.190				

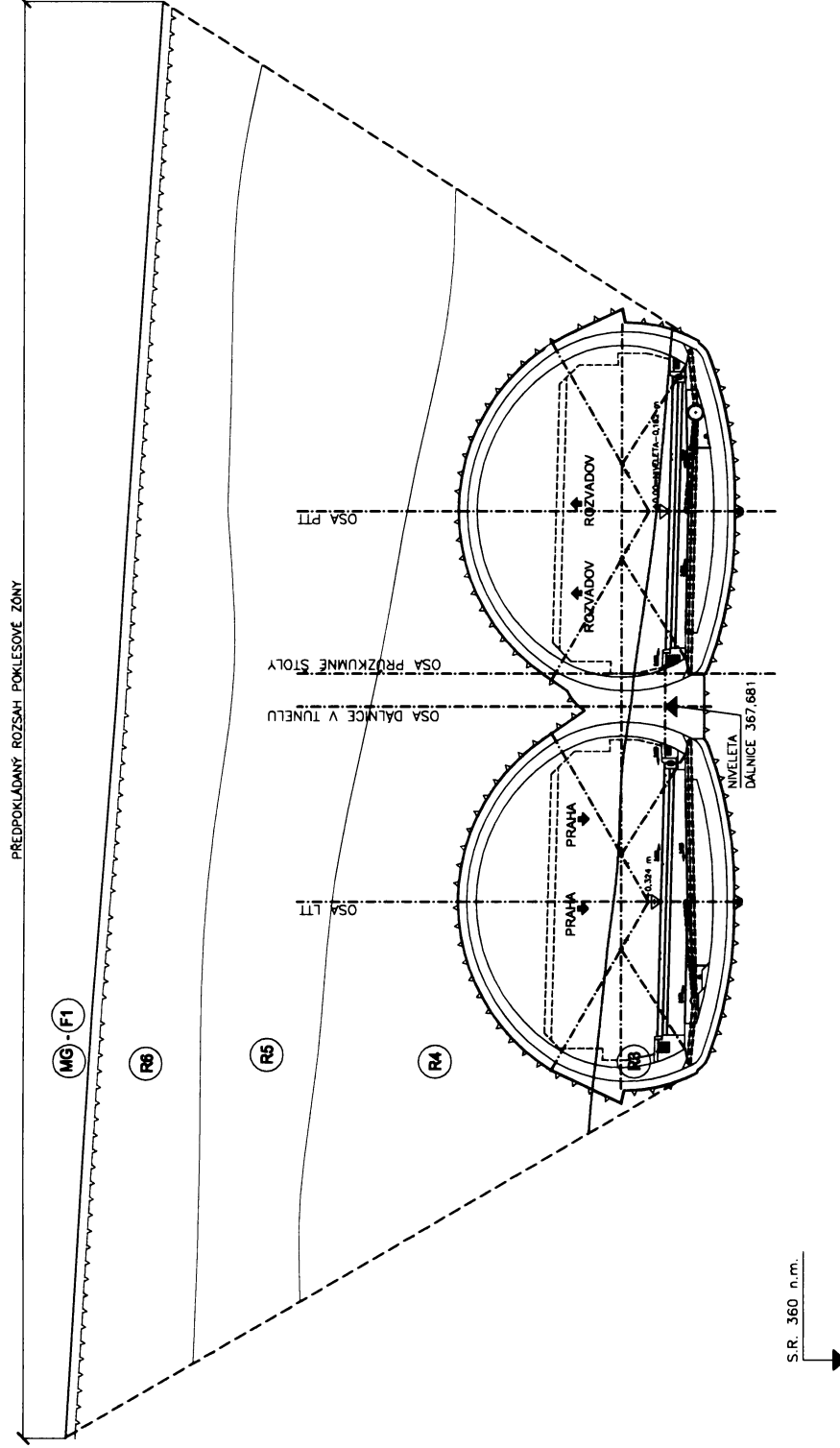
Příloha 2: Vybrané části projektové dokumentace SO 600 TUNEL VALÍK
a) Situace

Příloha 2: Vybrané části projektové dokumentace SO 600 TUNEL VALÍK
b) Charakteristický příčný řez

GEOLOGICKÝ PŘÍČNÝ ŘEZ - KM 77,650 1:200

LEGENDA

- MG - F1** humózní hlína s úlomkami břidlic, spilitu a silicidů
- R6** značně zvětralá až rozložená proterozoická břidlice rozpadavě tmelená jílem
- R5** silně zvětralá a rozpukaná proterozoická břidlice
- R4** zvětralá, rozpukaná proterozoická břidlice
- R3** zvětralá břidlice místy prokřemenělá



Příloha 2: Vybrané části projektové dokumentace SO 600 TUNEL VALÍK
c) Podélný řez levou tunelovou troubou

Příloha 3: Fotodokumentace - autor: Doc. Ing. Václav Čada, CSc. (ZČU v Plzni)

