

POUŽITÍ OPAKOVANÝCH GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍ V PODDOLOVANÝCH OBLASTECH.

Vojtěch Beneš, G IMPULS Praha, spol. s r.o.

benes@gimpuls.cz

Abstrakt

Příspěvek popisuje nové postupy aplikace opakovaných geofyzikálních měření v poddolovaných oblastech. Měření slouží pro zjištění míry rozvolnění horninového masivu v okolí dutin a ke sledování jejího vývoje. Lze tak posoudit riziko vzniku náhlé deformace zemského povrchu. Výhodou geofyzikálních měření je skutečnost, že změny v rozvolnění horninového masivu dokáže identifikovat i ve větších hloubkách ještě v období, než se projeví měřitelnou deformací na povrchu. Lze tak v dostatečném předstihu provést opatření k minimalizaci škod. V současnosti je právě měření deformací na povrchu nebo ve výrubu hlavním nástrojem geotechnického monitoringu poddolovaných území. Nevýhodou těchto metod je fakt, že měřitelné nebo viditelné změny jsou často registrovány až v okamžiku překročení mezních hodnot narušení hornin, kdy již hrozí kotlání kaverny těsně k povrchu a následný propad povrchu.

Metodika geofyzikálních měření

Metodika opakovaných geofyzikálních měření pro sledování vývoje rozvolnění horninového masivu v poddolovaných oblastech vznikla v rámci projektu Eurostars E! 4250 s akronymem GEMOSS. Geofyzikální metody, které navrhujeme pro monitoring rozvolňovacích procesů horninového masivu v okolí kaveren, musí splňovat 3 základní předpoklady:

- měřený fyzikální parametr nebo sledované fyzikální jevy musí být závislé na geomechanickém stavu horninového masivu v okolí sledované dutiny.
- změny fyzikálního parametru nebo jevu zjištěné při opakovaných měřeních lze objektivně přisoudit vývoji procesů rozvolnění v okolí kaverny (vypadávání bloků hornin - kotlání dutin, změny napětí v hornině, pohyby na puklinách, atd.).
- metoda měření a používané přístrojové vybavení musí být schopno sledovaný fyzikální parametr nebo jev měřit s odpovídající přesností a vyhovující opakovatelností.

Uvedené předpoklady nejlépe splňují mikrogravimetrie [1, 2], seismická tomografie [3] a mikroseismický pasivní monitoring [4]. Pomocí mikrogravimetrie (MG) lze sledovat změny objemové hmotnosti horninového prostředí. Interpretujeme vývoj tzv. Bouguerovy anomálie v čase. Do tíhových dat zavádíme opravy na změnu výšky povrchu a topokorekce pro známé kaverny v zemi (např. postup ražby tunelu). V případě zatápění důlních revírů je třeba počítat i opravu na změnu výšky hladiny podzemní vody. Seismická tomografie (ST) je nej přesnější metoda pro určení seismické rychlosti horninového prostředí. Měření provádíme nejčastěji mezi dvojicí monitorovacích vrtů při použití hydrofonů a vysokofrekvenčního nedestruktivního zdroje elastických vln (tzv. sparkeru). V případě bezpečného vstupu do podzemí lze použít i „prostřelování“ mezi dutinou a povrchem pomocí seismického kladiva. Pro určení seismických rychlostí horninového prostředí lze samozřejmě použít i jiné seismické metody (mělkou refrakci, metoda MASW), ale jejich přesnost a opakovatelnost je výrazně horší. Mikroseismický monitoring (MSPM) je založen na sledování seismického „šumu“ na lokalitě. Šum má jak umělou složku (odpaly v lomech, vibrace od dopravy, apod.), tak i složku přirozenou (nejčastěji vzdálená a blízká zemětřesení). Součástí přirozené složky šumů jsou i mikrootřesy vyvolané např. pohyby na puklinách nebo vypadáváním horninových bloků v okolí kaveren. A to jsou jevy, které v případě monitoringu poddolování sledujeme. Zajímá nás především četnost jevů a míra uvolněné energie. Při vhodné volbě geometrie seismických stanic lze některé mikrootřesy celkem přesně lokalizovat.

Terénní měření mikrogravimetrickou metodou probíhá v síti stabilizovaných bodů. Síť je navržena tak, aby cca 70% měřených bodů bylo v nadloží monitorovaných dutin (resp. v místech lokálních minim Bouguerovy anomálie) a zbylých 30% bodů mimo předpokládanou zónu vlivu poddolování. Seismická tomografie je nejčastěji měřena ve dvojici vrtů. Vrty musí být vystrojeny tak, aby je bylo možné napustit vodou. Vrty doporučujeme situovat po stranách dutiny. Vzdálenost mezi vrty doporučujeme do cca 30 m, jejich hloubka by v ideálním případě měla být cca 5 m pod počvu dutiny. Mikroseismický monitoring provádíme s využitím 4 seismických snímačů (stanic), které měří 3 složky pohybu kmitání (x, y, z). Trojice snímačů tvoří přibližně rovnostranný trojúhelník s délkou strany do cca 100 m, čtvrtá stanice je umístěna v centru trojúhelníku. Trojúhelník doporučujeme umístit vůči sledované dutině asymetricky (jeden vrchol do blízkosti dutiny). Taková geometrie usnadňuje případnou lokalizaci zdroje mikroseismického jevu.

Délka geofyzikálního monitoringu a četnost měření je závislá na typu poddolování i účelu monitoringu. V případě sledování rizikových oblastí historicky poddolovaných území (nebo krasových oblastí) je smyslem monitoringu sledovat dlouhodobý vývoj rozvolnění horninového masivu a upozornit na místa s rizikem vzniku propadu, která ohrožují historická

centra měst nebo významné stavby infrastruktury. Monitoring by měl probíhat nejméně 3 až 5 let s četností nejméně 2x za rok. V případě ražby tunelových staveb, kde je cílem s předstihem stanovit oblasti výrazného sedání, by monitoring měl zahrnovat celou dobu ražby a následné období několika měsíců. Četnost měření lze očekávat podle vývoje lokality na dny až týdny.

Pro průzkum a monitoring poddolovaných oblastí lze samozřejmě použít i další geofyzikální metody [5]. Jedná se například o geologický radar GPR pro sledování změn geometrie (deformace) mělkých výrazných odrazných horizontů nebo o geoelektrické odporové metody (např. metoda odporové tomografie OT). Nevýhodou uvedených metod je však jejich značné ovlivnění klimatickými podmínkami v době měření. Jejich použití pro monitoring je tak omezené.

Zpracování opakovaných geofyzikálních měření.

Výsledkem základního zpracování opakovaných geofyzikálních měření jsou časové řady měřených parametrů:

- změny Bouguerovy anomálie pro jednotlivé monitorované body (výstup MG)
- změny paprskových nebo tomografických rychlostí pro definovaný hloubkový interval vrtů (výstup ST)
- změny denních četností superlokálních jevů a míry jejich energie podle integrální křivky součinu amplitudy a délky trvání seismického jevu (výstup MSPM)

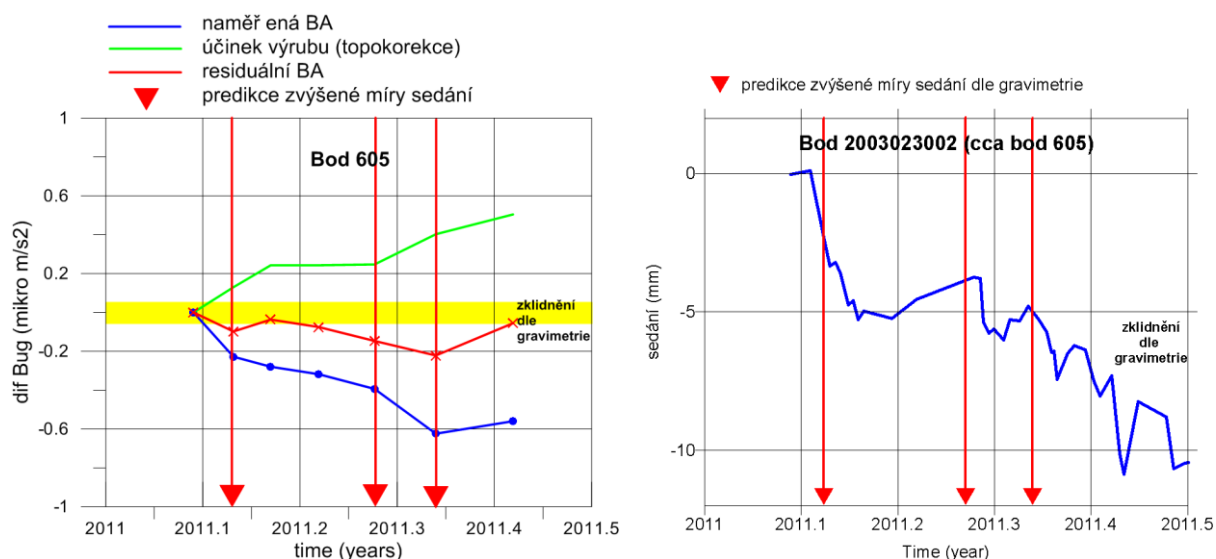
Na základě naměřených dlouhodobých změn sledovaných parametrů lze stanovit anomální, a tedy potenciálně nebezpečná místa, kde hrozí nadlimitní deformace zemského povrchu nebo dokonce vznik propadu. Časové řady sledovaných parametrů jsou podrobeny polynomické regresi 1. a 2. stupně. Lineární koeficient L u 1. stupně odpovídá celkovému trendu změny sledovaného parametru, kvadratický koeficient Q u 2. stupně je mírou dynamiky změny. Na základě hodnot koeficientů L a Q stanovujeme míru rizika dané lokality.

Příklady geofyzikálního monitoringu

Lokalita Červený Vrch se nachází na území Prahy 6 v místech nové stanice Metra. Zájmové území je budováno černými jílovitými břidlicemi (dobrotivské břidlice) místy se vyskytují pruhy skaleckých křemenců. Dle výsledků inženýrsko-geologického průzkumu jsou horniny místy postiženy výrazným tektonickým narušením. Velikost tubusu stanice metra je cca 18 x 12 x 100 m, mocnost nadloží se pohybuje od 15 do 25 m. Pokusný geofyzikální

monitoring probíhal v období 02 – 06 / 2011 při ražbě přístupové štoly a zahájení ražby stanice. Využili jsme opakované měření pomocí metody MG. Na Obr. 1 je ukázka změn Bouguerovy anomálie na bodě, kde jsme interpretovali zvýšené riziko nadprůměrného sedání povrchu. Na zvýšené riziko sedání lze soudit podle poklesu residuální Bouguerovy anomálie v čase. To je podle záporného rozdílu hodnoty BA v průběhu ražby (s opravou na změnu výšky měřeného bodu a vyražené dutiny) a před ražbou. Pokles hodnot residuální BA ukazuje na výrazné rozvolnění hornin v okolí dutiny (zvýšení porosity, např. rozevření puklin) s výhledem na pozdější konsolidaci území, která se projeví sedáním. V grafu jsou vyznačeny časové úseky, kdy jsme předvíдали další deformace povrchu, které se ještě neprojevily v geodetických měřeních (srovnej s průběhem sedání - převzato z podkladů firmy ARCADIS Geotechnika a.s.). Výsledky měření ukázaly, že na základě opakovaných geofyzikálních měření lze vyčlenit místa, kde se při ražbě tunelu projeví anomální deformace povrchu. A to často s předstihem, než se projeví při geodetickém měření.

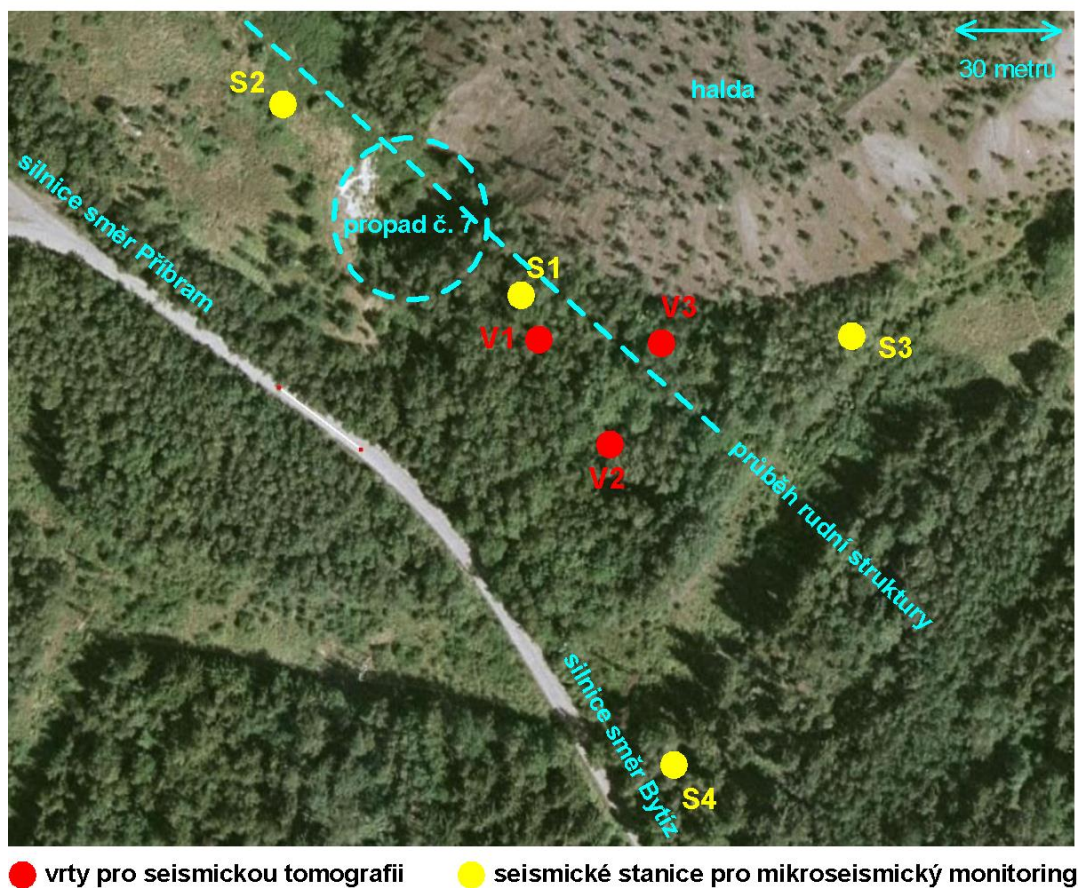
Obr. 1 Průběh změn Bouguerovy anomálie a sedání v anomální oblasti v nadloží tunelu.



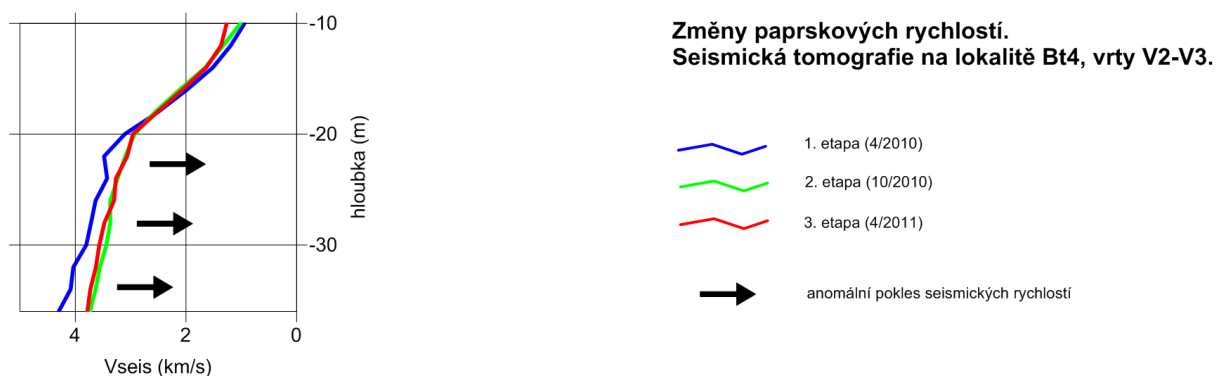
Lokalita Bytíz se nachází ve středních Čechách u Příbrami. Jedná se o součást jednoho z nejvýznamnějších uranových ložisek v České republice. Lokalita je budována proterozoickými břidlicemi. Na SV je ložisková struktura omezena kambrickými pískovci, na JZ žulovým masivem. Ve středověku zde byly dobývány polymetalické rudy a zvláště stříbro. Uran byl těžen v letech 1953 – 1991, celkem se jednalo o 1 575 000 m³ rubaniny. Vznikla tak obrovská dutina tvaru desky. Ložisko bylo po ukončení těžby postupně zatopeno. Na povrchu dobývané rudní žíly vzniklo propadové pásmo 7 velkých propadů (číslováno postupně 1 až 7 od S k J). V rámci projektu GEMOSS bylo v období 2009 a 2011 detailně monitorováno území jižně od propadu č. 7. Zde je kontakt proterozoických břidlic s granitovým masivem. V takovém prostředí často dochází ke kotláni dutin z velkých hloubek

(i 200 m pod povrchem). Očekává se, že propady se budou i nadále rozšiřovat, nejde vyloučit, že dojde ke kolapsu celého nadloží rudního pásma. Pro monitoring rozvolňování horninového masivu byla použita také seismická tomografie ST a mikroseismický pasivní monitoring MSPM. Situace tomografických vrtů a seismických stanic je na obr. 2. Obě metody ukázaly, že obavy z rozšíření propadů jižně od propadu 7 jsou oprávněné. Byl zaznamenán pokles seismických rychlostí v hloubkách pod 20 m a výskyt mikroseismických jevů v propadovém pásmu. Ukázka výsledků provedených měření je uvedena na obr. 3 a 4.

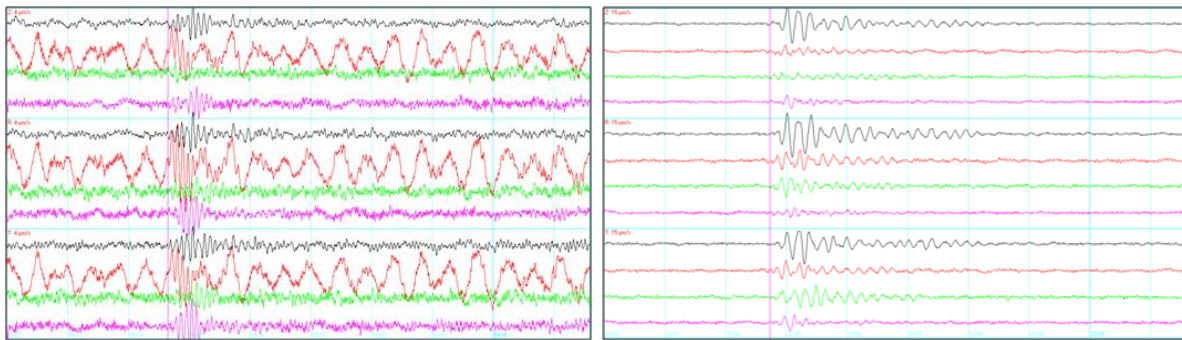
Obr. 2 Lokalita Bytíz – situace vrtů pro seismickou tomografii a seismických stanic



Obr. 3 Změny paprskových rychlostí pro seismickou tomografii ve vrtech V2 – V3



Obr. 4 Ukázka „superlokálních“ seismických jevů na lokalitě Bytíz



Závěr.

Opakované geofyzikální měření vhodně doplňuje stávající způsoby geotechnického monitoringu a vede ke zpřesnění odhadu rizika havarijních deformací zemského povrchu. Poddolovaným územím jsou myšleny oblasti, kde se vyskytují historická nebo současná důlní díla a tunelové stavby. Navrhované technické řešení lze použít i pro monitorování přírodních dutin, jako jsou krasové a pseudokrasové jeskyně. Hlavní využití předkládaného technického řešení spatřujeme v zajišťování dlouhodobé bezpečnosti oblastí historického poddolování v zastavěných územích nebo v místech s významnými prvky infrastruktury (komunikace 1. třídy, rychlostní komunikace, dálnice, železnice, páteřní produktovody, hráze a přehrady, letiště). Výhodou geofyzikálního monitoringu je, že dokáže postihnout nepříznivé změny geomechanického stavu horninového prostředí ještě s předstihem, než se projeví deformací povrchu. Podle hustoty navržené sítě měřených bodů a profilů navíc poskytuje do značné míry prostorově spojitou informaci. Příspěvek byl sestaven díky výsledkům a za přispění projektu Eurostars E! 4250 s akronymem GEMOSS.

Literatura.

- [1] Skácelová, Z., Blecha, V., Večeřa, J. (2009): Využití mikrogravimetrie pro lokalizaci starých důlních děl v Horním Městě a Horním Benešově. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009, Česká geologická služba, Praha, 2010, ISSN 0514-8057
- [2] Wang, Q. (1996): Microgravimetry. Brill Academic Publisher 1996. ISBN-10:9067642223
- [3] Iyer, H., M., Hirahara, K. (1993): Seismic tomography: theory and practise. Springer 1993.
- [4] Joswig, M. (2008): Nanoseismic monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic. First Break vol. 26, 2008.
- [5] Idziak, F., A., Dubiel, R. (2011): Geophysics in Mining and Environmental Protection. Springer – verlag 2011. ISBN 978-3-642-19096-4