

GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM NAD DOLEM JERONÝM

GEOPHYSICAL INVESTIGATION ABOVE JERONÝM MINE

Vojtěch Beneš¹

Abstrakt

Příspěvek shrnuje výsledky povrchového geofyzikálního průzkumu v oblasti dolu Jeroným, který byl proveden v roce 2009 a 2010 v rámci projektu Eurostars E! 4250 s názvem GEMOSS. Projekt se zabývá opakovaným geofyzikálním měřením jako novým nástrojem geotechnického monitoringu poddolovaných oblastí. V příspěvku jsou uvedeny především výsledky základního průzkumu, který sloužil pro doplnění znalostí o geologické stavbě lokality včetně pokusu o vymezení dalších neznámých stařin. Soustředili jsme se na území jižně od silnice II. třídy Sokolov – Krásno do míst plánovaného překopu mezi oblastí Starých důlních děl (SDD) a Opuštěných důlních děl (ODD). Na základě popisovaných výsledků měření byla navržena síť monitorovacích bodů a profilů, kde je v současnosti prováděno vlastní geofyzikální monitorovací měření.

Abstract

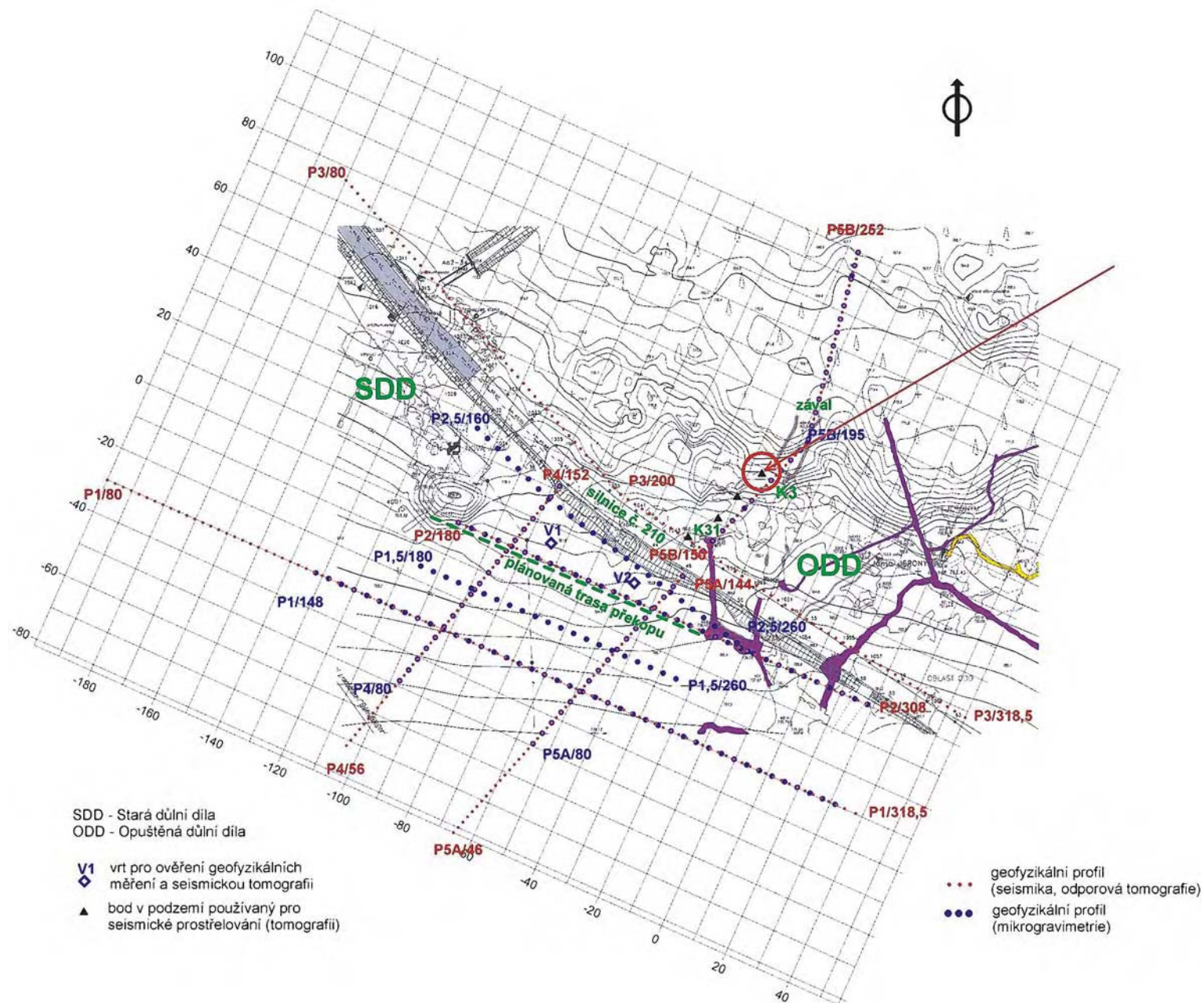
The paper summarizes the results of surface geophysical investigation in the area of Jeroným Mine, which was carried out in 2009 and 2010 under the project Eurostars E! 4250 called GEMOSS. The project deals with the repeated geophysical measurements as a new tool of the geotechnical monitoring of undermined areas. The paper presents especially the results of the basic investigation which served to complement the knowledge of the geological setting of the site, including the attempt to delimitate other unknown abandoned workings. We focused on the area to the south of class II road Sokolov – Krásno to a place of the planned crosscut between the area of Old Mining Workings (SDD) and Abandoned Mining Workings (ODD). Based on the described measurement results a grid of the monitoring points and profiles has been designed, where the geophysical monitoring measurement itself is currently under way.

Klíčová slova

Důl Jeroným v Čisté, geofyzikální průzkum, geotechnický monitoring, geofyzikální monitoring

1 Úvod – lokalizace a metodika geofyzikálních měření

Lokalita Důl Jeroným leží v Karlovarském kraji cca 8 km sz. od Krásna. Jedná se o unikátní lokalitu se zachovalým středověkým dolem na cínové rudy převážně ze 16. století. Těžba ve středověku probíhala komorově metodou sázení ohněm. V současnosti se důl postupně rekonstruuje a zpřístupňuje. Cílem je vybudovat zde netradiční hornické muzeum – skanzen.



Obr. 1 Schéma profilů na lokalitě Důl Jeroným (základní průzkum)

Zájmové území je budováno krušnohorskými žulami a rulami, zrudnění je vázáno na kontakt obou typů hornin. Těženou rudou byly kasiterity. Také v těsné souvislosti s budováním skanzenu se plánuje ražba překopu, který by měl spojit a odvodnit v současnosti dvě oddělené části dolu – západní část (Stará důlní díla – SDD) a východní část (Opuštěná důlní díla – ODD). V trase překopu se očekává výskyt neznámých dutin, které mohou být vyplněny vodou a písky splavenými z povrchu. To by ohrozilo bezpečnost práce při ražbě překopu. Průzkumné práce v rámci projektu GEMOSS proto byly zaměřeny především na tuto oblast. Cílem bylo, aby výsledky projektu měly maximální praktické využití. Další profily byly vytyčeny v okolí silnice II. třídy č. 210 Sokolov – Krásno, která je existencí poddolování potenciálně ohrožena, a do nadloží komory K31 a K3, jejíž severní pokračování je zavaleno a kde lze očekávat vysokou míru rozvolnění horninového masivu. Měření bylo provedeno v nepravidelné síti profilů, průběh profilů je patrný na obr. 1.

Základní geofyzikální průzkum lokality sledoval následující cíle:

- zjištění mocnosti pokryvu a zvětralin
- zjištění stavu horninového masivu (zvětrání, rozvolnění)
- ověření existence mělkých dutin (stařin)
- návrh měřických bodů nebo profilů pro monitorování změn horninového masivu v rámci projektu GEMOSS

Pro řešení zadání průzkumu byla použita následující kombinace geofyzikálních metod:

- odporová tomografie (ERT)
- mělká refrakční seismika (MRS)
- mikrogravimetrie (MG)
- doplnkově bylo použito dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), výsledky viz [3]

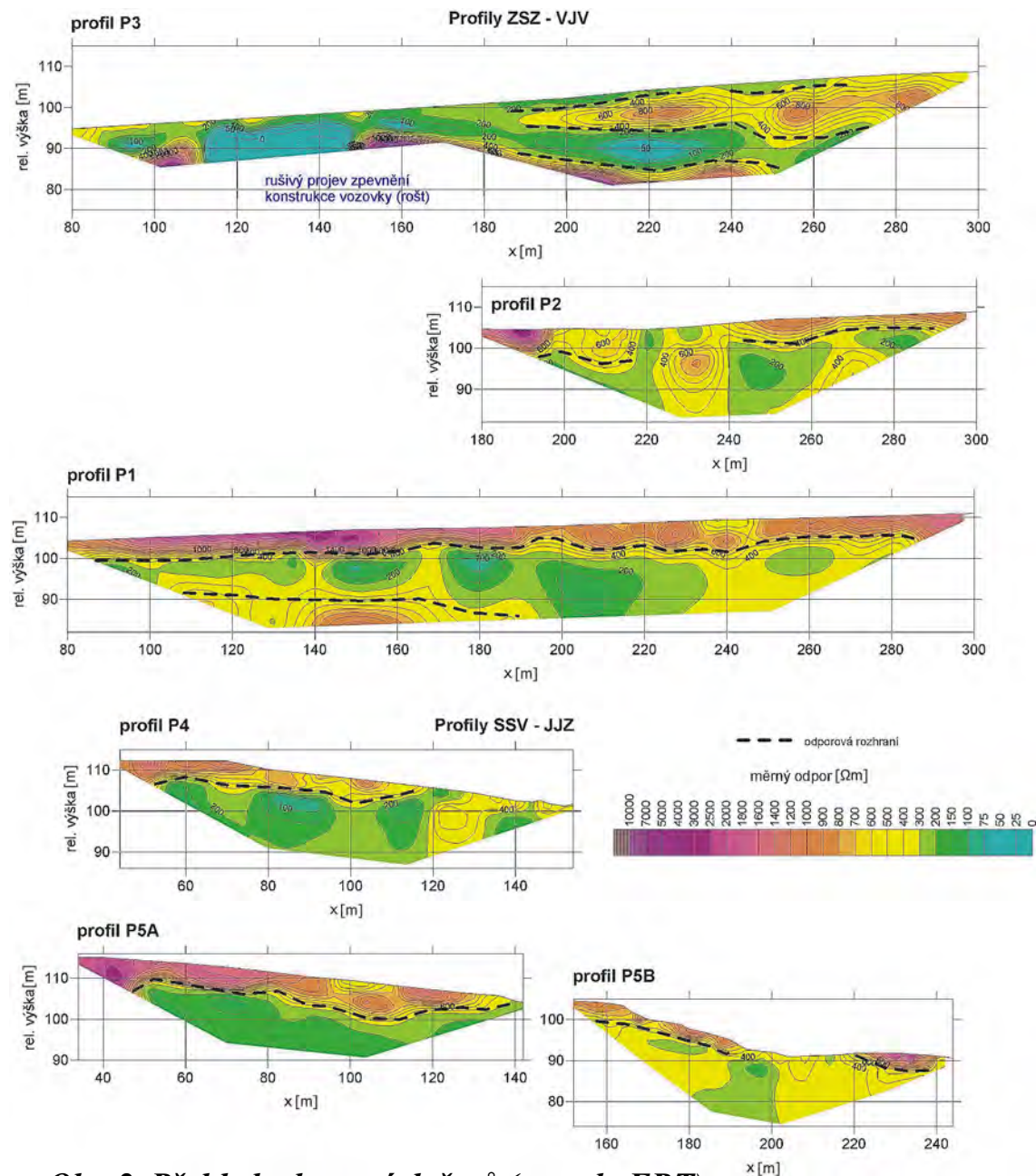
Metoda ERT byla měřena Schlumbergerovou metodou s krokem elektrod po 2,5 m. Maximální rozestup elektrod byl 117,5 m. To zaručuje hloubkový dosah ve středu řezů cca 25 m. Odporové řezy byly konstruovány pomocí programu RES2DINV [1]. Refrakční seismika byla měřena na roztazích se 48 geofony s krokem po 2,5 m. Seismické řezy byly zpracovány s využitím tomografické metody pomocí programu ReflexW [2]. Rychlostní model zasahuje vesměs do hloubky cca 20 m. Mikrogravimetrie byla měřena na bodech s krokem po 4 m. Gravimetrická data byla zpracována do úrovně Bouguerovy anomálie bez topokorekce. Topoeffekt a převládající trend tíhového pole byl vypočten matematicky plošným vyhlazením gridu z naměřených dat. Prezentovaná mapa residuální Bouguerovy anomálie vznikla jako rozdíl naměřených a vyhlazených dat.

2 Výsledky základního geofyzikálního průzkumu

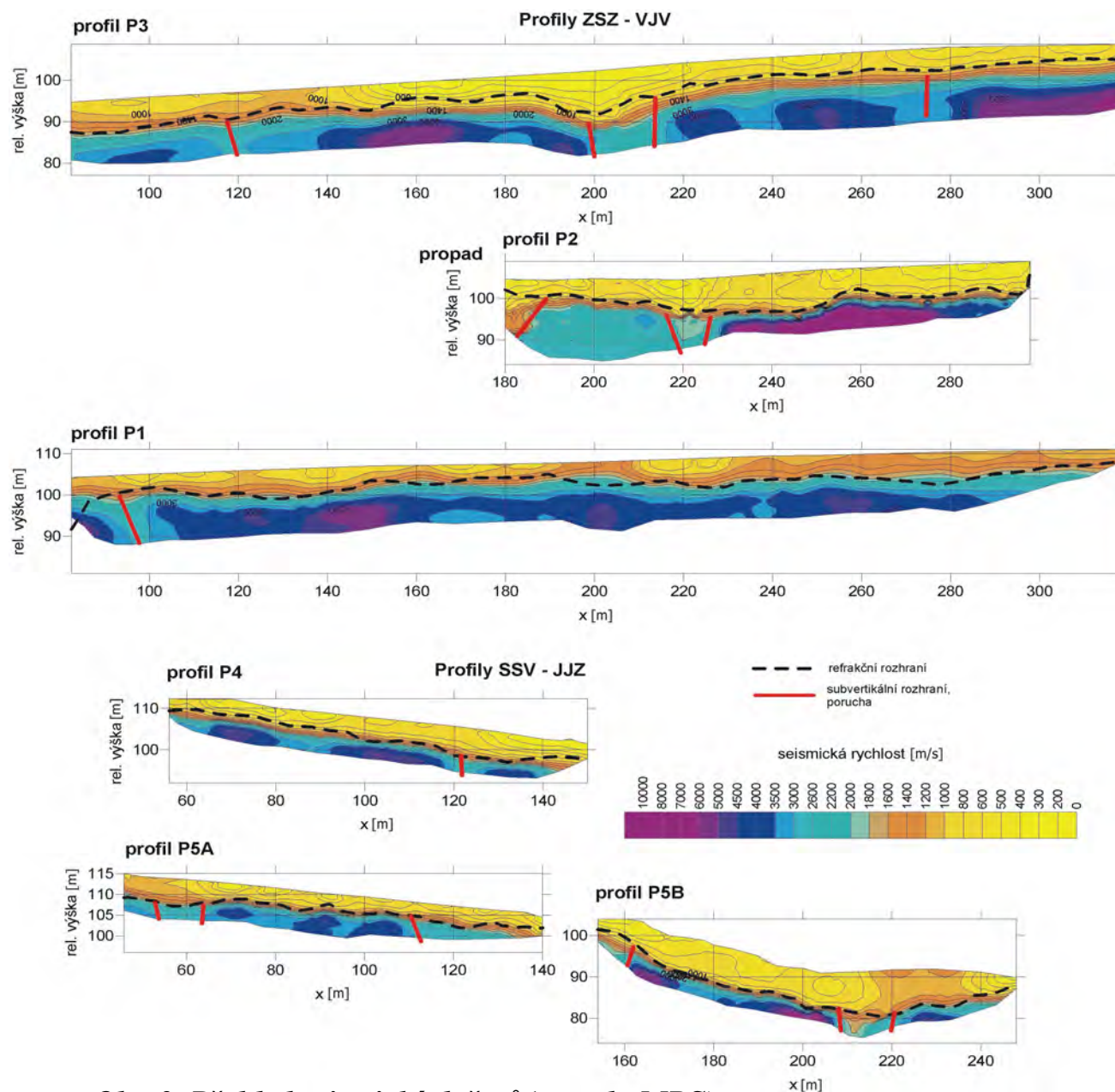
Výsledky odporové tomografie jsou prezentovány ve formě odporových řezů (obr. 2). Základem odporových řezů je mapa izolinií měrných odporů, která odpovídá vypočtenému odporovému modelu prostředí. V řezech je dále vyznačen průběh hlavních subhorizontálních odporových rozhraní. Podobně jsou zobrazeny i výsledky seismických měření (obr. 3). Podkladem seismických řezů je mapa izolinií rychlosti šíření podélné vlny v horninovém prostředí pod profilem. V řezech je zakreslen průběh hlavního refrakčního rozhraní a také interpretovaná poloha subvertikálních poruch v místech snížených rychlostí. Ty patrně odpovídají puklinovým zónám nebo rozvolnění horninového masivu v nadloží dutin. Mikrogravimetrie je zpracována do formy mapy izolinií residuální Bouguerovy anomálie (obr. 4). Záporné hodnoty Bouguerovy anomálie obecně ukazují na existenci prostředí se sníženou objemovou hmotností. Může se jednat o zvýšenou mocnost pokryvu, o zvýšenou puklinatost a intenzivní zvětrání nebo o hledané dutiny a narušený horninový masiv v jejich okolí. V mapě je vyznačena síť bodů používaných pro gravimetrický monitoring lokality.

Komplexní interpretaci geofyzikálních měření základního průzkumu [3] lze shrnout do následujících bodů:

- v zájmovém území se nachází přípovrchová vrstva s mocností od 2 do 10 m, která má charakter písčitých svahovin a eluvia žul a rul, jehož pevnost se s hloubkou postupně zvyšuje. Seismické rychlosti v této vrstvě mají kladný rychlostní gradient, rostou od cca 400 do 1600 m/s (viz obr. 3). V odporových řezech této poloze vesměs odpovídá vrstva se zvýšenými odpory nad 500 Ωm (viz obr. 2). To svědčí o převážně písčitém charakteru popisované polohy, její báze patrně odpovídá zvýšené vlhkosti podložních hornin (hladině podzemní vody?).
- podloží je tvořeno dle geologických podkladů krušnohorskými žulami, rulami a migmatity [4]. Z hlediska seismických rychlostí je to prostředí značně různorodé. Vyskytují se segmenty jak s rychlostmi nad 4000 m/s (relativně neporušené bloky), tak oblasti s poklesem rychlostí pod 2500 m/s do značných hloubek (kolem 20 m). Příčinou poklesu seismických rychlostí může být přirozené rozpukání horninového masivu. V některých případech se však přikláníme k tomu, že je to projevem rozvolnění hornin v okolí stařin. Svědčí proto blízký výskyt známých propadů a kolapsů komor. Odporová stavba podložních hornin je také celkem pestrá. Generelně převládají odpory pod 500 Ωm . Vzhledem k tomu, že se pohybujeme v žulách a rulách, snížené hodnoty odporů svědčí o celkově narušeném prostředí. Výrazný vliv na odporovou stavbu lokality má hladina podzemní vody a zřejmě vysoká mineralizace prostředí. Uvedené fyzikální vlastnosti podložních hornin ukazují na skutečnost, že horniny jsou místy značně porušené. Horniny jsou při povrchu silně zvětralé, nejvýraznější anomálie však svědčí o výrazném vlivu puklinových systémů a rozvolnění masivu kolem stařin.

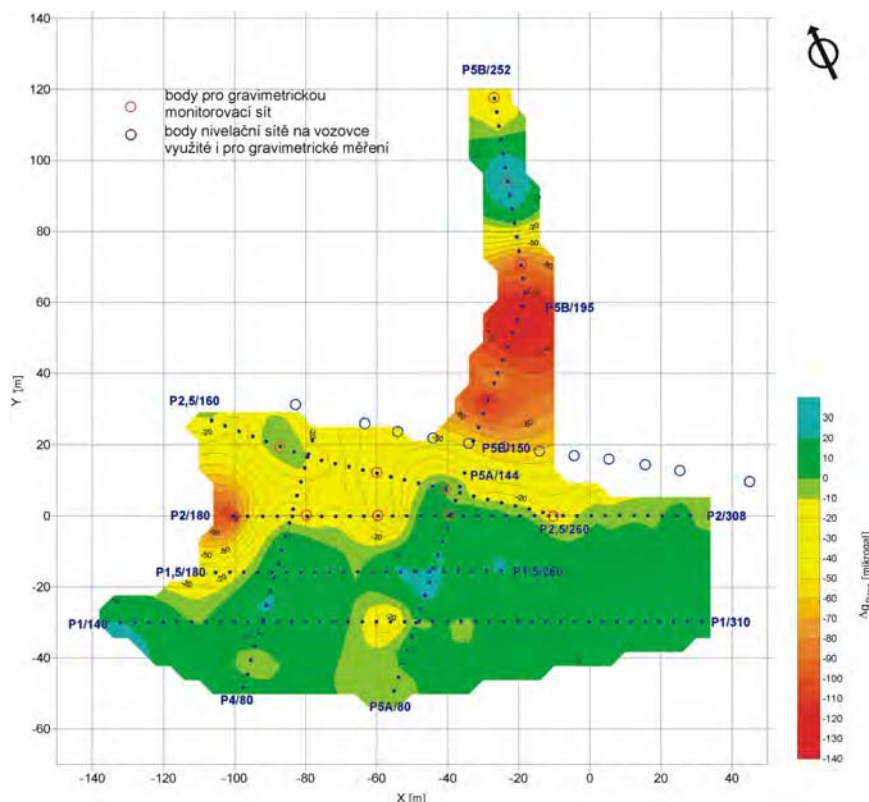


Obr. 2 Přehled odporových řezů (metoda ERT)



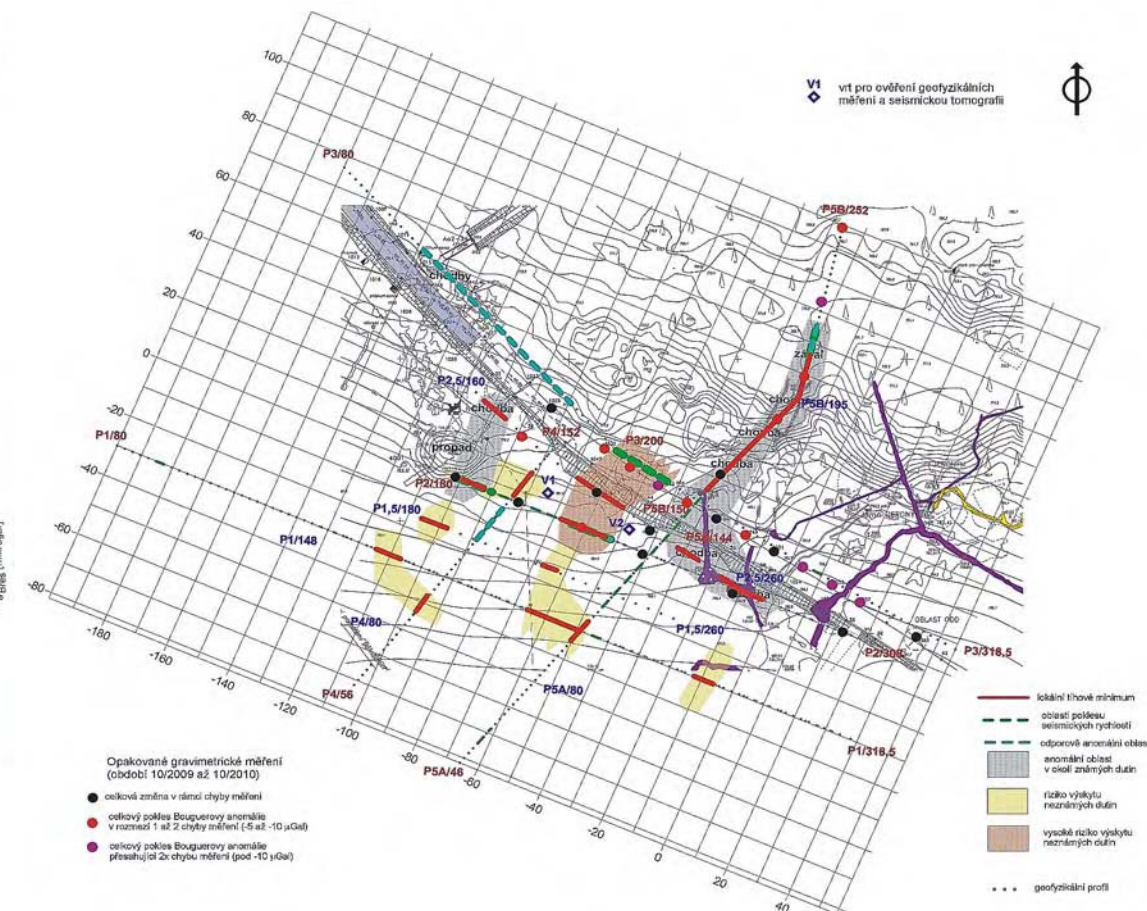
Obr. 3 Přehled seismických řezů (metoda MRS)

- zjištěné gravimetrické anomálie (viz obr. 4) lze interpretovat jako projev stařin nebo jako projev kolapsu nadloží hlubších dobývek. Nejvýraznější lokální minima residuální Bouguerovy anomálie se vyskytují v nadloží známých komor severně od silnice (profil P5B – nedaleko jámy Jeroným). V oblasti plánovaného překopu jižně od silnice, kde není podzemí detailně známo, bylo zastiženo relativně výrazné minimum přibližně uprostřed trasy plánovaného překopu (profil P2/220). Anomálii lze interpretovat nejspíš jako projev kolapsu nadloží neznámé komory nebo velké chodby. Výrazná tíhová anomálie je také v okolí propadu v oblasti SDD (P2/180).
- schéma zjištěných anomálií a jejich vzájemná korelace je zakreslena na obr. 5. Vymezit lze 3 základní anomální oblasti v proměřeném území:
 - oblast nadloží komory K31 a K3 = profil P5B, částečně profil P3. Zde se vyskytuje výrazná gravimetrická anomálie odpovídající výskytu souboru větších dutin a rozvolněnému masivu v jejich okolí (včetně známých závalů). Místy byly zaznamenány výrazné poklesy seismických rychlostí při bázi řezu (P5B/210), odporová stavba v hlubších partiích řezů je „nepřehledná“.



Obr. 4 Mapa izolinií residuální Bouguerovy anomálie

- okolí propadu v oblasti SDD = začátek profilů P1,5, P2 a P2,5. Narušení horninového masivu dobře dokumentuje výrazná gravimetrická anomálie. Projevují se patrně i známé dutiny v okolí propadu. Hrana rozvolnění hornin kolem propadu je dobře viditelná na začátku seismického řezu na profilu P2 (výrazný pokles rychlostí) a pravděpodobně i na odporovém řezu pro profil P2 (lokálně zvýšené odpory na začátku řezu).
- střední část trasy plánovaného překopu = střed profilů P2, P2,5, P3. Zde se vyskytuje protažené lokální gravimetrické minimum doprovázené výraznými poklesy seismických rychlostí ve spodní části seismických řezů. V odporových řezech nebyly zaznamenány nějaké výrazné anomálie, odporové poměry jsou však v těchto místech „nepřehledné“. Ve střední části profilu P2 chybí hlubší průběžné odporové rozhraní.
- Pro ověření interpretace povrchových geofyzikálních měření sloužily dva průzkumné vrty (V1 a V2), které byly vyvrtány poblíž plánované trasy překopu na okraji výše zmíněné anomální oblasti. Poloha vrtů je patrná na obr. 1 a 5. Oba vrty v hloubce kolem 20 m zastihly



Obr. 5 Korelační schéma geofyzikálních anomálií

dutiny značných rozměrů. Západní vrt V1 byl suchý, ve vrtu V2 byla naražena hladina podzemní vody v hloubce 10 m. Vrty v souladu s interpretací geofyzikálních měření prokázaly, že střední část trasy plánovaného překopu je postižena důlní činností. Při projektu a ražbě překopu je potřeba postupovat s nejvyšší obezřetností. Vrty byly zatamponovány a vystrojeny, nyní slouží pro testovací opakovaná měření metodou seismické tomografie v rámci projektu GEMOSS.

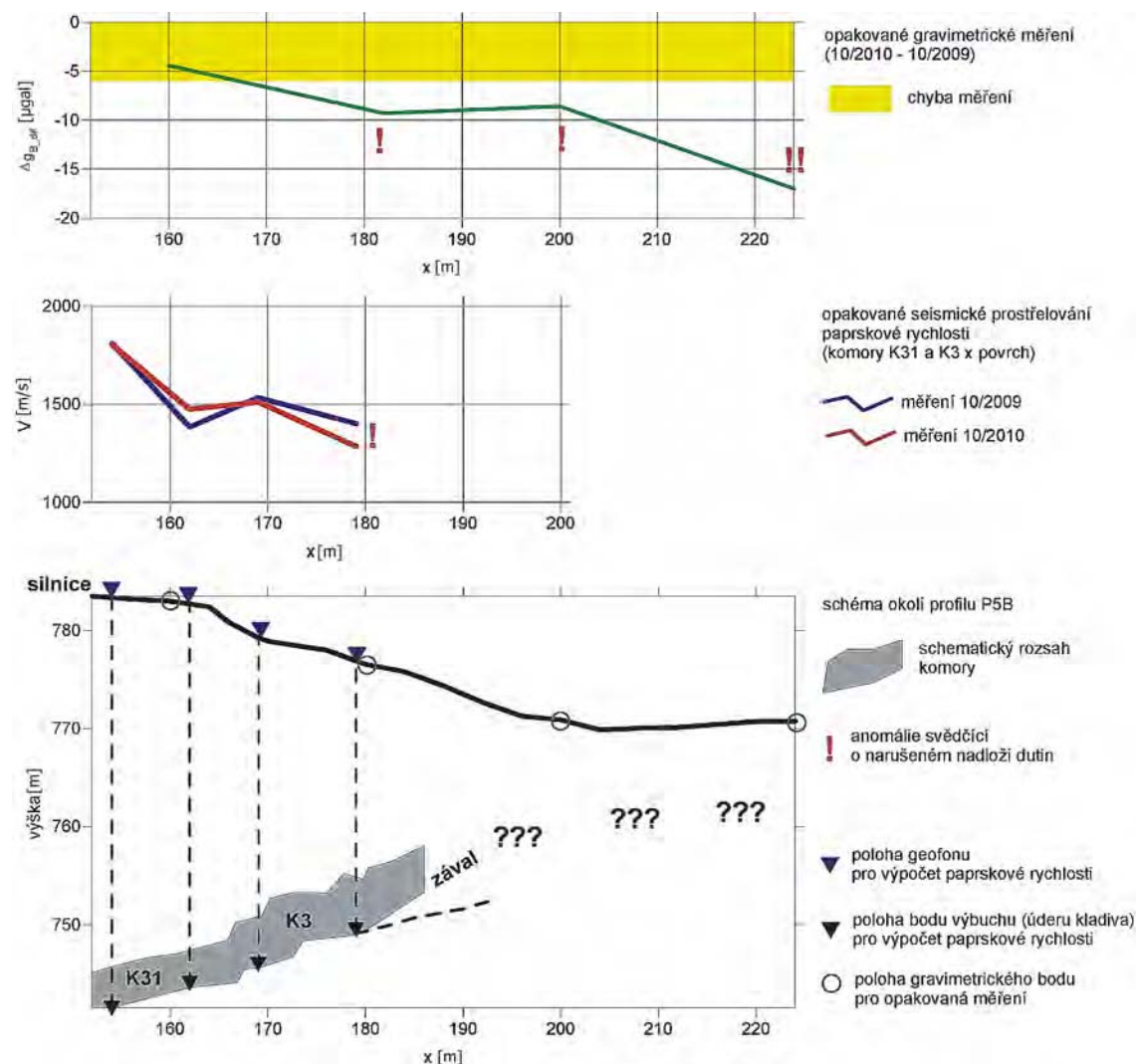
3 Opakované geofyzikální měření

Hlavním cílem projektu GEMOSS je sledování dlouhodobých změn vlastností horninového masivu v okolí dutin pomocí geofyzikálních metod. Lokalita Důl Jeroným byla vybrána jako jedna z modelových lokalit typu historické poddolování v krystalinických horninách. Pro monitoring byly na lokalitě zvoleny následující geofyzikální metody:

- mikrogravimetrie v síti fixních bodů (vybrané body profilů P2, P2,5, P5B a vybrané nivelační body na silnici č. 210).
- seismická tomografie mezi průzkumnými vrty V1 a V2
- seismické prostřelování mezi komorami K31, K3 a povrchem (profil P5B)
- doplnkově bylo použito opakované měření metodami ERT a MRS na části profilů P2, P5A, P5B (výsledky viz [3] a [7]).

Pro monitorování chování horninového masivu v poddolovaném území se jeví jako vhodné také metody pasivní seismiky (mikroseismický monitoring). Tento typ měření na lokalitě dlouhodobě provádí tým prof. RNDr. Kalába, CSc. z Ústavu geoniky AV ČR [5], [6]. Proto tato metoda v našem komplexu na lokalitě Důl Jeroným chybí.

Opakovaná geofyzikální měření na lokalitě Důl Jeroným probíhají i v roce 2011. V současnosti jsou k dispozici výsledky 2 až 3 etap opakovaných měření v období 10/2009 až 10/2010 [7]. Autor příspěvku si uvědomuje, že změny v horninovém prostředí kolem dutin jsou obecně dlouhodobá záležitost a nelze činit generelní závěry na základě tak „krátkodobého“ sledování. A to i s ohledem na chybu



Obr. 6 Opakované geofyzikální měření v prostoru profilu P5B (nadloží komory K31 a K3)

prováděných měření a vliv klimatických poměrů na měřená data. Přesto na závěr příspěvku uvádím dva zajímavé předběžné výsledky prováděných opakovaných měření z lokality Důl Jeroným:

- na obr. 5 je vyznačena síť fixních bodů pro opakovaná gravimetrická měření. Barevně jsou odlišeny body podle celkové změny hodnot Bouguerovy anomálie v období 10/2010 – 10/2009. Černé body odpovídají odchylkám, které se pohybují v rámci chyby měření (většinou kolem ± 5 mikrogál). Červené body vykazují celkový pokles v rozmezí od -5 až do -10 mikrogál, fialové body zaznamenaly pokles o více než 10 mikrogál. Ukazuje se, že většina anomálních bodů je soustředěna do výše popisovaného anomálního prostoru nad středem plánovaného překopu a do nadloží komor K31 a K3 (případně jejího pokračování). Překvapivá je výrazná anomální oblast 3 bodů na silnici č. 210 při východním okraji lokality. Uvedené „anomálie“ je třeba potvrdit dalším měřením a vyloučit tak náhodnou chybu měření. Příčina poklesu hodnot Bouguerovy anomálie na fixních bodech není zcela zřejmá, může se částečně jednat např. o vliv kolísání hladiny podzemní vody. Za hlavní příčinu však považujeme souvislost se změnou geomechanického stavu horninového prostředí (v extrémním případě s kotláním dutin k povrchu).
- na obr. 6 je ukázka výsledků seismického prostřelování mezi komorami K31 a K3 a povrchem (profil P5B). Uveden je jednoduchý graf seismických rychlostí pro přímé (vertikální) paprsky z podzemí k povrchu. Počítány byly i různé verze tomografických modelů. Ukázalo se však, že modely jsou někdy velmi citlivé i na drobné změny vstupních časů a výsledné rychlostní rozdíly v modelech považuje autor příspěvku za nereálné. Proto jsou výsledky opakovaných seismických měření prezentovány tímto „primitivním“ způsobem. Pro srovnání je na obr. 6 dále uveden graf celkové změny hodnot Bouguerovy anomálie z fixních bodů na profilu P5B. Vidíme generelní pokles paprskových rychlostí směrem k závalu v komoře K3. Na posledním bodu odpalu (metráž cca 180) je navíc patrný celkem výrazný meziroční pokles paprskové rychlosti (cca o 10%). To je samozřejmě potřeba potvrdit dalším měřením. Popisované jevy dobře korelují i s výsledky opakovaných gravimetrických měření. Zdá se, že nadloží komory K3 je značně narušeno a jeho stav se logicky zhoršuje směrem k závalu a dále směrem do zkolabované komory-chodby. Navíc se zdá, že v okolí závalu se geomechanické poměry horninového masivu zhoršují i v čase.

4 Závěr

Geofyzikální průzkum lokality Důl Jeroným byl proveden s cílem posoudit míru narušení horninového masivu v okolí dutin a pokusit se pomocí opakovaných měření sledovat jeho vývoj. Výsledky provedených měření ukázaly, že prostředí je značně nestejnorodé. Nadloží dutin je místy silně rozvolněno. To ukazují výrazné poklesy seismických rychlostí a „chaotická“ odporová stavba. Mikrogravimetrie ukázala na riziko výskytu neznámých dutin (případně závalů neznámých dutin) v trase plánovaného odvodňovacího překopu mezi dvěma částmi dolu. Existenci neznámých dutin potvrdily ověřovací vrtý, které byly podle výsledků geofyziky situovány.

Opakovaná geofyzikální měření doposud zahrnují příliš krátký časový úsek pro věrohodnou interpretaci. Přesto byly na lokalitě zaznamenány jevy, které svědčí o rozvoji rozvolňovacích procesů horninového prostředí v okolí dutin v přítomném čase. Jedná se zvláště o prostor komory K3 a okolí silnice č. 210. Zjištěné anomálie bude potřeba potvrdit dalším měřením.

Popisovaná měření a zpracování příspěvku bylo provedeno za finanční podpory z projektu Eurostars E! 4250 s názvem GEMOSS.

Literatura

- [1] LOKE M.H. *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*, Practical guide to 2D and 3D surveys, 1999-2002.
- [2] BARTON N. *Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy*, London: Taylor & Francis Group; 2007.
- [3] BENEŠ V. Podrobný geofyzikální průzkum vybraných pilotních lokalit. *Technická zpráva projektu GEMOSS*, G IMPULS Praha s.r.o., Praha, 2010, 41 stran.
- [4] ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., KALÁB, Z., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALÍK, P., LEDNICKÁ, M. RAMBOUSKÝ, Z. Historický Důl Jeroným v Čisté. *Monografie*, VŠB – Technická univerzita Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, 2008, ISBN 978–80–248–1757–6, 82 stran.
- [5] KALÁB, Z. A LEDNICKÁ, M. Interpretace seizmických záznamů trhacích prací prováděných ve štolě Jeroným v Čisté. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*, Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, ISSN 1213–1962, ISBN 80–248–1187–1, 155–160.
- [6] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., LEDNICKÁ, M. A RAMBOUSKÝ, Z. *Hodnocení seizmologického monitoringu a projekt distribuovaného měřicího systému v Dole Jeroným v Čisté*. Výzkumná zpráva z experimentálního měření, Ústav geoniky AVČR, Ostrava, 2006, 14 stran.
- [7] BENEŠ V. *Technická zpráva o opakovaném geofyzikálním měření v oblastech ohrožených propady zemského povrchu. Lokalita Čistá – důl Jeroným. Etapa 2010*. Technická zpráva projektu GEMOSS, G IMPULS Praha s.r.o., Praha, 2011, 22 stran.

Summary

The geophysical investigation of the Jeroným Mine site was conducted with the aim to assess the degree of disturbance of the rock massif in the surroundings of the cavities and to attempt, using the repeated measurements, to monitor its development. The results of the performed measurements have shown that the rock environment is to a great extent inhomogeneous. The overlying layers above the cavities are at places heavily loosened. This is shown by significant declines of the seismic velocities and by „chaotic“ resistivity structure. Micro-gravimetry indicated the risk of occurrence of unknown cavities (or, as the case may be, caving falls of unknown cavities) in the route of the planned drain crosscut between two parts of the mine. The existence of unknown cavities was confirmed by the testing boreholes which were situated on the basis of the geophysical measurement results.

The repeated geophysical measurements so far have covered a period of time too short to allow reliable interpretation. Nevertheless, at the site there were detected effects, giving evidence of the current development of loosening processes in the rock environment in the surroundings of the cavities. This especially concerns the space of chamber K3 and the surroundings of the road No. 210. The detected anomalies will need to be confirmed by the next measurements.

The described measurements were carried out and the paper prepared with the financial support under the project Eurostars E! 4250 called GEMOSS.

Figures:

Fig. 1 The scheme of profiles on locality The Jeroným mine – basic investigation

Fig. 2 A budget of the resistivity sections – the ERT method

Fig. 3 A budget of the seismicity sections – the MRS method

Fig. 4 A map of contour lines for the residual Bouguer anomaly

Fig. 5 The correlation scheme of geophysical anomalies

Fig. 6 The repeated geophysical gauge in the place of the P5B profile – the roof of chamber K31 and K3

¹ RNDr. Vojtěch Beneš – G IMPULS Praha spol. s r.o., Přístavní 24, Praha 7, tel. 266 712 779, benes@gimpuls.cz