

Vratislav BLECHA<sup>1</sup>, Jan VILHELM<sup>2</sup>, Petr RAMBOUSEK<sup>3</sup>, Jiří DOHNAL<sup>4</sup>, Zdeněk JÁNĚ<sup>5</sup>

GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM POZŮSTATKŮ STARÉ DŮLNÍ TĚŽBY V LUKAVICI U  
CHRUDIMI

GEOPHYSICAL SURVEY OF OLD MINING REMNANTS AT LUKAVICE NEAR CHRUDIM

**Abstract**

Lukavice village is located in the eastern Bohemia. Historical records relating to pyrite mining at Lukavice are dated from the beginning of 17<sup>th</sup> century. The boom of mining and adjoined industrial activity came about the year 1790. Mines were abandoned in 1892. The reason was import of cheap pyrite from abroad, mainly from Spain. An unsuccessful attempt for mining restoration at Lukavice was done in the years 1951-53.

Geophysical survey at the centre of Lukavice had two aims. 1) To determine thickness of near surface backfill at chosen sites. Backfill is formed by waste rock from mining and may be a source of contamination of local influent streams. We used shallow refraction seismic measurement for solving this task. 2) To find out if below communications in the centre of the village occur empty or partly filled old mine workings, which could collapse under heavy trucks loaded by gravel from the nearby quarry. For prospecting of voids under communications we used microgravity measurements.

Seismic measurements showed that thickness of waste rock backfill varies between 2 and 4 m and increases towards the south. Results of microgravity measurements did not confirm occurrence of empty voids below communications in the centre of village. They are some distinctive negative gravity anomalies in the vicinity of historical shafts, but according to gravity modeling the measured anomalies should not be caused by the near surface empty voids.

**Key words:** refraction seismic measurement, microgravity measurement, historical mine

**Úvod**

První zmínky o těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi ve východních Čechách pocházejí z počátku 17. století. Za nejstarší známý doklad o lukavických dolech se považuje list těžaře Michala Urbana z 12. 2. 1609, adresovaný nejvyššímu mincmistru Království českého. Je ale pravděpodobné, že počátky dolování v Lukavici spadají už do druhé poloviny 16. století, kdy byl zprvu těžen limonit na výrobu železa. Drobná povrchová limonitová ložiska vznikají na výchozech pyritových hornin. V Lukavici a jejím okolí byla však většinou brzy vyčerpána a při hloubení kutacích jam byly objeveny primární rudy, především pyrit.

K největšímu rozmachu dolování dochází po roce 1790. Při dolování a přidružené hutní a chemické výrobě bylo zaměstnáno až 300 lidí. Doly dosáhly hloubky 110 m na úrovni 8. patra. Kutací práce pokračovaly až do roku 1892, kdy byly doly opuštěny. Příčinou zániku dolů v Lukavici byla velká zahraniční konkurence levnějšího pyritu, značné vyčerpání svrchních partií ložiska a velké náklady na uvažovanou modernizaci dolů. Podle příkazu báňského úřadu v Kutné Hoře z října 1892 byla hlavní Bartolomějská jáma v hloubce asi 20 m zazděna cihlovou klenbou a až k povrchu zasypána. Spodní část jámy, hluboké 110 m, jakož i ostatní důlní díla (překopy, slepé chodby), se pak zatopily. Rovněž byl zazděn počátek odvodňovací štoly na 1. patře dolů.

<sup>1</sup> RNDr., CSc., Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2, [vblecha@natur.cuni.cz](mailto:vblecha@natur.cuni.cz)

<sup>2</sup> Doc., RNDr., CSc., Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2, [vilhelm@natur.cuni.cz](mailto:vilhelm@natur.cuni.cz)

<sup>3</sup> RNDr., Česká geologická služba, Klárov 3, Praha 1, [ramby@cgu.cz](mailto:ramby@cgu.cz)

<sup>4</sup> RNDr., Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2, [dohnalj@natur.cuni.cz](mailto:dohnalj@natur.cuni.cz)

<sup>5</sup> RNDr., Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2, [janezde@natur.cuni.cz](mailto:janezde@natur.cuni.cz)

V letech 1951-1953 se prováděl v Lukavici geologický průzkum, který částečně otevřel Bartolomějskou jámu v centru obce. Zpřístupněna byla značná část 1. patra v hloubce 23 m a nepatrná část 3. patra v hloubce 66 m. Spodnější patra dolů i Bartolomějská jáma pod úrovní 66 m zůstaly i nadále zatopeny agresivními, silně kyselými vodami, v podstatě zředěnou kyselinou sírovou. Čerpadla byla po několikahodinovém provozu zničena. To byl jeden z důvodů, proč nebyly doly v padesátých letech zpřístupněny více. Materiálem z hald byly zaváženy staré písníky v okolí obce (Lukavice, 2007).

Další etapa detailnějšího geologického výzkumu v Lukavici a jejím okolí probíhala v letech 1982 – 1990, kdy byla ověřována možnost polymetalického rudního vývoje v hlubších zakrytých částech předpokládaného pokračování ložiska (Pošmourný a kol., 1985) a možnosti využití alterovaných porfyroidů pro keramiku (Jiránek a kol., 1993). Poslední geologické práce na ověření nerostných surovin, spjatých s pyritizovaným komplexem porfyroidů byly provedeny v roce 1995 (Raus a Obst, 1999).

Chodby v lukavických dolech jsou jednak překopy zhruba východozápadního směru, jednak slepé chodby přibližně severojižní. Vzhledem k nepravidelnosti čočkovitého zrudnění byly na různých místech raženy četné kratší chodbice a překopy různých směrů, dále komíny a hloubení, takže celkový obraz důlních prací činí dojem značné nepravidelnosti. Historické zprávy si často odporují i pokud jde o lokalizaci a pojmenování jednotlivých šachet (Lukavice, 2007). Přesná lokalizace nejstarších hornických děl v Lukavici je velmi obtížná, protože jde o terén, který byl po několik století intenzivně využíván a na velké ploše zavezen haldovým materiálem. Nestabilita důlních děl v centru obce se projevuje nepravidelnými propady především svislých důlních děl, jejichž lokalizace a povrchové projevy jsou dokumentovány od poloviny 50. let minulého století (Rambousek 2003). Průvodním projevem pomalých deformací povrchu vlivem poddolování jsou praskliny na obytných domech a průhyby vozovky.

Geofyzikální průzkum v Lukavici řešil dva problémy: 1) na vybraných místech určit mocnost přípvrchové navážky, která pravděpodobně pochází z důlních odvalů; 2) zjistit, zda se pod komunikacemi v centru obce nevyskytují prázdná či částečně vyplněná důlní díla, která by mohla způsobit propad vozovky. První úkol byl řešen pomocí mělké refrakční seismiky, druhý pomocí přesné gravimetrie.

### **Geologické poměry**

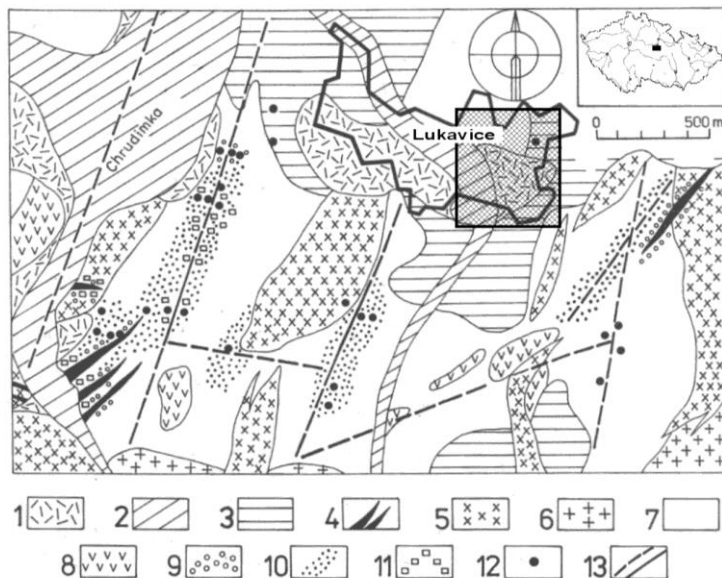
Pyritové zrudnění v Lukavici se nachází v porfyroidech tzv. lukavické skupiny (v regionálním členění Mísaře a kol., 1983), kterou vymezil Vodička (1950). Jedná se o kyselá až intermediární dynamometamorfované paleovulkanity a jejich tufy charakteru ryolitů až ryodacitů, stáří pravděpodobně ordovického. Mladší variskou intruzí železnohorského plutonu došlo jednak k výraznému stlačení tohoto komplexu a k následné polyfázové metasomatóze, spojené s mobilizací roztoků sulfidů, především pyritu. Přínos kyselých sulfidických roztoků po tektonicky predisponovaných zónách měl za následek rozklad živců na illit a kaolinit. V okolí mladších variských kyselých a bazických žil došlo v porfyroidech k prostorově omezeným prokřemeněním. Celý komplex je ukloněn k SV, zlomové struktury jsou zvýrazněny žilnými intruzemi. Původní krystalinický povrch byl intenzivně předkřídově denudován a morfologicky rozčleněn. V prostoru s výraznou pyritizací napomohl rozklad pyritu k intenzivnější aerické alteraci. Následná křídová cenomanská transgrese uložila na bázi pískovce, místy s glaukonitem, slepence, lumachelové vápence a drobné slojky uhelných jílovců až uhlí. V prostoru lukavického ložiska dosahují křídové sedimenty mocnosti 2-20 m. Vrstevní sled uzavírají nepříliš mocné kvartérní sedimenty s terasovými šterkopísky a svahovinami.

### **Terénní geofyzikální práce a zpracování naměřených dat**

#### **Seismika**

Seismické měření bylo provedeno pomocí 24 kanálové seismické aparatury Geode (Geometrics, USA). Použito bylo 24 vertikálních geofonů o vlastní frekvenci 28 Hz a úderového

seismického zdroje. Metodou mělké refrakční seismiky bylo měřeno podél tří profilů (profily S1, S2 a S3 – obr. 2). Body uzemnění geofonů byly na všech profilech po 2 m. Na každém profilu bylo realizováno jedno 24kanálové roztažení geofonů. Na profilech 1 a 3 bylo realizováno celkem 9 bodů úderů: 2 koncové, 2 předsunuté z každé strany a 3 mezilehlé. Na profilu 2 nebylo možné kvůli prostorové dispozici z konce v nízkých metrážích realizovat druhý předsunutý úder. Konkrétní vzdálenost předsunutých úderů byla volena podle prostorových možností na profilech. Pro zlepšení odstupu signál/šum bylo využíváno sumace více úderů kladivem v jednom místě, některé záznamy byly opakovány.



**Obr.1** Geologické schéma okolí Lukavice u Chrudimi s vyznačením zájmového území se starými důlními díly. Legenda: 1- svahoviny, 2- aluvia, 3- křídové pískovce, 4- lamprofyrové žíly, 5- felsitické a granitové porfyry, 6- žumberecký granit, 7 – porfyroidy (kyselá metavulkanity), 8- „porfyroidy“ (bazické metavulkanity), 9 – silifikace, 10 – intenzivní argillitizace, 11 – pyritizace, 12 – významné vrty, 13- předpokládané a ověřené zlomy. Upraveno podle Jiránek a kol., (1993).

Primární zpracování spočívalo především v identifikaci prvních nasazení seismických vln. Vzhledem k přítomnosti vysokofrekvenčních poruch na některých záznamech (pravděpodobně elektromagnetické vlnění) bylo nutné pro zlepšení čitelnosti aplikovat frekvenční filtraci – odfiltrování signálů nad 500 Hz. Předem bylo ověřeno, že užitečný signál v daném případě spadá do výrazně nižšího frekvenčního oboru. Použitý digitální filtr nevnáší časové posuny do měřených seismických signálů.

Nalezena byla první nasazení přímé vlny a dvou lomených vln od dvou lámajících rozhraní. Přesto, že byl zvolen poměrně malý krok mezi geofony a bylo realizováno pět hodochron uvnitř proměřovaných úseků profilu, neposkytl tento systém měření spojitou informaci o průběhu mělkého rozhraní. To znamená, že za poměrně dlouhým úsekem hodochrony přímé vlny (cca. 5 až 9 metrů) následuje poměrně velmi krátký úsek hodochrony lomené od mělkého rozhraní (délka od 3 m), následovaný hodochronou vlny lomené od hlubšího rozhraní. Vzdálenost mezi sousedními body úderu uvnitř měřeného úseku profilu byla 10 až 12 m, a proto nebylo dosaženo spojitě sledovatelnosti

hodochron od mělčího rozhraní. Z toho vyplývá menší spolehlivost v určení rychlosti šíření seismických vln podél tohoto rozhraní. Rovněž určení hloubky nebylo možné realizovat spojitě, ale jen v okolí míst, kde byly naměřeny časy příchodů od tohoto rozhraní. Hodochrone od podložního prostředí byla naměřena spojitě. Nejistota v určení parametrů nadložní vrstvy ovšem způsobuje i možnou nepřesnost v určení průběhu hlubšího rozhraní.

Zpracování bylo provedeno pomocí programu Plotrefa (fy. OYO). Byl zvolen vrstevnatý model prostředí a vzhledem k neúplným vstupním datům (nejsou k dispozici spojitě vstříčné hodochrone od mělčího rozhraní) byl použit optimalizační algoritmus řešení označovaný jako metoda time-term. Výhodou takového řešení je, že se jedná o velmi robustní algoritmus, nevýhodou je, že dostáváme model, který počítá s konstantními rychlostmi ve vrstvách.



**Obr.2** Situace geofyzikálních profilů. S1 – S3 seismické profily, G1 – G4 gravimetrické profily.

### **Gravimetrie**

Gravimetrické měření bylo provedeno na 4 profilech, jejichž pozice je zřejmá z obr. 2. Dvojice profilů G1, G2 a G3, G4 jsou vedeny paralelně po komunikacích v centru obce. Vzdálenost mezi paralelními profily je 5 m. Profil G1 byl vytyčen v metrážích 0 – 200 m, profil G2 v metrážích 20 – 200 m, profily G3 a G4 v metrážích 0 – 150 m. Vzdálenost gravimetrických bodů na profilech je 2,5 m.

Terénní gravimetrické práce byly provedeny mikrogalovým gravimetrem Scintrex CG-3M (Blecha, 2006). Celkem 7 % gravimetrických bodů bylo měřeno opakovaně pro zjištění chyby měření. Sřední kvadratická chyba tíhových měření je  $\pm 4 \mu\text{Gal}$ . Všechny gravimetrické body byly zaměřeny přesnou geometrickou nivelací.

Naměřená data byla zpracována do formy Bouguerových anomálií pro redukční hustotu  $2610 \text{ kg/m}^3$ . Tato hustota odpovídá alterovaným porfyroidům, které na lokalitě tvoří krystalinické podloží.

Vyneseny byly profilové křivky Bouguerových anomálií. Modelování na profilu G4 bylo provedeno pomocí programu GM-SYS.

## Výsledky geofyzikálních měření

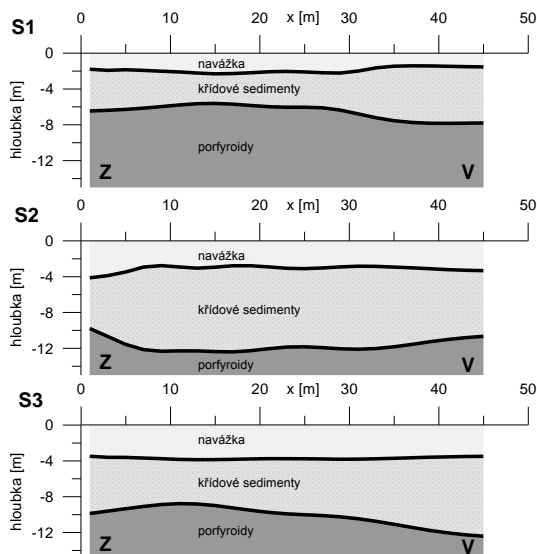
### Seismická měření

Cílem seismických prací bylo zjistit mocnost přípovrchové navážky, která je na studované lokalitě tvořena vytěženým materiálem, tzv. perkovinou. Seismické profily byly vytyčeny v místech, kde by materiál z odvalů mohl být vyplavován do potoka a ohrozit fungování projektované čističky odpadních vod a neutralizační stanice kyselých vod. Výsledky seismického měření na jednotlivých profilech jsou uvedeny v obr. 3. Mělkou refrakční seismikou byla zachycena dvě lámající rozhraní, která oddělují tři horninová prostředí o odlišné rychlosti šíření elastických vln.

V nízkorychlostní přípovrchové vrstvě se přímá vlna šíří rychlostí v rozmezí 320 – 420 m/s a tato vrstva nejspíše odpovídá materiálu navážky. Mocnost přípovrchové vrstvy na nejsevernějším profilu S1 se pohybuje kolem 2 m a směrem k jihu roste. Na jižním profilu S3 je mocnost této vrstvy již kolem 4 m.

První refrakční rozhraní v hloubkách 2 až 4 m odpovídá hranici navážka – křídové sedimenty. Druhá vrstva na grafech je tedy podle naší interpretace tvořena polohou pískovců křídového stáří. Rychlost lomených vln v tomto prostředí byla interpretována v hranicích od 1000 do 1750 m/s. Mocnost křídových sedimentů se pohybuje od 4 do 6 m na profilu S1, od 6 do 9 m na profilu S2 a od 5 do 9 m na jižním profilu S3.

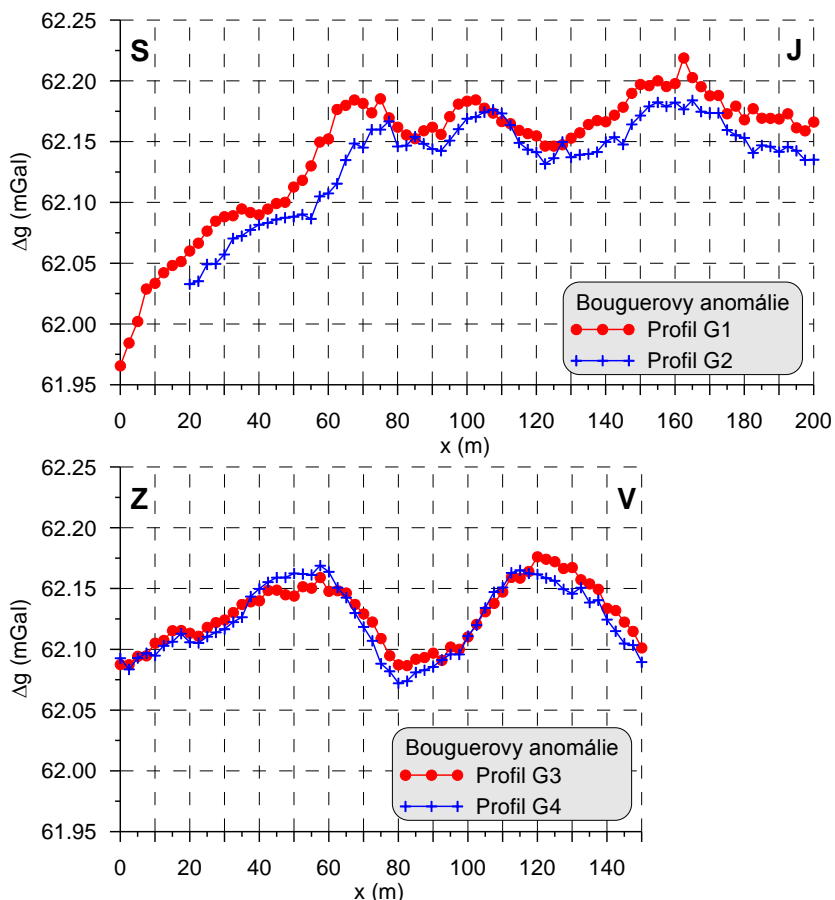
Druhé refrakční rozhraní v hloubkách 6 až 12 m odpovídá hranici křídové sedimenty – krystalinické podloží. Podloží je na lokalitě tvořeno slabě až středně alterovanými porfyroidy. Rychlosti lomených vln se zde pohybují v hranicích od 3700 do 5300 m/s.



**Obr.3** Geologická interpretace výsledků seismických měření na profilech S1, S2 a S3.

### Tíhová měření

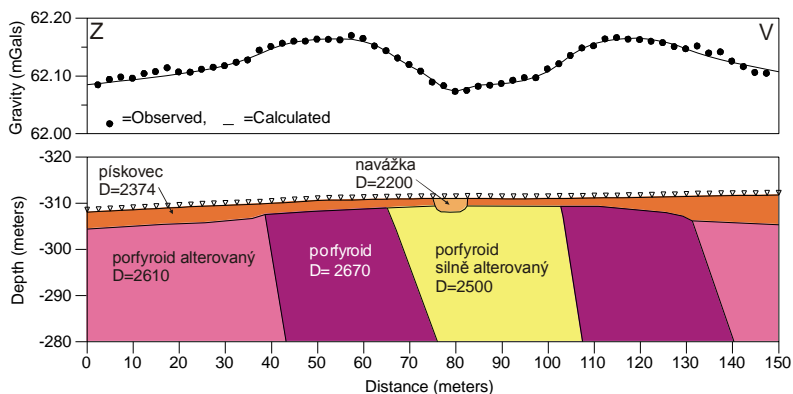
Cílem gravimetrických prací bylo zjistit, zda se pod komunikacemi v centru obce nevyskytují prázdná či částečně zavalená důlní díla, které by mohla způsobit propad vozovky pod těžkými nákladními auty s kamenivem z blízkého lomu. Výsledky gravimetrických prací na profilech G1 až G4 jsou na obr. 4.



**Obr.4** Gravimetrické měření na paralelních profilech G1, G2 a G3, G4.

Nejvýraznější zápornou anomálii s amplitudou 0,09 mGal (90  $\mu$ Gal) vidíme na obou z. – v. profilech G3 a G4. Nejnižších hodnot dosahují Bouguerovy anomálie v úseku metrů metrů 75 - 100. V bezprostřední blízkosti se zde nachází historická Bartolomějská jáma, v současnosti zakrytá betonovou deskou. Střed této betonové desky je cca 5 m severně od metráže 77,5 profilu G3. Zdrojem anomálie není přímo Bartolomějská jáma, protože amplituda anomálie je na profilu G4 větší než na profilu G3 a ten je jámě blíže (obr. 2 a obr. 4). Podle výsledků modelování se nejedná ani

o projev důlní štol. Ty se zde razily s průřezem cca 2 x 2 m, a tíhová anomálie, kterou způsobí prázdná štola blízko povrchu je mnohem užší a má menší amplitudu. Jedno z možných řešení je na obr. 5. Podstatná část záporné anomálie je zde modelována pruhem silně alterovaných porfyroidů ( $2500 \text{ kg/m}^3$ ) uvnitř polohy porfyroidů s vyšší hustotou ( $2670 \text{ kg/m}^3$ ). Ty tvoří mezi metrými 40 až 140 relativně kladnou anomálii vůči běžně alterovaným porfyroidům s hustotou  $2610 \text{ kg/m}^3$ . Při povrchu se vyskytují křídové pískovce ( $2374 \text{ kg/m}^3$ ) a dílčí záporná anomálie na metrání 80 je modelována navázkou s hustotou  $2200 \text{ kg/m}^3$ . Může se jednat např. o zasypané koryto, kterým byla odváděna voda čerpaná z Bartolomějské jámy. Hustoty hornin pro gravimetrický model byly použity s ohledem na výsledky práce Chlupáčová a Kašparec (1990).



**Obr.5** Kvantitativní interpretace gravimetrického měření na profilu G4. Hustoty  $D$  jsou uvedeny v  $[\text{kg/m}^3]$ .

Na s. – j. profilech G1 a G2 byly rovněž zaznamenány lokální zóny relativně záporných Bouguerových anomálií s amplitudou kolem 30 až  $40 \mu\text{Gal}$ . Tato amplituda je nižší než u anomálie na profilech G3 a G4. Středů výraznějších anomálních zón jsou na metráních 90 a 125. Na metrání 90 profilů G1 a G2 je křižovatka silnic a zdrojem záporné anomálie může být navážka pod kolmou silnicí. Anomálie se středem na metrání 125 je příliš široká na to, aby byla způsobena nevyplněným důlním dílem při povrchu. Není vyloučeno, že její zdroj je stejný jako zdroj záporné anomálie na kolmých profilech G3 a G4. Prudký pokles tíže na severních koncích profilů G1 a G2 interpretujeme jako strmé zapadání hornin Lukavické série pod křídové sedimenty na severu.

### Závěr

V Lukavici ve východních Čechách v minulosti po dlouhou dobu probíhala těžba pyritu. Po těžbě zde zůstala řada důlních děl, jejichž průběh a stav není přesně znám. Výskyt prázdných důlních děl pod komunikací v centru obce by mohl způsobit propad vozovky pod těžkými nákladními auty, která v současnosti vozí přes Lukavici kamenivo z blízkého lomu. Výskyt důlních děl byl ověřován pomocí přesné gravimetrie. Gravimetrické měření bezprostředně neprokázalo výskyt prázdných důlních děl pod komunikací v centru obce. Avšak zdroj záporné tíhové anomálie na profilech G3 a G4 na silnici před Bartolomějskou jámou by bylo vhodné ještě ověřit.

Dalším problémem v Lukavici jsou odvaly po dolování, které obsahují pyrit. Materiál z hald byl používán k vyrovnávání terénu v obci a vyplavovaná voda s obsahem síranů ohrožuje kvalitu vodotečí a vodních zdrojů. Mocnost navážky na třech profilech byla zjišťována pomocí mělké refrakční seismiky. Výsledky ukázaly, že mocnost navážky na nejsevernějším profilu S1 se pohybuje kolem 2 m a směrem k jihu roste. Na jižním profilu S3 je mocnost této přípovrchové vrstvy již kolem 4 m.

#### *Poděkování*

*Príspevek vznikl za finanční podpory Grantové agentury České republiky (grant č. 205/07/0574) a výzkumného záměru MSM 0021620855. Technické práce byly financovány Odborem geologie MŽP ČR v rámci projektu „Mapování kritických zátěží po těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi“, vedeného Českou geologickou službou. Poděkování patří též obecnímu úřadu v Lukavici u Chrudimi za technické zabezpečení centra obce pro geofyzikální měření.*

#### **Literatura**

- [1] Blecha V. (2006): Metodika měření mikrogalovým gravimetrem Scintrex. – Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, ročník VI, č. 2, str. 17-21.
- [2] Chlupáčová M. & Kašparec I. (1990): Petrofyzikální charakteristika Lukavické série. – Výzkumná zpráva, Geofyzika s.p. Brno, závod Praha, 49 str.
- [3] Jiránek J., Rambousek P. & Šeba P. (1993): Argillitization of Porphyroides in the Železné hory Mts., Czechoslovakia. 11th Conference on Clay Mineralogy and Petrology Č. Budějovice 1990. -Charles university. Praha.
- [4] Lukavice (2007): <http://delta.ssakhk.cz/v04/jednotlivci/tenkrat/lukavice/index.html>
- [5] Misař Z., Dudek A., Havlena V. & Weiss J. (1983): Geologie ČSSR I., Český masív. – SPN. Praha.
- [6] Pošmourný K., Poucha Z. & Pertold Z. (1985): Regionální geologicko-ložiskové ocenění vulkanosedimentárních sérií v Železných horách.- MS Geofond. Praha.
- [7] Rambousek P. (2003): Posouzení rizika poddolování v centru obce Lukavice. – MS ČGS. Praha.
- [8] Raus M. & Obst J. (1999): Dílčí závěrečná zpráva úkolu Lukavice - Výsonín. Surovina: kaolín, kaolinické jíly. Etapa průzkumu: vyhledávací. Stav ke dni: 31.12.1997. – MS Geofond. Praha.
- [9] Vodička J. (1950): Petrografické poměry v okolí Lukavice a Žumberka v Železných horách. – Sbor. Stát. Geol. úst., Odd. Geol., 17., Praha.