

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



**Geofyzikální průzkum poddolovaného území
v Lukavici u Chrudimi**

**Geophysical Survey of Undermined Area
in Lukavice near Chrudim**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Michaela Slavičková

Vedoucí: RNDr. Vratislav Blecha, CSc.

Konzultant: RNDr. Petr Rambousek

Praha, srpen 2010

Prohlašuji, že jsem na předložené diplomové práci pracovala samostatně a všechny použité prameny jsem řádně citovala v seznamu literatury.

Souhlasím se zapůjčením diplomové práce v knihovně UK, PřF.

Praha, 29. 8. 2010

Michaela Slavíčková

Abstrakt

Obec Lukavice ve východních Čechách je známá svou historickou těžbou pyritu. První zmínky o těžbě pocházejí z počátku 17. století. Doly byly opuštěny v roce 1892 díky značnému vyčerpání svrchních partií ložiska a také díky zahraniční konkurenci levnějšího pyritu. Stará důlní díla byla rekultivována a částečně sanována, ale jejich přesná poloha v řadě případů známa není. Výskyt prázdných důlních děl pod komunikacemi v centru obce by mohl způsobit propad vozovky pod těžkými nákladními auty, která vozí přes Lukavici kamenivo z blízkého lomu.

Úkolem geofyziky bylo určení mocnosti haldového materiálu (seismika), sledování subsidence v centru obce (opakovaná nivelace) a vyhledávání starých důlních děl pomocí gravimetrie. Diplomová práce je zaměřena na zpracování a interpretaci gravimetrických měření.

Gravimetrická měření neprokázala výskyt prázdných přípovrchových důlních děl pod komunikacemi v centru obce Lukavice. Modelování výsledků gravimetrických měření ukazuje, že záporné Bouguerovy anomálie zjištěné na silnici v okolí Bartolomějské jámy mohou být způsobeny různým stupněm alterace podložních porfyroidů, nebo zvýšenou mocností sedimentárního pokryvu či zásypu.

Podle historických map a fotografií byla určena přibližná poloha bývalé vodní šachty Vilemína. Přesnou polohu šachty jsme hledali pomocí plošného gravimetrického měření. Z výsledků měření je zřejmé, že pomocí gravimetrie byla vodní šachta lokalizována. Podle tvaru a velikosti záporné tíhové anomálie nad šachtou Vilemína se domníváme, že byla zachycena i jáma na vodní kolo, které pohánělo pumpy čerpající vodu z dolů.

Abstract

Lukavice village is located in Eastern Bohemia and it is known for its historical pyrite mining. The first mention of mining comes from the beginning of 17th century. The mines were abandoned in 1892 due to a significant depletion of the upper parts of the deposit and also because of the competition of cheaper pyrite from abroad. Old mine workings were often backfilled incompletely and their exact location is unknown. The occurrence of empty mine workings under the roads in the village centre could cause a collapse of the ground under the weight of heavy trucks which carry through Lukavice village aggregate from the nearby quarry.

The aim of geophysics was to determine the thickness of dump material (seismics), subsidence monitoring in the village centre (repeated levelling) and the principal aim was to locate old mine galleries and shafts (gravity survey).

Gravity measurements did not prove the presence of empty mine workings under the main road at the village centre. Most pronounced negative Bouguer anomaly, which occurs in the vicinity of Bartolomějská jáma shaft, may be caused by higher degree of alteration of underlying porphyroids.

According to historical maps and photos we determined approximate location of the former water pit Vilemína. For the determination of the exact position of the pit we used gravity survey in the detailed grid of profiles. The results of measurements show that gravity survey was successful and precise position of water pit Vilemína was located in the southern part of study area. According to the shape and size of the anomaly we conclude that besides the water pit was also detected a hole for a water wheel that powered pumps drawing water from the mines.

OBSAH

Abstrakt	3
Abstract	4
1. Úvod	7
2. Charakteristika zájmového území	8
2.1 Geomorfologie	8
2.2 Hydrogeologie	9
2.3 Geologie	11
3. Dolování v Lukavici	16
3.1 Lukavické ložisko	16
3.2 Historie těžby	21
4. Geofyzikální prozkoumanost	28
5. Metodika terénních prací a zpracování dat	29
5.1 Seismika	31
5.2 Sledování subsidence	32
5.3 Gravimetrie	32
6. Výsledky měření a jejich interpretace	35
6.1 Seismika	35
6.2 Sledování subsidence	37
6.3 Profilová gravimetrická měření na komunikacích v centru obce	38
6.4 Plošné gravimetrické měření pro lokalizaci vodní šachty Vilemína	44
7. Závěr	53
Literatura	54
Seznam obrázků	58

V úvodu své práce bych ráda poděkovala svému školiteli RNDr. Vratislavu Blechovi, CSc. za nabídku tak zajímavého tématu diplomové práce, která mi pomohla nejen skrze práci v terénu rozvinout vědomosti o gravimetrii jakožto geofyzikální metodě, ale také si zkusit v praxi to, co jsem do té doby znala pouze z teorie.

Velké díky patří RNDr. Petru Rambouskovi, odbornému konzultantovi z České geologické služby, který mi ochotně poskytl materiály o geologických poměrech a historii dolování v Lukavici a podělil se se mnou o své znalosti.

Poděkování je určeno též obecnímu úřadu v Lukavici, za technické zabezpečení centra obce pro geofyzikální měření.

Práce byla financována Odborem geologie MŽP ČR v rámci projektu „Mapování kritických zátěží po těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi“, vedeného Českou geologickou službou.

1. Úvod

Lukavice je stará hornická obec u Chrudimi v Pardubickém kraji, která je známa historickou těžbou pyritu. Přímo v centru obce byly doly na pyrit, které byly později částečně sanovány a neúspěšně rekultivovány. Díky tomu dochází k opakovaným propadům, deformacím na vozovce i přilehlých domech. V současnosti hrozí riziko propadu pod hlavními komunikacemi vedoucími centrem obce, jelikož tudy projíždějí těžké nákladní automobily s kamenivem z nedalekého lomu Žumberk.

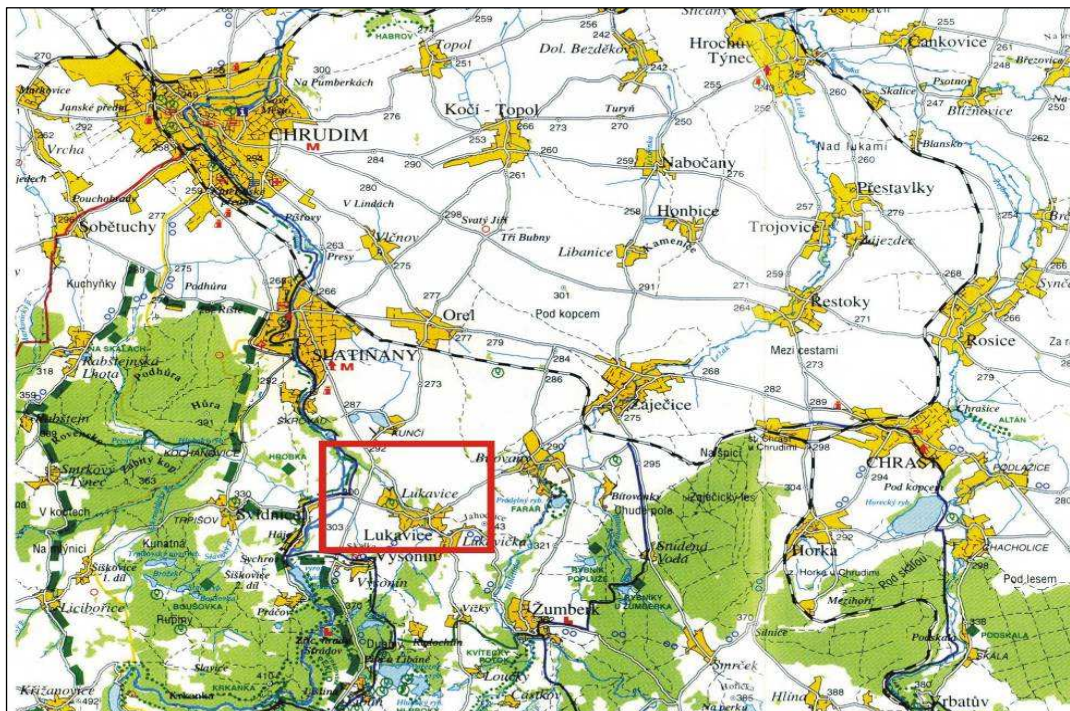
Proto byly v roce 2006 zahájeny geofyzikální práce na projektu „Mapování kritických zátěží po těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi“, kde úkolem geofyziky bylo vyhledání starých důlních děl (gravimetrie), ověření výskytu haldového materiálu a určení jeho mocnosti (mělká refrakční seismika) a také sledování subsidence v centru obce (opakovaná výšková měření pomocí geometrické nivelace ze středu na lať). Dvouletý projekt byl financován MŽP ČR. Geofyzikální část projektu byla zadána Českou geologickou službou odd. Užité geofyziky PřF UK.

V diplomové práci se zabývám mikrogravimetrickým průzkumem, jehož úkolem bylo lokalizovat případný výskyt starých důlních děl pod komunikacemi v centru obce. Seismických měření ani zpracování nivelace pro sledování subsidence jsem se osobně neúčastnila. Výsledky těchto prací, které probíhaly současně s gravimetrií, přesto stručně uvádím, neboť je používám při interpretaci gravimetrických dat.

2. Charakteristika zájmového území

2.1 Geomorfologie

Obec Lukavice se nachází v Pardubickém kraji, v okrese Chrudim. Rozkládá se na západním a severním svahu vrchu Jahodnice (343 m n. m.) - nejvyššího bodu širšího okolí. Asi půl kilometru západně od obce protéká řeka Chrudimka, za ní již začíná pásma Železných hor. Polohu obce nám detailně ukazuje obr. 1.



Obr. 1 Poloha zájmového území Lukavice u Chrudimi (Rambousek, 2007).

Jak Rambousek (2007) uvádí, katastr obce sousedí na západě s hranicí CHKO Železné hory. Systémově geograficky spadá území Lukavice do geomorfologické provincie Česká vysočina, přesněji leží na pomezí Česko-moravské subprovincie (oblast Českomoravská vrchovina, celek Železné hory) a subprovincie Česká tabule (oblast Východočeská tabule, celek Orlická tabule).

Rambousek (2007) dále popisuje, že území leží při hranici orografických jednotek České křídové tabule a Českomoravské vrchoviny, dílčích jednotek Chrudimské tabule a Železných hor. Terén je zde mírně zvlněný, vzhledem k poloze při patě severního svahu Železných hor se svažuje k severu až k severovýchodu. Nadmořská výška terénu se pohybuje

v rozmezí 285 m n. m. (ústí Lukavického potoka do Chrudimky) až 340 m n. m. (obec Výsonín).

Morfologicky leží obec Lukavice na rozmezí okrsků Skutečská pahorkatina Českomoravské soustavy a Hrochotýnecké oblasti České tabule.

Lokalizaci zájmového území Rambousek (2007) specifikuje následovně: nachází se východně od Prádelského rybníka, v centru obce Lukavice, v okolí křižovatky silnic na Zaječice a na Žumberk. Poddolované území zaujímá plochu přibližně 4 ha, plocha hald po zpracování pyritu je zhruba 3 ha, areál bývalé chemické továrny zaujímá plochu asi 1 ha. Dotčené území, mimo prostor hald, je trvale osídlené a je nejrušnější částí obce s obchodem, restaurací, autobusovými zastávkami a nejhustší dopravou.

2.2 Hydrogeologie

Obec Lukavice leží na geografickém rozvodí Chrudimky a říčky Holetinky (Vosáhlo, 1954).

Hydrograficky patří Lukavice do povodí Labe, konkrétně do povodí Chrudimky a jejího pravostranného přítoku, Lukavického potoka (číslo hydrologického pořadí 1-03-03-031) (Pavlík, 1992). Pramen řeky Chrudimky je v nadmořské výšce přes 700 m a její ústí do Labe 214 m n. m. Spádový rozdíl je přibližně 490 m. Přímá vzdálenost pramene od ústí je pouze 38 km, na to, že délka řeky Chrudimky je 108 km. Na Chrudimce je vybudováno celkem 5 přehrad – Hamry, Seč, Křižanovice, Padrty a Práčov. Řeka má přes 80 přítoků a vzhledem ke své délce je tedy považována za relativně vodnatou (Burda et al., 1993).

Celá oblast je odvodňována údolními Chrudimky a Ležáku. V blízkosti těchto údolí proto spodní voda chybí. Z tohoto důvodu mohly být zakládány velké jámové lomy na pískovec u Škrovádu. (Matějovský, 1954).

Hydrochemicky jsou tyto vody zpravidla středně tvrdé, neutrální až alkalické reakce (Pavlík, 1992) a místy jsou pro ně charakteristické vyšší koncentrace železa. Co se týče kyselosti vod, Matějovský (1954) vysvětluje, že samovolně odváděná voda z 1. patra byla přirozeně nejkyselější, jelikož přicházela ze zvětralých částí ložiska. Velká kyselost (až 3 pH s obsahem kolem 4g SO₄ v 1 litru) také způsobuje, že hydráty železa se neusazují, ale jsou odnášeny v potůčku a též z haldy do Chrudimky, kde se teprve v nekyselém prostředí sráží. Svědčí o tom železité povlaky a zbarvení v řečišti, které jsou zřetelné na obr. 2.

Hydrogeologicky leží obec na hranici dvou rajónů. Jedná se o rajón 6532 Krystalinikum Železných hor a rajón 4310 Chrudimská křída. (Rambousek, 2007).



Obr. 2 Železité zbarvení Lukavického potoka. Odběr vzorků vody 13. 7. 2007 (archiv P. Rambouska).

Rajón Krystalinika Železných hor je charakterizován puklinovou propustností, která bývá ve většině případů omezena jílovitými produkty zvětrávání matečných hornin. Voda je vesměs málo mineralizovaná, měkká, neutrální až kyselé reakce.

Sedimenty křídové tabule hydrogeologického rajónu Chrudimská křída jsou zachovány v několika kolektorech. Nejvýznamnější z nich je kolektor cenomanský, rozšířený v celém rozsahu pánevního systému. Propustnost kolektoru je průlinově puklinová, hodnoty indexu průtočnosti Y se pohybují v rozmezí 4 – 5, místy přesahují hodnotu 6. Zároveň má napjatou hladinu. Volná je hladina v oblasti cenomanských výchozů, v infiltračních čelech (tedy v naší zájmové oblasti). Mocnost cenomanu je velice proměnlivá, protože horniny vyplňují nerovný předkřídový povrch. Ve vrtech v Lukavici se pohybuje mocnost cenomanu kolem 10 - 15 m a v Chrudimi 1 - 2 m (Topinková, 2002).

Kvartérní sedimenty jsou tvořeny hlavně hlinitokamenitými svahovinami, terasovými štěrko písčitojílovitými hlínami. Antropogenní uloženiny jsou

zastoupeny hlavně starými důlními odvaly po těžbě pyritových rud a skládkami odpadů z chemické továrny, přímo v centru obce Lukavice na ploše cca 2 ha (Rambousek, 2007).

Ve studovaném území odlišuje Topinková (2002) dva režimy podzemních vod v regionálním měřítku. Hlubší oběh je vázán na pukliny porfyrů a porfyroidů v zóně rozrušení po těžbě rud.

Pukliny v porfyroidech jsou poměrně málo propustné, neboť bývají zahojeny množstvím sericitické hmoty. (Matějovský, 1954).

Jak také Matějovský (1954) podotýká, je nutno brát v úvahu, že důlní voda byla sváděna odvodňovací štolou z 1. patra. Tím se zbavili největšího množství vody, neboť rozsáhlé 1. patro funguje jako drenáž. Přítok ve spodních patrech je pak malý, díky puklinám sevřených tlakem.

Puklinové vody jsou drenovány systémem svislých i vodorovných důlních děl, která jsou nyní zatopena. Jejich hladina se pravděpodobně udržuje v úrovni 1. patra dolů, tzn. v úrovni odvodňovací štoly, která důlní vody odvádí do Chrudimky.

Mělký oběh podzemních vod je vázán na sedimenty kvartérního pokryvu a křídly, antropogenní uloženiny a částečně na eluvia žul, porfyrů a porfyroidů. V tomto mělkém režimu s volnou hladinou zvětralinový plášť s převážně průlinovou propustností představuje dosti zvodněné prostředí s přímou infiltrací složek, s hydrologickou spojitostí s vodou povrchových toků, a tedy i celkově živějším oběhem, než má režim hlubší.

Směr proudění podzemní vody v zájmovém území uvádí Topinková (2002) od jihovýchodu k severozápadu k řece Chrudimce, v souladu se sklonem terénu, hloubka hladiny podzemní vody se pohybuje v rozmezí 1,5 až 3,5 m pod terénem. Jarní a podzimní kolísání je od 10 do 75 cm s vyšší hladinou vždy v jarním období.

2.3 Geologie

Z geologického hlediska se Lukavice nachází na rozhraní české křídové tabule a lukavické série nasavrckého masivu, která se na severu stýká se sedimenty chrudimského paleozoika.

Řešení geologického postavení hornin lukavické série, tvořící nejdůležitější úsek zájmového území, je při komplikované stavbě Železných hor obtížné.

Horniny lukavické série vystupují na severním okraji železnohorského (nasavrckého) plutonu. Pluton je hercynského stáří a horniny lukavické série jsou evidentně starší. O větším stáří svědčí skutečnost, že lukavická série prodělala metamorfní pochody epizonálního charakteru, které v žulových horninách plutonu nenacházíme. Po vystoupení nasavrckého plutonu neexistovaly již v oblasti českého masivu pohyby, které by způsobily takové nasunutí příkrovového rázu. Dalším důkazem o větším stáří hornin lukavické série svědčí nález přeměněných porfyrů u Křižanovic (Matějovský, 1954).

Jak uvádí Topinková (2002) nasavrcký pluton je polygenní těleso tvořené magmatickými asociacemi plutogenního i vulkanogenního typu, produkty progresivní granitizace plášťových hornin masívu a migmatitizace starších hornin plutonu a přilehlého krystalinika. Generální směr hornin lukavické série je Z - V, přičemž ve v. části (u obcí Lukavice a Bítovany) a dále pod křídovým útvarem se horniny této geologické jednotky zřetelně stáčíjí k SV, případně až k S. Celou lukavickou sérii lze sledovat asi v délce 15 km. Nejmocnější je v údolí řeky Chrudimky u Svídnice, dosahuje zde šíře přes 3 km. Jedná se tedy o vulkanosedimentární jednotku s bimodálním vulkanismem řady ryolit – dacit – andezit - bazalt, jejíž stáří je patrně kambro-ordovické (Rambousek, 1990) a jejíž stavbu komplikují mladší průniky žilných hornin (různé typy porfyrů a lamprofyrů).

Do blízkosti Lukavice také zasahuje křižanovická subzóna nasavrckého masívu, jejímž základem jsou jednotky variského stáří a která je tvořena růžovošedými až načervenalými leukokratnými biotitickými žulami.

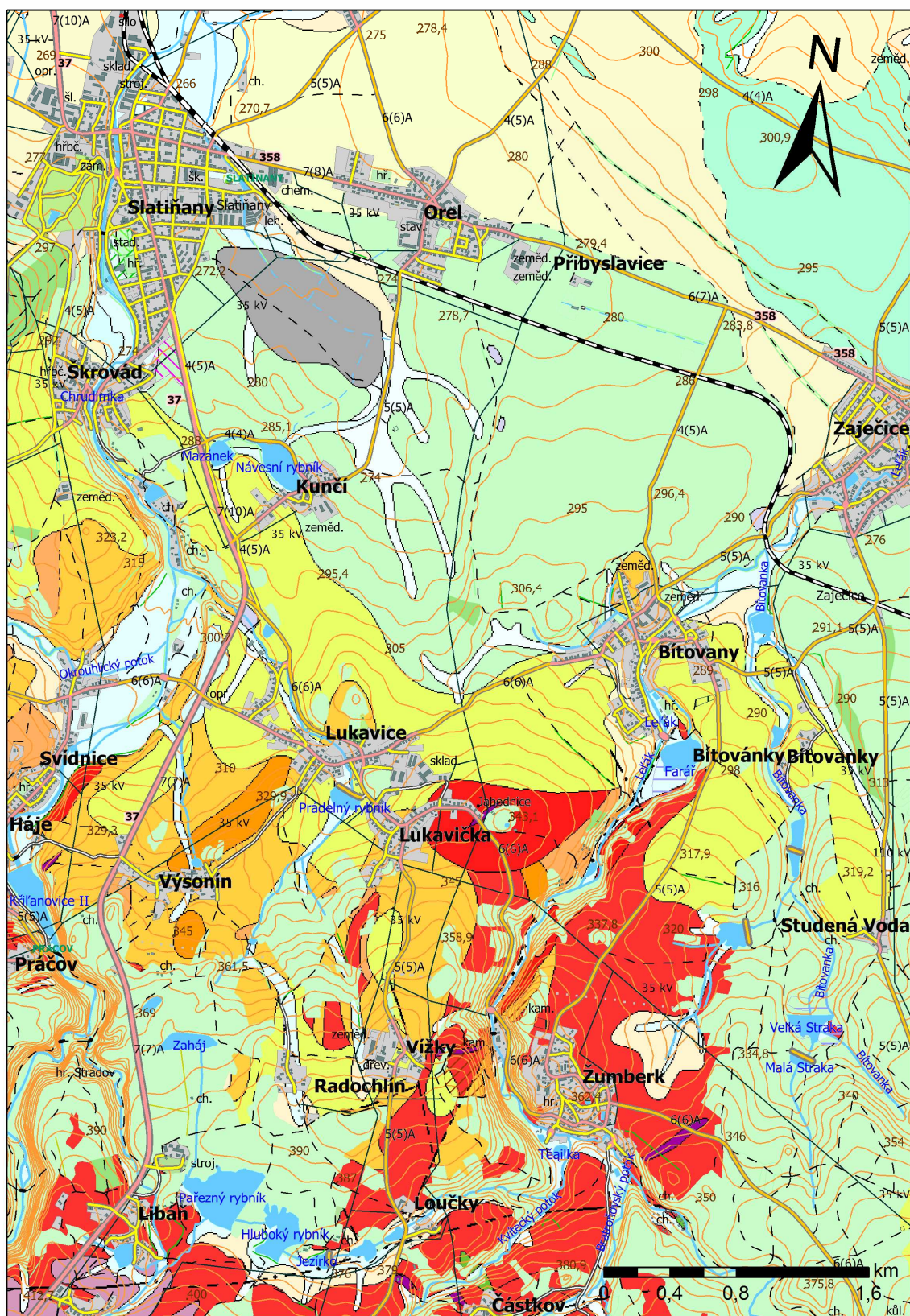
Směrem na sever se jednotky železnohorské oblasti noří pod sedimenty české křídové pánve, která je zde zastoupena svou dílčí jednotkou chrudimská křída.

Mocnost křídových sedimentů generelně narůstá od j. transgresivního okraje směrem k SSV. Svrchní křída v platformním vývoji transgreduje od severu a severovýchodu na ordovik, lukavickou skupinu i nasavrcký pluton. Jedná se zde většinou o psamitické až pelitické sedimenty (pískovce, jíly, slínovce, opuky), horniny nejsou zvrásněné ani břídlíčnaté. Vrstevní sled začíná bazálním souvrstvím cenomanu. Cenoman vyplňuje nerovnosti předkřídového reliéfu a jeho mocnost je proměnlivá. V této části je cenoman reprezentován glaukonitickými pískovci až kaolinickými pískovci.

Na cenomanu je konkordantně vyvinut spodní turon, který je zastoupen jílovci, slínovci, výjimečně spongilitickými slínovci. Toto souvrství upadá do centra křídové pánve. Celková mocnost křídových sedimentů kolísá v závislosti na morfologii podloží od prvních

desítek metrů do 150 m. V prostoru lukavického ložiska dosahují křídové sedimenty mocnosti 2 – 20 m. Vrstevní sled uzavírají nepříliš mocné kvartérní sedimenty s terasovými štěrkopísky, hlinitokamenitými svahovinami, písčitojílovitými nivními půdami a lokálně vyvinutými polohami spraší (Rambousek, 2007).

Geologická mapa je zobrazena na obr. 3 a legenda k mapě na obr. 4.



Obr. 3 Geologická mapa okolí Lukavice (Česká geologická služba, 2004).



Obr. 4 Legenda ke geologické mapě zobrazené na obr. 3 (Česká geologická služba, 2004).

3. Dolování v Lukavici

3.1 Lukavické ložisko

Jak zmiňuje Matějovský (1954) ve své práci, nejčastější výskyt pyritu je v porfyroidech lukavické série mezi údolími Chrudimky a potoka Ležáku.

Pyrit impregnuje v této oblasti v nestejném množství více méně všechny typy vyvřelých hornin. Závalky pyritu byly zjištěny i v bazálních křídových vrstvách. Svým výskytem přesahuje tedy hranici porfyroidů a vyskytuje se i v přilehlých žumbereckých žulových horninách a v horninách žilných.

V sericitickém porfyroidu je pyrit roztroušen v podobě čerstvých zrněk (nejčastější velikost zrněk je kolem 1 mm), nebo tvoří nepravidelné impregnační žilky a čočky (2 – 10 mm mocné).

Maximální zrudnění je v silně stlačeném provrásněném porfyroidu ve starém dole v Lukavici. Tam tvoří mimo impregnaci žilné partie a čočky až 1 m mocné. Ruda byla dobývána i v největší hloubce dolu. K tomu je třeba uvést zmínku, že od 3. patra do hloubky ubývá mocnosti bohatých partií, avšak pyrit je více koncentrován do jednotlivých poloh. Bohaté žilné partie se často vytrácejí v impregnaci nebo se naopak náhle stávají mocnějšími.

Rudonosné pásmo upadá ve směru vrstev pod 65 – 75° k východu. Podle starých map upadá nepravidelná síť chodeb v nižších patrech pod 70° spíše k JV do hloubky kolem 200 m.

Bohaté, ale nepravidelně zrudněné partie, které na 1. patře tvoří celkovou mocnost několik desítek metrů, se omezují zřejmě směrem do hloubky na hlavní přívodové cesty. Totéž bylo potvrzeno i vrtně. Zúžení se netýká impregnace, která je více méně v celé oblasti. Čím méně je porfyroid stlačen, tím je impregnace slabší. Pyrit není zkoncentrován na plochách břidličnatosti a impregnační zrnka pyritu jsou pak dokonale roztroušena v hornině. Pak jen jeho čerstvý vzhled v jinak hydrotermálně přeměněné hornině dokazuje jeho epigenetický původ. Pyrit by totiž nevydržel takové přeměny, kterým neodolaly silikáty. Zvláště hojná impregnace v kompaktních dioritových porfyritech svádí k názorům o primárnosti pyritu (šachta č. III a skalky severně od Lukaviček).

Zrudněné porfyroidy nevycházejí na povrch. Silné zrudnění bylo odkryto při stavbě přehradu u Svídnice. Tam lze pozorovat na pravém břehu kyzové větrání – limonitizaci a sporou břízkovou vegetaci. V těchto místech je ve srázu nad přehradou zbytek starých

kutacích prací (z roku 1805). Pyrit tu byl podle starých zpráv zastižen ve formě silnější impregnace a slabých žilek.



Obr. 5 Letecký snímek okolí Lukavice (Geoportál.cenia.cz, 2010).

Na ojedinělých výchozech u Lukavice jsou porfyroidy bez pyritu v povrchových vrstvách. Jinak jsou porfyroidy zakryty pokrývnými útvary a u severu mizí pod křídou. V ostrůvku u Bítovan, kde vystupují z podloží křídou, nebylo zrudnění na výchozech pozorováno. Geografická poloha jednotlivých míst je na obr. 5.

V hydrotermálně přeměněných křemitých porfyrech je pyrit řídko roztroušen v nepravidelných zrnkách o velikosti zhruba 0,5 mm (lom na Podjahodnici).

Poměrně hojněji jsou impregnovány tmavé dioritové porfyryty. Impregnace je viditelná v jejich výchozech jak v údolí Ležáku u šachty III., tak jižně od Lukaviček.

Také v lůmku asi 0,5 km jižně od Výsonína je zřetelná impregnace v podobě větších, pravidelně roztroušených zrn syté mosazné žluté barvy. Tato barva je odlišná než kdekoli jinde v porfyroidech. Sytější barvu v dioritových porfyritech dokazuje jeho výskyt v šachtě III., která je zobrazena na obr. 6.

V porfyrických žulách v údolí Ležáku lze najít v lomech omezeně pyrit v slabých impregnacích i ojedinělých žilkách.

Tyto nálezy již přesahují z oblasti mezi Chrudimkou a Ležákem přes tento potok. Na druhé straně přesahuje výskyt pyritu Chrudimku v území mezi Práčovem a Sychrovem. Jde o slabou impregnaci, která je viditelná v lomech při silnici do Práčova. Důkazem většího zrudnění je však zbytek kutací štoly nad silnicí u Sychrova. Tato dnes zavalená štola je ražena v porfyritoidech.

Závěrem lze říci, že zrudnění je vázáno svým vznikem na žulový žumberecký masiv a představuje jeho hydrotermální fázi. Rudní obsah roztoků se při výstupu vyloučil již v okrajových, chladnějších partiích žuly a zvláště v porfyroidech, které tvoří v žumberecké žule nepřilíh mocný plášť. Z velmi mobilních rudonosných roztoků se většinou vyloučil samotný pyrit ve formě žil, žilníků, čoček a impregnací do předem zbrídlíchnatělých porfyroidů. Usazování se dělo zvláště podél ploch břidličnatosti (sklon 60 – 70° vých.).

Silněji impregnované dioritové porfyryty dokazují, že rudonosné roztoky využívaly nejspíše přírodních cest těchto žilných hornin.

Nepravidelnost zrudnění způsobil původní nerovný okraj mateřského magmatického tělesa, které mimo četné apofysy, zjištěné ve vrtech, prostupuje nadložním pláštěm porfyroidů a odkrývá tak až k povrchu ve dvou pruzích nepatrně zrudněné žulové horniny.

3.2 Historie těžby

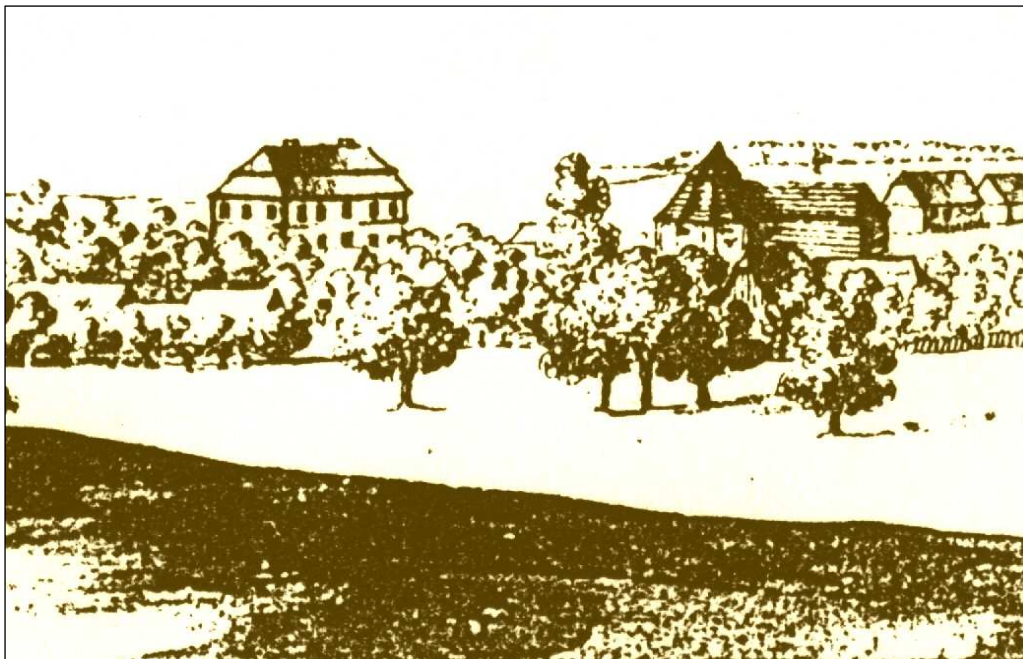
V posledních stoletích před počátkem našeho letopočtu byly v blízkosti Lukavice v provozu keltské pece na Hradišti u Nasavrku. Keltové byli výborní prospektoři a znalci nerostných surovin, které také těžili (Lukavice, 2007). Zpracovávali zde nejen železné rudy, ale i měď, olovo a ušlechtilé kovy (Topinková, 2002).

Za nejstarší známý doklad o lukavických dolech se považuje list těžaře Michala Urbana z 12. 2. 1609, adresovaný nejvyššímu mincmistru Království českého (Lukavice, 2007). Počátky většího dolování však spadají asi do roku 1620, kdy bylo ložisko pravděpodobně náhodně objeveno při kopání studny. Jako první byl zužitkován pouze limonit (Topinková, 2002). Limonit (tzv. železný klobouk) se těžil na výrobu železa. Drobná povrchová limonitová ložiska vznikající 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 (Lukavice, 2007).

V roce 1746 byly v Lukavici instalovány na tehdejší dobu velice moderní retortové pece a chemický průmysl se zde začal rozvíjet velmi intenzivně. Vedle elementární síry se tu (často z dovezených surovin) vyráběla kyselina sírová, kyselina solná, kyselina dusičná, lučavka, zelená a modrá skalice, kamenec, Glauberova sůl, ledek, olověný cukr, caput mortuum a superfosfát. Jako vedlejší produkt se zužitkovávaly okry (žlutohnědá lukavická hlinka) a kaolinické jíly. Lukavická továrna byla ve své době jednou z nejmodernějších v celé monarchii a na Světové výstavě ve Vídni roku 1873 byla oceněna medailí za rozvoj chemického průmyslu. Již modernizovaná chemická továrna a k ní přidružené sklady se nacházely u bývalého Knížecího horního úřadu (obr 7.) v místě dnešního obecního úřadu a jeho bezprostředního okolí (Rambousek, 2007).

Rodina Auerspergů je spjata s velkým rozvojem této oblasti. Nejen že pozvedli dolování a chemický průmysl, ale také zdejší lesnictví, zemědělství a vodní hospodářství (Topinková, 2002). V roce 1755 byly v Lukavici v provozu tři šachty – jáma „Sv. Bartoloměje“, jáma „U správceva domu“ a jáma „U kovárný“. Intenzita těžby se zvyšuje, ale zůstává na primitivní úrovni. K největšímu rozmachu dolování dochází kolem roku 1790, kdy při těžbě, zpracování a přidružené výrobě bylo zaměstnáváno až 300 lidí. Koncem 18. století byly všechny zdejší šachty propojeny (Lukavice, 2007). Podle zachovalých zpráv a důlních map byly lukavické doly hluboké 163 m a měly osm pater. Některé archivní zprávy však

hovoří i o pracích na devátém a desátém horizontu, z čehož lze usuzovat na maximální hloubky kolem 200 m (Topinková, 2002).



Obr. 7 Knížecí horní úřad a Bartolomějská šachta z kresby zobrazující Lukavici v r. 1796. V popředí je okraj Prádelského rybníka (Rambousek, 2007).

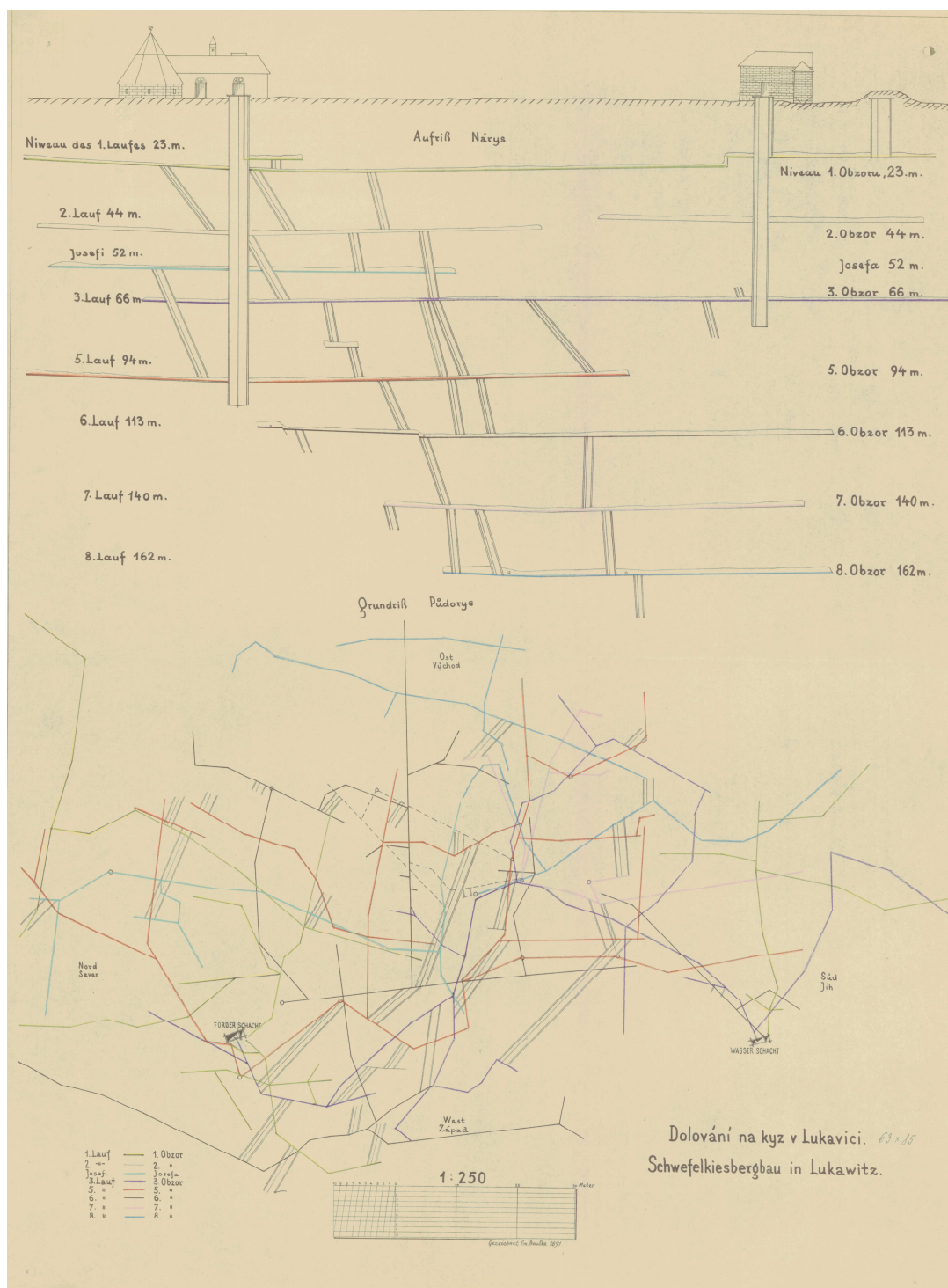
František Josef Auersperg provozoval kutací práce až do roku 1892, kdy byly doly opuštěny. Příčinou zániku dolů v Lukavici byla velká zahraniční konkurence levnějšího pyritu, značné vyčerpání svrchních partií ložiska a velké náklady na uvažovanou modernizaci dolů. Podle dispozic báňského úřadu v Kutné Hoře z října 1892 byla hlavní Bartolomějská šachta v hloubce asi 20 m zazděna a zasypána k povrchu. Spodní část v hloubce 110 m, jakož i všechna důlní díla (překopy, slepé chodby), se pak zatopily (Lukavice, 2007). Po opuštění dolů chemická továrna ještě nějakou dobu v Lukavici existovala, ale v roce 1905 byla přemístěna do nedalekých Slatiňan a spojena s tamním podnikem na výrobu umělých hnojiv. Lze usuzovat, že současný chemický průmysl v Pardubicích je dědictvím po starých továrnách v Lukavici a Slatiňanech (Topinková, 2002). Lukavické doly byly částečně znovuotevřeny v roce 1952, kdy se zde prováděly průzkumné práce.

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 písničky 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 a možnosti využití alterovaných porfyroidů pro keramiku. Poslední geologické práce na ověření nerostných surovin, spjatých s pyritizovaným komplexem porfyroidů byly provedeny v roce 1995 (Blecha a kol., 2007).

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).



Obr. 8 Dolování na kyz v Lukavici. Vertikální řez (nahore) a horizontální řez (dole). Vlevo nahore je Bartolomějská jáma a vpravo vodní šachta Vilemína (Vodička, 1952).

Bartolomějská jáma

Bartolomějská jáma (obr. 9) byla založena počátkem 18. století saskými horníky, kteří byli do Lukavice pozváni pražskými těžaři. Byla hlavní šachtou lukavických pyritových dolů.

Je velmi pravděpodobné, že byla založena na místě starší hornické šachty. O stáří šachty svědčí i to, že byla jako nejvýznamnější lukavická jáma pojmenována po sv. Bartoloměji, patronu bítovanského kostela, ke kterému byla Lukavice přifařena.



Obr. 9 Bartolomějská šachta. Detail fotografie z roku 1883 (Rambousek, 2007).

Počátkem 19. století dosáhla své maximální hloubky 110 m. A až do roku 1892, kdy došlo k uzavření dolů, byla hlavní těžní jámou. Při povrchu je tato šachta 3 x 1,8 m veliká, směrem do hloubky se zmenšuje. Byla pečlivě vyhloubena v kompaktní skále, na povrchu vybavena důlními budovami a koňským žentourem. Ruda se vyvážela v sudovitých bečkách tzv. „suntech“ o obsahu asi 2,5 q, střídavě chodících nahoru a dolu.

Páté důlní patro v hloubce 94 m bylo poslední, se kterým tato šachta přímo komunikovala. S hlubšími patry – 6., 7., 8., 9. a 10. (dosahovaly hloubky 210 m) byla Bartolomějská šachta spojena pouze nepřímě několika šikmými hloubeními.

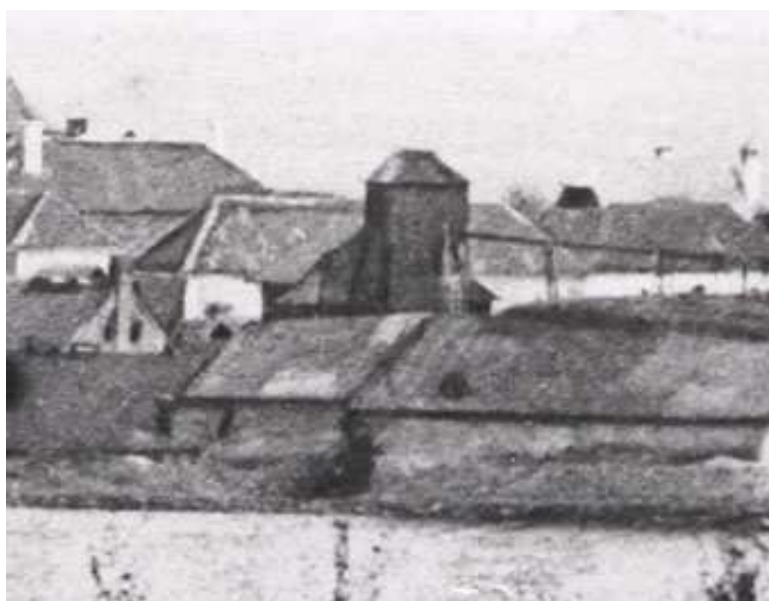
V 50. letech byla Bartolomějská šachta znovu otevřena a částečně zpřístupněna. Dnes je šachta opět uzavřena betonovou deskou a vytěžené prostory zatopeny značně kyselou důlní vodou (Lukavice, 2007).

Šachta Vilemína

Byla pravděpodobně založena v letech 1760 – 1770. Není vyloučeno, že byla pojmenována na počest manželky J. A. Auersperga „Vilemina“.

Do roku 1784 byla středem samostatného menšího revíru. Když byly oba revíry spojeny, pak pozbyla svého významu jako šachta těžní. V 18. století byla hluboká jen asi 24 m, později byla prohloubena na úroveň 3. patra, do hloubky 66 m. Od roku 1808 sloužila tato jáma jako tzv. „Kunstschacht“, tj. vodní čerpací šachta k odvodňování zdejších dolů.

V těsném sousedství jámy Vileminy je mělká 23 m hluboká větrací šachta.



Obr. 10 Šachta Vilemína. Detail nejstarší dochované fotografie z roku 1883 (Rambousek, 2007).

Problém bylo vždy čerpání vody z pyritových dolů, původně odkázané pouze na lidskou sílu, kdy se voda vyčerpávala z jednoho patra na druhé až k povrchu. I když podle historických zpráv nebyly přítoky na lukavických dolech příliš velké, bylo přesto ruční čerpání namáhavé a vyžadovalo trvale řadu pracovních sil. To bylo jedním z důvodů ke zřízení modernějšího – strojního čerpacího zařízení, které bylo počátkem 19. století postaveno právě na šachtě Vilemína (obr. 10). Bylo nainstalováno úzké vodní kolo o průměru 7,6 m a výkonu 3 „koňských sil“. Bylo zapuštěno pod úroveň terénu (jeho hřídel byla asi 19 m pod povrchem). Umístění kola tímto způsobem bylo nutné vzhledem k přívodu vody podzemním dřevěným potrubím také proto, že toto řešení přispělo k účinnějšímu využití spádové energie

přitékající vody. Od vodního kola padala voda na první patro dolů, spolu s čerpanými důlními vodami odtékala odvodňovací štolou směřující do údolí Chrudimky. Vodní kolo pohánělo dvě pumpy, jednu na druhém a další na třetím patře (hloubka 66 m), které zvedaly vody až na úroveň prvního patra. Písty pumpy zvedala drátěná táhla se zátěží 280 kg. Všechno zařízení, které přišlo do styku s agresivními důlními vodami, stoupací potrubí i vlastní písty pump – bylo zhotoveno z tvrdého olova. Průměr pístů byl 11,85 cm, jejich zdvih byl 32 cm. Popisovaný systém byl v provozu až do uzavření dolů v roce 1891.

V případě nedostatku vody pro pohon kola byl na šachtě Vilemína instalován i náhradní pohon pump pomocí koňského žentouru. Co je ale dost překvapující, že za relativně krátkou dobu po opuštění dolů upadlo technické vybavení v naprosté zapomnutí a nezachovala se z něj prakticky žádná písemná nebo grafická dokumentace.

Šachta Vilemína nebyla, narozdíl od Bartolomějské šachty, od svého uzavření již nikdy otevřena (Lukavice, 2007).

Obě šachty, Bartolomějská i Vilemína, jsou zakresleny v mapě na obr. 8.

4. Geofyzikální prozkoumanost

V okolí obce Lukavice bylo realizováno od padesátých let minulého století několik geofyzikálních měření, popsanych ve výzkumných zprávách různých organizací. Většina těchto zpráv je uložena v archivu České geologické služby - Geofondu.

Chudáček a Mácha (1951) popisují ve Zprávě o geofyzikálním měření v Lukavici měření pomocí magnetometrie a geoelektriky. Sledování polymetalického zrudnění v širším okolí Lukavice uvádí Bárta a Nový (1962). Ve stejném roce vychází práce Bárta (1962), která se zabývá pouze spontánní polarizací ve východní části lukavické série. Úkolem dalšího geofyzikálního měření bylo sledovat styk křídly s poorlickým a moravskotřebovským permem a věnovat zvýšenou pozornost projevům tektoniky. Geoelektrické sondování prováděli Bárta a Janda (1970). Komplex karotážních měření ve vrtu VLK – 1 v Lukavici je popsán v závěrečné zprávě Kubala (1985). Lukavická série se o pár let později opět stala předmětem zkoumání. Pomocí magnetometrie a geoelektriky se sledovaly horniny východní části lukavické série pod křídovým pokryvem v prostoru Slatiňany – Lukavice – Bítovany (Zima, 1989). Hlaváček (1994) a Sochor (1995) vydávají Zprávu o zajištění propadu starého důlního díla v Lukavici u Chrudimi.

V nedaleké obci Křižanovice v Železných horách bylo provedeno několik geofyzikálních měření. Byly použity následující geofyzikální metody – gravimetrie, magnetometrie, geoelektrika a radiometrie. Úkolem geofyzikálních prací bylo přispět k řešení geologické stavby v širším okolí lokality Křižanovice, kde bylo nalezeno ekonomicky využitelné baryt – sfaleritové a galenitové zrudnění (Blecha, 1984a, b; 1986; 1987).

Další geofyzikální měření je z lokality Sovolusky. Zkoumané území se nachází v sz. části železnohorského krystalinika. Úkolem geofyzikálního měření bylo upřesnit geologické poměry oblasti, zjistit indicie polymetalického zrudnění a ověřit výskyt barytových žil. K řešení byly použity tyto geofyzikální metody – gravimetrie, magnetometrie a geoelektrika (Jáně, 1989).

Většina geofyzikálních měření prováděných v minulosti v okolí obce Lukavice a v lukavické sérii je zaměřena na problematiku ložiskovou a s tématem mé diplomové práce bezprostředně nesouvisí.

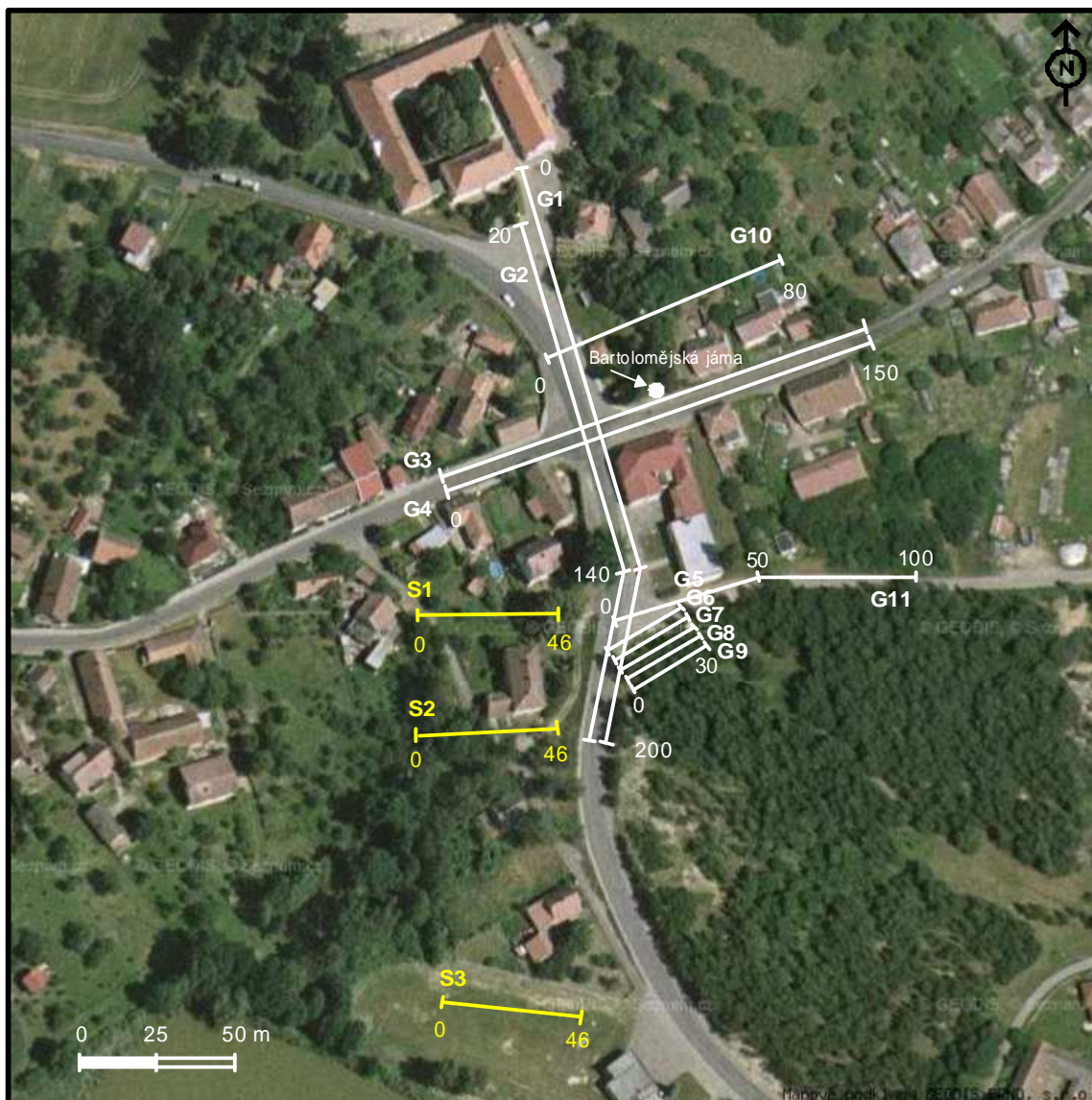
5. Metodika terénních prací a zpracování dat

Úkolem geofyzikálních prací byla lokalizace podzemních otevřených prostor opuštěných důlních děl uprostřed obce, upřesnění mocnosti a rozsahu haldového materiálu v obci a geodetické sledování subsidence.

Terénní měření probíhalo podle schváleného projektu geofyzikálních prací. Terénní měření a zpracování dat prováděli zaměstnanci a studenti oddělení užití geofyziky PřF UK v Praze. Gravimetrické práce jsem prováděla pod vedením svého školitele RNDr. Vratislava Blechy, CSc. Seismické práce v r. 2006 proběhly pod vedením Doc. RNDr. Jana Vilhelma, CSc. Lokalizace geofyzikálních profilů a situování výškových bodů pro sledování subsidence byly konzultovány s odpovědným geologem z ČGS RNDr. Petrem Rambouskem, který se rovněž účastnil terénních geofyzikálních prací.

K vyřešení úkolu byly z geofyzikálních metod zvoleny gravimetrie (vyhledávání starých důlních děl), mělká refrakční seismika (ověření výskytu haldového materiálu a určení jeho mocnosti), opakovaná výšková měření pomocí geometrické nivelace ze středu na lať (sledování subsidence).

Situace geofyzikálních profilů, na kterých probíhala jednotlivá měření, je na obr. 11.



Obr. 11 Situace geofyzikálních profilů. S – seismické, G – gravimetrické profily.

5.1 Seismika

Metoda mělkého seismického profilování byla použita pro zjištění mocnosti pokryvu, k upřesnění rozsahu odvalů a jejich plošné distribuce na vybraných profilech (obr. 11).

Jelikož seismické měření nebylo hlavním předmětem mého zkoumání, použiji informace z práce Rambousek (2007), kde seismická měření prováděl Doc. Jan Vilhelm.

Seismické měření proběhlo 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 (profil S1, S2 a S3 – Obr 11.). Geofony byly na profilech uzemněny 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 o 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.

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.

Byla nalezena prvá nasazení přímé vlny a dvou lomených vln od dvou lámajících rozhraní. Přesto, že byl zvolen poměrně malý krok mezi geofony a bylo realizováno 5 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 mělkého rozhraní. Z toho vyplývá menší spolehlivost v určení rychlosti šíření seismických vln podél tohoto rozhraní a rovněž určení hloubky nebylo možné realizovat spojitě, ale jen v okolí míst, kde byly naměřeny časy příchodů od tohoto rozhraní. Hodochrona od podložního prostředí

byla naměřena spojitá. 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 hodochrony od mělkého 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.

5.2 Sledování subsidence

Na komunikacích v centru Lukavice bylo vytyčeno a stabilizováno 10 výškových bodů, které nám měly pomoci zjistit, zdali se povrch vertikálně pohybuje v čase.

Monitorování probíhalo od 28. srpna 2006 do 19. září 2007. V tomto časovém intervalu bylo provedeno 5 kampaní měření. Výšky byly sledovány geometrickou nivelací ze středu na lať pomocí nivelačního poloautomatu Zeiss Ni 007.

Výškové body byly stabilizovány tak, že do předvrtaných otvorů byly zafixovány kovové nivelační hřeby. Všechny body podléhají fotodokumentaci.

Bod č. 1, tzv. referenční bod, ke kterému jsou vztažena ostatní měření, byl umístěn mimo poddolované území, na betonové podestě telefonní budky u obecního úřadu.

5.3 Gravimetrie

Pomocí gravimetrie se řešily dva úkoly. Jednak lokalizovat stará důlní díla pod vozovkou v centru obce a také se pokusit upřesnit lokalizaci šachty Vilemína, jejíž přibližná poloha je známa z historických map.

Stará důlní díla, ať už prázdná či částečně zasypaná, mají vůči okolí deficit hmoty, který se v gravimetrii bude projevovat relativně zápornými lokálními anomáliemi.

Terénní měření probíhalo ve dvou etapách. V roce 2006 bylo provedeno gravimetrické měření na 4 profilech, kdy dvojice paralelních profilů G1, G2 (ve směru S – J) a G3, G4 (ve

směru V – Z) jsou vedeny po komunikacích v centru obce. V roce 2007 bylo realizováno měření na paralelních profilech G5 – 59, které měly lokalizovat vodní šachtu Vilemína. Profily G10 a G11 byly vytyčeny pro ověření anomálie, která byla zjištěna na profilech G3 a G4 v blízkosti Bartolomějské jámy. Situace všech profilů je zobrazena na obr. 11.

Gravimetrie byla měřena mikrogalovým gravimetrem Scintrex CG-3M. 7 % gravimetrických bodů bylo měřeno opakovaně pro zjištění chyby měření. Střední kvadratická chyba tíhových měření je $\pm 4 \mu\text{Gal}$. Všechny gravimetrické body byly zaměřeny přesnou geometrickou nivelací. Nadmořské výšky jednotlivých bodů na profilech jsou znázorněny na obr. 14b, 15b, 17b, 18b. Pro určení výšek byl použit nivelační stroj Zeiss Ni 007. Uzávěry nivelačních pořadů nepřesáhly hodnotu prvních milimetrů.

Profil G1 byl vytyčen v metráži 0 – 200 m, paralelní profil G2 v metráži 20 – 200 m. Nebylo možné měřit ve stejných metrážích, jelikož se zde nachází budova místního úřadu. Paralelní profily G3 a G4 byly vytyčeny v metrážích 0 – 150 m. Vzdálenost mezi paralelními profilem byla 5 m a mezi jednotlivými body na profilech 2,5 m. Profil G10 byl vytyčen v metrážích 0 – 80 m, profil G11 v metrážích 0 – 100 m. Vzdálenost gravimetrických bodů na těchto profilech byla také 2,5 m. Situace profilů je vidět opět na obr. 11.

Hustoty hornin lukavické série uvádí Chlupáčová a Kašparec (1990). Základem pro výpočet redukční hustoty byly průměrné hodnoty objemových hustot a porosit různých typů porfyroidů (slabě i silně alterované, sericitizované a prokřemenělé), které byly zastiženy vrty L-50 a L-52. Vrt L-50 je hluboký 300 m, vrt L-52 byl vrtán do hloubky 45 m. Vrty se vyskytují cca 500 m sv. směrem od gravimetrických profilů a jedná se o nejbližší vrty, ze kterých byly odebrány vzorky pro laboratorní měření hustotních parametrů. Z objemových hustot a porosit byla počítána hustota v přirozených podmínkách D_n podle vztahu:

$$D_n = D_o + P,$$

kde D_o je objemová hustota a P porosita. Uvažuje se přitom úplné zaplnění pórů vodou (Rambousek, 2007).

Pro cenomanské pískovce uvádí Chlupáčová a Kašparec (1990) následující průměrné hodnoty hustotních parametrů: $D_o = 2\,187 \text{ kg/m}^3$, $D_m = 2\,691 \text{ kg/m}^3$, $p = 18.7 \%$. Z toho plyne, že přirozená hustota pískovců $D_n = 2\,374 \text{ kg/m}^3$.

Data registrovaná gravimetrem jsem převedla ze souboru .dmp do souboru .xls (Excel). Poté jsem zpracovávala data tak, abych získala jednotlivé členy do vzorce pro výpočet Bouguerových anomálií.

$$\Delta g_B \text{ (mGal)} = g - g_t + 0,3086h + (0,3086 - 0,0419\rho)H + T - \text{Bul},$$

kde je g – měřená tíže, g_t - teoretická tíže, h - výška stativu, H – nadmořská výška, ρ – redukční hustota $2,61 \text{ g / cm}^3$. Tato hustota odpovídá alterovaným porfyroidům, které tvoří krystalické podloží v Lukavici (Chlupáčová a Kašparec, 1990). Členy T (klasická topokorekce do vzdálenosti 166,7 km) a Bul (Bullardův člen) se obvykle při mikrogravimetrických měření nepočítají a místo teoretické tíže se zavádí oprava na šířkový gradient Δg_t .

$$\Delta g_t \text{ (mGal /m)} = 0,0008 \Delta s$$

Hodnota 0,0008 vychází pro zeměpisnou šířku 50° , kde se přibližně nachází Česká republika. Δs se bere ve směru sever – jih, a protože profily G3 a G4 nejsou přesně ve směru východ – západ, musela jsem tuto opravu zavést.

Pro profilová měření jsem v Excelu vynesla křivky Bouguerových anomálií, pro plošná měření jsem zpracovala mapy Bouguerových, regionálních a reziduálních anomálií v programu Surfer. Modelování na profilu G4 a na profilech G5 - G9 bylo provedeno pomocí programu GM – SYS, který umožňuje 2, 75 – D modelování.

6. Výsledky měření a jejich interpretace

6.1 Seismika

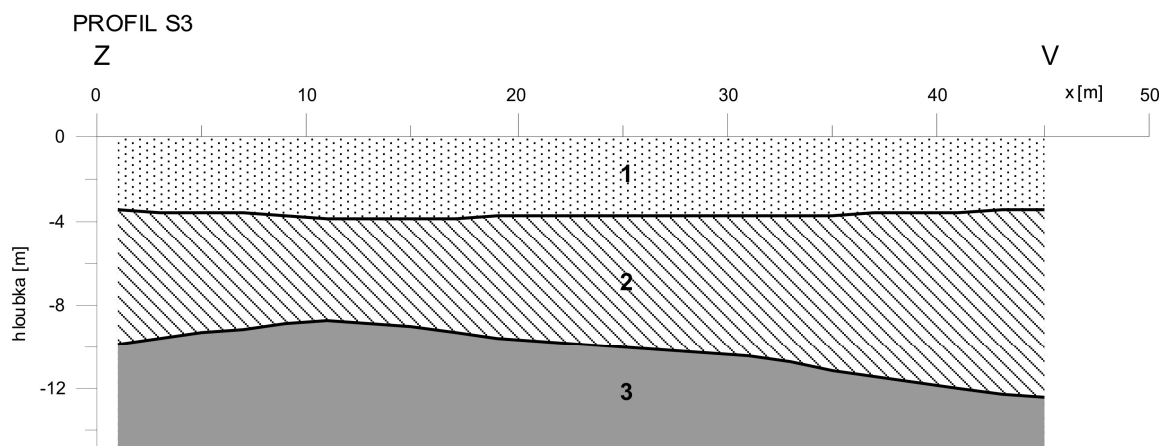
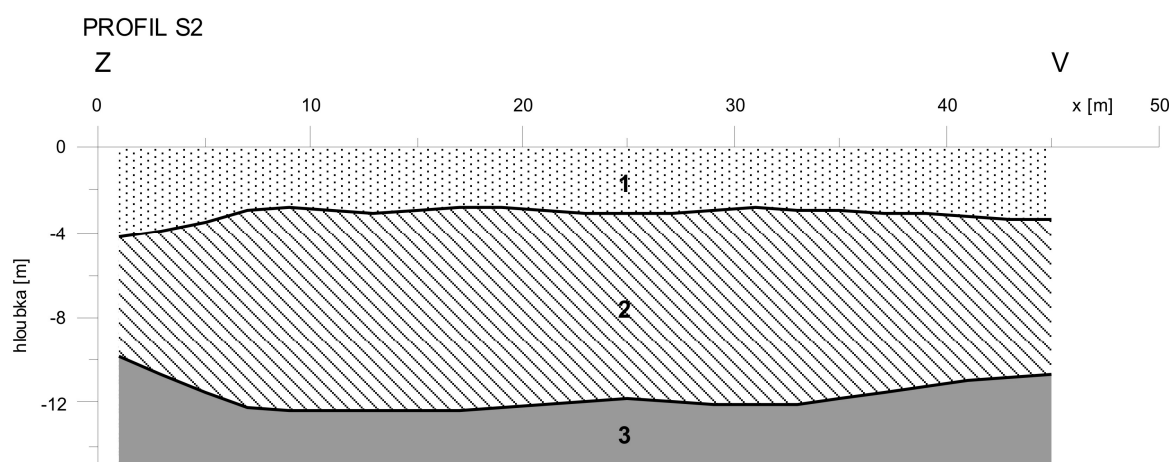
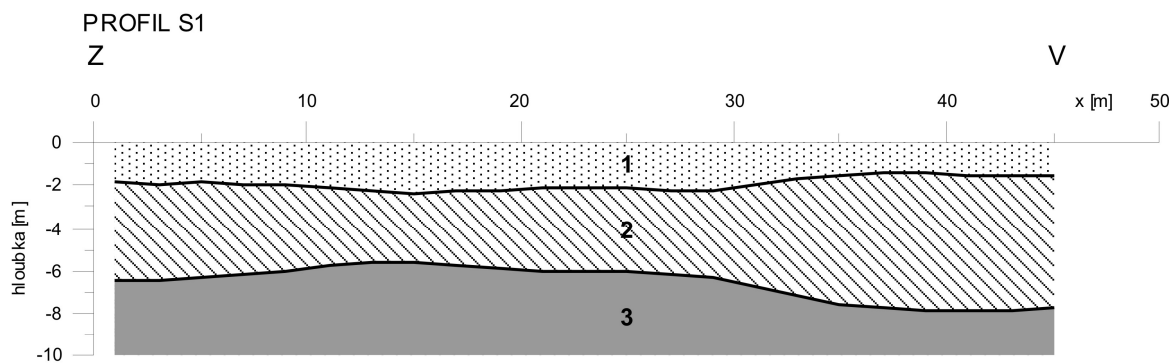
Cílem seismických prací bylo zjistit mocnost přípovrchové navážky, která je na studované lokalitě tvořena nejspíše vytěženým haldovým materiálem, tzv. perkovinou. Výsledky seismického měření na jednotlivých profilech jsou uvedeny v obr. 12. Mělkou refrakční seismikou byla zachycena dvě lámající rozhraní, která oddělují tři horninová prostředí, ve kterých se elastické vlny šíří odlišnou rychlostí. Tato prostředí jsou na přiložených seismických grafech ve směru od povrchu označena čísly 1, 2 a 3.

V nízkorychlostní přípovrchové vrstvě (číslo 1 na grafech) 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. Vrstva 2 na grafech je tedy podle naší interpretace tvořena polohou pískovců křídového stáří. Rychlost lomených vln v tomto prostředí byla zaznamenána v hranicích od 1 000 do 1 750 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 3 700 do 5 300 m/s. Krystalinické podloží je na grafech (obr. 12) označeno číslem 3.

Seismická měření určila mocnost přípovrchové navážky, tvořené z větší části materiálem z důlních odvalů. Navážka se v refrakční seismice projevuje jako nízkorychlostní vrstva. Mocnost nízkorychlostní 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 (Rambousek, 2007)

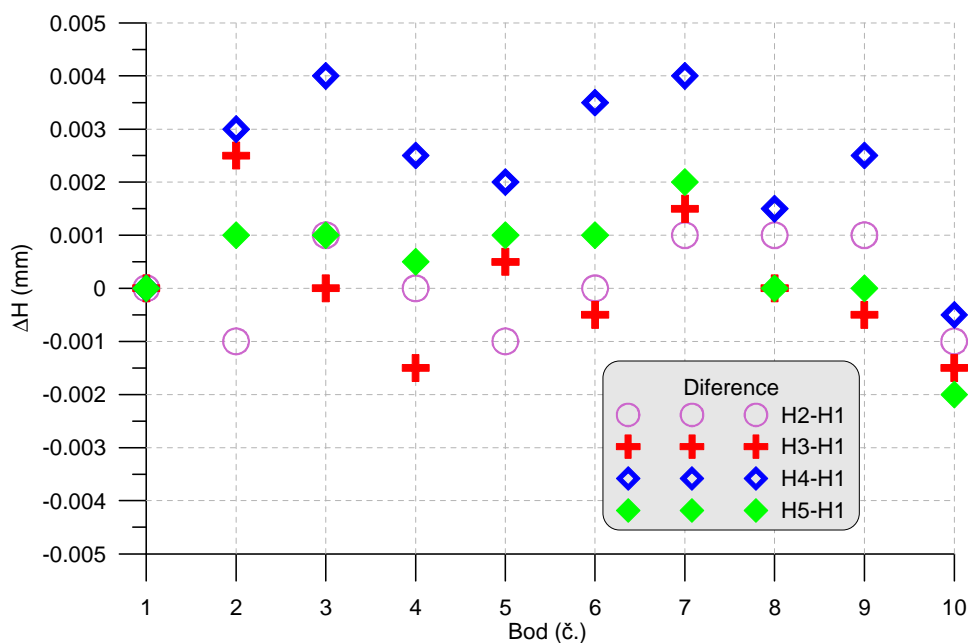


Obr. 12 Interpretace seismického měření na profilech S1 – S3. 1 – pokryv (navážka), 2 – pískovce, 3 – porfyroidy, podle Blecha a kol. (2007).

6.2 Sledování subsidence

Na fixních bodech v centru obce bylo opakovaně prováděno měření výšek. První měření, v roce 2006, je považováno za referenční, ke kterému se všechna následující měření vztahují. Jinými slovy, o kolik mm došlo na daném bodě k subsidencím nebo naopak k výzdvihu, vzhledem k prvnímu měření. Výsledky měření jsou na obr. 13. Jednotlivé kampaně měření jsou označeny písmenem H (výška) a příslušnou číslicí. Při měření H2, H3 a H5 nedošlo k odchylce větší než 2mm vůči H1. Rovněž není zpozorována dlouhodobá vzrůstající ani klesající tendence. Měření H4, které proběhlo v červenci 2007, je na všech bodech posunuto o cca +3mm. Nepřesnost měření může být způsobena buď systematickou technickou chybou, kterou může být jak nedokonalé zaklapnutí výškově nastavitelné latě, tak i nesprávné postavení latě na referenčním bodě. Nebo může jít o objemové změny na povrchu vozovky způsobené vysokými letními teplotami. Drobné změny v určovaných výškách jsou nesystematické a jsou v hranicích přesnosti použité metody.

Za závěr sledování výškových změn lze uvést fakt, že za monitorovací období nedošlo ve sledovaném území k systematickým změnám, které by svědčily o subsidenci.



Obr. 13 Změny ve výškách sledovaných bodů v centru Lukavice. Celkem bylo v letech 2006 a 2007 provedeno 5 kampaní výškových měření (H1 až H5) na 10ti bodech. Bod č. 1 a první měření H1 jsou referenční (Blecha, 2007).

6.3 Profilová gravimetrická měření na komunikacích v centru obce

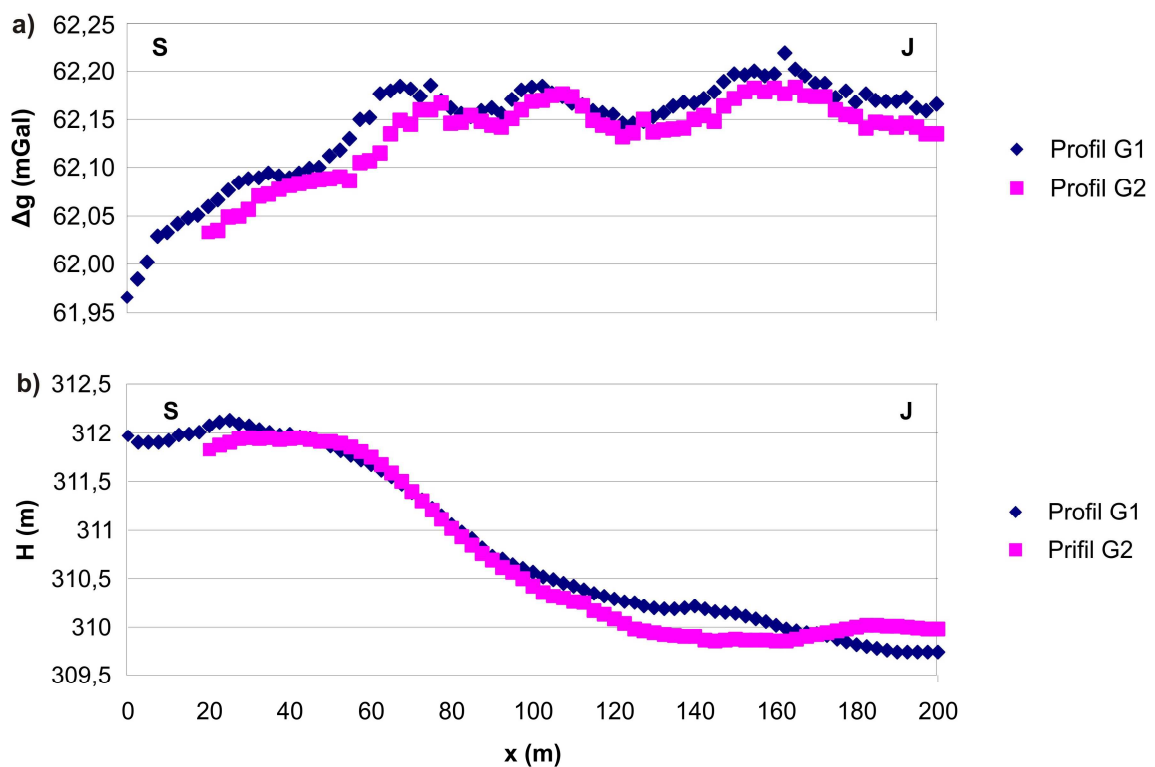
Cílem gravimetrických prací bylo lokalizovat případný výskyt starých důlních děl pod hlavními komunikacemi, které vedou centrem Lukavice.

Prázdná či nedostatečně sanovaná důlní díla by mohla způsobit propad vozovky, jelikož obcí projíždějí těžká nákladní vozidla s kamenivem z nedalekého lomu Žumberk. Výsledky gravimetrických měření na paralelních profilech G1 a G2, G3 a G4 jsou znázorněny na obr. 14a, 15a.

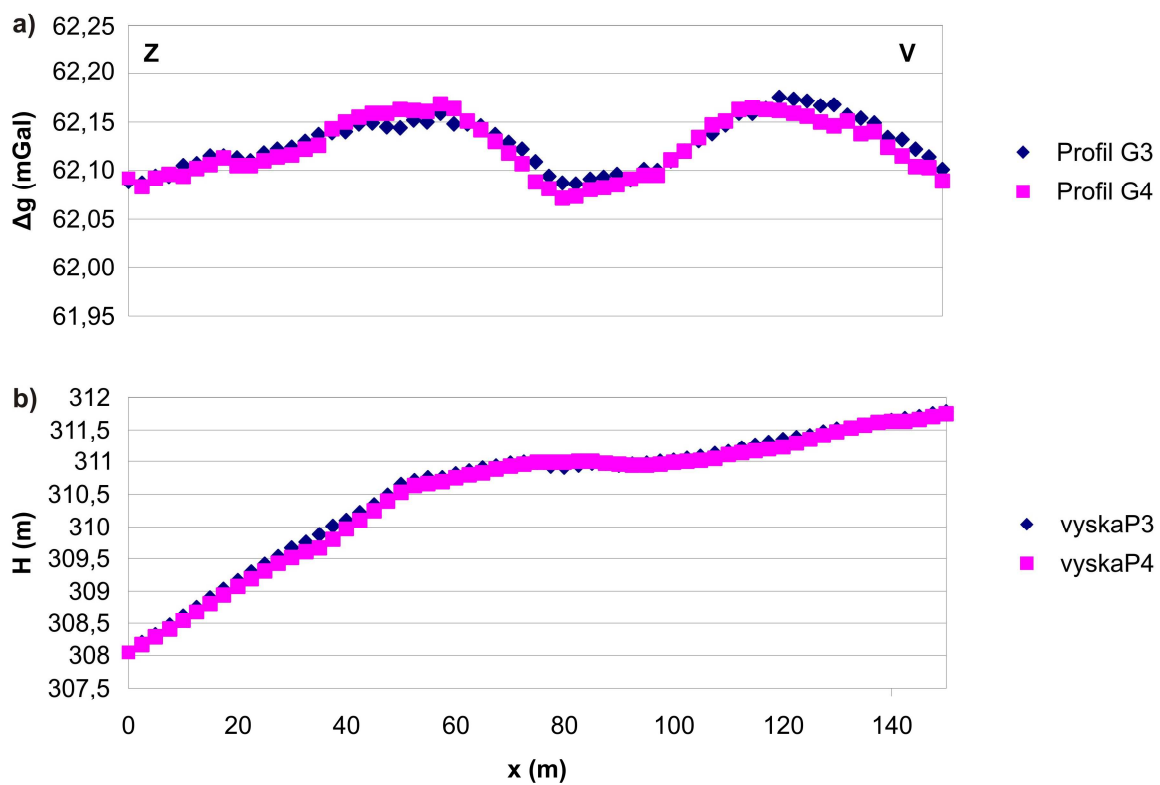
Nejvýraznější záporná Bouguerova anomálie o amplitudě 0,09 mGal (90 μ Gal) je na dvojici v.- z. profilů G3 a G4. Z grafu (obr. 15a) vidíme, že nejnižší hodnoty jsou v úseku metráží 75 – 100 m. Z historických podkladů víme, že cca 5m severně od profilu G3, konkrétně od metráže 77,5 m, je situována Bartolomějská šachta, která je v současnosti zakryta betonovou deskou. Mohli bychom říci, že je zdrojem anomálie. Ale jelikož amplituda anomálie na profilu G3, která je šachtě blíže, je nižší, než amplituda na vzdálenějším profilu G4, musíme tuto variantu vyloučit. Může jít o důlní dílo, které s Bartolomějskou šachtou úzce souvisí. Podle výsledků modelování se nejedná o projev důlní štoly (obr. 16a), jelikož ty se razily s průřezem cca 2 x 2 m. Anomálii, kterou by štola způsobila je mnohem užší a s menší amplitudou. Jedno z možných řešení je zobrazeno na obr. 16b, kde je podloží tvořeno pruhy různě alterovaných porfyroidů (o hustotách 2500, 2610 a 2670 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Při povrchu se vyskytují křídové pískovce (s hustotou 2374 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Zdrojem záporné anomálie na tomto modelu je jednak alterovaný porfyroid a a v místě nejintenzívnější záporné anomálie i zvýšená mocnost navážky. Toto řešení je pravděpodobné, neboť pod povrchem může být zasypané koryto, kterým byla odváděna voda, která se čerpala z Bartolomějské jámy. Na základě tohoto modelu můžeme s velkou pravděpodobností říci, že záporná anomálie na profilech G3 a G4 není způsobena prázdným důlním dílem a tedy nehrozí riziko propadu. Hustoty hornin byly použity z výsledků práce Chlupáčová a Kašparec (1990).

Na obr. 14a vidíme, že na dvojici paralelních s. – j. profilů G1 a G2 jsou také zaznamenána místa s relativně zápornými Bouguerovými anomáliemi, která jsou ale oproti anomáliím na profilech G3 a G4 nižší. Mají amplitudu kolem 30 – 40 μ Gal a jsou konkrétně kolem metráží 50, 90 a 125 m. Podíváme-li se blíže na tyto anomálie, můžeme je vysvětlit následovně. Kolem metráže 90 m je křižovatka silnic a zdrojem této záporné anomálie může být navážka. Anomálie u metráže 125 m je příliš široká na to, aby byla způsobena

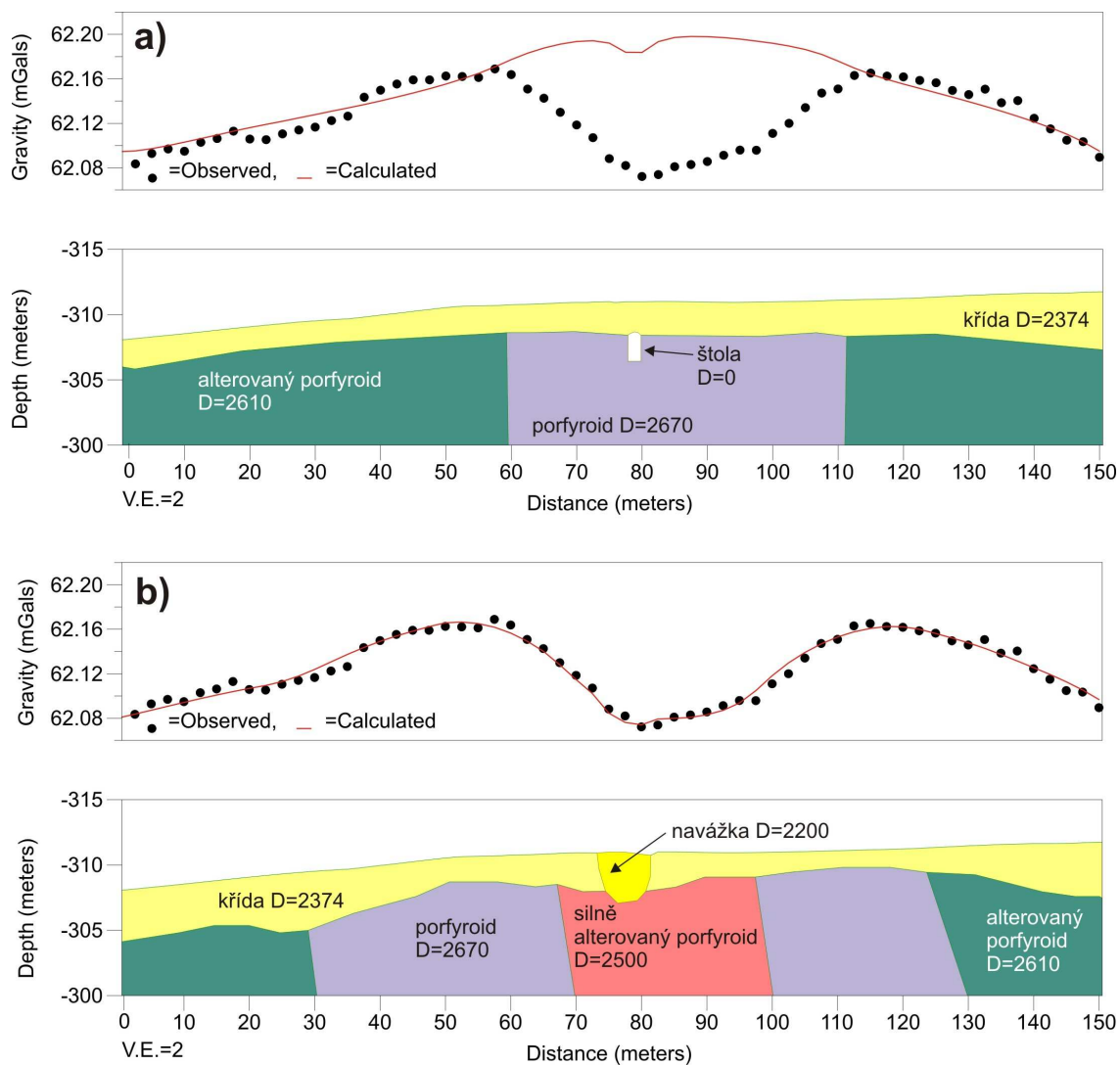
připovrchovým prázdným důlním dílem. Nevylučuje se ale možnost, že zdroj anomálie je stejný jako na profilech G3 a G4. Všimneme-li si začátku profilu G1, vidíme nejprudší pokles tíže. Jelikož jde o začátek profilu a navíc, jde o informaci pouze z jednoho profilu, nelze říci, jak je tato anomálie rozsáhlá. Může se jednat o projev místní geologie, který můžeme interpretovat jako strmé zapadání hornin lukavické série pod křídové sedimenty na severu. Pokles tíže od metráže 70 m směrem na sever může být způsoben narůstáním mocnosti sedimentů a tedy zvyšováním hloubek do podloží.



Obr. 14 Profil G1 a G2: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.

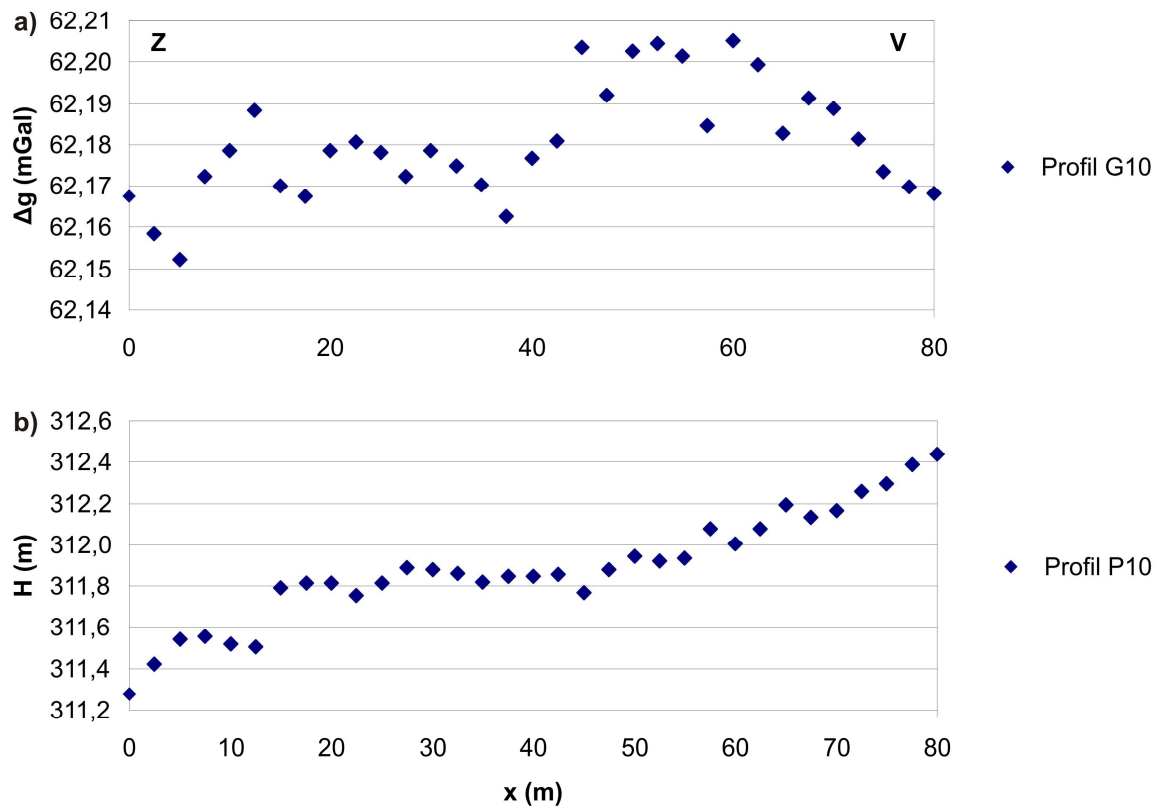


Obr. 15 Profil G3 a G4: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
 b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.



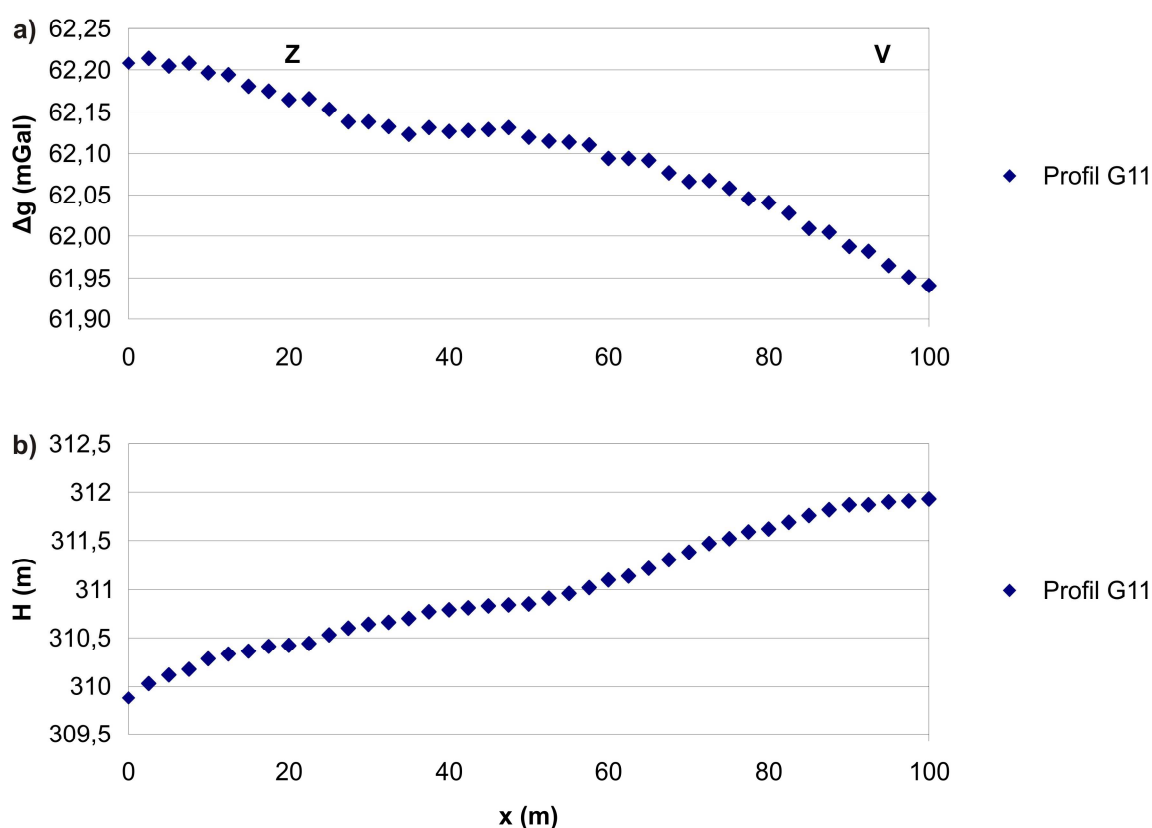
Obr. 16 Kvantitativní interpretace gravimetrického měření na profilu G4. Hustoty D jsou uvedeny v $[\text{kg}/\text{m}^3]$. Horní panel jsou měřené a modelované hodnoty tíže, spodní panel je vertikální hustotní řez. Převýšení vertikálního měřítka na spodním panelu je 2. Model a) prázdná štolá, b) alterovaný porfyroid a navázka.

Pro ověření anomálií na profilech G3 a G4, bylo v roce 2007 provedeno gravimetrické měření na dalších dvou profilech G10 (obr. 17a) a G11 (obr. 18a).



Obr. 17 Profil G10: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů

Profil G10 je severně a G11 jižně od dvojice paralelních profilů G3 a G4, kde jsme zaznamenali výraznou zápornou anomálii v blízkosti Bartolomějské jámy. Z výsledků je zřejmé, že takto výrazná anomálie na profilech G10 a G11 zachycena nebyla. Podíváme-li se blíže na profil G10, vidíme sice místa se sníženou tíží, v úseku 15 – 40 m. Ale amplituda těchto anomálií je nižší než na paralelních profilech G3 a G4. Co tedy způsobuje anomálii? Za nejvhodnější řešení můžeme považovat porušené horninové prostředí nad částečně zavalenými důlními díly nebo lokálně zvýšenou mocnost navážky ze sanačních prací.



Obr. 18 Profil G11: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.

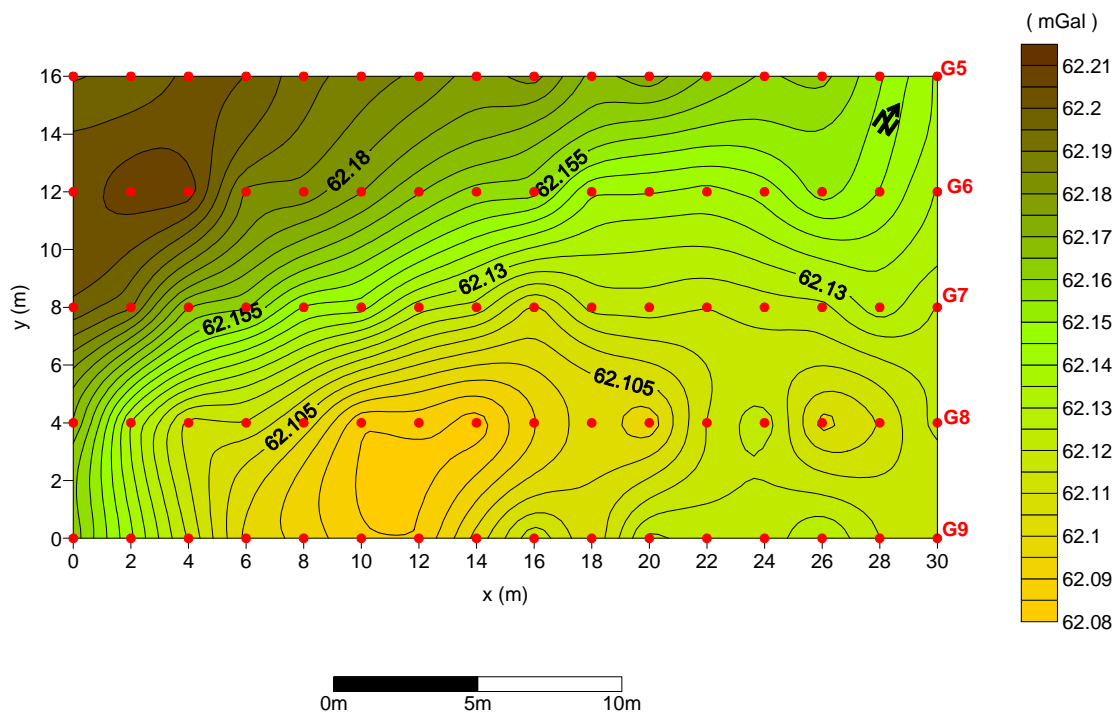
6.4 Plošné gravimetrické měření pro lokalizaci vodní šachty Vilemína

Druhým úkolem, který se řešil pomocí gravimetrie, bylo pokusit se lokalizovat vodní šachtu Vilemína. V místě předpokládaného výskytu byl proveden průzkum, který nám nejen potvrdil výskyt šachty Vilemína, ale také pomohl najít doprovodné důlní dílo, kterým může být jáma pro vodní kolo.

V místě předpokládaného výskytu vodní šachty Vilemína, bylo vytyčeno 5 paralelních profilů G5 – G9, které byly 30 m dlouhé, 4 m od sebe vzdálené. Vzdálenost gravimetrických bodů na jednotlivých profilech byla 2 m. Vyneseny byly rovněž nivelované výšky gravimetrických bodů a dostáváme tak mapu topografie terénu ve zkoumaném území (obr. 25).

Naměřená data byla zpracována do mapy Bouguerových anomálií (obr. 19). Již v této mapě je v jižní části viditelná záporná anomálie, která má nejvyšší intenzitu na profilu G8.

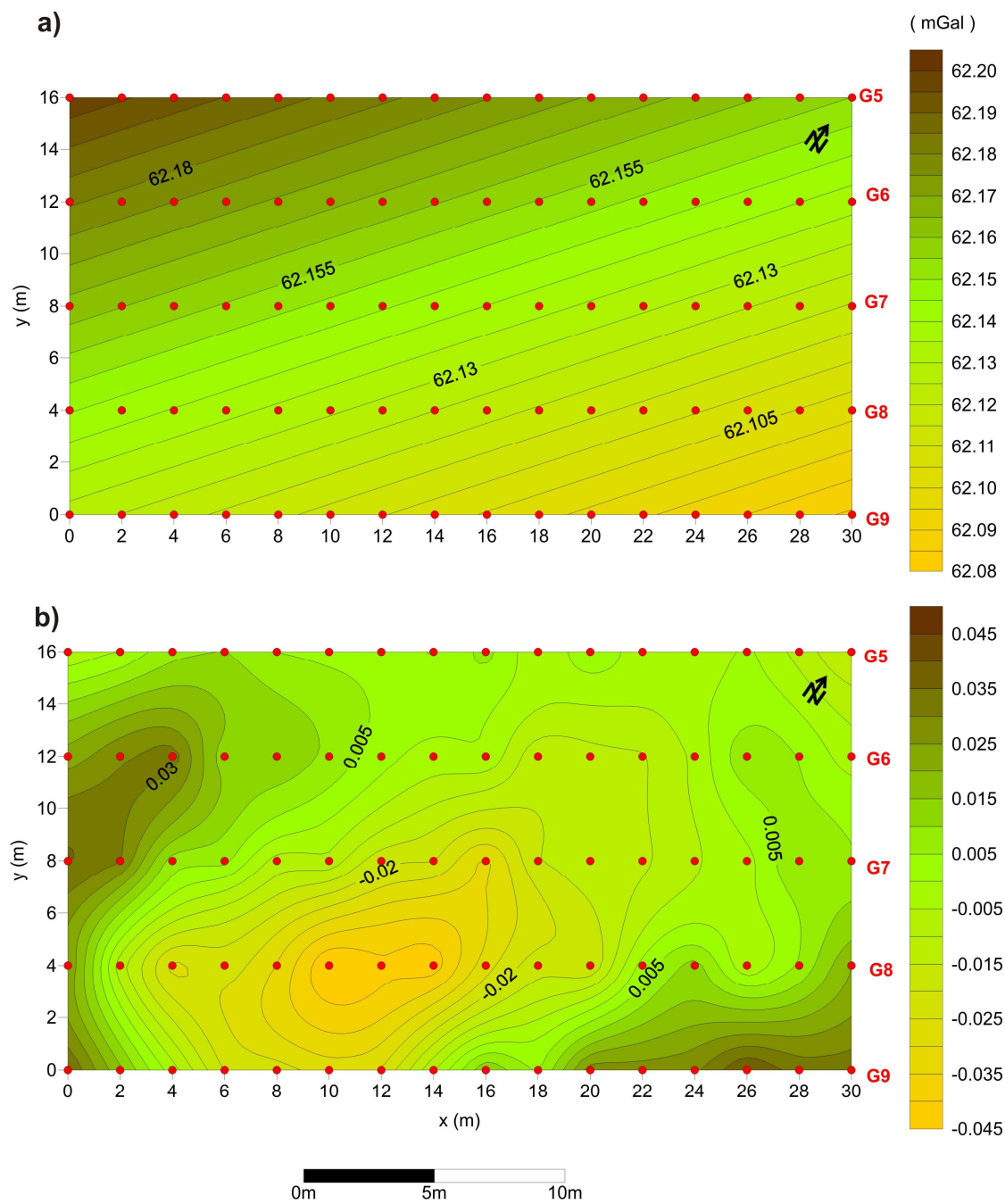
Jelikož v Bouguerových anomáliích zůstává zachován vliv všech hustotních nehomogenit, je vhodné Bouguerovy anomálie separovat na regionální a reziduální složku. V podstatě se jedná o transformaci původního tíhového pole na pole, které zvýrazňuje účinky mělkých objektů (reziduální anomálie), jež nás zajímají, a potlačuje tíhové účinky ostatních hmot, jež jsou z prospekčního hlediska nezajímavé (regionální anomálie).



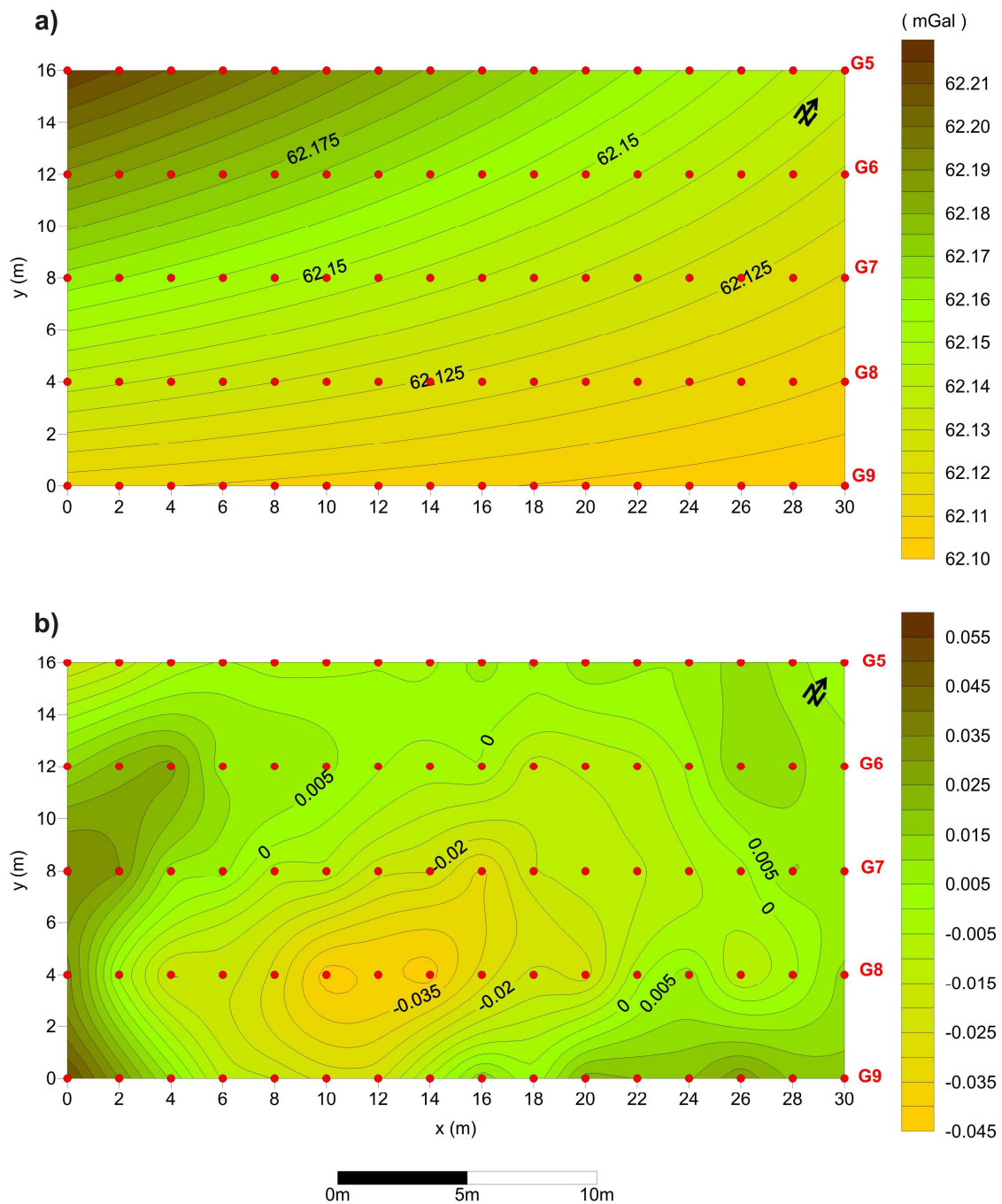
Obr. 19 Mapa Bouguerových anomálií. Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.

Bouguerovými anomáliemi byly postupně proloženy plochy nízkého stupně (plocha lineární (obr. 20a), bilineární (obr. 21a), kvadratická (obr. 22a) a kubická (obr. 23a)), které považujeme za regionální trend, jenž zahrnuje nejen účinek hlubší geologické stavby, ale částečně i účinek topografických hmot.

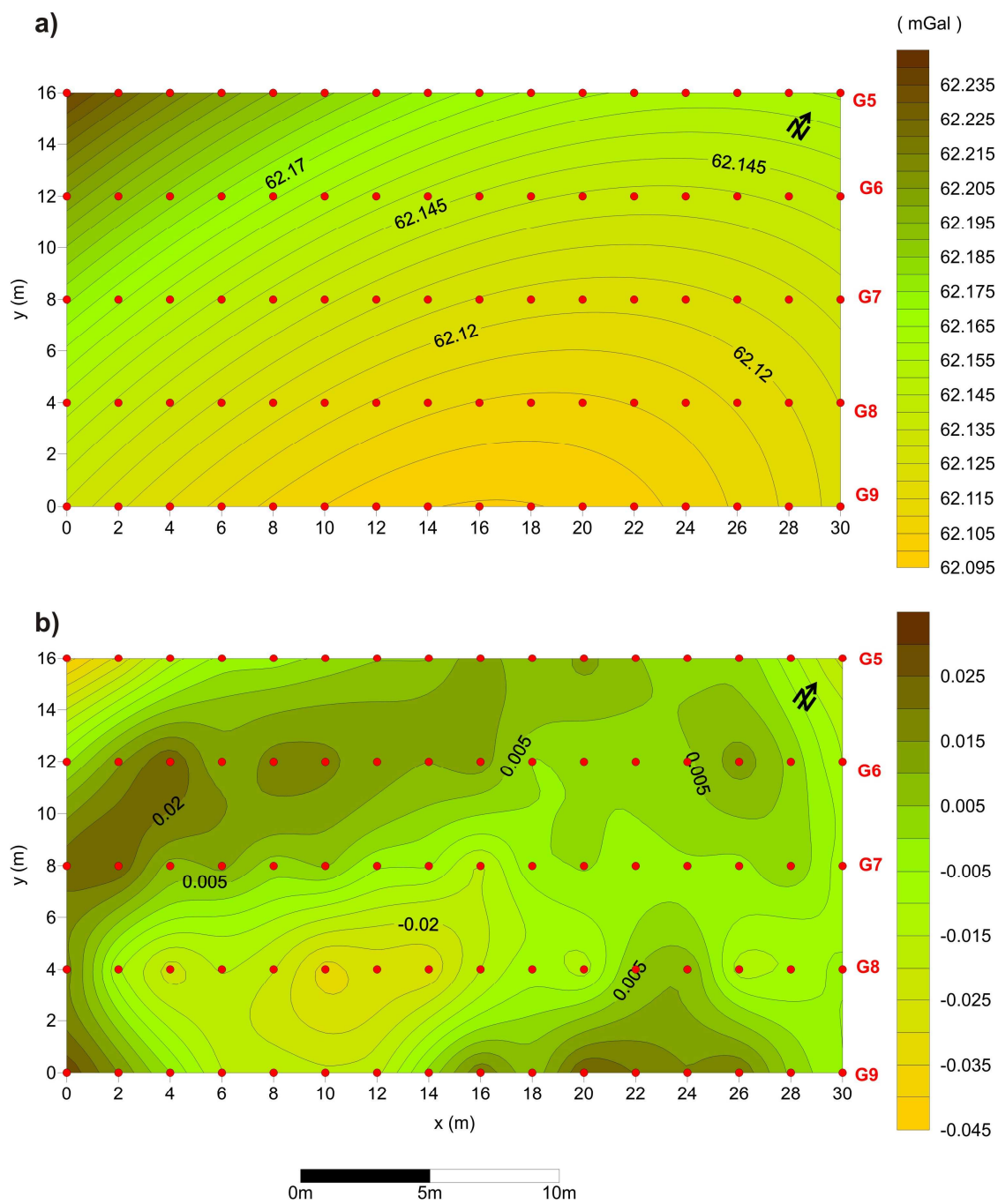
Z obr. 20a, 21a, 22a je zřejmé, že od separace lineární až do separace polynomiální plochou 2. stupně dostáváme velmi podobné výsledky. V mapách reziduálních anomálií (obr. 20b, 21b, 22b) je zřetelná záporná anomálie obdélníkového tvaru, která má největší intenzitu na profilu G8. Výpočet regionální anomálie pomocí kubické plochy již není vhodný (obr. 23), protože takto definované regionální pole absorbuje již větší část dominantní reziduální anomálie, o které se domníváme, že je způsobena šachtou Vilemína.



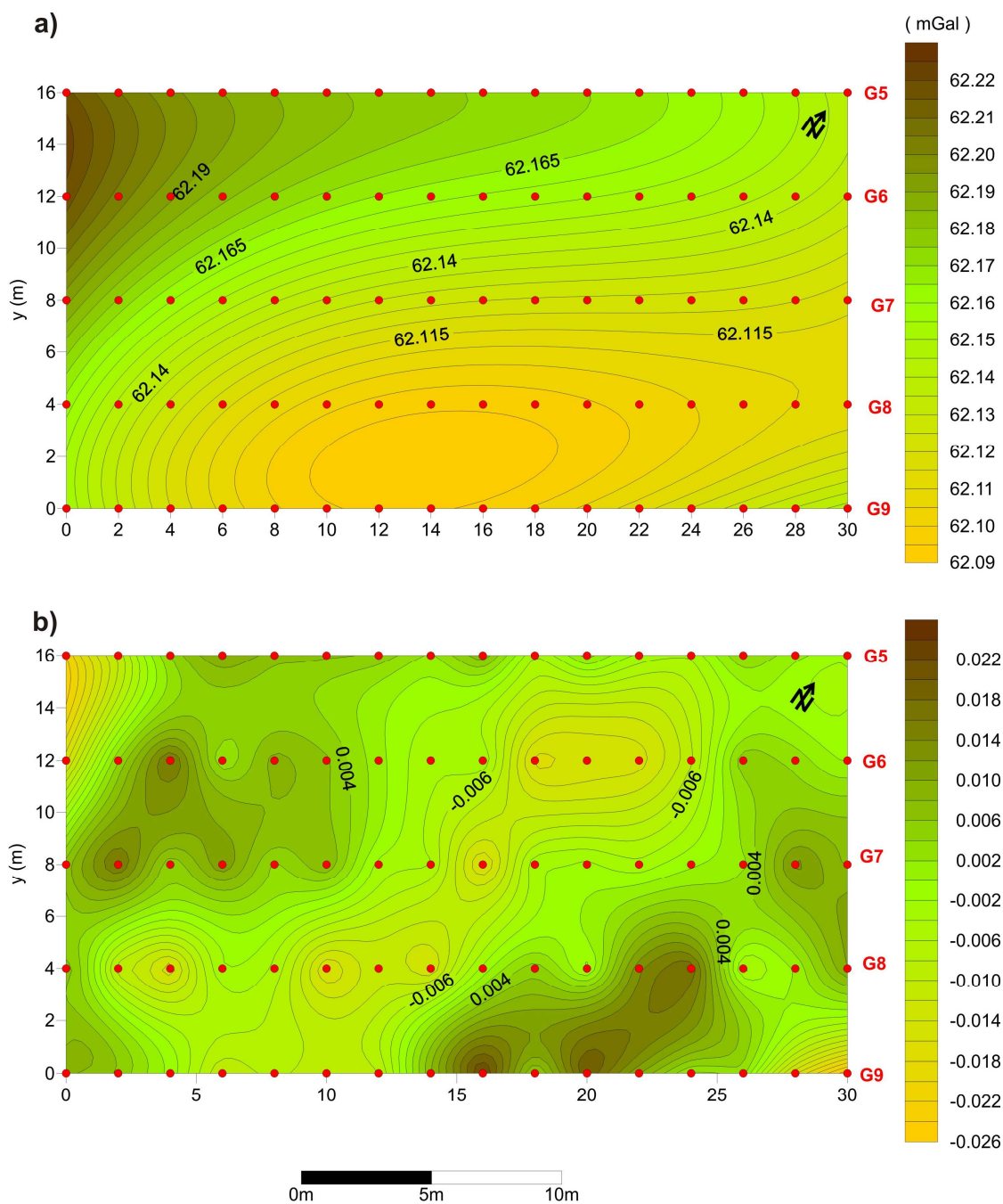
Obr. 20 Mapa: a) regionálních anomálií (lineární plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení lineární plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.



Obr. 21 Mapa: a) regionálních anomálií (bilineární plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení bilineární plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.



Obr. 22 Mapa: a) regionálních anomálií (kvadratická plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení kvadratické plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.



Obr. 23 Mapa: a) regionálních anomálií (kubická plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení kubické plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.

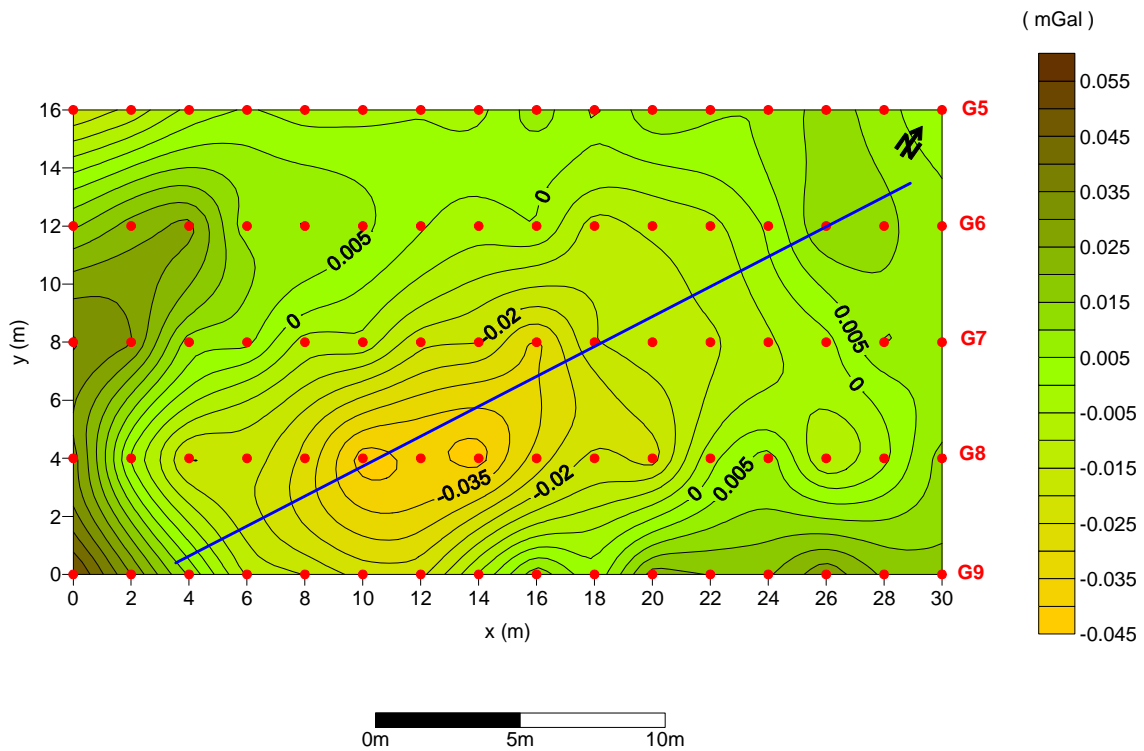
Definice regionálních anomálií není exaktní proces, vždy je potřeba brát v úvahu konkrétní podmínky na studované lokalitě. Pro kvantitativní interpretaci jsme se rozhodli použít reziduální anomálie, které vznikly po odečtení bilineární plochy od anomálií Bouguerových. Důvod je ten, že ze srovnání anomálií Bouguerových a regionálních, bilineární plocha nejlépe vystihuje generelní směr tíhového pole.

Dominantní záporná anomálie (obr. 21b) má obdélníkový tvar, je protažena ve směru JZ – SV a největší intenzity $-0,040$ mGal dosahuje na profilu G8 zhruba na metrážích $x = 10 - 14$ m a $y = 2 - 5$ m. Domníváme se, že vodní šachta Vilemína byla pomocí gravimetrického měření nalezena. Protažený tvar anomálie je zřejmě způsoben tím, že vedle samotné šachty bylo částečně zapuštěné vodní kolo o průměru 7,6 m.

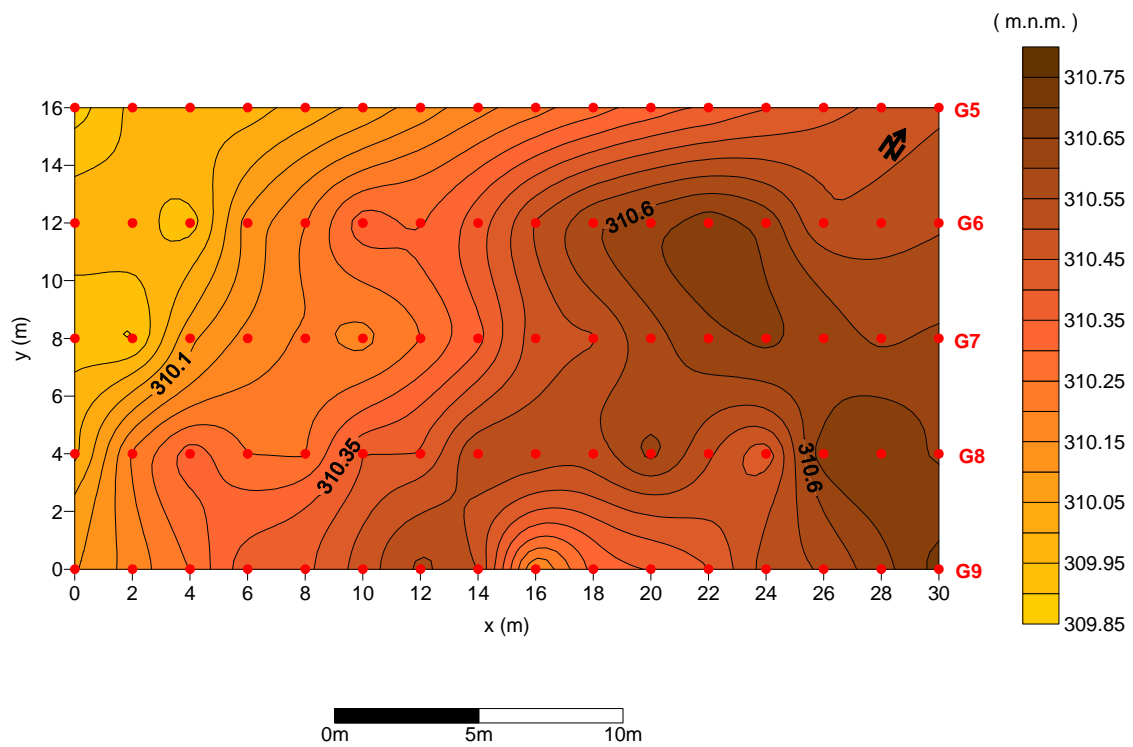
Přes lokální zápornou anomálii byl ve směru jejího protažení veden interpretační profil, na kterém bylo provedeno 2, 75 - D modelování. Pozice interpretačního profilu je na obr. 24 a model na obr. 26. Na povrchu je pokryv s proměnnou hustotou, pod ním křídové pískovce a podloží je tvořeno porfyroidy.

Pro modely jsem použila hustoty hornin uvedené v práci Chlupáčová a Kašparec (1990). Modelovala jsem v programu GM - SYS. Šachtu i jámu pro vodní kolo jsem modelovala ve směru kolmo na profil jako tělesa konečná.

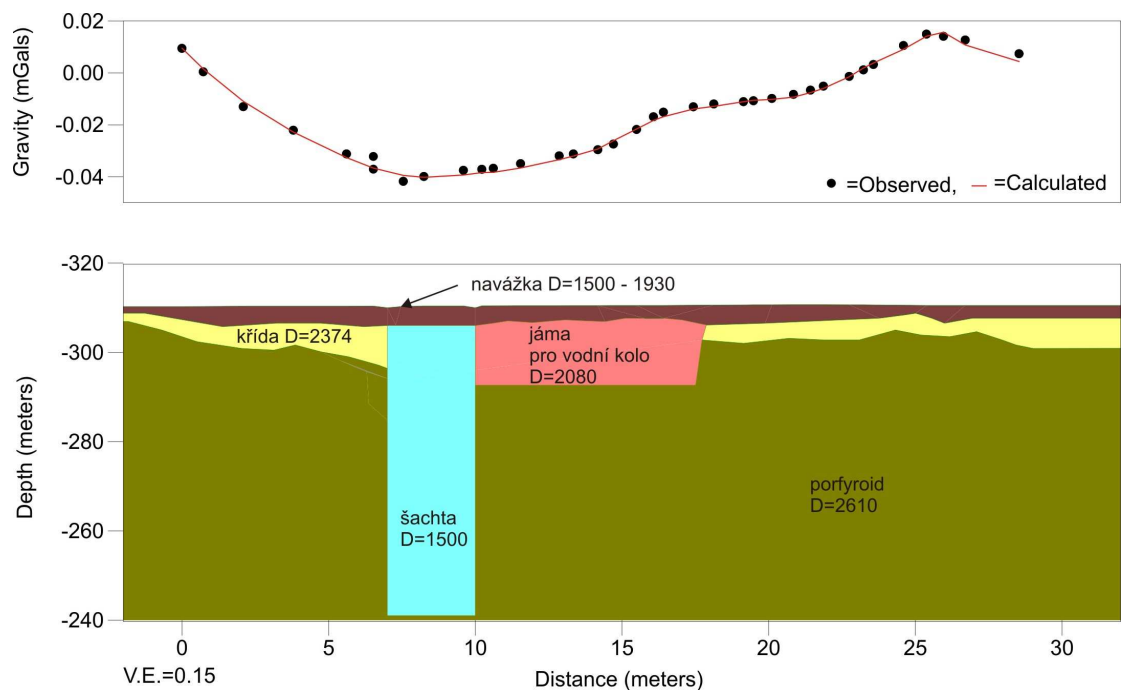
Aby bylo možné přehledně zobrazit geologickou situaci, nejsou vertikální a horizontální měřítka na panelech stejná. Při modelování bylo dosaženo vysoké shody vypočtených a namodelovaných hodnot (chyba $1 \mu\text{Gal}$). Řešení obrácené úlohy v gravimetrii však není jednoznačné, a tak uvedené řešení je jedno z mnoha možných a jako omezující podmínky je třeba využít všechny dostupné informace. V tomto případě mi byly podkladem pro modelování historické materiály, znalost hustot hornin a výsledky seismického měření. Proto si myslím, že předložené řešení je reálné.



Obr. 24 Mapa reziduálních anomálií. Modrá linie označuje polohu profilu, na kterém byla provedena kvantitativní interpretace – model na obr. 26. Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.



Obr. 25 Mapa nadmořských výšek bodů na profilech G5 – G9. Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.



Obr. 26 Model vodní šachty Vilemína. Hustoty D jsou uvedeny v $[\text{kg}/\text{m}^3]$. Horní panel jsou měřené a modelované hodnoty tíže, spodní panel je vertikální hustotní řez. Převýšení vertikálního měřítka na spodním panelu je 0,15.

7. Závěr

V Lukavici v Železných horách v minulosti probíhala intenzivní hornická činnost, která po sobě zanechala řadu důlních děl. Stará důlní díla jsou částečně sanována, ale jejich přesná poloha známa není. Výskyt prázdných důlních děl pod komunikacemi 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 bylo zpracováno do formy map a křivek Bouguerových, regionálních a reziduálních anomálií. V místech intenzivních záporných anomálií byla provedena kvantitativní interpretace tíhových dat pomocí programu GM - SYS pro 2,75 - D modelování.

Současně s gravimetrickým měřením probíhalo seismické měření pro určení mocnosti sedimentárního pokryvu a geodetické měření ke sledování subsidence v centru obce. Výsledky těchto metod jsme použili při interpretaci gravimetrie.

Gravimetrické měření bezprostředně neprokázalo výskyt prázdných důlních děl pod komunikacemi v centru obce. Nejvýraznější zápornou anomálii před Bartolomějskou jámou na profilech G3 a G4 je možné z větší části vysvětlit různým stupněm alterace podložních porfyroidů.

Druhým úkolem bylo lokalizovat vodní šachtu Vilemína. Měření proběhlo v síti paralelních profilů v místě, kde se předpokládala její poloha podle historických podkladů. Z výsledků měření je patrné, že poloha šachty Vilemína byla zachycena v jižní části sítě profilů, na úpatí haldy s odvalem z pyritových dolů. Šachta se projevuje ostře omezenou zápornou lokální anomálií a její obdélníkový tvar naznačuje, že vedle samotné šachty byla pomocí gravimetrie zachycena i jáma, do které bylo zapuštěno vodní kolo, které pohánělo pumpy čerpající vodu z dolů.

Literatura

- Bárta J.** (1962): Měření spontánní polarizace ve východní části lukavické série v Železných horách. – Výzkumná zpráva, PřF UK, Praha.
- Bárta J., Janda J.** (1970): Geoelektrické sledování západního ohraničení kyšperské synklinály v úseku Lukavice – Moravská Třebová (Česká křída 1969). – Výzkumná zpráva, Ústav užité geofyziky, Brno.
- Bárta J., Nový Z.** (1962): Zpráva o geofyzikálním výzkumu v lukavické sérii za rok 1961. – Závěrečná zpráva, PřF UK, Praha.
- Blecha V.** (1984a): Železné hory - Křižanovice, geofyzikální měření v r. 1983. - Výzkumná zpráva, PřF UK Praha, Geoindustria Praha.
- Blecha V.** (1984b): Železné hory - Křižanovice, geofyzikální měření v r. 1984. - Výzkumná zpráva, PřF UK Praha, Geoindustria Praha.
- Blecha V.** (1986): Železné hory - Křižanovice, geofyzikální měření v r. 1985. – Výzkumná zpráva, PřF UK Praha, Geoindustria Praha.
- Blecha V.** (1987): Železné hory - Křižanovice, geofyzikální měření v r. 1986 a diskuse výsledků měření z let 1984 - 1986. - Výzkumná zpráva, PřF UK Praha, Geoindustria Praha.
- Blecha V.** (2007): Geofyzikální měření na úkolu Mapování kritických zátěží po těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi. – Závěrečná zpráva, PřF UK Praha.
- Blecha V., Rambousek P.** (2008): Lokalizace historické důlní šachty pomocí mikrogravimetrie. – Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, ročník VIII, str. 13 – 19.

- Blecha V., Vilhelm J., Rambousek P., Dohnal J., Jáně Z.** (2007): Geofyzikální průzkum pozůstatků staré důlní těžby v Lukavici u Chrudimi. – Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, ročník VII, str. 31 – 38.
- Burda J., Čurda J., Gürtlerová P., Holásek O., Kleček M., Knotek Z., Lysenko V., Majer V., Müller V., Rambousek P., Tíma V., Tomášek M.** (1993): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, list 13-42 Pardubice, ČGÚ Praha.
- Hlaváček A.** (1994): Zpráva o zajištění propadu starého důlního díla v Lukavici u Chrudimi. – Závěrečná zpráva, Průzkum Příbram s. r. o..
- Chlupáčová M., Kašparec I.** (1990): Petrofyzikální charakteristika Lukavické série. – Výzkumná zpráva, Geofyzika s. p. Brno, závod Praha.
- Chudáček S., Mácha A.** (1951): Zpráva o geofyzikálním měření v Lukavici. – Závěrečná zpráva, Ústřední ústav geologický, Praha.
- Jáně Z., Blecha V.** (1989): Železné hory - Sovolusky, geofyzikální měření v r. 1988. - Výzkumná zpráva, PřFUK Praha, Geoindustria Praha.
- Kubala P.** (1985): Závěrečná zpráva o karotážním měření ve vrtě VLK – 1. – Závěrečná zpráva, Geoindustria Praha.
- Matějovský J.** (1954): Geologické poměry oblasti pyritového ložiska v Lukavici u Chrudimě. - Diplomová práce, Geologicko – geografická fakulta v Praze.
- Odehnal** (1954): Lukavice – šachta 3. – Archiv báňských map ČGS – Geofond.
- Pavlík T.** (1992): Lukavice-skládka odpadu (okr. Chrudim), Vyhodnocení HG průzkumu. – Výzkumná zpráva, Vodní zdroje Chrudim s.r.o., Chrudim.

- Rambousek, P.** (2003): Posouzení možnosti výstavby v poddolovaném území v obci Lukavice u Chrudimi. – Výzkumná zpráva, ČGS Praha.
- Rambousek, P.** (2007): Mapování kritických zátěží po těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi. – Závěrečná zpráva, ČGS Praha.
- Rambousek P., Hamet M., Marešová Z.** (1990): Metalogeneze V-části Železných hor. – Výzkumná zpráva, ÚÚG Praha.
- Sochor M.** (1995): Zpráva o zajištění propadu starého důlního díla v Lukavici u Chrudimi. – Závěrečná zpráva, Průzkum Příbram s. r. o..
- Topinková B.** (2002) : Vliv kyselé důlní drenáže z pyritových dolů v Lukavici u Chrudimi v Železných horách na povrchové vody. - Diplomová práce, PřF UK, Praha.
- Vodička J.** (1952): Závěrečná zpráva o geologickém průzkumu v obvodu pyritového ložiska v Lukavici u Chrudimě, ÚÚG Praha.
- Vosáhlo V.** (1954): Zpráva o HG poměrech na ložisku pyritu a Fe-rud v Lukavici. – Výzkumná zpráva, Ústav pro výzkum rud, Kutná hora.
- Zima L.** (1989): Geofyzikální prognózy a ověřování regionálních indikací rud, dílčí úkol: Geofyzikální výzkum východní části lukavické série. - Výzkumná zpráva, Geofyzika s.p. Brno, závod Praha.

Použité internetové odkazy

Česká geologická služba. [online] [cit. 11. 8. 2004]. Dostupné na internetu:
< <http://www.geology.cz/extranet> >

Lukavice. [online] [cit. 16. 5. 2007]. Dostupné na internetu:
< <http://lukavice.com>>

Mapový server Cenia. [online] [cit. 22. 6. 2010]. Dostupné na internetu:
<<http://geoportal.cenia.cz>>

Seznam obrázků

- Obr. 1** Poloha zájmového území Lukavice u Chrudimi (Rambousek, 2007).
- Obr. 2** Železité zbarvení Lukavického potoka. Odběr vzorků vody 13. 7. 2007 (archiv P. Rambouska).
- Obr. 3** Geologická mapa okolí Lukavice (Česká geologická služba, 2004).
- Obr. 4** Legenda ke geologické mapě zobrazené na obr. 3 (Česká geologická služba, 2004).
- Obr. 5** Letecký snímek okolí Lukavice (Geoportál.cenia.cz, 2010).
- Obr. 6** Nákres lukavické šachty 3 (Odehnal, 1954).
- Obr. 7** Knížecí horní úřad a Bartolomějská šachta z kresby zobrazující Lukavici v r. 1976. V popředí je okraj Prádelského rybníka (Rambousek, 2007).
- Obr. 8** Dolování na kyz v Lukavici. Vertikální řez (nahore) a horizontální řez (dole). Vlevo nahore je Bartolomějská jáma a vpravo vodní šachta Vilemína (Vodička, 1952).
- Obr. 9** Bartolomějská šachta. Detail nejstarší dochované fotografie z roku 1883 (Rambousek, 2007).
- Obr. 10** Šachta Vilemína. Detail fotografie z roku 1883 (Rambousek, 2007).
- Obr. 11** Situace geofyzikálních profilů. S – seismické, G – gravimetrické profily.
- Obr. 12** Interpretace seismického měření na profilech S1 – S3. 1 – pokryv (navážka), 2 – pískovce, 3 – porfyroidy, podle Blecha a kol. (2007).
- Obr. 13** Změny ve výškách sledovaných bodů v centru Lukavice. Celkem bylo v letech 2006 a 2007 provedeno 5 kampaní výškových měření (H1 až H5) na 10ti bodech. Bod č. 1 a první měření H1 jsou referenční (Blecha, 2007).
- Obr. 14** Profil G1 a G2: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.
- Obr. 15** Profil G3 a G4: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.
- Obr. 16** Kvantitativní interpretace gravimetrického měření na profilu G4. Hustoty D jsou uvedeny v $[\text{kg/m}^3]$. Horní panel jsou měřené a modelované hodnoty tíže, spodní panel je vertikální hustotní řez. Převýšení vertikálního měřítka na spodním panelu je 2. Model a) prázdná štola, b) alterovaný porfyroid a navážka.
- Obr. 17** Profil G10: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.

- Obr. 18** Profil G11: a) gravimetrické měření – Bouguerovy anomálie
b) nadmořské výšky gravimetrických bodů.
- Obr. 19** Mapa Bouguerových anomálií. Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 20** Mapa: a) regionálních anomálií (lineární plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení lineární plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 21** Mapa: a) regionálních anomálií (bilineární plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení bilineární plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 22** Mapa: a) regionálních anomálií (kvadratická plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení kvadratické plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 23** Mapa: a) regionálních anomálií (kubická plocha), b) reziduálních anomálií (po odečtení kubické plochy). Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 24** Mapa reziduálních anomálií. Modrá linie označuje polohu profilu, na kterém byla provedena kvantitativní interpretace – model na obr. 26. Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 25** Mapa nadmořských výšek bodů na profilech G5 – G9. Červeně jsou značeny gravimetrické body na profilech G5 až G8.
- Obr. 26** Model vodní šachty Vilemína. Hustoty D jsou uvedeny v $[\text{kg}/\text{m}^3]$. Horní panel jsou měřené a modelované hodnoty tíže, spodní panel je vertikální hustotní řez. Převýšení vertikálního měřítka na spodním panelu je 0,15.