

První etapa geofyzikálního průzkumu v prostoru plánované sanace severozápadních svahů lomu ČSA

Mgr. Jan Burda^{1,2}, RNDr. PhDr. Jiří Dohnal²

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, burda@vuhu.cz

²Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2

Přijato: 21. 6. 2011, recenzováno: 2. 9. a 16. 9. 2011

Abstrakt

Oproti klasickému geologickému průzkumu, jako jsou průzkumné vrty, jsou geofyzikální metody výzkumu méně invazivní, rychlejší a levnější. Proto byla pro doplňující geologický průzkum pod Jezerkou zvolena metoda vertikálního elektrického sondování. Cílem výzkumu bylo identifikovat bázi kvartérních sedimentů a dílčích, různě zrnitých vrstev kvartérní akumulace. V jednotlivých profilech byly identifikovány tři až čtyři odlišné vrstvy, metoda se osvědčila při vyhledávání hrubě balvanitého deluvia, vzhledem k nedostatečnému roztažení proudových elektrod však neumožnila stanovení průběhu báze kvartérních sedimentů.

First part of geophysical survey in the landslide area of the north-western slopes of the ČSA open pit mine

Compared to traditional ways of conducting geological survey, such as exploration boreholes, geophysical prospecting methods are less invasive, faster, and less expensive. Therefore, a vertical electrical sounding was recommended as an additional geological survey in the landslide area below Jezerka hill. The survey aimed at determining the bottom of Quaternary sediments and particular Quaternary accumulation layers of various grain sizes. As a result, three to four different layers were determined in particular profiles. The method proved to be suitable when detecting coarse or lumpy deluvium, although failed to determine the course of the Quaternary sediment bottom due to insufficient current electrode spacing.

Erste Etappe der geophysikalischen Untersuchung im Raum der geplanten Sanierung von nordwestlichen Böschungen des Tagebaus ČSA

Gegenüber der klassischen geologischen Untersuchung, wie zum Beispiel Untersuchungsbohrungen, sind die geophysikalischen Untersuchungsmethoden weniger invasiv, schneller und billiger. Aus diesem Grund wurde für eine ergänzende geologische Untersuchung unterhalb Jezerka das Verfahren der vertikalen elektrischen Sondierung gewählt. Das Ziel der Untersuchung war die Basis der Quartärsedimenten und der partiellen unterschiedlich körnigen Schichten der Quartäranhäufung zu identifizieren. In einzelnen Profilen wurden drei bis vier unterschiedliche Schichten identifiziert, das Verfahren hat sich bei der Aufsuchung des grob steinigen Deluviums bewährt, mit Hinsicht auf ungenügende Entfernung der Stromelektroden ermöglichte jedoch keine Bestimmung des Verlaufes der Basis von Quartärsedimenten.

Klíčová slova: geofyzikální průzkum, vertikální elektrické sondování, strukturní rozhraní, Jezerka.

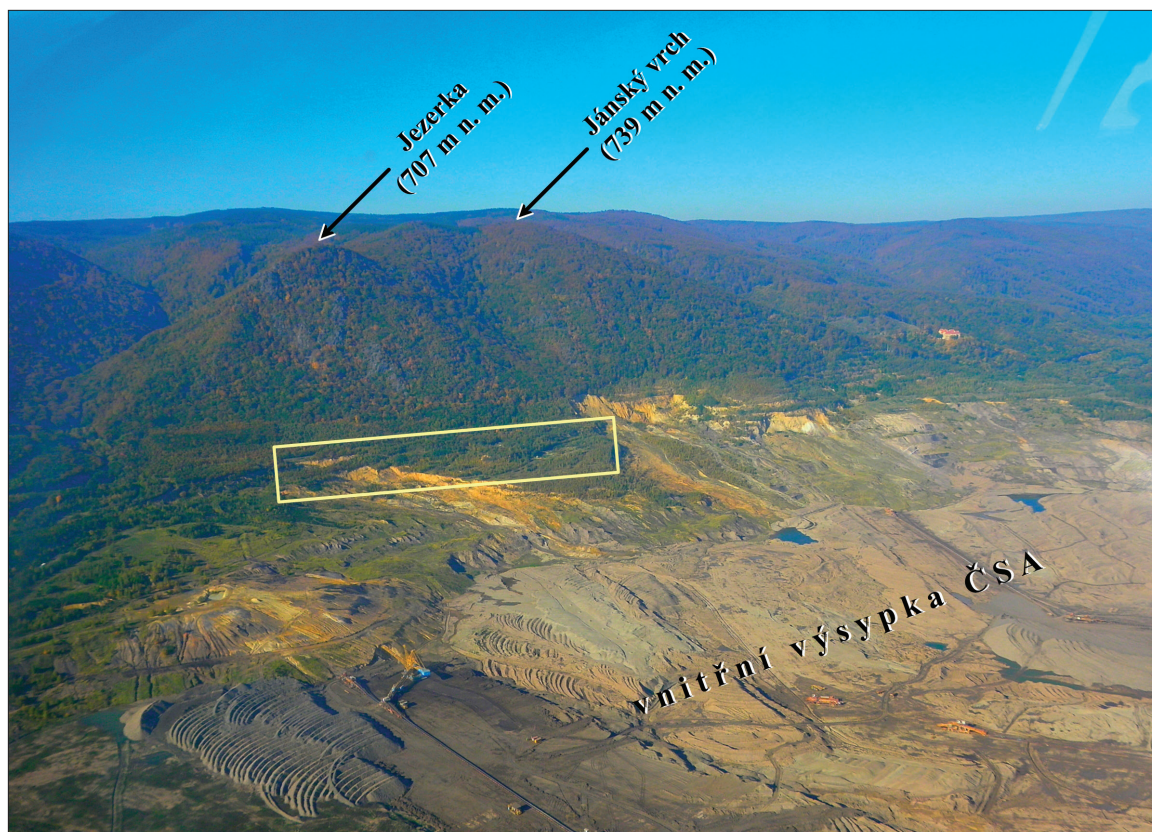
Keywords: geophysical survey, vertical electrical sounding, structural interface, Jezerka.

1 Úvod

Geofyzikální průzkum je dnes již nedílnou součástí výzkumu svahových deformací, uplatňuje se při studiu starých ekologických zátěží a obecně je využíván při řešení řady specifických inženýrskogeologických, hydrogeologických i dalších úkolů. Mezi jeho hlavní výhody patří nedestruktivnost, rychlost a ekonomická výhodnost. Při výzkumu svahových pohybů mohou optimálně zvolené geofyzikální metody přinášet klíčové informace, které umožňují plošné i hloubkové vymezení deformace, stanovení průběhu tahových, odlučných i smykových ploch, sledování vývoje deformace v čase a případně i kontrolu provedených sanačních opatření [8]. Identifikace dílčích strukturních prvků sesuvu je umožněna rozdíly v jejich fyzikálních vlastnostech (např. neporušené skalní podloží x smyková plocha x těleso sesuvu). Pro dosažení maximální efektivity geofyzikálního průzkumu je nutné ve fázi jeho přípravy analyzovat dosavadní poznatky o příslušné lokalitě, zvláště z pohledu strukturních elementů a petrofyzikálních charakteristik, pro realizaci se obecně doporučuje použití komplexu několika nezávislých metod. Mezi nejefektivnější a nejčastěji využívané povrchové geofyzikální metody pro průzkum sesuvů patří

metody geoelektrické (vertikální elektrické sondování, odporové profilování, multielektrodové odporové měření, konduktometrie, metoda velmi dlouhých vln a spontánní polarizace) a refrakční seismika. Ve specifických případech se uplatňuje i geoakustické měření, přesná gravimetrie, magnetometrie a termometrie. Jsou-li v zájmovém prostoru k dispozici vrty, lze využít i řadu karotážních metod (odporová karotáž, akustická karotáž, přesná inklinometrie, gama-gama hustotní, neutron-gama, neutron-neutron, gama, geoakustická metoda, termometrie a spontánní polarizace), resp. i seismickou a odporovou tomografií [8,9]. Řadu konkrétních poznatků i příkladů uvádí Bláha [1].

V druhé polovině roku 2010 proběhla pod svahem Jezerky (obrázek č. 1) první etapa doplňujícího geofyzikálního výzkumu, jejímž cílem bylo vymezení mocnosti hrubě balvanitého deluvia a přesněji definovat průběh rozhraní kvartérních a terciálních sedimentů. Metodou vertikálního elektrického sondování, které je nejvhodnější pro určení subhorizontálních rozhraní odporově kontrastních vrstev, byl zjišťován průběh kvartérní báze pod svahem Jezerky.

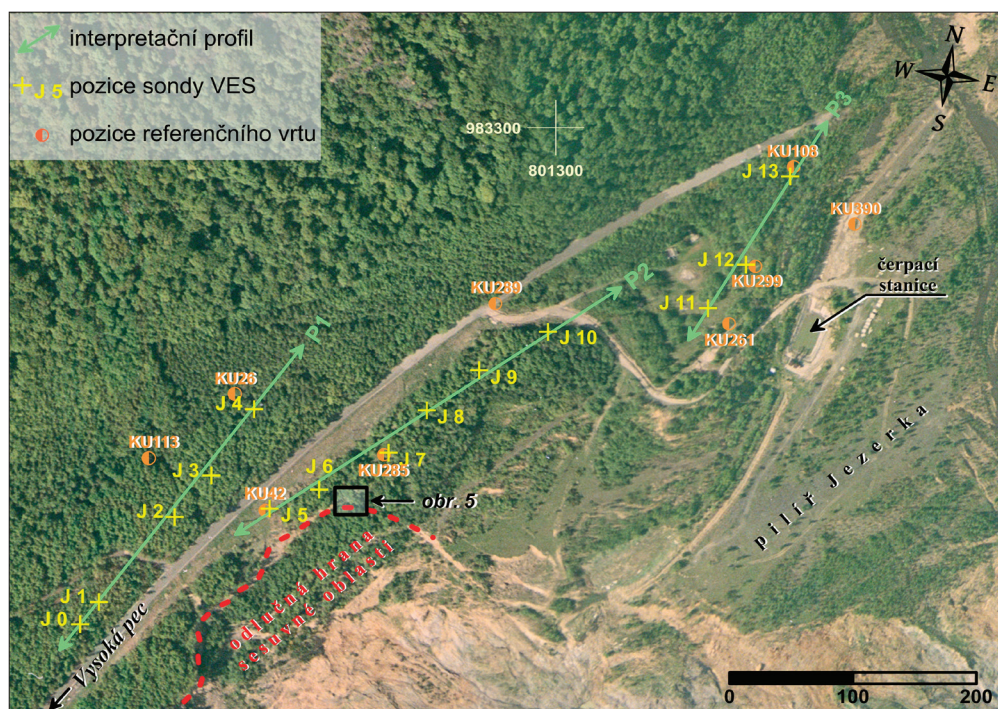


Obr. 1: Pohled na jihovýchodní svahy Kateřinohorské klenby a oblast geofyzikálního průzkumu (žlutě) pod svahem vrchu Jezerky. (Foto: J. Burda, 2010).

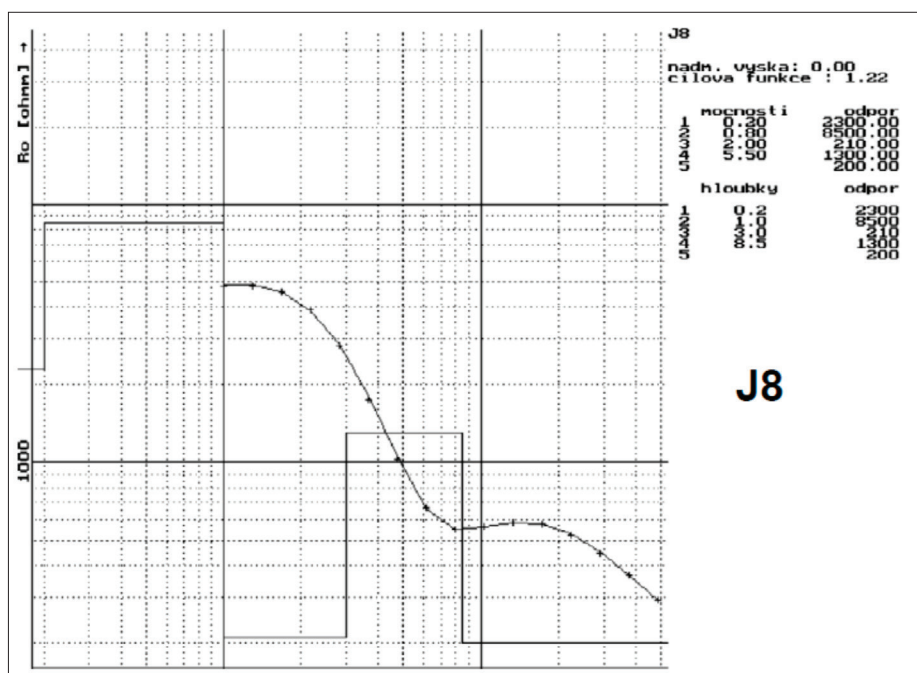
2 Stručná charakteristika zájmového území

Zájmová lokalita se nachází na styku Krušných hor a mostecké pánve, geologické a fyzicko-geografické poměry zájmového území byly již mnohokrát podrobně popsány [2,4,5,6,7,9,11,13].

Pánevni souvrství je tvořeno mocnými lakustrinními sedimenty miocénního stáří. Jílové souvrství má přibližnou mocnost 200 m a navazuje na uhelnou sloj mocnou 30-35 m. Směrem ke Krušným horám pánevni souvrství vyklíňuje a jeho mocnost podstatně klesá. Uhlenná sloj je od krušnohorského



Obr. 2: Situace zkoumané oblasti: poloha interpretačních profilů, jednotlivých sond VES a referenčních vrtů (podkladové ortofoto z roku 2008).



Obr. 3: Příklad interpretované sondážní křivky - sonda J8. Horizontální osa: $AB/2$, resp. hloubka [m]; vertikální osa: zdánlivé měrné odpory, resp. měrné odpory [Ωm].

krystalinika, které tvoří pánevní dno, oddělena svrchně paleogenními a spodně neogenními klastickými sedimenty [5,7].

Úpatí hor je pokryto kvartérními proluviálními a deluviálními sedimenty. Ty obecně dosahují největší mocnosti pod svahem Jezerky, kde je kvartérní akumulace výsledkem pleistocenního (zřejmě Würmského) skalního sesuvu [3]. Odhadovaná kubatura těchto sesutých sedimentů je 25 mil. m^3 a původní mocnost před odtěžením (v okolí Šibeniční hůrky) byla až 70 m [10,12]. Současná mocnost kvartérních sedimentů pod svahem Jezerky kolísá od 0,1 do 40 m. Pod svahem Jánského vrchu, resp. pod zámkem Jezeří, je mocnost kvartérních sedimentů proměnlivá, obecně je jejich mocnost největší (místy až 40 m) v místech závěrných profilů horských údolí a dejekčních kuželů [15].

3 Metodika

Vertikální elektrické sondování (VES) bylo realizováno v liniích tří profilů orientovaných v delší ose lokality, tj. v generálním směru JZ-SV (obrázek č. 2). Profil P1 (sondy VES J0 až J4) byl situován ve svahu nad bývalou silnicí 1/13, profil P2 (sondy VES J5 až J10) podél odlučné hrany recentního sesuvu pod silnicí 1/13 a profil P3 (sondy VES J11 až J13) na terénním platu mezi silnicí 1/13 a cestou odbočující k technickým objektům dolů. Všechny profily probíhaly ve směru po vrstevnici, tedy paralelně s odlučnou hranou recentní hluboce založené sesuvné oblasti.

Metoda VES umožňuje vysledování jednotlivých subhorizontálně uložených geologických (geoelektrických) vrstev na základě rozdílů v jejich měrných odporech. Sondy vertikálního elektrického sondování byly na všech profilech umístěny s intervalem přibližně 50 m. K měření byl využit milivoltmetr GEOTER-1, jako zdroj proudu sloužily suché články. Maximální rozestup proudových elektrod AB činil standardně

100 m (pouze v několika případech byl tento rozestup z terénních důvodů redukován na 72 m); vzdálenost měřicích elektrod byla 1 m. Celkem bylo proměřeno 14 sond VES, orientovaných přibližně v liniích interpretačních profilů, tj. po vrstevnici.

Naměřené sondážní křivky VES byly interpretovány s pomocí programu Gürtler. Pro ilustraci je uvedena křivka pro sondu J8 a její interpretace (obrázek č. 3). Základním grafickým výstupem metody VES jsou hloubkové odporové řezy (obrázek č. 4).

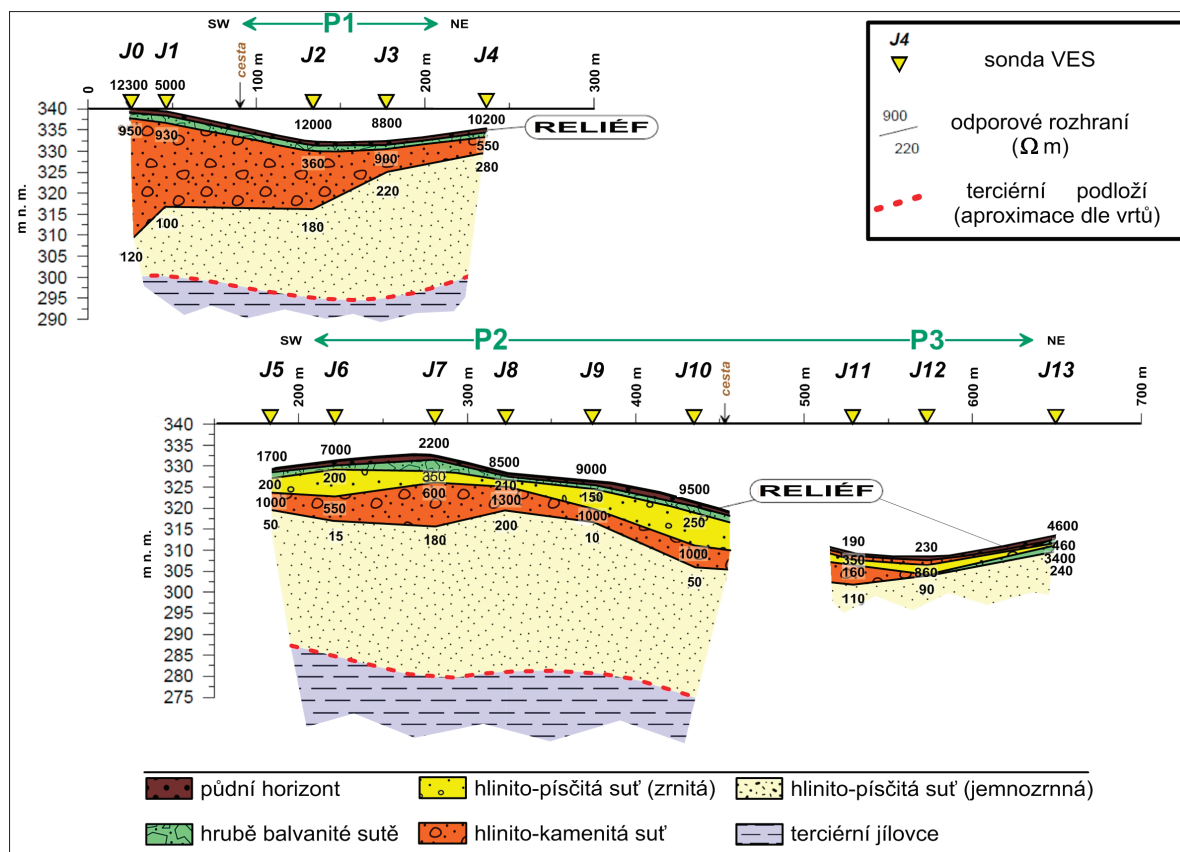
Pro zpřesnění výsledků byly zjištěné parametry konfrontovány s geologickými profily z okolních vrtů (KU26, KU42, KU108, KU113, KU261, KU285, KU289, KU299, KU390).

4 Interpretace výsledků

Výsledky metody VES v prostoru piliře Jezerka dokládají odporové řezy v liniích interpretačních profilů P1 až P3. Sondážní křivky VES v linii profilu P1 byly interpretovány jako čtyřvrstevné křivky typu KQ, v linii profilu P2 jako pětivrstevné křivky typu KHK. V linii profilu P3 se jednalo o čtyř- a pětivrstevné křivky typů HK, HKQ a KHK.

Výsledné hloubkové řezy jsou znázorněny na obrázku č. 4. Nejvyšší - přípovrchovou - vrstvu o mocnosti 0,2 až 0,7 m charakterizují téměř ve všech proměřených bodech vyšší až vysoké měrné odpory (720 až 4 400 Ωm), které indikují přítomnost zahliněných sutí. Nižší obsah hrubé frakce při povrchu lze očekávat pouze v okolí sond J7, J11 a J12, kde přípovrchová vrstva vykazuje odpory v rozmezí 300 až 400 Ωm .

V linii profilu P1 bylo interpretováno obecně čtyřvrstevné prostředí (typ KQ). Jako druhá v pořadí se zde nachází extrémně vysokoodporová vrstva (9 000 až 15 000 Ωm), která sahá do hloubek kolem 1,4 až 2,5 m a zřejmě reprezentuje projev hrubě balvanité sutě. Pod ní je vyvinuta vrstva s odpory



Obr. 4: Výsledné odporové řezy ve třech zkoumaných profilech a znázornění polohy jednotlivých sond VES (2,5x převýšeno).

řádu vyšších stovek Ωm , které svědčí pro přítomnost hlinito-kamenitého materiálu. Tato vrstva sahá do hloubek 5,4 až 22 (31) m a zahlubuje se směrem k JZ. V jejím podloží vystupuje relativně vodivější vrstva s odpory řádu nižších stovek Ωm (100 až 300 Ωm); jedná se patrně o projev hlinito-písčitého materiálu s nižším podílem hrubé frakce a vyšším obsahem vody. Interpretovaný průběh rozhraní mezi dvěma posledně uvedenými vrstvami do značné míry „kopíruje“ aproximativní průběh báze kvartéru interpolovaný na základě údajů z vrtů, nicméně tato báze se podle vrtů nachází až v hloubkách od 33 m (na SV) do 40 m (na JZ).

Podél profilu P2 bylo zjištěno pětivrstevné prostředí (typ KHK). Pod přípovrchovou polohou se zde opět nachází vrstva o vysokých až extrémně vysokých odporech (1 700 až 9 500 Ωm), sahající do hloubek 1,0 až 1,8 m a reprezentující balvanité sutě. Následuje „vložená“ vrstva o relativně nižších odporech s hodnotami v rozmezí 150 až 350 Ωm a s bází v hloubkovém intervalu 3,0 až 9,8 m. Pod touto polohou, kterou tvoří patrně hlinito-písčitého materiál, se nachází další vysoko-odporová vrstva (550 až 1 300 Ωm), dosahující hloubek 8,5 až 16 m a reprezentující pravděpodobně hlinito-kamenité sutě s variabilním podílem jemnější frakce. Její podloží tvoří vrstva o nižších odporech (10 až 200 Ωm), kterou interpretujeme jako projev vlhkého hlinito-písčitého materiálu s malým podílem kamenité frakce. Průběh posledního zjištěného rozhraní (v hloubkách 8,5 až 16 m) generelně upadá od JZ k SV a opět „kopíruje“ průběh terciárního podloží aproximovaný podle údajů z blízkých vrtů (báze kvartéru v intervalu hloubek 41 až 52 m).

Prostor profilu P3 charakterizuje odporově značně proměnlivé prostředí (typy HK, HKQ a KHK) s problematickou korelovatelností dílčích poloh. Odpory většiny vyčleněných vrstev se generelně pohybují v řádu stovek Ωm , což svědčí pro převahu hlinito-písčitého až hlinito-kamenitého materiálu. Přítomnost hrubě balvanitých sutí byla indikována pouze v prostoru sondy J13 - pod bývalou silnicí 1/13, kde byly zachyceny dvě vysokoodporové polohy: první v hloubce 0,3 až 1,1 m (4 600 Ωm), druhá v hloubce 1,8 až 3,3 m (3 400 Ωm). Nejnižší interpretované vrstvy (v hloubkách větších než 3,3 až 7,0 m) odpovídají opět relativně nižší měrné odpory v rozmezí 90 až 240 Ωm , což svědčí pro přítomnost hlinito-písčitého materiálu. Terciární podklad se podle vrtové dokumentace nachází v těchto místech až v hloubkách větších než 50 m (52 až 74 m), proto není zakreslen.

V profilech P1, P2 a P3 se podařilo spolehlivě vymezit balvanitou vrstvu, ta je pravděpodobně okrajovým reliktem Würmského skalního sesuvu (tak, jak jej chápou [10] a [14]), jehož jádro se nacházelo v prostoru P2. V profilu P3 byla zachycena balvanitá vrstva o mocnosti 1,1 (resp. 3,3 m). Zbytek byl odtěžen v 80. letech při terénních úpravách pilíře Jezerka.

Vzhledem k efektivnímu hloubkovému dosahu metody VES (pro AB = 100 m hloubka přibližně 25 až 30 m) lze předpokládat, že terciární podloží nebylo zastiženo žádnou sondou. S přítomností skalního podkladu může podmíněně souviset pouze nejhlubší zjištěné rozhraní (v hloubce 31 m) v prostoru sondy J0 při JZ konci profilu P1. Zakreslený přibližný průběh terciárního podloží byl aproximován na základě popisu stratigrafie ve vrtech KU26, KU42, KU108, KU113, KU261, KU285,

KU289, KU299, KU390, které se nacházejí v okolí interpretačních profilů. Hloubky tohoto podloží se v rámci zájmové plochy pohybují od 33 do 74 m. Nezachycení rozhraní kvartérních a terciérních sedimentů metodou VES v této lokalitě vyplynulo z „podcenění“ konfigurace proudových elektrod a tudíž menšího efektivního hloubkového dosahu. Při navýšení AB na dvojnásobnou hodnotu by se průběh rozhraní pravděpodobně podařilo vymezit.

Velmi nízké měrné odpory poslední vrstvy, zjištěné na profilu P2 v bodech J6 a J9, jsou patrně ovlivněny rušivou přítomností kovových potrubí či železných konstrukcí v zemi (bývalé vodovodní potrubí uložené podél silnice 1/13 - obrázek č. 5). Je-li proudová elektroda pro určitý rozestup situována v blízkosti potrubí, dochází ke svedení proudu umělým vodičem a porušení geometrie měření. Důsledkem může být buď vznik falešné „vodivé“ vrstvy, nebo extrémně nízký interpretovaný odpor, v některých případech však i takové ovlivnění tvaru sondážní křivky, které znemožňuje její realistickou interpretaci.

5 Závěr

Realizovaný geofyzikální průzkum pro inženýrskogeologické účely v prostoru piliře Jezerka v Krušných horách přinesl

zpřesnění stávajících poznatků. Hloubka báze hrubě balvanitého deluvia ve svrchní části pokryvu se mění v linii profilu P1 v rozmezí od 1,4 do 2,5 m, v linii profilu P2 od 1,0 do 1,8 m, v prostoru profilu P3 bylo balvanité deluvium zjištěno pouze v místě sondy J3, kde sahá do hloubky kolem 3,3 m. Mocnost připovrchové vrstvy, která spočívá na balvanitém materiálu a je tvořena zahliněnou sutí, kolísá od 0,2 do 0,7 m.

V linii profilu P1 byla pod hrubě balvanitou sutí zachycena poloha hlinito-kamenitého materiálu, sahající do hloubek 5,4 až 22 m; v jejím podloží vystupuje materiál hlinito-písčitého charakteru s nižším podílem kamenité frakce.

V linii profilu P2 se pod balvanitou sutí nachází „mezi-vrstva“ hlinito-písčitého charakteru s bází v intervalu hloubek 3,0 až 9,8 m, následuje poloha hlinito-kamenitého materiálu dosahující hloubek 8,5 až 16 m a podloží tvoří opět materiál hlinito-písčitého charakteru s nižším zastoupením hrubé frakce.

V prostoru profilu P3 převažuje heterogenní odporové prostředí, charakteristické střídáním poloh s vyšším a nižším zastoupením kamenité frakce v suťovém materiálu. Zjištěné „podloží“ – v hloubkách větších než 3,3 až 7,0 m – lze opět charakterizovat jako materiál hlinito-písčitého charakteru s menším podílem kamenité složky.



Obr. 5: Bývalé vodovodní potrubí obnažené v důsledku rozšíření odlučné oblasti. Přítomnost potrubí pravděpodobně ovlivnila některé ze sondážních křivek VES. (Foto: J. Burda, 2011).

Mocnost kvartérních sedimentů (sutí) se v zájmovém prostoru podle vrtné dokumentace pohybuje v rozmezí 33 až 74 m, provedeným měřením metodou VES nebyla báze kvartéru zachycena, výjimkou může být nejhlubší odporové rozhraní v místě sondy J0, které bylo zjištěno v hloubce 31 m.

Poděkování

Příspěvek vznikl jako součást projektů GAUK 155610 a MSM 0021620855.

Literatura

- [1] BLÁHA, P.: *Geofyzikální metody při výzkumu svahových deformací*. Geotest Brno – Geofond Praha, Praha, 135 p., 1993.
- [2] HORÁČEK, M.: *Srovnání poznatků o průzkumných důlních dílech mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách*. Sbor. Geol. Věd, Ř. HIG, 20, Praha, pp. 45-51, 1994.
- [3] KALVODA, J., VILÍMEK, V., ZEMAN, A.: *Earth's surface movements in the hazardous area of Jezeří castle – Krušné hory Mountains*. Geojournal, 32(3), Praha, pp. 247-252, 1994.
- [4] KRÁL, V.: *Geomorfologie vrcholové části Krušných hor a problém paroviny*. Rozpravy Československé akademie věd, 78(9), Praha, pp. 42-49, 1968.
- [5] MALKOVSKÝ, M., a kol.: *Geologie Severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí*. Academia, Praha, 424 p., 1985.
- [6] MALKOVSKÝ, M.: *Důležité zlomy platformního pokryvu severní části Českého masívu*. Ústř. Úst. Geol., 14, Praha, pp. 7-12, 1977.
- [7] MAREK, J.: *Problematika Jezeří v Krušných horách po provedeném inženýrsko-geologickém průzkumu*. Památ. a Přít., 8(4), pp. 228-237, 1983.
- [8] MAREŠ, ST., KAROUS, M., LANDA, I., MAZÁČ, O., MÜLLER, K., MÜLLEROVÁ J.: *Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii*. SNTL – ALFA, Praha, 198 p., 1983.
- [9] MAREŠ, ST., BLECHA, VR., DOHNAL, J., GRUNTORÁD, J., HRÁCH, ST., JÁNĚ, ZD., MAREK, F., MATOLÍN, M., MAZÁČ, O., SKOPEC, J., ZIMA, L.: *Geofyzikální metody v ochraně a tvorbě životního prostředí*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava, 139 p., 1996.
- [10] ŠPŮREK, M.: *Sesuvné jevy u Dřínova na Mostecku*. Věst. Ústř. Úst. Geol., 49, Praha, pp. 231-234, 1974.
- [11] ŠKVOR, V.: *Geologie české části Krušných hor a Smrčín*. Academia, Praha, 119 p., 1975.
- [12] VÁNĚ, M.: *Sutě a sesuvy na úpatí Krušných hor*. Čas. Min. Geol., 5(2), pp. 174-177, 1960.
- [13] VILÍMEK, V.: *Quaternary development of Kateřinohorská Vault relief in the Krušné hory Mountains*. Acta Univ. Carol., Geogr., 30, Praha, pp. 115-137, 1995.
- [14] ZMÍTOKO, J.: *Fosilní sesuvy při podkrušnohorském výchozu pánve*. Hnědé uhlí, 6, Most, pp. 12-24, 1983.
- [15] ŽIŽKA, L., HALÍŘ, J.: *Geological model of the Quaternary sediments*. Model CARE, pp. 583-585, 2009.