

Využití metody elektrické rezistivní tomografie a georadaru při průzkumu a vyhledávání starých důlních děl

Aleš POLÁČEK¹, Bladimir CERVANTES²,

¹Ing.CSc, Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, VŠB – Technická univerzita Ostrava, tř. 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba

Tel.: (+420) 59 732 5490
E-mail: ales.polacek@vsb.cz

²Ing., Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, VŠB – Technická univerzita Ostrava, tř. 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba

Tel.: (+420) 59 732 5394
E-mail: bladimir.cervantes@vsb.cz

ÚVOD

Těžba nerostných surovin, bez ohledu na způsob dobývání, se neobejde bez nepříznivých vlivů na životní prostředí. Způsob a intenzita ovlivnění krajiny závisí zejména na způsobu dobývání a jeho intenzitě, geologických podmínkách uložení ložiska, morfologii postiženého území a mnoha dalších faktorech.

Jedním z významných důsledků hlubinného dobývání, které na našem území probíhalo a stále probíhá, jsou stovky důlních děl v podzemí, ať už se jedná o díla důlní, podzemní anebo geologická. V současné době v rámci zahlazování negativních vlivů dobývání na životní prostředí probíhá likvidace již nepoužívaných důlních děl. V mnoha případech se jedná o náročný a různě složitý proces, který závisí na znalosti polohy konkrétního důlního díla v horninovém masívu, na znalosti jeho průběhu, na znalosti jeho rozměrů a mnoha dalších faktorech. Je nutno mít na zřeteli, že v mnoha případech se jedná o stará důlní díla mnoho desítek, výjimečně až stovek let, u nichž neexistují relevantní data nutná k jejich přesnému vymezení a následně provedení jejich likvidace dle současných právních norem.

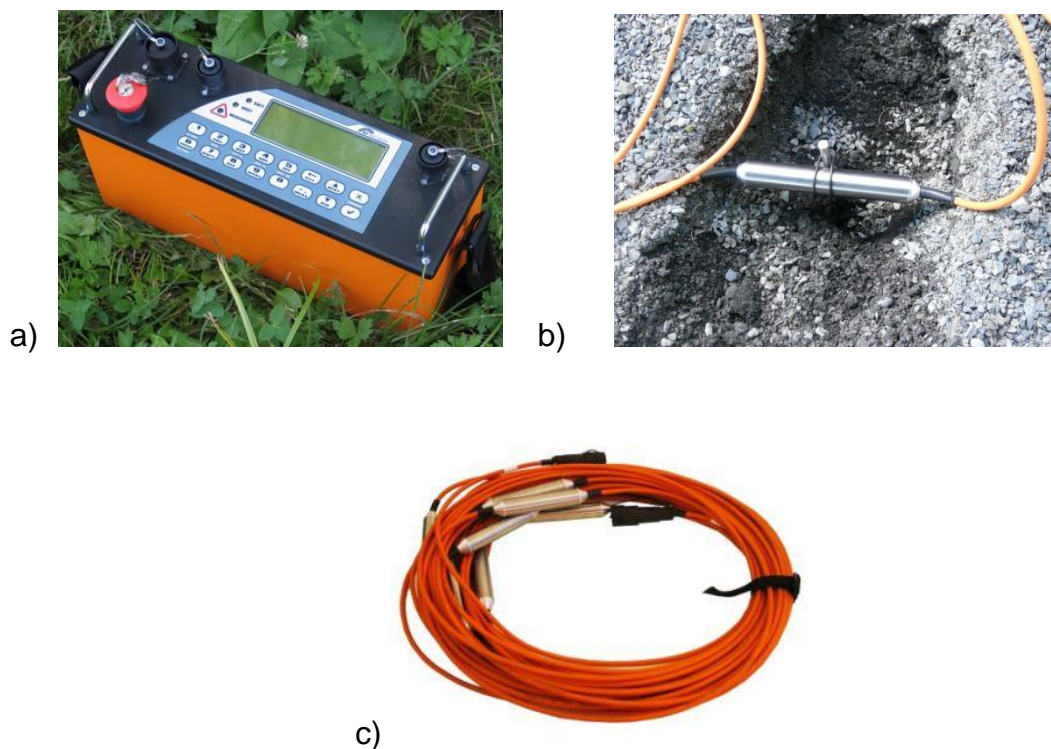
Vedle využívání v první řadě různých historických a archivních pramenů, existující v mnoha případech nepřesné důlní dokumentace s různou vypovídací úrovní, je vymezení polohy určitého důlního díla závislé na různých typech geologicko-průzkumných prací. Máme na mysli zejména racionální rozsah

kombinace nepřímých průzkumných metod - metod geofyzikálních a přímých průzkumných metod - metod vrtného průzkumu.

Vzhledem k diskutované problematice, která je v celém kontextu značně rozsáhlá, je tento příspěvek zaměřen na možnosti relativně nové geofyzikální metody - metody elektrické rezistivní tomografie (dále metody ERT), při dohledávání horizontálních důlních děl, která v možném komplexu již dříve využívaných geofyzikálních metod (mikrogravimetrie, mělká refrakční seismika, georadar, odporové geoelektrické metody, případně geotermika a geomagnetika), zaujímá velmi významné místo.

Princip metody ERT, metodika měření

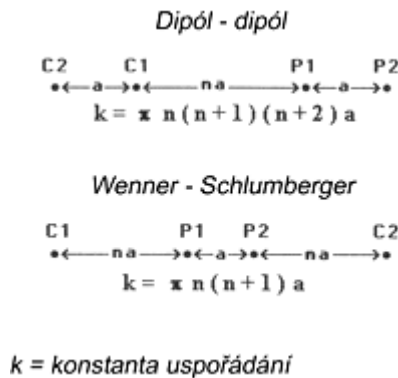
Metoda je aplikována pomocí aparatury *ARES-200E*. Aparatura představuje moderní automatický geoelektrický systém, který při měření používá speciální multielektrodový kabel (jeden kabel – 8 elektrod). Počet kabelů nazývaných obvykle *sekcemi* je de facto libovolný, v praxi je však omezen konstrukcí samotného přístroje, a to tak, že maximální počet elektrod může být 250. Na obr. 1 a, b, c, je znázorněna aparatura, uzemnění elektrody a kabelová sekce.



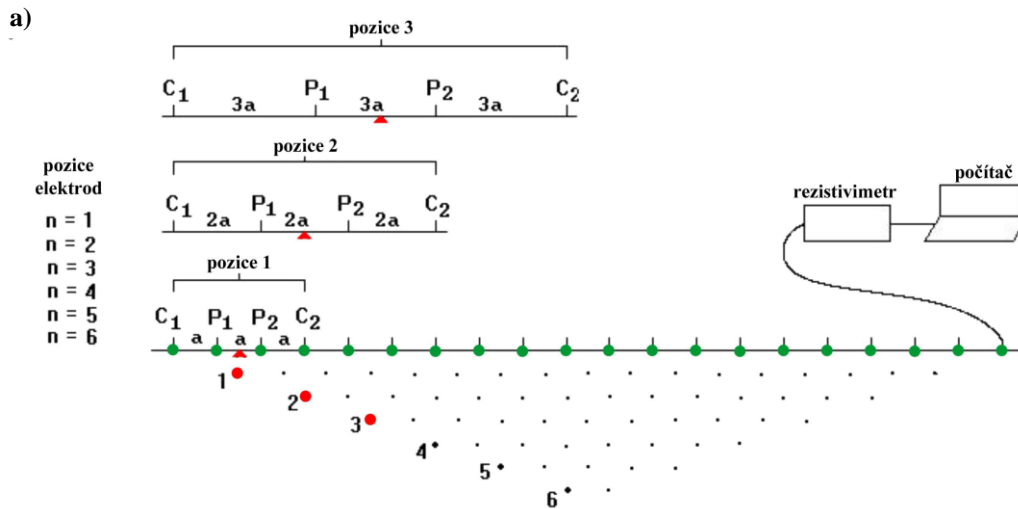
Obr. 1. Stejnoseměrná odporová aparatura ARES 200E pro multielektrodové rezistivní měření (www.gfinstruments.cz).

a) aparatura ARES-200E, b) válečková elektroda jako součást multielektrodového kabelu při měření aparaturou ARES, c) kabelová sekce

Elektrody jsou rozmístěny v konstantní vzdálenosti mezi sebou na zemském povrchu ve formě: 2D – v profilu, či 3D – v ploše. Elektrody, které jsou neustále ve styku s horninovým prostředím, jsou pomocí počítače, střídavě zapojovány jako proudové (C_1, C_2), nebo jako měřící (P_1, P_2). Elektrody jsou nejčastěji zapojovány podle uspořádání Wenner-Schlumberger (WSCH), případně dipól-dipól (DD), atd. - viz schéma na obr. 2.



Obr. 2 Uspořádání používaná při odporových měřeních a jejich konstanty



Obr.3 Princip měření pro Wennerovo uspořádání

a - princip měření ve variantě 2D; 1- elektrody; 2 - první bod, v němž byla naměřena hodnota měrného odporu při n-té pozici elektrod; 3 - měřičské body; C₁, C₂ - proudové elektrody; P₁, P₂ - měřící elektrody; a - konstantní vzdálenost mezi elektrodami.

Zpracování naměřených dat

Zpracování získaných dat se provádí pomocí počítačového programu firmy Geotomo Software - RES2DINV. Je navržen pro inverzi velkých datových souborů (200 – 6500 bodů) a systémem ukládání s velkým počtem elektrod (25 až 180). Tento program sestavuje z terénního měření rezistivní (odporový) profil. Cílem tohoto programu je stanovit rezistivitu z pravoúhlých bloků, které budou produkovat zdánlivou rezistivitu pseudosekce, který souhlasí s měřeným.

Běžné inverzní programy jsou založeny na vyrovnávání metodou nejmenších čtverců. Lze také použít nové aplikace metody nejmenších čtverců, založené na quasi-Newtonově optimalizační technice. Tato technika je více než 10krát rychlejší než konvenční metoda nejmenších čtverců pro velké datové soubory a vyžaduje méně paměti. Lze také použít konvenční Gauss-Newtonovu metodu v tomto programu. Je mnohem pomalejší než quasi-Newtonova metoda, avšak v oblastech s velkými kontrasty odporů (více jak 10:1), dává o něco lepší výsledky. Třetí možností v tomto programu je použít Gauss-Newtonovy metody pro první, druhou nebo iteraci, po kterých se quasi-Newtonova metoda používá. V mnoha případech to je nejlepší kompromis.

Formulace konkrétní úlohy - dohledání určitého objektu

Vyhledávání horizontálních důlních děl je úloha značně komplikovaná, protože vzájemně spolupůsobí celá řada faktorů, které se mohou měnit nejen případ od případu, ale i v průběhu měření na jedné lokalitě a to i pouze změnou místa zvoleného geofyzikálního profilu. Složitost horninového prostředí (samotné geologické poměry, skutečná podoba hledaného důlního díla v místě měření a jeho nejbližším okolí, někdy i plošně omezená oblast průzkumu, v některých případech intenzivní poruchová fyzikální pole) způsobuje, že jak aplikace geofyzikálních metod, tak i jejich interpretace, je často dosti složitá a obtížná. Staré důlní dílo se může obecně projevit změnou mnoha fyzikálních vlastností, v našem případě budeme mít na mysli pouze změnu především rezistivity.

Měřená veličina je závislá na měřitelném (odlišném) fyzikálním projevu hledaného důlního díla. To tedy v konečném efektu znamená, že hledaný objekt, v našem případě důlní dílo, se musí vyznačovat odlišnými fyzikálními vlastnostmi a tedy i odlišným projevem od okolního horninového prostředí, v němž se nachází. Tyto odlišné vlastnosti jsou příčinou rozdílného projevu hledaného díla od okolí, jsou hlavním zdrojem geofyzikálních anomálií.

Pozitivní výsledek měření, provedená kvantitativní interpretace geofyzikálního měření, obsahující zejména určení hloubky výskytu důlního díla, jeho rozměrů, jeho průběhu, případně zhodnocení fyzikální charakteristiky nejbližšího okolí důlního díla závisí na mnoha faktorech.

Jedním z nejvýznamnějších je především poloha důlního díla v horninovém masívu vzhledem ke zvolené síti profilů, případně jednotlivým profilům. Dalším významným faktorem jsou rozměry důlního díla, jeho hloubka pod povrchem a reálná podoba důlního díla v místě měření. Máme tím na mysli skutečnost, že průřez důlního díla (modelově je můžeme nahradit horizontálním válcem s průměrem obvykle 2 – 3 m) může být buďto zachován od vzniku důlního díla do současné doby, nebo se podoba důlního díla může měnit v závislosti na zvoleném zajištění důlního díla (použitá **ano ne** výztuž).

Odlišné geomechanické vlastnosti horninového prostředí mohou znamenat v příznivých případech vytvoření zóny uvolněného napětí kolem důlního díla, která se konkrétně může projevit až propadáním stropu a tedy k vytvoření příznivějších podmínek pro naplnění hlavního cíle geofyzikálního měření – vymezení místa s existencí důlního díla. Významným faktorem mohou být i hydrogeologické poměry v místě měření. Tyto se mohou měnit v závislosti na ročním klimatickém cyklu. Různé období pro měření, z tohoto pohledu větší obsah vody v konkrétním důlním díle, může být příznivým faktorem, který umožní jeho jinak problematickou nebo nejednoznačnou lokalizaci. Dalším faktorem je skutečná poloha (orientace důlního díla) v prostoru. Ideálním případem situace, kdy pod horizontálním povrchem se nachází horizontální důlní dílo. Obvyklým případem však může být horizontální důlní dílo pod různě ukloněným povrchem terénu, na němž se provádí vlastní geofyzikální měření.

Výsledky měření metodou ERT na lokalitě Svatoňovice, štola - G

Lokalita se nachází asi 5 km sz. od města Vítkov v okrese Opava. Řadí se do kulmského vývoje flyšové facie spodního karbonu. Kulmská facie litologicky představuje souvrství střídajících se jílových břidlic, pískovců a drob.

Štola se nachází asi 1,5 km severně od obce Svatoňovice, v udržovaném lesním porostu u bezejmenného potoka, který je přítokem řeky Moravice za přehradní hrází Kružberk. V dané lokalitě byly původně dvě těžební štoly G a H. Nebylo zjištěno časové rozpětí funkčnosti štol, ani jejich začátek a ukončení těžby.

Jedná se o nezajištěný opuštěný objekt. Dnešní ústí štoly G je v terénu snadno viditelné. Otevřené ústí štoly je v nízké stěně. Rozměry SDD jsou asi 175 cm světlá výška a 180 cm šířka. Délka štoly G je cca 40 m. Ústí štoly je v současnosti zajištěné momentálně neuzamčenými mřížovými vraty. (Segeřa, 2011).

Geoelektrické měření zde bylo provedeno na třech cca rovnoběžných profilech, kolmých na předpokládaný průběh důlního díla. Vzhledem k tomu, že ústí štoly se nachází ve svahu, byla u každého profilu postupně větší vzdálenost o počvy důlního díla. V případě profilu P 1 to bylo 7 m, v případě profilu P 2 pak 10 m, u profilu P 3 pak 11,5 m. Tyto údaje byly získány vyhodnocením geodetického zaměření jak uvedených profilů, tak průběhu štoly. Rekognoskací průřezu štoly bylo

zjištěno, že světlý průřez se v proměřovaném úseku mění minimálně, takže interpretace geofyzikálního měření vychází z následujících skutečností.

Geologické poměry v generelu konstantní, průřez díla konstantní, mění se pouze vzdálenost středu důlního díla, resp. jeho počvy od povrchu. Měření probíhala navzájem za stejných klimatických podmínek, před vlastním měřením nedocházelo několik dní k výrazné srážkové činnosti.

Ve všech případech bylo prováděno na každém profilu měření při uspořádání W-SCH a DD. Vzdálenosti sousedních elektrod byly postupně měněny, délky profilů byly voleny tak, aby předpokládaná hloubka dohledávaného anomálního objektu byla menší, než interpretovaný hloubkový dosah u jednotlivých uspořádání.

Profil P- I

Štola se pod tímto profilem nachází cca v 7 metrové hloubce. Výsledky měření jsou znázorněny na obr. 4 a obr. 5. Z obr. 4 vyplývá, že při vzdálenosti mezi elektrodami 1 m, je projev důlního díla velmi problematický. Jak naznačuje střed počvy štoly pod povrchem, v případě uspořádání W-SCH lze projev důlního díla pozorovat v metrů 23 m, jeho hloubku pak situovat do cca 2 - 3 m, což neodpovídá skutečným úložním poměrům. V případě uspořádání DD jsou výsledky ještě více problematické. Na obr. 5 jsou znázorněny získané výsledky na základě podobného měření, pouze vzdálenost mezi elektrodami byla volena 2 m. V tomto případě průběhu štoly odpovídá cca kruhová vysokorezistivní poloha v metrů 28 m, která se nachází přibližně ve stejné hloubce jako důlní dílo. U uspořádání DD pak lze konstatovat, že zjištěné výsledky odpovídají skutečné poloze důlního díla.

Profil P- II

Štola se pod tímto profilem nachází cca v 10 metrové hloubce. Výsledky měření jsou znázorněny na obr. 6. Vzhledem k problematickým výsledkům zjištěným při vzdálenosti mezi elektrodami 1 m, bylo měření provedeno pouze při vzdálenosti elektrod 2 m, která se dříve ukázala jako vhodná. U uspořádání W-SCH lze konstatovat, že vysokorezistivní anomálie cca v metrů 31 m, v hloubce cca 10 m charakterizuje důlní dílo, v případě uspořádání DD je výsledek negativní.

Profil P- III

Štola se pod tímto profilem nachází cca v 11,5 metrové hloubce. Výsledky měření pro vzdálenost mezi elektrodami 2 m jsou znázorněny na obr. 7. Vzhledem k poznatkům zjištěným při měření na profilu P II, byla zvolena vzdálenost mezi elektrodami opět nejdříve 2 m, pak pokusně zvětšena na 3 m. V obou případech hledané důlní dílo neovlivnilo měřenou rezistivitu natolik, aby se ve vertikálních rezistivních řezech charakteristicky projevilo.

Diskuze, závěry a doporučení

Na základě zhodnocení získaných výsledků měření metodou ERT na lokalitě Svatoňovice, štola - G lze konstatovat, že uvedená metoda je na vyhledávání horizontálních důlních použitelná. Nicméně z metodického hlediska se ukázalo, že hlavní faktory, které ovlivní konečný výsledek měření a tím i kvantitativní interpretaci, je skutečná podoba důlního díla v místě měření a jeho hloubka pod povrchem.

Rozměr důlního díla, v našem případě cca 2 m krát 2 m určuje optimální vzdálenost mezi elektrodami a jeho hloubka pod povrchem v tomto případě nesmí překročit 10 m, tedy cca pětinasobek jeho průměru. To znamená, že úspěšnost měření je podmíněná kvalitou informace o dohledávaném důlním díle. Dále je nutné při měření využít možností použité aparatury a zvolit alespoň dvě uspořádání elektrod, v našem případě kombinaci Wenner - Schlumberger a dipól-dipól. Nelze vyloučit, že i změněná podoba důlního díla v různých místech jeho lokalizace ovlivní i optimální volbu vzdálenosti mezi elektrodami.

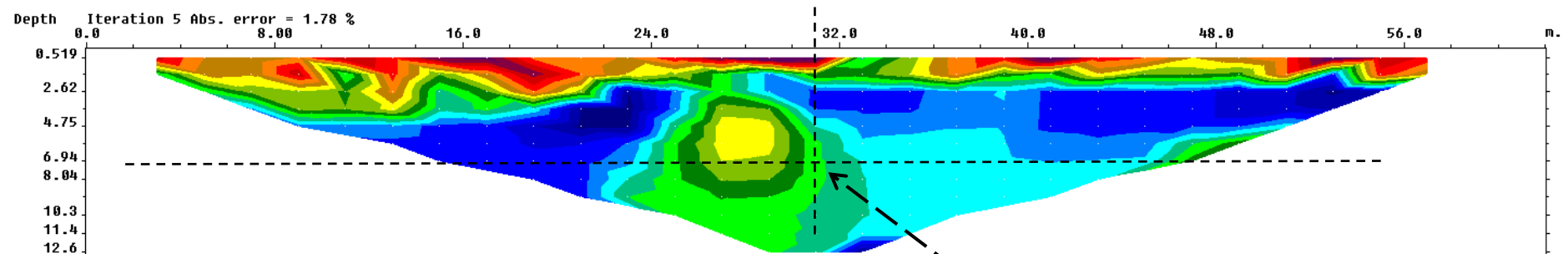
Tento příspěvek vznikl díky řešení projektu FR-TIR3/520 Věda a výzkum projevů hornické činnosti k fyzikálním proměnám charakteristik horninového prostředí.

Použitá literatura:

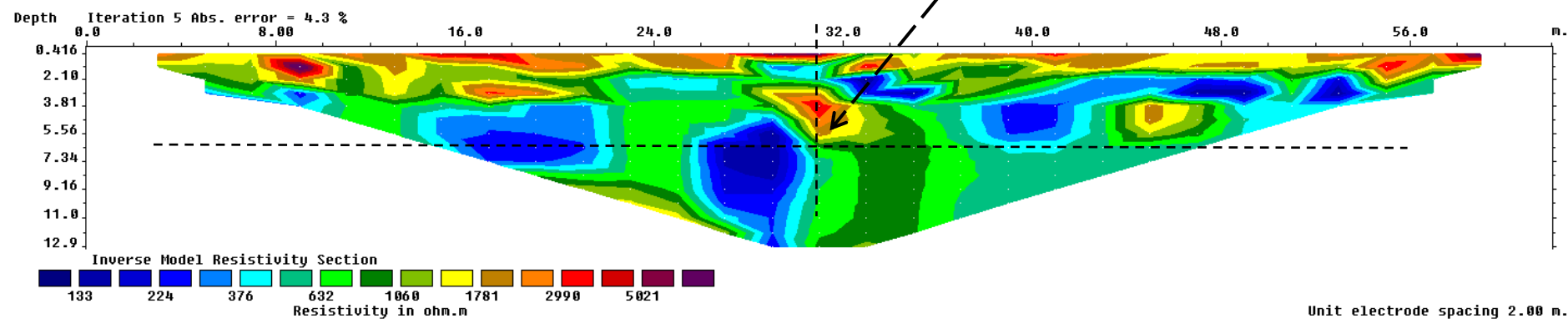
- 1) GF Instruments *Automatický Geoelektrický Systém ARES* [online]. Available at: WWW <<http://www.gfinstruments.cz>>
 - 2) Karous, M., (1989): *Geoelektrické metody průzkumu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury.
 - 3) Loke, M. H., (2012): *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. <http://www.umd.edu/geosciences/faculty/sheriff/495->
 - 4) Segeřa, K., 2011. *Věda a výzkum projevů hornické činnosti ve vztahu k fyzikálním proměnám charakteristik horninového prostředí, Ložisko Moravických posidoniových břidlic*. Ostrava: GSP s.r.o, Ostrava.
- Poláček, A., Cervantes, B. A., (2011). Zpráva o geofyzikálním měření na lokalitě Štola G - Svatoňovice. VŠB Ostrava.

Svatoňovice –Štola G

a)



b)



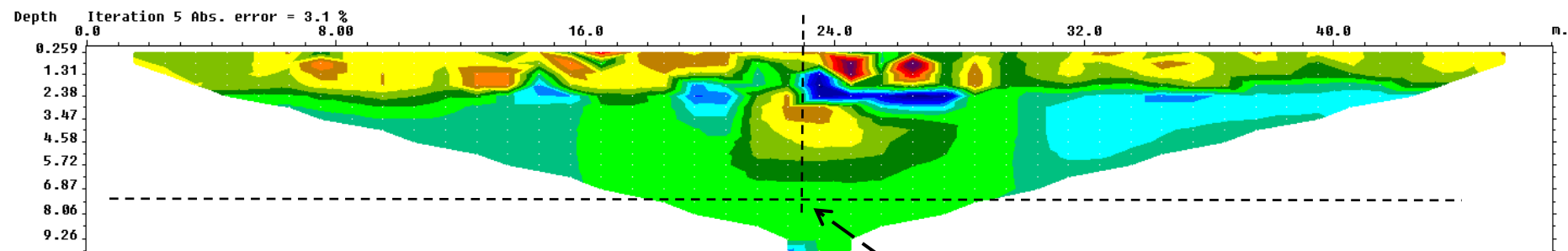
Obr. 5 Profil P I.

Interpretované vertikální rezistivní řezy s vyznačením středu počvy důlního díla.

a) uspořádání W-SCH, vzdálenost elektrod 2 m, b) uspořádání DD, vzdálenost elektrod 2 m.

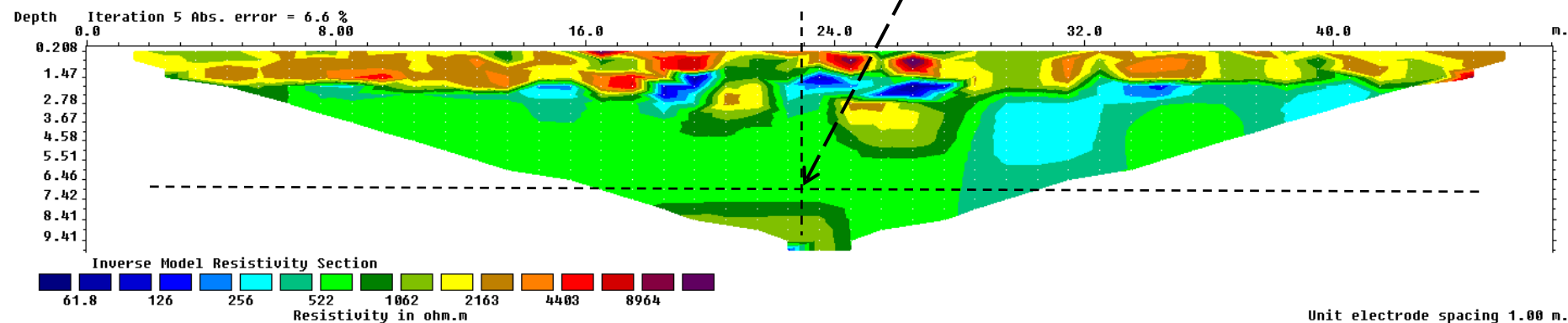
Svatoňovice, Štola G

a)



skutečný střed počvy důlního díla

b)

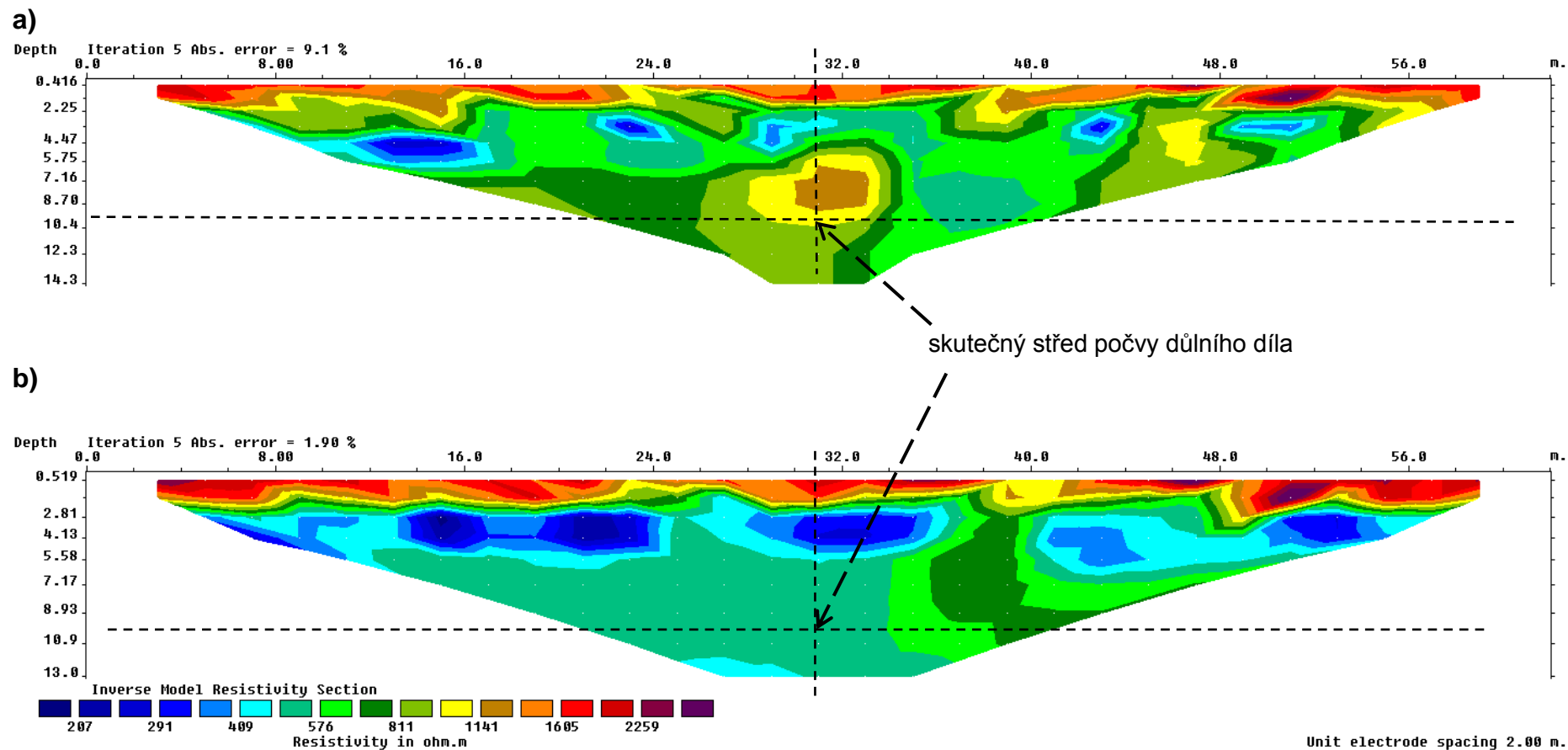


Obr. 4 Profil P I.

Interpretované vertikální rezistivní řezy s vyznačením středu počvy důlního díla na profilu P I.

a) uspořádání W-SCH, vzdálenost elektrod 1 m, b) uspořádání DD, vzdálenost elektrod 1 m.

Svatoňovice, Štola G



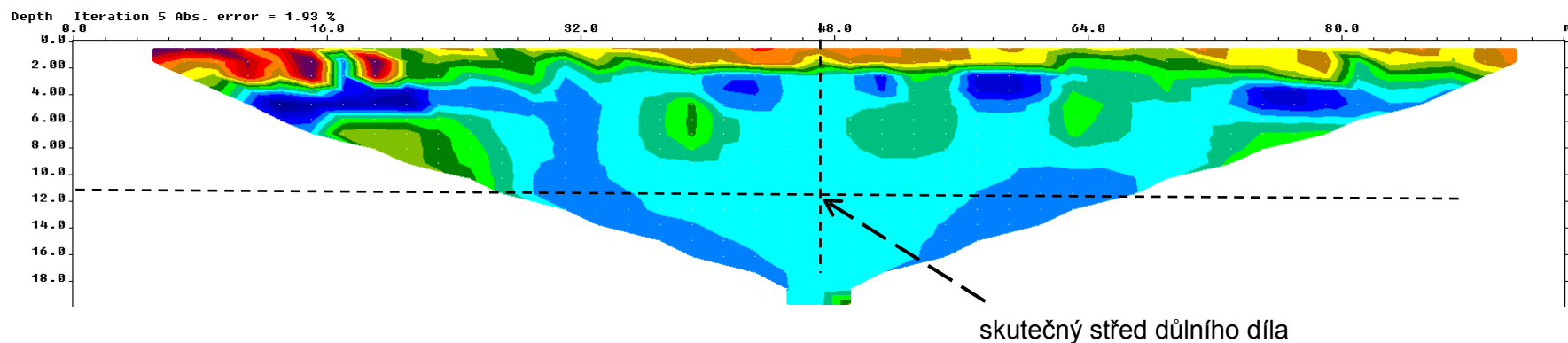
Obr. 6 Profil P II

Interpretované vertikální rezistivní řezy s vyznačením středu počvy důlního díla.

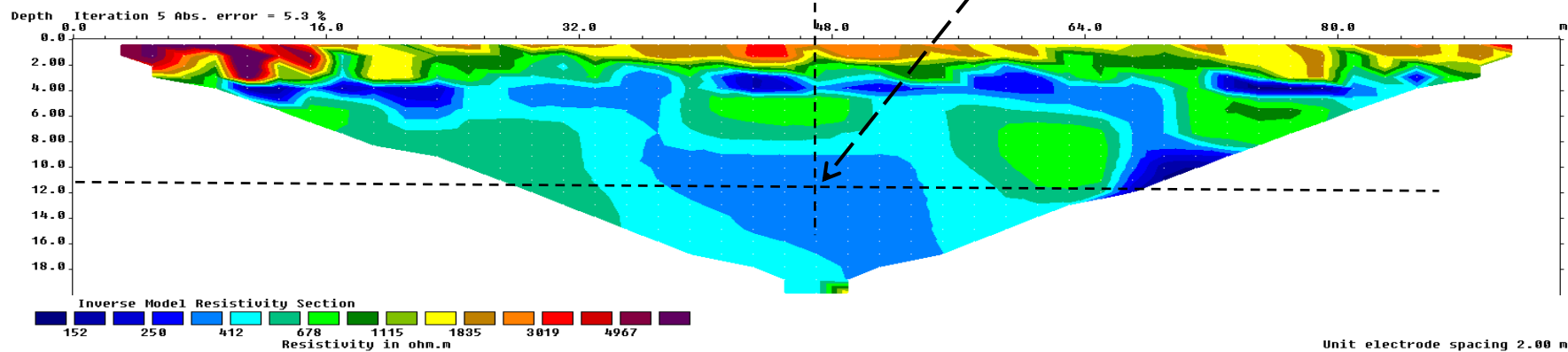
a) uspořádání W-SCH, vzdálenost elektrod 2 m, b) uspořádání DD, vzdálenost elektrod 2 m.

Svatoňovice, Štola G

a)



b)



Obr. 7 Profil P III

Interpretované vertikální rezistivní řezy s vyznačením středu počvy důlního díla.

a) uspořádání W-SCH, vzdálenost elektrod 2 m, b) uspořádání DD, vzdálenost elektrod 2 m.