



VYUŽITÍ METODY ERT V HYDROGEOLOGICKÝCH VÝZKUMECH APPLICATION OF THE METHOD ERT FOR THE HYDROGEOLOGICAL RESEARCH

Zuzana Skácelová¹, Jitka Novotná², Jan Vít³, Tomáš Hroch⁴

Abstrakt

V rámci projektu Podzemní voda v krystaliniku (hydrogeologické rajóny 6320, 6531 a 6550) řeší Česká geologická služba význam hydrogeologických masívů jako oblasti infiltrace srážek pro pánevní struktury především neogénu a kvartéru. Cílem projektu je definování oblastí ohrožených hydrogeologickým suchem, vytipování lokalit zdrojů podzemní vody a vytvoření metodiky pro zpracování bilanci zdrojů podzemních vod. Pro získání dat jsou využívány také geofyzikální práce, detailní geologické mapování, vrtné práce a analýzy sedimentárního pokryvu. Výsledné zpracování a použité metodické postupy budou předány k průběžnému užívání ČHMÚ. V rámci prací České geologické služby vznikají nová geofyzikální data z měření geoelektrickou metodou ERT (*Electrical Resistivity Tomography*), která umožňují vyhledávání, ověřování a lokalizaci hydrogeologických struktur vhodných pro akumulaci a proudění podzemních vod.

Abstract

As part of the project Groundwater in the Crystalline (hydrogeological districts 6320, 6531 and 6550), the Czech Geological Survey addresses the importance of hydrogeological massifs as areas of precipitation infiltration for basin structures, mainly of the Neogene and Quaternary age. The aim of the project is to define areas threatened by hydrogeological drought, identify localities of groundwater sources and create a methodology for processing the balance of groundwater sources. To obtain data from geophysical work, detailed geological mapping, drilling work and analyses of sedimentary cover are also used. The resulting processing and the methodological procedures used will be transferred to the Czech Meteorological Institute for ongoing use. As part of the work of the Czech Geological Survey, new geophysical data is acquire from measurements using the geoelectric method ERT (*Electrical Resistivity Tomography*), which allows for the research, verification and localization of hydrogeological structures suitable for the accumulation and flow of groundwater.

Klíčová slova

Podzemní voda v krystaliniku, zdroje podzemních vod, geofyzikální měření, metoda ERT

Keywords

Groundwater in the Crystalline, groundwater sources, geophysical measurements, method ERT

1 Úvod

Území krystalinika, které má charakter hydrogeologických masívů na výše položených územích, je velmi zranitelné v období dlouhodobého sucha. Úbytek podzemní vody je tedy patrný v suchých obdobích provázejících klimatickou změnou a prohlouben častými antropogenními zásahy do krajiny. Pro oblasti základních hydrogeologických rajonů, které jsou tvořeny především horninami krystalinika, je nejvýznamnějším zdrojem podzemní vody přípovrchový kolektor představující nejsvrchnější zónu hydrogeologického prostředí. Tato zóna je typická zvětralinami (eluvium – tzn. na místě zvětranou horninou s různou mírou dezintegrace) a sítí rozvěřených puklin hydrogeologického masivu. Kromě zvětralin jsou důležité i sedimenty kvartéru denudačních oblastí a případně i relikty sedimentů mesozoika a terciéru, které mohou vytvářet významné kolektory.

V projektu je využit také geofyzikální výzkum a detailní geologické mapování zohledňující cíle projektu. Geofyzikální měření patří mezi nepřímé metody hydrogeologického průzkumu. Nesleduje přímo hydrogeologické parametry horninového prostředí, ale odvozuje je z měření fyzikálních parametrů (Karous et al. 2010).

Cílem geofyzikálních měření je v rámci projektu především určení významných geologických struktur, které mohou ovlivnit proudění podzemní vody, tj.:

- zlomy (bariéra nebo kolektor)
- žíly a horninová tělesa (bariéra)
- akumulace zvětralin nebo sedimentů
- změna litologie

2 Metodika měření

Nejvyužívanější v hydrogeologickém průzkumu jsou geoelektrické metody, které stanovují měrný odpor ρ_z (rezistivitu) horninového prostředí nebo měrnou vodivost σ (konduktivitu), převrácenou hodnotu odporu. Základní jednotkou pro elektrický měrný odpor je v soustavě SI Ohm.m a pro elektrickou vodivost Siemens (S), kde $1S = 1/\text{Ohm}$. Kompaktní neporušené (krystalické) horniny se projevují nevodivě (vysoký měrný odpor), sedimenty, zvětralinami a porušené horniny mají odpory i o více než řád menší, protože mají vyšší poróznost a póry vyplněny podzemní vodou (hydrogeologické kolektory). Velmi nízké hodnoty měrného odporu mají jílovité sedimenty (díky vyso-

kému obsahu vázané vody) a vytváří v horninovém prostředí často vrstvy s velkou mocností, kde zabraňují průtoku podzemní vody (hydrogeologický izolátor).

V rámci detailního průzkumu lokalit vybraných hydrogeologických struktur byl realizován geofyzikální průzkum, který měl blíže specifikovat především hloubku zvětralinového a sedimentárního pokryvu krystalinika, charakter (jílovitost) jednotlivých vrstev do hloubky cca 50 m a lokalizovat porušené zóny, příp. zjistit jejich zvodnění. V České geologické službě je pro rychlé ohodnocení vybraných geologických struktur často využívána geofyzikální odporová metoda ERT (*Electrical Resistivity Tomography*), která popisuje změny zdánlivého měrného odporu směrem do hloubky a může tak identifikovat povrch pevného nezvětralého krystalinika. Tato metoda kombinuje automatickým způsobem odporové sondování a profilování a je vhodná především pro identifikaci rozhraní jednotek o různých odporech (Karus et al. 2011). Odporový hloubkový profil je výrazný především na lokalitách, kde je v podloží nezvětralá homogenní hornina a nad ní zvodnělé písčité nebo jílovité sedimenty. Většina měření byla realizována aparaturou ARES II (od firmy GF Instruments) s krokem elektrod 5 m v uspořádání Wenner-Schlumberger HD, které se jeví jako nejlepší typ uspořádání elektrod vhodný pro identifikaci subhorizontálních struktur (a v rozlišení HD dává také dostačující informace o subvertikálních odporových rozhraních) a vyhledávání hydrogeologických struktur v krystaliniku. Roztažení na většině profilů mělo délku 6 sekcí (235 m) až 15 sekcí (595 m) a na větší délku profilu pak bylo prodlužováno rolováním. Hloubkový dosah tak byl minimálně 45-55 m. Pro zpracování dat byl využit program Res2DInv a interpretace modelu řezu zdánlivého měrného odporu získaného většinou pro 2-3 iterace (v rámci tohoto počtu iterací většinou nedochází k deformaci naměřeného pseudořezu).

3 Geologická charakteristika hydrogeologických rajónů

V hydrogeologickém rajónu 6320 Krystalinikum v povodí Střední Vltavy jsou zastoupeny geologické jednotky metamorfovanými horninami barrandienského proterozoika (břidlice, droby, prachovce, vulkanity a vulkanosedimentární horniny) a spodního paleozoika (jílovité břidlice, slepence, pískovce), moldanubickými metamorfovanými horninami (migmatity, pararuly, ortoruly) a rozsáhlým komplexem magmatických hornin středočeského plutonického komplexu (granity, granodiority, syenity). V hydrogeologickém rajónu 6531 Kutnohorské krystalinikum jsou kromě hornin moldanubika a kutnohorského krystalinika (pararuly, ortoruly, migmatity) zastoupeny také křídové sedimenty (pískovce, slepence, slínovce, jílovce). Hydrogeologický rajón 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy leží v oblasti geologických jednotek moldanubika (moravského a strážeckého, tvořených rulami, migmatity až ortorulami s vložkami pestrých hornin – granulity, serpentinity, eklogity, skarny), moravika (jižní část svratecké klenby tvořená ortorulami a horninami metamorfovaného vulkanosedimentárního komplexu – chlorit-sericitickými fylity s vložkami zelených břidlic a kvarcitů) a svrateckého krystalinika (svory, migmatity, amfibolity). V centrální oblasti HGR 6550 vystupují durbachitové plutony třebíčský a jihlavský. Na povrchu jsou často zachovány relikty terciéru (jíly, písky, štěrky).



Obr. 1 Pozice vybraných lokalit

4 Příklady výsledků měření a interpretace

Z několika desítek naměřených lokalit metodou ERT v těchto rajónech jsou vybrány některé příklady hydrogeologických struktur (obr. 1), které jsou významné pro akumulaci a proudění podzemní vody v krystalinických horninách. K interpretaci přispělo detailní geologické mapování a zpracování archívu vrtné databáze doplněné novými mělkými vrty.

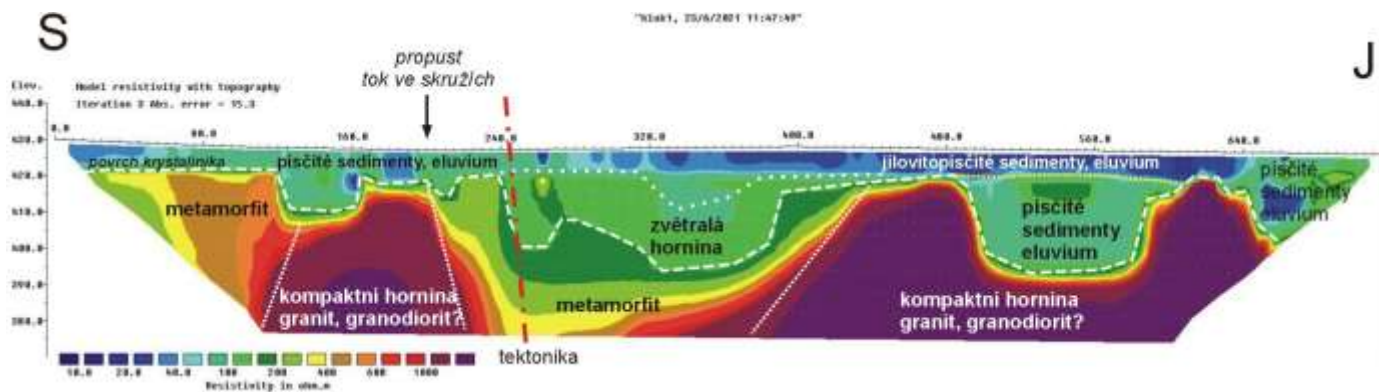
4.1 Určení povrchu nezávětralé horniny, mocnosti zvětralin a jejich charakter

Na lokalitě Jamný u Písku (HGR 6320) byla ověřena hloubka nezávětraleho krystalinika (granitu až granodioritu) a mocnosti zvětralin při povrchu (obr. 2). Akumulace podzemní vody v písčitém eluviu výrazně snižovalo zdánlivý měrný odpor.

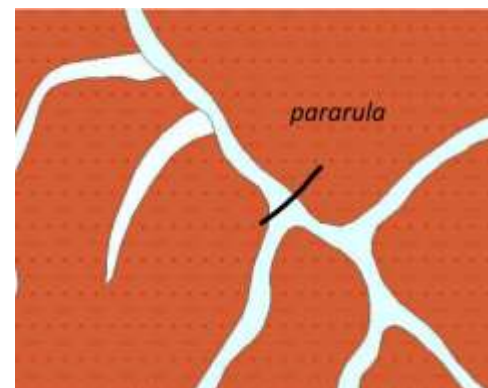
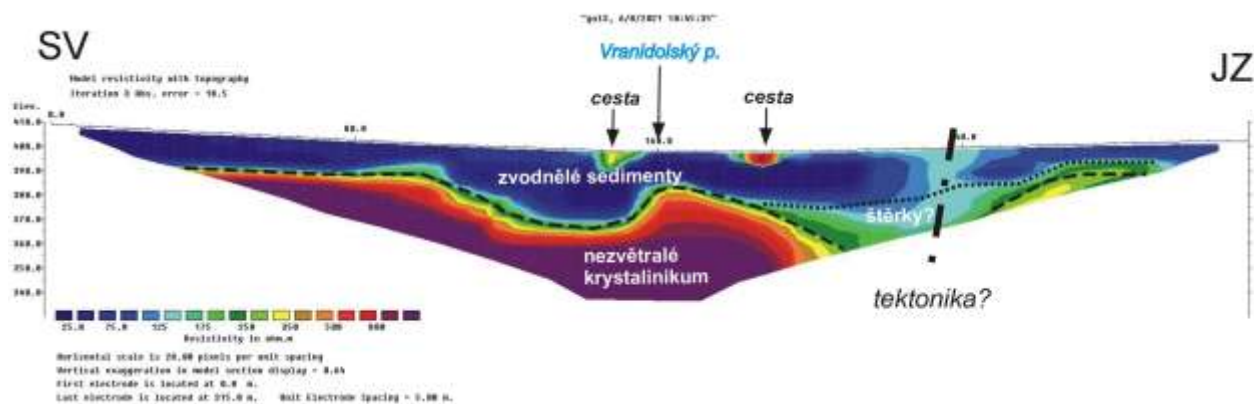
Na lokalitě Vlkaněč u Golčova Jeníkova (HGR 6531) byla velmi výrazná hranice mezi nezávětralem krystalinikem (pararula moldanubika) a sedimenty terciéru (písky až štěrky) a kvartéru (obr. 3), které akumulují vodu a mají tak snížené zdánlivé odpory.

Lokalita Březník u Náměště nad Oslavou (HGR 6550) byla zjištěna hloubka nezávětraleho krystalinika (ruly moravského moldanubika) a mocnost jeho zvětralin (obr. 4). V paleoreliéfu bylo identifikováno paleokoryto vyplněné terciéreními písčítými a jílovítými sedimenty s velmi nízkými odpory. Vrstva mezi pevným krystalinikem a jílovítými sedimenty (písčité zvětralinny + terciérení písky a štěrky na bázi jílu)

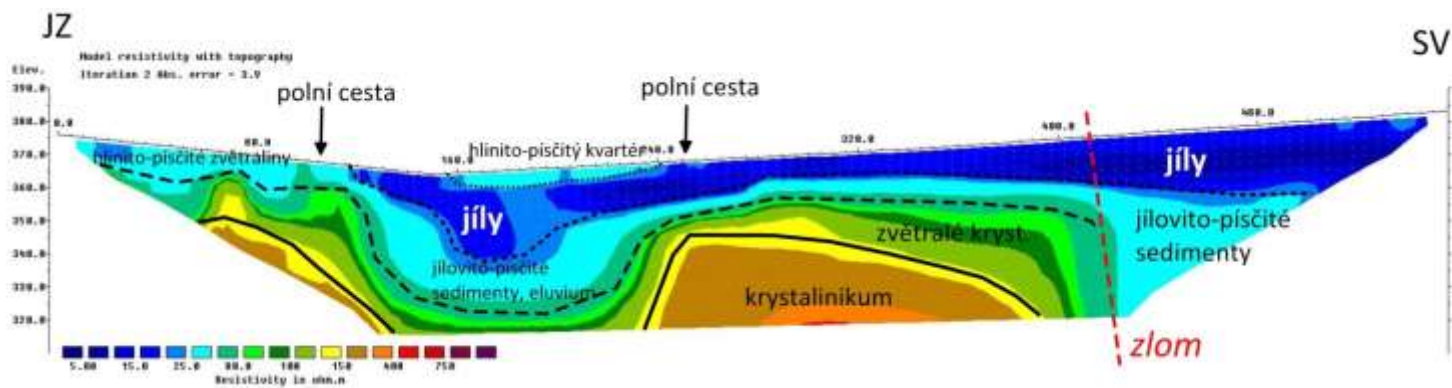
akumuluje podzemní vodu. Současně byl lokalizován kontakt moldanubika a moravika, na němž je pokles několik desítek metrů s výplní opět terciérních sedimentů.



Obr. 2 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Jamný u Písku



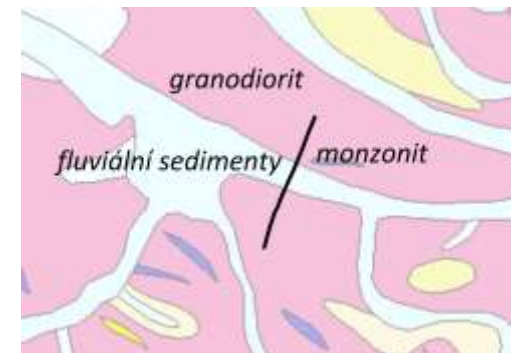
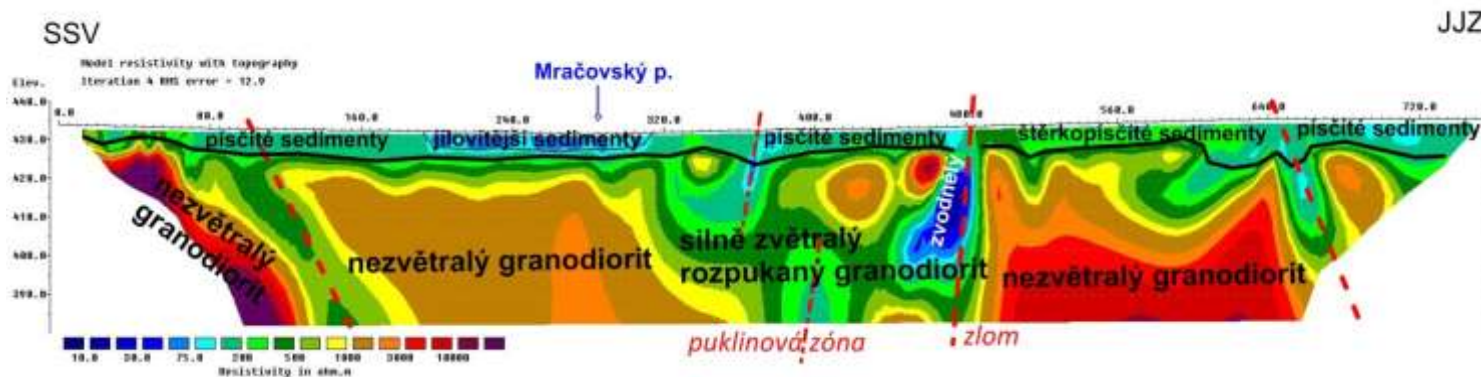
Obr. 3 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Vlkaněč u Golčova Jeníkova



Obr. 4 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Březník u Náměště nad Oslavou

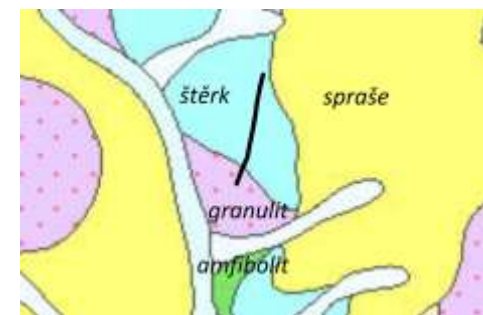
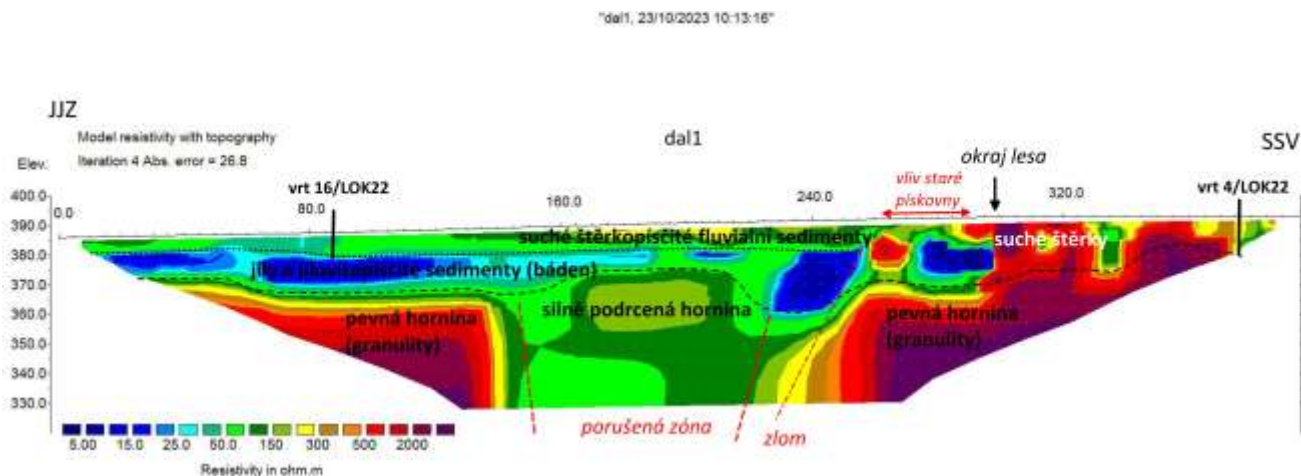
4.2 Určení tektonického porušení krystalinických hornin – zlomy a pukliny

Interpretace odporového řezu na lokalitě Blatná (HGR 6320) ověřila tektonické porušení a rozpukání granodioritu středočeského plutonického komplexu (obr. 5). Subvertikální porušené zóny, v měřítku několika metrů až desítky metrů, měly nízké zdánlivé odpory a byly silně zvodnělé. V některých docházelo k proudění podzemní vody. Přípovrchovou vrstvu tvořily písčité zvětraliny.



Obr. 5 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Blatná

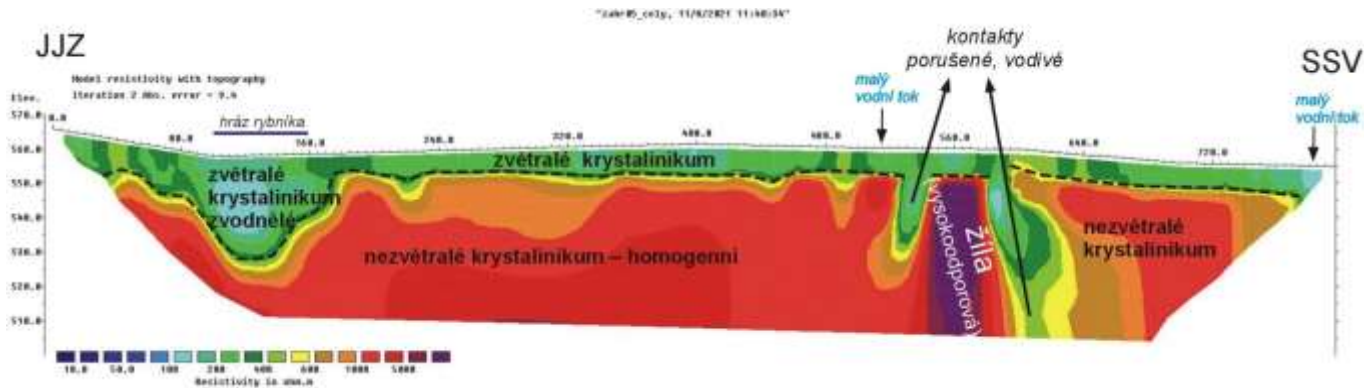
Na lokalitě Dalešice (HGR 6550) byla ověřena široká zlomová zóna v granulitech moravského moldanubika několik desítek metrů (obr. 6). Granulity s vysokým měrným odporem v ní vykazovaly snížení až o tisíce Ohmm. Zlom na SSV omezoval terciární jílovité a písčité sedimenty s mocností 10-15 m. Na jejich bázi dochází k akumulaci podzemní vody.



Obr. 6 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Dalešice

4.3 Určení zvětralé zóny na okrajích žilných proniků

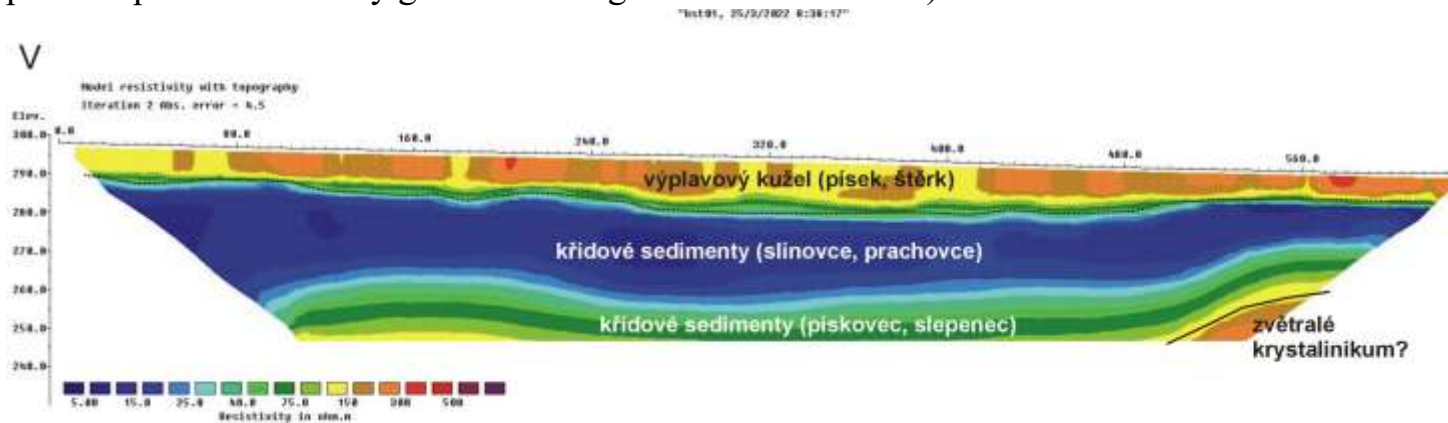
Na lokalitě Zahradiště u Ostrova nad Oslavou (HGR6550) byla metodou ERT zjištěna žíla s vysokým zdánlivým odporem, která na kontaktu s nezvětralým krystalinikem (pararuly moravského moldanubika) působila jako izolátor. Na kontaktu docházelo k zvětrávání pararuly a vlivem porušené zóny také k proudění podzemní vody (obr. 7).



Obr. 7 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Zahradiště u Ostrova nad Oslavou

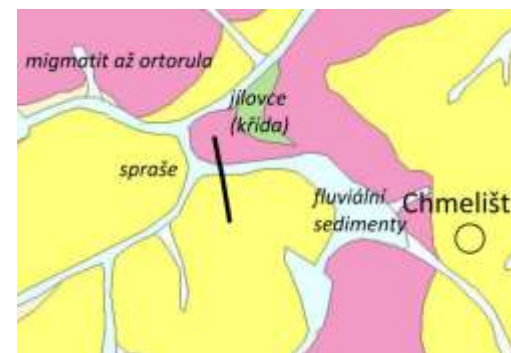
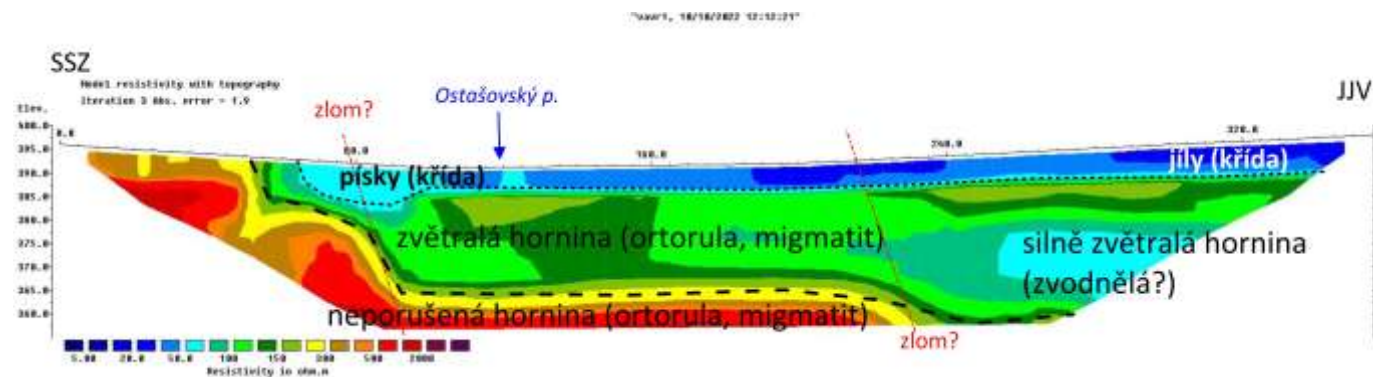
4.4 Zjištění jednotlivých sedimentárních vrstev

Ověření mocnosti křídových sedimentů na lokalitě Třemošnice (HGR 6531) identifikovalo charakter jednotlivých vrstev až do hloubky 50 m (obr. 8). Na povrchu byl zjištěn kvartérní výplavový kužel štěrků a písků s mocností až 10 m a vysokým odporem, pod ním 20-30 m mocná nízkoodporová vrstva křídových slínovců a prachovců a na bázi 10-20 m mocná vrstva písčitých sedimentů (křídové pískovce a slepenec + písčité zvětraliny granolitů a migmatitů moldanubika).



Obr. 8 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Třemošnice

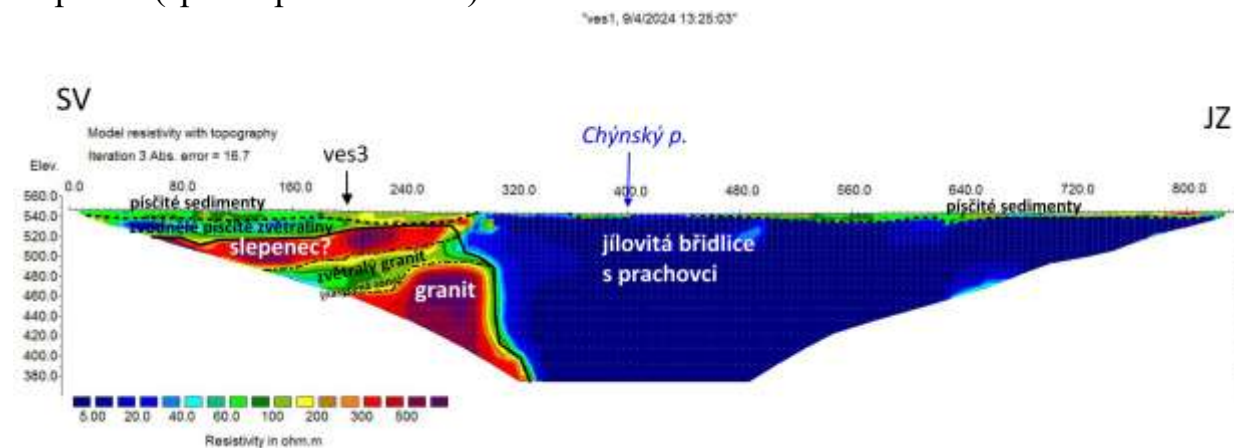
Na lokalitě Vavřinec u Uhlířských Janovic (HGR 6531) byly křídové sedimenty (písky a jíly) s nízkými odpory a mocností do 10 m indikovány na silně zvětřalém paleoreliéfu kutnohorského krystalinika (ortoruly až migmatity), které může akumulovat podzemní vodu (obr. 9).



Obr. 9 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Vavřinec u Uhlířských Janovic

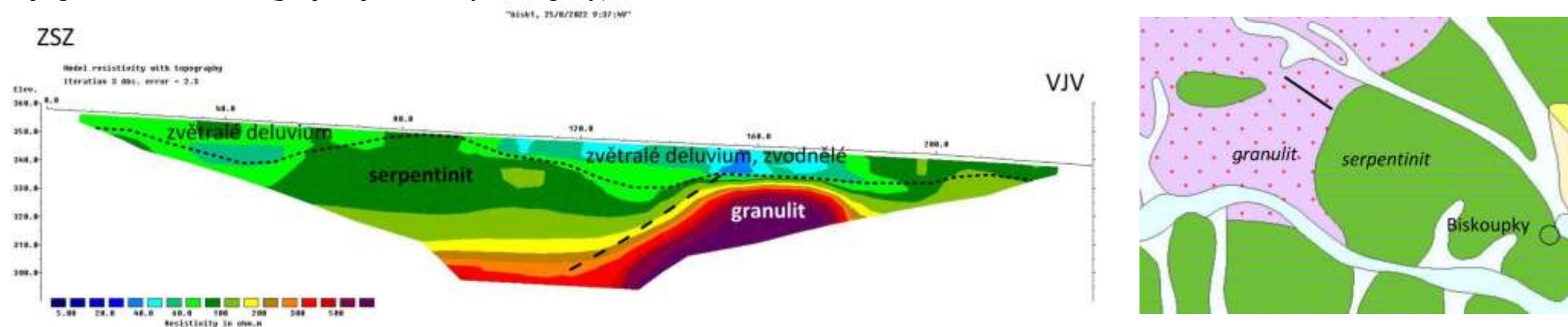
4.5 Zjištění litologických hranic krystalinika

Na lokalitě Věšín u Rožmitálu pod Třemšínem (HGR 6320) byl přesně lokalizován kontakt granitu až granodioritu středočeského plutonu a jílovitých břidlic paleozoika Barrandienu (obr. 9). Možná akumulace podzemních vod je v přípovrchové vrstvě písčité sedimenty nad granitoidy, indikována je také vysokoodporová vrstva deskovitého charakteru, která může představovat reliktní bezděkovských slepenců (spodní paleozoikum).



Obr. 9 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Věšín u Rožmitálu pod Třemšínem

Na lokalitě Biskoupky u Ivančic (HGR 6550) byl ověřen kontakt mezi granulity a zvětralými serpentinity (obr. 10). Serpentinity mají výrazně nižší zdánlivý odpor díky jílovitým minerálům, také zvětraliny nad nimi jsou jílovité. Deluvium nad granulem je písčité a akumuluje povrchovou vodu (projevuje se nízkými odpory).



Obr. 10 Výsledný odporový řez ERT na lokalitě Biskoupky u Ivančic

5 Diskuze a závěr

V rámci projektu byla v prvotní etapě průzkumu hydrogeologických struktur využita geofyzikální metoda ERT společně s detailním geologickým mapováním a technickými pracemi (mělké vrty, sondování). Nicméně k vybraným lokalitám je nutné přistupovat individuálně a podle předpokládané geologické stavby a fyzikálních vlastností horninového prostředí doporučit metodiku prací využívající komplex geofyzikálních metod – detailní gravimetrie, MRS ve variantě P-vln i S-vln a ERT v síti profilů. Z ostatních geofyzikálních metod by bylo vhodné vyzkoušet pro plošné vyhledání hydrogeologických struktur také metodu DEMP.

Reference:

KAROUS, M. ET AL. (2011) Aplikace geofyzikálních metod při ochraně vodních zdrojů. *Metodická příručka MŽP*, MŽP, 2010

¹ RNDr. Zuzana Skácelová, Česká geologická služba, Erbenova 348, 790 01 Jeseník, zuzana.skacelova@geology.cz

² RNDr. Jitka Novotná, Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00 Brno, jitka.novotna@geology.cz

³ RNDr. Jan Vít, Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00 Brno, jan.vit@geology.cz

⁴ RNDr. Tomáš Hroch, Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1, tomas.hroch@geology.cz