

**VLIV VLOŽKOVÝCH HORNIN NA HOMOGENITU HORNINOVÉHO
PROSTŘEDÍ Z HLEDISKA ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍHO ODPADU:
GEOLOGICKO-GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM V OKOLÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN**

**INFLUENCE OF THE INTERCALATED ROCKS ON SURROUNDING ROCK
HOMOGENEITY IN REGARD TO RADIOACTIVE WASTE DEEP REPOSITORY:
GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL RESEARCH NEAR NUCLEAR POWER PLANT TEMELÍN**

Nahodilová Radmila¹, Nedvěd Jiří², Žáčková Eliška³, Kašpar Radim⁴

Abstrakt

Lokalita ETE-jih (Janoch) v okolí jaderné elektrárny Temelín byla vybrána jako jedna z potenciálních lokalit pro umístění hlubinného úložiště radioaktivního odpadu (RAO). Na základě geologického, geofyzikálního a hydrogeologického výzkumu byl proveden výběr plochy polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO, kde byly vymezeny 2 homogenní bloky (východní a západní) reprezentující izolační část úložiště. Oba homogenní bloky jsou situovány do krystalinického prostředí, které je tvořeno migmatizovanými pararulami. Určitou míru nehomogenity prostředí způsobují vložky vápenato-silikátových hornin (erlanů a mramorů), kvarcitů, žilných hornin a také křehké porušení masívu ve formě zlomů a puklin. Nové geologické a geofyzikální práce rámcově zpřesnily výskyt vložkových hornin a přilehlých tektonických linií, podařilo se určit jejich průběh, směr a sklon upadání, mocnost a částečně hloubkový dosah. K upřesnění hloubkového dosahu vložkových hornin, jakožto i k odstranění interpolovaných nejistot ve směru a sklonu upadání tektonických poruch by mělo být využito hlubinného geofyzikálního průzkumu, ev. hlubokých vrtů.

Abstract

Locality ETE-jih (Janoch) was chosen as one of potential localities for location of the deep radioactive waste repository area. Based on the results of recent geological, geophysical and hydrogeological surveys, a potential suitable polygon for location of the deep

radioactive waste repository area, was selected. Two homogenous blocks, which represent insulating part of repository, were defined inside this polygon. Both polygons are located in a homogeneous environment consisting of migmatized paragneisses. Some degree of the environmental inhomogeneity cause intercalated bodies of calc-silicate rocks, as well as dykes and bodies of granites, pegmatites and quartz veins, and also the presence of brittle faults and cracks. New geological and geophysical works generally specified the occurrence of intercalated variegated rocks and veins, and also adjacent tectonic lines, as well as their strikes and angles of inclination, thickness and partly even their depth range. For better specification of the depth range of intercalated rocks, as well as for elimination of the interpolated uncertainties of the strikes and angles of inclination of the tectonic lines could be used deep geophysical survey and deep drilling.

Klíčová slova

JE Temelín, hlubinné úložiště radioaktivního odpadu, geologie, geofyzika, vložkové horniny

Keywords

nuclear power plant Temelín, deep radioactive waste repository area, geology, geophysics, intercalated rocks

1 Úvod

Z důvodu výběru lokality ETE-jih (Janoch) v okolí jaderné elektrárny Temelín pro potencionální umístění hlubinného úložiště radioaktivního odpadu (RAO) byl proveden na této lokalitě geofyzikální, geologický a hydrogeologický výzkum za účelem zpřesnění poznatků o geologické stavbě, a to především z hlediska složení a homogenity horninového prostředí (Mixa et al., 2019). V rámci tohoto výzkumu byla vybrána užší oblast (polygon), která by byla nejvíce vhodná pro vybudování hlubinného úložiště RAO, a zde byly vymezeny 2 homogenní bloky reprezentující izolační část úložiště (Pertoldová et al., 2019). Rozhodující pro výběr polygonu byla přítomnost poměrně monotónního charakteru krystalinického prostředí tvořeného migmatitizovanými pararulami s téměř penetrativní stavbou. Určitou míru nehomogenity prostředí způsobují vložky vápenato-silikátových hornin (erlanů a mramorů), kvarcitů, žilných hornin a také křehké porušení masívu ve formě zlomů a puklin.

Tato studie je zaměřena právě na vložkové horniny, které mají potenciál narušovat homogenitu horninového prostředí, a to nejen z hlediska jejich přítomnosti, ale i vzhledem k tomu, že tyto vložky způsobují predispozici k tvorbě lokálních zlomů a puklin. Podrobné geologické mapování může určit atributy výskytu vložkových hornin, jako je poloha, mocnost a průběh těles, eventuálně i směr a sklon upadání vrstev nebo způsob výstupu magmatických žilných hornin. Geofyzikální měření ověřuje a upřesňuje tyto mapované atributy, navíc z výsledků geofyzikálního měření lze obecně definovat směr a sklon upadání vrstev; tam, kde nebylo možné změřit je v terénu, a částečně určit nebo interpolovat hloubkový dosah těchto těles. Navíc je možné geofyzikálními metodami rekognoskovat i lokální zlomové linie a poruchy, které mohou být predispozičně navázány právě na výskyt vložkových hornin. Podrobný geologický výzkum, podpořený rekognoskací vložkových hornin geofyzikálními metodami, nám může tedy poskytnout poznatky, do jaké míry tyto vložkové horniny

narušují homogenitu horninového prostředí, s ohledem na to, jestli mohou tyto výskyty vložkových hornin a přidružených zlomových linií a puklin ovlivňovat i hlubší partie horninového masívu a narušovat tak izolační funkci úložiště RAO.

2 Vymezení území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO

V rámci celé lokality ETE-jih byla vybrána užší oblast (polygon), která by byla nejvíce vhodná pro vybudování hlubinného úložiště RAO, kde byly vymezeny 2 homogenní bloky (východní – V a západní – Z) reprezentující izolační část úložiště (Pertoldová et al., 2019, Obr. 1). Tento polygon se nachází na levém břehu Vltavy, z. od obce Jeznice, jz. od obce Litoradlice, zsz. od obce Purkarec, jv. od obce Kočín, v. od obce Dříteň a s. od obce Chlumec, s celkovou rozlohou 22,742 km² (Obr. 1). Rozhodující pro výběr polygonu byla přítomnost poměrně monotónního charakteru krystalinického prostředí tvořeného stabilními metasedimenty, nízká míra tektonického postižení oblasti a nízký obsah platformního pokryvu.

Geologie na území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO

Zájmová oblast je charakteristická poměrně monotónním charakterem krystalinického prostředí tvořeného migmatizovanými pararulami pestré skupiny moldanubika (Chlupáč a Štorch, 1992) s téměř penetrativní stavbou upadající k SZ pod středním úhlem. Určitou míru nehomogenity prostředí způsobují vložky vápenato-silikátových hornin (erlanů a mramorů), kvarcitů a žilných hornin, významný je zejména pruh čočkovitých těles erlanů a mramorů směru VSV–ZJZ, který probíhá na jižním okraji tohoto území, vesměs podél místního toku Rachačka. Drobná tělesa vápenato-silikátových hornin, kvarcitů a žil leukogranitů, pegmatitů a žilných křemenů se vyskytují i ve středu a na východním okraji zájmového území. Při s. a sv. okraji polygonu se nachází významnější tělesa středně zrnitých granitů (vše Obr. 1). Na zájmovém území je jen minimální množství platformního pokryvu, tj. reliktní terciálních uloženin a kvartérních sedimentů.

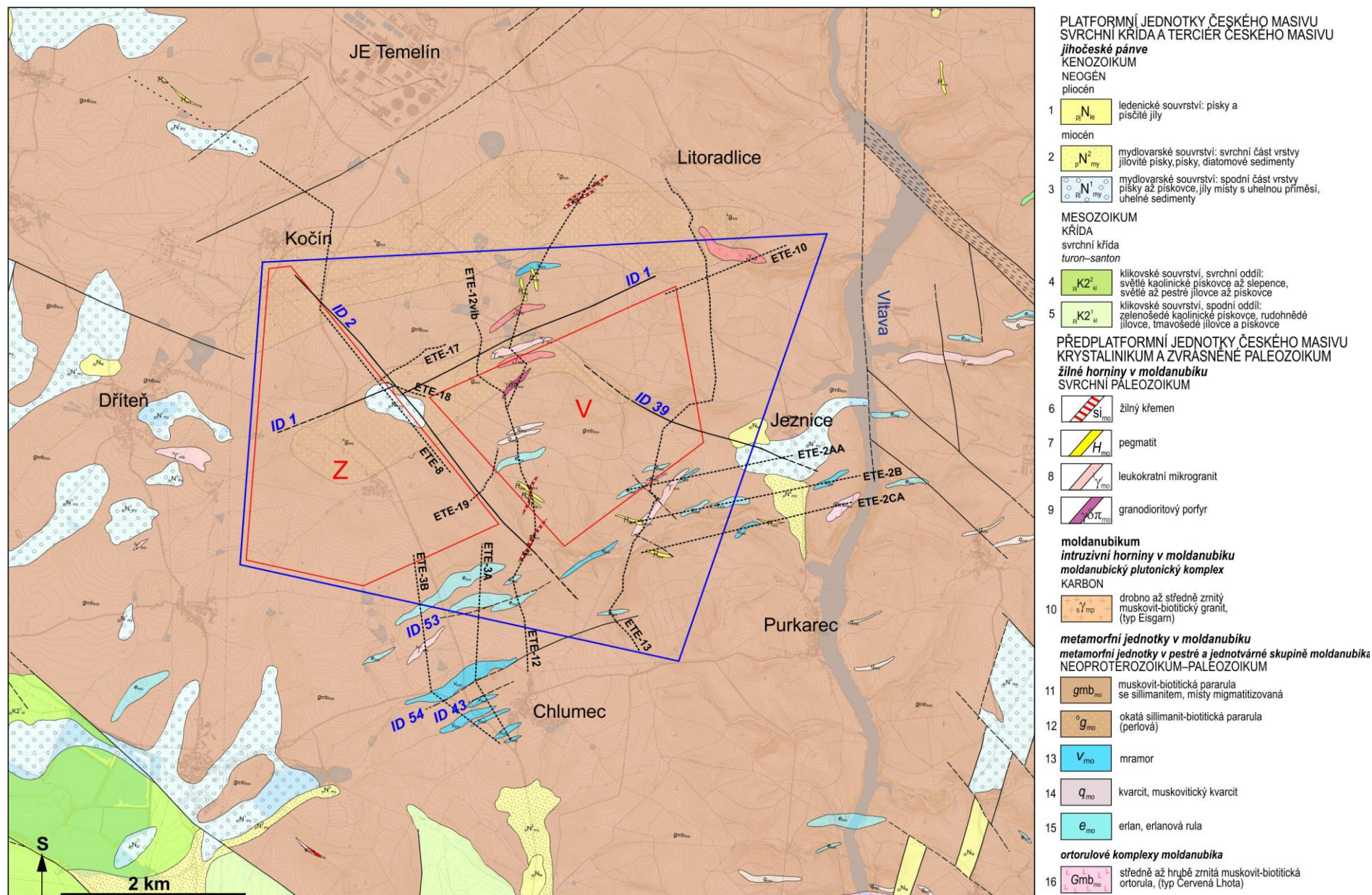
Tektonika

Oblast vytyčeného polygonu je tektonicky stabilní. Dřívější výzkumy identifikovaly dvě lokální zlomové linie ID 1 a ID 2 (Havlová et al., 2018; Obr. 1). Zlom ID 1 se nachází v sz. části navrženého polygonu, má délku asi 3,5 km a probíhá ve směru SV–JZ. Zlomová linie ID 2 vykazuje průběh SZ–JV s délkou asi 4,5 km a je situována zhruba uprostřed vytyčeného polygonu. Na východě zasahuje do zájmové oblasti lokální zlomová linie ID 39, která v polygonu vykličkuje. Tato zlomová linie má průběh ZSZ–VJV a délku asi 3 km (Obr. 1). Na jižním okraji vytyčeného polygonu se ještě nachází několik nevýznamných lokálních zlomů či puklin ID 43, ID 53, ID 54 (Obr. 1).

3 Geologicko-geofyzikální průzkum na území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO

3.1 Metodika geologického mapování

V oblasti polygonu potencionálně vhodného pro umístění RAO bylo provedeno geologické mapování v měřítku 1:10 000, a to na vytyčených profilech. Celkem bylo v zájmové oblasti zmapováno 12 profilů (ETE-2AA, ETE-2B, ETE-2CA, ETE-3A, ETE-3B, ETE-8,



Obr. 1* Výřez z účelové geologické odkryté mapy 1 : 25 000 lokality Temelín (ETE-jih) s vyznačeným polygonem potenciálně vhodným pro umístění úložiště RAO (modrý čtyřúhelník) a vymezenými 2 homogenními bloky (červené čtyřúhelníky s označením Z – západní, V - východní) reprezentujícími izolační část úložiště RAO. Modře jsou označeny tektonické linie. Černými přerušovanými čarami jsou zobrazeny profily, podél kterých probíhal geologicko-geofyzikální výzkum.

ETE-10, ETE-12, ETE-13, ETE-17, ETE-18, ETE-19) i s přesahem z území v celkové délce 37 km (Obr. 1). U všech profilů byla následně zkeslena geologická mapa 1:10 000 podél profilu v šířce 200 m (100 m na každou stranu profilu), která vycházela z poznatků geologického mapování a výsledků geofyzikálního měření. U všech uvedených profilů proběhla následně konstrukce geologických řezů do hloubky 500 m pod terénem (vše dle Mixa et al., 2017). Výsledné geologicko-geofyzikální interpretace jsou uvedeny v etapové zprávě (Kašpar et al., 2019 a Levý et al., 2019).

3.2 Metodika geofyzikálního měření

Hlavním cílem geofyzikálního výzkumu na území polygonu potencionálně vhodného pro umístění RAO bylo ověření geologických struktur, případně detailní měření uzlových bodů tektonické stavby území a posouzení homogenity horninového prostředí, příp. charakteru jeho porušení na povrchu i ve větších hloubkách. Dalším cílem byla analýza míry porušení hornin ve zlomových zónách a odvození pokračování tektonických linií do větších hloubek.

Dipólové odporové profilování (DOP)

Dipólové odporové profilování je vhodné k rekognoskaci strmých geologických vodičů jako jsou tektonické poruchy a zlomové systémy, které mají vyšší porozitu díky drčené zóně nebo jsou nasycené vodou.

V zájmové lokalitě byla metoda dipólového odporového profilování měřena na vybraných profilech (ETE-2AA, ETE-2B, ETE-2CA, ETE-3A, ETE-3B, ETE-8, ETE-10, ETE-12, ETE-13) s délkou uspořádání elektrod 20–60–20 m. Takové uspořádání znamená, že proudové elektrody A a B a rovněž potenční elektrody M a N jsou k sobě přiblíženy (zde 20 m), ale dvojice elektrod AB a MN je od sebe naopak vzdálena (zde 60 m). Krok měření byl 10 m. Primárním výstupem byl textový soubor obsahující profilovou metráž jednotlivých měřených bodů (m), změřené napětí (mV) a změřený proud (mA). Na základě změřeného napětí (mV) a změřeného proudu (mA) byl vypočten měrný elektrický odpor (Ωm), a to dle geometrického faktoru přímo ve chvíli měření přístrojem ARES II (GF Instruments s.r.o.). Výstupem byla křivka měrných elektrických odporů, která byla vynesena pomocí softwaru Surfer (Golden Software, LLC).

Multielektrodová metoda (ERT, odporová tomografie)

Multielektrodová metoda zjišťuje odporové změny prostředí jak v horizontálním, tak vertikálním směru. Její použití je vhodné zejména k identifikaci geologických rozhraní, zlomových struktur a tvaru jednotlivých těles.

V oblasti polygonu potencionálně vhodného pro umístění RAO byla multielektrodová metoda ERT použita na profilech ETE-3A, ETE-12, ETE-13, ETE-17, ETE-18 a ETE-19. Rozestup elektrod na mnohažilném kabelu byl 5 m. Hloubkový dosah, který je závislý na délce roztažení, byl nastaven na 50-60 m s max. rozestupem elektrod 315 m. Výstupem byl 2D geoelektrický odporový řez, který byl zpracován z primárních dat pomocí softwaru Res2Dinv (Geotomo Software GS). Pro účely archivace a prezentace geofyzikálních dat ve formě geoelektrického odporového řezu byly použity programy Excel a dále programy Surfer (Golden Software, LLC) nebo zobrazovací prostředky programu Res2Dinv (Geotomo Software GS).

Mělká refrakční seismika (MRS)

Mělká refrakční seismika umožňuje sledovat průběh tzv. refrakčních rozhraní, tj. sledovat reliéf pevného podloží nebo odlišit horniny v podloží na základě jejich pevnosti. Dobře lokalizuje i vertikální porušené zóny.

Na vybraných profilech (ETE-2AA, ETE-2CA, ETE-3A, ETE-3B, ETE-8, ETE-10, ETE-12, ETE-13, ETE-17, ETE-18, ETE-19) v oblasti polygonu potenciálně vhodného pro umístění RAO byla metoda MRS prováděna s krokem bodů úderu 20 m a rozstupem geofonů 5 m s použitou aparaturou Geode (Geometrics Inc.). Na přístroji byl zapojen 24 – kanálový kabel s rozstupem 5 m na jedno roztažení. Jako zdroj seismických rozruchů bylo použito seismické kladivo (5 kg), účinek zdroje byl zesílen opakovaným měřením na každém bodě úderu (integrováný záznam s trojnásobným stackováním).

Primární data byla digitálního charakteru ve formátu SEG-2. Časy prvního nasazení (ms) spolu s metráží jednotlivých kanálů (geofonů) na měřených profilech byly odečteny operátorem po vykreslení seismické stopy pomocí softwaru ReflexW (Sandmeier, K. J.). Stejný software byl použit i k vyhodnocení hodochron a ke zpracování seismických rychlostních řezů. Výsledným výstupem bylo vykreslení a prezentace seismických rychlostních řezů pomocí softwaru Surfer (Golden Software, LLC).

Reflexní seismika (RXS)

V zájmové oblasti bylo měření reflexní seismikou použito k ověření případného průběhu zlomových struktur ID 1 a ID 2 směrem do hloubky a to na profilech ETE-12, ETE-17, ETE-18 a ETE-19. Měření bylo provedeno pomocí 2 seismických aparatur Geode (Geometrics Inc.) zapojených sériově. Firmware seismické aparatury umožnil zapojit libovolný počet kanálů z celkových 48 možných. Tímto způsobem bylo nejprve zapojeno tolik kanálů, kolik z nich nese tzv. užitečnou informaci, toto závisí na reflexní odezvě horninového prostředí (zde 1–12). Zdrojem seismického signálu byly úder kladiva padostroje PG-41 na železnou podložku. Po vybuzení signálu situovaném 30 resp. 50 metrů před 1. geofonem (offset), byla zapojená soustava kanálů posunuta o 1 geofon (tj. 2–13), bod seismického rozruchu byl posunut o vzdálenost rovnou rozteči mezi geofony (zde 5 m) a následovalo provedení dalšího seismického záznamu. Tímto způsobem se získaly postupně záznamy z celého profilu. Rozteč mezi geofony byla 5 m. Následné zpracování záznamů bylo soustředěno zejména na frekvenční a rychlostní filtraci, zesílení oslabených částí záznamů a případné potlačení neužitečného signálu.

Primární data byla digitálního charakteru ve formátu SEG-Y a prezentována jako zdrojové vlnové řezy ve formátu *.srf a *.pdf. Zpracování naměřených dat bylo provedeno pomocí softwaru ReflexW (Sandmeier, K. J.) a bylo založeno na provedení několikanásobné filtrace vedoucí k potlačení šumů a parazitních frekvenčních složek a ke zvětšení odstupu užitečného signálu od šumů. Po provedeném tzv. stackování s rychlostním modelem, kdy se skládají odpaly 12ti-násobného překrytí, byla provedena migrace dat a převod časového řezu na hloubkový – tzv. timedepth conversion. Výsledkem byly migrované vlnové řezy, které byly z programu ReflexW (Sandmeier, K. J.) exportovány jako bitmapy a dále graficky zobrazeny včetně interpretace v softwaru Surfer (Golden Software, LLC) a to ve formátu *.srf a *.pdf.

Magnetometrie

Měření bylo provedeno kanadským magnetometrem G 816 (Geometrics Inc.) s krokem měření 10 m. Naměřené hodnoty velikosti totálního vektoru magnetického pole (nT) byly opraveny o krátkodobé variace magnetického pole a prezentovány ve formě profilových křivek totálního vektoru magnetického pole Země na příslušných přílohách proměřovaných profilů.

V oblasti polygonu potencionálně vhodného pro umístění RAO bylo měření magnetometrie provedeno jako doplňkové, a to na profilech ETE-2CA a ETE-3A. Tato měření nejsou součástí obrazové dokumentace a výsledné křivky jsou uvedeny v etapové zprávě (Kašpar et al., 2019).

Plošná gravimetrie (PG)

Západní polovina polygonu potencionálně vhodného pro umístění RAO byla také součástí měření plošné gravimetrie, která byla realizována v širším okolí tohoto polygonu na území o rozloze 14,07 km². Dle zadávacích podmínek byl dodržen požadavek na plošné měření s pravidelným krokem 200 x 200 m a bylo přípustné, tam kde tento krok nešlo přesně dodržet, posunout bod maximálně o 100 m, s tím, že gravimetrické body byly přizpůsobeny terénu tak, aby byla zachována hustota 25 bodů/km² a pokud možno rovnoměrně pokryly zájmové území.

Naměřená data byla zpracována do mapy plošného rozložení úplných Bouguerových anomálií na proměřené ploše. Mapa je dostupná v etapové zprávě (Kašpar et al., 2019).

3.3 Rekognoskace vápenato-silikátových vložkových hornin a přilehlých tektonických poruch v okolních metasedimentech

Poměrně významný pruh čočkovitých těles erlanů a mramorů (50–120 m mocnosti) směru VSV–ZJZ, který probíhá jižním okrajem zájmového polygonu, vesměs podél místního toku Rachačka, byl geologickým mapováním i geofyzikálními měřeními (DOP, MRS, ERT) identifikován na s.–j. profilech ETE-03A, ETE-03B, ETE-12, ETE-13 a na vsv.–zjz. profilech ETE-02AA, ETE02B a ETE-02CA (Obr. 1).

Reprezentativní profil ETE-03A

Při geologickém mapování na profilu ETE-03A byla identifikována přítomnost mramorových vložek severně od obce Chlumec. Tato vložková tělesa probíhají ve směru VSV–ZJZ, výsledky terénního měření naznačují jejich sklon upadání k SSZ pod středními úhly. Následné geofyzikální měření upřesnily rozsah těchto mramorových čoček. Zejména zvýšená rychlost šíření seismických vln na 5000–7000 ms⁻¹, zaznamenaná metodou MRS, indikuje tyto horniny v metráži 0–1000 m. V metráži 0–600 m je patrné, že tyto mramorové čočky mají nevýznamné mocnosti od 30–70 m, poměrně mocné (až 160 m) se jeví větší těleso mramoru v metráži 800–1000 m (Obr. 2). Tuto anomálii dobře zachytila i výsledná křivka odporového profilování DOP, a to výrazným zvýšením měrného elektrického odporu na 5000–6000 Ωm (Obr. 2). Slabou indikaci těchto těles vykazovalo i zvýšení měrných odporů na odporovém řezu ERT (Obr. 2). Vzhledem ke své mocnosti je pravděpodobné, že tyto mramorové čočky zasahují do hloubky max. 300 m pod povrchem, kde zřejmě vyklíňují. Na výskyt mramoru je patrně vázána reologická predispozice pro vznik poruchových zón. Zvýšený výskyt hydrotermálního křemene, zaznamenaného

při terénních pracích, ale i geomorfologická dispozice indikovaly lokální tektonické poruchy na profilu ETE-03A v metráži 600–800 m. Použité geofyzikální metody MRS a ERT dobře zaznamenaly v tomto rozmezí místní zlomovou zónu. Zejména refrakční seismický řez MRS zaznamenal v této metráži výrazné snížení rychlosti šíření seismických vln na 50–1000 ms⁻¹, což indikuje tektonickou poruchu (Obr. 2). Snížení měrného elektrického odporu je zde patrné i na výsledném odporovém řezu ERT. Je pravděpodobné, že se jedná o dvě lokální zlomové linie, které ohraničují tuto zlomovou zónu. Ta jižnější je nevýznamná porucha ID 43, která nebyla zaznamenána na dalších profilech, byla vymapována v SV–JZ směru o délce asi 0,6 km a šířce asi 20 m. Severní okraj poruchové zóny ohraničuje významnější zlomová linie označená jako ID 54 (Obr. 2), má také SV–JZ směr, délku asi 2,5 km a její mocnost byla určena na 20–50 m dle snížení měrného elektrického odporu na výsledném odporovém řezu ERT v této šířce (Obr. 2). Na základě výsledků refrakčního seismického MRS řezu byl určen sklon upadání k SSZ pod středními úhly. Tento zlom s přítomností mramorové čočky byl na profilu ETE-03A zachycen v metráži 800 m i na sousedním profilu ETE-03B a jeho pokračování směrem k SV bylo zachyceno geofyzikální metodou ERT a MRS i na profilu ETE-12 ve staničení 0–50 m a dále na profilu ETE-13 v metráži 600 m (profile ETE-03A, ETE-03B a ETE-12 nejsou zobrazeny).

Severněji po profilu ETE-03A byly nalezeny místní dobývky na erlan, z úlomků a výchozů byla identifikována dvě poměrně mocná (až 120 m) tělesa erlanu v metráži 1620–1770 m a 1950–2100 m (Obr. 2). Stejně jako mramory jsou tato erlanová tělesa součástí vsv.–zjz. pásu vápenato-silikátových hornin, výsledky terénního měření naznačují jejich sklon upadání k SSZ pod středními úhly. Tato tělesa byla zachycena i geofyzikální metodou MRS, kde výsledný seismický řez MRS ukázal zvýšené rychlosti šíření seismických vln (4000–5000 ms⁻¹, Obr. 2). Směrné pokračování těchto těles bylo zachyceno i na sousedním profilu ETE-12 v metráži 600–700 m a 870–950 m (Obr. 3). Výskyt těchto těles erlanu má pravděpodobně vztah k předpokládané, lokálně nevýznamné zlomové linii ID 53 směru SV–JZ, která byla na profilu ETE-03A identifikována geofyzikálními metodami MRS a ERT ve staničení 1580 m (Obr. 2) a na profilu ETE-12 v metráži 700 m (Obr. 3). Na základě výsledků refrakčního seismického MRS řezu byl určen sklon upadání k SSZ pod poměrně strmým úhlem cca 75°. Délka této poruchové zóny byla odhadnuta na 1,2 km, s předpokládanou šířkou asi 20 m.

3.4 Rekognoskace žilných vložkových hornin, plutonitů a přilehlých tektonických poruch v okolních metasedimentech

Přímo v polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO byly identifikovány drobné výskyty žilných pegmatitů, leukogranitů a žilných křemenů a to především na S–J profilech ETE-12 a ETE-13. Hojně se vyskytující pegmatity tvoří úzké žíly směru ZSZ–VJV s mocností od 1–20 m, protažená úzká tělesa žilných křemenů o stejné mocnosti mají naopak směr SV–JZ, stejně jako mocnější tělesa (50–80 m) leukokratních mikrogranitů. Jejich délka v erozním řezu bývá desítky až nižší stovky metrů. Většinou nejsou tektonicky predisponovány, ale sledují dominující foliaci. Tyto žilné horniny pozdního magmatismu byly identifikovány, jak geologickým mapováním v terénu, tak zvýšenými rychlostmi šíření seismických vln na výsledném seismickém řezu MRS a zvýšeným měrným elektrickým odporem na odporovém řezu ERT.

Reprezentativní profil ETE-12

Geologickým mapováním i geofyzikálními metodami MRS a ERT byl na profilu ETE-12 dobře zachycen žilný roj, složený z pegmatitů a žilných křemenů v metráži 1850–1990 m (Obr. 3). Poměrně vysokými rychlostmi šíření seismických vln, které se na těchto metrážích objevují na seismickém řezu MRS ($5000\text{--}6000\text{ ms}^{-1}$) a částečně zvýšeným měrným elektrickým odporem na elektrickém řezu ERT ($1700\text{--}5100\ \Omega\text{m}$) byla identifikována významnější žila žilného křemene (o mocnosti cca 40 m) v metráži 1300–1450 m, jejíž výstup se zřejmě váže k existenci lokální zlomové linie ID 2 (Obr. 3).

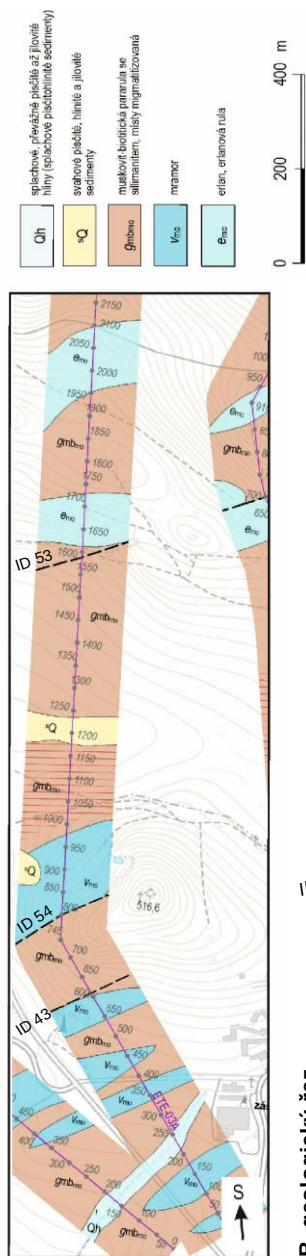
Dále na sever byly v terénu zaznamenány hojné úlomky drobně až středně zrnitých ms-bt granitů, granitových porfyrů, ale i leukokratního mikrogranitu. Výsledky dokumentace geofyzikální metodou MRS potvrdily velmi vysoké rychlosti šíření seismických vln (až 8000 ms^{-1}) v metráži: 3400–3600 m a 4100–4200 upřesnily tak lokalizaci dvou poměrně mocných (mocnost 50–100 m) těles středně zrnitých ms-bt granitů, stejně jako přítomnost leukokratního mikrogranitu v metráži 3620–3700 m nebo přítomnost granitového porfyru v metráži 3200–3350 m (Obr. 4). Tyto projevy granitového magmatismu byly dokumentovány v okolí lokální SV–JZ zlomové struktury ID 1, která indikuje reologickou predispozici granitů ke vzniku tektonických poruch. Tato zlomová linie byla dokumentována zvýšeným výskytem hydrotermálního křemene při geologickém mapování, geomorfologická indikace naznačuje, že tento zlom je rozposouván kolmým zlomem ID 2, který vykazuje SZ–JV průběh (Obr. 1). Refrakční seismický řez MRS zaznamenal na profilu ETE-12 metráži 3820 m výrazné snížení rychlosti šíření seismických vln na $50\text{--}1000\text{ ms}^{-1}$, což potvrzuje přítomnost tektonické poruchy ID 1 (Obr. 4), stejně jako snížení měrného elektrického odporu na výsledném odporovém řezu ERT (Obr. 4). Zlomová linie ID 1 má délku kolem 3,5 km a šířku zhruba 10–20 m. Na základě refrakčních seismických řezů MRS se sklon upadání jeví k SZ pod strmým úhlem 85° . Na profilu ETE-12 byla také nevýrazně zachycena zlomová linie ID 2 v metráži 1300 m (Obr. 3) a to metodami MRS a ERT.

3.5 Rekognoskace tektonických linií ID 1 a ID 2

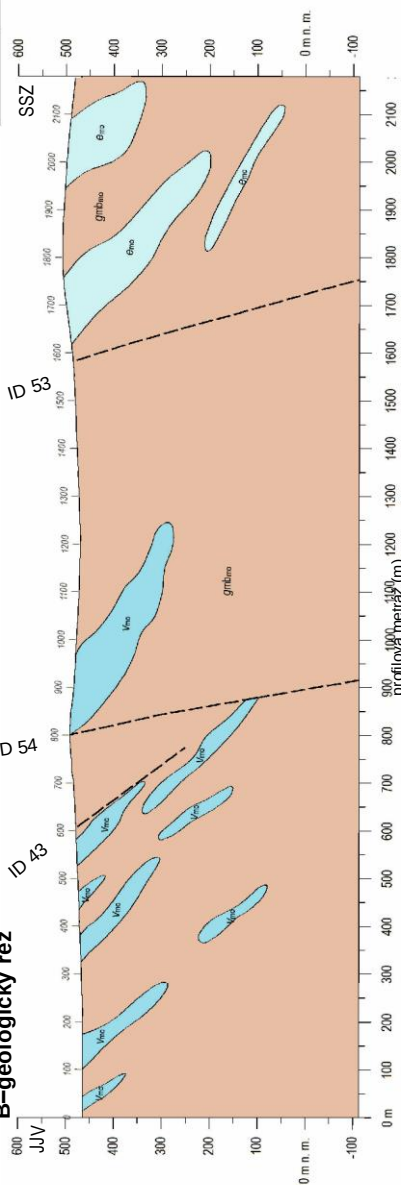
Reprezentativní profily ETE-17, ETE-18 a ETE-19

Poměrně krátké (kolem 800 m) profily ETE-17, ETE-18 a ETE-19 byly přednostně vymezeny pro ověření zlomové linie ID 2 a okrajově ID 1. Existence již dříve identifikované zlomové linie ID 2 (Havlová et al. 2018) byla dokumentována při geologickém mapování zvýšeným výskytem hydrotermálního křemene v průběhu zlomu, v délce zhruba 4,5 km. Následné geofyzikální měření potvrdilo přítomnost zlomové struktury ID 2 a to podstatným snížením měrného elektrického odporu na výsledných odporových řezech ERT a výrazné nehomogenity v reflexních seismických řezech RXS a to v metrážích: 100 m na profilu ETE-17, 120 m na profilu ETE-18 a 150 m na profilu ETE-19 (Obr. 5). Na základě výsledků reflexních seismických řezů RXS se sklon upadání jeví k SV pod strmým úhlem 85° , mocnost byla odhadnuta na 20–40 m. Na profilu ETE-18 bylo stejnými výše uvedenými geofyzikálními metodami identifikovány dvě zlomové nehomogenity v metráži 100 m a 280 m (Obr. 5), což potvrzuje přítomnost dextrálně rozposouvané zlomové linie ID 1 a to právě zlomem ID 2. Na základě geologického mapování byla odhadnuta délka této zlomové linie na 3,5 km a šířka zhruba 10–20 m. Na základě výsledků z reflexního seismického řezu RXS se sklon upadání jeví k SZ pod strmým úhlem 85° (Obr. 5).

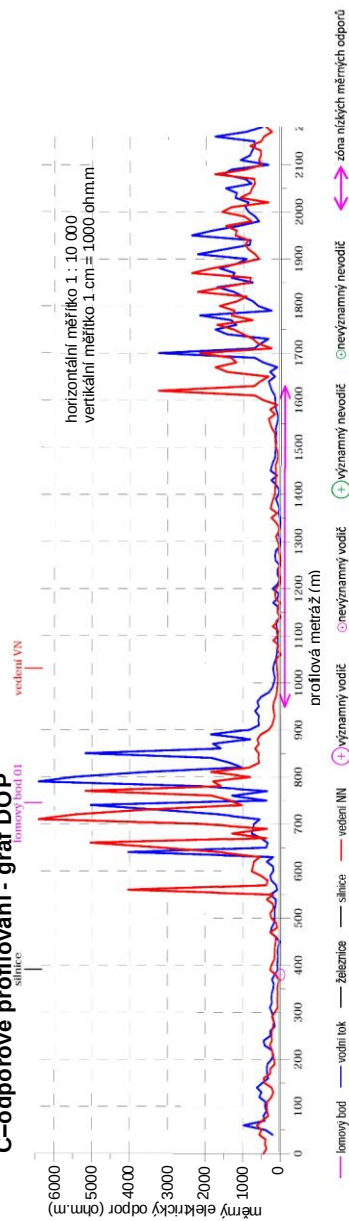
A-geologická mapa 200 m od profilu ETE-03A



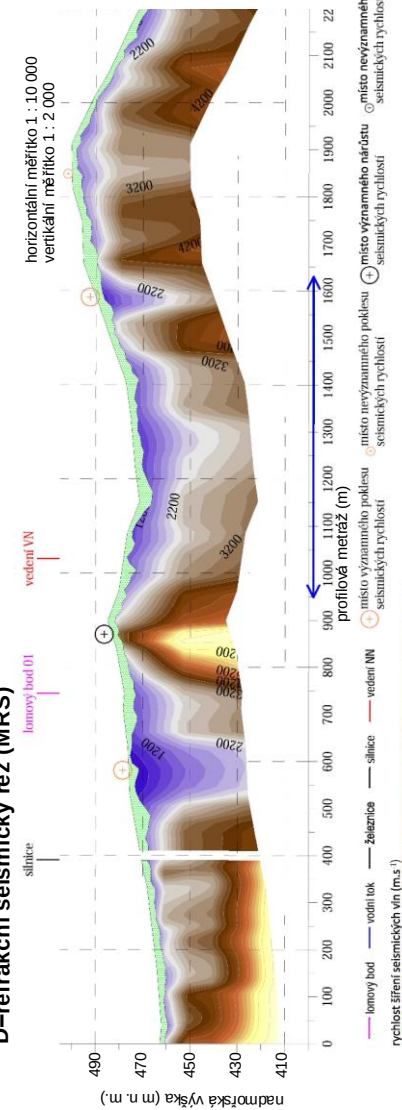
B-geologický řez



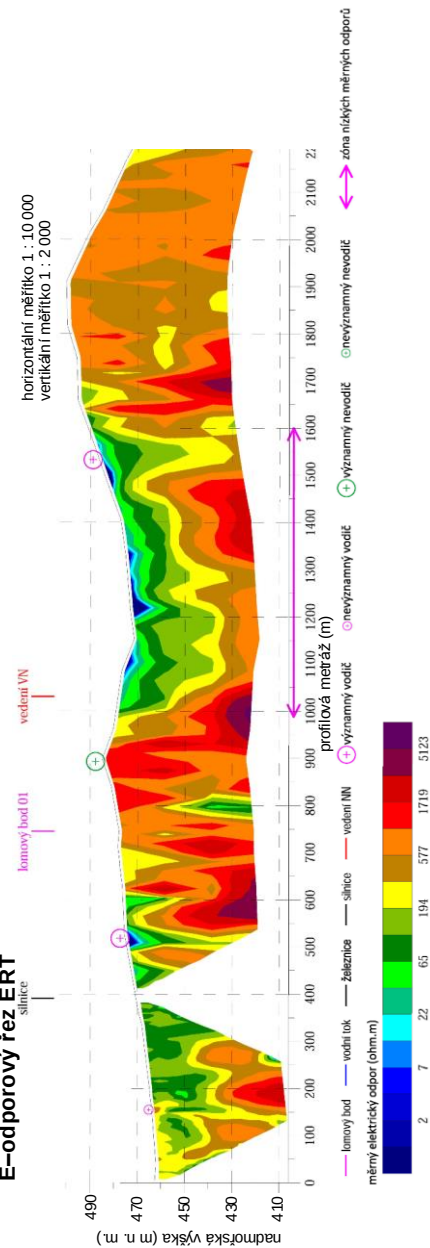
C-odporové profilování - graf DOP



D-refrakční seismický řez (MRS)

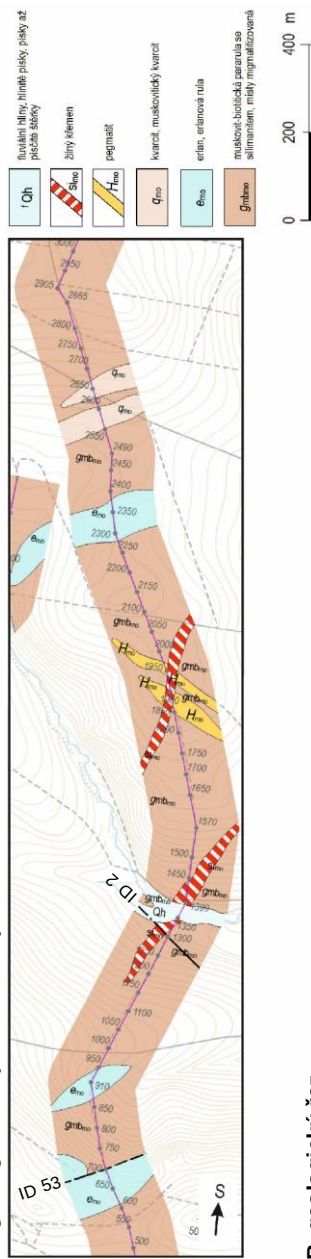


E-odporový řez ERT

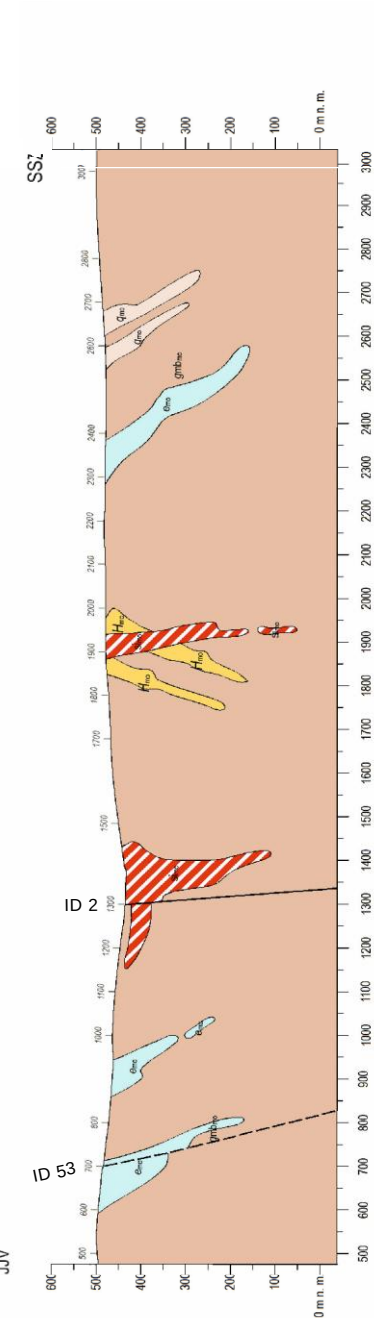


Obr. 2* Výřez profilu ETE-03A v metrů 0–2150 m. A- geologická mapa 1:10 000 podél profilu v šířce 200 m, B-geologický řez do hloubky 500 m, C-graf DOP, D-refrakční seismický řez MRS, E-odporový řez ERT

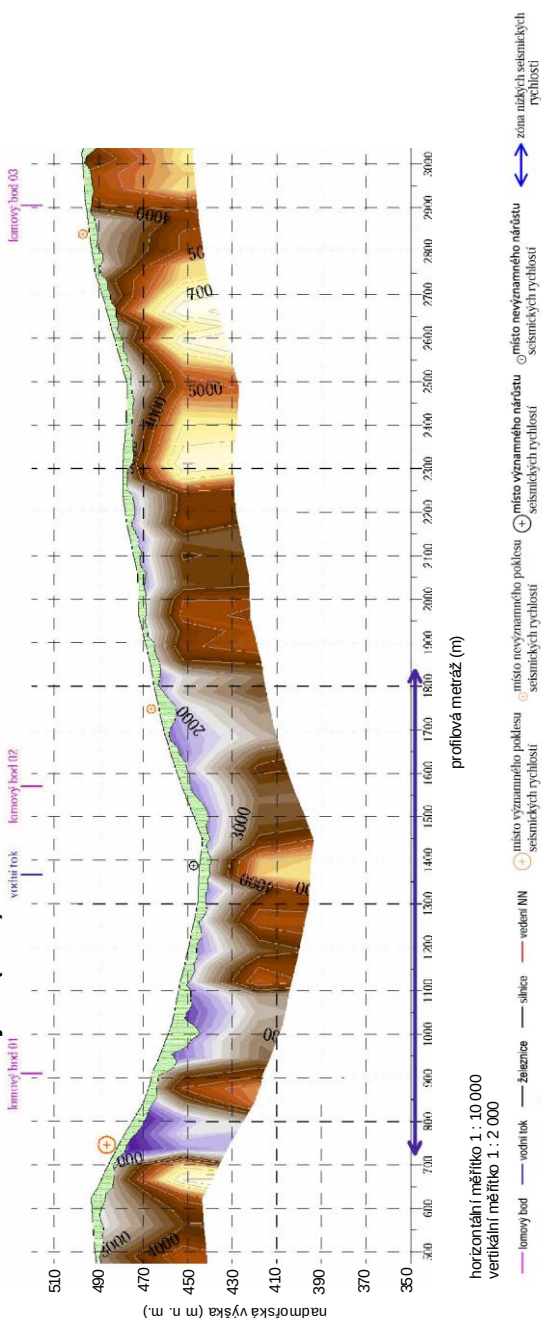
A-geologická mapa 200 m od profilu ETE-12



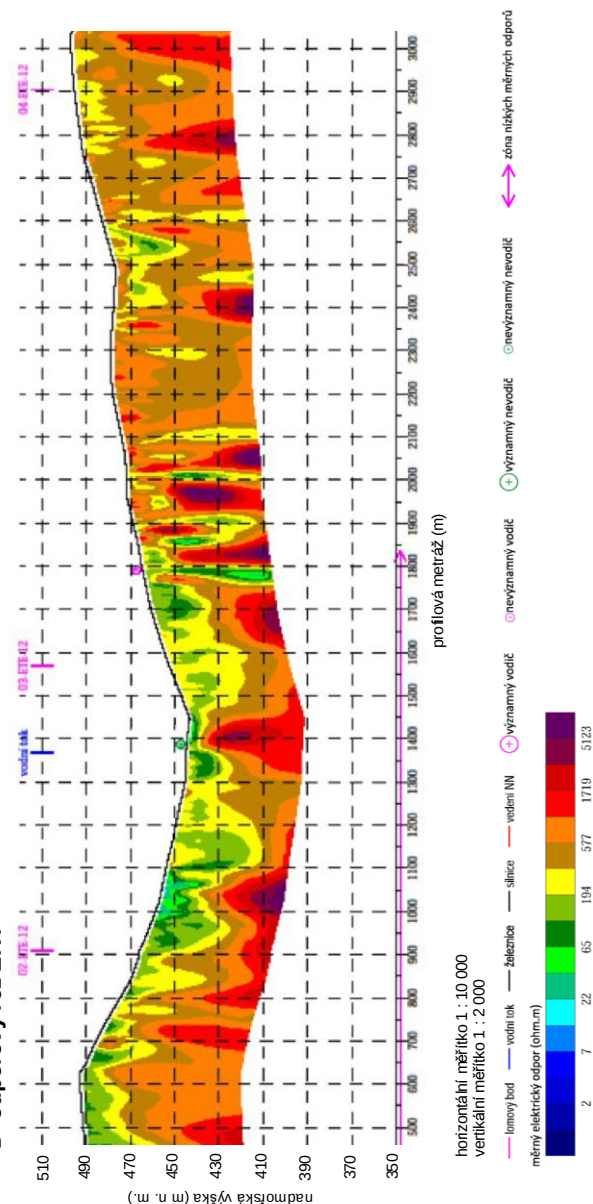
B-geologický řez



C-refrakční seismický řez (MRS)

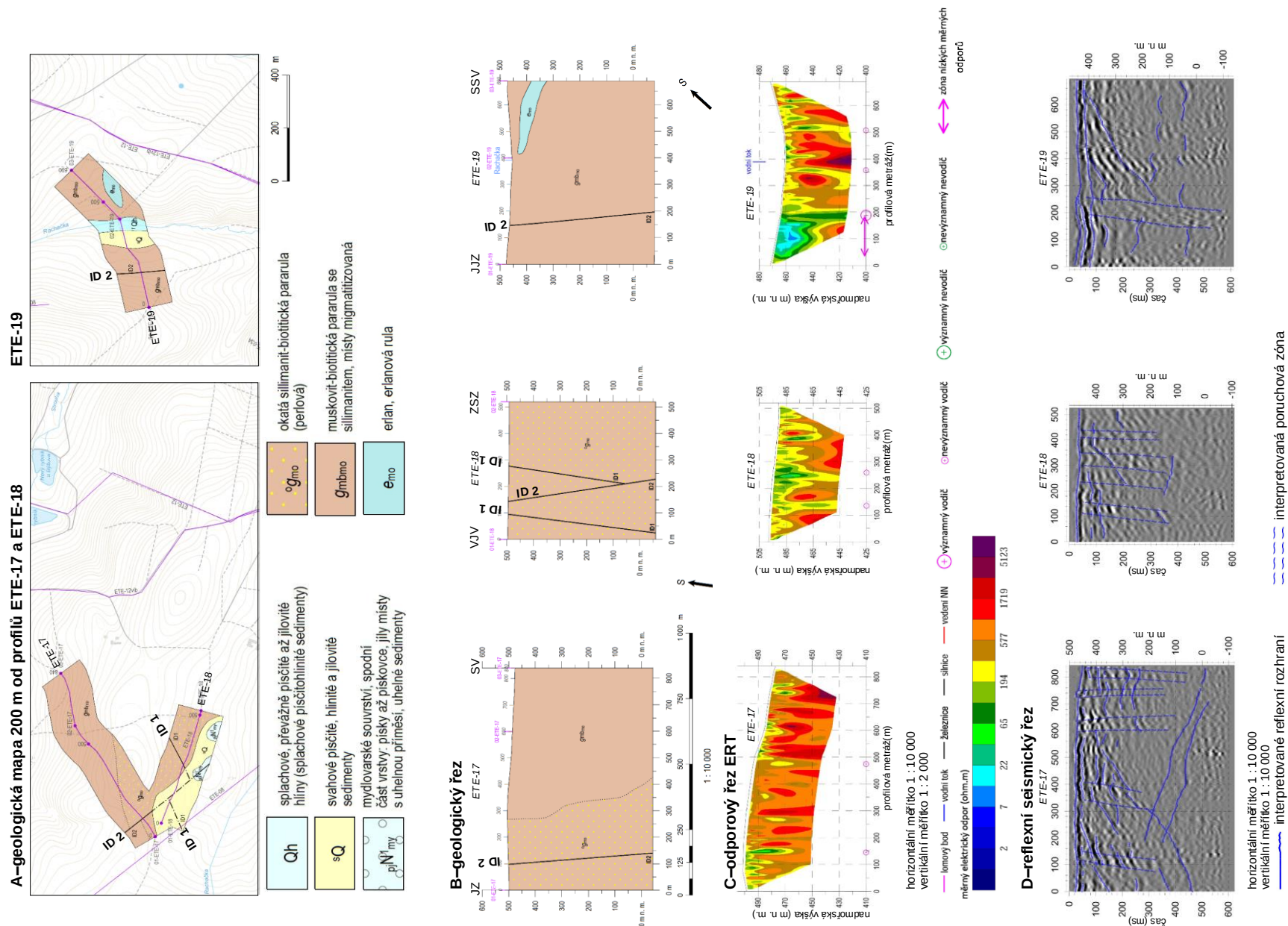


D-odporový řez ERT



Obr. 3* Výřez profilu ETE-12 v metrži 500–3000 m. A-geologická mapa 1:10 000 podél profilu v šířce 200 m, B-geologický řez do hloubky 500 m, C-refrakční seismický řez MRS, D-odporový řez ERT





Obr. 5* Výřez profilů ETE-17 v metrži 0–800 m, ETE-18 v metrži 0–500 m a ETE-19 v metrži 0–700 m. A-geologická mapa 1:10 000 podél profilu v šířce 200 m, B-geologický řez do hloubky 500 m, C-odporový řez ERT, D-reflexní seismický řez RXS

4 Závěry geologicko-geofyzikálního výzkumu na území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO

Na území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO bylo celkem geologicky zmapováno 12 profilů, podél kterých byl následně proveden geofyzikální průzkum. Součástí geologického výzkumu byla i petrologická charakteristika litologických typů a geochemické analýzy vzorků. Vyhodnocení výsledných dat bylo podkladem pro posouzení vhodnosti horninového prostředí pro ukládání radioaktivního odpadu. Důraz byl kladen na nehomogenity s dosahem do hlubších partií horninového masívu, které zde mohou snižovat účinnost izolační funkce úložiště RAO.

Výběr polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO byl proveden na základě dosavadní znalosti o geologické stavbě Českého masívu (viz Navrátilová et al., 2017; Havlová et al., 2018). Polygon má celkovou rozlohou 22,742 km². Rozhodující pro výběr polygonu byla přítomnost poměrně monotónního charakteru krystalinického prostředí tvořeného migmatitizovanými pararulami s téměř penetrativní stavbou upadající k SZ až S pod středním až středně strmým úhlem. Tento horninový typ tvoří asi 85 % území. Na severu zasahuje do polygonu okatá, drobovitá varieta pararul, která se vyznačuje mírným nebo téměř žádným stupněm anatexe. Určitou míru nehomogenity prostředí způsobují vložky vápenato-silikátových hornin (erlanů a mramorů), kvarcitů a žilných hornin, které byly ověřeny při novém geologickém a geofyzikálním výzkumu (Mixa et al., 2019). Poměrně významný je pruh erlanů a mramorů směru VSV–ZJZ, tvořený čočkovitými tělesy o mocnosti 50–120 m se sklonem upadání 75° k SSZ. Probíhá na jižním okraji polygonu a byl zachycen geologickým a geofyzikálním výzkumem na profilech ETE-03A, ETE-03B, ETE-12, ETE-13 s orientací S–J a na vsv.–zjz. profilech ETE-02AA, ETE02B a ETE-02CA (Mixa et al., 2019). Významnější tělesa středně zrnitých granitů byla zjištěna při s. a sv. okraji polygonu. Homogenitu prostředí také mírně snižují hluboce zvětralé zóny krystalinika, které byly nově identifikovány zejména při východním okraji polygonu.

Novým geologickým mapováním a geofyzikálním měřením byly ověřeny nebo nově identifikovány 3 zlomy, které by mohly ovlivňovat homogenitu prostředí na území navrženého polygonu. Zlom ID 1 probíhá středem navrženého polygonu ve směru SV–JZ, má délku kolem 3,5 km a šířku zhruba 10–20 m. Na základě výsledků z reflexního seismického řezu RXS na profilu ETE-18 se sklon upadání jeví k SZ pod strmým úhlem 85°. Tento zlom byl potvrzen i na profilech ETE-12 a ETE-08. Geomorfologická indikace naznačuje, že zlom ID 1 je dextrálně posunut zlomem ID 2, který vykazuje průběh SZ–JV. Na profilu ETE-12 jsou v okolí zlomové struktury ID 1 dokumentována dvě tělesa granitů. Zlom ID 2 probíhá středem navrženého polygonu ve směru SZ–JV, a to délkou zhruba 4,5 km. Na základě výsledků reflexních seismických řezů RXS na profilech ETE-17, ETE-18 a ETE-19 se sklon upadání jeví k SV pod strmým úhlem 85°, mocnost byla odhadnuta na 20–40 m. Na východě zasahuje na území polygonu zlom ID 39. Tato zlomová linie má průběh ZSZ–VJV o délce cca 3 km a šířce do 20 m, se sklonem upadání na SSV pod strmým úhlem cca 85°. Do navrženého polygonu zasahuje délkou asi 2 km. Tato zlomová linie byla nově identifikována (MRS) na profilu VSV–ZJZ ETE-02AA na levém břehu Vltavy jz. od obce Jeznice a byla potvrzena (ERT) i na profilu ETE-13 (Kašpar et al., 2019, Mixa et al., 2019).

Na lokalitě ETE-jih byly vymezeny dva **homogenní bloky: východní (V) a západní (Z)**, které se nacházejí uvnitř polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO a které by měly splňovat izolační funkci úložiště RAO (Pertoldová et al., 2019). Celková

rozloha obou bloků je na povrchu i v hloubce 500 m 10,169 km². Východní homogenní blok byl definován během starších výzkumných prací (viz citace in Navrátilová et al., 2017, Havlová et al., 2018), západní homogenní blok byl nově vymezen na základě stávajících výsledků výzkumných geologických a geofyzikálních prací (Mixa et al., 2019).

Východní homogenní blok

Východní homogenní blok (V) má rozlohu 4,676 km² na povrchu i v hloubce 500 m. Tento blok dokumentují 3 profily v orientaci S–J a částečně 2 profily v přibližné orientaci VSV–ZJZ. Geologicky je východní homogenní blok situován z více jak 90 % do komplexu migmatitizovaných pararul, které představují homogenní, rigidní litologické prostředí. Homogenitu kompaktních pararul narušují drobné výskyty erlanů, kvarcitů, ale také žilných pegmatitů, leukogranitů a žilných křemenů. Tyto výskyty mají nevýznamné mocnosti od 1–10 m a jejich délka v erozním řezu bývá desítky až nižší stovky metrů. Většinou nejsou tektonicky predisponovány, ale sledují dominující foliaci. Výjimku tvoří výstup poměrně mocného (50–80 m) leukokratního mikrogranitu podél potvrzené lokálně významné vsv.–zjz. zlomové struktury ID 1 na severním okraji navrženého východního homogenního bloku. Erlany, mramory, kvarcity a žilné horniny byly nově zaznamenány i na levém břehu Vltavy těsně jihovýchodně od hranice východního homogenního bloku. S ohledem na geofyzikou dokumentovaný směr zapadání na SZ pod úhlem cca 50° budou pravděpodobně v hloubce 500 m zasahovat do prostoru tohoto homogenního bloku. Poměrně mocný VSV–ZJZ pás erlanů a mramorů, který je paralelní s vodním tokem Rachačka, byl zachycen v okolí obce Chlumec, ale i dále na VSV, jižně od obce Jeznice. Tyto vápenato-silikátové čočky s mocností 50–120 m, upadají na SZ pod středními úhly (cca 45°–50°). Mírné projevy krasování na povrchu vápenců a erlanů byly dokumentovány ve stěnovém lomu v údolí vodního toku Rachačka asi 2 km SSV od obce Chlumec. Nikde jinde v terénu krasování vápenatých hornin zaznamenáno nebylo. Navíc je předpoklad, že výskyt mramoru v okolí obce Chlumec, potažmo změna reologie jsou důvodem vzniku předpokládaných lokálně nevýznamných zlomových linií ID 43, ID 53 a ID 54 vsv.–zjz. a sv.–jz. směrů. Tento pás vápenato-silikátových hornin se nachází cca 500 m za jižním okrajem navrženého východního homogenního bloku a směr upadání těchto čoček (a potažmo i lokálních poruch) na SZ naznačuje, že tyto horniny by neměly v hloubce 500 m zasahovat do území vymezeného pro východní homogenní blok a ovlivňovat tak jeho homogenitu.

Homogenitu prostředí také mírně snižují hluboce zvětralé zóny krystalinika s hloubkou dosahu 5–35 m dokumentované geofyzikálními metodami ERT a MRS (Kašpar et al., 2019). Tyto zóny zvětřování byly nově identifikovány zejména při východním okraji celého polygonu vytyčeného pro vytipování míst vhodných k umístění úložiště RAO, a to na S–J profilu ETE-13 a na vsv.–zjz. profilech ETE-10 a ETE-02AA. I když se jedná o blízké okolí východního bloku, je předpoklad, že tyto zóny mohou od východu do tohoto bloku zasahovat.

Zlom ID 1 je situován za severním okrajem navrženého východního homogenního bloku (cca 150 m od okraje) ve směru SV–JZ. Vzhledem ke svému sklonu upadání k SZ pod strmým úhlem 85° by neměl v hloubce 500 m ovlivňovat homogenitu navrženého východního bloku. Zlom ID 2 se nachází asi 200 m za jihozápadním okrajem východního bloku ve směru SZ–JV. Vzhledem ke směru upadání k VSV pod úhlem zapadání cca 85° by mohl v hloubce 500 m zasahovat do východního homogenního bloku a snižovat izolační

účinnost úložiště RAO. Ze směrných projevů zlomů ID 1 a ID 2 lze soudit na omezenou (předkvartérní) pohybovou aktivitu podél obou struktur. Do východního homogenního bloku ještě přímo zasahuje z VJV zlom ID 39, který ale v na území tohoto bloku vyklišuje.

Západní homogenní blok

Západní homogenní blok (Z) byl vymezen na základě nových prací (Mixa et al., 2019). Je situován v jihozápadní části polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO a má rozlohu 5,493 km² na povrchu i v hloubce 500 m. Litologicky se jedná o velmi homogenní území tvořené pararulami se stálým směrem i úklonem metamorfní foliace k SZ a s omezeným množstvím vložkových hornin. Území je minimálně zvětralé a pokryté platformními útvary (relikty terciérních uloženin). Zhruba 500 m za jižním okrajem polygonu ETE-jih – Z probíhá pás erlanů a mramorů směru VSV–ZJZ s úklonem 75° k SSZ. Vzhledem ke směru a sklonu upadání by mohla být homogenita navrženého západního homogenního bloku v hloubce 500 m těmito vložkovými horninami narušena.

Do středu západního homogenního bloku zasahuje část (asi 1,2 km) zlomu ID 1 ve směru SV–JZ, který v tomto území vyklišuje. Zlomová linie ID 2 probíhá ve směru SZ–JV kolem východního okraje tohoto bloku. Na základě výsledků z reflexních seismických řezů RXS se sklon upadání jeví k SV pod strmým úhlem 85°, mocnost byla odhadnuta na 20–40 m. Vzhledem ke směru a sklonu upadání k SV by neměl hloubce 500 m zasahovat do prostoru západního homogenního bloku. Tento zlom byl dokumentován na profilech ETE-08 (DOP, MRS), ETE-12 (DOP, ERT, MRS, Obr. 3) a ETE 17, ETE-18 a ETE-19 (RXS a ERT, Obr. 5).

5 Diskuze

Území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO (Pertoldová et al., 2019) je dominantně tvořeno pararulami v různém stupni migmatitizace. V daném území obsahují tyto metasedimenty poměrně četné vložky vápenato-silikátových hornin, jako jsou erlany, mramory a kvarcity, ale i žilné horniny jako mikrogranity, pegmatity a žilné křemeny. Geologické mapování a následné geofyzikální práce celkem dobře identifikovaly výskyt těchto pestrých vložek, které mohou narušovat homogenitu horninového prostředí. Nejistota ve vztahu k homogenitě daného území spočívá v neznalosti dosahu a rozšíření těchto vložkových hornin v hloubce, jakožto i v omezené znalosti jejich směru a sklonu upadání. Popis těchto atributů byl proveden expertním odhadem a extrapolací do hloubky.

Nejistota spojená s hodnocením oblasti spočívá i v omezené znalosti průběhu zlomů, které byly rámcově ověřovány a zpřesňovány pomocí geofyzikálního výzkumu a geologického a hydrogeologického mapování. Druhá nejistota spočívá v určení směru a úhlu upadání zlomů, omezeně bylo možno určit tyto fenomény na základě výsledků geofyzikálního měření. Pro zpřesnění hloubkového dosahu, směru a sklonu upadání tektonických poruch bude zapotřebí využít detailnější geofyzikální průzkum s dosahem do vyšších hloubek (např. reflexní seismika či varianta VES s max. roztahem AB až 1 km v kombinaci s metodami přechodového sondování TDEM (Time Domain or Transient Electromagnetics)).

Nejistoty jsou spojené i s průběhem zvodnělých poruchových zón v hloubce úložiště. Na základě numerického výpočtu, hydrogeologických a geologických povrchových prací bylo určeno, že zlomové linie ID 1 a ID 2 mají předpokládanou hydrogeologickou funkci. Reálná hydrogeologická funkce obou zlomů a jejich rozsah by měly být ověřeny hlubokými vrty.

Studovaná oblast se vyznačuje značným nedostatkem výchozů na mapovaných profilech i v jejich okolí. Z tohoto důvodu je přesnější představa o lokalizaci a orientaci prvků puklinové sítě značně nejasná. Předpokládané puklinové zóny vázané na zlomové struktury vykazují dosah 25–50 m. Pravděpodobně vyšší hustotu puklin můžeme lokálně očekávat v oblastech hlubokých zvětralin, které vykazují dosah 5–35 m pod povrch. Rozpad původního horninového pláště zřejmě způsobila právě síť četných diskontinuit (pravděpodobně puklin), jejichž orientaci není ale možné odhadnout. Strukturní data pořízená na povrchu nicméně přináší přibližný obraz o podobě a hustotě puklinových systémů v přípovrchové zóně zkoumaného masivu. Výskyt puklin obdobných orientací i ve větší hloubce lze však jen předpokládat.

Z hlediska popsitelnosti a predikovatelnosti geologické stavby jsou povrchová geologická data na území celé lokality ETE-jih na dobré úrovni vzhledem k pokrytí geologickými mapami v měřítku 1:50 000 a 1:25 000 a účelovým průzkumům ČEZ, Energoprůzkum a SÚRAO. Data byla zpřesňována v rámci projektu: „Geologické a geofyzikální výzkumné práce provedené v období 9/2017–6/2019 pro aktualizaci hodnocení potenciálních lokalit hlubinného úložiště RAO“ (Mixa et al., 2019). Celá lokalita ETE-jih byla pokryta geofyzikálními profilem, které byly geologicky mapovány v měřítku 1:10 000 a byly konstruovány vertikální geologické řezy téhož měřítku. Následně byla sestavena odkrytá účelová geologická mapa celé lokality ETE-jih v měřítku 1:25 000. Část tohoto mapového výstupu pokrývá i území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO, kde bylo celkem zmapováno 12 profilů (ETE-2AA, ETE-2B, ETE-2CA, ETE-3A, ETE-3B, ETE-8, ETE-10, ETE-12, ETE-13, ETE-17, ETE-18, ETE-19) i s přesahem z území v celkové délce 37 km. Mimo úseky těchto liniových profilů je geologická mapa na území polygonu potenciálně vhodného pro umístění úložiště RAO zatížena jistou mírou nedůvěryhodnosti, zejména v západní části tohoto území.

Pro zpřesnění dat tohoto výzkumu bude zapotřebí realizovat rozsáhlejší průzkumné práce včetně hlubokých vrtů.

Poděkování

Projekt vznikl za podpory zakázky č. 547011 České geologické služby, Klárov 3, Praha 1, zadané SÚRAO na základě zadávacího protokolu 4.1.7.3/č. j. ESS: SÚRAO-2017-2196, ve spolupráci SG Geotechnika, Geologická 988/4, Praha 5. Tento příspěvek je částečným výsledkem řešení projektu Správy úložišť radioaktivních odpadů „Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště“.

References

HAVLOVÁ, V., PERTOLDOVÁ, J., HROCH, T., ŠTĚDRÁ, V., JANKOVEC, J., ŘÍHA, J., ČERVINKA, R., NAHODILOVÁ, R., BAIER, J., BUKOVSKÁ, Z., ČERNÝ, M., DUDKOVÁ, I., DUŠEK, K., FRANĚK, J., GONDOLLI, J., GVOŽDÍK, L., HOKR, M., HOLEČEK, J., JELÍNEK, J., KACHLÍKOVÁ, R., KALÁB, Z., KOLOMÁ, K., KLAJMON, M., KRÁLOVCOVÁ, J., KRYŠTOFOVÁ, E., MARYŠKA, J., MILICKÝ, M., ONDRA, P., PACHEROVÁ, P., PEŘESTÝ, V., POLÁK, M., ŘIHOŠEK, J., RUKAVIČKOVÁ, L., STEINOVÁ, J., SVOBODA, J., ŠÍR, P., UHLÍK, J., VAŠÍČEK, R., VAVRO, M., VOPÁLKA, D., ZEMAN, O. *Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita ETE-jih. Závěrečná zpráva.* MS SÚRAO, TZ 284/2018, 2018, 118 s.

- CHLUPÁČ, I., ŠTORCH, P. Regional division of the Bohemian Massif in Czech Republic. – Report of Committee for Regional Geologic Classification. *Čas. Mineral. Geol.*, 37, 1992, 257–275.
- KAŠPAR, R., NEDVĚD, J., SPĚŠNÝ, M. *Ověření geologických struktur lokality ETE-jih geofyzikálními metodami. Závěrečná zpráva.* MS SÚRAO, TZ 439/2019, 2019, 84 s.
- LEVÝ, O., FILIPSKÝ, D., GRINČ, M., LINHARTOVÁ, R., KAROUS, M. *Geofyzikální výzkum hlubokých struktur a geometrie horninového masivu. Závěrečná zpráva,* MS SÚRAO, TZ 440/2019, MS SÚRAO, Praha, 2019.
- MIXA, P., SKÁCELOVÁ, Z., PERTOLDOVÁ, J., BUKOVSKÁ, Z., BURIÁNEK, D., DUDÍKOVÁ, B., FRANĚK, J., HRDLIČKOVÁ, K., JELÍNEK, J., NAHODILOVÁ, R., SOEJONO, I., VERNER, K., ŽÁČEK, V. *Shrnutí výsledků geologických a geofyzikálních výzkumných prací provedených v období 9/2017–6/2019 pro aktualizaci hodnocení potenciálních lokalit hlubinného úložiště RAO.* MS SÚRAO, TZ 412/2019, Praha, 427 s, 2019.
- MIXA, P., ŠTĚDRÁ, V., SKÁCELOVÁ, Z., SOEJONO, I., KOLEJKA, V., ZEMKOVÁ, M., KUČERA, R. *Technická zpráva TZ 180/2017 Lokalita ETE-jih - geologická stavba a technická specifikace geofyzikálních prací. Závěrečná zpráva,* 25 s. MS SÚRAO Praha, 2017.
- NAVRÁTILOVÁ A NOL et al. *Zpráva o provedení geologicko-výzkumných prací na lokalitě ETE – jih. Technická zpráva,* MS SÚRAO Praha, 2017.
- PERTOLDOVÁ, J., MIXA, P., BUKOVSKÁ, Z., BURIÁNEK, D., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ, B., FRANĚK, J., HRDLIČKOVÁ, K., NAHODILOVÁ, R., SOEJONO, I., VERNER, K., ŽÁČEK, V., PETYNIÁK, O., KUČERA, R., ŽÁČKOVÁ, E., FIFERNOVÁ, M., ZEMKOVÁ, M. *Aktualizace lokalizace perspektivních území pro geologické charakterizační práce a perspektivních území pro projektové práce HÚ - důvodová zpráva pro účely hodnocení potenciálních lokalit HÚ,* 28 s, MS SÚRAO Praha, 2019.

Autor

¹ RNDr. Radmila Nahodilová, Ph.D., Česká geologická služba, Klárov 131/3, 11821 Praha 1, radmila.nahodilova@geology.cz

² RNDr. Jiří Nedvěd, SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 15200 Praha 5, jiri.nedved@geotechnika.cz

³ Mgr. Eliška Žáčková, Ph.D., Česká geologická služba, Klárov 131/3, 11821 Praha 1, eliska.zackova@geology.cz

⁴ Mgr. Radim Kašpar, SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 15200 Praha 5, radim.kaspar@geotechnika.cz

Poznámka editora

* Obrázky 1-5 byly publikovány se souhlasem autorů horizontálně.