

Technická specifikace geofyzikálních prací.

OBLAST KRAVÍ HORA

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Geofyzikální metody pro výzkum lokalit	2
3. Geologická stavba oblasti	7
4. Přehled požadovaných profilů a kombinace použitých geofyzikálních metod s popisem geologických fenoménů	12
5. Požadované finální výstupy	20
6. Nakládání s daty.....	21
7. Časový harmonogram prací	22
8. Zpracování nabídkové ceny	22

1. ÚVOD

Výběr lokalit pro umístění hlubinného úložiště je třeba v souladu s doporučeními IAEA a směrnicí Rady EU pro nakládání s VJP a RAO provádět postupnými kroky, jejichž důležitou a nedílnou součástí je výzkum geologické stavby, sloužící jako jeden z kroků pro zpracování bezpečnostní analýzy každého území.

Důležitou technikou, sloužící k poznání horninového prostředí, je komplex geofyzikálních metod. Tyto metody jsou - jako jedny z mála technik nemajících charakter zvláštního zásahu do zemské kůry - schopny identifikovat geometrii základních horninových celků, směry a sklony jejich hranic, tektoniku ve studované oblasti i homogenitu horninového prostředí.

Za tímto účelem Zadavatel zadává dále uvedené geofyzikální a další výzkumné práce, jež následně – v kombinaci s daty povrchové geologie, geochemie, geomechaniky aj. - slouží k tvorbě geologického a hydraulického 3D modelu, zjištění homogenity horninového prostředí a kvantifikace míry křehkého porušení.

Veškeré požadované práce mají charakter prací výzkumných.

Zadavatel stanovuje provedení prací ve dvou na sebe navazujících časových periodách. V rámci první periody (předpokládaná většina prací v průběhu roku 2017 - 2018) Zhotovitel provede měření na níže uvedených profilech s cílem objasnit geologické fenomény uvedené u popisu každého profilu a komplexem geofyzikálních metod stanoveným v zadávací dokumentaci. Geofyzikální práce, jež budou součástí druhé periody (předpokládaná většina prací v průběhu roku 2019), nejsou v současné chvíli lokalizovány a jejich lokalizace i kombinace metod vyplyne ze zjištění měření provedených v periodě první. Bude se jednat zejména o ověření nově nalezených struktur, případně o

detailní měření uzlových bodů tektonické stavby území. Objem geofyzikálních prací je uveden v tabulce rozpočtu v podobě požadovaných bodů či kilometrů profilů tou kterou metodou a zahrnuje v sobě práce obou zmíněných period.

Na veškerých pracích zadaných Zadavatelem tímto výběrovým řízením bude Zhotovitel spolupracovat s Českou geologickou službou (dále ČGS), která je jako státní příspěvková organizace zřízená dle zřizovací listiny (Opatření č. 4/12 Ministerstva životního prostředí č. j. 7645/ENV/12) za účelem výkonu státní geologické služby ve smyslu par. 17 zákona 62/1988 Sb. „O geologických pracích“.

Zadavatel si vymíní právo v odůvodněných případech a na podkladě geologických zjištění pracovníků České geologické služby, formulujících geologické zadání a zajišťujících implementaci geofyzikálních měření do příslušných geologických modelů, změnit délku či průběh měřených profilů stejně tak jako komplex geofyzikálních metod.

2. GEOFYZIKÁLNÍ METODY PRO VÝZKUM LOKALIT

Metodika geofyzikálního měření pro výzkum lokalit hlubinného úložiště je zaměřena především na posouzení homogenity horninového prostředí, příp. charakteru jeho porušení na povrchu i ve větších hloubkách (řádově stovky metrů až kilometry). Základními metodami jsou elektrické odporové, elektromagnetické a seismické metody v kombinaci s tíhovými daty. Tyto mohou být kombinovány s magnetometrií podle fyzikálních vlastností daných litologických typů v horninovém masívu.

GEOELEKTRICKÉ ODPOROVÉ METODY

Odporové metody jsou používány ve dvou variantách - při profilování se sledují změny odporů v horizontálním směru podél geofyzikálního profilu, při sondování ve vertikálním směru pod měřeným bodem. Odporovými metodami jsou určovány odporové poměry v různých místech a hloubkách měření na povrchu země. Proudovými elektrodami AB je do země vháněn proud I , měřicími elektrodami MN se měří vzniklé napětí. Hodnoty I a ΔV jsou měřeny odporovými aparaturami, z nichž se počítá měrný odpor (rezistivita) hornin ρ_z .

Měrné odpory hornin (rezistivita) jsou závislé jednak na litologii hornin, jednak na jejich stavu. Kompaktní neporušené (krystalické) horniny se projevují nevodivě (vysoký měrný odpor), porušené horniny mají odpory i o více než řád menší, protože mají vyšší poróznost, která je nasycena podzemní vodou.

Odporové profilování (OP)

Dipólové odporové profilování (DOP) je jednou z variant odporového profilování, které mapuje kontakty hornin o různých odporech a strmé geologické vodiče, např. tektonické poruchy a zlomové systémy, které mají vyšší poróznost díky drcené zóně nebo jsou vodivé díky nasycení vodou

popř. živce a další minerály bývají rozloženy na vodivé jíly. Při této variantě profilování se pohybuje celé elektrodové uspořádání ABMN ($BM > AB = MN$). DOP je univerzální a nejefektivnější odporovou metodou jak z hlediska terénní metodiky, tak i z hlediska ekonomického. Rozměry uspořádání jsou voleny podle požadavku hloubkového dosahu h_{ef} (efektivní hloubka). Předpokládá se, že hloubkový dosah je obecně roven $AM/2$, je však závislý na odporových poměrech.

Podobné výsledky jako DOP má také varianta *kombinovaného odporového profilování* (KOP) a varianta *kombinovaného středového gradientu* (KSG). Výhodou těchto variant je jednodušší, příp. i jednoznačnější interpretace dat. Značnou nevýhodou je však těžkopádnost terénní metodiky, protože vyžadují i několik kilometrů vzdálené uzemnění jedné proudové elektrody, tzv. nekonečna C_{∞} . V metodě KOP se kromě elektrody C_{∞} všechny ostatní elektrody pohybují v konstantní vzájemné vzdálenosti podobně jako v metodě DOP a tím je zajištěn její konstantní hloubkový dosah. V metodě KSG jsou proudové elektrody AB stabilně uzemněny v dostatečně velké vzdálenosti od sebe (vyšší stovky m až km) a tak je zajištěn ve středu uspořádání velký hloubkový dosah (i první stovky m), mnohem menší dosah je však v blízkosti stabilních uzemnění A a B.

Odporové sondování (VES)

Odporové vertikální elektrické sondování (VES) slouží k určení změn měrných odporů prostředí s rostoucí hloubkou. Při měření VES se používá tzv. Schlumbergerovo symetrické uspořádání AMNB, $MN \ll AB$. Hloubkový dosah h_{ef} je řízen vzdáleností proudových elektrod AB od středu uspořádání, obecně se předpokládá, že hloubkový dosah je roven $AB/4$, v konkrétních podmínkách je silně závislý na odporových vlastnostech horninového prostředí a jeho homogenitě.

Závislost odporu na poloviční vzdálenosti proudových elektrod $AB/2$ se nazývá odporovou křivkou VES. Automatizovanou interpretací křivek VES na PC lze určit mocnosti sedimentárních vrstev a hloubku rozhraní vrstev pod měřeným bodem, pokud se odporově liší od svého nadloží a podloží, nalezením teoretického modelu, jehož odporový projev se nejlépe shoduje s měřenými hodnotami. Výsledkem interpretace VES v daném bodě je vertikální odporový profil, při měření série bodů VES podél profilu lze tak sestavit 2D odporový řez.

Multielektrodová metoda (ERT)

Odporová metoda **ERT** (**e**lectrical **r**esistivity **t**omography) je moderní geoelektrická metoda, která kombinuje automatickým způsobem odporové sondování a profilování. Při terénním měření je položen speciální mnohažilný kabel (multikabel), k němuž je připojeno velké množství elektrod. Řídící jednotka se pak podle zvolené metody automaticky připojuje postupně k elektrodám a na vybraných párech elektrod měří elektrické napětí a proud. Takto se proměří všechny možné páry a rozestupy zvolené metody a data uloží do paměti přístroje. Výsledkem měření a zpracování dat je pak interpretovaný detailní 2D odporový řez pod měřeným profilem, který je sestaven vhodným softwarem. Metoda zjišťuje odporové změny prostředí jak v horizontálním tak vertikálním směru. Pro

dosažení srovnatelného hloubkového dosahu jako při odporovém sondování je třeba použít velké množství elektrod a dlouhé kabely. Roste tím časová a ekonomická náročnost měření.

ELEKTROMAGNETICKÉ METODY (EM)

Metoda velmi dlouhých vln (VDV)

Elektromagnetická geofyzikální metoda velmi dlouhých vln (VDV) je určena pro mapování mělkých geologických vodičů. Využívá stávající elektromagnetické zdroje - vojenské navigační stanice pracující v intervalu frekvencí 10 - 30 kHz. Jako vodiče se většinou projevují dlouhé tektonické linie, někdy se však také jedná o mocnější úzký pruh pokryvu, resp. zvětralejšího podloží. Může se jednat i o relativní vodič, který se projevuje na kontaktu odporově kontrastních hornin.

Primární – zdrojová elektromagnetická vlna radiostanice indukuje v geologickém vodiči vířivé proudy a ty vytvářejí sekundární elektromagnetické pole, které se skládá s přichozím (primárním) polem. Měřený signál se skládá ze synfázní - tzv. reálné složky Re přijímaného signálu a fázově posunuté imaginární složky Im složky. Anomálie sekundárního pole indikují geologické vodiče do hloubek prvních desítek metrů.

Nevýhodou je, že elektrická vedení (nadzemní i podzemní) a další liniové produktovody působí rušivě. Pás cca 50 až 100 metrů široký kolem těchto rušivých vlivů je většinou pro interpretaci VDV nepoužitelný. Další nevýhodou metody VDV je to, že navigace vojenských plavidel se v nové době odklání od radiového spojení a přechází na GPS navigace a další sofistikovanější způsoby s větším hlubším dosahem.

Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Jedná se o elektromagnetické měření na frekvencích řádově kolem kHz. Přístroje (konduktometry) měří vodivost horninového prostředí, přičemž různý hloubkový dosah je zajišťován změnou vzdáleností antén (dipólů) nebo změnou vysílané frekvence, případně obojím. Hloubkový dosah tohoto měření bývá jednotky až první desítky metrů, takže uplatnění této metody je při mapování mělkých struktur. Měření je ovlivňováno blízkými umělými (i izolovanými podzemními) vodiči.

SEISMICKÉ METODY

Seismické metody sledují horninové prostředí z hlediska rozložení rychlostí šíření seismických vln a tím jeho elastických parametrů. Rychlost šíření seismických vln je materiálovým parametrem úzce spojeným s litologickým typem horninového prostředí, porozitou, charakterem výplně pórů a v neposlední řadě geomechanickým stavem sledovaného prostředí (porušením skalního masívu v tektonické zóně, intenzitou navětrání). Značný vliv na velikost rychlosti šíření má tlak, rychlost tak přirozeně narůstá s hloubkou.

Mělká refrakční seismika (MRS)

Metoda MRS (metoda lomených vln) využívá šíření lomené vlny horninovým prostředím, která podává informaci o rychlostech šíření seismické vlny v jednotlivých vrstvách. Příchod lomené vlny je v jisté vzdálenosti od zdroje seismické energie registrován jako čas prvního nasazení a zaznamenáván jako tzv. hodochrona. Kombinací různých pozic zdrojů seismické energie a snímačů rychlosti kmitání je získán soubor závislostí času šíření na vzdálenosti od zdroje.

Tato metoda je používána pro zjištění geologické situace do hloubek max. kolem první stovky metrů, kde vzniká lomená vlna na rozhraní s rychlostním kontrastem. Umožňuje sledovat průběh tzv. refrakčního rozhraní, tj. sledovat reliéf pevného podloží (seismické rozhraní) a odlišit horniny v podloží (skalní masív), rozlišit homogenitu horninového prostředí a jeho stav na základě jejich pevnosti. Lokalizuje vertikální porušené zóny, tektonické linie a umožňuje určit jejich směr do hloubky.

Ze záznamů závislosti času příchodu signálů ke geofonům na vzdálenosti od bodů úderů (hodochron) je možné interpretovat seismické řezy. Tyto tzv. hloubkové a rychlostní řezy ukazují modulaci reliéfu pevného podloží a proměnnost seismických rychlostí v podložních horninách. Pevnost hornin (hustota hornin) je přímo úměrná rychlosti seismického signálu, který se v nich šíří. U pevných podložních hornin krystalinika mohou být rychlosti až 6 000 m/s a v porušených zónách seismické rychlosti klesají.

Reflexní seismika (RXS)

K posouzení hlubších struktur v geologickém řezu je užívána reflexní seismika. Na rozdíl od refrakční seismiky neposkytuje přímou informaci o rychlostech seismických vln. Seismická měření v reflexní variantě charakterizují sledované prostředí pomocí průběhu subhorizontálních odrazných rozhraní, která vznikají na základě odrazu seismické vlny. Taková rozhraní oddělují prostředí s dostatečným kontrastem seismické impedance, tj. součinu rychlosti šíření seismických vln a hustoty (v nepříznivém případě nemusí změna rychlosti šíření představovat reflexní horizont).

Tato metoda poskytuje informace o hlubší stavbě a charakteru horninového prostředí (řádově stovky až tisíce metrů). Umožňuje sledovat jednotlivé subhorizontální reflexy a vymezit rozhraní litologických vrstev, okraje homogenních masívů a silně porušené tektonické násunové plochy. Výsledkem měření jsou časové řezy, pro které je při převodu na hloubkové nutné znát rychlosti šíření horninovým prostředím. Tuto informaci lze získat pro první stovky metrů z výsledků refrakční seismiky, příp. využít výsledky karotážního měření ve vrtech.

GRAVIMETRIE

Gravimetrie (tíhová měření) slouží k sestavení strukturně geologických modelů dané oblasti do velmi značných hloubek. Detekuje nehomogenity horninového prostředí na základě rozdílných hustotních podmínek. Využívá se k vyhledávání skrytých těles a struktur s odlišnou hustotou od

okolního prostředí, magmatických intruzí a některých zlomových struktur a to v měřících od několika metrů až po desítky km.

Principem metody je přesné měření tíhového zrychlení v terénu na zaměřených bodech s přesnou nivelací. Nežádoucí faktory se odstraňují několika redukcemi:

- Redukce Fayeova (z volného vzduchu)
- Redukce na povrch (Bouguerova redukce s topokorekcí)
- Izostatická redukce

Další opravy se zavádí následně (chod přístroje, normální tíhové zrychlení, nadmořská výška, topokorekce apod.). Výsledkem jsou pak úplné Bouguerovy anomálie, které vyjadřují účinky hustotně anomálních geologických struktur a těles.

Interpretační postupy jsou poměrně jednoduché, bohužel labilita interpretace je u tíhových měření velmi značná. Kvantitativní interpretace proto vyžaduje znalost hustot zastoupených hornin a také množství opěrných objektivních údajů o tektonické stavbě.

MAGNETOMETRIE

Metoda využívá přirozeného magnetického pole Země, které může být ovlivněno odezvou hlubokých geologických struktur. Geologická tělesa porušují normální geomagnetické pole, pokud obsahují feromagnetické minerály. Tuto metodu lze úspěšně použít k vyhledávání magnetických těles.

Principem metody je měření složky magnetického pole – totálního vektoru magnetického pole (T). Měření je ovlivněno dvěma faktory:

- tzv. variacemi (magnetické pole Země je v čase proměnné), které mohou být krátkodobé a dlouhodobé (sekulární)
- chodem přístroje.

Mezi pravidelné variace patří denní variace o periodě slunečního dne. Ve složkách pole se jedná o desítky nT. Nepravidelné krátkodobé variace od zlomků sekund po desítky minut se vyskytují během celého dne, jsou to tzv. pulsace a vznikají sluneční aktivitou. Mimořádná sluneční aktivita je příčinou náhlých magnetických bouří (sluneční vítr), mohou se vyskytnout až několikrát za měsíc, trvají i více dní a mají za následek nepravidelné variace až několik set nT.

Při pozemním terénním měření se většinou používá protonový magnetometr, který má rozlišovací schopnost asi 0,1 nT, absolutní přesnost kolem 1 nT. Registrace geomagnetického pole trvá na bodě několik vteřin. Opravy hodnot totálního vektoru magnetického pole o variace a chod přístroje se určují buď kontinuálním měřením druhým magnetometrem na jednom bodě, nebo opakovaným měřením na opěrném bodě (opakovaná měření na jednom zvoleném bodě cca každou hodinu). Měření vertikálního gradientu je v některých případech výhodnější. K vyhodnocovací jednotce se připojí nad sebou dvě sondy tak, aby mezi nimi byla pevná vzdálenost. Rozdíl obou naměřených údajů umožňuje vypočítat průměrný vertikální gradient. Gradientové (diferenciální)

měření odstraňuje vliv časových variací magnetického pole, odstraňuje vliv anomálií velkých rozměrů a lépe definuje mělčí zdroje.

Výsledný model magnetické struktury je dán srovnáním naměřeného pole a pole vypočítaného nad zjednodušeným magnetickým tělesem.

3. GEOLOGICKÁ STAVBA OBLASTI

Zájmové území leží jihovýchodně od obce Dolní Rožínka (okres Žďár nad Sázavou) v kraji Vysočina (katastrální území Bor u Nedvědice, Bukov na Moravě, Habří, Horní Rozsídka, Jabloňov, Meziboří, Milasín, Mitrov, Moravecké Janovice, Moravecké Pavlovice, Střítež u Bukova a Věžná na Moravě).

REGIONÁLNĚ GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMÍ

V rámci zájmového území vystupují dvě odlišné jednotky metamorfovaných hornin, a to strážecké moldanubikum a svratecké krystalinikum v jeho východním okraji. Schematická geologická mapa zájmového území je uvedena v příloze 1. Základní přehled litologického složení, metamorfního a tektonického vývoje širšího okolí zájmové oblasti uvádí práce Melichara (1995); Věrníka et al. (2009), Pertoldové et al. (2009, 2010), Kříbek a Hájek eds. (2005) a Schulmanna et al. (2005; 2008) a Tajčmanové et al. (2006). Strážecké moldanubikum je tvořeno migmatizovanými pararulami, migmatity, ortorulami a granulity s hojnými polohami amfibolitů, mramorů a kvarcitů. Území svrateckého krystalinika je dominantně tvořeno leukokratickými dvojslídnyými migmatity, ortorulami, pararulami a svory s polohami mramorů, vápenatosilikátových hornin a amfibolitů. Mezi zastoupené pokryvné útvary patří svahové a říční sedimenty omezené mocnosti. Zájmové území spadá do vymezeného území rudního pole Rožná-Olší, kde od roku 1957 do současnosti probíhá hlubinná těžba uranu (shrnutí in Kříbek a Hájek eds. 2005). Uranová mineralizace je zde vázána na mladovariské zóny mylonitizace a katalázy, které protínají komplexy metamorfovaných hornin (Kříbek a Hájek eds. 2005 a citace v práci uvedené).

Strážecké moldanubikum

V zájmové oblasti budované horninami strážeckého moldanubika vystupují vysoce metamorfované horniny gřohlské a pestré skupiny (Schulmann et al. 2005; 2008). Jedná se především o cordierit-biotitické a amfibol-biotitické ruly v různé míře částečného tavení (migmatizace). Rulové horniny obsahují poměrně hojné polohy amfibolitů, mramorů, eklogitů a metamorfovaných vápenatosilikátových hornin. Při východním okraji této jednotky v oblasti styku se svrateckým krystalinikem pak vystupuje rozsáhlejší těleso světlých granulitů s polohami serpentinizovaných peridotitů a ortorulových hornin. Tyto horninové komplexy byly post-tektonicky intrudovány amfibol-biotitickými melagranity až melasyenitami (durbachity) drahonínského plutonu. Metamorfní podmínky vývoje strážeckého moldanubika byly v případě výše-tlakové minerální asociace v granulitech (granát a kyanit)

odhadnuty na P: 18 kbar a T: 850 °C. Nízkotlaká re-ekvilibrace během relativně mladších deformačních událostí probíhala v podmínkách P: 3,5–4,5 kbar a T: 680–720 °C (Pertoldová et al. 2010). Strukturní záznam v horninách strážeckého moldanubika je v regionálním měřítku definován superpozicí několika tektonometamorfních staveb. Relativně nejstarší foliace strmé orientace průběhu SSV-JJZ byly převrásněny a střížně refoლიovány do nových foliačních ploch, které upadají pod mírnými až středními úhly k SV nebo JZ. Tato foliace je doprovázena lineacemi, které upadají pod mírnými úhly k SZ nebo JV. Nové foliace jsou subparalelní s orientací hranice mezi strážeckým moldanubikem a svrateckým krystalinikem (Verner et al. 2009; Pertoldová et al. 2010). Po vzniku duktilních staveb dochází k tvorbě a polyfázové reaktivaci heterogenního souboru křehkých a křehce-duktilních struktur (zlomových zón, střížných a extenzních puklin) SZ-JV, ZSZ-VJV, SSV-JJZ a S-J orientace (např. Melichar 1995; Kříbek a Hájek eds. 2005).

Svratecké krystalinikum

Hlavním horninovým typem v jednotce svrateckého krystalinika jsou polymetamorfované leukokratní dvojslídne migmatity s polohami ortorul, pararul a svorů (Verner et al. 2009; Pertoldová et al. 2010). V omezené míře se dále vyskytují tělesa vápenato-silikátových hornin, skarnů a mramorů. Podmínky regionální metamorfózy byly stanoveny na T: 650–670 °C a P: 7–8 kbar a nízkotlaký přetisk během vývoje regionálních deformačních staveb v podmínkách P: 5–6 kbar a T: 630 °C (přehled v Pertoldová et al. 2010). V případě skarnů byly identifikovány reliktní minerální asociace indikující HP metamorfní podmínky (~12 kbar; Pertoldová et al. 2010). Hlavní deformační stavbou duktilního charakteru je metamorfní foliace charakteru kompozičního páskování s omezeným výskytem reliktních struktur (izoklinálních až bezkořenných vrás). Příslušné foliační plochy ve střední části jednotky upadají pod středními úhly k SV až SSV, v její východní části pak pod středními až strmými úhly k JZ. Regionální metamorfní foliace v jednotce svrateckého krystalinika nesou výrazné lineace protažení, které upadají pod mírnými úhly k SZ nebo JV. Na tyto stavby jsou ostře naloženy lokalizované křehce-duktilní až křehké struktury (kinkové vrásy, střížné zóny) variabilní orientace a charakteru (např. Tajčmanová et al. 2006).

Sedimentární pokryv kvartérního stáří

Oblast náleží k denudační oblasti, kde dnes převažují procesy eroze a transportu materiálu. Proto mají sedimenty na tomto území malý rozsah a jsou zpravidla vázány na plošně omezené výskyty v podobě denudačních reliktních. Jedná se zejména o fluvialní, splachové a svahové sedimenty, jejichž vznik byl pravděpodobně podmíněn mimo jiné změnami spádových křivek toků při vytváření umělých vodních nádrží. Především v souvislosti s těžbou nerostných surovin pak vznikly antropogenní uložení (ložisko Rožná-Olší).

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA TEKTONICKÉ STAVBY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Struktury duktilní deformace

V oblasti strážeckého moldanubika mezi relativně nejstarší stavby patří metamorfní foliace, které mají původně subvertikální orientaci v průběhu ~SSZ–JJV. Tyto stavby jsou ve své primární orientaci zachovány omezeně, a to zejména v tělesech migmatitů a polohách vysokotlakých hornin (migmatitech, granulitech, eklogitech a peridotitech). Míra zachování těchto staveb roste směrem k jihozápadu, do centrálních částí strážeckého moldanubika. V reologicky více kompetentních horninách byly lokálně identifikovány starší deformační stavby, nejčastěji ve formě asymetrických uzavřených až izoklinálních vrás. Napříč zájmovým územím byla pozorována heterogenní superpozice metamorfní foliace která nabývá mírného úklonu ($10\text{--}40^\circ$) k ~JZ až JV až SV. Směrem k východnímu okraji jednotky byl systém staveb S_1 a S_2 střížně refoiován do ploch ukloněných pod mírnými až středními úhly ($20\text{--}50^\circ$) k ZJZ až JZ. Tyto foliace jsou asociovány s výraznými ~SZ–JV orientovanými lineacemi charakteru protažení deformovaných či rekrystalovaných agregátů křemene, živců a biotitu. Identifikované vrásové roviny upadají převážně pod mírnými až středními úhly k JZ a jsou tak subparalelní s průběhem nové metamorfní foliace. Osy těchto vrás jsou orientovány převážně pod mírnými úhly k SZ nebo JV.

Regionální stavba je v převážné míře subparalelní orientace s průběhem litologií jednotky a částečně modifikuje původní hranici mezi jednotkou strážeckého moldanubika a svrateckého krystalinika.

Celý komplex byl dále postižen systémy mladších lokalizovaných deformačních staveb. Jedná se o krenulační a kinkové vrásy, plochy osní kliváže, střížné pásy, úzké mylonitové a kataklastické zóny.

Struktury křehké deformace

V rámci vymezeného území byly identifikovány systémy čtyř kinematicky odlišných typů křehkých struktur s pohybovými indikátory. Zlomy s násunovou kinematikou upadají pod strmými úhly k SV až V a nesou striace strmého až středního úklonu. Pravděpodobně se jedná se o relativně nejstarší systémy křehkého porušení s dominantním výskytem v jednotce strážeckého moldanubika. Ostře superponované plochy poklesových zlomových struktur upadají pod strmými až středními úhly k ZSZ až SZ a nesou striace orientované pod středními úhly k SSZ. Plochy podřízeného zlomového systému s poklesovou kinematikou upadají pod strmými až středními úhly k JZ. Celkově se jedná o velmi výraznou křehkou anizotropii zájmového území. Systém těchto poklesových struktur byl místy reaktivován pravostrannou střížnou deformací, což je dobře patrné na výskytu relativně mladších striací subhorizontální orientace. Zlomové struktury s pravostrannými indikátory pohybu upadají převážně pod strmými úhly k ZSZ nebo VJV. Zlomové plochy s levostrannou kinematikou upadají pod více variabilními úhly k SZ nebo JV. Zlomové struktury bez prokazatelných kinematických

indikátorů jsou dominantně orientovány pod strmými úhly k SSZ s výskytem striací více variabilní orientace a pravděpodobně odpovídají zlomům s indikátory poklesu nebo pravostranného posunu.

Dominantním souborem extenzních puklin (módu I) v horninách celé oblasti jsou subvertikální pukliny, převážně bez minerální výplně. V území zájmového polygonu je možné napříč definovanými jednotkami pozorovat dva hlavní trendy v orientaci strmých extenzních puklin. Jedná se o velmi výrazný puklinový systém průběhu VSV–ZJZ (v maximech 50–70°) a relativně méně výrazný systém průběhu SZ (ZSZ) až JV (VJV) v maximech okolo 150°. Výrazné rozdíly v orientaci těchto hlavních populací puklinových systémů v dílčích litotektonických jednotkách a tělesech magmatických hornin nebyly pozorovány.

Území zájmové lokality je protínané poměrně velkým množstvím křehkých poruch, jimž dominují přibližně S(SSZ)-J(VJV) orientovaná pásma strmě až středně ukloněných zlomových struktur. Druhou skupinou jsou dále zlomy průběhu VSV(SV)-ZJZ(JZ). Vzhledem k přítomnosti rudního pole Rožná-Olší byla tektonická stavba území prostudována detailně. Zároveň je ve studovaném území větší množství i hlubokých vrtů (do 1200 m), které dokumentují velmi komplikovanou strukturní stavbu lokality.

NÁVRH GEOFYZIKÁLNÍHO ZHODNOCENÍ MAPOVANÝCH STRUKTUR A INDIKACÍ KŘEHKÉ TEKTONIKY

Hlavním cílem aplikace vybraných geofyzikálních metod je ověření přítomnosti a významu struktur (indikací) křehkého porušení (zlomy, zlomové zóny a puklinové zóny), které zasahují do zájmového území Kraví Hora s důrazem na zjištění homogenity horninového prostředí. Dále je plánováno ověření litologické homogenity horninového prostředí s důrazem na tělesa amfibolitů a serpentinizovaných peridotitů. Základní přehled zlomových struktur (indikací) uvádí tabulka 1. Dalším cílem geofyzikálního výzkumu je analýza míry porušení hornin ve zlomových zónách a odvození pokračování tektonických linií do větších hloubek.

Na základě stavu geologické prozkoumanosti bylo vytipováno šest základních geofyzikálních profilů (KRH-01, KRH-02, KRH-03, KRH-04, KRH-05 a KRH-06).

LITERATURA

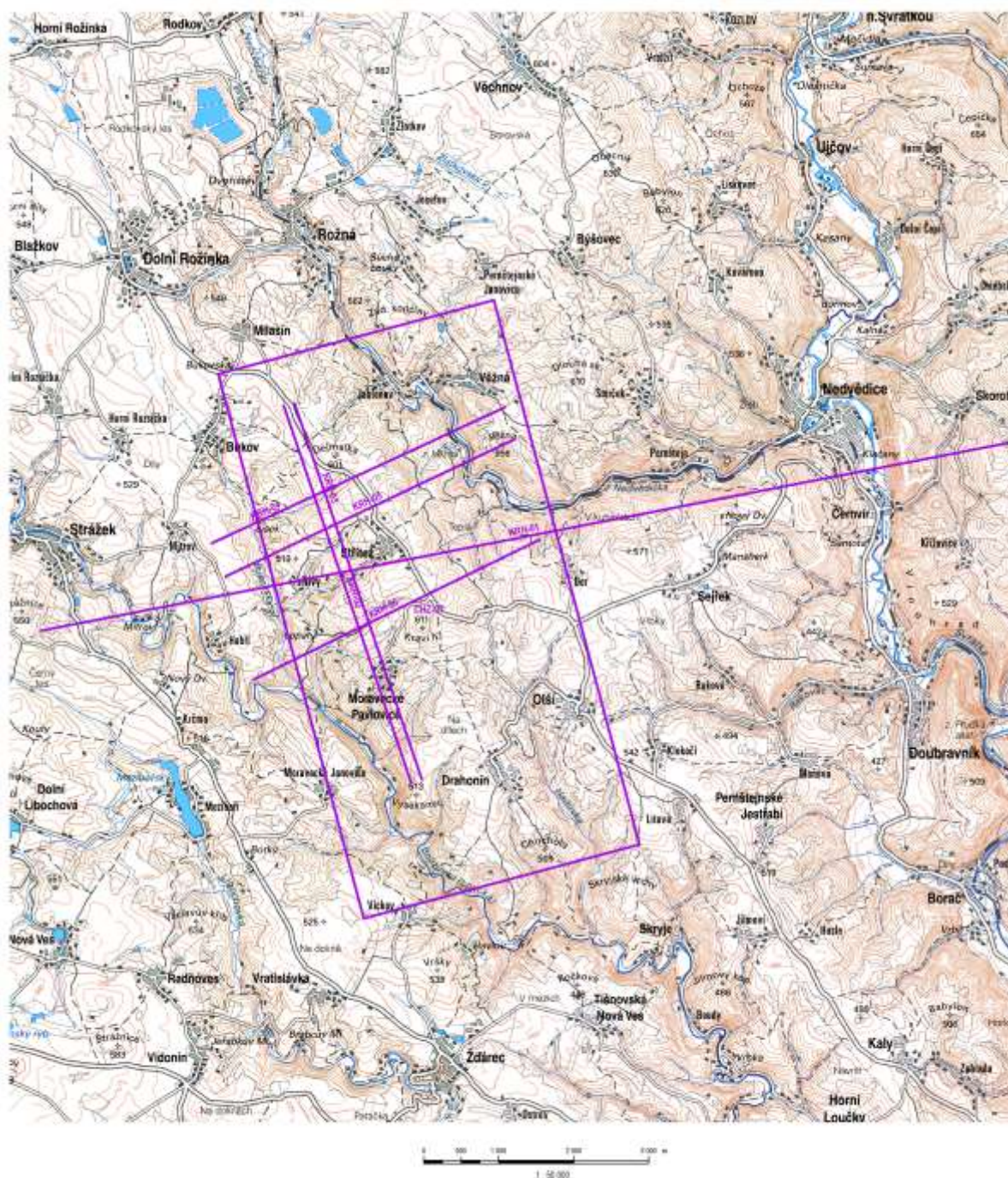
- KŘÍBEK, B., HÁJEK, A. ED. (2005): Uranové ložisko Rožná, model pozdně variských a povariských mineralizací. – Česká geologická služba. Praha. 1-98.
- MELICHAR, R. (1995): The structural analysis of the Polička and Svratka units. – Unpublished PhD thesis. Charles University. Prague. 1–271.
- ONDŘÍK J. (2010a): Lokalita Skalka – Ověření plošné a prostorové lokalizace hlubinného úložiště - Podzemní stavby hlubinného úložiště. Skalka-Kraví hora. Projektová studie. EGP Invest, Energoprojekt. 19 s.
- ONDŘÍK J. (2010b): Skalka – digitální geologické mapy, 4. fáze prací. Diamo. 7 str.
- ONDŘÍK J. (2010c): Skalka – digitální geologické mapy, 5. fáze prací. Diamo, 17 str.

- ONDŘÍK J. (2010d) Hydrogeologická charakteristika jižní části uranového ložiska Rožná a uranového ložiska Olší se zřetelem na umístění hlubinného úložiště VJP a RAO na lokalitě Kraví hora Diamo, 78 str.
- PERTOLDOVÁ, J., HALODOVÁ, P., VERNER, K., KOŠULIČOVÁ, M., PERTOLD, Z., KOŠLER, J., KONOPÁSEK, J., PUDILOVÁ, M. (2009): Metamorphic history of skarns, origin of their protolith and implication for genetic interpretation; an example from three units of the Bohemian Massif. *Journal of Geosciences* 54, 2, 101-134. ISSN 1802-6222. DOI 10.3190/jgeosci,044
- PERTOLDOVÁ, J., VERNER, K., VRÁNA, S., BURIÁNEK, D., ŠTĚDRÁ, V., VONDROVIC, L. (2010): Comparison of lithology and tectonometamorphic evolution of units at northern margin of the Moldanubian
- Schulmann, K. – Kröner, A. – Hegner, E. – Wendt, I. – Konopásek, J. – Lexa, O. – Štípská, P. (2005): Chronological constraints on the pre-orogenic history, burial and exhumation of deep-seated rocks along the eastern margin of the Variscan orogen Bohemian Massif, Czech Republic. – *American Journal of Science*, 305, 407–448.
- Schulmann, K. – Lexa, O. – Štípská, P. – Racek, M. – Tajčmanová, L. – Konopásek, J. – Edel, J. B. – Peschler, A. – Lehmann, J. (2008): Vertical extrusion and horizontal channel flow of orogenic lower crust: key exhumation mechanisms in large hot orogens?– *Journal of Metamorphic Geology*, 26, 273–297.

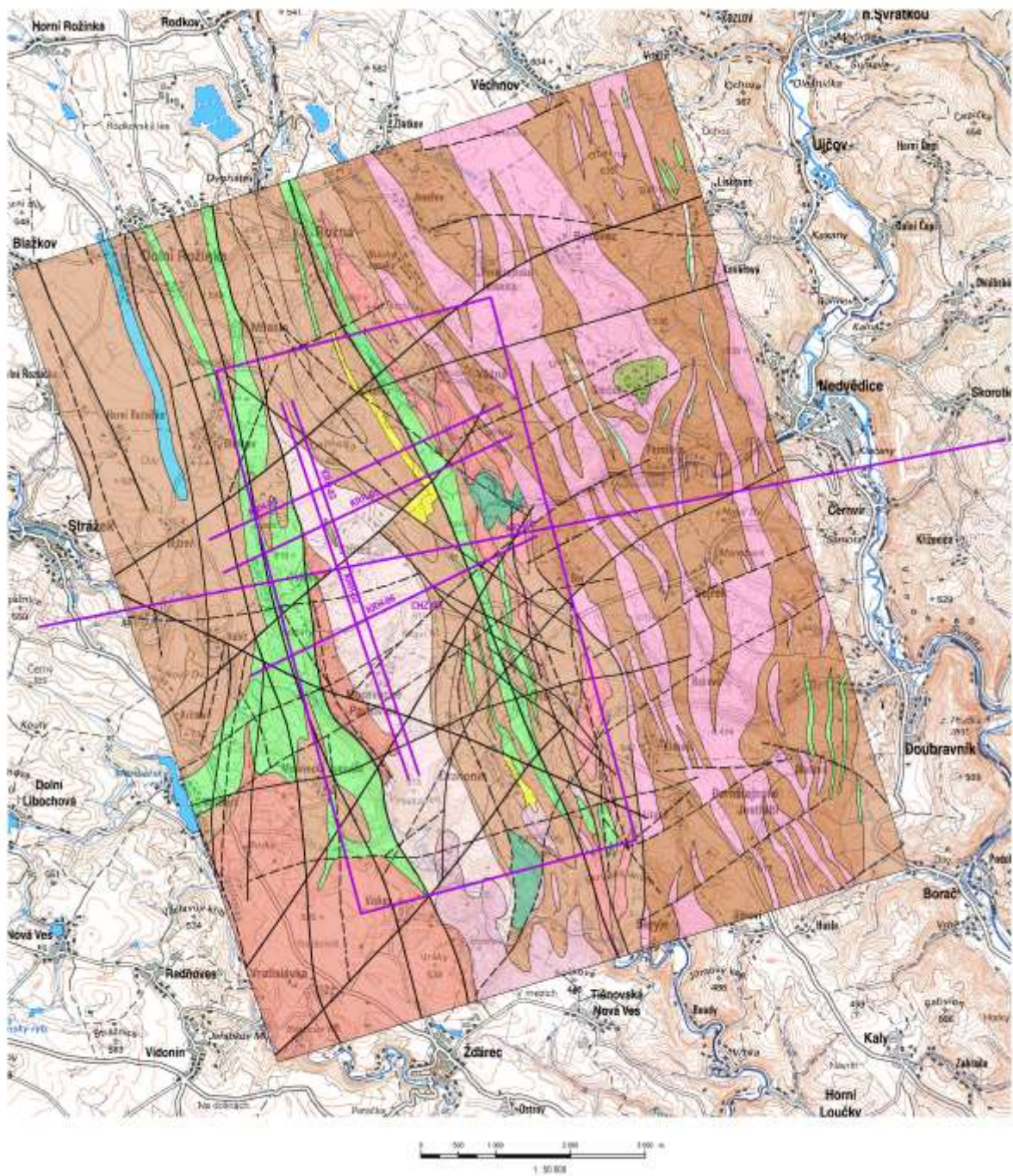
4. PŘEHLED POŽADOVANÝCH PROFILŮ A KOMBINACE POUŽITÝCH GEOFYZIKÁLNÍCH METOD S POPISEM GEOLOGICKÝCH FENOMÉNŮ

Přehled a délka profilů

NÁZEV	DÉLKA PROFILU [km]
KRH-01	13,16
KRH-02	5,32
KRH-03	5,29
KRH-04	4,3
KRH-05	4,27
KRH-06	4,25
KRH-07	28,63 km ²



Topografická mapa s vyznačenými profily



Účelová geologická mapa s vyznačenými profily

KRH-01

Regionální geofyzikální profil o směru ZJZ-VSV v celkové délce 13,16 km s cílem ověření hranic a litologií geologických jednotek v regionálním měřítku (s důrazem na hranici strážecké moldanubikum / svratecké krystalinikum) a hlavní zlomové stavby území. Profil je situován ve směru kolmém k hranicím jednotlivých litologií (amfibolity, granulity, migmatity) a kolmo na regionální metamorfní foliaci. Ve střední části profilu bude ověřena homogenita a předpokládaného tektonického (zlomového) omezení granulitového tělesa. Dále budou ověřeny mocnosti a sklony deseti hlavních zlomových struktur v průběhu SSV-JJZ až SSZ-VJV a bude ověřena indikace křehké tektoniky na základě hydrogeologické prozkoumanosti (linie H1).



Metody:

Odporové profilování (v celé délce profilu) – na základě změny měrného odporu hornin při povrchu na linii profilu určit pozice jednotlivých poruch (zlomů, puklinových zón).

Detailní gravimetrie (v celé délce profilu) – podle tíhové křivky lokalizace porušených zón a jejich pravděpodobná orientace do hloubky, ověření homogenity granulitu.

Magnetometrie (v celé délce profilu) – vyhledání kontaktu jednotlivých horninových typů, zjištění rozsahu těles peridotitů.

KRH-02

Geofyzikální profil o směru S(SSZ)-J(JJV) a délce 5,32 km. Profil je situován paralelně s protažením granulitového tělesa a regionální metamorfní foliací. Hlavním cílem je ověření geologické homogenity, ověření mocnosti a sklonu šesti zlomových struktur v průběhu V-Z až SV-JZ, případně dalších dosud neznámých tektonických zón. Dále je plánováno ověření indikací křehké tektoniky na základě hydrogeologické prozkoumanosti (linie H2) a ověření přítomnosti a rozsahu předpokládaných poloh serpentinizovaných peridotitů v jižní a severní části profilu.



Metody:

Odporové profilování (v celé délce profilu) – na základě změny měrného odporu hornin při povrchu na linii profilu určit pozice jednotlivých poruch (zlomů, puklinových zón).

Mělká refrakční seismika (v celé délce profilu) – určení průběhu refrakčního rozhraní představovaného povrchem granulitu a ověření homogenity horninového prostředí, vyhledání porušených zón a jejich pravděpodobnou orientaci do hloubky.

Detailní gravimetrie (v celé délce profilu) – podle tíhové křivky ověření homogenity horninového prostředí, lokalizace porušených zón a jejich pravděpodobná orientace do hloubky.

Magnetometrie (v celé délce profilu) – vyhledání kontaktu jednotlivých horninových typů, zjištění rozsahu těles peridotitů.

KRH-03

Geofyzikální profil o směru S(SSZ)-J(JJV) a délce 5,29 km (paralelní profil s KRH-02 s odstupem ca 300 metrů). Profil je situován paralelně s protažením granulitového tělesa a regionální metamorfní foliací. Hlavním cílem je ověření geologické homogenity a ověření mocnosti a sklonu šesti zlomových struktur v průběhu V-Z až SV-JZ. Dále je plánováno ověření indikací křehké tektoniky na základě hydrogeologické prozkoumanosti (linie H2) a ověření přítomnosti a rozsahu předpokládaných poloh serpentinizovaných peridotitů v jižní a severní části profilu.



Metody:

Odporové profilování (v celé délce profilu) – na základě změny měrného odporu hornin při povrchu na linii profilu určit pozice jednotlivých poruch (zlomů, puklinových zón).

Mělká refrakční seismika (v celé délce profilu) – určení průběhu refrakčního rozhraní představovaného povrchem granulitu a ověření homogenity horninového prostředí, vyhledání porušených zón a jejich pravděpodobnou orientaci do hloubky.

Detailní gravimetrie (v celé délce profilu) – podle tíhové křivky ověření homogenity horninového prostředí, lokalizace porušených zón a jejich pravděpodobná orientace do hloubky.

KRH-04

Geofyzikální profil o směru ZJZ-VSV o délce 4,30 km (paralelní s KRH-05 a KRH-06). Profil je situován ve směru kolmém k hlavním litologickým rozhraním (amfibolity, granulity, migmatity) a kolmo na regionální metamorfní foliaci. Hlavním cílem je ověření homogenity, ověření přítomnosti tělesa serpentinizovaného peridotitu v granulitech, ověření mocnosti a sklonu sedmi zlomových struktur v průběhu SSV-JJZ až SSZ-VJV, případně dalších dosud neznámých tektonických zón a ověření indikací křehké tektoniky na základě hydrogeologické prozkoumanosti (linie H1).

Metody:



Situace profilu KRH-04

Odporové profilování (v celé délce profilu) – na základě změny měrného odporu hornin při povrchu na linii profilu určit pozice jednotlivých poruch (zlomů, puklinových zón), jejich hydrogeologickou funkci.

Mělká refrakční seismika (v celé délce profilu) – určení průběhu refrakčního rozhraní představovaného povrchem granulitu a ověření homogenity, vyhledání porušených zón a jejich pravděpodobnou orientaci do hloubky.

Detailní gravimetrie (v celé délce profilu) – podle tíhové křivky ověření homogenity horninového prostředí, lokalizace porušených zón a jejich pravděpodobná orientace do hloubky.

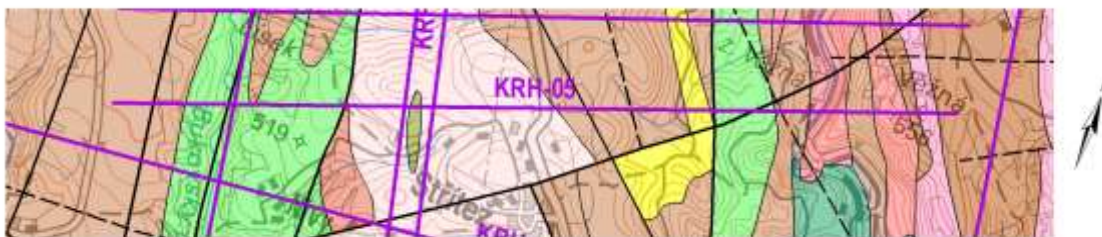
Magnetometrie (celková délka cca 5 km) – vyhledání kontaktu jednotlivých horninových typů, zjištění rozsahu těles peridotitů v granulitu.

Odporové sondování VES mělké (v celé délce profilu) – mělké vertikální elektrické sondování s roztažením proudových elektrod min. 100 m a s krokem měření cca 20 m pro zjištění rozložení měrných odporů podél svislé osy do hloubky, určení charakteru horninového prostředí a sklonu jednotlivých litologických kontaktů. Nutná hloubka geologické interpretace je min. 25 m

KRH-05

Geofyzikální profil o směru ZJZ-VSV o délce 4,27 km (paralelní s KRH-04 a KRH-06). Profil je situován ve směru kolmém k hlavním litologickým rozhraním (amfibolity, granulity, migmatity) a kolmo na regionální metamorfní foliaci. Hlavním cílem je ověření homogenity, ověření přítomnosti tělesa serpentinizovaného peridotitu v granulitech, ověření mocnosti a sklonu sedmi zlomových

struktur v průběhu SSV-JJZ až SSZ-VJV, případně dalších dosud neznámých tektonických zón a ověření indikací křehké tektoniky na základě hydrogeologické prozkoumanosti (linie H1).



Metody:

Odporové profilování (v celé délce profilu) – na základě změny měrného odporu hornin při povrchu na linii profilu určit pozice jednotlivých poruch (zlomů, puklinových zón), jejich hydrogeologickou funkci.

Mělká refrakční seismika (v celé délce profilu) – určení průběhu refrakčního rozhraní představovaného povrchem granulitu a ověření homogenity horninového prostředí, vyhledání porušených zón a jejich pravděpodobnou orientaci do hloubky.

Detailní gravimetrie (v celé délce profilu) – podle tíhové křivky ověření homogenity horninového prostředí, lokalizace porušených zón a jejich pravděpodobná orientace do hloubky.

Magnetometrie (v celé délce profilu) – vyhledání kontaktu jednotlivých horninových typů, zjištění rozsahu těles peridotitů v granulitu.

Odporové sondování VES (v celé délce profilu) – mělké vertikální elektrické sondování s roztažením proudových elektrod min. 100 m a s krokem měření cca 20 m pro zjištění rozložení měrných odporů podél svislé osy do hloubky, určení charakteru horninového prostředí a sklonu jednotlivých litologických kontaktů. Nutná hloubka geologické interpretace je min. 25 m.

KRH-06

Geofyzikální profil o směru ZJZ-VSV o délce 4,25 km (paralelní s KRH-04 a KRH-05) s cílem ověření homogenity a tektonické hranice granulitového tělesa dále mocnosti a sklonu sedmi hlavních zlomových struktur v průběhu SSV-JJZ až SSZ-VJV, případně dalších dosud neznámých tektonických zón a ověření indikací křehké tektoniky na základě hydrogeologické prozkoumanosti (linie H1).



Metody:

Odporové profilování (celková délka 4,3 km) – na základě změny měrného odporu hornin při povrchu na linii profilu určit pozice jednotlivých poruch (zlomů, puklinových zón), jejich hydrogeologickou funkci.

Mělká refrakční seismika (celková délka 4,3 km) – určení průběhu refrakčního rozhraní představovaného povrchem granulitu a ověření homogenity horninového prostředí, vyhledání porušených zón a jejich pravděpodobnou orientaci do hloubky.

Detailní gravimetrie (celková délka cca 4,3 km) – podle tíhové křivky ověření homogenity horninového prostředí, lokalizace porušených zón a jejich pravděpodobná orientace do hloubky.

Magnetometrie (celková délka cca 4,3 km) – vyhledání kontaktu jednotlivých horninových typů, zjištění rozsahu těles peridotitů v granulitu.

Odporové sondování VES (celková délka 4,3 km) – mělké vertikální elektrické sondování s roztažením proudových elektrod min. 100 m a s krokem měření cca 20 m pro zjištění rozložení měrných odporů podél svislé osy do hloubky, určení charakteru horninového prostředí a sklonu jednotlivých litologických kontaktů. Nutná hloubka geologické interpretace je min. 25 m.

KRH-07 POLYGON

Plošná gravimetrie na území cca 28,63 km². Cílem je ověření hloubkového dosahu granulitového tělesa, případně také přítomnosti poloh ultrabazických hornin (peridotitů a serpentinitů) a amfibolitů. Požadováno je dále stanovení Linsserových indikací hustotních rozhraní pro hloubkové úrovně 6000, 4000, 3000 a 1500 metrů za účelem indentifikace hlavních tektonických (litologických) rozhraní a jejich sklonu.

Plošná gravimetrie – tíhová data ověří homogenitu masívu, indikují poruchové zóny a plošně a umožní sestavení modelu granulitového tělesa do hloubky. Výpočty Linsserových indikací budou sloužit k posouzení sklonu okraje granulitového tělesa a jeho hloubkovému dosahu.



5. POŽADOVANÉ FINÁLNÍ VÝSTUPY

Veškerá geofyzikální měření budou dokladována, majitelem primárních dat a interpretovaných dat bude zadavatel. Zároveň budou primární a interpretovaná data odevzdána do archivu Geofondu České geologické služby, která je pověřeným správcem geofyzikálních dat v České republice.

Finální výstupy prací:

1. **Mapy** se situací odměřených bodů a profilů, profilové křivky a mapy odměřených fyzikálních parametrů.
2. **Fyzikální modely** interpretované z geofyzikálních měření, kalibrované podle dostupných geologických údajů (v návaznosti na geologické práce).
3. **Geologická interpretace** geofyzikálních dat (mapy zjištěných geologických struktur).
4. **Digitální data:** Mapové výstupy budou odevzdány digitálně ve formátu kompatibilním s mapovými výstupy objednatele SÚRAO a České geologické služby (pro ESRI mapové výstupy). Body a profily měření v tabulkovém formátu (xls) obsahujícím ID bodu (gravimetrická a magnetometrická měření, VES, reflexní seismika – body CDP), souřadnice bodu v JTSK (u odporového profilování a MRS počátku a konce profilu, příp. lomových bodů) a měřené parametry. Pro mapové výstupy formáty shp. U plošných gravimetrických měření formát databázového systému ČGS (Geofond). Primární data v souborech ASCII, txt. Kalibrace v txt, xls.
5. **Závěrečná zpráva.** Výstupy budou odevzdány ve dvou pare v tištěné podobě a také v digitální podobě na nosiči dat (DVD-ROM).

6. NAKLÁDÁNÍ S DATY

Veškerá primární i interpretovaná data, včetně kalibrací, budou předány Zadavateli a v jedné kopii též archivu Geofond České geologické služby.

7. ČASOVÝ HARMONOGRAM PRACÍ

Plošné komplexní geofyzikální měření je rozděleno do tří časových etap s následujícími požadovanými termíny plnění:

Pozn: termíny plnění vyplývají z předpokladu zahájení terenních prací v průběhu měsíců srpen až říjen 2017

Etapa 1 : termín do 31. března 2018

Terénní měření, zpracování dat a jejich předání k archivaci, sestrojení fyzikálních modelů, geologická interpretace dat a zpracování etapové zprávy minimálně profilů KRH-03, KRH-04 a KRH-05

Etapa 2 : termín do 31. března 2019

Terénní měření, zpracování dat a jejich předání k archivaci, sestrojení fyzikálních modelů, geologická interpretace dat a zpracování etapové zprávy všech zbývajících profilů KRH uvedených v zadávací dokumentaci.

Etapa 3 : termín do 31. prosince 2019

Terénní měření, zpracování dat a jejich předání k archivaci, sestrojení fyzikálních modelů, geologická interpretace dat a zpracování etapové zprávy zatím nelokalizovaných geofyzikálních prací, zpracování závěrečné zprávy.

8. ZPRACOVÁNÍ NABÍDKOVÉ CENY

Výkaz výměr na výzkumné geofyzikální práce se uvádí pro celou plochu dohromady formou „slepého“ rozpočtu. Rozpočet prací je nezbytné v nabídce zpracovat dle položek v níže uvedené tabulce. Ocenění prací je nutné udávat přes jednotkovou cenu. Detailní oceněný položkový výkaz výměr pro celkový objem prací, spolu se sumou navržených jednotkových výměr (jednotek) pro každou metodu zvlášť, je nutno zpracovat podle položek v uvedené tabulce. Pro celou oblast Kraví hora je uvedena celková předpokládaná cena **15.118.000,- Kč bez DPH**.

Pro potřeby nabídky musí uchazeč udat cenu, za kterou je připraven zadaný rozsah prací splnit. Uchazeč sdělí jednotkovou cenu za 1 km profilu pro multielektrodové měření, mělké refrakční a mělké reflexní seismické měření a cenu za jeden bod pro metody elektromagnetické profilování, odporové nesymetrické profilování, vertikální elektrické sondování, magnetometrická a gravimetrická měření. Krok měření u jednotlivých metod je uveden v rozpočtové tabulce. Ceny se uvádějí zprůměrované pro volný terén (pole, louka) a terén zalesněný s nutným průklestem větví a náletů.