

Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Část Geofyzika



2023

Projekce iGEO s.r.o.

Nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno Černá Pole

IČ: 061 90 499, DIČ: CZ061 90 499

tel.: 608022443

web: www.igeo.cz

e-mail: ivan.poul@igeo.cz

Geotechnika, statika, inženýrská a stavební geologie, hydrogeologie

Název zakázky: Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy,
podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Číslo zakázky: 039-2023

Objednatel: Dopravní podnik města Brna a.s.

Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Část Geofyzika



Zodpovědný řešitel: **RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.**

Brno, listopad 2023

Obsah

1. Úvod.....	5
1.1 Průběh realizace.....	5
2. Použité metody.....	5
2.1 Elektrická odporová tomografie (ERT)	5
2.2 Mělká refrakční seismika (MRS)	6
2.3 Vertikální elektrické sondování (VES)	7
2.4 Korozní průzkum.....	8
2.4.1 Měření zdánlivého měrného odporu hornin/zemin	8
2.4.2 Stanovení hustoty bludných proudů	9
2.5 Karotážní měření	9
3. Výsledky a interpretace geofyzikálního průzkumu.....	10
3.1 ERT, MRS a VES	10
3.1.1 Profil P1-3	10
3.1.2 Profil P2-4	10
3.1.3 Profil P5.....	11
3.1.4 Profil P6.....	11
3.1.5 Profil P-A	12
3.1.6 Profil P-B.....	12
3.1.7 Profil P-C.....	12
3.1.8 Profil P-D	12
3.1.9 Profil P-E.....	12
3.1.10 Profil P-F	13
3.1.11 Profil P-G	13
3.1.12 Profil P-H	13
3.1.13 Profil P-I.....	13
3.1.14 Profil P-J.....	14
3.1.15 Profil P-K	14
3.2 Korozní průzkum.....	14
3.3 Karotážní průzkum	15
4. Závěr.....	16

Přílohy:

- 1. Situace geofyzikálních prací**
- 2. Výsledné geofyzikální řezy**
- 3. Karotážní průzkum**
- 4. Korozní průzkum**
- 5. Fotodokumentace**

Rozdělovník:

**1 - 3 a digitálně
Digitálně**

**Dopravní podnik města Brna, a.s.
Projekce iGEO s.r.o.**

1. Úvod

V návaznosti na předběžný inženýrsko-geologický průzkum realizovaný firmou Geotest a.s. v roce 2016 byl společností AMBERG Engineering Brno, a.s. sestaven projekt průzkumu podrobného. Za účelem interpretace strukturně-litologických poměrů v trase plánovaného prodloužení tramvajové tratě v úseku Ečerova – Kamechy bylo na pozemcích náležících do k. ú. Brno - Bystrc a Brno - Žebětín během měsíců června a července 2023 realizováno geofyzikální měření pomocí mělké refrakční seismiky (MRS), elektrické odporové tomografie (ERT) a vertikálního elektrického sondování VES. Za účelem stanovení agresivity prostředí pro beton a kovové konstrukce bylo provedeno měření bludných proudů. Na vybraných vrtech bylo také realizováno karotážní měření. Přesné vedení geofyzikálních řezů a měřících bodů VES je vyznačeno v příloze 1 – Situace geofyzikálních prací.

1.1 Průběh realizace

Před zahájením terénního průzkumu byly provedeny nezbytné úkony vyplývající ze zákonných povinností. Průzkumné práce byly zaregistrovány u Česká geologické služby. Dále byl průzkum ohlášen u městských částí a také bylo požádáno o stanovisko Oblastní báňský úřad a Jihomoravský kraj. Pro místa, kde bylo nutné realizovat sondy v místě silničních komunikací, byly vyžádány povolení ke vstupu a povolení dočasného záboru. Průzkumné práce probíhaly také v kolejišti současné tramvajové trati. Výluka byla v nočních hodinách.

Průzkumné vrtné práce byly zahájeny v od poloviny června do poloviny července roku 2023. Průzkumné práce s výjimkou karotáže dodané firmou SG Geotechnika a.s. provedla firma Projekce iGEO s.r.o. Vzhledem k tomu, že se zkoumaná lokalita nachází ve městě, kde probíhá čilý ruch, byla zejména seismická data ovlivňována okolním ruchem. Veškeré měřící body a profily byly geodeticky vytyčeny.

2. Použité metody

2.1 Elektrická odporová tomografie (ERT)

Měření metodou ERT bylo realizováno na 11 příčných a 4 podélných profilech. Pro měření bylo využito Wenner-Schlumbergerova uspořádání elektrod ve variatně HD (s vysokým rozlišením). Jde o nejběžněji využívané elektrodové uspořádání, kde dvěma proudovými elektrodami je elektrický proud zaváděn do zkoumaného prostředí a zároveň je na dvou potenčních elektrodách měřen rozdíl potenciálů (napětí). Měřeno bylo ve variantě HD (high density), která přináší cca o 1/3 větší počet bodů (a tedy o cca 1/3 vyšší rozlišení při stejné proměřované ploše) v porovnání se standardní variantou. Použita byla aparatura pro měření měrného odporu prostředí ARES II (GF Instruments) a aktivní multi-elektrodové kabelové sekce. Měřící parametry jednotlivých profilů zobrazuje tabulka 2.

Tab 1. Vybrané parametry ERT měření

Označení profilu	Délka [m]	Rozstup elektrod [m]
P-A	120	2
P-B	106	2
P-C	62	2
P-D	126	2
P-E	116	2
P-F	156	2
P-G	94	2
P-H	94	2
P-I	100	2
P-J	110	2
P-K	94	2
P1-3	412	4
P2-4	412	4
P5	340	4
P6	340	4

Data byla zpracována ve standardním programu Res2Dinv (Geotomo Software) jako inverzní odporový model, zobrazující distribuci měrného odporu ve 2D vertikálním řezu podél profilu (tomografie). Data byla zobrazena v jednotné škále pro všechny profily. Do změřených dat byla během procesu zpracování zavedena topografie, převzatá z Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G, ČÚZK). Výsledné profily byly interpretovány na základě dat získaných dalšími metodami a hmotných vzorků zajištěných vrtným průzkumem.

2.2 Mělká refrakční seismika (MRS)

Mělká refrakční seismika byla měřena na 11 příčných a 6 podélných profilech 24-kanálovou aparaturou Geode (Geometrics, Inc.). Pro registrování příchozích P-vln byly použity geofony s vlastní frekvencí 10 Hz. Jako zdroj seismické energie bylo použito 8-kg seismické kladivo a vertikální údery do kovové destičky. Spínání elektrického obvodu o kovovou destičku sloužilo zároveň jako signál (tzv. *trigger*) pro spuštění seismického záznamu. Za účelem zlepšení poměru signál/šum (SNR, *signal-to-noise ratio*) byly údery na jednotlivých bodech sumovány. Délky profilů a rozestupy snímačů byly voleny s ohledem na efektivní pokrytí zadaných profilů a detailní rozlišení. Informace jsou rozepsány v následující tabulce 1.

Tab. 2: Vybrané parametry seismických profilů

Označení profilu	Délka	Rozestup geofonů
P-A	92	4
P-B	92	4
P-C	63	3
P-D	92	4
P-E	92	4
P-F	92	4
P-G	92	4
P-H	92	4
P-I	92	4
P-J	92	4
P-K	92	4
P1	184	3
P2	92	3
P3	184	3
P4	92	3
P5	320	4
P6	320	4

Změřená data byla zpracována v programovém balíku SeisImager (Geometrics, Inc. / OYO Corporation) standardní metodikou, tzn. (i) odečtením tzv. časů příchodu P-vln ("first arrivals" nebo "first breaks") v programu SeisImager - Pickwin, včetně (ii) kontroly tzv. časů vzájemnosti ("reciprocal travel times") v programu SeisImager - Plotrefa, a následným (iii) výpočtem rychlostního modelu, tzv. seismickou tomografií z povrchu („Wavepath Eikonal Traveltime tomography“) opět v programu SeisImager - Plotrefa. Výsledkem zpracování jsou 2D rychlostní řezy, udávající změny rozložení rychlostí šíření seismických vln s hloubkou podél profilu. Do změřených dat byla během procesu zpracování zavedena topografie, převzatá z Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G, ČÚZK). Výsledné profily byly interpretovány na základě dat získaných dalšími metodami a hmotných vzorků zajištěných vrtným průzkumem.

2.3 Vertikální elektrické sondování (VES)

Měření metodou VES bylo realizováno na 102 bodech pomocí aparatury ARES I a dvou párů měřících elektrod. Pro měření bylo využito Schlumbergerova uspořádání

elektrod. V tomto uspořádání je proud zaváděn do zkoumaného prostředí dvěma proudovými elektrodami a zároveň je na dvou potenčních elektrodách měřeno napětí. Měřicí parametry jednotlivých bodů byly voleny za účelem dosažení požadovaných hloubek průzkumu. Data byla zpracována v programu VesInterp jako model zobrazující distribuci měrného odporu směrem do hloubky v daném měřícím bodě. Data byla zobrazena v jednotné škále pro všechny profily. Naměřené výsledky byly korelovány s výsledky vrtného průzkumu.

2.4 Korozní průzkum

Pro účely projektování budoucí ochrany stavebního objektu před účinky bludných proudů byl na dotčeném pozemku realizován základní korozní průzkum na 10 bodech. Terénní práce sestávaly z měření mezielektrodových potenciálů (tzv. měření bludných proudů) a zjišťování zdánlivého měrného odporu horninového prostředí, kterým se zmíněné bludné proudy šíří. Detailní popis provedení korozního průzkumu je uveden v příloze 4.

2.4.1 Měření zdánlivého měrného odporu hornin/zemin

Měření zdánlivého měrného odporu prostředí (hornin, zemin) bylo provedeno v souladu s ČSN 03 8363 („Měření zdánlivého měrného odporu půdy Wennerovou metodou“) čtyř-elektrodovou metodou s Wennerovým uspořádáním elektrod A-M-N-B, pro které je typické, že vzdálenost sousedních elektrod „a“ je vždy stejná ($AM=MN=NB$). Na obou stanovištích pro zjišťování hustoty bludných proudů (KB1 a KB2) byla provedena odporová měření s rozstupem elektrod $A_{1,6}M_{1,6}N_{1,6}B$, $A_{4,8}M_{4,8}N_{4,8}B$, $A_{6,6}M_{6,6}N_{6,6}B$ a $A_{10,6}M_{10,6}N_{10,6}B$, přičemž koeficienty (cifry) mezi písmeny znamenají vzdálenost mezi jednotlivými elektrodami v metrech. Konfigurace se liší v hloubkovém dosahu měření (přibližně 1,2 m v případě $a = 1,6$ m, přibližně 3,6 m pro $a = 4,8$ m, přibližně 5,0 m pro $a = 6,6$ m, přibližně 8,0 m pro $a = 10,6$ m). Hodnoty změřeného zdánlivého měrného odporu byly, v souladu s normou ČSN 03 8363, opraveny o roční změny zdánlivého měrného odporu, přičemž přepočítávací koeficient pro měsíc leden dosahuje hodnoty 0,8. Výsledky odporových měření v zájmovém území byly kvantitativně zpracovány a vyhodnoceny. Podle měřených odporů je možné prostředí klasifikovat stupněm agresivity, tak jak znázorňuje tabulka 2.1.1.

Zpracování a vizualizace výsledků měření proběhlo v programovém prostředí MS Excel (Microsoft), Grapher (Golden Software) a CorelDraw. Měření bylo provedeno za pomoci geoelektrické aparatury ARES II (GF Instruments, Brno). Výstupní výkon vestavěného zdroje je na svorkách AB až 850 W, napětí 2000 V_{p-p}, vstupní impedance 20 MΩ, výstupní proud až 5 A.

Tabulka 2.1.1: Agresivita půd na ocel (podle ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“) – agresivita prostředí podle zdánlivého měrného odporu

Agresivita prostředí	Zdánlivý měrný odpor prostředí [Ω m]
Velmi nízká	>100
Střední	50 – 100
Zvýšená	23 – 50
Velmi vysoká	<23

2.4.2 Stanovení hustoty bludných proudů

Přítomnost bludných proudů byla na zvolených stanovištích zjišťována podle ČSN 03 8365 „Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi“. Na studovaném pozemku byla v jeho jižní a střední části zvolena dvě stanoviště (KB1 a KB2), na nichž bylo provedeno měření rozdílu potenciálů mezi měděnými nepolarizovatelnými elektrodami (naplněnými přesyceným roztokem pentahydrátu síranu měďnatého $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, tzv. modrou skalicí) vzdálenými od sebe 10 m, a to standardně ve dvou na sebe kolmých směrech orientovaných ve směrech sever – jih a východ – západ (obr. 2). Doba měření v každém směru činila 30 minut (na každém bodě). Měřené hodnoty napětí byly zaznamenávány každých 15 sekund, celkem tak bylo pro každý měřený směr zaznamenáno 120 hodnot. Na základě naměřených hodnot mezi-elektrodoých potenciálů a zjištěných zdánlivých měrných odporů horninového prostředí byla vypočtena hustota proudů v půdě a pomocí tabulek 2.2.1 a 2.2.2 bylo zájmové území klasifikováno stupněm agresivity (dle ČSN 03 8375), nebo specifikováno stupněm ochranných opatření (TP 124).

K měření byl použit digitální multimetr UNI-T UT71E (s maximálním rozlišením 0,01 mV a přesností 0.025% VDC) a dvojice referenčních elektrod zhotovených dle (dnes již zrušené) původní normy ČSN 03 8362 „Měděná referenční elektroda k měření potenciálu podzemní kovová konstrukce – půda“ (aktuálně zahrnuto v normě ČSN EN 13509 (038360) Měřicí postupy v katodické ochraně).

Tabulka 2.2.1: Agresivita půd na ocel (podle ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“) – agresivita prostředí podle hustoty proudů v půdě

Agresivita prostředí	Hustota proudu v půdě [mA/m ²]
Velmi nízká	<0,0004
Střední	0,0004 – 0,003
Zvýšená	0,003 – 0,1
Velmi vysoká	>0,1

Tabulka 2.2.2: Stupně základních pasivních ochranných opatření pro omezení vlivu bludných proudů (podle TP 124 „Základní ochranná opatření...“)

Základní ochranná opatření, stupeň č.	Hustota proudu v půdě [mA/m ²]
1	<0,0001
2	0,0001 – 0,003
3	0,003 – 0,1
4	0,1 >3,0
5	>3,0

2.5 Karotážní měření

Karotážní měření byla provedena firmou SG Geotechnika a.s. ve vrtech HV117, HV121, INK116, INK118, INK119 a J122. Karotážní mělo proběhnout i na vrtu J120, který byl zničen vandaly. Jejich cílem bylo ověření litologických profilů vrtů, zhodnocení míry porušení hornin, detekce puklin a objasnění režimu proudění

podzemní vody v hydrogeologických vrtech. Pro tyto účely byla provedena gama karotáž, neutron neutron karotáž, gama gama karotáž v hustotní modifikaci, elektrokarotáž, akustická karotáž, akustické skenování a inklinometrie. Pro objasnění hydrogeologických poměrů provedeno měření fyzikálně-chemických parametrů vody a resistivimetrie. Princip jednotlivých metod podobně jako výsledky jsou rozepsány v příloze 3.

Data získaná za pomoci akustického skenování byla v programu Statect vynesena jako oblouky a pro čitelnost přepočtena do podoby konturového diagramu.

3. Výsledky a interpretace geofyzikálního průzkumu

3.1 ERT, MRS a VES

Grafické podklady pro následující odstavce jsou znázorněny v příloze 2. Pro lepší hloubkový dosah v oblasti zastávky Říčanská byly pro ERT měření spojeny profily P1 a P3, respektive P2 a P4 do profilů P1-3 a P2-4.

3.1.1 Profil P1-3

Profil realizovaný po okraji severním okraji strže dokumentuje distribuci odporů v směru východ – západ. Na metrážích 0 – 128 je na povrchu patrná zóna zvýšených odporů související se suchými eluviálními zeminami charakteru štěrku. Na metráži cca 140 – 160 je zóna, kudy prochází silnice spolu s inženýrskými sítěmi. Silnice samotná se projevuje jako zóna zvýšených odporů vzhledem k prachovitým a jílovitým štěrům. V této oblasti je také předpokládán poklesový zlom. Směrem od západu je patrné nasedání terciérních pánevních sedimentů s nízkými odpory na variské podloží v mocnosti až téměř 20 m. Zvýšené odpory značené zelenou barvou v přípovrchové oblasti ukazují na přítomnost suchých kvartérních prachů. Anomálie nízkých odporů pod oblastí silnice zřejmě souvisí s nutností vynechat několik měřících elektrod, aby mohl být zachován provoz.

Seismický profil P1 ukazuje na subhorizontální průběh vrstev s výjimkou metráže 160 – 170, kde indikován prohyb podložní vrstvy s nevyjvyššími seismickými rychlostmi odpovídající zřejmě paleokorytu. Profil P3 pak ukazuje na postupné zlepšování mechanických vlastností zemin směrem do podloží související s nárůstem seismických rychlostí, skalní podloží se v oblasti nachází v hloubce přibližně 18 m. Ve střední části řezu jsou mírně indikovány možné 2 poklesové zlomy.

3.1.2 Profil P2-4

Profil realizovaný po okraji jižním okraji a od metráže 256 po dně strže dokumentuje distribuci odporů v směru východ – západ. Na metrážích 0 – 128 je na povrchu patrná zóna zvýšených odporů související se suchými eluviálními zeminami charakteru štěrku. Na metráži cca 140 – 160 je zóna, kudy prochází silnice spolu s inženýrskými sítěmi. Silnice samotná se projevuje jako zóna zvýšených odporů vzhledem k prachovitým a jílovitým štěrům v okolí. V této oblasti je také předpokládán poklesový zlom. Na rozdíl od severního profilu zde

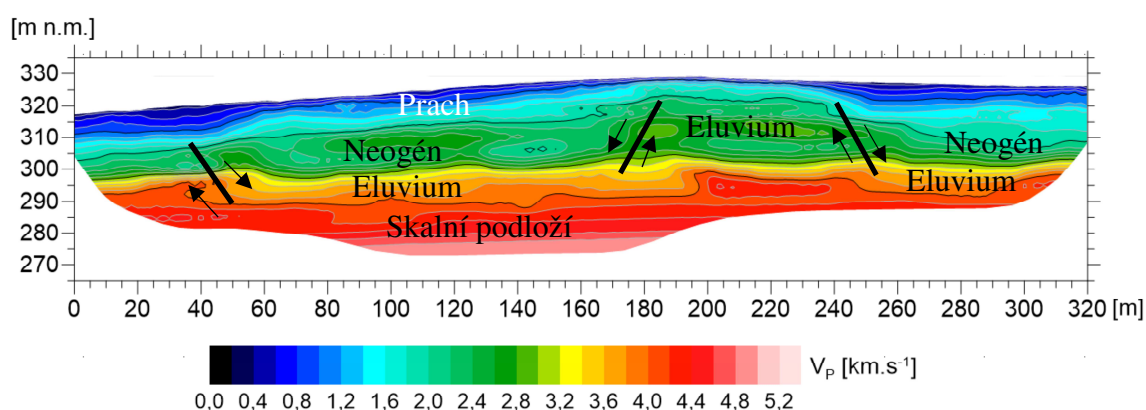
šterky eluviální šterky sahají až na metráž 250, kde profil sestoupil na dno strže a detekoval v přípovrchových partiích vodivé terciérních pánevních sedimentů nasedající na variské podloží v mocnosti až téměř 20 m. Anomálie nízkých odporů pod oblastí silnice zřejmě souvisí s nutností vynechat několik měřících elektrod, aby mohl být zachován provoz.

Seismický profil P2 podobně jako elektrický profil indikuje od metráže 140 dále výplně marinní pánve, přibližně 15 m mocnou. Profil P4 pak ukazuje na postupné zlepšování mechanických vlastností zemin směrem do podloží související s nárůstem seismických rychlostí, skalní podloží se v oblasti nachází v hloubce přibližně 18 m. Ve střední části řezu jsou mírně indikovány možné 2 poklesové zlomy.

3.1.3 Profil P5

Profil zobrazuje distribuci měrných odporů ve směru východ západ v oblasti trati vedoucí podél silničního zářezu ulice Vejrostova. Modře značená zóna snížených odporů na krajích marinním jílovitým sedimentům. V jejich podloží se nacházejí granitoidní horniny se subhorizontálním reliéfem, jejichž zvětralinou mezi metrážemi cca 150 až 260 vystupují k povrchu v důsledku vyzdvižení podložní kry v této sekci.

Seismický profil P5 indikuje 3 poklesové zlomové oblasti na metrážích přibližně 50, 190 a 260. Výškový skok na zlomech je odhadován na přibližně 10 m.



Obrázek 1: Příklad vyhodnocení MRS profilu

3.1.4 Profil P6

Profil zobrazuje distribuci měrných odporů ve směru východ západ v oblasti trati vedoucí podél silničního zářezu ulice Vejrostova. Profil byl veden rovnoběžně s profilem P5 ve vzdálenosti přibližně 50 m směrem na jih.

Zóna zvýšených odporů na metrážích od cca 310 do konce profilu souvisí se silničním náspem na ulici Teyschelova.

Seismický profil P6 indikuje 3 poklesové zlomové oblasti na metrážích přibližně 110, 180 a 260. V oblasti mezi metrážemi 0 až 200 je patrný pokles seismických

rychlostí v hloubkách kolem 40 m, což je zřejmě důsledek změny v kvalitě horniny. To by mohlo být způsobeno střídající se litologií případně tektonickým narušením.

3.1.5 Profil P-A

Na profilu P-A je patrný poklesový zlom, který definuje jižní svah strže na přibližně 40. V podloží se na této metrži v hloubce od cca 15 m vyskytuje granitoidní těleso indikované odporovým maximem a zvýšenou seismickou rychlostí. Na profilu je také patrná jemnozrnná výplň terciární marinní pánve, která kryje paleozoické horniny, indikovaná odporovým minimem a nízkými seismickými rychlostmi. Terciární zeminy jsou překryty přibližně 10 m kvartérních sedimentů, které se vyznačují střední vodivostí a minimální seismickou rychlostí.

3.1.6 Profil P-B

Odporový profil P-B indikuje na metrži 40 – 48 dva zlomy, podél kterých byl definována strž. Na jižní straně jsou v podloží indikovány vysokými odpory granitoidní horniny, na které nasedají prachovito-štěrkovité zeminy. Na severní straně jsou v povrchových partiích patrné zeminy prachovito-jílovité vyznačující se nízkými odpory, pod kterými jsou dokumentovány neogenní zeminy marinního původu. Tomu odpovídají nižší zaznamenané seismické rychlosti v hloubkách mezi 15. – 30. metrem na severní straně.

3.1.7 Profil P-C

Odporový profil P-C dokumentuje na metrži 20 poklesový zlom, podél kterého byla formována strž. Na straně severní jsou dokumentovány kvartérní eolické a deluviální a terciární jílovito-prachovité zeminy vyznačené nízkými a středními odpory. Na jižní straně rokle se nacházejí eluviální štěrky. Metoda MRS indikuje pevné skalní podloží v hloubce kolem 25 m.

3.1.8 Profil P-D

Odporový profil indikuje přibližně 15 m mocnou zónu s vyšší vodivostí při povrchu v porovnání s podložím, což odpovídá výsledkům vrtného průzkumu, který v této oblasti dokumentoval přibližně 15 m mocný zvětralinový pokryv tvořený eluviálními zeminami derivovanými z granodioritu. Seismický profil indikuje mírně nehomogenní nárůst rychlostí směrem do podloží podél měřicí linie, což by mohlo odpovídat různému stupni tektonického porušení.

3.1.9 Profil P-E

Odporový profil indikuje přibližně 12 m mocnou zónu s vyšší vodivostí při povrchu v porovnání s podložím, což odpovídá výsledkům vrtného průzkumu, který v této oblasti dokumentoval přibližně 13 až 15 m mocný zvětralinový pokryv tvořený eluviálními zeminami derivovanými z granodioritu. Seismický profil indikuje mírně nehomogenní nárůst rychlostí směrem do podloží podél měřicí linie, což by mohlo odpovídat různému stupni tektonického porušení.

3.1.10 Profil P-F

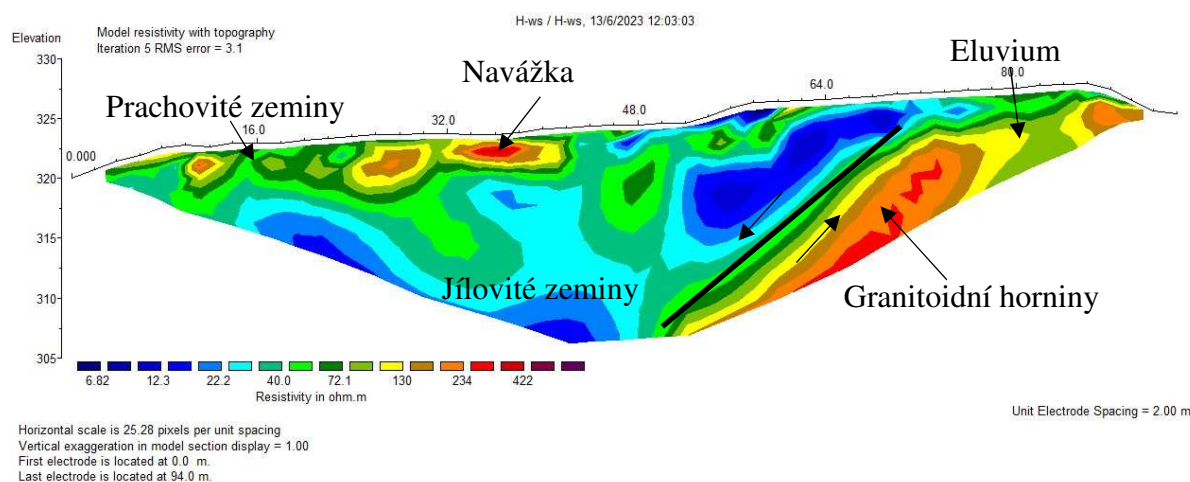
Odporový profil indikuje přibližně 15 m mocnou zónu s vyšší vodivostí při povrchu v porovnání s podložím, což odpovídá výsledkům vrtného průzkumu, který v této oblasti dokumentoval přibližně 15 m mocný zvětralinový pokryv tvořený eluviálními zeminami derivovanými z granodioritu. Seismický profil indikuje mírně nehomogenní nárůst rychlostí směrem do podloží podél měřící linie, což by mohlo odpovídat různému stupni tektonického porušení.

3.1.11 Profil P-G

Profil P-G dokumentuje průběh a mocnost jílovito-prachovitých kvartérních zemin a podložních neogenních jíů, které dosahují mocnosti kolem 14 m. Skalní podloží se tedy na této lokalitě vyskytuje přibližně 25 m hluboko. Odporová maxima na povrchu jsou způsobena probíhající kanalizačním potrubím a silnicí.

3.1.12 Profil P-H

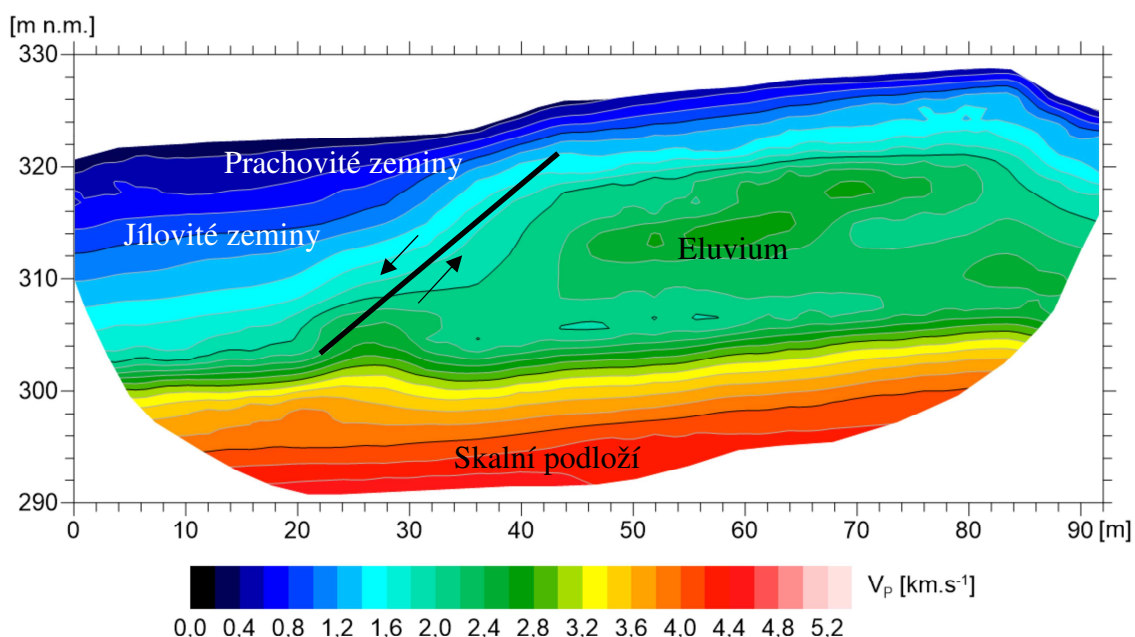
ERT i MRS profily ukazují na přítomnost poklesového zlomu na metráži přibližně 65, v tomto místě jsou indikovány jílovité sedimenty s vysokou vodivostí a nízkou seismickou rychlostí. Jejich mocnost lze odhadnout na přibližně 18 m. Dále s rostoucí metráží jsou indikovány méně pevné nevodivé metamorfované horniny, dle vrtného průzkumu se jedná o zvětralé ruly a amfibolity. Směrem do podloží pevnost hornin roste. Situace je vykreslena na následujícím obrázku.



Obrázek 2: Příklad vyhodnocení MRS profilu

3.1.13 Profil P-I

ERT i MRS profily ukazují na přítomnost poklesového zlomu na metráži přibližně 35, v tomto místě jsou indikovány jílovité sedimenty s vysokou vodivostí a nízkou seismickou rychlostí. Jejich mocnost lze odhadnout na přibližně 18 m. Dále s rostoucí metráží jsou indikovány méně pevné nevodivé metamorfované horniny, dle vrtného průzkumu se jedná o zvětralé ruly a amfibolity. Směrem do podloží pevnost hornin roste. Situace je vykreslena na následujícím obrázku.



Obrázek 3: Příklad vyhodnocení MRS profilu

3.1.14 Profil P-J

Seismický profil zobrazuje průběh prachovitých zemin při povrchu terénu a mocnost eluviálního štěrku tvořeného migmatity, která činí přibližně 20 m. Pevné skalní podloží se pak zřejmě v oblasti vyskytuje v hloubkách okolo 25 m.

3.1.15 Profil P-K

Profil ukazuje relativně homogenní prostředí tvořené jílovito-prachovitými zeminami. Jílovité podloží tvořené terciárními sedimenty se nachází v hloubce přibližně 12 m a jeho povrch svažuje směrem na západ.

Zóna zvýšených odporů na metrů 14 – 24 zřejmě souvisí s odvodněním svahu okolo budovy trafostanice.

3.2 Korozní průzkum

Přesné výsledky korozního průzkumu jsou uvedeny v příloze 4. Na základě naměřených dat byla vypočtena hustota proudů v půdě, dle které bylo zájmové území klasifikováno stupněm agresivity (dle ČSN 03 8375) a specifickým stupněm ochranných opatření (TP 124). Na základě znění zmíněných norem lze prostředí klasifikovat jako kategorii III - prostřední se střední až zvýšenou agresivitou. V bezprostřední blízkosti elektrizované trati je prostředí dle TP 124 hodnoceno jako kategorie IV - prostředí s velmi vysokou agresivitou. Agresivita prostředí vzhledem k výskytu bludných proudů zjištěna na Ve smyslu směrnice TP 124 je nutné přijmout základní ochranná opatření 4. stupně.

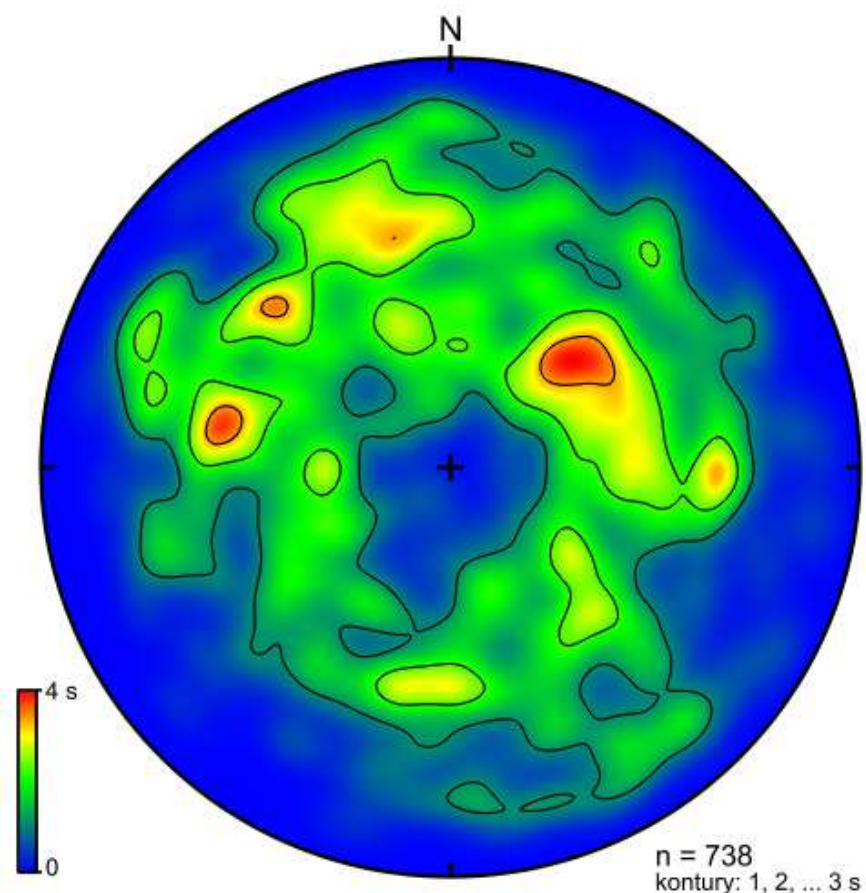
Výztuže bude nutné svařovat bodovými svary, které budou zabráňovat vznik koroze přechodem mezi výztužemi. Při navařování zemničů je nutné použít svary

min. 2x50mm. Pro mostní závěry je nutné dodat výrobky s osvědčením, že elektrický izolační odpor dodaného mostního závěru je větší než 5 k Ω (5.4.9). Primární ochrana by měla být krystalizační ochrana materiálem XYPEX (zabraňující průniku vody do betonu = zvyšuje vodotěsnost), provaření ocelové výztuže, krytí min. 50 mm a 100 mm od dna vrtu (pro piloty). Umístit kontrolní měřicí vývody (nerezová deska s přivařenou černou výztuží). Pokud (sekundární ochrana) nebude projektovaná hydroizolace, bude nutné betonové konstrukce natřít 3x asfaltovým lakem např. ALP M (PARAMO). Pro mostní objekty je nutné vyloučení trhlin větších než 0,2 mm (TP 124 č. 4.3.2.1). Použití vodotěsných izolací proti zemní vlhkosti. Nedoporučuje se projektovat konstrukce z předpjatého betonu. V návrhu uzemnění bude nutná spolupráce mezi projektantem uzemnění a mostářem a geotechnikem projektujícím tunel a opěrné zdi a kotvy. Umístění bude korigovat mostář. Bude nutné vybudovat základové zemniče Vnější uzemňovací obvody zdvojený pásek 2 x FeZn 30x4 mm a v protilehlých jímkách (4) zkušební větve o délce 5 až 10m. Při rozpojení lze měřit stav ohrožení a intenzity bludných proudů (ČSN 03 8350). Všechny zemničí obvody propojit (optimálně zakruhovat). Spojení provádět nad zemí dle (ČSN 33 2050).

3.3 Karotážní průzkum

Pomocí karotážních měření byla upřesněna litologická stavba a míra porušení hornin. Akustický skener detekoval a zaměřil přes 700 diskontinuit. Karotážní data také poskytla informace o přirozené radioaktivitě prostředí, která nedosahuje zvýšených hodnot. Přesné výsledky jsou součástí přílohy 3 této zprávy.

Na získaném konturovém diagramu je patrných několik hlavních směrů porušení horninového masivu studované oblasti. Nejvýraznější maximum ve směru SSV-JJZ odpovídá porušení během terciérních tektonických procesů. Další směry pak představují starší deformace z variského období.



Obrázek 4: Konturový diagram znázorňující orientaci puklin v měřených vrtech.

4. Závěr

Geofyzikální průzkum realizovaný na konci jara a začátku léta roku 2023 v podobě přibližně 2 km ERT a MRS profilů, 102 bodů VES, karotážního měření v šesti vrtech a korozního průzkumu přinesl řadu poznatků. Získaná data vzájemně i s vrtným průzkumem dobře korelují. Význam spočívá především v ujasnění litologické stavby, tektonických poměrů, proudění podzemních vod v oblasti tunelu a radioaktivitě hornin. Výstupy a interpretace geofyzikálního průzkumu byly promítnuty do geologických řezů.

Výsledky korozního průzkumu ukazují na nutnost opatření 3. stupně, avšak ve smyslu směrnice TP 124 je pro elektrifikovanou trať nutné přijmout základní ochranná opatření 4. stupně.

V Brně dne 19. 11. 2023

Vyhotovili: Mgr. Zbyněk Fojt a RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.

Odborný řešitel: RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.

odborná způsobilost v geofyzice 2560/2021

PŘÍLOHY: