

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



Příloha 4 Korozní průzkum

Technická zpráva

2023

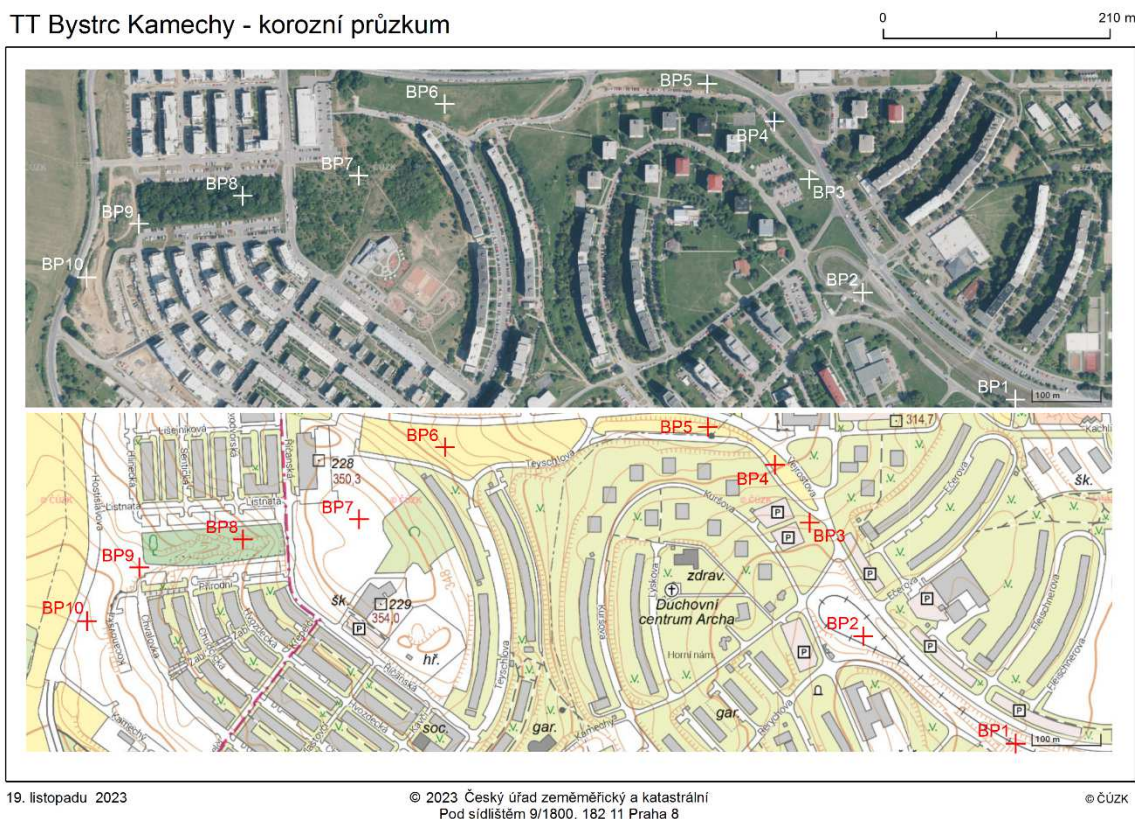
1. Úvod

Stanovení agresivity prostředí pro potřeby protikorozní ochrany podle níže uvedených norem bylo na lokalitách Brno – Bystrc a Brno – Kamechy provedeno ve dnech 13. – 15. 6. 2023 geofyzikální skupinou firmy Projekce iGEO s.r.o. Terénní měření poskytlo informace o rozložení hodnot zdánlivého měrného odporu prostředí a velikosti vektoru a směru šíření bludných proudů v hodnoceném území. Měření bylo provedeno v souladu s normami ČSN EN 13509 (038360) „Měřicí postupy v katodické ochraně“ (dříve dle ČSN 03 8362 „Měděná referenční elektroda k měření potenciálu podzemní kovová konstrukce – půda“), ČSN 03 8363 „Měření zdánlivého měrného odporu půdy Wennerovou metodou“ a ČSN 03 8365 „Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi“. Vyhodnocení měření bylo provedeno dle normy ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ a také s přihlédnutím k Technickým podmínkám Ministerstva dopravy a spojů ČR – TP 124 „Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“.

Proudová hustota bludných proudů byla – dle zadání – zjišťována na celkem 10 stanovištích – měřicích bodech korozního průzkumu (označených jako BP1 – BP10). Jejich umístění (obr. 1) vycházelo ze zadání průzkumu. Prostorově nebylo měření limitováno a umožnilo stanovení zdánlivého měrného odporu prostředí do max. hloubky cca 5 m. Tato hloubka je pro stanovení agresivity prostředí pro účely zakládání povětšinou dostačující. Měřicí body byly situovány tak, aby bylo možné měřit bludné proudy s roztečí nepolarizovatelných elektrod alespoň 10 m ve dvou kolmých směrech.

Měření hodnot zdánlivého měrného odporu bylo provedeno rovněž ve dvou kolmých směrech se středem ve stanovišti zjišťování bludných proudů. Geofyzikální měření bylo realizováno převážně na nezastavěném terénu (louky, dno strže, stavební pláň), ale v bezprostřední blízkosti budov, chodníků, silnice a inženýrských sítí. Dle norem (ČSN 03 8363 a ČSN 03 8365) byly nicméně splněny požadavky na minimální prostorové dispozice, potřebné pro samotné měření. Měření proběhlo za teploty vzduchu cca 18 – 22 °C, po dešti, nicméně ne bezprostředně po něm (tedy za příznivých vodivostních podmínek), převážně kvarterním pokryvu, tvořeném sprašemi, sprašovými hlínami či svahovinami.

TT Bystrc Kamechy - korozní průzkum



Obr. 1: Situace korozního průzkumu – měření agresivity prostředí v ose plánovaného prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy na podkladu ortofotosnímku (nahore) a ZM10 (dole). Na deseti bodech korozního průzkumu bylo zjišťováno rozložení zdánlivého měrného odporu hornin a zároveň byla stanovována hustota bludných proudů.

2. Geologické poměry

Geologické poměry jsou podrobně rozepsány v hlavní zprávě, zde tedy jen ve stručnosti. Fundament oblasti je tvořen horninami českého masivu, jedná se o magmatické a metamorfované horniny. Skalní podloží je kryto jílovitými sedimenty neogenního moře. Kvartérní pokryv lokality je tvořen sprašemi, sprašovými hlínami, fluviálními a diluviálními sedimenty.

3. Metodika geofyzikálních prací

Pro účely projektování budoucí ochrany tramvajové trati TT Bystrc – Kamechy a souvisejících objektů (staveb) před účinky bludných proudů byl na předem určených místech realizován základní korozní průzkum. Terénní práce zahrnovaly měření mezi-elektrodoých potenciálů (tzv. měření bludných proudů) a zjišťování zdánlivého měrného odporu horninového prostředí, kterým se bludné proudy šíří.

3.1 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 stanovišti pro zjišťování hustoty bludných proudů (BP1) byla provedena odporová měření s rozstupem elektrod $A_{1,6}M_{1,6}N_{1,6}B$ a $A_{4,8}M_{4,8}N_{4,8}B$, 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 a přibližně 3,6 m pro $a = 4,8$ 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 červen dosahuje hodnoty 1,3. Výsledky odporových měření v zájmovém území byly kvantitativně zpracovány a vyhodnoceny. Podle měřených odporů je možné prostředí klasifikovat stupněm agresivity, tak jak znázorňuje tabulka 3.1.1.

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 3.1.1: 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 [Ωm]
Velmi nízká	>100
Střední	50 – 100
Zvýšená	23 – 50
Velmi vysoká	<23

3.2 Stanovení hustoty bludných proudů

Přítomnost bludných proudů byla na zvoleném stanovišti zjišťována podle ČSN 03 8365 „Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi“. Ve studovaném území bylo zvoleno 10 stanovišť – bodů korozního průzkumu (BP1 – BP10), na nichž bylo provedeno měření rozdílů potenciálů mezi měděnými nepolarizovatelnými elektrodami (naplněnými přesyceným roztokem pentahydrátu síranu měďnatého $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, tzv. modrou skalicí) vzdálenými od sebe 10 m, a to standardně ve dvou na sebe kolmých směrech orientovaných ve směrech S – J a V – Z. Doba měření v každém směru činila 30 minut. Měřené hodnoty napětí byly zaznamenávány každých 15 sekund, celkem tak bylo pro každý měřený směr zaznamenáno 120 hodnot. Na základě naměřených hodnot mezi-elektrodových potenciálů a zjištěných zdánlivých měrných odporů horninového prostředí byla vypočtena hustota proudů v půdě a pomocí tabulek 3.2.1 a 3.2.2 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 3.2.1: 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 3.2.2: 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

4. Výsledky měření a jejich vyhodnocení

Sběr dat na stanovištích BP1 – BP10 probíhal ve směrech S – J a Z – V s periodou odečtu 15 s. Data byla v každém směru registrována celkem 30 minut. V průběhu měření byly registrovány následující rozsahy hodnot potenciálů ΔU : **BP1:** měření S – J v rozsahu -6,14 až -4,13 mV, měření Z – V v rozsahu -4,58 až -2,27 mV; **BP2:** měření S – J v rozsahu -14,24 až -9,61 mV, měření Z – V v rozsahu -8,55 až -4,25 mV; **BP3:** měření S – J v rozsahu 2,33 až 11,52 mV, měření Z – V v rozsahu -36,32 až -2,26 mV; **BP4:** měření S – J v rozsahu -11,92 až -2,64 mV, měření Z – V v rozsahu -9,99 až -2,41 mV; **BP5:** měření S – J v rozsahu 8,89 až 38,80 mV, měření Z – V v rozsahu -23,10 až -8,67 mV; **BP6:** měření S – J v rozsahu 4,21 až 19,12 mV, měření Z – V v rozsahu 1,89 až 10,80 mV; **BP7:** měření S – J v rozsahu -9,52 až -1,43 mV, měření Z – V v rozsahu 1,54 až 12,43 mV; **BP8:** měření S – J v rozsahu -15,48 až -4,15 mV, měření Z – V v rozsahu 3,62 až 14,21 mV; **BP9:** měření S – J v rozsahu 2,36 až 14,11 mV, měření Z – V v rozsahu 6,15 až 17,26 mV; **BP10:** měření S – J v rozsahu -15,55 až -5,09 mV, měření Z – V v rozsahu 9,18 až 26,23 mV.

I přes určitou rozkolísanost hodnot měřených potenciálů ΔU a u některých měření širší interval variačního rozpětí jsou měřená data jako celek poměrně konzistentní a oscilují podél určité střední hodnoty, či trendu. Větší rozsah měřených hodnot vykazují zejména stanoviště BP3 a BP4. Vysvětlením může být relativně malá vzdálenost (cca 100 m u BP3 a 205 m u BP4) od stávající tramvajové trati, respektive od její smyčky na konečné ve stanici Ečeřova. Měření probíhalo během běžného provozu na trati a i přestože byla případná odlehlá data odstraněna, tak datový soubor jako celek vykazuje u bodů BP3 a BP4 značně vyšší rozkolísanost, než u zbylých bodů korozního průzkumu, a to včetně stanovišť BP1 a BP2, které se nacházejí přímo v rámci stávající tramvajové trati. Tyto dvě stanoviště byly nicméně měřeny mimo aktivní tramvajový provoz cca mezi 12.00 a 2:30 v noci. Oba body vykazují naopak menší rozptyl hodnot.

Tento fakt poměrně jednoznačně poukazuje na to, že samotný provoz na tramvajové trati může velice významně ovlivňovat geologické prostředí z hlediska hustoty bludných proudů a tedy i intenzity negativních korozivních procesů. **Při posuzování výsledků je tedy potřeba uvažovat fakt, že provoz na tramvajové trati velmi pravděpodobně významně zvýší agresivitu okolního prostředí.**

Během zpracování prakticky nebylo (až na několik ojedinělých výjimek) – potřeba odstraňovat žádná odlehlá data (tzv. „outliers“), což dokládá – i přes jejich určitou rozkolísanost – jejich konzistentnost. A to i přesto, že se v rámci hodnoceného území i v jeho širším okolí nachází celá řada potenciálních zdrojů bludných proudů – vedení inženýrských sítí, včetně elektrifikace, pouličního osvětlení uzemnění, hromosvodů okolních budov, vedení VN včetně uzemňovacích pásků, kanalizace apod. Měření tak mohlo být ovlivněno těmito rušivými vlivy, o čemž svědčí i časový průběh hodnot (variací) měřených elektrických potenciálů, které vykazuje jisté rozkolísání, nicméně v rámci výše uvedených rozsahů hodnot. Nejde tedy o výrazné výkyvy (extrémy), jako spíše o obecnou rozkolísanost dat okolo střední hodnoty či trendu v rámci měřených datových souborů.

Elektrický odpor prostředí v místě měřicích stanovišť BP1 – BP10 byl zjišťován Wennerovou metodou měření zdánlivého měrného odporu. Výsledky měření se mění podle měřeného stanoviště a nelze obecně říci, že by hodnoty měrného odporu do hloubky klesaly, nebo naopak narůstaly. Situace se mění individuálně bod od bodu. Změřené hodnoty byly posléze kvantitativně interpretovány. Stanovené složky plošné hustoty bludných proudů $J_p(S-J)$, $J_p(Z-V)$ ve zjišťovaných směrech S – J a Z – V a výsledné vektory plošné hustoty bludných proudů **J_p** jsou vyneseny do vektorových diagramů na obr. 2 až 5. Další měřené a statistické hodnoty jsou shrnuty v tab. 4.1

Tab. 4.1: Vybrané měřené, výpočetní a statistické hodnoty zkoumaných veličin (E_p – Intenzita el. pole, ρ – zdánlivý měrný odpor prostředí, J_p – hustota bludných proudů v zemi), jež byly použity pro stanovení stupně agresivity prostředí ve studovaném území

		[mV/m]		[Ω m]		[Ω m]		[mA/m ²]		[mA/m ²]			[mA/m ²]
BP1	Ep1 (S-J)	-0,537	$\rho_{1.1}$ (S-J)(h1)	38,21	$\rho_{1.2}$ (S-J)(h2)	31,54	$J_{p1.1}$ (S-J)(h1)	-0,01405	$J_{p2.1}$ (S-J)(h2)	-0,01702	$J_{p.1}$ (h1)	0,00029639	0,0172
	Ep2 (Z-V)	-0,364	$\rho_{2.1}$ (Z-V)(h1)	36,58	$\rho_{2.2}$ (Z-V)(h2)	32,37	$J_{p1.2}$ (Z-V)(h1)	-0,00995	$J_{p2.2}$ (Z-V)(h2)	-0,01125	$J_{p.2}$ (h2)	0,00041612	0,0204
BP2	Ep1	-1,127	$\rho_{1.1}$	45,86	$\rho_{1.2}$	67,51	$J_{p1.1}$	-0,02458	$J_{p2.1}$	-0,01670	$J_{p.1}$	0,00078472	0,0280
	Ep2	-0,674	$\rho_{2.1}$	50,15	$\rho_{2.2}$	64,79	$J_{p1.2}$	-0,01344	$J_{p2.2}$	-0,01040	$J_{p.2}$	0,00038699	0,0197
BP3	Ep1	0,454	$\rho_{1.1}$	36,93	$\rho_{1.2}$	30,68	$J_{p1.1}$	0,01230	$J_{p2.1}$	0,01481	$J_{p.1}$	0,00263552	0,0513
	Ep2	-1,873	$\rho_{2.1}$	37,58	$\rho_{2.2}$	28,38	$J_{p1.2}$	-0,04984	$J_{p2.2}$	-0,06600	$J_{p.2}$	0,00457511	0,0676
BP4	Ep1	-0,640	$\rho_{1.1}$	44,92	$\rho_{1.2}$	20,78	$J_{p1.1}$	-0,01426	$J_{p2.1}$	-0,03082	$J_{p.1}$	0,00037824	0,0194
	Ep2	-0,545	$\rho_{2.1}$	41,23	$\rho_{2.2}$	23,31	$J_{p1.2}$	-0,01323	$J_{p2.2}$	-0,02339	$J_{p.2}$	0,00149730	0,0387
BP5	Ep1	1,896	$\rho_{1.1}$	43,12	$\rho_{1.2}$	26,88	$J_{p1.1}$	0,04396	$J_{p2.1}$	0,07052	$J_{p.1}$	0,00291342	0,0540
	Ep2	-1,449	$\rho_{2.1}$	46,25	$\rho_{2.2}$	21,82	$J_{p1.2}$	-0,03132	$J_{p2.2}$	-0,06639	$J_{p.2}$	0,00938020	0,0969
BP6	Ep1	0,974	$\rho_{1.1}$	69,73	$\rho_{1.2}$	85,88	$J_{p1.1}$	0,01396	$J_{p2.1}$	0,01134	$J_{p.1}$	0,00029119	0,0171
	Ep2	0,735	$\rho_{2.1}$	74,87	$\rho_{2.2}$	87,23	$J_{p1.2}$	0,00981	$J_{p2.2}$	0,00842	$J_{p.2}$	0,00019942	0,0141
BP7	Ep1	-0,525	$\rho_{1.1}$	94,17	$\rho_{1.2}$	123,48	$J_{p1.1}$	-0,00557	$J_{p2.1}$	-0,00425	$J_{p.1}$	0,00007192	0,0085
	Ep2	0,519	$\rho_{2.1}$	81,21	$\rho_{2.2}$	128,44	$J_{p1.2}$	0,00639	$J_{p2.2}$	0,00404	$J_{p.2}$	0,00003440	0,0059
BP8	Ep1	-1,010	$\rho_{1.1}$	82,98	$\rho_{1.2}$	47,93	$J_{p1.1}$	-0,01217	$J_{p2.1}$	-0,02107	$J_{p.1}$	0,00023257	0,0153
	Ep2	0,706	$\rho_{2.1}$	76,81	$\rho_{2.2}$	45,62	$J_{p1.2}$	0,00919	$J_{p2.2}$	0,01547	$J_{p.2}$	0,00068338	0,0261
BP9	Ep1	0,809	$\rho_{1.1}$	27,51	$\rho_{1.2}$	29,18	$J_{p1.1}$	0,02940	$J_{p2.1}$	0,02771	$J_{p.1}$	0,00444128	0,0666
	Ep2	1,563	$\rho_{2.1}$	26,13	$\rho_{2.2}$	25,64	$J_{p1.2}$	0,05981	$J_{p2.2}$	0,06095	$J_{p.2}$	0,00448323	0,0670
BP10	Ep1	-0,777	$\rho_{1.1}$	51,26	$\rho_{1.2}$	22,85	$J_{p1.1}$	-0,01515	$J_{p2.1}$	-0,03399	$J_{p.1}$	0,00119525	0,0346
	Ep2	1,347	$\rho_{2.1}$	43,35	$\rho_{2.2}$	21,48	$J_{p1.2}$	0,03107	$J_{p2.2}$	0,06271	$J_{p.2}$	0,00508851	0,0713
x.1 - konfigurace elektrod pro měření měrného odporu prostředí A1.6M1.6N1.6B - hloubka měření h1 (cca 1,2 m)													
x.2 - konfigurace elektrod pro měření měrného odporu prostředí A4.8M4.8N4.8B - hloubka měření h2 (cca 3,6 m)													

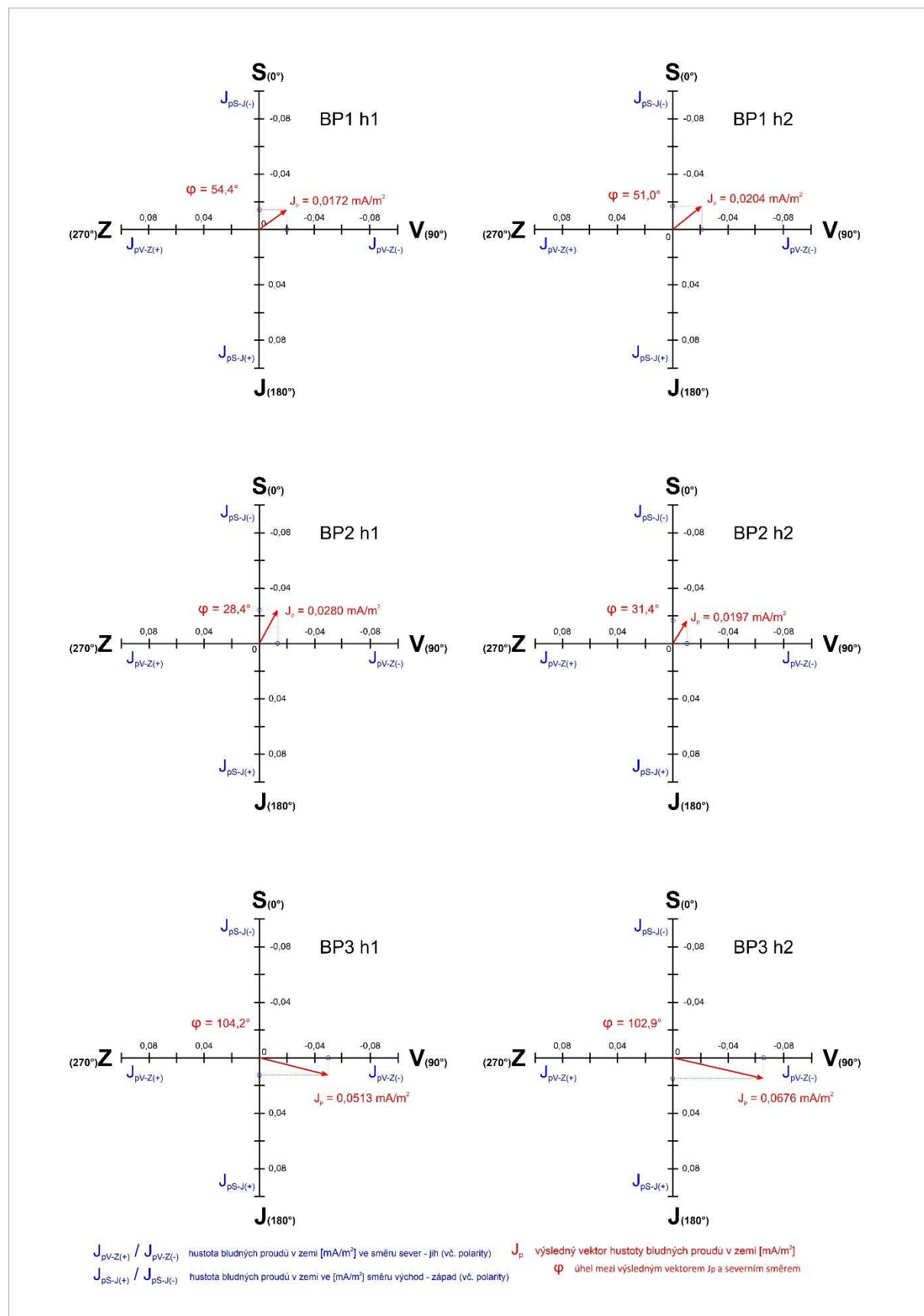
Výsledné hodnocení a klasifikace agresivity pro jednotlivé měřené body je shrnuto v tab. 4.2. Hodnocení zohledňuje jak normu ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“, tak také Technické podmínky TP 124 „Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“.

Tab. 4.2: Výsledné hodnocení agresivity prostředí v řešeném území

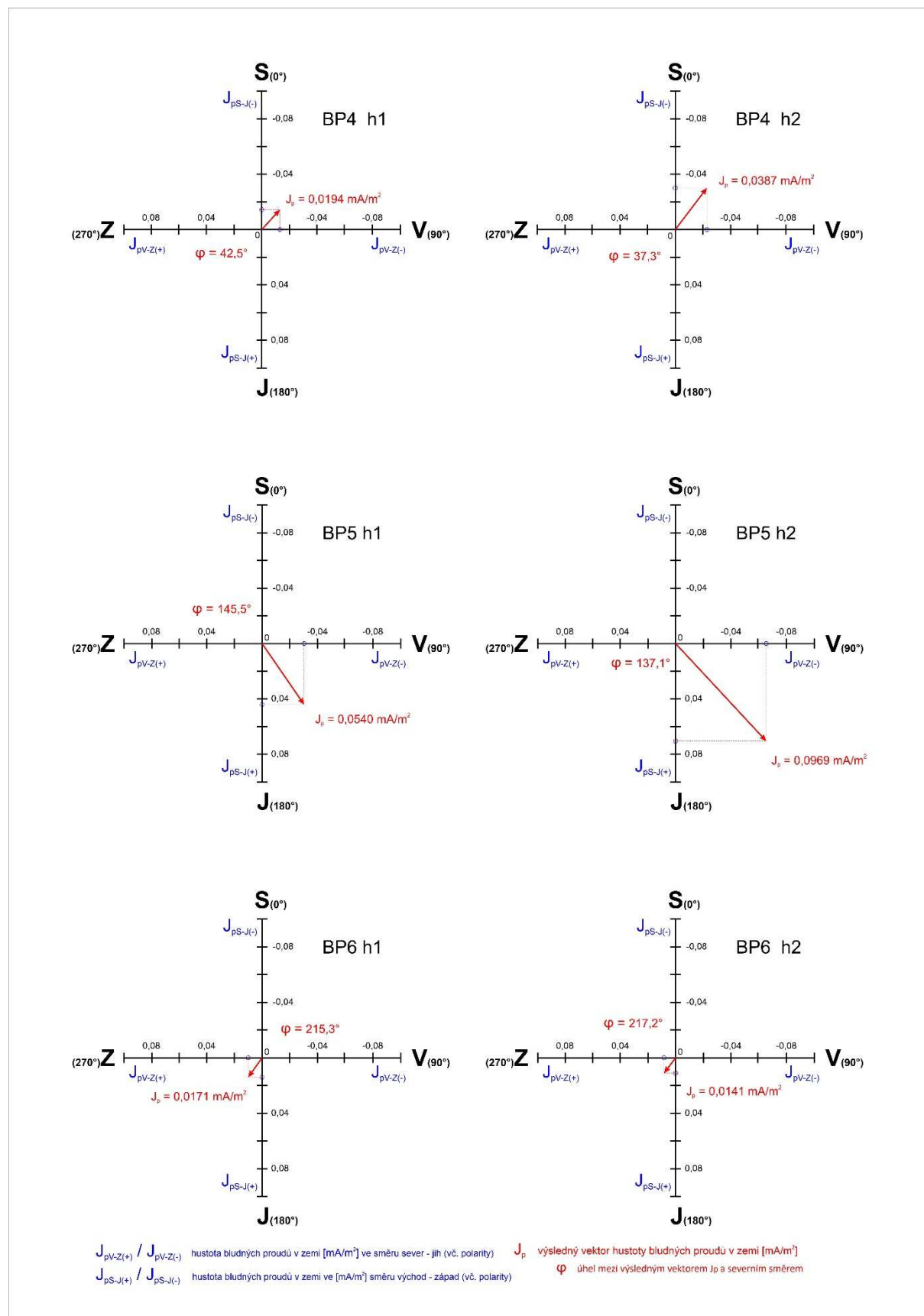
Měřicí stanoviště (bod korozního průzkumu)	Agresivita dle měrného odporu (1)	Agresivita dle hustoty blud. proudů v půdě dle ČSN 03 8375 (2)	Agresivita dle hustoty blud. proudů v půdě dle TP 124 (3)
BP1	h1, h2 = zvýšená	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP2	h1 = zvýšená h2 = střední	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP3	h1, h2 = zvýšená	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP4	h1 = zvýšená h2 = velmi vysoká	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP5	h1 = zvýšená h2 = zvýšená až velmi vysoká	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP6	h1, h2 = střední	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP7	h1 = střední h2 = velmi nízká	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP8	h1 = střední h2 = zvýšená	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP9	h1, h2 = zvýšená	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3
BP10	h1 = zvýšená h2 = velmi vysoká	h1 – h2 = zvýšená	h1 – h2 = stupeň 3

Pozn.: hloubky měření: h1~1,2 m / h2~3,6 m

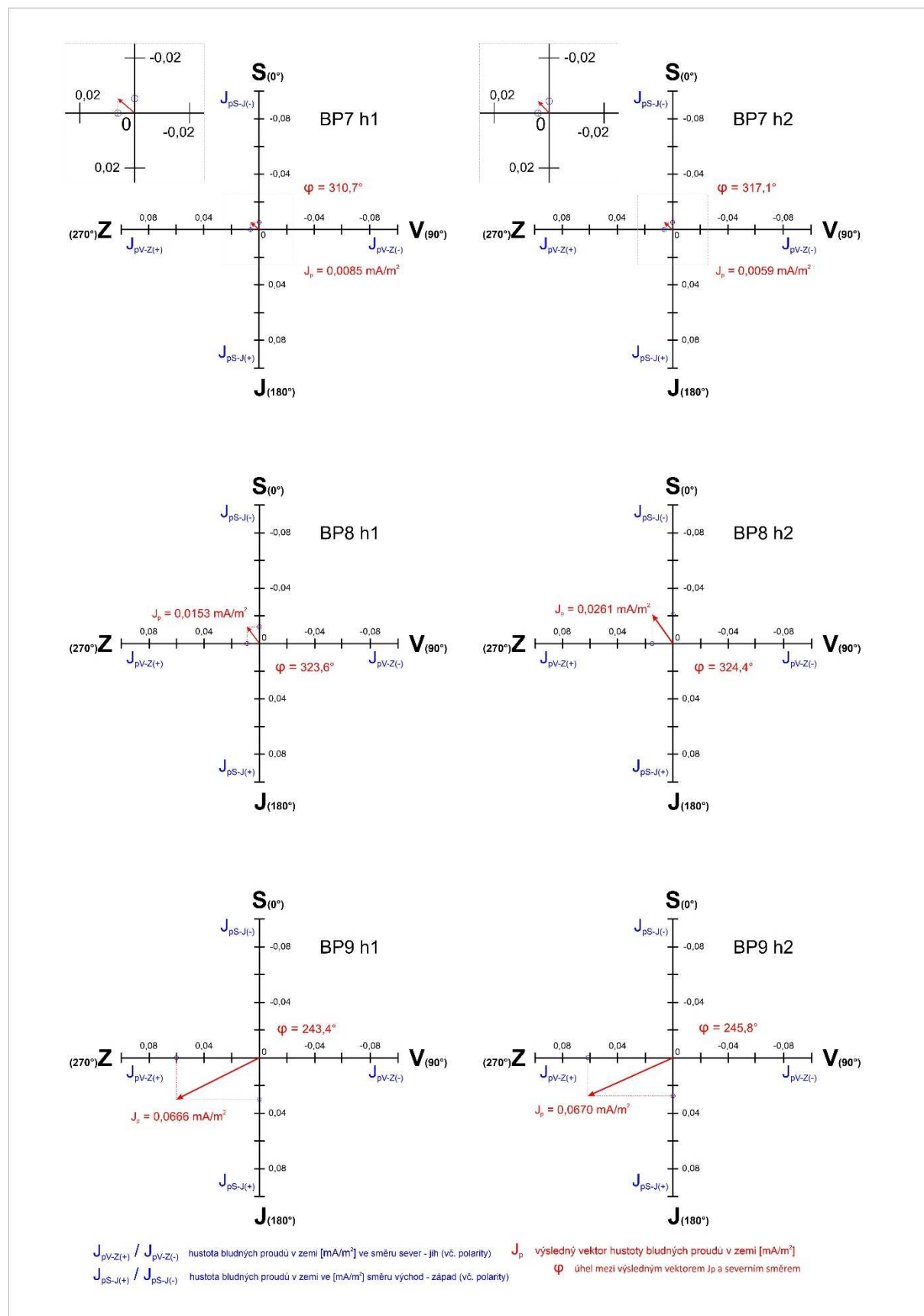
- (1) klasifikace agresivity prostředí podle měrných odporů měřených pomocí Wennerovy metody (dle ČSN 03 8363) a vyhodnocených podle ČSN 03 8375
- (2) klasifikace agresivity prostředí podle hustoty bludných proudů v půdě (dle ČSN 03 8365) a vyhodnocených podle ČSN 03 8375
- (3) klasifikace agresivity prostředí podle hustoty bludných proudů v půdě (dle ČSN 03 8365) a vyhodnocených podle TP 124



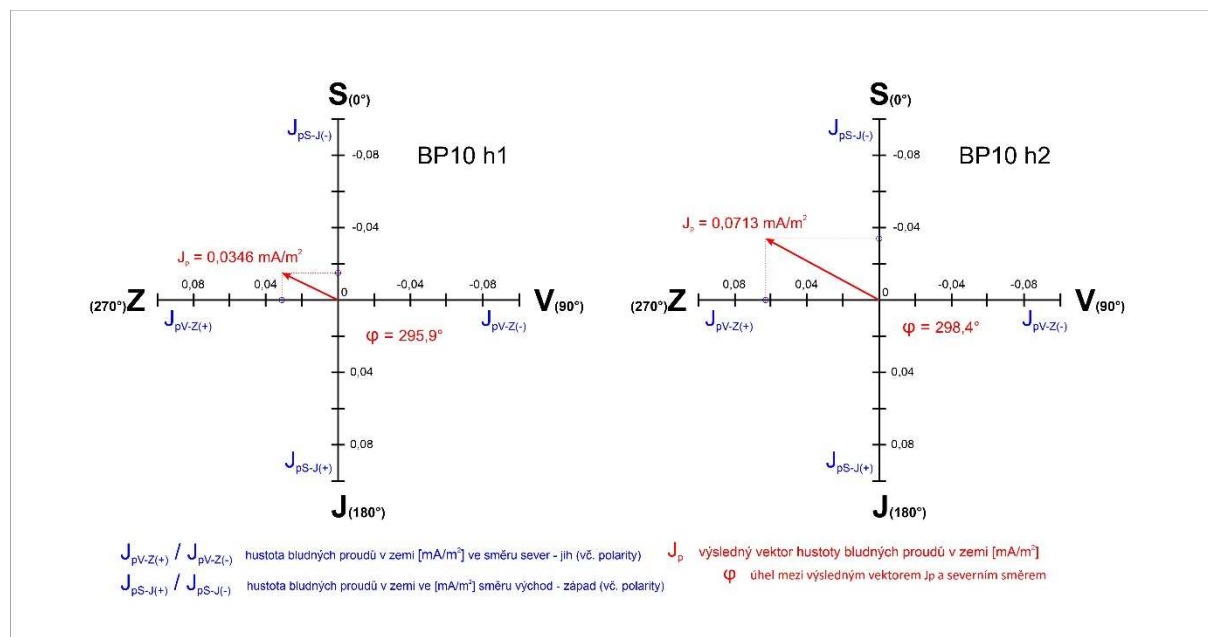
Obr. 2: Stanoviště korozního průzkumu **BP1**, **BP2** a **BP3** – plošné hustoty bludných proudů ve zjišťovaných směrech S – J (J_{pS-J}) a Z – V (J_{pZ-V}) a výsledné vektory plošné hustoty bludných proudů pro hloubky: h1~1,2 m, h2~3,6 m.



Obr. 3: Stanoviště korozního průzkumu **BP4**, **BP5** a **BP6** – plošné hustoty bludných proudů ve zjišťovaných směrech S – J (J_{pS-J}) a Z – V (J_{pZ-V}) a výsledné vektory plošné hustoty bludných proudů pro hloubky: h1~1,2 m, h2~3,6 m.



Obr. 4: Stanoviště korozního průzkumu **BP7**, **BP8** a **BP9** – plošné hustoty bludných proudů ve zjišťovaných směrech S – J (J_{pS-J}) a Z – V (J_{pZ-V}) a výsledné vektory plošné hustoty bludných proudů pro hloubky: h1~1,2 m, h2~3,6 m.



Obr. 5: Stanoviště korozního průzkumu **BP10** – plošné hustoty bludných proudů ve zjišťovaných směrech S – J (J_{pS-J}) a Z – V (J_{pZ-V}) a výsledné vektory plošné hustoty bludných proudů pro hloubky: h1~1,2 m, h2~3,6 m.

4. Technický závěr

Ve studovaném území bylo na deseti stanovištích (bodech korozního průzkumu BP1 – BP10) realizováno měření zdánlivého měrného odporu půdy a stanovení přítomnosti bludných proudů, a to v souladu s normami ČSN 03 8363 „Zásady měření při protikorozi ochraně kovových zařízení uložených v zemi. Měření zdánlivého měrného odporu půdy Wennerovou metodou“ a ČSN 03 8365 Zásady měření při protikorozi ochraně kovových zařízení uložených v zemi. Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi“.

V souladu s normou ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ lze zájmové území klasifikovat:

- (1) na základě měření Wennerovou metodou převážně jako prostředí se **zvýšenou až velmi vysokou** (body korozního průzkumu BP1, BP3, BP4, BP5, BP9 a BP10), popř. **střední až zvýšenou** (body BP2, BP6, BP8) agresivitou prostředí. Jedinou výjimku tvoří bod korozního průzkumu BP7, který se podle naměřených hodnot zdánlivého měrného odporu projevuje jako prostředí se **střední** (pro hloubku h1) až **velmi nízkou** (hloubka h2) agresivitou prostředí.

Pozn.: Měřené hodnoty zdánlivého měrného odporu na stanovišti BP7 patrně odpovídají skalnímu podloží, které je tvořeno zvětralými granodiority, které zde vystupují až k povrchu. I přes zvětrání se nicméně jedná o prostředí s relativně vyšším měrným odporem ve srovnání s ostatními body korozního průzkumu, kde je svrchní vrstva podloží tvořena poměrně vodivými

kvarterními sprašemi a sprašovými hlínami (body BP1 – BP5), a to minimálně do hloubky 5 m. Pro danou hloubku je nicméně stanovována agresivita prostředí. Obdobně je tomu u bodů BP9 a BP10, které se nacházejí v poměrně mocné vrstvě převážně hlinitých svahovin, které se rovněž projevují poměrně nízkými měrnými odpory (a tedy zvýšenou vodivostí). Pouze u bodů BP6 a BP8 lze rovněž vysledovat o něco vyšší hodnoty měrného odporu, které spadají do kategorie „střední agresivita prostředí“, přičemž v obou případech se jedná (dle geol mapy 1: 50 000) o přechod mezi kvarterními pokryvy a granodiority. Pokryvné vrstvy jemnozrnnějšího materiálu (sprašové hlíny, svahoviny) zde patrně nebudou dosahovat takových mocností.

- (2) na základě hustoty elektrického proudu v půdě jako prostředí se **zvýšenou agresivitou**, a to pro všechny body korozního průzkumu (BP1 – BP10) v obou stanovovaných hloubkách.

Kromě hodnocení území podle příslušných technických norem lze zájmové území klasifikovat rovněž podle „Technických podmínek“ č. 124 Ministerstva dopravy a spojů ČR (TP 124) – „Základní ochranná opatření pro omezení bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“ a v nich uvedené tabulky 1 – „Stupně základních pasivních ochranných opatření pro omezení vlivu bludných proudů“. Také podle TP 124 je hodnocené území tvořeno prostředím se zvýšenou agresivitou a je hodnoceno jako vyžadující **stupeň opatření č. 3** (pro všechny body a hloubky), pro které platí následující:

- **základní ochranná opatření stupně 3:** Podle TP124 je potřeba na budoucí stavby aplikovat primární ochranná opatření podle ČSN EN 206+A2 (732403) „Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (2021)“ a případně jiných relevantních předpisů. Dále je potřeba aplikovat sekundární ochranná opatření ve smyslu ochrany betonových konstrukcí před zemní vlhkostí a podzemní vodou, před agresivními vlivy látek všech skupenství, před klimatickými vlivy i před vlivem provozu ošetřením betonu nátěry, nástriky, fóliemi atd., a odpovídající konstrukční opatření za účelem minimalizace tvorby elektrických článků, tvořených jednotlivými částmi stavby. Pro stupeň 3 není podle TP 124 vyžadováno propojování výztuže a její vyvedení na povrch konstrukce.

Zpracovatel korozního průzkumu nicméně **důrazně doporučuje na základě normy TP124** zvolit základní ochranné **opatření stupně 4 povinná pro elektrifikované tratě**. Měření na bodech BP1 a BP2 a rovněž na bodech BP3 a BP4 jednoznačně prokázala, že provoz na železniční (tramvajové) trati významně ovlivňuje měřené hodnoty potenciálů a tedy že má zásadní vliv na nárůst hustoty bludných proudů v podloží plánované stavby. Při aplikaci ochranných opatření stupně č. 4 se zavádějí analogická opatření jako v případě ochranných opatření č. 3, a to včetně provedení výztuží jednotlivých celků a jejich vyvedení na povrch konstrukce:

- **základní ochranná opatření stupně č. 4:** Podle TP124 je potřeba na budoucí stavby aplikovat primární ochranná opatření podle normy ČSN EN 206+A2 (732403), sekundární ochranná opatření ve smyslu ochrany betonových konstrukcí před zemní vlhkostí a podzemní vodou, před agresivními vlivy látek všech skupenství, před klimatickými vlivy i před vlivem provozu ošetřením betonu nátěry, nástřiky, fóliemi atd. a odpovídající konstrukční opatření za účelem minimalizace tvorby elektrických článků, tvořených jednotlivými částmi stavby. Propojování výztuže a její vyvedení na povrch konstrukce je podle TP 124 vyžadováno.

Zvýšená agresivita prostředí souvisí s vyšší měrnou elektrickou vodivostí σ prostředí, kterou lze vysvětlit „horninovým“ složením zkoumané lokality, kdy se přímo v trase stávající i budoucí trati nacházejí (dle geologické mapy 1: 50 000) převážně jemnozrnné kvartérní spraše a sprašové hlíny (body korozního průzkumu BP1 – BP5), popř. hlinité svahoviny (body BP9 a BP10), přičemž jíly a jílovité horniny, následované jemnozrnnými prachovitými (hlinitými) sedimenty, jsou po kovech a grafitu nejlepšími přirozenými (přírodními) vodiči (např. Karous, 1989).

Dalším nezanedbatelným faktorem je vysoký počet potenciálních zdrojů bludných proudů v sídlištní zástavbě a dalších potenciálních zdrojů elektromagnetického rušení (inženýrské sítě, bleskosvody,...) v blízkosti hodnoceného území. V takovém prostředí lze zvýšenou agresivitu prostředí na stavební konstrukce očekávat.

Během vrtných prací, které byly součástí souběžně prováděného IG průzkumu, nebyla ve vrtech naražena stálá hladina podzemní vody (h_{pv}), ani nebyla voda ve vrtech do hloubek 6 m zastižena. Podzemní voda přitom může velmi výrazně zvyšovat agresivitu prostředí, a to jednak dalším snížením elektrické vodivosti/rezistivity prostředí a dále prostřednictvím rozpuštěných iontů a minerálů, popř. zvýšeným obsahem rozpuštěného CO₂ (kyselka), které mají silné korozivní účinky.

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

Poloha měřených bodů (stanovišť korozního průzkumu):

ID	X	Y
BP1	1157581,089	604847,562
BP2	1157427,695	605063,200
BP3	1157266,696	605141,527
BP4	1157183,570	605191,769
BP5	1157130,503	605287,784
BP6	1157159,177	605663,602
BP7	1157261,316	605786,190
BP8	1157289,474	605952,794
BP9	1157329,590	606099,858
BP10	1157405,794	606174,272

Reference

ČSN EN 13509 (038360) Měřicí postupy v katodické ochraně (2004)

ČSN 03 8362 Měděná referenční elektroda k měření potenciálu. Podzemní kovová konstrukce – půda (1976) – v roce 2004 zrušena a nahrazena normou ČSN EN 13509 (038360)

ČSN 03 8363 Zásady měření při protikorozní ochraně kovových zařízení uložených v zemi. Měření zdánlivého měrného odporu půdy Wennerovou metodou (1979)

ČSN 03 8365 Zásady měření při protikorozní ochraně kovových zařízení uložených v zemi. Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi (1988)

ČSN 03 8375 Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi (1972)

ČSN EN 206+A2 (732403) Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (2021)

Karous M. (1989): Geoelektrické metody průzkumu. SNTL/Alfa, Praha.

TP 124 - Technické podmínky MDS-OPK, Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací, Jeku s.r.o., Pontex s.r.o., 2000.

Elektronické zdroje:

DMR 5G, analýza výškopisu [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální [cit. 2023-11-16]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>

Geologická mapa 1 : 50 000, Klad listů ZM 50. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-11-16]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

Vrtná prozkoumanost, Geologická mapa 1 : 50 000. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-11-16]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

Základní mapa České republiky 1 : 10 000 (S-JTSK, ZABAGED®)[online]. Český úřad zeměměřický a katastrální. [cit. 2023-11-16] Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>