

Ochrana staveb proti agresivnímu prostředí a bludným proudům

ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE
VÝSTAVBĚ

Rada pro podporu rozvoje profese ČKAIT

Autor: Ing. Josef Polák, CSc.

ČÁST 11 PŘÍKLADY

OBSAH

11.1	PŘÍKLAD č. 1 – TUNELY METRA V PRAZE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ A KOROZE BLUDNÝMI PROUDY	6
1	CHARAKTERISTIKA ZDROJŮ BLUDNÝCH PROUDŮ V PRAZE.....	6
1.1	STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE.....	6
1.2	MĚSTSKÉ DRÁHY (TRAMVAJE).....	6
1.3	METRO	6
2	ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH A INTERFERENCEČNÍCH PROUDŮ V PRAZE	6
2.1	TUNELY METRA	7
2.2	SYSTÉM GALVANICKY PROPOJENÝCH UZEMŇOVACÍCH SOUSTAV	7
2.3	KOLEJE NEELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE A NĚKTERÉ ÚSEKY KOLEJÍ TRAMVAJE	7
2.4	POTRUBNÍ SÍŤ (PLYNOVODY, VODOVODY)	7
2.5	VÝHRADNĚ ELEKTROLYTICKÁ PROUDOVÁ CESTA (ZEMÍ).....	8
3	VLIV BLUDNÝCH PROUDŮ NA STAVBY V LOKALITĚ PRAHA 4 – PANKRÁC	8
3.1	ZDROJE BLUDNÝCH PROUDŮ	8
3.2	POPIS ÚSEKU METRA I.C.....	8
3.3	VÝPOČET ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ TUNELŮ METRA I.C	9
3.4	VÝPOČTOVÉ KONSTANTY.....	11
4	VYHODNOCENÍ KOROZNÍ SITUACE NA STAVENÍŠTI OBJEKTU BDE	11
4.1	PODÍL JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ BLUDNÝCH PROUDŮ	11
4.2	KONTROLNÍ VÝPOČET ZE ZJIŠTĚNÝCH ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ TUNELŮ METRA C	12
4.3	DÍLČÍ ZÁVĚR.....	13
5	ZÁVĚRY [71]	14
5.1	VLIV STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE	14
5.2	PODÍL TUNELŮ METRA I.C.....	14
5.3	PARAMETRY ÚLOŽNÝCH KONSTRUKCÍ	14
6	VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU V MÍSTĚ STAVBY BUDOVY BDE [72]	14
6.1	ZÁVĚRY Z INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU	14
6.2	VÝSLEDKY ROZBORU VZORKŮ PODZEMNÍ VODY	15
6.3	GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM	15
6.4	STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI	16
7	ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ	16
8	NAVRHOVANÁ OPATŘENÍ	17
8.1	ŽELEZOBETONOVÉ ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE	17
8.2	UZEMŇOVACÍ SOUSTAVA	17
9	POSOUZENÍ NAVRŽENÉ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY	19
9.1	ÚVOD	19
9.2	UZEMNĚNÍ OBJEKTU	19
9.3	ZÁVĚR	20
11.2	PŘÍKLAD č. 2 – ODOBNOST TUNELŮ BLANKA PROTI KOROZI BLUDNÝMI PROUDY	30

1	VŠEOBECNĚ O OCHRANNÝCH OPATŘENÍCH U TUNELŮ	30
1.1	ROZDĚLENÍ TUNELU V ÚSEKY POUŽITÍM IZOLAČNÍCH SPÁR	30
1.2	DALŠÍ DOPORUČENÁ OPATŘENÍ [73, 74]	31
2	KOROZNÍ PRŮZKUM V TRASE TUNELU	31
2.1	ZDROJE BLUDNÝCH PROUDŮ V TRASE TUNELU	31
2.2		31
2.3		31
2.4	STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI [64]	32
3	STRUČNÝ POPIS TUNELOVÉHO KOMPLEXU BLANKA	32
3.1	POPIS TRASY	32
3.2	Rozdělení tunelu na jednotlivé stavby, účastníci výstavby	32
3.3	TECHNICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	33
3.4	TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELU	34
3.5	TECHNICKÉ PARAMETRY TUNELOVÉHO KOMPLEXU [91]	35
4	OMEZENÍ KOROZNÍHO ÚČINKU BLUDNÝCH PROUDŮ NA UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY V TUNELOVÉM KOMPLEXU	36
4.1	KONCEPCE OCHRANY	36
4.2	POSTUP PŘI NÁVRHU UZEMNĚNÍ	36
4.3	PŘÍKLAD PROVEDENÍ UZEMNĚNÍ U TGC 2	37
5	POSOUZENÍ ZMĚNY KONSTRUKCE HLOUBENÉHO TUNELU V KM 3,574 AŽ 4,746 Z HLEDISKA ODOLNOSTI VŮČI PŮSOBENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ	39
5.1	ÚČEL POSUDKU	39
5.2	STRUČNÝ POPIS STAVEBNÍHO OBJEKTU	40
5.3	POSOUZENÍ ŽELEZOBETONOVÉHO TUNELU Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ	42
5.4	ZÁVĚR	45
11.3	PŘÍKLAD Č. 3 – POSOUZENÍ KABELOVÝCH TUNELŮ Z HLEDISKA VLIVU BLUDNÝCH PROUDŮ ..	54
1	PŘEDMĚT POSUDKU	54
2	VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU	54
2.1	ZÁVĚRY Z INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU	54
2.2	VÝSLEDKY ROZBORU VZORKU PODZEMNÍ VODY	54
2.3	GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM	54
2.4	STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI	55
2.5	ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ	55
2.6	PŘEPOČET INTENZITY ELEKTRICKÉHO POLE NA ÚROVEŇ TUNELU	55
2.7	VLIV UZEMŇOVACÍCH SOUSTAV TR 110/22 KV NA ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ	56
3	POPIS PROVEDENÍ KABELOVÉHO TUNELU	56
3.1	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TUNELU [79,80]	56
3.2	OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM V TUNELU	56
4	POSOUZENÍ KT JAKO LINIOVÉHO ZAŘÍZENÍ PRO ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ	57
4.1	NÁHRADNÍ PRŮMĚR KT	57
4.2	PRŮMĚRNÁ HMOTNOST VÝZTUŽE	57
4.3	VÝPOČET ELEKTRICKÉHO PODÉLNÉHO ODPORU ŽELEZOBETONOVÉ LINIOVÉ KONSTRUKCE KT	57
4.4	VÝPOČET PŘECHODOVÉHO ODPORU KABELOVÉHO TUNELU	58
4.5	PRŮMĚRNÝ BLUDNÝ PROUD V KT V ANODICKÉM ÚSEKU	59
4.6	ODOLNOST KT PROTI PŮSOBENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ	59
4.7	DÍLČÍ ZÁVĚR 1	59
5	POSOUZENÍ INTERFERENCE V MÍSTĚ KŘÍŽENÍ KT S TUNELY METRA C	59
5.1	POPIS PROSTOROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ KŘÍŽENÍ	59
5.2	ZEMNÍ ODPOR ÚSEKU TUNELU METRA	60
5.3	ZEMNÍ ODPOR ÚSEKU KT	60
5.4	INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE MEZI OBĚMA TUNELY	60

5.5	DÍLČÍ ZÁVĚR 2	60
5.6	POSOUZENÍ INTERFERENCE V MÍSTĚ KŘÍŽENÍ KT S METREM (SPOJKOU B-C) VE VZÁJEMNÉ VZDÁLENOSTI 2 M	61
6	POSOUZENÍ VLIVU BLUDNÝCH PROUDŮ NA STROJENÉ ZEMNÍČE TRANSFORMOVEN TR 110/22 KV	61
6.1	UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY U TRANSFORMAČNÍCH STANIC Z POHLEDU PLATNÝCH NOREM	61
6.2	GALVANICKÉ PROPOJENÍ UZEMŇOVACÍCH SOUSTAV TRAFOSTANIC	62
6.3	VÝPOČET PODÉLNÉHO ODPORU MEZI JEDNOTLIVÝMI UZLY TR 110/22 KV	63
6.4	VÝPOČET ODPORU PARALELNÍCH VĚTVÍ VIRTUÁLNÍ KOVOVÉ DESKY	63
6.5	ZEMNÍ ODPOR NÁHRADNÍ KOVOVÉ DESKY	63
6.6	PRŮMĚRNÝ BLUDNÝ PROUD VSTUPUJÍCÍ (VYSTUPUJÍCÍ) DO(Z) UZEMNĚNÍ TR 110/22 KV	64
6.7	ORIENTAČNÍ VÝPOČET ŽIVOTNOSTI UZEMNĚNÍ TR 110/22 KV	64
7	ZÁVĚR	64
7.1	ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE KT	64
7.2	ÚSEK KŘÍŽENÍ KT S TUNELY METRA	64
7.3	UZEMNĚNÍ U TRANSFORMOVEN TR 110/11KV	65
11.4	PŘÍKLAD Č. 4 – KOROZNÍ VLIV BLUDNÝCH PROUDŮ NA ŽELEZOBETONOVOU OPĚRNOU STĚNU PODÉL STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE.....	75
1	ÚVOD	75
2	VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU NA STAVENÍŠTI	75
2.1	GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM	75
2.2	STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI	75
3	ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ	76
4	VÝPOČET VLIVU BLUDNÝCH PROUDŮ NA ÚLOŽNÉ KONSTRUKCE	76
5	ZÁVĚR	77
11.5	PŘÍKLAD Č. 5 – ODOLNOST ŠTĚTOVÉ OPĚRNÉ ZDI PŘÍSTAVIŠTĚ PROTI KOROZI BLUDNÝMI PROUDY	86
1	ÚVOD.....	86
2	VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU V MÍSTĚ STAVBY	86
2.1	ZÁVĚRY Z INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU	86
2.2	GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM	86
2.3	STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI	87
2.4	ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ	87
3	STRUČNÝ POPIS OPĚRNÉ NÁBŘEŽNÍ ZDI PŘÍSTAVIŠTĚ	87
3.1	ŽELEZOBETONOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ	87
3.2	ŠTĚTOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ	87
4	POSOUZENÍ KOROZNÍ ODOLNOSTI NÁBŘEŽNÍ ZDI	88
4.1	ŽELEZOBETONOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ	88
4.2	ŠTĚTOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ	88
4.3	VÝPOČET ELEKTRICKÝCH A KOROZNÍCH PARAMETRŮ ŠTĚTOVÉ OPĚRNÉ STĚNY	88
5	ZÁVĚR	90
11.6	PŘÍKLAD Č. 6 – ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ NADZEMNÍM POTRUBÍM ULOŽENÉM NA ŽELEZOBETONOVÝCH BLOCÍCH PODÉL STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE A NÁVRH OPATŘENÍ	95
1	ÚVOD	95
2	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MODERNIZACI TRATI PRAHA BUBNY – RUZYNĚ – Kladno DUBÍ	95
2.1	PLÁNOVANÉ ÚPRAVY TRATI ČD	95
2.2	TECHNICKÁ A DOPRAVNÍ CHARAKTERISTIKA TRATI BUBNY (VLTAVSKÁ) – Kladno.....	95
2.3	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ KOLEJÍ	96
2.4	BLUDNÉ PROUDY V ÚSEKU MĚNÍRNA Kladno – ŽST. Kladno DUBÍ.....	97
2.5	CHARAKTERISTIKA ZPĚTNÉ TRAKČNÍ CESTY MODERNIZOVANÉ TRATI [89].	97

3	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O HORKOVODU ECK ROZDĚLOV	98
3.1	ÚVODEM.....	98
3.2	POPIS STÁVAJÍCÍHO HORKOVODU	98
3.3	UZEMNĚNÍ HORKOVODU	98
3.4	ELEKTRICKÉ PARAMETRY HORKOVODU	98
3.5	VÝPOČET BLUDNÉHO PROUDU, KTERÝ VSTOUPÍ DO SYSTÉMU HORKOVOD / UZEMNĚNÍ.....	99
3.6	DÍLČÍ ZÁVĚR.....	99
4	NAVRHOVANÁ OPATŘENÍ	100
4.1	NOVÝ HORKOVOD 2X DN 450	100
4.2	TECHNICKÁ INFRASTRUKTURA V OKOLÍ MODERNIZOVANÉ TRATI	100

Komentář

Tato příručka byla napsána na popud pracovníků projektových organizací a dodavatelských firem, jakož i investorů, zejména liniových železobetonových konstrukcí uložených v zemi ovlivněných bludnými proudy. Při projektování a výstavbě těchto staveb dochází v praxi ke dvěma extrémům: buď je otázka korozního vlivu bludných proudů zcela opomíjena nebo spíše je nepříznivé působení na odolnost železobetonových konstrukcí zveličována, což vede ke zvyšování pořizovacích i provozních nákladů.

Účelem této publikace je na podkladě vyhodnocení kvalitativních a kvantitativních aspektů korozních jevů ocelové výztuže v betonu stanovit zásady pro snížení nepříznivého vlivu agresivního prostředí a bludných proudů na úložné železobetonové konstrukce. Tato problematika je popsána v obecné části 1–9, která se týká všech druhů staveb.

V této části jsou uvedeny příklady, které nejsou zahrnuty v resortních předpisech [41] Ministerstva dopravy ČR jako jsou tunely, kolektory, základy rozsáhlejších staveb včetně uzemňovacích soustav, opěrné zdi a další stavební objekty v zastavěných oblastech. Autor se dané problematice věnuje od roku 1976 (budova Motokovu na Pankráci na trase metra I.C) a měl možnost navržená opatření ověřit měřením a šetřením v terénu a získat tak komplexní pohled umožňující vyvážené technické řešení ochrany staveb před účinky bludných proudů.

Dále vybrané příklady z praxe dokreslují obecné principy odolnosti železobetonových, zejména liniových konstrukcí proti agresivnímu prostředí a proti bludným proudům uvedené v části 1–9.

Většina technických řešení vedoucích z minimalizaci nepříznivého působení bludných proudů je „know how“ autora této příručky.

11.1 PŘÍKLAD č. 1 – TUNELY METRA V PRAZE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ A KOROZE BLUDNÝMI PROUDY

1 CHARAKTERISTIKA ZDROJŮ BLUDNÝCH PROUDŮ V PRAZE

V Praze se uplatňují tři zdroje bludných proudů.

1.1 STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE

s trakčním napětím 3 kV, jejichž provoz nejvíce korozně ohrožuje podzemní kovové i železobetonové konstrukce. Vedle relativně velkého trakčního napětí, dalším faktorem je vzájemná vzdálenost napájecích stanic (NS), která je kolem 20 km. Na území Prahy, na ploše celkem 496 km² se nacházejí 4 napájecí stanice [11]: Balabenka, Běchovice, Třešňovka, Praha-Chuchle. Další dvě NS (měnící) podstatně ovlivňují provoz elektrických vlaků v Praze – Roztoky u Prahy a Strančice.

Hodnota průměrného bludného proudu v Praze činí 11,5 % trakčního proudu (který teče zemí). Průměrný únik proudu v koleji do země činí 2,54 A.km⁻¹ v anodické oblasti a tatáž hodnota je v katodické oblasti (v blízkosti napájecích stanic).

1.2 MĚSTSKÉ DRÁHY (TRAMVAJE)

s provozním napětím 600 V. V roce 2012 byl celkový počet NS: 41 ks (délka kolejí 302 km). Na jednu NS připadá 3,45 km tramvajové trati (7,36 km kolejí) zpětné kabely mezi koleji (odsávací body) a NS jsou v průměrné vzájemné vzdálenosti 400 m až 500 m [67]. Vzhledem k hodnotě trakčního proudu uniká z kolejí do země průměrně 2,8 %, což činí 5,11 A.km⁻¹. Dosah vlivu bludných proudů nepřesahuje 0,5 km.

1.3 METRO

s trakčním napětím 750 V. V roce 2012 metro bylo tvořeno trasami A, B, C v celkové délce 61 km, celkem bylo v provozu 40 NS, tj. 1 NS na 1,53 km trasy (vždy dva tunely). Vztahem k hodnotě trakčního proudu uniká z tunelů do země 0,061 % trakčního proudu, tj. 0,19 A.km⁻¹.

Z celkové průměrné hodnoty bludných proudů v Praze (6,00 – 24,00 hod.), tj.

$I_B = 1\,040$ A připadá na železnice $I_Z = 305,0$ A (tj. 29,3 %) na tramvaje $I_T = 724$ A (tj. 69,6 %, na metro $I_M = 11,4$ A (tj. 1,1 %).

2 ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH A INTERFERENCEČNÍCH PROUDŮ V PRAZE

Při plusové polaritě trolejí země vytváří vůči kolejím bočník, kterým teče část proudu od elektrického vlaku k NS v souladu s Kirchhoffovými zákony zhruba v množství, jak je uvedeno v odst. 2. Vzhledem ke své relativně dobré podélné elektrické vodivosti rozměrnější úložné konstrukce a liniové konstrukce shromažďují bludné proudy z okolí a mohou je vést do vzdálených míst (směrem k příslušné NS), i když nejsou přímo spojeny s kolejemi. Tento bludný proud nazýváme proudem interferenčním.

2.1 TUNELY METRA

respektive vzájemně galvanicky propojené uzemňovací soustavy u stanic metra (týká se to provozního úseku V.A. – Dejvická – Nemocnice Motol nebo projektované trasy ID2 a ID1 (Písnice-Pankrác).

Podle orientačních výpočtů dosahuje průměrná hodnota interferenčních proudů až 25 % z celkového bludného proudu v zemi, tj. hustota interferenčního proudu $i = 5,0 (2 \times 2,5) \text{ mA} \cdot \text{m}^{-1}$ pro oba tunely metra resp. $I = 5,0 \text{ A} \cdot \text{km}^{-1}$.

2.2 SYSTÉM GALVANICKY PROPOJENÝCH UZEMŇOVACÍCH SOUSTAV

Uzemňovací soustavy u kancelářských a bytových objektů jsou vzájemně galvanicky propojeny. Ve většině případů je to přípojka NN přes nulový vodič. Např. v případě kabelu AYKY 3x 120+70 činí el. odpor nulového vodiče

$R_K = 0,029 \cdot 100 / 70 = 0,04 \Omega$ na 100 m přípojky. V některých případech (u řadové zástavby) bývají galvanicky propojeny i uzemňovací přívody hromosvodů po střeše.

U budov s vestavěnou trafostanicí 22,0 / 0,4 kV je další galvanická proudová cesta přes Cu-stínící plášť 3x16 mm u kabelu 22-AXCEKVCEY 3x1x120 mm² nebo

3x25 mm² u kabelu 3x1x240 mm².

Přes přípojnice trafostanic a jejich uzemnění se šíří bludné proudy do vzdálenosti 1 km i více. V případě vestavěné výměňkové stanice se bludné proudy šíří potrubím horkovodů a uzemněním dalších výměňkových stanic.

Podle provedených výpočtů [11,12] využívá tuto proudovou cestu asi 22 % interferenčních (bludných) proudů.

2.3 KOLEJE NEELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE A NĚKTERÉ ÚSEKY KOLEJÍ TRAMVAJE

Tyto liniové konstrukce sbírají bludný proud ze země původem ze stejnosměrně elektrizovaných železnic (především v blízkosti nádraží) a vedou část bludného proudu směrem k nejbližší napájecí stanici (NS). Např. pro ss elektrizovanou železnici Praha-Smíchov – Beroun (č. 170) existují neelektrizované tratě Praha-Smíchov – Beroun (č. 173) a Praha-Smíchov – Zličín – Rudná u Prahy (č. 122), které tvoří smyčku ke zdroji bludných proudů. V tomto směru se výrazně uplatňují též tunely metra B v úseku Smíchovské nádraží – Zličín, takže v lokalitě Zličín se vyskytují bludné proudy v důsledku přenesené interference.

Orientační výpočty ukazují, že až 15 % bludného proudu se šíří výše uvedenou galvanicko-elektrolytickou cestou.

2.4 POTRUBNÍ SÍŤ (PLYNOVODY, VODOVODY)

Podle [11] je v Praze položeno asi 1 020 km ocelových potrubí (katodicky chráněná plocha je asi 640 000 m²). Hodnota ochranného proudu automaticky řízených stanic katodické ochrany v celkovém počtu 58 ks (roce 2012) je průměrně celkem 560 A (jedná se částečně o proud k eliminaci bludného proudu v potrubí).

Podle provedených šetření činí interferenční proud asi 200 A, což je 20 % z celkového bludného proudu na území Prahy.

2.5 VÝHRADNĚ ELEKTROLYTICKÁ PROUDOVÁ CESTA (ZEMÍ)

Jedná se především o úseky železničních tratí v blízkosti NS. Podle orientačních výpočtů je to asi 18 % bludného proudu.

3 VLIV BLUDNÝCH PROUDŮ NA STAVBY V LOKALITĚ PRAHA 4 – PANKRÁC

3.1 ZDROJE BLUDNÝCH PROUDŮ

Zájmové území se nachází na Pankrácké pláni a je vymezeno na jihu Milevskou ulicí, na západě ulicí Pujmanové, na severu ulicí Hvězdovou a na východě ulicí Na Pankráci.

Severní ohraničení lokality je dáno areálem budovy City Tower a OC Arkády. Na východě je to hotel Panorama – Corinthia a City Empiria a trasou tunelů metra I.C (Kačerov – Florenc) včetně stanice Pankrác.

Příklad se týká bytového domu BDE (původně Epoque) situovaném v blízkosti ulic Milevská a Pujmanové. Dále – východně od objektu BDE je projektovaná administrativní budova MPP (Main Point Pankrác).

Stavba BDE se nachází v blízkosti metra trasy C ve vzdálenosti cca 300 m od stanice Pankrác. Tramvajová trať v ul. Na Pankráci se nachází ve vzdálenosti cca 600 m od zastávky Pražského povstání. Železniční trať (ss elektrizovaná) se nachází ve vzdálenosti 2,15 km od stanice Praha-Kačerov (trať č. 210 Vršovice-Braník), kde je současně křížení s tunely metra C); další trať Praha hl. nádraží – Praha-Smíchov (č. 130) je ve vzdálenosti 1,8 km (křížení s Nuselským mostem), kde je současně vedeno metro I.C.

Metro I.C dále ve stanici Hlavní nádraží je v bezprostředním kontaktu s kolejemi železnice a před stanicí Florenc kříží koleje Masarykovo nádraží. Ve stanicích Muzeum a Florenc je v galvanickém kontaktu s metrem trasou A a trasou B, které mají návaznost na další zdroje bludných proudů. V zájmovém území „Pankrácká pláň“ se uplatňuje především interferenční vliv tunelů metra I.C a zejména bludný proud ze železniční dopravy vlivem přenesené interference.

3.2 POPIS ÚSEKU METRA I.C

Nejstarší úsek metra v Praze z Kačerova (A) na Florenc (B), v délce 6,6 km byl uveden do provozu v 05/1974. Později byl dostavěn úsek II.C Kačerov směrem na Háje a úsek III.C z Florence postupně až do Letňan. Tyto úseky však na rozdělení proudu podél trasy I.C nemají podstatný vliv. Určitý vliv však mají tunely metra A připojené ve stanici Muzeum a tunely metra ve stanici Florenc.

V úseku I C je celkem 9 stanic v průměrné vzájemné vzdálenosti 825 m včetně Nuselského mostu v délce 485 m (o šířce 26,5 m, v průměrné výšce 42,5 m nad kolejemi železnice Praha hl.n. – Praha-Smíchov).

Označíme-li střed nástupiště stanice Kačerov (v délce 150 m, kde je o NS jako km 0,000 pak další stanice mají toto staničení:

- km 0,824 – stanice Budějovická (délka nástupiště L = 180 m)
- km 1,810 – stanice Pankrác L = 100 m; NS (měnárna)
- km 2,611 – stanice Pražského povstání (L = 120 m)
- km 3,384 – stanice Vyšehrad (L = 85 m; NS)

- km 4,664 – stanice I.P. Pavlova (L = 110 m)
- km 5,352 – stanice Museum (L = 120; křížení s trasou A)
- km 5,778 – stanice Hlavní nádraží (L = 110 m)
- km 6,601 – stanice Florenc (L = 130; křížení s trasou B)

Poznámka:

- Polovina úseku ($x = 3,3$ km) je cca 80 m od Nuselského mostu směrem ke stanici Pražského povstání.
- V katodické části trasy I.C (podle výsledků korozního průzkumu [68,69] se snižuje přechodový odpor tunely – země vlivem galvanického propojení s tunely trasy A a B.

Další podrobnosti jsou na *obr. 1-1*.

Hloubka nivelety tunelů I.C je v rozmezí 0 (Nuselský most) až 21 m (mezi stanicí Kačerov a Budějovická). U stanice Pankrác je $h = 10$ m; průměrná hloubka je 12,6 m [70].

Celková délka trasy tunelů z litinových tybinků je 5,0 km na železobetonové konstrukce stanic (včetně mostu) připadá délka 1,6 km.

3.3 VÝPOČET ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ TUNELŮ METRA I.C

3.3.1 Přechodový odpor tunel – země

Podle provedených šetření u staveb na metru I.C (OC Arkády, stavby u stanice Budějovická, Florenc a další) je rezistivita horninového prostředí v průměrné hloubce $h = 12$ m v rozmezí $\rho = 40 \Omega\text{m}$ (budova BDE) až $\rho = 140 \Omega\text{m}$ mezi stanicemi Kačerov a Budějovická. Průměrně je to $\rho = 100 \Omega\text{m}$.

Pro průměr tunelu $D = 5,5$ m a pro délku $L = 1000$ m bude zemní odpor podle [2]:

$$R_Z = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{Dh} = \frac{100}{2\pi \cdot 100} \ln \frac{1000^2}{5,5 \cdot 10} = 0,159155 \cdot 9,8082 = 0,156 \Omega$$

Po přepočtu na délku úseku $L = 6,6$ km (při zanedbání konstanty útlumu α) obdržíme orientační hodnotu

$$R'_Z = \frac{0,156}{6,6} = 0,023636 \Omega \text{ (pro jeden tunel)}$$

Paralelní připojení tunelů A, B v km 5,352 v km 6,601 sniží průměrný zemní odpor.

V případě trasy A uvažujeme $\rho = 200 \Omega\text{m}$, $h = 30$ m

$$L_A = 2 \times 1000 \text{ m}; R_{ZA} = 0,1607 \Omega$$

$$\text{U trasy B: } \rho = 150 \Omega\text{m}, h = 20 \text{ m}$$

$$L_B = 2 \times 1000 \text{ m}; R_{ZB} = 0,1253 \Omega$$

$$\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R'_Z} + \frac{1}{R_{ZA}} + \frac{1}{R_{ZB}}$$

$$R_C = 0,017695 \Omega$$

Přepočteno na 1 km: $R_p = R_C \cdot L = 0,017695 \cdot 6,6 = 0,117 = \underline{0,12 \Omega km}$

3.3.2 Podélný odpor tunelu

Tunely metra C slouží jako zvláštní zemniče elektrických zařízení umístěných v prostorách metra (měnirny, trafa, eskalátory, osvětlení atd.) oddělených od uzemňovacích soustav PRE. Z toho důvodu jsou tato zařízení propojena a připojena ke kovovým tunelům (mimo železobetonové konstrukce stanic metra). Podélná elektrická vodivost v tunelech a ve stanicích je zajištěna těmito:

3.3.2.1 Průběžnými vodiči

- Měděné lano o průřezu 150 mm^2 (u nových tras je to Cu-pásek 40/3 mm, tj. $S_a = 120 \text{ mm}^2$; $\rho_{Cu} = 0,018 \Omega \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$).
- Elektrické stínění kabelů 22-AXEKVCEY $3 \times 1 \times 240 \text{ mm}^2$ tj. Cu $3 \times 25 \text{ mm}^2$; $S_b = 75 \text{ mm}^2$, které propojují přípojnice jednotlivých NS.
- Pásek FeZn 30/4 mm (jako uzemňovací přívody a propojovací vodiče $S_c = 120 \text{ mm}^2$;
- $\rho_{Fe} = 0,21 \Omega \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$.
- Oceloplechové kabelové žebříky OBO – SLG45 s výškou bočnice 45 mm, s průřezem obou bočnic $S_d = 304 \text{ mm}^2 + 190 \text{ mm}^2 = 494 \text{ mm}^2$
- Tunelový vodovod z chromniklové oceli $\varnothing 80/2 \text{ mm}$
 $S_e = 503 \text{ mm}^2$ $\rho_{CrNiFe} = 0,75 \Omega \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$.

Elektrický odpor na 1 000 m:

měděných vodičů: $R_{Cu} = 0,018 \cdot 1000 / 225 = 0,08 \Omega \text{km}^{-1}$
 ocelových vodičů: $R_{Fe} = 0,21 \cdot 1000 / 614 = 0,342 \Omega \text{km}^{-1}$
 Cr-Ni-Fe oceli: $R_{CuNi} = 0,75 \cdot 1000 / 503 = 1,491 \Omega \text{km}^{-1}$

Celkový odpor průběžných elektrických vodičů:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{0,08} + \frac{1}{0,342} + \frac{1}{1,491} = 16,094$$

$$R_v = 0,0621 \Omega \text{km}^{-1}$$

Stavebními konstrukcemi

Trat'ové tunely v úseku I.C jsou provedeny výhradně z litinových tybinků, u dalších úseků byly též použity železobetonové prstence. Stanice byly vybudovány jako hloubené otevřené jámy, z toho jedna povrchová, ražené stanice v tomto úseku nejsou. Všechny stanice jsou železobetonové. Litinové tybinky by bez kontaktních odporů měly odpor

$$r'_L = 0,00125 \Omega \text{km}^{-1}.$$

Na 1 km však připadá 1000 ks kontaktních odporů, což představuje podélný odpor

$$r_L = 0,0224 \Omega \text{km}^{-1} [11].$$

Při reálné provařenosti výztuže $P = 2 \%$ je podélný odpor železobetonové konstrukce stanic metra $r_s = 0,05 \Omega\text{km}^{-1}$ (viz Příloha č. 3). Vážený průměrný elektrický podélný odpor tunelu a železobetonové konstrukce stanic bude v úseku $L = 6,6 \text{ km}$.

$$\underline{R_K} = \frac{0,0224 \cdot 5 + 0,05 \cdot 1,6}{6,6} = \underline{0,0291 \Omega\text{km}^{-1}}$$

Celkový podélný odpor tunelu

$$\frac{1}{R_L} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_K} = \frac{1}{0,0621} + \frac{1}{0,0291} = 50,467$$

$$R_L = 0,02 \Omega\text{km}^{-1}$$

3.4 VÝPOČTOVÉ KONSTANTY

Konstanta útlumu: $\alpha = (R_L / R_p)^{0,5} = (0,02 / 0,12)^{0,5} = 0,40825 \text{ km}^{-1}$

Charakteristický odpor: $Z' = (R_L \cdot R_p)^{0,5} = (0,02 \cdot 0,12)^{0,5} = 0,049 \Omega$

$$\text{tg } h \alpha \frac{L}{2} = \text{tgh} \cdot 0,40825 \cdot 3,3 = 0,873397$$

$$\text{cotg } h \alpha L = \text{cotg} \cdot 0,40825 \cdot 6,6 = 1,009176$$

4 VYHODNOCENÍ KOROZNÍ SITUACE NA STAVENÍŠTI OBJEKTU BDE

4.1 PODÍL JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ BLUDNÝCH PROUDŮ

Z korozního průzkumu [68,69] vyplývá, že ve vzdálenosti 250 až 300 m od tunelu metra C byla zjištěna průměrná intenzita elektrického pole v rozmezí $E = 1,4$ až $9,5 \text{ mV.m}^{-1}$, průměrně (ze sedmi stanovišť) $\varnothing E = 4,0 \text{ mV.m}^{-1}$.

Na první pohled je zřejmé, že tunely metra C nemohou být hlavním zdrojem bludných proudů. Nejbližší koleje tramvaje jsou ve vzdálenosti 0,6 km. Při provozním napětí pouze 0,6 kV má tramvajová doprava na staveniště zanedbatelný vliv.

K určení podílu tunelů metra C použijeme výsledky měření z roku 2001 v místě budoucího staveniště OC Arkády, tj. z doby, kdy bylo možné změřit nedeformované elektrické pole (tj. neprojevovala se přenesená interference přes uzemňovací soustavu objektu OC Arkády). V rámci této akce byly zjištěny tyto hodnoty intenzity elektrického pole [66]:

- ve vzdálenosti $y_1 = 20 \text{ m}$ od nejbližšího tunelu metra C
 $\varnothing E_1 = 6,7 \text{ mV.m}^{-1}$ ($\varnothing J_1 = 120 \mu\text{A.m}^{-2}$ při $\rho_1 = 56 \Omega\text{m}$)
- ve vzdálenosti $y_2 = 90 \text{ m}$ od tunelu:
 $\varnothing E_2 = 1,45 \text{ mV.m}^{-1}$ ($\varnothing J_2 = 25 \mu\text{A.m}^{-2}$ při $\rho_2 = 58 \Omega\text{m}$)

Podle provedeného šetření (viz Přílohu č. 5)

body $Y_1 (y_1; E_1)$ a $Y_2 (y_2; E_2)$ prochází část rovnoosé hyperboly, která má obecný tvar

$$Z = \frac{a^2}{2y} \text{ v daném případě}$$

$$Z = E_y = \frac{266}{2y} \quad (\text{mV.m}^{-1}; \text{m})$$

$$\text{Pro } y = 0,5 \text{ D je } E_y(\text{max}) = \frac{266}{2 \cdot 2,75} = 48,4 \text{ mV.m}^{-1}$$

Ve vzdálenosti $y = 300 \text{ m}$ bude:

$$E_y = \frac{266}{2 \cdot 300} = 0,45 \text{ mV.m}^{-1}$$

Pro 2 tunely metra:

$$E_{y'} = 2 \cdot 0,45 \text{ mV.m}^{-1} = 0,9 \text{ mV.m}^{-1}$$

Dílčí závěr:

Na staveništi BDE se vliv tunelů metra C projevuje hodnotou $E'_y = 0,9 \text{ mV.m}^{-1}$. Navýšení o $4,0 - 0,9 = 3,1 \text{ mV.m}^{-1}$ je způsobeno přenesenou interferencí přes okolní uzemňovací soustavy a kovová potrubí a částečně proudem tekoucím zemí v důsledku provozu ss elektrizované železnice.

4.2 KONTROLNÍ VÝPOČET ZE ZJIŠTĚNÝCH ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ TUNELŮ METRA C

Jestliže místo ve vzdálenosti $x = 1,81 \text{ km}$ od stanice metra Kačerov (bod A) označíme X (stanice Pankrác), pak intenzita elektrického pole pro $y = 0,5 \text{ D}$, kde D je průměr tunelu metra, bude ve směru kolmém na bod X:

$$E_y = \frac{I_A \cdot \rho}{(0,5 L \cdot \pi \cdot D)} = \frac{I_A \cdot \rho}{L \cdot D \cdot 0,3854}$$

$$\text{z toho } I_A = \frac{E_y \cdot L \cdot D \cdot 0,7854}{\rho} \quad (\text{mA}; \text{mV.m}^{-1}; \text{m}; \Omega\text{m})$$

Ve směru podélné osy metra platí vztah pro bod X :

$$I_A = \frac{E \cdot R_p \cdot \tan h \alpha \frac{L}{2}}{Z'^2 \cotg h \alpha L} \quad (\text{mA}; \text{mV.m}^{-1}; \Omega\text{m}; \text{m})$$

Obě rovnice se musí sobě rovnat a získáme vztah:

$$E_y \cdot A = E \cdot B \Rightarrow E = E_y \cdot A / B \quad (\text{mV.m}^{-1}; \text{V. km}^{-1})$$

kde:

$$A = \frac{L \cdot D \cdot 0,7541}{\rho} = \frac{6,6 \cdot 5,5 \cdot 0,7854}{80} = 0,35637$$

$$B = \frac{R_p \cdot \operatorname{tg} h \alpha \frac{L}{2}}{Z'^2 \cdot \cotg h \alpha L} = \frac{0,12 \cdot 0,873395}{0,49^2 \cdot 1,009176} = 43,25475$$

$$E = \frac{18,4 \cdot 0,35637}{43,25475} = 0,3987 = 0,4 \text{ V}$$

Bludný proud na rozhraní tunel-země:

$$i_b = \frac{E_y \cdot \pi \cdot \frac{1}{2} D}{\rho} = \frac{48,4 \cdot \pi \cdot 2,75}{80} = 5,23 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-1}$$

Kontrola:

Při použití vztahu pro osu tunelu:

$$i_b = \frac{I_A}{\frac{1}{2} L} = \frac{0,4 \cdot 0,12 \cdot 0,873395}{0,5 \cdot 6,6 \cdot 0,49^2 \cdot 1,009176} = \frac{0,041923}{0,007996} = 5,24 \text{ A} \cdot \text{km}^{-1} = 5,24 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-1}$$

4.3 DÍLČÍ ZÁVĚR

V místě X (na Pankrácké pláni) je příčný (interferenční) proud mezi tunelem metra C a zemí $i_b(x) = i_b(y) 5,24 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-1}$.

Pro dva tunely v souběhu je to $2 \cdot i_b(x) \dots 2 \cdot 5,24 = 10,5 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-1}$.

Přepočteno na efektivní délku úseku metra, tj. asi 1 km je celkový proud mezi tunely a zemí

$$\varnothing I = 10,5 \cdot 1000 = 10500 \text{ mA} = 10,5 \text{ A, tj. při průměrném půdním profilu}$$

$$S_p = 1000 \cdot 15 = 15000 \text{ m}^2 \text{ je hustota } j = 10500 / 15000 = 0,7 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Teoretický kontakt pruhu tunelu o délce 1 m a průměru 5,5 m s horninovým prostředím

$$S_y = \pi \cdot 5,5 \cdot 1 = 17,3 \text{ m}^2.$$

Vzhledem k dalším faktorům (el. stínění, rozptyl proudu u válcové plochy blízko povrchu země a vlivu druhého tunelu v souběhu) uvažujeme reálný kontakt 50 %, tj. $S_1 = 8,6 \text{ m}^2$ při hodnotě $i_b(y) = 5,24 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-1}$ bude hustota proudu v bezprostředním okolí tunelu:

$$J_y = \frac{i_b}{S_y} = \frac{5,24}{8,6} = 0,6093 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}, \text{ což odpovídá výše uvedené hodnotě } (0,7 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}).$$

Při $\rho = 80 \Omega \text{m}$ je $E_y = \rho \cdot J_y = 80 \cdot 0,6093 = 48,7 \text{ mV} \cdot \text{m}^{-1}$, což je v dobré shodě s dříve spočítanou hodnotou $E_y = 48,4 \text{ mV} \cdot \text{m}^{-1}$.

Ve vzdálenosti $y = 300 \text{ m}$ (stanoviště BDE) bude vliv metra, pokud jde o hustotu proudu v zemi pro $\rho_1 = 80 \Omega \text{m}$ (na povrchu země)

$$J_y = \frac{E'_y}{\rho_1} = \frac{0,9}{80} = 0,0112 \text{ mA.m}^{-2}.$$

Podle korozního průzkumu byla zjištěna hodnota $\varnothing E_y = 4,0 \text{ mV.m}^{-1}$, takže příspěvek z tunelu metra C činí ve vzdálenosti $y = 300 \text{ m}$ pouze:

$$\frac{0,9}{4,00} \cdot 100 = 22,5 \text{ \%}.$$

Z toho lze zobecnit, že vliv interferenčních proudů z tunelů metra se projevuje do vzdálenosti max 100 až 150 m ($E_y = 1,4$ až $0,9 \text{ mV.m}^{-1}$). Hodnoty intenzity elektrického pole

$E_y > 1,4 \text{ mV.m}^{-1}$ jsou způsobeny jiným zdrojem (přenesenou interferencí).

5 ZÁVĚRY [71]

5.1 VLIV STEJNOSMĚRNÉ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE

Největším zdrojem bludných proudů v Praze (z hlediska jejich šíření) je stejnosměrně elektrizovaná železnice ČD. Pokud jde o šíření bludných proudů nejvíce se uplatňují tunely metra, galvanicky propojené uzemňovací soustavy (přes uzemnění trafostanic a nulové vodiče přípojek NN). Dále jsou to horkovody přes uzemnění výměníkůvých stanic Na Pankrácké pláni se uplatňují všechny uvedené zdroje a úložné konstrukce, kterým se šíří bludné proudy. Korozní situace „na zelené louce“ se dramaticky zhorší po vybudování objektu a jeho připojení na zdroje bludných proudů. I přes uvedené skutečnosti průměrná intenzita elektrického pole na staveništi BDE nepřesáhne hodnotu $\varnothing E = 10 \text{ mV.m}^{-1}$, což je 10x méně než uvažoval původní korozní průzkum z roku 2010 od firmy JEKU Praha 10 [68]. Při velmi pečlivém stanovení hodnoty $\varnothing E = 8 \text{ mV.m}^{-1}$ vychází průměrný bludný proud protékající uzemňovací soustavou BDE $\varnothing I_B = 4,5 \text{ A}$. Při uvažování hodnoty $E = 100 \text{ mV.m}^{-1}$ by to bylo $100 / 8 \cdot 4,5 = 56,2 \text{ A}$, životnost uzemnění by byla (i v betonovém obložení) $\tau' = 117 / 12,5 = 9$ roků, což je nonsens.

5.2 PODÍL TUNELŮ METRA I.C

Podíl tunelů metra I.C, pokud jde o vliv bludných proudů je pro dané staveniště 22,5 %, (tj. 0,9 % z celkových $E = 4,0 \text{ mV.m}^{-1}$). Po vybudování metra D a objektu BDE a MPP tento podíl stoupne nejméně 2x na celkovou hodnotu $\varnothing E_y = 8,0 \text{ mV.m}^{-1}$.

5.3 PARAMETRY ÚLOŽNÝCH KONSTRUKCÍ

U navržených železobetonových konstrukcí není zapotřebí provádět žádná další opatření proti působení bludných proudů.

Uzemňovací soustava v navrženém provedení zaručuje hodnotu zemního odporu menší než 2Ω po celou dobu životnosti BDE.

Životnost uzemňovací soustavy překračuje dobu 80 let (až 117 roků).

6 VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU V MÍSTĚ STAVBY BUDOVY BDE [72]

6.1 ZÁVĚRY Z INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

Zájmové území se nachází na Pankrácké pláni a je vymezeno na jihu Milevskou ulicí a na západě ulicí Pujmanové. Severní ohraničení lokality je dáno areálem budovy City Tower, OC Arkády, na východě areálem hotelu Panorama (obr. 1-2).

Úroveň stávajícího terénu je zhruba rovinná na kótě 267,20 – 267,50 m.n.m. Povrch skalního podkladu (zvětralé jílovité břidlice) je na kótě cca 262,00 – 263,00 m.n.m.

Hladina podzemní vody se ustálila na kótě 263,2 – 263,9 m.n.m.

Úroveň 1.NP = ± 0 = 267,50 m.n.m., úroveň základové spáry: 254,30 m.n.m. (13,0 m pod terénem).

Jádrový vrt J1 (viz obr. 1-3); do hl. 4,5 m jílovitý písek a písčité jíly a hlouběji jílovotopísčité šterk. V úrovni 4,5 až 10,00 m pod terénem (257,50 m.n.m.) je zvětralá jílovitá břidlice, dále do hl. 18,00 m je diabáz.

V jádrovém vrtu HJ8 (terén 267,40 m.n.m.) je do hl. 4,0 m jílovitý písek a jílovitopísčité šterk, až do hl. 18,00 (249,40 m.n.m.) je zvětralá a dále navětralá jílovitá břidlice.

Uzemnění je navrženo na kótě 254,25 m.n.m., tedy v navětralých břidlicích s rezistivitou horninového prostředí v rozmezí $\rho = 40$ až $80 \Omega\text{m}$; $\varnothing \rho_Z = 70 \Omega\text{m}$ (v hloubce cca 13 m).

6.2 VÝSLEDKY ROZBORU VZORKŮ PODZEMNÍ VODY

Z vrtu J1 byl dne 2.6.2005 odebrán vzorek podzemní vody z hl. 4,0 m a následně proveden rozbor. Bylo zjištěno m.j. pH = 7,00, elektrická konduktivita $\gamma = 107 \text{ mS.m}^{-1}$ ($1280 \mu\text{S.cm}^{-1}$).

Obsah síranů 347 mg/l; chloridů: 48,3 mg/l; hydrogenuhličitanů 293 mg/l, CO₂ agresivní: 13,2 mg/l.

Z vrtu HJ8 byl dne 7.6.2005 odebrán vzorek vody (z hl. 4,0 m) a následně bylo zjištěno:

pH = 7,3; el. konduktivita: $\gamma = 128 \text{ mS.m}^{-1}$ ($1280 \mu\text{S.cm}^{-1}$);

obsah síranů: 349 mg/l; chloridů: 65,8 mg/l; hydrogenuhličitanů: 378 mg/l; CO₂ agresivní 17,6 mg/l

Podle ČSN EN 206-1: agresivita na beton XA1

Podle ČSN 03 8372 je agresivita na ocel velmi vysoká (IV)

$\gamma > 430 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Rezistivita vody $\rho_V = 104 / 1280 = 7,81 \Omega\text{m}$

Při $\varnothing \rho = 70 \Omega\text{m}$ je hodnota permeabilní pórovitosti horniny:

$$n_p = \frac{\rho_v}{\rho_z} \cdot 100 = \frac{7,81}{70} \cdot 100 = 11,2 \%$$

6.3 GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM

Měření podle ČSN 03 8363 s Wennerovým uspořádáním měřicích elektrod na třech místech č. A, B, C s hloubkovým dosahem až do 5,0 m bylo provedeno v 02/2015:

0 – 1,6 m: 55,2 až 84,0 Ωm

0 – 3,2 m: 70,7 až 85,0 Ωm

0 – 5,0 m: 58,4 až 77,5 Ωm

S ohledem na hloubku zakládání bylo realizováno měření v uspořádání elektrod podle Schlumbergera [65] podle *obr. 1-4* s těmito výsledky:

VES 1: vrstva v hl. 7,3 až 16,5 m; $\rho = 62$ až $77 \Omega\text{m}$

VES 2: vrstva v hl. 4,6 až 18,00 m; $\rho = 40$ až $56 \Omega\text{m}$

Průměrná hodnota pro výpočet zemního odporu uzemnění s určitou rezervou:

$$\varnothing \rho_z = 70 \Omega\text{m}$$

6.4 STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI

Měření se uskutečnilo ve dvou etapách v roce 2010 (JEKU, [68]) měření v místech M1 až M4.

V druhé etapě v roce 2015 (Inset, [69]), měření v bodech č. A, B, C – viz *obr. 1-4*).

V obou případech se měření uskutečnilo v souladu s ČSN 03 8365 s těmito výsledky:

6.4.1 Měření v 10/2010

M1 = $2,2 \text{ mV.m}^{-1}$; M2 = $6,0 \text{ mV.m}^{-1}$; M3 = $9,5 \text{ mV.m}^{-1}$; M4 = $3,3 \text{ mV.m}^{-1}$

6.4.2 Měření v 02/2015

A = $2,2 \text{ mV.m}^{-1}$; B = $1,4 \text{ mV.m}^{-1}$; C = $3,2 \text{ mV.m}^{-1}$

Průměrná hodnota ze všech měření (při stejné polaritě)

$$\varnothing E = \frac{27,8}{7} = 3,97 = 4,0 \text{ mV. m}^{-1}$$

$$\varnothing J = \frac{\varnothing E}{\varnothing \rho} = \frac{4,0}{70} \cdot 10^3 = 57 \mu\text{A.m}^{-2}$$

S ohledem na budoucí linku metra D (s uzemněním stanice Pankrác $R_z \leq 1 \Omega$) a projektovaným objektem MPP vedle BDE uvažujeme dále $\varnothing E = 8,0 \text{ mV. m}^{-1}$.

7 ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ

V dané lokalitě se prakticky uplatňují dva zdroje bludných proudů (viz *obr 1-1, 1-2*). Jsou to:

- metro C s trakčním napětím 750 V, nejbližší vzdálenost je 300 m;
- železnice ČD s trakčním napětím 3 kV, která se nachází ve vzdálenosti 1,8 km (trať č. 170 Hlavní nádraží – Smíchov) a 2,15 km (trať č. 210 Vršovice – Braník);
- tramvajová trať s provozním napětím 600 V se nachází ve vzdálenosti asi 600 m v dané lokalitě se její vliv neprojevuje.

Na staveništi se bude projevovat přenesená interference vlivem bludných proudů prostřednictvím těchto liniových konstrukcí elektricky propojených s budoucí uzemňovací soustavou objektu BDE:

- Galvanická proudová cesta mezi přípojnici velkoodběratelské trafostanice a Cu stíněním kabelů 22-AXEKVCEY $3 \times 1 \times 120 \text{ mm}^2$, tj. Cu $3 \times 16 \text{ mm}^2$ a doprovodným páskem FeZn 30/4 mm v rýze přípojky 22 kV k externí trafostanici, taktéž připojeném k oběma přípojnici. Další trafostanice jsou navzájem propojeny, takže přes uzemnění se může projevovat vliv bludných proudů až do vzdálenosti 1 km.

- Horkovod 2x DN 500, který přes uzemněné výměňkové stanice může přivádět bludné proudy až ze vzdálenosti 1 km i více, uzemnění objektu BDE přes výměňkovou stanici a přípojky horkovodu je galvanicky propojeno s uvedenými zemniči.
- Přes galvanicko-elektrolytickou proudovou cestu bude uzemnění BDE ovlivňováno ocelovým vodovodem DN 1200 v ul. Milevské a dalšími potrubími (plynovody), uzemněním VO, uzemňovacími soustavami v okolí (OC Arkády atd.).

S ohledem na výše uvedené skutečnosti se zvyšuje šíření bludných proudů více než odpovídá koroznímu průzkumu na „zelené louce“. Toto zvýšení podle poznatků z uvedené lokality uvažujeme $x = 3$.

8 NAVRHOVANÁ OPATŘENÍ

8.1 ŽELEZOBETONOVÉ ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Železobetonová deska tloušťky až 1,2 m a svislé vnější stěny až nad úroveň podzemní vody jsou navrhovány jako „bílá vana“ z betonu třídy:

C 30/37 XC3 XA2 XD1 XF1 – Cl 0,1 – Dmax 22 – S3, počítáno na trhlinu 0,2 mm.

Výztuž R 10505 (podle EN B 500B).

Krytí výztuže v tl. 40 mm směrem k podkladnímu betonu a 50 mm u svislých konstrukcí v kontaktu s horninovým prostředím (především s podzemní vodou).

Základová deska bude doplněna tahovými pilotami délky až 15 m kotvenými do podloží, které nebudou galvanicky propojeny s uzemňovací soustavou. Železobetonová konstrukce včetně základové desky v rámci vyrovnání potenciálu budou připojeny k uzemnění (např. přes svody hromosvodu ve sloupech), což při předpokládané rezistivitě betonu $\min \rho_b = 2000 \Omega\text{m}$ se neprojeví na funkci uzemnění.

Uvedená rezistivita odpovídá permeabilní pórovitosti $n_p = 0,5 \%$ (zatímco podkladní beton C 16/20 při rezistivitě $\rho_b = 60 \Omega\text{m}$ má hodnotu $n_p = 16,7 \%$, takže snižuje zemní odpor zemniče proti okolnímu prostředí).

Piloty budou z betonu C 25/30 XA1, ocel B500, krytí výztuže 70 mm.

U navržených železobetonových konstrukcí není zapotřebí provádět žádná další opatření proti působení bludných proudů.

8.2 UZEMŇOVACÍ SOUSTAVA

8.2.1 Koncepce

Uzemnění pro ochranu před úrazem elektrickým proudem včetně pospojování technologických zařízení (trafo, výměník atd.) a silová zařízení NN bude společné i pro ochranu před bleskem.

Celkový zemní odpor uzemnění musí být menší než $R_z \leq 2,0 \Omega$ po celou dobu životnosti objektu (tj. 80 let).

8.2.2 Popis zemnicí soustavy

Podle technické zprávy ESP (po dohodě s ostatními profesemi) uzemnění bude vytvořeno z ocelových odporově svařovaných sítí $\varnothing 8$ mm, velikost ok 150/150 mm uložených v podkladním betonu tl. min. 120 mm třídy C 16/20, min. vzdálenost ocelových prutů od horninového prostředí 50 mm. Vzájemné propojení svařem délky 30-50 mm u každého druhého prutu (viz obr. 1-5).

Použity kari sítě velikosti 6x2,4 m a 3x2 m.

Pro spojení kari sítí v různých úrovních podkladního betonu použity dráty FeZn Ø 8 mm v množství min. 4 ks pro každý propoj.

Provedení svarů dle ČSN EN 62305-3 ed. 2, čl. E.4.3.3., E.5.4.3.2. vývody z uzemnění pomocí vodičů 1-YY 50 mm², připojených ke kari sítím pomocí navařeného pasu FeZn 30x4 mm se šroubovým propojem na kabelová oka na koncích Cu vodičů.

Propojení pomocí kabelových ok bude utěsněno proti vlhkosti, provedení – viz obr. 1-8 (zalito pryskyřicí např. Eprosin KE1 nebo teplem smrštitelná kabelová izolace).

Vodiče vedeny vně spodní stavby až do úrovně pod stropem 1.PP, ochrana vodičů kabelovou chráničkou Ø 40 mm s vysokou mechanickou odolností.

Zavedení vodičů 1-YY 50 do 1.PP přes obvodové stěny pomocí průchodek např. Hauf Bettra HS190, ochrana proti tlakové vodě, prostupy pod spodní hranou stropu nad 1.PP.

Připojení vývodů z uzemnění na soustavu vnitřního pospojování žb. stavby a svody hromosvodu pomocí kabelových ok se šrouby M10 a desky C.R.M. 100x100 mm instalované v rámci betonáže stropu nad 1.PP.

Propojení v místě desky C.R.M. bude zároveň použito jako měřicí bod pro kontrolu uzemnění – musí být zachován přístup během celé životnosti objektu.

8.2.3 Ekvipotenciální pospojování spodní stavby

- do žb konstrukce stropů nad podzemními podlažími (1. PP, 2.PP a 3.PP) budou vloženy dráty FeZn Ø 10 mm, které budou tvořit síť pro ekvipotenciální pospojování a v 1.PP zároveň i vodivé propojení pro svody hromosvodu na vývody z uzemňovací soustavy;
- dráty FeZn Ø 10 mm budou vzájemně propojovány svarem pomocí příložek a bodovými svary připojovány k armování stropních konstrukcí podzemních podlaží, četnost bod. svarů cca 1 ks/m drátu;
- propojení vodorovných částí ekvipotenciálního vyrovnání bude pomocí drátů FeZn Ø 10 mm vedených svisle v obvodových stěnách ve sloupech jako pokračování původních svodů hromosvodu z nadzemní části objektu; propojení mezi svislými a vodorovnými částmi ekvipotenciálního vyrovnání řešit pomocí příložek a svarů délky min. 50 mm;
- vývody ze soustavy ekvipotenciálního vyrovnání v železobetonu provedeny pomocí desek C.R.M. svarem propojených s FeZn dráty v žb stěnách, příp. střepech, detaily viz výkresová část.

8.2.4 Vývody z uzemňovací soustavy

- trafostanice a rozvodna VN,
- rozvodna NN (HOP),
- pro podružné ochranné přípojnice v příslušných strojovnách,
- pro uzemnění výtahových šachet,
- pro svody hromosvodu (provařené ocelové pruty ve sloupech),
- pro uzemnění fasády, podle výkresové dokumentace elektro.

8.2.5 Výškové uspořádání uzemnění

Je patrné z obr. 1-6, 1-7, průměrně v hl. 13 m pod terénem.

8.2.6 Plocha ocelové sítě objektu

Podle obr. 1-5: $S = 1\,424,4 \text{ m}^2$; hmotnost podle obr. 1-9, $G = 8\,162 \text{ kg}$

9 POSOUZENÍ NAVRŽENÉ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY

9.1 ÚVOD

Uzemňovací soustava je vytvořena ocelovými sítěmi v betonovém obložení C 16/20. Pásky široké 2 m vyplňují vybrané vhodné plochy (těž se zřetel na situování svodů hromosvodu) v podkladním betonu jsou pro další výpočty přepočteny na plochu kruhové desky uložené v hloubce 13 m pod terénem ve vzdálenosti asi 5 m od skalního (elektrolyticky méně vodivého) podloží pod železobetonovou deskou (viz obr. 1-6).

Pro výpočet zemního odporu se použije průměrná hodnota rezistivity horninového prostředí $\varnothing \rho = 70 \text{ } \Omega\text{m}$. K výpočtu vlivu bludných proudů na uzemňovací soustavu bude využita hodnota intenzity elektrického pole $\varnothing E = 8 \text{ mV.m}^{-1}$. Výpočet životnosti uzemnění jednotlivých objektů bude spočítán podle příslušné hmotnosti jak vyplývá z celkových ploch: $G = S \cdot 5,73 \text{ kg.m}^{-2}$ (kg; m^2).

9.2 UZEMNĚNÍ OBJEKTU

$$S = 1424,4 \text{ m}^2$$

$$D = (4 S / \pi)^{0,5} = (4 \cdot 1424,4 / \pi)^{0,5} = 42,6 \text{ m}$$

9.2.1 Zemní odpor

kruhové desky na povrchu země (což odpovídá uložení pod prakticky elektricky nevodivou konstrukcí (bílá vana), pod základovou deskou $\alpha = 1,0$; ve velké hloubce je $\alpha = 0,5$. V hloubce $h = 13 \text{ m}$ je $\alpha = 0,9$.

$$R_Z = \frac{\alpha \rho}{2 D} = \frac{0,90 \cdot 70}{2 \cdot 42,6} = 0,74 \text{ } \Omega$$

Návrh vyhovuje: $R_Z < 2,0 \text{ } \Omega$.

9.2.2 Vliv bludných proudů na uzemnění

Podle odst. 6.1 je obvod zemniče $O = 277 \text{ m}$. Podle odst. 7 je koeficient šíření bludných proudů galvanickou cestou $x = 3,0$; $L' = 3 \times 277 = 830 \text{ m}$.

$$\varnothing \rho = 70 \text{ } \Omega\text{m}; \varnothing E = 8 \text{ mV.m}^{-1}$$

$$\varnothing I = \varnothing E \cdot \frac{L}{2} \cdot R_Z = \frac{40,0 \cdot 830}{2 \cdot 0,74} = 4\,486 \text{ mA} = 4,5 \text{ A}$$

9.2.3 Výpočet životnosti uzemnění

Podle odst. 8.2.5 $G = 8\,162 \text{ kg}$

Pokud by uzemnění bylo uloženo v zemi (bez betonového obložení) došlo by za rok ke koroznímu úbytku celkem:

$$K = \emptyset I \cdot m = 4,5 \cdot 9,3 \text{ kg} \cdot \text{A}^{-1} = 41,9 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$$

kde m je korozní úbytek oceli v zemi podle Faradayova zákona.

Při uložení ocelové sítě do betonového obložení (min. pevnost v tlaku 20 MPa) se rychlost koroze sníží min. 2x [2]. Při požadavku životnosti uzemnění 80 let (při nezměněných provozních parametrech $R < 2,0 \Omega$) návrh vyhovuje, což lze doložit kontrolním výpočtem:

$$K' = \emptyset I_1 \cdot m' = 4,5 \cdot \frac{9,3}{2} = 20,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Při využitelnosti uzemňovací soustavy $\eta = 0,3$ bude životnost:

$$\tau = G \cdot \frac{\eta}{K'} = 8\,162 \cdot \frac{0,3}{20,9} = 117 \text{ roků}$$

Návrh vyhovuje: $\tau > 80$ roků.

Poznámka:

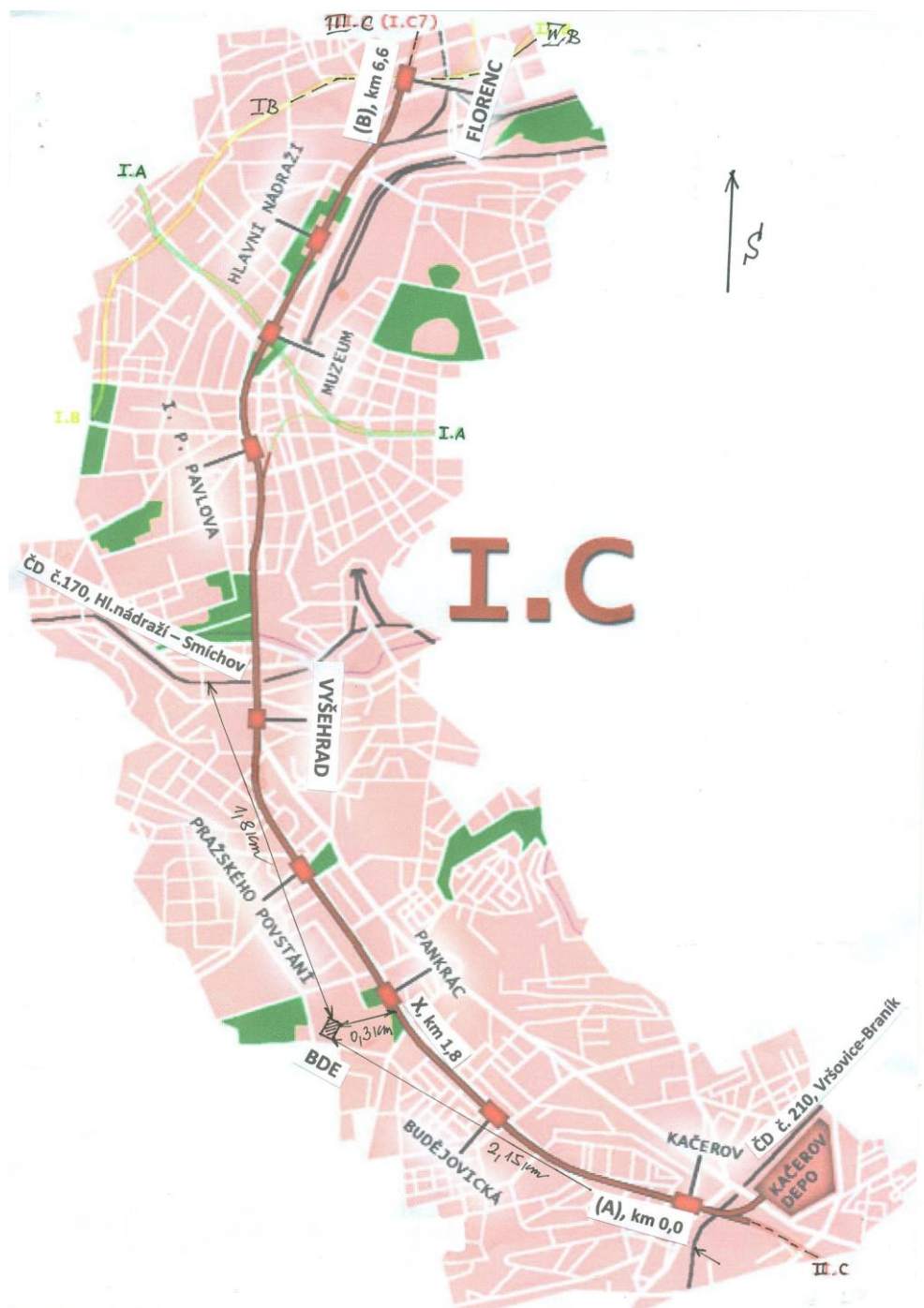
Při uložení v půdě by byla životnost pouze:

$$\tau = G \cdot \frac{\eta}{K'} = 8\,162 \cdot \frac{0,3}{41,9} = 58,4 \text{ roků}$$

9.3 ZÁVĚR

Uzemnění vyhovuje jak z hlediska hodnoty zemního odporu $R_Z \leq 2,0 \Omega$, tak požadované doby životnosti $\tau' > 80$ roků.

Obrázky k příkladu č. 1



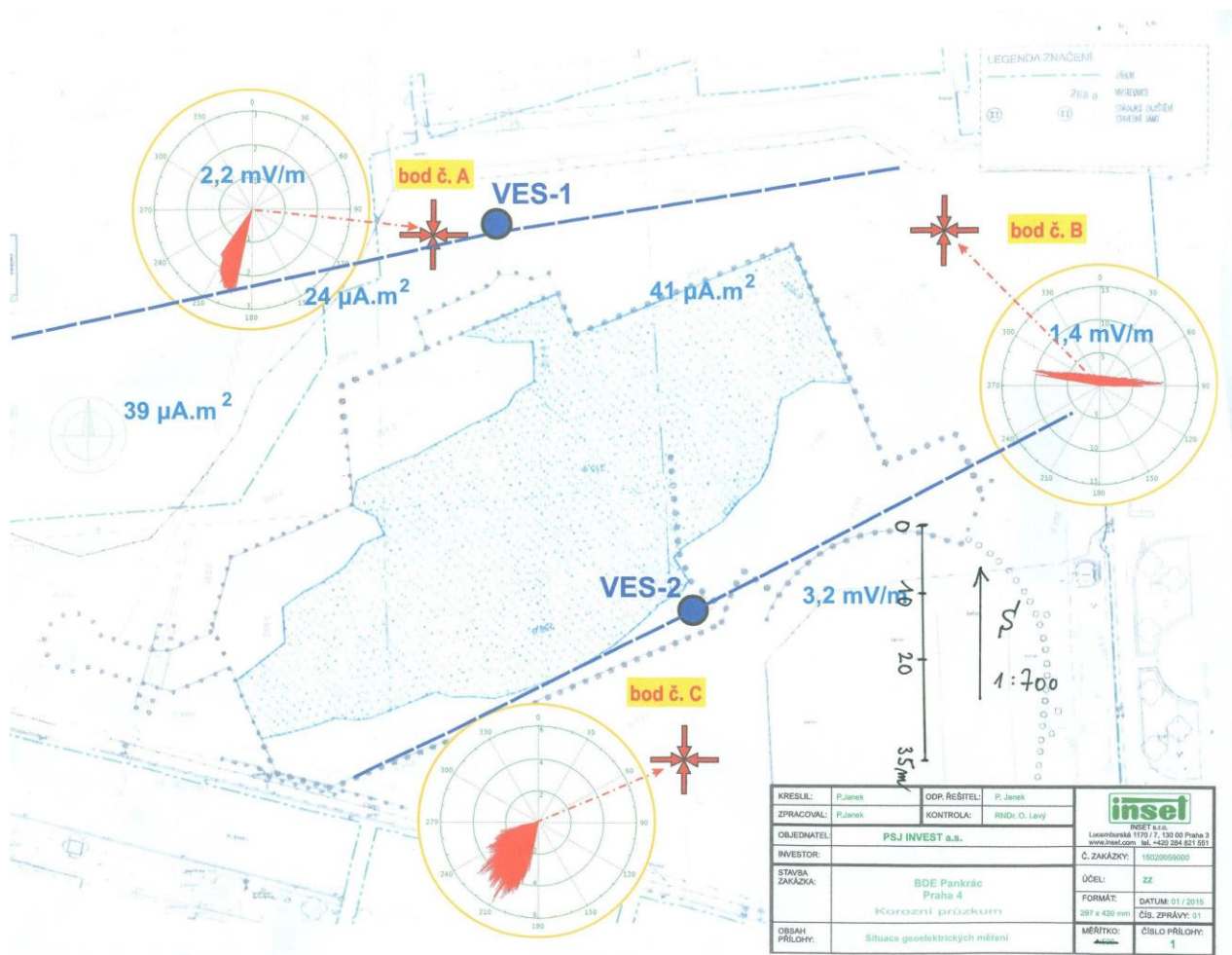
Obr. 1-1 Metro I.C. Kačerov – Florenc, Objekt BDE



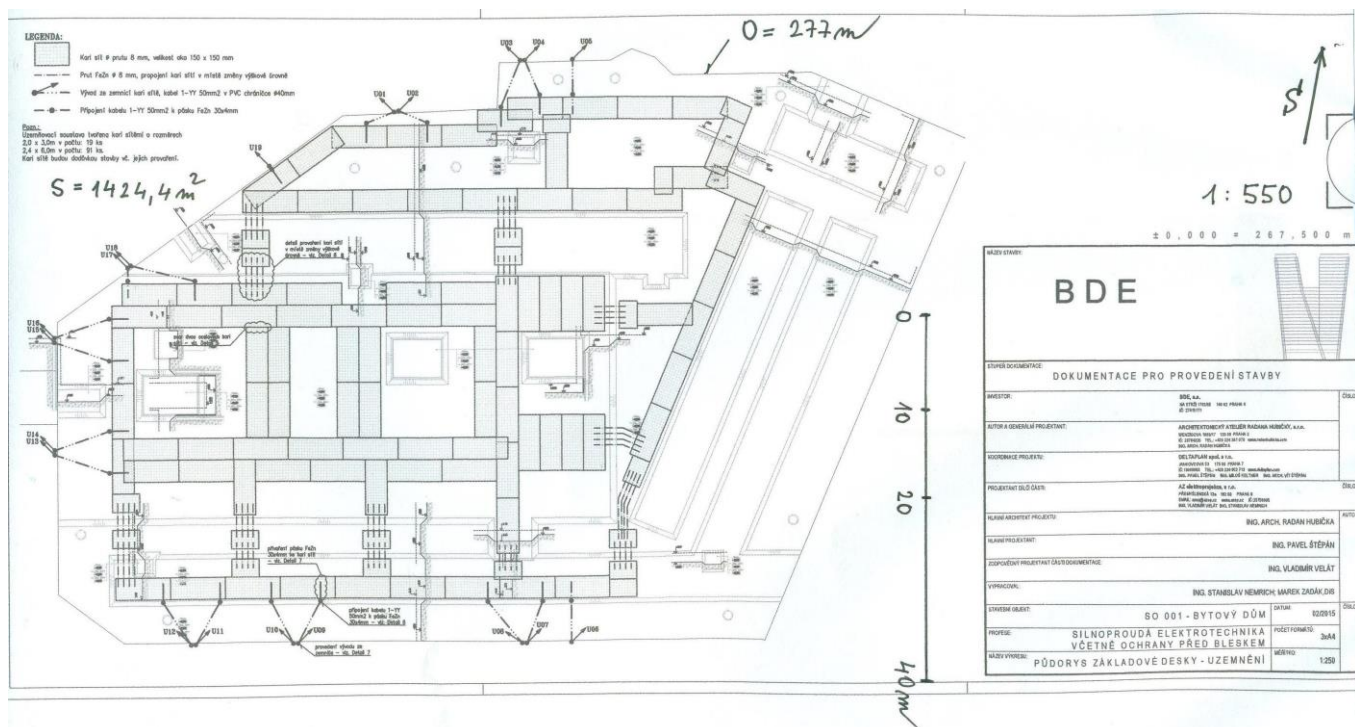
Obr. 1-2 Situace širších vztahů s vyznačením vzdálenosti od zdrojů bludných proudů



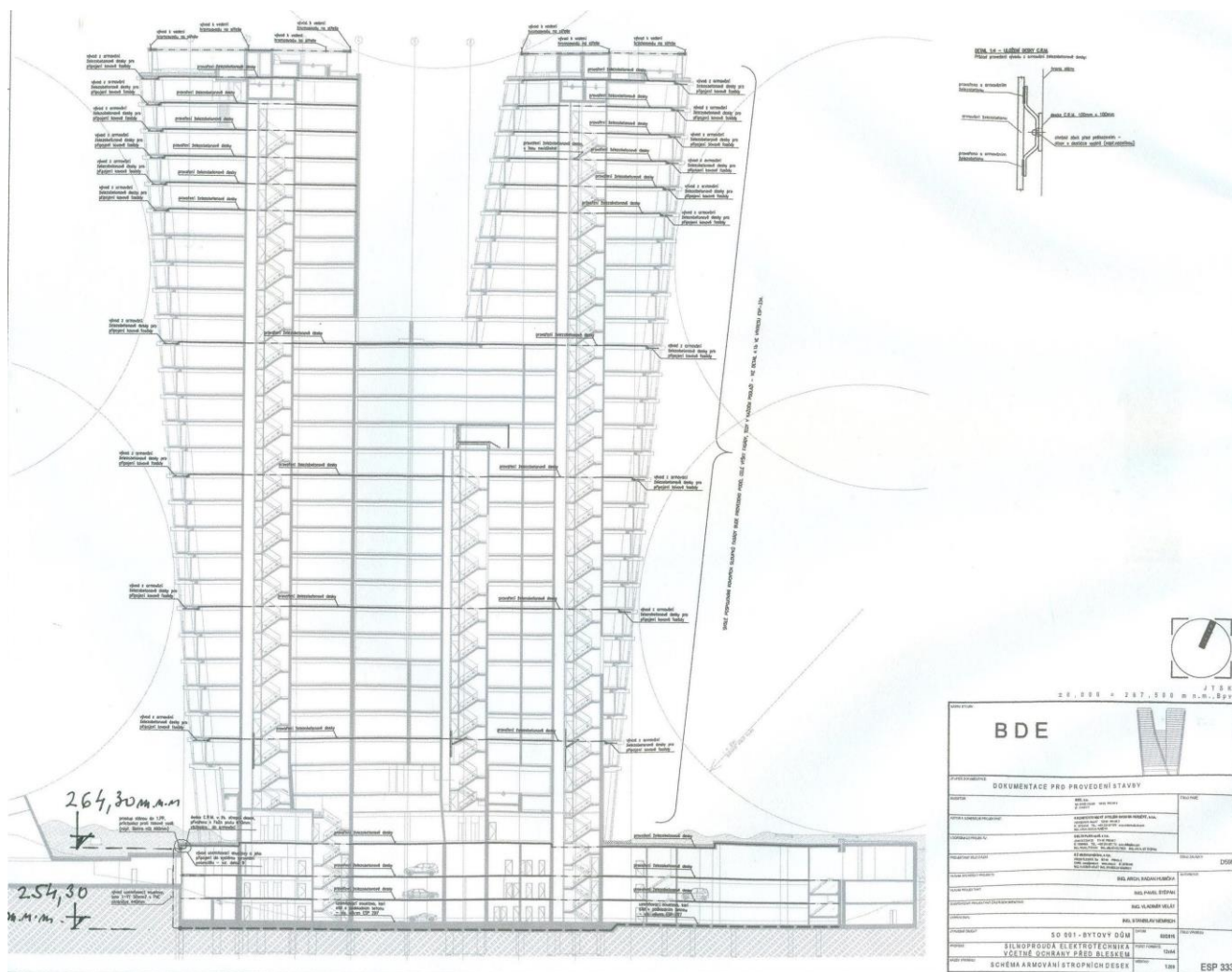
Obr. 1-3 Koordinační situace s vyznačením míst, kde bylo provedeno šetření v rámci korozního průzkumu (body A, B, C, M1-M4 a sondy J1, HJ8)



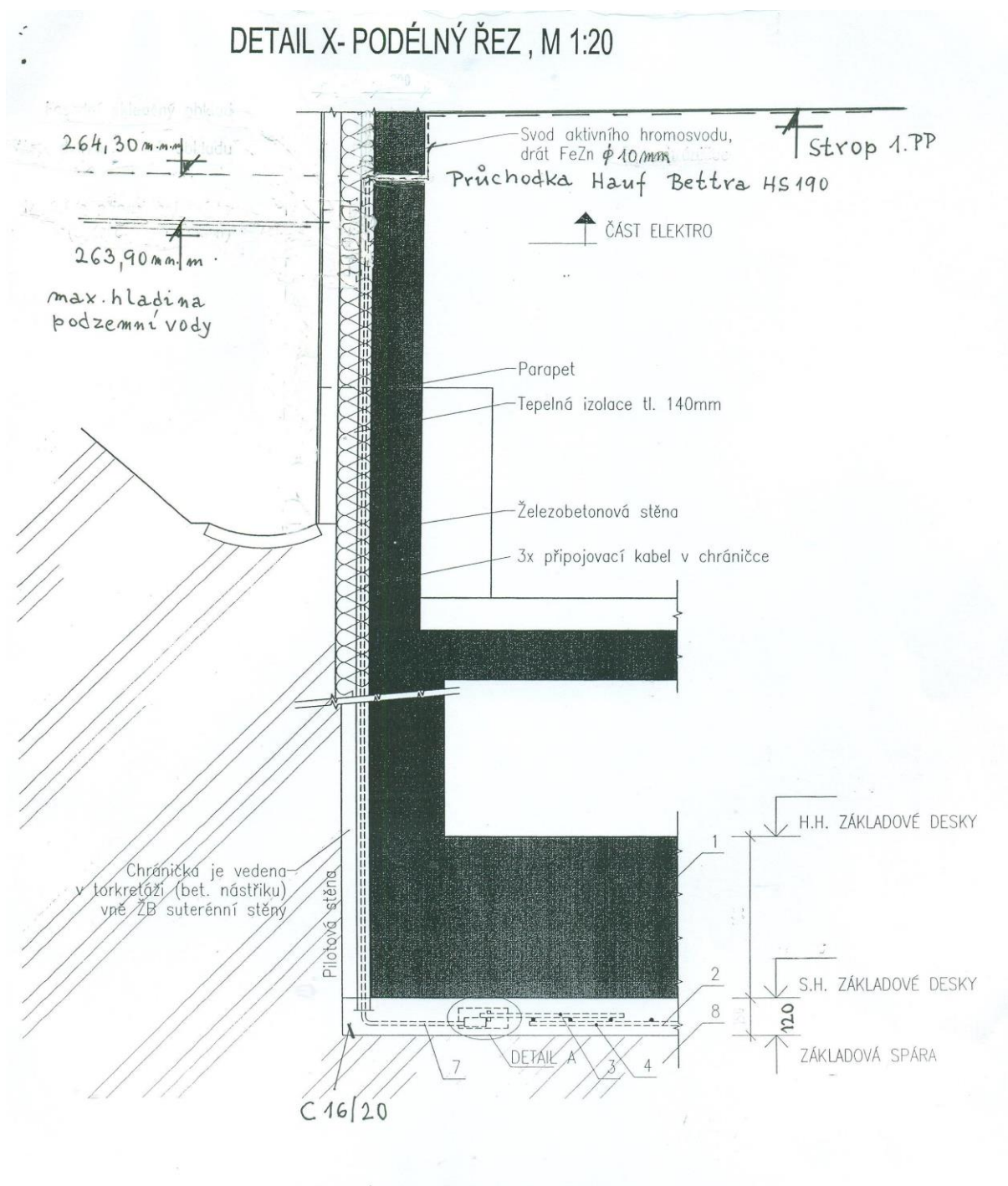
Obr. 1-4 Situace VES-1 a VES-2 střed osy profilů při vertikálním elektrickém sondování při uspořádání měřicích elektrod podle Schlumbergera



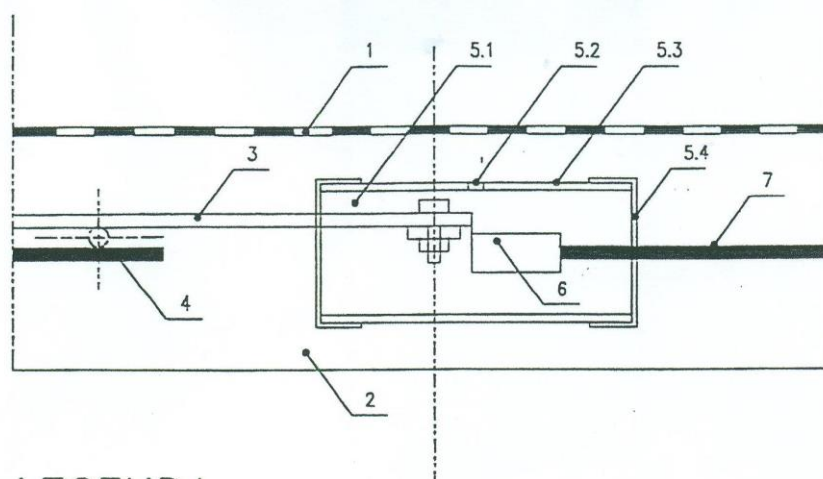
Obr. 1-5 Půdorys podkladního betonu pod základovou deskou s uspořádáním Kari sítě s vyznačením míst uzemňovacích přívodů k zemnicí síti (celkem 11)



Obr. 1-6 Příčný řez bytovým objektem s vyznačením výškové úrovně základové spáry a průchodek ve svislém zdivu



Obr. 1-7 Uzemňovací přívod ze zemnicí sítě v podkladním betonu vedený mezi vnějším povrchem svislé stěny a pilotovou záporovou stěnou k průchodce ve stěně

PŘIPOJENÍ KABELU C.YA 50 mm² K ZEMNÍCI SÍTI - Detail „A“

LEGENDA

VARIANTA 1 –

- | | |
|--|--|
| 1 – hydroizolace | 5.1 – licí pryskyřice EPROSIN KE 1 |
| 2 – podkladní beton B 20 | 5.2 – plnicí otvor $\varnothing$ 16mm |
| 3 – pásek FeZn 30/4mm, dl.600mm
na jednom konci s otvorem 8.2mm
na druhém konci přivařen min. k 3 profilům
8mm uzemňovací síť s 300mm | 5.3 – PVC trubka $\varnothing$ 50mm |
| 4 – zemní síť z rohoží 3x2m vzájemně provařených
rohože z odporově svařované oceli R 10 505, $\varnothing$ 8mm, oka 150/150mm | 5.4 – zaslepovací plastový uzávěr
na plastové trubce |
| | 6 – kabelová oka letovací
pro průměr drátu $\varnothing$ 10mm,
průměr oka 8.2mm (M8) |
| | 7 – připojovací kabel C.YA 50mm ²
délky min. 3m |

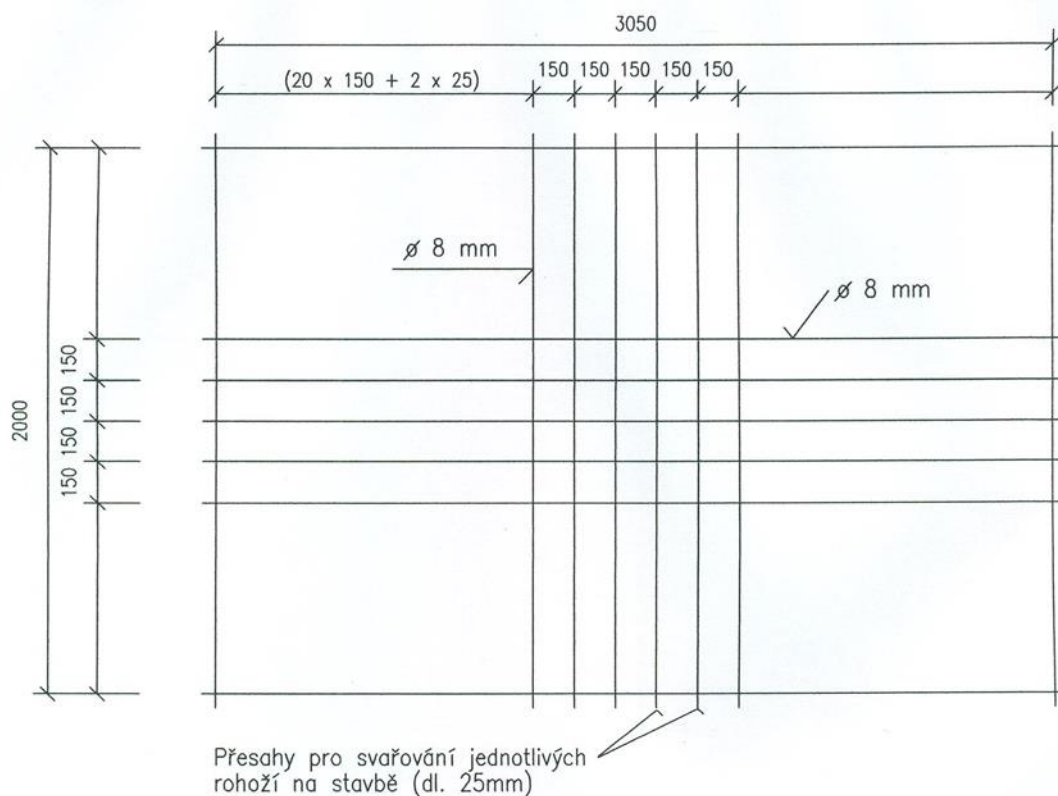
VARIANTA 2 –

Místo PVC trubky (5.3.) a licí pryskyřice EPROSIN KE 1 (5.1.) je možno použít kabelovou spojku z teplem smršťitelného materiálu, např. na bázi modifikovaného molekulárně zesíťovaného, a tím natavitelného polyolefinu, na vnitřní straně továrně opatřeném vrstvou lepidla (např. systém Thermofit).

Obr. 1-8 Detail připojení měděného kabelu k ocelové síti v betonu

PŮDORYS 1:20

DETAIL ROHOŽE ZE SVAŘOVANÉ OCELOVÉ SÍTĚ $\varnothing$ 8 mm
3 x 2 m



Poznámky

ROHOŽE ZE SVAŘOVANÉ SÍTĚ $\varnothing$ 8 mm, velikost oka 150 x 150 mm

Ocelová síť KARI vytvořena odporovým svařováním v dílně

Síť uložena v podkladním betonu B20, min. krytí výztuže 50 mm !

Délka prutů ocel.sítě 87 m

Hmotnost ocel.sítě: 34,4 kg

Měrná hmotnost ocel.rohože: $34,4/2,3 = 5,73 \text{ kg.m}^{-2} = G'$

Měrný el.odpor ocel.sítě při $d=3,05 \text{ m}$ a průřezu prutů $\varnothing$ 8 mm

$S_o = 1055 \text{ mm}^2$ (21x o 8 mm), $R_L' = 1,7061 \times 10^{-4} \text{ Ohm.m}^{-1}$

Obr. 1-9 Detail rohože z ocelové sítě $\varnothing$ 8/150/150 mm dílensky vyrobené 3 x 2 m

11.2 PŘÍKLAD č. 2 – ODOLNOST TUNELŮ BLANKA PROTI KOROZI BLUDNÝMI PROUDY

1 VŠEOBECNĚ O OCHRANNÝCH OPATŘENÍCH U TUNELŮ

Za účelem omezení vlivu stejnosměrných bludných proudů je třeba postupovat odlišně podle toho, jedná-li se o projektovaný objekt nebo o opravu či přestavbu konstrukce tunelu.

Ochranná opatření se budou dále lišit podle prostorového uspořádání tunelu ve vztahu ke zdrojům bludných proudů, což je železnice ($\varnothing$ 3 kV), tramvaj ($\varnothing$ 600 V), metro ($\varnothing$ 700 V), důlní dráhy ($\varnothing$ 1,5 kV).

Podle stupně ohrožení jde o tyto případy:

- tunel je veden rovnoběžně v určité vzdálenosti od ss elektrizované kolejové dopravy: 1. stupeň;
- tunel kříží ss elektrizovanou trať (např. železnici): 2. stupeň;
- v tunelu je vedena kolejová doprava elektrizovaná stejnosměrným systémem: 3. stupeň (nejhorší).

Účinná nápravná opatření je možno zabezpečit ve stadiu zpracování projektové dokumentace.

Rozsah základních ochranných opatření proti působení bludných proudů na železobetonové konstrukce se určí podle odborného expertního posouzení výsledků korozního průzkumu se zřetelem na druh posuzovaného objektu a typu konstrukce, charakteristiku zdroje bludných proudů a jeho dispozice, členění napájecích úseků apod. Výchozím podkladem je elektrický a geofyzikální průzkum, rezistivita půdy, měření přítomnosti bludných proudů v zemi, vyhodnocení inženýrskogeologického průzkumu a další šetření podle daných podmínek.

K základním opatřením vedoucím ke snížení účinku bludných proudů patří:

1.1 ROZDĚLENÍ TUNELU V ÚSEKY POUŽITÍM IZOLAČNÍCH SPÁR

Rozdělení tunelu do menších částí navzájem od sebe elektricky izolovaných, což bývá automaticky splněno, pokud mezi pracovní spáry jednotlivých úseků je aplikována elektrická izolace. Šířka dilatace by měla být v rozmezí 1-5 cm. Pokud přesahy sítí a výztuže podélně i příčně jsou prováděny standardním způsobem (tj. nejsou spojovány svařováním výztuže) je automaticky zajištěn dostatečně velký odpor tunelu tak, aby bludné proudy do tohoto objektu prakticky nevstupovaly, a tedy ani nevystupovaly.

Použití této metody je ukázáno na obr. 2-1, kde je též uveden příklad výpočtu efektivního odporu izolační spáry pro konkrétní uspořádání v tunelu Blanka a sice pro ražený třípruhový tunel.

Toto řešení vychází z těchto poznatků:

Protéká-li tunelem určité délky proud, který je z hlediska koroze nebezpečný

$I_{\max} = \Delta U / R_{\min}$, je možno zvýšit jeho celkový odpor $R_{\min}$ na potřebnou hodnotu $R_{\max}$ a tím zeslabit proud $I_{\max}$ tak, že přestává být nebezpečný: $I_{\min} = \Delta U / R_{\max}$, kde ΔU je rozdíl potenciálů na příslušné délce tunelu. Toho se dosáhne rozdělením na několik úseků, přičemž spojování jednotlivých úseků bude prostřednictvím izolačních spár.

Protože však tunel i jeho izolační spáry leží v horninovém prostředí, vytvoří si v daném případě bludné proudy paralelní dráhu a budou obtékat izolační spáry. Při zapojení několika odporů v sérii se proud v tunelu podstatně sníží, protože paralelní cesta je pro bludný proud, vracející se z kolejí k měničům je půda lepším vodičem než izolačními spárami opatřený tunel.

Při použití monolitních prvků, resp. svařované výztuže je třeba navrhnout přerušení elektrické spojitosti výztuže a určit max. přípustnou délku úseku podle hmotnosti výztuže na bm. Tato délka by při hmotnosti výztuže $G > 1,5$ t na 1 bm tunelu neměla přesáhnout 200 m.

1.2 DALŠÍ DOPORUČENÁ OPATŘENÍ [73, 74]

1.2.1

Pokud tunelové těleso nepředstavuje spojitou elektrickou cestu (kterou protékají bludné proudy) není třeba kovové podpěrné konstrukce např. pro kabely připevňovat k železobetonovým konstrukcím izolovaně.

1.2.2

Doporučuje se provádět rozvod uzemnění izolovaným kabelem, pokud je konstrukce tunelu elektricky spojitá. Stínění sdělovacích kabelů propojovat se zemí vždy pouze v jednom místě.

1.2.3

Za účelem zvýšení přechodového odporu mezi železobetonovou konstrukcí a zemí se doporučuje v odůvodněných případech mezi primární a sekundární obezdívku použít izolaci.

1.2.4

Ocelová potrubí na vstupu i výstupu z tunelu opatřit izolačními spojkami; podobně i v případě kovových plášťů kabelů, resp. připojit tyto pláště na uzemnění tunelu přes průrazky s opakovatelnou funkcí.

1.2.5

Uzemnění tunelu musí být ve vzdálenosti min. 20 m od cizích uzemňovacích soustav.

1.2.6

Z hlediska vlivu bludných proudů není nutná jedna uzemňovací soustava pro celý tunelový úsek. Je možné použít více uzemňovacích soustav vždy u jednotlivých technologických center (TGC), které nejsou navzájem elektricky propojeny.

2 KOROZNÍ PRŮZKUM V TRASE TUNELU

Před zahájením prací na projektové dokumentaci je nutné vyhodnotit korozní průzkum, který sestává zejména z těchto šetření:

2.1 ZDROJE BLUDNÝCH PROUDŮ V TRASE TUNELU

V Praze je to stejnosměrně elektrizovaná kolejová doprava, tj. železnice, tramvaje a metro (viz odst. 1).

2.2

Inženýrskogeologický průzkum prováděný primárně pro profese stavební a statiky (zakládání)

2.3

Geoelektrický průzkum použitím Wennerovy metody [63] nebo VES (vertikální elektrické sondování) metodou podle Schlumbergera [65]

2.4 STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI [64]

Jelikož měření lze provádět pouze na povrchu terénu je třeba výsledky měření, zejména pokud jde o intenzitu elektrického pole, transformovat na hodnoty při povrchu tunelu, který je uložený v hloubce h (osa tunelu). Vztah mezi intenzitou elektrického pole při povrchu země a u tunelu v hloubce h je odvozen na obr. 2-2. Je zde uveden též příklad výpočtu pro jeden tubus hloubeného třípruhového tunelu Blanka podle reálných parametrů.

3 STRUČNÝ POPIS TUNELOVÉHO KOMPLEXU BLANKA

3.1 POPIS TRASY

Trasa tunelu prochází urbanizovaným prostředím střední části města na hranicích historického jádra Prahy a prostorem chráněné přírodní památky Královská obora – Stromovka, jak je patrné z obr. 2-3. Tunel sestává ze tří základních tunelových úseků.

Tunelový úsek Brusnice vede od severního portálu Strahovského tunelu ulicí Patočkovou nejdříve hloubenými tunely. Za křižovatkou s ulicí Myslbekovou vstupuje trasa do raženého úseku, který končí před křižovatkou Prašný most, kde pokračují opět tunely hloubené. Celková délka úseku je 1,4 km, z toho je 550 m ražených tunelů.

Tunelový úsek Dejvice začíná v křižovatce Prašný most a pokračuje v celé délce hloubenými tunely třídou Milady Horákové až do prostoru stavební jámy na Letné, kde je umístěna budoucí křižovatka U Vorlíků. Celková délka úseku je 1,0 km.

Tunelový úsek Královská obora pokračuje od křižovatky U Vorlíků nejdříve krátkým hloubeným úsekem na Letné, na který navazuje ražený úsek vedoucí směrem pod zástavbu, Stromovku (Královskou oboru), plavební kanál, Císařský ostrov, Vltavu a potom dalším hloubeným úsekem až k trojskému portálu. Celková délka úseku je 3,09 km, z toho je 2 230 m ražených.

Trasa okruhu je v celé délce vedena jako striktně směrově rozdělená se samostatným dvou až třípruhovým tubusem v každém směru. Počet jízdních pruhů odpovídá intenzitám dopravy, podélnému sklonu trasy, a především potřebám napojení ramp mimoúrovňových křižovatek, zajišťujících napojení komunikace okruhu na povrchovou síť.

3.2 Rozdělení tunelu na jednotlivé stavby, účastníci výstavby

Jak je patrné z obr. 2-3 byl tunel ve fázi přípravy a realizace rozdělen na čtyři stavby:

- Stavba evid. č. 0065 Strahovský automobilový tunel, 2A a 2B etapa
- Stavba evid. č. 9515 Myslbekova – Prašný most (MYPRA)
- Stavba evid. č. 0080 Prašný most – Špejchar (PRAŠ)
- Stavba evid. č. 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka (ŠPELC)

Protože se jedná o největší tunel vybudovaný v České republice, jehož celková délka činí 6382 m, považujeme za vhodné uvést zde účastníky výstavby [91]:

Investor:	Hlavní město Praha
	Odbor městského investora MHMP
Správce stavby:	Inženýring dopravních staveb, a.s.
	(pro stavby 9515, 0080 a 0079)
	VIS, a.s.

(pro stavbu 0065)

Koordinace projektu:	SATRA, spol. s r.o.
Zpracovatelé projektové dokumentace:	SATRA, spol. s r.o. (stavba 0079) PUDIS, a.s. (stavby 0065 a 9515) METROPROJEKT Praha a.s. (stavba 0080)
Zhotovitel stavební části:	METROSTAV, a.s. (pro stavby 9515, 0080, 0079 a stavbu 0065 SAT 2A) EUROVIA CS, a.s. (pro stavbu 0065 SAT 2B)
Zhotovitel technologické části:	ČKD Praha DIZ, a.s.

3.3 TECHNICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Celý tunelový komplex Blanka se skládá z několika na sebe navazujících tunelových úseků, tvořených jak tunely raženými, tak i hloubenými.

3.3.1 Ražené tunely

Veškeré ražené tunely jsou navrženy jako dvouplášťové, realizované konvenčním postupem pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Ostění i mezilehlá izolace jsou uzavřené. Pro zajištění výrubu bude použito primární ostění ze stříkaného betonu, vyztužené příhradovými rámy z betonářské výztuže, svařovanými ocelovými sítěmi a svorníky. Ražba probíhala členěným výrubem. Jako doplňující opatření byly v kritických úsecích prováděny sanační injektáže okolního prostředí, trysková injektáž, mikropilotové deštníky, protiklenba kaloty, úprava členění pobírání, případně kombinace u vedených úprav. Profil dvoukruhového tunelu je 123,7 m² a třípruhového 172,6 m². Pro zajištění vodotěsnosti ražených tunelů byl navržen speciální hydroizolační systém.

Definitivní ostění ražených tunelů je navrženo jako uzavřené železobetonové monolitické. Dispozičně se tunel v příčném řezu skládá z dopravního prostoru nad vozovkou a pod ní umístěných prostor požárních vzduchotechnických kanálů a instalačních kanálů pro rozvod inženýrských sítí. Spolu s definitivním ostěním, rozděleným na spodní a horní klenbu byly realizovány i některé části vnitřních konstrukcí (deska a stěna nesoucí vozovku). Do betonu horní klenby byla použita polypropylenová vlákna sloužící jednak jako ochrana proti vniku trhlinek od počátečního smršťování betonu, jednak jako účinný prostředek snížení vlivu požáru na ztrátu únosnosti betonového ostění.

3.3.2 Hloubené tunely klasické

byly navrženy vždy do otevřené stavební jámy zajištěné buď kotvenými podzemními, záporovými, nebo mikropilotovými stěnami, případně svahováním nebo kotvenou skalní stěnou. Nosnou rámovou konstrukci tunelu tvoří spodní základová deska (s instalačním kanálem) se stěnami a rovným stropem, případně s horní klenbou. Veškeré konstrukce jsou monolitické železobetonové, rovněž s přidáním PP vláken. Tento typ konstrukcí je využíván v místech se složitou prostorovou dispozicí u definitivních portálů, v místech napojení na raženou část, v místech, kde jsou k tunelu do stavební jámy umístěny další objekty, jako technologická centra, podzemní garáže, nebo křižovatkové napojovací rampy.

3.3.3 Hloubené tunely s čelním odtěžováním

jsou navrženy v místech s velmi stísněnými prostorovými podmínkami a v místech s nutností minimalizace časového omezení provozu na povrchu. Postup výstavby spočíval ve vytvoření podzemních konstrukčních monolitických stěn z povrchu, případně ze zajištěného předvýkopu stavební jámy. Dále se na srovnaném povrchu dna stavební jámy vybetonovala definitivní nosná konstrukce stropu (uložená na hlavy podzemních stěn), která se po dozrání betonu zasype. Na povrchu se tak mohly provést finální úpravy a obnovit provoz. Odtěžení vlastního profilu tunelu se provádí až po dokončení celého úseku ze zajištěné stavební jámy čelním odtěžováním (ražbou) klasickými tunelářskými mechanizmy. V celé délce mají tunely tohoto uspořádání společnou střední stěnu. V příčném řezu je tubus tunelu tvořen spodní rozpěrnou železobetonovou deskou, podzemními stěnami tloušťky vetknutými do únosného podloží a stropní železobetonovou deskou.

Jedná se o úsek TGC 2 (u křižovatky ul. M. Horákové a u Prašného mostu v km 3,574) až TGC 3 (na Letenské pláni v km 4,746) v celkové délce 1 172 m. V tomto úseku nebylo možno provést elektrické oddělení po 200 m podle *odst. 1.1*. Tento úsek byl předmětem expertního šetření, jak je uvedeno dále.

3.4 TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

Technologické a bezpečnostní vybavení tunelového komplexu Blanka splňuje a v mnoha případech překračuje minimální bezpečnostní požadavky stanovené evropskou Směrnicí 2004/54/EC o bezpečnosti silničních tunelů. Tunel je další tunelovou stavbou na pražském Městském okruhu a bezprostředně navazuje na Strahovský automobilový tunel. Skutečnost, že všechny pražské automobilové tunely jsou řízeny a ovládány ze dvou dispečerských pracovišť (jedno pro řízení dopravy a druhé pro sledování a řízení technologického vybavení) podmínila vybavení komplexu Blanka odpovídajícím monitorovacím, řídicím a bezpečnostním vybavením, kompatibilním s ostatními tunely.

Provozní celky technologického vybavení tunelového komplexu Blanka:

- Strojní zařízení (jeřábové dráhy).
- Světelná signalizace (značení a řízení provozu, závory, informační systém, světelné signalizační zařízení).
- Vzduchotechnika (hlavní větrání tunelu, větrání pomocných prostor).
- Zařízení pro automatiku provozu (řídicí systém, měření škodlivin a rychlosti proudu vzduchu, identifikace provozních podmínek, uzavřený TV okruh, bezpečnostní zařízení, přenosy řízení do velínů).
- Silnoproudá zařízení (silnoproudé rozvody, uzemnění, osvětlení tunelů a pomocných prostor).

- Slaboproudá zařízení (anténní zařízení, elektrická požární signalizace, sdělovací zařízení, elektrická zabezpečovací signalizace, místní rozhlas).
- Trafostanice,
- Čerpací stanice.

3.5 TECHNICKÉ PARAMETRY TUNELOVÉHO KOMPLEXU [91]

3.5.1 Délka tunelového komplexu Blanka

	STT [m]	JTT [m]
Tunelový úsek Brusnice		
Hloubený úsek	546,07	539,29
Ražený úsek	534,95	550,26
Hloubený úsek	323,96	308,72
Celkem	1 104,98	1 398,27
Tunelový úsek Dejvice		
Hloubený úsek	1 006,82	1 004,98
Celkem	1 006,82	1 004,98
Tunelový úsek Královská obora		
Hloubený úsek	290,69	594,93
Ražený úsek	2 230,77	2 223,83
Hloubený úsek	568,94	537,22
Celkem	3 090,40	3 085,98
Celková délka tunelů hlavní trasy		
Celková délka ražených tunelů	2 765,72	2 774,09
Celková délka hloubených tunelů	2 736,48	2 715,05
Celková délka tunelů	5 502	5 489

3.5.2 Délka hloubených tunelových ramp

Malovanka	138,8	68
Prašný most	114	199,9
U Vorlíků	195	353,6
Trója	0	77,7
Celkem	448,8	699,2

Hloubené tunelové trouby celkem	6 599,53 m
Ražené tunelové trouby celkem	5 539,81 m
Tunelové trouby celkem	12 139,34 m

3.5.3 Plocha výrubu a hloubka tunelu

Dvoupruh	123,7 m ²
Třípruh	172,6 m ²
Minimální nadloží ražených tunelů	8 m

Maximální nadloží ražených tunelů

44 m

3.5.4 Objem stavebních prací

Ražené objekty

944 000 m³ (vyrubaný prostor)

Hloubené objekty

1 270 000 m³ (obestavěný prostor)**3.5.5 Další údaje**

Výška průjezdného profilu

4,8 m

Šířka jízdního pruhu

3,5 m

Maximální stoupání

5 %

Návrhová rychlost

70 km/h

4 OMEZENÍ KOROZNÍHO ÚČINKU BLUDNÝCH PROUDŮ NA UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY V TUNELOVÉM KOMPLEXU**4.1 KONCEPCE OCHRANY**

Ze všech zařízení uložených v zemi, nebo které jsou v kontaktu s horninovým prostředím, je korozně nejvíce ohroženo ochranné uzemnění u technologických zařízení v tunelu.

Zvolená opatření spočívají především:

- v uložení zemničů v betonovém obložení [18] (viz též obecná část 1–9),
- jednotlivé uzemňovací soustavy nejsou navzájem elektricky propojeny, takže i z tohoto hlediska tunely netvoří spojitou elektrickou cestu, což je základním předpokladem pro omezení působení bludných proudů,
- uzemnění nesmí být propojeno s uzemňovací soustavou PRE (přes Cu-stínění kabelů 22 kV), za účelem vyloučení galvanického propojení s uzemněním okolních trafostanic a tím i omezení šíření bludných proudů,
- celkový odpor ochranného uzemnění nesmí být, vzhledem ke kapacitnímu proudu v síti 60 A, větší než 1,08 Ω. Současně není žádoucí, aby zemní odpor byl výrazně nižší než 1,0 Ω, čímž by se usnadňoval průtok bludných proudů uzemňovací soustavou.

Výše uvedená technická řešení byla v letech 2002–2004 zapracována do projektové dokumentace [73,74]. Příklady uspořádání zemničů u objektů podél trasy tunelu jsou jako relativně atypické popsány dále.

4.2 POSTUP PŘI NÁVRHU UZEMNĚNÍ**4.2.1 Vyhodnocení korozního průzkumu**

Geoelektrický průzkum Wennerovou metodou [63] do hl. 5,0 m mohl být využit pouze částečně. Pro hloubku uložení tunelů (průměrně 25 m) nebyly k dispozici hodnoty rezistivity, takže bylo nutno využít výsledky inženýrsko-geologického průzkumu. Jelikož uzemňovací soustavy byly navrženy v hl. 10 až 30 m pod terénem bylo nutno stanovit hodnoty rezistivity horninového prostředí odborným odhadem podle těchto kritérií:

- u navážek (do hl. 2,0 m) je $\rho = 50$ až $300 \Omega\text{m}$; (zde jsou relevantní podklady k dispozici)
- v případě eolitických a deluviálních sedimentů $\rho = 30$ až $60 \Omega\text{m}$; $\varnothing \rho = 50 \Omega\text{m}$
- u zvětralých hornin skalního podkladu: $\rho = 80$ až $120 \Omega\text{m}$

- v případě pevných hornin $\rho > 150 \Omega\text{m}$
- Při stanovení intenzity elektrického pole [64] byly k dispozici hodnoty v rozmezí

$E = 0,15 \text{ až } 6,1 \text{ mV.m}^{-1}$, respektive hodnoty hustoty proudu v zemi v rozmezí

$$J = 0,15 \text{ až } 174 \mu\text{A.m}^{-2}.$$

Průměrně $\varnothing J = 40 \mu\text{A.m}^{-2}$, což při rezistivitě $\rho = 50 \Omega\text{m}$ dává průměrnou hodnotu

$$\varnothing E = \varnothing J \cdot \rho = 40 \cdot 50 = 200 \mu\text{V.m}^{-1} = 2,0 \text{ mV.m}^{-1}$$

4.2.2 Přehled uzemňovacích soustav v tunelu s vypočítanou hodnotou zemního odporu

- | | | |
|----------------------|------------------------------|--------------------|
| • TGC-1 (km 2,838); | $\rho = 120 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,96 \Omega$ |
| • TGC-2 (km 3,445); | $\rho = 150 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,99 \Omega$ |
| • Garáže Prašný most | $\rho = 80 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,60 \Omega$ |
| • Garáže Letná | $\rho = 80 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,59 \Omega$ |
| • TGC-3 (km 5,010); | $\rho = 100 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,98 \Omega$ |
| • TGC-4 (km 5,500); | $\rho = 100 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,98 \Omega$ |
| • TGC-5 (km 6,540); | $\rho = 140 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,94 \Omega$ |
| • TGC-6 (km 7,270); | $\rho = 120 \Omega\text{m};$ | $RZ = 0,97 \Omega$ |

4.2.3 Způsob provedení uzemnění u technologického centra (TGC)

Z hlediska elektrotechnického sestává technologické centrum z části PRE (rozpínací stanice RS) a části provozované správcem MO.

Vnitřní uzemnění v rozpínací stanici PRE bude provedeno jako oddělené od uzemňovací soustavy objektu tunelu. Vnitřní uzemnění rozpínací stanice je navrženo dle normy ČSN 33 2000-5-54 jako společné pro soustavu VN a NN. Vnější uzemňovací soustava PRE je připojena na hlavní uzemňovací svorku HOS spolu s napájecím kabelem vlastní spotřeby RS PRE z napájecí SP5 kabelem CYY120. Hlavní uzemňovací vedení je v místnosti RS PRE provedeno z ocelového pásu FeZn 30 x 4 mm umístěného na izolátorech. Na toto společné uzemnění v místnosti RS PRE je připojeno:

- ochranné uzemnění VN, NN;
- pracovní uzemnění NN;
- stínění kabelů 22 kV;
- na uzemnění PRE se též připojí všechny kovové části rozvaděčů uvnitř transformovny, konstrukce dvojité podlahy (která bude izolovaná vůči dotyku s částmi objektu) mimo vstupních dveří. Kostry skříní rozvaděčů budou upevněny k dvojité (na povrchu sklotextitové) podlaze s antistatickou vrchní úpravou. Stínění napájecích 22 kV kabelů odběratelské části z rozvodny PRE a.s. je na straně rozvodny 22 kV připojeno na uzemňovací šroub uvnitř rozvaděče 22 kV přes průrazky s opakovatelnou funkcí (např. TPSJ 150/50). V místnosti RS PRE je připojen k zemnicí síti RS přes průrazky s opakovatelnou funkcí kabelem CY 10 mm² rám vstupních dveří do RS PRE a.s.

4.3 PŘÍKLAD PROVEDENÍ UZEMNĚNÍ U TGC 2

Je dokumentováno na obr. 2-4 (situace) a na obr. 2-5 (příčný řez). Šířka pruhu 4,7 m x 2, délka $L = 120$; podkladní beton C 16/20 pod technologickou částí 22 x 21 m, celková plocha uzemnění $S_u = 1\,600 \text{ m}^2$.

Na *obr. 2-6* je znázorněn způsob připojení kabelu k zemní síti (detail – řez „Z“ + měřicí a připojovací objekt MO-T).

Obr. 2-7 ukazuje detail „A“ připojení kabelu Cu 50 mm² k pásku FeZn 30/4 mm.

Obr. 2-8 znázorňuje připojení zemní sítě k ekvipotenciální přípojnici trať pomocí uzemňovacích přívodů, tj. vždy přes objekt MO-T. Současně je znázorněno zapojení všech tří měřicích objektů MO (1,2,3) vzájemně mezi sebou propojených (v technické části tunelu) a dále do místnosti trafa do MO-T (zde je provedeno připojení sítě pomocí detailu řezu „Z“), kde bude periodicky prováděno kontrolní měření.

Výpočet zemního odporu uzemnění:

$$S_u = 1\,600\text{ m}^2, \rho = 150\ \Omega$$

Náhradní průměr kruhové desky:

$$D = (4 \cdot S_u / \pi)^{0,5} = (4 \cdot 1\,600 / \pi)^{0,5} = 45,1\text{ m}$$

Zemní odpor kruhové desky na povrchu země (což odpovídá uložení pod hydroizolací) při $\alpha = 1$, ve velké hloubce je $\alpha = 0,5$; v hloubce $h = 10$ až 20 m je $\alpha = 0,6$ [2]

$$R_Z = \alpha \cdot \rho / 2D = 0,6 \cdot 150 \cdot 45,1 = 0,99\ \Omega$$

Návrh vyhovuje $R_Z < 1,0\ \Omega$

4.3.1 PŘÍKLAD PROVEDENÍ UZEMNĚNÍ U TGC-5 A JEHO ŽIVOTNOST

Délka uzemnění $L = 240$ m; plocha $S_u = 720\text{ m}^2$. Jedná se o korozně nejohroženější uzemnění. Proto bude dále proveden výpočet životnosti na základě intenzity bludných proudů, které vstupují a vystupují z této liniové elektricky spojitě konstrukce ($L = 240$ m). Na *obr. 2-8* je uveden příklad měření funkčnosti a korozního ohrožení bludnými proudy – pro TGC-5. Ostatní detaily viz *obr. 2-9*.

Pro $\rho = 140\ \Omega\text{m}$; $L = 240$ m

$$R_Z = 140 / (\pi \cdot 240) \cdot (\ln 2 \cdot 240 / 3) = 0,1857 \cdot 5,0751 = 0,942\ \Omega$$

Návrh vyhovuje: $R_Z < 1,0\ \Omega$

Výpočet životnosti uzemnění

Podle korozního průzkumu je průměrná hustota bludného proudu v zemi

$$J_B = 170\ \mu\text{A}\cdot\text{m}^{-2}. \text{ Rezistivita půdy } \rho = 140\ \Omega\text{m}; \text{ délka zemniče } L = 240\text{ m}; \text{ zemní odpor } R_Z = 0,942\ \Omega.$$

Bludný proud, který vstupuje (vystupuje) do (z) uzemňovací soustavy je podle [2]:

$$I_b = (L \cdot \rho \cdot J_B) / 2 R_Z = (240 \cdot 140 \cdot 170 \cdot 10^{-6}) / 2 \cdot 0,942 = 3,03\text{ A}$$

Měrná hmotnost zemnicí (Kari) sítě 150/150/8 mm:

$$G' = 5,73\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$$

Celková plocha zemnicí sítě

$$S_u = 720\text{ m}^2$$

Celková hmotnost zemniče

$$G = G \cdot S_u = 5,73 \cdot 720 = 4\,125,6 \text{ kg}$$

Pokud by uzemňovací soustava byla uložena v zemi (bez betonového obložení) došlo by za rok ke koroznímu úbytku celkem

$$K = I_b \cdot m = 3,03 \cdot 9,2 \text{ kg} \cdot \text{A}^{-1} = 27,88 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1},$$

kde m je korozní úbytek oceli v zemi podle Faradayova zákona.

Při využitelnosti uzemňovací soustavy $\eta = 0,4$ by životnost uzemnění byla

$$\tau = G \cdot \eta / K = 4426,6 \cdot 0,4 / 27,88 = 59,2 \text{ roků}$$

Při uložení do betonového obložení se rychlost koroze sníží 2x až 10x [2]. Uvažujeme s prodloužením životnosti 3x, tj. korozní úbytek $m' = 3,1 \text{ kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

$$K' = 3,03 \cdot 3,1 = 9,4 \text{ kg} \cdot \text{A}^{-1}$$

$$\tau = 4126,6 \cdot 0,4 / 9,4 = 175,6 \text{ roků}$$

Návrh vyhovuje: $\tau > 100 \text{ let.}$

5 POSOUZENÍ ZMĚNY KONSTRUKCE HLOUBENÉHO TUNELU V KM 3,574 AŽ 4,746 Z HLEDISKA ODOLNOSTI VŮČI PŮSOBENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ

5.1 ÚČEL POSUDKU

V důsledku změny koncepce stavby hloubených tunelů městského okruhu v úseku TGC 2 (u křižovatky ul. M. Horákové a u Prašného mostu) až TGC 3 (na Letenské pláni) v celkové délce 1172 m, požaduje objednatel posoudit změnu konstrukce tunelu na odolnost vůči působení bludných proudů. Podle zhotovitele stavby nelze dodržet požadavek DSP na elektrické oddělení železobetonových konstrukcí tunelů v podélném směru při max. délce úseků 200 m. Z toho důvodu se způsob protikorozní ochrany tunelu rozdělením v úseky redukuje pouze na standardní primární opatření, spočívající ve zvýšení schopnosti železobetonu odolávat působení agresivního prostředí včetně účinku bludných proudů, tj. především při výrobě betonu a postupu výstavby železobetonové konstrukce tunelu a z toho plynoucí konstrukční řešení tunelu [77].

5.1.1 VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU V TRASE TUNELU

5.1.2 Prostorové uspořádání úseku tunelu

Hloubený úsek začíná před ul. U Prašného mostu v km 3,57 (stavba č. 9515) a končí za křižovatkou ulic Na Špejcharu / M. Horákové v km 4,75 (stavba č. 0080).

Střed úseku je v km 4,2 u metra Hradčanská. Tento dopravní uzel je z hlediska působení bludných proudů určující (souběh / křížení metra, tramvají a budoucí rychlodráhy ČD). Hloubka tunelu je rozmezí 10 až 30 m (mezi povrchem a niveletou), průměrně 10 m, resp. 24 m (mezi povrchem a základovou spárou podzemních stěn).

5.1.3 Inženýrskogeologický průzkum

Geologické poměry v trase jsou složité a proměnlivé. U Prašného mostu bude tunel vybudován v ordoviku (souvrství Letenské) s písčitými břidlicemi navětralými s výplní tuhého jílu, místy písčitého jílu se štěrkem. Ve větší hloubce (od kóty 231,00 m.n.m.) jsou písčité břidlice zdravé slídnaté. Podzemní voda nebyla naražena.

V okolí stanice metra Hradčanská byly provedeny vrty do hloubky 25 m (J 205 v km 4,240). Rostlý terén je v úrovni 227,72 m.n.m., v hl. 0 až 2,1 m je navážka, ve vrstvě 2,1 až 10,20 m jíl; 10,20 – 12,50 m písčitá hlína; 12,50 – 18,00 písek s příměsí jemnozrnné zeminy. Až do hl. 25,0 m jsou deluviální sedimenty (tj. kóta 202,70 m.n.m.). Hladina podzemní vody naražena v hl. 18,0 m (209,72 m.n.m.). V okolních sondách je podzemní voda na kótě 220,11 m.n.m. až 211,20 m.n.m.

Podle chemického a fyzikálního rozboru podzemní vody u sondy HJ 207 je celková konduktivita $\gamma = 1850 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, obsah síranů $690 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, chloridů $79 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$.

5.1.4 Výsledky geoelektrického průzkumu

Podle [14] s použitím Wennerovy metody do hl. 5,0 m u celkem šesti stanovišť (PS 10 – PS 15), u stanice Metra Hradčanská je PS 13, byla zjištěna rezistivita v rozsahu $\rho = 22$ až $302 \Omega\text{m}$, když nejvyšší hodnoty byly do hl. 1,0 m a nejnižší ve vrstvě 4 až 5 m pod terénem.

Z výsledků vyplývá, že v případě

- navážek je $\rho = 180 \Omega\text{m}$;
- eolitických a deluviálních sedimentů; $\rho = 50 \Omega\text{m}$;
- zvětralé horniny skalního podkladu; 80 až $120 \Omega\text{m}$;
- pevné horniny $\rho > 150 \Omega\text{m}$.

V hloubce 18 m (asi v úrovni nivelety) bude $\rho_h = 150 \Omega\text{m}$.

5.1.5 Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi

Měření bylo provedeno podle ustanovení ČSN 03 8365, při rozestupu elektrod 5 až 10 m podle terénu. U PS 13 (u metra Hradčanská) byla zjištěna průměrná hustota proudu v zemi [73] $\oint J = 30 \mu\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$. Při rezistivitě horninového prostředí při povrchu země $\rho_z = 70 \Omega\text{m}$, $\oint E_y = \oint J_z \cdot \rho_z = 0,030 \cdot 70 = 2,1 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$, kde $\oint E_y$ je zjištěná intenzita elektrického pole při povrchu země.

5.1.6 Zdroje bludných proudů v místě stavby

V současné době (2008) se v dané trase uplatňuje tramvajová doprava přímo, metro nepřímo (interference – šíření bludných proudů). V budoucnu jako zdroj i modernizovaná trať Praha Bubny – Letiště Ruzyně – Kladno Dubí. Výsledky průzkumu odpovídají provozu tramvajové dopravy (2004).

5.2 STRUČNÝ POPIS STAVEBNÍHO OBJEKTU

5.2.1 Konstrukce tunelů [77]

Celá konstrukce navržena bez membránové izolace z vodonepropustného betonu s dotěsnovacími prvky do pracovních a dilatačních spár konstrukce ostění tunelu, z monolitického železobetonu s ocelovou vázanou výztuží, do podzemních stěn jsou využity armokoše.

Hloubené tunely jsou rozděleny do samostatně působících dilatačních celků délky cca 42 m. Přes dilatační spáry zásadně neprochází žádná výztuž a pro umožnění nerovnoměrných deformací je do ní vložena, po celé ploše příčného profilu, vyjma podzemních stěn, 20 mm tlustá deska z extrudovaného polystyrenu. Ze stěn přesahuje výztuž do stropní desky. Podzemní stěny jsou navrženy z betonu C 30/37 – XA 2 s povoleným průsakem do 50 mm. Šířka stěn je 800 mm.

Stropní deska je betonována na celou šířku (dvě pole) najednou v podélném směru v délkách pracovních sekcí délky max. 21 m. Přes pracovní spáru mezi šířkami probíhá podélná výztuž. Horní líc pracovní vrstvy betonáže je doplněna o přídatnou výztuž proti smršťování.

Na stropní konstrukci je použito betonu třídy C 30/37 – XF 2 s polypropylenovými vlákny 2 kg/m³. Tloušťka stropu je v prostoru krajních stěn, včetně náběhu 1750 mm, náběhy jsou na délku 3 000 mm a výšku 500 mm (viz obr. 2-10).

Dno technické chodby, spodní rozporná deska s betonovými bloky jsou navrženy z betonu C 25/30 – XA 1 s povoleným průsakem 50 mm.

Krytí hlavní nosné výztuže v podzemních stěnách je vždy min. 50 mm (u vnitřního líce) a 80 mm u vnějšího líce. Krytí svíslé výztuže v podzemních stěnách je u obou povrchů 100 mm. Systém vyztužování předpokládá u příčné výztuže vždy vzdálenost v násobku 100 mm, u rozdělovací výztuže 100, 150 nebo 200, 250 mm u podzemních stěn. Přesahování výztuže je 55 Ø, tj. 1 100 mm u Ø 20 mm, kotevní délka 35 Ø (300 mm). **U podzemních stěn se využijí svařované armokoše.**

5.2.2 Hydroizolační systém

U hloubených tunelů je navržen uzavřený hydroizolační systém, tvořený vodonepropustným betonem ostění tunelu doplněný prvky pro dotěšňování pracovních a dilatačních spár.

Jde o tzv. systém „bílá vana“ bez pláštěvé membránové izolace.

Vybrané technické specifikace:

- Minimální tloušťka betonové konstrukce z vodonepropustného betonu – 500 mm.
- Krytí hlavní nosné výztuže betonu u vnějšího líce konstrukce – 80 mm.
- Min. třída betonu – C 25/30.
- Agresivita prostředí podle ČSN EN 206-1-XA 1.
- Omezení šířky trhlin na vnějším líci konstrukce – 0,3 mm.
- Odolnost vůči hydrostatickému tlaku – 20 m.
- Zařídění podle TP ČBS 02 – Bílé vany – (Kon₁, A₁, W₂).

Podélné spáry: stěna / strop – do drážky 10/25 mm se aplikuje bobtnavý polymerový těsnicí pásek (Supercast SW 20, lepidlo Supercast SW adhesive) s oddálenou reakcí na vodu.

Analogicky budou ošetřeny příčné spáry ve spodních konstrukcích, podélné spáry mezi deskou dna a blokem rozpěrné desky, podélná spára rozpěrná deska / stěna.

Podélné pracovní spáry mostovka / blok je systémově na celém komplexu Blanka řešena vložením bentonitového bobtnavého pásku (Aquařin CJ 3). Příčné spáry jsou ošetřeny těsnícím spárovým plechem s povrchovou krystalizační úpravou (Redpass Sk).

5.2.3 Statické řešení [76]

Postup provádění hloubeného tunelu je rozdělen do celkem 16 fází. Hloubené tunely tohoto úseku využívají spolupůsobení vlastní konstrukce ostění s okolním zemním / skalním prostředím. V podstatě se jedná o kombinaci hloubeného a raženého systému realizace tunelové stavby.

Konstrukce ostění je masivní rámová konstrukce působící v příčném směru jako spojitý rám o dvou polích na společnou střední stěnou (stojkou). Tunelový dvojrám je v příčném řezu uzavřený pomocí stropu, spodní rozpěrné desky s betonovými bloky a dna technické chodby; všechny stěny tunelu jsou vetknuté do únosného skalního podloží, vnější stěny jsou přímo v kontaktu s rostlým podložím, se kterým spolupůsobí (jde o konstrukční podzemní stěny). Stropní deska spolupůsobí s materiálem nadložních zpětných zásypů – vápennou stabilizací (3 %) do úrovně cca 0,5 m pod povrch. Spodní konstrukce jsou uloženy na podkladních skalních vrstvách.

5.2.4 Technické parametry tunelu

- Celková plocha železobetonové konstrukce dvoutubusu podle *obr. 2-10* (příčný průřez):

$$S_b = 100 \text{ m}^2$$
- Celková plocha povrchu výztuže v ostění na 1 bm tunelu (styková plocha veškeré výztuže s betonem):

$$S_p = 275 \text{ m}^2$$
- Celková průřezová plocha výztuže příčného řezu:

$$S_v = 1,276 \text{ m}^2$$
- Průměrná hmotnost výztuže na 1 bm tunelu:

$$G = 12,375 \text{ t}$$

5.2.5 Měřicí objekty

Budou zřízeny na začátku a na konci úseku. Na vnější líc vnější výztuže je vložena ocelová svařovaná síť KARI 100x100x4 mm šířky 1 m. Stěny mají svařovaný armokoš. Sítě jsou přesahovány a vodivě spojovány po celém obvodu. U těchto sítí budou vytvořeny niky, a to vložením polystyrénu (290x170x50 mm) do bednění. Na síť je následně přivařena plechová destička pro napojení svorky na měření ve vzdálenosti 1,5 m od dilatace. Všechny ocelové prvky v nice jsou opatřeny antikoročním nátěrem, např. Unikontakt + Betonschutz.

Tyto měřicí objekty však mají pro provoz malou vypovídající hodnotu a jsou tudíž zbytečné.

5.3 POSOUZENÍ ŽELEZOBETONOVÉHO TUNELU Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ

5.3.1 Všeobecně

Pro výpočet bludného proudu vstupujícího a vystupujícího (z) tunelu v délce 1,172 km budou použity postupy rozvedené v příloze č.5.

Pro stanovení elektrických poměrů na rozhraní tunel – horninové prostředí budou využity výsledky průzkumu (*odst. 5.2.4*). [91]

- Rezistivita horninového prostředí (odst. 5.2.3), $\varnothing \rho_h = 110 \Omega\text{m}$; $\varnothing \rho_z = 70 \Omega\text{m}$
- Intenzita elektrického pole (odst. 5.2.4) $E_y = 2,1 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$

Korekce pro hloubku $h = 18 \text{ m}$ (odst. 5.2.3) podle vztahu (42) části 1–9, příloha č. 5.

pro náhradní $\varnothing D$ (viz. dále): $E_h = E_y \frac{\rho_h (2h-D)}{\rho_z \cdot D} = 2,1 \frac{110(2 \cdot 18 - 15,4)}{70 \cdot 15,4} = 4,4 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1} = 4,4 \text{ V}\cdot\text{km}^{-1}$

- Rezistivita betonu

S ohledem na povolený průsak a hladinu podzemní vody uvažujeme dále s bezpečnou hodnotou $\rho_b = 600 \Omega\text{m}$. (viz část 1–9)

5.3.2 Výpočet elektrických parametrů úseku tunelu

5.3.2.1 Přechodový odpor tunel – země

$$r_p(b) = R_z \cdot l \text{ (}\Omega\text{km)}$$

Zemní odpor tunelu v délce $L = 1\,000 \text{ m}$

$$R_z = R_z = \frac{\varnothing \rho_h}{2 \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{L^2}{Dh} \text{ (}\Omega\text{)}$$

$\rho_h = 110 \Omega\text{m}$; $L = 1000 \text{ m}$; $h = 14 \text{ m}$ (podle obr. 2-10)

Náhradní kruhový průměr jednoho tubusu tunelu o příčné ploše $S = 187 \text{ m}^2$

$$D = \left(\frac{4 \cdot S}{\pi} \right)^{0,5} = \left(\frac{4 \cdot 187}{\pi} \right)^{0,5} = 15,4 \text{ m}$$

$$\text{Zemní odpor } R_z = \frac{110}{2 \pi \cdot 1000} \cdot \ln \frac{1000^2}{15,4 \cdot 14} = 0,01751 \cdot 8,442086 = 0,148 \Omega$$

Pro dva tunely v osové vzdálenosti $a = 15,4 \text{ m}$, náhradním průměru $D = 15,4 \text{ m}$ a délky $l = 1000 \text{ m}$ je podle [2] pro dvě paralelní elektrody s rovnoběžnými osami odvozen exaktní vztah pro činitel stínění:

$$\eta = \frac{\ln \frac{2L}{D}}{\ln \frac{2L}{D} + \ln \frac{L}{a}} = \frac{\ln \frac{2 \cdot 1000}{15,4}}{\ln \frac{2 \cdot 1000}{15,4} + \ln \frac{1000}{15,4}} = \frac{4,86653}{4,86653 + 4,17339} = 0,54$$

$$\text{Celkový zemní odpor } R_c = \frac{1}{\frac{\eta \cdot l}{R_z}} = \frac{1}{\frac{0,54 \cdot 2}{0,148}} = 0,137 \Omega$$

Přechodový odpor $r_p = 0,137 \Omega\text{km}$.

5.3.2.2 Podélný odpor betonu tunelu

$$r_L(bk) = \rho_b \frac{L}{S_b} (\Omega m; \Omega km)$$

$$\rho_b = 600 \Omega m \text{ (odst. 5.4.1); } L = 1000 \text{ m}$$

$$S_b = 100 \text{ m}^2 \text{ (odst. 5.3.4)}$$

$$r_L(bk) = 600 \frac{1000}{100} = 6\,000 \Omega m^{-1} = 6,0 \Omega km^{-1}$$

5.3.2.3 Ohmický odpor výztuže tunelu

$$r_L(v) = \rho_v \frac{L}{S_v} (\Omega m; \Omega km)$$

$$\rho_v = 0,21 \cdot 10^{-6} (\Omega m) \quad L = 1\,000 \text{ m}$$

$$S_v = 0,22 \text{ m}^2 \text{ (odst. 5.3.4)}$$

$$r_L(v)' = 0,21 \cdot 10^{-6} \frac{1000}{1,576} = 1,332487 \cdot 10^{-4} \Omega km^{-1} \text{ (při 100 \% provařenosti } P = 100 \%)$$

Pro teoretickou provařenou $P = 25 \%$ (svařené armokoše, použití Kari sítí) bude podle Přílohy č. 3 reálná provařenou $P' = 100 \cdot (25/100)^3 = 1,5625 \% = 1,57 \%$.

Bludný proud může využít pouze 1,57 % z průřezu plochy výztuže, tj. galvanické proudové cesty.

5.3.2.4 Společné působení betonu a výztuže

$$\text{Podélný odpor výztuže: } r_L(v) = \frac{1,332487 \cdot 10^{-4}}{0,0157} = 0,008487 \Omega km^{-1}$$

$$\text{Podélný odpor betonu: } r_L(bk) = 6,0 \Omega km$$

Při společném působení (dva paralelní odpory) betonové konstrukce a výztuže vychází podélný odpor železobetonové konstrukce tunelu (dvou tubusů):

$$r_L = 0,00847 \Omega km^{-1}$$

5.3.3 Výpočet proudu protékající tunelem

Elektrické parametry tunelu:

$$r_p = 0,137 \Omega km \text{ (odst. 5.4.2.1)}$$

$$r_L = 0,00847 \Omega km^{-1} \text{ (odst. 5.4.2.2)}$$

$$\text{Konstanta útlumu } \alpha = \left(\frac{r_L}{r_p} \right)^{0,5} = \left(\frac{0,00847}{0,137} \right)^{0,5} = 0,248646 \text{ km}^{-1}$$

Charakteristický odpor $Z' = (r_L \cdot r_p)^{0,5} = (0,00847 \cdot 0,137)^{0,5} = 0,03406 \, \Omega$

pro $L = 1,172 \, \text{km}$; $\frac{1}{2} L = 0,586 \, \text{km}$

$$\operatorname{tg} h \alpha \frac{1}{2} L = \operatorname{tg} h \cdot 0,248646 \cdot 0,586 = 0,144684$$

$$\operatorname{cotg} h \alpha L = \operatorname{cotg} h \cdot 0,248646 \cdot 1,172 = 3,528146$$

Podle Přílohy č. 5 platí vztah pro proud v tunelu:

$$I_b = \frac{\frac{E}{\alpha} \cdot \operatorname{tg} h \alpha \frac{L}{2}}{Z' \operatorname{cotg} h \alpha L} = \frac{\frac{4,4}{0,248646} \cdot 0,144684}{0,03406 \cdot 3,528146} = 21,3 \, \text{A}$$

Pro $E = E_h = 4,4 \, \text{Vkm}^{-1}$ (odst. 5.4.1)

5.3.4 Proudové zatížení výztuže na konci tunelu

Z bezpečnostních důvodů předpokládáme, že veškerý proud vytéká z tunelu do země v úseku 1 bm, tj. plochou $S_p = 275 \, \text{m}^2$ (odst. 5.3.4).

Hustota korozního proudu:

$$J_{\text{kor}} = I_b / S_p = 21 \, 300 / 275 = 77,4 \, \text{mA.m}^{-2}$$

Tato hodnota je hraniční při tolerované hustotě $J = 75 \, \text{mA.m}^{-2}$ (viz obecná část 1–9)

Podle části 1–9 je pro krytí výztuže min. 20 mm korozní úbytek

$$K = 1,3 J_{\text{kor}} (\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}; \text{mA.m}^{-2})$$

Pro $J_{\text{kor}} = 77,4 \, \text{mA.m}^{-2}$ a hmotnost výztuže $G = 12 \, 375 \, \text{kg/bm}$

je korozní úbytek

$$K' = 1,30 \cdot 77,4 = 100,6 \, \text{g.m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$$

Pro plochu $S_p = 275 \, \text{m}^2$ je to celkem $K = 275 \cdot 100,6 = 27 \, 670 \, \text{g/rok}$

Při využitelnosti $\eta = 0,3$ je celková životnost:

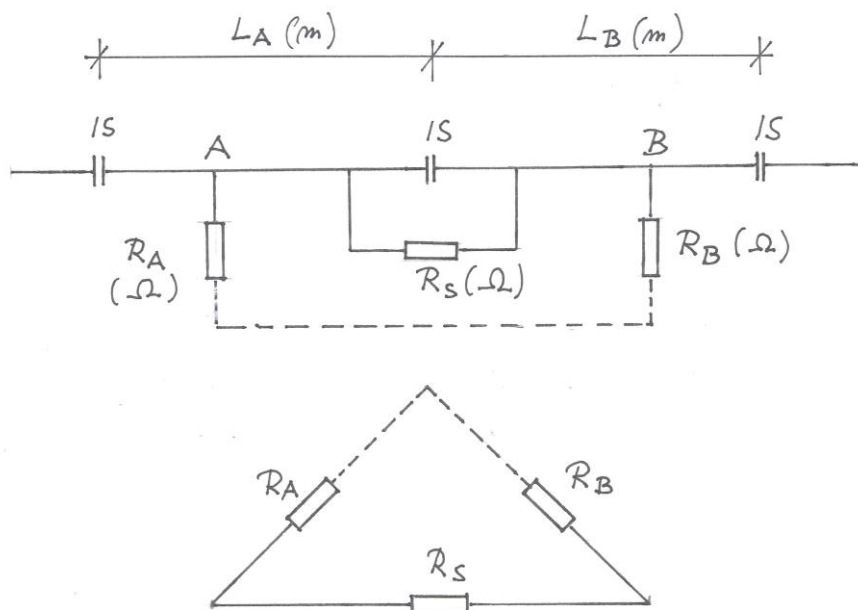
$$\tau = G \cdot \eta / K = (12 \, 375 \cdot 1000 \cdot 0,3) / 27 \, 670 = 134 \, \text{roků}$$

Je tedy $\tau > 100$ roků, což je plánovaná životnost tunelu.

5.4 ZÁVĚR

U navrženého úseku hloubeného tunelu v km 3,574 až 4,746 není zapotřebí provádět žádná opatření vůči působení bludných proudů.

Obrázky k příkladu č. 2



Obr. 2–1 Elektrické schéma zapojení izolačních spár (IS) u železobetonového tunelu

Efektivní podélný odpor izolační spáry:

$$R_{IS} = [(R_S \cdot (R_A + R_B) / (R_S + R_A + R_B))] = 2 R_S \cdot R_A / (R_S + 2 R_A) \quad \text{pro } L_A = L_B;$$

$$R_A = \rho_z / 2 \pi L_A (\ln L_A^2 / D h) \quad (\Omega; \Omega m; m)$$

$$R_S = \rho_{IS} \cdot L_S / S_b \quad (\Omega; \Omega m; m^2), \text{ kde}$$

R_A – Zemní odpor úseku tunelu o délce L_A , o průměru D , uloženém v hloubce h a v hornině o rezistivitě ρ_z ;

R_S – Ohmický odpor izolační spáry o tloušťce L_S o rezistivitě ρ_{IS} při ploše betonového povrchu v místě spáry S_b ;

Na příklad pro:

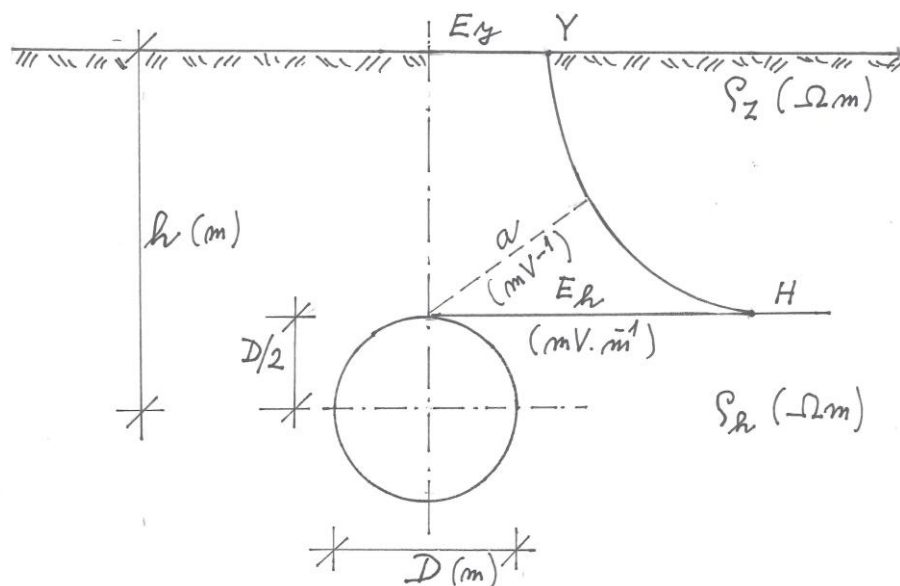
$L_A = L_B = 200 \text{ m}$; $D = 14,8 \text{ m}$; $h = 30 \text{ m}$; $S_b = 100 \text{ m}^2$; $L_{IS} = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$ (extrudovaný polystyren); $\rho_{IS} = 5000 \Omega m$; $\rho_z = 150 \Omega m$ bude:

$$R_A = 150 / 2 \pi 200 (\ln 200^2 / 14,8 \cdot 30) = 0,119366 \cdot 4,5008 = 0,537 \Omega$$

$$R_S = 5000 \cdot 0,02 / 100 = 1,0 \Omega;$$

$$R_{IS} = 2 \cdot 1 \cdot 0,537 / (1 + 2 \cdot 0,537) = 1,074 / 2,074 = 0,52 \Omega$$

Závěr: Podélný odpor tunelu na 1 km se zvyšuje o hodnotu $R_L = 5 \cdot 0,52 = 2,6 \Omega$, což podstatně omezuje průtok bludných proudů tunelem.



Obr. 2–2 Vztah mezi intenzitou elektrického pole při povrchu země a u tunelu v hloubce h

Body Y a H prochází část rovnosé hyperboly, která má obecný tvar [8] :

$$x y = a^2$$

v daném případě: $E_h = a^2 / 2 y$; pro $y = 0,5 D$ je $a^2 = E_h \cdot D$

$E_y = a^2 / 2 y$; pro $y = (h - 0,5 D)$ je:

$$E_y = E_h \cdot D / 2 (h - 0,5 D) = E_h \cdot D / 2h - D \quad (\text{mV.m}^{-1} ; \text{m})$$

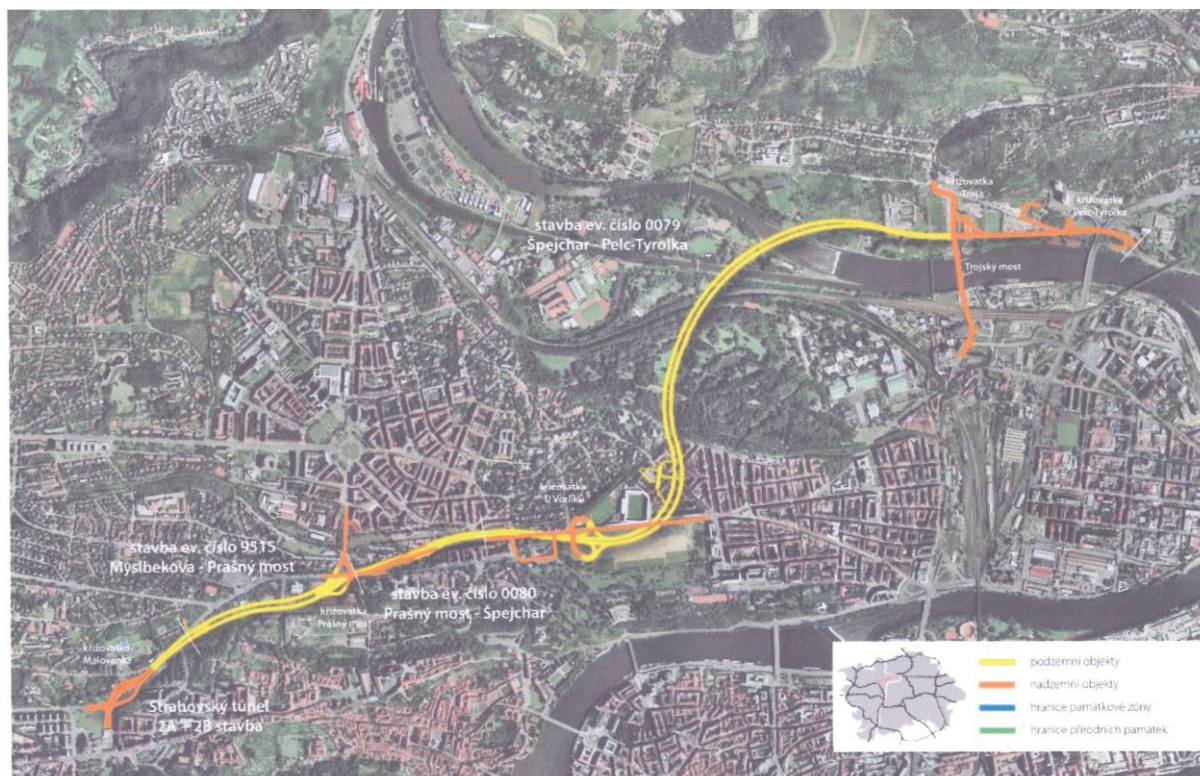
Pro stejnou hustotu proudu v zemi: $J_y = J_h$ platí vztah: $E_y / \rho_z = E_h / \rho_h$.

Po korekci se zřetelem na různou rezistivitu při povrchu země a v hloubce h získáme konečný tvar:

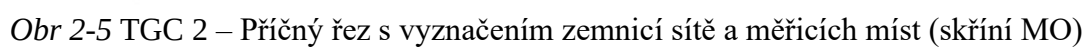
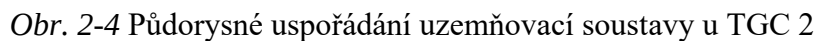
$$E_y = E_h \cdot [(\rho_z \cdot D / \rho_h (2h - D))]$$

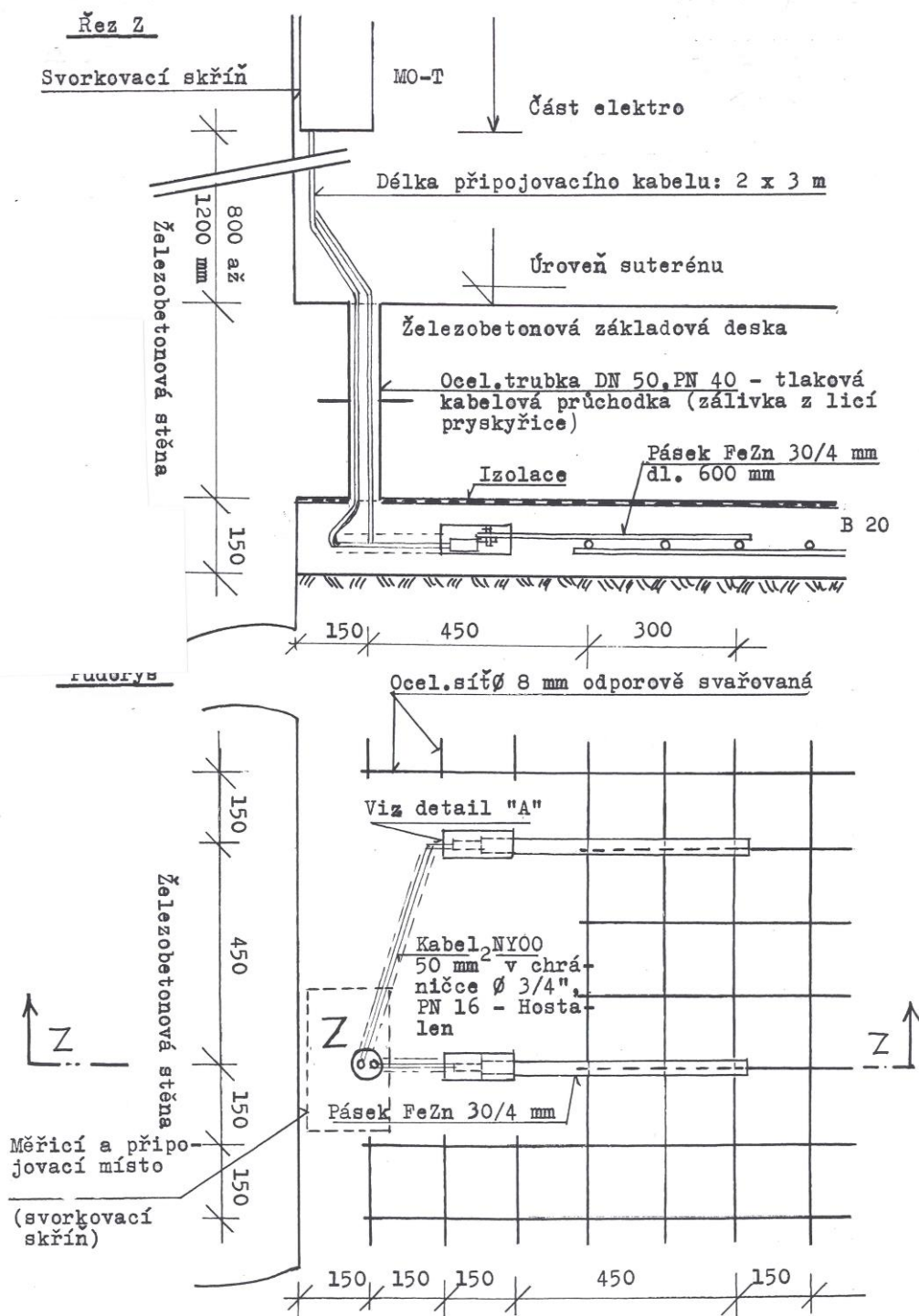
Na příklad: pro $E_h = 4,0 \text{ mV.m}^{-1}$; $\rho_z = 110 \text{ Ohm}$; $\rho_h = 150 \text{ Ohm}$; $h = 16 \text{ m}$; $D = 13 \text{ m}$;

bude: $E_y = 4,0 \cdot [(110 \cdot 13 / 150 (1.16 - 13))] = 2,0 \text{ mV.m}^{-1}$

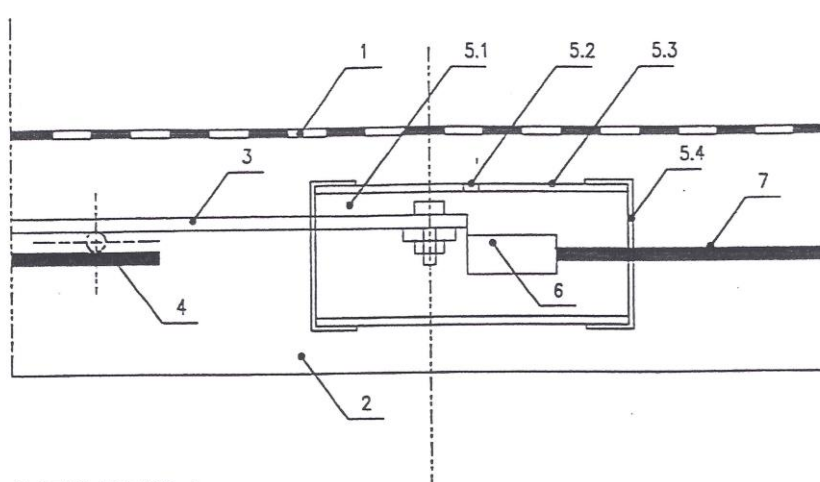


Obr. 2-3 Přehledné situace tunelového komplexu Blanka v trase Strahovský tunel – Trojský most v délce 6,4 km





Obr. 2-6 Způsob připojení kabelů k zemnicí síti (detail řez Z) a jejich vyvedení do měřicího a připojovacího objektu MO-T

PŘIPOJENÍ KABELU C YA 50 mm² K ZEMNÍCI SÍTI - Detail „A“

LEGENDA

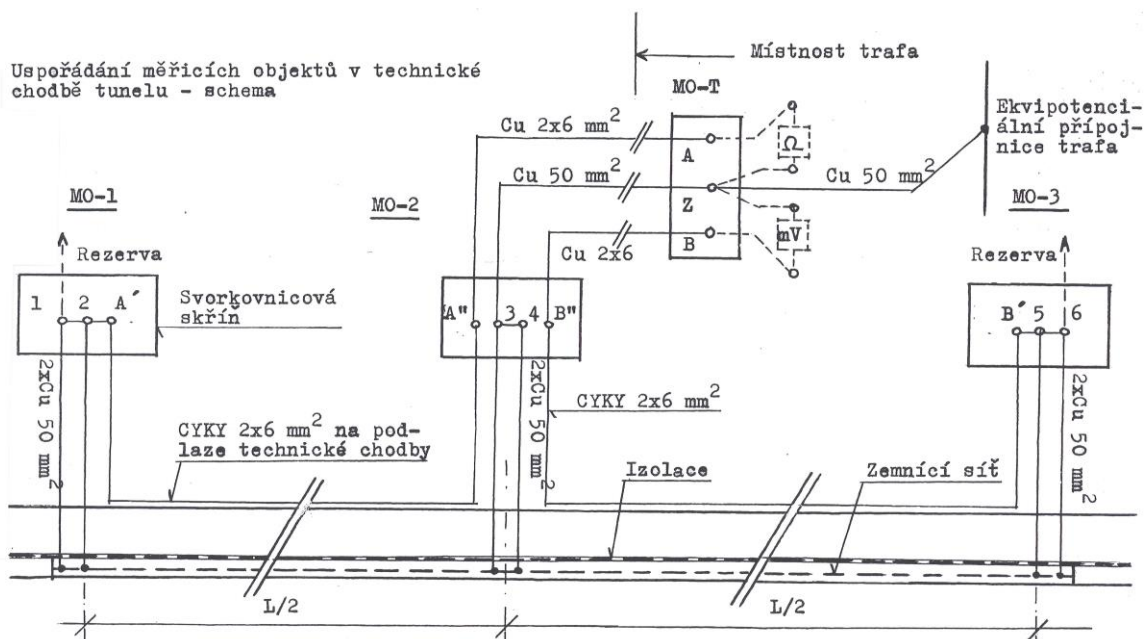
VARIANTA 1 –

- | | |
|---|--|
| 1 – hydroizolace | 5.1 – licí pryskyřice EPROSIN KE 1 |
| 2 – podkladní beton B 20 | 5.2 – plnicí otvor $\varnothing$ 16mm |
| 3 – pásek FeZn 30/4mm, dl.600mm
na jednom konci s otvorem 8.2mm
na druhém konci přivařen min. k 3 profilům
8mm uzemňovací sítě a 300mm | 5.3 – PVC trubka $\varnothing$ 50mm |
| 4 – zemní síť z rohoží 3x2m vzájemně provařených
rohože z odporově svařované oceli R 10 505, $\varnothing$ 8mm, oka 150/150mm | 5.4 – zaslepovací plastový uzávěr
na plastové trubce |
| | 6 – kabelová oka letovací
pro průměr drátu $\varnothing$ 10mm,
průměr oka 8.2mm (M8) |
| | 7 – připojovací kabel C YA 50mm ²
délky min. 3m |

VARIANTA 2 –

Místo PVC trubky (5.3.) a licí pryskyřice EPROSIN KE 1 (5.1.) je možno použít kabelovou spojku z teplem smršťitelného materiálu, např. na bázi modifikovaného molekulárně zesíťovaného, a tím natavitelného polyolefinu, na vnitřní straně továrně opatřeném vrstvou lepidla (např. systém Thermofit).

Obr. 2-7 Detail připojení měděného kabelu k ocelové síti v betonu



Příklad měření pro TGC

Ohmický odpor obvodu: A-A''-2-3-Z : Podélný odpor zemnicí sítě: $R_L = L/2 \cdot R_L' = 120 \cdot 1,7061 \cdot 10^{-4} = 0,0204 \Omega = R_L(z)$ (měřeno ohmmetrem)

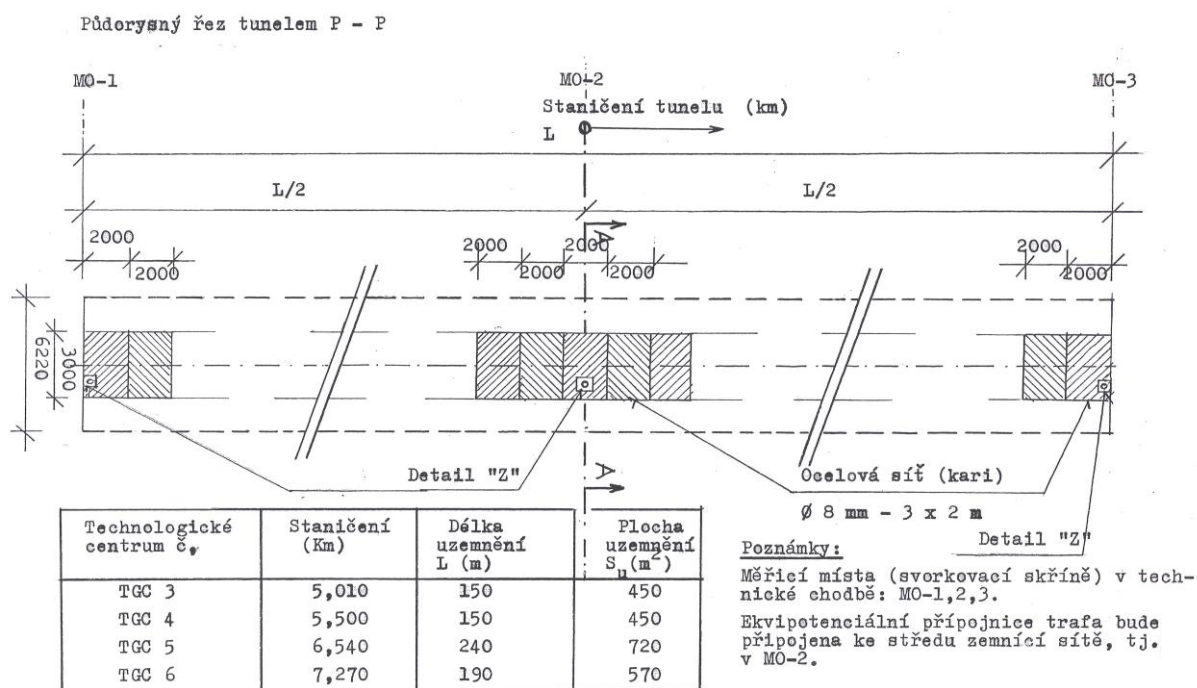
Celkový ohmický odpor: $R_c = 0,256 \Omega$

Podélný odpor kabelu CYKY 2x6 mm² + Cu 50 mm²: $R_L(k) = (L/2 + X) \cdot 0,018/12 + X \cdot 0,018/50 (\Omega)$ Např. pro $X=30m$ je ohm. odpor $R_L(k) = 0,236 \Omega$

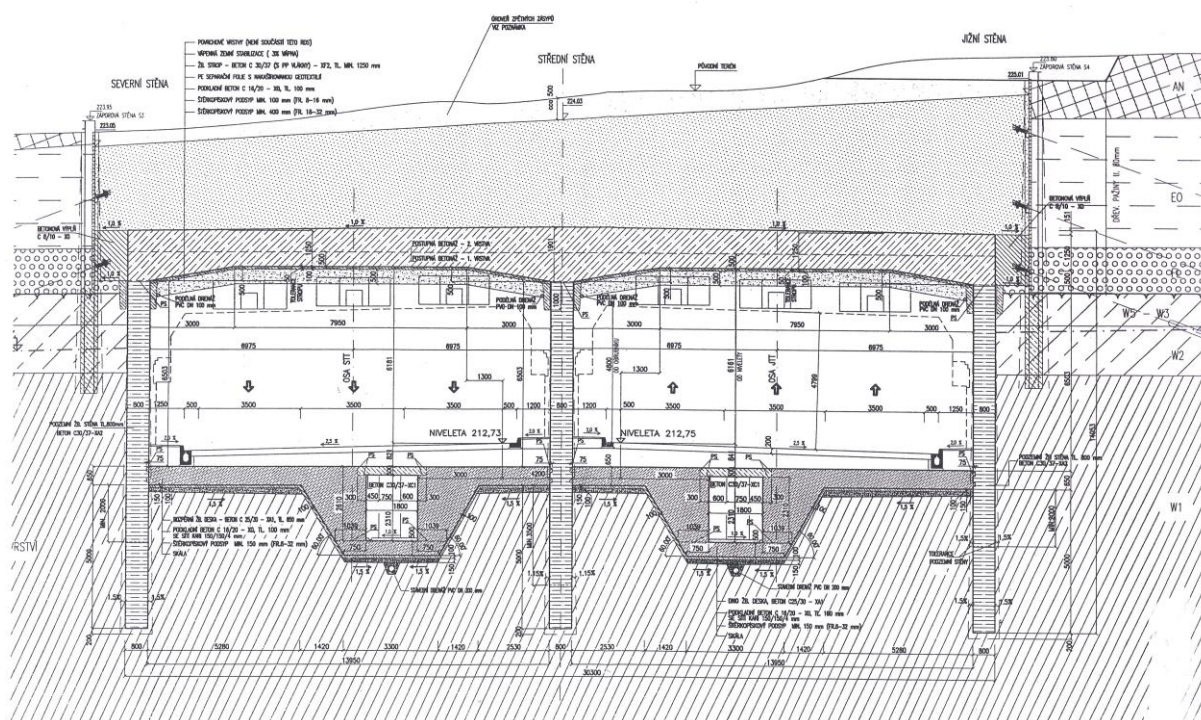
Spád napětí v úseku MO2 — MO3 při průtoku průměrné hodnoty bludného proudu $I_B = 1,0 A$ (měřeno registračním milivoltmetrem):

$$\Delta U = R_L(z) \cdot 1/1000 = 20 mV$$

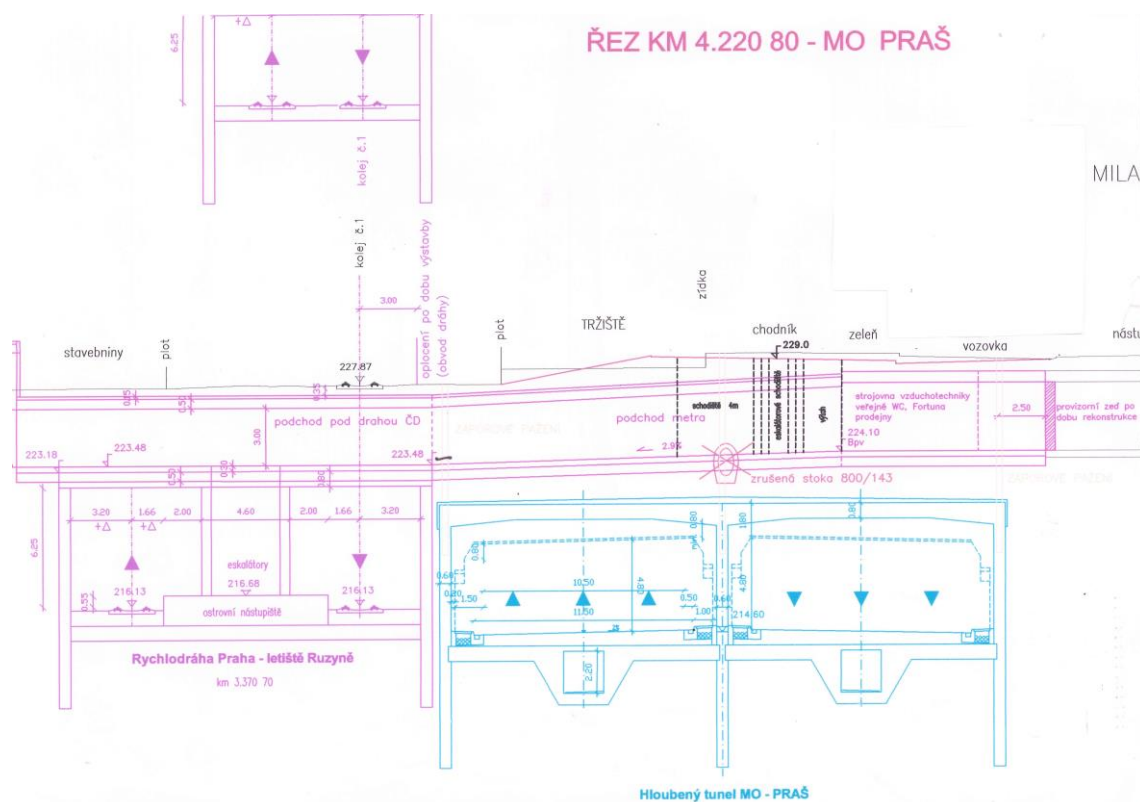
Obr. 2-8 Uspořádání měřicích objektů (MO) v technické chodbě tunelu a způsob vyvedení kabelů do místnosti trať – schéma



Obr. 2-9 Půdorysné uspořádání uzemňovacích soustav technologických center č. TG 3,4,5,6 a technické parametry uzemnění



Obr. 2-10 Vzorový příčný řez hloubeného tunelu v km 4,706 – dvoutubus



Obr. 2-11 Podélný řez podchodem metra A Hradčanská a pod železnici – km 4,220

11.3 PŘÍKLAD č. 3 – POSOUZENÍ KABELOVÝCH TUNELŮ Z HLEDISKA VLIVU BLUDNÝCH PROUDŮ

1 PŘEDMĚT POSUDKU

Objednatel požádal posoudit projektovou dokumentaci kabelových tunelů (KT) v lokalitě Praha-Karlín z hlediska působení stejnosměrných bludných proudů na kovové a železobetonové konstrukce uložené v zemi [79, 80].

Zvláštní pozornost bylo třeba věnovat interferenci při křížení navrhovaného KT s tunely metra B a C. Součástí posudku bylo i vyhodnocení korozních podmínek v dané lokalitě (zdroje bludných proudů a jejich šíření) včetně potřebných výpočtů a případný návrh opatření vedoucí k minimalizaci působení bludných proudů na KT.

Na *obr. 3-1* je situace kabelových tunelů PRE (realizovaných a připravovaných včetně klíčových transformoven 110/22 kV Karlín, Holešovice, Pražáčka, Malešice, Střed. V tomto posudku je pojednána trasa TK4 (technická komora) – TK3 – TK1 (trafo Karlín) – TK2 – TK101 (Hlávkův most) v celé délce $L = 1,505$ km. Jednotlivé úseky jsou vyznačeny na koordinačních situacích v *obr. 3-2*, *obr. 3-3*, *obr. 3-4*. Na *obr. 3-5* je znázorněn podélný profil úseku TK1 – TK2 a na *obr. 3-6* úsek TK4 – TK1.

2 VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU

2.1 ZÁVĚRY Z INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

Geologické poměry zájmového území jsou charakterizovány jako poměrně jednoduché. Na zvětralém ordovickém skalním podloží leží fluviální sedimenty a navážky. Kóta terénu je kolem 186,00 m.n.m. V úrovni tunelu v hl. 20 až 32 m pod terénem (166,00 až 147,4 m.n.m.) je zdravá skála souvrství bohdaleckého. Ve st. 125,11 m v místě křížení s tunelem metra spojky B-C je mezi kótami 158,0 až 160,00 m.n.m. rozrušena jílovitá břidlice až charakteru drťovitého hlinitého jílu s prachovitými polohami.

2.2 VÝSLEDKY ROZBORU VZORKU PODZEMNÍ VODY

Podle sondy VJ224A (č. 1455) byla zjištěna ustálená hladina podzemní vody v hl. 5,30 m (tj. na kótě 181,25 m.n.m.). Podle vrtu HJ1 (podkl. 2.1. u projektovaného objektu Z5 (roh Rohanského nábreží a ul. Tháмова) byla podzemní voda naražena v hl. 6 až 7,0 m, tj. na kótách 179,2 až 180,9 m.n.m. Odebraný vzorek vody (dne 2.10.2006) měl mj. tyto výsledky zkoušek: pH = 8,3; konduktivita $\gamma = 1020 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, obsah chloridů: 133 mg/l, síranů 173 mg/l; hydrogenkarbonátů: 220 mg/l. U sondy J13: pH = 6,9; $\gamma = 1120 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; chloridy: 73 mg/l; sírany 240 mg/l; hydrogenkarbonáty: 439 mg/l.

2.3 GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM

Měření rezistivity podle Wennerovy metody (ČSN 03 8363) z listopadu 2006 do hloubky 3 m vykázalo hodnoty v rozmezí $\rho = 68$ až $113 \Omega\text{m}$. Podzemní voda má rezistivitu

$$\rho_v = 10^6 / 1020 = 980 \Omega\text{cm} = 9,8 \Omega\text{m}.$$

Pro KT jsou směrodatné hodnoty rezistivity horninového prostředí v hl. 20 až 38 m pod terénem. Tyto hodnoty byly stanoveny odborným odhadem s přihlédnutím k údajům v *odst. 2.1*.

Pro místo křížení KT/metro B-C a KT/metro C je to $\rho_h = 500 \Omega\text{m}$. Jedná se oblast s tektonickou poruchou. Pro běžnou trasu $\rho_h' = 1000 \Omega\text{m}$.

2.4 STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI

Podle provedeného měření byla hustota bludných proudů při povrchu země, stanovená podle ČSN 03 8365 v rozmezí $J_{kor} = 28$ až $52 \mu\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$, v západní části areálu to bylo $J_{kor} = 17$ až $199 \mu\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$. Intenzita elektrického pole $E = 2,8$ až $7,2 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$, průměrně $\bar{E} = 6,2 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.5 ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ

V dané lokalitě se uplatňuje vliv tří na sobě nezávislých zdrojů bludných proudů (obr. 3-2 – 3-4). Jsou to:

- Tramvajová doprava s trakčním systémem 600 V s nejbližší vzdáleností kolejí 75 m (v ul. Sokolovská) u 1. stavby a 28 m (ul. Wilsonova) u 2. stavby.
- Metro B s trakčním napětím 750 V, nejbližší vzdálenost (souběh) je 230 m. Při křížení jsou to i 2 m (viz obr. 3-8)
- Železnice s trakčním systémem 3 kV, vzdálenost Negrelliho viaduktu je 100 m.

Na staveništi se bude projevovat přenesená interference vlivem bludných proudů prostřednictvím uzemňovacích soustav objektů v okolí, které jsou galvanicky propojeny s uzemněním výměňkových stanic horkovodu, uzemněním distribučních trafostanic v jednotlivých objektech a kovových potrubí (plynovody, vodovody).

Po vybudování objektů bude velikost bludných proudů v galvanické proudové cesty vyšší nejméně 2,5 x než vyplývá z výpočtu elektrolytického obvodu: země-uzemňovací soustava-země.

2.6 PŘEPOČET INTENZITY ELEKTRICKÉHO POLE NA ÚROVEŇ TUNELU

Podle Přílohy č. 5 se intenzita elektrického pole zvyšuje směrem do hloubky ke zdroji nebo šířiteli bludných proudů podle vztahu č. 42 (Části A). Tento vztah platí pro hloubené tunely (pro metro, silniční tunely), kde rezistivita horninového prostředí nepřekračuje hodnotu $\rho = 150$ až $200 \Omega\text{m}$. V případě ražených tunelů v hloubkách větších než 15 až 20 m, ve zdravých jílovitých břidlicích s rezistivitou větší než $500 \Omega\text{m}$, nelze výsledky měření intenzity elektrického pole zjištěné na povrchu terénu E_y přepočítat na hodnotu E_h v ose kabelového tunelu aplikací uvedeného vztahu.

Bludné a interferenční proudy v důsledku provozu stejnosměrně elektrizované kolejové dopravy (především železnic) a stanic katodické ochrany, tečou elektricky vodivými vrstvami horniny (iontovou proudovou cestou), což je v případě Prahy ve vrstvách do hloubky max. 15 až 20 m. Na druhé straně kabelové tunely (uzemňovacími přívody mezi uzemněními trafostanic) šíří bludné proudy galvanickou proudovou cestou.

V daném případě se intenzita elektrického pole směrem do větších hloubek může přibližně určit podle empirického vztahu:

$$E_h = E_y \cdot h^{-0,1} (\text{mV}\cdot\text{m}^{-1}; \text{m})$$

Pro hloubku KT $h = 25 \text{ m}$, pro intenzitu elektrického pole při povrchu země $E_y = 6,2 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$ (odst. 2.4) se tato intenzita snižuje na hodnotu:

$$E_h = 6,2 \cdot 25^{-0,5} = 1,24 \text{ mV.m}^{-1}.$$

S přihlédnutím k odst. 2.5, $E_h' = 2,5 \cdot 1,24 = 3,1 \text{ mV.m}^{-1} = 3,1 \text{ V.km}^{-1}$.

2.7 VLIV UZEMŇOVACÍCH SOUSTAV TR 110/22 KV NA ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ

Zásadní vliv na šíření bludných proudů KT (převážně uzemňovacími přívody (viz obr. 3-9) budou mít uzemňovací soustavy transformoven (viz obr. 3-1) Holešovice, Karlín, Pražacka, Malešice a Střed. Jestliže za těžiště virtuální desky (zemního systému) uvažujeme šachtu J32 (viz obr. 3-6) bude vzdálenost k jednotlivým TR 110/22 kV následující:

J32 – Holešovice	2,1 km
J32 – Karlín 1	0,22 km
J32 – Pražacka	1,45 km
J32 – Střed	4,3 km
J32 – Malešice	3,8 km

Zemní odpor uzemnění těchto transformoven musí být $R_Z < 1,0 \Omega$.

Na výše uvedené zemniče je možné, jak výše zmíněno, pohlížet jako na kovovou desku v elektrickém poli bludných proudů (viz odst. 6.).

3 POPIS PROVEDENÍ KABELOVÉHO TUNELU

3.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TUNELU [79,80]

Provizorní ostění v tl. 0,25 m bude vytvořeno ze stříkaného betonu SB 20 (16/20), ocel. síť B 500 A 6/100 – 6/100.

U definitivního ostění v tl. 0,25 m je aplikován vodostavební beton třídy HV8 – C 25/30, XA2, průsak 50 mm s přísadou Xypex AdmixC – 1000, zajišťující vnitřní krystalizaci, 3% obsahu CEM/m3. Výztuž z oceli B500 B (10505 R), síť B500A, síť stykovat s přesahem 0,3 m, krytí výztuže vnější 50 mm, vnitřní 30 mm, vodní součinitel max. 0,5, rezistivita betonu $\rho_b = 750 \Omega\text{m}$.

Další podrobnosti jsou patrné z obr. 3-10.

Na obr. 3-11 je vzorový příčný profil KT s vyznačením kabelů uložených na ocelových výložnících.

3.2 OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM V TUNELU

3.2.1 V běžné trase

Bude jednak samočinným odpojením od zdroje podle ČSN 33 2000-4-41, jednak pospojením (zvýšená ochrana). Tato ochrana bude realizována po celé trase KT. K průběžnému pásku (uzemňovacímu přívodu) 2x FeZn 30/4 mm budou připojeny všechny kabelové rošty a pomocí svorek SR02 realizováno připojení k výložníkům. Připojovací ochranný vodič je typu CY 4 mm (viz též obr. 3-9).

3.2.2 V místě křížení tunelu metra B – C / KT

V ochranném pásmu metra B-C v délce min. 60 m (30 m na každou stranu), (viz obr. 3-8) bude aplikováno el. stínění: měděné lano $\varnothing$ 12 mm v plastové chráničce (LSPE $\varnothing$ 32 mm).

Dále budou aplikována tato opatření:

- ocelové konstrukce (lávky s výložníky pro uložení kabelů), které jsou ve vzájemné vzdálenosti 1 m v podélném směru budou elektricky izolovány od železobetonové konstrukce KT (použitím gumových podložek);
- uzemňovací přívody budou elektricky stíněné podle výše uvedené úpravy: Cu lano $\varnothing$ 12 mm v LSPE trubce $\varnothing$ 32 mm).

4 POSOUZENÍ KT JAKO LINIOVÉHO ZAŘÍZENÍ PRO ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ

4.1 NÁHRADNÍ PRŮMĚR KT

Jedná se o KT (Karlín 1) v délce cca 0,7 km z toho provedení v profilu „P“

(staničení 0 – 219 m) a v profilu „0“ (staničení 219 – 672).

Z teoretického výrubu $S = 12,45 \text{ m}^2$ (z obr. 3-10) vyplývá náhradní kruhový průměr

$$D = (4 S / \pi)^{0,5} = 3,98 = 4,0 \text{ m.}$$

4.2 PRŮMĚRNÁ HMOTNOST VÝZTUŽE

Celková výztuž sestává z definitivní výztuže a z provizorních konstrukcí, které zůstanou součástí celkové konstrukce. I když jde o oddělená ostění, z hlediska podélné elektrické vodivosti KT (nelze vyloučit náhodný kontakt) a z důvodů bezpečnosti (při větší hmotnosti je šíření bludných proudů vyšší) uvažujeme ve výpočtu všechny ocelové prvky (kari sítě, příhradové nosníky, prutová výztuž). Podle již realizovaných obdobných KT je průměrná hmotnost výztuže $G = 330 \text{ kg.m}^{-1}$.

4.3 VÝPOČET ELEKTRICKÉHO PODÉLNÉHO ODPORU ŽELEZOBETONOVÉ LINIOVÉ KONSTRUKCE KT

4.3.1 Úvodem

Hodnota podélného odporu $RL (\Omega\text{km}^{-1})$ závisí na celkové hmotnosti výztuže na jednotku délky tunelu $G (\text{kg.m}^{-1})$ a na reálné provařenosti všech částí výztuže. Vliv betonu na podélnou vodivost (ohmický odpor) železobetonové konstrukce KT je zanedbatelný

$$(RL(b) = 105 \Omega\text{km}^{-1}).$$

4.3.2 Provařenost všech částí výztuže

Podle provedených šetření (viz přílohu č. 2) podélný elektrický odpor KT s ocelovou výztuží spojovanou pouze přesahem a při použití vázacího drátu, je průměrně $RL(\text{max}) = 100 \Omega\text{km}^{-1}$, zatímco kompletně provařená výztuž má $RL(\text{min}) = 0,005 \Omega\text{km}^{-1}$.

Definitivní konstrukce (ostění) sestává, pokud jde o ocelové prvky, zhruba ze tří druhů výztuže: vnitřní, vnější a distanční.

V praxi se vyskytuje pouze částečně provařená výztuž z konstrukčních a montážních důvodů (např. Kari sít'), takže pro KT reálná hodnota RL bude mezi shora uvedenými dvěma extrémy.

Při křížení prutů vnější (horní) výztuže, resp. vnitřní (dolní) výztuže i distanční výztuže je pouze určitá část v přímém galvanickém kontaktu. Pro stanovení počtu těchto kontaktů využijeme principu statistiky (viz část A):

P (%) – Teoretická provařenost výztuže

P' (%) – Reálná provařenost všech částí výztuže

η (%) $\cdot 10^{-2}$ – Pravděpodobnost dokonalého propojení všech částí výztuže: $\eta = (P / 100)$.

Při pravděpodobnosti η_3 dokonalého propojení všech částí výztuže (vnější, vnitřní a distanční):

$$P' = 100 (P / 100)^3 = P^3 / 100^2$$

$$P = (104 \cdot P')^{1/3}$$

4.3.3 Minimální podélný odpor KT

Pro $G = 330 \text{ kg.m}^{-1}$ je průřezová plocha výztuže:

$$SV = G / 7850 \text{ kg.m}^{-3} = 0,04204 \text{ m}^2.$$

Při měrném el. odporu oceli $\rho_o = 0,21 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$

je při $P = 100 \%$: $RL = \rho_o \cdot L \cdot SV^{-1} (\Omega\text{km}^{-1}; \Omega\text{m}; \text{m}; \text{m}^2)$. Po dosazení:

$$RL = 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 103 \cdot 0,04204^{-1} = 4,99545 \cdot 10^{-3} = 0,005 \Omega\text{km}^{-1}$$

jak shora uvedeno.

4.3.4 Reálný podélný odpor KT

Pro $P' = 27,14 \%$ $P = (10^4 \cdot 27,14)^{1/3} = 64,74 \%$

je $RL = 0,018423 \Omega\text{km}^{-1}$

Pro $P' = 2,0 \%$ $P = 27,14 \%$

je $RL = 0,25011 \Omega\text{km}^{-1}$, což je hodnota, která je nejbližší realitě.

4.4 VÝPOČET PŘECHODOVÉHO ODPORU KABELOVÉHO TUNELU

$$R_p = R_z \cdot 1 \quad (\Omega\text{km})$$

Podle [2] je zemní odpor tunelu v délce 1 km.

$$R_z = \frac{\rho_h}{2\pi L} \left[\ln \frac{L^2}{Dh} + \frac{\rho_b}{\rho_h} \ln \frac{D}{d_b} \right] \quad (\Omega)$$

Pro $\rho_h = 500 \Omega\text{m}$; $\rho_b = 750 \Omega\text{m}$

$L = 1000 \text{ m}$; $D = 4,0 \text{ m}$; $d_b = 0,5 \text{ m}$; $h = 25 \text{ m}$:

$$R_p = R_z = \frac{500}{2\pi \cdot 1000} \left[\ln \frac{1000^2}{4 \cdot 25} + \frac{750}{500} \ln \frac{4}{0,5} \right] = 0,079577 \cdot (9,21034 + 1,5 \cdot 2,07944) = \underline{0,981}$$

Ωkm

4.5 PRŮMĚRNÝ BLUDNÝ PROUD V KT V ANODICKÉM ÚSEKU

Pro elektrické charakteristiky tunelu:

$$\alpha = (R_L / R_p)^{0,5} = (0,25/0,981)^{0,5} = 0,504818 \text{ km}^{-1}$$

$$Z' = (R_L \cdot R_p)^{0,5} = (0,25 \cdot 0,98)^{0,5} = 0,495 = 0,5 \Omega$$

$$E_h = 3,1 \text{ V.km}^{-1} (\text{odst. } 2.6); L_T = 1,505 \text{ km (odst. } 1)$$

$$\operatorname{tg} h \alpha \frac{L}{2} = \operatorname{tg} h \cdot 0,504818 \cdot 0,7525 = 0,362599$$

$$\cotg h \alpha L = \cotg h \cdot 0,504818 \cdot 1,505 = 1,560232,$$

poteče železobetonovou konstrukcí tunelu bludný proud

$$\varnothing I_b = \frac{E \operatorname{tg} h \alpha \frac{L}{2}}{Z' \cotg h \alpha L} = \frac{3,1}{0,504818} \cdot \frac{0,362599}{0,495 \cdot 1,560232} = 2,88 \text{ A}$$

4.6 ODOLNOST KT PROTI PŮSOBENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ

Pro hmotnost výztuže $G = 330 \text{ kg.m}^{-1}$ je průměrný povrch výztuže $P = 13,6 \text{ m}^2/\text{bm}$.

Při hypotetickém (velmi nepříznivém) předpokladu, že se výstup proudu na rozhraní výztuž v betonu horninové prostředí soustředí pouze do úseku koncových 10 m bude korozní proudová hustota:

$$J_{kor} = \varnothing I / P_{10} = 2880 / 136 = 21,17 \text{ mA.m}^{-2}, \text{ pro hodnoty:}$$

$$\varnothing I = 2,88 \text{ A} = 2880 \text{ mA}; P_{10} = P \cdot 10 = 13,6 \cdot 10 = 136 \text{ m}^2$$

4.7 DÍLČÍ ZÁVĚR 1

Podle části 1–9, je hranice anodické proudové hustoty, při které nenastává koroze ocelové výztuže v betonovém obložení pod hodnotou $J_{kor} = 50$ až 75 mA.m^{-2} .

V našem případě je korozní hustota hluboko pod tolerovanou hodnotou. Odolnost KT proti působení bludných proudů je dostatečná i z hlediska dlouhodobého působení cizího elektrického pole.

5 POSOUZENÍ INTERFERENCE V MÍSTĚ KŘÍŽENÍ KT S TUNELY METRA C

5.1 POPIS PROSTOROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ KŘÍŽENÍ

V místě křížení jsou tunely metra (pro levou a pravou kolej) realizovány jako společná železobetonová konstrukce obdélníkového tvaru v celkové šířce 20 m a výšce 10 m.

Základová spára je na kótě 171,09 m.n.m., tj. 15 m pod terénem, vzdálenost mezi vnějším povrchem tunelu a terénem je 5 m. Osa obou spojených tunelů je v hloubce

$\underline{h_M = 20 \text{ m}}$ pod terénem. Plocha (povrchu v kontaktu se zemí) $S_t = 20 \cdot 10 = 200 \text{ m}^2$.

Náhradní kruhový průměr tunelu metra:

$$\underline{D_M} = (4 \cdot S / \pi)^{0,5} = \underline{16 \text{ m}}.$$

Podle *obr. 3-7* je nejbližší vzdálenost povrchu tunelu metra a KT: $b = 17 \text{ m}$.

V místě křížení je KT (1. stavba) v hloubce $h_{KT} = 33 \text{ m}$ (osa tunelu).

Náhradní kruhový průměr KT $D_{KT} = 3,9 \text{ m}$.

5.2 ZEMNÍ ODPOR ÚSEKU TUNELU METRA

V zóně vzájemného ovlivnění s KT tj. $L_M = 40 \text{ m}$ (viz *obr. 3-8*) je rezistivita zemního prostředí (v náplavech Vltavy tj. štěrkopísky s příměsí jemné zeminy)

$\rho_M = 150 \Omega\text{m}$. Podle Příkladu č. 1 je hodnota průměrného vstupujícího a vystupujícího proudu (v anodické oblasti) pro dva tunely metra $j_M = 10 \text{ mA.m}^{-1}$.

Zemní odpor úseku tunelů metra bude:

$$\underline{R_{Z(M)}} = \frac{\rho_M}{2\pi L_M} \ln \frac{L_M^2}{D_M h_M} = \frac{150}{2\pi \cdot 40} \ln \frac{40^2}{16 \cdot 20} = 0,59683 \cdot 1,60943 = 0,96 \Omega.$$

5.3 ZEMNÍ ODPOR ÚSEKU KT

V zóně vzájemného ovlivnění (k okrajům ochranného pásma), podle *obr. 3-3* je $L_{KT} = 94 \text{ m} = 0,094 \text{ km}$.

Podle *odst. 4.4.* je $R_p = 0,981 \Omega\text{km}$

$$\underline{R_{Z(KT)}} = R_p / L_{KT} = 0,981 / 0,094 = 10,43 \Omega.$$

5.4 INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE MEZI OBĚMA TUNELY

Ohmický odpor mezi tunelem metra a kabelovým tunelem:

$$R_{Z(M-KT)} = R_{Z(M)} + R_{Z(KT)} = 0,96 + 10,43 = 11,4 \Omega.$$

Proud vystupující z tunelů metra:

$$I_{(M)} = j_M \cdot L_{KT} = 10 \cdot 94 = 940 \text{ mA} = 0,94 \text{ A}$$

Napětí mezi konstrukcemi obou tunelů:

$$U_{(M-KT)} = I_M \cdot R_{Z(M-KT)} = 0,94 \cdot 11,4 = 10,71 \text{ V}$$

Průměrná intenzita el. pole při vzdálenosti obou povrchů $b = 17 \text{ m}$

$$\varnothing E = U / b = 10,71 / 17 = 0,63 \text{ V.m}^{-1} = 630 \text{ mV.m}^{-1}$$

5.5 DÍLČÍ ZÁVĚR 2

Vzhledem k relativně vysoké intenzitě elektrického pole se doporučuje realizovat opatření podle *odst. 3.2.2.*

Po křížení KT a štolý servisní chodby metra není zapotřebí provádět žádná opatření, jelikož vliv bludných proudů z metra je zde zanedbatelný.

5.6 POSOUZENÍ INTERFERENCE V MÍSTĚ KŘÍŽENÍ KT S METREM (SPOJKOU B-C) VE VZÁJEMNÉ VZDÁLENOSTI 2 M

5.6.1 Přechodový ohmický odpor na rozhraní tunel metra – horninové prostředí – KT

Podle obr. 3-8 je relevantní délka křížení KT/metro $L_K = 60$ m. Průměr válcové plochy (včetně obklopující horniny v tl. 2 m) tunelu metra je:

$$D_M = D_K + t_H = 6 + 2 \times 2 = 10 \text{ m.}$$

Tloušťka konstrukce metra B: $d_K = 0,5$ m; $\rho_h = 500 \text{ } \Omega\text{m}$.

Ohmický odpor mezi dvěma válcovými plochami:

$$\underline{R_M} = \frac{\rho_h}{2\pi L_K} \ln \frac{D_M}{d_K} = \frac{500}{2\pi \cdot 60} \ln \frac{10}{0,5} = 1,3263 \cdot 2,9967 = \underline{3,973 \text{ } \Omega}.$$

5.6.2 Izolační parametry obklopující horniny

Při ploše relevantního povrchu tunelu metra $S_K = \pi \cdot D_K \cdot L_K = \pi \cdot 6 \cdot 60 = 1131 \text{ m}^2$ vychází průměrný odpor horninové vrstvy:

$$r_H = R_M \cdot S_K = 3,973 \cdot 1131 = 4493 \text{ } \Omega\text{m}^2, \text{ což je ekvivalentní asfaltové izolaci potrubí v tl. 4 mm.}$$

$$\text{Přechodový odpor } R_{p(H)} = r_H / \pi \cdot D_K = 4493 / \pi \cdot 6 = 238,4 \text{ } \Omega\text{m.}$$

5.6.3 Dílčí závěr 2a

Izolační vrstva mezi oběma tunely by měla akceptovatelné parametry za předpokladu, že by hornina byla homogenní (bylo by možno vyloučit „elektrolytický“ zkrat). Jelikož tyto podmínky nelze zaručit doporučuje se realizovat opatření podle odst. 3.2.2.

6 POSOUZENÍ VLIVU BLUDNÝCH PROUDŮ NA STROJENÉ ZEMNÍČE TRANSFORMOVN TR 110/22 KV

6.1 UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY U TRANSFORMAČNÍCH STANIC Z POHLEDU PLATNÝCH NOREM

Kabelové tunely jsou určeny pro vedení silových kabelů 110 kV a 22 kV. Kabely 110 kV propojují a zásobují jednotlivé transformovny 110 / 22 kV PRE a kabely 22 kV zásobují oblasti přímé spotřeby. Podle ČSN 33 2000-4-41-00 Elektrotechnické předpisy – Elektrické zařízení – část 4: Bezpečnost – Kapitola 41. Ochrana před úrazem elektrickým proudem:

- Podle čl. 413.1.3.1. (sítě TN): Všechny neživé části instalace musí být spojeny s uzemněným bodem sítě prostřednictvím ochranných vodičů, které musejí být uzemněny u každého příslušného transformátoru. Zpravidla je bodem uzemnění síť střed (uzel) vinutí zdroje.

Podle čl. 413.1.3.N11: Je-li uzemnění společné pro elektrická zařízení vn a nn ... pak se musí odpor uzemnění ještě kontrolovat podle vztahu:

$$R_A \leq U_d / I_Z (\Omega), \text{ kde}$$

U_d – dotykové napětí, jehož hodnota se rovná 50 V (st)

I_z – zemní proud na straně vn (kapacitní i svodový), nebo proud jedнопólového zkratu (viz přílohy NM1 a NM6).

Např. pro zemní proud $I_z = 46$ A je min. zemní odpor

$R_B = 50 / 46 = 1,08 \Omega$. Dále uvažujeme: $R_B = 1,0 \Omega$.

- Podle čl. 413.1.NB2: U elektrických zařízení napájených z městské nebo průmyslové kabelové sítě vn z kabelů s vodivými, oboustranně uzemněnými plášti a s maximálním proudem zemního spojení nebo jedнопólového zkratu 1500 A, se vznik nebezpečných dotykových napětí v rozsahu této sítě nepředpokládá a není třeba je kontrolovat.

Této podmínce vyhovují kabely typu:

- 22-AXEKVCEY 3x1x240 mm², kde měděný plášť (stínící opletení) má průřez 3x25 mm², tj. 75 mm², tedy podélný odpor R_L (Cu) = 0,018 . 1000 / 75 = 0,24 Ωkm^{-1} ;
- 22-AXEKVCEY 3x1x120 mm², obdobně 3x16 mm² = 48 mm²,
 R_L (Cu) = 0,018 . 1000 / 48 = 0,375 Ωkm^{-1} .

Naopak uvedené podmínce nevyhovují kabely typu:

- AXEKCXY, které se stále používají (např. u vestavěné trafostanice, kde je současně měřící DP) Cu = 6 mm².

$$R_L$$
 (Cu) = 0,018 . 1000 / 6 = 3,0 Ωkm^{-1} .

Při havarijních stavech, kdy hodnota přepětí dosahuje stovky voltů se podle zkušeností [9] až 30 % povrchu výztuže, která je nejbližší k horninovému prostředí (především sítě Ø 6 mm resp. Ø 8 mm 100/100 mm) uplatňuje jako náhodný zemnič, jelikož přechodové odpory výztuž-výztuž (spojovaná stykáním, resp. vázacím drátem) např. při přepětí 600 V (st.) nepředstavují pro zkratový proud tak velkou překážku jako pro bludný proud, kde hnací napětí nepřekračuje průměrnou hodnotu 5 V (ss).

6.2 GALVANICKÉ PROPOJENÍ UZEMŇOVACÍCH SOUSTAV TRAFOSTANIC

Vedle propojení podle odst. 6.1 jsou transformační stanice propojeny uzemňovacími přívody vedenými KT podle obr. 3-9.

Výpočet podélného odporu uzemňovacích přívodů v KT:

6.2.1 Pásek FeZn 30/4 mm, tl. Zn vrstvy 80 μm

(spojování svařováním nebo mechanicky)

$$R_L(\text{Fe}) = \rho_{\text{Fe}} \frac{L}{S_{\text{Fe}}} = 0,21 \frac{1000}{120} = 1,75 \Omega\text{km}^{-1},$$

pro $L = 1000$ m; $S_{\text{Fe}} = 30 \cdot 4 = 120$ mm²; $\rho_{\text{Fe}} = 0,21 \Omega\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$

$$R_L(\text{Zn}) = \rho_{\text{Zn}} \cdot L / S_{\text{Zn}} = 0,062 \cdot 1000 / 5,44 = 11,4 \Omega\text{km}^{-1},$$

pro $L = 1000$ m; $S_{\text{Zn}} = 68 \cdot 0,08 = 5,44$ mm²; $\rho_{\text{Zn}} = 0,062 \Omega\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$.

$$1 / R_c = 1 / R_L(\text{Fe}) + 1 / R_L(\text{Zn}) = 1 / 1,75 + 1 / 11,4 = 0,659148$$

$$R_c = 1,5171 \Omega\text{km}^{-1}$$

V kabelových kanálech (KT) se používají 2 paralelní FeZn pásy 30/4 mm, které mají $R_L(\text{FeZn}) = 0,76 \Omega\text{km}^{-1}$.

6.2.2 Měděné lano Ø 12 mm ($S_{Cu} = 113 \text{ mm}^2$)

$$R_L(Cu) = \rho_{Cu} \cdot L / S_{Cu} \quad \rho_{Cu} = 0,018 \Omega \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

$$= 0,018 \cdot 1000 / 113 = 0,1593 \Omega \text{km}^{-1}$$

Při použití dvou paralelních Cu lan je podélný odpor uzemňovacích přívodů

$$R_L(Cu) = 0,08 \Omega \text{km}^{-1}.$$

6.2.3 Dílčí závěr 3

Při použití Cu lan je ohmický odpor uzemňovacích přívodů přibližně 10x nižší

($0,76 / 0,08 = 9,5x$), což je z hlediska provozní bezpečnosti elektrického zařízení v KT výhodnější.

6.3 VÝPOČET PODÉLNÉHO ODPORU MEZI JEDNOTLIVÝMI UZLY TR 110/22 KV

Podle odst. 2.7 a 6.2.1 jsou ohmické odpory mezi šachtou J32 a jednotlivými TR 110/22 kV následující (viz obr. 3-1):

$$J32 - \text{Holešovice}; R_L = 2,1 \cdot 0,76 = 1,6 \Omega$$

$$J32 - \text{Karlín 1}; R_L = 0,22 \cdot 0,76 = 0,17 \Omega$$

$$J32 - \text{Prahačka}; R_L = 1,45 \cdot 0,76 = 1,1 \Omega$$

$$J32 - \text{Střed}; R_L = 4,3 \cdot 0,76 = 3,27 \Omega$$

$$J32 - \text{Malešice}; R_L = 3,8 \cdot 0,76 = 2,9 \Omega$$

6.4 VÝPOČET ODPORU PARALELNÍCH VĚTVÍ VIRTUÁLNÍ KOVOVÉ DESKY

V návaznosti na odst. 2.7, 6.2, 6.3 je hodnota ohmického odporu:

$$\text{Větev č. 1: } R_1 = 1,0 + 1,6 = 2,6 \Omega$$

$$\text{Větev č. 2: } R_2 = 1,0 + 0,17 = 1,17 \Omega$$

$$\text{Větev č. 3: } R_3 = 1,0 + 1,1 = 2,1 \Omega$$

$$\text{Větev č. 4: } R_4 = 1,0 + 3,27 = 4,27 \Omega$$

$$\text{Větev č. 5: } R_5 = 1,0 + 2,9 = 3,9 \Omega$$

6.5 ZEMNÍ ODPOR NÁHRADNÍ KOVOVÉ DESKY

V zastavěných oblastech je vzájemně elektricky propojeno řádově více zemničů, než je uvedeno v odst. 6.4, jak vyplývá mj. i z odst. 2.5. Podle provedených šetření [78,79,80,81] je tento zemní odpor nižší než $0,1 \Omega$, v některých oblastech i pod $0,02 \Omega$. Uzemněné objekty včetně liniových zařízení, kterými protékají bludné proudy (potrubí, tunely metra, koleje železnice a tramvají) tvoří v podstatě tzv. referenční zem, kde potenciál se rovná nule. Orientační výpočet zemního odporu vybraných paralelních větví poslouží jako informace, s jakými minimálními hodnotami bludných proudů (mimo proudů z korozních článků) je třeba počítat při dimenzování uzemnění u trafostanic.

$$R_{1-5} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}} = \frac{1}{0,386 + 0,8547 + 0,4762 + 0,2342 + 0,2564} = \frac{1}{2,2061} = 0,453 \, \Omega$$

6.6 PRŮMĚRNÝ BLUDNÝ PROUD VSTUPJÍCÍ (VYSTUPJÍCÍ) DO(Z) UZEMNĚNÍ TR 110/22 KV

Podle [2] $\varnothing I = \varnothing E_h' \cdot \varnothing L / 2R_{1-5}$ (A)

Podle odst. 2.6 průměrná intenzita elektrického pole: $\varnothing E_h = 3,1 \, \text{V.km}^{-1}$.

Podle odst. 2.7 je průměrná délka náhradního vodiče:

$$\varnothing L = (2,1 + 0,22 + 1,45 + 4,3 + 3,8) / 5 = 2,37 \, \text{km}$$

$$\varnothing I = 3,1 \cdot 2,37 / 2 \cdot 0,453 = 8,1 \, \text{A}$$

6.7 ORIENTAČNÍ VÝPOČET ŽIVOTNOSTI UZEMNĚNÍ TR 110/22 KV

Pro rezistivitu půdy $\rho = 50 \, \Omega\text{m}$ a zemní odpor $R_Z = 1,0 \, \Omega$ je nutné vytvořit zemnič ve tvaru kruhové desky o průměru $d = \rho / 2R_Z$ (m; Ωm ; Ω),

v daném případě: $d = 50 / 2 \cdot 1 = 25 \, \text{m}$.

Při aplikaci svařované ocelové sítě $\varnothing 8 \, \text{mm}$ 150/150 ($G' = 5,73 \, \text{kg.m}^{-2}$) se jedná o plochu:

$$S = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 25^2 / 4 = 491 \, \text{m}^2$$

a hmotnost: $G = 491 \cdot 5,73 = 2813 \, \text{kg}$.

Pokud by uzemnění bylo uloženo v zemi (bez betonového obložení) došlo by za rok ke koroznímu úbytku:

$$K = \varnothing I \cdot m = 7,2 \cdot 9,3 \, \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} = 67 \, \text{kg.a}^{-1},$$

kde m je korozní úbytek oceli v zemi podle Faradayova zákona.

$$\text{Životnost } \tau = G \cdot \eta / K = 2813 \cdot 0,4 / 67 = 16,8 \, \text{roků}$$

při využitelnosti uzemňovací soustavy $\eta = 0,4$.

Pokud by životnost měla být např. 40 let musela by ocelová síť být uložena v betonovém obložení (např. podkladním betonu). Ve skutečnosti jsou často používány mřížové zemniče tvořené pásy FeZn 30/4 mm uložené v zemi, kde životnost nepřesahuje 10 let. Efektivní zemní odpor tak jednotlivých uzemnění se v průběhu času zvyšuje na hodnotu $2 \, \Omega$ a vyšší.

7 ZÁVĚR

7.1 ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE KT

U navrženého KT Karlín – 1. stavba není zapotřebí provádět žádná dodatečná opatření vůči působení bludných proudů.

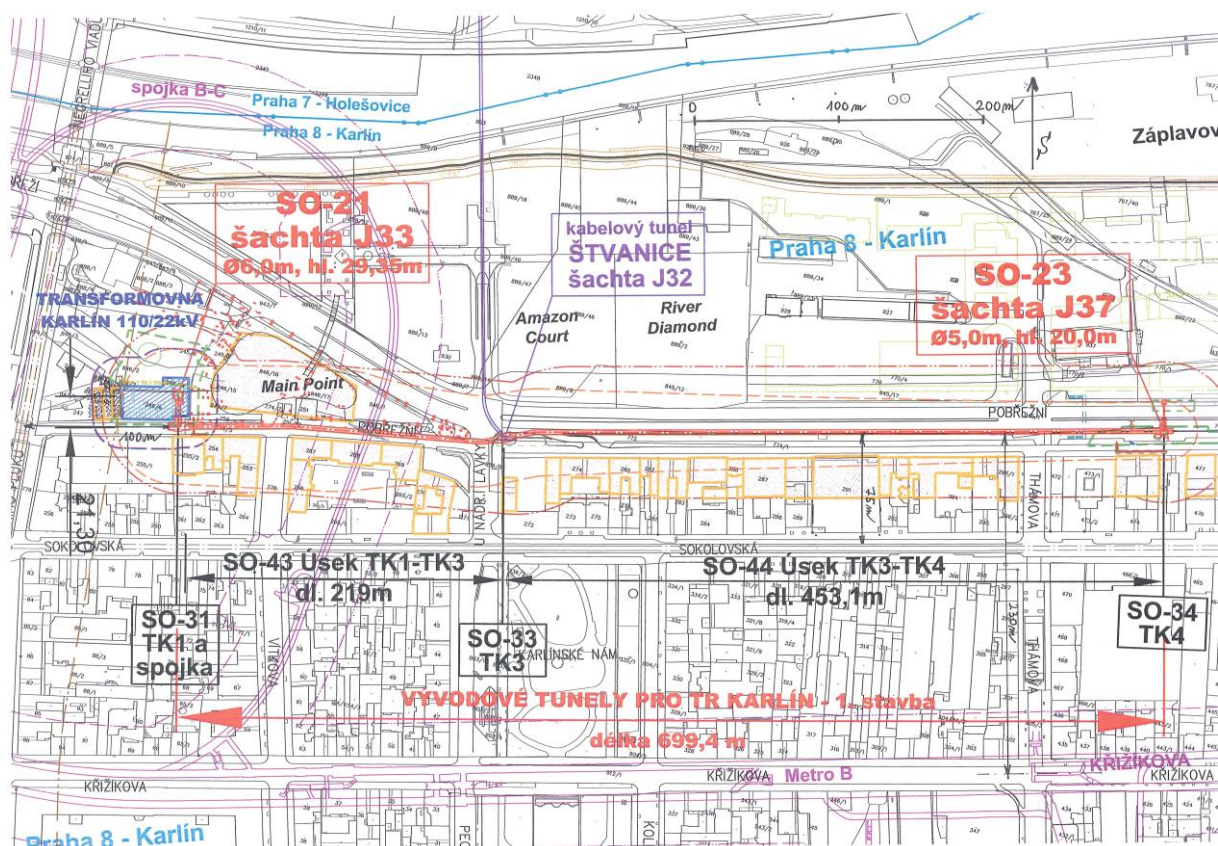
7.2 ÚSEK KŘÍŽENÍ KT S TUNELY METRA

Doporučuje se provést opatření podle odst. 3.2.2 Po jejich realizaci bude minimalizován vliv bludných proudů a omezena vzájemná interference obou uzemňovacích systémů.

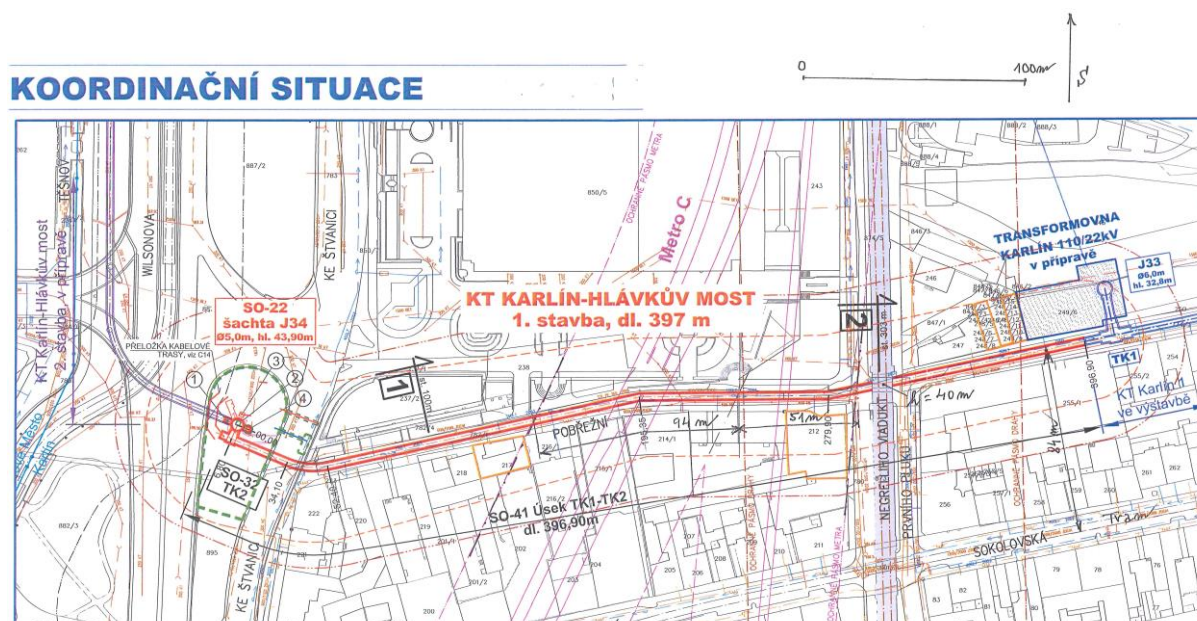
7.3 UZEMNĚNÍ U TRANSFORMOVEN TR 110/11KV

Při návrhu uzemňovací soustavy trafostanic vzít v úvahu analýzu uvedenou v *odst. 6*, zejména v *odst. 6.7*.

Obr. 3-1 Situace kabelových tunelů PRE (realizovaných a připravovaných) včetně klíčových transformoven 110/22 kV Karlín, Holešovice, Pražacka, Malešice, Střed

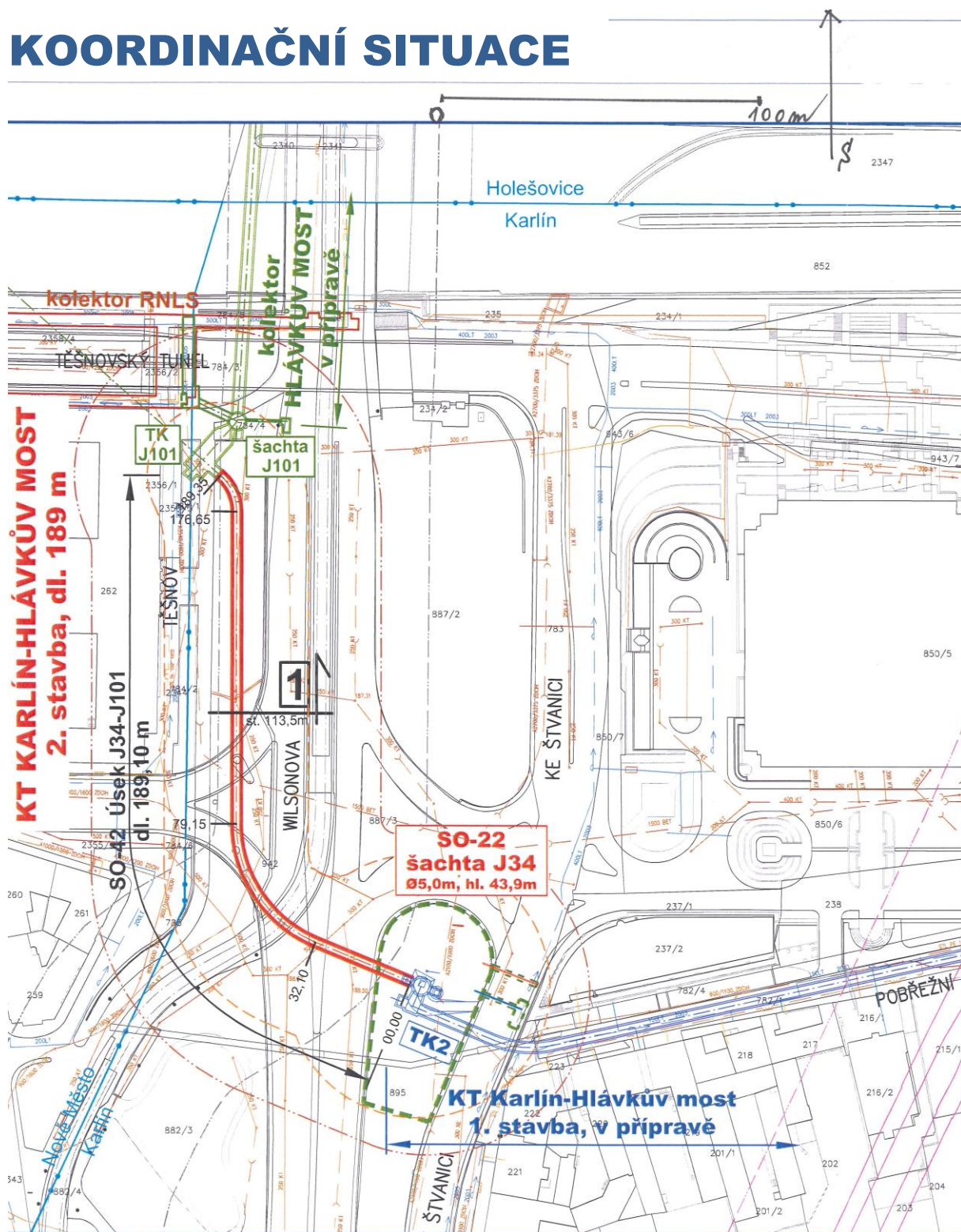


Obr 3-2 Koordinační situace KT Karlín, úseku TK4 – TK1 s vyznačením nejbližší vzdálenosti od zdrojů bludných proudů (metro B, tramvaj, železnice)



Obr. 3-3 Koordinační situace KT Karlín, úseku TK1 – TK2

KOORDINAČNÍ SITUACE



Obr. 3-4 Koordinační situace KT Karlín, úseku TK2 – TK101 (Hlávkův most)



VÝVODOVÉ TUNELY PRO TR KARLÍN - 1. STAVBA

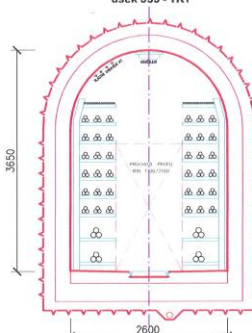
Celková délka	711,07 m
Hloubka dna tunelu	20 - 32,8m
Počet šachet	2 ks - J33, J37
Počet technických komor	3 ks - TK1, TK3, TK4

Šachta J37 - světly rozměr	Ø 475 mm, hl. 20,40 m
Profil „0“ v úseku J33-TK1	2,6 m x 3,65 m - 8,76 m²
Obsazenost: 4 x 110 kV, 36 x 22 kV, sdělovací a provozní kabely	
Profil „1“ v úseku TK1 - J37	2,6 m x 2,55 m - 5,89 m²
Obsazenost: 2 x 110 kV, 24 x 22 kV, sdělovací a provozní kabely	

CENA STAVBY (hl. II a III) 340,64 mil. CZK bez DPH

Profil 0

úsek J33 - TK1

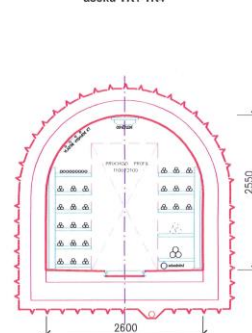


ZÁKLADNÍ PARAMETRY:	OBSAZENOST:
plocha výrubu 15,32 m ²	36 x kabel 22 kV
světla plocha 8,76 m ²	4 x kabel 110 kV

OBSAZENOST:
36 x kabel 22 kV
4 x kabel 110 kV



úseku TK1-TK4

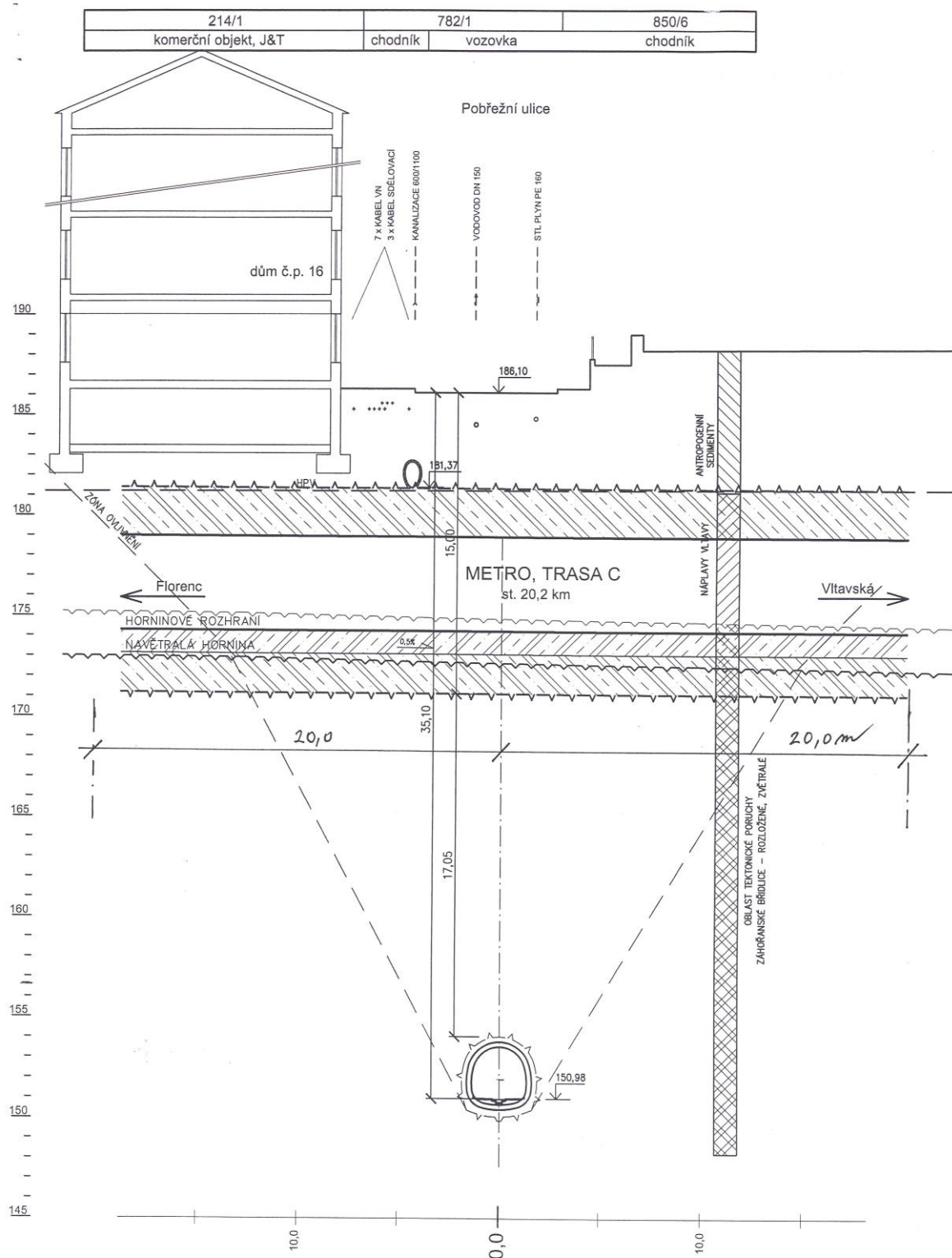


OBSAZENOST:	ZÁKLADNÍ PARAMETRY:
24 x kabel 22 kV	plocha výrubu 11,46 m ²
2 x kabel 110 kV	světla plocha 5,89 m ²

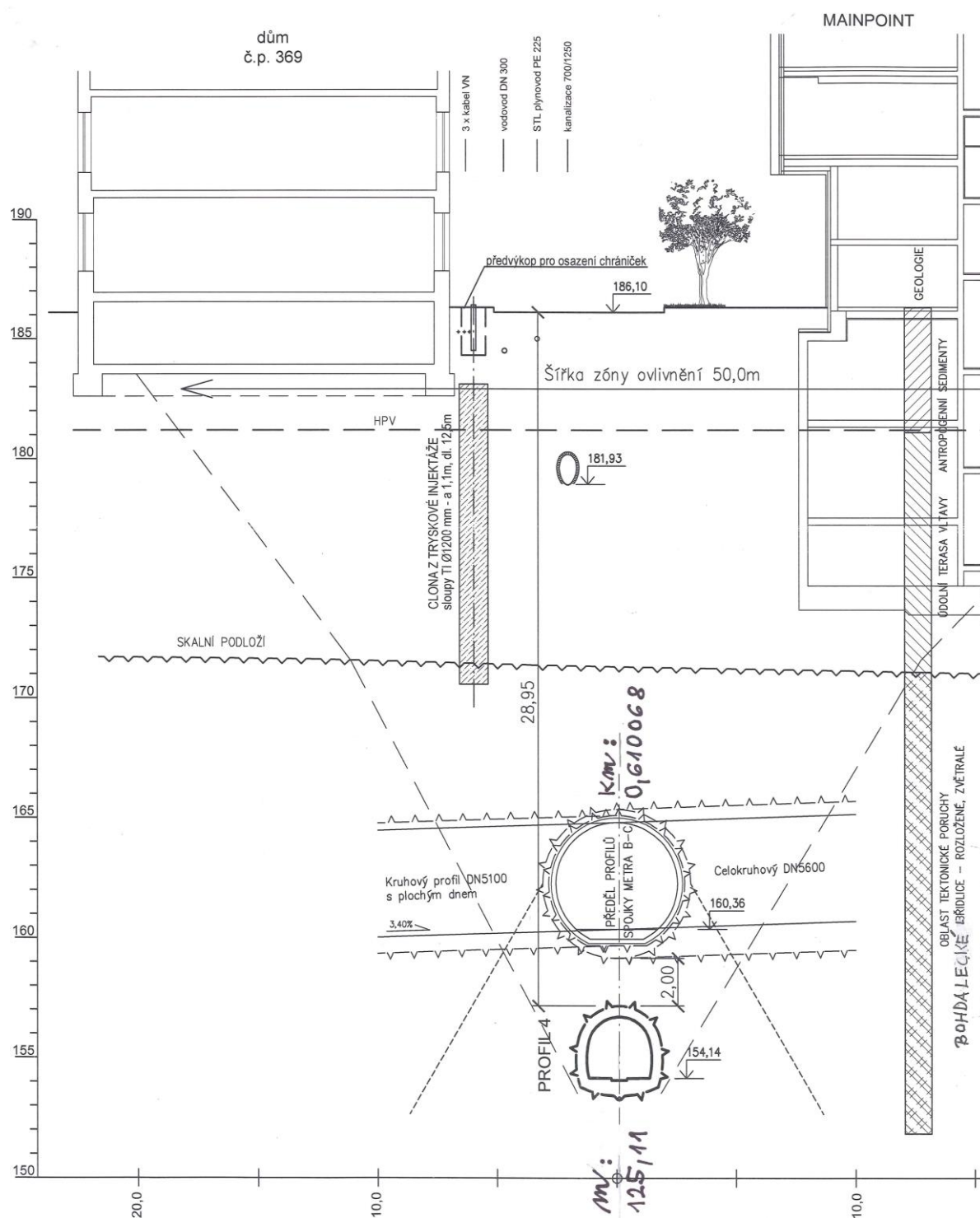
ZÁKLADNÍ PARAMETRY:
 plocha výřubu 11,46 m²
 světlá plocha 5,89 m²

PROFESIS leden 2025

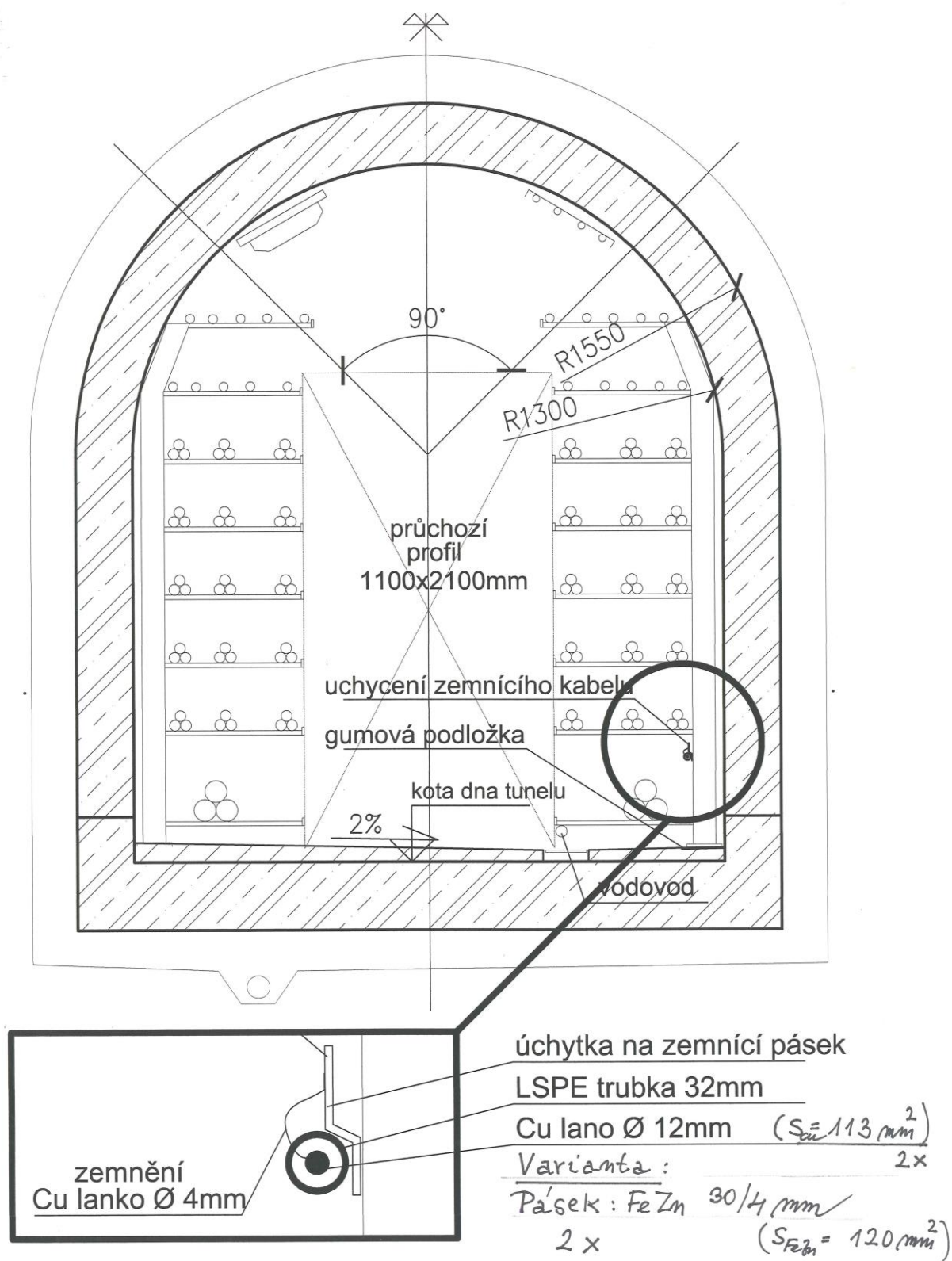
ŘEZ 2, st. 195m



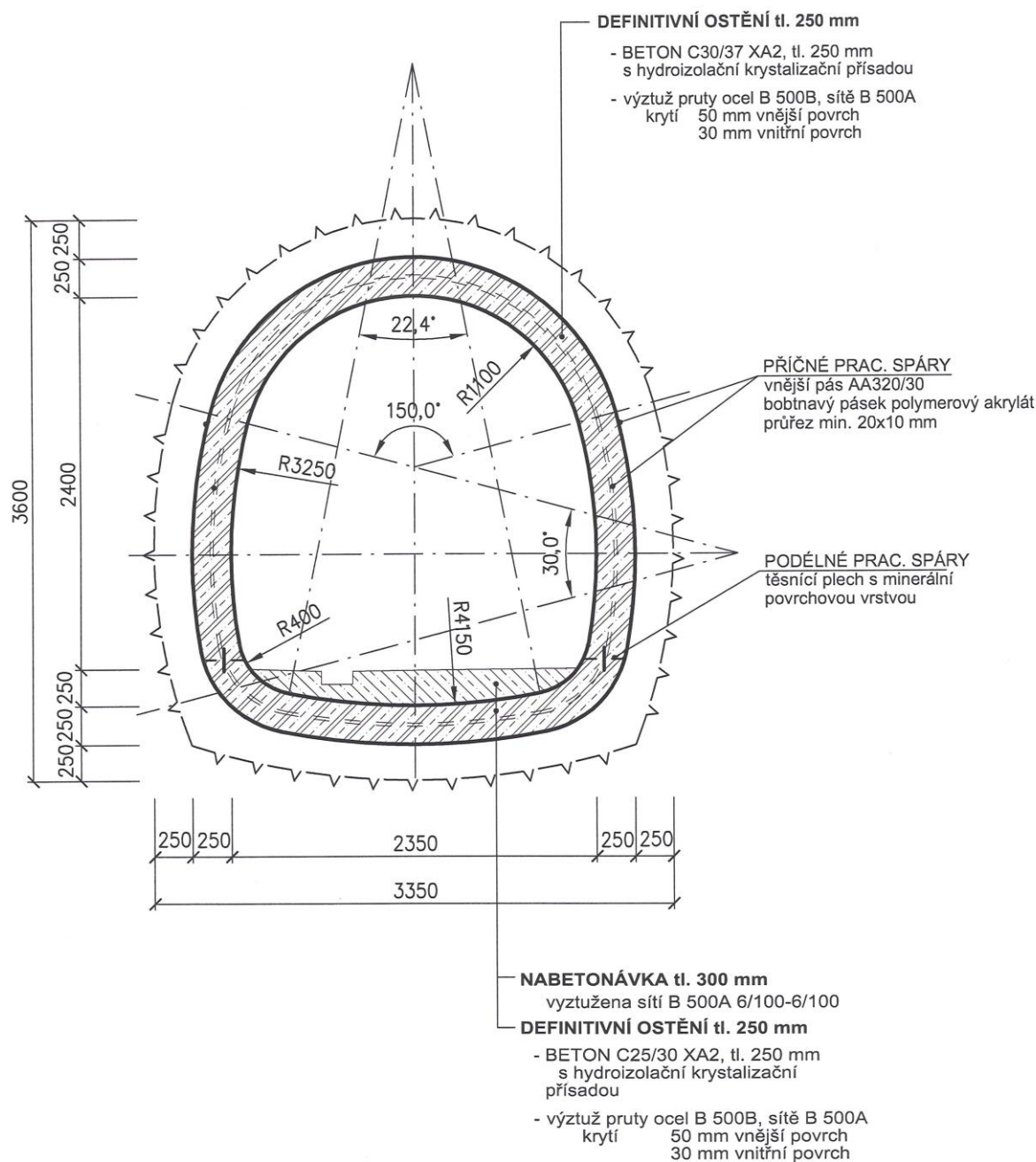
Obr. 3-7 Detail křížení KT Karlín – 1. stavba s tunely metra C, s vyznačením hornin skalního podkladu, staničení metra C a KT



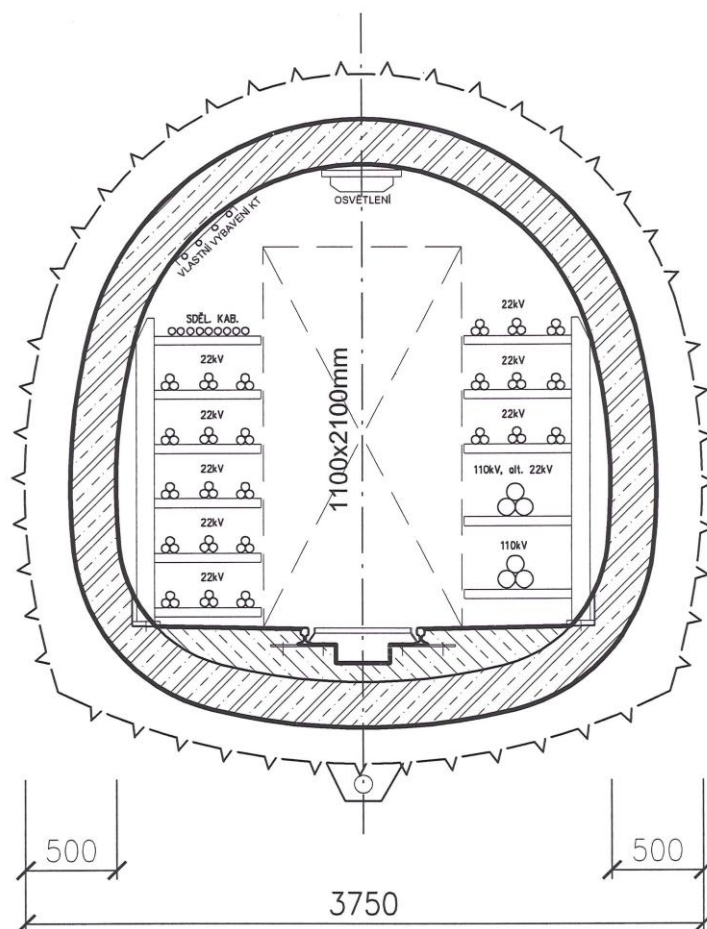
Obr. 3-8 Detail křížení KT Karlín se spojkou metra B-C s vyznačením hornin skalního podkladu a staničení (metra a KT)



Obr. 3-9 Uspořádání uzemňovacího přívodu v KT – varianta s páskem FeZn 30/4 mm a Cu lanem Ø 12 mm



Obr. 3-10 Příčný profil KT – 2. stavby s vyznačením provizorního a definitivního ostění



Obsazenost díla:

24 x kabel 22 kV

2 x kabel 110 kV

12 x sdělovací kabel

Obr. 3-11 Příčný profil KT – 2. stavby s vyznačením kabelů na ocelových výložnicích

11.4 PŘÍKLAD č. 4 – KOROZNÍ VLIV BLUDNÝCH PROUDŮ NA ŽELEZOBETONOVOU OPĚRNOU STĚNU PODÉL STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE

1 ÚVOD

Účelem posudku je vyhodnocení korozní situace železobetonových a kovových konstrukcí, (mikropilot, armokošů, zemních kotev a další ocelové výztuže opěrné stěny) uložených v zemi nebo mající kontakt s horninovým prostředím, zejména z hlediska působení stejnosměrných bludných proudů z elektrizované tratě ČD Česká Třebová – Praha, přičemž tento posudek by měl dát odpověď na tyto otázky [82]:

1.1

Kolik ss bludného proudu protéká areálem závodu Korado s.r.o. (průměrné hodnoty po celý rok)?

1.2

Kde je z korozního hlediska nejohroženější místo a jaká je průměrná hustota korozního proudu?

1.3

Posoudit vhodnost použití pomocného uzemnění u silnice na Semanín.

Poznámka:

Vzhledem k charakteru železobetonové konstrukce a záměru projektanta je rozsah reálné provařenosti výztuže (viz Přílohu č. 3 části 1–9) $P' = 30$ až 80% , takže lze tuto nelineiovou konstrukci považovat za elektricky spojitou po celé délce opěrné stěny, tj. $L = 300$ m).

2 VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU NA STAVENÍŠTI

Zájmové řízení leží na východním až jihovýchodním okraji České Třebové mezi silnicí I/14 na Harrachov, železniční tratí na Prahu a silnicí III. tř. na Semanín.

Pro účely tohoto posudku byla využita šetření, která byla provedena v souvislosti s vypracováním projektové dokumentace i dodatečný průzkum po vybudování zařízení [83,84].

2.1 GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM

Geoelektrické měření podle ČSN 03 8363 bylo provedeno v modifikaci VES a SOP mezi kolejemi ČD a opěrnou stěnou č. 3. Z izoohmického řezu vyplývá, že do hl. 12 m je $\rho_1 = 28,0 \Omega\text{m}$. Podle dodatečného měření v areálu závodu (měření M1 až M8) rezistivita zeminy v rozmezí $\rho = 13,1 \Omega\text{m}$ až $51,1 \Omega\text{m}$ průměrná hodnota $\rho_2 = 36 \Omega\text{m}$.

2.2 STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI

Toto měření podle ČSN 03 8365 bylo provedeno ve dvou etapách. Podle [84] byla zjištěna hustota bludného proudu $J = 208,4$ až $411,6 \mu\text{A.m}^{-2}$. Kolem areálu závodu byla zjištěna intenzita pole $E = 1,4$ až 42 mV.m^{-1} , což v přepočtu na hustotu bludného proudu činí $J_{\min} = 168 \mu\text{A.m}^{-2}$; $J_{\max} = 1316 \mu\text{A.m}^{-2}$ (u kolejí).

3 ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ

Na železobetonové a kovové konstrukce uložené v zemi budou nepříznivě působit bludné proudy z provozu železnice ČD s průměrným provozním napětím ss 3 kV s plus polaritou na troleji. Schéma úseku trati ČD Česká Třebová – Praha ve vazbě na závod KORADO je na obr. 4-1.

Charakteristický vlak je v poloze B s průměrnou spotřebou proudu $I = 461,2 \text{ A}$, která byla vypočtena podle předaných údajů [84]. Detailní uspořádání závodu ke kolejím je znázorněno na obr. 4-2.

Z provedených šetření vyplynulo, že průměrné proudové zatížení tratě je $\varnothing i_L = 60,7 \text{ A.km}^{-1} = 60,7 \text{ mA.m}^{-1}$, čemuž odpovídá napětí koleje – země v místě č. 1 (u silnice na Semanín) $U_{KZ} = -7,034 \text{ V}$ a bludný proud v zemi $I_Z (x1) = 107,8 \text{ A}$. Tomu odpovídá proudová hustota v zemi ve vzdálenosti $y = 15 \text{ m}$ od kolejí (v místě opěrné stěny č. 3) $J_{15} = 853 \text{ } \mu\text{A.m}^{-2}$ v okamžiku, kdy jeden elektrický vlak se nachází v poloze B. V jednom okamžiku může být v úseku A – C = 15,2 km oběma směry 2 i více elektrických vlaků, takže podle zkušeností $J_y (\text{max})$ v poloze B je ekvivalentní součet hodnot J menších než je $J_y (\text{max})$ a tím pádem můžeme vzít tuto hodnotu jako průměrnou. Pro elektrický vlak v místě B také platí (viz pol. 4 v tab. 4-1):

$$i_b (x1) = I \cdot \alpha_k \cdot 0,599059 / 1,521168 = 461,2 \cdot 0,25819 \cdot 0,393815 = 46,9 \text{ mA.m}^{-1}.$$

Z porovnání $i_b (x1)$ a $\varnothing i_L$ je zřejmé, že vypočtené hodnoty mohou být max. $60,7 / 46,9 = 1,29$ x větší, což je v mezích přesnosti výpočtové metody.

4 VÝPOČET VLIVU BLUDNÝCH PROUDŮ NA ÚLOŽNÉ KONSTRUKCE

Se zřetelem na výše uvedené skutečnosti přikročil zpracovatel posudku ke stanovení hustoty bludného proudu u opěrné stěny č. 3 (nejvíce korozně ohrožená konstrukce) a v celém areálu KORADO podle obr. 4-1 a tab. 4-1 (pol. č. 7,8). Tato střední hustota je ve vzdálenosti $y = 33 \text{ m}$ od 1. koleje ČD a rovná se $\varnothing J = 422,4 \text{ } \mu\text{A.m}^{-2}$. Šetření pokračuje v tab. 4-2 a 4-3, kde je znázorněna opěrná zeď č. 3 v poli bludných proudů (za předpokladu, že na polovinu délky konstrukce $L/2 = 150 \text{ m}$ proud vstupuje a z druhé poloviny proud vystupuje, což v podstatě odpovídá skutečnosti). Na délce $L/2$ vzniká napětí proti zemi $U1 = (L/2) \cdot E1$, kde $E1$ je intenzita elektrického pole.

Byl spočítán zemní odpor soustavy obou systémů (RZ1, RZ2) a výsledný zemní odpor soustavy RZ (viz tab. 4-2, pol. 1,2,3). Velikost bludného proudu činí $I_{kor} = 29,12 \text{ A}$ u opěrné zdi č. 3 a $I'_{kor} = 47,52 \text{ A}$ v celém závodě, což činí 44 % veškerého bludného proudu v zemi.

Dále byla spočítána plocha povrchu ocelové výztuže u charakteristických úseků opěrné stěny č. 3 (viz tab. 4-3 a 4-4). Z výpočtů je zřejmé, že průměrná hustota bludného proudu v úseku 0-1 je $\varnothing J_b = 11,65 \text{ mA.m}^{-2}$. Vzhledem k nerovnoměrnému rozdělení proudu podél protáhlé elektrody bude proudově nejvíce zatížen úsek piloty č. 1 až 9, tj.

$J_{1-9} = 56,94 \text{ mA.m}^{-2}$, přičemž maximální hustota bludného proudu bude u piloty č. 1

$J_{\text{max}} = 188,26 \text{ mA.m}^{-2}$ (viz tab. 4-4, pol. 7,8). Při této J_{max} je rychlost koroze (viz část A) $K = 0,034 \text{ g.m-2h}$ při tloušťce krytí výztuže betonem 4,7 cm, tj. u piloty č. 1 je

$S_1 = 8,94 \text{ m}^2$ (viz bod 3.1. tab. 4-3), takže korozní úbytek za rok činí:

$$G_1 = 0,034 \cdot 8,94 \cdot 8760 = 2662 \text{ g} = 2,6 \text{ kg.a}^{-1}$$

Korozní úbytek výztuže u piloty č. 3 ($n = 2,8$ – viz pol. č. 6 v tab. 4-4)

$$J_{kor}(3) = 11,65 \cdot 2,02 \cdot 2,8 = 65,9 \text{ mA.m}^{-2}$$

$$G_3 = 0,01 \cdot 8,94 \cdot 8760 = 783 \text{ g} = 0,8 \text{ kg.a}^{-1}$$

Tedy více než 3x méně než v případě piloty č. 1.

Poznámka:

Vzhledem k tomu, že při malých proudových hustotách jsou empiricky získané hodnoty zatížení velkou chybou (v rozmezí $j = 50 \text{ mA.m}^{-2}$ až 300 mA.m^{-2}) nelze spočítané hodnoty interpretovat absolutně – lze je však použít pro srovnání intenzity koroze např. u piloty č. 1 a č. 3. Maximální korozní úbytek výztuže je uveden na obr. 4-3.

5 ZÁVĚR

Z rozboru korozní situace v dané lokalitě vyplývá, že anodické proudové zatížení výztuže (max. stálý proud) $J_v = 56,9 \text{ mA.m}^{-2}$ nemůže ani dlouhodobě ohrozit stabilitu dané železobetonové konstrukce.

Nicméně bylo provedeno šetření o eventuálním, použití pomocného uzemnění na konci anodického úseku opěrné stěny č. 3. Použití pomocného uzemnění podle obr. 4-3 by mělo tyto dvě hlavní výhody:

- Koroze piloty č. 1 by byla z valné části přenesena na pomocné uzemnění.
- Bylo by možno monitorovat bludné proudy v průběhu času v měřicím objektu MO a tak získat přehled o korozních poměrech úložných konstrukcí.

Po připojení pomocného uzemnění se změní proudové poměry tak, že část bludného proudu I_1 přejde na pomocné uzemnění, takže I_u bude vyšší než $0,93 \text{ A}$ (může být až $3,0 \text{ A}$) a proud I_1 se zredukuje až na $1/3$ tj. $1,683/3 = 0,561 \text{ A}$ tj. $j_{\max} = 62,75 \text{ mA.m}^{-2}$, tj. v tolerované mezi.

Na položené otázky je možno odpovědět takto:

Otázka 1.1:

Areálem nového závodu KORADO s.r.o. protéká bludný ss proud, který dosahuje průměrných hodnot $I_{kor} = 47,52 \text{ A}$.

Otázka 1.2:

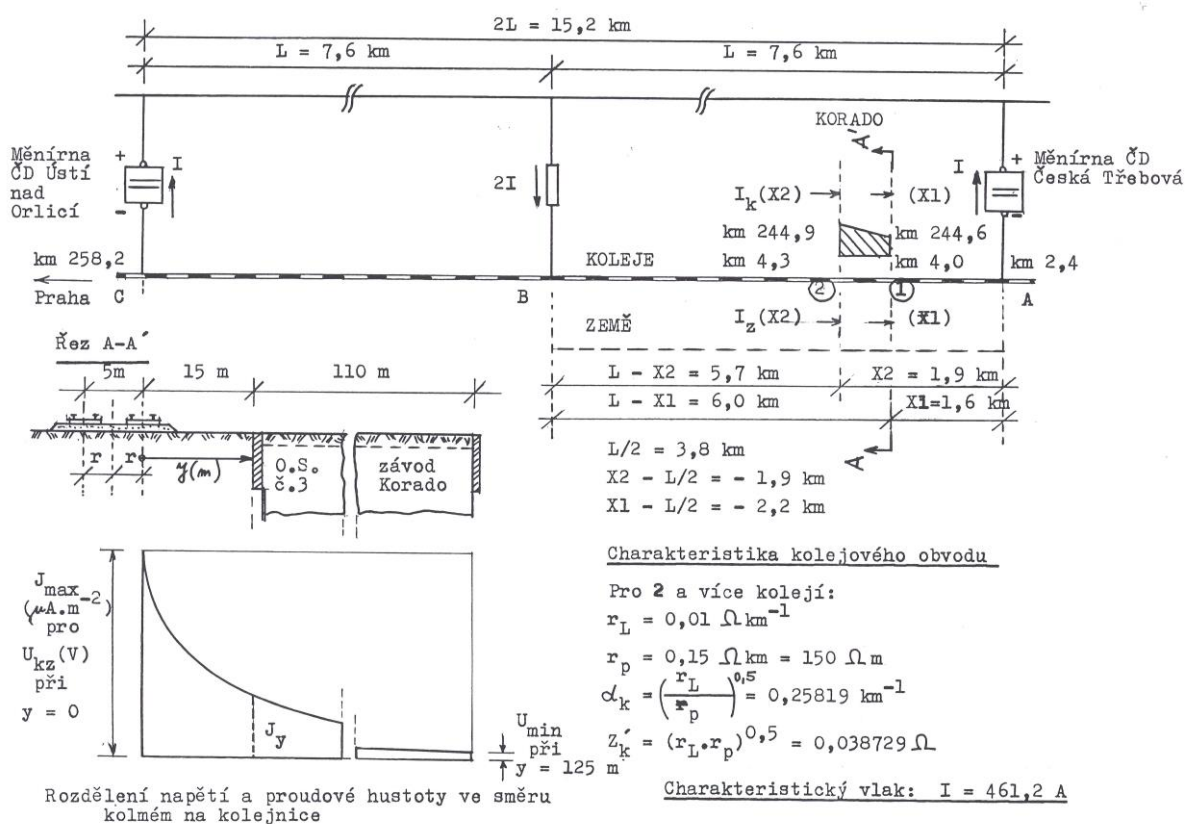
Z korozního hlediska je nejohroženější místo pilota č. 1 opěrné stěny č. 3. Průměrná hodnota bludného proudu na posledním úseku HP1 (15,3 m) činí $J = 57,0 \text{ mA.m}^{-2}$ s max. hodnotou u piloty č. 1, tj. $J_{\max} = 188 \text{ mA.m}^{-2}$

Otázka 1.3:

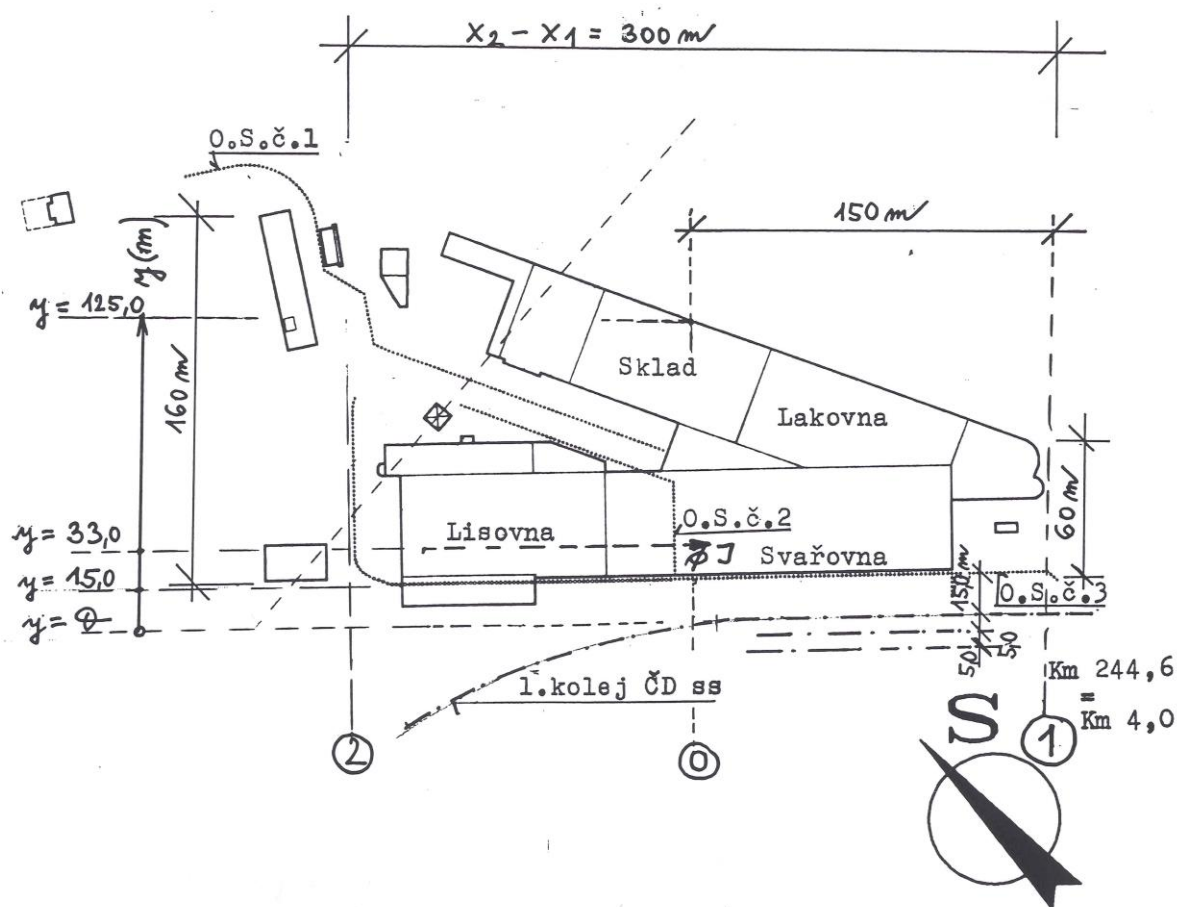
Použití pomocného uzemnění by mělo nejméně 2 výhody proti současnému stavu:

- koroze výztuže piloty č. 1 by z valné části byla přenesena na pomocné uzemnění;
- bylo by možno kontinuálně monitorovat korozní poměry v nejohroženějším úseku.

Obrázky k příkladu č. 4



Obr. 4-1 Schéma úseku železniční trati Česká Třebová – Praha mezi měniřnami (NS) Ústí nad Orlicí a Českou Třebovou ve vazbě na závod Korada



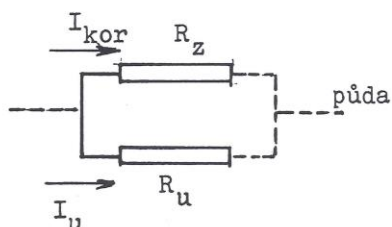
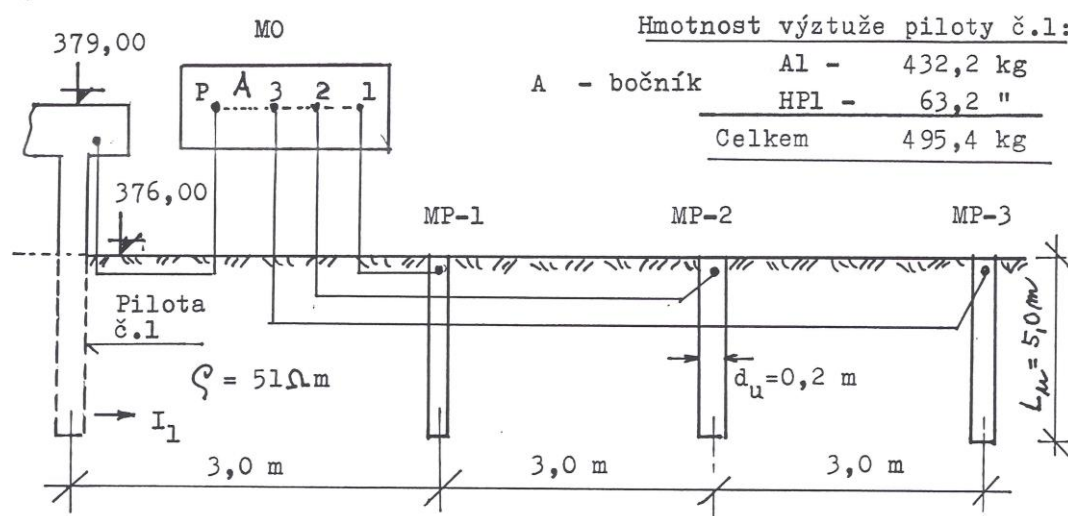
Půdorysné uspořádání závodu KORADO v České Třebové u ss elektrizované trati ČD s opěrnými stěnami č.1, 2, 3 s vyznačením místa kolmého ke kolejím $y = 33 \text{ m}$ s průměrnou hustotou bludného proudu v areálu závodu $\varnothing J (\mu\text{A}\cdot\text{m}^{-2})$

Obr. 4-2 Půdorysné uspořádání závodu Korado v České Třebové s opěrnými stěnami (OS) č. 1,2,3 podél železniční trati

Posouzení účinnosti pomocného uzemnění u silnice na Semanín

Podle situačního a výškového uspořádání přichází v úvahu použít mikropiloty $\varnothing 108/16$ mm v betonovém obložení v tl. 40-50 mm (včetně beton.zálivky vnitřku trubky) do vrtu $\varnothing 200$ mm v hloubce $L_u = 5,0$ m (376,00 – 371,00 m.n.m.).

Pomocné uzemnění tvořené třemi mikropilotami v min.vzdálenosti od piloty č. 1 ca 3,0 m a ve vzájemné vzdálenosti 3 m by bylo připojeno k výztuži hlavicové převázky nad pilotou č. 1 přes nadzemní měřicí objekt MO.



$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L_u} \ln \frac{4 \cdot L_u}{d} =$$

$$= \frac{51}{2\pi \cdot 5} \ln \frac{4 \cdot 5}{0,2} =$$

$$= 1,62338 + 4,605 = 7,48 \Omega$$

$$R_u = \frac{R_1}{\eta \cdot n} = \frac{7,48}{0,65 \cdot 3} = 3,83 \Omega$$

Podle Kirchhoffových zákonů platí: $I_{kor} \cdot R_z = I_u \cdot R_u$

$$I_u = \frac{I_{kor} \cdot R_z}{R_u}$$

Pro $R_z = 0,048 \Omega$ $I_u = \frac{47,52 \cdot 0,048}{3,83} = 0,6 \text{ A}$

Pro $R_{z1} = 0,123 \Omega$ $I'_u = \frac{29,12 \cdot 0,123}{3,83} = 0,93 \text{ A}$

Bludný proud do země z piloty č.1: $I_1 = \frac{J_{max} \cdot S_1}{10^3} = \frac{188,26 \cdot 8,94}{1000} = 1,683 \text{ A}$

Max.korozní úbytek výztuže: $K = 0,034 \cdot 8,94 \cdot 8760 = 2662 \text{ g}$

Za 50 let: $2,662 \cdot 50 = 133,1 \text{ Kg}$ tj. $26,8 \%$

Obr. 4-3 Posouzení účinnosti pomocného uzemnění u piloty č. 1 (u silnice na Semanín)

Tab.
4-1POMOCNÉ VÝPOČTY č. A

1. Spotřeba elektrické energie v měnících (podle přílohy č.3):

$$S = 1,1 \text{ MWh/měsíc} = 36\,700 \text{ kWh/24 hodin}$$

2. Přepočet na průměrný trakční proud:

$$\bar{I} = \frac{S \cdot \eta}{U \cdot \tau} = \frac{36\,700 \cdot 0,95}{3,15 \cdot 24} = 461,2 \text{ A}$$

$$\eta = 0,95 ; U = 3,15 \text{ kV} ; \tau = 24 \text{ hodin}$$

3. Proudové zatížení kolejí v úseku A - B podle přílohy č.1:

$$\bar{I}_L = \frac{I}{L} = \frac{461,2}{7,6} = 60,7 \text{ A.km}^{-1}$$

4. Napětí koleje - země v místě č.1 (u silnice na Semanín):

$$\begin{aligned} U_{kz}(X_1) &= I \cdot Z_k' \frac{\sinh \alpha_k (X_1 - L/2)}{\cosh \alpha_k L/2} = 461,2 \cdot 0,038729 \cdot \\ &\cdot \frac{\sinh 0,25819 \cdot -2,2}{\cosh 0,25819 \cdot 3,8} = \frac{-0,599059}{1,521168} \cdot 17,86181 = \\ &= -7,034 \text{ V} \end{aligned}$$

5. Bludný proud v místě č.1:

$$\begin{aligned} I_z(X_1) &= I \left[1 - \frac{\cosh \alpha_k (X_1 - L/2)}{\cosh \alpha_k L/2} \right] = 461,2 \left[1 - \frac{1,165706}{1,521168} \right] = \\ &= 461,2 \cdot 0,23367 = 107,8 \text{ A} \end{aligned}$$

6. Hustota bludného proudu v zemi v místě č.1 v kolmé vzdálenosti y:

$$\begin{aligned} J_y &= - \frac{U_{kz}}{r_p} \frac{1}{\pi(r+y)} \cdot 10^6 \quad (\mu\text{A.m}^{-2}) \\ &= \frac{7,034}{150\pi} \frac{10^6}{(2,5 + y)} = \frac{14\,927}{2,5 + y} \quad (\mu\text{A.m}^{-2}) \end{aligned}$$

$$\text{Pro: } y = 0 \text{ je } J_{\max} = 5\,971 \mu\text{A.m}^{-2}$$

$$y = 15 \text{ m (v místě opěrné zdi č.3) je } J_{15} = 853 \mu\text{A.m}^{-2}$$

$$y = 125 \text{ m (prům.vzdál. konce areálu Korado od kolejí, viz přílohu č.2) } J_{125} = 117 \mu\text{A.m}^{-2}$$

7. Střední hustota bludného proudu v areálu Korado:

$$J_y \cdot y \quad (\mu\text{A.m}^{-1}), \text{ pro } J_{15} \cdot 15 = 12\,795 \mu\text{A.m}^{-1}$$

$$\text{pro } J_{125} \cdot 125 = 14\,625 \mu\text{A.m}^{-1}$$

$$\bar{J} = 422,4 \mu\text{A.m}^{-2} \text{ ve vzdálenosti } y = 33 \text{ m } (J_{33} \cdot 33 = 13\,939 \mu\text{A.m}^{-1})$$

8. Směrodatné hodnoty pro výpočet bludného proudu v soustavě:

$$J_{\max} = 853 \mu\text{A.m}^{-2} \text{ (opěrná zeď č.3)}$$

$$\bar{J} = 422,4 \mu\text{A.m}^{-2} \text{ (u všech žbet konstrukcí v závodě).}$$

Stanovení vlivu bludných proudů pro lokalitu závodu Korado ze spotřeby elektrické energie v nejbližších napájecích stanicích

Pomocné výpočty č. B

- 1. Zemní odpor soustavy: opěrná stěna č.3 - mikropiloty, armokoše, zemní kotvy: v délce $L = 300$ m (v souběhu s tratí ČD).**
 Průměrná hloubka pilot $\varnothing 900$ mm včetně mikropilot $\varnothing 108/16$ mm uložených v zemi $2 h = 12$ m.
 Osová vzdálenost armokošů: 1,8 m; osová vzdálenost mikropilot: 0,9 m; soustava je galvanicky připojena systémem hlaviceových převázek.
 Tento systém lze pro účely výpočtu zemního odporu nahradit válcovou plochou s osou v hloubce $h = 6,0$ m a s obvodem $0 = 12$ m.
 Průměr této plochy: $d = 0/\pi = 12,0/\pi = 3,82$ m

$$R_{z1} = \frac{\rho_1}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{d \cdot h} = \frac{28}{2\pi \cdot 300} \ln \frac{300^2}{3,82 \cdot 6,0} = 0,014854 \cdot 8,27555 = \underline{0,123 \Omega}$$

Podle odst. 3.1. je $\rho_1 = 28 \Omega \text{m}$.
- 2. Zemní odpor železobetonových a kovových (včetně uzemňovací soustavy) konstrukcí v areálu závodu KORADO podle přílohy č.2**
 Celková plocha areálu: $S = 300 \cdot 60 + 300 \cdot 100 / 2 = 33\,000 \text{ m}^2$
 Pro účely výpočtu zemního odporu nahradíme tuto plochu kruhovou deskou umístěnou v hloubce $h_1 = 6$ m pod terénem.
 Průměr náhradní kruhové desky $D = \left(\frac{4 \cdot S}{\pi} \right)^{0,5} = \left(\frac{4 \cdot 33000}{\pi} \right)^{0,5} = \underline{205 \text{ m}}$

$$R_{z2} = \frac{\rho_2}{2 D} = \frac{0,9 \cdot 36}{2 \cdot 205} = \underline{0,079 \Omega}$$

Podle odst.3.1 je $\rho_2 = 36 \Omega \text{m}$; pro poměr $h_1 = 0,03 D$ je koef $\alpha = 0,9$
- 3. Celkový zemní odpor soustavy:**

$$R_z = \frac{R_{z1} \cdot R_{z2}}{R_{z1} + R_{z2}} = \frac{0,123 \cdot 0,079}{0,123 + 0,079} = \underline{0,048 \Omega}$$
- 4. Velikost bludného proudu v žebet.konstrukci opěrné stěny č.3:**

$$I_{kor} = \frac{L \cdot \rho_1 \cdot J_1}{2 \cdot R_{z1}} = \frac{300 \cdot 28 \cdot 853 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,123} = \underline{29,12 \text{ A}}$$
- 5. Velikost bludného proudu v úložných konstrukcích v celém závodě:**

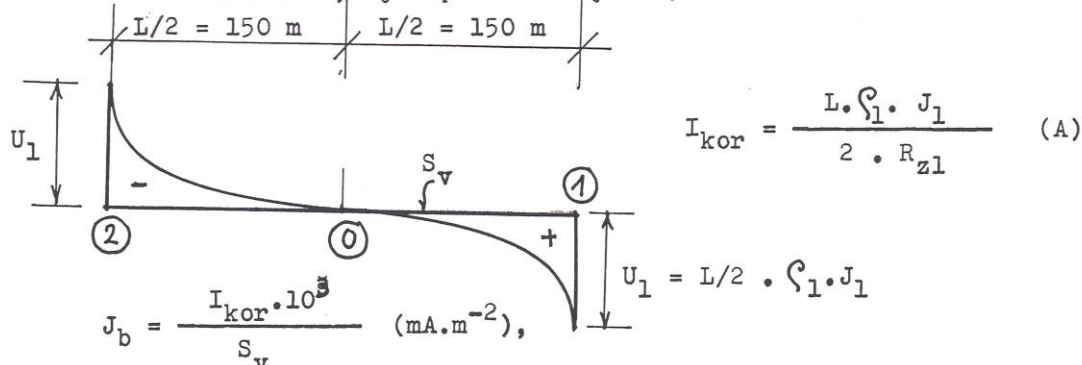
$$I'_{kor} = \frac{L \cdot \rho_2 \cdot J_2}{2 \cdot R_z} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 422,4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,048} = \underline{47,52 \text{ A}}$$
- 6. Velikost bludného proudu v soustavě v poměru k celkovému bludnému proudu v daném místě:**

$$\frac{I'_{kor} \cdot 100}{I_z(X1)} = \frac{47,52 \cdot 100}{107,8} = 44 \%$$
- 7. Intenzita elektrického pole:**
 U opěrné stěny č.3: $E_1 = \rho_1 \cdot J_1 = 28 \cdot 853 \cdot 10^{-3} = 23,9 \text{ mV} \cdot \text{m}^{-1}$
 V areálu závodu: $E_2 = \rho_2 \cdot J_2 = 36 \cdot 422,4 \cdot 10^{-3} = 15,2 \text{ mV} \cdot \text{m}^{-1}$

Tab. 4-2 Výpočet zemního odporu opěrné stěny a intenzity bludných proudů v kovových a železobetonových konstrukcích

Pomocné výpočty č. C4

1. Hustota bludného proudu na ocelové výztuži korozně nejvíce ohrožené konstrukce, tj. opěrné stěny č. 3



kde S_v je celková plocha povrchu výztuže v anodickém úseku 0-1.

2. Charakteristický úsek opěrné stěny č.3 je mezi pilotami č.32 až 95, tedy např. pro pilotu č.94: armokoš č.A5 Ø 900 mm v délce 10 m rozestup 1,8 m, mikropilota Ø 108/16 mm v délce 15 m, interval 0,9 m, úsek hlavicové převázky HP 8.

- 2.1. Výztuž armokoše A 5:

$$\begin{aligned} \varnothing 25 \text{ mm, dl. } 292,2 \text{ m; } S_v' &= \pi \cdot d_v \cdot L_v = \pi \cdot 0,025 \cdot 292,2 = 22,95 \text{ m}^2 \\ \varnothing 8 \text{ mm, dl. } 225,2 \text{ m; } S_v &= 5,66 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Celkem 28,61 m² na délku 18,6 m

Skutečná plocha povrchu výztuže:

$$S_5 = 28,61 \cdot \frac{10}{18,6} = 15,38 \text{ m}^2$$

Dist.kruh 80/8 mm;

$$S_{dk} = 0,176 \cdot 8 \cdot 2,25 = 3,17 \text{ m}^2$$

Přepočet na 1 bm opěrné stěny: $18,55/1,8 = 10,30 \text{ m}^2$

- 2.2. Mikropilota Ø 108/16 v dl. 5 m $S_m = 1,696 \text{ m}^2$

Přepočet na 1 bm: $1,696/0,9 = 1,88 \text{ m}^2$

- 2.3. Hlavicová převázka (1 bm):

Ø 14 mm, dl. 62,8 m	$S_{hp}' = 2,76 \text{ m}^2$
Ø 16 " " 19,8 "	$= 1,00 \text{ "}$
Ø 20 " " 6,4 "	$= 0,40 \text{ "}$
Ø 25 " " 15,5 "	$= 1,22 \text{ "}$
	<u>5,38 m²</u>

Celkem: $10,3 + 1,88 + 5,38 = 17,56 \text{ m}^2/\text{bm}$

3. Korozně nejvíce ohrožený úsef, tj. piloty č. 1 až 9, v délce pilot 7,2 m, úsek hlavicové převázky HP 1 v délce 15,3 m.

- 3.1. Armokoš A1 (č.1 až 7 po 1,8 m)

$$\begin{aligned} \varnothing 25 \text{ mm, dl. } 141,60 \text{ m } S_v' &= 11,12 \text{ m}^2 \\ \varnothing 8 \text{ mm, dl. } 140,40 \text{ m } &= 3,53 \text{ "} \end{aligned}$$

14,65 m² na délku 11,80 m

Skutečná plocha: $S_1 = 14,65 \cdot \frac{7,20}{11,80} = 8,94 \text{ m}^2$

dist.kruh: $0,176 \cdot 2,25 \cdot 5 = 1,98 \text{ "}$

$$10,92 \text{ m}^2$$

Tab. 4-3 Výpočet hustoty korozního proudu v nejvíce ohrožené části železobetonové konstrukce

Pomocné výpočty č. C2

Pokrač. z přílohy č.6:

$$\text{Celkem: } 10,92 \cdot 7 = \underline{76,44 \text{ m}^2}$$

3.2. Armokoš A 2 (č.8,9):

$$\begin{aligned} \varnothing 25 \text{ mm, dl. } 288 \text{ m; } S' &= 22,62 \text{ m}^2 \\ \varnothing 8 \text{ ", " } 169,5 \text{ m; } S &= 4,26 \text{ " } \end{aligned}$$

26,86 m² na délku piloty 14,40 m

$$\text{Skutečná plocha } S_2 = 26,86 \cdot \frac{7,20}{14,40} = 13,43 \text{ m}^2$$

$$\text{Dist.kruh: } 0,176 \cdot 2,25 \cdot 7 = \frac{2,77 \text{ "}}{16,20 \text{ m}^2}$$

$$\text{Celkem: } 16,20 \cdot 2 = \underline{32,40 \text{ m}^2}$$

3.3. Hlavicová převázka HP 1 - 1 bm:

$$\begin{aligned} \varnothing 25 \text{ mm, dl. } 14 \text{ m } S' &= 1,10 \text{ m}^2 \\ \varnothing 10 \text{ ", " } 15 \text{ m } S &= 0,47 \text{ " } \end{aligned}$$

$$1,57 \text{ m}^2$$

$$\text{Celkem: } 1,57 \cdot 15,3 \text{ m} = \underline{24,02 \text{ m}^2}$$

$$\text{Úhrnem: } 76,44 + 32,40 + 24,02 = 132,86 \text{ m}^2$$

$$\text{tj. } 132,86 / 15,3 = \underline{8,68 \text{ m}^2/\text{bm}}$$

4. Celková plocha povrchu výztuže v anodickém úseku 0 - 1:

$$S_v = 8,68 \cdot 15,3 + 17,56 (150 - 15,3) = 132,86 + 2365,33 = \underline{2498 \text{ m}^2}$$

5. Průměrná hustota bludného proudu v úseku 0 - 1:

$$\varnothing J_b = \frac{29,12 \cdot 10^3}{2498} = \underline{11,65 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}}$$

6. Rozložení hustoty bludného proudu u opěrné stěny č.3 v úseku 0-1:

V bodě 0 bude $J = 0$; při náhradním průměru $d = 3,82 \text{ m}$ a délce anodického úseku $L/2 = 150 \text{ m}$ je poměr $0,5L/d = 39,2$:

Pro tuto protáhlou elektrodu je největší hustota v bodě 1 (viz přílohu č. 6), neboť se zde již neuplňuje vliv vzájemného el.stínění na elektrodě. Od bodu směrem k bodu 0 se bude hustota proudu snižovat a bude n -krát větší než průměrná hustota $\varnothing J_b / 1/x$

Pro vzdálenost $b=0,5 \text{ m}$ od bodu 1 bude $n = 8$, pro $b=1,0 \text{ m}$ je $n=5$, pro $b = 2 \text{ m}$ je $n = 4$, pro $b = 5 \text{ m}$ je $n = 2,8$, pro $b = 10 \text{ m}$ je $n = 2$, pro $b = 15 \text{ m}$ je $n = 1,5$.

$$\text{Vážený průměr pro úsek v délce } 15 \text{ m činí } n' = \frac{36,4}{15} = \underline{2,42}$$

7. V úseku pilot č.1 až 9 bude vyšší hustota bludného proudu též s ohledem na menší plochu povrchu ocelové výztuže než je průměr:

$$\text{koef. } \omega = 17,56 \text{ m}^2 / 8,68 \text{ m}^2 = \underline{2,02}$$

8. Hustota korozního (bludného) proudu v úseku pilot č.1 až 9:

$$J_{1-9} = \varnothing J_b \cdot \omega \cdot n' = 11,65 \cdot 2,02 \cdot 2,42 = \underline{56,94 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}}$$

9. Maximální hustota bludného proudu bude u piloty č. 1:

$$J_{\max} = \varnothing J_b \cdot \omega \cdot n_{0,5} = 11,65 \cdot 2,02 \cdot 8 = \underline{188,26 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Tab. 4-4 Rozložení hustoty bludného proudu v anodickém úseku opěrné stěny č. 3

11.5 PŘÍKLAD č. 5 – ODOLNOST ŠTĚTOVÉ OPĚRNÉ ZDI PŘÍSTAVIŠTĚ PROTI KOROZI BLUDNÝMI PROUDY

1 ÚVOD

Zhotovitel stavby Nové vodní linky na Císařském ostrově požádal o posouzení projektové dokumentace, kterou vypracoval GP a.s. Sweco Hydroprojekt Praha, z hlediska odolnosti objektu SO 1.29 proti korozi bludnými proudy. Opěrná zeď překladiště je řešena jako:

- štětová zeď v délce 182,4 m a
- betonová opěrná zeď v délce 62 m navazující v západní části na štětovou stěnu [85]

2 VÝSLEDKY KOROZNÍHO PRŮZKUMU V MÍSTĚ STAVBY

2.1 ZÁVĚRY Z INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

Zájmová lokalita se nachází v Praze 7 – Bubenči, Na Císařském ostrově na pravém břehu plavebního kanálu v km 1,70 – 1,95 a prostoru nové čistírny odpadních vod. Pro účely tohoto posudku je důležitá geologická dokumentace vrtů č. J3, JH6 jak jsou vyznačeny na obr 5-2 s kótami existujícího terénu 180,78 m.n.m., resp. 180,21 m.n.m. Dále uvedený geoelektrický průzkum do hl. 5,0 m předpokládá výše uvedenou úroveň terénu.

V místě řezu podle obr. 5-3 je rostlý terén na úrovni asi 181,20 m.n.m. Hladina v plavebním kanále je 180,20 m.n.m., navržená kóta dna kanálu 177,50 m.n.m., úroveň konce zapuštěných štětnic v zvětralých břidlicích: 168,40 m.n.m.

Z toho vychází (podle sondy J3) tato skladba geologických vrstev: 181,20 = 0 (směrem k plavebnímu kanálu):

0 – 1,0	humózní vrstva (nad hladinou vody)
1,0 – 4,7	vltavská voda
4,7 – 5,7	hlinitý písek
5,7 – 11,8	štěrk jílovitý až písčitý
1,8 – 12,8	navětralá břidlice

Relevantní vrstvy pro výpočet rezistivity horninového prostředí:

vltavská voda	3,7 m
hlinitý písek	1,0 m
štěrk	6,1 m
<u>břidlice</u>	<u>1,0 m</u>
Celkem	11,8 m (viz obr. 5-4)

2.2 GEOELEKTRICKÝ PRŮZKUM

Měření podle ČSN 03 8363 Wennerovou metodou do hl. 1, 3 a 5 m se uskutečnilo 29.7.2014 na deseti stanovištích (M1 až M10). Pro hloubku $a = 5$ m je rozptyl měření $\rho = 6,0$ až $155,2 \Omega\text{m}$. Nebyla k dispozici situace s vyznačením jednotlivých měřicích míst. Předpokládáme průměrnou hodnotu $\rho = 40 \Omega\text{m}$ v úrovni 181,20 až 176,20 m.n.m., tedy do úrovně vrstvy hlinitého písku. Jelikož pro vrstvu štěrku nejsou k dispozici potřebné údaje bude tato hodnota dále odvozena. Pro vrstvu zvětralé břidlice uvažujeme hodnotu $\rho = 270 \Omega\text{m}$.

Výpočet průměrné hodnoty rezistivity pro úroveň 180,20 (hladina vody) až 168,40 m.n.m. (dno štětovnice) tj. $h = 11,8$ m (viz obr. 5-3 a obr. 5-4).

Elektrická konduktivita vody ve Vltavě v Praze je průměrně hodnota $\gamma = 350 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. To odpovídá elektrické rezistivitě $\rho_v = 10^6 / 350 = 2858 \Omega\text{m} = 28,6 \Omega\text{m}$.

Výpočet elektrické rezistivity vrstvy šterku o mocnosti 6,1 m.

Při efektivní pórovitosti $\eta_p = 35 \%$ bude elektrická rezistivita vody šterku pod hladinou vody:

$$\rho_s = 28,6 / 0,35 = 82 \Omega\text{m}.$$

Průměrná hodnota (vážený průměr) elektrické rezistivity ve vrstvách o mocnosti $h = 11,8 \text{ m}$:

$$\varnothing \rho = (3,7 \cdot 28,6 + 1,0 \cdot 40 + 6,1 \cdot 82 + 1,0 \cdot 270) / 11,8 = 916 / 11,8 = 77,6 \Omega\text{m}.$$

2.3 STANOVENÍ PŘÍTOMNOSTI BLUDNÝCH PROUDŮ V ZEMI

Měření nebylo provedeno podle ČSN 03 8363, tj. synchronně na dvou, max. třech stanovištích. Využitelná je hodnota intenzity elektrického pole $E_p (\text{mV}\cdot\text{m}^{-1}) = 1,2$ až $6,8 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$.

Pro další výpočty uvažujeme s hodnotou $\varnothing E = 6 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.4 ZDROJ BLUDNÝCH PROUDŮ

V dané lokalitě se uplatňují tři na sobě nezávislé zdroje bludných proudů (viz obr. 5-1). Jsou to:

- železnice Praha – Kralupy n. Vlt., s trakčním systémem 3 kV s nejbližší vzdáleností kolejí od projektovaného objektu 400 m;
- metro A s trakčním napětím 750 V, nejbližší vzdálenost je 1430 m;
- tramvaj s trakčním napětím 600 V, nejbližší vzdálenost kolejí od objektu SO 1.29 je 850 m.

Na staveništi se nebude projevovat přenesená interference vlivem bludných proudů prostřednictvím uzemňovacích soustav v okolí. Nedojde tudíž ke zvýšení šíření bludných proudů na hodnotu danou průzkumem podle odst. 2.3.

3 STRUČNÝ POPIS OPĚRNÉ NÁBŘEŽNÍ ZDI PŘÍSTAVIŠTĚ

Nábřežní zeď sestává z monolitické opěrné zdi z návodní strany v délce 62 m a ze štetové stěny v délce 182,4 m (viz obr. 5-2) [86].

3.1 ŽELEZOBETONOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ

Je navržena jako monolitická z betonu C 30/37 XF4(XA2), výztuž B 500B (dříve 10505 R). Ocelová výztuž asi 98 kg/m^3 bude převážně spojována přesahem nebo za použití vázacího drátu.

3.2 ŠTĚTOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ

Hlavní nosná konstrukce přístavní hrany je navržena z ocelových štetovnic o délce 16 m. Kotevní štetovnice jsou dlouhé 12 m (viz obr. 5-3). K zajištění statické stability štetových stěn je navržen železobetonový výstužný pás z betonu C 30/37 XC2 z oceli B500B (viz obr. 5-4) s výztužením cca 152 kg/m^3 krytí výztuže 50 mm.

Štetovnice jsou vzájemně spojeny v zámku, jak je patrné z obr. 5-5. Šířka jedné štetovnice typu VL604 je $B = 600 \text{ mm}$. To znamená, že na délku $L = 182,4 \text{ m}$ bude použito

$n = 182,4 / 0,6 = 304$ ks štetovnic o délce 16 m, z toho je zapuštěno v zemi nebo uloženo ve vodě část $h = 11,8 \text{ m}$.

4 POSOUZENÍ KOROZNÍ ODOLNOSTI NÁBŘEŽNÍ ZDI

4.1 ŽELEZOBETONOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ

Korozní odolnost proti agresivitě prostředí je dáno volbou betonu. Podle části 1–9 je pro beton o pevnosti v tlaku 40 MPa permeabilní pórovitost $n_p = 3,6 \%$ a minimální elektrická rezistivita vlhkého betonu $\rho_b = 280 \Omega\text{m}$. To zaručuje, že podélný elektrický odpor je $R_L > 84000 \Omega\text{km}^{-1}$ v daném případě pro $L = 62 \text{ m}$ je $R_L' = 84000 \cdot 0,062 = 5200 \Omega$, takže pro bludné proudy tekoucí zemí a vodou je tento úsek opěrné zdi izolantem, který nemůže sbírat a vést bludné proudy.

4.2 ŠTĚTOVÁ OPĚRNÁ ZEĎ

4.2.1 Koroze vlivem agresivního prostředí

Korozní úbytky štetovnic v důsledku působení prostředí (voda a půda) je v mezích $K = 0,02$ až $0,03 \text{ mm.a}^{-1}$ [6,57]. Ze stanoviska statika vyplývá, že lze tolerovat úbytek materiálu v průměrné tloušťce až 4,6 mm, aniž by došlo k porušení stability zkorodované štetové stěny při tloušťce stojiny $s = 9,0 \text{ mm}$. Při plánované životnosti konstrukce $\tau = 100$ let by došlo k maximálnímu koroznímu úbytku $K = 0,03 \cdot 100 = 3 \text{ mm}$, tedy $3 < 4,6$, tudíž je zde dostatečná bezpečnost konstrukce.

Perforace štetovnic v důsledku důlkové koroze nemůže ohrozit odolnost a únosnost projektované stěny tím spíše, že zde je navíc zajištění železobetonovým výztužným rámem.

4.2.2 Koroze působením bludných proudů

Ve zprávě o korozním průzkumu [86] se doporučuje navrhnout ochranná opatření snižující působení bludných proudů v podobě svaření štetovnic a zřízení měřicích objektů. Tato koncepce nemá technické opodstatnění z těchto důvodů:

- Obecně:
Galvanické propojení svařováním snižuje podélný elektrický odpor nelineové konstrukce a tím zvyšuje intenzitu proudu, který může vstupovat, protékat a vystupovat z této konstrukce, tedy se jedná o chybné řešení. Navíc v tomto případě, tj. spojení štetovnic v zámcích, je natolik elektricky spojitě, že by šlo o zbytečnou práci při svařování, což bude dále doloženo (odst. 4.3.1).
- Měřicí vývody nemají technický význam a prodražují stavbu. Změřené elektrické hodnoty (v mikrovoltch a v mikroampérech) mají nulovou vypovídací hodnotu. Následné výsledky měření nelze jakkoliv smysluplně a ekonomicky využít při provozování a údržbě železobetonové konstrukce.

4.3 VÝPOČET ELEKTRICKÝCH A KOROZNÍCH PARAMETRŮ ŠTĚTOVÉ OPĚRNÉ STĚNY

4.3.1 Výpočet elektrického odporu spojení štetovnic v zámku

Plocha kontaktu dvou štetovnic v zámku (podle obr. 5-5).

Obvod spojení: $o + n - t = 16 + 24,5 - 10,5 = 30 \text{ mm}$; $30 + 16 + 24 = 70 \text{ mm} \times 2 = 140 \text{ mm}$, což je teoretická délka kontaktu ploch dvou štetovnic v zámku:

Za předpokladu reálného kontaktu 50 % bude tato délka $l = 140 / 2 = 70 \text{ mm}$.

Při délce štetovnice 16,0 m bude celková reálná dotyková plocha $S_1 = 16,0 \cdot 0,07 = 1,12 \text{ m}^2$.

Obvykle má povrch štětovnic na povrchu vrstvu okují na bázi magnetitu [10].

Elektrická rezistivita magnetitu (okují ocelové výztuže), které vznikají v důsledku atmosférické koroze o tloušťce až $t = 0,5 \text{ mm}$ [43], který sestává hlavně ze dvou složek:

Fe_2O_3 (60-64 %) a FeO (28-32 %)

$$\rho_m = 1,0 \text{ } \Omega\text{m} = 0,01 \text{ } \Omega\text{m} = 10^4 \text{ } \Omega\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} \text{ [10]}$$

Poznámka:

Pro svařovanou ocel 11 353 je $\rho_o = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{m} = 0,21 \text{ } \Omega\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$.

Poměr: $\rho_m / \rho_o = 47\,619 = 5 \cdot 10^4$

Elektrický odpor jednoho spoje v zámku bude [57]:

$$R_1 = \rho_m \cdot t / S_1 = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,0005 / 1,12 = 8,92857 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega.$$

Při počtu štětovnic (zámků) $n = 304$ ks bude celkový odpor v sérii:

$$R_{C1} = R_1 \cdot n = 8,92857 \cdot 10^{-6} \cdot 304 = 2,7143 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega.$$

Vlastní podélný odpor štětové stěny při její tloušťce $s = 9,0 \text{ mm}$:

$S_2 = 0,009 \cdot 16 = 0,144 \text{ m}^2$; při délce $L = 182,4 \text{ m}$ a rezistivitě oceli $\rho_o = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{m}$ bude elektrický odpor

$$R_{C2} = 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 182,4 / 0,144 = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ } \Omega.$$

Celkový odpor v sérii:

$$R_C = R_{C1} + R_{C2} = 2,7143 \cdot 10^{-3} + 2,66 \cdot 10^{-4} = 2,9803 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega.$$

Dílčí závěr:

Podélný odpor štětové stěny bude $R_L = 3 \text{ m } \Omega$, což lze v dalších výpočtech zanedbat.

4.3.2 Výpočet přechodového odporu na rozhraní štětovnicová stěna / voda (země)

Podle [57] se přechodový (zemní) odpor desky o délce L a výšce h spočítá podle vztahu:

$$R_Z = \rho \cdot \ln(2L / d) / \pi L = 77,6 \cdot \ln 30,905 / \pi \cdot 182,4 = 77,6 \cdot 3,4312 / 573 = 0,465 \text{ } \Omega$$

Pro $d = h = 11,8 \text{ m}$; $\rho = 77,6 \text{ } \Omega\text{m}$; $L = 182,4 \text{ m}$

Při konzervativnějším výpočtu (převedení obdélníku na kruhovou desku) bude náhradní průměr:

$$D = (L \cdot h \cdot 4 / \pi)^{0,5} = (182,4 \cdot 11,8 \cdot 4 / \pi)^{0,5} = 52,3 \text{ m}$$

Zemní odpor:

$$R_{Z'} = \rho / 2D = 77,6 / 2 \cdot 52,3 = 0,742 \text{ } \Omega$$

Reálná hodnota bude: $\varnothing R_Z = (0,465 + 0,742) / 2 = 0,60 \text{ } \Omega$.

4.3.3 Výpočet bludného proudu vstupujícího a vystupujícího ze štětové stěny

Podle odst. 2.3 je $\varnothing E = 6,0 \text{ mV} \cdot \text{m}^{-1}$; $\varnothing R_Z = 0,60 \text{ } \Omega$; $L = 182,4 \text{ m}$

Podle [57] je $I = E \cdot L / 2 \cdot R_Z = 6,0 \cdot 182,4 / 2 \cdot 0,60 = 912 \text{ mA} = 1,0 \text{ A}$

Poznámka:

Proud, který v první polovině do stěny vstupuje (katodický úsek) a v druhé polovině z ní vystupuje (anodický úsek).

4.3.4 Výpočet hustoty korozního proudu na konci anodického úseku štetové stěny

Podle [57] je ve vzdálenosti $L/20$ od kraje stěny proudová hustota asi 6x vyšší než je průměrná hodnota v anodické části, tj. $L'' = 182,4 / 20 = 9,12 \text{ m}$.

Při výšce štetovnic uložených v elektrolytu $h = 11,8 \text{ m}$ je tato plocha

$$S_A = 9,12 \cdot 11,8 = 107,6 \text{ m}^2.$$

Korozní proudová hustota je $J_{kor} = I / S_A = 1000 / 107,6 = 9,3 \text{ mA.m}^{-2}$.

Za přísnějšího předpokladu, že proud vystupuje na konci posledních pěti štetovnic tj. $b = 0,6 \cdot 5 = 3 \text{ m}$ bude plocha $S_b = 3 \cdot 11,8 = 35,4 \text{ m}^2$

$$J_{kor} = 1000 / 35,4 = 28,2 \text{ mA.m}^{-2}.$$

Podle [18] při přepočtu korozní rychlosti vyjádřené v různých jednotkách:
 $8760 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} = 1,11 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1} = 960 \text{ mA.m}^{-2}$

bude korozní rychlost:

$$K_b = 1,11 \cdot 28,2 / 960 = 0,033 \text{ mm.a}^{-1}.$$

Při předpokládané životnosti $\tau = 100 \text{ let}$ bude za tuto dobu korozní úbytek

$$\tau = 100 \cdot 0,033 = 3,3 \text{ mm}, \text{ což je v mezích tolerance podle odst. 4.2.1.}$$

5 ZÁVĚR

Technické řešení objektu SO 1.29 tak je zahrnuto v projektové dokumentaci [86] je dostatečné, aby byl zajištěn vysoký stupeň ochrany proti korozi agresivitou prostředí a proti bludným proudům.

Jinými slovy: není třeba činit žádná zvláštní opatření proti korozi bludnými proudy, jak bylo doloženo v odst. 4 tohoto posudku.

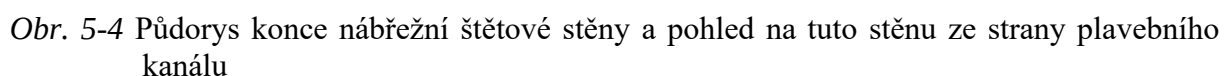
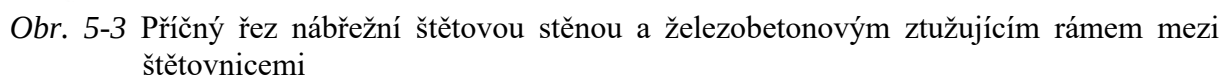
The diagram consists of a vertical axis on the left, labeled with an upward-pointing arrow and the letter 'S'. To the right of this axis is a horizontal line. On this horizontal line, there are three points marked with dots. Below the first dot is the number '0'. Below the second dot, which is in the middle of the line, is the number '500'. Below the third dot, which is at the right end of the line, is the text '1000m'.



Obr. 5-1 Situace širších vztahů opěrné nábrežní zdi přístaviště s vyznačením zdrojů bludných proudů



Obr. 5-2 Situace štětové opěrné zdi a železobetonové zdi



Štětovnice

Štětovnice ArcelorMittal

Zde máte k dispozici tabulky s přehledy sortimentu štětovnic ArcelorMittal U-sekce a Z-sekce, včetně jejich základních rozměrových a pevnostních charakteristik:

Štětovnice ArcelorMittal U-sekce
Štětovnice ArcelorMittal Z-sekce

Technicko - dodací podmínky

Provedení

jednoduché, dvojité, trojitě (dvojitě a trojitě štětovnice jsou vůči posuvu zajištěny prolisováním zámků)

Tolerance

ČSN EN 10248-2

Materiál

ČSN EN 10248-1

TDP

ČSN EN 10248-1

Balení

Profily se dodávají volně ložené nebo ve svazcích o hmotnosti do 5 000 kg

Dodávané délky

6-21 m, kratší délky dle dohody

Zámky

Štětovnice jsou dodávány se začištěnými zámkami. Rozměry zámků umožňují vzájemnou napojitelnost všech typů profilů

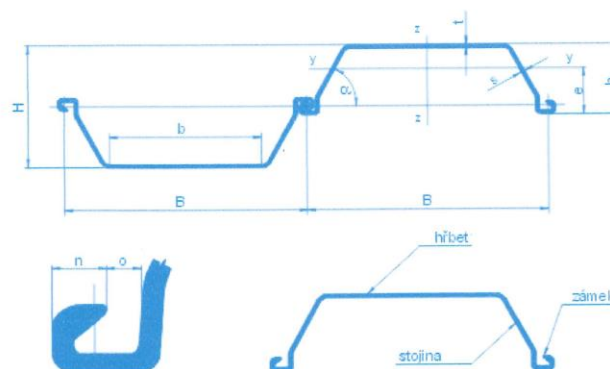
Doplňkové úpravy

Děrování štětovnic

Na základě objednávky jsou štětovnice opatřeny otvory o průměru 40 mm. Standardní vzdálenost osy otvoru od konce tyče je 300 mm, alternativně 75 mm. Je možno objednat i oboustranné děrování.

Těsnění zámků

V případě zvýšených požadavků na těsnost štětovnicové stěny je možno po dohodě dodat štětovnice v jednoduchém nebo párovaném provedení s těsnými zámkami. Těsnění zámků je v dohodnutém rozsahu prováděno zaléváním horkým bitumenem.



Základní parametry štětovnicových stěn

Profil			VL 603	VL 603K	VL 603Z	VL 604	VL 605	VL 606
Šířka	B	mm	600	600	600	600	600	600
Výška stěny	H	mm	310	310	310	380	410	420
Tloušťka hřbetu	t	mm	9,7	10,0	10,0	10,5	12,8	16,5
Tloušťka stojiny	s	mm	8,4	9,0	10,0	9,0	9,0	9,2
Šířka hřbetu	b	mm	384	380	378	382	367	348
Otevření zámků	o	mm	16	16	16	16	16	16
Šířka nosu	n	mm	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Úhel	a	°	61,2	61,2	61,2	66,5	66,5	66,5
Plocha průřezu stěny	A	cm ² /m	137,6	144,8	152,8	157,3	174,9	201,3
Hmota	Profil	kg/m	64,8	68,1	71,8	74,1	82,4	94,8
	Stěna	G	108	113,5	119,7	123,5	137,3	158,0
Průřezový modul odporu	W _y	cm ³ /m	1 180	1 220	1 265	1 620	2 006	2 506
Moment setrvačnosti	I _y	cm ⁴ /m	18 251	18 900	19 584	30 726	41 127	52 631
Poloměr setrvačnosti	r _y	cm/m	11,5	11,4	11,3	14,0	15,3	16,2
Statický moment	S _y	cm ³ /m	654	680	705	911	1 128	1 403
Plocha povrchu stěny	S**	m ² /m	2,65	2,65	2,65	2,85	2,95	2,90
Dovolený ohybový moment pro zatížení 1*	Jakost oceli	kNm/m	212	220	228	292	361	451
		kNm/m	283	293	304	389	481	601

* Dovoleno moment pro podmínky tlak, tlak v ohybu pro zajištění stability platí snížené dovolené napětí dle EAU 1990

** Povrch štětovnicové stěny bez vnitřních ploch zámků

Obr. 5-5 Štětovnice Arcelor – Mittal, Základní parametry štětovnicové stěny VL 604

11.6 PŘÍKLAD č. 6 – ŠÍŘENÍ BLUDNÝCH PROUDŮ NADZEMNÍM POTRUBÍM ULOŽENÉM NA ŽELEZOBETONOVÝCH BLOCÍCH PODÉL STEJNOSMĚRNĚ ELEKTRIZOVANÉ ŽELEZNICE A NÁVRH OPATŘENÍ

1 ÚVOD

Toto je jediný příklad stavby, která nebyla zatím realizována. V tomto případě není ani tak důležité, o kterou železniční trať se jedná. Jde spíše o to, že nadzemních potrubí uložených na železobetonových blocích (jedná se hlavně o horkovody) podél stejnosměrně elektrizované železnice existuje celá řada (hlavně v okolí elektráren a tepláren). Dále použitý příklad může sloužit jako vzor pro postup řešení korozních poměrů u tohoto typu zařízení, kde bludné proudy se šíří potrubím a korozí je ohroženo uzemnění podél potrubní trasy.

Dříve nebo později bude elektrizace trati Praha Bubny – Kladno Dubí realizována a horkovod ECK Rozdělov bude provozován i v případě výměny potrubí horkovodu. Pro účely demonstrace metodiky výpočtu bludných proudů, jejich šíření a korozní dopady na úložná zařízení bude využita územně technická studie z roku 2008 [87].

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MODERNIZACI TRATI PRAHA BUBNY – RUZYŇ – Kladno Dubí

2.1 PLÁNOVANÉ ÚPRAVY TRATI ČD

Modernizace trati ČD v celkové délce 43,23 km je rozdělena do dvou etap.

V 1. etapě z Masarykova nádraží k nádraží Bubny (Vltavská): km 1,620 = km 0,000, bude rekonstrukce pokračovat k nové žst. Praha – Ruzyně (km 11,020) a dále do žst. Praha Letiště Ruzyně (délka úseku 5,840 km).

Nová měnírna Liboc (km 8,760) bude napájet úsek směrem k žst. Praha – Bubny (8,76 km), dále úsek k žst. Praha Letiště Ruzyně (5,84 km) a úsek směrem do Kladna až za žst. Jeneč (km 19,2) celkem tedy cca 25 km. V této etapě se jedná o 8 stanic.

Ve 2. etapě bude rekonstruován úsek od žst. Praha – Ruzyně (km 11,020) k žst. Kladno (km 27,745 = 0,000) k žst. Kladno – Dubí (km 7,246 resp. km 8,030). Nová měnírna Kladno (km 0,423) na Kralupské trati bude napájet úsek trati v celkové délce asi 18 km. Vzdálenost obou měníren je asi 19,4 km. Bude vybudováno celkem 11 stanic [88].

Předmětem této části dokumentace je nově řešený úsek mezi žst. Kladno – Ostrovec (km 3,7) ke konečné žst. Kladno – Dubí (km 7,246) v celkové délce 3,55 km.

2.2 TECHNICKÁ A DOPRAVNÍ CHARAKTERISTIKA TRATI BUBNY (VLTAVSKÁ) – Kladno

Při trakčním napětí 3 kV ss je pro stanovení ohrožení úložných konstrukcí bludnými proudy významná energetická bilance trati. Z energetických výpočtů vyplývá m.j.: Trať 1. etapy je z trakčního hlediska ve většině trasy mimořádně obtížná s redukováným stoupáním kolem 25 %, kromě krátkého úseku poblíž koncové stanice trvale stoupá ze žst. Bubny do žst. Letiště Ruzyně. Ve 2. etapě je trať středně trakčně obtížná, pouze z Kladna-Ostrovec do Kladna-Dubí je stoupání 20 % a 17 %. Energetickou náročnost zvyšuje velká hustota zastávek (celkem 19 stanic v obou etapách), průměrná vzdálenost u celé trati je asi 2,3 km). Traťová rychlost bude 80 km/hod., mezi žst. Ruzyně a Letištěm Ruzyně, to bude 100 km/hod., v úseku km 17,2 až

27,2 (Hostivice – žst. Kladno) dokonce 120 km/hod. v novém úseku do Kladna-Dubí 80 km/hod., při cestovní rychlosti 45 km/hod.

Doprava se předpokládá výlučně v podobě pantografových jednotek ř. 471, a to v době dopravní špičky zdvojená (při celkové hmotnosti cca 400 t), během dne cca 2/3 zdvojených. Během dopravní špičky (6,00 – 9,00; 14–18 hod.) 10 párů vlaků za hodinu (6 na Letiště Ruzyně – interval 10', a 4 do Kladna – interval 15' v jednom směru) a další 2 páry v úseku Masarykovo nádraží – Bubny (Vltavská) do Kralup n. Vlt. Průměrné následné mezidobí vychází tedy 6 resp. 5 minut (v koncovém úseku 10 minut) až 4 minuty. Celodenní úhrn dopravy se předpokládá 96 párů jednotek na Letiště Ruzyně, 54 párů do Kladna a 40 párů do Kralup n. Vlt.

Celodenní provoz se předpokládá cca 19 hodin (mezi 24,00 až 5,00 hod. zanedbatelný provoz).

2.3 PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ KOLEJÍ

Po celé trase budou 2 koleje (4 kolejnicové pásy).

Vlastní spotřeba vlaku je 200 A, účinnost motorů $\mu = 0,92$, střední napětí v troleji $U = 2,9$ kV.

Podle [2] je průměrný zpětný proud do měnírny:

$$I = S \cdot \mu / U \cdot \tau \quad (A)$$

kde S – spotřeba el. energie v příslušné měnírně (kWh)

τ – doba, za kterou je dosažena spotřeba S (hod.)

μ – koeficient využití střídavého el. proudu

U – průměrné výstupní napětí v měnírně (v troleji)

2.3.1 Úsek napájený měnírnou Liboc

$$\varnothing I_1 = 81\,200 \cdot 0,92 / 2,9 \cdot 19 = 1\,355 \text{ A}$$

Proudové zatížení kolejí (denní průměr)

$$i_1 = 1355 / 25 = 54,2 \text{ A.km}^{-1} \quad (1)$$

2.3.2 Úsek napájený měnírnou Kladno

$$\varnothing I_2 = 25\,000 \cdot 0,92 / 2,9 \cdot 19 = 417 \text{ A}$$

$$i_2 = 417 / 18 = 23,2 \text{ A.km}^{-1} \quad (2)$$

2.3.3 Spád napětí v kolejích v úseku měnírna Kladno – žst. Kladno Dubí

Podle frekvence vlaků v úseku 8 km budou v obou směrech 2 vlaky, každý o spotřebě 200 A.

Při podélném odporu 2 kolejí

r_L (k) = 0,0075 Ωkm^{-1} bude v úseku 1 km spád napětí (intenzita el. pole v okolí kolejí).

$$E = r_L(k) \cdot I = 0,0075 \cdot 400 = \underline{3 \text{ V} \cdot \text{km}^{-1}} \quad (3)$$

(denní průměr)

Poznámka:

Podle podkl. 2.2.4 vychází na úsek v dl. 3,6 km (Kladno Ostrovec – Kladno Dubí) průměrná spotřeba proudu:

$I = 66 \text{ A}$, tj. proudové zatížení kolejí

$$i_3 = 66 / 3,6 = \underline{18,3 \text{ A} \cdot \text{km}^{-1}} \quad (4)$$

2.4 BLUDNÉ PROUDY V ÚSEKU MĚNÍRNA Kladno – ŽST. Kladno Dubí

Při normálním provozu měnárny Kladno bude (teoreticky) anodický úsek kolejí v k m 8,00 až 4,00 (mezi ul. L. Kuby a A. Suchého); v této oblasti se nachází zemnič č. 4 horkovodu (vzdálenost mezi zemniči č. 1 u OD Billa a č. 4 v souběhu se železnicí je přibližně 1,1 km). V úseku km 4,00 až 0,42 (měnárna) je katodický úsek kolejí (proud se vrací ze země do kolejí). V případě úložných liniových konstrukcí (což je i horkovod) je tomu obráceně. Uvedený úsek horkovodu v délce 1,1 km je tedy anodický (přesněji řečeno zemnicí soustava horkovodu).

Při výpadku měnárny, kdy celá trasa bude napájena z měnárny Liboc, koleje trati od km 8,00 přes km 27,7 až ke km 19,00, tj. k žst. Jeneč budou v anodickém pásmu. Z hlediska působení bludných proudů na úložné konstrukce v Kladně se jedná o nejhorší případ.

I při normálním provozu budou mít bludné proudy, unikající z kolejí do země v úseku Kladno Dubí – Kladno Ostrovec tendenci téci nejkratší cestou k měnárně, tedy přes město a protékat úložnými konstrukcemi, především uzemňovací soustavou a kovovým potrubím. Z hlediska horkovodu budou vystavené zvýšené korozi uzemňovací soustavy, např. u výměňkových stanic č. VS 044 a VS 054 (na úrovni staničení ČD km 2,65 ve vzdálenosti asi 50 m od kolejí).

2.5 CHARAKTERISTIKA ZPĚTNÉ TRAKČNÍ CESTY MODERNIZOVANÉ TRATI [89].

2.5.1 Přechodový odpor mezi kolejemi a zemí

Přechodový odpor koleje-země má zásadní význam pro únik proudu z kolejí do země a naopak. U nového železničního spodku i svršku byly u jedné koleje zjištěny hodnoty kolem 100 Ωkm . Po pěti až deseti letech klesá tento odpor až na hodnotu 10 Ωkm pro jednu kolej a tedy hodnotu

$$r_p(k) = 5 \Omega\text{km} \text{ pro dvě koleje}$$

2.5.2 Podélný odpor dvou kolejí

Podélný elektrický odpor dvou paralelních kolejnic (kombinace typů S49 a R65) je podle [9]

$$r_L(k) = 0,015 \Omega\text{km}^{-1}, \text{ pro dvě koleje, je to polovina, tedy}$$

$$r_L(K) = 0,0075 \Omega\text{km}^{-1} \text{ pro dvě koleje [9].}$$

2.5.3 Elektrické parametry kolejí

Konstanta útlumu $\alpha_K = (r_L / r_p)^{0,5} = (0,0075 / 5,00)^{0,5} = 0,0387298 \Omega\text{km}^{-1}$.

Charakteristický odpor:

$$Z_K = (r_L \cdot r_p)^{0,5} = (0,0075 \cdot 5,00)^{0,5} = 0,193649 \Omega \quad (5)$$

3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O HORKOVODU ECK ROZDĚLOV

3.1 ÚVODEM

V rámci modernizace trati bude stávající horkovod 2x DN 300 mj. podél trati v km 2,97 až 6,30 nahrazen novým potrubím 2x DN 450 s tím, že bude zachována existující trasa a pro nadzemní úsek budou využity existující podpěrné konstrukce (železobetonové patky / lávky pro pěší, ocel. konstrukce přemostění komunikací). Pro účely stanovení korozního ohrožení v dané trase budou využity elektrické parametry odvozené z existujícího vedení (potrubí + uzemnění) [90].

3.2 POPIS STÁVAJÍCÍHO HORKOVODU

Horkovod 2x Ø 324/7,5 mm (180 °C / 70 °C) byl realizován podle projektové dokumentace Krajského projektového ústavu v Praze 7 z r oku 1975.

Předmětný úsek potrubí Rozdělov – OD Billa (sekční šoupata č. 3, zemnič č. 1) až přemostění železniční vlečky v areálu Kablo (zemnič č. 40) má **celkovou délku $L = 3\,920\text{ m}$** (včetně prodloužení o vyložení 2 x 5 m u 27 ks kompenzátorů). Zemnič č. 1 odpovídá drážnímu staničení km 2,97; zemnič č. 40 km 6,3.

Z celkové trasy je 100 m uloženo v kanálu, zbývající část je nadzemní. Vzdálenost prefabrikovaných železobetonových základových bloků (160/70/120 cm) je 9 m. Způsob provedení bloků vylučuje elektrický kontakt potrubí se zemí (jedná se prakticky o izolant). **Vlastní souběh potrubí s tratí** (ve vzdálenosti 15-16 m od koleje) je **v celkové délce 2 650 m** a sice mezi drážními km 2,97 až 3,98; 4,45 až 6,00.

Od km 2,97 až 2,65 je vedeno potrubí 2x DN 350 k příslušným výměňíkovým stanicím (viz odst. 2.4).

3.3 UZEMNĚNÍ HORKOVODU

Podle [90] (poslední měření v listopadu 2007) je potrubí na čtyřiceti místech uzemněno za použití FeZn pásku 30/4 mm (ve dvou případech je použit FeZn drát Ø 8 mm). Zemní odpor byl změřen v rozmezí $R_n = 4,17$ až $14,57\ \Omega$, průměrná hodnota činí

$R_{Z1} = 9,34\ \Omega$. Jestliže uvažujeme těchto 40 paralelních zemničů při činiteli stínění $\mu = 0,9$, bude odpor uzemňovací soustavy

$$R_Z = R_{Z1} / \eta \cdot n = 9,34 / 0,9 \cdot 40 = 0,26\ \Omega \quad (6)$$

3.4 ELEKTRICKÉ PARAMETRY HORKOVODU

3.4.1 Podélný elektrický odpor potrubí

$$r_L(p) = 0,19 / 2 \cdot \pi \cdot d \cdot t = 0,19 / 2 \cdot \pi \cdot 0,324 \cdot 7,5 = 0,012444\ \Omega\text{km}^{-1} \quad (7)$$

$$\text{Celkový podélný odpor } R_L(p) = 0,012444 \cdot 3,920 = 0,0488\ \Omega \quad (8)$$

Poznámka:

Pro srovnání – podélný odpor 2 kolejí v úseku Kladno měnirna – Kladno Dubí:

$$R_L(k) = 0,0075 \cdot 7,579 = 0,05684\ \Omega ,$$

Tedy je vyšší: $0,05684 / 0,0488 = 1,16x$

Při použití trub 2x DN 450 bude el. vodivost potrubí ještě vyšší než el. vodivost kolejí.

3.4.2 Přechodový odpor potrubí – uzemnění – země

Po přepočtu zemního odporu podle vztahu č. 6 na 1 km potrubí bude

$$r_p(p) = 0,26 \cdot 3,920 = \mathbf{1,019 \, \Omega km} \quad (9)$$

3.4.3 Konstanta útlumu potrubí

$$\alpha_p = (0,012444 / 1,019)^{0,5} = \mathbf{0,110508 \, km^{-1}}$$

3.4.4 Charakteristický odpor soustavy potrubí – uzemnění

$$\underline{Z_p} = (0,012444 \cdot 1,019)^{0,5} = \mathbf{0,112607 \, \Omega} \quad (10)$$

3.5 VÝPOČET BLUDNÉHO PROUDU, KTERÝ VSTOUPÍ DO SYSTÉMU HORKOVODU / UZEMNĚNÍ

Podle vztahu č. 3 intenzita el. pole v blízkosti kolejí je $\varnothing E = 3 \, V.km^{-1}$.

Při délce horkovodu $L = 3,9 \, km$ (odst. 5.2) a celkovém podélném odporu $R_L(p) = 0,0488 \, \Omega$ (vztah č. 8) a zemním odporu potrubí / uzemnění $R_Z = 0,26 \, \Omega$ (vztah č. 6) je efektivní odpor systému potrubí / uzemnění $R_{ef} = 0,26 + 0,05 = 0,265 \, \Omega$.

Při spádu napětí v úseku drážního km $L_1 = 6,00 - 2,97 = 3,03 \, km$ bude proud, který vstupuje / vystupuje do / z potrubí do / ze země [2]:

$$I_b = \frac{\frac{E}{\alpha_p} \cdot \operatorname{tg} h \alpha_p \frac{L_1}{2}}{Z_p \operatorname{ctg} h \alpha_p L} = \frac{\frac{3,0}{0,110508} \operatorname{tg} h \cdot 0,110508}{0,112607 \cdot \operatorname{ctg} h \cdot 0,110508 \cdot 3,03} = \frac{27,147356 \cdot 0,165873}{0,112607 \cdot 3,09259} = \mathbf{12,91 \, A} \quad (11)$$

S odkazem na Faradayovy zákony bude ztráta oceli ($m = 9,3 \, kg/A.r$),

$$\underline{G} = I_b \cdot m = 12,9 \cdot 9,3 = \mathbf{120 \, kg/rok}, \quad (12)$$

což je významný úbytek, zvláště u příslušných úseků ocel. potrubí a uzemňovacích soustav.

3.6 DÍLČÍ ZÁVĚR

Z porovnání vztahu č. 5 (koleje) a č. 10 (horkovod) vyplývá, že potrubí je

$0,193649 / 0,112607 = 1,72x$ lepší zemnič než modernizovaná trať. Ze vztahu č. 5 (koleje) dále vyplývá, že část trakčního proudu poteče zemí (paralelní elektrolytickou cestou). Vztah č. 11 (bludný proud v horkovodu) ukazuje, že hodnota proudu není zanedbatelná: cca 3,9 % $\left(\frac{12,9 \cdot 100}{18,3 \cdot 18}\right)$ trakčního proudu, což odpovídá změřeným údajům z realizovaných tratí [89]. Je tedy nutné při návrhu nového horkovodu realizovat opatření k omezení šíření bludných proudů (zvláště se zřetelem na vztah č. 12).

4 NAVRHOVANÁ OPATŘENÍ

4.1 NOVÝ HORKOVOD 2X DN 450

- 4.1.1 Uložení na železobetonových blocích: standardně jako u existujícího potrubí.**
- 4.1.2 Uložení na ocelových konstrukcích (přemostění) – elektricky oddělit od podpěrné konstrukce.**
- 4.1.3 Uzemnění nadzemních úseků přes regenerovatelné průrazky s tím, že každý zemnič bude mít hodnotu $R \leq 10 \Omega$.**
- 4.1.4 Úseky horkovodů v průchozích kanálech 1,9 x 2,3 m**

V případě, že bude zřízena el. instalace (osvětlení v kanálu), bude potrubí připojeno na průběžné 2 pásy FeZn 30/4 mm vedené v kanálu, které na jeho koncích budou připojeny k uzemnění bez použití průrazek (z bezpečnostních důvodů). Zde budou aplikovány zdvojené pásy FeZn 30/4 mm navzájem spojené svary v délce min. 50 mm, provedenými el. obloukem ve vzdálenostech max. 3 m. Svarové spoje budou opatřeny epoxidehtovým nebo jiným adekvátním nátěrem. Uzemnění s kontrolovatelným propojením musí vyhovovat ustanovením příslušných norem.

- 4.1.5 Měřicí objekty budou zřízeny v drážním km 2,98 až 3,06 a dále km 4,50 až 4,58 (pro kontrolu účinnosti provedených opatření).**

4.2 TECHNICKÁ INFRASTRUKTURA V OKOLÍ MODERNIZOVANÉ TRATI

Jedná se především o kovové potrubí (přípojky) a uzemnění rodinných domů, bytových a jiných objektů (včetně výměníkůvých stanic). Z technických a ekonomických důvodů nelze požadovat příslušné úpravy v celém rozsahu ochranného pásma dráhy, tj. do vzdálenosti 60 m od kolejí na obě strany. Měla by však být dodržena vzdálenost 40 m na obě strany od kolejí.

4.2.1

V tomto pásmu po celé trati by měly být kovové přípojky (plynu, vody) vyměněny za nekovové (na bázi plastů).

4.2.2

Doporučuje se zkontrolovat stav uzemnění jednotlivých objektů a toto uzemnění v případě potřeby doplnit v souladu s ustanoveními v ČSN 2000-50-54 (podkl. 3.7.) a ČSN EN 62305-3 (2006) – např. formou zdvojení FeZn pásků.