

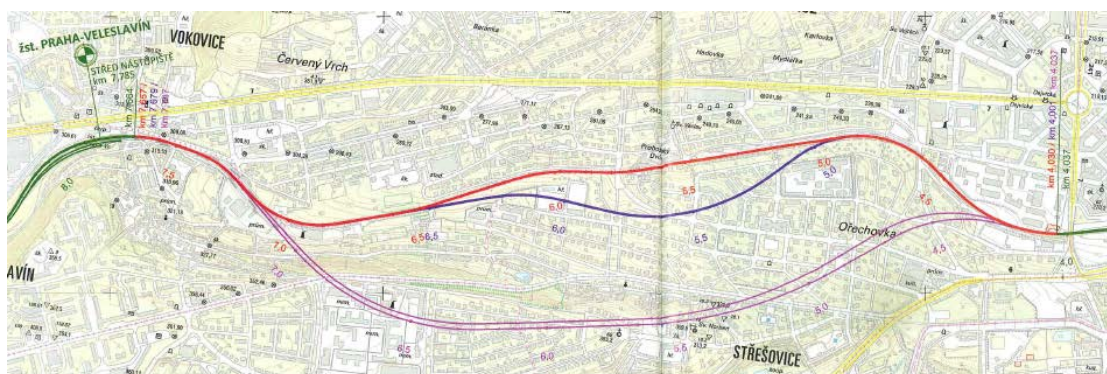
## Příloha č. 2

### Ochrana stavby před účinky bludných proudů pro stavbu železnice – železničních tunelů Praha Dejvice – Praha Veleslavín o délce cca 2,8 km.

---

Přehledová studie zabývající se hodnocením a zkušenostmi při návrhu a realizaci ochranných opatření před účinky bludných proudů při volbě stejnosměrné proudové trakční soustavy, jednofázové proudové trakční soustavy pro konstrukce obsahující technologii TBM a pevnou jízdní dráhu, hledisko elektromagnetických vlivů na blízká citlivá zařízení

---



objednatel: ***Metroprojekt Praha a.s.***

řešitel:



**JEKU, s.r.o.**  
**ateliér Praha**  
**Limuzská 8**  
**100 00 Praha 10 - Strašnice**  
IČO: 250 312 01  
DIČ: CZ-25031201

+420 272 011 091, [jeku@jeku.cz](mailto:jeku@jeku.cz)

datum: *leden 2017*

*Ing. Bohumil Kučera*

## 1. Úvod

V rámci modernizace železničního spojení Praha – Letiště – Kladno byla v úseku Dejvice – Veleslavín technickou studií navržena varianta **V3 – Varianta se dvěma jednokolejnými raženými tunely**. Portály ražených tunelů jsou v prostoru vodojemu Bruska a teplárny Veleslavín. Tunely jsou raženy metodou TBM, v řešeném úseku je traťová rychlost 120 km/h. Provozovány budou elektrické jednotky osobní dopravy dl. 200 m (předpokládaný výkon v kritickém místě bude max. 5,44 MW). Předpokládá se v rámci dalšího stupně PD (DÚR) rozpracování řešení konstrukčního uspořádání v tunelu s ohledem na požadavky vyplývající ze zadání stavby – například PBR, požadavky na potlačení vibrací, elektromagnetických vlivů a např. také eliminaci vlivu bludných proudů.

## 2. Popis zadání:

Pro účely dalšího zpracování projektové dokumentace shora uvedené tunelové výstavby je diskutována relevantní otázka k problematice ochrany stavby před účinky bludných proudů a vlivu bludných proudů na okolní zástavbu při zavádění nové elektrizované trakční soustavy v aglomeraci města.

Z těchto důvodů byly stanoveny tři otázky pro zpracování daného posouzení – informativní studie.

- 1) Základní princip šíření vlivů bludných proudů a požadavky na ochranu proti účinkům bludných proudů pro soustavu 3 kV<sub>ss</sub> a 25 kV<sub>AC</sub> v tunelové konstrukci s technologií TBM.
- 2) Definování případných rizik (problémů) a požadavků na podrobnost zpracování (DÚR a dalších stupňů PD).
- 3) Popis předpokládaného dotčení pracovišť Fyzikálního ústavu AV ČR, v.v.i. nacházejícího se v bezprostřední blízkosti plánované trasy tunelu (Cukrovarnická 10/112, Praha 6 z hlediska vlivu bludných proudů a elektromagnetického pole. Je možné navrhovat ochranná opatření tak, aby stavba FÚ nebyla vlivy dotčena při vzdálenosti trasy tunelu 50 až 120 m od stavby? Pozn.: Součástí objektu FÚ jsou laboratoře přesného měření s přístroji citlivými na vibrace a bludné proudy.

Níže uvedená studie je základním stručným úvodem do problematiky, když každý z níže uvedených bodů při podrobnějším zkoumání vyžaduje rozpracování na úrovni teoretické i praktické, kdy je možno se opírat o více než třicetiletý sběr dat z daného oboru. Tato práce je však nad rámec a účel této studie.

### 3. Popis problematiky

#### 3.1 Rozdíl vlivu trakčních soustav na okolí a zejména korozní poměry napájené stejnosměrnou proudovou trakční soustavou 3 kV<sub>DC</sub> a jednofázovou (střídavou) proudovou trakční soustavou 25kV<sub>AC</sub>.

K oběma napájecím systémům z hlediska vlivu bludných proudů bylo již mnoho napsáno. Ve stručnosti a přehledově jsou základní vlastnosti uvedeny v TP 124 MD ČR a v SR5/7(S) v návrhu revize z roku 2009. Z nejsnadněji dostupné literatury lze pak citovat zprávu o úkolu pro MD ČR *Vliv aktivních ochran na korozní účinky bludných proudů*, JEKU, 1997.

V lokalitě Prahy se setkáváme při řešení dané problematiky nejen s problematikou železničních tratí SŽDC, el významným zdrojem je rovněž tramvajová trať a trasy metra.

Pomineme-li obsáhlé diskuse o jejich rozdílných vlivech jako zdrojích bludných proudů a zejména s přihlédnutím k uspořádání navrhované trasy tunelové stavby vedené pod povrchem Prahy 6, můžeme pozornost zaměřit na hlavní zdroj bludných proudů, a to je elektrizovaná trakční soustava pojížděná tunelovou stavbou.

Rovněž je vhodné připomenout, že volba napájecí soustavy bude souviset v rámci zpětné trakční cesty, ale i z úrovně napájecí soustavy s vlivy navazujícími a prolínajícími se s problematikou bludných proudů, a to jsou rizika související s přenosem nebezpečných napětí z trakční sítě do blízkých distribučních sítí NN a VN. Tato navazující problematiky se týká více navazujících částí staveb na tunel, že tunelu samotného.

S ohledem na požadovaný rozsah materiálu můžeme ve zkratce výsledky teoretických, ale i praktických poznatků shrnout takto:

#### 3.2 Kritérium přímého vlivu bludných proudů.

Je všeobecně známo, že vliv stejnosměrných bludných proudů je výrazně vyšší s dopadem do všech blízkých i vzdálených zařízení než vliv střídavé trakční soustavy, kde je za prokázané, že střídavá složka zpětných (bludných) trakčních proudů je vytlačována z koleje v oblasti lokomotivy a poměrně blízko za lokomotivou (soupravou) se většina těchto proudů vrací zpět do koleje (prof. Jansa).

Z hlediska teorie vedení, provedených výpočtů, ale i modelů a provedených měření například v SR (VÚŽ), že v reálu teče zpětných trakční proud podél koleje a kolejí v celé trase a vrací se do zdroje až u napájecí stanice. Velikost bludných proudů (obecně) pak závisí počet a velikost napájecích stanic. Lze předpokládat, že systému AC napájení by byla vybudována jedna TNS, která by cca z Masarykova nádraží napájela jednostranně celý úsek směrem do Kladna (cca 31 km) včetně odbočky na letiště a při DC napájení by bylo možné uvažovat dvě se dvěma trakčními měnícími, které by rovněž velkou část trasy napájely jednostranně. Výsledky měření z trasy Šumperk – Kouty, stejně jako při jiných měřeních prokazují, že je nutné velmi pečlivě navrhovat pozice a počet měnících právě z hlediska sekundárních negativních vlivů (bludné proudy, napětí na koleji, přenos napětí na cizí zařízení apod.)

Dosah střídavých bludných proudů je více limitován prostorově. V ČR po cca třiceti letech diskusí a zkoumání byly přijaty závěry většiny evropských prací, které pojednávají o cca třicetiprocentním vlivu střídavých bludných proudů oproti proudům stejnosměrným stejné velikosti. K tomu je třeba jistě uvažovat i rozdílnou napěťovou hladinu obou soustav a z ní vyplývající nižší proudové zatížení na AC trakčních soustavách.

Jak ukázala například rozsáhlá měření v r. 2016 na úseku 20 km elektrizované trati Šumperk – Kouty, významně se na šíření bludných proudů podílí poloha měření, délka napájecích úseků, způsob napájení a vytvoření anodických a katodických oblastí v trase železnice. Nevhodné uspořádání a chyby v konstrukcích či zemnicích soustavách pak mohou mít hluboký dosah do existující infrastruktury v desítkách kilometrů kolem elektrizované železnice.

### 3.3 Uložení koleje

Na druhou stranu úniky bludných proudů z koleje – zpětné trakční cesty - do terénu jsou dány především kvalitou provedení šterkového lože a schopností elektrického izolačního uložení koleje. Použití tohoto kritéria v ČR bylo ještě v druhé polovině devadesátých let zcela nemyslitelné z důvodu zajištění zabezpečovacích obvodů; dnes se jedná dle ČSN EN 50122-2 o kritériální parametr hodnocení způsobilosti elektrizované železnice k provozu. **Pro další hodnocení a posuzování je zásadní informací skutečnost, že zatímco pro trakční soustavu napájenou DC systémem budujeme elektrické izolační uložení kolejí v trase, u systémů AC nikoli.** V podmínkách ČR dodržujeme elektrické izolační uložení kolejnic na betonových konstrukcích – zejména mostních pro oba trakční systémy právě pro zajištění ochrany staveb před účinky bludných proudů. U pevných jízdních drah je situace komplikovanější, protože hlediska korozní ochrany se prolínají s hlediskem dotykových napětí a v praxi se pak setkáváme s různými i nevhodnými řešeními ať se problematika již nazývá ukolejňování výztuže nebo připojování výztuže ke zpětné trakční cestě (kolejnici) – viz například převzatý systém AC soustavy na Slovensku z Německa se snahou o jeho uplatnění i pro DC systémy), kde výztuž betonových konstrukcí se stává součástí zpětné trakční cesty. Tento stav považujeme za zcela nežádoucí a doposud nebyl na žádné stavbě v ČR a SR připuštěn. Určitou výjimkou je tunel Stará Turá na Slovensku, ale i tam je uložení koleje do konstrukce tunelu odděleno.

### 3.4 Dopady do navazujících profesí – elektrotechnika, uzemnění

Jak již je naznačeno v předchozích odstavcích, volba systému napájení z hlediska šíření vlivu bludných proudů se netýká zdaleka pouze samotného napájecího systému, ale má široký dopad do navazujících oblastí, zejména elektrotechniky. Volbě systému napájení je pak nutno podřídit i navazující zařízení, tj. je nutno stanovit požadavky na napájecí obvody v blízkosti kolejí, vhodně volit zemnicí soustavy, soustavy pospojování, společné uzemňovací body, dbát přísného oddělení distribučních soustav energetiky od soustav trakčního napájení. To vše je jistě méně příznivé a náročnější v režimu stejnosměrné trakční soustavy.

Nelze pominout, že u střádané trakční soustavy je nutno řešit omezení indukované složky napětí do cizích zařízení, zejména se týká systému kabelových vedení podél elektrizovaných kolejí. U stávajících systémů se jedná o výměny kabelových vedení v celé trase nové elektrizované koleje. Problematika se však dotýká i jiných v zemi uložených kovových zařízení (potrubní systémy, či jiná liniová kovová zařízení uložená v zemi).

### 3.5 Změna korozních poměrů v lokalitě elektrizované trati

V lokalitě středu Prahy je jistě při uvažovaném výkonu 5,5MW, tj. cca v řádu necelých dvou tisíc ampér trakčního proudu k diskusi, zda je systém DC napájení vhodný (při 5% úniku proudů z koleje se jedná o unikající proud o velikosti cca 100 A). Takto výkonná soustava výrazně změní korozní poměry v celé oblasti tras před tunelem a za tunelem. Bude nutno se zabývat každým cizím potrubním zařízením ve smyslu ČSN EN 50122-2, tj. bude nutno zkoumat poměry před elektrizací a po elektrizaci a vést náročné diskuse, měření a posléze

realizace dodatečných ochranných opatření pro zajištění ochrany cizích zařízení po elektrizaci železnice. V tomto smyslu se jeví volba střídavé trakční soustavy za výhodnější.

Na druhou stranu použití střídavé trakční soustavy vyvolá potřebu řešit místa styku s DC napájecí soustavou (pravděpodobně ve všech železničních stanicích). Pro zdánlivě výhodnější AC soustavu z hlediska korozního namáhání je třeba znát celkovou koncepci napájení uzlu Praha, jeho výhled a zvážit dopady do implementace části trati AC do celého systému DC napájení. Je pravděpodobné, že samotný efekt škod a dopadu korozního namáhání vlivem bludných proudů nemusí být a nebude klíčovým rozhodujícím parametrem pro volbu napájecí soustavy. Je však významné toto hledisko nepodcenit tak, aby nebylo nutno řešit následky rozhodnutí další desetiletí po uvedení do provozu, jak známe z případů v ČR i SR (Čelákovice, Zábřeh, Košice aj.).

### **3.6 Další okolnosti pro rozhodování o volbě napájecí soustavy.**

Při rozhodování o systému napájení je také nutno přihlédnout k dalším praktickým faktorům elektrizace železnice, jak ukazuje například praxe při návrhu rekonstrukce železničního uzlu v Žilině s plánovaným přechodem na AC napájecí systém. Krom samotné diskuse o provedení koleje (izolované/neizolované uložení) je nutno řešit náročná místa přechodových míst AC/DC a také, například, zda dopravci jsou schopni disponovat vhodnými lokomotivami pro takovou trať. Z tohoto důvodu jsou například trati Šumperk - Kouty, uzel Žilina, trať Košice – Moldava navrhovány pro přechod na střídavou trakční soustavou, ale nyní, tj. od uvedení do provozu budou provozovány se stejnosměrnou trakční soustavou.

### **3.7 Železobetonové konstrukce z hlediska korozního namáhání bludnými proudy obou trakčních systémů.**

V ČR disponujeme bohatými zkušenostmi s měřením vlivu bludných proudů na tratích elektrizovaných stejnosměrnou i střídavou trakční soustavou. Zjednodušeně lze konstatovat, že dodržováním zavedených metodik lze v obou případech dosáhnout velmi dobrých výsledků se snížením, či eliminací vlivu bludných proudů na požadovanou úroveň, která nesníží životnost stavby nebo ji jen minimálně ovlivní. U stejnosměrných trakčních soustav je nutno mnohem více dbát na bezchybné provedení stavby – vady jsou zřetelné při měřeních. U střídavých trakčních soustav byla na přelomu tisíciletí zaváděna snaha betonové konstrukce nechránit vůbec s tím, že „střídavé vlivy“ jsou zanedbatelné. Jak ukazují měření v terénu, není tomu tak. Především ani střídavá trakční soustava nestojí odděleně od okolního světa, a ukazuje se, že stejnosměrný proud, ať již jakéhokoliv původu, je schopen přenosu po kolejích na velké vzdálenosti (v desítkách kilometrů) a dále, jak ukazují měření například na benešovských tunelech při provozu jednofázové trakční soustavy dochází k poměrně silné stejnosměrné polarizaci výztuže, která se pak například může projevit působením s gabionovou stěnou apod. Nicméně lze konstatovat, že systém zavedených ochranných opatření je funkční a účinný a důsledky vlivu jedné nebo druhé trakční soustavy jsou obvykle zmapované či mapovatelné a lze navrhovat i dodatečná ochranná opatření.

### **3.8 Technologie TBM – tunelové konstrukce.**

Z hlediska dostupných výsledků měření na tunelech budovaných technologií TBM se jedná o nejslabší článek disponibilních informací. Stručně – neexistují... V současné době jen velmi pomalu nabýváme informací a zkušeností se stavbou TBM tunelu v Ejovicích – tolik bychom je již potřebovali k doplnění metodik ochranných opatření a i měření a pro další aplikace v ČR a SR. V současné době (leden 2017) jsme ve fázi doplnění PD pro ochranu stavby před účinky

bludných proudů s tím, že ve spolupráci s projektantem SUDOP byla projednána ochranná opatření u vyztužených tybinek i u tybinek z drátkobetonu. Byly dohodnuty speciální požadavky na řešení uzemňovacích soustav, které by měly být v roce 2017 realizovány. Z hlediska zavedených principů se zachovává řešení pro hloubené části tunelu, uzemnění v propojkách, systémy napájecích soustav atd. Uvažovaná délka tunelu cca 2,8 km nepřesahuje obvyklé délky tunelů v ČR a na Slovensku a lze predikovat, že řešení ochranných opatření nepřesáhne zavedené standardní postupy.

### **3.9 Pevná jízdní dráha z hlediska vlivu bludných proudů**

Z hlediska ochrany před účinky bludných proudů se jedná o velmi citlivé téma, téma ne příliš ověřené v praxi. Především bude nutné s projektanty tunelu a zpětné trakční cesty dohodnout společné přijatelné řešení. Jedná se o systém izolovaného uložení kolejnice ve vztahu k požadavkům na kvalitní zpětnou proudovou cestu. Tak jak se s izolovanými systémy v současné době setkáváme se jeví, že řešení je realizovatelné, a to jak na úrovni izolačního oddělení konstrukce tunelu od desky pevné jízdní dráhy, tak i na úrovni oddělení kolejnice od betonové konstrukce. Řešení je třeba diskutovat včas již v prvních fázích projektové dokumentace se všemi aspekty, které nese ČSN EN 50122-1. Na základě zkušeností s projekty koridorů v SR, kde jsou v několika případech navrženy jak tunelové stavby tak mostní objekty s pevnou jízdní dráhou je nutné v rámci zahájení zpracování dokumentace dohodnout postup i k již existujícímu (nově zavedenému) předpisu SŽDC S9. Je pravděpodobným, konkrétní bvrhy budou vyžadovat odchylky od předpokládaných (převzatých) řešení.

### **3.10 Elektromagnetické vlivy trakční soustavy**

Jak je uvedeno v zadání, elektrizovaná trať je uvažována ve vzdálenosti 48 m pod povrchem terénu, tzn., lze uvažovat, že elektrizovaná trakční soustava – přesněji napájecí vedení a případně smyčka napájecí vodič zpětný vodič vedou cca 40 m pod základovou deskou stavby FÚ.

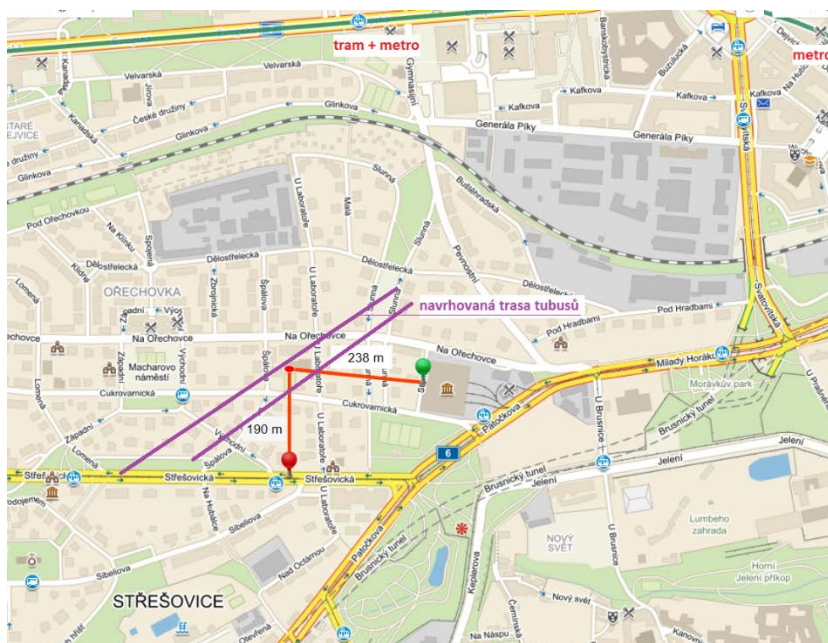
V minulých letech jsme se zabývali vlivem elektromagnetického pole v několika speciálních případech na území ČR. Z hlediska vlivu trakčních soustav jsme zkoumaly elektromagnetické pole v oblasti měřírny pro tramvajovou trať za obchodním domem na Národní ul. v Praze („Máj“), dále jsme zkoumali výpočty a měřeními vlivy trakční soustavy metra ve stanici Jinonická na serverové centrum budované banky ČSOB (přes zeď stanice metra pod zemí), dále jsme se zabývali elektromagnetickými vlivy od trolejbusové trati – smyčky kolem university Polymerních hmot ve Zlíně, kde v prostoru prvního suterénu byly umísťovány elektronové mikroskopy, dále jsme se zabývali měřeními a návrhem ochranných opatření před účinky elektromagnetických vlivů při výstavbě laboratoří pro kalibraci elektronových mikroskopů pro FEI Brno a konečně jsem řešili elektromagnetické vlivy venkovního vedení 400 kV na mostní konstrukce při blízkém souběhu délky cca 400 m. Pro uvedené zadání – vzdálenosti 40 m od místa vodiče s proměnlivým proudových zatížením ať již na úrovni DC 3 kV nebo AC 25 kV nespátřujeme trasu nerealizovatelnou. Pro další postup je třeba získat přesné zadání. Tzn., především jaké požadavky na magnetické a elektrické pole FÚ bude definovat co do absolutních hodnot, ale i co frekvenčního spektra v místě laboratoří. Výpočty i praxe prokazují že dosah do takovýchto vzdáleností, kde stavby jsou odděleny elektrolytem – zemí, lze očekávat zanedbatelný, pokud vůbec nějaký. Poté, co bude zadání definované a bude rozhodnuto o konstrukčním řešení můžeme jistě vytvořit již v úvodním stupni výpočtový model s použitím uvažovaných materiálů a nejprve výpočtem prokazovat vhodnost navrženého řešení a trasy, později pak i měřeními. Pro vytvoření modelu bude třeba spolupráce s FÚ z hlediska konstrukce stavby FÚ a stanovení mezních podmínek. Dle dosažených výsledků lze pak doplnit i návrh stavebního řešení. Větší vzdálenost železnice od

stavby FÚ jistě může být výhodou, dle našich zkušeností je toto hledisko významné velmi zjednodušeně v řádu do 20 m bez nároku na přesnost.

Pozn.: Pro elektromagnetické emise elektrizované železnice platí ČSN EN 50121-2 ed.2. Tento předpis však nemusí (a nebude) v žádném vztahu k požadavkům FÚ, které budou v řádech přísnější na zachování funkce citlivých zařízení v jejich laboratořích.

### 3.11 Vzdálenost stavby FÚ od navrhované trati železnice z hlediska vlivu bludných proudů.

Tento bod je nejméně předvídatelný ze všech shora uvedených poznatků a informací. Jestliže se v oblasti zjišťování elektromagnetických vlivů můžeme opřít o doposud zpracovávané výpočtové modely a ověřovací měření, z hlediska šíření vlivu bludných proudů se pohybujeme pouze v odhadech na základě dostupných výsledků měření a zkušeností.



Pokud jde o konstrukci tunelové stavby samotné, je nepochybné, že železniční trať bude elektricky izolačně uložena na spodní klenbě, resp. výplni tunelové roury. Bezprostřední vlivy dané průjezdem v místě pod stavbou lze očekávat (za předpokladu dodržení realizovaných ochranných opatření) za méně významné nebo nevýznamné. Nelze však vyloučit standardní šíření bludných proudů kolem trati, resp. mezi Dejvicemi a Vokovicemi. Zde se však nabízí přímější trasa ve vnitřním oblouku železnice, tj. z Veleslavína k železniční stanici Dejvice spíš v trase metra a tramvaje než v trase samotného tunelu. Zvýšení elektrického pole u staveb v blízkosti tunelu vyloučit nelze, lze však očekávat vlivy výrazně nižší, než by bylo při otevřeném kolejovém loži. Z hlediska vlivu na FÚ se znovu bude jednat o stanovení mezních hodnot pro zkušební laboratoře. Praxe např. ukázala při extrémně vysokých požadavcích na čistotu prostředí v budově na úrovni 2 až 5 nT, že tyto hodnoty byly obtížně dosažitelné v místech uzlů zemnicí soustavy apod. Jedná se tedy o ne zcela jednoduchou problematiku, kterou je nutno se zabývat již ve vstupních fázích projektové dokumentace – například výchozím měření v prostorách FÚ pro zjištění stávající hladiny pozadí.

## 4. Závěr

Jak je uvedeno ve shora uvedených bodech, nemusí být volba napájecí soustavy z hlediska korozního namáhání jednoznačnou záležitostí, jak by se mohlo ze základních údajů o šíření vlivu bludných proudů zdát.

Zdánlivě jednoznačné rozhodnutí o volbě jednofázové trakční soustavy před soustavou stejnosměrnou z důvodu eliminace škodlivých účinků bludných proudů tak může mít jiné významné ekonomické dopady při návrhu trakční soustavy jednofázové, které mohou nabývat důležitějších faktorů než jen hledisko korozních vlivů.

Na druhou stranu hustá aglomerace „staré“ části Prahy, která není na elektrizované trakční soustavy připravována může při uvedení trati vyvolat řadu vedlejších nákladů pro eliminaci následných účinků vzniklých provozem elektrizované soustavy.

Pro výstavbu, ale již zpracování projektové dokumentace je nezbytné dodržet postupy ČSN EN 50122-2, -3, navazujících předpisů TP 124, SR5/7(S) a samozřejmě respektovat postupy s přihlédnutím k TKP 25A.

V průběhu zpracování dokumentace je nutno postupně zpracovat „Korozní studii“ ve smyslu ČSN EN 50122-2, která bude podkladem pro návrh celé elektrizované trati, jak tomu bylo například při návrhu tratí Košice – Moldava, Šumperk – Kouty a další.