

# Trasa D pražského metra

## Doplňkový geotechnický průzkum v oblasti stanice Pankrác D

Ražené objekty na připravované stavbě čtvrté trasy pražského metra v prostoru budoucí přestupní stanice Pankrác D a přilehlých traťových tunelů směrem ke stanici Olbrachtova tvoří rozsáhlý a technicky velmi náročný podzemní komplex, který bude realizován v obtížných geologických podmínkách. V průběhu několika předchozích etap geotechnického průzkumu „z povrchu“ se ukázalo, že bude nezbytné provést v této lokalitě podrobný, řádově více vypovídající geotechnický průzkum ražbou průzkumných děl a prováděním zkušebních horninových injekcí.

### Získané informace budou využity:

- projektantem při zpracování realizační dokumentace stanic Pankrác a Olbrachtova,
- zhotovitelem stavby pro větší bezpečnost ražeb – bude lépe vědět, do čeho jde,
- investorem pro minimalizaci nepředvídatelných vícenákladů.

### Úvod

Ražené tunely na stavbě nové trasy D pražského metra, I. provozní úsek Náměstí Míru – Depo Písnice, představují v oblasti pankrácké pláne rozsáhlý a technicky velmi náročný tunelářský komplex, který bude realizován ve složitých geologických poměrech (obr. 1).

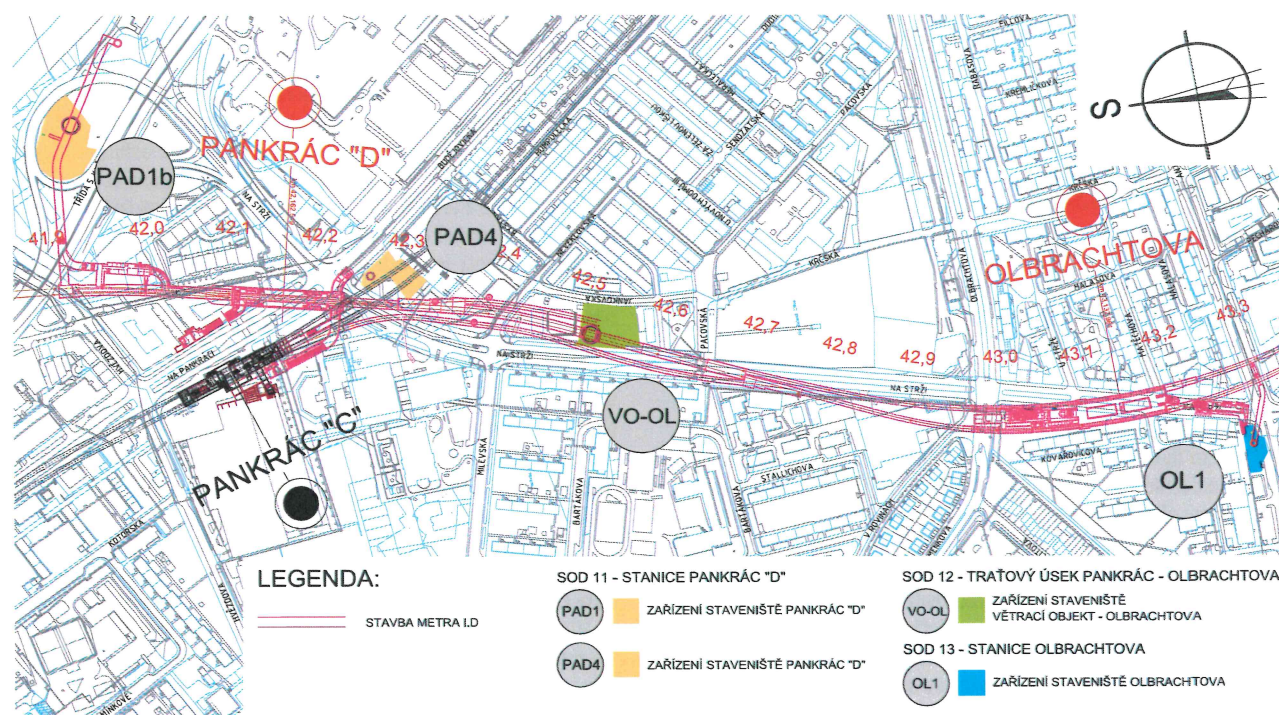
V prostoru křižovatky ulic Na Pankráci, Na Strži a Budějovická bude vyražena jednolodní stanice Pankrác D. Navržené technické řešení umožňuje propojení se stanicí metra Pankrác C samostatným eskalátorovým tunelem ústícím ve stávajícím technologickém prostoru stanice Pankrác C na jihovýchodní konec nástupiště. Pro výstup na terén využívá stanice Pankrác D stávající prostory vestibulu stanice Pankrác C, doplněné o výstup na opačném konci nástupiště do objektu Gemini na protilehlé straně ulice Na Pankráci. Stanice je navržena s bočními nástupišti, která mají na obou koncích zvýšené výstupní galerie. Základní profil staničního tunelu má plochu výrubu 344 m<sup>2</sup> a je dlouhý 129,7 m. Jak v prostoru stanice, tak i v přilehlých traťových tunelech je nová trasa metra vedena přibližně ve směru sever-jih. Na severní straně jsou součástí stanice Pankrác-D obrátové koleje včetně demontážní komory pro zeminové štíty v místě budoucího napojení

traťových tunelů severním směrem na Náměstí Míru, přístupový tunel se strojovnou hlavního větrání metra a samostatný technologický tunel. Na jižním konci staničního tunelu je náročné prostorové uspořádáním souvisejících objektů. Jsou to příčné výstupní a přestupní tunely a v nadloží traťové tunely stávající trasy metra C.

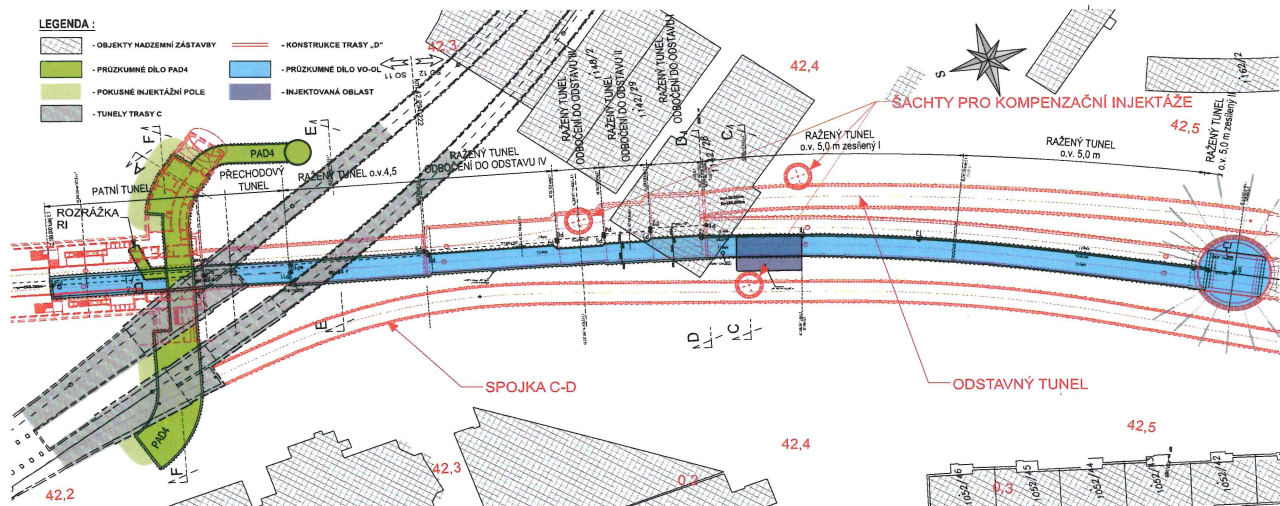
Navazující traťový úsek směrem ke dvoulodní ražené stanici Olbrachtova je nejsložitějším traťovým úsekem na celé trase I.D. Kromě převážně dvoukolejných traťových tunelů je tu velký rozplet do jednokolejného odstavného tunelu, umístěného vně trasy metra na východní straně. Rozplet je situován přímo pod stávající nadzemní vícepodlažní budovou. Na opačné straně, opět vně trasy metra, je situována ražená jednokolejná spojka mezi trasami D a C, která je před stanicí Olbrachtova v km 42,703 zaústěna do pravého jednokolejného traťového tunelu. V tomto místě zároveň končí dvoukolejný traťový tunel rozšířeným profilem a pokračují dva jednokolejné tunely ke stanici Olbrachtova. Za touto stanicí trasa metra pokračuje jižním směrem dvěma jednokolejnými tunely do Krčského údolí. Na nároží ulic Na Strži a Antala Staška podchází pravý traťový tunel pilotové základy vícepodlažní budovy (obr. 1, 11 a 13).

### GEOLOGICKÉ POMĚRY HORNINOVÉHO PODLOŽÍ

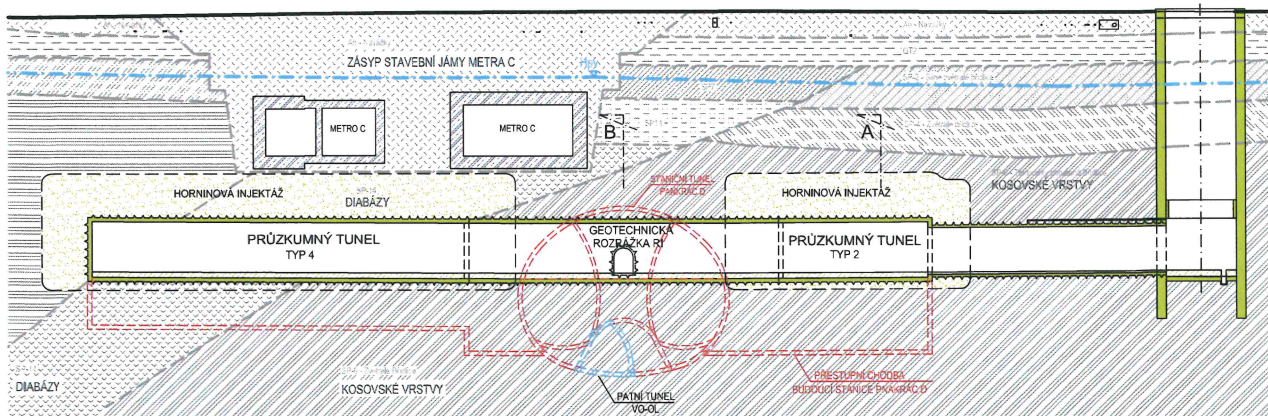
Předkvartérní podloží na pankrácké pláni tvoří horniny paleozoika, a to převážně ordoviku. V blízkosti závěru barrandienské brachysynklinály (cca 480 m severně od středu stanice Pankrác D), v úseku délky cca 600 m jsou to i silurské horniny. Horninová souvrství jsou řazena od nejstarších po nejmladší, tj. proti směru staničení trasy D od Krčského



Obr. 1 – Celková situace



Obr. 2 – Půdorys průzkumných děl PAD4 a VO-OL



Obr. 3 – PAD4 – rozvinutý podélný řez průzkumným dílem

údolí. Tam začíná velmi mocné bohdalecké souvrství délky cca 1,9 km, které končí před stanicí Pankrác cca v km 42,425. Tvoří ho velmi jemné jílovité břidlice černošedé barvy, velmi drobně slídnaté, místy tektonicky porušené. Zastiženy budou horniny od zcela zvětralých až po zdravé, avšak velmi silně rozpukané, podrcené a rozpadavé. Navazuje královědvorské souvrství mocnosti 60 až 80 m. Jsou to opět jílovité břidlice velmi jemné slídnaté, tence vrstevnaté až lupenité. Jejich barva je šedá až zelenošedá. Podléhají intenzivnímu a hlubokému zvětrání a rozpadají se na zelenohnědou jílovitou hlinu. Cca 70 m před jižním koncem staničního tunelu stanice Pankrác D začíná kosovské souvrství. Je to nejmladší ordovické souvrství, které je zde zastiženo ve flyšovém vývoji. Dochází k rychlému střídání zelenavých jílovitých, prachovitých a písčitých tence vrstevnatých břidlic a destičkovitě až lavicovitě odlučných křemenných pískovců, křemenců a drob. Ve svrchní části souvrství převládají hrubozrnné lavicovité pískovce. Celková mocnost souvrství se pohybuje kolem 80–100 m. Horniny jsou také značně tektonicky porušené, silně rozpukané a na odlučných plochách silně limonitizované. Vlivem flyšového charakteru jsou také náchylné k sesuvání.

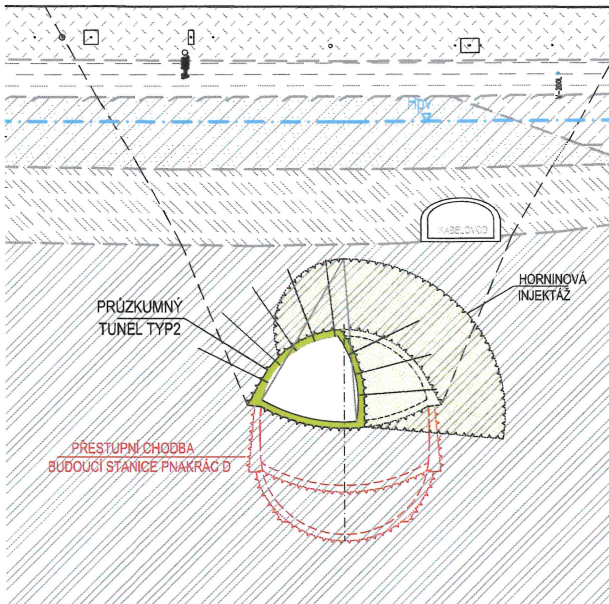
Na podložních ordovických horninách spočívají mladší konkordantně uložené silurské horniny. V siluru sedimentace jílovitých a písčitých sedimentů postupně přechází do sedimentace karbonátové a je spjata s vulkanismem, jehož produktem jsou diabasy. Liteňské souvrství jsou tmavě šedé až černé jílovité až prachovité vápnité břidlice a ve své svrchní části obsahují časté polohy a čočky velmi pevných vápenců. Časté jsou také polohy tufitů. Celková mocnost liteňských vrstev je kolem 30–80 m. Navazující kopaninské souvrství je faciálně velmi pestré. Spodní část je vyvinuta převážně jako hnědošedé až černé vápnité jílovité a prachovité břidlice, které obsahují hojně polohy čoček a kon-

krce vápenců a polohy s příměsí vulkanických hornin – tufitické břidlice a tufy. Na rozhraní liteňských a kopaninských vrstev je v celé oblasti vyvinuta poloha tufů, tufitů a diabasů. Celková mocnost souvrství je cca 110 až 250 m. Přídolské vrstvy jsou nejmladší horniny silurského souvrství a současně nejmladší horniny zastižené v trase metra I.D vůbec. Jsou tvořeny především šedými kalovými vápenci s vločkami slídnitých břidlic. Vápence jsou deskovitě až lavicovitě odlučné, značně rozpukané a jsou postiženy intenzivní zlomovou tektonikou. Vyskytují se jen omezeně a tvoří vlastní závěr barrandienské synklinály. Celková mocnost souvrství je cca 20 až 40 m. Na svrchnoordovické a spodnosilurské sedimenty je vázán diabasový vulkanismus. Diabasy jsou zelenavě šedé, obecně velmi tvrdé horniny, které tvoří především proniky ložních žil nebo plošné výlevy v různých hloubkách sedimentace. Diabasové žíly zde dosahují maximální mocnosti 10–30 m.

### VÝVOJ GEOTECHNICKÉHO PRŮZKUMU PRO STANICI PANKRÁC D

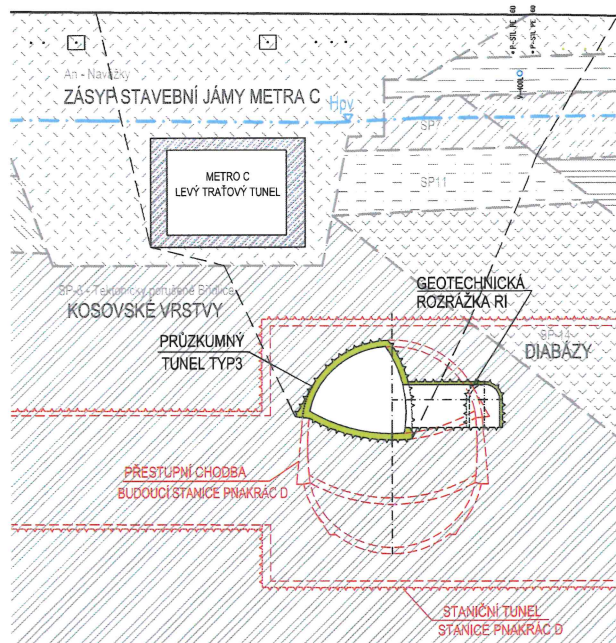
V roce 2010 byl zpracován pro dokumentaci pro územní řízení (DUR) stavby trasy metra I.D předběžný geotechnický průzkum. Následoval v roce 2013 podrobný geotechnický průzkum pro projekt stavby trasy metra I.D1 a I.D2 bez průzkumu v okolí stanice Pankrác. V té době investor uvažoval s úspornou variantou dočasného větvení trasy C ve stanici Pankrác. Později byla tato varianta opuštěna a v roce 2015 byl zpracován doplněk podrobného geotechnického průzkumu v prostoru stanice Pankrác D. Výsledky vrtného průzkumu avizovaly velmi nepříznivé geotechnické parametry kosovských vrstev na jižním konci staničního tunelu. Z těchto důvodů byl v roce 2017 proveden další doplňkový průzkum.

PŘÍČNÝ ŘEZ A-A

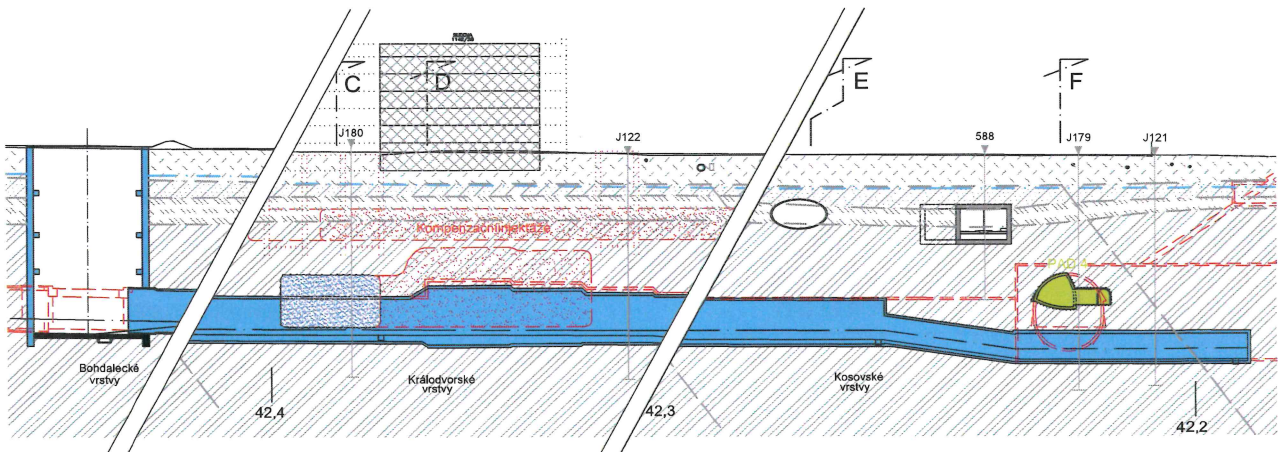


Obr. 4 – PAD4 – příčný řez A-A tunelem TYP2

PŘÍČNÝ ŘEZ B-B



Obr. 5 – PAD4 – příčný řez B-B tunelem TYP3



Obr. 6 – VO-OL – podélný řez průzkumným dílem

V rámci tohoto doplňkového průzkumu byly v prostoru křížení stanice Pankrác D a stávajících traťových tunelů trasy C odvrtny 2 vrty (označené J121 a J179) o celkové délce 88,3 m. Zejména při provádění vrtu J179 byly značné problémy. Ty se projevily v hloubkové úrovni cca 20 až 25 m. V tomto intervalu byl minimální až nulový výnos vrtného jádra a současně zde docházelo k vypadávání úlomků horniny ze stěn do vrtného stvolu. Při karotážních měřeních musel být vrt až do hloubky 25 m zapažen, aby byla zajištěna průchodnost pro jednotlivé karotážní sondy. Při vrtání také docházelo pouhým prouděním výplachového média k rozplavování horniny v jádrovce.

Sondy J121 a J179 zastihly rozhraní mezi horninami silurského stáří a horninami ordovického stáří v jejich podloží. Ze silurských hornin to bylo liteňské souvrství, konkrétně jílovitoprachovité vápnité břidlice. V ordovickém masivu byly zastihny horniny vrstev kosovských. Bylo to flyšové souvrství, kde dochází k rychlému střídání jílovitých, prachovitých a písčitých tence vrstevnatých břidelic a destičkovitě až lavcovitě odlučných křemenných pískovců, křemenců a drob. Celkově převládaly měkčí břidlice nad pevnými křemenci. Mocnost jednotlivých poloh byla značně proměnlivá.

### Poznatzky plynoucí z dosud provedeného geologického průzkumu

Zastihnuté kosovské souvrství je velmi nízké kvality a nachází se v nejkritičtějším místě, kde budou klenby staničního tunelu a příčných přestupních tunelů pouhých cca 5,5 m pod stávajícími traťovými tunely trasy C. V rámci dokumentace pro stavební povolení (DSP) byly provedeny výpočty metodou MKP. V matematickém 2D modelu byla nejprve řešena varianta ražby staničního tunelu se základním vertikálním členěním na 2 boční výrubu a následně střední část. Pochopitelně bylo uvažováno i podružné horizontální členění dílčích výrubů. Celková vypočtená svislá deformace vrcholu klenby výrubu byla 144 mm. S ohledem na velikost profilu staničního tunelu a poměrně malou výšku nadloží, byl maximální pokles terénu jen o cca 20 mm menší. Projektant dále prověřoval možnost jiného postupu členění výrubu staničního tunelu. V daných podmínkách je možno na kritickém jižním konci staničního tunelu realizovat předstihovou protiražbu patního výrubu ve střední části staničního tunelu z navazujícího traťového úseku. Výsledky matematického modelování této varianty postupu ražby staničního tunelu byly pozitivní a deformace se snížila cca o 20 %. Přesto to stále byly hodnoty, pro bezpečnost konstrukce

stávajících traťových tunelů trasy C a inženýrské sítě v prostoru křižovatky ulic Na Pankráci, Na Strži a Budějovická, nepřijatelné. Je třeba zdůraznit, že matematický 2D model řešil ražbu pouze staničního tunelu a v kritickém místě jižního okraje stanice jsou situovány i příčné tunely, jejichž ražba deformace dále zvýší.

Z těchto důvodů byl proveden další výpočet metodou MKP, kde pro variantu s předražným patním výrubem ve staničním tunelu, byly simulovány zlepšené geomechanické vlastnosti horninového prostředí zvýšením rozhodujícího parametru, modulu pružnosti  $E$ , o 70 %. Výsledkem bylo zmenšení deformací na 50 % původního výpočtu.

Následovaly další průzkumné práce v prostředí kosovského souvrství, které měly ověřit injektovatelnost horninového prostředí a účinnost těchto injektáží.

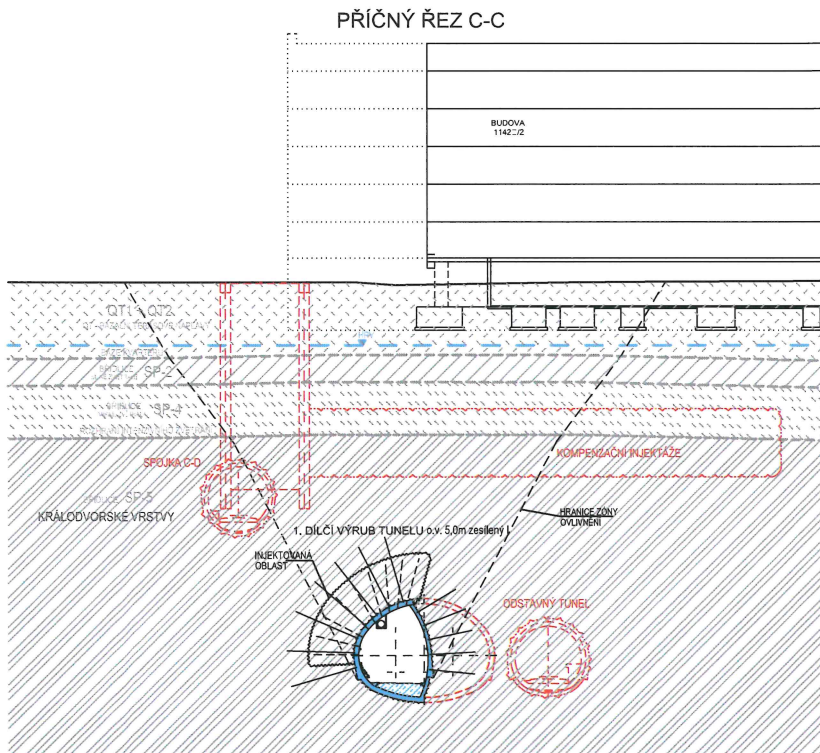
### Injektážní pokus v kosovském souvrství

V červnu a červenci roku 2017 provedla firma Minova Bohemia s. r. o. injektážní pokus v kosovském souvrství, a to v místě budoucí hloubené jámy průzkumného díla PAD4. Byly provedeny průzkumné geologické vrty s označením J256–J258 hluboké cca 22–25 m. Zkušební injektáž byla realizována ve vrtu J257. Vrt J258, který byl odvrtán po provedení zkušební injektáže cca 60 cm od vrtu injektážního, sloužil pro ověření účinnosti injektáže a jejího vlivu na deformační parametry injektovaného prostředí.

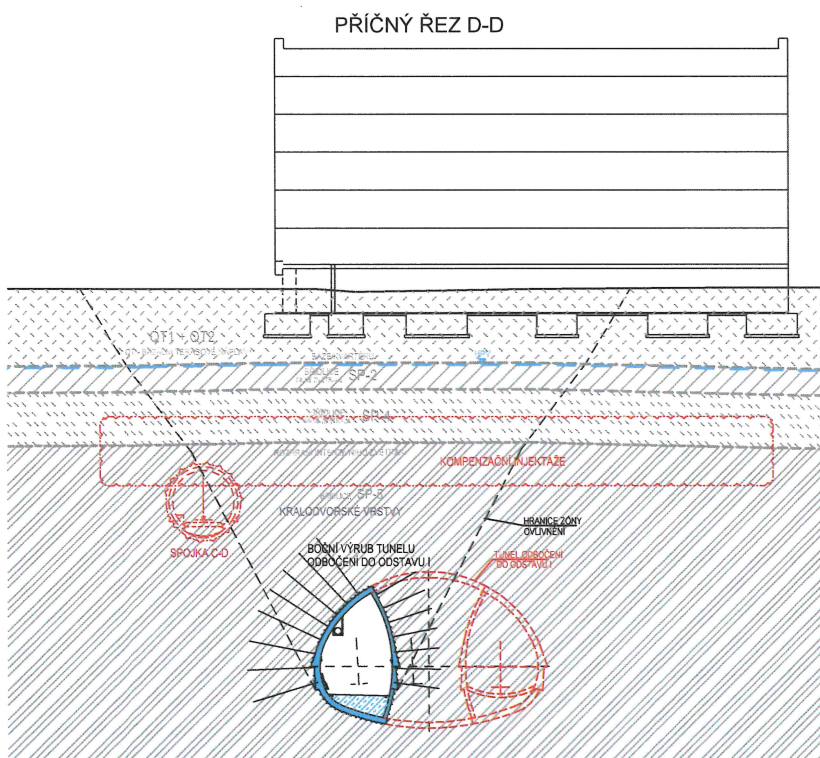
### Vyhodnocení injektážního pokusu

Oba zkoušené typy injektážních hmot na chemické bázi CarboStop 41 (1C PUR) a CarboPur WX (2C PUR) se v daných podmínkách plně osvědčily a je možné je použít pro zpevňující a těsnící injektáže. Schopnosti penetrace obou injektážních směsí do daného prostředí lze hodnotit jako srovnatelné a vzhledem k charakteru zastoupených hornin jako velmi dobré. Zkouškou bylo jednoznačně potvrzeno, že provedení injektážních prací v daných podmínkách je po technické a technologické stránce realizovatelné. V průběhu realizace zkoušky nebyla zjištěna žádná vážná omezení pro použitou technologii injektáže horninového prostředí. Výsledky presiomrických zkoušek z kontrolního vrtu J258 dokládají, že realizací injektáže horninového prostředí došlo k nárůstu hodnot presiomrického modulu přetváivosti  $E_{def,p}$  ve všech místech měření. Navíc došlo ke zkompatnění horninového prostředí tak, že bylo možné uskutečnit presiomrická měření ve velkých hloubkách bez rizika ztráty sondy, což v případě vrtu J257 před realizovanou injektáží možné nebylo.

Na základě těchto informací o stavu a injektovatelnosti hornin kosovského souvrství byl navržen „Doplňkový geotechnický průzkum pomocí ražených děl“. Primární úkol tohoto doplňkového průzkumu (kromě vlastního geotechnického průzkumu) spočívá v ověření účinnosti chemických injektáží velkého rozsahu a určení změn geomechanických vlastností takto proinjektovaného horninového prostředí. Výsledky z tohoto průzkumu budou posléze použity pro návrh ražeb jednodlné stanice Pankráč D a navazujícího traťového úseku směrem ke stanici Olbrachtova.



Obr. 7 – VO-OL – příčný řez C-C tunelem o.v. 5,0 m zesílený I s injektážním polem



Obr. 8 – VO-OL – příčný řez D-D tunelem odbočení do odstavu I

### DOPLŇKOVÝ GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM POMOCÍ RAŽENÝCH DĚL

Ražené tunely na stavbě trasy I.D pražského metra v oblasti stanice Pankrác D a navazujícího traťového úseku směrem ke stanici Olbrachtova představují velmi náročný tunelářský projekt jak z hlediska náročnosti navržených konstrukcí těchto podzemních objektů, tak i z hlediska zastížených geologických poměrů, které jsou velmi nepříznivé. Z těchto důvodů je nutné při určení rozsahu doplňkového geotechnického průzkumu postupovat podle zásad pro 3. geotechnickou kategorii, tj. se zjištěním přetvárných a pevnostních charakteristik horninového masivu prostřednictvím terénních a laboratorních zkoušek přímo v trase budoucí stavby. Jsou navržena 4 ražená průzkumná díla, která budou realizována ze záborů pro zařízení stavenišť (ZS) stavby trasy I.D metra v dané lokalitě. Jsou označena podle zařízení stavenišť, z nichž budou prováděna (obr. 1).

**1. Doplnkový geotechnický průzkum PAD4** (obr. 2, 3) zahrnuje kruhovou šachtu do hloubky 29,9 m, průměru 8,6 m (osa pilot), zajištěnou převrtávanými pilotami délky 33 m (průměr 1 000 mm). Na šachtu navazuje ražený vodorovný průzkumný tunel celkové délky 116,7 m. Je rozdělen na 4 typy výrubu podle velikosti a tvaru (obr. 2, 3).

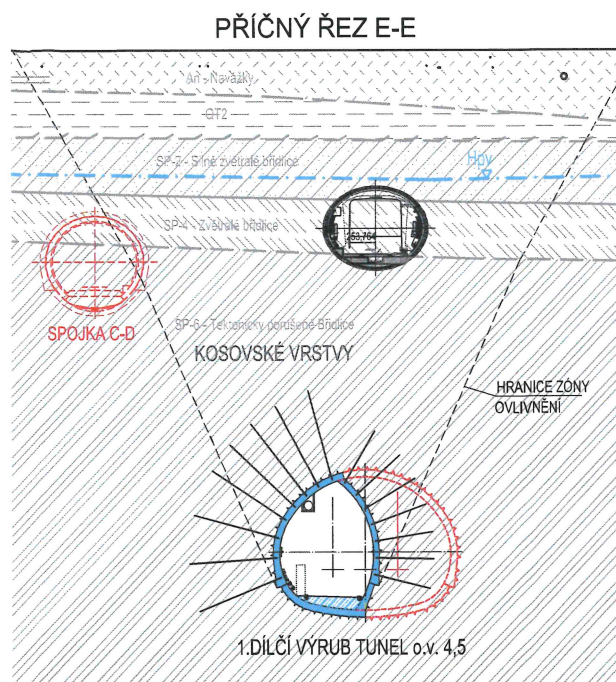
- TYP 1 – přístupový tunel délky 25,3 m, ražba horizontálně členěným výrubem (kalota + dno), celková plocha výrubu 28,7 m<sup>2</sup> (TT 4) nebo 29,6 m<sup>2</sup> (TT 5a).
- TYP 2 – ražba kaloty budoucího přestupního tunelu stanice délky 16,7 m (obr. 4), vertikální a horizontální členění výrubu, celková plocha výrubu 68,9 m<sup>2</sup> (TT 4, TT 5a, TT 5b).
- TYP 3 – ražba 1. výrubu vertikálně členěné kaloty budoucího přestupního tunelu stanice délky 33,4 m (obr. 5), horizontální členění výrubu, celková plocha výrubu 41,87 m<sup>2</sup> (TT 4, TT 5a, 5b).
- TYP 4 – ražba kaloty budoucího přestupního tunelu stanice délky 41,3 m (dtto TYP2), vertikální a horizontální členění výrubu, celková plocha výrubu 65,9 m<sup>2</sup> (TT 4) nebo 68,9 m<sup>2</sup> (TT 5a, TT 5b).
- Geotechnická rozrážka RI bude vyražena jako kolmá odbočka z průzkumného tunelu s výrubem TYP 3 v ose budoucího staničního tunelu stanice Pankrác D (obr. 2, 3 a 5). V rozrážce celkové délky 14,5 m bude ponechána horninová lavice délky 6 m, z níž budou zhotoveny zkušební bloky pro terénní zkoušky smykové pevnosti. Po realizaci smykových zkoušek budou v rozrážce uskutečněny rozpěrné statické zatěžovací zkoušky. Vzhledem k malým rozměrům podkovovitého profilu rozrážky (výrub 7,3 m<sup>2</sup>) a nutnosti zachovat okolní horninu co nejméně porušenou, bude ražba prováděna ručně, bez použití trhacích prací. Tloušťka ostění rozrážky ze stříkaného betonu bude 200 mm.

Tloušťka primárního ostění výrubů, prováděných v kalotě budoucího přestupního tunelu stanice Pankrác D (TYP 2,3,4) závisí na technologické třídě výrubu (TT) a pohybuje se v rozsahu 350–450 mm.

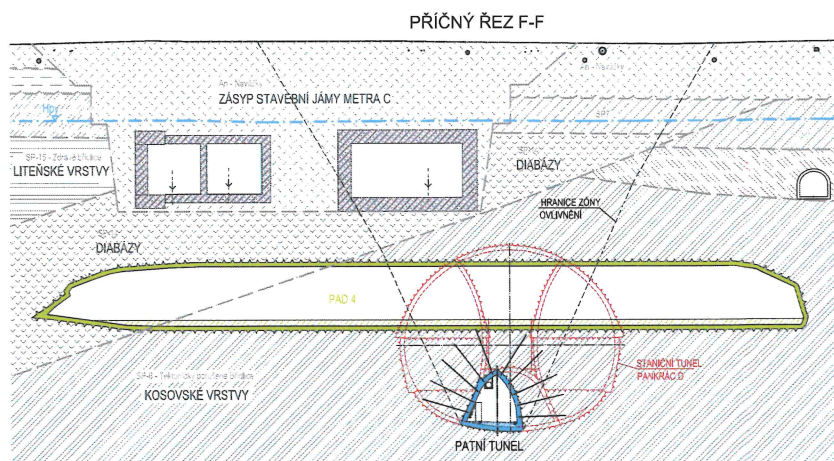
**2. Doplnkový geotechnický průzkum VO-OL** (obr. 2 a 6) zahrnuje kruhovou šachtu do hloubky 36,6 m průměru 21 m (osa pilot), zajištěnou převrtávanými pilotami délky 24,5 m (průměr 1200 mm). Do konečné hloubky 37,5 m budou prodlouženy pouze sekundární armované piloty. Hlavy pilot jsou spojeny ztužujícím ŽB věncem a třemi kruhovými ŽB převážkami. Ve dně jsou piloty rozepřeny ŽB deskou. Na šachtu navazuje ražený vodorovný průzkumný tunel celkové délky 322,2 m, který je rozdělen na 10 typů výrubů (obr. 2 a 3). Na tyto výrubu při stavbě trasy metra I.D navážou další dílčí výrubu příslušných profilů traťových tunelů a v závěrečném úseku prů-

zkumného tunelu v délce 44,4 m to bude profil staničního tunelu stanice Pankrác D (obr. 10).

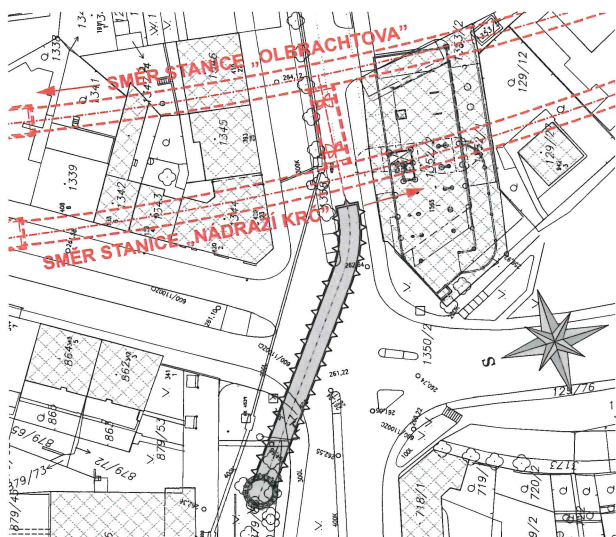
- Tunel o.v. 5,0 m (zkratka o.v. znamená osovou vzdálenost kolejí v dvoukolejném traťovém tunelu metra) zesílený II 1. dílčí výrub vertikálně členěného výrubu traťového tunelu délky 4,8 m. Horizontální členění, celková plocha výrubu 46,6 m<sup>2</sup>.
- Tunel o.v. 5,0 m základní 1. dílčí výrub vertikálně členěného výrubu traťového tunelu délky 66,2 m. Horizontální členění, celková plocha výrubu 44,1 m<sup>2</sup>.
- Tunel o.v. 5,0 m zesílený I 1. dílčí výrub vertikálně členěného výrubu traťového tunelu délky 69,3 m (obr. 7). Horizontální členění, celková plocha výrubu 48,1 m<sup>2</sup>.
- Rozšířený tunel odbočení do odstavu I 1. boční výrub vertikálně členěného výrubu délky 15,4 m (obr. 8). Horizontální členění, celková plocha výrubu 64,2 m<sup>2</sup>.
- Rozšířený tunel odbočení do odstavu II 1. boční výrub vertikálně členěného výrubu délky 13,0 m. Horizontální členění, celková plocha výrubu 52,8 m<sup>2</sup>.



Obr. 9 – VO-OL – příčný řez E-E tunelem o.v. 4,5 m



Obr. 10 – VO-OL – příčný řez F-F patním tunelem ve stanici Pankrác D



Obr. 11 – OL1 – půdorys průzkumného díla

- Rozšířený tunel odbočení do odstavu III 1. boční výrub vertikálně členěného výrubu délky 13,0 m. Horizontální členění, celková plocha výrubu 41,4 m<sup>2</sup>.
- Rozšířený tunel odbočení do odstavu IV 1. dílčí výrub vertikálně členěného výrubu délky 36,8 m. Horizontální členění, celková plocha výrubu 47,1 m<sup>2</sup>.
- Tunel o.v. 4,5 m základní 1. dílčí výrub vertikálně členěného výrubu traťového tunelu délky 37,7 m (obr. 9). Horizontální členění, celková plocha výrubu 52,1 m<sup>2</sup>.
- Přechodový tunel délky 23,6 m. Horizontální členění, celková plocha výrubu 31,4 m<sup>2</sup>. Pouze tento krátký tunel bude při následné výstavbě trasy metra I.D zabetonován a ve vyšší výškové úrovni bude vyražen dvoukolejný traťový tunel.
- Patní tunel ve stanici 1. dílčí výrub vertikálně členěného výrubu patního tunelu délky 42,4 m (obr. 10). Plocha výrubu 30,0 m<sup>2</sup>. Tloušťka primárního ostění se pohybuje v rozmezí 300 až 550 mm.

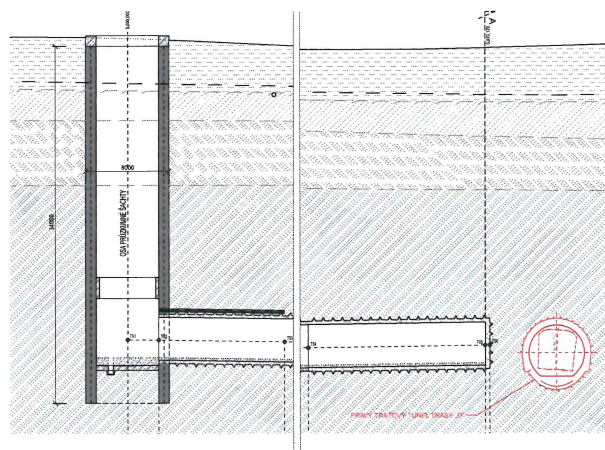
*Poznámka: pro lepší orientaci čtenáře jsou v obrázcích 2 až 10 barevně odlišeny konstrukce průzkumných děl PAD4 a VO-OL (viz legendu na obrázku 2)*

**3. Doplnkový geotechnický průzkum OL1** (obr. 11, 12 a 13) zahrnuje kruhovou hloubenou šachtu průměru 8,6 m (osa pilot) hlubokou 29,9 m. Je zapažena převrtávanými pilotami délky 34 m (průměr 1 000 mm), které jsou v hlavách spojeny ztužujícím ŽB věncem. Nad vrcholem klenby navazujícího vodorovného průzkumného tunelu je v šachtě umístěna kruhová ŽB převážka. Ražený průzkumný tunel má celkovou délku 67,6 m (obr. 12). Je rozdělen na 2 části podle tloušťky primárního ostění (300 mm a 350 mm). Světlý průřez je stejný.

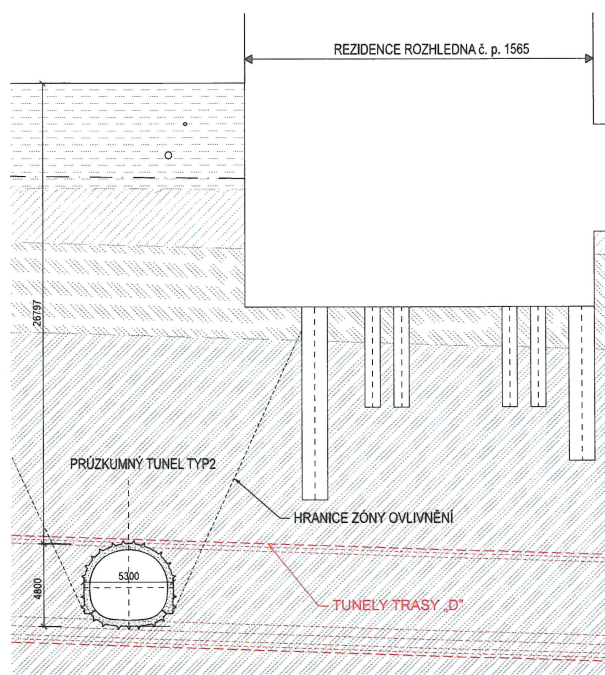
- TYP1 – průzkumný tunel délky 50,3 m s horizontálním členěním výrubu a celkovou plochou výrubu 21,7 m<sup>2</sup>.
- TYP2 – průzkumný tunel délky 17,3 m s horizontálním členěním výrubu a celkovou plochou výrubu 22,6 m<sup>2</sup> (obr. 13).

Průzkumné dílo OL1 lze při výstavbě trasy metra I.D1 využít pro realizaci předstihových doplnkových opatření pro minimalizaci poklesů vícepodlažního objektu na nároží ulic Na Strži a Antala Staška, který je založen na hlubokých pilotách, pod nimiž bude následně probíhat ražba pravého traťového odportálu u Branické ulice v Krčském údolí (obr. 13).

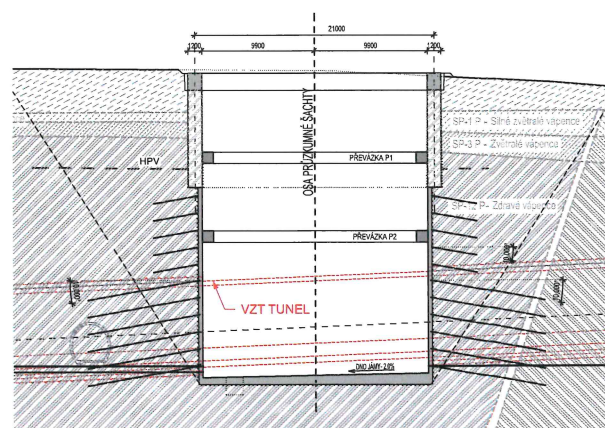
**4. Doplnkový geotechnický průzkum PAD1b** obsahuje kruhovou šachtu průměru 21,0 m (osa pilot) hlubokou 27,25 m (obr. 14). V horní části od povrchu do hloubky 10,0 m bude šachta zapažena převrtávanými pilotami průměru 1 200 mm, rozepřenými hlavovým věncem



Obr. 12 – OL1 – podélný řez průzkumným dílem



Obr. 13 – OL1 – příčný řez průzkumným tunelem



Obr. 14 – PAD1b – svislý řez průzkumnou šachtou

a jednu ŽB převážkou P1. Provádění zbývající části šachty hloubky 17,25 m je navrženo hornickým způsobem. Dalšími převážkami P2 až P4. Stěny budou zajištěny stříkaným betonem tloušťky 350 mm v kombinaci s kotvením a rozepřením. Dno šachty bude zajištěno ŽB deskou tloušťky 500 až 900 mm. V budoucnu bude na tuto šachtu navazovat ražený vzduchotechnický tunel v rámci stavby trasy metra I.D1.

### Pokusné injektáže

**1. Doplnkový geotechnický průzkum PAD4.** Pro ověření vlastností injektovaného prostředí jsou navržena 2 pokusná injektážní pole, a to ve výrubech TYP2 a TYP4. Navržený rastr vrtů vychází ze schopnosti penetrace horninového prostředí, která byla ověřena injektážním pokusem. Vrty budou prováděny z levé části kaloty do prostoru následného rozšíření výrubu do pravé části kaloty (obr. 4). Rastr vrtů bude v příčném řezu po 0,5 m a v podélném směru po 0,75 m. Vzhledem k vějířovitému uspořádání jsou vrty navrženy tak, aby prostor mezi nimi dosahoval v nejširším místě cca 1 m. Tímto způsobem budou zlepšeny pevnostně-deformační parametry horninového prostředí kosovského i liteňského souvrství. Vzhledem k provedenému injektážnímu pokusu, ve kterém se ověřil pozitivní vliv použitých hmot, je nutné použít injektážní hmoty se stejnými nebo lepšími parametry, jaké měly PUR pryskyřice použité při injektážním pokusu.

**2. Doplnkový geotechnický průzkum VO-OL.** Pro ověření účinnosti horninových injektáží v královodvorském souvrství je v rámci tohoto průzkumu navrženo 1 injektážní pole v prostoru kaloty prvního dílčího výrubu tunelu o.v. 5,0 m zesílený I v délce 16,5 m. Injektovaná oblast je orientovaná vlevo (ve směru ražby tunelu) od průzkumného tunelu a zasahuje do vzdálenosti 4,0 od rubu primárního ostění. V příčném řezu se injektovaná oblast pohybuje od vodorovné osy po vrchol klenby (obr. 7). Injektážní pole je po délce rozděleno na 3 sekce délky 4,5 m pro 3 druhy injektážních hmot. Odzkouší se postupně hmoty na bázi mikrocementu, jednosložkových polyuretanových pryskyřic a dvousložkových polyuretanových pryskyřic.

### Zkoušky v rámci doplnkového geotechnického průzkumu

Pro ověření geomechanických vlastností stávajících i upravených hornin je navržena realizace následujících terénních geotechnických zkoušek:

- presiometrická a dilatometrická měření;
- statické zatěžovací zkoušky deskou;
- terénní smykové zkoušky na horninových blocích;
- geofyzikální měření v průzkumných vrtech.

### Presiometrická a dilatometrická měření

Pro ověření mechanických vlastností horninového prostředí budou v průzkumných tunelech realizovány terénní presiometrické či dilatometrické zkoušky, situované v radiálně orientovaných vrtech po obvodu výrubu. Zkouškami zjištěné přetvárné a pevnostní charakteristiky horninového masivu v nadloží, bocích i podloží průzkumného výrubu i celého budoucího tunelu umožní objektivní stanovení vstupních parametrů do statických výpočtů staničního tunelu stanice Pankrác D i dalších ražených objektů v předmetné lokalitě (matematické modelování).

### Statické zatěžovací zkoušky deskou

Tyto zkoušky budou prováděny v geotechnické rozrážce RI (obr. 2 a 5) průzkumného díla PAD4 (jižní konec staničního tunelu stanice Pankrác D). Proběhnou podle zásad standardu Mezinárodní společ-

nosti pro mechaniku hornin (ISRM). Ke zkouškám budou použity ocelové zatěžovací desky o průměru 500 až 800 mm, hydraulický zatěžovací lis s kapacitou 1 000 kN a posuny budou odečítány s přesností 0,01 mm. Zkoušky budou realizovány jako tzv. rozpěrné, kdy sestava bude umístěna ve vodorovné rovině kolmo k podélné ose rozrážky a bude zahrnovat 2 zatěžovací desky, jejichž prostřednictvím bude vyvozen tlak do protilehlých stěn rozrážky. Výsledkem zkoušky tak budou vždy dvě hodnoty modulů odpovídajících každému zatěžovacímu stupni zkoušky a příslušné stěně rozrážky.

### Terénní smykové zkoušky na horninových blocích

Terénní smykové zkoušky s předurčenou plochou porušení se budou provádět v geotechnické rozrážce RI v průzkumném díle PAD4 (jižní konec staničního tunelu stanice Pankrác D). Uskuteční se na blocích o půdorysných rozměrech 500 × 500 mm a výšce 300 mm, namáhaných různou kombinací normálních a tangenciálních sil až do porušení v předem určené rovině. Bloky budou připravené vytvořením obvodových rýh prořezáním diamantovou pilou či postupným obvtáváním. Do nich se vsadí ocelové rámy a volný prostor mezi rámem a horninou se vyplní betonovou směsí.

### ZÁVĚR A AKTUÁLNÍ POSTUP PRACÍ

Výpočty provedené metodou MKP jednoznačně prokázaly, že i varianta ražby staničního tunelu s předražáním patního výrubu ve střední části nezaručí bezpečnou ražbu všech ražených objektů na kritickém jižním konci stanice Pankrác D a je třeba detailně prověřit možnost zlepšení geomechanických vlastností horninového masivu injektážemi. Realizace tohoto postupu potvrdil i injektážní pokus. Je proto nezbytné realizovat „Doplnkový geotechnický průzkum pomocí ražených děl“. Komplexní vyhodnocení výsledků tohoto průzkumu bude podkladem pro kvantitativně i kvalitativně neefektivnější návrh doplnkových opatření pro ražbu stanice Pankrác D i přilehlých traťových tunelů.

Projektant provedl kontrolní ocenění prací, které budou prováděny v rámci „Doplnkového průzkumu pomocí ražených děl“. Je třeba zdůraznit, že navržené profily průzkumných děl budou při následné stavbě iniciačního úseku Pankrác–Olbrachtova téměř v plném rozsahu využity jako úvodní dílčí výrubu. Z celkových nákladů na tento průzkum vlastní průzkumné práce představují jen 9 % a zbývajících 91 % jsou náklady na ražbu průzkumných šachet a tunelů, které budou v plném rozsahu využity při následné výstavbě trasy D v úseku Pankrác–Olbrachtova.

V červnu letošního roku byl popsán rozsáhlý průzkum zahájen. S ohledem na jeho rozsah byla tato událost mediálně interpretována (podle našeho názoru oprávněně) jako „zahájení výstavby Trasy D pražského metra“. Před zahájením prací byly návrhy zajišťovacích konstrukcí v některých místech upraveny po dohodě s prováděcími firmami. Aktuálně (na začátku listopadu) je ve všech čtyřech lokalitách prováděno hloubení šachet. V lokalitě PAD1b bylo ukončeno hloubení s pilotovým pažením a probíhá úpadní ražba šachty do větší hloubky. V lednu 2020 se v lokalitách PAD4, VO-OL a OL1 předpokládá zahájení ražeb průzkumných štol.

Ing. Jiří Růžička, ruzicka@metroprojekt.cz

Ing. Miroslav Kochánek, kochanek@metroprojekt.cz

Ing. Tomáš Urbánek, urbanek@metroprojekt.cz

METROPROJEKT Praha a.s.

### Trasa D pražského metra – Doplnkový geotechnický průzkum v oblasti stanice Pankrác D

Ražené objekty na připravované stavbě čtvrté trasy pražského metra v prostoru budoucí přestupní stanice Pankrác D a přilehlých traťových tunelů směrem ke stanici Olbrachtova tvoří rozsáhlý a technicky velmi náročný podzemní komplex, který bude realizován v obtížných geologických podmínkách. V průběhu několika předchozích etap geotechnického průzkumu „z povrchu“ se ukázalo, že bude nezbytné provést v této lokalitě podrobný, řádově více vypovídající geotechnický průzkum ražbou průzkumných děl a prováděním zkušebních horninových injektáží.

