

# ZKUŠENOSTI Z VÝSTAVBY PRVNÍ VYRAŽENÉ STANICE NOVÉ LINKY D METRA V PRAZE - STANICE OLBRACHTOVA

Václav Dohnálek, Štěpán Růžička & Roman Lutišan

*STRABAG a.s., Prague, Czech Republic*

Daniel Horváth

*SG Geotechnika a.s., Prague, Czech Republic*

Tomáš Urbánek

*METROPROJEKT Prague a.s., Prague, Czech Republic*

## ABSTRAKT:

Dokončení ražeb stanice Olbrachtova, první ražené stanice nové linky metra D v Praze, představuje významný milník tohoto strategického infrastrukturního projektu. Stanice je situována v hustě zastavěném území Prahy 4 pod ulicí Na Strži a realizována novou rakouskou tunelovací metodou z několika zařízení staveniště.

Architektonicky i technicky jde o komplexní podzemní objekt tvořený dvojicí staničních tunelů s příčnými propojkami, technologickým tunelem a návaznými eskalátorovými tunely raženými ze severního a jižního vestibulu. Samotná ražba probíhala v náročných podmínkách silně rozpukaných bohdaleckých břidlic a v bezprostřední blízkosti obytných objektů nebo přímo pod nimi, což vyžadovalo kombinaci dobrého projektu, zkušeností zhotovitele, důsledné dodržování technologické kázně, spolupráci účastníků výstavby a zavádění moderních postupů.

Klíčovou roli sehrál geotechnický monitoring, který byl nepřetržitě prováděn v průběhu všech ražeb. Monitoring deformací podzemního díla, terénu i povrchové zástavby umožnil pružně reagovat na chování masívu. Na základě jeho výsledků a možnosti online sledování některých veličin byla řízena ražba a opatření při ní jako např. kompenzační injektáže organicko-minerálními pryskyřicemi nebo snižování hlukové zátěže. Tento postup vedl k minimalizaci sedání povrchových objektů a snížení hlukové zátěže obyvatel v okolí stavby. Monitoring tak potvrdil správnost zvolených technologických řešení a poskytl jistotu jak investorovi, tak zlepšení hlukových poměrů obyvatelům dotčeného území. Kvalitní výsledky měření a získané zkušenosti jsou zároveň důležitým podkladem pro navazující etapy výstavby dalších stanic a traťových tunelů linky D. Shodně napomohl úspěšnému výsledku ražby stanice i předchozí monitoring realizovaný formou průzkumných ražených děl.

Výstavba stanice Olbrachtova ukazuje, že i v mimořádně složitých geotechnických a prostorových podmínkách lze ražbu realizovat bezpečně, efektivně a s ohledem na okolní prostředí. Úspěšně byly dokončeny ražby staničních tunelů včetně propojek a technologického tunelu, jižního a severního eskalátorového tunelu. Nejnáročnější přitom byla ražba v propojce sever stanice, kde se sbíhá hned sedm podzemních děl. Dokončeny jsou i veškeré nosné konstrukce jižního vestibulu pod úrovní důležité Pražské dopravní tepny, ulice Na Strži, ve které byl opět obnoven provoz. Ve stanici pokračují práce na hydroizolacích, sekundárním ostění a vnitřních nosných konstrukcích.

Velký přínos pro řízení stavby přinesly moderní technologie, zejména CDE, 3D modelování, laserové skenování a pravidelné UAV snímkování. Tyto metody výrazně zlepšují prostorovou koordinaci, zpřesňují provádění prací včetně jejich vykazování a urychlují rozhodovací procesy.

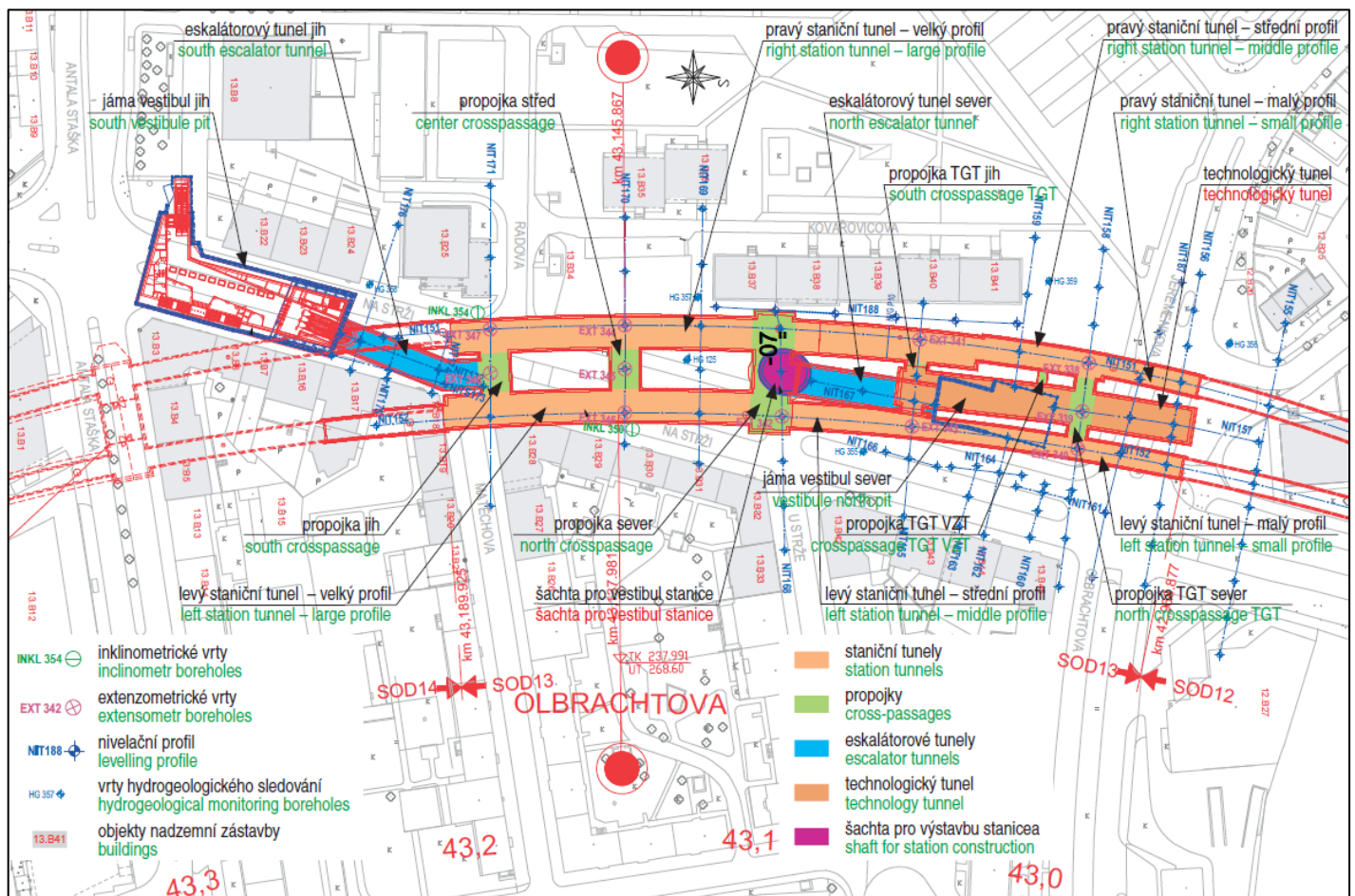
Díky součinnosti všech účastníků výstavby a nasazení inovativních postupů se stavba i po třech letech realizuje v souladu s harmonogramem. Z pohledu dalšího postupu bude rozhodující dokončení trvalých železobetonových konstrukcí technologického tunelu a propojky sever. Zkušenosti z Olbrachtovy potvrzují, že kvalitní projekt, příprava, důsledná kontrola a využití moderních technologií jsou nezbytným předpokladem úspěšné výstavby metra v náročném městském prostředí.

# 1. METRO D A ÚSEK I.D1A PANKRÁČ – OLBRACHTOVA

První úsek trasy D (označeny I.D) o délce 10,6 km zahrnuje těchto deset stanic. Projekt výstavby Metro D je členěn do několika na sebe navazujících etap. Tou první je I.D1a Pankrác – Olbrachtova (nyní 03/2026 v realizaci). Navazuje na ní I.D1b Olbrachtova – Nové Dvory s přístupovými tunely z lokality Písnice (nyní zahájení realizace). Další jsou pak výstavby hloubených stanic a ražený úsek na Náměstí bratří Synků.

První úsek I.D1a Pankrác – Olbrachtova realizuje sdružení firem Subterra a.s., HOCHTIEF CZ a.s., STRABAG a.s., HOCHTIEF Infrastructure GmbH a Züblin Aktiengesellschaft. Projektovou dokumentaci pro realizaci dodává společnost METROPROJEKT Praha a.s.. Úsek v podzemí je tvořen dvěma stanicemi, mezi-staničním tunelovým úsekem, odstavnými a větracími tunely, propojovacím tunelem k trase C a hloubenými vestibuly na povrchu. Tunely jsou raženy observační metodou s velkým důrazem na kotvení čelby, zlepšováním parametrů horninového prostředí prostřednictvím tlakových chemických injektáží a s tuhým primárním ostěním pro minimalizaci deformací horninového prostředí. Realizuje se jako první z důvodu své složitosti a přítomnosti významného přestupního uzlu na trase C. Jde o náročné technické řešení, čemuž odpovídá i doba realizace přibližně 7 let.

Výše uvedená náročnost platí i pro stanici Olbrachtova. Ta je objemem obestavěného prostoru jednou z nejmenších. Jde o atypickou dvouložní stanici vedenou v oblouku v obtížných geotechnických poměrech pod městskou zástavbou.



Obrázek 1: situace stanice Olbrachtova

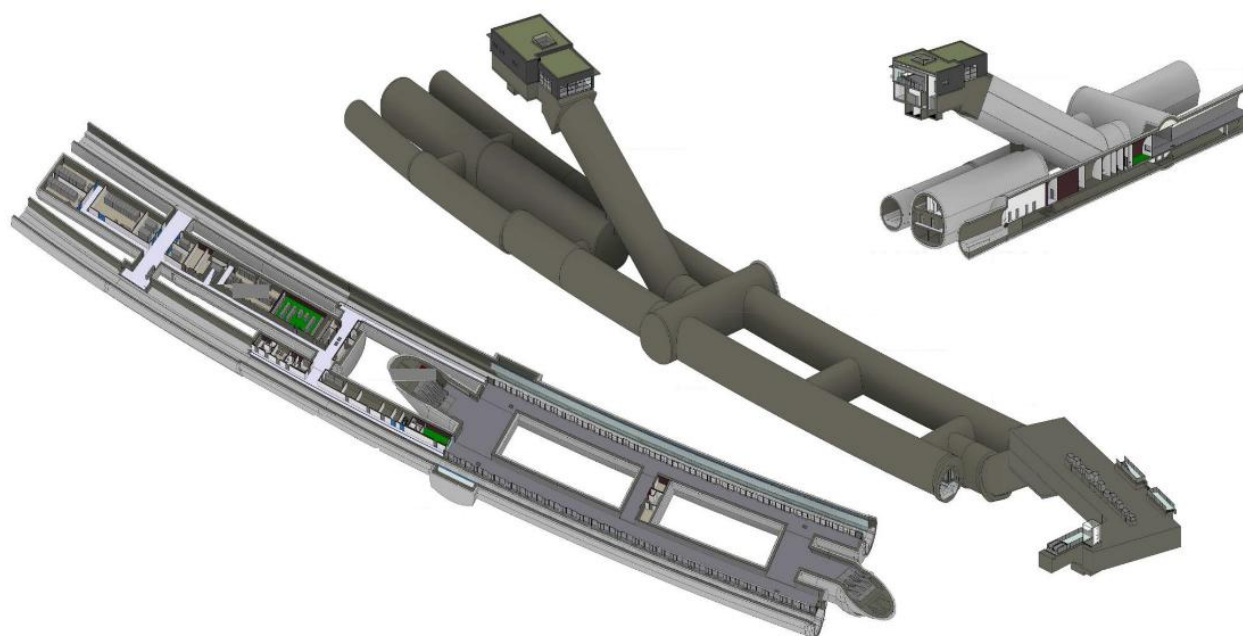
## 2. STANICE S PRACOVNÍM NÁZVEM OLBRACHTOVA

Stanice je umístěna pod ulicí Na Strži v úseku mezi křižovatkami s ulicemi Jeremenkova, Olbrachtova a, Antala Staška. V úrovni nástupiště je ražená a dělí se na veřejnou a technickou část. Veřejné prostory

tvoří dva samostatné staniční tunely, propojené na koncích nástupišť a ve středu stanice příčnými chodbami. Technická část se skládá ze dvou tunelů navazujících na staniční tunely a mezi ně vložený technologický tunel. Na povrchu má stanice severní vestibul v blízkosti křižovatky ulic Olbrachtova a Na Strži a jižní vestibul přímo pod ulicí Na Strži u křižovatky s ulicí Antala Staška. Oba vestibuly jsou s podzemní částí stanice propojeny eskalátorovými tunely.

## 2.1 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Stanice Olbrachtova jejíž nástupiště je situováno v hloubce 27 metrů bude po svém dokončení jedinou raženou stanicí Pražského metra v oblouku. Poloměr pravé koleje je 826 m a poloměr levé koleje je 800 m. Nástupiště svým charakterem připomíná stanice s oddělenými bočními nástupišti. Díky bezkoliznímu přístupu cestujících na obě nástupiště odpovídá stanicím s ostrovním nástupištěm. Celková délka stanice činí 223 m a je umístěna 31 metrů hluboko. Z toho nástupiště má délku 100 m. Staniční tunely mají šířku výrubu 10,6 m, výšku 9,2 m a plochu výrubu pouhých 89 m<sup>2</sup>. Toto řešení má dva důvody. První je malé budoucí vytížení stanice cestujícími díky blízkosti stanic metra Pankrác a Budějovická. Dalším jsou nepříznivé geologické poměry (bohdalecké břidlice), které neumožňují realizaci velkorozměrových výrubů typu jednolodních stanic s blízkostí povrchové zástavby (obrázek 2). Do příčných chodeb na koncích nástupiště jsou zaústěny výstupy ze stanice.



Obrázek 2: 3D model stanice Olbrachtova

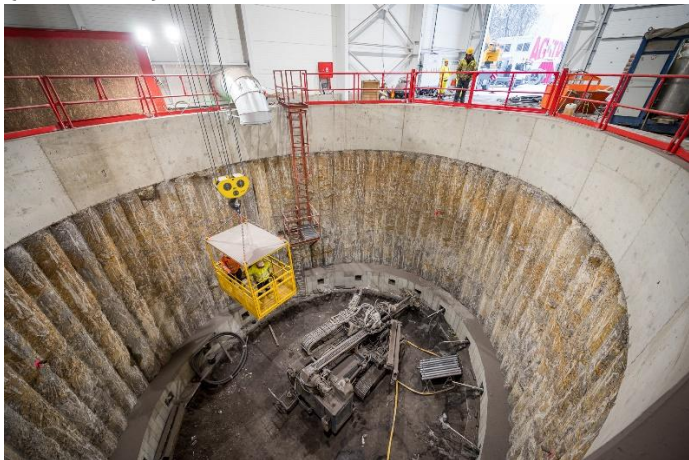
## 3. POSTUP VÝSTAVBY RAŽENÉ ČÁSTI STANICE OLBRACHTOVA

Klíčovým objektem pro realizaci podzemní části je šachta pro výstavbu stanice. Šachta je jediný přístup pro provádění většiny prací v podzemí, včetně svislého přesunu rubaniny, materiálu, pracovníků a mechanizace. V její blízkosti se nachází obytné objekty. Proto byla nad šachtou smontována hala o rozměrech 27,5 m x 15,1 m na portálový jeřáb s nosností 40 t. Hala slouží zejména jako protihlukové a protiprašné opatření. K tomuto účelu bude sloužit až do konce montáže technologií.

### 3.1 ŠACHTA PRO VÝSTAVBU STANICE

Celková hloubka šachty je 34,4 m. Prvních 15 m pod povrchem je zajištěno převrtávanými pilotami (obrázek 3). Šachta se pod úroveň pilot atypicky postupně rozšiřuje, aby se její statické působení správně rozložilo na zesílené pilíře primárního ostění všech 5-ti navazujících podzemních děl. Těmi jsou propojovací tunel sever východní a západní část, oba staniční tunely a eskalátorový tunel sever. Ode dna pilot je šachta zajištěna kombinací ostění ze stříkaného betonu s KARI sítěmi a příhradovými rámy, společně s masivním jehlováním a radiálním kotvením. Hloubka jednoho záběru obsahujícího všechny tyto prvky

je 1 m. Náročnost výstavby stanice spočívala zejména v nutnosti neustálé výměny strojní mechanizace mezi povrchem a podzemím pro každou pracovní operaci v jednotlivém záběru z důvodu malých rozměrů šachty. Šachta byla zahájena vrtáním pilot v červenci roku 2022 dokončena na konci května roku 2023. Následně byla zasypána po úroveň dna horní části výrubu rozrážek propojovacího tunelu sever (obrázek 4).



Obrázek 1: vrtání lanových kotev v šachtě pro výstavbu stanice uvnitř protihlukové haly



Obrázek 4: rozrážka propojky sever ze šachty pro výstavbu stanice

### 3.2 STANICE

Jako první byl ražený propojovací tunel sever profilu 118 m<sup>2</sup>. Tento tunel byl dle zastižených podmínek realizován v technologické třídě TT5c. V této třídě je tunel horizontálně rozdělen na sedm dílčích výrubů. Ražba této části probíhala do června roku 2023.

Zároveň s ražbou propojovacího tunelu sever byly realizovány i krátké zarážky staničních tunelů směr Pankrác. Tím byla zabezpečena prorážka staničních tunelů ražených od Pankráce. Po dokončení ražby propojovacího tunelu sever byla v říjnu 2024 zahájena ražba levého staničního tunelu směr Krč a v listopadu pravého staničního tunelu směr Krč. Ražba obou tunelů probíhala dle zastižených podmínek nejdříve technologické třídy TT5c s dělením výrubu na sedm dílčích profilů. Následně díky zlepšení zastižených geotechnických podmínek přešla ražba na obou tunelech do technologické třídy výrubu TT5b s dělením na 5 dílčích profilů.

Díky tomu se zjednodušil a zrychlil postup ražeb, zjednodušila logistika a zvětšil prostor pro odstavení strojní mechanizace. Nezbytnou součástí ražeb bylo kontinuální zajišťování a zlepšování bezprostředního okolí díla chemickou injektáží silikátovou pryskyřicí DSI Underground Mineral Bolt. Předpolí výrubu bylo zlepšováno tlakově chemicky injektovanými čelbovými kotevními tyčemi s opakovaním po 4 metrech. Každé dva metry byl dále realizován jehlový deštník s chemickou tlakovou injektáží. V každém záběru byly chemicky injektované radiální svorníky. Takto upravené horninové prostředí zvýšilo stabilitu výrubu, výrazně omezilo přítoky do podzemí. Díky tomu došlo k redukci sedání nadzemní zástavby. Ražba obou tunelů probíhala současně, tak aby v jednom probíhalo strojní rozpojování a ve druhém se vystrojoval a stabilizoval výrub. Úzkým hrdlem pro zásobování byla svislá těžní šachta. Pro příklad jenom rubaniny bylo přes 35 000 m<sup>3</sup>.

Během ražeb staničních tunelů, byla zahájena současně ražba propojky střed, s příčným profilem 73 m<sup>2</sup>. Nově vyražený objekt znamenal vítanou možnost pro deponování materiálu potřebného pro ražby. Po vyražení staničních tunelů byly definitivně zajištěny jejich čelby v místě budoucí prorážky traťových tunelů. Práce na levém a pravém staničním tunelu trvaly od října 2023 do září 2024. Po dokončení ražeb staničních tunelů byla realizována i propojka jih, která je navíc doplněna o propojení s jižním eskalátorovým tunelem (obrázek 5). V těchto místech se oproti předpokladu z ražby staničních tunelů objevila při dobírání protiklenby vodorovné části eskalátorového tunelu velmi tvrdá břidlice. Mechanické rozpojování zde trvalo pětkrát déle.

Při dokončování ražeb byly zahájeny práce na hydroizolaci a sekundárním ostění staničních tunelů i tunelových propojek. Hydroizolační systém tvoří ochranná geotextilie 800 g/m<sup>2</sup>, měkčená PVC fólie tl. 3 mm se signální vrstvou, spárové pásy svislé i vodorovné na stycích jednotlivých bloků a pracovních spár. Součástí je i pojistný injektážní systém. Klenba je vyztužena obloukovými příhradovými rámy Bretex se

dvěma vrstvami KARI sítí 150 × 150/8 × 8 mm doplněná o příložky. Beton klenby je třídy C 30/37 XC1 tloušťky 500 mm.

Budoucí technologické centrum zajišťující napájení, provoz a bezpečnost stanice se nachází mezi neveřejnou částí staničních tunelů směr Pankrác. Technologický tunel (TGT) se dělí na velký profil se třemi podlažními a malý profil se dvěma podlažními. Celý tunel se razil z propojky sever technologického tunelu (obrázek 6) poté co naběhla dostatečná pevnost sekundárního ostění obou přilehlých staničních tunelů. Razilo se na obě strany najednou. Veškeré ražby proběhly v technologické třídě výrubu TT5c se svisle členěnou kalotou. Se svými 124 m<sup>2</sup> raženého profilu byl velký profil největším raženým objektem stanice. Ražba byla dokončena v říjnu roku 2025 a od té doby až doposud (03/2026) se provádí izolace a sekundární ostění.



Obrázek 5: geodetické zaměřování příhradových rámu ve dně



Obrázek 6: vrtání čelových kotev v technologickém tunelu propojky jih stanice

### 3.3 ESKALÁTOROVÉ TUNELY JIH A SEVER

Oba eskalátorové tunely byly raženy převážně úpadně, ve sklonu 30 stupňů. Eskalátorový tunel jih má ražený profil 81 m<sup>2</sup>, šikmá část je dlouhá 37 metrů a vodorovná 18 metrů. Razí se ze dna podzemního vestibulu jih a bude osazen trojicí eskalátorů. Eskalátorový tunel sever je delší a s větším výrubem. Razí se ze dna povrchového vestibulu, šikmá část dosahuje délky 49 metrů a má profil výrubu 102 m<sup>2</sup>. Mimo trojici eskalátorů bude vybaven i šikmým výtahem (bezbariérový přístup do stanice).

Ražby obou eskalátorových tunelů byly zahájeny v technologické třídě TT5c se svisle členěnou kalotou. S narůstajícím nadložím a zlepšujícími se geotechnickými podmínkami přešly ražby do třídy výrubu TT5b bez svislého členění kaloty. Pro jižní eskalátorový tunel byla logistika navržena v podobě plošiny pro dopravu mechanizace i materiálu jedoucí po kolejkách, pro severní tunely byl naopak zvolen hřeblový dopravník Ostroj TH 502-M odtěžující rubaninu. Způsob těžby bagrem přímo na hřeblový dopravník se ukázal jako efektivnější. Severní eskalátorový tunel byl v prvních metrech zajištěn dvouřadým mikropilotovým deštníkem. Zde byla poprvé v České republice použita technologie spojování mikropilot mechanickým slisováním (DSI).

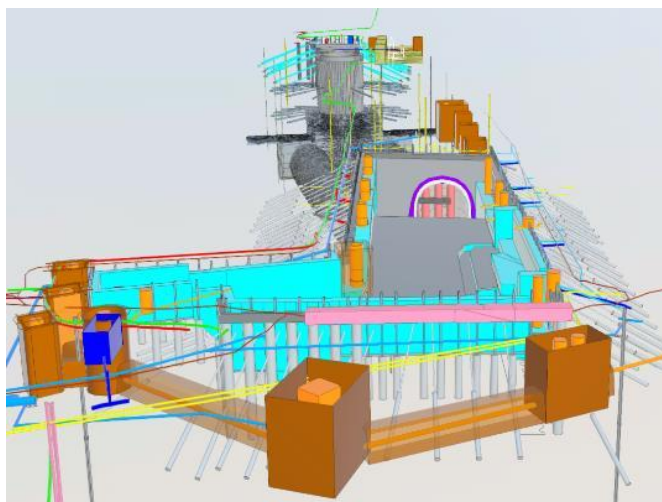
Ražba šikmé části jižního eskalátorového tunelu byla započata v únoru a dokončena v prosinci roku 2024. Sekundární ostění bylo dokončeno v srpnu roku 2025. Systém izolace a sekundárního ostění obou eskalátorů je obdobný jako ve stanici. Ražba severního eskalátorového tunelu byla zahájena v září 2024 a dokončena v září 2025 včetně svislého propojovacího krčku do technologického tunelu.

Při ražbě obou eskalátorových tunelů byla vodorovná část ze stanice a přilehlá šikmá část opěří a dna vyražena protiražbou ze stanice, což se ukázalo jako výrazně efektivnější a rychlejší. Předpoklad dokončení práce na sekundárním ostění severního eskalátorového tunelu je v červnu 2026.

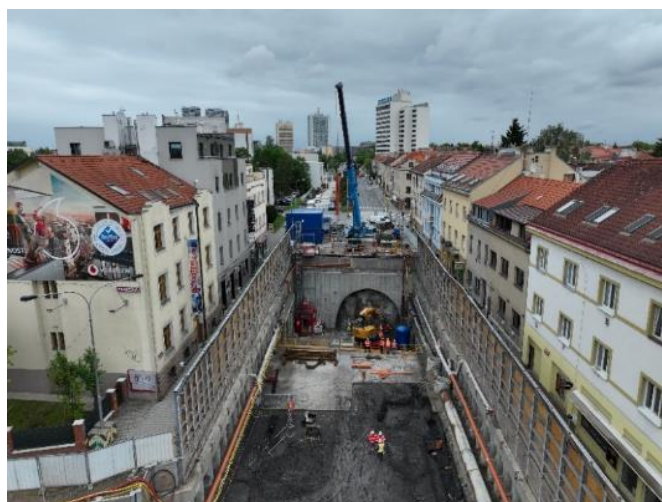
### 3.4 HLOUBENÉ VESTIBULY

Zároveň s realizací stanice probíhaly i práce v oblasti obou vestibulů stanice. Byly doprovázeny nutnými protihlukovými opatřeními z důvodu blízkosti obytné zástavby. Skládají se zejména z protihlukových stěn, bariér a zvukově pohltivých obkladů, měření hluku a organizačních opatření pro hlučnější práce.

Jižní vestibul byl hlouben v místě ulice Na Strži. Proto se nejprve provedli přeložky inženýrských sítí (obrázek 7). To bylo společně se zahájením stavby od dubna 2022. Dle hloubky se postupně překládali optické sdělovací sítě, metalické kabely řízení světelné signalizace, veřejné osvětlení, elektrické nízkonapětové kabely, silové kabely 22 kV, ražené kanalizace DN600/1100, nízkotlaké potrubí plynovodu, vodovodní potrubí i veškeré přípojky těchto sítí do nemovitostí. Část přeložek nutná pro zahájení prací na vestibulu byla dokončena přibližně po 14-ti měsících v červnu roku 2023. Celkem bylo provedeno téměř 30 objektů přeložek v přibližně v 80-ti etapách. Poslední přeložky byly provedeny společně s dokončením hrubých konstrukcí vestibulu na konci roku 2025.

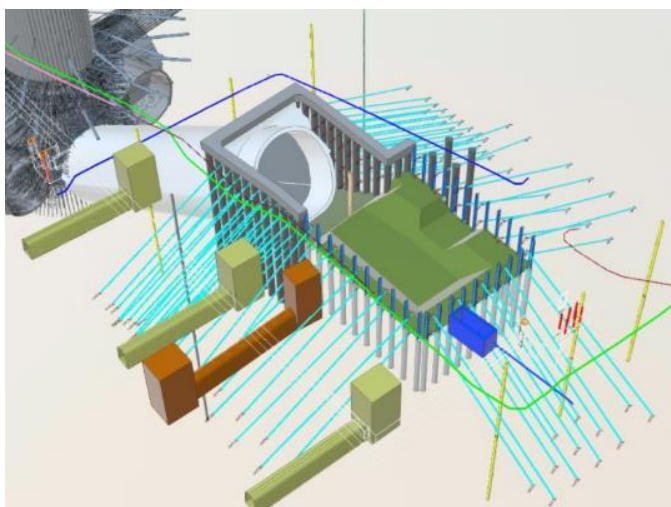


Obrázek 7: 3D model jižního vestibulu včetně všech nutných inženýrských sítí



Obrázek 8: Pohled z dronu do jámy jižního vestibulu přeložek s protihlukovými stěnami při bourání pilot jižního vestibulu v prostoru portálu eskalátorového tunelu jih

Práce na jižním vestibulu byly zahájeny v polovině roku 2023 realizací vrtaných pilot. Jáma pro vestibul zabírá kompletní šíři jízdních pruhů ulice Na Strži, která musela být zcela uzavřena na 36 měsíců. Prvky zajištění stavební jámy tvoří železobetonové piloty průměru od 600 mm do 1200 mm a záporny od HEB 120 po IPN 300, doplněné o hlavový trám na pilotách a převázky s lanovými kotvami ve dvou až třech kotevních úrovních. Zemní práce na vestibulu pak trvali od září roku 2023 do června roku 2024 (obrázek 8). Následovaly práce na podkladních vrstvách hydroizolací, izolace, definitivní železobetonové konstrukce a zároveň v jedné části i ražba eskalátorového tunelu jih. To vše společně s vozovkou a chodníky bylo dokončeno v prosinci roku 2025 bez časového zpoždění.



Obrázek 9: 3D model severního vestibulu včetně všech nutných přeložek a přípojek inženýrských sítí



Obrázek 10: pohled z dronu do jámy severního vestibulu se zvukově pohltivým obkladem na protihlukových bariérách při injektování mikropilotového deštníku eskalátorového tunelu sever

Severní vestibul se nachází na stejném zařízení staveniště jako šachta pro výstavbu stanice. V předstihu v roce 2022 kvůli hluku proběhlo zajištění stěn stavební jámy vrtanými železobetonovými pilotami

průměru 900 mm a ocelovými záporami IPE 330. Ostatní zajišťovací prvky byly obdobné jako u jižního vestibulu (obrázek 9) Zemní práce byly zahájeny až v březnu roku 2024 po uvolnění části prostoru staveniště na povrchu. Tento prostor před tím sloužil pro skladování při hloubení šachty pro výstavbu stanice a rozražení propojovacího tunelu sever. Zemní práce byly dokončeny v srpnu roku 2024 a poté byla zahájena ražba eskalátorového tunelu sever (obrázek 10). Po dokončení definitivních konstrukcí eskalátorového tunelu budou v květnu roku 2026 pokračovat práce na podkladních betonech, hydroizolacích a nosných železobetonových konstrukcích.

## 4. GEOTECHNICKÝ MONITORING

Komplexní geotechnický monitoring a pasportizaci stavby prvního úseku metra I.D Pankrác – Olbrachtova zajišťuje sdružení „Krték D monitoring,“ jehož vedoucím společníkem je firma SG Geotechnika a.s. se společnostmi INSET s.r.o., GeoTec-GS a.s. a PUDIS a.s.. Geotechnický monitoring je realizován z důvodu vysoké technické složitosti podzemního díla a jeho umístění v hustě zastavěném městském prostředí v kombinaci s obtížnými geologickými podmínkami. Monitoring pokrývá jak podzemní části (samotné ražby tunelů a kontrolu primárního ostění), tak horninové prostředí, povrchové objekty, stavební jámy vestibulů a inženýrské sítě v zóně vlivu stavby. Hlavním cílem je průběžné ověřování návrhových předpokladů, kontrola bezpečnosti výstavby a včasná identifikace rizikových deformací konstrukcí i okolního prostředí.

### 4.1. GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Staniční tunely Olbrachtova byly raženy v horninovém prostředí tvořeném ordovickými břidlicemi bohdaleckého souvrství. Ty jsou místy výrazně tektonicky porušené a vyskytují se v různém stupni zvětrání, což se projevuje zhoršenými mechanickými vlastnostmi horninového masivu. Skalní podloží je překryto kvarténními sedimenty a vrstvou antropogenních navážek, které byly zastiženy zejména v hloubených částech vestibulů a částečně i v eskalátorových tunelech.

Kvarténní pokryv tvoří především sedimenty Pankrácké terasy, reprezentované zeminami od hlinitopísčitých až po štěrkopísky. Nadloží tunelu dosahuje přibližně 24 m, přičemž mocnost antropogenních sedimentů je kolem 1,5 m a fluvialních zemin přibližně 6 m. Na rozhraní Pankrácké terasy a bohdaleckého souvrství se nachází hladina podzemní vody.

Tunely jsou raženy observační metodou s velkým důrazem na kotvení čelby, zlepšováním parametrů horninového prostředí prostřednictvím tlakových chemických injektáží a s tuhým primárním ostěním pro minimalizaci deformací horninového prostředí. Během ražeb byla v podzemí systematicky prováděna podrobná inženýrsko-geologická dokumentace výrubu doplněná fotodokumentací a geotechnickým pasportem. Ten obsahoval nákres čelby, textový záznam zjištěných skutečností, hodnocení kvality horninového masivu podle klasifikace QTS a doporučení k případným technologickým opatřením pro další postup ražby. Dokumentace byla zpracovávána pro každý stavební krok.

V průběhu ražeb byly zastiženy břidlice proměnlivé kvality, od relativně zdravých hornin (pevnostní třídy R3–R4) až po výrazně tektonicky porušené polohy (pevnostní třídy R5, místy až R6), přičemž tyto typy hornin se podél trasy tunelů často střídaly.

### 4.2. MĚŘENÍ

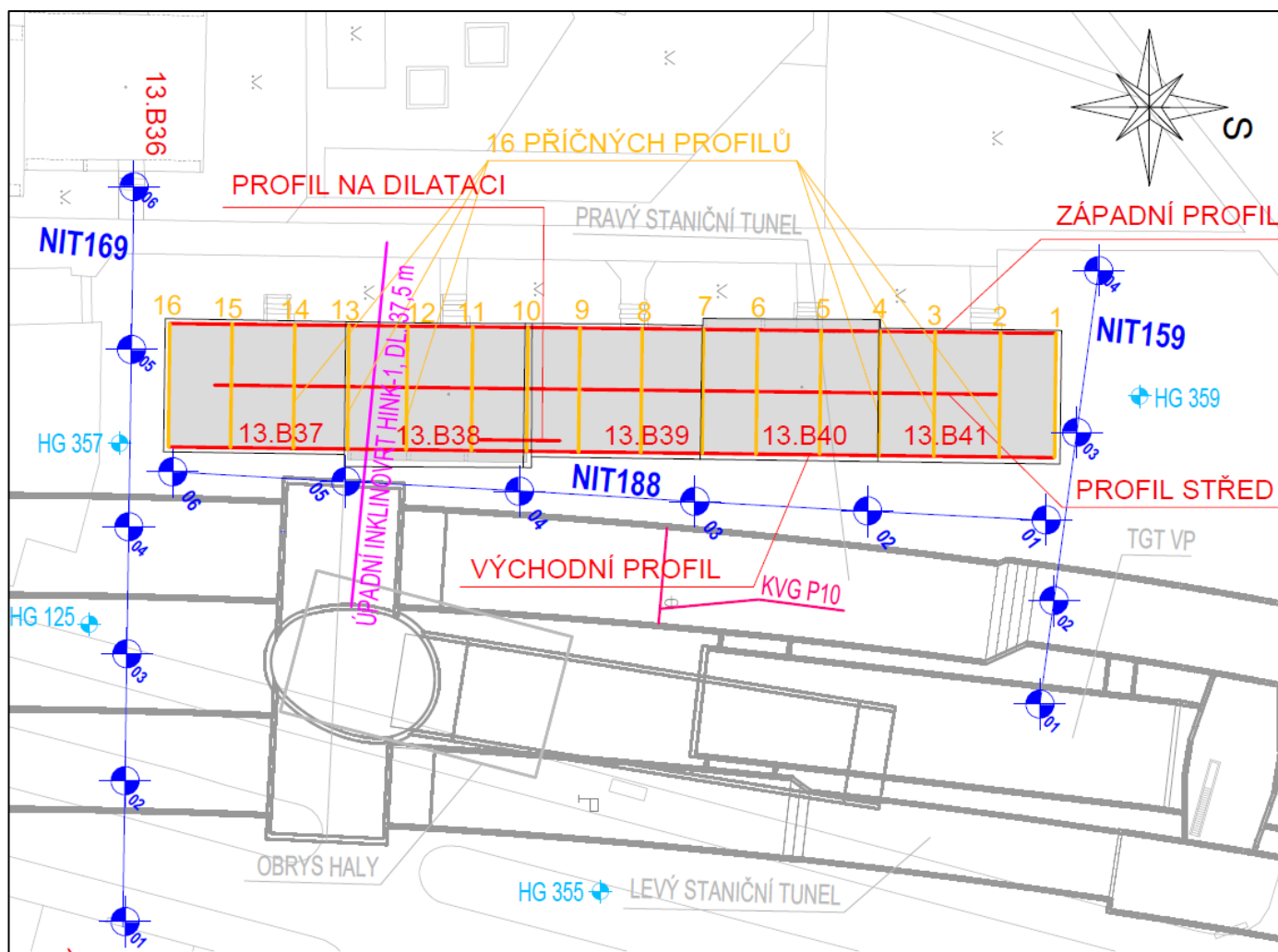
Jednou z hlavních činností monitoringu v podzemí je sledování chování výrubu a primárního ostění bezprostředně po vyražení díla. Toto chování je sledováno geodeticky ve třech rozměrech pomocí tzv. konvergenčního měření. Konvergenční profily mají v závislosti na velikosti příčného profilu výrubu různý počet měřicích bodů, zpravidla od 3 bodů (např. u propojky VZT) až po 9 bodů (u staničních tunelů velkého profilu, eskalátorového tunelu sever - ETS, propojky sever a tunelu TGT). V podzemí bylo rovněž sledováno napětí v primárním ostění. Měření bylo prováděno pomocí tenzometrů, které byly instalovány ve dvojicích v rubu a líci primárního ostění v tangenciálním směru. Maximální naměřené hodnoty napětí dosahovaly přibližně 25 MPa, a to jak v tlaku, tak v tahu.

Objekty na povrchu v zóně ovlivnění stavbou byly sledovány nivelační metodou, u vybraných objektů rovněž trigonometrickým měřením. Vývoj sedání v důsledku realizace stavby byl převážně příznivý a ve

většině případů se pohyboval pod statikem stanovenými kritérii varovných stavů (VS), přičemž celkové hodnoty sedání dosahovaly přibližně do 10 mm.

Specifickou skupinu objektů v zóně ovlivnění představovaly bytové domy (BD) Kovařovicova (13.B37 až 13.B41), u nichž byl zaznamenán mírně odlišný průběh deformačního vývoje. Jedná se o obytné panelové domy z počátku 70. let s jedním technickým suterénem a osmi nadzemními podlažími, realizované systémem prefabrikovaných velkoplošných panelů. Nosná konstrukce je po jednotlivých podlažích kloubově spojovaná, přičemž kritickým místem mohou být spoje mezi jednotlivými prefabrikovanými dílci. U tohoto typu konstrukčního systému může při selhání jednoho nosného prvku dojít k řetězovému porušení části konstrukce, tzv. progresivnímu kolapsu a nastat částečné nebo i celé zřícení budovy (viz případy z Anglie či Francie). Tyto konstrukční systémy jsou proto zvláště citlivé na nerovnoměrné sedání základů, které může vzniknout v důsledku podzemních stavebních činností. Z tohoto důvodu byla v objektech a blízkém okolí instalována rozsáhlá instrumentace geotechnického monitoringu a nastaveny velmi přísné varovné stavy na rovnoměrné i nerovnoměrné sedání objektu.

Objekty byly ve vrcholné fázi sledovány pomocí nivelace základů v exteriéru i interiéru, trigonometrického měření, dále soustavou deformometrů a tiltmetrů pracujících v automatickém režimu pomocí ASD čidel. V blízkosti objektů byly současně sledovány poklesy terénu ve dvou příčných profilech (NIT 169 a NIT 159) a jednom podélném profilu (NIT 188). Pro kontrolu deformací v podzákladí byl navíc ze severní propojky instalován subhorizontální inklinometrický vrt (obrázek 11).



Obrázek 12: Přehled osazených niv. profilů na objektech BD Kovařovicova (13.B37-13.B41)

### 4.3. VÝSLEDKY

Obecně lze konstatovat, že vývoj deformací výrubu (primárního ostění), zejména z hlediska konvergenčních měření, byl příznivý. Svislé i příčné deformace se ve většině případů ustalovaly pod stanovenými

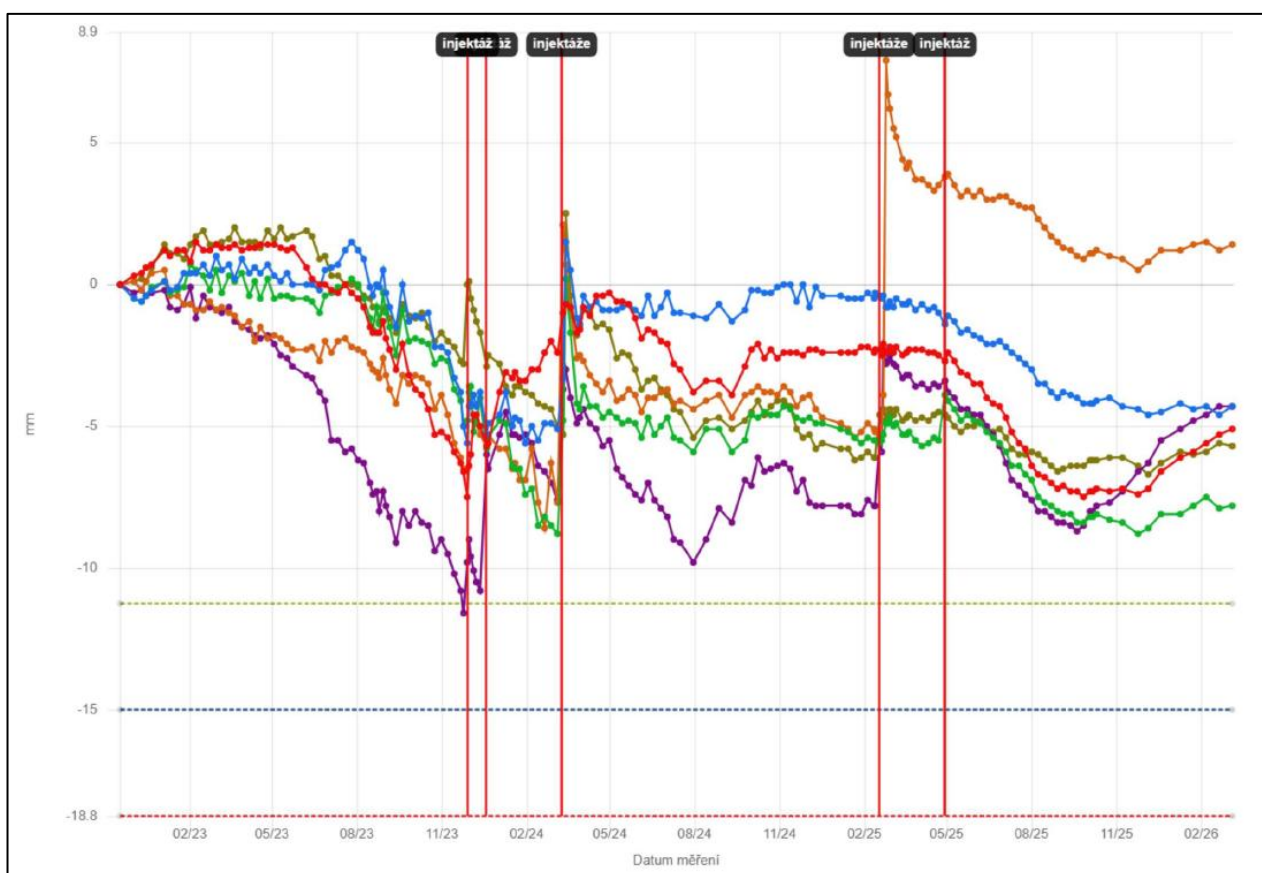
kritérii varovných stavů (VS). Pouze na několika profilech došlo k překročení 1. VS, například na profilu KVG P10, jehož poloha je znázorněna na obrázku 11.

Z výsledků sledování BD Kovařovicova vyplývá, že deformace základů zůstávaly po většinu času v příznivých hodnotách, a to i přes velmi přísně stanovené limity sedání  $A = 10$  mm a pro nerovnoměrné sedání  $A = 1:1667$ . Tyto limity byly stanoveny na základě expertního posudku pro určení přípustných hodnot deformačních charakteristik a odpovídá stupni 2 – mírnějšímu porušení s malými škodami, při kterém není snížena bezpečnost objektu, avšak může docházet k omezenému vzniku poruch. Lokálně bylo zaznamenáno překročení varovných stavů. Pro udržení deformací pod stanovenými limity byly během výstavby z podzemí realizovány kompenzační tlakové injektáže organicko-minerálními pryskyřicemi směrem k objektům BD Kovařovicova. První série proběhly v období listopad–prosinec 2023 a následně nejrozsáhlejší etapa v březnu 2024, doplněné průběžnými injektážemi menšího rozsahu při kontinuální ražbě. Další byly provedeny také v únoru 2025 a na přelomu dubna a května 2025.

To opakovaně vedlo ke zlepšení deformačního vývoje a k částečnému výzdvihu objektů. S pokračující ražbou staničních a eskalátorových tunelů docházelo k dalším pozvolným deformacím, což je u podzemní výstavby v měkkých plastických horninách očekávaný jev. Po jednotlivých etapách injektáží bylo zaznamenáno lokální nadzvednutí terénu o několik milimetrů, po němž následovalo postupné uklidnění.

Pro správné řízení injektáží sloužila i robustní síť ASD čidel. Automatická měření s hodinovým, případně desetiminutovým intervalem odečtů umožňovala sledovat a rychle vyhodnocovat reakce objektů na prováděné injektáže (průběžné i kompenzační) a operativně řídit množství i tlak. ASD čidla se sledovala i odezva konstrukce na vnější podmínky, jako jsou změny teploty či zatížení větrem.

Inovativním prvkem monitoringu bylo propojení standardních geodetických metod s automatickými systémy, zejména náklonoměry (tiltmetry), které umožňují průběžně sledovat chování konstrukce. Data z těchto zařízení slouží k hodnocení nerovnoměrného sedání mezi jednotlivými geodetickými měřeními a na jejich základě lze vytvářet tzv. poklesové linie, které jsou následně porovnávány s geodetickými výsledky a umožňují sledovat reakci konstrukce objektů téměř v reálném čase během významných podzemních stavebních činností, včetně prezentace výsledků formou animovaných grafů. Ty jsou k dispozici účastníkům výstavby odpovědným za bezpečné provádění ražeb ovlivňujících okolní objekty.



Graf 1: vývoj příčného posunu (sedání) v profilu NIT 188 s vyznačením kompenzačních tlakových injektáží

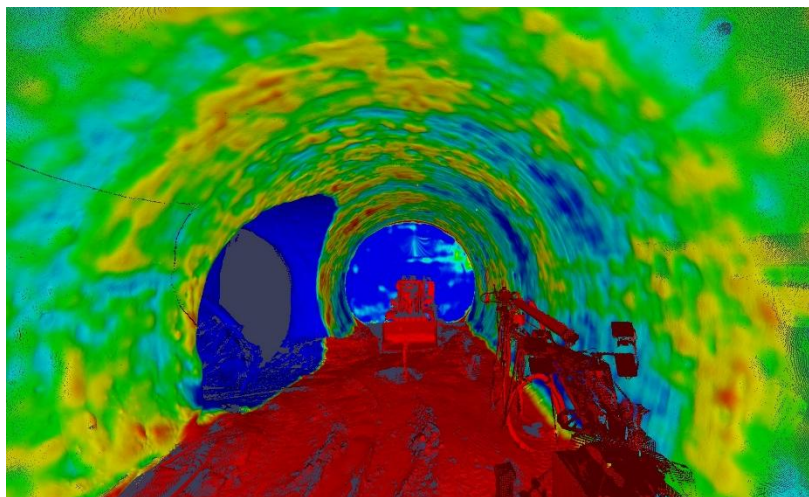
#### 4.4. VYHODNOCENÍ

Z aktuálního vyhodnocení všech sledovaných veličin po dokončení ražeb vyplývá postupné uklidnění deformačního vývoje objektů BD Kovařovicova. Monitoring objektů nicméně nadále pokračuje, a to v redukováném rozsahu sledovaných bodů a v upravených intervalech měření s ohledem na probíhající dokončovací práce na sekundárním ostění. I výsledky vyhodnocení nerovnoměrného sedání jsou v tomto ohledu příznivé, neboť nenaznačují vznik nepříznivých deformací ani negativních dopadů na konstrukci objektu.

#### 5. ZKUŠENOSTI S NASAZENÍM 3D TECHNOLOGIÍ

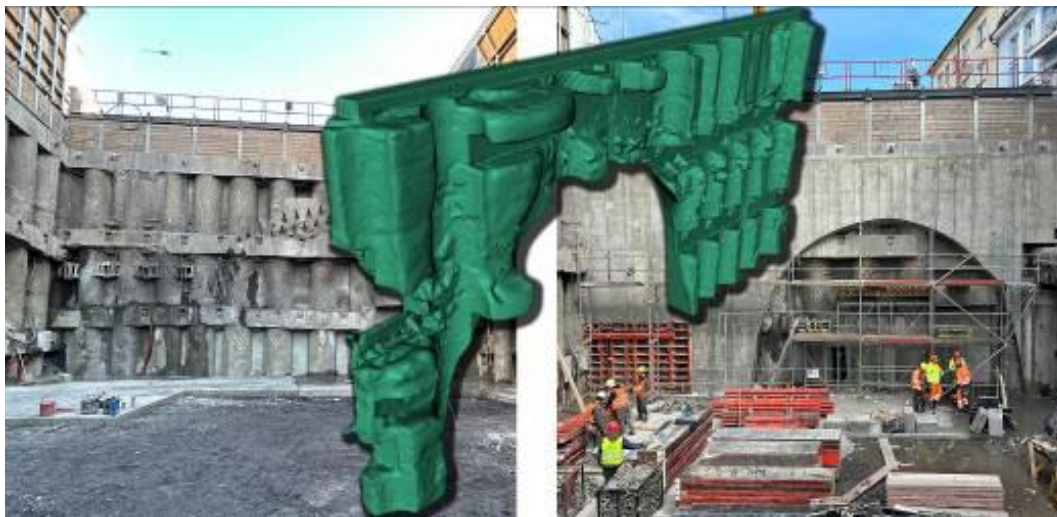
Na budoucí stanici Olbrachtova jsou od samého začátku k dispozici pokročilé možnosti, jak pružně pracovat s prostorovou koordinací projektu a situací na stavbě. Zároveň tyto technologie umožňují skutečné provedení komplexně zaznamenat bez nutnosti zbytečných prostojů. Tyto informace jsou soustředěny v interním společném datovém prostředí. Na jednom místě tak probíhá evidence připomínek a jejich sdílení.

V poslední dekádě jsou UAV (Unmanned Aerial Vehicle), jako například drony, dostupným prostředkem pro sběr dat na stavbách. Na zařízeních staveniště OL1 a OL2 probíhá periodické letecké snímání, tvorba mračen bodů a ortofotomapy. Při letech UAV v hustě osídleném prostředí musí být dodržována přísná opatření. Výhody leteckého snímání nejsou bezprostřední, projevují se až v delším časovém období. Ke konci roku 2025 bylo k dispozici 43 etap snímání. Tímto způsobem se daří jednoduchou formou udržet přehled o vývoji stavby a dokladování jednotlivých stavů. Hojně využívanou metodou k přenosu informací do „digitálního dvojčete“ stavby je metoda pozemního laserového skenování. Od samého počátku projektu zajišťuje přesný záznam skutečnosti, ať už jako podklad k měření provedeného množství prací, nebo jako obraz provedených prací. Neustále aktuální prostorová data umožňují zrychlit rozhodovací procesy vedení projektu, zjistit libovolný skutečný rozměr a porovnat jej s projektovaným stavem (modelem - viz obrázek 12).



Obrázek 12: prohlídka pravého staničního tunelu ve 3D s barevným porovnáním primárního ostění a projektovaného stavu, barva znázorňuje velikost odlehlosti

Kombinace těchto dat pomáhá zpřesnit i výpočty objemů plánované betonáže, jako tomu bylo například v jižním vestibulu stanice. Železobetonová ztužující předstěna portálu byla vylita do jednostranného bednění tvořící líc betonovaného tělesa. Rub betonovaného tělesa byl velice složitě vytvarovaný pilotami, stříkaným betonem, převážkami, ztužujícími trámy a dalšími prvky zajištění jámy. Navíc zajištění jámy dostalo v průběhu výstavby změn oproti projektové dokumentaci. Namodelované těleso se skládalo z projektovaného líce, rub představovalo skutečné zaměření stěny před zabeďněním (obrázek 13).



Obrázek 13: předstěna jižního eskalátorového tunelu – před betonáží, model tělesa a po betonáží

Před samotnou betonáží celé 9 m vysoké stěny tak byl znám její přesný objem, který se od projektovaného významně lišil. Tím se zamezilo neplánovanému prodloužení prací do pozdních nočních hodin. Obdobně se začíná tato metoda využívat pro výpočet a plánování betonáží jednotlivých bloků sekundárního ostění staničních i eskalátorových tunelů. Přednosti této metody vynikají zvláště ve složitých kříženích, kde je porovnání a výpočet přesného objemu komplikovanější než v přímém úseku tunelu (obrázek 12).

## 6. ZHODNOCENÍ ZKUŠENOSTÍ Z VÝSTAVBY

Po čtyřech letech výstavby jsou úspěšně dokončeny ražby stanice i eskalátorových tunelů. Dokončeny jsou i železobetonové konstrukce jižního vestibulu. Zbývá dokončit sekundární ostění technologického tunelu, severní propojky a severního eskalátorového tunelu. Jak je patrné z výčtu doposud provedených prací na stanici Olbrachtova, jedná se o komplexní inženýrské dílo, které vyžaduje od všech účastníků výstavby vysokou odbornost a inovativní postupy. Díky dobré součinnosti všech účastníků výstavby se i čtyři roky po zahájení díla stále daří provádět práce v souladu s harmonogramem.

Možná ještě důležitější je i vliv takto složité stavby na své okolí. Výsledky měření obecně potvrdily příznivé chování horninového masivu i konstrukcí, přičemž deformace se většinou pohybovaly pod úrovněmi varovných stavů. Tento průběh byl výsledkem vhodně projektantem navrženého postupu výstavby, jeho důsledného dodržování zhotovitelem, kvalitní inženýrské a projektové přípravy. Významnou roli sehrála také úzká spolupráce všech účastníků výstavby, mezi jejichž důležité nástroje pro řízení patřil geotechnický monitoring. Ten byl nepřetržitě prováděn po celou dobu výstavby a umožňoval pružně reagovat na chování horninového masivu, na případné deformace sledovaných objektů (na povrchu i v podzemí), anebo na hlukovou zátěž v oblasti. Tento přístup byl jedním ze základních předpokladů úspěšné realizace celého díla.

### LITERATURA

BARTÁK, J.; PŘIBYL, P. *Tunely na pozemních komunikacích*; ČVUT Praha: Praha, 2011. (Reference pro knihu).

HRUBEŠOVÁ, E.; ALDORF, J.; JANAS, P. *Využití prostorových numerických modelů pro dimenzování protivýbuchových bezpečnostních hrází*. *Tunel* 2010, 19 (1), 46–49. (Reference pro článek).

ALDORF, J. *The influence of time-dependant deformation properties of concrete on load and loading capacity of support of underground working*. In *Proceedings, Geomechanics 91 Hradec n. Moravici*; Rotterdam: Balkema, Ed.; 1992. (Reference pro příspěvek do sborníku konference).

*Tunel*. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES, 2014, 22(4), ISSN 1211 – 0728 (Časopis – celé číslo).

ITA AITES home page, [on-line], <http://www.ita-aites.org/en/>, 2015. (Webové stránky).

Česká agentura pro standardizaci: Koncepce BIM, [on-line], <https://www.koncepcebim.cz/koncepce>, 2023. (Webové stránky).

Leica Geosystem: Leica-RTC360-LT technický list, [on-line], <https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica-rtc360-lt-ds-897298-0422-en.ashx?la=en&hash=D7F9701C5E21DC4D707F99B2C638201F>

MARTÍNEK, L., URBÁNEK, T.; *Projekt pro provedení stavby; Výstavba trasy I. D metra v Praze - úsek Pankrác-Depo Písnice - Stavebně technologický celek*, 2018

MARTÍNEK, L., URBÁNEK, T.; *Dokumentace provedení stavby; Výstavba trasy I. D metra v Praze - úsek Pankrác-Depo Písnice - Stavebně technologický celek*, 2022 a 2023

***Ing. Václav Dohnálek***

***STRABAG a.s.***

***vaclav.dohnalek@strabag.com***

***Ing. Roman Lutišan***

***STRABAG a.s.***

***roman.lutisan@strabag.com***

***Ing. Štěpán Růžička***

***STRABAG a.s.***

***stepan.ruzicka@strabag.com***

***Daniel Horváth***

***SG Geotechnika a.s.***

***Daniel.Horvath@geotechnika.cz***

***Tomáš Urbánek***

***METROPROJEKT Praha a.s.***

***tomas.urbanek@metroprojekt.cz***