

# NOVÁ VÝZVA METRA V PRAZE – RAŽBA PŘESTUPNÍ JEDNOLODNÍ STANICE PANKRÁC D

Václav Anděl

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

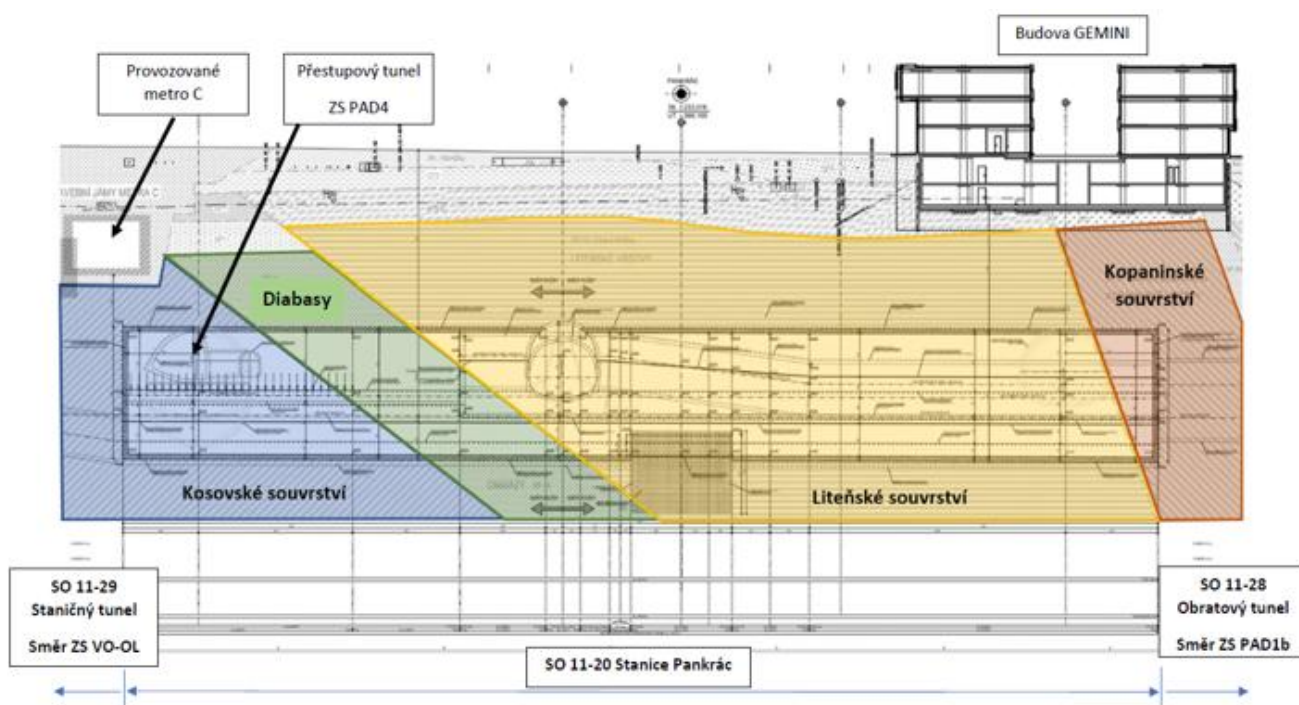
Štefan Ivor

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

**ABSTRAKT:** Stanice metra v Praze – Pankrác D je jednolodní přestupní stanice s bočními nástupišti. Bude to největší stanice na celé trase D a bude mít hned tři prvenství v rámci pražského metra: bude to první přestupní stanice ražená NRTM, první jednolodní přestupní stanice a první přestupní stanice s bočními nástupišti. Ražby stanice pobíhaly ze dvou směrů, z lokality PAD1b a VO-OL, vestibuly jsou hloubené ze stavební jámy v lokalitě PAD2. Kolejiště bude v hloubce 33 metrů pod povrchem. V příspěvku jsou popsány zkušenosti zhotovitele z ražeb jednotlivých částí jednolodní stanice Pankrác D se všemi použitými technickými opatřeními. Při ražbě stanice Pankrác D byla jako první nestandartně vyražena nejspodnější část profilu tzv. patní štola. Dalším specifikem byla realizace rozsáhlých chemických injektáží přes ocelové samozávrtné svorníky IBO 32 z důvodu zlepšení vlastností horninového masivu především v tzv. kosovském souvrství a minimalizaci přítoků podzemní vody do profilu stanice. Další zajímavostí je to, že ražba probíhá v těsné blízkosti provozované linky metra Pankrác C, konkrétně tuto provozovanou linku ražba podchází v nejmenší vzdálenosti cca 4 m.

## 1. STRUČNÝ POPIS GEOLOGIE STANICE PANKRÁC

Z geologického hlediska stanice Pankrác D přechází přes jádro synklinály budované silurskými horninami zastoupenými kopaninským a liteňským souvrstvím, které nasedají na horniny ordovické, zastoupené v úseku PAD4 kosovským souvrstvím, viz obr. 1. Mezi ordovickými a silurskými souvrstvími se nachází poloha paleozoického vulkanitu – diabasu.



Obrázek 1: Podélný řez stanici s geologií

## **1.1 KOSOVSKÉ SOUVRSTVÍ**

Kosovské vrstvy jsou nemladším ordovickým souvrstvím. Jedná se o flyšové souvrství, kde 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, břidličné vložky zde chybí. Celková mocnost souvrství se pohybuje kolem cca 80–120 m. Horniny jsou také značně tektonicky porušené, silně rozpukané a na odlučných plochách silně limonitizované. Vlivem flyšového charakteru jsou také náchylné k sesouvání. Při styku s vodou nebo vzduchem docházelo k rychlé degradaci kosovských břidlic.

## **1.2 LITEŇSKÉ SOUVRSTVÍ**

Liteňské vrstvy jsou vyvinuty jako 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. Vlastní břidlice jsou tence deskovitě vrstevnaté s velmi hojnou graptolitovou faunou na vrstevních plochách. Vrstevnatost je však často téměř neznatelná a jako hlavní predisponované plochy rozpadu se uplatňují pukliny.

## **1.3 DIABASY**

Na svrchnoordovické a spodnosilurské sedimenty je vázán diabasový vulkanismus, při kterém dochází k podmořským výlevům vulkanických těles doprovázených sopečnými vyvrženinami, tufy a tufity. Diabasy jsou zelenavě šedé, obecně velmi tvrdé, s charakteristickou ofitickou strukturou, kulovité či polštářovité odlučnosti. Zcela nepravidelně tvoří také silně zvětralé polohy hornin s jílovitým rozpadem. Diabasy tvoří především průniky ložních žil anebo plošné výlevy v různých hloubkách sedimentace zejména na rozhraní kosovských a liteňských, nebo liteňských a kopaninských vrstev. Izolované výskyty však byly dokumentovány i ve vrstvách liteňských nebo kopaninských. Diabasové žíly zde dosahují maximální mocnosti 10–30 m. Diabasový vulkanismus je doprovázený sedimentací tufů a tufitů. Jedná se o prachovité břidlice s příměsí vulkanického popela.

## **2. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY**

Nesouvislá hladina podzemní vody se vyskytuje především při bázi terasových fluviálních sedimentů v hloubce 6,0–7,0 m pod terénem, kde mocnost zvodněného kolektoru většinou nepřesahuje cca 1 m. Vzhledem k omezené přirozené infiltraci srážkové vody je dotace tohoto horizontu minimální. V horninách je voda vázána na přípovrchovou zónu rozvolnění hornin a na tektonicky porušená pásma. Ustálená hladina podzemní vody v hydrogeologickém masivu ordovických břidlic (puklinové prostředí) je v hloubce 15–20 m pod terénem. Při ražbě lze očekávat lokální koncentrované přítoky podzemní vody do tunelu především v místech tektonického porušení masivu. Z důvodu rozsáhlého použití chemických tlakových injektáží byly přítoky podzemní vody při ražbách stanice Pankrác D minimalizovány a většina z nich se projevila právě při provádění vrtů pro samotnou chemickou injektáž a při vrtání radiálních svorníků při ražbě.

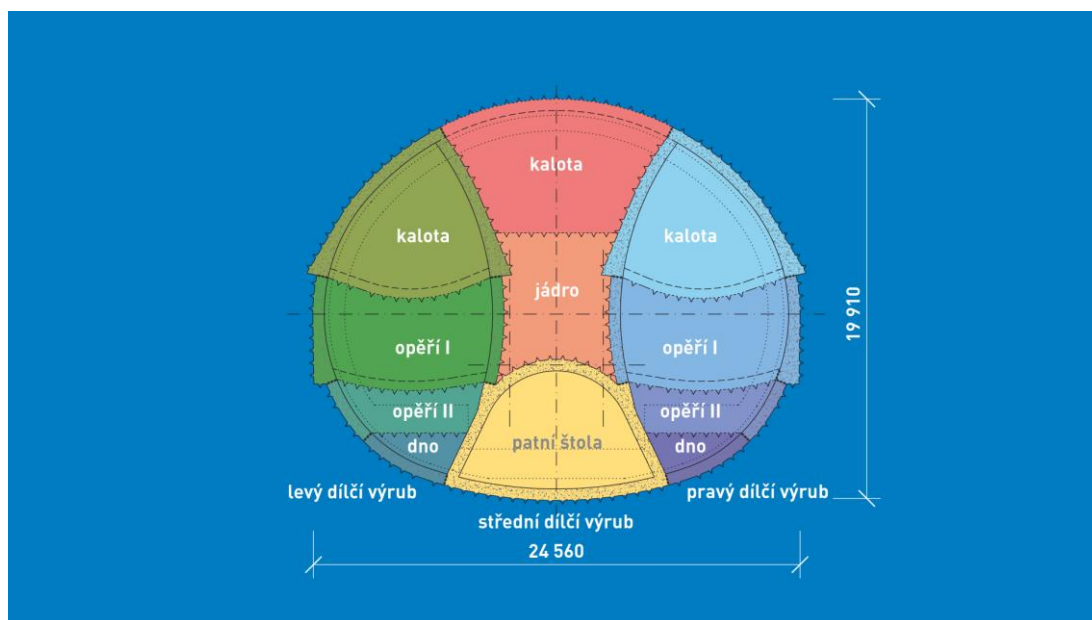
## **3. POSTUP RAŽEB STANICE PANKRÁC D**

Ražby stanice Pankrác D jsou z důvodu její velikosti a dostupnosti rozděleny na 11 dílčích výrubů, viz obr. 2. Z důvodu předpokládaných složitých geotechnických podmínek kosovského souvrství především v místě podcházení provozované linky C metra byl jako první netypicky vyražen nejspodnější profil tzv. patní štola, ze které byly následně provedeny tlakové chemické injektáže, tak aby došlo ke zpevnění jednotlivých vrstev v profilu budoucí stanice a cca 2,5 m nad její profil. Následně již ražby pokračovaly standartně od vrchních profilů směrem dolů, nejprve boční dílčí výrub, nakonec střední dílčí výrub s postupným vybouráním dočasných vnitřních konstrukcí včetně klenby patní štoly. Výhodou

netypického postupu ražeb bylo to, že při propojování primárního ostění kaloty středního dílčího výrubu již byl celý profil stanice uzavřený. Z důvodu výšky stanice Pankrác D cca 20 m a jediných možných přístupů z vertikálních šachet, byla patní štola ražena ze šachty na zařízení staveniště VO-OL, většina kalot bočních dílčích výrubů ze zařízení staveniště PAD4 a zbytek ražeb a bourání vnitřních konstrukcí ze zařízení staveniště PAD1b.

Ražby stanice probíhaly dle zásad Nové rakouské tunelovací metody. Z důvodu velikosti profilu byla délka záběru pevně daná, a to 1 m, tak aby bylo možné propojovat jednotlivé dílčí výrubu, především jejich výztužné rámy BTX. Obecně probíhaly ražby v technologických třídách TT5a nebo TT5b, kdy rozdíl byl především v tom, že v třídě TT5b byly součástí ražby použité chemické tlakové injektáže přes předháněné jehly, zatímco v TT5a byly všechny tyčové vystrojovací prvky pouze vyplněny tou samou chemickou směsí. TT5b byla použita ve značné míře v oblasti kosovského souvrství a v místech tektonicky postižených. Výhodou použití chemické směsi pro výplně tyčových vystrojovacích prvků bylo, že v případě navrtání podzemní vody bylo možné přes tyto prvky provést okamžitě tlakovou injektáž a přítok vody minimalizovat. Při ražbě a osazování výztužných rámu ve všech profilech byl velký důraz kladen na jejich co nejpřesnější montáž kvůli umožnění jejich následného propojování. Rozpojování horniny bylo prováděno buď strojně, především v kosovském souvrství, nebo kombinovaně s použitím trhacích prací v diabasech, liteňském souvrství a částečně při zastížení větších mocností křemenných pískovců kosovského souvrství.

Trhací práce byly značně omezeny seismikou okolních objektů, kdy maximální nálož na časový stupeň byla projektem trhacích prací stanovena na 0,8, resp. 1,2 kg. Největší výzvou z pohledu trhacích prací bylo jejich použití v těsné blízkosti linky metra C v čase jejího provozu, jelikož z hlukových limitů bylo možné trhací práce používat v čase mezi 6:00 až 22:00. Proto bylo s provozem metra dohodnuto, že odpal se provede v době, kdy vlaky metra mají co největší interval jízd, tj. mezi 21:00 až 22:00. Po přípravě trhacích prací byla s dispečerem metra potvrzena možnost provedení odpalu po tom, co ze stanice metra Pankrác C odjel vlak. Následně byla zaměstnancem provozu metra zkontrolována vizuálně část tunelu u provedeného odpalu a puštěn další vlak metra. Za celou dobu používání trhacích prací nebylo nutné řešit nějakou mimořádnou událost.



Obrázek 2: Rozdělení výrubů ražby stanice

### 3.1 RAŽBA PATNÍ ŠTOLY

Ražba patní štoly byla zahájena v červnu 2022. V první fázi byla doražena druhá polovina profilu patní štoly v délce cca 44 m, ta první byla vyražena v rámci inženýrsko-geologického průzkumu. Zbytek patní štoly, cca 86 m byl ražen v plném profilu, viz obr. 3. Velikost profilu byla cca 52 m<sup>2</sup> a vystrojení primárního ostění tvořil stříkaný beton, dvě vrstvy KARI sítí 8/150x150 mm, přídatná tyčová výztuž profilů 12, 16, 20 nebo 25 mm a výztužné rámy atypicky z ocelových profilů ve dně patní štoly v celé

délce a v klenbě především v části kosovského souvrství a v blízkosti eskalátoru GEMINI v liteňském souvrství. Ve zbytku byly jako výztužné rámy v klenbě použité klasické bretexy. Tloušťka primárního ostění byla 550 mm. Pro předháněné jehly, radiální svorníky a čelbové kotvy byly použité ocelové samozávrtné svorníky IBO průměru 32 mm v délkách 6 a 8 m. Po vyrazení záběru patní štoly na celý profil byl jako první smontován spodní díl výztužného rámu, následně byla provedena jeho fixace stříkaným betonem a poté byl smontován zbytek výztužného rámu v klenbě. Nevýhodou ocelových rámu z ocelových plechů byla nemožnost zastříkání celého rámu. Z důvodu menšího profilu patní štoly byly na ražbu použity menší tunelovací stroje, a to tunelbagr WIMMER Blue Badger nebo VOLVO ECR235 a na odtěžbu dumpř BERGMAN 815. Ražby patní štoly byly ukončeny v únoru 2023. Následně byly zahájeny práce na tlakových chemických injektážích.

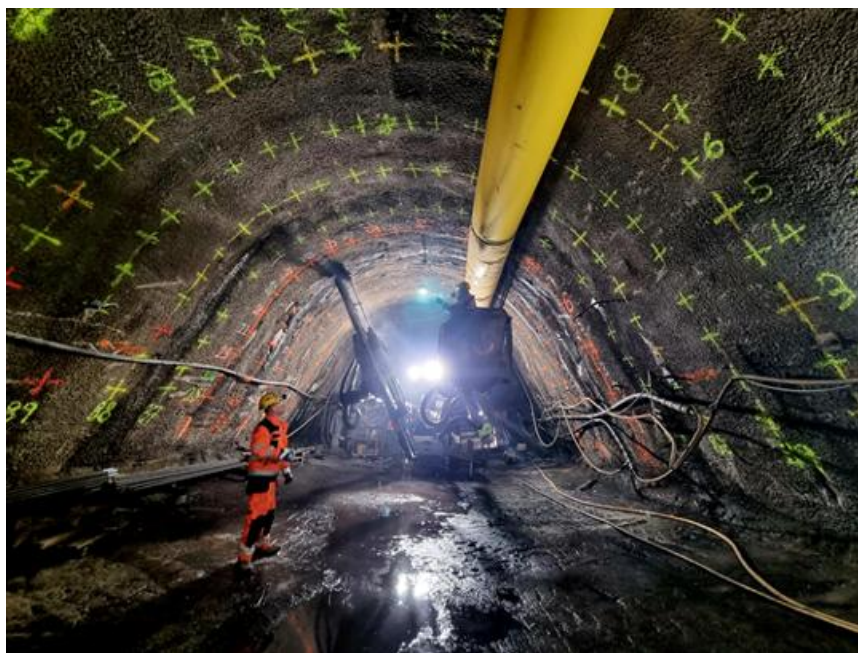


Obrázek 3: Ražba patní štoly

### 3.2 CHEMICKÉ INJEKTÁŽE Z PATNÍ ŠTOLY

Pro chemické tlakové injektáže byly použité dvoukomponentní polyuretany (CarboPur WF, WX) nebo dvoukomponentní organickominerální pryskyřice (CarboThix). Obecně byly organickominerální pryskyřice použity při injektážích jako součást ražeb přes předháněné jehly nebo čelbové kotvy. Polyuretany byly použity při injektážích mimo ražby např. po vyrazení patní štoly. Injektáže byly prováděny přes ocelové samozávrtné IBO svorníky průměru 32 mm různých délek od cca 8 m do 22 m přes primární ostění patní štoly. Důležitá jako obvykle byla příprava pro injektáže, která spočívala v rozkreslení míst jednotlivých vrtů s přesným označením každého vrtu, viz obr. 4. Vrtány a následně injektovány byly vrty v sekcích dlouhých cca 10 m s tím, že postupně byly navrtány a zainjektovány vrty ve vzdálenosti cca 4 m, aby se minimalizovalo zalepení sousedních vrtů a přes každý navrtaný vrt bylo možné provést tlakovou injektáž. V závislosti na délce vrtu se maximální tlaky injektáží pohybovaly od 40 barů po 80 barů. Další důležitou součástí přípravy pro injektáže byl výběr vhodných vlastností materiálů dvoukomponentních polyuretanů z hlediska času jejich tuhnutí po promíchání obou složek. Pro krátké vrty byl čas tuhnutí stanoven na cca 5 min., u dlouhých vrtů na cca 15–20 min. Kromě maximálních tlaků bylo projektem stanoveno maximální množství injektovaného materiálu pro každý vrt – 10 kg na 1 bm vrtu, aby docházelo k co nejmenšímu ovlivňování okolí prováděním injektáží. Při realizaci injektáží byl kontrolován a vyhodnocován monitoring okolí a v případě nežádoucích účinků, především zdvihu v místě injektáží, byly maximální tlaky nebo maximální množství injektáží redukovány. Z důvodu značného množství předpokládané spotřeby injektážní směsi byly jednotlivé složky chemie uloženy v IBC kontejnerech, což zjednodušovalo manipulaci s ní. Injektáž byla prováděna zpočátku pomocí pneumatických čerpadel GX45, následně byla použita zubová čerpadla SK90. Celkem

při tlakových injektážích z patní štoly bylo navrtáno 20 240 m vrtů a bylo zainjektováno 199 143 kg dvoukomponentních polyuretanů. Injektáže trvaly cca 2,5 měsíce.



Obrázek 4: Injektáže z patní štoly

### 3.3 RAŽBY KALOT A ČÁSTI OPĚŘÍ I BOČNÍCH DÍLČÍCH VÝRUBŮ

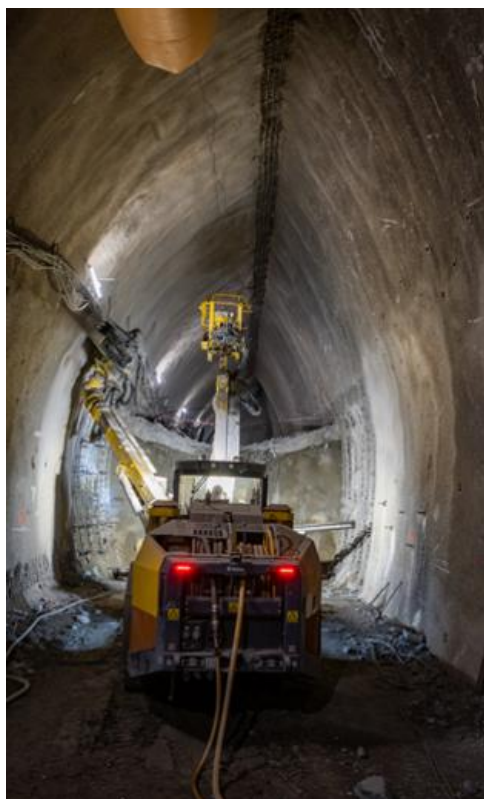
Po ukončení tlakových chemických injektáží z patní štoly bylo možné pokračovat v ražbách zbylých části stanice. Jako další bylo nutné vyrazit kaloty bočních dílčích výrubů, viz obr. 5. Tyto ražby probíhaly ze zařízení staveniště ZS PAD4 přes šachtu s maximálním příčným průřezem 7 m. Z tohoto důvodu opět nebylo možné použít pro ražbu standardní velikosti razicích strojů. Opět byl použit tunelbagr WIMMER Blue Badger nebo VOLVO ECR235, jako vrtací vůz EPIROC S2 a pro stříkaný beton MEYCO POCA. Ražba byla zahájena v květnu 2023 z části již vyraženého přestupného tunelu. Z důvodu omezené kapacity v podzemí a šachty byla nedříve vyražena kalota pravého dílčího výrubu a následně kalota levého dílčího výrubu, následně obdobně části opěří I. Pro vystrojení byly použity standardně dvě vrstvy KARI sítě 8/150x150 mm, stříkaný beton, přídatná tyčová výztuž profilů 12, 16, 20 nebo 25 mm, výztužné rámy bretex a jako tyčové vystrojovací prvky ocelové samozávrtné svorníky IBO průměru 32 mm a 51 mm. Čelba byla dělena na kalotu a dno kaloty, resp. opěří I a dno opěří I s tím, že maximální odstup byl 6 m u kaloty a 8 m u opěří I. Tloušťka primárního ostění kaloty, resp. opěří I byla 550 mm a dna kaloty, resp. dna opěří I 450 mm. Délka záběru u kaloty byla 1 m, dna kaloty a opěří I 2 m a dna opěří I 4 m.



Obrázek 5: Ražby kalot bočních výrubů

### 3.4 RAŽBY ZBYLÝCH ČÁSTÍ STANICE PANKRÁC D

Po doražení opěří I a z protější strany doražení tunelu obratových kolejí došlo k propojení se zařízením staveniště ZS PAD1b, kde je umístěna šachta s příčným profilem cca 20 m. Ražby zbylých profilů stanice mohly být raženy pomocí razicích strojů standartních velikostí, tj. tunelbagrem VOLVO ECR355 nebo Liebherr 950, vrtací vůz byl použit EPIROC E2C a pro stříkaný beton MEYCO POTENZA. Zároveň bylo možné razit zbylé části bočních dílčích výrubů v souběhu. Takto byly postupně vyraženy zbylé části kalot a opěří I, viz obr. 6 a na celou délku profily opěří II a dna bočních výrubů, viz obr. 7.



Obrázek 6: Ražba opěří I



Obrázek 7: Ražba opěří II a dna

V místě doražby kalot byla vyražená část přestupového tunelu z inženýrsko-geologického průzkumu, tento prostor musel být zalit výplňovým betonem. Na zalití byl použit beton TERRAFLOW 5, kdy garantovaná pevnost výplňového betonu byla min. 5 MPa. Zalití bylo ohraničeno dočasnými ŽB stěnami ze stříkaného betonu a KARI sítě s trny navrtnými z ocelových IBO tyčí průměru 32 mm. Zalívání probíhalo po vrstvách tloušťky cca 1,5 m, viz obr. 8. Celkem bylo použito cca 1000 m<sup>3</sup> výplňového betonu.



Obrázek 8: Zalívání části přestupu výplňovým betonem TERRAFLOW

Po vyražení opěří I byla provedena ražba propojky mezi oběma bočními výrubu v úrovni právě tohoto profilu, aby byl mezi nimi zachován přístup. Profily opěří II a dna byly nakonec raženy společně se záběrem 2 až 3 m. Tím došlo k propojení bočních výrubů s ostěním patní štoly ve dně stanice. Následně mohly začít práce na ražbě kaloty středního výrubu. Důležitou součástí ražeb bylo zachování určitého množství rubaniny ve stanici tak, aby bylo možné provádět ražby v různých výškových úrovních, tj. po doražbě opěří II a dna bylo nutné ponechat část rubaniny ve stanici pro následnou ražbu kaloty středního výrubu, která byla v úrovni cca 12 m od dna stanice. Ražba kaloty středního výrubu byla zahájena postupným rozražením z ostění levého dílčího výrubu směrem k pravému. Toto rozfárání proběhlo na délku cca 7 m, kdy došlo k propojení celého profilu stanice, kdy již ražba probíhala dle standartního postupu, viz obr. 9. Odstup ražby kaloty středního výrubu od možnosti zahájit vybourání dočasných vnitřních stěn bočních výrubů byl min. 6 m. Maximálně dle projektu bylo možné vybourat dočasné stěny za čelbou kaloty v délce záběru 2 m a maximálně 4 m za den, další bourání bylo umožněno až po časové přestávce min. 24 hod. od ukončení posledního stříkání zajištění místa klenby stanice po tomto vybourání. Po vyražení dalších cca 20 m kaloty středního výrubu bylo možné toto rozfárání zpětně dorazit a dopropojit zbylou část kaloty středního výrubu. Rozfárání bylo situované do části stanice s nejlepší geologií a co nejdál od povrchových objektů, především provozované linky metra C a budovy GEMINI. V době psaní tohoto článku zbývá dorazit cca 50 m kaloty středního výrubu, větší část ražby jádra středního dílčího výrubu a dobourání vnitřních dočasných konstrukcí. Nakonec zbývá vyrazit na cca 12 m délce stanice profil prohloubení v šířce celého dna pro kabelové křížení a prostor pro čerpací jímku.



Obrázek 9: Ražba kaloty SDV

### 3.5 ZESÍLENÉ PRIMÁRNÍ OSTĚNÍ STANICE PANKRÁC D

V místě křížení stanice s budoucím přestupovým tunelem přesně pod provozovanou linkou metra C ze statických důvodů navrhl báňský projektant zesílené primární ostění. Zesílené ostění bylo provedeno v délce cca 20 m. Ražba v těchto místech byla z tohoto důvodu nadvýšená o tloušťku 550 mm. Na vystrojení zesíleného ostění byly použity tři vrstvy KARI sítě 8/150x150 mm, stříkaný beton, přídatná tyčová výztuž průměru 16 mm a spřahovací trny z ocelových samozávrtných IBO tyčí průměru 32 mm délky 1,5 m, viz obr. 10.



Obrázek 10: Zesílené ostění stanice

## 4. ZÁVĚR

Ražba jednolodní stanice Pankrác D s příčným profilem kolem 400 m<sup>2</sup> ve složitých geotechnických podmínkách v těsné blízkosti provozované linky metra C u stejnojmenné stanice a v blízkosti dalších nadzemních (např. budova GEMINI) a podzemních objektů (např. kolektor PRE) vyžadovala velmi úzkou spolupráci všech zúčastněných na stavbě, od projektanta, přes monitoring, dozor investora a samotného investora, tak i zhotovitele. Zároveň byly nedílnou součástí kontroly příslušného báňského úřadu a odborných znalců projektové dokumentace. V prvních fázích stavby se tento úkol jevil jako těžko proveditelný. Až výsledky inženýrsko-geologického průzkumu a následné technické řešení spočívající především v použití chemických tlakových injektáží ale i chemické směsi jako výplně pro všechny vystrojovací prvky, dávaly možnost uklidnění. Avšak ti, kteří se podílejí na ražbách tunelů, vědí, že toto uklidnění nastává až po ukončení ražeb. Ražba stanice Pankrác D vyžadovala velkou pečlivost, přesnost a zkušenosti razičských osádek s důrazem na dodržování technologické kázně. Na druhou stranu z důvodu velké tloušťky primárního ostění 550 mm docházelo ke vzniku dutin na rozhraní s výrubem u postaveného bretexu a pro jejich minimalizaci bylo nutné tyto dutiny dostříkávat po vyražení záběru ještě před postavením dalšího výztužného rámu bretex.

## LITERATURA

- PRAVDA, V. *Generální projekt trhacích prací METRO D, Úsek stanice Pankrác a související objekty*. Praha, 2021, 20 s.
- URBÁNEK, T. *Dokumentace pro provedení stavby: Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek ID1a, Stanice Pankrác D, Ražba a primární ostění, Patní štola ražená z VO-OL*. Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2022.
- URBÁNEK, T. *Dokumentace pro provedení stavby: Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek ID1a, Stanice Pankrác D, Zlepšení horninového masivu, Injektáže z VO-OL*. Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2023.
- URBÁNEK, T. *Dokumentace pro provedení stavby: Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek ID1a, Stanice Pankrác D, Ražba a primární ostění, Pravý dílčí výrub*. Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2023.
- URBÁNEK, T. *Dokumentace pro provedení stavby: Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek ID1a, Stanice Pankrác D, Ražba a primární ostění, Levý dílčí výrub*. Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2023.
- URBÁNEK, T. *Dokumentace pro provedení stavby: Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek ID1a, Stanice Pankrác D, Ražba a primární ostění, Střední dílčí výrub*. Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2025.

***Titul, jméno, příjmení autora: Václav Anděl***

***Pracoviště: Subterra a.s.***

***E-mail adresa: vandel@subterra.cz***

***Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Štefan Ivor***

***Pracoviště: Subterra a.s.***

***E-mail adresa: sivor@subterra.cz***