



V původní projektová dokumentace z roku 2018 byla ražba řešena využitím Nové rakouské tunelovací metody s horizontálním členěním výrubu na kalotu, opěří a dno se svisle členěnou kalotou na levý a pravý dílčí výrub. Přístropí kaloty bylo zajištěno dvouřadými mikropilotovými deštníky z trubek  $\varnothing$  127 mm s tloušťkou stěny 12 mm vrtaných na délku 10 m do postupně se zvětšujícího výrubu, tzv. kapliček. V každé kapličce bylo provedeno max. 8 záběrů ražby maximální délky 0,8 m. Překryv MP deštníků byl cca 3,5 m. Tloušťka ostění ze stříkaného betonu byla navržena na 350 mm se dvěma vrstvami svařovaných sítí 8x8/150x150 a výztužným rámem v každém kroku.

Díky zapracování poznatků z inženýrsko geologického průzkumu bylo možné při realizaci změnit členění výrubu horizontálně na kalotu s provizorní plochou rozpěrnou deskou a protiklenbu. Zajištění přístropí a zlepšení horninového prostředí bylo provedeno předstihovou chemickou injektáží, která byla prováděna vrty vystrojenými samozávrtnými svorníky délky 8,0 m v každém čtvrtém záběru (obr. 1).

Zhotovitel zahájil v předstihu 1,5 roku před začátkem razičských prací vyvíjet prototyp plošiny pro dovrchní ražbu eskalátorového tunelu. Díky úsilí mnoha odborníků z různých odvětví byl nakonec ze dvou variantních řešení zvolen jeden, který umožňoval bezpečně provádět ražbu kaloty z hydraulicky ovládané plošiny, na které se mohli vystřídat všechny stroje nutné pro provedení a zajištění výrubu v každém kroku ražby. Plošina byla navržena s nosností 25 tun se statickou rezervou na dynamické účinky případného pádu horniny na plošinu. Během vývoje plošiny bylo nutné skloubit mnoho faktorů a odborností. Zejména šlo o vývoj hydraulického posunu, elektroinstalace čidel bezpečnostních prvků, programování ovládání s přihlédnutím k eliminaci lidské chyby při posunu plošiny, návrh bezpečnostních prvků pro bezpečný pohyb personálu po plošině a při přechodu do nezajištěného výrubu, soulad stroje s legislativou pro využití při činnosti prováděné hornickým způsobem. Při řešení všech těchto požadavků docházelo často k protichůdným potřebám, takže bylo nutné volit mezi více řešeními a volit podle priorit. Samotný technický návrh trval 12 měsíců. Dalších 6 měsíců trvala výroba a zkušební provoz u výrobce.

## **2. GEOLOGICKÉ POMĚRY**

Z geologického hlediska ražené objekty realizované ze zařízení staveniště PAD1b směrem ke stanici Pankrác D prochází přes jádro synklinály budované silurskými horninami zastoupenými kopaninským a liteňským souvrstvím. Blíže ke stanici Pankrác D nastupuje souvrství liteňské. Ražba přestupní chodby a eskalátorového tunelu byla vedena liteňským souvrstvím. Liteňské souvrství je tvořeno tmavě šedými až černými jílovitými až prachovitými břidlicemi a ve své svrchní části obsahuje časté polohy a čočky velmi pevných vápenců. Časté jsou také polohy tufitů. Celková mocnost liteňských vrstev je cca 30-80 m. Vlastní břidlice jsou tence deskovitě vrstevnaté s velmi hojnou graptolitovou faunou na vrstevních plochách. Vrstevnatost je často neznatelná a jako hlavní predisponované plochy rozpadu se uplatňují pukyliny.

## **3. RAŽBA ESKALÁTOROVÉHO TUNELU**

Samotný stavební objekt SO 11-24 Přestupní chodba a eskalátorový tunel Gemini je tvořen krátkou přestupní chodbou délky 19,39 m o profilu výrubu 94,59 m<sup>2</sup>. Přestupní chodba je vedena v zatáčce a kolmo se napojuje na výrub jednodlní stanice Pankrác D. V podélném směru přestupní chodba od stanice stoupá ve sklonu 0,5 %. Výrub je horizontálně členěn na kalotu a dno. Samotná ražba probíhala standartní strojní sestavou pro ražbu velkých profilů, pomocí vrtacího vozu Rocket Boomer E2C, tunelbagru Liebherr 950, kolového nakladače Volvo 120, manipulátoru na stříkaný beton Meyco Potenza a vysokozdvížné plošiny DC 16/HL. Ražba přestupní chodby byla z důvodu nadzemních objektů v nadloží zařazena do vystrojovací třídy TT 5b. Vystrojovací třída předepisovala ražbu v délce kroku max 1,0 m s ostěním ze stříkaného betonu tloušťky 350 mm vyztuženého dvěma vrstvami svařovaných sítí 8x8/150x150 mm včetně příložek  $\varnothing$  16 mm a výztužným příhradovým rámem v každém záběru. Zlepšení horninového prostředí bylo prováděno pomocí injektáže do předpolí ražby vrty vystrojenými samozávrtnými svorníky IBO R32 délky 8,0 m v každém čtvrtém záběru. Vrty byly tlakově injektovány organickominerální pryskyřicí. Parametry tlakové injektáže byly nastaveny na spotřebu 10 kg/m vrtu nebo dosažení tlaku 60 barů. Injektáž byla ukončena při dosažení jednoho z výše uvedených parametrů. Přístropí výrubu bylo zajištěno injektovanými jehlami ze samozávrtných svorníků IBO R32 délky 6 m

v každém druhém záběru, které byly rovněž tlakově injektovány s parametry injektáže 15 kg/m vrtno nebo dosažení tlaku 60 bar. Ražba byla zahájena 15.3.2025 a v obou výrubech dokončena k 5.4.2025 (obr. 2). Následovaly přípravy pro zahájení ražby šikmé části eskalátorového tunelu, která je dlouhá 22,27 m a má plochu výrubu 105,13 m<sup>2</sup>. Eskalátorový tunel je ražen dovrchně ve sklonu 30°. Zhotovitel využil možnost ražby zhruba 10 m kaloty šikmé části strojní sestavou využitou při ražbě přestupní chodby. Následně byla vybetonována provizorní železobetonová rozpěrná deska dna kaloty. Tloušťka desky byla 400 mm a byla vyztužena dvěma vrstvami svařovaných sítí 8x8/150x150 s příčnými příložkami Ø 16 mm s další přídatnou smykovou výztuží v oblasti ukotvení dvou ozubených kolejnic pro posun plošiny pro šikmou ražbu eskalátorového tunelu.



„Obr. 2 – Zahájení ražby kaloty přestupní chodby“

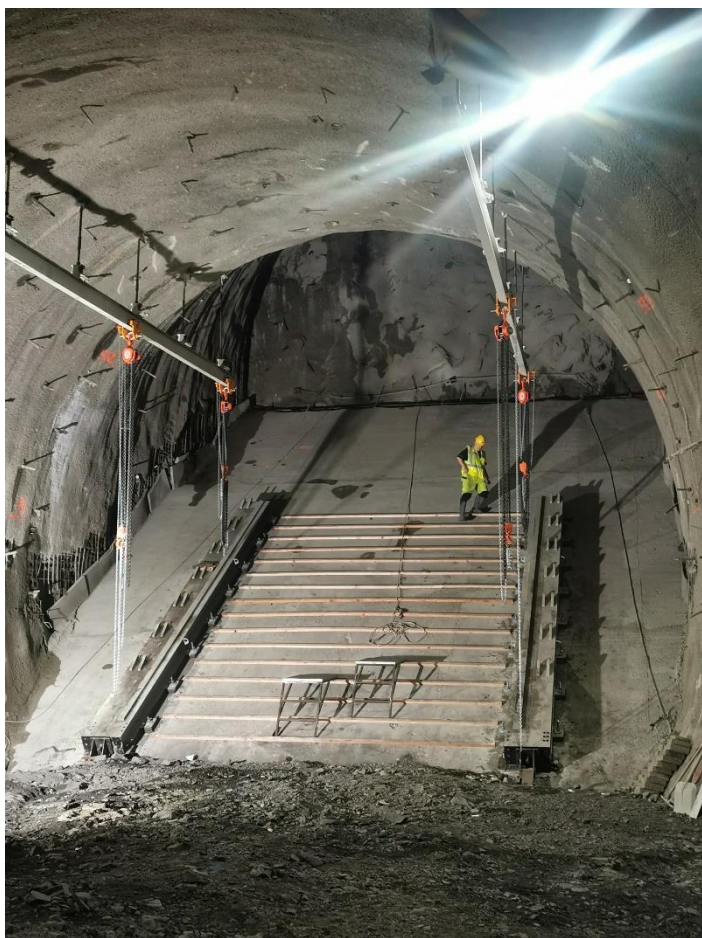
Před samotnou montáží plošiny pro ražbu šikmé části bylo nutné instalovat závěsnou drážku pod strop přestupní chodby. Závěsná drážka byla tvořena dvěma ocelovými nosíky a umožňovala posun těžkých dílů plošiny směrem k čelbě. Strojní mechanizace měla přístup k montáži pouze z přestupní chodby. Nosnost každé drážky byla max. 10,5 tuny. Následovalo osazení úvodních 8m dlouhých ozubených kolejnic pro pojezd plošiny (obr. 3). Kotvení do rozpěrné desky vyžadovalo jádrové vrty pro každý kotevní bod. Kotevní body byly tvořeny závitovou tyčí M30 s minimální kotevní délkou 250 mm. Každá kolejnice byla kotvena dvěma trny po stranách kolejnice každý 1m své délky.

Samotná montáž plošiny včetně zapojení hydrauliky a elektrického ovládání trvala 21 dní. Po dokončení montáže bylo nutné zbudovat sypaný nájezd k plošině, který byl ze strany plošiny zapažen betonovými panely. Tak vznikl nejen dojezd plošiny nutný pro výměnu strojů, ale i retenční prostor pro rubaninu, která při ražbě propadávala pod plošinou až do tohoto prostoru.

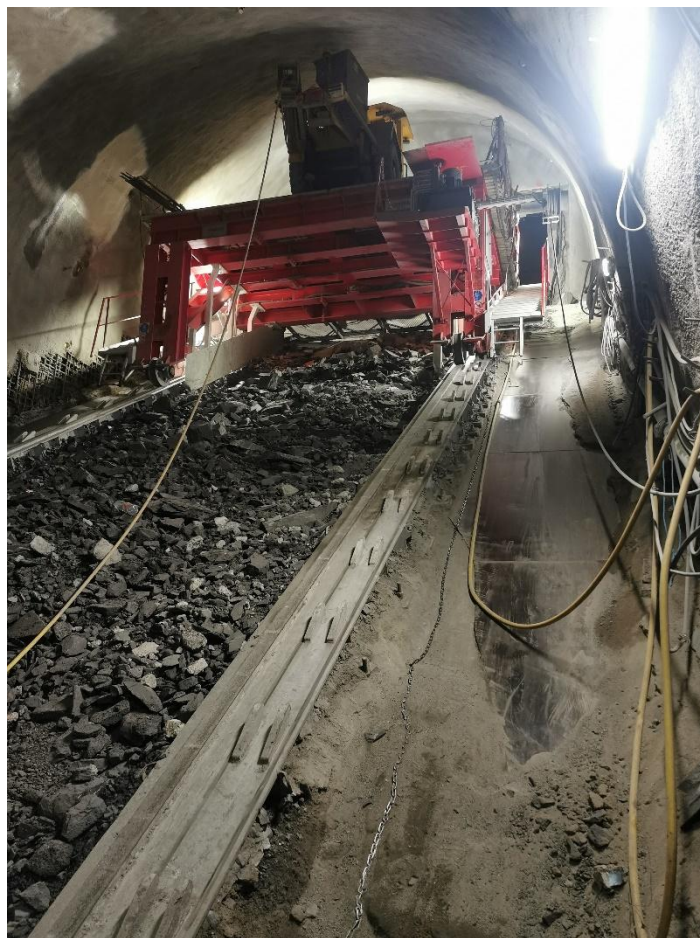
Po dokončení všech těchto přípravných prací bylo možné zahájit ražbu zbylé části eskalátorového tunelu o délce 12,2 m. Zbývající délka ražby se jeví jako krátká, nicméně bez instalace plošiny pro šikmý posun by byla i takto krátká vzdálenost ražby neproveditelná.

Průběh zbylých ražeb probíhal ve vstrojovací třídě TT 5b se shodným zajištěním výrubu jako u přestupní chodby, včetně předstihové tlakové injektáže. Po dokončení dvou záběrů kaloty byla vždy betonována lamela železobetonové rozpěrné desky včetně již po zaarmování osazených kolejnic s kotevními trny pro pojezd plošiny. Tímto odpadlo zdlouhavé jádrové vrtání kotvení jednotlivých dílů

kolejnic do rozpěrné desky. Kolejnice bylo možné prodlužovat po úsecích délky 1,0 m. Ražba kaloty až na styk eskalátorového tunelu s objektem Gemini probíhala v období 8.6.- 7.7.2025. Ražba byla prováděna strojní sestavou tvořenou rypadlem Avesco TB 20 (váha stroje 20 tun), vrtací soupravou Boomer S2, manipulátorem na stříkaný beton Meyco Oruga spolu s čerpadlem betonové směsi Meyco Suprema. Zajímavostí ražby je zejména automatický pohyb plošiny v jednotlivých krocích délky 1,0 m s možností zkrátit krok na 0,5 m (obr. 4a). Pohyb plošiny zajišťovaly tři páry hydraulických válců. Dva páry zajišťovaly uchycení plošiny při pohybu vzhůru nebo dolů, jeden pár válců zajišťoval samotný posun plošiny. Uchycení plošiny na kolejnicích probíhalo právě přes jednotlivé zuby kolejnic. Posun plošiny o 1 m vyžadoval čas jedné minuty a v tomto kroku došlo postupně k aktivaci všech hydraulických válců. Po zahájení ražby bylo nutné upravit i povrch železobetonové rozpěrné desky, když se ukázalo, že rubaniny zůstávají ležet na desce v oblasti čelby a samovolně se neposouvá se směrem k patě rozpěrné desky. Celý povrch rozpěrné desky byl vyložen plechem tloušťky 1 mm. Po tomto opatření rubanina samospádem sjížděla až do oblasti dojezdu plošiny, kde byla vytěžena pásovým rypadlem a vyvezena na povrch.



„Obr. 3 – Závěsná drážka pro montáž plošiny“



„Obr. 4a – Ražba kaloty eskalátorového tunelu“

Po dosažení styku s objektem Gemini bylo nejprve v rámci ražby zlikvidováno záporové pažení stavební jámy objektu Gemini a následně stěnovou pilou vyříznut obdélníkový otvor do železobetonové podzemní stěny samotného objektu. Ražba spodní klenby probíhala postupným couváním plošiny od shora dolů. Po jednotlivých krocích délky 2,0 m byla bourána rozpěrná deska, demontovány kolejnice pro pojezd plošiny a zhotoveno primární ostění spodní klenby (obr. 4b). Po zcouvání plošiny až na začátek kolejové dráhy byl nejprve odstraněn sypaný nájezd na plošinu a pomocí závěsné drážky byla plošina rozebrána a vyvezena na povrch. Zbývajících 8m dna bylo vyraženo z přestupní chodby opět mechanizací pro ražbu velkých profilů.



„Obr. 4b – Ražba spodní kelnby eskalátorového tunelu“

#### 4. HYDROIZOLAČNÍ SOUVRSTVÍ

Hydroizolační systém je v objektu eskalátorového tunelu navržen stejně jako ve všech ostatních podzemních objektech současně nově budované linky metra, tedy typu „ponorka“. Po celém obvodu je definitivní ostění opatřeno proti působení tlakové podzemní vody uzavřeným mezilehlým hydroizolačním souvrstvím aplikovaným mezi primární ostění ze stříkaného betonu a definitivní ostění z monolitického železobetonu. Uzavřený hydroizolační systém zároveň plní funkci pasivní sekundární ochrany proti bludným proudům.

Výběr hydroizolačního materiálu byl ovlivněn faktem, že zhruba mezi lety 1955 a 1985 byla na Pankráci provozována povrchová čerpací stanice pohonných hmot s podzemními nádržemi pro jejich uložení. Z důvodu dlouhodobé netěsnosti nádrží byla při ražbě zastižena kontaminace horniny a podzemní vody ropnými látkami. Tato skutečnost nebyla při tvorbě zadávací projektové dokumentace známa a byla odhalena až při ražbách stanice Pankrác D. To mělo za následek nemožnost použití hydroizolační fólie PVC tloušťky 3 mm, která je použita u ostatních stavebních objektů. Místo toho báňský projektant zvolil materiál odolný proti působení ropných látek. Nově navržený hydroizolační systém se skládá z fóliové LDPE hydroizolace tloušťky 2 mm osazené ve dvou vrstvách. Ochrannou vrstvu na styku s primárním ostěním tvoří geotextilii (800 g/m<sup>2</sup>). V místě pracovních a dilatačních spár jsou umístěny zesilující pásy z hydroizolační LDPE fólie. Stavební práce obsahují i napojení nově budovaného systému na stávající hydroizolační PVC systém administrativního objektu Gemini formou sevření obou zmíněných fólií do nerezových přírub.

V rozsahu dna je hydroizolační fólie po instalaci shora ochráněna geotextilií (500 g/m<sup>2</sup>) a ochrannou vrstvou betonové mazaniny tloušťky 100 mm ve vodorovné části přestupní chodby respektive 280 mm v šikmé části eskalátorového tunelu.

Projektant dále navrhl dvojitý pojistný systém injektáže – plošný systematický a pojistný. První injektážní systém, který má zabránit proudění podzemní vody s potenciálním obsahem ropných látek

podél eskalátorového tunelu je umístěn mezi hydroizolační folii a primární ostění. Pro pojistný systém je uvažována chemická injektáž prostoru mezi dvěma hydroizolačními foliemi, která se předpokládá pouze v případě, že provedená hydroizolace bude vykazovat netěsnosti.

## 5. DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Stavební objekt eskalátorový tunel a přestupní chodba je rozdělen do jednoho dilatačního celku v délce 31,937 m. Dále je konstrukce oddělena dilatací od sousedních objektů stanice Pankrác D a stávajícího administrativního objektu Gemini. Betonáž ostění je rozdělena vodorovnými pracovními spárami na betonáž dna a betonáž klenby. Definitivní ostění je navrženo z vyztuženého betonu C30/37. Spodní klenba je armována z tradiční vázané výztuže, kdežto u horní klenby základ výztužné kostry definitivního ostění tvoří příhradové rámy, které jsou doplněny na rubové i lícové straně výztužnými kari sítěmi a příložkami z ocelových prutů.

## 6. POSTUP PRACÍ PŘI REALIZACI DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

Po dokončení ražeb byly zaznamenány výrazné přítoky vody s příměsí benzínu v prostoru dna šikmé části eskalátorového tunelu. Z tohoto důvodu byla navržena a provedena systematická plošná injektáž dna pomocí krátkých vrtů hloubky cca 600 mm o  $\varnothing$  14 mm v rastru 1x1 m. Celkem bylo provedeno 190 ks těchto vrtů. Každý vrt byl přes pakr pod maximálně přípustným tlakem 20 bar zainjektován dvoukomponentní organicko-minerální pryskyřicí.

V časovém sledu byl nejprve zhotovený hydroizolační systém včetně injektážních hadiček v rozsahu dna vodorovné části, následně bylo provedeno vyvázání výztuže včetně jejího vytrnování do šikmé konstrukční části dna, zhotoveno bednění dna z obou stran a betonáž.

V dalším kroku bylo postaveno lešení v šikmé části pro zaizolování dna a osazení zámečnického výrobku pro přechod izolace do objektu Gemini. Izolace byla realizována odshora směrem dolů s postupným bouráním lešení.

Ochrannou mazaninou šikmé části bylo zajištěno jednak zabránění poškození hydroizolační fólie, dále umožnila osazení trnů pro montáž výztuže dna a také zlepšila možnost „chůze“ na jinak kluzké hydroizolační fólii. V této části byla možnost vyzkoušet v šikmém sklonu 30° speciální recepturu betonu C30/37 s přídavkem melaminu od dodavatele betonových směsí TBG Metrostav, která byla použita i ve dně definitivního ostění šikmé části. Bylo nutné ověřit vliv transportu betonu na jeho konzistenci, kdy jediná cesta pro jeho dopravu byla svislým potrubím se zpomalovacími koleny o délce zhruba 25 m na dno stavební jámy PAD 1b do autodomíhávače, který s ním pak jel až na místo betonáže, kde se za pomoci čerpadla dopravoval potrubím do betonované konstrukce. Melamin způsobuje zachování konzistence betonu, ovšem při vibrování se rozlévá. Bohužel při delším transportu a překládání betonu může vliv melaminu klesat.

Následně proběhlo obdobné vázání výztuže dna jako u vodorovné části. Pro betonáž bylo zvoleno řešení, které se používá pro betonování skluzů bezpečnostních přelivů hrází, a sice použití válcového rotačního finišeru pro úpravu finálního povrchu. Finišer se pohyboval po vodících kolejnicích ukotvených do boků primárního ostění a jeho pohyb zajišťovaly dva vrátky za pomoci ocelových lan ukotvených do čelní stěny objektu Gemini. Použit byl opět beton s přídavkem melaminu. Ukládaný čerstvý beton tak měl takové vlastnosti, že se při ukládce udržel v požadovaném sklonu a byl i tak zpracovatelný, zhutnitelný a byla umožněna úprava jeho horního povrchu do požadovaného tvaru. Zásluhou finišeru (obr. 5) byla celá šikmá část vybetonována v jednom taktu za 30 hodin. Během této doby bylo uloženo celkem 260 m<sup>3</sup> betonové směsi.

Pro zhotovení hydroizolačního souvrství horní klenby včetně dokončení zámečnického výrobku pro sevření hydroizolací u objektu Gemini bylo postaveno celoprostorové lešení, ze kterého se následně po malé úpravě vyvázala výztuž horní klenby šikmé části. Výztuž musela být kotvena kvůli velkému sklonu o navrtané trny ve vodorovné části (dosud nezaizolované), což kvůli dvouvrstvé izolaci v šikmé nebylo proveditelné.



„Obr. 5 – Finišer pro betonáž spodní klenby“

Samostatnou kapitolou bylo bednění horní klenby. Byl hledán systém, který by po částečné modifikaci dokázal obsáhnout jak šikmou přímou část, tak i vodorovnou část, která je částečně v oblouku a částečně v přímé. Stejným bedněním se předpokládá i bednění zlomu mezi vodorovnou a šikmou částí. Pro betonáž bloků byl vybrán ocelový bednicí vůz s automatickým hydraulickým posuvem, který se pohyboval na šikmé ploše po pilových/ozubených kolejnicích. Kvůli nedostatku prostoru pro mechanizaci a zmíněné požadavky na různé modifikace bednicího vozu byl ocelový plášť rozdělen na jednotlivé svařované dílce, které byly připevněny na lehké hliníkové prvky systémového bednění. Postupně byla provedena betonáž šikmé části eskalátorového tunelu od spodu směrem vzhůru až na styk s administrativním objektem Gemini. Šikmá část obsahovala celkem 5 bloků. Pouze dva bloky byly typické délky 4,9 m. První blok na změně sklonu bylo nutné bednit pomocí samotného hydraulického bednicího vozu s přidáním trojúhelníkovým bedněním samotného zlomu (obr. 6). Bednění zlomu bylo z vozu po první betonáži odpojeno a bednění stoupalo přes dva typické bloky až k čtvrtému bloku délky 3,8 m. Na čtvrtý blok navazovala čelní včetně obdélníkového přechodu na zárodek eskalátorového tunelu v objektu Gemini. Bednění čelní stěny bylo zapřeno o hydraulické bednění. Po dokončení šikmé části eskalátorového tunelu bednění sjelo po ozubených kolejích do vodorovné části. Vodorovná část se skládala celkem ze tří betonářských bloků. Nejprve bylo postaveno prostorové lešení pro instalaci hydroizolačního souvrství a to včetně zámečnického prvku z nerezové oceli, který zajistí přechod izolačního souvrství eskalátorového tunelu na izolační souvrství stanice Pankrác D, které bude pravděpodobně v souladu se zadávací dokumentací z PVC folie tl. 3 mm. Po provedení hydroizolace byla namontována armatura horní klenby v celé délce vodorovné části. První blok sekundárního ostění navazující na šikmou část je veden v přímé a je délky 4,397 m. Tato délka je včetně trojúhelníkového bednění zlomu mezi šikmou a vodorovnou částí. Před betonáží zbylých dvou bloků, které jsou délky 3,0 m a jdou vedeny v oblouku došlo ke kompletní demontáži obálky bednění a byla namontována obálka

pro zatáčku. Po dokončení betonáže bloků v oblouku bylo definitivní ostění objektu přestupní chodby a eskalátorového tunelu kompletně dokončeno (obr. 7).



„Obr. 6 – Bednění prvního bloku horní klenby eskalátorového tunelu“

Začátkem roku 2026 proběhly přípravné práce pro provedení systematické injektáže a samotná injektáž prostoru mezi hydroizolačním souvrstvím a primárním ostěním. Pro tuto injektáž byly využity perforované hadičky  $\text{Ø}18/10$  mm umístěné na podkladní geotextilii. Hadičky jsou vyvedeny do injektážních krabic umístěných v sekundárním ostění. Tyto hadičky nejsou na konci uzavřeny, aby mohlo dojít k volnému rozlití injektážní hmoty do prostoru.

## 7. ZÁVĚR

Realizace eskalátorového tunelu a přestupní chodby Gemini představovala mimořádně náročný projekt, který vyžadoval kombinaci standardních postupů s inovativními řešeními. Zastížení ropných látek v podzemí vedlo k úpravě hydroizolačního systému – namísto PVC fólie byla použita LDPE izolace ve dvou vrstvách, doplněná dvojitým injektážním systémem, který zajišťuje spolehlivou ochranu proti tlakové vodě s případnými ropnými látkami. Významnou výzvou byla jak samotná ražba, tak betonáž šikmé části. S využitím speciální plošiny pro šikmou ražbu, atypické receptury betonu C30/37 a finišeru se potvrdila efektivita zvoleného technologického postupu i při složité dopravě materiálu a betonových směsí na místo uložení. Projekt ukázal, že důsledná příprava, flexibilní přístup a spolupráce jednotlivých členů odborného týmu jsou klíčem k úspěchu při realizaci podzemních staveb v komplikovaných geotechnických podmínkách. Získané zkušenosti lze využít pro optimalizaci budoucích projektů metra i dalších podzemních objektů.



„Obr. 7 – Kompletně dokončené sekundární ostění“

## 8. PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří zejména celému projektovému týmu, který se na výstavbě podílel. Dále pak projektantovi podzemního díla bez jeho vstřícného přístupu při návrhu projekčního řešení by byla následná realizace mnohem náročnější a dražší. Dík patří i vývojářům strojní mechanizace z různých odvětví, kteří museli požadavky na technické řešení a bezpečnost přetavit v konkrétní opatření. Všichni zúčastnění projevili neskutečnou pracovitost, ochotu jít do neprověřených řešení, kreativitu a schopnost improvizace v situacích, které se při návrhu nepodařilo předvídat. Jen díky týmové práci se podařilo toto objemem nevelké, ale technicky náročné dílo zrealizovat v čase, kvalitě, při zachování bezpečnosti pracovníků.

## LITERATURA

**Ing. Šimon Doubek: Autor1**

**Pracoviště: Subterra a.s., Koželužská 2246/5, 180 00 Praha 8**

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

**Ing. Jiří Břichňáč: Autor2**

**Pracoviště: Subterra a.s., Koželužská 2246/5, 180 00 Praha 8**

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