

Kolektor pro Letiště Václava Havla v Praze – předpoklady projektu a skutečnost

M. Baláž

Sagasta s.r.o., Prague, Czech Republic

ABSTRAKT: Předmětem příspěvku je souhrn zkušeností se zpracováním realizační dokumentace a ověřením předpokladů technického návrhu projektu při výstavbě raženého úseku kolektoru pro Letiště Václava Havla v Praze, který je součástí akce „Stavba 1 – Hangár G – kolektor“.

Ražený tunel délky necelých 300 m byl prováděn podle zásad Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Profil kolektoru, který svou plochou 29 m² převyšuje například traťový tunel pražského metra, byl ražen s nadložím pouze 4 až 6 m. Provádění ražeb v daných okrajových podmínkách obnášelo celou řadu technických výzev a rizik. Mezi tyto výzvy patří zejména ražba s nízkým nadložím v zeminách pod frekventovanou hlavní komunikací a významnými inženýrskými sítěmi, zejména vysoko – a středotlakým plynovým potrubím.

Příspěvek popisuje etapu zpracování realizační dokumentace primárního a sekundárního ostění včetně optimalizace tvaru příčného řezu kolektoru, úpravu způsobu členění výrubu, zajištění stability výrubu i čelby a upřesnění detailů pro zajištění vodonepropustnosti ostění. Vlastnímu zahájení projekčních prací předcházelo pečlivé vyhodnocení dostupných informací o geotechnických podmínkách v trase kolektoru a inženýrských sítích v předpokládané zóně ovlivnění. Provedené úpravy oproti předchozímu stupni projektové dokumentace umožnily významné úspory investičních nákladů a usnadnění výstavby. Dále je příspěvek věnován získaným zkušenostem z vlastní realizace tunelu pohledem projektanta a aplikaci observační metody ve složitých geotechnických podmínkách ražby s nízkým nadložím, při které byly provedeny další optimalizace. Součástí příspěvku je i popis návrhu a provádění sekundárního ostění bez použití mezilehlé hydroizolace.

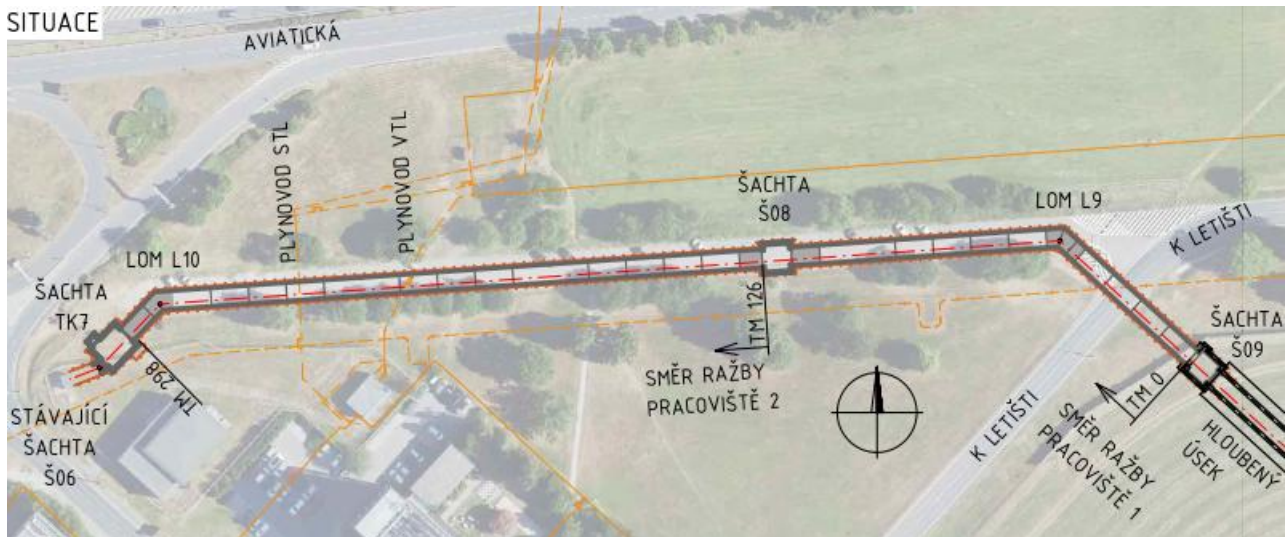
1. ÚVOD A ZÁKLADNÍ INFORMACE

Ražený úsek kolektoru pro Letiště Václava Havla v Praze je součástí akce „Stavba 1 - Hangár G – kolektor“. Tato akce zahrnuje kromě raženého úseku také úsek hloubený, který není předmětem tohoto příspěvku. Aktuálně prováděná stavba navazuje na stávající a plánované kolektorové trasy letiště a bude sloužit k propojení jeho páteřních inženýrských sítí. Projekční práce na realizační dokumentaci raženého tunelu byly zahájeny v prosinci 2024. Ražba tunelu probíhala v období od května do listopadu 2025. Následně navázaly práce na sekundárním ostění, jehož dokončení je předpokládáno na konci února 2026.

Investorem akce je Letiště Praha, a.s. Ražený úsek kolektoru provádí firma Pohl CZ, a.s. pro hlavního dodavatele celé stavby Metrostav DIZ, s.r.o. Technický dozor podzemních prací (ČPHZ) na stavbě zajišťuje společnost SG Geotechnika, a.s. Hlavním projektantem celé stavby je Ingutis, spol. s.r.o., autorem realizační dokumentace raženého tunelu je projekční společnost Sagasta, s.r.o.

Profil raženého kolektoru je podkovovitého tvaru se spodní klenbou a svou plochou výrubu 29 m² převyšuje například traťový tunel pražského metra. Ražba tunelu byla prováděna členěným výrubem na kalotu a jádro podle zásad Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Sekundární ostění je navrženo z betonu odolného proti průsakům bez použití mezilehlé hydroizolace.

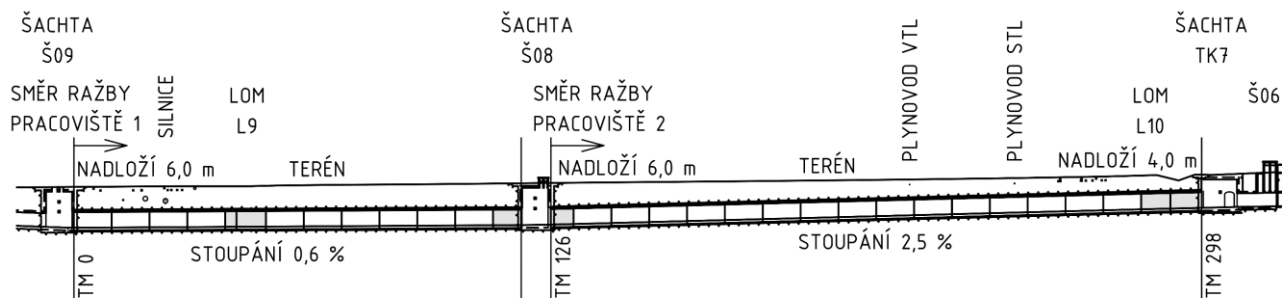
Ražený úsek kolektorové trasy s délkou 298 m navazuje na hloubené šachty Š09 a TK7, přibližně v polovině je tento úsek rozdělen šachtou Š08. Tunel je v celé délce veden v přímé se 2 lomy bez zaoblení osy (Obrázek 1).



Obrázek 1 Situace raženého úseku kolektoru

Niveleta tunelu v celém úseku stoupá s ohledem na výškové napojení na stávající šachtu Š06. Od začátku ražby (TM 0) v šachtě Š09 niveleta stoupá ve sklonu 0,6 % k šachtě Š08, v dalším úseku ražby od Š08 niveleta stoupá ve sklonu 2,5 % ke komoře TK7, výškové lomy nejsou zaobleny. Ražba tunelu probíhala na dvou nezávislých pracovištích ze šachet Š09 a Š08.

PODÉLNÝ PROFIL



Obrázek 2 Podélný profil raženého úseku kolektoru

V nadloží tunelu, které činí pouhé 4 až 6 m, se nachází relativně velké množství objektů. Trasu křižují dva plynovody, tři kanalizace, propustek a celá řada kabelů sdělovacího a silového vedení. Paralelně s tunelem vedou dva vodovody a neprovozovaný horkovod. Z hlediska „citlivosti“ na deformační projevy ražby jsou kritické především plynovody (vysokotlaký a středotlaký). Další důležitou konstrukcí na povrchu nad raženým profilem je provozovaná silnice „K Letišti“ s frekventovanou autobusovou dopravou. Přítomnost těchto objektů, které nebylo možné přeložit, byla důvodem pro volbu technologie ražení namísto technicky jednodušší a méně rizikové metody hloubení.

2. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Před zahájením projekčních prací na realizační dokumentaci měl projektant k dispozici výsledky geotechnického průzkumu, který zpracovala firma Chemcomex, a.s. v roce 2019. V oblasti raženého úseku kolektoru délky necelých 300 m bylo k dispozici celkem 5 jádrových vrtů hloubky 5 až 12 m. Geotechnické vrstvy zemin a hornin byly v rámci průzkumu dle svých zjištěných vlastností zařazeny do několika geotechnických typů (GT).

Kvartérní pokryv mocnosti přibližně 6 m tvoří navážky, sprašové hlíny třídy F6–F5 a spraše (GT3b) třídy F6, dále deluviální jíly a písčité jíly s úlomky (GT4) třídy F8 až F4.

Horniny skalního podkladu tvoří slínovce písčité různého stupně zvětrávání a rozpukání. Při povrchu skalního podloží se vyskytují silně zvětralé slínovce písčité (GT5), s intenzivním rozpukáním,

zatřídění R6-R5. Hlouběji se nacházejí slínovce písčité zvětralé (GT6), rozpukané s převážně otevřenými puklinami s jílovitou výplní, třídy R5-R4. Vrstvy slínovců s deskovitou odlučností jsou uloženy prakticky vodorovně. Mocnost těchto slínovcových desek je proměnná a pohybuje se v hodnotách prvních decimetrů.

V předmětném úseku je výška nadloží kolektoru mezi 6 m (u šachty Š09) a 4 m (u šachty TK7), počva podzemního díla zasahuje do hloubek 12 až 10 m pod terénem. Za těchto podmínek je v blízkosti šachty Š09 profil tunelu umístěn ve zvětralých slínovcích (GT6), částečně i silně zvětralých slínovcích (GT5), přitom je celá výška nadloží tvořená kvartérními pokryvy. Ve směru staničení, tj. směrem k šachtě Š08, niveleta díla stoupá a kolektor postupně zasahuje částí svého profilu do kvartérních pokryvů (GT4). Od šachty Š08 směrem k šachtě TK7 je část kaloty vedena v kvartérním pokryvu (GT4), též s výskytem spraší (GT3b). V blízkosti šachty TK7 je prakticky celá plocha kaloty ražena v kvartérních pokryvech. Pata kaloty se v celém úseku ražby nachází vždy přinejhorším v materiálech skalního podloží GT6 (R5-R4).

Spojité hladina podzemní vody se nachází přibližně 10 až 16 m pode dnem tunelu a nijak ho tedy neovlivňuje.

Zeminám a horninám byly přisouzeny geotechnické parametry dle následující tabulky. Jedná se o hodnoty objemové tíhy (γ), modulu přetvárnosti masivu (E_{def}), Poissonovy konstanty (ν), efektivního úhlu vnitřního tření (φ) a efektivní soudržnosti (c).

Tabulka 1: Geotechnické parametry zemin a hornin

| Zemina / Hornina | Geotyp | Zatřídění | γ | E_{def} | ν | φ | c |
|---------------------------------|--------|------------|----------------------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | | [kN/m ³] | [MPa] | [-] | [°] | [kPa] |
| Navážky | GT2 | | 19,0 | 7,0 | 0,40 | 20 | 5 |
| Sprašové hlíny, spraše - pevné | GT3b | F6 (F5) | 19,0 | 7,0 | 0,40 | 22 | 20 |
| Jílovité zeminy, tuhé až pevné | GT4 | F6, F7, F8 | 20,0 | 15,0 | 0,35 | 22 | 14 |
| Slínovec písčité silně zvětralý | GT5 | R6-R5 | 20,0 | 30,0 | 0,35 | 25 | 30 |
| Slínovec písčité zvětralý | GT6 | R5-R4 | 20,0 | 130 | 0,35 | 28 | 50 |

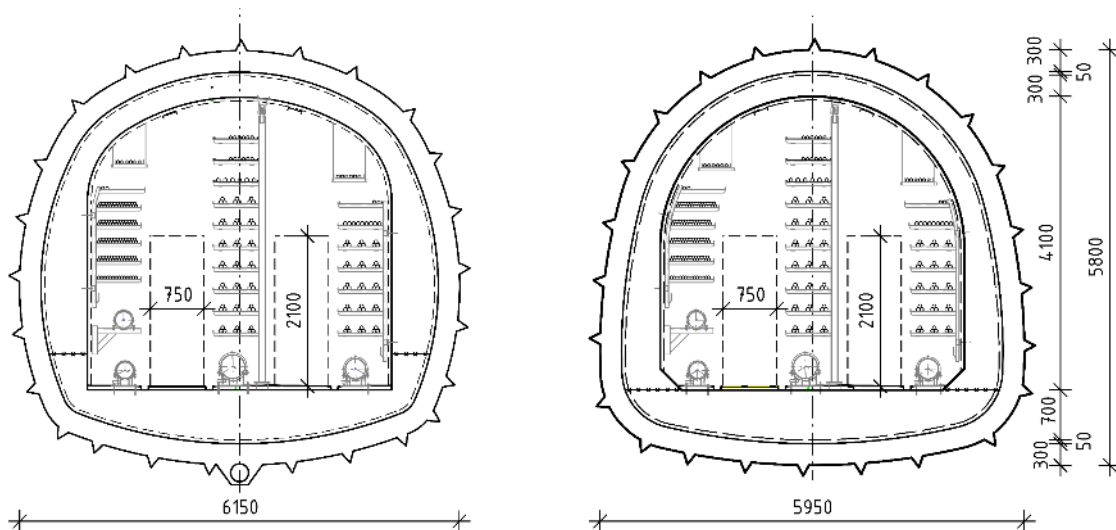
3. OPTIMALIZACE TVARU PŘÍČNÉHO ŘEZU

V prvním kroku byla v rámci realizační dokumentace navržena optimalizace tvaru příčného řezu kolektoru (Obrázek 3). Tento návrh vycházel z komplexního vyhodnocení dostupných informací o geotechnických podmínkách v trase tunelu, zvážení vlivu tvaru výrubu na zajištění stability při ražbě a zhodnocení statické funkce primárního a sekundárního ostění.

Optimalizovaný příčný řez má menší teoretickou plochu výrubu a příznivější tvar primárního ostění, který lépe vzdoruje zemnímu tlaku, zvyšuje stabilitu díla při ražbě a snižuje tak riziko vzniku mimořádné události.

V případě sekundárního ostění optimalizace souvisí s přizpůsobením dimenzí konstrukce předpokládanému zatížení. Jedná se především o plynulé zvětšení tloušťky ostění směrem od vrcholu klenby k jeho bokům. Dále je v novém návrhu zesílen průřez v místě napojení boků ostění na spodní klenbu, kde lze očekávat zvýšené namáhání ohybovými momenty a posouvající silou. Cílem optimalizace je zajištění příznivějšího namáhání konstrukce a snížení rizika vzniku trhlin v sekundárním ostění, neboť ostění kromě nosné funkce zajišťuje i vodotěsnost kolektoru. Vznik trhlin, které je možné sanovat pouze na líci ostění, může mít vzhledem k riziku koroze výztuže negativní vliv nejen na vodotěsnost, ale především na životnost nosné konstrukce, která je navrhována na životnost 100 let.

Vnitřní světlé rozměry sekundárního ostění jsou navrženy s ohledem na požadované průchozí prostory a množství vedení inženýrských sítí s kabelovými lávkami. Světlá šířka kolektoru je 4,25 m a světlá výška je 4,10 m.

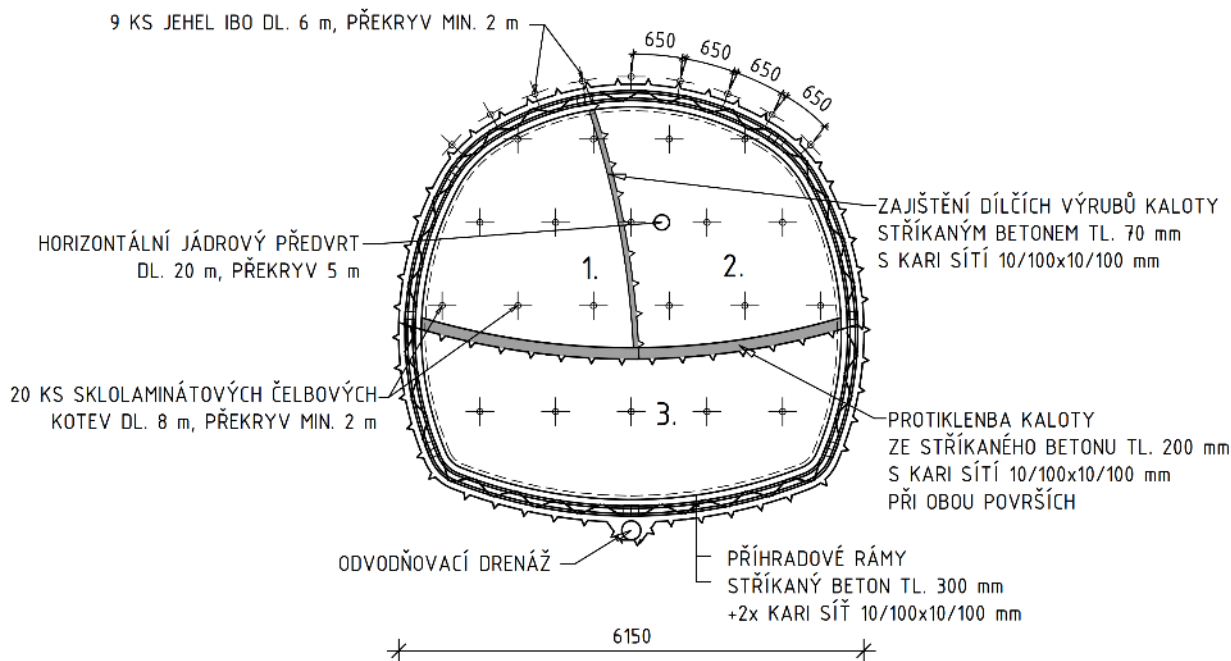


Obrázek 3: Porovnání původního a nového tvaru příčného řezu

4. RAŽBA A PRIMÁRNÍ OSTĚNÍ

4.1 PŮVODNÍ NÁVRH

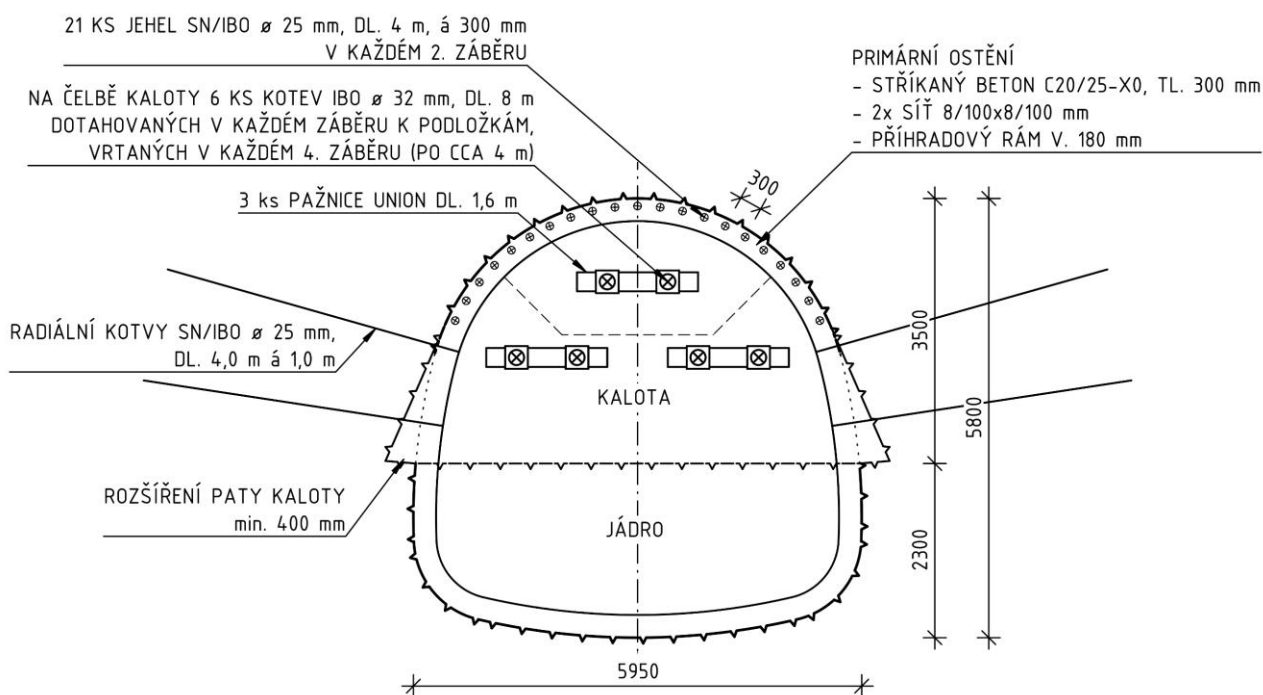
V předchozím stupni dokumentace byl výrub členěn na kalotu a jádro, přičemž výrub kaloty byl vertikálně členěn na dva dílčí výruby (Obrázek 4). Zatímco po obvodu kolektoru bylo navrženo primární ostění tloušťky 300 mm se dvěma vrstvami sítí 10/100x10/100 mm a výztužnými příhradovými rámy, dílčí výrub kaloty na boku zajišťovala v prostředí zemin pouze vrstva stříkaného betonu tloušťky 70 mm s jednou sítí 10/100x10/100 mm. V kalotě byla navržena relativně plochá protiklenba ze stříkaného betonu tloušťky 200 mm vyztužená dvěma vrstvami sítě 10/100x10/100 mm. Čelba kaloty (tj. obou dílčích výrubů) byla zajištěna 15 ks sklolaminátových kotev délky 8 m, čelba jádra 5 ks stejných typů kotev. Při požadovaném překrytí na 2 m byla v tomto úseku čelba o ploše výrubu cca 30 m² zajištěna celkem 40 ks sklolaminátových kotev. V prvním dílčím výrubu kaloty byly pro stabilizaci obnaženého výrubu použity 3 ks ocelových jehel o délce 6 m, po vyražení druhého dílčího výrubu kaloty bylo doplněno dalších 6 ks jehel do celkového počtu 9 ks. Požadovaný překryv jehel byl 2 m.



Obrázek 4 Původní návrh členění výrubu a zajištění jeho stability (zadávací dokumentace)

4.2 NOVÝ NÁVRH

Nový staticky příznivější tvar příčného řezu umožnil společně s dalšími úpravami návrhu zrušení vertikálního členění výrubu kaloty a spodní klenby kaloty (Obrázek 5). Odstranění těchto prvků bylo zcela zásadní pro optimalizaci technologického postupu prací, nasazení výkonných strojů pro ražbu, odvoz rubaniny a nástřik primárního ostění. Rychlost ražby má v případě nepříznivých geotechnických poměrů s nízkým nadložím zcela zásadní význam. Jedním z hlavních cílů optimalizace návrhu ražeb bylo umožnit zhotoviteli relativně rychlé zajištění stability výrubu primárním ostěním po provedení záběru. Dále ze statického hlediska není optimální ani spojování výztužných příhradových rámců v nejméně namáhaném průřezu ve vrcholu klenby, což by původně navrhované vertikální členění výrubu vyžadovalo.



Obrázek 5 Optimalizovaný návrh technologické třídy výrubu zpracovaný v rámci realizační dokumentace

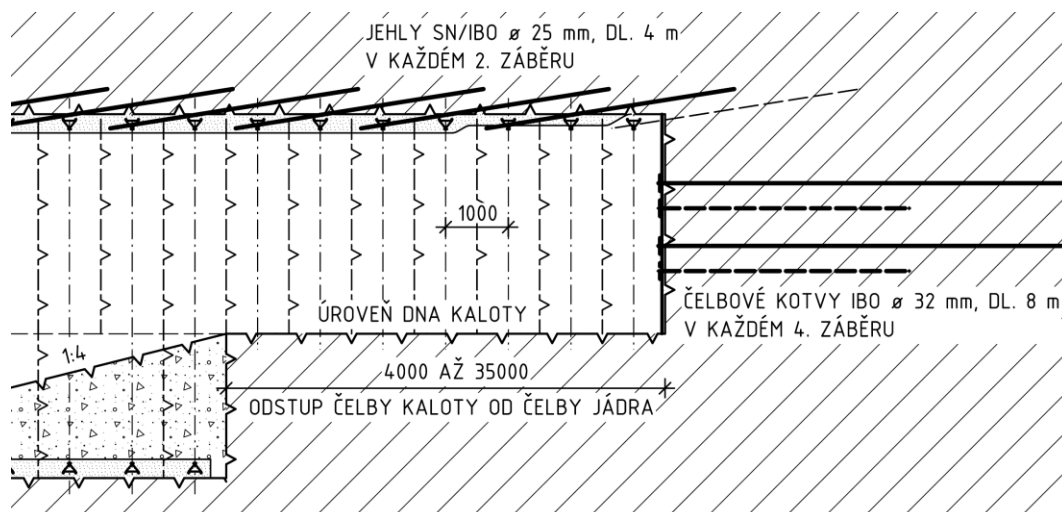
V novém návrhu byla funkce spodní klenby kaloty nahrazena kombinací kotvení boků a rozšířenou patou. Radiální kotvy SN/IBO délky 4 m v počtu 4 ks na záběr byly navrženy pro omezení vodorovných deformací. Smyslem rozšířené paty je redukovat sedání kaloty jako celku. Další výhodou rozšíření paty kaloty oproti dočasné protiklenbě je příznivější působení při následné ražbě jádra. Fáze vybourání dočasné protiklenby vnáší nové nežádoucí namáhání do zralého ostění kaloty.

Další zásadní úpravou návrhu je změna systému kotvení a pažení čelby. Toto opatření je navrženo pro omezení rizika spojeného s nestabilitou čelby. V případě ztráty stability čelby hrozí nekontrolovatelné zvětšení délky záběru a následné prolomení nadloží. Předpokládanému mechanismu porušení stability čelby je nutné vzdorovat kotevními prvky s vysokou pevností ve stříhu. Tento požadavek, lépe než sklolaminátové kotvy, splňují ocelové kotvy IBO aktivované cementovou maltou. Vnější závit kotevních tyčí IBO zároveň umožňuje dotahování pažnic UNION a jejich aktivaci po provedení každého záběru. Proto byla provedena náhrada sklolaminátových kotev v čelbě ocelovými kotvami IBO délky 8 m (min. překryv 4 m) s aktivním pažením čelby plošným zajištěním pomocí pažnic UNION. V novém návrhu jsou sklolaminátové kotvy v počtu 20 ks nahrazeny ocelovými kotvami IBO v počtu 6 ks.

Pro stabilizaci výrubu je dále navrženo předstihové opatření prostřednictvím ocelových jehel. V novém návrhu jsou nahrazeny jehly \varnothing 25 mm délky 6 m v počtu 9 ks stejným typem jehel o délce 4 m v počtu 21 ks. Překryv jehel v podélném směru je 2 m a oproti původnímu návrhu se nemění. Důvodem této úpravy je snaha o minimalizaci nadvýrubů s ohledem na délku záběru a úhel vrtání jehel.

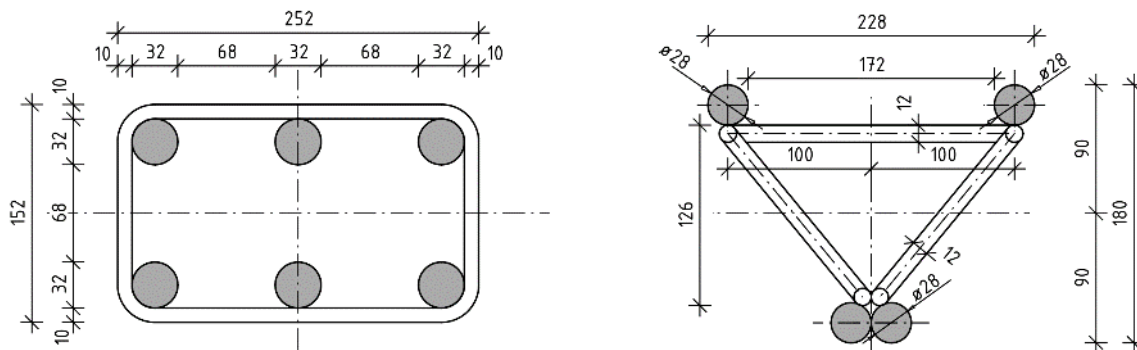
Veškeré vrtání pro kotvení v daném geotechnickém prostředí bylo prováděno se vzduchem. Použití vodního výplachu by způsobilo degradaci vlastností horninového masivu a zhoršilo podmínky pro další

ražbu. Z tohoto důvodu byly také zrušeny horizontální jádrové předvrty, základní informace o poměrech v předpolí ražby byly průběžně získávány z geotechnického sledování při vrtání čelbových kotev.



Obrázek 6 Postup ražby v podélném směru

Další významnou optimalizací byla úprava příhradových rámu a sítí. V předchozím stupni byly navrženy obdélníkové průřezy rámu se 6 pruty $\varnothing 32$ mm. Na základě nového staticky příznivějšího tvaru příčného řezu tunelu a upřesnění zatížení byly navrženy subtilnější rámy se 4 pruty $\varnothing 28$ mm, přičemž trojúhelníkového průřezu je dosaženo umístěním spodních prutů vedle sebe (Obrázek 7). To umožňuje snadnější přístup pro vrtání jehel s minimálním odklonem od obrysu výrubu. Výztužné sítě primárního ostění byly odlehčeny z typu 10/100x10/100 mm na typ 8/100x8/100 mm. Návrh subtilnějších rámu a sítí je vhodný také z hlediska manipulace a montáže v tunelu.



Obrázek 7 Porovnání původního a nového průřezu příhradových rámu

4.3 APLIKACE OBSERVAČNÍ METODY

Ražba tunelu probíhala dle zásad Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Vzhledem k nízkému nadloží, velikosti výrubu a prostředí zemin byla navržena jen jedna technologická třída výrubu, která postihovala nejnepríznivější očekávané podmínky v celém raženém úseku. Observační metodu bylo proto v daných poměrech možné využít pouze v omezeném rozsahu.

V úvodním úseku ražby byl v každém záběru výrub kaloty prováděn postupně na tři části, vždy byla odstraněna pouze jedna pažnice (Obrázek 8). Po demontáži pažnice v příslušné části čelby následovalo rozpojování tunelbagrem, stabilizační nástřik stříkaným betonem, nakonec opětovné osazení a aktivace pažnice k dvojici čelbových kotev IBO, K instalaci vnějších sítí a příhradových rámu bylo možné při tomto postupu přistoupit až po kompletním provedení všech tří částí výrubu kaloty, což bylo časově relativně náročné.

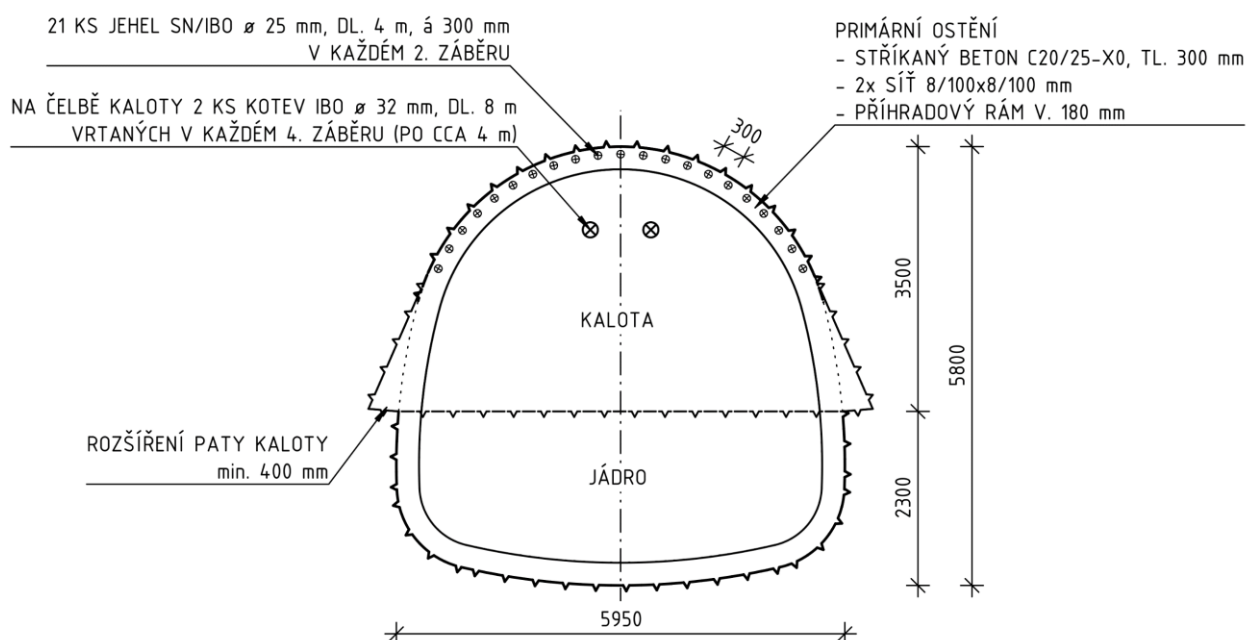


Obrázek 8 Zajištění čelby kaloty a její rozpojování po částech v úvodním úseku ražby

Během ražby probíhalo podrobné sledování horninového masivu, zejména ve fázi rozpojování kaloty pomocí tunelbagru. Toto sledování, ze kterého byly projektantem pravidelně pořizovány videozáznamy, poskytovalo společně s výsledky geotechnického monitoringu komplexní představu o stabilitních poměrech čelby, obnaženého líce výrubu a primárního ostění. Na základě získaných zkušeností s konkrétními poměry pro ražbu bylo přistoupeno k postupné redukci výztužných prvků a zjednodušení postupu provádění (Obrázek 9).

S ohledem na relativně příznivé chování horninového masivu při ražbě byl upraven postup provádění kaloty pouze na jednu fázi a odstraněn požadavek na systémové osazování pažnic. Tyto pažnice zůstaly stále připravené na stavbě a byly osazovány pouze v případě zastižení lokálních nestabilit čelby v přístropí. Dále byl zredukován počet čelbových kotev z 6 ks na 2 ks v každém čtvrtém záběru. Prováděny byly pouze dvě čelbové kotvy v přístropí, na které bylo možné v případě potřeby osadit pažnici UNION. Odstraněny byly také radiální kotvy a mírně prodloužena maximální přípustná délka záběru. Realizovaná délka záběru byla vždy přizpůsobena konkrétním podmínkám na čelbě a pohybovala se mezi 0,7 m a 1,1 m.

Jako zásadní příznivé faktory lze označit především vodorovné uložení slínovcových desek a soudržnost jílovitých zemin. Během ražby nebyly zastiženy žádné písčité čočky s vodou.



Obrázek 9 Technologická třída výrubu upravená na základě skutečného chování horninového masivu během ražby



Obrázek 10 Čelba kaloty tvořená mírně zvětralým slínovcem písčtým s deskovitou odlučností (TM 66)



Obrázek 11 Čelba kaloty tvořená jílovitou zeminou s písčitou příměsí (TM 264)



Obrázek 12 Čelba jádra (vlevo), dokončený úsek primárního ostění po profilaci (vpravo)

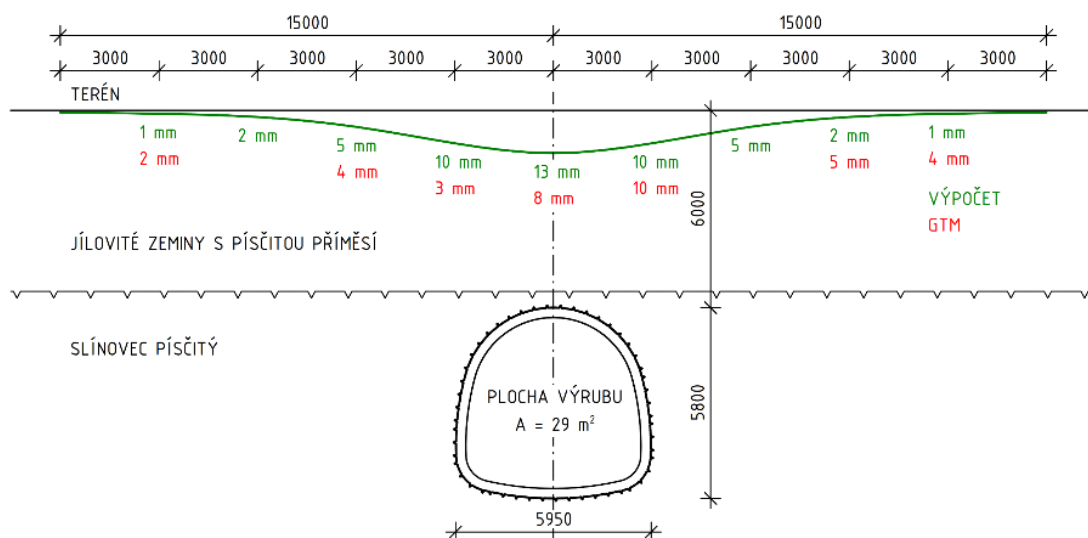
4.4 GEOTECHNICKÝ MONITORING A VYHODNOCENÍ JEHO VÝSLEDKŮ

V rámci provádění tunelu probíhal komplexní geotechnický monitoring, který zajišťovala společnost GeoTec GS, a.s. Monitoring probíhal na povrchu i v tunelu, jednalo se o geotechnickou pasportizaci čeleb v každém záběru, měření deformací primárního ostění a poklesové kotliny na povrchu.

Hloubení šachet a mapování čeleb během ražby potvrdilo geologickou skladbu horninového masivu predikovanou průzkumem. Úroveň skalního podloží se nachází v hloubce přibližně 6 m pod terénem.

Měření poklesů na povrchu terénu probíhalo vzhledem k nízkému nadloží tunelu nad celým raženým úsekem. Niveláčnické body byly uspořádány v profilech po 20 m orientovaných kolmo na podélnou osu kolektoru. Tyto příčné profily sloužily pro stanovení šířky a tvaru poklesové kotliny. Pro získání komplexních informací byly navíc v oblasti provozované komunikace, křížení s plynovody a závěrečnému úseku ražby s nejnižším nadložím doplněny body pro stanovení podélné poklesové kotliny.

Ve vybraných profilech je provedeno porovnání výsledků statického výpočtu a změřených poklesů povrchu během ražby (Obrázek 13 a Obrázek 14). Obecně se jedná o velmi nízké hodnoty, proto je potřeba přihlídnout i k přesnosti prováděných měření, která se pohybuje v jednotkách mm. Negativním faktorem, který jistě částečně ovlivňoval výsledky měření byl frekventovaný pohyb těžké stavební mechanizace nad raženým profilem. V případě profilu s nejnižším nadložím byly s ohledem na provádění prací v okolí šachty TK 7 k dispozici pouze body přímo nad tunelem, ty je však možné s výhodou využít pro sestavení podélného profilu (Obrázek 15). Z výsledků měření na podélném profilu je vidět, že relativně velká část deformací probíhala až po průchodu čelby kaloty. Při pohledu na výsledky všech měření lze konstatovat, že dosažené poklesy terénu se v zásadě blíží předpokladům projektu. V průběhu realizace prakticky nebyl překročen žádný předem stanovený varovný stav.



Obrázek 13 Příčná poklesová kotlina v úseku s nejvyšším nadložím (NIT 7, TM 110)

Technickou výzvou byla nepochybně ražba pod křížením s provozovanými plynovody (vysokotlaký a středotlaký). Před ražbou v daném úseku byly provedeny kopané sondy pro ověření prostorové polohy a stavu plynovodních potrubí. Na základě výsledků diagnostiky byly stanoveny hodnoty varovných stavů pro přípustné poklesy potrubí vyvolané ražbou tunelu. V rámci ochrany plynovodu před účinky ražby byla v předstihu obnažena jeho chránička, na které pak probíhalo nivelační měření každý den až do ustálení deformací. Současně byl na stavbě připraven systém závěsů na potrubí pro umožnění kompenzace případných nadměrných poklesů nadloží způsobených ražbou.



Obrázek 17 Vysokotlaký plynovod a jeho chránička (vlevo), obnažená chránička (vpravo)

5. SEKUNDÁRNÍ OSTĚNÍ

Sekundární ostění je navrženo jako monolitické, betonované do posuvného bednění. Tloušťka ostění horní klenby je min. 300 mm a směrem do boku se rozšiřuje. Vzhledem k požadované vodonepropustnosti sekundárního ostění a nemožnosti gravitačního odvedení podzemní vody drenážemi je navržen uzavřený tlakový systém, který vyžaduje konstrukční typ ostění se spodní klenbou. Vodonepropustnost ostění je zajištěna použitím betonu odolného proti průsakům s těsněním pracovních a dilatačních spár.

Návrh sekundárního ostění z betonu odolného proti průsakům bez použití mezilehlé izolace obnáší celou řadu specifik. Jedná se zejména o přísnější kritéria na přípustnou šířku trhlin a maximální povolený průsak vody betonem. Tyto požadavky se pak promítají do návrhu betonové směsi, při kterém je sledováno omezení negativních účinků hydratačního tepla a smršťování. Dále je navržen vyšší stupeň vyztužení konstrukce s ohledem na omezení šířky trhlin, současně je také důležité v návrhu dodržet dostatečnou světlost vzdálenost prutů výztuže pro umožnění kvalitního probetonování. V oblasti nad pracovní spárou mezi spodní a horní klenbou tunelu je navržena zesílená podélná výztuž pro omezení průběžných trhlin od rozdílného smršťování konstrukcí, které jsou betonovány v různém čase. Důležitým aspektem je také přísnější přípustná odchylka od teoretické tloušťky ostění, která je dle předpisů definována hodnotou max. 100 mm. Z tohoto důvodu bylo před realizací sekundárního ostění provedeno v několika fázích laserové skenování líce primárního ostění a jeho profilace.

V rámci zpracování realizační dokumentace sekundárního ostění došlo k celé řadě úprav oproti předchozímu stupni dokumentace. Maximální délka bloku betonáže byla v souladu se zahraničními předpisy prodloužena z 8 m na 10 m. Důvodem změny návrhu byla snaha o minimalizaci počtu pracovních spár mezi bloky a snížení rizika průsaků.

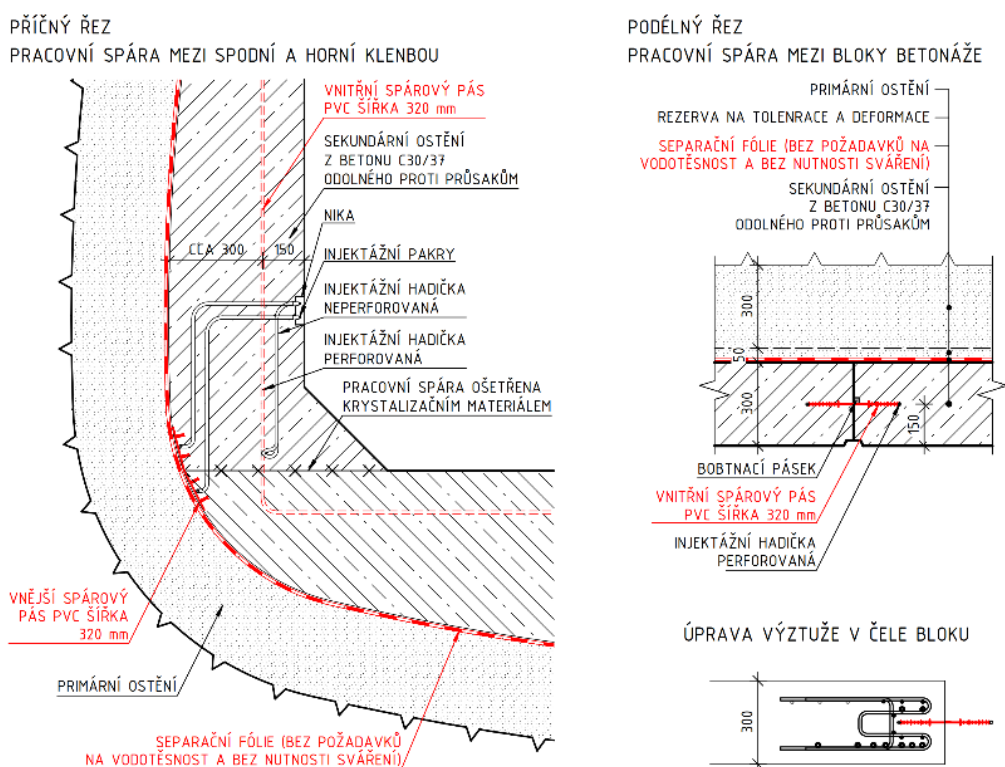
Dále byly pro zajištění vodotěsnosti spár mezi bloky betonáže z důvodu lepšího probetonování nahrazeny vnější těsnící pásy za vnitřní těsnící pásy se systémem injektážních hadiček. Tento systém umožňuje injektáž všech pracovních spár po betonáži.

Pro snížení tření mezi konstrukcemi primárního a sekundárního ostění je mezi tyto konstrukce vložena separační fólie. Aplikace této fólie významně omezuje tahová napětí v ostění od teplotních změn a

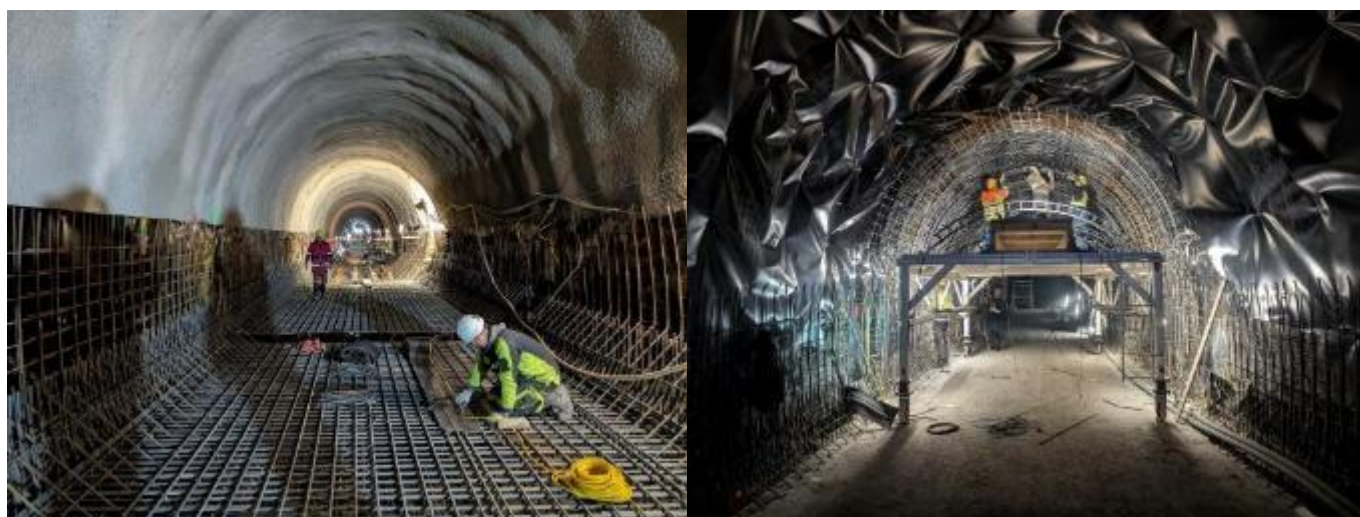
smršťování betonu, což v konečném důsledku vede ke snížení rizika vzniku trhlin. Separáční fólie dále zamezuje odvádění vody z betonu sekundárního ostění do zralého stříkaného betonu primárního ostění. Tato fólie je instalována po celém obvodu ostění s p řekrytím mezi d lčn mi pásly (bez vzájemného svařování).

V yztuř sekundárního ostění byla navrřena jako kombinace svařovaných sítí a p řlořek z prutov  v yztuře v nejm ce namáhaných p řezech. V yztuř je navrřena jako samonosn  s p řhradov mi r my, k jejichř stykování jsou pouřit  lanov  spojky.

Vzhledem k tomu, ře betonáře prob h j  v zimním období jsou v rámci realizace zajiřt ny takov  podmínky, aby nedocházelo k prudkému ochlazování betonu. Jedná se o opatření při doprav  betonov  směsi, jejím ulořen m do bedn c ho vozu a zajiřtění pořadov n  teploty při betonáři v tunelu. Portály kolektoru v řacht ch jsou uzavřeny, aby bylo omezeno proudění chladného vzduchu, dále v tunelu probíhá vyhřív n . Po odbednění je prováděno ořetřov n  betonu rovnoměrn m zavlařov n m a nan řen m ochranného nástřiku. Po dobu ořetřov n m je sledována teplota betonu a okolního p střed , cílem opatření je omezit teplotn  rozdíl mezi povrchem a jádrem konstrukce.



Obrázek 18 Navrřen  systém těsnění pracovních spár sekundárního ostění



Obrázek 19 Separáční fólie a v yztuř sekundárního ostění



Obrázek 20 Bednicí forma horní klenby (vlevo), dokončené bloky sekundárního ostění (vpravo)

6. ZÁVĚR

V průběhu zpracování realizační dokumentace raženého kolektoru pro Letiště Václava Havla v Praze došlo v porovnání s předchozím stupněm dokumentace k celé řadě optimalizací technického řešení, které mají příznivý dopad do životnosti konstrukce. Dále tyto změny umožnily významné úspory investičních nákladů a usnadnění provádění, které bylo zcela zásadní s ohledem na napnutý harmonogram celé stavby.

Výstavba kolektoru převyšující svou velikostí traťový tunel metra probíhá bez větších problémů a komplikací. Etapa provádění ražby tunelu, která v daných okrajových podmínkách představovala nejrizikovější část projektu zatíženou celou řadou nejistot, je v době přípravy příspěvku úspěšně dokončena. Mimořádně náročné poměry pro provádění představovala ražba s nízkým nadložím v zeminách, přítomnost frekventované silnice a množství inženýrských sítí nad tunelem. S ohledem na výškové vedení a dovrchní ražbu tunelu výška nadloží postupně klesala z 6 m až na pouhé 4 m. Nadloží je tvořeno jílovitými zeminami s písčitou příměsí a navážkami. V průběhu ražby se tyto zeminy objevily dokonce i na čelbě a jejich zastoupení s klesajícím nadložím postupně narůstalo. V koncové části úseku probíhala ražba kaloty pouze v prostředí zemin, skalní podloží tvořené slínovcovými deskami proměnné kvality bylo zastíženo v oblasti jádra tunelu. V těchto poměrech byl technickou výzvou z hlediska minimalizace rizik a omezení negativních účinků ražby na nadloží zejména úsek ražeb pod významnou a vysoce frekventovanou komunikací „K Letišti“. Tato hlavní silnice je důležitá především pro hromadnou dopravu mezi stanicí Nádraží Velešlavín a Letištěm Václava Havla, kterou v relativně krátkých intervalech zajišťují těžké elektrické trolejbusy s baterií. Dalším technicky náročným úsekem byla ražba pod provozovanými plynovody, které zásobují celé letiště a nacházely se necelé 3 m nad vrcholem výrubu. Trasa kolektoru s nízkým nadložím dále podcházela několik kanalizací, propustek a celou řadu dalších inženýrských sítí.

V rámci provádění tunelu probíhalo pravidelné vyhodnocování výsledků geotechnického monitoringu. Na základě skutečného chování horninového masivu během ražby bylo i v těchto komplikovaných podmínkách provedeno odlehčení zajištění stability výrubu v souladu s principy observační metody, což mělo za následek další úspory.

V době přípravy příspěvku probíhala v kolektoru realizace horních klenb sekundárního ostění (01/2026). Jedná se o vodonepropustné tunelové ostění bez mezilehlé hydroizolace, což je v případě tuzemských ražených tunelů neobvyklé. Výhoda tohoto systému spočívá ve snadné identifikaci případných průsaků a možnosti jejich sanace. Průsaky vznikají v místě vady železobetonové konstrukce a následná sanace pak probíhá přímo v místě vodonosných trhlin. Naopak v případě použití mezilehlé hydroizolace nemusí místo jejího poškození odpovídat viditelným průsakům uvnitř tunelu, a proto je sanace těchto poruch prakticky znemožněna.

ZDROJE

MP+INGUTIS. *Zadávací dokumentace: Letiště Praha, Stavby pro energetickou infrastrukturu: Stavba 1 – Hangár G – kolektor.* Praha: 2021.

Sagasta, s.r.o. *Realizační dokumentace: Letiště Praha, Stavby pro energetickou infrastrukturu: Stavba 1 – Hangár G – kolektor.* Praha, 2025.

Ing. Martin Baláž

Sagasta s.r.o., Novodvorská 1010/14. Prague

martin.balaz@sagasta.cz