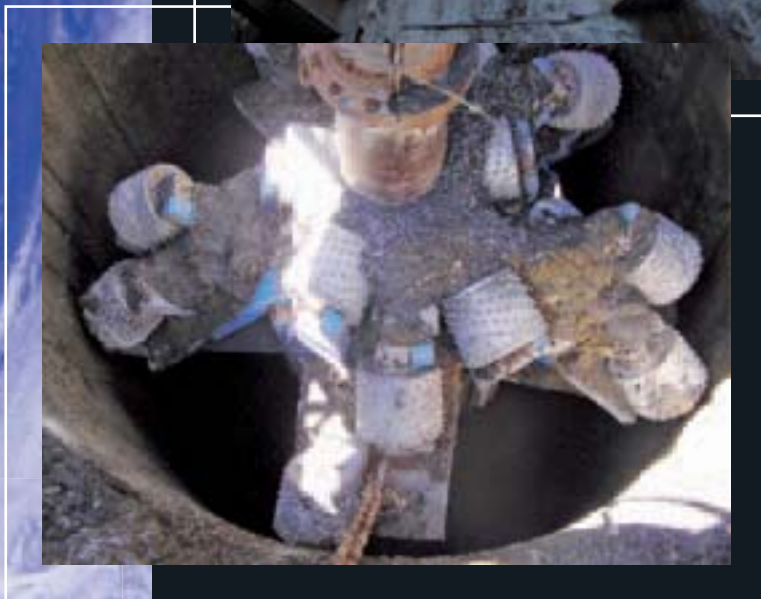
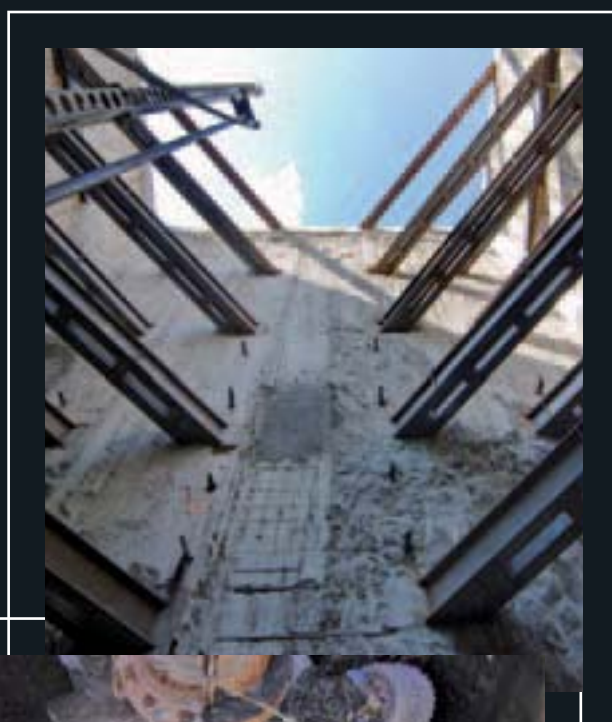


Časopis ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a. s.

ZAKLÁDÁNÍ

4/2008 Ročník XX



- **Nový megaprojekt v Dubaji**
- **Královopolský tunel v Brně**
– přehled aktuálních činností
- **Kolektor Václavské náměstí – trasa B**
- **Kabelová šachta tunelu Klimkovice**



Pohled na stavební jámu technologického centra

Návrh zajištění stavební jámy technologického centra Královopolského tunelu

Technologické centrum bude sloužit k umístění technologií řízení a kontroly provozu tunelů a k odvětrání jejich dopravního prostoru. Je situováno přibližně uprostřed trasy tunelů. V článku je popsán návrh dočasného pažení výkopu extrémně hluboké stavební jámy technologického centra rozpíranými, v části kotvenými, monolitickými podzemními stěnami. V současné době (12/2008) má stavba za sebou první úspěšné kroky, tj. výkop na hloubku 21 m z celkových až 29,9 m.

Geologické a hydrogeologické poměry

Předkvartérní podloží v prostoru tunelu Dobrovského tvoří od hloubky cca 8,5 m pod horní hranou pažení neogenní vápnité brněnské jíly (tégly) s velmi vysokou plasticitou (F8/CV, ojediněle F7/MV), s narůstající hloubkou konzistence od tuhé po pevnou až tvrdou.

Kvartérní souvrství tvoří bazální pleistocenní hrubozrnné fluvialní sedimenty – ulehle zahliněné písky a štěrky s proměnným obsahem štěrkových zrn (S3/S-F až G4/GM) o mocnosti cca 2,10 m. Nad nimi jsou uloženy jemnozrnné fluvialní hlíny (F6/CI až F8/CH) se střední až vysokou plasticitou, tuhé konzistence (cca 2,20 m).

Svrchní vrstvu souvrství mocnosti cca 4,20 m tvoří zeminy eolického původu – spraše a sprašové hlíny (F6/CI) se střední plasticitou, tuhé až pevné konzistence.

Povrchové antropogenní sedimenty jsou zde nevýznamné.

Podzemní voda byla zjištěna v různých hloubkách. Nejčastěji se vyskytuje při bázi kvartérních uloženin. Netvoří však souvislou hladinu – některými sondami nebyla zastižena. Na druhé straně se s ní lze setkat i v masivu neogenních jílu. Propustnost jílu je velmi malá; laboratorními zkouškami byl naměřen koeficient propustnosti $k = 9,9 \cdot 10^{-10}$ m/s. Propustnost masivu jílu je však větší; podle výsledků zkoušek v sosedním úseku trasy tunelu o jeden až dva řády. Hladina podzemní vody byla sondou J1001 zastižena v hloubce 7,80 m p. t., tj. v nadmořské výšce 229,20 m, ve vrstvě hlinitopísčitéch štěrku. Podzemní voda je dle podkladů středně agresivní (síranová agresivita stupně XA2, obsah SO_4 : 1600 mg/l).

Pro návrh a posouzení pažicí konstrukce byla uvažována geologická stavba zájmového území podle popisu charakteristické sondy J1001.

Pro hloubku výkopu větší než 14,0 m je navržena pažicí konstrukce, značně citlivá i na relativně

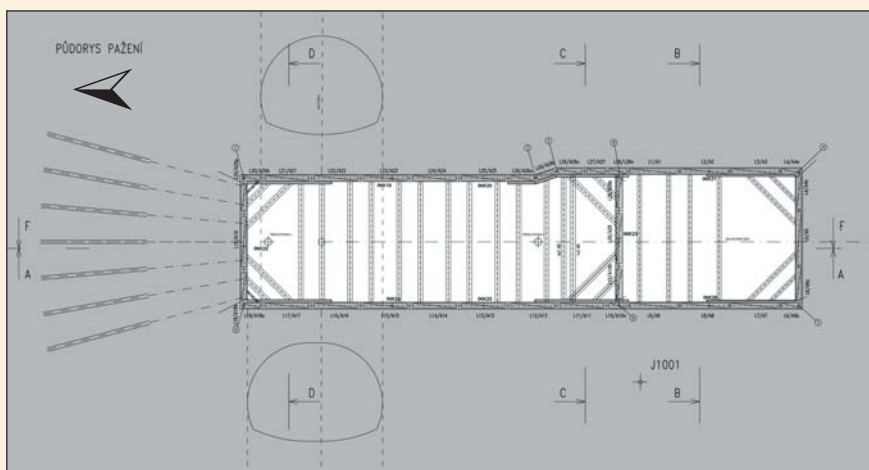
malou změnu pevnostních charakteristik podložních jílu a úrovně hladiny podzemní vody. Při hloubení rýhy pro jednotlivé lamely podzemní stěny proto bylo nutno věnovat zvýšenou pozornost kontrole předpokládaných geologických poměrů včetně odběru vzorků zemin pro laboratorní zkoušky v rámci geotechnického dozoru a monitoringu.

Technické řešení

Technologické centrum se skládá ze dvou částí (TCI a TCII) s odlišným půdorysem a hloubkou dna výkopu stavební jámy.

Půdorys stavební jámy pro hlubší TCI má tvar obdélníka se světlou délkou 41,60 m a světlou šířkou 13,65 m, (resp. 14,43 m v rozšíření půdorysu TCI navazujícím na TCII). Půdorys stavební jámy pro TCII má tvar obdélníka se světlou délkou 20,30 m (včetně dělicí PS mezi TCI a TCII) a světlou šířkou 14,43 m.

Výkop stavební jámy pro TCII (ploché dno výkopu v nadmořské výšce 226,540 m) a TCI (klenuté „tunelářské“ dno s nejnižší úrovní 206,49 m n. m. v podélné ose TCI, resp. odstupňované rovné dno v úrovni 206,90 m a 206,10 m n. m. pod tunelem I) bude pažen rozpíranými, resp. kotvenými, monolitickými podzemními stěnami tloušťky 0,80 m. Pro pracovní rovinu byl snížen stávající povrch terénu na úroveň 236,00 m n. m. V DZS byl navržena výkop stavební jámy pod postupně betonovanými stropy spodní stavby



Půdorys pažení TC s vyznačenou polohou tunelu I

TC I a TC II zavázanými do prohlubní (kapes) v pažicích podzemních stěnách v kombinaci s dočasným rozepřením vloženými ocelovými rozpěrami z trubek průměru 457/22 mm, resp. 457/26 mm, a kotvením dočasnými kotvami v oblasti tunelu.

Zahájení stavby tunelů Dobrovského a technologického centra se však vlivem soudního pozastavení stavebního povolení dostalo do značného časového skluzu. Proto sdružení dodavatelů VMO předložilo investorovi alterna-

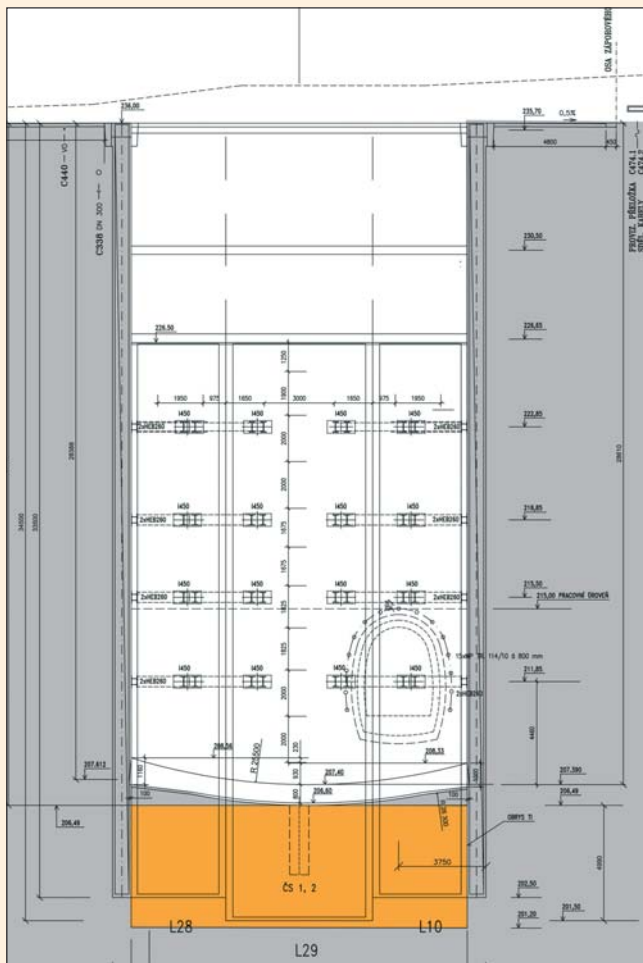
tivní návrh realizovat výkop v otevřené stavební jámě zapažené podzemními stěnami dočasně rozpíranými ocelovými rozpěrami v kombinaci s kotvením severní podzemní stěny TC I v prostoru tunelu dočasnými kotvami.

Navržená a odsouhlasená změna postupu výstavby zrychluje a zjednodušuje výkop stavební jámy. Otevřená stavební jáma také usnadňuje svislou dopravu výkopku, rozpěr a vrtných souprav, nutných pro osazení kotev a mikrozáporových dešťníků nad tunelem

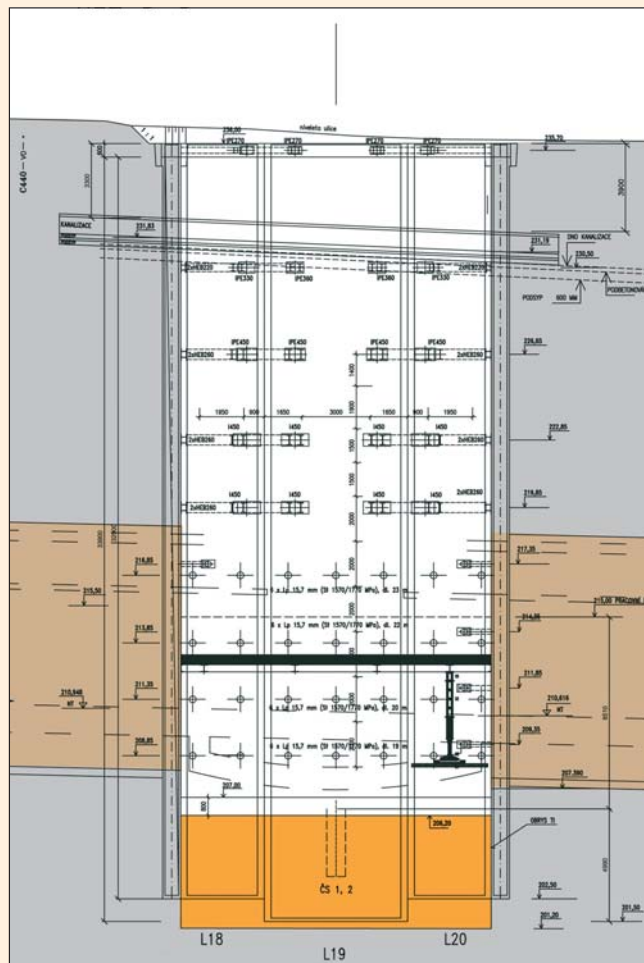
a spojkou TS3, do stavební jámy a práci v ní. Tato varianta zjednodušuje skladbu požadované fóliové izolace vestavěné konstrukce TC a umožňuje plynulou realizaci spodní stavby technologického centra bez nutnosti řešení realizačně i staticky náročných detailů osazení stropů do kapes v líci podzemních stěn, zavázání výztuže svislých stěn spodní stavby do již vybetonovaných stropů, bednění a betonáže svislých stěn TC pod stropy. Na druhou stranu navržená změna rozepření PS znamená větší rozsah dočasného rozepření a přerušování provozu na Dobrovského ulici na delší dobu, řešené dočasnou objíždkou.

Podzemní stěny lze využít i při návrhu vestavěné konstrukce (např. při návrhu založení, dimenzování obvodových stěn a při vzcházení vzlaku podzemní vody na vestavěnou konstrukci). Rozepření a kotvení podzemních stěn je dočasné. V konečném stavu převzou trvale funkci rozpěr a kotev spodní betonová klenba, základová deska, stropy, příčné a obvodové stěny spodní stavby TC a zpětný zhuťněný zásep nad ní. Plná statická funkčnost dočasných kotev je požadována pouze po dobu realizace spodní stavby technologického centra.

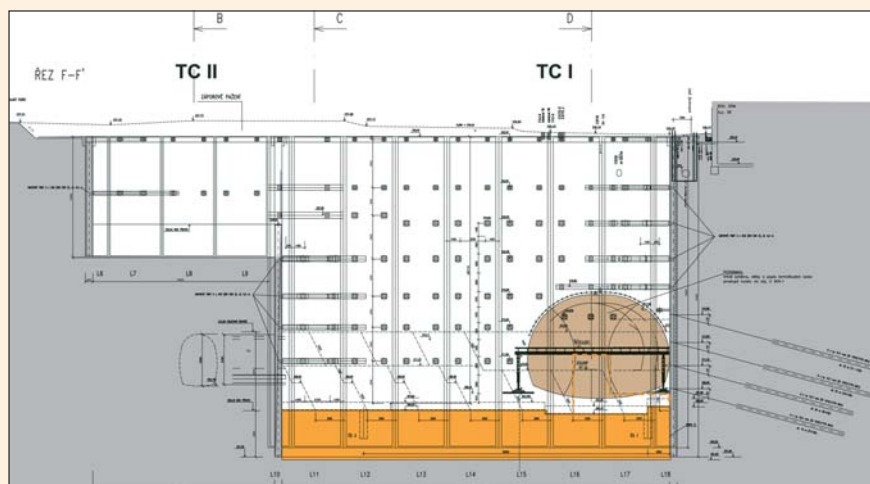
Přetížení pažení sousedními domy bylo odvozeno z dostupných archivních a pracovních



Příčný řez TC I směrem k TC II s pohledem na spojkou chodbu do tunelu II



Příčný řez TC I v místě tunelu I s pohledem na severní stěnu



Podélný řez TC I a TC II s pohledem na západní stěnu

výkresů jejich pasportizace, předaných projektantem akce. Vzhledem k tvaru a podsklepení sousedních domů v ulici Dobrovského a hloubce stavební jámy bylo přitížení v základové spáře nosných zdí domů při posouzení pažení uvažováno zatížením vrstvou zeminy od úrovně povrchu stávajícího terénu.

V DZS pažení nebylo počítáno s hydrostatickým tlakem na pažení v prostředí neogenních jíílů. Podle odborné literatury zabývající se pažením hlubokých stavebních jam nelze vyloučit, že podél rubu pažení nedojde k vytvoření průsakových cest, což bylo příčinou havárie podzemní stěny v Chomutově v r. 1976 v obdobných geologických poměrech. Pro vyloučení působení tlaku podzemní vody v prostředí neogenních jíílů jsou proto přes PS postupně s výkopem **navrtávány kontrolní a odlehčovací maloprůměrové vrty**. Dočasná pažicí podzemní stěna byla navržena a posouzena na základě všech podkladů předaných projektantem akce pro jednotlivé zatěžovací stavy (tj. etapy výkopu stavební jámy, osazení rozpěr a napínání kotev, prostupu tunelu I stavební jámou a postupné deaktivace rozpěr s realizací spodní stavby TC) pro předpokládané geologické poměry ve všech typických příčných řezech.

Dle statického posouzení průřezu a výztuže podzemních stěn v RD pro zadané efektivní hodnoty geotechnických charakteristik zastížených zemin bylo i přes prohloubení paty PS proti DZS nutné zajistit stabilitu dna výkopu a rozepření paty stěn pode dnem výkopu **TCI tryskovou injektáží**.

Potřeba tryskové injektáže pro zlepšení vlastností zemin pod dnem výkopu pro TCI vyplynula i z nezávislého posouzení stability dna stavební jámy při návrhu spodní klenby a základové desky TCI panem prof. Aldorfem (VŠB Ostrava). V průběhu hloubení stavební jámy je chování pažení sledováno **přesnou nivelací a monitorováno pomocí inklinometrů, osazených v podzemních stěnách, a dynamometrů v hlavách kotev**. Naměřené hodnoty deformací

(posunů a průhybů) podzemních stěn a kotevních sil jsou průběžně porovnávány v rámci monitoringu s vypočtenými hodnotami.

Přípravné práce

Stávající povrch terénu, který je skloněn k východu, tj. ve směru Dobrovského ulice, je v rozsahu nadmořských výšek cca 236,00 až 238,50 m (Bpv).

Rýha pro lamely podzemní stěny byla hloubena ze zpevněné pracovní plochy s povrchem v úrovni 236,00 m n. m., vybetonované na upravené dno svahovaného předvýkopu hrubých terénních úprav. S ohledem na stísněné dispoziční poměry a požadovanou šířku pracovní plochy byl výkop HTÚ podél sousedního pozemku polikliniky zajištěn nekotveným záporovým pažením. Byly navrženy vibroberaněné záporové tyče IPE 300 mm délky 5,0 až 6,0 m, osazených v rozteči 2,0 m ve vzdálenosti 6,0 m od osy západní podzemní stěny. Horní hrana pažin sleduje horní hranu záporu a tvoří hrázku proti přítoku povrchové srážkové vody do prostoru staveniště. V rámci konečných terénních úprav budou výztužné tyče záporu vytaženy.

Poloha inženýrských sítí v zájmové oblasti pažení byla ověřena místním šetřením a kopanými sondami ve vytipovaných kolizních místech. Před zahájením prací byly kolidující inženýrské sítě a stavbou ohrožená vedení přeložena, resp. ochráněna před poškozením, a ponechané části potrubí zaslepeny. S projektanty přeložek inženýrských sítí byly řešeny i požadavky na zpevněné pracovní plochy pro technologii podzemních stěn, na příjezdové komunikace a na plochy nutné pro zařízení staveniště.

Zpevněné plochy vně stavební jámy jsou tvořeny vrstvou betonu C 16/20 mocnosti 0,15 m, vyztuženou při obou površích ocelovou svařovanou sítí KARI 8/100x8/100 mm. Zpevněná plocha uvnitř půdorysu stavební jámy byla vytvořena ze silničních panelů tloušťky 0,15 m. Vnější zpevněné plochy navazují na rub vně-

ších vodicích zídek. Jejich povrch je navržen ve sklonu 0,5 % směrem od PS pro odvod povrchové srážkové vody od stavební jámy.

Kvůli požadovanému vyloučení těžké dopravy nad čelbou dle aktuálního postupu ražby tunelu I byl v rámci RD pažení navržen alternativní příjezd na staveniště sjezdovou rampou (šířka 4,8 m, poloměr osy 12,6 m, podélný sklon 8,5 %, příčný sklon 0,5 %), vedoucí na pracovní plochu podél západní podzemní stěny z ulice Dobrovského (od polikliniky). Rampa těsně míjí stávající kanalizační šachtu, která je před poškozením nárazem vozidel chráněna provizorním obetonováním a signálním nátěrem. Roh stávající podezdívky oplocení polikliniky dotčený výkopem pro rampu byl klasicky podezděn.

Pro výkop stavební jámy TCI, osazování rozpěr i svislou dopravu technologie je využívána jeřábová dráha s jeřábem MB 1030.1, umístěná podél východní PS.

Podzemní stěny

Lamelizace podzemních stěn byla navržena pro hloubení rýhy hranatým hydraulickým drapákem Soilmec s délkou záběru 2,50 m pod ochranou pažicí suspenze Argipol. Byly navrženy třízáběrové lamely půdorysné délky 5,55 až 6,30 m. Plynulý přechod podzemních stěn mezi TCI a TCII je řešen pomocí T-lamel. Lamelizace stěn byla navržena i s ohledem na způsob zajištění jejich stability rozepřením ocelovými rozpěrami; lamely PS jsou navrženy v max. možné míře symetricky podél podélné osy TC. **Rýha pro lamely podzemní stěny** byla hloubena z upraveného povrchu pracovních ploch do předem připravených vodicích zídek. S ohledem na atypicky vysokou hmotnost armokošů lamel PS u TCI (až 19,3 t včetně průchodek pro kotvy a kotevních desek rohových rozpěr) a na předpokládané vlastnosti základové půdy v patě zídek (spraše, sprašové hlíny, tuhé konzistence), bylo po statickém posouzení navrženo zvětšení průřezových rozměrů vodicích zídek a zesílení jejich typové konstrukční výztuže. (O vlastním provádění podzemních stěn, hloubení rýhy, skladbě a osazování armokošů celkové délky až 34,50 m, výhodách pažicí suspenze Argipol a betonáží lamel PS jsme informovali blíže v článku v čísle 2/2008 Zakládání.)

Původně navržená výztuž podzemní stěny z oceli 10 505 (R) byla na dodatečnou žádost dodavatele pažení s ohledem na její nedostupnost na trhu nahrazena betonářskou výztuží z oceli BSt 500 S (pruty průměru 8 až 32 mm) a BSt 550 S (pouze pruty průměru 36 mm). Současně byla s ohledem na extrémní hloubku lamel a dovolené tolerance hloubení rýhy pro PS zmenšena šířka armokošů.

Do armokošů lamel byly osazeny pouze kotevní ocelové desky rohových rozpěr

a převážek rozpěr, typizované průchodky pro trvalé šestipramencové kotvy (dočasné kotvení severní stěny v oblasti tunelu I) a inklinometrické pažnice.

Rozepření a kotvení podzemních stěn

Vzhledem k velikosti paženého výškového rozdílu a přetížení povrchu terénu za rubem pažení, požadavku na minimalizaci deformací pažení a vzhledem ke geologickým a dispozičním poměrům musela být stabilita pažení zajištěna **rozepřením v sedmi úrovních**. U severní stěny byly v prostoru tunelu rohové rozpěry nahrazeny dočasnými pramencovými kotvami ve čtyřech úrovních.

Rozpěry byly na žádost dodavatele navrženy jako členěné pruty z dvojice tyčí IPE 270 až 450 mm, resp. z dvojice tyčí I 450 mm, délky 13,65 m až 14,43 m (bez tolerancí líce PS).

Půdorysná poloha a rozteč rozpěr byly odvozeny z lamelizace a půdorysného tvaru PS (2 rozpěry/lamelu), z požadavku minimalizace zatížení lamel ve vodorovném směru a z využití rohových rozpěr pro rozepření lamel kratších příčných stěn. Pro umožnění svislé dopravy jsou rozpěry v max. možné míře navrženy v půdorysném zákrytu. Pro snadnější betonáž obvodových stěn spodní stavby TCI a TCII je minimalizováno použití převážek.

Výšková poloha rozpěr je dána úrovní ohlubeného věnce a stropů vestavěné konstrukce TC s ohledem na postupnou deaktivaci rozpěr při

realizaci spodní stavby TC, polohou a tvarem MP deštníků nad tunelem I a spojnou chodbou TS3, úrovní a tvarem dna výkopu, resp. horní hrany spodní klenby a základové desky. Dle zadání je spodní hrana rozpěr navržena min. 1,50 m nad horní hranou příslušného stropu TC pro požadovaný přesah svislé výztuže obvodových stěn a izolace spodní stavby TC. Výjimkou je pouze 6. řada rozpěr nad vloženým stropem vzduchotechnického kanálu podél části východní stěny, kde vzdálenost od stropu k spodní hraně rozpěr činí z dispozičních a statických důvodů 1,20 m.

Výšková osová rozteč rozpěr je 3,35 až 4,0 m. Ve spolupráci s dodavatelem pažení a výkopu stavební jámy byl upraven a staticky posouzen postup hloubení výkopu a osazování rozpěr.

Bylo navrženo a posouzeno prohloubení výkopu před osazením rozpěr dané úrovní o cca 3,0 m v podélném středovém pruhu šířky max. 3,0 m s ponecháním průběžných zemních lavic u PS se sklonem svahu 1 : 0,5.

Pro rozepření rohových lamel v severní stěně TCI jsou v oblasti podél tunelu navrženy krátké rohové rozpěry z ocelových trubek průměru 219/10 mm. Navrženy jsou 0,5 m nad kotevní úrovní kotev severní stěny TCI, se kterými mají shodnou pracovní rovinu pro osazení.

Styk rozpěr s lícem podzemní stěny je řešen pomocí ocelových roznášecích desek. Do armokošů lamel PS byly osazeny kotevní desky rohových rozpěr, upravené pro přenos smyku přivařenými kotevními trny z výztužných trubek

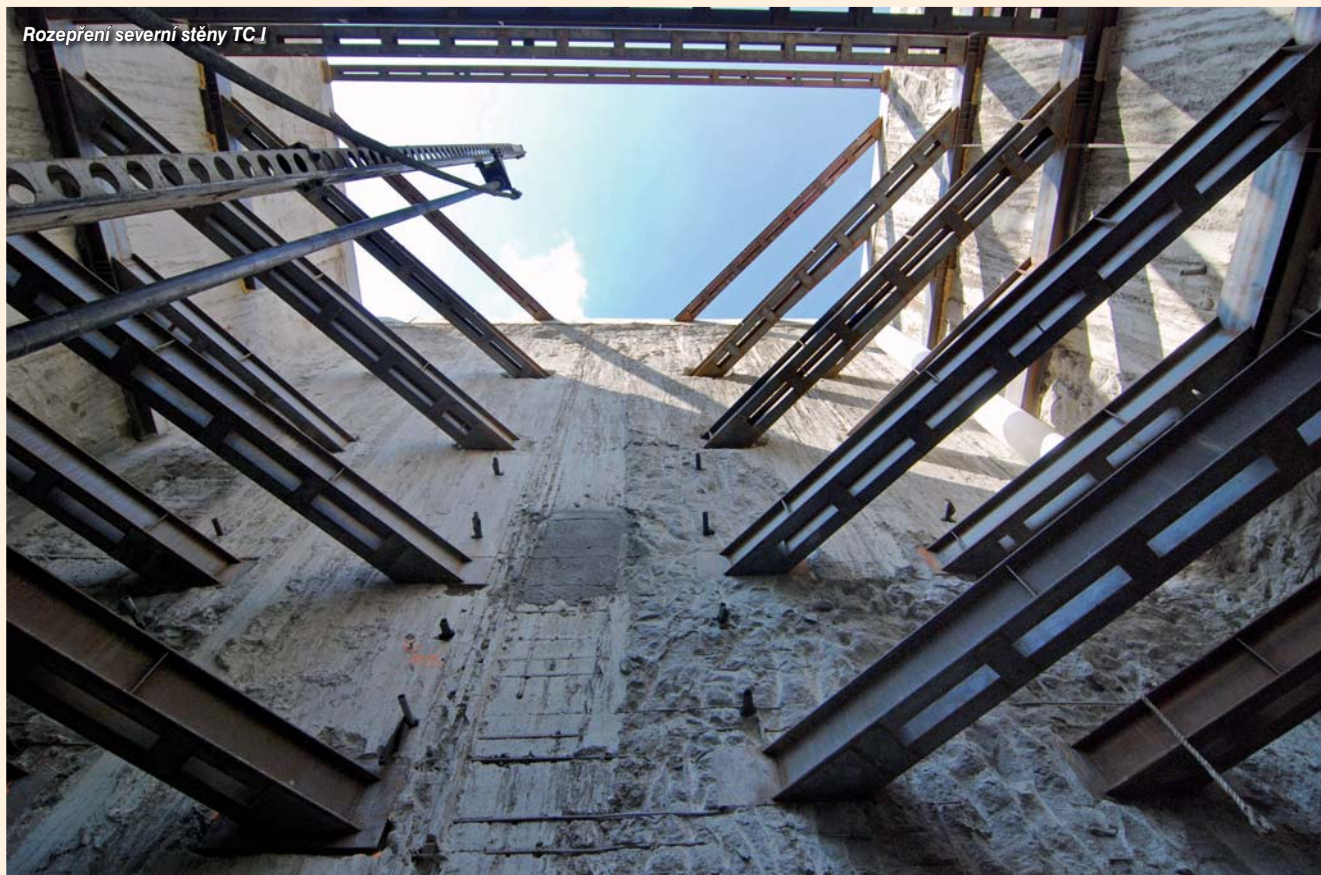
70/12 mm, resp. 108/16 mm (ocel 11 523.0).

Pro kotvení severní podzemní stěny TCI v prostoru tunelu jsou navrženy dočasné předpjaté kotvy s prodlouženou životností z šesti pramenců Lp 15,7 mm (St 1570/1770 MPa). Do armokošů kotvených lamel proto byly osazeny průchodky s úpravou pro trvalé kotvy. Průchodky pro kotvy byly před osazením do armokoše natřeny krystalizačním nátěrem a opatřeny expanzním těsnicím páskem.

Půdorysná poloha a rozteč kotev byly odvozeny z lamelizace a půdorysného tvaru PS. Kotvy jsou v každé úrovni půdorysně vějířovitě odkloněny od podélné osy TCI (maximalizace vzdálenosti kotevů kotev). Deaktivace kotev není požadována.

Poznámky k návrhu

Pro vyloučení působení tlaku podzemní vody v prostředí neogenních jíílů jsou s postupem výkopu přes PS navrtávány jádrovou vrtnou soupravou **kontrolní a případně i odlehčovací vrty průměru 75 mm**, dovrchní (odklon od vodorovné 5 °), délky 2,50 m. Vrty jsou vystrojeny drenážními trubkami PVC 100 – 63x1,9 mm, délky 2,5 m, perforovanými „do kříže“ po 0,25 m a obalenými textilní síťovinou. Základní síť drenážních vrtnů byla odvozena z polohy prostředí neogenních jíílů dle charakteristické IG sondy J1001, lamelizace PS (dva sloupce na lamelu půdorysné délky 5,55 m) a výškové rozteče rozpěr (dvě řady mezi úrovní rozpěr, tj. ve výškové rozteči od 1,68 m



Rozepření severní stěny TCI



Severovýchodní část stavební jámy s mikropilotovým deštníkem nad tunelem

po 2,0 m). Poloha drenážních vrtů je navržena mimo teoretickou polohu výztuže PS.

V hlavě PS je navržen ohlubňový žlb.

monolitický věnec z betonu C 30/37 – XA2 výšky 0,60 m (s horní hranou v úrovni 236,00 m n. m.) a šířky 0,85 m. Věnec byl betonován do vodících zidek PS po osazení separační vrstvy na stykové svislé vnitřní plochy zidek.

Výztuž věnce (ocel BSt 500 S) je konstrukční. Nad průnikem tunelu západní a východní podzemní stěnou je konstrukční výztuž věnce zesílena a doplněna smykovými ohyby. Do pohledového líce ohlubňového věnce byly osazeny kotevní desky rohových rozpěr. Před betonáží věnce byly k jeho výztuži fixovány ocelové průchodky pro osazení a zakotvení sloupků bezpečnostního ocelového dvoutyčového zábradlí.

V rámci konečných terénních úprav bude dle zadání ohlubňový věnec nad východní podzemní stěnou v prostoru ulice Dobrovského odbourán. Pro vynesení lamel nad tunelem I bylo proto ve spolupráci s projektantem ražby tunelu (AMBERG Engineering Brno, a. s.) navrženo zatažení vyztuženého primárního ostění tunelu I pod probourávané lamely.

Požadavky na **úpravu povrchu podzemních stěn** jako podkladu pro instalaci hydroizolace a případně i drenážních vrstev budou upřesněny po specifikaci konkrétního typu izolace a posouzení nutnosti použití drenážních vrstev v technologickém předpisu jejich aplikace.

Otvory a prostupy v podzemních stěnách pro vedení inženýrských sítí v ulici Dobrovského

a jejich přípojky budou probourány dodatečně až při realizaci spodní stavby TC v poloze dle platné RDS jednotlivých objektů IS.

Až po zahájení výkopu stavební jámy byl na žádost dodavatele ražby tunelu ve spolupráci s projektantem ražby **změněn způsob zajištění podzemních stěn v místě prostupu tunelu I** stavební jámou pro TCI. Kotevní PS sklolaminátovými kotvami v místě prostupu tunelu původně navržené v projektu ražby bylo nahrazeno rozepřením pomocí ocelové konstrukce dodatečně požadované pojezdové rampy, dočasných ocelových rozpěr a tryskové injektáže. Současně byla navržena změna postupu hloubení, zajištění výkopu stavební jámy a postupu ražby tunelu při jeho prostupu stavební jámou.

Podrobnějšímu popisu prostupu tunelu I stavební jámou TCI by mohl být věnován samostatný článek v některém příštím čísle. Zajímavé bude i porovnání naměřených průhybů pažení při dalších etapách výkopu stavební jámy a realizace spodní stavby TC s průhyby předpokládanými podle statického výpočtu.

Ing. Pavel Průcha, FG Consult, s. r. o.

Foto: Libor Štěrbá

Stavba: *Silnice I/42, Brno, VMO Dobrovského B*
Investor: Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD)
TDI: *Brněnské komunikace, a. s. (BKOM)*
Generální projektant: *Inženýrské sdružení VMO Dobrovského*

AMBERG Engineering Brno, a. s.

PK OSSENDORF, s. r. o.

DOSING – Dopravoprojekt Brno group, s. r. o.

Eltodo Dopravní systémy, s. r. o.

Zhotovitel stavby: Sdružení VMO Dobrovského B

OHL ŽS Brno, a. s., Metrostav, a. s., Subterra, a. s.

Dodavatel pažení: Zakládání staveb, a. s.

Projektant realizační a dodavatelské dokumentace pažení: FG Consult, s. r. o.

Monitoring a geologický dozor: GEOTest Brno, a. s./SG-Geotechnika, a. s.

Projektant spodní klenby (C612.2): SUDOP Praha, a. s.

Design solution for securing of foundation pit for technological centre – Královopolský tunnel

Technological centre will serve for placement of technologies for control and inspection of tunnel operation and air-conditioning of their traffic space. It is situated approx. in the middle part of the tunnels. The article brings you a description of temporary excavation sheeting of extremely deep foundation pit for the technological centre. Strutted, partly anchored, monolithic diaphragm walls are used here. At this time (December, 2008) first steps has been made on the site, i. e. excavation works to the depth of 21 m from total 29,9 m.