

REKONSTRUKCE TECHNOLOGICKÝCH TUNELŮ NÁRODNÍHO DIVADLA ■ RECONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL TUNNELS FOR THE NATIONAL THEATRE

Petr Doležal

Na Masarykově nábřeží v Praze 1 byla v období od března 2011 do dubna 2012 realizována technicky zajímavá a náročná rekonstrukce tří cca 150 let starých tunelů vedoucích ze suterénu historické budovy Národního divadla pod silniční komunikací až k rubu nábřežní zdi. Tunely sloužily jako trasa pro nasávání čerstvého a odvod využitého vzduchu a rovněž jako trasa přírodního a vratného potrubí technologické vody z Vltavy pro chlazení (vytápění) objektu. Jako podobné inženýrské stavby postupně dožívaly, až dospěly do stavu, kdy již závažné statické a hygienické závady nebylo možné efektivně eliminovat. Národní divadlo se rozhodlo pro jejich zásadní rekonstrukci, spočívající v realizaci nových spolehlivých železobetonových konstrukcí s nadstandardní životností 150 let, bezpečně vzdorujících „povodni 2002“ a plnicích všechny původní účely. Opravdovou výzvou byl pro projektanty i stavbaře požadavek na realizaci díla bez omezení provozu divadla, zachování automobilové dopravy na nábřeží, plnění pokynů orgánů památkové péče a především přání objednatele radikálně přizpůsobit celý úsek od líce nábřežní zdi až do útrob suterénu budovy budoucí lodní dopravě velkoobjemových kontejnerů s divadelními dekoracemi po Vltavě. ■ Technically interesting and demanding reconstruction of three technological tunnels was successfully carried out from March 2011 to April 2012. The existing tunnels were approximately 150 years old and they are situated on the Vltava embankment (Masarykovo nábřeží) in Prague. The tunnels lead from the basement of the National Theatre historical building under the embankment road towards the bank wall face. They are used to supply fresh air and divert stale air, as well as supply and return pipeline for technological water from the Vltava river, used for cooling (heating) the building. Like all similar engineering structures, the tunnels aged over the time, until the moment when their state did not allow proper functioning. It was not possible to eliminate serious static and sanitary defects any more. The National Theatre management therefore decided to perform an essential reconstruction. The reconstruction is based on new reliable reinforced concrete structures with exceptional durability of 150 years. The structure would safely resist the 2002 flood water levels and keep all its required functions. Both the designers and construction teams were challenged by the following requirements: no restriction on the



theatre operations, no obstacles for the traffic on the river bank, meeting all requirements set by the cultural heritage conservation authorities. The client also asked to carry out a radical change in the whole structure – the tunnels are also intended for the traffic of large-volume containers with equipment from the Vltava River (the containers will be unloaded from ships) into the National Theatre.

NĚCO Z HISTORIE

Počátek existence tří kamenných tunelů světlosti 3 m podcházejících nábřežní komunikaci je možné datovat cca okolo roku 1841, tj. o 20 let dříve, než bylo započato s výstavbou předchůdce a dnešní nedílné součásti „Zlaté kapličky“, budovy tzv. „Prozatímního divadla“. Na archivních fotografiích (obr. 1), kde se ještě nevyskytuje nejexponovanější část divadla, tzv. „Žitkova část“, jsou v líci nábřežní zdi vedle řetězového mostu císaře Františka I (stavěn 1839–1841) zřetelné rozpoznatelné tři klenuuté portály, před nimi náplavka s čluny, pracující lidé.

Z dochovaných výkresů je patrné, že architekt Ignác Ullmann musel jejich existenci a užívání respektovat, a divadlo bylo vystavěno nad ně. Tunely byly zřízeny za účelem plynulého překonání výškového rozdílu mezi Vltavou a prostorem za dnešním divadlem pro přepravu zboží z říčních člunů. Z města tedy byly zpět k řece vyváženy odpady a odtékala srážková voda. Svým profilem tunely vyhovovaly pohybu koní užívaných k tahu vozů po nakloněné rovi-

ně. Takto byla ostatně dopravena významná část materiálu pro stavbu Národního divadla.

Postupem času tato dopravní spojnice náplavky s městem ztratila na významu. Při rozšíření nábřeží v letech cca 1903 až 1904 byly dva tunely prodlouženy k rubu dnešní nábřežní zdi. Tyto novější úseky tvoří menší cihelná konstrukce světlosti cca 1,5 až 1,8 m. V důsledku zdi byly zřízeny svislé vzduchotechnické šachty, které jsou až do dnešních dnů ve vrcholech opatřeny nepřehlédnutelnými ozdobnými zákryty ze žulových bloků a desek. Dva tunely tehdy začaly sloužit jako technologické přepravní cesty vzduchu a vody do divadla.

Při rozsáhlé přestavbě Národního divadla v letech 1977 až 1984 byly tunely účelově upraveny. Ve směru od Národní třídy jsou z té doby pojmenovány čísla 1, 2 a 3. Zvolená koncepce vycházela z požadavku bezpodmínečného dodržení termínu dokončení rekonstrukce a znovuotevření první scény k 100. výročí otevření Národního divadla 18. listopadu 1983 a nutnosti zachovat dopravu na Gottwaldově nábřeží.

Obecně proběhla úprava pouze z vnitřního prostoru tubusů a omezila se na nejnaléhavější statické zajištění poruch klenbových konstrukcí, zřízení vnitřních hydroizolací, technologických kanálů, podlah a instalaci zařízení.

Tunel 1 stavbě sloužil jako přepravní cesta sutí z budovy do nákladní-

Obr. 1 Stará pohlednice Českého prozatímního divadla s portály tunelů v původní nábrežní zdi ■ Fig. 1 Old postcard of the Czech Interim Theater with original tunnel portal in the bank wall

Obr. 2 Až 20mm trhliny v cihelném úseku původního tunelu 2, srpen 2008 ■ Fig. 2 Cracks up to 20mm in the brick masonry of the original tunnel No. 2, August 2008



v novějších cihelných úsecích shledány četné trhliny s šířkou dosahující až 20 mm (obr. 2).

Logicky následoval diagnostický průzkum nosných konstrukcí (obr. 3), podrobný výpočet zatížitelnosti, posouzení vlivu na obvodovou stěnu budovy divadla. Ze zjištěných skutečností vyplynulo, že životnost tunelů se již blíží ke konci, stav tunelu 2 je havarijní, zatížitelnost dopravou nízká. Na nábreží byl Dopravním podnikem neprodleně vyloučen provoz tramvají s velkým nápravovým tlakem. Národní divadlo přijalo nezbytná opatření na zajištění bezpečnosti a započalo s přípravou zásadní rekonstrukce.

KONCEPCE A BUDOUCÍ ZÁMĚRY

U tunelu 1 byl navržen stavební zásah z vnitřního prostoru, u tunelů 2 a 3 demolice stávajících zděných konstrukcí a výstavba nového objektu z monolitického železobetonu s výhledovou životností cca 150 let, který oba původní tubusy sdruží, tzn. „tunel 2+3“, a propojí se suterénem historické budovy.

Důležité bylo provedení velmi kvalitních hydroizolací spolu s těsněním všech typů spár i prostupů proti tlakové vodě a zřízení systému trvalých protipovodňových opatření efektivně bránících opakovaní zaplavení suterénu z roku 2002.

Dispozice nových inženýrských staveb byla zcela podřízena potřebám technologií vzduchotechniky, čerpání vody a výhledovým záměrům divadla. Ty spočívají ve využití tunelu 2+3 jako součásti dopravního koridoru uzavřených kontejnerů o rozměrech 8,4 × 2,2 × 2,4 m s divadelními dekoracemi. Před nábrežní zdí u Národního divadla se v budoucnosti předpokládá zřízení trvalého přístaviště kontejnerové lodi schopné najednou přivést (odvézt) osmnáct kusů kontejnerů. Plavidlo by zajišťovalo přepravu z nového moderního objektu výroby a centrálního skladování dekorací postaveného na vhodné lokalitě u řeky. Z paluby lodi by jednotlivé kontejnery po vlastním podvozku zajiřdělly do portálu ve zdi a po kolejové dráze pokračovaly do vnitřních prostor budovy. Národní divadlo realizovatelnost i ekonomičnost záměru ověřovalo vypracováním studií přístavi-

Obr. 3 a) Tunel 3, b) tunel 2, c) detail havarijního stavu stropní části nosné konstrukce tunelu 2, stav před rekonstrukcí, srpen 2008 ■

Fig. 3 a) tunnel No.3, b) tunnel No.2, c) detail of the disrepair ceiling part of the structure – tunnel No.2, before reconstruction, August 2008

ště, kontejnerové lodi i nového centrálního objektu výroby a skladování. Záměr vychází z celoročně velmi dobrých plavebních podmínek na Vltavě i těsné blízkosti dnes minimálně využívané plavební komory Mánes. Jeho realizace by eliminovala současnou, stále obtížnější a dražší kamionovou přepravu dekorací z několika skladových objektů po městské uliční síti včetně dnes nezbytné několikanásobné ruční manipulace s kusovým nákladem.

Do koncepcce byl proto zahrnut cca 30,5 m dlouhý úsek dopravního koridoru s kolejovou dráhou o rozchodu 1,9 m, který začíná u technicky unikátních protipovodňových vrat skry-

ho člunu kotvícího na Vltavě. Následně byl uvnitř zaizolován, oplechován a vybaven výkonným velkým ventilátorem. Jeho tubus se stal součástí technologie vzduchotechniky, která je dnes schopna do budovy dodávat a temperovat cca 80 tisíc m³/h čerstvého vzduchu.

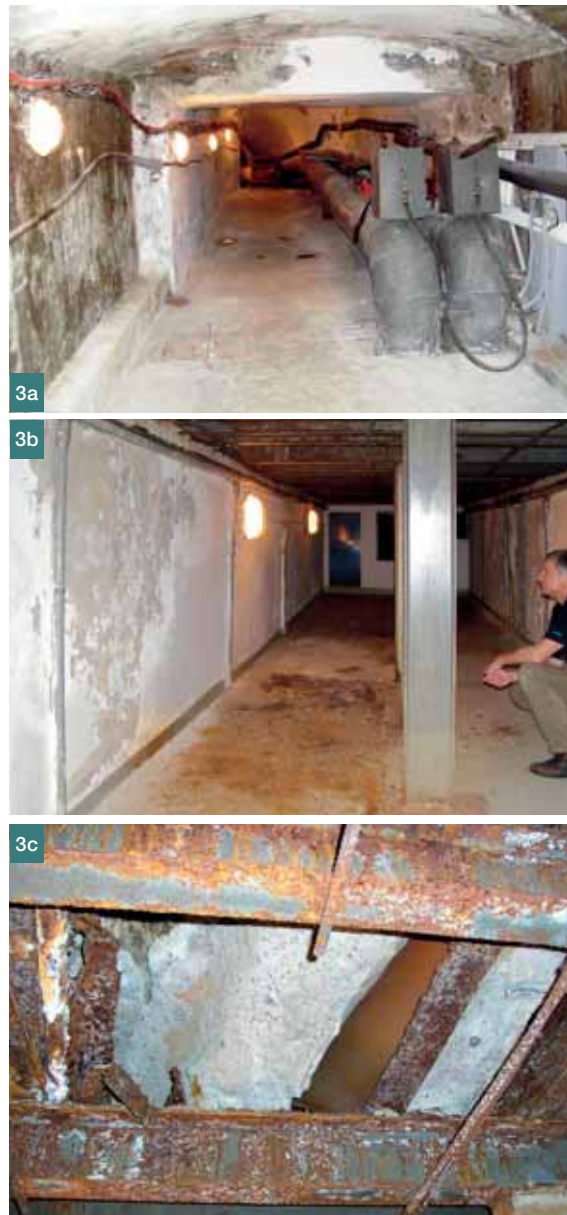
Do části tunelu 2 byla vestavěna strojovna vzduchotechniky. Zde umístěné ventilátory odsávaly z budovy použitý vzduch a vytlačovaly ho dále tubusem a nábrežní šachtou ven.

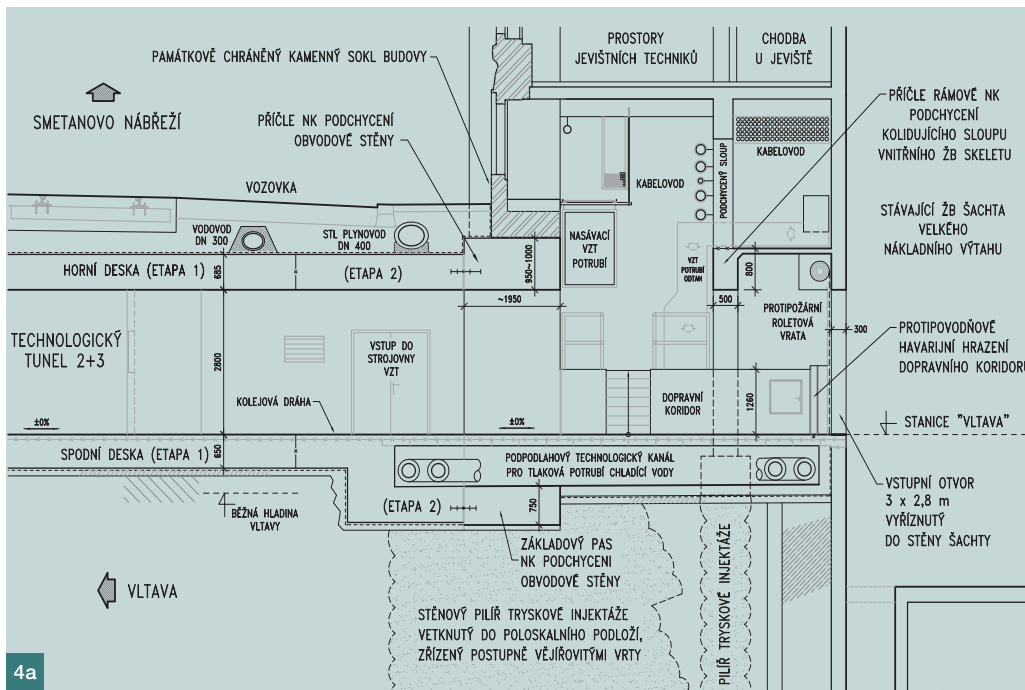
Tunel 3 byl standardní ražbou v šířce cca 2 m prodloužen až k rubu nábrežní zdi, zde opatřen novou nasávací vzduchotechnickou šachtou a napojen na sousedící nový železobetonový jímací objekt vltavské vody zřízený v pažené jámě pod povrchem chodníku.

Objekt byl vybaven třemi výkonnými čerpadly schopnými dodávat do budovy potrubím vedeným tunelem 3 cca 750 m³/h chladící vody a stejnou cestou pak použitou vodu vracet do Vltavy.

Z dochované archivní dokumentace vyplývá, že tehdy realizovaný stavební záměr měl pro nosné konstrukce tunelů charakter provizorního zajištění s časově limitovanou životností. Zásadní oprava byla odložena do budoucna.

Ke zhoršení stavu tunelů velkou měrou přispěla povodeň v roce 2002, kdy došlo k zaplavení jímacího objektu a prolomení podlah vztlakem vody v tunelu 1. Po opadnutí vod byly





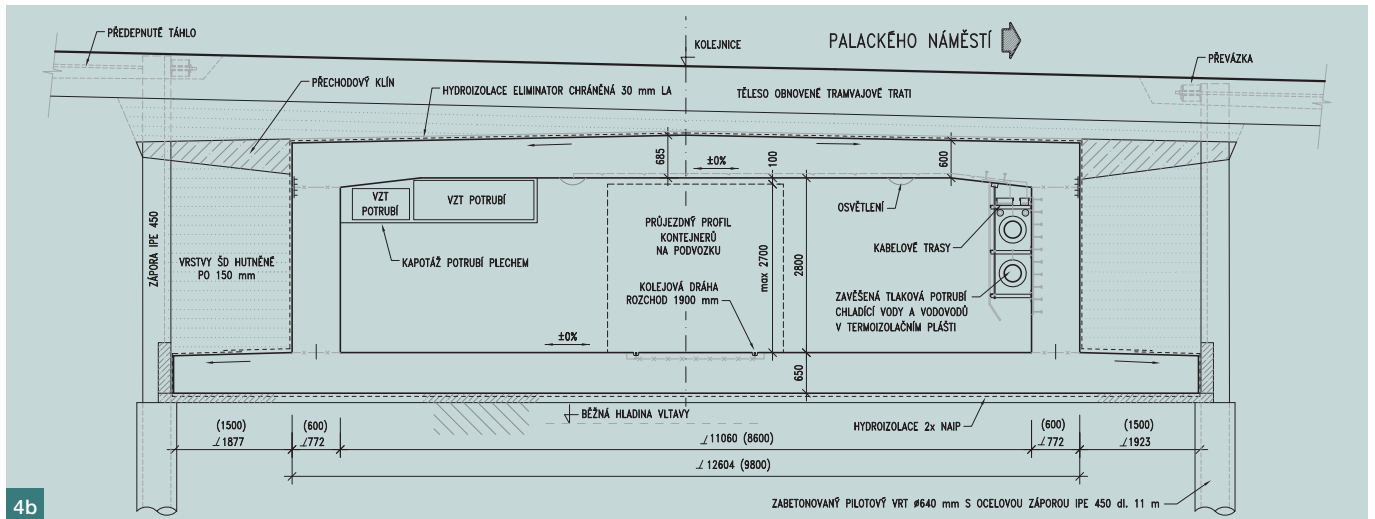
Obr. 4 Trvalé podchytení, a) podélný řez, b) tunel 2+3, příčný řez ■

Fig. 4 a) Permanent reinforcing of the perimeter wall – longitudinal section, b) tunnel No. 2+3 – cross-section

Obr. 5 Stavební jáma tunelu 2+3 ■ Fig. 5 Tunnel No. 2+3 construction pit

Obr. 6 Vrty pro záporní pažení stavební jámy tunelu 2+3, červen 2011 ■ Fig. 6 Drilling for sheeting members – tunnel No. 2+3, June 2011

Obr. 7 Stavební jáma tunelu 2+3, opěry původních tunelů před budovou ND byly záměrně ponechány, červen 2011 ■ Fig. 7 Tunnel No. 2+3 construction pit, original tunnels' supports in front of the National Theatre building were deliberately left in situ, June 2011



tých do nábrežní zdi v klenutém portálu, procházející tunelem 2+3, otvorem v nové konstrukci podchytení obvodové zdi historické budovy a končící ve velkém nákladním výtahu s nosností 6 t uvnitř divadla (obr. 4). Ten díky svému novému hydraulickému systému kontejner bez problému vyzvedne na zadní jeviště, kde je otevřen, kulisy vyjímány a instalovány. Ostatní kontejnery z lodi lze koridorem a výtahem jednoduše dopravit do již existujících skladových prostor v jednotlivých suterénních podlažích budovy, kde jsou na kolejové dráze operativně připraveny podle divadelního repertoáru.

Vše výše uvedené bylo nutné navrhnout a do detailu realizovat tak, aby po dokončení celého díla běžný návštěvník Masarykova nábreží nepoznal změnu oproti původnímu stavu. Jedinou výjimku tvoří nový historizující portál v lici nábrežní zdi.

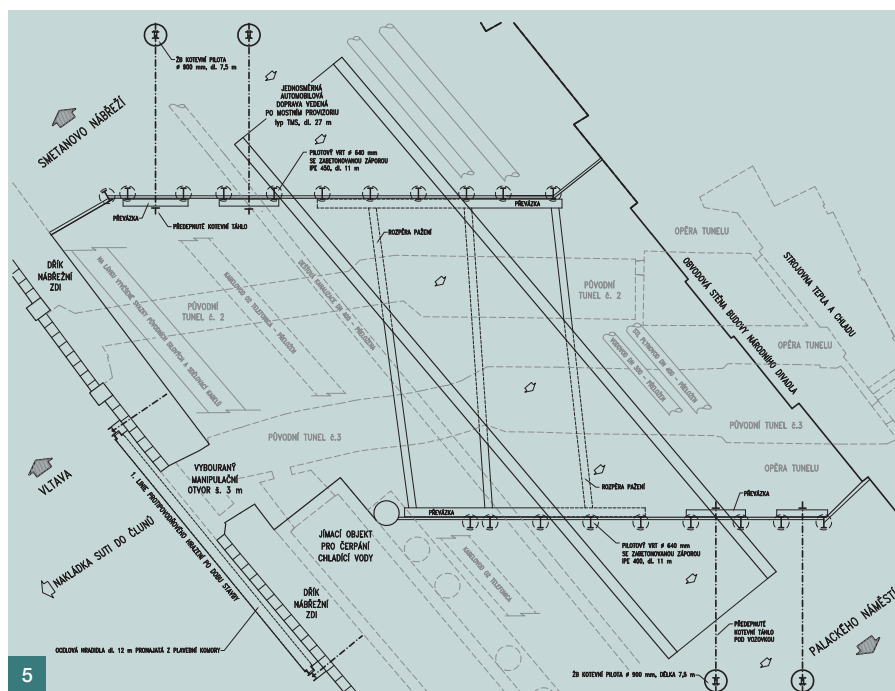
TUNEL 1

U tohoto „čistě vzduchotechnického“ tunelu byla provedena vnitřní vestavba nové konstrukce ve formě uzavřené skořepiny z monolitického železobetonu C25/30 XF3 s rubovou stříkanou hydroizolační membránou Eliminator, to vše bez otevření výkopu z povrchu vozovky. Nebyla měněna dispozice, komplikovaný tvar tubusu byl podřízen požadavkům profese vzduchotechniky. Stavební přístup do původního tubusu nebyl z budovy divadla možný. Byl proto zřízen dočasný průřez z líce nábrežní zdi opatřený mobilní protipovodňovou ochranou. Před budovou divadla byla rozebrána dlážděná vozovka a znovu využita šachta, kterou byla při poslední rekonstrukci sypána suť.

Aby bylo možné eliminovat úbytek původního světlého otvoru tubusu, byla podlahová část v úseku za nábrežní zdi vybourána a zahloubena o cca

0,55 m. Zde čekalo cca 100 let na současné stavbaře příjemné překvapení, které jim zanechali jejich předchůdci. Původní opěry byly založeny na jediném masivním souvislém bloku (pasu) z hrubého drceného kameniva prolévaného vápennou maltou. Materiál to byl kompaktní, kvalitní, obdoba dnešní cementové stabilizace, byl však dobře rozpojitelný ručním bouracím nářadím. Nebylo proto nutné řešit podchyování opěr, pažení výkopu a průsaky vody. Zahloubení pod podlahu proběhlo bez problémů.

Ve starším kamenném úseku u budovy byl postaven uzavřený rám světlosti cca 2,3 x 2,48 m s tloušťkou stěn cca 290 mm, založený plošně na 300 mm desce. V novějším úseku za rubem nábrežní zdi byla do cihelného tubusu vestavěna rámová skořepina proměnné výšky se světlou šířkou otvoru cca 1,45 m, tloušťkou stěn cca 150 mm,



ní části až po základovou spáru nového tunelu byl vyplněn betonem. Vzhledem k značně zkosenému půdorysu jámy bylo navrženo a realizováno standardní rozepření zápor v její střední části, v krajních úsecích pak kotvení dvojic zápor táhlem za rub pažení. Kotevními prvky byly vrtané železobetonové piloty $\varnothing 900$ mm, délky 7,5 m se zabetonovaným ocelovým profilem ve vrcholu, silově aktivovaná táhla ze závitové tyče GEWI $\varnothing 40$ mm byla umístěná cca 300 mm pod povrch vozovky. Prostor mezi záporami byl v nízké spodní části zajištěn skořepinou ze stříkaného betonu, výše standardními dřevěnými pažinami. Popsaná alternativa pažení byla vybrána především s ohledem na důrazně požadovanou minimalizaci vlivu nežádoucích vibrací na budovu divadla i jeho nepřerušovaný provoz.



založená plošně na 250 mm desce s náběhy.

Pro minimalizaci negativního vlivu objemových změn betonu byla nová konstrukce po délce rozdělena těsnými pracovními (smršťovacími) spárami na tři betonážní takty. Technicky se jednalo o období výstavby monolitického ostění o dobu výstavby monolitického ostění používaného běžně u staveb ražených v kvalitní hornině. Podklad (původní zdivo) byl pečlivě vyrovnán cementovou maltou, na něj nastříkána hydroizolační membrána, následně v pořadí spodní (základová) deska, obě stěny, horní deska osazován armokoš a prováděna betonáž. Byla navržena a úspěšně použita technologie samozhutitelného betonu dopravovaného do bednění jednoduše samospádem pomocí svislých vrtů $\varnothing 200$ mm z vozovky na nábreží. Veškeré kabelové trasy jsou v tunelu 1 vedeny trubkovými průchodkami zabetonovanými do stěn konstrukce. Je-

jí hladký vnitřní povrch byl ve finále z důvodu nezbytné hygienické údržby opatřen ochranným nátěrem odolným chemickým čisticím prostředkům.

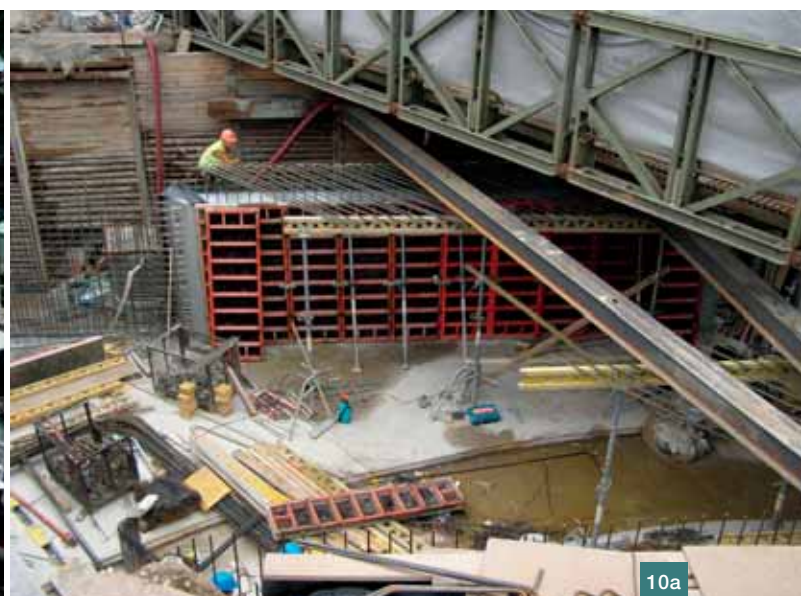
TUNEL 2+3

Objekt byl vystavěn v otevřené, šikmé, pažené jámě hloubky 5,5 m, šířky cca 17 m, která přetnula Masarykovo nábreží od budovy až k rubu nábrežní zdi (obr. 5). Téměř celý její vytěžený objem obsahoval (mimo konstrukce tunelů a dříku původní nábrežní zdi) různorodé navážky, v nejspodnější části pak nejmladší říční náplavy charakteru povodňových hlín, jílu, bahna měkké až tuhé konzistence. Průsaky vody byly obecně menší, než se očekávalo, tzn. snadno odčerpitelné.

Stěny jámy byly zapaženy záporovým pažením. Zápor z válcovaných profilů IPE 450 délky 11 m byly osazovány do vrtů $\varnothing 640$ mm prováděných z vrcholu vozovky (obr. 6 a 7), vrt ve spod-

Vzhledem k obecným požadavkům na minimalizaci negativního vlivu stavební činnosti a dopravy na přilehlé území města i budovu byla navržena doprava výkopů a stavební suti nákladními čluny po Vltavě. Pro pravidla byly proto v zátoce před divadlem zřízeny dočasné kotevní prvky ze zbaraněných svařených štetovnic a v nábrežní zdi vylámán do stavební jámy budoucího tunelu 2+3 dočasný manipulační vstup šířky 3 m pro nakládku (obr. 8 a 9).

Negativní zkušenosti orgánů státní i městské správy z povodně 2002 si zákonitě vyžádaly důsledné řešení problematiky protipovodňových opatření i havarijních situací po celou dobu stavby. Jedním z jejích nejdůležitějších prvků byla dočasná konstrukce mobilního hrazení prostupu, tzv. „1. linie“ v lici zdi (obr. 5). Jednalo se o ocelobetonový rám ve tvaru velkého písmene



„U“, připnutý k líci zdi tyčovými kotvami, jeho spodní práh byl podporovaný sedmi kusy vrtaných mikropilot délky 11 m. Do rámu byla stavbou podle aktuální výšky hladiny vody pomocí jeřábu zasouvána ocelová inventární hradiidla délky 12 m, pronajatá z plavební komory. Tak bylo možné manipulační prostup do cca 2 h zahradit do výšky přesahující max. hladinu vody při „povodni 2002“.

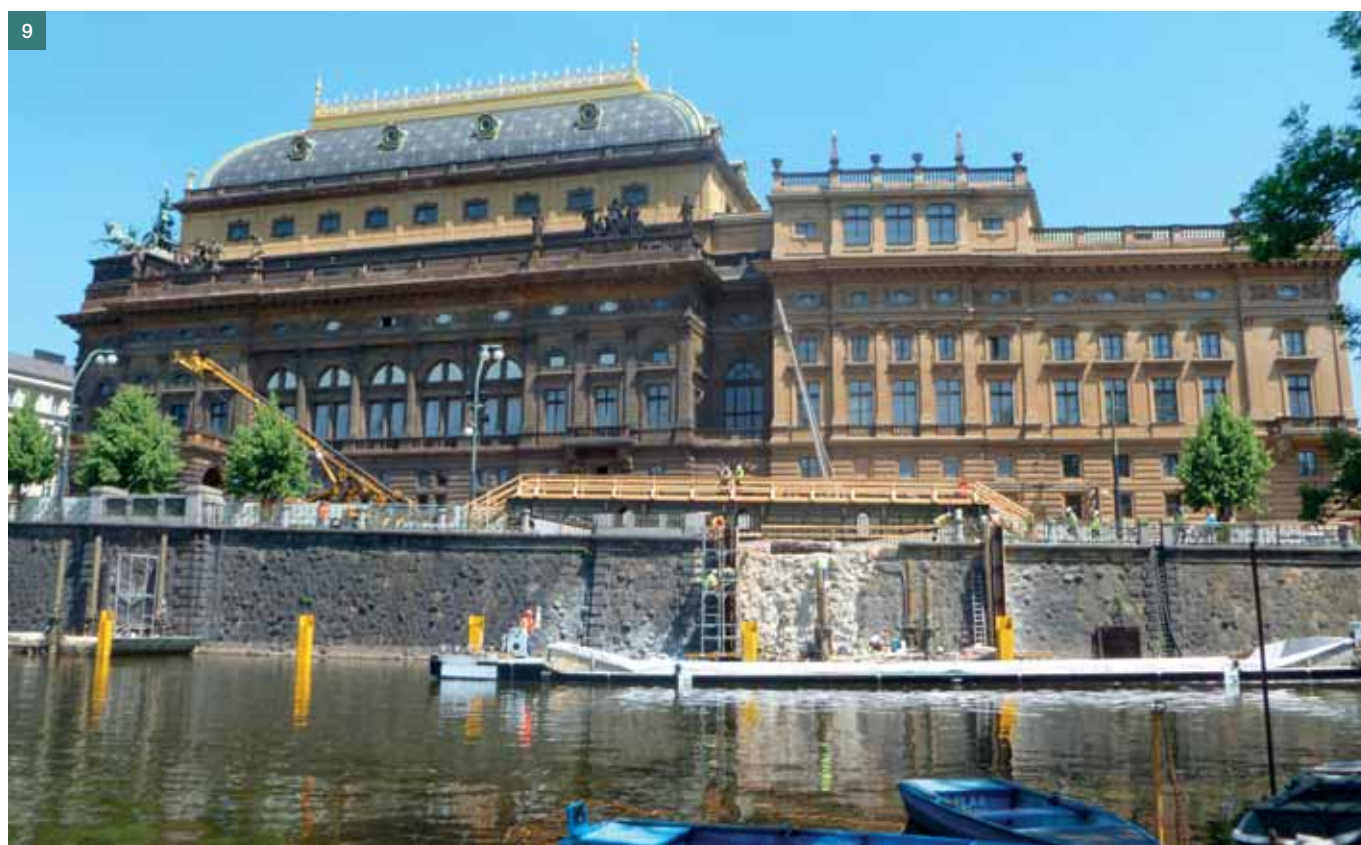
Nosnou konstrukci tunelu 2+3 tvoří jednoduchý, šikmý, uzavřený monolitický železobetonový rám z C25/30 XF3 světlé výšky 2,8 m, kolmé světlé

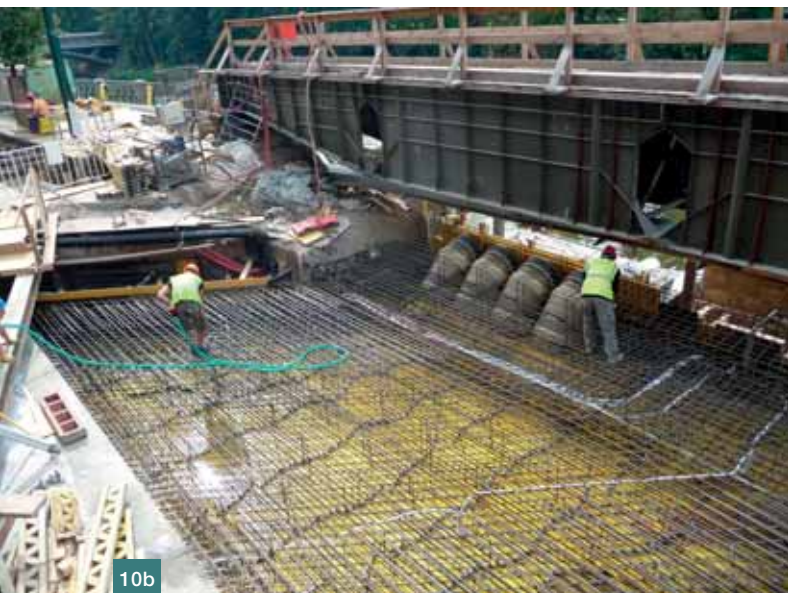
šířky 8,6 m (obr. 4b). Je založen plošně, cca 350 mm nad běžnou hladinou Vltavy na 650 mm silné základové desce. Ta je vyložena vně stěň, což umožňuje využít hmoty zásypu proti zdvihu objektu vztlakem vody při povodni.

V pruhu u budovy byla základová deska účelově zesílena na 1,7 m, aby v ní bylo možné pod podlahu fyzicky umístit trasy dvou VZT kanálů Ø 1,1 m z trubek HOBAS a demontovatelnými prefabrikovanými panely zakrytý podlahový kanál pro potrubí chladicí vody (obr. 4a).

Východní strana tunelu (k budově) je otevřená, opačná západní (za rubem nábrežní zdi) je uzavřena stěnou s velkým vstupním otvorem 3,4 × 2,8 m opatřeným hydraulicky ovládanými protipovodňovými vraty.

Horní deska tunelu je proměnné tloušťky 600 až 725 mm z betonu C30/37 XF4. Spojení vnitřního prostoru objektu se stávajícími ozdobnými kryty vzduchotechnických šachet č. 2 + 3 na hraně nábrežní zdi je řešeno prostřednictvím zalomeného sklolaminátového potrubí. Celkem 2 × 4 trubky Ø 700 mm HOBAS jsou zde zabeto-





10b



10c

novány do lokálně zesílené horní desky objektu.

Hydroizolaci proti tlakové vodě tvoří u spodní desky dvouvrstvé asfaltové izolační pásy; stěny a horní deska byly opatřeny stříkanou hydroizolační membránou Eliminator. Veškeré pracovní a dilatační spáry byly opatřeny dvojitým těsněním (waterstopy, plechy s živičným povlakem, bobtnavé pásy). Styčná dilatační spára s budovou má antivibrační a elektroizolační úpravu.

Výstavba nového objektu tunelu 2+3 proběhla z důvodu koordinace s konstrukcí řešící prostup do suterénu di-

vadla ve dvou časově rozdílných etapách.

V první etapě byla vystavěna část za rubem nábrežní zdi a pod cca 2/3 šířky vozovky. Probíhala za vyloučení tramvajové dopravy a pěších. Jednosměrná automobilová doprava byla vedena po mostním provizoriu délky 27 m (obr. 5 a 10). Stavbou dotčené inženýrské sítě musely zůstat v provozu, byly dočasně přeloženy na stěnu budovy ND (STL plynovod DN 400, vodovod DN 300), případně vyvěšeny na samostatnou konstrukci překračující jámu u nábrežní zdi (silové a telekomunikační kabely), nebo přeloženy pod budoucí tunel (kanalizace DN 300). Nepřerušovaný provoz divadla si vyžadoval téměř po celou dobu stavby dodávky chladicí vody čerpané v jámícím objektu a dopravované potrubím zavěšeným na pažení jámy. V prosinci 2011 zde byl obnoven provoz tramvají, automobilová doprava a později pro turisty otevřen i chodník.

Druhá etapa tunelu, tzn. cca 1/3 konstrukce přiléhající k budově, byla realizována až po úplném dokončení podchytení obvodové zdi v březnu 2012.

KLENUTÝ PORTÁL V NÁBREŽNÍ ZDI

Výhledový záměr Národního divadla vyžadoval vestavět do stávající nábrežní zdi dostatečně velký prostup pro budoucí vjezd kontejnerů dopravovaných po vodě. Dřík zdi byl v délce cca 7 m vybourán a následně do něho vestavěn historizující, předsazený, žulový portál světlé šířky 3,5 m s polokruhovou klenbou. V jeho vzhledu, materiálu a detailech se podle požadavku NPÚ opakuje řešení užitě pro obdobné architektonic-

ké prvky vltavského nábreží z let 1903 a 1904. Tvarem koresponduje se sousedícím předsazením líce zdi pod vzduchotechnickou šachtou. Při rozebírání kyklopského lícního zdiva bylo provedeno jeho pečlivé zdokumentování, očíslování jednotlivých kamenů pro následné opětovné využití na původním místě. Výstavba kamenné konstrukce proběhla bez problémů z pontonu kotvícího před zdi, pod soustavným dozorem pracovníků NPÚ (obr. 11).

Zajímavostí je skutečnost, že z obchodních důvodů byla šedá žula nalamána, portál vyroben a zkušebně



11

Obr. 8 Kotvení nákladního člunu před

lícem nábrežní zdi, květen 2011 ■
Fig. 8 Anchoring of the cargo boat in front of the bank wall, May 2011

Obr. 9 Rozebírání kamenného líce nábrežní zdi a realizace průřezu dřikem z plovoucího prostředku, květen 2011

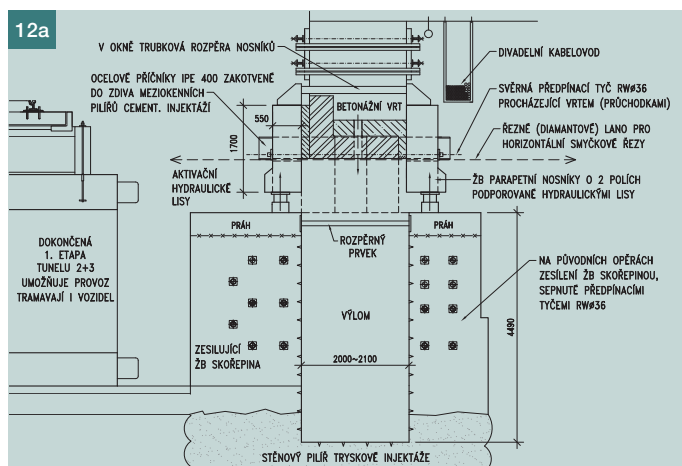
■ Fig. 9 Dismantling of the stone bank wall and getting through the wall from a floating device, May 2011

Obr. 10 a) Výstavba 1. etapy nosné konstrukce tunelu 2+3 pod mostním provizoriem, září 2011, b) výtuž horní desky tunelu 2+3 s osazeným vzduchotechnickým potrubím na nábrežní zdi, září 2011, c) na hotové 1. etapě tunelu 2+3 je dokončována tramvajová trať, listopad 2011

■ Fig. 10 a) Construction of the first stages of tunnel No. 2+3 structure under the temporary bridge, September 2011, b) Upper concrete slab of tunnels No.2+3 reinforcement with mounted ventilation pipe in the bank wall, September 2011 c) Completion of the tram rails on the finished part of tunnel No. 2+3, November 2011

Obr. 11 Historizující žulový portál vestavěný do nábrežní zdi, červen 2012

■ Fig. 11 Historicist granite portal built into the bank wall, June 2012

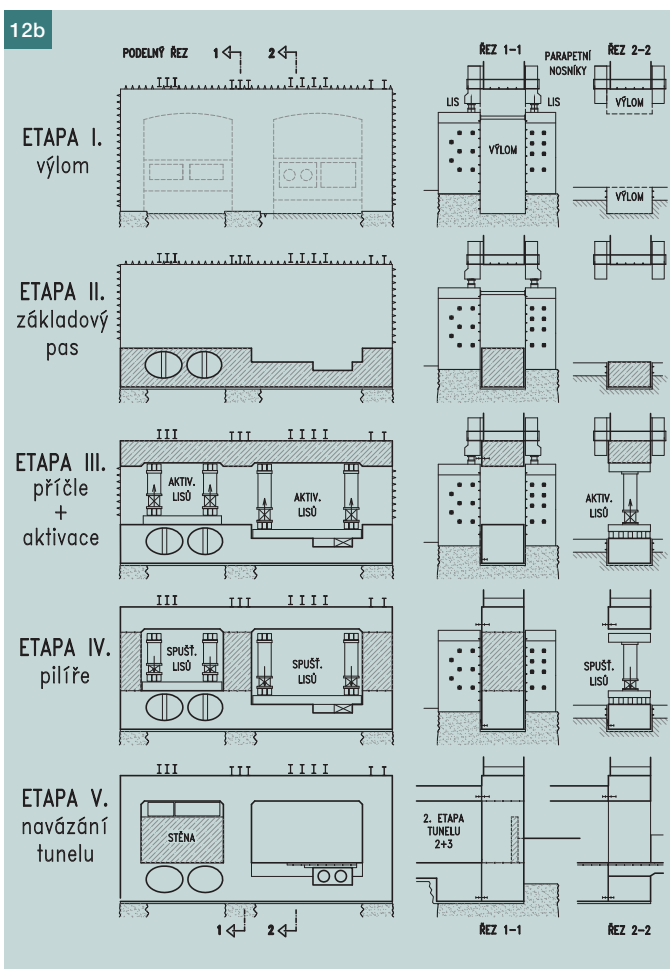


Obr. 12 a) Princip dočasného podchycení, podélný řez, b) schéma budování trvalého podchycení ■ Fig. 12 a) Principle of temporary reinforcing of the perimeter wall, longitudinal section, b) Permanent reinforcing of the perimeter wall building – scheme

Obr. 13 a) Klenební pásy tunelu 2 nesoucí obvodovou zeď ND, oranžová linie značí vrchol výlomu, červenec 2011, b) ocelové příčnický zainjektované do vrtů pod meziokenním pilířem, září 2011 ■ Fig. 13 a) Tunnel No. 2 vault bearing perimeter wall of the theatre, orange line indicates the border of the vault structure demolition, June 2011 b) steel cross beams embedded into walls under the column, September 2011

Obr. 14 Vnější parapetní nosník dočasného podchycení po převzetí zatížení obvodovou zdí, listopad 2011 ■ Fig. 14 Outside reinforced concrete beam of the temporary underpinning after activating – it is carrying the load of the perimeter wall, November 2011

Obr. 15 Aktivace parapetních nosníků hydraulickými lisy, vpravo inkrementální čidlo deformací, listopad 2011 ■ Fig. 15 Activation of reinforced concrete beams by hydraulic jacks, on the right side strain sensor, November 2011



sestaven v Čínské lidové republice. Po převzetí objednatelem byly bloky do Prahy dopraveny lodí a kamiony.

PROTIPOVODŇOVÁ VRATA, BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY, HAVARIJNÍ OPATŘENÍ

Pro záměr lodní dopravy kontejnerů s dekoracemi plní nezastupitelnou a klíčovou úlohu velká automatická protipovodňová vrata osazená do vstupního otvoru 3,4 × 2,8 m v západní stěně nového tunelu 2+3. Jsou navržena na zatížení hydrostatickým tlakem, který odpovídá hladině Vltavy při „povodni 2002“. Pokud by došlo k jejich poškození nebo havárii, hrozí zaplavení rozsáhlých podzemních prostor divadla. Byla jim proto věnována zvýšená pozornost a po zprovoznění provedena záplavová zkouška, kterou dodavatel prokázal jejich vodotěsnost a spolehlivost.

Jedná se o dvoukřídlá ocelová vrata, otvíraná směrem k Vltavě do výklenků zřízených v dřívku náběžní zdi. Jejich nosnou konstrukci tvoří masivní rošt svařený z válcovaných profilů UPE a IPE. Na něj je z lící strany přilepen ocelový plech se svislými a vodorovnými ozdobnými pásky s hlavami

nýtů, imitujícími způsob spojování plechů z let 1903 a 1904. Vše je opatřeno PKO v odstínu grafitově šedé. Křídla jsou osazena na pantech do ocelové svařované zárubně tvaru „Z“. Ta je zabetonována do monolitické konstrukce tunelu. Pohyb křídel umožňuje dvojice hydraulických válců poháněných agregátem z vnitřku objektu.

Vodotěsnost vrat zajišťují speciální duté velmi elastické profily umístěné ve dvou řadách po obvodu křídel. Po jejich uzavření jsou tato těsnění přes pružné hadice natlakována vzduchem z kompresoru, který je součástí ovládací jednotky vrat. Tím dojde k silovému dotlačení elastických profilů na dosedací plochy z leštěného nerzového plechu upevněné na zárubních (zatěsnění vrat). Součástí systému je i autonomní čidlo hladiny vody ve Vltavě, které při zvýšení stavu zajistí automatické zatěsnění a podá o tom informaci do technického velína divadla. Systémy ovládní jsou řešeny tak, že umožňují manipulaci s vraty, aktivaci těsnění a udržování tlaku i při výpadku elektrického proudu.

Národní divadlo si je dobře vědomo skutečnosti, že se jedná o zařízení, jehož bezvadná funkce je nezastupitel-

ná. Protipovodňová vrata budou každoročně jejich dodavatelem kontrolována a servisována.

Rok 2002 nás poučil, že mnohá důmyslná protipovodňová zařízení mohou z nejrůznějších důvodů selhat. Proto byly uvnitř tunelu 2+3 realizována další tři opatření, která riziko zaplavení navazujících suterénů budovy dále snižují. Jedná se o dvě linie záchytných žlabů v podlaze, které příčně přetínají půdorys objektu a jsou svedeny do jímek se signalizačními hladinovými čidly. V první linii u vrat je do jímky instalováno aktivní ponorné kalové čerpadlo připravené k okamžitému vyčerpání průsaků potrubím před líc náběžní zdi. Jímku druhé linie tvoří podlahový technologický kanál, se zásobním prostorem pro cca 10 m³ vody.

Pokud by byla situace v tunelu vyhodnocena jako havarijní, je možné dopravní koridor kontejnerů před nákladním výtahem snadno uzavřít připraveným havarijním hrazením a ponechat tunel 2+3 do výšky cca 1,25 m nad jeho podlahu zaplavit vodou.

Pro extrémní případ, že by budoucí povodeň mohla přesáhnout max. hladinu dosaženou v roce 2002, je ve výbavě tunelu 2+3 připraveno k oka-



mžitému použití osm kusů nafukovacích těsnících vaků potrubí s příslušenstvím. Těmi by byla uzavřena potrubí Ø 700 mm spojující vnitřní prostor s kryty vzduchotechnických šachet ve vrcholu nábrežní zdi.

STATICKÉ PODCHYCNÍ DOTČENÉ OBVODOVÉ ZDI NÁRODNÍHO DIVADLA

Statically i technicky nejzajímavější částí díla byl návrh a realizace konstrukce podchytní cca 12 m dlouhého úseku obvodové zdi budovy v části „Prozatímní divadlo“ o hmotnosti cca 1 000 t.

Tento úsek bylo nejprve nezbytné dočasně vynést, následně zde zřídit v pískovcových klenbách a zdivu souvislý výlom světlosti 12,2 × 5,5 m se dnem cca 700 mm pod běžnou hladinou Vltavy. V otvoru vystavět a aktivovat konstrukci trvalého podchytní umožňující dispozičně průjezd kontejnerů po kolejové dráze. To vše za nepřerušeno provozu divadla a dodržení maximálního povoleného poklesu obvodové zdi po dobu stavby cca 1 až 2 mm.

Založení

Hlubinné založení konstrukcí podchytní bylo provedeno v jediné etapě,

zřízením tří stěnových pilířů z tryskové injektáže v poloze původních opěr tunelů (obr. 4a). Vrtná souprava stojící před budovou vyhloubila v předepsaných etapách vějířovité vrtky Ø 145 mm procházející šikmo patními bloky pískovcových klenb a opěrami v úseku pod zdi. Z vrtů byly vytryskány navzájem těsně přiléhající sloupce Ø cca 1 m, které dohromady vytvořily stěnový element délky cca 8 m, vetknutý v patě do poloskalního podloží (písčitojilovitě ordovické břidlice). Po celou dobu realizace tryskové injektáže probíhal geodetický monitoring líce podchytního úseku obvodové zdi. Nebyly zaznamenány žádné znepokojivé poklesy nebo jiné deformace. Jednalo se o alternativní návrh akciové společnosti Zakládání staveb, a. s., ke skupinovému mikropilotám v zadávací dokumentaci. Tato technologie jednoznačně urychlila postup stavebních prací.

Dočasná konstrukce podchytní

Po nezbytném ztužení dotčeného úseku stěny budovy do výšky dvou pater a stažení meziokenních pilířů systémem táhel a ocelových převážek bylo započato s realizací dočasné konstrukce podchytní.

Řešení využilo skutečnosti, že linie kamenných opěr původních tunelů procházely bez přerušeno pod obvodovou zdi až do suterénu budovy (obr. 5 a 12). Na plášti účelově neobdouraných částí opěr byly proto zřízeny zesilující železobetonové skořepiny tloušťky 200 mm s vrcholovými úložnými bloky. Původní zdivo bylo do skořepin silně sevřeno pomocí horizontálních předpínacích tyčí RW Ø 36 mm. Skořepiny plnily spolu se standardními mobilními hradícími prvky funkci „2. linie“ dočasné protipovodňové ochrany suterénu divadla proti vniknutí vody prosakující při povodni do stavební jámy tunelu 2+3.

Pod meziokenní pilíře obvodové zdi divadla byly do vrtaných otvorů v předepsaném pořadí osazeny ocelové příčníky (obr. 13), celkem dvanáct kusů IPE 400 délky 3,35 m. Otvory byly následně vyinjektovány cementovou směsí, která nosníky do zdiva zakotvila. Hlavní nosný systém dočasného podchytní byl řešen v několika variantách.

Po důkladném rozboru byla pro realizaci vybrána železobetonová konstrukce parapetních nosníků o dvou polích s převislými konci a kluzným ulože-

ním příčnicků. V příčném řezu se jednalo o obdélníky 1,7 × 0,55 m (obr. 12b). Kvalitní tlakový kontakt parapetních nosníků s členitým zdívem budovy zprostředkovaly trvalé a dočasné dobetonávky (vně budovy) spolu s různými separačními a ochrannými opatřeními památkově chráněných prvků (bednicí překližky, polystyren). Po nabytí potřebných pevností betonu byla obvodová zeď mezi nosníky sevřena napnutím tyčí RW Ø 36 mm nasunutých do ponechaných (vrtaných) otvorů (obr. 14).

Vnesení zatížení bylo provedeno ak-

tivací celkem 2 × 4 kusů podpůrných 200t hydraulických lisů umístěných mezi nosníky a prahy na opěrách (obr. 15). Proces proběhl ve více stupních, které na místě řídil projektant na základě vyhodnocování svislých deformací konstrukcí. Potřebné informace o chování budovy, příčnicků i založení poskytovalo měření inkrementálními snímači, tenzometry a geodetické sledování rastru bodů na fasádě budovy přesnou nivelací.

Po převzetí zatížení parapetními nosníky byly původní kamenné klenby tunelů odděleny řezáním technologií

„diamantového lana“ od obvodového zdiva v souvislé délce 12,2 m budoucího otvoru (výlomu). Specializovaný zhotovitel zde navrhl a s úspěchem použil horizontální smyčkové řezy. V pískovcových blocích vznikla souvislá cca 15 mm mezera, klenby přestaly přenášet svislé zatížení, bylo možné je dělit svislými řezy na menší bloky a vyjmát (obr. 16).

Následovalo postupné bourání opěr směrem dolů v šířce cca 2 až 2,1 m mezi parapetními nosníky, až bylo dosaženo projektem předepsané úrovně ve vrcholu pilířů z tryskové injektá-



16

Obr. 16 Klenební pásy pod obvodovou zdí ND vyřezány do úrovně stropu výlomu, listopad 2011 ■ Fig. 16 The vault under the perimeter wall is cut out into the ceiling level, November 2011

Obr. 17 a) Dokončený výlom velikosti cca 12,2 × 5,5 × 2 m pod obvodovou zdí ND, b) dno výlomu pod obvodovou zdí ND, cca 70 cm pod hladinou Vltavy, prosinec 2011 ■ Fig. 17 a) Completed excavation of approx. 12.2 × 5.5 × 2 m below the perimeter wall of the theatre, b) the bottom of the excavation is about 70 cm below the surface of the Vltava river, December 2011

Obr. 18 Detail jednoho z cca 150 let starého modřínového trámů pro založení opěr původních tunelů, prosinec 2011 ■ Fig. 18 Detail of a 150-year-old larch timber for the foundations supports of the original tunnels, December 2011

Obr. 19 Pohled na líc trvalé konstrukce podchycení, dočasné konstrukce již odstraněny, v otvorech jsou umístěny lisы roztlačující rám, leden 2012 ■ Fig. 19 View of the permanent underpinning structures, temporary underpinning has been removed, jacks for activating of the foundations and upper frame are prepared in the holes, January 2012

Obr. 20 Pohled na trvalou konstrukci podchycení, příčný řez vedený styčnou spárou s tunelem 2+3 ■ Fig. 20 View of the permanent structure of the underpinning, the construction joint is made in the butt joint of tunnel No. 2+3



17a



17b



18

že. Tímto bouráním do původně souvislého kamenného zdiva vznikly pilíře pod aktivačními lisami parapetních nosníků. Ve volné šířce původních tunelových otvorů se dno zřizovaného otvoru (výlomu) nalézalo ve vrstvě bahatých povodňových naplavenin černé barvy, převážně hlína a jílu tuhé konzistence, cca 700 mm pod běžnou hladinou Vltavy (obr. 17).

Množství prosakující vody bylo zanedbatelné. Stěny výkopu zůstaly stabilní, pažení nebylo potřebné. Po odstranění všech nečistot se v liniích opěr podařilo nalézt kompaktní vrcholy pi-

VZT kanálů Ø 1,2 m následovala horní příčle z C25/30 XF3. Byla použita technologie samozhutitelného betonu dopravovaného do bednění jednoduše samospádem pomocí svislých vrstů Ø 150 mm provedených v okenních výklencích do zdiva nad příčlí.

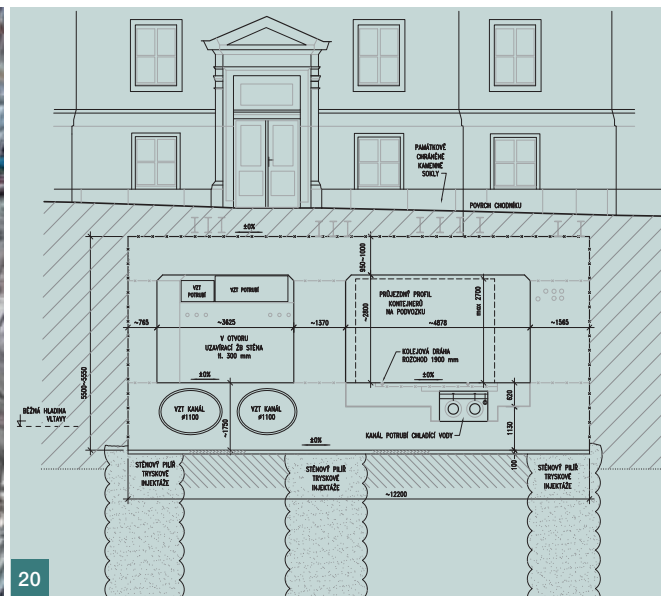
Oba horizontální prvky byly pomocí čtyř 500t hydraulických lisů umístěných v otvorech od sebe roztlačeny. Tento proces statické aktivace byl vícestupňový, řízený na místě operativně projektantem. Potřebné informace o chování budovy, horní příčle a založení poskytovalo měření inkremen-

ké otvory v nové konstrukci podchyce- ní umožnily pro demolicí použít mobilní bourací stroj.

Cca po měsíci, kdy pokračovalo geodetické sledování budovy, bylo konstatováno, že měřené hodnoty již bezpečně potvrzují stabilizaci svislých deformací. Na všech sledovaných bodech fasády dotčeného úseku obvodové zdi byla závěrečným měřením ověřena poloha odpovídající stavu před započítáním stavby s maximální odchylkou ± 1 mm. Požadavek objednatele tak byl splněn.



19



20

lířů tryskové injektáže a opět cca 150 let staré překvapení, které tu zanechali stavitelé kamenných tunelů.

Každá z původních opěr byla založena na dvou velkých podélných trámech z modřínu s mezerou vyplněnou kamennou rovnatinou. Na ně byly položeny lícni žulové kvádry tunelových opěr, mezi nimi výplňové zdivo. Trámy byly zcela zachovalé, houževnaté dřevo mělo původní červenou barvu (obr. 18). K jejich vyjmutí z výlomu museli pracovníci použít motorovou pilu.

Trvalá konstrukce podchyce- ní

Trvalá konstrukce podchyce- ní byla ve výlomu realizována po etapách jako masivní monolitický železobetonový prvek šířky cca 1,9 m, výšky 5,55 m, délky 12,2 m, se dvěma velkými otvory (obr. 19 a 20). Staticky se jedná o uzavřený rám, který je pod svými třemi pilíři podporován stěnovými elementy z tryskové injektáže.

Po realizaci základového pasu z betonu C25/30 XA2 s prostupy dvou

tálními snímači a geodetické sledování přesnou nivelací. Po dosažení potřebné polohy horní příčle byly dočasné parapetní nosníky spuštěny z lisů a vyřazeny z nosné funkce.

Po stabilizaci deformací založení i polohy horní příčle (cca po 24 h) byla provedena betonáž pilířů z C25/30 XF3. I zde byla úspěšně použita technologie samozhutitelného betonu dopravovaného jednoduše samospádem pomocí dočasných trubkových „betonážních komínů“ vyústěných do boku bednění.

Po nabytí potřebné tlakové pevnosti materiálu byly spuštěny a odstraněny aktivační lis, demontovány pomocné ocelové konstrukce. Neprodleně bylo započato s oddělováním železobetonových parapetních nosníků od stěny budovy, příčným řezáním na bloky, následně i s bouráním dočasných opěr. Zhotovitelem byla opět použita technologie „diamantového lana“, která všechny účastníky stavby příjemně překvapila svoji rychlostí. Záměrně nedostavěná 2. etapa tunelu 2+3 a vel-

Statické podchyce- ní sloupu vnitřního skeletu

Jediný sloup vnitřního železobetonového skeletu budovy divadla svou patkou kolidoval s navrženou trasou dopravního koridoru kontejnerů. Sloup byl proto v potřebné výšce staticky podchyce- n rámovou konstrukcí (obr. 4a), která umožnila přenést svislé zatížení do základů a současně zajistit průjezdní profil. Z hlediska požadavků objednatele byly nežádoucí deformace a poruchy stropů nad sloupem, nemohl být omezen provoz z nad místem výstavby ani vyřazení z provozu blízké trubní a kabelové systémy.

Založení rámu bylo provedeno hlubinné, tzn. sloupy tryskové injektáže vetknuté do poloskalního podloží. Vrtání i následná injektáž proběhly z podlahy suterénu, kam byla dopravena potřebná mechanizace. Vlastní konstrukce podchyce- ní byla navržena a realizována z monolitického železobetonu C30/37 XC3. Skládá se ze dvou sloupů průřezu 720 × 500 mm, masivní příčle 800 × 500 mm, zákla-



21



22



23a



23b

dových patek výšky 750 mm a stabilizační (protipožární) desky tloušťky 100 mm mezi příčlí a stěnou blízké šachty nákladního výtahu.

Aby bylo možné vyhovět výše uvedeným požadavkům objednatele, bylo nutné nejprve funkci sloupu ve skeletu nahradit dočasnou staticky aktivovanou inventární ocelovou podpěrou typu PÍŽMO. Následně vystavět trvalou konstrukci a tu opět staticky aktivovat. Aktivací bylo nezbytné eliminovat nežádou-

cí svislé deformace vyplývající z dotlačení sloupů hlubinného založení, sloupů rámu i průhybu příčle.

Při aktivaci byla lisy kontrolovaně roztláčena příčle rámu o průvlak skeletu budovy nalézající se nad ní. Mezera mezi „visící“ částí sloupu a příčlí byla po kontrole ustálených deformací vyplněna vysokopevnostní cementovou zálivkou. Spodní, nepotřebná část původního sloupu a jeho patka byly následně odstraněny.

ZÁVĚR

Je nutné připomenout, že důležitou součástí stavby byla a nezanedbatelné finanční náklady si vyžádala obnova mnoha dotčených technologií Národního divadla (vzduchotechnika, chladicí voda, elektroinstalace, systémy MaR ad.), obnova cca 103 m tramvajové trati, trolejí, vozovek, chodníků, zeleně a četných inženýrských sítí na nábřeží. Podrobněji jsem se touto problematikou v článku zaměřeném především na re-



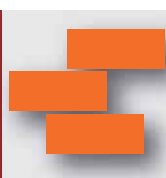
24a



24b

BETOSAN[®]

DRŽITEL CERTIFIKÁTU ČSN EN ISO 9001 A 14001

**alternativa,
kterou oceníte**

Sanace vlhkého zdiva

**SYSTÉM SANAČNÍCH OMÍTEK DLE WTA
2-9-04/D
TRASOVÉ SANAČNÍ OMÍTKY
PAROPROUSTNÉ NÁTĚROVÉ SYSTÉMY
INFÚZNÍ CLONY PROTI VZLÍNAJÍCÍ
VLHKOSTI
AKRYLÁTOVÉ GELY PRO HYDROIZOLACI
ZA RUBEM KONSTRUKCE****www.betosan.cz****OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ
Na Dolinách 23 tel./fax: 241 431 212
147 00 Praha 4 e-mail: praha@betosan.cz**

Obr. 21 Pohled na roletová vrata uzavírající vjezd z dopravního koridoru do nákladního výtahu, červen 2012 ■ Fig. 21 View of the gate closing the entry of the transportation corridor to the cargo lift, June 2012

Obr. 22 Pohled do dokončeného tunelu 2+3 s kolejovou dráhou z navazujícího suterénu divadla, květen 2012 ■ Fig. 22 View of finished tunnel No.2+3 with rail track from the basement of the theatre, May 2012

Obr. 23 a) Celkový pohled na otevřený vstupní otvor do tunelu 2+3, b) uzavřená protipovodňová vrata, ovládací zařízení, nad vraty výdechová VZT potrubí, červen 2012 ■ Fig. 23 a) General view of the open entrance to the tunnel No. 2+3, b) closed flood gate, control devices, above the door expiratory air ducts, June 2012

Obr. 24 a) „Podtunelovaná“ obvodová zeď historické budovy ND, květen 2012, b) ND z řeky, červen 2012 ■ Fig. 24 a) „Undertunneled“ perimeter historical wall of the theatre, May 2012, b) River view of the National Theatre, June 2012

alizaci nosných konstrukcí nezabýval.

Veškeré technické záměry projektu byly naplněny bez zásadních problémů, termín i rozpočet byl splněn. Stavba byla zkolaudována bez podstatných námitek orgánů městské či státní správy. Národní divadlo několikrát veřejně vyslovilo svojí spokojenost s odvedeným dílem. Stavbařům přálo počasí, měli i potřebné štěstí.

Smysluplně a velmi efektivně byly podle mého názoru použity zajímavé sta-

vební materiály i moderní technologie, které umožnily stavět inženýrské konstrukce po celé zimní období. Za ty klíčové dnes považují: hlubinné založení technologií tryskové injektáže, technologii samozhutnitelného betonu, aplikaci stříkané hydroizolační membrány Eliminator, řezací technologii „diamantového lana“, technologii hydraulických lisů a předpínání.

Z pohledu zodpovědného projektanta musím konstatovat, že Rekonstruk-

ce technologických tunelů Národního divadla dopadla dobře. Bohužel se nikdo z nás nedozví, zda se toto inženýrské dílo skutečně dožije předpokládaných 150 let, jako tomu bylo u původních kamenných tunelů.

Ing. Petr Doležal,
Pontex, spol. s r. o.
www.pontex.cz

Fotografie autor a spol. J a P Jacina



Objednatel, následný správce	Národní divadlo
Generální projektant	Pontex, spol. s r. o., HIP Ing. T. Mička
Generální zhotovitel	Metrostav, div. 3, projektový tým Ing. R. Aulíka
Zhotovitel zajištění stavební jámy a tryskových injektáží	Zakládání staveb, a. s.
Zhotovitel železobetonových konstrukcí	PRAGIS, a. s., div. PS
Výroba a dodávka betonových směsí	TBG Metrostav spol. s r. o.
Speciální bourací a řezací práce	Gema Capital, spol. s r. o.
Technologie hydraulických lisů a předpínání	Doprastav, a. s., Predpinacie technologie
Realizace	březen 2011 až duben 2012
Stavební náklady díla	127 mil Kč (včetně DPH)