

**POSOUZENÍ PŘÍČIN PRŮNIKU VODY DO SEKUNDÁRNÍHO  
KOLEKTORU A KVALITY OBEZDÍVKY.  
NÁVRH OPATŘENÍ PRO NÁPRAVU**

**THE ASSESSMENT OF THE CAUSES OF WATER INGRESS INTO THE  
SECONDARY CLASS OF THE UTILITY TUNNEL AND QUALITY OF  
THEIR LINING.  
PROPOSAL MEASURES FOR CORRECTION**

**Vladislav Horák<sup>1</sup>  
Hynek Janků<sup>2</sup>  
Pavel Schmid<sup>3</sup>  
Tomáš Vrána<sup>4</sup>**

**ABSTRAKT**

V centru Brna byla dokončena již 19. stavba sekundárních kolektorů. Jejich ostění bylo realizováno ze SB s přísadou XYPEX. Při průzkumu a geologickém sledu nebyly zaznamenány náročnější hydrogeologické poměry. Krátce po dokončení však došlo k významným průsakům vody do kolektoru. Tento stav vyvolal spor mezi investorem a zhotovitelem díla. Provedená posouzení se zabývala původem prosakující vody i kvalitou obezdívky. Bylo zjištěno, že kolektor vytváří bariéru vzdouvající hladinu podzemní vody. Ta pochází z infiltrace srážek a do štoly proniká pracovními spárami obezdívky. Kvalita konstrukce byla posouzena laboratorními testy betonu na odebraných jádrových vývrtech. Bylo potvrzeno dodržení projektu – tloušťka obezdívky, požadovaná kvalita SB i přísada XYPEX. Stav kolektoru je tedy způsoben chybami návrhu. Projekt vůbec neuvažoval přítomnost podzemní vody. Došlo ke kombinaci podcenění hydrogeologické situace a nevhodného umístěním podzemní konstrukce s výsledkem vzniku vzdouvající bariéry. Pro nápravu nevyhovujícího stavu byla navržena opatření.

**ABSTRACT**

In the center of Brno was build 19th construction of secondary class of the utility tunnels. Their lining was processed as shotcrete with additive – XYPEX. In the course of geological survey there were not discovered more demanding hydrogeological conditions. Shortly after the finishing of the tunnel there, were the number of significant leaks of water to the interior space of utility tunnel. This actual condition provoked dispute between the investor and the contractor. On the basis of the assessment of the quality of the lining and the source of water leaks it was found that utility tunnel creates a barrier of billowing underground water. This water comes from the rainfalls and penetrates into the interior space of utility tunnel through

---

<sup>1</sup>doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ústav geotechniky, Fakulta stavební VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno, tel.: 541147239, e-mail: [horak.vl@fce.vutbr.cz](mailto:horak.vl@fce.vutbr.cz)

<sup>2</sup>Ing. Hynek Janků, Ph.D., Ústav betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno, tel.: 541147867, e-mail: [janku.h@fce.vutbr.cz](mailto:janku.h@fce.vutbr.cz)

<sup>3</sup>doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D., Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno, tel.: 541147491, e-mail: [schmid.p@fce.vutbr.cz](mailto:schmid.p@fce.vutbr.cz)

<sup>4</sup>Ing. Tomáš Vrána, Ústav geotechniky, Fakulta stavební VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno, tel.: 541147231, e-mail: [vrana.t@fce.vutbr.cz](mailto:vrana.t@fce.vutbr.cz)

the construction joints of the tunnel lining. The lining was laboratory tested by means of core bores which confirmed the requirements of the project such as the lining thickness, required quality of the shotcrete and additive XYPEX. The conditions of the utility tunnel are caused by sum of mistakes in design and underestimation of the hydrogeological situation or inappropriate location of tunnel. The measures was designed to correction of unsatisfactory condition.

## 1 Úvod

V Brně probíhá již více než 20 let výstavba městských sekundárních kolektorů. V historickém centru města byl mezi lety 2008 až 2010 dokončen další z úseků. Jedná se již o 19. stavbu – „Kolektor Veselá – Dominikánské náměstí“. Náklady na investici z městského rozpočtu činily 119 mil. Kč. Vlastní stavební konstrukce byla prováděna hornickým způsobem – ražením v nevelké hloubce pod povrchem.

Předstihový geotechnický průzkum nezjistil souvislou hladinu podzemní vody. Totéž potvrdil i pečlivě vedený geotechnický sled stavby. Nicméně již krátce po dokončení díla byly zaznamenány postupně se zvyšující, posléze i významné, průsaky do vnitřního prostoru kolektoru. Vzhledem k pochybám o kvalitě stavby byl realizován program průzkumu, který měl odpovědět na otázky k příčinám nevyhovujícího stavu, v tom i k jakosti nové podzemní stavební konstrukce. Předložený příspěvek je diskusí ke zjištěným závěrům provedeného průzkumu. V závěru jsou uvedena možná opatření pro nápravu tohoto podzemního díla.

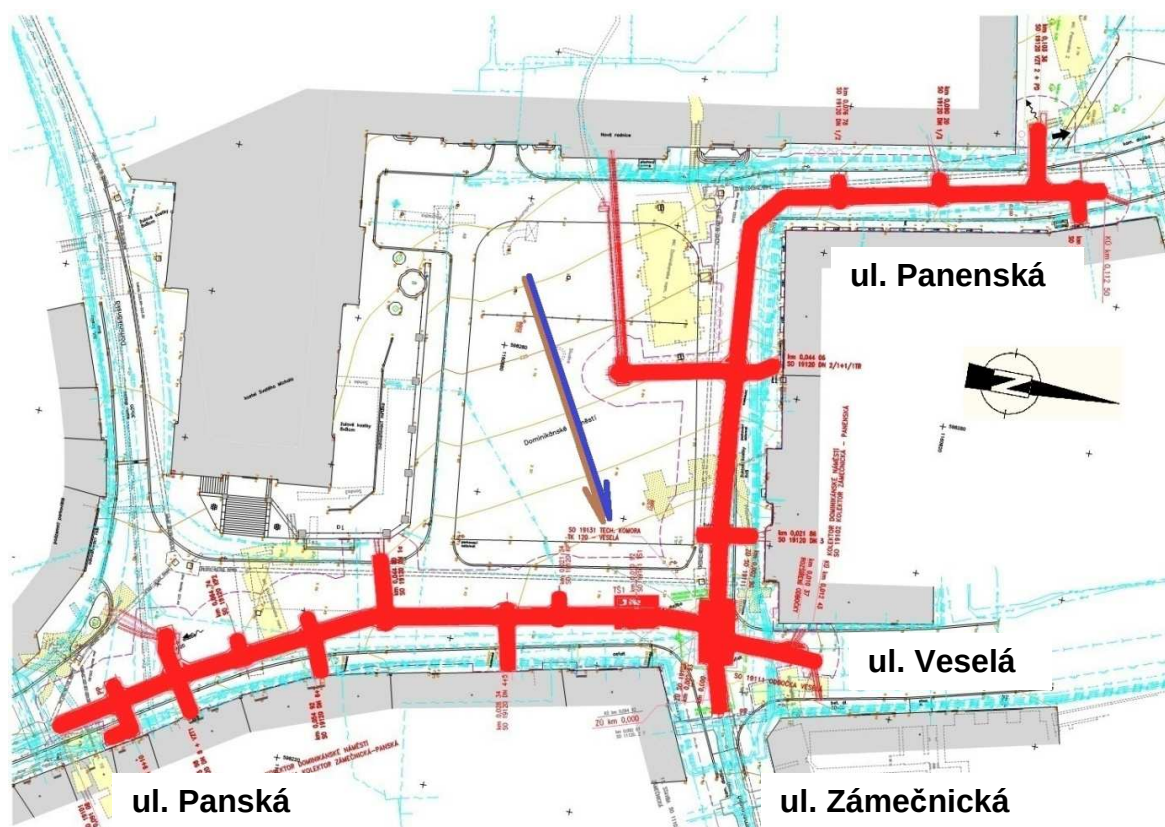
## 2 Situace kolektoru Veselá – Dominikánské náměstí

Zájmové území se nachází v historickém jádru města Brna. Je vymezeno Dominikánským náměstím s Novou radnicí a krátkými úseky z náměstí vycházejících ulic Panské, Zámečnické, Veselé a Panenské. Větve kolektoru jsou na sebe téměř kolmé a sledují především severní a východní okraje Dominikánského náměstí – viz obr. 1 a 2.



Obr. 1 Situace hlavních větví kolektoru Dominikánské nám. v Brně. Dobře jsou patrné generelní sklon terénu k SV a také charakteristická dlažba náměstí.

Fig. 1 The situation of the main branches of the utility tunnel – Dominican square in Brno with clearly visible the general's slope of the terrain to the NE and characteristic paving of the square.



Obr. 2 Situace sekundárního 19. stavby – kolektoru Veselá – Dominikánské náměstí v Brně. Vkreslené šipky vyznačují generelní sklon spádnic terénu (hnědá) a proudění podzemní vody po povrchu neogenního podloží (modrá). Sklon náměstí je výrazně k SV.

Fig. 2 The situation of the 19th construction of the secondary class of the utility tunnels – street Veselá – Dominican square in Brno. The arrows indicate the general's slope of the line of maximum slope (brown) and ground water flow over the surface of the Neogene subsoil (blue).

### 3 Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry

Geotechnický průzkum pro tuto stavbu byl, vzhledem k vysoké prozkoumanosti centra Brna, proveden jako archivní rešerše, využívající IG a HG mapy historického jádra města, poznatky z geologických sledů ražeb sekundárních kolektorů 4. a 11. stavby a dokumentace z průzkumu podzemí historického jádra města Brna zpracovaných GEOtestem Brno a. s. [1]. Prognózovaný IG profil byl pro tuto část Brna veskrze konformní a lze jej definovat následujícími souvrstvími:

**Navážky** velmi proměnlivé mocnosti, vázané na lidskou stavební aktivitu. Velmi heterogenní souvrství soudržných i nesoudržných zemin. Standardní je výskyt stavebního odpadu, místy se zbytky starých základových konstrukcí a obezdívek sklepních prostor po asanaci v 19. stol.

**Kvartérní souvrství** tvořené několika litologickými typy zemin: **Sprašové hlíny, spraše** charakteru slabě jemnozrnně písčitých jílovitých hlín, představující dominantní kvartérní souvrství v trasách kolektoru. Eolické resp. eolickodeluviální geneze s proměnlivou mocností, jak pro redukci v průběhu historického stavebního vývoje, tak i proměnlivostí povrchu neogenního masívu. Vyvinuty jsou prakticky v celém zájmovém prostoru. Jejich mocnost se pohybuje v úseku Zámečnická – Panská mezi 1 až 2 m a v úseku Veselá – Panenská mezi 1 až 6 m. **Písčité štěrky a písky se štěrkem s proměnlivou jemnozrnnou příměsí**, tvořící v úseku Zámečnická – Panská souvislý povrchu neogenního masívu. V úseku Veselá –

Panenská je předpokládáno vyznění této vrstvy zhruba po 45 m. Jejich mocnost v oblastech kolektorových tras je převážně velmi malá, v prvních decimetrech.

**Předkvartérní podloží** náležející z regionálně geologického hlediska do okraje západního výběžku karpatské předhlubně. Je tvořeno souvrstvím **vápenného jílu (téglu)** neogenního stáří (spodní baden). Hloubka povrchu od úrovně současného terénu převážně mezi 7,5 až 5,5 m (Veselá – Panenská), resp. cca 5,5 až 4,0 m (Zámečnická – Panská, V část Dominikánského náměstí). Charakteristický nárůst jeho úrovně je porušovaný různě výraznými depresními a elevačními strukturami. Povrch neogenního masívu je místy, zejména v oblastech elevací, porušen mrazovými klíny vyplněnými písčitým šterkem s různým podílem jemnozrnné příměsi či jílovitou hlínou, a to ve vazbě na přímém nadloží.

Očekávalo se nevýrazné zvodnění v závislosti na ročním období, v bazálních částech kvartérního souvrství s málo mocnými polohami písčitošterkových sedimentů v depresních zónách neogenních jílu. Hladina podzemní vody byla zaznamenána pouze v jednom archívním vrtu, v hloubce 7 m od povrchu terénu a dále v místě bývalé středověké studny, s ustálenou hladinou vody v hloubce 6 m. Nedaly se vyloučit lokální zvodně spojené s úniky z kanalizace a vodovodu. Bylo doporučeno vyhloubit před zahájením razících prací pozorovací hydrogeologické vrty a zpřístupnit sanovanou historickou studnu. To pro přímé ověření HG poměrů a jejich bezprostřední sled v průběhu razících prací. Tento návrh však nebyl přijat.

Geologický monitoring konstatoval, že IG, HG a GT poměry při ražbě byly v dobrém souladu s prognózou průzkumu. Hydrogeologie byla ve všech ražených trasách veskrze příznivá. Žádné výraznější zvodnění, vázané na rozhraní kvartér-neogén, nebylo zastiženo. Ojedinele se vyskytly oblasti s drobnými průsaky z nadložních vrstev. Jejich původ byl pravděpodobně antropogenní (průsaky z inženýrských sítí, zbytky vodního média po TI) [2].

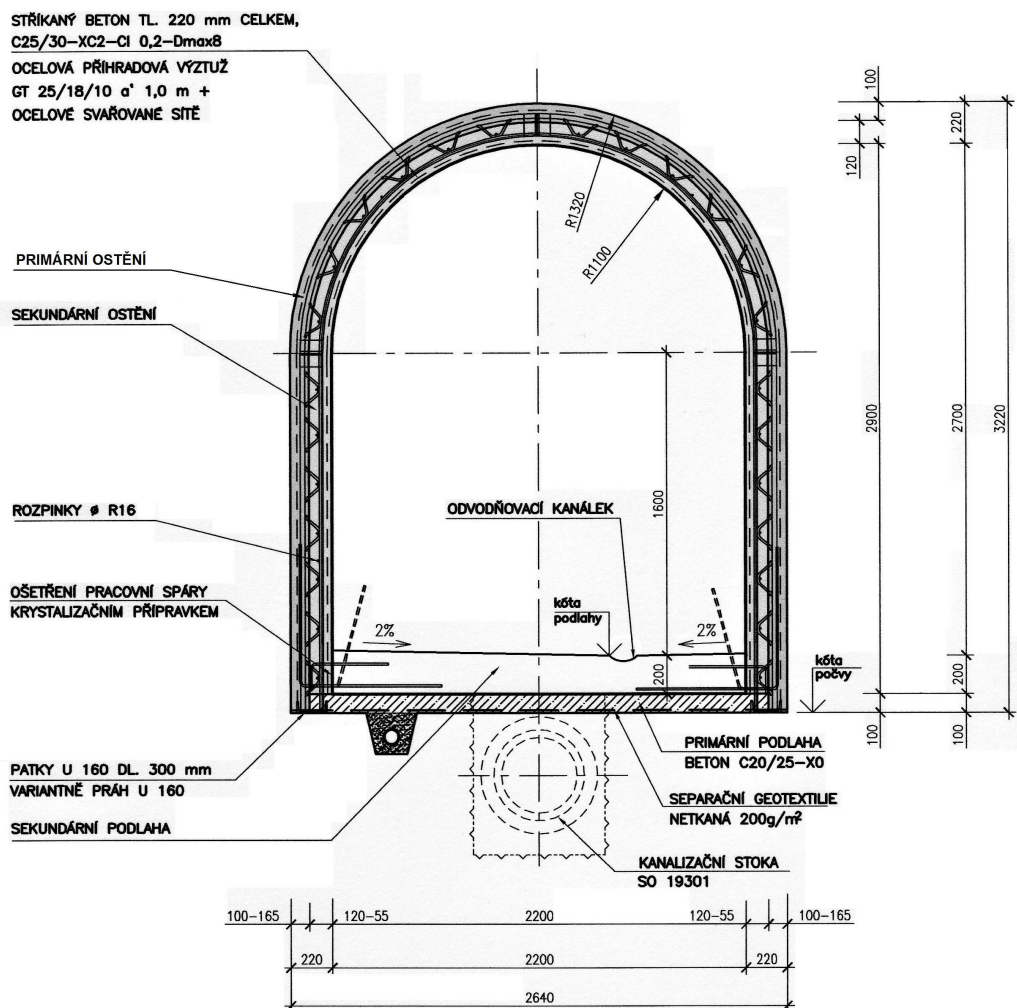
#### 4 Konstrukce sekundárního kolektoru

Příčný profil kolektorové stoly je tvaru obdélníka s valenou klenbou [3]. Základní světlé rozměry byly: výška 2,7 m, šířka 2,2 m, s poloměrem zaklenutí 1,1 m. Teoretická plocha základního výrubu činila 7,75 m<sup>2</sup>. V místech kolektorových přípojek a křížení byl základní průřez rozšířen. Primární ostění kolektoru je z příhradové výztuže (ANKRA) s roztečí odpovídající záběrovému kroku 1 m, v rozšířených úsecích jde o výztuž korýtkovou (K21) à 0,5 m. Výztužné veřeje jsou doplněny stříkaným betonem (C25/30) na ocelové svařované KARI síti. Minimální tloušťka SB primární obezdívky činila 0,1 m, sekundární obezdívky 0,12 až 0,15 m. Sekundární podlaha je z litého betonu C25/30 tl. 200 mm. Obezdvka není opatřena žádnou hydroizolací, k zajištění vodotěsnosti bylo předepsáno přidat do první vrstvy SB krystalizační přísadu XYPEX Admin C-1000 a kontaktní plochy stěn s podlahou ošetřit přípravkem na bázi krystalizace XYPEX Concentrate. Příčný řez základního kolektorového průřezu je patrný z obr. 3.

Vynechání speciální ochrany tělesa kolektoru proti průniku podzemní vody (např. klasickou instalací mezilehlé hydroizolační plastové membrány) se opíralo především o zkušenosti z předchozích realizovaných úseků sekundárních kolektorů v Brně.

Realizace kolektoru probíhala (pro Brno) obvyklým způsobem – jednoduchou konvenční/klasickou ražbou, s rozpojováním horniny převážně sbíjením. Postup byl po jednotlivých záběrech, s okamžitým zajišťováním výrubu primární obezdívkou. Posléze byla vybudována obezdívka sekundární, na závěr betonová podlaha a instalován vnitřní mobiliář pro uložení inženýrských sítí a vedení.





Obr. 3 Základní příčný řez sekundárním kolektorem – 19. stavba.

Fig. 3 Basic cross section of the 19th construction of secondary class of the utility tunnel.

## 5 Průsaky vody do vnitřního prostoru kolektoru

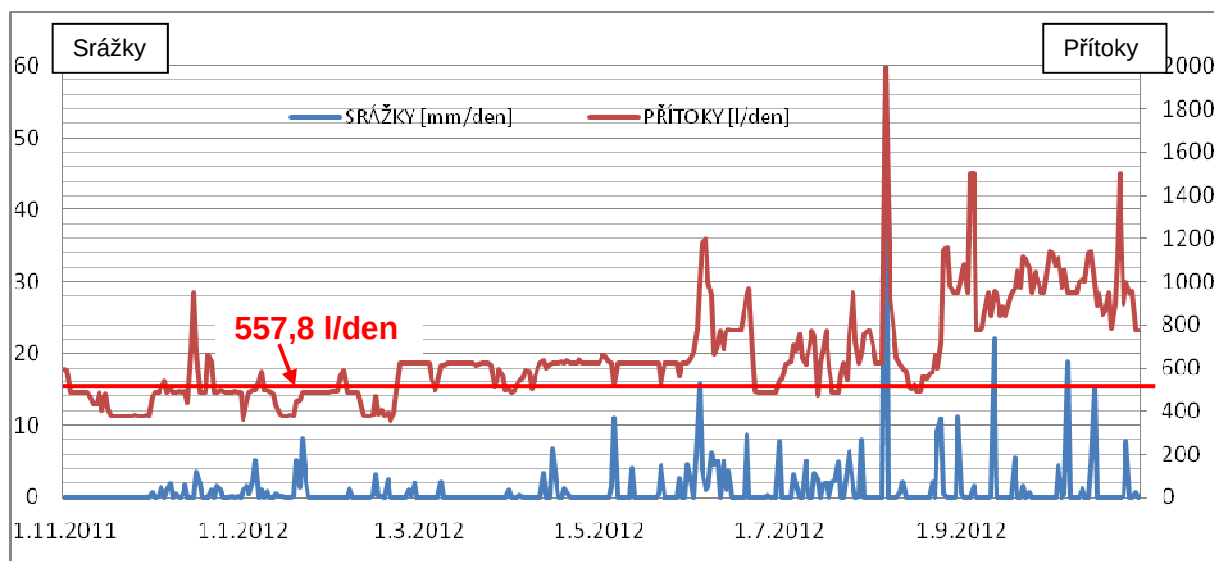
Již krátce po dokončení 19. stavby kolektoru Veselá – Dominikánské náměstí bylo shledáno, že do vnitřního prostoru štol proniká až nečekaně vysoké množství vody. Vyžádalo si to podrobnější sledování. V počátku sledovaného období 2011/2012 bylo ověřeno množství vody koincidující s limitní hodnotou stanovenou investorem do 557,8 l/den (odvozeno z TP 24). Toto množství posléze přecházelo do standardní (občas i velmi výrazné) progresu – obr. 4. Z prosáklé vody se ve styku se vzduchem vysrážel sintr ( $\text{CaCO}_3$  vyluhovaný z okolních zemin a z betonu konstrukce) bránící jejímu odtoku postupně zarůstajícím povrchovým odvodňovacím kanálkem v počvě kolektoru. Zadržovaná voda způsobuje korozi ocelového mobiliáře a zvýšenou vlhkostí ohrožuje inženýrské sítě.

## 6 Diskuse k původu a množství podzemní vody

S ohledem na GT průzkum a sled, předpokládající a rovněž i potvrzující naprosto jednoduché hydrogeologické poměry na lokalitě, je na místě otázka o původu a množství vody přitékající do podzemní konstrukce.

Očekávání jistých přítoků z porušených inženýrských sítí se nepotvrdilo. Stávající, nekvalitní vodovodní a kanalizační vedení bylo odstaveno a nově přemístěno do kolektoru. Jediným zdrojem tudíž zůstala infiltrace srážkových vod. Ty prosakují přes charakteristickou hrubou

dlažbu náměstí uloženou v pískovém loži, dále přes různorodé navážky do reliktu písčitých šterků a písků na bázi k SV ukloněnému, povrch terénu respektujícímu nepropustnému miocénnímu podloží. Nato voda, nyní již podzemní, přitéká geologickým prostředím až k bariéře představované nově zřízeným tělesem kolektoru. Zde dochází ke vzduť a podzemní voda nabývá ve vztahu k stavební konstrukci kolektoru částečně tlakového charakteru. Pozorování také potvrdilo, že zásadní průsaky se charakteristicky týkají nejnižších míst kolektoru a především partií „proti vodě/do náměstí“. Pronikání vody do prostoru štol probíhá přes pracovní spáry konstrukce. Nebrání tomu totiž žádná izolační vrstva. Přitoky do kolektoru, měřené 1 kalendářní rok (XI/2011 až X/2012) – obr. 4, jsou až v nápadném souladu (často s malým zpožděním) s atmosférickými srážkami. Z diagramu lze rovněž dedukovat, že progrese přítoků odpovídá, do jisté míry, postupnému plnění podzemní zdrže nad kolektorem [4, 6].



Obr. 4 Překryv spojnicových diagramů denních srážkových úhrnů a přítoků vody do 19. stavby kolektoru. Období od XI/2011 do X/2012. Vyznačeno je přípustné množství.

Fig. 4 The overlap of the Line Chart of the daily total precipitation and water inflows into the 19th construction of utility tunnels. The time period from the XI/2011 to X/2012. It's marked the permissible amount of water inflows.

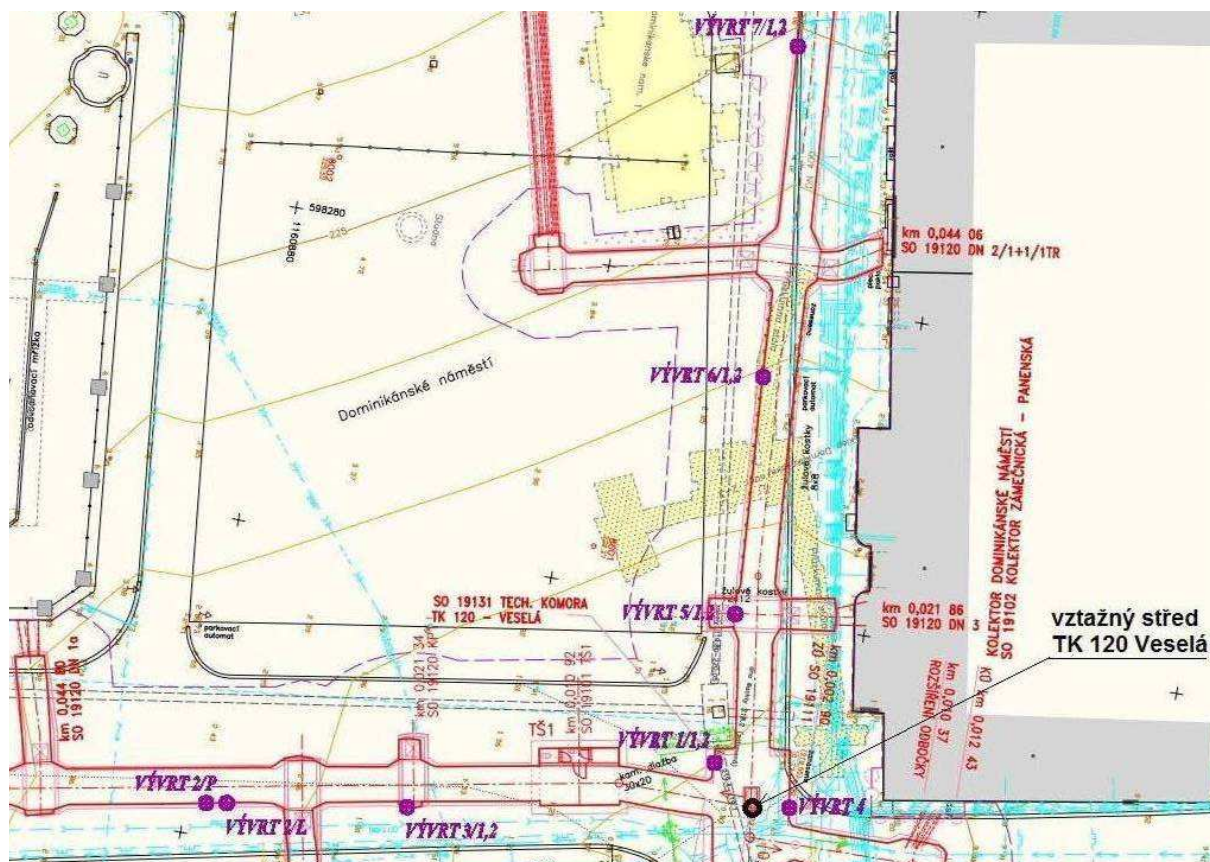
## 7 Stavebně technický průzkum konstrukce kolektoru

Pro posouzení kvality zabudovaného SB a reálné tloušťky ostění bylo provedeno v místech vybraných komisí (investor, projektant, zhotovitel...), devět jádrových vývrťů Ø 100 mm, kolmo na zdivo opěr, vždy po celé jeho tloušťce (obr. 5). Na vývrtech byla v laboratořích FAST VUT v Brně stanovena objemová hmotnost a pevnost betonu v tlaku.

Pro průkaz aplikace přípravku na bázi krystalizace XYPEX Concrete při ošetření kontaktních ploch stěn s podlahou byly realizovány šikmé vrty u styku podlahy s ostěním kolektoru (obr. 5). Odebrané jádrové vývrty se styčnými plochami tvořenými stříkaným betonem ostění kolektoru a ztvrdlým hrubozrnným betonem podlahy byly testovány pomocí elektronové mikroskopie v laboratořích Technického a zkušebního institutu Brno.

Realizované návrty v ostění kolektoru byly ponechány 24 hodin otevřené, a to pro monitorování případných průsaků/výtoku vody. Po provedení fotodokumentace struktury materiálů byly veškeré vývrty v ostění a podlahách kolektoru zapraveny vysokopevnostní výplňovou a kotevní maltou bez smrštění GROUTEX Pac. V odběrových místech, ve kterých

byla po 24 h vysledována vyšší vydatnost aktivního průsaku/výtoku vody, byla do čerstvé zapravovací malty použita přísada Sika-4a.



Obr. 5 Umístění odběrových míst – výtřtů v konstrukci kolektoru 19. stavba – Dominikánské náměstí – Veselá.

Fig. 5 The location of the sampling points – boreholes in the 19th construction of the secondary class of the utility tunnels – Dominican square – street Veselá.

## 8 Výsledky stavebně technického průzkumu konstrukce kolektoru

Ve třech kolmých vrtech do opěr kolektoru (V2/P, V2/L a V4) byl po 24 hodinách od realizace vysledován aktivní mírný průsak/výtok vody. Ve dvou šikmých vrtech, vedených betonem podlahy do ostění ze stříkaného betonu přes styčné plochy vrstev, byl 24 hodin po realizaci vysledován masivní průsak vody – V1/2 (vydatnost cca 10 l/hod) a V5/2 (vydatnost cca 40 l/hod). Tyto přítoky měly charakter tlakové vody a uzavírání obou průvrtů bylo obtížné. Mírný průsak byl potom zjištěn i v šikmém vrtu V6/2.

V dokumentaci skutečného provedení stavby kolektoru [3] byla stanovena minimální tloušťka primárního ostění 100 mm a sekundárního ostění 120 až 180 mm. Celková minimální tloušťka ostění kolektoru byla tedy specifikována min. 220 mm. V pěti průvrtech byly ověřeny tloušťky ostění vyšší. Ve třech průvrtech (V2/L, V3/H, V3/D) byla zjištěna tloušťka ostění 160 až 180 mm, tzn. o 40 až 60 mm nižší než minimálně požadovaných 220 mm (oslabení cca o 20 až 30 %). Toto snížení však připadlo vždy pouze na tloušťku tzv. „primární“ ozezdívky a nacházelo v místech zborceného povrchu složitě vytvářeného výrubu. V žádném případě však nebylo zastíženo zeslabení tzv. „sekundární“ ozezdívky. Oslabení „primární“ ozezdívky přitom nemůže mít zásadnější vliv jak na definitivní statickou funkci konstrukce, tak na její vodonepropustnost.

V odběrových místech kolmých vrtů do stěn kolektoru vykazoval stříkaný beton primární a sekundární vrstvy solidní soudržnost. Pro šikmé vrty platilo totéž. Výjimkou byl jen vrt V7/2, kde došlo k separaci jednotlivých vrstev ve styčných plochách.

Objemové hmotnosti stříkaného betonu ostění kolektoru zjištěné v laboratoři měřením a vážením zkušebních válců z odebraných jádrových vývrtů jsou zřejmé z Tab. 1.

Tabulka 1 Objemové hmotnosti betonu obezdívky kolektoru

Table 1 The density of concrete of the utility tunnel lining

| Konstrukční prvek                       | Objemová hmotnost $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ] |       |        |              |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-------|--------|--------------|
|                                         | Interval hodnot                                |       | Průměr | Počet vzorků |
|                                         | Min.                                           | Max.  |        |              |
| Ztvrdlý stříkaný beton ostění kolektoru | 2 200                                          | 2 270 | 2 240  | 18           |

Krychelná pevnost stříkaného betonu v tlaku  $f_{c,cube}$  odebraných jádrových vývrtů z ostění kolektoru byla zjištěna přepočtem z laboratorně zjištěné válcové pevnosti v tlaku podle zásad ČSN EN 14487-1 a ČSN EN 12504-1. Souhrnné výsledky jsou uvedeny v Tab. 2.

Tabulka 2 Krychelné pevnosti betonu obezdívky kolektoru

Table 2 The cube strength of concrete of the utility tunnel

| Konstrukční prvek                       | Krychelná pevnost $f_{c,cube}$ [N.mm <sup>-2</sup> ] |      |        |              |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------|--------|--------------|
|                                         | Interval hodnot                                      |      | Průměr | Počet vzorků |
|                                         | Min.                                                 | Max. |        |              |
| Ztvrdlý stříkaný beton ostění kolektoru | 31,3                                                 | 45,9 | 39,7   | 18           |

Statistické hodnocení parametrů zatvrdlého stříkaného betonu jádrových vývrtů z ostění kolektoru bylo provedeno vyhodnocením charakteristické pevnosti betonu v tlaku  $f_{ck,cube}$  [MPa] podle metodiky ČSN ISO 13822, článek NA.2.6. Součinitel odhadu 5% kvantilu byl převzat z tabulky NA.2 normy. Souhrnné výsledky jsou uvedeny v Tab. 3.

Tabulka 3 Statistické hodnocení betonů obezdívky kolektoru

Table 3 The statistical evaluation of concrete of the utility tunnel

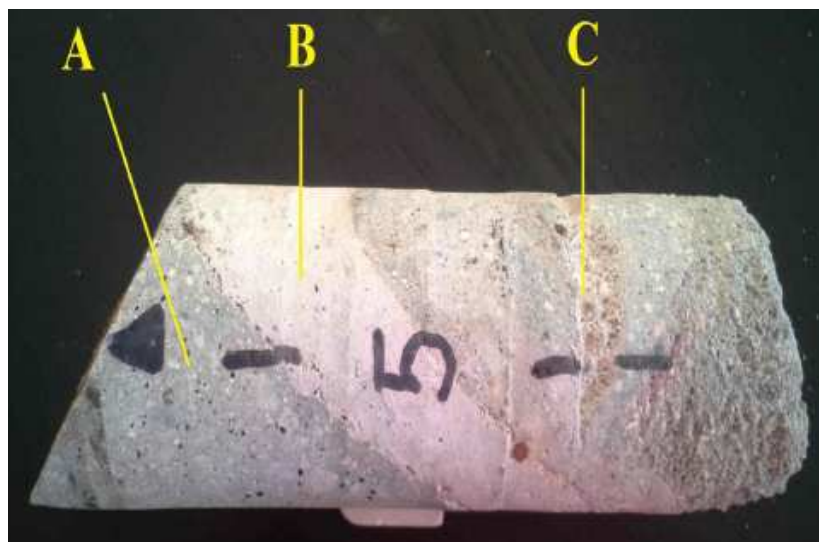
| Konstrukční celek                       | $f_{ck, cube}$ [MPa] | Pevnostní třída<br>ČSN EN 206 |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Ztvrdlý stříkaný beton ostění kolektoru | 5,7                  | <b>C25/30</b>                 |

V dokumentaci skutečného provedení stavby kolektoru byla stanovena pevnostní třída stříkaného betonu primárního i sekundárního ostění **C 25/30**. Zabudovaný materiál stříkaného betonu v ostění kolektoru testovaný na odebraných jádrových vývrtech (viz Tab. 3 a 4) tento požadavek splňuje.

Statistické hodnocení charakteristické pevnosti v tlaku jádrových vývrtů stříkaného betonu ostění kolektoru stanovilo variační součinitel souboru  $v = 12,7\%$ . Stříkaný ztvrdlý beton byl tedy, ve smyslu Tab. 3 ČSN 73 2011, hodnocen jako stejnorodý (rovnoměrný) [5].

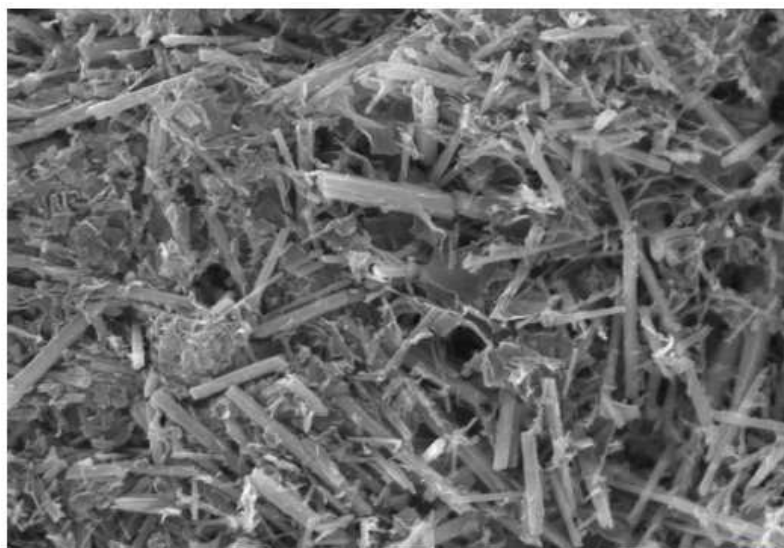
Studium vzorků z šikmých vrtů prostřednictvím elektronové mikroskopie prokázalo, že u všech vzorků byla ve styčných spárách betonu podlahy a stříkaného ostění rozvinuta krystalická struktura s morfologií identickou, jaká je prezentovaná v komerčních podkladech produktu XYPEX Concrete. Lze to považovat za důkaz aplikace přípravku XYPEX Concrete v daných vrstvách – obr. 6 a 7 [5].





Obr. 6 Šikmý vývrt v patě opěry. Zónování konstrukce: A – vrchní vrstva (podlaha), B – střední vrstva (beton ošetřený materiálem XYPEX), C – dolní vrstva (stříkaný beton opěry).

Fig. 6 The core sample from inclined borehole at the toe of the side wall. Dividing of the construction: A – the top layer (floor), B – the middle layer (concrete treated by XYPEX), C – the bottom layer (shotcrete of the side wall).



Obr. 7 Snímek povrchu střední vrstvy jádrového vývrtu (obr. 6). Zvětšeno 10 000x. Patrná je jehlicovitá struktura charakteristická pro XYPEX.

Fig. 7 10 000x magnification image of surface of the middle layer of the drill core (Fig. 6). Apparent is acicular structure which is characteristic for XYPEX.

## 9 Závěr

Na základě provedených šetření se jeví zásadním problémem to, že nebyla věnována řádná pozornost závěrům geotechnického průzkumu. Zjištění, že na bázi kvartérního souvrství se nachází relikv pískitých šterků, který může být za jistých okolností pro vodu kolektorovou vrstvou (viz voda v jedné archívni sondě) a především historická studna v ploše Dominikánského náměstí měly varovat investora i projektanta před možností výskytu podzemní vody. Upozornění, uvedená v závěrech průzkumu i s tím související doporučení byla ignorována. Toto zanedbání bylo, s nejvyšší pravděpodobností, podpořeno zatímní místní zkušeností z předchozích staveb sekundárních kolektorů v Brně.

V těchto souvislostech je zásadním problémem především to, že těleso nového kolektoru představuje překážku pro volné proudění původně srážkové, po infiltraci podzemní, vody. Na bariéře podzemní stavby, která byla, vzhledem k morfologii terénu, zřízena v nejnižším a z pohledu proudění podzemní vody také v nejméně vhodném místě, dochází ke vzdutí. Podzemní voda nabývá částečně tlakového charakteru a vniká přes pracovní spáry dovnitř konstrukce. Zde se na styku se vzduchem z vody obohacené o  $\text{CaCO}_3$  vysráží sintro komplikující odtékání vody povrchovým odpadním systémem. Proniklá voda způsobuje intenzivní korozi, ohrožující především spodní ukotvení vnitřních nosných konstrukcí a lávek, jako i uložené inženýrské sítě.

Vrtným průzkumem byl mechanismus rozvedený v předchozích odstavcích zcela potvrzen. Celkem v pěti průvrtech konstrukce byl zjištěn průsak vody, ve dvou z nich velký, charakteru tlakového výtoku vyšší kapacity, s obtížným uzavíráním. Místa těchto průvrtů jsou exponovaná především „do náměstí“, proti spádu terénu i nepropustného geologického podloží a nacházejí se na přechodu opěry do podlahy.

Absenci standardní ochrany podzemní konstrukce (hydroizolace) proti vnikání vody do vnitřních prostor nemůže dostatečně nahradit ošetření exponovaných pracovních spar XYPEXem potažmo jeho příměs. Tato krystalizační přísada není sto odolávat vodě, která má až tlakový charakter; ostatně ani není pro takový případ určena. A už vůbec není možné ostění instalované technologií stříkaného betonu považovat za vodonepropustnou konstrukci, zvláště s ohledem na běžné postupy konvenční cyklické ražby s velkým množstvím pracovních spár. Podezření na sníženou kvalitu provedených stavebních prací se podařilo zcela vyvrátit. Na třech místech byla sice zastižena mírně snížená tloušťka instalovaného stříkaného betonu, nicméně se to týkalo pokaždé „primární“ vrstvy a statická i těsnící funkce obezdívky jako celku nebyla ohrožena. Jakost instalovaných materiálů pak byla zcela mimo pochyby.

## 10 Návrhy na nápravná opatření

Investorovi stavby (městu Brnu) byla doporučena možná opatření, která by vedla k omezení pronikání vody do prostoru kolektoru. Jde o následující postupy:

- Zásadní snížení průsaku atmosférických srážek do plochy náměstí. Úpravou typu dlažby, položením izolační fólie pod dlažbu, vylitím spár dlažeb asfaltem apod. Opatření těžko realizovatelné, architektonicky nepřijatelné, zřejmě i drahé.
- Dodatečná instalace hydroizolace na lícový povrch postiženého úseku kolektoru. Opatření technologicky a provozně velmi obtížně realizovatelné. Drahé.
- Zvýšení vodonepropustnosti kontaktu rubu konstrukce a okolní horniny/zeminy (chemickou) injektáží. Velmi drahé, zevnitř kolektoru provozně obtížně realizovatelné a velmi málo účinné (s efektem „honění vody z místa na místo“).
- Instalace dodatečné konstrukce k odkanalizování vzduté p. v. cestou dále po svahu metodou shybky zřízené vzájemně propojenými šachticemi nad a pod kolektorem. Reálné opatření, nicméně s obtížným zřizováním šachtic směrem po svahu tzn. „pod“ kolektorem.
- Dodatečná instalace odlehčovací drenáže modifikovanou hadicovou metodou, průvrty zevnitř kolektoru, se zapuštěním flexibilních svodnic do konstrukce a jejich zaústěním do stávající jednotné kanalizace pod počvou kolektoru.

Z těchto postupů se jeví, z řady důvodů, jako nejjednodušší a současně i nejlacinější instalace dodatečné vnitřní hadicové odlehčovací drenáže. Reaguje na zjištěné příčiny zavodňování prostoru kolektoru, je technologicky lehce proveditelná i za provozu kolektoru, poměrně laciná a spolehlivá. Tím, že se zabrání přístupu vzduchu k drénované vodě lze očekávat, že nebude docházet k zasintrování svodnic. Oddrénovaná voda je zlikvidovaná svedením do kanalizace v počvě kolektoru.

## 11 Seznam použité literatury

- [1] VIŽĎA, P.: *Souhrnná zpráva o inženýrskogeologických, hydrogeologických a geotechnických poměrech v trasách sekundárního kolektoru Dominikánské náměstí a parkovacího domu v Panenské ulici v historickém jádru města Brna*. GEOTest Brno, a. s., Brno: 2006.
- [2] HANÁK, J.: *Závěrečná zpráva o geologickém sledu razících prací v trase sekundárního kolektoru Veselá – Dominikánské náměstí v Brně*. GEOTest Brno, a.s., Brno: 2009.
- [3] MIKULÁŠEK, R.: *19. stavba kolektoru Veselá – Dominikánské nám. Dokumentace skutečného provedení stavby*. Pöyry Environment a. s., Brno: 2010.
- [4] HORÁK, V.: *19. stavba kolektoru Veselá – Dominikánské náměstí 1. Etapa – znalecké posouzení hydrogeologie vně ostění v době přípravy stavby a v aktuálním čase hydrologického roku 2012*. FAST VUT v Brně, Brno: 2013.
- [5] SCHMID, P., HORÁK, V.: *19. stavba kolektoru Veselá – Dominikánské náměstí. 2. Etapa – Diagnostický průzkum ostění sekundárního kolektoru*. FAST VUT v Brně, Brno: 2014.
- [6] HANÁK, J., HORÁK, V., JANKŮ, H., RUPP, D.: *Změna HG poměrů ve složitých ig podmínkách intravilánu způsobená podzemní stavbou*. In *[elektronický zdroj] Sborník XIV. HG a II. IG kongresu, sekce 14. Liberec: 2014*.

**Poděkování:** Příspěvek byl vypracován s finanční pomocí EU „OP Výzkum a vývoj pro inovace“, projekt reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0097, v rámci činnosti regionálního centra AdMaS „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ a programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.