

# ZAKLÁDÁNÍ

časopis ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a. s.

2/2017

ročník XXIX



- **VÝSTAVBA PODZEMNÍCH GARÁŽÍ V PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÝCH DOMECH FOKSAL VE VARŠAVĚ**
- **TĚSNĚNÍ PODLOŽÍ PRAVOBŘEŽNÍ HRÁZE PŘI VÝSTAVBĚ PŘEHRADNÍ NÁDRŽE VODNÍ ELEKTRÁRNY HE BREŽICE VE SLOVINSKU**
- **REKONSTRUKCE FUNKCIONALISTICKÉ PAMÁTKY BEZRUČOVA 3 A 5 V BRATISLAVĚ-STARÉM MĚSTĚ**
- **RUŠNÝ ROK 2016 – ZAJIŠTĚNÍ TŘÍ STAVEBNÍCH JAM V CENTRU PRAHY**







# OBSAH

## Časopis ZAKLÁDÁNÍ

vydává:

**Zakládání staveb, a. s.**

K Jezu 1, P. S. 21

143 01 Praha 4 - Modřany

tel.: 244 004 111

fax: 241 773 713

E-mail: [propagace@zakladani.cz](mailto:propagace@zakladani.cz)

<http://www.zakladani.cz>

<http://www.zakladani.com>

### Redakční rada:

**vedoucí redakční rady:**

Ing. Libor Štěrba

**členové redakční rady:**

RNDr. Ivan Beneš

Ing. Martin Čejka

Ing. Jan Masopust, CSc.

Ing. Jiří Mühl

Ing. Petr Nosek

Ing. Michael Remes

Ing. Jan Šperger

### Redakce:

Ing. Libor Štěrba

**Jazyková korektura:**

Mgr. Antonín Gottwald

### Foto na titulní straně:

k článku na str. 8, Libor Štěrba

**Překlady anotací:**

RNDr. Ivan Beneš a autoři

**Design & Layout:**

Jan Kadoun a Ing. Jan Bradovka

**Tisk:**

H.R.G. spol. s r.o.

### Ročník XXIX

2/2017

Vyšlo 13. 9. 2017

MK ČR 7986, ISSN 1212 – 1711

Vychází čtyřikrát za rok

Pro rok 2017 je cena časopisu 90 Kč.

Roční předplatné 360 Kč vč. DPH,

balného a poštovného.

### Objednávky předplatného:

**ALL PRODUCTION, s. r. o.**

Areal VGP

Ve Žlábku 1800/77 - Hala A7

193 00 Praha 9-Horní Počernice

tel.: 234 092 811,

E-mail: [obchod@allpro.cz](mailto:obchod@allpro.cz)

<http://allpro.cz/>

<http://predplatne.cz/>

Podávání novinových zásilek

povolila PNS pod č.j. 6421/98

## SERIÁL

**Historie speciálního zakládání staveb – 16. část**

Ing. Jindřich Řičica, ADSZS

2

## AKTUALITY

**Slavnostní otevření plavební komory na jezu Hněvkovice na horní Vltavě**

(red)

6

**Jez v Černošicích slavnostně otevřen**

(red)

7

## OBČANSKÉ STAVBY

**Výstavba podzemních garáží v památkově chráněných činžovních domech ulice Foksal 13 a 15 ve Varšavě**

mgr inż. Bogusław Barański, Ghelamco Poland, spółka z o. o. sp. k.

mgr inż. Łukasz Tracewicz, Zakládání Staveb, S. A., Oddział w Polsce

8

**Projekční řešení spodní stavby domů na ulici Foksal 13 a 15**

Ing. Tomáš Ředina, s příspěvím Ing. Pavla Metelky, FG Consult, s. r. o.

10

## VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY

**Těsnění podloží pravobřežní hráze při výstavbě přehradní nádrže pro vodní elektrárnu HE Brežice ve Slovinsku**

Ing. Oto Petrášek, Zakládání staveb, a. s.

16

**Výstavba Hydroelektrárny Brežice ve Slovinsku**

**Mechanicky zlepšené zeminy: Zkušební metody, jejich validita a spolehlivost**

Assoc. Prof. Any Petkovšek, University of Ljubljana,

připravil a přeložil RNDr. Ivan Beneš, Zakládání staveb, a. s.

20

## OBČANSKÉ STAVBY

**Rekonštrukcia a nadstavba funkcionalistickej pamiatky Bezručova 3 a 5 v Bratislave-Starom Meste – stavebná jama pre podzemnú garáž**

Ing. Viliam Forner, hlavný stavbyvedúci,

s využitím textu Ing. Borisa Vrábela, PhD., Geotechnik SK, s. r. o.

23

**Pohľadom projektanta**

Ing. Boris Vráběl, PhD., Geotechnik SK, s. r. o.

26

**Rušíny rok 2016 v centru Prahy**

Ing. Tomáš Kiefer, Zakládání Group, a. s.

28

**Residence U Tří kaprů, Kaprova 8/Valentinská 6**

František Šedivý, Zakládání Group, a. s.

28

**Multifunkční objekt Na Poříčí 48**

František Šedivý, Zakládání Group, a. s.

29

**Dostavba hotelu Yasmin, ulice Politických vězňů**

Ing. Petr Lacourt, Zakládání Group, a. s., s příspěvím Ing. Radka Obsta, ZS, a. s.

31

# HISTORIE SPECIÁLNÍHO ZAKLÁDÁNÍ STAVEB – 16. ČÁST

*V pokračování zachycení dějin oboru injektáží se nyní napojíme na další z větví jejich vývoje. Injektáže se totiž staly základní podpůrnou technologií mnoha odvozených samostatných metod speciálního zakládání pro zřizování velmi štíhlých základových prvků. Ty byly nově zaváděny až po dostatečném osvojení zkušeností s klasickými injektážemi zhruba od 50. let minulého století. Jde o mimořádný příběh prudkého zrychlení vývoje během pouhých několika desetiletí. Na tomto poli došlo k souběhu vyvrcholení pokroku ve vrtací, injekční a předpínací technice, který byl umocněn jejich vzájemným ovlivněním. Rozvinula se velká technologická a materiálová pestrost, již není možno stručně utřídit a popsat. Proto se soustředíme jen na hlavní historické posuny vývoje*

## Princip podpůrné injektáže

V technologických systémech provádění štíhlých základových prvků, jako jsou typicky **mikropiloty, hřebíky a kotvy**, je pro zásadní zvýšení jejich schopnosti přenosu zatížení do základové půdy využívána **podpůrná injektáž**. Mnohdy nejde jen o pouhé zlepšení plášťového tření prvku po instalaci do vrtu, ale o skutečné vytvoření roztačeného a do základové půdy předpjatého kořene. Na vnesené zatížení pak reaguje větší komplex základového prostředí. Jelikož jsou způsoby využití uvedených prvků velmi rozmanité a jejich vlastnosti různě upravovány a kombinovány, nelze je zcela striktně roztrždit. Obecně lze pro hrubé rozlišení říci, že u aplikací mikropilot i hřebíků probíhá interakce se základovou půdou mnohdy po celé délce prvku, přičemž u mikropilot je často úloha kořene zvláště výrazně injektáží, zatímco u hřebíků mnohdy tlaková injektáž ani není použita. U kotev je ale zásadně oddělena funkce volného táhla od kořene, nejčastěji upnutého právě injektáží.

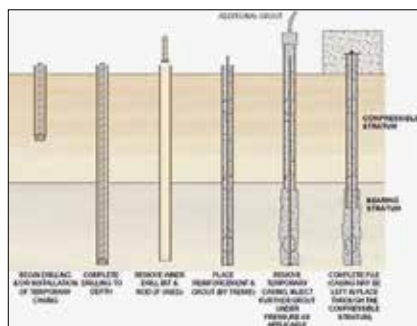
## Injektované mikropiloty

První aplikací, v níž se injektáž stala sice jen podpůrnou, ale podstatnou složkou instalace skládající se z několika technologií, se staly mikropiloty. Jejich historickým předchůdcem byly tahové ocelové trny, osazované jen volně do cementové závlivky ve skalním podzákladí, například již na stavbě Panamského průplavu v roce 1915 (13. část seriálu). Dnes by ovšem tento způsob někdo mohl vzhledem k navazující gravitační injektáží.

Dalším technologickým předpokladem pro využití velké kapacity výztužného ocelového prvku v různých základových podmínkách bylo ovládnutí technologie malopřůměrového vrtání v obtížně prostupné základové půdě, zejména v nepříznivých poměrech stavby, kdy bylo možno prvky sestavovat jen z krátkých dílů. Začalo se to obzvláště dařit v Itálii při její poválečné obnově. Tam byly prvně zkoušeny technologie vrtání s nastavovanými pažnicemi šikmo skrz základy konstrukcí pro účel jejich podchycení, a to i zevnitř objektu (4. část seriálu).

A právě v Neapoli, při opravě poškozených historických budov, přišel na počátku 50. let **Dr. Fernando Lizzi** z firmy Fondedile na novou myšlenku: zvýšit klíčovou funkci

přenosu zatížení ze štíhlého prvku do základové půdy tlakovou injektáží v jeho spodní délce. Nechal si poté v roce 1952 tuto inovativní metodu patentovat pod názvem **kořenové piloty** (pali radice/root piles). Metoda se pak nečekaně rychle rozšířila po celém světě. Někde se pod tímto tradičním názvem provádějí mikropiloty dodnes.



Obr. 1: Diagram původního postupu Dr. F. Lizziho z roku 1952 pro výrobu mikropiloty s podporou injektáže přes uzavěr na vršku pažnice (Fondedile)

První Lizziho injektáže se ovšem prováděly velmi jednoduše shora **přes uzavírací hlavu pažnice**. Injektovalo se postupně při povytahování a zkracování pažnic, tlakem jen do 5 bar. Výztuž byla zpočátku z prutových armokošů jako u pilot, takže vše bylo poměrně nedokonalé a pomalé. Konkurenční nápady a vylepšení během následných let zaplavily trh nesčíslnými modifikacemi původního patentu s různými druhy ocelové výztuže nebo různými způsoby instalace a injektáže. Objevily se také rozličné druhy roznášecích patek a různé způsoby upnutí do nadzákladové konstrukce včetně umělého předtížení. Tyto technické podrobnosti ovšem přesahují rámec našeho seriálu. Nicméně je třeba poukázat na několik důležitých směrů z tohoto dalšího vývoje.

V 60. letech to byl hromadný přechod od armokošové výztuže ke speciálním tyčovým prvkům z kvalitní oceli a zejména k silnostěným ocelovým trubkám. U nás začaly být používány takovéto mikropiloty pro podchycování historických budov od roku 1971. Poprvé to bylo při rekonstrukci kostela sv. Mikuláše v Jaroměři závodem 07 podniku Vodní stavby (obr. 2). Využívala se zde výztuž z nastavovaných ocelových trubek, ale postupovalo se ještě jen s tzv. gravitační injektáží cementovou závlivkou.



Obr. 2: Vrtání pro mikropiloty 108/14 mm soupravou Wirth BO a příprava jejich instalace uvnitř kostela sv. Michala v Jaroměři v roce 1972 závodem 07 o. p. Vodní stavby (Zakládání staveb, a. s.)

Podstatným vylepšením technologie bylo provedení výztužného ocelového tělesa mikropiloty jako vlastní manžetové injekční trubky. To umožnilo efektivní injektáž podél celého kořene, v případě potřeby i různých etáží opakovaně. Mezi prvními je uvedla v roce 1974 na trh firma Soletanche pod názvem **injektované metalické piloty** (I. M. Pieux). Využila tak svých intenzivních výzkumů injektáže kořenů kotev z konce 60. let. Od té doby jsou mikropiloty s injektovaným kořenem standardním a vysoce užitečným prvkem speciálního zakládání, obzvláště výhodným použitelným při rekonstrukcích budov a podchytávání stávající zástavby. U nás byly poprvé mikropiloty vybavené manžetami pro injektáž použity při rekonstrukci objektů Novotného lávky v Praze v roce 1974, podle tehdy ještě dobíhající licence Solexpert. Dalším významným přínosem osobnosti Dr. F. Lizziho bylo rozpracování skupinového účinku mikropilot. V roce 1972 představil koncept mikropilotových roštů, kterým zavedl myšlenku kompozitního spolupůsobení bloku základové půdy vyztužené skupinou různě ukloněných mikropilot. Uspořádání tvořilo lineární nebo prostorové sítě nebo mříže (obr. 3).





Obr. 3: Model řešení konsolidace náklonu šikmé věže v Pise pomocí hustého roštu z mikropilot podle teorie Dr. F. Lizzigo z 80. let 20. století (Fondedile)

Tento záměr, směřující k maximálnímu využití účinku přirozené zemní klenby je i na počátku 21. století stále ještě předmětem podrobného zkoumání vědeckých týmů.

Standardně se začal využívat skupinový účinek mikropilot při vynášení podchytávaných objektů nad následně prohloubenými suterény pomocí nosných mikropilotových bárek vytvořených příčným vyztužením. V tuzemsku byl takový systém poprvé ve velkém využit při generální rekonstrukci Stavovského divadla v Praze v roce 1987 (obr. 4).

Logické vylepšení těchto postupů pak bylo ve světě rozšiřováno zhruba od 80. let



Obr. 4: Nosné bárky z příčně vyztužených injektovaných mikropilot 108/12 mm při přestavbě suterénu Stavovského divadla v roce 1987 (archiv Zakládání staveb, a. s.)

ních staveb. Větší kapacita byla dosahována při vodorovném kotvení v mělké rýze uloženými ocelovými **pasivními táhly**. Ty byly jen tzv. „mrtvě“ upnuty do nějaké nepřilíh blízké protilehlé konstrukce, třeba z ražených pilot, nebo do masivního základového bloku. Tento způsob představoval výhodnou alternativou oproti rozpírání nebo podpírání pažicích konstrukcí, ale vyžadoval poměrně velký prostor okolo stavby. A kapacita tohoto kotvení zpravidla nebyla velká. Později byl proto i tento typ jednoduchého vodorovného kotvení doplňován předpínáním (obr. 6).

zaváděním podstatně silnější vrtací techniky. Umožnilo zvětšovat průměry vrtů ve vhodné základové půdě až na rozměr okolo 300 mm, takže takové prvky se již často spíše nazývaly **minipiloty** (obr. 5). V tuzemsku byly podobně rozměrné mikropiloty, ale armoškové a ve skalním prostředí, použity poprvé v roce 1978 závodem Speciálního zakládání staveb o. p. Vodní stavby pro založení pilířů barrandovského mostu v Praze (3. část seriálu).

#### Injektované předpjaté kotvy

Počátky kotvení základů staveb zabudovanými tyčovými táhly jsou dokumentovány zhruba od poloviny 19. století, často pro opevnění břehů návod-

I pasivní princip se dal v určitých podmínkách inovativně a radikálně přizpůsobit, jak dokládá řešení pomocí zvláštních kotevních podzemních stěn jako pasivních stěnových táhel na stavbě přístavu Marseille v roce 1988 (obr. 7).

Na začátku 20. století se začaly používat pro zachycení tahových sil vzlaku vislé tyčové prvky, v podstatě tahové mikropiloty, zabudované do podzákladí. Příkladem je výše zmíněná stavba Panamského kanálu. Obdobně byly v té době zkoušeny **horninové svorníky** s mechanickým upnutím pro výztuž nadloží podzemních výrubů. Ty byly poprvé použity v roce 1918 v uhelném dole v německém Horním Slezsku a pak také v USA. Na delší čas byla však tato metoda opuštěna, ale navrátila se do praxe v období dynamického rozvoje amerického válečného průmyslu. Po válce se naplno začala využívat také v Evropě. Vývoj technologie svorníků se pak prolínal s technologiemi mikropilot a kotvení. U nás byly poprvé ve stavebnictví použity svorníky délky 6 m a průměru 30 mm podnikem Vodní stavby v roce 1959 pro kotvení skalního svahu pod hradem Orlick.

Na konci 40. let byl s nárůstem použití zejména štetových a záporových pažicích stěn naléhavě vyhledáván způsob **aktivního kotvení** s nějakým způsobem předepnutí konstrukce pro následný odkop. Velkým impulzem pro vynález efektivního vrtaného kotvení v základové půdě byl příklad napínání výztuže u technologie předpjatého betonu. První patenty na princip předpjatého betonu jsou známy z konce 19. století, ale praktická



Obr. 5: Vrtané mikropiloty většího průměru, středově vyztužené silnostěnnou injekční trubkou prům. 100 mm s manžetami pro injektáž kořene pro podchycení budov na stavbě stanice Messeplatz vídeňského metra v roce 1981 (StumpBOHR)





Obr. 6: Kotevní výztuž osazovaná do podzemních jílocementových stěn sloužících pro kotvení nábrežní zdi stavby přístavu v Marseilles-Fos v roce 1988 (Soletanche)

realizace se dlouho nedařila, proto došli odborníci k závěru, že je to nevyužitelné. Rozhodující objev učinil až francouzský mostařský inženýr **Eugen Freyssinet** ve 20. letech minulého století. Byl typem inženýra-umělce, posedlého svým oborem a nadaného

mimořádnou vynalézavostí. Studoval na svých stavbách creep (dotvarování) betonu a zjistil, že pro předejití ztrát únosnosti musí být v předpjatém betonu použit pouze vysoce kvalitní beton a ocel mimořádně odolná v tahu. Navrhl systém předpínání, který si patentoval v roce 1928, a dále kotevní systém pro napínání svazku z 12 patentovaných drátů o průměru 5 mm v roce 1939. Realizoval pak mnohé úspěšné stavby s firmou Campenon Bernard a prodal licence do řady firem po celém světě, čímž zvečnil své jméno ve spojení s tímto předpínacím



Obr. 7: Ukázka vodorovného protikotvení konstrukcí s předpínáním lanových táhel na stavbě přístavu Bandar Abbas v Iránu v roce 1980 (Trevi)



Obr. 8: Bretaňský maják La Jument v bouřlivé mořské oblasti, dodatečně přikotvený roku 1930 do žulového podloží (internet)

systémem. Svou roli zde sehrál i přenos zkušeností z injektáží cementem k výplni dutin kanálků v konstrukcích pro zasouvanou dodatečnou předpínací výztuž. Nedostatek oceli v poválečné evropské výstavbě úspornou technologií předpjatého betonu velmi podnítil a přispěl k jejímu intenzivnímu rozvoji, jelikož takové mosty mohly konkurovat ocelovým. Rychle vznikaly další obdobné předpínací systémy, například německý Dywidag, švýcarský VSL apod.

Francouzští inženýři měli k této metodě obzvláště blízko, a proto začali jako první experimentovat s jejím využitím pro kotvení v oboru zakládání. Úvodní počín realizoval již v roce 1930 inženýr **André Coyne**, Freyssinetův spolupracovník, dodatečným přikotvením majáku La Jument d'Quessant v obzvláště bouřlivé mořské oblasti Bretaně. Maják byl odvážně postaven v roce 1911, ale brzy se zjistilo, že je třeba ho proti divokému živlu více zakotvit do žulového podzákladí. Umožnil to i pokrok ve vrtací technice. Šest **kabelových kotev** bylo osazeno do vrtů jdoucích 15 m přes betonový základ a 20 m do tvrdého granitu. Cementová injektáž kořene izolovaného od táhla byla provedena centrální trubkou. Každá kotva byla předpjata na 15 MN (obr. 8). André Coyne se pak proslavil ještě více v roce 1934 ve spolupráci s italskou firmou speciálního zakládání Rodio. Dodatečně a ve velkém rozsahu přikotvili gravitační zděnou alžírskou přehradu Cheurfas z roku 1882 o výšce 30 m. Pro potřebné zvýšení její stability bylo zhotoveno 37 kusů 50 m dlouhých kotev, každá ze 630 galvanizovaných drátů 5 mm a předpjata na sílu 10 MN (obr. 9).

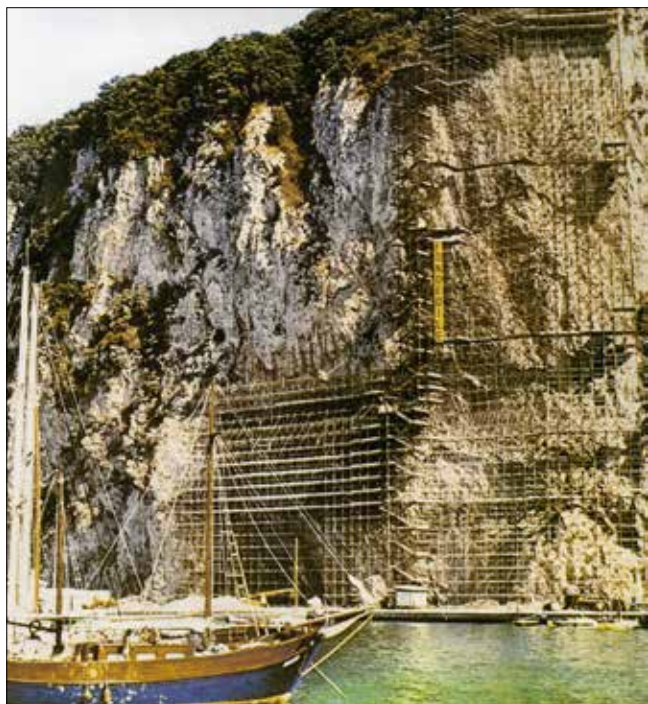


Obr. 9: Přehrada Cheurfas v Alžíru byla v roce 1934 přikotvena 37 kabelovými kotvami (forgalus.free.fr)



Obr. 10: Vrtání pro instalaci drátových kotev jádrovací hydraulickou soupravou Hagby Bruk ke kotvení podzemních stěn suterénu na stavbě obchodního domu Kotva v Praze v roce 1973 (archiv Zakládání staveb, a. s.)





Obr. 11: Zajišťování skalního svahu v přístavu ostrova Capri roštem z mikropilot v roce 1975 (Fondedile)



Obr. 12: Zajištění svahu v písčítých zeminách pro rozšíření železnice ve Versailles hřebíkováním v roce 1972 (Soletanche)

Hned nato v roce 1936 použila stejnou metodu firma Soletanche na alžírské přehradě Bou Hanifia (14. část seriálu) pro svislé předpětí až 50 m hluboké klasicky zhotovené betonové části podzemní clony. Tehdy použité kabelové kotvy, sestavené vždy z mnoha drátů, byly pak obdobně unikátně využívány u dalších případů kotvení přehrad. U nás byla tato metoda poprvé aplikována v roce 1967 podnikem Ingstav Brno pro dodatečné kotvení přehrady Bystřička instalací 27 kotev o předpětí 3,7 MN.

Uvedené období užívání kabelových kotev zapadalo také do historického vyvrcholení aktivit velkých osobností inženýrského státnictví, jež byly schopny obsáhnout široké pole různých odborných disciplín. První třetina 20. století se vyznačovala nástupem nové vlny specializovaných odborníků v oboru geotechniky, podpořené krátce na to dynamickým vývojem speciální mechanizace, nových materiálů a elektronizace. Tyto faktory si vynutily širší týmovou spolupráci. Znamenali jsme to již v našem seriálu u mnoha jiných technologií a je to vidět velmi zřetelně i u technologie kotvení v poslední třetině 20. století.

Po útlumu stavebních aktivit ve válečném období vypukl celosvětový závod o to, kdo objeví nejlepší metodu kotvení základových konstrukcí. V poválečném období nejprve všeobecně převládaly **tyčové kotvy**. V 50. letech byly v USA zřizovány šikmým vrtáním a v Německu nejdříve vodorovnou a následně i šikmou ražbou. Měly zabetonovaný kořen s izolovaným táhlem a jejich hlavy byly vzhledem k pažicím konstrukci předepjaty pomocí hydraulických lisů. S obdobným principem

byly například na stavbě milánského metra podzemní stěny kotveny šikmými vrtanými mikropilotami. Mnohé další firmy postupovaly stejnými cestami. Tyto kotvy však byly relativně krátké, s táhly obtížně nastavitelnými. K jejich nízké kapacitě přispívala problematická tvorba upínání a upínání kořene v základové půdě, pokud se nejednalo o vhodné horninové poměry. V tuzemsku byly poprvé použity vrtané tyčové kotvy v roce 1965 podnikem SSŽ pro zakládání pilířů nuselského mostu v Praze. Výraznou postavou dalšího vývoje kotvení se u nás od té doby stal **Ing. Hynek Hlasivec** právě z tohoto podniku, jinak proslavený mostař. Svou erudicí z předpínání konstrukcí velmi přispěl k propracování nezbytných řemeslných fines pro napínání kotev.

Samostatným směrem vývoje šla francouzská firma Soletanche. Snažila se spojit využití Freyssinetova dokonalého betonářského kotevního systému z flexibilních drátů se svým efektivním upínáním kořene kotvy injektáží manžetovými trubkami. V roce 1964 takto zhotovila první předpjatý kotevní blok na stavbě budovy Peugeot v Paříži. Po sérii několikaletých důkladných zkoušek zavedla do praxe v roce 1967 na stavbě Porte de Bagnolet předpínané injektované **drátové kotvy** pod názvem I. R. P. Jejich výhodou byla snadná a spolehlivá instalace i pro velké délky, při vysoké kapacitě únosnosti. U nás byly poprvé použity injektované drátové kotvy podnikem Vodní stavby na stavbě stanice Kačerov pražského metra v roce 1971. Jednalo se o kotvy I. R. P., dodané v licenci Solexpert. Ve větším rozsahu byly použity za stejných podmínek na stavbě obchodního domu Kotva v Praze v roce 1973 (obr. 10). Tehdejší přední

evropskou pozici naší země v oboru speciálního zakládání dokládá i časný návrh československé normy pro kotvení z roku 1972.

Jen o pár let později po zavedení drátových kotev se začala využívat kotevní táhla také **z pramencových lan**. Tyto kotvy již byly často předvyrobené od specializovaných předpínacích firem, jako byla například německá firma Dywidag a postupně i dalších. Lanové kotvy měly velké výhody – snadnější výrobu, lehčí manipulaci při přepravě, snazší instalaci i při předpínání a hlavně účinně dosažitelnou vysokou únosnost (obr. 11).

Technický rozvoj kotvení se pak stal téměř nepřehledným s nespočtem různých konstrukcí kotev a technologií instalace, takže již přesahuje naše zaměření na hlavní vazby historického vývoje. V tuzemsku byly první lanové kotvy použity závodem Speciálního zakládání staveb o. p. Vodní stavby v roce 1981 pro stavbu radotínského přístavu na řece Berounce.

### Hřebíkování

Metoda hřebíkování (soil nailing) se vyvinula z různých experimentů s pasivními tyčovitými kotvami koncem 60. let. Jedním z impulsů byly časně práce Dr. F. Lizzioho pro zajištění skalních svahů roštem mikropilot, ve smyslu skupinového účinku prostorového vyztužení. Na rozdíl od prvně používaných mikropilot ukloněných mírně od svislice k podchycování základů, byly tentokrát mírně ukloněné od vodorovné roviny. Názorným příkladem bylo v roce 1975 zajištění 100 m vysokého vápencového útesu v přístavu ostrova Capri proti sesuvu z místy až 25 m dlouhých mikropilot (obr. 11).

Jiným impulsem byl vývoj Nové rakouské tunelovací metody (NATM) od začátku 60. let, kdy se pro zajištění klenby a boků výrubu kombinovala pasivní svorníková vyztuž a nástřik betonu vyztuženého ocelovou sítí. Následně se z těchto pokusů vyvinul ucelený systém zajištění skalních i zemních svahů in-situ vyztužením relativně kratšími tyčovými prvky hlavně z oceli, pro něž se vžil název **hřebíky**, se zajištěním povrchu stříkaným betonem.

Poprvé bylo zcela samostatné hřebíkování použito v roce 1972 na stavbě rozšíření železniční trati u Versailles ve Francii pro zajištění 18 m vysokého svahu z písčitého zemín. Spojily se zde znalosti a zkušenosti firmy Sotanche ze speciálního zakládání a firmy Bouygues z tunelování NATM. Instalováno zde bylo 25 000 ks 4 až 6 m dlouhých zainjektovaných ocelových hřebů (obr. 12). Ukázalo se, že tato metoda je při posouzení „cena/výkon“ velmi efektivní a může redukovat čas nutný pro stabilizaci svahu až na polovinu.

Stejně jako u předchozích metod se i tato rychle rozšířila do celého světa – zpočátku zejména v Německu po velmi zevrubném výzkumu firmy Bauer, ale ani Spojené státy nebo Japonsko nezůstaly pozadu. Vyvinula se vysoká rozmanitost technologií instalace

a materiálů, již nelze zjednodušeně zachytit. Podpurná injektáž byla často omezena jen na gravitační zálivku podél hřebíku nebo jeho dutinou, jsou však i propracovanější technologie. Postupem času došlo rovněž k prolínání této metody s jinými technologiemi vyztužování základových půd, k nimž dospějeme v pozdější části seriálu. Na rozdíl od nich je však hřebíkování použito pro

nenarušenou přírodní základovou půdu a postupuje se shora dolů, přičemž vyztužená zemina se buduje odspoda nahoru. Z toho se též odvozuje odlišné chování výsledné základové konstrukce.

Příklad použití hřebíkování svahů v tuzemsku uvádíme na obr. 13.

**Ing. Jindřich Říčka, ADSZS**



Obr. 13: Zajištění portálu a předportálových stěn tunelu Panenská na D8 hřebíkováním, rok 2005 (archiv Zakládání staveb, a. s.)

### The history of special foundation – Part 16

*In continuation of history description in the field of grouting this part is connected to further branch of its evolution. Grouting has become basic supporting technique of many divided but separate special foundation methods at installation of very slim foundation elements. They were newly introduced just after sufficient experience with classic grouting was acquired at 50's of the last century. It is an extraordinary story of abrupt acceleration in evolution just at several decades. Concurrence of progress culmination at techniques of drilling, grouting and prestressing happened there in this field which was raised by their mutual influence. Large technique and material variety burst followed which cannot be described and classified in brief. Therefore our article is focused on the main historical shifts of evolution only.*

## SLAVNOSTNÍ OTEVŘENÍ PLAVEBNÍ KOMORY NA JEZU HNĚVKOVICE NA HORNÍ VLTAVĚ

V čísle 1/2015 Zakládání jsme informovali o slavnostním zahájení stavby poslední chybějící plavební komory na horním toku Vltavy, a to u jezu v obci Hněvkovice před Týnem nad Vltavou. Stalo se tak 14. dubna 2015. Od té doby probíhaly intenzivní práce na výstavbě této komory a přidružených objektů spojených se splavněním tohoto 3. úseku v rámci záměru Dokončení Vltavské vodní cesty v úseku České Budějovice–Týn nad Vltavou. Společnost Zakládání staveb, a. s., byla společně s Metrostavem, a. s., hlavním dodavatelem této stavby. O výstavbě plavební komory jsme podrobně informovali v předminulém vydání Zakládání 4/2016. A letos na jaře, 20. května, tedy po 2 letech od zahájení stavby, se uskutečnění tohoto

záměru naplnilo a bylo završeno tentokrát slavnostním otevřením plavební komory v Hněvkovicích, a tedy i celé plavební cesty z Českých Budějovic až k přehradě Orlík. Nyní budou moci na této trase plout lodě o délce až 44 metrů a šířce 5,5 m, což vychází z velikosti nově vzniklých komor. (V Týně nad Vltavou zbývá pak ještě vyřešit problém nízké podjezdové výšky mostu, která dnes dovoluje plavbu lodím do max. 3 m výšky.)

Slavnostního otevření plavební komory na jezu Hněvkovice se zúčastnilo mnoho vzácných hostů v čele s ministrem dopravy Danem Ťokem, ředitelem Ředitelství vodních cest Lubomírem Fojtů a generálním ředitelem

s. p. Povodí Vltavy Petrem Kubalou. Společnost Zakládání staveb, a. s., zde zastupovali její generální ředitel Jiří Mühl a obchodní ředitel Aleš Skalický.

„Za dvě miliardy korun tak během deseti let vznikla čtyři zdymadla, dva přístavy, pět přístavišť a upravili jsme patnáct kilometrů koryta řeky. Plavba se tak vrací na řeku, která byla klíčovou vodní cestou pro České země již od časů císaře Karla IV,“ řekl ředitel Ředitelství vodních cest ČR Lubomír Fojtů. „Posledním úkolem, který zatím stojí před námi, je dořešit lodní zdvihadla přes přehradní hráze Slapy a Orlík, aby i větší kajutové rekreační lodě mohly využívat opravdu celou vodní cestu,“ dodal.





Pohled na nově otevřenou plavební komoru s rybím přechodem v Hněvkovicích

Současné splavnění Vltavy je ale jen návratem k něčemu, co už fungovalo. „Do 50. let minulého století ještě lodě a vory z Budějovic do Prahy nerušeně pluly, ale pak se začaly budovat přehrady Slapy a Orlík. Plánovaná lodní zdvihadla však současně s tím nevznikla a až teď je vracíme na vodní cesty. U jezů a přehrad se objevily plavební komory a vodní cesta se tak vrací k tradici, která tu byla vlastně od středověku,“

připomíná Jan Bukovský z Ředitelství vodních cest. Ministr Daniel Třok vyjádřil naději, že nově otevřená plavební cesta z Českých Budějovic až do Týna nad Vltavou a pak dále k přehradní nádrži Orlík by mohla mít pro jihočeský region podobný pozitivní efekt, jako má známý Baťův kanál na řece Moravě. Na něm se každý rok plaví kolem 100 tisíc návštěvníků a další tisíce lidí kolem něj jezdí na kole či vyráží na pěší túry.

Na závěr dodejme, že vodní cestu budovala Ředitelství vodních cest ČR jako státní investice při financování z prostředků Evropské unie prostřednictvím Operačního programu Doprava a ze Státního fondu dopravní infrastruktury.

(red)

Foto: Libor Štěrba a ŘVC ČR (letecké foto)



Ministr dopravy Dan Třok při slavnostním projevu

## JEZ V ČERNOŠICÍCH SLAVNOSTNĚ OTEVŘEN

Na konci května letošního roku byl na řece Berounce v Černošicích za účasti ministra zemědělství Mariana Jurečky a ministra životního prostředí Richarda Brabce slavnostně otevřen obnovený jez. Poškozený jez procházel od září 2014 do března 2017 kompletní rekonstrukcí. Celkové náklady dosáhly výše 85,3 mil. korun z prostředků státního podniku Povodí Vltavy a Operačního programu Životní prostředí (OPŽP). Hlavním dodavatelem stavby bylo Sdružení firem Metrostav, a. s., a Zakládání staveb, a. s.

O rekonstrukci jezu jsme podrobně informovali v článku Rekonstrukce jezu Černošice v loňském vydání Zakládání 2/2016. Připomeňme tak jen, že rekonstrukce jezu spočívala v odstranění původního poškozeného tělesa jezu a ve stavbě nového jezu s kamenným obkladem ve

stejném půdorysném umístění. Na levém břehu byl vybudován rybí přechod, umožňující rybám překonat migrační překážku, a propust pro sportovní lodě, která zajišťuje bezpečné proplutí vodáků. Na pravém břehu byla obnovena pravo-břežní dělící zeď a šterková propust. V podjezí byla provedena obnova levobřežního opevnění. Černošický jez má významnou funkci ve stabilizaci toku, v zabezpečení hospodárného nakládání s vodami a také ve vytvoření stálé hladiny v městském úseku toku, která zajišťuje minimalizaci hygienických závad a propůjčí toku i jeho břehům estetický vzhled. Další významnou funkcí jezu je zabezpečení plavebních hloubek.

Při příležitosti otevření jezu řekl ministr životního prostředí Richard Brabec: „Jsem rád, že se Ministerstvo životního prostředí mohlo

podílet na realizaci této akce. My jsme z prostředků OPŽP mohli zajistit soulad projektu s přírodou, za evropské prostředky vznikl rybí přechod, který přispívá k posílení migračních možností na řece Berounce. Z našeho pohledu jde o úspěšně realizovaný projekt.“

„Objekty na vodních tocích, které zabezpečují funkce ve veřejném zájmu, jako je právě obnovený jez v Černošicích, není snadné ani levně udržovat. Jsem rád, že se Ministerstvu zemědělství daří vytvářet takové podmínky, aby prostřednictvím státních podniků Povodí, v tomto případě ve spolupráci se státním podnikem Povodí Vltavy, takováto vodní díla mohla spolehlivě a dlouhou dobu fungovat,“ dodává ministr zemědělství Marian Jurečka.

(red)

Foto: Libor Štěrba



Ministr životního prostředí Richard Brabec při slavnostním otevření rekonstruovaného jezu v Černošicích



V rozhovoru po slavnostním otevření zleva: Jiří Mühl, generální ředitel Zakládání staveb, a. s., Richard Brabec, ministr životního prostředí, Pavel Pilát, generální ředitel Metrostavu, a. s., a starosta Černošic Filip Kořínek (zády ke kameře)



# VÝSTAVBA PODZEMNÍCH GARÁŽÍ V PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÝCH ČINŽOVNÍCH DOMECH ULICE FOKSAL 13 A 15 VE VARŠAVĚ

*Cílem investora je přeměnit památkově chráněné a do současnosti chátrající domy na ulici Foksal 13 a 15 na moderní nájemní domy se současným uživatelským standardem při respektování jejich historické hodnoty. Součástí investičního záměru byla podmínka výstavby podzemních garáží pod částí objektů.*

*Tuto podmínku se podařilo splnit díky návrhu a realizaci mnoha metod speciálního zakládání. Pro výstavbu podzemních garáží bylo třeba zajistit zejména: pažení celého obvodu stavební jámy budoucích podzemních garáží, zvýšení únosnosti ponechaných základových konstrukcí a podchycení stávajícího zdiva na mikropilotových bárkách. Posledně jmenovaný typ konstrukce byl v Polsku realizován vůbec poprvé.*

## Historický přehled

Oba činžovní domy přetrvaly 2. světovou válku v téměř neporušeném stavu a do konce devadesátých let 20. století byly využívány jako nájemní bytové objekty.

Do jejich údržby se však již od 60. let 20. století neinvestovalo, neboť na jejich místě měla stát nakonec neuskutečněná tramvajová trasa od hradu k letohrádku (Zamek–Belweder). Na konci devadesátých let bylo úředně nařizováno vystěhování obyvatel s ohledem na ohrožení jejich zdraví a života. K dalšímu chátrání opuštěných činžovních domů přispěli černí nájemníci. V roce 1987 byly oba činžovní domy Foksal 13 a 15 zapsány do seznamu architektonických památek.

Oba domy na ulici Foksal 13 a 15 mají tradiční zděnou konstrukci s bočními křídly a centrálními dvory. V přední a zadní části jsou dva trakty, v bočních křídlech jeden trakt. Objekt Foksal 13 měl pět nadzemních podlaží a podkroví, objekt Foksal 15 měl čtyři nadzemní podlaží a podkroví. Tuhost objektů zajišťují soustavy masivních podélných a příčných zděných nosných stěn, jakož i tuhé stropní konstrukce. Objekty jsou v celém půdorysu podsklepeny. Stropy nad sklepy jsou klenbové, ostatní stropy jsou trámové (Foksal 13 – ocel, Foksal 15 – dřevo). Založení obou budov je mělké do 20 cm pod úroveň sklepa s rozšířením cca 10 cm.

Budovy mají mnoho zachovaných znaků původní architektury, a to jak na fasádách, tak v interiérech a jejich dekorech. Na fasádách a balkónech jsou použity obklady kabřincem, bohatá je štuková výzdoba, v interiérech jsou zachována kachlová kamna a dekorativní omítkové malby.

## Stručný vývoj projekčního řešení spodní stavby

Vývoj celého projektu je charakterizován snahou investora o co nejjednodušší řešení, na druhé straně pak požadavky památkového dohledu, chránícího památkově mimořádně cenné stavby v centru Varšavy.

V roce 2005 obě nemovitosti získala společnost Ghelamco. Jejím cílem je navrátit oběma domům původní, jedinečnou podobu klasických činžovních domů 19. století a zároveň novým

zařízením dosáhnout vysokého standardu současného bydlení. Nutnou podmínkou tohoto standardu byl pak záměr vybudování podzemních garáží na části půdorysů obou objektů. Kompromisní řešení nakonec představovala schválená varianta s demolicí zadního křídla Foksal 15 a společného prostředního křídla. To bylo nutné minimum pro vybudování podzemních garáží, s kterým souhlasil památkový úřad. Na místě zbouraných křídel budou po výstavbě podzemních garáží vybudována křídla nová ve stejném rozsahu a se stejným provedením fasád. (Plán investora počítal s novou výstavbou těchto zbouraných křídel pomocí monolitů, aktuálně – v 7/2017 – však došlo rozhodnutím památkového úřadu ke změně a od úrovně + 2, 0 m nad terémem bude třeba všechny konstrukce provést zděné, jako jsou původní ponechané části domů.)

Stavební projekt z roku 2008 předpokládal zhotovení dvoupodlažních podzemních garáží na ploše cca 650 m<sup>2</sup>. Základová spára byla navržena na úrovni –8,06 m p. t. s lokálními prohloubeními o dalších 1,55 cm. Obslužnost garáže měl zajišťovat jeden autovýtah s vjezdem od ulice Smolna (od zadních traktů domu 13 a 15). Tyto garáže byly navrženy jako dvouúrovňové s kapacitou parkování 47 parkovacích míst.

V další fázi projektu z let 2015/2016 byla nově



Budova Foksal 13 před druhou světovou válkou

kapacita podzemních garáží navýšena na 64 míst, celková rozloha zvýšena na 770 m<sup>2</sup> a přidán druhý autovýtah. Původní dvouúrovňové parkování se změnilo na víceúrovňové. V rámci tohoto řešení byla původní úroveň snížena o dalšího 1,1 m a lokální prohloubení o 2,3 m (na nejnižší kótu –11,60 m p. t.). Podrobnou analýzou aktuálních vstupů a úzkou spoluprací s dodavatelem a projektantem prací speciálního zakládání (Zakládání staveb, a. s., a FG Consult, s. r. o.) došlo v rámci nabídkového řízení i k úpravě tohoto posledního řešení, čímž se dosáhlo dalšího rozšíření užité plochy podzemních garáží.

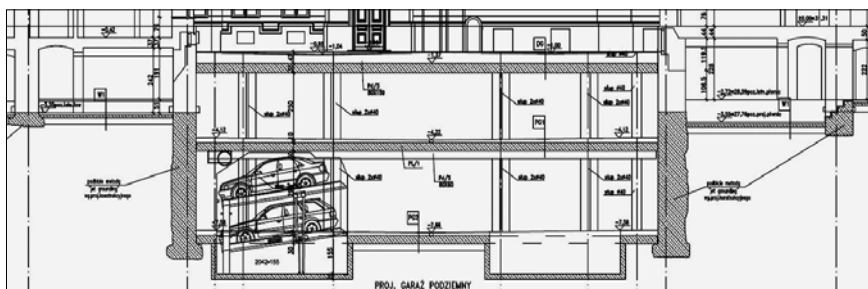




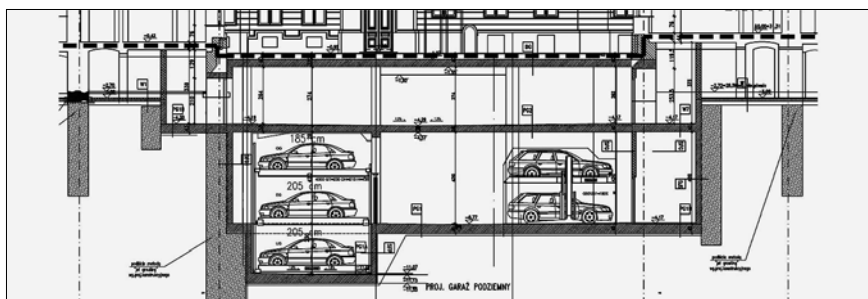
Pohled do stavební jámy před dokončením podkladních betonů

Podrobný popis navržených a realizovaných opatření speciálního zakládání je obsahem následujícího příspěvku projektanta Ing. Tomáše Řediny, FG Consult, s. r. o. Na tomto místě jen konstatujeme, že konečný návrh spodní stavby je z našeho pohledu skutečně unikátním komplexním dílem, které eliminovalo nedostatky původního návrhu, využilo v plné míře výchozí stavební situace, nově zadané podmínky investora a možnosti dané technologiemi speciálního zakládání. Současně došlo k optimalizaci doby výstavby a nákladů na tuto část investice. Důležité bylo také eliminování nepříznivých vlivů na sousední budovy a památkovou podstatu modernizovaných činžovních domů.

**mgr inž. Bogusław Barański,**  
Ghelamco Poland, spółka z o. o. sp. k.  
**mgr inž. Łukasz Tracewicz,**  
Zakládání Staveb, S. A., Oddział w Polsce



Příčný řez z předchozího stupně projektové dokumentace ještě před prohloubením podzemních garáží



Příčný řez garážemi po prohloubení v konečné projekční podobě



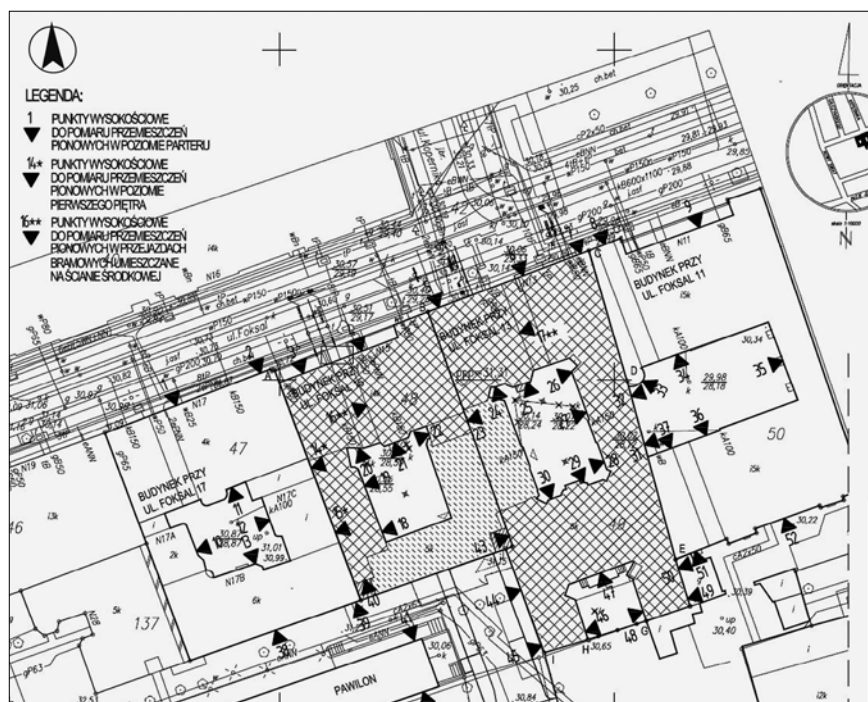
# PROJEKČNÍ ŘEŠENÍ SPODNÍ STAVBY DOMŮ NA ULICI FOKSAL 13 A 15

## Úvod

Vzhledem k tomu, že za 2. světové války byla téměř celá Varšava srovnána se zemí, mají objekty činžovních domů Foksal 13 a Foksal 15, které jí přestály jen s drobnými poškozeními, pro naše severní sousedy značnou historickou hodnotu. Tato skutečnost se odrážela při tvorbě projektové dokumentace investora a následně i při vlastní realizaci stavby, kdy docházelo k mnoha změnám a úpravám původních návrhů, jak už to u rekonstrukcí bývá. Projekt výstavby podzemních garáží v památkově chráněných domech Foksal 13 a 15 zahrnoval souhrn několika opatření s různou funkcí. Jednalo se především o návrh pažení stavební jámy pro podzemní garáže, zvýšení únosnosti ponechaných základových konstrukcí a podchycení stávajícího zdiva na mikropilotových bárkách.

## Geologické a hydrologické poměry v místě stavby

V dubnu 2016 byl na místě proveden podrobný geologický průzkum. Pod vrstvou navážek o mocnosti 1–2,3 m se nalézají útvary pleistocénu. Tyto útvary zasahují do hloubky 12–15 m pod terén a jsou tvořeny písčítými hlínami, u kterých se s hloubkou mění jejich konzistence od tuhé po pevnou, ve spodních



Situace s vyznačením původního půdorysu obou objektů Foksal 13 a 15 a nově odbourané části v rámci rekonstrukce a výstavby podzemních garáží

partiích pak velmi pevnou. Místně byly vrstvy hlín položeny čookami fluvioglaciálních písků s ulehlostí  $Id = 0,8–1,0$ . Veškeré sedimenty jsou silně glaciotektonicky narušené.

V průzkumu z dubna 2016 byla podzemní voda zastižena v hloubce více než 15 m pod terénem. V doplňkovém průzkumu byly čocky ulehých písků vyplněné vodou zastiženy v hloubkách již okolo 4–5 m pod terénem.

## Monitoring

S ohledem na navržené provedení hlubokých výkopů pro podzemní garáže byl před prováděním stavebních prací zpracován projekt monitoringu, na jehož základě byla založena síť nivelačních bodů pro kontrolní měření modernizovaných budov a sousedních budov (celkem 52 měřických bodů). Četnost měření byla přizpůsobena pracovnímu tempu a tempu provádění spodní stavby a následně výstavby. Výsledky měření jsou analyzovány průběžně vedením stavby, autorským a investorským dozorem. Pro stávající budovy byly přijaty následující tolerance:

$[sk]_u = 5 \div 7$  mm,  $[sk]_n = 15 \div 18$  mm,  
 $[sk]_u$  – hraniční hodnota svislého přemístění konstrukce budovy, jejíž dosažení signalizuje možnost výskytu hraničních mezních stavů použitelnosti (např. nadměrných prasklin, puklin, deformací),  $[sk]_n$  – hraniční hodnota svislého přemístění konstrukce budovy, jejíž dosažení signalizuje možnost výskytu mezních stavů únosnosti.

Kromě toho jsou monitorovány vlastnosti zděných nosných stěn domů a deformace

ocelových konstrukcí z mikropilot, na kterých jsou nově činžovní domy vyneseny.

Z dosavadních výsledků monitoringu vyplývá, že zaznamenaná měření jsou stále v rámci uvedených tolerancí, čímž je nepřímou potvrzena správnost návrhu technologií a konstrukcí speciálního zakládání.

## Zajištění stavební jámy pro podzemní garáže

Aby bylo možné vybudovat podzemní garáže, bylo nejdříve nutné vybourat dvě původní dvorní křídla. Snahou investora bylo přirozeně prostor pro budoucí garáže co nejvíce zvětšit. Úroveň základové spáry nově budovaných garáží je 8,7–11 m pod stávajícím terénem. Obvod stavební jámy je 140 m, z toho je 110 m zajištěno pomocí **dvouřadé tryskové injektáže**  $\varnothing 108/12$ . Zbývajících 30 m obvodu je zajištěno **mikrozáporovou stěnou** s profilů HEB 160. Po celém obvodu stavební jámy je proveden **stříkaný beton** tl. 10–25 cm, zajištěný hřebíky dl. 4,5–7,5 m ve 2–4 úrovních, a to od úrovně základové spáry až na úroveň –1 m. Na úrovni –3,2 m je jáma po celém obvodu zajištěna **rozpěrným rámem** z rozpěr délek až 19 m. V této úrovni byla po celém obvodu navržena převážka z profilů 2xIPE330 až 2xIPE400. Ta vytvořila celistvý tuhý prvek, který bránil pohybu obvodových stěn směrem do stavební jámy. Rozpěry byly navrženy z profilů HEB 200 a HEB 300. Nejdelší profily byly navrženy z dvojice štetovnic VL604. Některé z rozpěr procházely skrz mikropilotové bárky.



Stavební jáma v pohledu ze 4. nadzemního podlaží objektu Foksal 15



V oblasti 30 m dlouhé mikrozáporové stěny je rozepření provedeno ve třech úrovních vzhledem k tomu, že zde nebylo možné použít jakýkoliv kotevní prvky přesahující hranici pozemků investora.

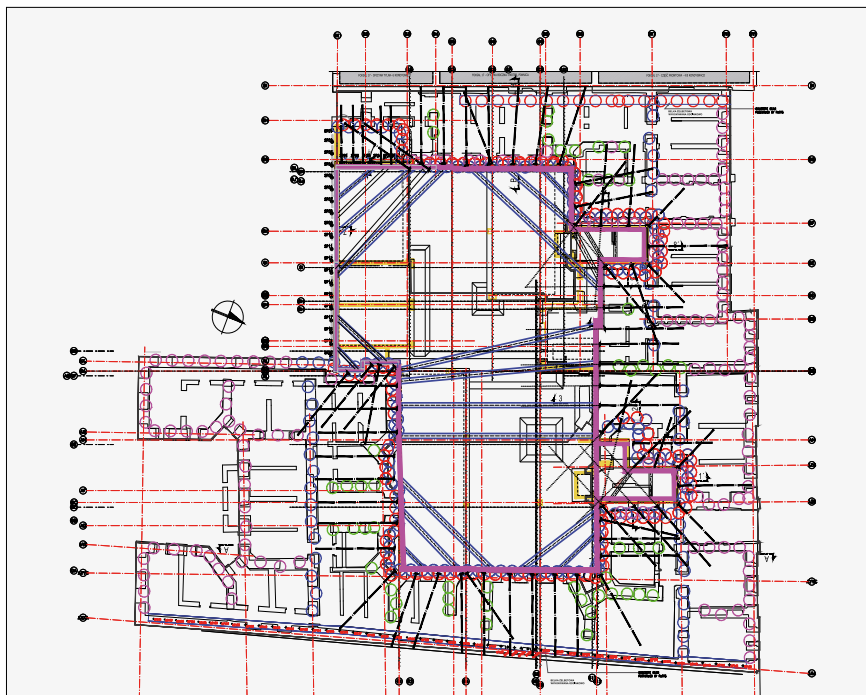
### Změny v projektové dokumentaci

K výše popsanému finálnímu technickému řešení zajištění stavební jámy však vedla dlouhá cesta vzhledem k měnícímu se zadání ze strany investora. Celý projekční proces trval 11 měsíců, což činilo projekční práce pro provedení stavby značně náročné.

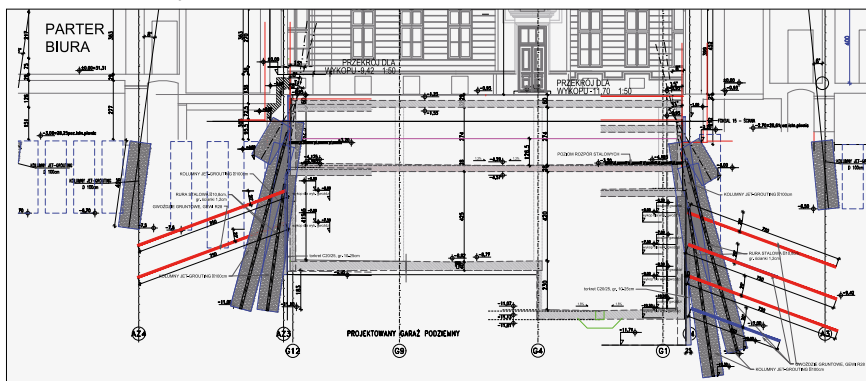
Na začátku bylo např. zajištění stavební jámy navrhováno jako dočasná konstrukce. V průběhu zpracovávání dokumentace však došlo ke změně na pažici stěnu trvalou, která má po celou dobu životnosti přenášet zemní tlak. To si vyžádalo změnu návrhu z původního rozepření celé jámy ve 2–3 úrovních na rozepření převážně jen v jedné úrovni s doplněním pažení stříkaným betonem zajištěným trvalými hřebíky.

Další změnu představovalo zahrnutí účinků tlaku podzemní vody z dodatečně provedeného IGP. Původní návrh vycházející z IGP byl takový, že stěna ze sloupů tryskové injektáže společně s trvalými hřebíky bude přenášet veškerý zemní tlak po celou dobu životnosti podzemních garáží (v návrhu 100 let). V IGP nebyla v žádné sondě zastížena podzemní voda do hloubky 15 m pod terénem. V dodatečně provedeném IGP se však uvádělo, že písčité vrstvy cca 2,5 m pod terénem budou naplněny podzemní vodou a na pažení tedy bude působit hydrostatický tlak. Změna projektové dokumentace pak spočívala v prodloužení hřebíků a jejich zahuštění. (Kotvy nemohly být použity, neboť byl přísný zákaz přesáhnout jakoukoliv konstrukcí pozemek investora.)

Zahrnutí tlaku podzemní vody si vyžádalo i změnu tloušťky stěny vestavěné konstrukce garáží z 25 na 40 cm. Toto rozšíření se uskutečnilo na rubu obvodové stěny garáží, tudíž došlo i k oslabení pažic konstrukce ze sloupů TI.



Půdorys konstrukcí speciálního zakládání bez mikropilotových bárek – pažici sloupy tryskové injektáže, mikrozáporová stěna, sloupy tryskové injektáže pro zvýšení únosnosti základů, rozpěrná konstrukce a trvalé zemní hřebíky



Příčný řez podzemní garáží, vedený objektem Foksal 13

Jako drobnost se pak jevila žádost investora o zvětšení plochy stříkaného betonu z původně navrženého rozsahu od základové spáry po kótu cca –6 m, na novou úroveň na kótě –1 m. Půdorysné rozměry stavební jámy podzemních garáží se rovněž mnohokrát měnily – docházelo k nim ještě i pět měsíců po požadované m termínu odevzdání projektové dokumentace.

### Zvýšení únosnosti stávajících základů

U rekonstruovaných činžovních domů Foksal 13 a 15 dochází ke kompletní výměně původních stropních nosníků na betonové a rovněž se zvyšuje počet podlaží. To má za následek nárůst zatížení. Současně dochází v celém půdorysu ponechaných křídel k prohloubení podlahy sklepů. Bylo proto nutné navrhnout



Prohloubení schodišťových stěn až na úroveň – 8,5 m s viditelným pažením sloupy TI



Vrtání trvalých zemních hřebíků v prostoru mikropilotových bárek





Provádění stříkaných betonů z úrovně -11,7 m (podél budoucích automobilových zakladačů)



Stavební práce postupují směrem k jedinému přístupu na stavenišť z ulice Smolna



Průchod rozpěrného rámu mikropilotovými bárkami

vhodné prvky speciálního zakládání, které tyto změněné podmínky zohlední. Pravděpodobně jedinou přijatelnou možností představovalo využití technologie **tryskové injektáže**. Pro tyto účely byly navrženy sloupky TI Ø 1000 mm v rozteči 1,2– 2 m. Prostor mezi sloupky byl posléze vyplněn stříkaným betonem.

Ve stávajících sklepích byla výška od podlahy po strop od 1,45 m do 2,1 m a hloubka založení nosných stěn pod stávající úroveň podlahy 5–15 cm. Výkopy ve sklepích se zvětšily v průměru o 1 m a v místech, kde byly vedeny inženýrské sítě až na 1,8 m. Větší rozsah výkopů měl vliv i na délky základových sloupů TI, jelikož sloupky byly více odkopány. Nakonec se délky sloupů TI pohybovaly od 3 do 8 m. Sloupky tryskové injektáže byly prováděny z 1. NP, které bylo částečně pod ochranou památkového ústavu. V původním návrhu demolice měly být veškeré nosné stěny v přízemí vybourány a na základě tohoto předpokladu byly určovány návržné body tryskové injektáže.

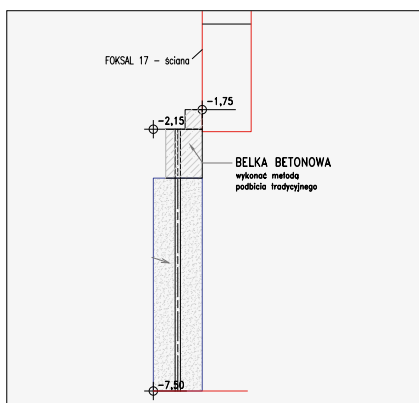
Po opětovných jednáních investora s památkovým ústavem došlo však ke změnám a část nosných stěn musela být zachována. Navíc byl přísný zákaz poškodit stávající schodiště, která byla obložena mramorem. Tyto dodatečné změny si vyžádaly podstatnou úpravu návržných bodů TI. Pro pohyb vrtné soupravy byly stropy ve sklepích podepřeny stojkami.

Sklepy sousedních objektů byly čerstvě rekonstruovány a jsou využívány jako luxusní restaurace (na západní straně – Foksal 17) a skladové prostory (na východní straně – Foksal 11). Vzhledem ke skutečnosti, že podlahy sousedních sklepů byly ve stejné úrovni a místy i hlouběji než sklepy rekonstruovaných budov, bylo nutné provést podél hranic s těmito objekty speciální opatření.

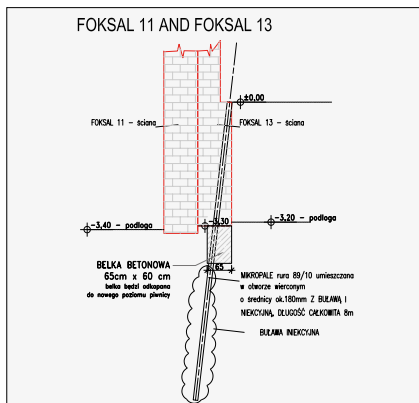
U objektu Foksal 11, jehož podlaha sklepa byla níže, došlo ke změně technologie a místo sloupů tryskové injektáže, které by při provádění jistě poškodily sousední sklepní prostory, byly pro podchycení navrženy základové mikropiloty v kombinaci s betonovým trámem. Ten se provedl po jednotlivých záběrech pod obvodovou stěnou a umožnil prohloubení výkopů ve sklepích. Na západní straně měla rekonstruovaná budova Foksal 15 a sousední budova Foksal 17 společnou nosnou zeď. Pro podchycení a prohloubení zde byly navrženy sloupky TI vyztužené trubkou 108/12 mm. Před jejich prováděním však byl zhotoven betonový trám výšky 1 m, který umožnil ukončit sloupky 90 cm pod podlahou sousedního objektu.

Stěny ve sklepích, které vedly pouze z přízemí a jejichž zatížení bylo tedy mnohem nižší než u nosných stěn, byly po záběrech šířky cca 1–1,2 m podbetonovány s patou podbetonování 20 cm pod maximálním výkopem pro úroveň podlahy.





Betonový trám na hranici se sousedním objektem Foksal 17, podlahy ve sklepích byly prohloubeny o cca 1 m.



Betonový trám na hranici se sousedním objektem Foksal 11, trám byl betonován po jednotlivých elementech.



Celkem bylo pro zajištění stavební jámy a zvýšení únosnosti základů provedeno 3400 m sloupů tryskové injektáže  $\varnothing$  1 m, z toho cca 2800 m sloupů s vyztužením trubkami 108/12 mm.

### Podchycení stávajícího zdiva na mikropilotových bářkách

Část půdorysu činžovních domů se nacházela nad nově budovanými podzemními garážemi, proto bylo nutné tyto části podchytit. V původním technickém řešení byly veškeré stěny podchyceny pomocí masivních sloupů tryskové injektáže, které měly být následně obetonovány. Toto řešení však bylo

prostorově velmi náročné a značně snižovalo reálnou využitelnost dotčené části podzemních garáží.

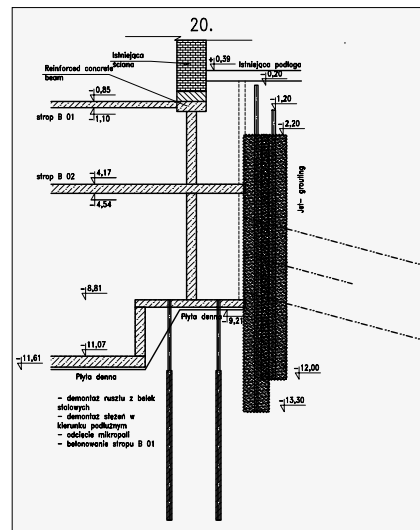
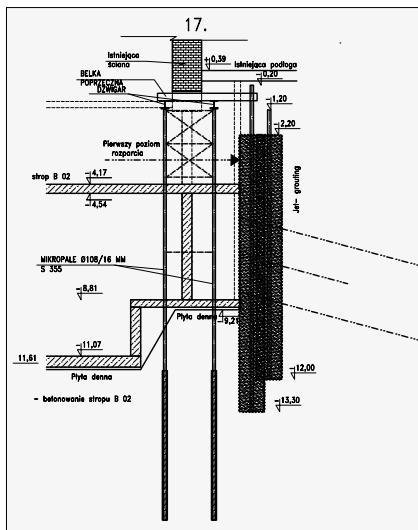
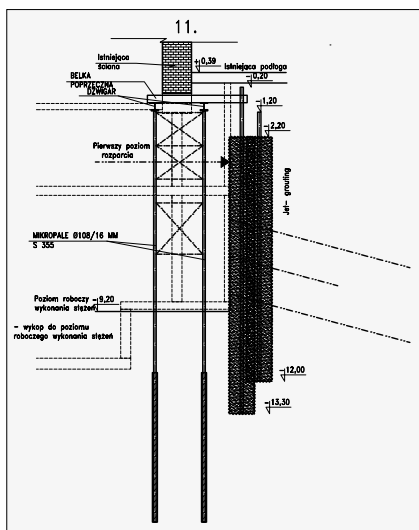
Proto bylo zvoleno jiné řešení. Nově zde byly pro podepření dotčených konstrukcí navrženy mikropilotové bářky. Nosný systém bářek byl tvořen svislými ocelovými mikropiloty z trubek 108/16 mm v kombinaci s nosným ocelovým roštem z nosníků HEB 200 až 300 mm. Mikropiloty byly mezi sebou zavětrovány, a to jak ve svislém, tak ve vodorovném směru.

V první fázi byly realizovány mikropiloty jednak ze stávajícího terénu dvora na jedné straně vynášené zdi, jednak ze strany suterénů

byly na mikropiloty osazeny podélníky, na ně příčníky a celý rošt byl důkladně svařen. Nakonec byly průvrty zdi zabetonovány, čímž došlo ke zkontaktování roštu a zdiva.

Třetí fázi představovalo zavětrování mikropilot v obou směrech.

Pro celý průběh realizace bářek byla zpracována schémata jednotlivých fází provádění, což platilo i pro zavětrování. Výškový krok výkopu, který mohl být proveden bez zavětrování, byl 1,5–2,0 m. Zavětrování bylo mnohdy nutné přizpůsobit na místě průchodu rozpěr l. rozpěrné úrovně stavební jámy garáží. Takto se postupovalo až na úroveň definitivního výkopu základové desky garáží.



Návrh postupu prací na mikropilotových bářkách, vyznačeny jsou i nově vznikající betonové stěny.



V poslední fázi po vybetonování základové desky byla zahájena betonáž nosné stěny novostavby, která se půdorysně nalézala pod stávající vynášenou zdí. Před zahájením betonáže stěny bylo nutné postupně začít vyřezávat zavětrování v příčném směru bárek. Tento postup byl rovněž v projektu předepsán pro jednotlivé fáze výstavby. Nakonec po vybetonování roznášecího trámu v koruně této zdi, který umožnil přenos zatížení ze stávající nosné cihelné zdi, byl demontován roznášecí rošt a mikropiloty byly uřezány v úrovni základové desky. Celkem bylo provedeno 40 mikropilot s celkovou délkou 760 m. Využití mikropilotových bárek pro účely podchyčení vynášených konstrukcí, které je běžně používáno v ČR, nebylo našim polským partnerům vůbec známo. Zakládání staveb, a. s., společně



Detail roznášecího roštu mikropilotových bárek v prostoru schodiště objektu Foksal 13; zejména v těchto místech byl prostor pro vrtání mikropilot extrémně stísněný.



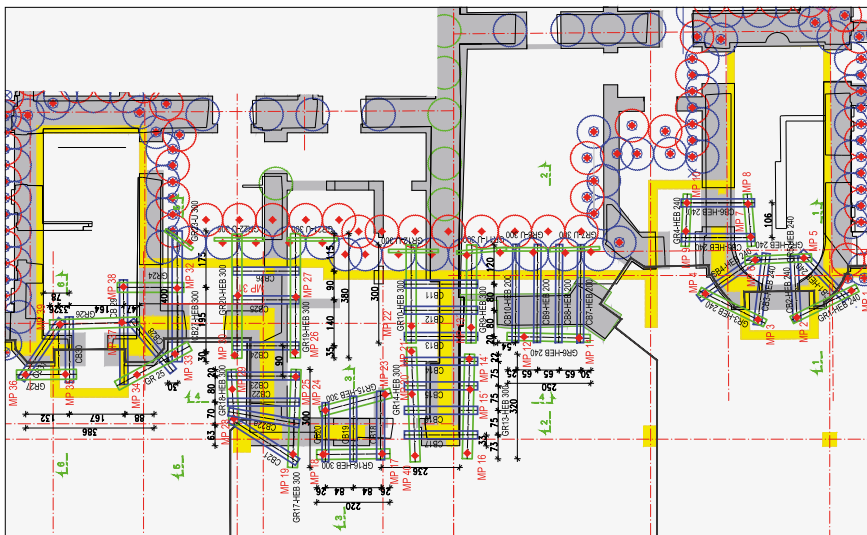
Mikropilotové bárky – v pravé horní části fotografie je patrná klenba nad původním vstupem do sklepních prostor



Zavětrování mikropilotových bárek za využití výztužných trubek v tryskové injektáži



Schodiště objektu Foksal 13 vynesené na mikropilotových bárkách



Půdorys mikropilotových bárek



s FG Consult, s. r. o., se tak tímto řešením zasloužily o obohacení portfolia metod polského oboru speciálního zakládání.

Projekt podzemních garáží na ulici Foksal 13 a 15 představoval z hlediska projektanta velice zajímavou práci. Jak již však bylo uvedeno výše, ztížena byla bohužel často se měnícími požadavky investora, resp. hlavního projektanta. Rovněž jazyková bariéra práce na projektu neusnadňovala; projekt byl vypracováván česky, anglicky, drobné změny se prováděly v polštině. Veškeré vznikající obtížné situace se nám však intenzivní komunikací s investorem a vedením stavby dařilo úspěšně řešit. Důkazem toho je dnes úspěšně dokončená vestavba podzemních garáží. Jen zasvěcení pak budou vědět, jaká opatření musela být učiněna, aby se tato poměrně složitá vestavba podařila uskutečnit dle přání a požadavků všech zúčastněných.

**Ing. Tomáš Ředina**, s příspěvím  
**Ing. Pavla Metelky**, FG Consult, s. r. o.

Foto: Libor Štěřba a Ing. Tomáš Ředina

Investor: Ghelamco Poland, spółka z o. o. sp. k.  
Projekt spodní stavby: FG Consult, s. r. o.  
Práce speciálního zakládání:  
Zakládání staveb, a. s., a Zakládání staveb,  
S. A., Oddział w Polsce



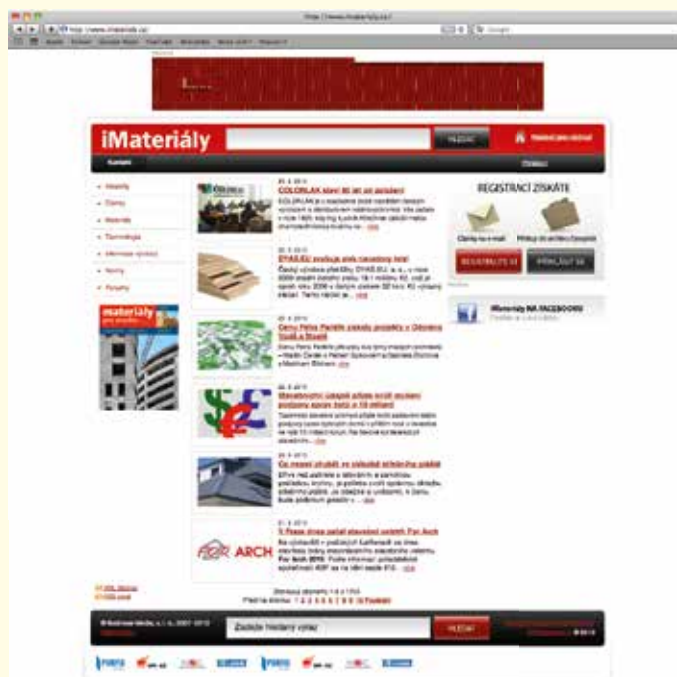
Vizualizace obytných domů Foksal 13 a 15 po celkové přestavbě

### Construction of underground garages in the monument-protected buildings of 13 and 15 Foksal Street in Warsaw

*The goal of the investor is to convert monument-protected buildings to the present-day dilapidated houses on Foksal Street 13 and 15 to modern rental houses with the current user standard while respecting their historical value. The condition of the construction of underground garages under the part of the buildings was part of the investment project. This condition was met by the design and implementation of many methods of special foundation. For the construction of underground garages, it was necessary to ensure, in particular, the casing of the entire perimeter of the building pit of the future underground garages, the increase of the carrying capacity of the foundation structures and the underpinning of the existing masonry on the micropiles. The latter type of construction was realized in Poland for the first time.*

# iMateriály

**Internetový portál pro odbornou stavební veřejnost. Přináší aktuální informace z oboru stavebnictví, novinky v oblasti stavebních materiálů a výrobků a odborné články renomovaných autorů.**



[www.imaterialy.cz](http://www.imaterialy.cz)





Střední úsek pravobřežní hráze pro HE Brežice s jadernou elektrárnou Krško v pozadí, práce na těsnicí podzemní stěně.

## TĚSNĚNÍ PODLOŽÍ PRAVOBŘEŽNÍ HRÁZE PŘI VÝSTAVBĚ PŘEHRADNÍ NÁDRŽE PRO VODNÍ ELEKTRÁRNU HE BREŽICE VE SLOVINSKU

Vodní elektrárna HE (hidroelektrarna) Brežice je další z kaskády vodních elektráren na řece Sávě na slovinském území. Předchozí vodní elektrárny proti proudu řeky jsou již v provozu. Celkový komplex projektů je nazýván „Hidroelektrarne na spodnji Savi“ a skládá se z kaskády vodních elektráren HE Boštanj, HE Arto-Blanca, HE Krško a HE Brežice a HE Mokrice (v přípravě). Vodní stupně položené nad HE Brežice se nacházejí v relativně velmi sevřených údolích, vlastní HE Brežice však leží již v široké údolní nivě řeky Sávy s hustým osídlením. Pro vytvoření potřebného vzduť v otevřené nivě bylo tedy třeba podél řeky výrazně zvýšit břehy pomocí sypaných zemních hrází s vnitřním těsněním. Další funkce zemních hrází je protipovodňová. Zatěsnění podloží pravobřežního břehu v délce přes 7 km před budováním zemních hrází zajišťovala společnost Zakládání staveb, a. s., pomocí těsnicích podzemních clon prováděných několika technologiemi: těsnicí podzemní jílocementovou stěnou, tenkou těsnicí podzemní stěnou a usměrněnou tryskovou injektáží. Objemem provedených prací se jednalo o jednu z největších zakázek společnosti Zakládání staveb, a. s., v regionu země bývalé Jugoslávie.

### Příprava stavby – obchodní a projektová činnost

Na počátku roku 2015 byla společnost Zakládání staveb, a. s., oslovena hlavním dodavatelem stavby firmou NIVO-EKO, d. o. o., s žádostí o vypracování nabídky na zatěsnění pravého břehu tohoto projektu. Nabídka měla být vyhotovena na podkladě zadávací dokumentace. Ta byla rozpracována i technologií s hlavním prvkem těsnění sloupy tryskové injektáže Ø 800 mm s roztečí 600 mm, pouze v menší části byla navržena technologie tenké těsnicí podzemní stěny. Těsnění se mělo provést v úseku délky 7297 metrů od přehradní konstrukce proti proudu řeky.

Geologicky se jedná o velmi členité území. Hloubka navržených těsnicích konstrukcí se pohybovala od 5,8 do 22,2 m s celkovou plochou 85 508 m<sup>2</sup>. Již při zpracování nabídky v Zakládání staveb, a. s., bylo zřejmé, že v požadovaném časovém období výstavby (převážná většina prací měla být provedena do šesti měsíců) a v dané geologii by bylo velmi náročné předepsanými technologiemi stavbu vůbec provést. Nemluvě o tom, že v úsecích, kde hloubky těsnění přesahují 15 m, by technologie tryskové injektáže nebyla vhodná vůbec. Proto byl po dohodě s objednatelem předložen investorovi současně s nabídkou

i vlastní technický návrh Zakládání staveb, a. s., jak těsnění břehu řeky provést jinými technologiemi efektivněji. Ze série dalších jednání s investorem a hlavním projektantem stavby vyplynulo, že v převážné části úseku je jedinou závaznou podmínkou provedení těsnicí konstrukce s koeficientem filtrace  $1 \cdot 10^{-7}$  a menší.

### Návrh technologií těsnicí clony

Návrh Zakládání staveb, a. s., obsahoval kombinaci čtyř různých způsobů provedení požadovaného těsnění v závislosti na předpokládaných hloubkách těsnicí clony a geologických profílech:



Provádění těsnicí podzemní jílocementové stěny na středním úseku pravobřežní hráze



Těžba těsnicí podzemní jílocementové stěny pro vytvoření těsnění spodní části hráze

**1. Technologii usměrněné tryskové injektáže M2** s dosahem paprsku až jeden metr od osy s osovou roztečí 1,5 m. Jednalo se o upravené původní technické řešení, a to v úsecích, kde měly hloubky těsnění dosahovat 8–12 m.

**2. Technologii tenké těsnicí podzemní stěny** – řešeno v konkrétním případě vibrovaným HEA profilem č. 800 s následným vyplněním prostoru samotvrdnoucí suspenzí pod vytažovaným prvkem. Tloušťka tenké těsnicí podzemní stěny byla navržena 100 mm. Touto technologií jsme jako jedinou neměnili zadání a byla použita v úsecích, kde hloubka těsnění převážně nepřesahovala 10 metrů.

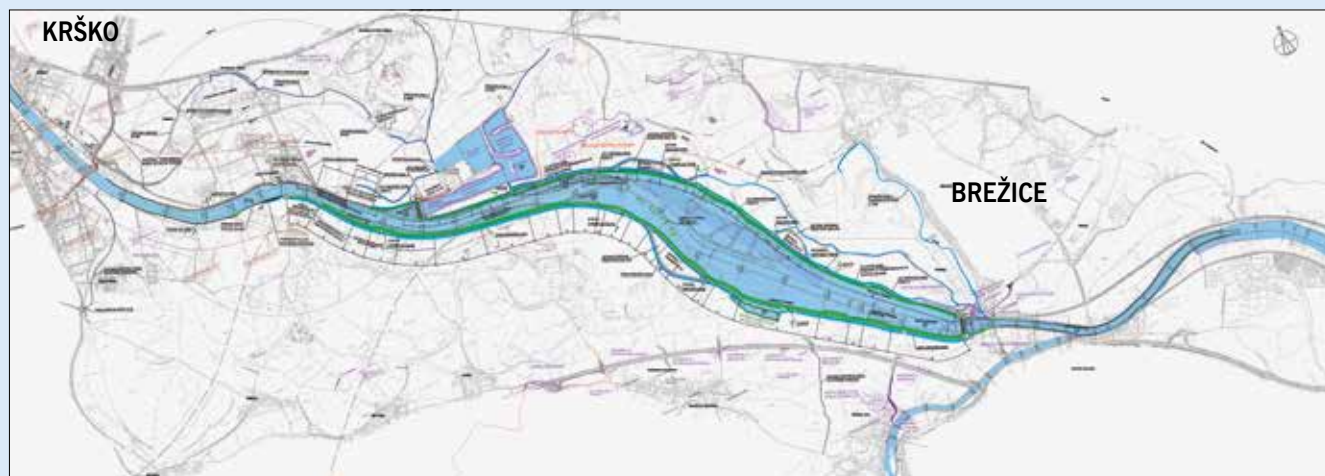
**3. Technologii těsnicí podzemní stěny** – dráčkem vytěžené rýhy pod ochranou samotvrdnoucí jílocementové suspenze o tloušťce 500 mm. Tato technologie byla navržena pro

použití zejména v oblasti tzv. synklinály, kde v hloubkách maximálně dosažitelných jinými technologiemi nebylo zastiženo geologicky dostatečně nepropustné podloží. Hloubka těsnicí clony zde byla navržena až na 23 m, přičemž požadovaná nepropustnost byla dosažena jen prodloužením dráhy průsaku vody. Těsnicí podzemní stěna zde byla navržena jako nová technologie.

**4. Technologii Soil Mixing Wall;** ta byla navržena tam, kde předepsaná hloubka stěny byla

v rozmezí 10–15 m. Principem technologie SMW je hloubkové zlepšování zeminy, kdy je do zeminy vmíchána samotvrdnoucí směs pomocí tří rotujících spirálů ve svislé ose.

Po další řadě jednání byl tento návrh s kombinovaným prováděním přijat jak objednatel a investorem, tak i generálním projektantem stavby. Důležitou podmínkou schválení všech technologií bylo provedení zkušebních polí, které měly prokázat jejich skutečnou účinnost.



Budovaná přehradní nádrž pro vodní elektrárnu HE Brežice mezi městy Krško a Brežice, délka pravobřežního těsněného úseku je 7297 m.





Těžba těsnicí podzemní jílocementové stěny za pomoci vodící šablony



Detail I-profilu s injektáží při provádění tenké těsnicí podzemní stěny



Realizace tenké těsnicí podzemní stěny



### Zkušební pole

Po uzavření smlouvy o dílo byly pro každou technologii vypracovány technologické postupy a po jejich schválení se v listopadu 2015 přistoupilo k provedení zkušebních polí. Ta měla pro každou technologii jiný tvar. Již v průběhu realizace zkušebních polí začalo být zřejmé, že geologické poměry jsou ještě složitější a členitější, než avizovalo zadání. V některých úsecích se často v oblastech hrubých štěrkopísků vyskytovaly balvany o velikosti 30 cm a více. Tato skutečnost způsobovala poměrně velké komplikace zejména při provádění technologie tryskové injektáže a Soil mixing wall (SMW). Zkušební pole technologie SMW nebylo dokonce možné v daném úseku vůbec dokončit a za asistence odborníků z firmy Bauer byla tato technologie prohlášena v dané geologii za nerealizovatelnou. Taktéž zkoušky na zkušebním poli tryskové injektáže ukázaly ne zcela dokonale nepropustnost vytvořené clony. Jelikož však objednatel na použití této technologie trval, bylo zhotoveno další zkušební pole, avšak v jiném úseku trasy. Zde byly získané výsledky lepší a tato technologie tak byla pro

užití na stavbě podmíněčně povolena. Zkoušky na nepropustnost, resp. koeficient filtrace, na zkušebních polích technologie tenké těsnicí stěny a těsnicí podzemní stěny vyšly dle očekávání dobře a prokázaly tak funkčnost navržených metod.

### Realizace prací

Po vyhodnocení zkušebních polí byly vypracovány technologické postupy pro vlastní provádění. Před zahájením prací uskutečnila nezávislá geologická firma doplňkový geologický průzkum s četností sond po 50 metrech. Výsledky představovaly jakousi pomůcku pro predikci propustnosti a nepropustnosti podloží, případně jiných anomálií při provádění prací na instalaci clony. Na základě vyhodnocení zkušebních polí byly tedy k realizaci použity v zásadě tři dále popsané technologie provádění.

### Těsnicí podzemní jílocementová stěna

Tato technologie byla použita primárně v úsecích, kde bylo třeba vytvořit těsnicí stěnu v hloubkách 12 a více metrů. Postupně byly do realizace nasazeny tři soupravy

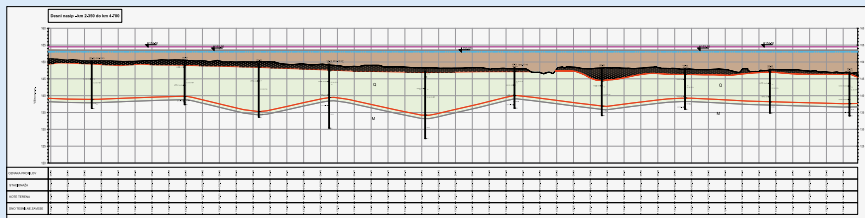
nosičů Liebherr (LBH 855, LBH 845 a LBH 843) s lanovými drapáky Stein tloušťky 50 cm. Použitá samotvrdnoucí suspenze se vyráběla jako jílocementová směs s objemovou hmotností 1,25 kg/dm<sup>3</sup> v automatizovaných výrobnách Tecniwell. Práce byly prováděny většinou v nepřetržitém provozu, tedy i v nočních směnách. V období 1/2016–6/2016 tak bylo celkově provedeno 57 300 m<sup>2</sup> této konstrukce a v období od 10/2016–11/2016 zbývajících 4445 m<sup>2</sup> stěny (v úseku 250 metrů od přehradní hráze). Tato podzemní stěna byla zavázána na počátku do konstrukce přehradní hráze a na konci úseku na stávající železobetonovou stěnu ochrany jaderné elektrárny Krško technologií sloupů tryskové injektáže. Provádění prací bylo celkově náročné s ohledem na mimořádné nasazení techniky. Bylo nutné zvládat i logisticky zcela extrémní zásobování materiálem, zejména cementem. Nezřídko se stávalo, že na stavbu bylo třeba dopravovat a do sil uložit i 200 tun cementu denně. Dalším problémem při provádění byl i výskyt slepencových, velmi tvrdých proplástek v oblasti štěrkopísku. Pokud byly



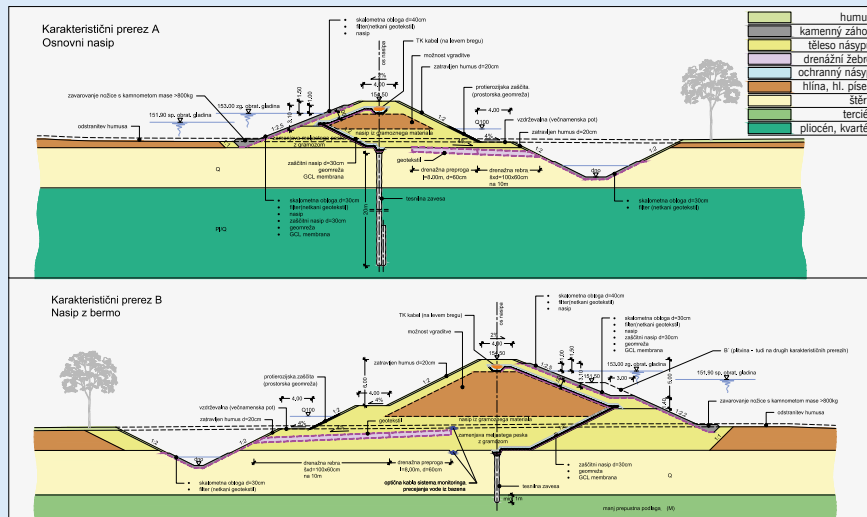
Pohled na dokončenou korunu těsnicí clony části pravobřežní hráze



Přehrada HE Brežice s výtoky během výstavby



Příklad podélného řezu těsnicí clonou a těsněním hráze v km 2,35–4,7



Příklady charakteristických řezů těsněním hráze

zastiženy v menších hloubkách do 17 m, bylo nutno je vytěžít. Se všemi problémy si však tým pracovníků Zakládání staveb, a. s., nakonec poradil a práce na takto prováděné jílocementové stěně byly dokončeny k plné spokojenosti objednatele i investora. Při následných kontrolách nevykázala podzemní stěna žádné anomálie a ve všech kontrolovaných případech byla prokázána její požadovaná vodonepropustnost.

Dodavatel obdobných prací na levém břehu, chorvatská firma Viadukt, d. o. o., zpočátku začala svoji činnost navrženou technologií sloupů tryskové injektáže nasazením až devíti souprav různých subdodavatelů, nicméně zkoušky na jejich konstrukcích vykazovaly časté anomálie, a tak tato těsnicí clona na levém břehu byla nakonec v převážné míře prováděna rovněž technologií těsnicí podzemní stěny s nově nasmlouvanými italskými partnery (bylo zde postupně nasazeno až pět souprav).

### Tenká těsnicí podzemní stěna

Tenká těsnicí podzemní stěna se provádí vzháněním velkého I-profilu s navařenými ocelovými injekčními trubkami technologií vibrování. Po dosažení požadované hloubky se prvek předepsanou rychlostí povytahuje a zároveň se vzniklý prostor plní přes injekční trubky střednětlakovou injektáží požadovanou těsnicí hmotou. Tato technologie byla použita zejména v úsecích, kde předepsaná hloubka těsnění nebyla větší než 11 m. Použita byla souprava skládající se z nosiče Liebherr LBH 953, na jehož lafetě bylo upevněno vibroberanidlo ICE 815. Vháněním prvkem byl profil HEA č. 800, směs se míchala v automatizované výrobě Tecniwell a injektáž byla prováděna čerpadlem 4 NETZSCH 80 požadovaným tlakem 2,4 MPa. Práce byly prováděny většinou nepřetržitě, tedy i v nočních směnách. Celkově bylo v období od 1/2016–6/2016 provedeno 23 167 m<sup>2</sup> této těsnicí stěny.

Na takto provedené stěně byly následně provedeny kontrolní zkoušky nezávislou firmou Gecko. Z více než 90 % byly zkoušky na propustnost konstrukce vyhovující. Účinnost prací provedených technologií tenké těsnicí clony společností Zakládání staveb, a. s., tak byla mnohem větší než u firmy provádějící podobnou činnost na levém břehu budoucí přehrady. Tam, kde zkoušky ukazovaly na nedostatky, byla následně provedena sanace tryskovou injektáží a zkoušky se opakovaly. V závěrečné zprávě byla prohlášena tenká těsnicí podzemní stěna na pravém břehu za plně vyhovující.

### Usměrněná trysková injektáž

Tato technologie byla použita jednak na dotěsnění jednotlivých konstrukcí mezi sebou, navázání konstrukcí na stávající a podmíněčně také jako jak konstrukční. Celkem bylo na stavbě touto technologií provedeno 2400 m<sup>2</sup>.

Pro realizaci všech zkušebních polí a systémové těsnicí clony, včetně opravných a napojovacích prvků, byla použita dvoufázová vzduchová metoda tryskové injektáže TI M2. Použitím této metody se Zakládání staveb, a. s., odlišilo od konkurenčních stavebních společností, které použily metodu jednofázovou, s níž v takto obtížné geologii (především výskyt balvanů = odclonění injekčního paprsku = netěsnost) nedosahovaly požadované kvality injekčních prací. Celkem byla touto metodou realizována tři zkušební pole, na kterých byly postupně upraveny provozní parametry tak, aby výsledná těsnicí clona splňovala především požadavek na její nepropustnost (součinitel filtrace  $k = \max. 1 \cdot 10^{-7}$  m/s). Těsnicí clona byla sestavována z jednotlivých vzájemně se překrývajících lamel TI, opravné a napojovací prvky tvořily sloupy o průměru 1 m a 1,2 m. Pro práce byla použita vrtná souprava Hausherr HBM 15 a vysokotlaké čerpadlo Tecniwell TW 600/HP, kompresor Atlas Copco AAHS 236 Md a automatické míchací centrum Tecniwell TWM 30. Pro všechny realizované prvky TI M2 byla použita jílocementová injekční směs o objemové



hmotnosti  $\gamma = 1,36 \text{ kg/dm}^3$ . Vrtý o průměru 145 mm byly hloubeny na jílocementový výplach (stejně složení směsi jako pro následnou TI M2). Na vodní výplach bylo vrtání v dané geologii nerealizovatelné. Vrtý, jejichž délka byla přes 10 m, byly pro vrtňou soupravu HBM 120 na hranici jejich možností.

### Závěr

Stavba byla i pro společnost Zakládání staveb, a. s., zcela výjimečná, a to především požadavkem na realizaci velkého objemu konstrukcí v krátkém čase. Práce byly nakonec provedeny a dokončeny k plné spokojenosti investora.

Na realizaci stavby se podíleli jednak pracovníci Zakládání staveb, a. s., jednak zaměstnanci organizační složky Zakládání staveb, a. s., v Zagrebu. Dobrou organizací práce a nasazením všech pracovníků tak společnost Zakládání staveb, a. s., prokázala konkurenceschopnost i na náročném zahraničním trhu.

Název stavby: Gradnja akumulacijskega bazena HE Brežice/Výstavba přehradní nádrže HE Brežice – těsnění podloží pravobřežní hráze

Místo stavby: Údolí řeky Sávy mezi městy Brežice a Krško, Slovinsko  
Investor: Infra, d. o. o.  
Hlavní dodavatel prací: Riko, d. o. o.  
Hlavní dodavatel prací na pravém břehu: NIVO-EKO, d. o. o.

Dodavatel speciálních geotechnických prací pravého břehu: Zakládání staveb, a. s.  
Doba realizace prací spec. zakládání: 11/2015–11/2016

**Ing. Oto Petrášek, Zakládání staveb, a. s.**  
Foto: Libor Štěřba, František Musílek

### Sealing of the subsoil of the right-bank dam during construction of the dam reservoir for the HE Brežice hydroelectric power plant in Slovenia

*The hydroelectric power plant (HE) Brežice is another of the cascade of hydroelectric power plants on the river Sava in Slovenian territory. Previous water power plants upstream are already in operation. The overall complex of projects is called "Hidroelektrarne na spodnji Savi" and consists of the cascade of HE Boštanj, HE Arto-Blanca, HE Krško, HE Brežice and HE Mokrice (in preparation). The water steps above HE Brežice are located in relatively narrow valleys, but own HE Brežice lies in the wide valley of the Sava river with a dense settlement. In order to create the necessary water level increase in the open vale, it was therefore necessary to increase the shores along the river significantly with the aid of earth dikes with internal seals. The other function of earth dikes is flood protection. The sealing of the subsoil of the right bank of the river over 7 km before the construction of the earth dikes was carried out by the company Zakládání staveb, a.s. using cut-off screen carried out by several technologies: an cut-off diaphragm wall, a thin cut-off wall and a streamlined jet grouting. The volume of the work carried out was one of the largest orders of the company Zakládání staveb, a. s., in the region of the former Yugoslavia.*

## VÝSTAVBA HYDROELEKTRÁRNY BREŽICE VE SLOVINSKU MECHANICKY ZLEPŠENÉ ZEMINY: ZKUŠEBNÍ METODY, JEJICH VALIDITA A SPOLEHLIVOST

*Výstavba Hydroelektrárny Brežice ve Slovinsku si vyžádala značný rozsah průzkumných prací a ověřovacích zkoušek již dlouho před tím, než mohl být vypracován prováděcí projekt pro jednotlivé stavební objekty. Jednou z problematik, které se u nás díky poloze České republiky v tektonicky stabilní oblasti málokdy věnuje větší pozornost, je odolnost staveb vůči zemětřesení. Jelikož Slovinsko patří k tektonicky mladé oblasti, kde hrozí zemětřesení o vysoké intenzitě, byla velká pozornost věnována nejen odolnosti vlastní stavby HE vůči zemětřesení, ale i odolnosti podložních zemín vůči likvefakci (ztekucení) způsobené zemětřesnými vlnami. O průzkumu možnosti redukce likvefakčního potenciálu zvodnělých prachovitých písků, které se v hojné míře na staveništi HE Brežice vyskytují, referovala na konferenci Zakládání staveb Brno 2016 ve vyzvané přednášce Dr. Ana Petkovšek z Univerzity Ljubljana. Stručný výťah z přednášky s jejím laskavým svolením přinášíme v tomto článku.*

**P**říspěvek referuje o průzkumu skutečně-ném na lokalitě vodní elektrárny Brežice ve Slovinsku, kde vlastnosti zemín svrchní vrstvy základové půdy indikují náchylnost k likvefakci. Hlavním cílem několika zkoušených technologií zlepšení podloží bylo zvýšit odolnost zemín proti likvefakci a zajistit požadovanou propustnost násypového materiálu, který bude použit do 14 km dlouhých hrází podél elektrárenské nádrže.

Možnost in-situ zlepšování mechanických vlastností prachovitých písků ke snížení jejich likvefakčního potenciálu se zkoušela třemi různými technologiemi: zhutňováním vibračním válcem, rychlým rázovým zhutňováním (Rapid Impact Compaction, RIC) a vytvořením směsné zeminy z místních zemín. Vlastnosti zemín na jednotlivých zkušebních polích se zkoušely před zlepšováním a po zlepšování pomocí laboratorních a polních zkoušek. Korelace výsledků získaných různými

zkušebními metodami nedávala uspokojivé odpovědi na míru zlepšení. Příspěvek se zaměřil na validitu a citlivost laboratorních a polních zkoušek použitých k vyhodnocení účinnosti mechanického zlepšování prachovitopísčitých zemín.

### Popis staveniště

Nádrž HE Brežice vyžaduje výstavbu cca 7 km dlouhých a až 10 m vysokých hrází na obou stranách řeky Sávy. Svrchní vrstvu základové půdy tvoří neulehlý prachovitý písek, který má sklony k likvefakci.

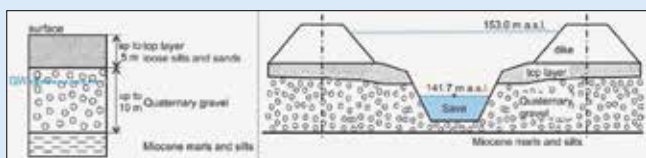
HE Brežice leží v inudačním území blízké jaderné elektrárny Krško (NPP Krško). Celé území tektonicky náleží k jednotce známé jako Kršská pánev, která je považována za potenciálně tektonicky aktivní geologickou strukturu. Podrobně zdokumentované zemětřesení s magnitudou 5,7 a intenzitou VIII podle EMS zde proběhlo v lednu 1917. Takzvané Záhřebské zemětřesení v roce

1880 způsobilo ztekucení zemín podél říčních břehů mezi Brežicí a Záhřebem.

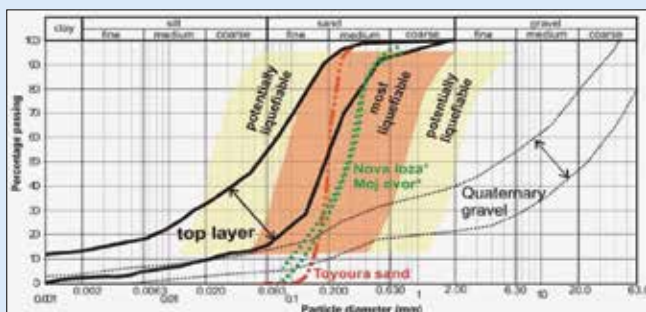
Geologický profil je v celé oblasti HE téměř jednotný. Svrchní vrstva o mocnosti až 5 m sestává z recentních povodňových kyprých písčitých siltů a prachovitých písků (ML, SM, SP). Podloží vrstvou tvoří čtvrtohorní písčité až prachovitopísčité hrubý štěrk.

Hladina podzemní vody souvisí s hladinou vody v řece Sávě; většinu roku leží 1–6 m pod povrchem terénu. Během záplav může hladina vody vystoupit až 2 m nad terén a může zůstat takto vysoko řadu dní.

Po spuštění HE Brežice do provozu budou stávající povrch a prachovitopísčité vrstvy v oblasti mezi hrázemi na obou březích řeky trvale zvodnělé. K trvalému zvýšení hladiny podzemní vody dojde podle modelování též vně vzdušných stran hrází v přehradou ovlivněné oblasti od Brežice ke Kršku.



Schematický geologický profil a příčný profil údolím po výstavbě HE Brežice



Vztah mezi zrnitostí a potenciálem ke ztekucení



Umístění zkušebních polí

Výsledky laboratorních zkoušek potvrzují, že svrchní vrstva zemín je náchylná k likvefakci. Podle laboratorních zkoušek by zhutněné vrstvy zemín velmi pravděpodobně odolávaly 475letému zemětřesení, ale velmi pravděpodobně by došlo k jejich ztekucení při zemětřesení silnějším. Zrnitostní složení, SPT zkoušky, zkoušky seizmické refrakce a smykové zkoušky zemín na lokalitě indikují stejný rozsah jejich likvefakčního potenciálu a výsledky lze považovat za platné a spolehlivé. Výsledky zkoušek potvrzují i historické údaje ze Záhřebského zemětřesení z r. 1880.

Závěry založené na všech zkouškách jsou též jasné: svrchní vrstva reprezentuje velmi nepříznivou základovou půdu a musí se zlepšit nebo musí být odstraněna z oblastí hrází.

Bylo navrženo několik možností, jak zlepšit odolnost základové půdy proti ztekucení, například: – Odstranění kypřého materiálu svrchní vrstvy a jeho nahrazení zhutněným šterkovitým materiálem. Tato metoda byla shledána nejslibnější a nejspolehlivější, jelikož se na lokalitě nachází velké množství kvalitního šterkovitého materiálu. Nicméně protože se musí nahradit velké množství svrchní zeminy (délka přibližně 14 km, mocnost do 5 m, šířka místy překračuje 50 m), bylo rozhodnuto prozkoumat i ostatní varianty.

– Varianta 1 (ES 1): Zhutňování vibračním válcem. Hlavní pozornost se věnovala:

- a) zda lze dosáhnout hodnoty zhutnění 95 % dle Proctora,
- b) jaká je efektivní hloubka zhutnění válcem,

zkoušky na dvou zkušebních místech, na kterých byly zároveň realizovány komplexní průzkumné práce před zhutněním a po zhutnění.

– Varianta 3 (ES 3): Vytvoření směsné zeminy in-situ pro zvýšení odporu proti ztekucení, dosažení nízké propustnosti a zlepšení zhutnitelnosti. Myšlenkou bylo odtěžit svrchní vrstvu a promíchat ji s podložním kvartérním šterkem v poměru, při kterém by směsná zemina splnila tři kritéria:

- a) odpor proti likvefakci;
- b) projektovanou propustnost, která by eliminovala potřebu dodatečného těsnění hrází;
- c) zlepšit hutnitelnost zemín a redukovat vliv sezónních změn obsahu vody na pevnost zeminy. Zkoušky proběhly v dubnu a květnu 2014 a ke zhutnění směsných zemín byl použit válec s integrovaným průběžným měřením stupně zhutnění Roler Integrated Continuous Compaction Control (CCC). Jelikož polní pokusy ukazovaly slibné výsledky, byla tímto způsobem zhotovena 1,2 km dlouhá dočasná ochranná hráz pro ochranu hluboké stavební jámy budovy elektrárny proti povodním. Zároveň při její výstavbě byla získána další data o homogenitě, propustnosti a odolnosti směsných zemín proti likvefakci.

#### Výsledky z experimentálních stavenišť (ES)

##### Experimentální staveniště ES 1: Zkušební pole zhutňování válcem

###### Popis staveniště

Mocnost svrchní vrstvy dosahovala 4 m.

Během zhutňování se studovaly různé módy

c) jaký je potenciální škodlivý vliv obsahu uhelných částic a kořenů v této vrstvě na chování zemín při zhutňování.

Účinnost zhutňování základové půdy se zkoušela různými zkušebními metodami na až 2,5 m vysokém zkušebním násypu na čtyřech zkušebních polích. Zjišťovala se účinnost hutnění násypu nad měkkým podlozím, horizontální a vertikální posuny, vnitřní eroze a analyzovala se citlivost různých zkušebních metod. Zkoušky proběhly v září a říjnu 2009.

– Varianta 2 (ES 2): Rychlé rázové zhutňování (RIC). Nevýhodou mělkého dosahu zhutňování vibračním válcem měla vyloučit metoda RIC. V únoru 2011 byly provedeny

práce válce, tloušťky vrstev, vysoušení a vlhčení zhutňovaných vrstev.

Účinnost zhutňování válcem se měřila řadou různých zkušebních metod ke změření obsahu vody, hustoty a pevnosti zemín. Několik plánovaných zkoušek nebylo možné uskutečnit, protože zkušební pole krátce po zhotovení zničily povodně.

#### Výsledky a diskuse

Hutnění základové půdy válcem bylo ověřeno jako neúčinné vlivem měkkých vrstev v podloží, přítomnosti uhelných částic a kořenů. Účinnost zhutnění úzce souvisela s umístěním hutněné vrstvy nad úrovní terénu, protože vliv měkkého podloží klesal s výškou násypu.

#### Závěry z ES 1:

Použitím zhutňování válcem nelze zlepšit svrchní vrstvu zeminy tak, aby se zredukoval její likvefakční potenciál.

#### Experimentální staveniště ES 2: Zkušební pole RIC

Zkušební pole na HE Brežice představovalo první použití technologie rychlého rázového zhutňování RIC ve Slovinsku.

##### Popis zkušebního pole RIC

Hrubé rozměry každého zkušebního pole byly 18x25 m. Mocnost svrchní vrstvy byla 3,8–4,0 m. Hladina podzemní vody byla zakleslá v kvartérním šterkovém podloží.

Každé zkušební pole bylo rozděleno na sekce, aby bylo možné studovat různé módy zhutňování na účinnost zhutňování. Hustota rastru zhutňovacích bodů vzrůstala a zhutňování se provádělo v jednom, dvou nebo třech pružích.

#### Výsledky a diskuse

Účinnost zhutnění se zjišťovala použitím různých polních zkušebních metod. Jejich výsledky prokázaly účinnost této technologie a byly ověřeny zlepšené parametry zemín podle očekávání, ovšem výsledky různých zkoušek ukazovaly odlišnou míru zlepšení zemín, což vedlo k diskuzi, zda preferovat zkoušky dávající lepší výsledky nebo zkoušky, které dávají výsledky konzervativnější.

#### Závěry z ES 2:

Analýza výsledků zkoušek potvrdila, že technologie RIC je účinným nástrojem pro zlepšování geotechnických vlastností prochovitých a písčitých zemín.

Nicméně rozhodnutí o použití technologie RIC ke snížení likvefakčního potenciálu musí vycházet z výsledků testů, které jsou konzistentní a potvrzené bez jakýchkoliv pochybností o účinnosti zlepšení. Rozptýlení získaných výsledků vyvolalo oprávněně vážné otázky o validitě, citlivosti a spolehlivosti zkušebních metod použitých k potvrzení účinnosti RIC stejně jako o homogenitě zlepšení. Některé zkoušky dokonce nezjistily vůbec žádné zlepšení seizmické citlivosti zemín po jejich zhutnění.

S ohledem na nedostatek předchozích zkušeností s technologií RIC ve Slovinsku a nekonzistentnosti výsledků zkoušek nebyla technologie RIC uznána jako nadějná metoda snížení likvefakčního potenciálu.





Letecký pohled na stavební jámu HE chráněnou dočasnou hrází ze směsné zeminy

### Experimentální staveniště ES3:

#### Směsné zeminy (Soil mixing)

Myšlenka použití mísení zemin k vytvoření vhodné směsné zeminy z místních materiálů vyvstala spojením tří požadavků:

- zredukovat likvefakční potenciál písčitoprachovitých zemin,
- zajistit dostatečně nízkou propustnost a vyloučit dodatečné těsnění hrází,
- zlepšit zhutnitelnost směsné zeminy.

#### Popis zkušební pole soil mixing

Zkušební pole pro ověření vlastností zhutněné směsné zeminy bylo umístěno v místě budoucího pravobřežního zavazání hráže na jezové pole poblíž stavební jámy HE.

Na základě příznivých výsledků z polních zkoušek na zkušebním poli ES3 byla navržena přibližně 1,2 km dlouhá dočasná ochranná hráž zajišťující až 70 m hluboký výkop, která zároveň poskytla dodatečná data nezbytná k rozhodnutí, zda se podobným způsobem provedou i 14 km dlouhé hráže nádrže.

#### Požadavky na směs zemin

Před začátkem zkoušek směsných zemin připravil projektant základní přetvárné a hydraulické požadavky na zeminovou směs s ohledem na zlepšení její zhutnitelnosti, relativní hustoty a propustnosti.

#### Laboratorní návrh směsi zemin

Směs byla navržena podle semiempirické rovnice autorů Kozeny – Carman. Tato rovnice vyjadřuje závislost hydraulické vodivosti na specifické ploše povrchu, porozitě a zakřivení pórů.

#### Laboratorní zkoušky

Hydraulická vodivost písků se měřila v triaxiálním přístroji a v propustoměrech s proměnlivou výškou hladiny, zatímco šterk a směsi se zkoušely ve velkoobjemovém propustoměru s konstantní výškou hladiny.

#### Polní zkoušky

Zkušební pole cca 50x10 m bylo rozděleno do několika částí. Každé zkušební pole bylo zhotoveno z dvou 55 cm mocných vrstev směsi zemin. Homogenita zhutnění a dosažená hustota a pevnost se zjišťovala ve válci integrovaným systémem CCC, protonovým měřičem a zkouškami statickou a dynamickou zatěžovací deskou. Propustnost se stanovovala na infiltrometru. Všechny

zkoušky dávaly slibné výsledky. Zkoušky na zkušebním poli ověřily správnost navržené směsi a způsobu hutnění, aby bylo možné na jejich základě zhotovit dočasnou hráž.

#### Zkoušky při stavbě dočasných hrází

Během výstavby dočasných hrází se provedl komplexní program kontrolních zkoušek obsahující zni-  
toštní rozbor, obsah

vody, zkoušky v infiltrometru a bodové zkoušky zhutnění protonovým měřičem. Pro kontrolu zhutnění válcem a homogenity se použil systém měření CCC. Výsledky všech zkoušek hydraulické vodivosti byly v rozsahu požadavků projektu. Průměrná dosažená hodnota zhutnění byla 98 % modifikované Proctor maximální suché hustoty.

#### Kontrola dočasných hrází po výstavbě

Dva roky po výstavbě byly z koruny hráže provedeny kontrolní zkoušky. Ve třech vrtech se provedly polní zkoušky propustnosti s proměnlivou výškou hladiny, a to v různých hloubkách. Dvě zkoušky se provedly v hrázi a jedna v podloží. Čtyři zkoušky v hrázi splnily návrhové parametry (1 . 10–6 m/s) a dvě zkoušky indikovaly propustnost vyšší, než byla požadovaná. Laboratorní zkoušky propustnosti v infiltrometru pak ukazovaly o řád nižší hodnoty než polní zkoušky ve vrtech.

Dosažené hodnoty zhutnění ukázaly, že směs má vlastnosti šterku. Došlo k redukce likvefakčního potenciálu, pouze několik míst vykazalo i po provedení zhutňování náhynlost k likvefakci.

#### Závěry z Experimentálního staveniště 3

Rovnice Kozeny – Carman byla shledána účinným nástrojem pro návrh vhodné směsi s požadovanou hydraulickou vodivostí – pokud se vzaly v úvahu omezení rovnice. Laboratorní zkoušky a polní zkoušky byly v dobrém souladu s výpočty.

Při hutnění bylo zjištěno, že hlavním parametrem ovlivňujícím zhutnitelnost byl obsah vody v jemných částicích, kterých bylo ve směsi

10–20 %. Nicméně jelikož dvě ze šesti zkoušek propustnosti vykazaly o řád vyšší hodnoty a snížení likvefakčního potenciálu nebylo též prokázáno u sta procent zkoušek, bylo rozhodnuto metodu mísení zemin při výstavbě trvalých hrází nepoužít.

#### Celkové závěry

Mechanická stabilizace zemin pro zlepšení podloží se stala široce akceptovaným systémem pro zakládání širokého spektra staveb, zejména pro výstavbu násypů a hrází. Použití mechanicky stabilizovaných místních zemin je též jednou z hlavních priorit filozofie tzv. udržitelného rozvoje.

Příspěvek se zaměřil na interpretaci výsledků různých zkoušek použitých ke kontrole účinnosti několika stabilizačních technologií. Celková analýza výsledků všech zkoušek jednotlivých technologií nedávala jednoznačné a průkazné výsledky.

Použití různých zkušebních metod je nezbytné zejména tam, kde jsou na úroveň a homogenitu charakteristik zemin v základové spáře kladeny vysoké nároky i z hlediska bezpečnostních požadavků. Při nedostatku zkušeností s korelací a vyhodnocováním různých, často principiálně odlišných zkušebních metod – přímých a nepřímých, laboratorních a polních – může docházet při použití různých metod zkoušení k nejednoznačným výsledkům, které ve svém důsledku nakonec vyvolávají více otázek, než dávají odpovědi. Pro technický závěr a možnost učinit jasně rozhodnutí je důležité pochopení místních podmínek a mechanismů, které mohou mít vliv na výsledky zkoušek různých typů zemin/stabilizačních technologií. Nicméně všechny nově získané zkušenosti jsou velmi důležité a čas a energie, které jsou s jejich získáním spojeny, přibližují nové technologie k akceptaci širokou technickou veřejností.

*Z příspěvku „Mechanically treated soils: Test method validity a reliability“ autorky Assoc.*

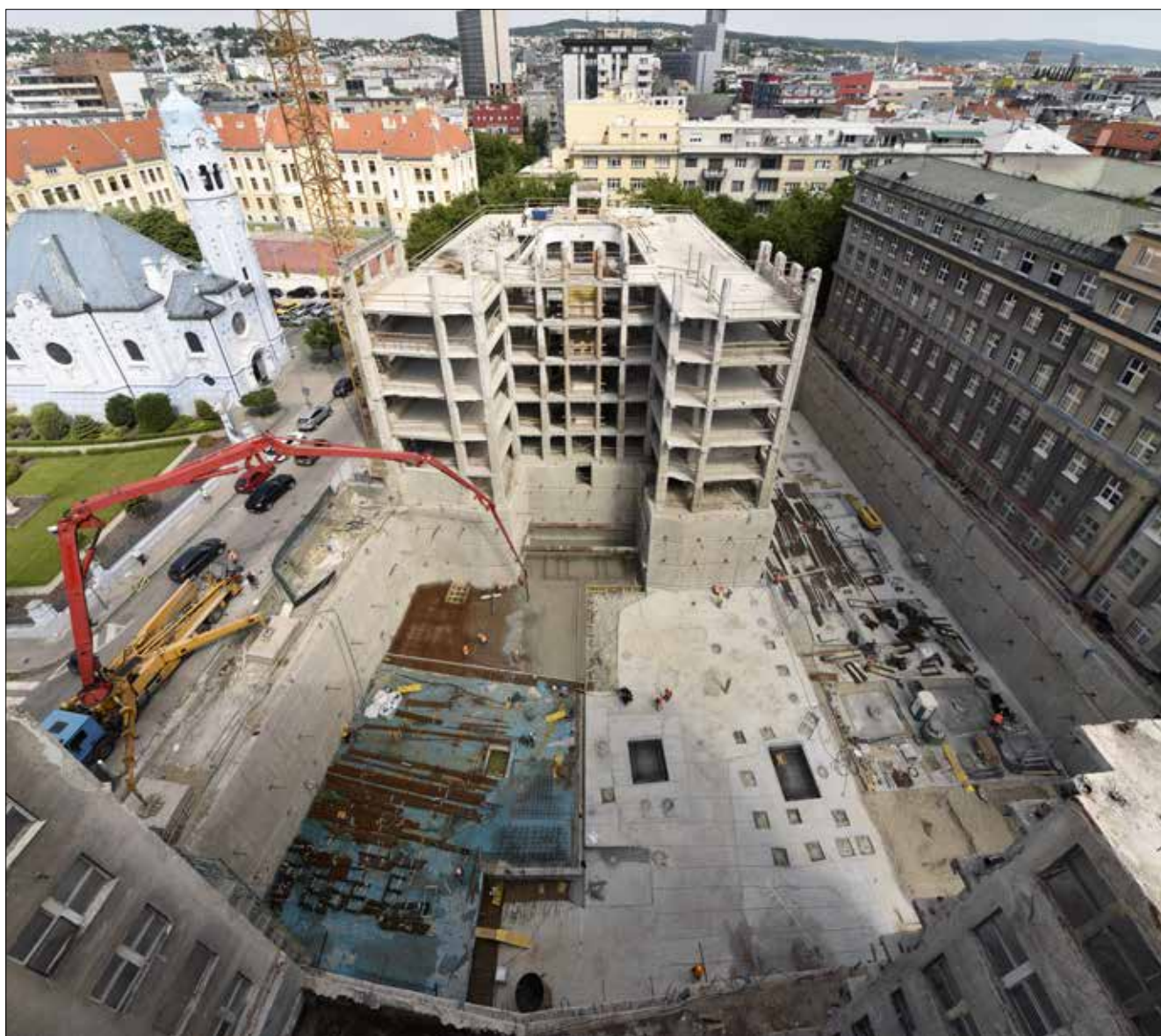
**Prof. Any Petkovšek**, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia, připravil a přeložil

**RNDr. Ivan Beneš**, Zakládání staveb, a. s.

Literatura: Sborník 44. Konference Zakládání staveb Brno 2016, strany 5–29.

### *The construction of the Brezice Hydroelectric Plant in Slovenia, Mechanically treated soils: test method validity and reliability*

*The construction of the Brezice Hydroelectric Plant in Slovenia required a large amount of exploratory work and verification tests before an implementation project could be drawn up for individual building sites. One of the issues that the Czech Republic has in the tectonically stable area is rarely paying more attention to is the resistance of buildings to earthquakes. But since Slovenia belongs to a tectonically young area where high intensity earthquakes are threatening, much attention has been paid not only to earthquake waves resistance of constructions, but also to earthquake resistance of subsoil soils. The study of the possibility of reducing the liquefaction potential of silty sands under the water table, which are abundantly present on the site of HPB Brezice, has been referred at the conference "Zakládání staveb Brno 2016" in the invited lecture Dr. Ana Petkovšek from the University of Ljubljana. A brief digest from the lecture with her kind permission is provided in this article.*



Pohľad na stavebnú jamu v objektoch Bezručova 3 a 5 v mieste vyburanej časti týchto objektov a pod ulicou Lomonosova (vpravo)

## REKONŠTRUKCIA A NADSTAVBA FUNKCIONALISTICKEJ PAMIATKY BEZRUČOVA 3 A 5 V BRATISLAVE-STAROM MESTE – STAVEBNÁ JAMA PRE PODZEMNÚ GARÁŽ

*Príspevok sa zaoberá otvorením, utesnením a zabezpečením stavebnej jamy na Bezručovej ulici č. 3 a 5 v Bratislave pre podzemné garáže. Oba tieto funkcionalistické pamiatkovo chránené objekty prechádzajú v súčasnosti zásadnou rekonštrukciou. Stavba je situovaná v historickej zástavbe, kde sú v jej bezprostrednej blízkosti základy okolitých budov, ktoré prenášajú značné zaťaženia. Okrem toho je stavba zakladaná na mieste, kde sa pod priepustnými riečnymi naplaveninami Dunaja s voľnou hladinou vody v neogénnom podloží nachádzajú zeminy s extrémne tlakovou vodou. Takéto okrajové podmienky boli predpokladmi náročného zakladania uvedeného objektu. Unikátne je aj pôdorysné riešenie garáží, ktoré sú umiestnené pod ulicou Lomonosovou, ktorá musela byť po dobu výstavby uzavretá.*

V mestských aglomeráciách spolu s narastajúcim vozovým parkom prichádza k vyútenej potrebe – trendu budovania podzemných garáží, čo následne vedie v mestách k netradičným technickým riešeniam. Takéto

riešenia uvádzajú stavebné úrady do neželaných problémov. V súvislosti s výstavbou sa totiž musia riešiť aj dopady na organizáciu dopravy priamo v mestách, ako aj dočasné zábery pozemkov. Podobne je to aj v Bratislave,

kde spolu so zahusťujúcou sa zástavbou vzniká čoraz väčšia potreba budovania nových parkovacích miest. Objekty na ulici Bezručova č. 3 a 5 slúžili mnoho rokov ako nemocnica s poliklinikou pre





Letecký pohľad na blok domov v Bezučovej a Lomonosovej ulici s vyznačením časti, kde vznikajú podzemné garáže.

Bratislavu-Staré Mesto. Obe budovy tvoria jednotný hmotovo-kompozičný celok ohraničený miestnymi komunikáciami Bezučova, Gajova, Lomonosovova a Dobrovičova.

Budova Bezučova č. 3 bola postavená v rokoch 1931–1932 ako Zemská úradovňa pre poisťovanie robotníkov. Architekti Balán a Grossmann navrhli funkcionalistickú stavbu s plochou strechou, na svoju dobu s najmodernejšími konštrukciami a materiálmi. Uvedení architekti sú autormi aj objektu Bezučova 5 a súbor týchto budov je v súčasnosti národnou kultúrnou pamiatkou.

Súčasná rekonštrukcia vracia kultúrnej pamiatke pôvodný funkcionalistický výraz, nové funkcie a zároveň ju robí schopnou tieto funkcie naplniť. Všetko pri zachovaní pôvodných historických prvkov a hodnôt. Domy boli zbavené nadstavby so šikmou strechou, ktorá bola urobená dodatočne a negovala ich funkcionalistický charakter. Na jej miesto bola navrhnutá nadstavba s jasne definovanou novou funkciou, čím necháva vyniknúť historické budovy v pôvodnej kráse. V obnovených budovách pribudne okrem pôvodnej zdravotníckej funkcie aj bývanie, administratíva a občianska vybavenosť. Obnova

vdýchne historicky dôležitej stavbe nový život pri zachovaní génia loci budovy a lokality. Protiahly secesný Modrý kostolík tak dostane po dlhšom čase dôstojného funkcionalistického suseda v pôvodnom výraze.

Nové funkcie si samozrejme vyžiadali i vyriešenie statickej dopravy, preto tu boli navrhnuté viacpodlažné podzemné garáže. Tie sú riešené v priestore pod átriom a pod časťou vybraného traktu Bezučova 3 medzi objektom Bezučova 5 a Bezučova 3, ako aj pod značnou časťou Lomonosovovej ulice v tesnej blízkosti budovy Generálneho riaditeľstva ŽSR, a. s., ktorá bola počas výstavby v plnej prevádzke. Z takéhoto netradičného návrhu umiestnenia garáže vznikla potreba úplného dočasného odstavenia Lomonosovovej ulice, spájajúcej Dostojevského rad s Gajovou ulicou, kde sa v zabratom priestore budovala predmetná podzemná garáž.

#### Princíp riešenia

Pred samotným zahájením stavebných prác bola zbúraná časť priečelia Bezučova 3 medzi hlavným vchodom a Bezučovou 5 a časť zadného traktu k Lomonosovovej ulici pre maximálne zväčšenie plochy podzemných garáží. Vo vybranej časti pri Bezučovej ulici bolo z dôvodu stiesnených podmienok zhotovené zariadenie staveniska. Toto priečelie ako aj zadný trakt do Lomonosovovej ulice budú po vybudovaní garáží opäť dostavané do pôvodnej podoby. Trvalý vjazd do podzemných garáží bude od Lomonosovovej ulice. Projekt samotnej rekonštrukcie budovy bol navrhnutý so snahou o maximálne využitie stavebného pozemku. Ako priestorovo a ekonomicky najvýhodnejší vyšiel návrh pomocou pažiacej a tesniacej konštrukcie – betónové konštrukčné podzemné steny vystužené osadenými armokošmi.

Tieto podzemné steny sú trvalé a tvoria vonkajšiu stenu podzemných garáží. Podzemná

konštrukčná stena bola zaistená jednou až dvoma úrovňami dočasných zemných kotiev, prípadne rozperami. Celá jama bola odvodnená systémom čerpacích a vsakovacích studní. Pred našimi prácami bola spracovaná generálnym dodávateľom pasportizácia okolitej zástavby spojená s geodetickým monitoringom počas samotnej realizácie diela.

#### Geológia

Záujmové územie patrí do regiónu neogénnych tektonických pokleslín oblasti vnútrokarpatských nížin. Na geologickej skladbe územia sa podieľajú sedimenty kvartéru a neogénu. Geologický profil v mieste stavebnej jamy bol tvorený navážkami o premenlivej mocnosti až do  $-6,5$  m od  $\pm 0,0$ . Priestor medzi navážkami a kvartérnym súvrstvom bol tvorený hnedosivými až sivými ílmi tuhej až pevnej konzistencie. Vrstva kvartérnych fluviaálnych štrkovitých sedimentov sa pohybovala cca od  $6,7$  m do premenlivej hĺbky  $15,2$  až  $17,0$  m. Pod vrstvou kvartérnych sedimentov riečnych terás je neogéne podložie zastúpené ílmi piesčitými F4/CS, ílmi so strednou plasticitou F6/CI a ílmi s vysokou plasticitou F8/CH, tuhej, pevnej až tvrdej konzistencie. Hladina podzemnej vody sa pohybovala v úrovni cca  $6,5$ – $7,0$  m pod úrovňou terénu.

#### Postup prác pri zaistení stavebnej jamy

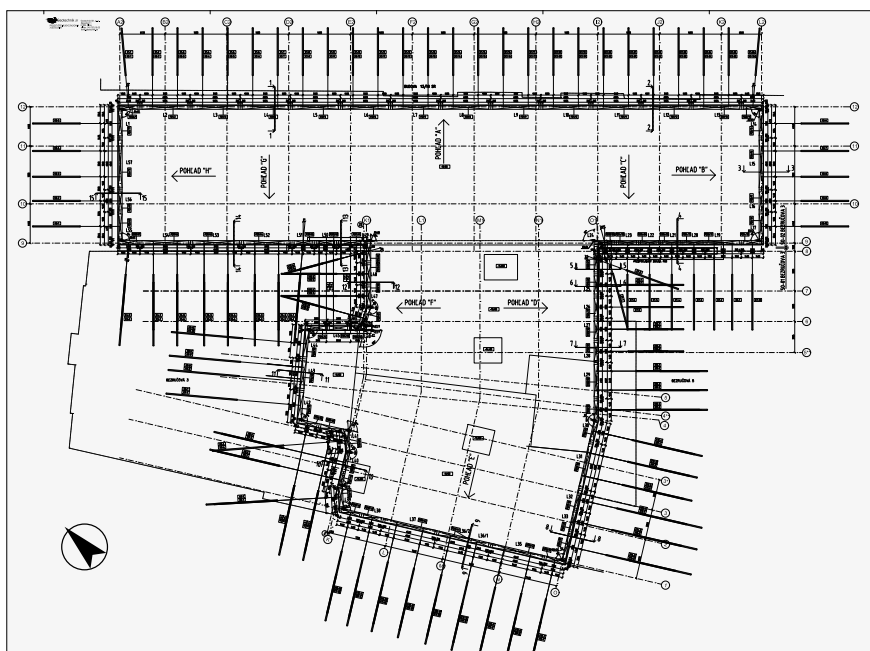
Hĺbka stavebnej jamy bola  $-12,9$  až  $-14,9$  m od  $\pm 0,0 = 139,89$  m n. m. Vzhľadom na podmienky realizácia paženia stavebnej jamy bola realizovaná v dvoch etapách: 1. etapa – predvýkop a 2. etapa – hlavný výkop.

**V 1. etape** prác bol vykonaný výkop, t.j. zarovnanie terénu do predpísanej úrovne pracovnej plošiny na úroveň  $-3,2$  m, respektíve  $-3,6$  m od  $\pm 0,0$ . Výkop stavebnej jamy si generálny dodávateľ zabezpečil formou vlastnej subdodávky. Predvýkop bol zabezpečený systémom svahovania (tam, kde to podmienky dovolili). V mieste kontaktu s objektmi Bezučova 3, 5 sa predvýkop zrealizoval priamo ku skeletu objektov.

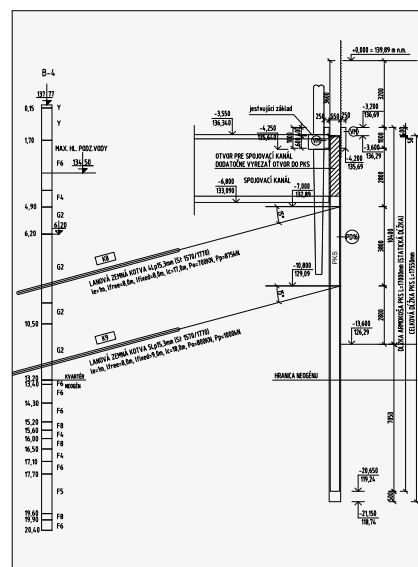
**2. etapa** prác bola zahájená výrobou monolitických vodiacich múrikov, ktoré museli byť zhotovené s vysokou smerovou presnosťou, pretože ich poloha určuje budúcu geometriu stavebnej jamy, resp. jej svetlosť. Zhotovenie vodiacich múrikov sa stretávalo s technickými problémami. Vonkajší múrik bol často krát zasakávaný do spodnej časti základov stávajúcich budov, vzhľadom na stiesnené pomery bola jeho šírka zredukovaná v mnohých úsekoch na  $50$  mm; v mieste stĺpov skeletu budov dokonca z priestorových dôvodov vypadol. V priebehu celej výroby vodiacich múrikov museli byť odstraňované železobetónové konštrukcie a základy zasahujúce do polohy



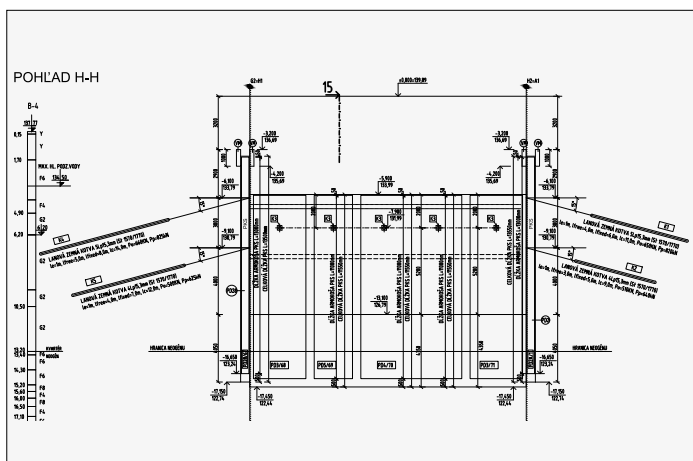
Realizácia podzemných stien v severozápadnej časti ulice Lomonosova



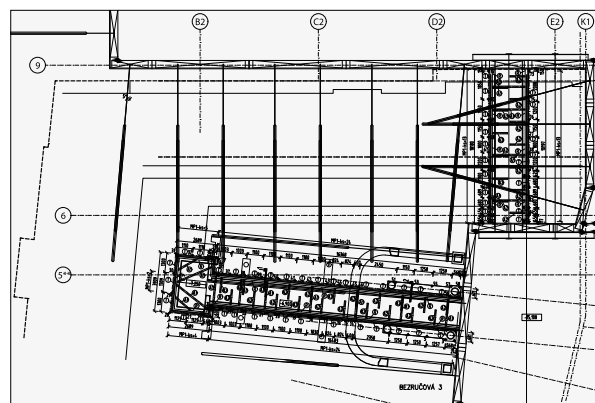
Pôdorys stavebnej jamy



Rez podzemnou konštrukčnou stenou v mieste spojovacej chodby. Vyšrafovaná časť podzemnej steny bola odstránená. Z úrovne -3,55 m boli realizované MP 89/16 (paženie výkopu, podchytenie stávajúcich nosných konštrukcií).



Rez stavebnej jamy (ľavá časť, pohľad „H“)



Pôdorys spojovacích chodieb realizovaný v objekte B3, zabezpečujúce vstup z budovy B3 do átria a späť. Do podzemných konštrukčných stien boli dodatočne zhotovené otvory. Steny spojovacích chodieb boli pažené MP89/16, zároveň v mieste nosných prvkov slúžili ako trvalé podchytenie.

budúcej podzemnej steny. Tieto úseky boli následne zasanované sanačným betónom. Po zhotovení uceleného úseku vodiacich múrikov sa začala realizovať konštrukčná podzemná stena (KPS) hrúbky 500 mm vystužená armokošami, kotvená jedným alebo dvomi radami dočasných zemných kotiev. KPS predstavuje stenovú kontinuálnu konštrukciu, kde jednotlivé susediace lamely, vytvárajúce zvislé pracovné škáry, sú tesnené gumeným profilom systému Waterstop. Podzemná stena sa zhotovovala po jednotlivých lamelách podľa schváleného lamelovacieho výkresu. Po vyhlbení lamely a jej prečistení sa do nej osadil armokoš na požadovanú kótu a okamžite sa zahájila betonáž betónom C 25/30-XA1, XC2 (SK)-CI 04-Dmax 16-S4. Počas realizácie sa vyskytli menšie odchýlky od predpokladanej kvality alebo hĺbky neogénu, k čomu bol na stavbu príbežne prizvaný geológ pre zabezpečenie tesnenia stavebnej jamy. Neustálím problémom stavby boli stiesnené pomery a zlý prístup ako ku stave, tak aj priamo do stavebnej jamy.

V priebehu stavby ostala len jedna zjazdová rampa, ktorá sa vzhľadom na stiesnené pomery nemala kde preložiť. Vzhľadom na stiesnené pomery sa postupne začali armokoše vyrábať v hale a vozit' hotové na stavbu. Celkom bolo zrealizovaných 4259,6 m<sup>2</sup> podzemnej konštrukčnej steny. Na hĺbenie podzemných stien bol použitý nosič Liebherr LBH 845 s drapákom Stein hr. 500 mm.

Po zhotovení podzemných stien sa realizoval výkop na prvú, respektíve druhú, kotevnú úroveň. Po celom obvode stavebnej jamy boli ako zásadný prvok stability KPS navrhnuté dočasné zemné pramencové kotvy kotvené cez kotevné priechodky umiestnené priamo v armokošoch, prípadne rozperry. Výšky hláv kotiev boli zvolené tak, aby neboli v kolízii so stropnými doskami. 1. kotevná úroveň sa pohybovala v úrovni od -6,1 m do -7,9 m od ±0,0 m. 2. kotevná úroveň sa pohybovala na úrovni -9,1 až -11,6 m. Všetky kotvy boli pramencové, zostavené zo 4, 5 a 6 pramencov so sklonom 15°.

Štandardné umiestnenie kotiev bolo vždy v strede jednotlivých lamiel KPS. Podvodné kotvy sa realizovali až 4,0 m pod hladinou spodnej vody, napriek tomu si naša firma správne zvoleným technologickým postupom dokázala s danou problematikou poradiť. Dočasné pramencové kotvy sa po rozopretí podzemných stien skeletom budovy (základová doska, jednotlivé stropy) budú postupne deaktivovať. V stavebnej jamy cca 1,0 m nad hladinou spodnej vody bolo zhotovených 5 ks čerpacích studní a mimo nej 5 ks vsakovacích studní. Za zmienku stojí, že 4 ks vsakovacích studní bude investor trvale používať ako zdroj pre tepelné čerpadlá. Po vyčerpaní statickej vody sú priesaky do stavebnej jamy minimálne, to poukazuje na kvalitne zhotovené podzemné steny s dostatočným votknutím do nepriepustného podlažia. Po odkopaní stien sa podzemné steny celoplošne strojne ofrýzovali, neprístupné rohy sa



dosekali ručne. Po ofrézovaní stien sa do podzemných stien vysekali drážky pre votknutie základovej dosky a stropy garáží.

Pre napojenie objektov Bezručova 3 a Bezručova 5 do garáží sme zabezpečili výrezy do podzemných stien. V mieste objektu B3 boli naprojektované spojovacie chodby, ktoré do budúca zabezpečia spojenie podzemných garáží so suterénom objektu B3. Ako paženie spojovacích chodieb vzhľadom na výkop a statické zaťaženie od stĺpov skeletu budovy boli navrhnuté mikropilótové steny s torkrétovým nástrekom a mikropilótové podchytenie základov jestvujúcich budov a nových základov. Celkom bolo zrealizovaných cca 770 m MP.

Na záver chcem vyzdvihnúť dobrú spoluprácu s generálnym dodávateľom Váhostav-SK, a. s., s ktorým sme napriek technickým problémom dokázali nájsť spoločnú reč a plniť harmonogram prác špeciálneho zakladania a práce previesť v požadovanej kvalite.

**Ing. Viliam Forner**, hlavný stavbyvedúci, s využitím textu **Ing. Borisa Vrábela, PhD.**, Geotechnik SK, s. r. o. (úvodná časť)

## POHĽADOM PROJEKTANTA

**P**ôvodný projekt zabezpečenia stavebnej jamy predpokladal kombináciu dvoch technológií, a to tryskovej injektáže a podzemnej tesniacej a pažiaciej železobetónovej steny. Konštrukcia bola riešená ako dočasná a mala len tesniacu a pažiacu úlohu. Spolu so spoločnosťou Zakládání staveb, a. s., sme predložili návrh na zmenu riešenia z dočasných konštrukcií na realizáciu trvalej konštrukcie podzemnej železobetónovej steny, ktorá tvorila zároveň obvodovú stenu budúcej garáže. Investor stavby (Bezručova Invest, s. r. o.) takéto riešenie prijal.

Pre urýchlenie sprejzdnenia Lomonosovovej ulice sme ponúkli investorovi, ako aj vyššiemu dodávateľovi stavby (Váhostav SK, a. s.) zmenu postupu výstavby systémom TOP-DOWN, využívaným v stiesnených pomeroch. Tento návrh pre zvýšenie finančných nákladov nebol akceptovaný.

Navrhnuté riešenie umožnilo bezproblémovú výstavbu v husto zastavanom území. Objekty na Bezručovej ulici č. 3 a 5 boli v rámci rekonštrukcie úplne odľahčené, ostali len nosné konštrukcie.

Počas výstavby nedošlo k žiadnym výrazným vodorovným ani zvislým posunom. Maximálna vodorovná deformácia meraná inklinometricky dosiahla 5 mm, priemerná cca 3 mm. Pohyb okolostojacich objektov smerom do vnútra jamy bol do 3 mm. Zaujímavosťou bolo, že objekty Bezručova 3 a 5, ako aj stena po dokončení hĺbkového zakladania a základovej dosky, vykázali posun cca 15 mm smerom hore.



Stavebná jama behom ťažby a kotvenia podzemných stien, pohľad od ulice Lomonosova



Podzemné steny pod objektom Bezručova 3 behom výstavby nového skeletu



Podzemné steny s povrchom upraveným frézovaním v ulici Lomonosova



Čerpané množstvá vody z tak priepustného prostredia, ako je bratislavský kvartér (2,7 l/s), hovoria o dokonalom zaviazaní do nepriepustného ílovitého neogénu. Takéto priaznivé výsledky boli dosiahnuté zodpovedným prístupom zhotoviteľa, Zakládání staveb, a. s., a kontrolou zaviazania každej lamely do nepriepustného neogénu. V tejto súvislosti je potrebné poznamenať, že pri použití technológií paženia a tesnenia stavebných jám mikropílotami MIP (Mix In Place), resp. tryskovou injekciou, sú tieto riešenia lacnejšie, ale neumožňujú kontrolu zaviazania do nepriepustného materiálu, čím dochádza k navýšeniu čerpaných množstiev vody zo stavebnej jamy. V husto zastavanom území veľakrát nie je možnosť vybudovať dostatočný počet vsakovacích studní a čerpanú vodu je nutné vypúšťať do verejnej kanalizácie, čo môže značne navýšiť rozpočet stavby.

Zároveň je potrebné zdôrazniť kvalitu povrchu stien, ktorá plnohodnotne vyhovuje účelu podzemných parkovacích garáží. Bola dosiahnutá presným vedením drapáku pri budovaní podzemnej steny, ako aj kvalitným ofrézovaním

povrchu steny. Konštrukčné podzemné steny nie sú veľmi obľúbené u investorov, nakoľko na prvý pohľad sa javí takéto riešenie najdrahším. Je však potrebné si uvedomiť, aké výhody oproti ostatným metódam poskytuje:

- zrýchli výstavbu, nakoľko vybudovaním paženia stavebnej jamy sa zároveň vybudovali aj obvodové steny garáží, dnes už dostatočne presné a s kvalitným povrchom;
- umožní dokonalé zaviazanie do nepriepustného podlažia; zvlášť v Bratislave, kde je neogén často tvorený priepustnými neogénnymi pieskami;
- v blízkosti okolitej zástavby s extrémne zaťaženými základmi umožní bezproblémovú výstavbu pomocou jednodamelových záberov;
- zníži čerpané množstvá vody a eliminuje technické a finančné riziko spojené s čerpaním a vsakovaním podzemnej vody.

Všetky geotechnické konštrukcie boli posudzované programom Geo5 pražskej firmy Fine. Všetky výpočty a konzultácie boli uskutočňované výhradne pracovníkmi firmy Geotechnik SK, s. r. o.

Základné parametre stavebnej jamy:

- rozloha cca 1400 m<sup>2</sup>,
- max. hĺbka od nuly –15,5 m,
- predvýkop –3,2 m,
- hrúbka steny 500 + 50 mm,
- priemerné vystuženie žlb. steny 160 kg/m<sup>3</sup>,
- max. hĺbka lamely podzemnej steny 18 m,
- výmera podzemných stien cca 4300 m<sup>2</sup>,
- počet kotevných úrovní – 2, z toho 1 pod úrovňou vody,
- počet zemných kotiev 161 ks (plus rozpery a tiahla),
- počet čerpacích studní – 5 ks a 5 ks vsakovacích studní,
- ustálené čerpanie vody zo stavebnej jamy po vyčerpaní statických zásob vody –2,7 l/s,
- zaviazanie základovej dosky a stropov do vyfrézovaných drážok,
- vlastné založenie objektu na tlakových pilótach vrátane átria (ťahové pilóty) priemeru 880 mm.

*Investor: Bezručova Invest, s. r. o.*

*Generálny dodávateľ: Váhostav-SK, a. s.*

*Architekti: RULES, s. r. o.*

*Hlavný projektant špeciálneho zakladania: Geotechnik SK, s. r. o.*

*Dodávateľ špeciálneho zakladania: Zakládání staveb, a. s.*

*Ing. Boris Vrabel, PhD., Geotechnik SK, s. r. o.*

*Foto: Libor Štěřba, Zakládání staveb, a. s.*

*Vizualizace: RULES, s. r. o.*



Výstavba základovej dosky podzemných garáží novo dostavovanej časti bloku v ulici Bezručova



Vizualizácia objektov Bezručova 3 a 5 po rekonštrukcii a dostavbe podzemných garáží.

### **Reconstruction and extension of functionalist monuments Bezručova 3 and 5 in Bratislava-Old Town – building pit for underground garage**

*The paper deals with the opening, sealing and securing of the construction pit at Bezručova Street no. 3 and 5 in Bratislava for underground garages. Both these functionalist monument-protected buildings are undergoing a major reconstruction. The building is situated in a historic building area, where its foundations which carry significant loads, are in the immediate vicinity of other historical objects. In addition, the building is located at a place, where under water drainage layers of the Danube river with free water level there are neogeneous soils with extremely pressurized water. Such boundary conditions were prerequisites for the demanding foundation of the object. Unique is the layout of the garages, which are located below Lomonosova Street, which had to be closed during the construction.*