

Zabezpečenie prác na spodnej stavbe

Pri realizácii zemných prác sa môžu vyskytnúť rôzne neočakávané situácie ohrozujúce postup prác, zapríčinené premenlivými geologickými pomermi (zvlášť pri rozľahlých stavbách). Dôležité je venovať veľkú pozornosť dozorným činnostiam, garantujúcim kvalitu a funkčnosť diela. Preto existujú základné požiadavky na prevzatie diela investorm, ktoré sú úzko späté s výkonom skúšok a meraní.

Technológia prúdovej injektáže

Názov metóda prúdovej injektáže Soilcrete je odvodený zo slov „soil“ (angl. zemina, pôda) a „concrete“ (angl. tvrdnúť, stmeliť do kompaktnej hmoty). Základné princípy fungovania metódy Soilcrete boli v 60. rokoch 20. storočia vyvinuté v metóde CJG (Column Jet Grout), ktorá spočívala v pre-rezávaní zeminy vodným lúčom (obr. 1) chráneným vzduchom, za súčasného striekania cementovej suspenzie. Tieto procesy prebiehajú za zdvíhania a rotácie prúdovej hlavy z dna vrtu. Z vysvetlenia názvu a pôvodu je zrejmé, že metóda sa zaoberá vylepšovaním vlastností základovej pôdy. Zopakovaním tohto procesu vo vhodnom množstve a vhodnej vzájomnej vzdialenosti vzniká podzemná tesniaca stena (obr. 2).

Pri realizácii tejto geotechnickej metódy sa značne podceňujú vedomosti získané zo stavebnej praxe.



Obr. 1 Vrtné sútyčie so striekajúcim vodným lúčom



Obr. 2 Prúdová injektáž, CBC Bratislava, 2. etapa

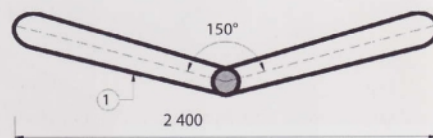
Praktická aplikácia

Podzemné tlakové steny sa realizovali aj v prípade stavebnej jamy polyfunkčného komplexu v Bratislave. Stavebná jama dosahovala maximálne rozmery asi 122,0 × 56,5 m. Hĺbka figúry bola 5,7 m a hĺbka pracovnej úrovne 4,15 m pod okolitým terénom, pričom hladina podzemnej vody (HPV) sa nachádzala 4,35 m pod terénom.

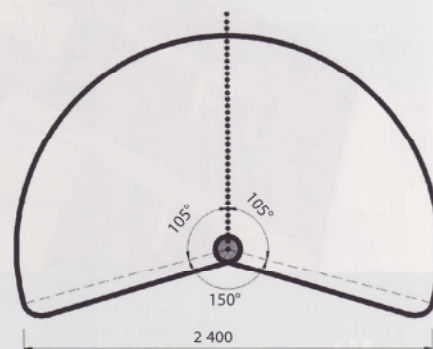
Stavebnú jamu bolo potrebné zabezpečiť z dôvodu zložitých geologických a hydrogeologických pomerov. Musela sa zabezpečiť stabilita strmých svahov stavebnej jamy (riešená takzvaným klincovaným betónovým nástrekom), ochrana pred prítokom podzemnej vody (vytvorenie takzvanej hydraulickéj bariéry) a zníženie HPV pomocou čerpacích studní.

Podzemné tesniace steny sa museli zhotoviť tak, aby vytvorili dostatočne hlbokú (3 m) súvislú stenu (vzdialenosť vrtov 2 100 mm), zasahujúcu až do piesčito-ílovitej nepriepustnej neogénnej vrstvy v hĺbke 18,25 m pod terénom. Z hľadiska minimalizovania nákladov a optimalizovania času výstavby sa po zvážení všetkých podmienok staveniska zvolil takýto postup vyhotovenia a zabezpečenia stavebnej jamy:

1. Prekládka inžinierskych sietí predchádzajúca výkopu stavebnej jamy na pracovnú úroveň (20 cm nad HPV) s priebežným nástrekom a klincovaním jej stien. Stavebná jama bola navrhnutá s dvomi rampami v sklone do 15° a celoobvodovou ryhou na odčerpávanie spätnej suspenzie.
2. Hĺbkové vibračné zhutnenie podzákladia výškových častí stavby.
3. Realizácia podzemnej tesniacej steny v celkovej dĺžke 17 m z pracovnej úrovne. Podzemné tesniace steny boli vzhľadom na následný odkop podľa bodu 5 (na rôzne hĺbky) navrhnuté z dvoch typov telies, čo zabezpečilo ich vodotesnú a zároveň pažiacu funkciu. Hĺbková (výlučne vodotesná) časť podzemnej tesniacej steny pozostávala z obojstranných lamiel (obr. 3) vytvorených vyťahovaním injektážneho sútyčia za neustáleho kmitania okolo osi rotácie. Vrchná (vodotesná aj pažiacu) časť pozostávala z polstĺpov (obr. 4) vytvorených na lamelovej podzemnej tesniacej stene závislejšie od konečnej hĺbky výkopu v danom mieste.
4. Znižovanie HPV.



Obr. 3 Obojstranná lamela



Obr. 4 Polstĺpová hlava lamely

5. Výkop na definitívnu úroveň základovej škáry za súčasného klincovania vrchnej časti podzemnej tesniacej steny.

Návrh vhodného zloženia injektážnej zmesi bol determinovaný množstvom činiteľov, ktoré z hľadiska pôvodu možno rozdeliť na dve základné skupiny. Prvú skupinu tvoria geotechnické vlastnosti základovej pôdy a hydrogeologické pomery, ktorých rôznorodosť zásadne komplikuje jednotný optimálny návrh injektážnej zmesi pre všetky príslušné geologické prostredia. Druhou skupinou sú materiálové charakteristiky a reologické vlastnosti navrhovanej injektážnej zmesi. Z hľadiska geotechnických vlastností sú pri návrhu injektážnej zmesi rozhodujúce najmä zrnitosť (určuje homogenitu), pórovitosť (udáva teoretické množstvo zmesi na vyplnenie pórov) a priepustnosť prostredia (daná spomínanou zrnitosťou a pórovitosťou).

Zrnitosť prostredia je vyjadrená krivkou zrnitosti, ktorá udáva podiel častíc rôznych rozmerov vo forme diagramu prepadu cez sítá príslušných rozmerov. Na návrhu injektážnej zmesi sa podieľa značnou váhou, lebo ovplyvňuje pórovitosť aj priepustnosť.

Pórovitosť prostredia n je úzko spätá s granulometrickým zložením, mechanizmom vzniku zeminy a tlakom, akým bola vystavená. Priepustnosť prostredia opisuje hydraulické vlastnosti zeminy a prúdenie vody v póroch. Súčasne by mala byť splnená podmienka schopnosti zmesi preniknúť.

Tab. 1 Predpísané zloženie suspenzie

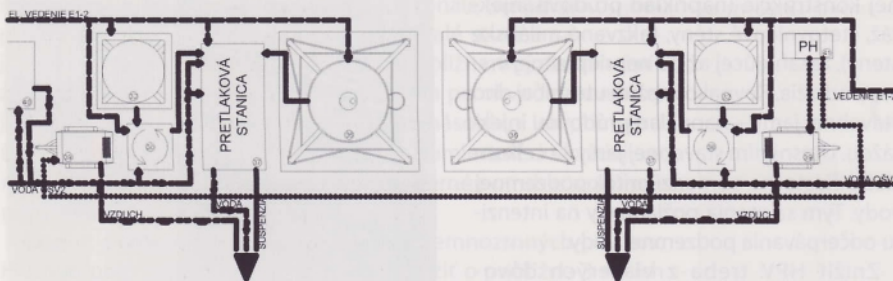
Zložka	Označenie	Dávka (kg/100 l)
Cement CEM I 32,5 R	C	13
Bentonit S110	B	36
Voda (STN 73 2028)	V	56

Táto podmienka sa však nemusí striktno dodržať (závisí to od parametrov prúdovej injektáže).

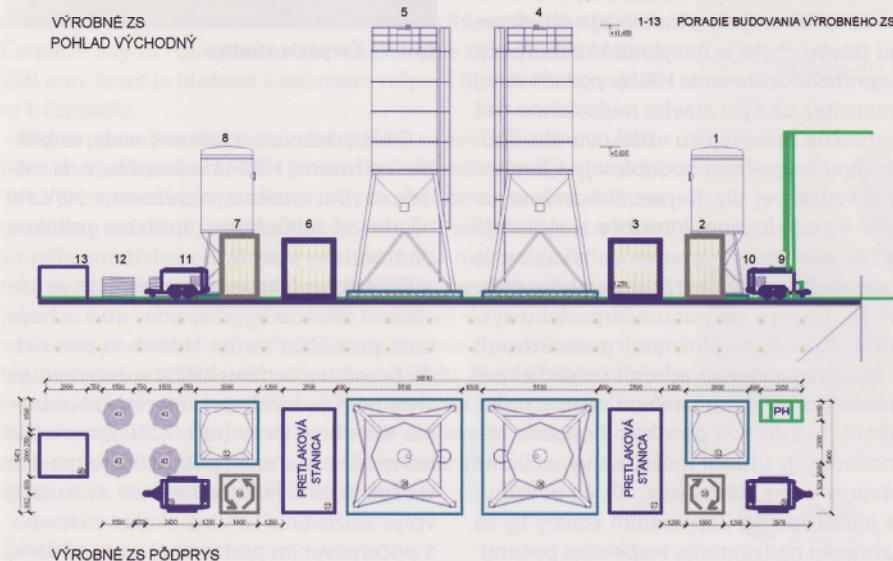
Na základe zrnitosti zeminy (obr. 5) sa navrhlo, že stabilná prúdová injektáž podzemných tesniacich stien sa bude realizovať suspenziou (nedochádza k dekantácii) Soilcrete s predpísaným zložením (tab. 1) a parametrami (tab. 2).

Tab. 2 Predpísané parametre suspenzie a injektáže

Parameter	Označenie	Hodnota	Jednotka	Parameter	Označenie	Hodnota	Jednotka
Súčiniteľ	$V/(C+B)$	1,17	–	Rýchlosť ťahania sútyčia	v	220	Mm/min
Objemová hmotnosť suspenzie	ρ	1,06	g/cm ³	Rezný tlak	p	45	MPa
Pevnosť v tlaku	F_c	1,00	MPa	Tlak vzduchu	p_{air}	1,2	MPa
Tesnenie suspenzie	k_s	$6,55 \cdot 10^{-9}$	m/s	Injektované množstvo	Q_i	160 až 240	l/min
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch	$F_{c,28}$	90 % F_c	–	Injektčný tlak	p_i	4	MPa



Obr. 5 Schéma výrobného zariadenia staveniska



Obr. 6 Budovanie výrobného zariadenia staveniska

Vzhľadom na dispozíciu stavebnej jamy a potrebu minimalizovať čas vyhotovenia sa tieto podzemné tesniace steny (PTS) realizovali pomocou dvoch injektážnych súprav. Ich činnosť sa musela vhodne zosúladiť (jedna súprava – párne a druhá – nepárne vrty s oddialením 4 dni), a navyše zdvojnásobiť bežné zariadenie staveniska používané v prípade jednej súpravy.

Základné elementy výrobného zariadenia staveniska (obr. 5) predstavujú zásobníky cementu a bentonitu, miešacia centrála, vzduchový kompresor a pretlaková stanica obsahujúca aj dezintegrátor bentonitu. Zariadenie staveniska muselo mať z dôvodu značne stiesnených priestorových pomerov, a najmä nadmerných rozmerov samot-

ných zásobníkov presne definované poradie montáže a demontáže (obr. 6, 7).

Výrobný postup možno zjednodušené opísať a rozdeliť na:

- vrtacie práce – vrtným dlátom, chladeným cemento-bentonitovým (CB) výplachom, sa vykoná vrt do požadovanej hĺbky;
- injektážne práce – začínajú sa okamžite po ukončení vrtania. Sútyčie sa vyťahuje predpísanou rýchlosťou a pri dodržaní frekvencie otáčania (v tomto prípade pootáčania), keď sa injektážnou hlavou s dvoma úrovňami dýz vykonáva injektáž. Horná zložená dýza (vodný lúč obalený vzduchom) zabezpečuje erodovanie zeminy, a tým zvýšenie pórovitosti prostredia a dosahu injektáže, zatiaľ čo spodná dýza slúži na injektovanie prostredia CB suspenziou;
- injektážna zmes sa ošetruje dolievaním suspenzie do vrtu, a tak sa udržiava jej pretlak, až kým nezatuhne.

Samotnej realizácii podzemných tesniacich stien predchádzalo viacero procesov garantujúcich jej kvalitu, dodržanie predpísaných parametrov a správne zhotovenie. Pred začiatkom realizácie podzemných tesniacich stien sa musela vykonať pasportizácia okolitých objektov na sledovanie zmeny ich stavu počas týchto geotechnických procesov. Okrem toho sa vytýčili polohy a výšková úroveň vrto, vykonalo sa nastavenie a kontrola miešania suspenzie, pretlaku, rýchlosti vyťahovania a rotácie sútyčia.

Požadované kontrolné procesy

Realizácia injektážnych prác si vyžaduje viaceré kontrolné procesy. Sú to:

- kalibrácia strojových zariadení pred ich zaradením do výrobného procesu. Vykonáva sa in situ na dvoch skúšobných vrtoch umiestnených vnútri dispozície jamy. Z kalibrácie sa vyhotoví záznam, ktorý je neskôr súčasťou dokumentácie pri odovzdávaní diela. Na týchto skúšobných vrtoch sa overí aj geologická skladba podlažia sledovaním injektovaného množstva suspenzie. Overí sa aj predpokladaná vhodnosť kapacity staveniskovej prípojky vody. Súčasne sa kalibrujú vysokotlakové čerpadlá skúšobným tlakom 30; 35; 40 a 45 MPa a plniace čerpadlá skúšobným tlakom 2; 2,5; 3; 3,5; 4 MPa, čím sa odstráni pokles tlaku v potrubí;
- kalibrácia injektčných súprav. Vykonáva sa jednoduchými meraniami výšky zdvihu a počtov otáčok značky umiestnenej na sútyčí v časových intervaloch 2 minúty. Kalibrácia sa vykonáva na každej súprave pred začatím predrealizačnej kontroly;
- predrealizačná kontrola návrhových parametrov injektáže [10]. Vykonáva sa na skúšobnom vrte. Začiatok skúšobnej injektáže by mal byť najneskôr jeden deň

pred plánovaným začatím prác na prvom vrte. Po zatvrdnutí suspenzie (minimálne 12 hodín) sa teleso odkope (za súčasného čerpania prítokov podzemnej vody) napríklad na úroveň $-6,5$ m. Na základe meraní rozmerov telesa sa posúdi vhodnosť prvotného návrhu rýchlosti vytáhovania a otáčania sútyčia;

- kontrola polohy a horizontálnej roviny súprav. Musí sa vykonať pred začatím každého vrtania. Správna poloha stredy sútyčia sa kontroluje proti osi vytyčeného vrtu, pričom sa nesmie prekročiť odchýlka 50 mm. Kontrola horizontálnej roviny sa vykonáva vizuálne pomocou libely umiestnenej na súprave;
- kontrola sklonu budúceho vrtu. Vykonáva sa pred začiatkom každého vrtania, a to sklonomerom priloženým na injektážne sútyčie. Podmienkou na začatie vrtania je, aby sa sklon sútyčia nelíšil od projektovaného sklonu o viac ako 2° (pri vrtoch s dĺžkou do 20 m podľa [10]);
- kontrola smeru dýz. Vykonáva sa pred začiatkom injektáže každého telesa. Smer dýz sa kontroluje vizuálne podľa polohy značiek na sútyči, ktoré definujú polohu dýz nasadenej injektážnej hlavy;
- kontrola priebehu vrtania a injektáže. Vykonáva sa nepretržite počas celého obdobia práce, a to automatickou zbernou dátovou jednotkou. V časovom intervale troch sekúnd sa zaznamenávajú čas (s), hĺbka (m), rýchlosť (m/min), otáčky sútyčia (u/min), prítlak (bar), krútiaci mo-



Obr. 7 Ukončenie prúdovej injektáže



Obr. 8 Stavebná jama pod hladinou podzemnej vody a susediacej rieky (Dubaj)

ment (kNm), tlak suspenzie (bar), tlak vody (bar) a tlak vzduchu (bar);

- kontrola množstva prítoku a vzhľadu spätnej suspenzie. Vizuálne ju vykonáva pomocný pracovník. Radikálne zníženie prítoku suspenzie by mohlo naznačovať, že sa upchalo medzikružie vrtu alebo došlo k určitej diskontinuite;
- kontrola deformácií okolitých objektov. Vykonáva sa geodetickým meraním osadených meračských značiek. Výsledky merania sa porovnávajú s vykonanou pasportizáciou;
- kontrola injekčnej suspenzie. Vykonáva sa z každej ucelenej výrobnéj jednotky zariadenia staveniska počas prípravných prác a následne v každej zmene v počte predpísanom pre jednotlivé parametre, ako sú viskozita Marsh (s) (podľa požiadaviek [10]), objemová hmotnosť ρ_s (g/cm^3), dekantácia d (%) a odolnosť proti erózii (-);
- kontrola spätnej suspenzie;
- kontrola zatvrdnutej suspenzie.

Odvodnenie stavebných jám – znižovanie HPV

Ak sa pracovná úroveň stavebnej jamy nachádza pod hladinou HPV (obr. 8), zvyčajne ju treba znižovať. Alternatívou k priebežnému znižovaniu HPV je utesnenie stavebnej jamy a zamedzenie prítokom podzemnej vody. Stavebnú jamu možno utesniť zo strán podzemnou tesniacou stenou rozličnej konštrukcie (napríklad prúdová injektáž, štetovnicové steny, takzvané milánske steny), zasahujúcej až do nepriepustnej vrstvy podložia. Rovnako možno utesniť aj dno stavebnej jamy – napríklad prúdovou injektážou. Utesnením stavebnej jamy sa celkom alebo čiastočne obmedzí prítok podzemnej vody. Tým sa menia požiadavky na intenzitu odčerpávania podzemnej vody.

Znížiť HPV treba z viacerých dôvodov. Jedným je umožnenie alebo zjednodušenie práce v stavebnej jame (obr. 9). Druhým významným dôvodom je eliminovanie vztlakovej sily pôsobiacej na budovanú stavbu. Preto je nevyhnutné zabezpečiť nepretržité znižovanie HPV (v požadovanej intenzite), až kým stavba nedosiahne tiaž bezpečne prevyšujúcu vztlakovú silu. Zaužívanou bezpečnou hodnotou je $1,5$ -násobok vztlakovej sily. Nepretržité znižovanie HPV v požadovanej intenzite si vyžaduje určité preventívne opatrenia, týkajúce sa zabezpečenia nepretržitej dodávky elektrickej energie na pohon čerpaceho systému (obvykle záložnými generátormi) a zabezpečenia náhradných čerpadiel pre prípad poruchy s prijateľnou mierou rizika. Akousi technickou poistkou v prípade mimoriadnych situácií môže byť vynechanie otvorov v dne stavby (obr. 10), čo umožňuje jej zatopenie. Zaplavením stavby by sa zabránilo nadvihnutiu, respektíve posunutiu stavby, a to pôsobením vztlakovej sily podzemnej vody.



Obr. 9 Stavebná jama, CBC Bratislava, 2. etapa



Obr. 10 Vynechaný otvor v základovej doske



Obr. 11 Čerpacia studňa

Odčerpávanie podzemnej vody, respektíve znižovanie HPV sa uskutočňuje na základe návrhu systému na znižovanie HPV. Pri návrhu sa zohľadňuje množstvo prítokov do stavebnej jamy Q .

Dôležitým faktorom pri výpočte je koeficient filtrácie k_f (m/s) udávajúci schopnosť prepúšťať vodu. Udáva sa pre každú horninu a zeminu zvlášť a determinuje vhodnosť jednotlivých metód odvodnenia stavebnej jamy (tab. 3). Najpresnejšie ho možno stanoviť pomocou čerpacích skúšok in situ. Počas návrhu sa zvažuje aj vplyv znižovania HPV na okolitú zástavbu. S odčerpávaním podzemnej vody súvisí aj zväčšenie objemovej tiaže zeminy a v dôsledku absencie vztlakovej sily môže dôjsť

Tab. 3 Optimálne spôsoby odvodnenia [12]

Spôsob odvodnenia	Súčiniteľ filtrácie k (m/s)									
	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	
Tesnená jama							y	x	x	
Betonáž pod vodou								x	x	
Povrchové odvodnenie		y	y				x	x		
Čerpacie studne							x	x		
Čerpacie ihly						x				
Vákuové čerpacie ihly				x	x					
Elektroosmóza		x	x							

x – odporúčaná metóda, y – rozsah použitia

k nerovnomernému sadaniu. V konkrétnom návrhu systému treba zohľadniť aj požiadavku na minimalizovanie vyplavovania jemnozrnných častíc, ktoré by pri vyšších vtokových rýchlostiach mohli unášať voda. Vyplavovanie jemnozrnných častíc by časom mohlo spôsobiť nerovnomerné sadanie stavby alebo okolitých stavieb.

Spôsoby odvodnenia stavebnej jamy

Spôsoby odvodnenia stavebnej jamy sa vo všeobecnosti rozdeľujú na povrchové a hĺbkové. Na povrchové odvodnenie stavebnej jamy sa navrhujú rigoly a drenáže. Povrchové odvodnenie sa realizuje zväčša pri svahovaných stavebných jamách, do ktorých preniká podzemná voda stenami aj dnom. Presakujúca voda sa pri päte svahu zachytáva systémom odvodňovacích rigolov alebo drenáží. V priestore dna jamy sa zberá a odvádza plošnou drenážou do jedného zberného miesta (zbernej studne), odkiaľ sa prečerpáva mimo stavebnú jamu. Hĺbkové odvodnenie sa realizuje čerpacími studňami (obr. 11) a čerpacími ihlami.

Čerpacie studne môžu byť hydraulicky dokonalé (siahajú až do nepriepustnej vrstvy) a hydraulicky nedokonalé (nesiahajú do nepriepustnej vrstvy). Hydraulicky nedokonalé studne sa navrhujú a realizujú do hĺbky zodpovedajúcej približne trojnásobku zníženia hladiny. Čerpacie studne sa umiestnia po obvode stavebnej jamy vo vzájomnej vzdialenosti 25- až 35-násobkov ich priemeru (zvyčajne 0,15 až 0,8 m). Čerpadlo možno umiestniť do každej samostatnej studni alebo realizovať jedno zberné potrubie a naň pripojiť niekoľko čerpacích studní.

Čerpacie ihly sa väčšinou navrhujú do jemnozrnných pieskov. Hladinu podzemnej vody nimi možno znížiť o približne 3 m. Ich celková dĺžka dosahuje 6 až 8 m. Zhotovené sú z oceľových rúrok s priemerom 40 až 50 mm a ukončené perforovanou koncovkou dĺžkou 0,8 až 1,6 m, ktorá umožňuje vplachovanie ihly do požadovanej hĺbky. Vzdialenosť medzi čerpacími ihlami je 0,6 až 1,8 m. Čerpacie ihly sú napojené na zberné potrubie s priemerom 125 až 250 mm, ktoré je uložené v miernom stúpaní (0,3 až 0,5 %) v smere k čerpadlu.

Odčerpávaná voda zo stavebnej jamy sa zvyčajne zberá v jednom zbernom potrubí, ktoré je zaústené do sedimentačnej nádrže. Tu sa pre spomalenie prúdenia vody cez jej komory a vzhľadom na gravitáciu usádzajú jemnozrnné častice. Zo sedimentačnej nádrže sa veľké množstvá odčerpávanej vody musia niekam odvádzať. Ak v blízkosti stavby nachádza povrchový tok, po získaní súhlasu od jeho správcu možno čerpanú vodu odvádzať do neho. Pri takomto riešení je vhodné zaustiť vypúšťacie potrubie pod hladinu toku tak, aby jeho prúd strhával odčerpávanú vodu. Ak sa v blízkosti povrchový tok nie je, a navyše sa stavba nachádza v zastavanej oblasti, treba vybudovať jednu alebo viaceré vsakovacie studne, do ktorých sa vypúšťa odčerpávaná voda. Vsakovacie studne sa odporúča situovať čo najďalej od stavebnej jamy.

Záver

Komplikáciám, ktoré v prípade spodnej stavby (keďže tvorí základ pre všetky nasledujúce etapy stavby) môžu mať fatálne následky

nielen na stavbu, ale v konečnom dôsledku aj na hospodársky výsledok jej hlavného zhotovovateľa, sa dá predísť, ak sa dodržia základné metodické kroky pri návrhu realizácie podzemných tesniacich stien a nepodcení sa sledovanie kvality výroby. Po zhotovení podzemných tesniacich stien často nasleduje fáza znižovania HPV, ktorej teoretické a neskôr aj technologické zvládnutie môže mať zásadný vplyv na realizovateľnosť stavby a jej cenu.

TEXT: Ing. Peter Briatka

FOTO: autor

Ing. Peter Briatka je doktorandom na Stavebnej fakulte STU v Bratislave a zároveň aj výskumným pracovníkom TSÚS, n. o., v Bratislave.

Recenzoval doc. Ing. Peter Makýš, PhD., ktorý pôsobí na Katedre technológie stavieb Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

Literatúra

1. Čabalová D. – Baliak F.: Geológia. Bratislava: STU, 2001.
2. Hulla J. – Turček P. – Baliak F. – Klepsatel F.: Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve. Bratislava: JAGA GROUP, 2002.
3. Makýš O. – Makýš P.: Stavenisková prevádzka. Zariadenie staveniska. Bratislava: vydavateľstvo STU, 2003.
4. U. S. Department of Energy: Cement Bentonite Thin Diaphragm Wall, Monticello, UT 2000, s. 6 – 8, 25 – 26.
5. Verfel J.: Injektování hornin a výstavba podzemných stěn. Bratislava: MÚS Bradlo, 1992.
6. Weidner J.: Durability of Jet Grout Materials, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory Bechtel BWXT Idaho, LLC 2000, s. 2 – 3.
7. STN 73 3050: 1986 Zemné práce. Všeobecné ustanovenia.
8. STN P ENV 1997-1: 2005 Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 1: Všeobecné pravidlá.
9. STN 73 0090: 1962 Zakladanie stavieb. Geologický prieskum pre stavebné účely.
10. STN EN 12716: 2003 Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Prúdivá injektáž.
11. STN 73 6614: 1984 Skúšky zdrojov podzemnej vody.
12. Turček P. a kol.: Zakládání staveb, Bratislava: JAGA GROUP, 2005.

construction
summit

Aké byty sa predávajú a prečo?

Ako zvýšiť kvalitu projektovej prípravy?

Príklady nového využitia priemyselného dedičstva



10. 2. 2011
Hotel Gate One, Bratislava

viac informácií na:
www.informslovakia.sk

