

Návrh a realizace stavební jámy v patě svahu – hloubka stavební jámy 12 m – pro pažení použity berlínské stěny, kotvené v jedné úrovni – popis statického řešení metodou závislých tlaků – průběh nabídkového řízení, projektování i realizace.

Design and execution of the foundation pit at the base of a slope – the depth of the pit is 12 m – the sheeting of the foundation pit walls was designed as a Berlins wall with one level of post-tensioned tie back anchors – description of analysis by means of dependant pressures – design, tendering and execution.

V rámci vlastních investic zahájil *Průmstav s.r.o.* v říjnu 1995 stavbu *Bytového a administrativního objektu* v Jeseniově ulici v Praze. I když investor a dodavatel v jedné osobě měl pochopitelnou snahu minimalizovat míru subdodávek, rozhodl se zadat zajištění stavební jámy specializované firmě. Staveniště bylo dáno zhruba obdélníkovými půdorysnými rozměry budovaného objektu (přibližně 28 × 18 metrů) a jeho plocha byla jednoznačně omezena. Ze severu Jeseniovou ulicí, z jihu necelých šest metrů vysokou zděnou opěrnou zdí svahu Parukářky se ztužujícími žebry, z východu schodištěm vedoucím nad korunu této zdi a ze západu novostavbou. Tou je víceúčelový nepodsklepený objekt Forta se základy prohloubenými až na únosné skalní podloží. Dno jámy bylo projektováno v hloubce necelých sedm metrů pod úroveň Jeseniovy ulice. Výška obnažené stěny stavební jámy od úrovně koruny opěrné zdi byla přes 12 metrů. Opěrná zeď nemá v podstatě žádné rozšířené základy.

Výběrové řízení bylo vypsáno na základě již hotové projektové dokumentace. Z východu a jihu bylo navrženo hřebíkování, ale hřebíky byly projektovány s oddělenou volnou a kořenovou částí. Spolupůsobící vrstvou byla moniérka, prováděná do bednění. Hřebíkována měla být i stávající opěrná zeď – hřebíky a ocelové převázky se prováděly z lešení. Podél Jeseniovy ulice navrhoval projekt záporové pažení s osovou vzdáleností zápor 1,2 m, kotvené v jedné úrovni nepředepjatými táhly přes ocelovou převážku. Záporu měly být přitom vetknuty pod dno stavební jámy přibližně 4,7 m. Projekt bohužel neobsahoval koordinaci s prováděním inženýrských sítí procházejících touto stěnou, což se promítlo do realizace díla. Na straně západní bylo navrženo podezdívání základů Forty, a to po jednotlivých záběrech – ve vodorovném i svislém směru, při celkové výšce podezdívání přibližně 2,5 m. Jednotlivé svislé pilíře zdíva by byly zděny ve třech fázích, v souladu s postupným těžením stavební jámy a prováděním hřebíků a moniérky na jižní a východní straně jámy. Tloušťku podezdívání projektant navrhl 600 mm.

Geologické poměry jsou v místě stavby poměrně náročné. Pro účely stavby byl proveden ve dvou etapách velmi podrobný a kvalitní inženýrskogeologický průzkum (*GEO Konsorcium*). Skalní podloží ve větší části staveniště a jeho okolí kopíruje v hloubce přibližně 3 metry povrch svahu Parukářky. To znamená, že v místě opěrné zdi je toto rozhraní dva metry nad úrovní, ze které byly zahajovány výkopové práce. Směrem k severozápadu skalní podloží výrazně upadá, takže jeho povrch je v tomto koutě stavební jámy v úrovni dna jámy. Samotné skalní podloží je tvořeno dobrotivskými břidlicemi (sklon vrstev směrem pod opěrnou zeď), postiženými výrazným zvětřováním. V patě zdi jsme dokumentovali výchoz zvětřalé horniny tř. R5 až R4. Pokryvné vrstvy tvoří především mocná poloha písku (v jihozápadní části), v horní části přecházející do písčitých hlín. Podzemní voda nebyla průzkumem zastižena.

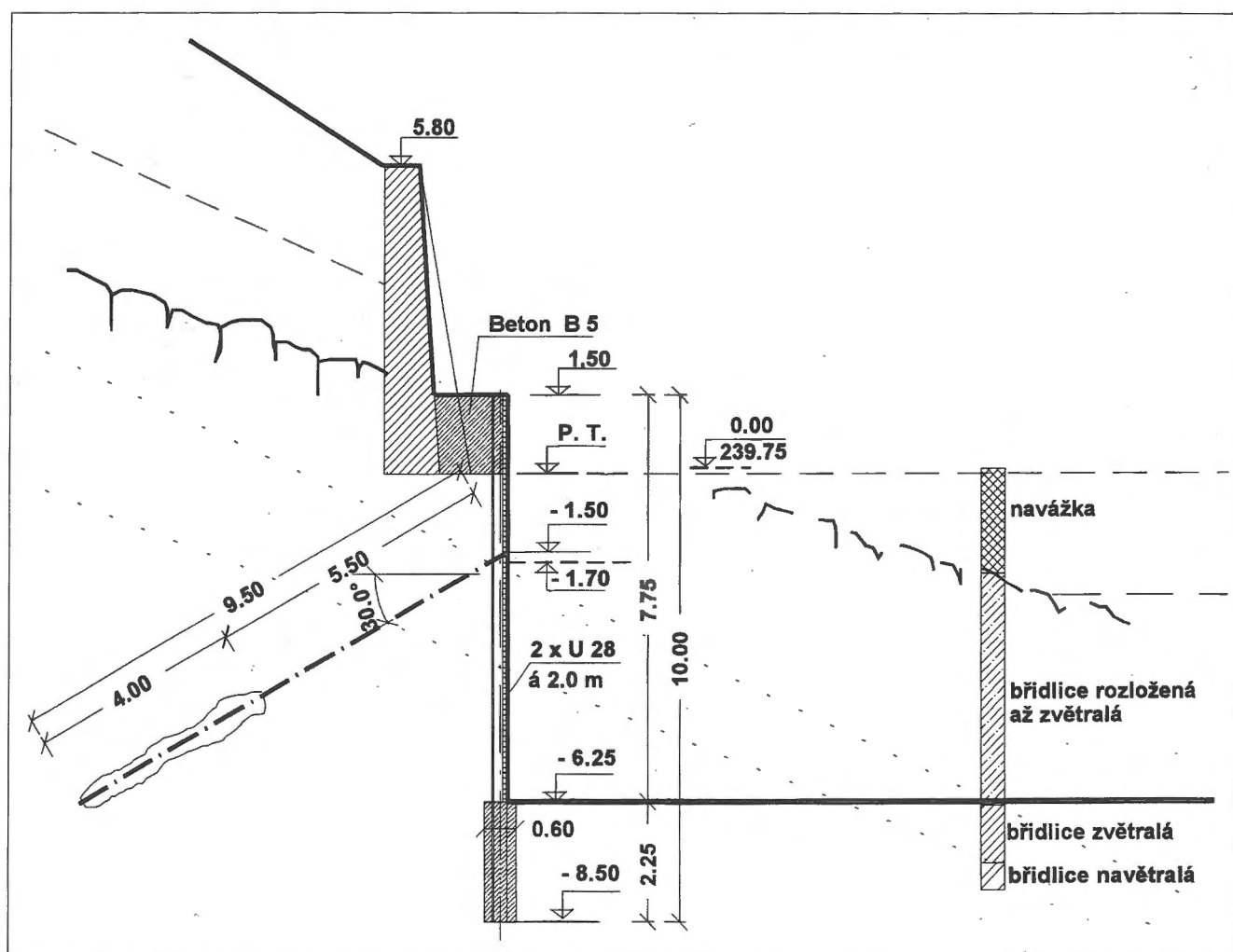
Firma *TERRACON a.s.*, jeden z účastníků soutěže, vyzvala naši kancelář k posouzení předložených podkladů a případné vypracování alternativního návrhu. Věděli jsme, že nestačí jen provést revizi původního projektu. Bylo nutno zvolit zcela nový pohled na problematiku zajištění stavební jámy. Poskytnutými podklady navrhované hřebíkování je v případě kvalitního návrhu moderní a velmi levnou technologií, které mohou jiné způsoby zajišťování výkopů jen ztěžít konkurovat. Je to ale technologie vhodná pro rozsáhlé stavby, kde lze účelně rozvinout cyklus hřebíkování – stříkaný beton – zemní práce.

Po úvaze jsme se rozhodli, přes existenci obtížně vratelného skalního podloží pod patou opěrné zdi, navrhnout na třech stranách jámy berlínské pažení, kotvené v jedné úrovni. Opěrná zeď (*obr. 1*) přitom měla také být kotvena jednou řadou předepjatých kotev, vedených přes výztužná žebra zdi. Vzdálenost zápor berlínského pažení na jižní a východní straně by byla závislá na vzdálenosti ztužujících žebor opěrné zdi. Samotná opěrná zeď byla ve vztahu k pažení uvažována ve výpočtu jako plošné přitížení za rubem opěrné zdi. Na straně severní – podél Jeseniovy ulice – jsme navrhli záporu s osovou vzdáleností 2,1 m, přičemž přitížení provozem v ulici a předpokládaným osazením věžového jeřábu bylo opět modelováno náhradním plošným zatížením. Prostor mezi záporami jsme navrhli pažit dřevěnými trámkami. Každá zápora na každé ze tří stran jámy by byla kotvená jednou předepjatou kotvou z tří lan LA 15,5 (1620 MPa) s opakovaně injektovaným kořenem. Sklon kotev jsme navrhli 30° od vodorovné. Spolupůsobení kotev se záporami z dvojice U28 bylo navrženo tak, aby kotevní hlavy nevystupovaly do jámy. Kotvy procházejí mezerou mezi záporami a hlavy kotev jsou "utopeny" v této mezeře. Na straně Forty jsme přehodnotili původní návrh – zavrhli jsme rozdělení každého záběru na tři části, které by vedlo k výrazně vyššímu sedání podezdívané štítové stěny v důsledku nutnosti trojnásobné aktivace základové spáry. Podezdívání jsme nahradili podbetonováváním tloušťky 0,5 m po záběrech šířky přibližně 1,2 m, přičemž by byl celý záběr betonován zásadně najednou.

První i druhý mezní stav pažicí konstrukce – berlínské stěny – jsme posuzovali metodou závislých tlaků. Statické schéma vyplývá z výše uvedených odstavců. Ve výpočtu byl zohledněn postup výstavby, tedy provedení zápor a odtěžení na úroveň kotvení současně s pažením prostoru mezi záporami, osazení a po technologické přestávce napnutí kotev a jako poslední dotěžení stavební jámy až na projektovanou hloubku – opět s osazováním a aktivací pažin. Smykové parametry zemin a hornin byly modelovány použitím náhradního úhlu vnitřního tření se zanedbáním soudržnosti. Do výpočtu jsme tyto náhradní smykové parametry zohlednili zavedením horní hranice úhlu vnitřního tření $\varphi = 39^\circ$ (podle čl. 100 ČSN 73 0037), což vede k zavedení spodní hranice součinitele aktivního zemního tlaku $K_{a,min} = 0,2$. Tato úvaha byla podepřena příznivým sklonem vrstev skalního podloží, které směřovaly do svahu.

Pro takto navrhované pažení jsme jako podklad pro *TERRACON* vydali výkaz výměr a podrobný popis řešení včetně statického výpočtu. Nabídková cena byla zcela srovnatelná s nabídkami konkurenčních firem, které většinou jen ocenily původní řešení. Zajímavá pro objednatel byla především doba provádění, a tak byla nabídka *TERRACONU* vybrána jako celkově nejvhodnější.

Další postup byl velmi rychlý – během několika dnů mezi rozhodnutím o dodavateli a zahájením prací byl vypracován projekt. Oproti nabídce jsme vypustili předepjaté kotvy stávající zdi – svislá složka kotevní síly by zvyšovala plošné zatížení za rubem



Obr. 1 – Řez pažící konstrukcí v patě stávající opěrné zdi / Sheeting structure at the foot of the existing retaining wall

pažení. Tyto kotvy byly nahrazeny "vytažením" zápor přibližně 1,5 m nad úroveň pracovní plošiny a zabetonováním prostoru mezi lícem zdi a záporovým pažením, aby byla stabilizována pata opěrné zdi a minimalizovány její vodorovné pohyby.

Pro vrtání v obtížném vrtatelném navětralém skalním podloží nasadil TERRACON soupravu SOILMEC R12. Při osazování zápor se důsledně dbalo na jejich přesnou polohu – jak půdorysným umístěním, tak snahou o minimální odchylku od svislice. Po osazení byly zápor zabetonovány v patě a byly pečlivě obsypány zemínou. U "vytažených" zápor byly také osazeny pažiny a prostor mezi nimi a opěrnou zdí byl zabetonován. Ihned po osazení poslední, třicáté sedmé, zápor, tj. po zhruba osmi dnech, se začalo s těžením na úroveň pracovní plošiny pro kotvení zápor. Současně se zemními pracemi byla pažena dřevěnými pažinami zemina mezi záporami. Rub pažin byl důsledně a velmi pečlivě zasypáván, aby se minimalizovaly následné deformace zápor při napínání kotev.

Jak již bylo uvedeno, použily se třípramenné dočasné kotvy se zainjektovaným kořenem. Předpětí do kotev (síla 320 kN, zkoušky na 1,4 násobek této síly) se vnašelo přibližně šest dnů po dokončení injektáží. Kořen většiny kotev byl injektován jednou, jen u kotev podél Jeseniovy ulice se kořeny reinjektovaly, protože nebylo dosaženo skalního podloží a kořeny byly ve vrstvě písčitého zemin. V této části pažení nastaly problémy s časovou koordinací realizace inženýrských sítí, která nebyla v původním projektu řešena. Objednatel totiž nečekaně a neohlášeně zahájil provádění hluboko uložené přípojky kanalizace, takže došlo k rozvolnění zeminy v okolí bezprostředně sousedících kotev. Ty pak nebylo možno napnout na projektovanou sílu a zápor se musely doplnit dodatečnou ocelovou převázkou v rubu kořuny stěny.

Dále již práce pokračovaly bez problémů. Pouze v jedné části bylo podbetonováno z důvodu lokálního zhoršení geologických poměrů doplněno několika šikmými mikrozáporami s tahovými mikropilotami. Byly provedeny tak, aby bylo zajištěno jejich spolupůsobení a nezasahovaly při tom vně obrysu základů Forty.

Smlouvou stanovená doba provádění – necelých 6 týdnů – byla po dohodě s objednatelem prodloužena o několik dní – kvůli nutnosti dodatečného provedení mikrozápor a mikropilot a především kvůli pomalejšímu postupu zemních prací, které prováděl jiný subdodavatel Průmstavu.

V průběhu realizace stavební jámy se průběžně měřily deformace stávající stěny, Forty i pažících konstrukcí. Změřené deformace byly v rozsahu přesnosti měření. Pažících konstrukce, přes dominantní hmotu původní opěrné zdi a subtilnost použitých prvků, působí velice kompaktním dojmem.

Výsledek nás přesvědčil o tom, že i v náročných podmínkách časových, geologických i prostorových je možno dosáhnout díky profesionálnímu přístupu velmi kvalitního díla.

Investor:	Průmstav s.r.o.
Dodavatel:	Průmstav s.r.o.
Projektant:	Architecture Coza
Dodavatel zajištění stavební jámy:	Terracon a.s.
Projektant zajištění stavební jámy:	Čeněk a Ježek s.r.o.
Cena zajištění stavební jámy:	cca 2,7 mil. Kč

Ing. Vojtěch Ježek, Čeněk a Ježek spol. s r.o., Šlikova 29, 169 00 Praha 6, tel. 02-312 17 45, 312 12 59