

BETON MONOLITICKÝCH PODZEMNÍCH STĚN A VRTANÝCH PILOT

CONCRETE OF THE MONOLITHIC UNDERGROUND WALLS AND BORED PILES

BOHUMIL HORKÝ, ALOIS KOUBA, MICHAL ŠTEVULA

Monolitické podzemní stěny a vrtané piloty jsou konstrukce speciálního zakládání staveb. Jejich návrh a provádění se řídí ČSN EN 1536 a ČSN EN 1538. Beton ukládaný do těchto konstrukcí pomocí betonážních rour pod hladinu pažící kapaliny musí zajistit požadovanou spolehlivost a funkčnost objektů a proto jeho vlastnosti musí být podrobně předepsány.

Cast-in-situ diaphragm walls and bored piles are parts of special building foundation. Their design and execution is managed by ČSN EN 1536 and ČSN EN 1538. Concrete placed to these constructions with help of concreting pipes under a slurry surface has to assure required reliability and functionality of objects and that is why its specification has to be prescribed in detail.

Úvod

Pro většinu stavebních konstrukcí je v současné době požadován beton ve své nejrozšířenější podobě – transportbeton. Jeho vlastnosti vycházejí z výroby na betonárně a zajištění přepravy na stavbu pomocí automixů. Přesto se pro speciální podmínky a požadavky postupně rozvíjí použití i jiných forem transportbetonu. Nedosahují sice v širším regionu tak vysokých objemů jako transportbeton, ale pro konkrétní stavbu či konstrukci mohou mít dominantní charakter. V těchto případech jsou rozhodně ekonomičtější, zajišťují dobré provedení i provádění a většinou ve svých důsledcích mají i menší ekologické dopady. Jedním z příkladů konstrukcí s uplatněním speciálních transportbetonů jsou monolitické podzemní stěny a vrtané piloty. Beton je ukládán betonážními rourami pod hladinu pažící kapaliny (bentonitová suspenze, polymerový roztok apod.). Provádění i zajištění funkčnosti a požadované spolehlivosti těchto konstrukcí vyžaduje beton determinovaný jeho základními technickými parametry (vlastnostmi), technologickým řešením, zajištěním kontroly i odsouhlasením podrobných smluvních vztahů mezi výrob-

cem, odběratelem či zpracovatelem a ve své finální podobě hlavním dodavatelem či přímo budoucím uživatelem stavby [2,3]

Základní standardizační předpisy v této oblasti jsou ČSN EN 1536 (73 1031) Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty, ČSN EN 1538 (73 1061) Provádění speciálních geotechnických prací – Podzemní stěny a ČSN P ENV 206 (73 2403) Beton – Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení.

POŽADAVKY NA BETON

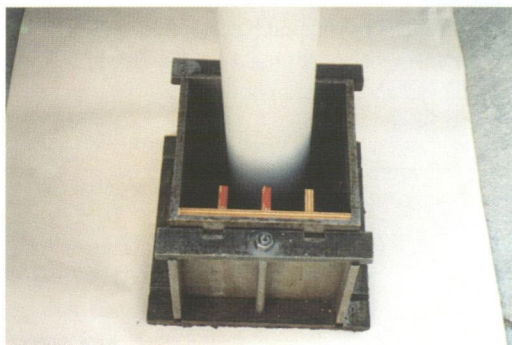
Beton podzemních stěn a vrtaných pilot betonovaných na místě betonážními rourami vyžaduje z důvodu vlastního provádění i funkčních parametrů zajištění následujících podmínek a vlastností:

- použití cementu v souladu s ČSN P ENV 206 (jeho minimální obsah je požadován na úrovni 375 kgm^{-3});
- omezení největšího zrna kameniva na 22 mm (přednost se dává těžené vícefракční skladbě, ale hrubé kamenivo drcené není absolutní překážkou realizace);
- obsah prachových částic (včetně cementu, příměsí a jemných částic kameniva) se pohybuje v rozmezí 400 až 550 kgm^{-3} v závislosti na největším zmu kameniva;
- vodní součinitel by neměl překročit hodnotu 0,5, norma uvažuje i 0,6 (samozřejmě při použití příměsí je třeba uvedený parametr stanovit individuálně, konkrétní použitý vodní součinitel vždy souvisí s požadovanou konzistencí betonu);
- konzistence betonu stanovená sednutím kužele je zásadně určená pro bezprostřední betonáž a má mít vyšší hodnotu než 160 mm, raději v rozmezí 180 až 210 mm, tzn. stupeň S4, při posuzování pomocí průměru rozlité se jedná o stupeň F4;
- beton se při ukládání nesmí rozměšovat ani samovolně odlučovat záměšovou vodu, tzv. „krváčet“;
- k docílení potřebných vlastností betonu je povoleno použít přísady plastifikační, ztekucující a omezující tuhnutí cementu, uplatnění provzdušňující přísady je zakázáno;
- třída betonu je navrhována C20/25, eventuálně C25/30;
- stupeň odolnosti proti agresivitě se uvažuje 5a, případně 5b, pro vyšší stupeň je třeba použít jiné konstrukční řešení;
- s předchozím parametrem souvisí i otázka vodotěsnosti, její hodnoty se pohybují ve stupních V4 až V8 (označení pochází z ČSN 73 1209).

V konkrétním případě speciálních či extrémních vnějších podmínek je třeba počítat s přísnějšími kritérii, než byla stanovena.

Obr. 1 Detailní uspořádání pokusů

Fig. 1 Detail configuration of a trial



TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ

Základní technické a technologické požadavky na beton podzemních stěn a vrtaných pilot se navrhují a prokazují v příslušném návrhu. Jejich výčet je sestaven v předchozí kapitole. Tyto parametry jsou pro běžné podmínky realizace, nemohou proto řešit některé extrémní podmínky. Postup při zajištění jednotlivých požadovaných vlastností betonu je pak následující:

- cement se většinou používá s označením CEM II/B-S a III/A, třída 32,5 (další parametr např. R není sice pro tyto účely optimální, ale z důvodu jeho dodávek je možný), uvedená třída cementu potřebnou pevnost betonu zajišťuje;
- maximální zmo kameniva není problémem, uplatňuje se zde většinou na podkladě jeho dodávek na konkrétní betonámu hodnoty 16 či 22 mm (přednostně se používá těžené kamenivo s oblým zrnem);
- obsah prachových částic je většinou zajišťován cementem, ale při použití hrubého drceného kameniva se doporučuje aplikace příměsí jako popílku či mletého vápence (u popílku je třeba dát pozor na jeho chemické vlastnosti, ale hlavně na homogenitu dodávek);
- zajištění stupně konzistence S4 nebo F4 není sice problémem, ale zvýšený obsah záměsové vody by mohl negativně ovlivnit pevnost betonu, proto je uplatnění přísad velmi efektivní;
- rozměšování a odlučování záměsové vody se řeší kombinací příměsí a přísad;
- výběr a uplatnění přísad jsou jednoznačně dány normou;
- požadovaná třída betonu je zaručena běžnými dávkami cementu;
- stupeň odolnosti proti agresivitě v běžných podmínkách je zaručen typem cementu a následnou vlastností (vodotěsností).

K ověření vhodného složení betonu je vhodné experimentálně modelovat jeho prováděcí podmínky. Jako příklad experimentálního modelování byl proveden pokus (obr. 1). Uspořádání modelu může být i jiné, např. podle [4, 5, 6]. V rámci širšího experimentálního programu byly v reálných podmínkách provedeny a ověřeny dva návrhy betonu:

- L představuje úspěšné řešení,
- R dokumentuje neúspěšné řešení (sklon k rozměšování).

Jejich základní technologické údaje jsou přehledně sestaveny v tabulce.

PROVÁDĚNÍ

Technologie speciálního zakládání lze charakterizovat tím, že nosné i pažící konstrukce jsou vytvářeny z povrchu stávajícího terénu, pod jeho úrovní, tedy v rýhách a vrtech. Tyto rýhy a vrtky musí být při svém hloubení a do doby jejich vyplnění výplňovým materiálem (betonem) zajištěny proti vypadávání hominového materiálu ze stěn a proti ztrátě stability a tvaru. Proto hloubení rýh probíhá pod ochranou pažící suspenze a vrtky pro



Obr. 2 Měření sednutí kužele (>220 mm – R)

Fig. 2 Measuring of cone setting (>220 mm – R)

piloty je možno pažit buď pažící suspenzí nebo ocelovými pažnicemi. Čerstvý beton je tedy ukládán pod úroveň terénu a pod hladinu pažící suspenze, vody nebo do ocelových pažnic.

Vlastní betonáži předchází výběr betonámy a určení skladby betonu na základě materiálů, které jsou na betonárně k dispozici. Betonárna, která bude dodávat beton pro podzemní stěny nebo piloty, musí být certifikována, schválena objednatelem stavby a musí zaručit schopnost plynulé dodávky betonu po dobu betonáže jednoho základového prvku. Skladbu betonu požadovaných parametrů z materiálů, které jsou na betonárně k dispozici, je nutno ověřit průkazní zkouškou. Dokladování dodávek betonu betonárou musí být dle požadavků normy ČSN P ENV 206 na dodacích listech vyplněných ve všech rubrikách. Protože se jedná o tekutý beton, je nutné, aby automatic po celou dobu jízdy na stavbu a i při čekání na stavbě neustále otáčel bubnem v nízkých otáčkách, aby nedošlo k rozvrstvení betonu v bubnu. Přejímku každé dodávky betonu na stavbě provádí mistr dle dodacího listu a kvalitu betonu ověřuje zkouškou konzistence směsi a vizuálně, zašterkování apod.). Nevyhovuje-li dodaný beton smluveným požadavkům a specifikaci

Tab. Základní technologické údaje

Tab. Basic technology dates

Označení pokusu	L	R
Třída betonu	C25/30-V8	C25/30-V8
Hrubé kamenivo	drcené	předdrcené
Horní mez hrubého kameniva [mm]	16	22
Použitý cement	CEM III/A, 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Obsah popílku [kgm ⁻³]	40	–
Obsah jemných částic [kgm ⁻³]	465	420
Obsah zm kameniva < 4 mm [%]	54,7	46,9
Vodní součinitel	0,48	0,52
Sednutí kužele [mm]	200	větší než 220 (sklon k rozměšování)
Krychelpevnost v tlaku za 28 dnů [Nmm ⁻²]	32,9	43,8
Stupeň vodotěsnosti V8 – prům.max. průtok [mm]	15	33

Obr. 3 Výborný povrch betonu po částečném odstranění vloženého přípravku (L)

Fig. 3 Precious concrete surface after partial removing of inserted preparation (L)



dle projektu, nesmí být do základového prvku uložen a musí být vrácen betonárně.

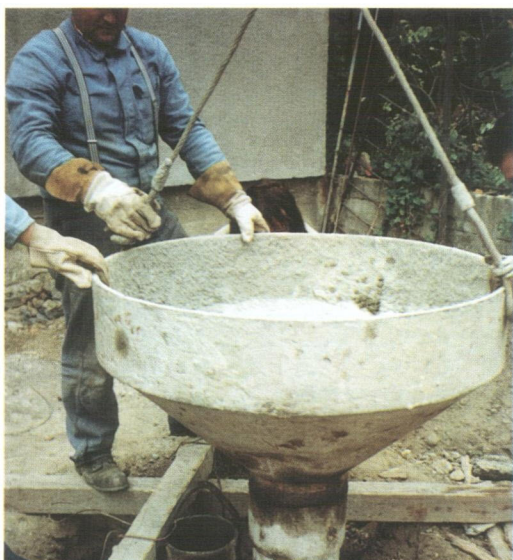
Nejčastějším problémem dodávek betonu na stavbu je jeho konzistence. Pokud je konzistence dodaného betonu nižší maximálně o 20 mm, je možno jí doladit na stavbě přidáním plastifikační přísady přímo do automixu a dokonalým promísáním. Tuto úpravu lze provést pouze po dohodě s technologem betonárny, a to stejnou přísadou jaká byla použita na betonárně a v maximálním množství určeném technologem betonárny. Úpravu konzistence betonu na stavbě lze provést pouze pod přímým řízením a dozorem technika stavby a záznam o ní se provádí do dodacího listu. Zásadou je, že pro úpravu konzistence betonu na stavbě nesmí být nikdy použita voda.

Technologie betonáže je založena na systému dopravy betonu samospádem kolonou betonářských ocelových rour osazených až na počvu rýhy nebo vrtu a v průběhu betonáže udržovaných trvale minimálně 2 m pod hladinou betonu v rýze nebo vrtu. Požadavky na vlastnosti betonu, které byly uvedeny v předchozích odstavcích, tedy vycházejí z požadavku bezproblémové dopravy betonu na místo uložení – beton musí být tekutý, stabilní, o určitém maximálním zmu kameniva apod., a z požadavku na jeho hutné uložení bez možnosti následného zpracování.

Beton se do kolony betonářských rour dopravuje přes násypku přímo z automixu. Před každou betoná-

Obr. 4 Betonářské roury s násypkou osazené do vrtu

Fig. 4 Concreting pipes with a hopper fitted to a borehole



ží je nutno učinit taková opatření, aby se čerstvý beton nesmísil v rourách s pažící suspenzí, případně vodou. Důležitá je stabilita čerstvého betonu, která musí zabránit jeho rozmíslení při dopravě kolonou betonářských rour a na místě uložení.

Rýha, případně vrt se tedy betonem vyplňuje odspodu nahoru až na projektem určenou kótu. Požadavek správného vyplnění rýhy nebo vrtu betonem souvisí s plynulostí jednotlivých dodávek. Je nutné, aby betonáž každého prvku probíhala plynule – obvykle rychlostí 8 až 12 m³ za hodinu. Mezi jednotlivými dodávkami betonu automixy nesmí být časová prodleva větší než 30 minut a platí zásada, že jeden prvek (lamela podzemní stěny, vrt) musí být zabetonován v čase kratším, než je počátek tuhnutí betonu z prvé dodávky uložené do prvku.

Dojde-li z objektivních příčin (porucha betonárny, dopravního prostředku apod.) k překročení uvedených intervalů a přerušení dodávek betonu, musí betonárna tento stav bezodkladně ohlásit a stavba učiní poměrně nákladná ochranná opatření. Pokud se doba přerušení dodávky betonu přiblíží době počátku jeho tuhnutí, musí být kolona betonovacích rour z betonu vytažena a dojde tak k přerušení betonáže prvku. Tím v nosném, staticky namáhaném prvku vznikne pracovní spára, kterou nelze zajistit dokonale proti sedimentaci částic z pažící suspenze (písek, jíla), ani ji přímo ošetřit před znovuzahájením betonáže při obnovení dodávek betonu (nachází se několik metrů pod terénem). Při provrtávání takovýchto spár vzniklých přerušením dodávek betonu a vytažením kolony rour z betonu byly jádrovými vrty ověřeny až 200 mm silné jílovitopísčité sedimenty, které přerušovaly souvislost betonu podzemní stěny nebo piloty. V každém případě přerušené betonáže musí technici stavby dokonale zdokumentovat veškerá opatření, zaznamenat hloubku, ve které k přerušení dodávek došlo, a čas, po který byly dodávky přerušeny. Nápravná opatření pak určuje projektant, jehož výsledným rozhodnutím je obvykle zhotovení náhradního prvku, což je ta nejnákladnější varianta nápravy.

Technologický postup betonáže pod jílovou pažící suspenzí lze shrnout do následujících kroků:

- dohloubení rýhy nebo vrtu na projektovanou hloubku a jeho přečištění;
- kontrola kvality pažící suspenze, její mechanické přečištění od rozvrtané hominy na čističce, případně její výměna za suspenzi vyhovujících parametrů;
- osazení armokoše prvku, který bude betonován;
- osazení kolony betonářských rour, které musí zasahovat až na počvu betonovaného prvku (obr. 4);
- zahájení betonáže a její plynulé provedení 300 až 500 mm nad projektem určenou kótu čistého betonu;
- pokud beton dosahuje až k pracovní rovině, pak odebrání betonu znehodnoceného stykem s pažící suspenzí (300 až 500 mm) a hrubé urovnání jeho povrchu do roviny;
- pokud povrch betonu není dosažitelný, pak se vrstva znehodnoceného betonu odbourává šramováním po jejím odhalení výkopem.

Technologický postup betonáže základového prvku paženého ocelovými pažnicemi je zcela obdobný, pouze s tím rozdílem, že odpadá manipulace s pažící suspenzí, ale naopak přibývá manipulace s pažnicemi v průběhu betonáže a po betonáži. Ocelové pažnice se musí v průběhu betonáže zkracovat, odebírat a po betonáži zcela vytěžit z vrtu. Nadbetonování při ukončení betonáže musí tedy pokrýt i pokles hladiny betonu ve vrtu po vytažení pažnic.

Kontrola a dokladování betonáže základového prvku spočívá z těchto úkonů:

- vstupní kontrola betonu provedená mistrem stavby dle dodacího listu a zkouškou sednutí kužele;
- mezioperační kontroly průběhu betonáže spočívající ve sledu časů dojezdu automixů, množství dodaného betonu, pohybu hladiny betonu v rýze nebo vrtu po spotřebě určitého objemu betonu, které provádí vedoucí betonář a mistr stavby;
- výstupní kontroly betonu spočívající v odběru kontrolních vzorků betonu pro zkoušky pevnosti v tlaku a vodotěsnosti v určené četnosti a kontrola konečné úpravy odtěžených částí prvků, kterou zajišťují technici stavby.

V průběhu betonáže vede vedoucí betonář záznam o průběhu betonáže na formuláři „Hlášení o betonáži“, který je podkladem pro hodnocení průběhu betonáže a kvality základového prvku.

PŘÍKLADY REALIZACE

Bouřlivý rozvoj metod speciálního zakládání staveb, mezi které patří i podzemní stěny a vrtané piloty v České republice se datuje od roku 1967, v souvislosti se zahájením stavebních prací na metru v Praze. Hluboké výkopy a stavební jámy tras a stanic vyžadovaly masivní pažící i konstrukční základové prvky, kterými byly právě podzemní stěny a piloty. Použití těchto metod zakládání se rychle rozšířilo i do oblasti občanské a průmyslové výstavby i pro rekonstrukce a statické zajištění stávajících i historických objektů. Specializovaný podnik Zakládání staveb, a.s., od doby svého vzniku rozšířil nabídku technologií speciálního zakládání a uplatňuje je ve vhodných kombinacích na významných stavbách v tuzemsku i v zahraničí.

Jako příklady použití podzemních stěn a vrtaných pilot v poslední době mohou sloužit tyto stavby:

- konstrukční podzemní stěny podzemních garáží na Palachově náměstí v Praze;
- konstrukční podzemní stěny podzemních garáží na Prokopově náměstí v Ostravě;
- podzemní stěny pro zajištění stavební jámy objektu Myslbek v Praze;
- stavební jáma a založení hotelu Four Seasons v Praze v bezprostřední blízkosti Vltavy;
- jámy a suchý dok pro trasu metra IV.C1 v Holešovicích a Troji;
- rekonstrukce a nové objekty Slovanského domu v Praze;

- hlubinné založení mostů na dálničních trasách D5 a D8;
- hlubinné založení na pilotách objektů pro továrnu Philips v Hranicích na Moravě;
- hlubinné založení obchodních center v Ústí nad Labem, Mladé Boleslavi, Praze, Hradci Králové aj.

Mezi prestižní stavby podniku patří mimo jiné i rekonstrukce a založení novostavby Národního divadla, rekonstrukce nábřeží B. Smetany, rekonstrukce Stavovského divadla a mnoho dalších, které za svůj úspěch vděčí úzké spolupráci a vzájemnému pochopení mezi stavbou a betonářskou a samozřejmě kvalitě dodaného betonu, jehož vlastnosti odpovídaly kladebním požadavkům.

ZÁVĚR

Návrh betonu podzemních stěn i vrtaných pilot se musí experimentálně ověřovat pro konkrétní podmínky stavby i betonáry, pro použitý systém provádění i pro kontrolní činnost v rozsahu odsouhlaseném mezi objednatelem a zhotovitelem. Výkony zhotovitele i betonáry musí vést k zajištění požadované kvality základových konstrukcí, dodržení všech jejich projektovaných parametrů a tím i k požadované spolehlivosti budoucí stavby. Pro úspěšné realizace základových konstrukcí je tedy nutná velmi úzká spolupráce mezi betonářskou a zpracovatelem betonu.

Literatura:

- [1] Horký B.: Možnosti technologie betonu při snižování energetických a ekologických dopadů jeho výroby. In: Možnosti technologie betonu pro snižování energetických a ekologických dopadů jeho výroby. Praha, 1995, ČVUT Kloknerův ústav, s. 40-49.
- [2] Verfel J.: Injektování hliny a výstavba podzemních stěn. Bradlo 1992.
- [3] Majdúch D., Aninger K.: Opomné múry a podzemné steny, Alfa, 1982.
- [4] Hošek J., Kolář K.: Samozhutnitelný beton. Beton a zdivo, 2000, č. 2, s. 18-23.
- [5] Hmčiar L., Zvara J.: Prečo samozhutňujúci betón. Inžinierske stavby, 2000 s. 128-134.
- [6] Bartoš P. J. M., Vítek J. L.: Samozhutnitelný beton. Beton TKS, 2001, č. 1, s. 28-31.

Ing. Bohumil Horký, CSc.

ČVUT Kloknerův ústav

tel.: 02 2435 3545

Ing. Alois Kouba

Zakládání staveb, a.s.

tel.: 02 4400 4241, e-mail: technolog@zakladani.cz

Ing. Michal Števíla

Svaz výrobců betonu ČR

tel.: 02 6121 5769, e-mail: svb@svb.cz