

**Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Ústav geotechniky**

Ing. Jan Masopust, CSc.

V R T A N É P I L O T Y

Teze habilitační práce

Brno 1999

ISBN 80-214-1138-4

Obsah

Představení autora	4
1. Úvod	5
2. Faktory ovlivňující návrh vrtaných pilot	8
2.1 Faktory přírodní	9
2.2 Faktory technologické	9
2.3 Faktory dispoziční	10
3. Únosnost osamělých svisle zatížených vrtaných pilot	11
3.1 Metody zjišťování únosnosti	11
3.2 Interakce piloty a základové půdy	12
3.3 Sedání vrtaných pilot	12
3.4 Výpočet únosnosti svislých osamělých pilot podle 2. skupiny mezních stavů	13
4. Únosnost vrtaných vodorovně zatížených pilot	13
5. Skupiny pilot	14
6. Pilotové a záporové stěny	14
7. Technologie provádění vrtaných pilot	14
8. Konstrukční zásady při navrhování vrtaných pilot	15
9. Závěr	16
10. Použitá literatura	17
11. Abstract	20

Představení autora

Ing. Jan Masopust, CSc.

Narozen 29. 1. 1946 ve Dvoře Králové n. L. ČVUT Fakultu stavební Praha, obor inženýrské konstrukce a dopravní stavby, specializaci geotechnika absolvoval v roce 1969. Během studia prodělal půlroční stáž na Norském geotechnickém institutu v Oslo. Od r. 1970 do r. 1980 pracoval v n. p. Geindustria Praha, stř. Hradec Králové jako geotechnik – statik. V letech 1980–1985 v n. p. Geindustria závod Praha jako vedoucí projekce. V letech 1985–1992 byl zaměstnán ve firmě Tiefbohr GmbH Marktredwitz, SRN jako statik. V letech 1992–1995 pracoval v a. s. Geindustria Praha jako obchodně-technický ředitel. Od roku 1995 je zaměstnán jako statik – specialista u a. s. Zakládání staveb Praha. Od r. 1998 působí jako odborný asistent na poloviční úvazek na VUT v Brně, Ústav geotechniky, kde přednáší předměty Zakládání staveb a Speciální zakládání staveb. Je autorizovaným inženýrem v oboru geotechnika a od r. 1999 předsedou zkušební komise pro udělování autorizací v oboru geotechnika. Od r. 1984 je soudním znalcem v geotechnickém oboru. Za Českou republiku je členem evropské normalizační komise CEN/TC 288. V průběhu své praxe zúčastnil se projekce a provádění mnoha významných staveb v České republice, na Slovensku a v SRN. Publikoval několik desítek odborných příspěvků v časopisech a při příležitosti různých konferencí jak u nás, tak i v zahraničí. Vytvořil metodiku výpočtu únosnosti vrtaných pilot, jež je součástí normy ČSN 73 1002 a jež je nejpoužívanější metodou u nás.

1. Úvod

Předložená monografie: Vrtané piloty shromažďuje především domácí poznatky z teorie a praxe zakládání staveb na vrtaných pilotách, které jsou nejrozšířenějšími prvky hlubinného zakládání staveb v České republice. Kniha zahrnuje zčásti i poznatky s hlubinným zakládáním staveb v SRN, kde autor několik let pracoval jako statik a geotechnik. Monografie nemá za cíl shrnout vyčerpávajícím způsobem veškeré vědecké poznatky o vrtaných pilotách, nýbrž je spíše praktickou příručkou pro projektanty, výrobce pilot a investory. Současně je též využívána jako doplňková vysokoškolská učebnice pro studenty speciálního zaměření geotechnika na vysokých školách v České a Slovenské republice. Monografie je přepracovaným vydáním knihy: Masopust, Mühl: Velkopřůměrové vrtané piloty, SNTL Praha, 1990 (316 s.), kde uchazeč měl podíl 92 % na jejím textu a kterou recenzoval Doc. Ing. J. Feda, DrSc. Tato kniha byla okamžitě rozebrána a v souvislosti s likvidací SNTL nebylo již možné pořídit další vydání. Na rozdíl od této původní knihy byla zcela vypuštěna kapitola týkající se strojů a zařízení pro výrobu vrtaných pilot (jejímž autorem byl Ing. P. Mühl, CSc.), neboť u nás již existuje značné množství firemní literatury a prospektů od výrobců těchto zařízení a veškeré potřebné technické a cenové údaje jsou již snadno dostupné. Navíc výrobci těchto zařízení přicházejí každoročně na trh s novinkami, které by stejně nebylo možné zachytit.

Kniha Vrtané piloty je doplněna programovým vybavením týkajícím se veškerých potřebných statických výpočtů v oblasti zakládání staveb na vrtaných pilotách a dále pilotových a záporových stěn. V průběhu posledních 5ti let se jasně prokázalo, že předložená metodika výpočtů pilotových základů je prakticky jako jediná používána v praxi veškerou odbornou veřejností v České republice.

Knihu recenzoval Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., jemuž autor děkuje za podnětné připomínky k textu. Vřelý dík patří dále Prof. Ing. Dr. Zdeňku Bažantovi, DrSc., který se významně zasloužil o rozvoj hlubinného zakládání staveb na vrtaných pilotách a jehož má autor čest považovat za svého učitele.

Zakládání staveb na pilotách představuje stále základní a nejrozšířenější metodu hlubinného zakládání průmyslových, obytných a inženýrských staveb. Z široké škály systémů a metod zakládání jsou vrtané piloty nejrozšířenější metodou u nás, což je dáno jejich relativní univerzálností z hlediska geotechnické rozmanitosti staveníšť, tak typické pro naše podmínky. Dalším důvodem je i jistá tradice, započatá v 60. letech, kdy bylo zahájeno vskutku masové nasazení této technologie zvláště pak pro bytové stavby panelové. První rozsáhlé nasazení vrtaných pilot souvisí s výstavbou pražského sídliště Prosek, kde existovala obava ze starého poddolování staveniště a vrtané piloty byly skupinou odborníků doporučeny jako nejvhodnější metoda zakládání z hlediska bezpečnosti staveb. V té době došlo též ke snížení objemu geologickoprůzkumných prací, takže byly najednou k dispozici vrtané soupravy, které s malými úpravami mohly provádět vrty pro piloty a průměru 400–800 mm. Jelikož se tato metoda velice osvědčila (jak pro svoji bezpečnost, tak i rychlost), byly vzápětí dovezeny první speciální vrtané soupravy (Callweld – USA, Terradrill – Velká Británie, Benoto – Francie) a nastal mohutný rozmach zakládání na vrtaných pilotách. Podle statistických údajů, představoval objem vrtaných pilot v 70. letech asi 15 % všech základů, přičemž v období prudkého nárůstu bytové výstavby se např. v Praze zakládalo až 45 % všech bytových domů na vrtaných pilotách a tento trend přetrvával až do konce let osmdesátých. V současné době je zakládání na vrtaných pilotách soustředěno především na stavby inženýrské.

Prakticky všechny významné mostní stavby jsou založeny na vrtaných pilotách, přičemž množství estakád zejména na severní Moravě je založeno systémem „pilota – sloup“, což bylo podmíněno nasazením vysoce výkonných vrtných souprav umožňujících provádět vrty profilu až 2,50 m. Tento značně progresivní způsob zakládání navrhl autor poprvé v naší republice v r. 1976 při zakládání estakády v Hořicích v P., kde most o 15 polích rozpětí 30 m s pilíři výšky až 16 m měl být původně zakládán na skupině vrtaných pilot spojených v hlavě mohutnou základovou patkou o hmotnosti asi 130 t. Podle nového návrhu byly však mostní pilíře skládající se vždy ze dvou kruhových sloupů založeny na vrtaných pilotách průměru 2,1 m bez jakékoliv spojovací konstrukce. Svislé zatížení v hlavách jednotlivých pilot dosahovalo 10,6 MN, kromě toho zde působila vodorovná síla a příslušný ohybový moment. Tento návrh vycházel z výsledků polních modelových zkoušek pilot prof. 1,22 m zatěžovaných max. silou 6,0 MN. Cena založení (vč. nákladů na zatěžovací zkoušky) činila pouze 30 % ceny původního návrhu založení a doba potřebná na realizaci se zkrátila o 2 měsíce (Masopust, 1976). Vrtané piloty však netvoří základy jen staveb mostních. Nalezly významné uplatnění i ve vodním stavitelství, kde s jejich pomocí byly realizovány říční přístavy na Dunaji ve Štúrovu a na Labi v Lovosicích a ve Štětí. Pilotové stěny z pilot průměru 1,22 m s ponechanými ocelovými pažnicemi tvoří přístavní zeď, která byla budována za normálního stavu vody v řece bez jímkování. Vrtané piloty se uplatňují při sanaci sesuvných území, kde tvoří významnou součást sanačních opatření. Příkladem může být 680 m dlouhá kotvená pilotová stěna při výstavbě silnice I/11 v Mostech u Jablunkova (Masopust, 1998). V současnosti se zvláště ve velkých městech zastavují proluky a budují se tzv. polyfunkční objekty, které mají vždy hluboké suterény. Přesto, že základová spára těchto objektů zasahuje většinou již do „únosného“ podloží, nacházejí i v těchto případech vrtané piloty své významné uplatnění. Jde především o tu skutečnost, že vrtané piloty jsou ideální pro přenos soustředěných zatížení pod sloupy skeletů, kdy by bylo třeba budovat dosti mohutné základové desky. Ukazuje se, že je daleko hospodárnější využít vrtaných pilot v kombinaci s tenkou deskou. Postupem doby byla též vyvinuta metoda vytváření kalichů v hlavách velkopřůměrových pilot, což umožňuje okamžitou následnou montáž železobetonových sloupů (Masopust, Masopustová, 1983). To je i v současné době nejrozšířenější metoda zakládání průmyslových objektů, tj. především hal prodejen, skladů a výrobních závodů.

Výzkum v oblasti teorie a návrhu vrtaných pilot u nás však z počátku zaostával ve srovnání s poměrně širokým uplatněním tohoto způsobu zakládání. Únosnost pilot se počítala pomocí klasických statických vzorců (např. dle ČSN 73 1002 z r.1968). Při srovnání s výsledky statických zatěžovacích zkoušek pilot, jichž se pochopitelně v té době realizovalo více než dnes, nebyly mnohdy výsledky výpočtů uspokojivé. Právě výzkum skutečného chování pilot pomocí statických zatěžovacích zkoušek, zvláště instrumentovaných, ukázal, jak podstatný vliv má na jejich chování technologie provádění v celém svém komplexu. Tak byla empirickou cestou stanovena, nebo alespoň ověřena základní pravidla pro provádění těchto pilot a kvalitativně byl stanoven podíl vlivů přírodních a technologických na chování piloty při zatížení. Tato pravidla se stala zprvu součástí technologických předpisů významných výrobců pilot a později též součástí normy ČSN 73 1004:Velkopřůměrové vrtané piloty (1981), jejímiž autory byl Bažant a Masopust. Jednalo se o první v Evropě schválenou státní normu, jež se ve výpočtové části snažila vystihnout mechanismus skutečného chování piloty. Tato norma byla později nahrazena přepracovanou normou ČSN 73 1002: Pilotové základy (1987), která má širší zaměření. K této normě vyšel komentář, jež obsahuje výpočetní postup stanovení mezní zatěžovací křivky vrtané piloty převzatý z normy ČSN 73 1004.

V letošním roce dokončil autor překlad evropské normy EN 1536: Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty, jež se stala obecně platnou normou v Evropském společenství. Tato norma bude od 1.10.1999 platit i u nás, neboť Česká republika se stala členem CEN/CENELEC. Autor se zúčastnil tvorby této normy, neboť je členem evropské technické komise TC 488, zabývající se normalizací v této oblasti

Tato evropská norma definuje vrtané piloty jako prvky hlubinného zakládání staveb, které jsou prováděny v zeminách vrtáním a těžením a které mají nosný dřík, jež přenáší zatížení a/nebo omezuje deformace. Vrtané piloty mohou mít průřez kruhový, nebo mohou být vytvořeny lamelami podzemních stěn za předpokladu, že je celý průřez lamely betonován najednou. Pokud se jedná o vrtané piloty s kruhovým průřezem, smí být jejich průměr v rozmezí 0,3 m až 3,0 m, přičemž jejich délka není nijak omezena. Piloty mohou mít po své délce průřez konstantní, nebo teleskopický, mohou mít rozšířenou patu a/nebo i dřík. Lamely podzemních stěn smějí mít největší průřez do 12,0 m², poměr stran nejvýše 6:1 a nejmenší tloušťku stěny 0,4 m. Mohou mít jednoduchý obdélníkový průřez, nebo i průřez složený, např. ve tvaru L, U, I, atd. Vrtané piloty mohou být svislé nebo i šikmé s maximálním sklonem 3:1.

Uplatnění vrtaných pilot v zakládání staveb je rozsáhlé, neboť je podmíněno především těmito faktory:

- vrtané piloty mají zpravidla **velkou únosnost** umožňující velmi často použít jako základ jednu pilotu, která nahrazuje skupinu pilot, přičemž tato jediná pilota vzdoruje zatížení svislou i vodorovnou silou i ohybovým momentům,
- zakládání staveb na vrtaných pilotách splňuje požadavek na **rychlost provádění**, kdy je odstraněna velká většina obtížných prací, při nichž bylo možné použít jen malou mechanizaci a nahrazuje se prací vysoce výkonných strojů, pro jejichž obsluhu stačí malý počet kvalifikovaných pracovníků,
- provádění vrtaných pilot a pilotových (či záporových) stěn bez použití pažicí jílové suspenze splňuje v největší možné míře též požadavek na **ochranu životního prostředí** na staveništích a v jejich okolí,
- vrtané piloty představují v podstatě **nejuniverzálnější** metodu hlubinného zakládání staveb z hlediska rozmanitosti geologické stavby území,
- rozvoj mechaniky zemin a též matematických numerických metod umožnil vybudovat **solidní teoretickou bázi** pro projektování a výpočty v této oblasti.

Za základní práce v tomto oboru považujeme práce Poulosovy a kol. (1968, 1969, 1972), Wittkeho a kol. (1974), Vesičovy (1964, 1965, 1975) a dalších. Jedná se především o teoretickou oblast založenou na základním výzkumu a aplikaci metody konečných prvků při modelování různých přírodních vlivů (vrstevnatost zemního prostředí, tuhost piloty, změny geometrie, konzolidace a pod.). Druhý směr zahrnoval polní zkoušky a to zejména statické zatěžovací zkoušky vrtaných pilot prováděných jak ve skutečném měřítku, tak i u pilot modelových. Podařilo se shromáždit výsledky více než dvou set těchto zkoušek, z nichž několik desítek bylo instrumentovaných (Masopust, 1978). Přesto, že výsledky byly různorodé a v některých případech byly poznamenány i chybami, vyplývajícími z nedostatku zkušeností s jejich prováděním, poskytly základní obraz o skutečném chování vrtaných pilot. Tyto zkoušky byly potom zpracovány statistickými metodami, přičemž za teoretický základ posloužila metoda teorie pružnosti (Masopust, 1978, 1980, 1981, Bažant a Masopust, 1978, 1981, Feda, 1981). Výzkum spočívající ve vyhodnocení instrumentovaných statických

zatěžovacích zkoušek vrtaných pilot považujeme za základní, neboť, jak bude níže uvedeno, zahrnuje v sobě a priori aspekty technologické, které lze matematicky ztěžší modelovat. Jasně se ukazuje, že technologie provádění vrtaných pilot má zcela zásadní vliv na jejich chování při zatížení. Přesto, že z hlediska kvalitativního dokážeme jednotlivé vlivy spolehlivě popsat, jejich kvantifikace je zatím omezena. Lze konstatovat, že technologické vlivy jsou hlavní brzdou rozvoje teoretické analýzy únosnosti vrtaných pilot, avšak naopak všechny teoretické analýzy, které k technologickým vlivům nepřihlížejí, je nutné brát s rezervou. Z tohoto hlediska se jako perspektivní jeví inženýrský přístup k dané problematice, který popisuje Feda (1977) a nazývá jej přístupem pragmatickým. Tato metoda je založena na zpětné analýze, kdy se odvozují určité mechanické parametry základové půdy, jež v sobě automaticky zahrnují i vlivy technologické, přičemž teoretickou bází tvoří jednoduchá a srozumitelná teorie pružnosti. Uvedená metodologie je vůdčí v celé předložené práci.

Vlastní monografie Vrtané piloty má 263 stran textu vč. obrázků a tabulek. Obsahuje Předmluvu, Úvod, 7 kapitol, Seznam použité literatury a Význam zkratk.

2. Faktory ovlivňující návrh vrtaných pilot

Vrtané piloty jsou typickým představitelem tzv. *replacement piles*, tedy pilot, při nichž se těží zemina z vrtu na rozdíl od tzv. *displacement piles*, u nichž nedochází k těžení zeminy z vrtu.

Při návrhu vrtaných pilot je třeba znát především geotechnický profil na staveništi, úroveň hladiny podzemní vody, její režim, proudění a její chemismus. Popisné i mechanické vlastnosti jednotlivých vrstev hornin je třeba znát do takové hloubky, kam zasahuje přetížení vyvolané pilotovým základem. Dále je třeba stanovit zatížení v úrovni hlav vrtaných pilot a požadavky na jejich přípustné deformace. Na základě těchto znalostí se volí taková technologie provádění vrtaných pilot, která by nejlépe řešila možnosti dosažení požadované délky a profilu piloty, otázku stability stěn vrtu během instalace piloty, tj. případnou nutnost pažení vrtu a to buď ocelovými pažnicemi, nebo pažící suspenzí. Při volbě technologie provádění je dále třeba zvážit možnost průchodu různými tzv. nevrtatelnými překážkami, což mohou být např. kusy betonu a jiného stavebního odpadu v navážkách a násypech, ale i balvany horniny v sutích, velké valouny v terasách řek a střídající se vrstvy hornin různé tvrdosti (např. ve flyšovém souvrství). Vrtáním a těžením se však základová půda porušuje jak ve stěnách, tak na dně vrtu, a tak dochází ke změně původních přírodních podmínek. Tak lze dokumentovat, že přírodní a technologické vlivy spolu úzce souvisejí. Vrtané piloty přenášejí do základové půdy síly osově i příčné a ohybové momenty. Přesto je mnohdy nutné, zvláště v případě velkých soustředěných zatížení např. u dopravních staveb, navrhnout větší počet pilot ve skupině. Tím vzniká problém vzájemného statického ovlivňování těchto skupinových pilot, tedy dispoziční vliv. I v tomto případě je však nutné přihlížet k technologii provádění a nelze např. piloty pro osově zatížení vrtat libovolně blízko, aby nedošlo k takovému porušení okolí vrtů, kdy by se např. jednotlivé piloty propojily a jejich statické působení by se stalo zcela nejasným.

Faktory ovlivňující návrh a chování vrtaných pilot lze tedy rozdělit do následujících tří skupin:

- přírodní,
- technologické,
- dispoziční.

2.1 Faktory přírodní

Přírodní podmínky na staveništi se zjišťují především metodami geotechnického průzkumu, mezi něž patří sondážní práce, především vrtné, laboratorní a polní zkoušky zemin, omezeně i různé geofyzikální metody. Neocenitelné jsou zejména přenesené zkušenosti ze sousedních lokalit, nebo výsledky starších geotechnických průzkumů ověřené skutečným chováním pilot na těchto staveništích. Jelikož sondování by mělo poskytnout obraz nejen o geotechnických poměrech podzákladí, ale též o vlastní technologii provádění, využívá se někdy tzv. technologických vrtů prováděných pilotážními soupravami. Základní požadavky na geotechnický průzkum obsahuje ČSN ENV 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla. Zvláštní požadavky obsahuje pak ČSN EN 1536: Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty.

Příslušná kapitola monografie se zabývá popisem jednotlivých metod geotechnického průzkumu, popisem mechanických vlastností a tříděním základových půd.

2.2 Faktory technologické

Technologické faktory jsou všechny vlivy, které souvisí s procesem instalace vrtané piloty. Patří sem tedy vlastní způsob vrtání pažených či nepažených vrtů, výztuž pilot, způsob a kvalita betonáže pilot, úprava jejich hlav, ale i změna původních mechanických vlastností zemin v okolí vrtu vlivem provádění pilot.

Při hloubení vrtů pro piloty se zemina v okolí vrtů většinou nezhutní, spíše se nakypří a poruší. Povrch vrtané piloty není tedy nikdy ideálně hladký, ani ideálně kruhový, resp. rovný. Vzniklé kaverny ve stěně vrtů způsobí na povrchu piloty různě velké výstupky a hrbolky, které činí dřík piloty nepravidelným a drsným a zvyšují tím přinejmenším účinnou plochu pláště piloty a tím i plášťovou únosnost, i když jistě i nosnost na ložných sparách těchto výstupků není zanedbatelná. Lze se tedy domnívat, že nepravidelný tvar dříku piloty působí ve prospěch její únosnosti, přestože otázka exaktního vystižení této skutečnosti spadá do metod pravděpodobnostních. Dále je zřejmé, že tvoření velkých kaveren je třeba zabránit nejen z důvodu hospodárnosti (velká spotřeba betonu), ale především proto, že dochází k nadměrnému nakypření a porušení zeminy, jež potom významně snižuje plášťové tření. To se v tomto případě neprojevuje v těsné blízkosti styku zeminy a betonu, ale poněkud dále po určité obalové ploše v silně nakypřené zemině. Tvoření malých kaveren, jemuž ostatně lze jen stěží zabránit, je vlastně ve prospěch únosnosti na plášti. Např. Combarieu (in Feda, 1977) srovnával plášťové tření pilot profilu 900 mm v překonzolidovaném jílu. Zjistil snížení tohoto tření o 20 % v případě pilot pažených zavrtávanými ocelovými pažnicemi, proti pilotám nepaženým. Při skutečném návrhu a provádění vrtaných pilot je však problém pažení či nepažení vrtů dán především striktním požadavkem na zaručení stability vrtu v celém procesu instalace piloty. V úvahu se rovněž bere hledisko rychlosti provádění. Otázka velikosti plášťového tření je s ohledem na výše popsané vlivy spíše důsledkem technologicky nutné metody provádění. V případě pažení jílovou suspenzí je třeba znát vliv této suspenze na únosnost piloty, tj. na únosnost pláště a paty piloty. Statické zatěžovací zkoušky prokázaly, že jsou-li dodržena jistá technologická pravidla (viz ČSN EN 1536), nemá jílová suspenze na únosnost pilot žádný zhoršující vliv (Masopust, 1978). Ke stejným závěrům došel i Reese a kol. (1973), který dokonce uvádí i jisté zvýšení plášťového tření ve štěrcích, což však opět nelze převzít obecně.

Rozhodující je tedy dodržet takový technologický postup výroby, při němž dojde během betonáže k dokonalému vytlačení suspenze z vrtu a k setření tzv. filtračního koláče ze dna a stěn vrtu. Vzhledem k časovému narůstání tloušťky filtračního koláče na stěnách vrtu, který vlastně vytváří mezi betonem piloty a okolní zeminou kluznou vrstvu o minimální smykové pevnosti je třeba, aby vrty pod suspenzí byly zabetonovány co nejdříve (ČSN EN 1536). K ochraně pilot v agresivním prostředí se používají folie z plastických hmot různé tloušťky. Pochman (1976) uvádí, že např. folie PE tl. 0,2 mm prakticky neovlivní průměrnou velikost plášťového tření, naopak odolnější folie z PVC tl. 0,8–1,1 mm sníží toto tření o 10–20 % (Masopust, 1978). K radikálnímu poklesu plášťového tření dochází v případě ponechaných ocelových pažnic ve vrtu (Masopust, 1981). Vliv drsnosti stěny vrtu na plášťové tření je tedy zcela prokazatelný.

Nakypření dna vrtu je značně nebezpečné především s ohledem na mechanismus zatlačování piloty. Při rotačně náběrovém způsobu vrtnání, který zcela převládá, zůstane na dně vrtu vždy určité množství nakypřené zeminy a často i napadávka, která vypadla z vrtného nástroje. Tuto nadměrnou napadávku je třeba před betonáží odstranit, což lze více či méně úspěšně provést pomocí tzv. čistících nástrojů. Kontrola tohoto čištění je však obtížně zajiřitelná v případě zvodnělých vrtů. Při hloubení vrtů pod ochranou jílové pažící suspenze je třeba dbát zejména na to, aby před betonáží byla suspenze vyčištěna od písku, který může zůstat ve vlnosu ve vazké kapalině. Nedojde-li před betonáží k přečištění suspenze nebo k její výměně, může v průběhu betonáže dojít ke vzniku pískových hnízd, které nejen že redukují profil dříku piloty, ale v podstatě znehodnocují beton, který se pro dané zatížení může stát neúnosným.

Technologie provádění vrtných pilot má tedy zcela zásadní vliv na jejich chování.

2.3 Faktory dispoziční

Dispozičními faktory rozumíme problém vzájemného ovlivňování pilot ve skupině. Z hlediska teorie pružnosti dochází teoreticky k ovlivňování všech pilot uložených v pružném kontinuu, prakticky je to významné tehdy, je-li osová vzdálenost pilot menší než 6.d (d = profil piloty). Skupina pilot je vždy v hlavě spojena patkou, pasem, či deskou, jejíž tuhost, resp. tuhost systému piloty – spojovací konstrukce má vliv na chování tohoto systému. Máme ovšem na mysli především záležitosti deformační, neboť únosnost, resp. 1. mezní stav vesměs nerozhoduje. Teoretická analýza skupinového vlivu vychází především z teorie pružnosti (Poulos, 1968) a není dostatečně prověřena příklady z praxe, přesto, že v poslední době jsou k dispozici jistá měření sedání skupinových základů. Jedná se o teorii tzv. raft foundation, kdy kontaktní napětí v základové spáře desky (mezi pilotami) významně ovlivňuje chování této konstrukce. Poněkud zjednodušeně se tento problém převádí na výpočet deformací desky podepřené v místě pilot pružnými stojkami, jež nahrazují piloty pomocí tzv. pérových konstant, jejichž velikosti jsou odvozeny z mezní zatěžovací křivky pilot osamělých. Matematicky přesněji lze řešit 3D problém metodou konečných prvků, u níž lze tuhost pilot (i desky) modelovat skutečnými fyzikálními parametry. To však opět naráží na problém chování té, či oné piloty, ovlivněné svojí technologií, což lze jen stěží početně vystihnout. Ukazuje se ovšem, že tudy vede skutečná cesta k výpočtu podobných konstrukcí. Ta však musí být verifikována měřeními na již provedených stavbách. Příkladem takovéto analýzy je hlubinné založení slínkového sila v Mokré u Brna (Masopust, 1999). Silo o průměru 30 m

a výšce 55 m je založeno na kruhové desce průměru 35 m, tl. 1,1 m podepřené 164 ks vrtaných pilot prof. 1,22 m hlubokých 15–27 m s ohledem na silně skloněné poloskalní podloží. Návrh pilot byl kontrolován pomocí výpočtu základové desky MKP, výsledky deformací budou srovnávány s měřením sedání sila, jež bude dlouhodobě probíhat při různých zatěžovacích stadiích.

3. Únosnost osamělých svisle zatížených vrtaných pilot

Únosnost pilot lze definovat jako zatížení, při němž pilota vyhovuje všem podmínkám na ni kladeným, tj. jak obecným podmínkám pevnostním (řešení podle 1. skupiny mezních stavů), tak i deformačním (řešení podle 2. skupiny mezních stavů) a to jak z hlediska okamžitého, tak i dlouhodobého. Z hlediska 1. skupiny mezních stavů rozhodují o únosnosti piloty stabilitní výpočtové parametry základové půdy (tedy obj. tíha, úhel vnitřního tření a soudržnost, resp. tlaková pevnost poloskalních a skalních hornin) a pevnostní parametry materiálu dřívku piloty (tedy betonu, resp. železobetonu). Pod zatížením se však pilota deformuje – sedá (máme na mysli především osově zatížení tlakové). Je tedy třeba posoudit přetvoření piloty, tedy určit její zatížení, při němž sedání hlavy piloty nepřekročí přípustnou, většinou předem danou velikost sedání (určenou obvykle s ohledem na charakter horní konstrukce). Mezní stav vzniku trhlin se u vrtaných pilot obvykle neposuzuje, neboť piloty přenášejí vesměs zatížení tlaková. Je tedy zřejmé, že o výpočtové únosnosti vrtané piloty rozhodne 1. m. s. při založení na málo stlačitelné podloží (skalní podklad). V ostatních případech rozhoduje vesměs 2. m. s., neboť výpočet dle 1.m.s. dává sice větší hodnoty únosnosti, ovšem za cenu nepřijatelného sedání. Současný trend v projektování je veden snahou postihnout interakci konstrukce se základovou půdou, proto je znalost přetvoření vrtaných pilot základní podmínkou.

3.1 Metody zjišťování únosnosti

Únosnost osamělé vrtané piloty lze zjistit:

- statickou zatěžovací zkouškou se stupňovitým zatížením,
- statickou zatěžovací zkouškou s konstantní rychlostí zatlačování,
- výpočtem
 - z údajů statické penetrační zkoušky,
 - z tabulkových hodnot svislé únosnosti piloty $U_{v,tab}$,
 - na základě znalosti pevnostních a deformačních vlastností základové půdy a materiálu piloty.

Nejlepší výsledky poskytují statické zatěžovací zkoušky se stupňovitým zatížením, které jsou provedeny ve stejných geotechnických podmínkách a stejnou technologií jako piloty systémové. Pomocí statické penetrační zkoušky lze získat dobré hodnoty odporu v patě piloty především v sypkých zeminách. Je-li k dispozici hrot s tenzometrickým měřením odporu na plášti, lze po jisté korelaci naměřené hodnoty úspěšně využít ke stanovení plášťového tření. Na tomto měření je založena metoda stanovení osově únosnosti piloty v německé normě DIN 4014: Grossbohrpfähle. Tabulkové hodnoty svislé únosnosti piloty vycházejí ze statistické analýzy souboru 226 ks vrtaných pilot (Masopust, 1978) a jsou

vhodné pro projekty nižších stupňů, studie a jednoduché stavby. Statické výpočty únosnosti pilot lze rozdělit do dvou skupin:

1. řešení podle 1. skupiny mezních stavů,
2. řešení podle 2. skupiny mezních stavů.

Metody výpočtu podle 1. skupiny m.s. vycházejí vesměs z Rankinovy teorie mezní rovnováhy sypkých hmot. Únosnost paty piloty je počítána jako únosnost plošného základu s vlivem hloubky založení, plášťové tření pak z Coulombova zákona, kde normální napětí se stanoví pomocí modifikovaného koeficientu zemního tlaku. Mezi nejznámější postupy odpovídající této teorii patří řešení dle Caquot-Kérisela (1966), u nás pak dle Šimka a Sedleckého (1988). Výsledkem je únosnost bez jakékoliv informace o deformaci.

Metody výpočtu dle 2. skupiny m.s. konstruuji zásadně pracovní diagram vrтанé piloty – tzv. mezní zatěžovací křivku, vyjadřující vztah mezi osovým zatížením a sedáním hlavy piloty. Teoretickým podkladem bývá buď teorie pružnosti (Poulos, 1972), nebo různé kvazielastické konstituční vztahy (Desai, 1974, Ellison, 1971). U nás tuto metodu propracoval Masopust (1980, 1981), který jako základ použil řešení osamělé piloty v pružném kontinuu pomocí MKP s jednotlivým vyjádřením vlivů různých poměrů tuhosti piloty a okolní zeminy, poměru délky k průměru piloty, hloubky nestlačitelné vrstvy pod patou piloty a verifikoval ji výsledky skutečného chování pilot z výsledků statických zatěžovacích zkoušek, zvláště instrumentovaných. Později byla tato metoda rozšířena o nelineární teorii sedání vrтанých pilot (Masopust, 1990). V SRN patří k tomuto postupu metoda výpočtu dle DIN 4014.

Příslušná kapitola monografie probírá podrobně metodiku provádění statických zatěžovacích zkoušek pilot ve skutečném měřítku i pilot modelových.

3.2 Interakce piloty a základové půdy

Je probrán mechanismus mobilizace osové únosnosti piloty uložené v quasihomogenní základové půdě. Při zatížení piloty mobilizuje se plášťové tření, jehož velikost roste se sedáním a při určité deformaci dosáhne maxima, přičemž při dalším sedání zůstává zhruba konstantní. Posun pro plnou mobilizaci plášťového tření činí bez ohledu na profil piloty 5–20 mm. Na jeho velikost má však vliv profil piloty (Masopust, 1978) a drsnost pláště. Pata vrтанé piloty přenáší zpočátku pouze malé zatížení, neboť plocha paty je ve srovnání s plochou pláště malá. Růst napětí na patě piloty je podmíněn jejím sedáním, přičemž maxima se dosahuje při sedání rovném 10–20 % průměru piloty d.

K dokonalému popisu chování vrтанé piloty pod svislým zatížením je třeba znát kromě pracovního diagramu též průběh svislé síly v dřiku piloty v závislosti na jeho délce. Potom lze sestrojiti tzv. přenosové funkce, jejichž konstrukci se monografie zabývá.

3.3 Sedání vrтанých pilot

Sedání osamělé vrтанé piloty je řešeno metodou teorie pružnosti (MKP). Z výsledků řešení vyplývají následující závěry:

- stlačitelnost vrтанé piloty má vliv na rozdělení plášťového tření podél dřiku, čím je tuhost piloty menší, tím větší je napětí v okolí hlavy piloty,

- tuhost piloty je významná zvláště pro větší hodnoty l/d (l = délka piloty, d = průměr piloty), kdy vliv stlačitelnosti roste s hloubkou, naopak pro krátké piloty s $l/d < 6$ nemá tuhost piloty na toto rozdělení praktický vliv,
- čím je stlačitelnost piloty menší, tím je rozdíl sedání mezi hlavou a patou piloty větší, naopak pro $K > 5000$ se pilota chová jako nestlačitelná, ($K = E_b/E_s$, kde E_b je modul deformace příku piloty, E_s je průměrná velikost modulu deformace okolní zeminy),
- přítomnost „nestlačitelné“ vrstvy horniny pod patou piloty (v hloubce $h - l$, měřeno od hlavy piloty) má tím menší vliv na sedání, čím je K menší a naopak,
- na tvar zatěžovací křivky má vliv tuhost piloty; pokud K klesá, zvětšuje se výrazně nelineární oblast v pracovním diagramu a naopak,
- vliv tuhosti K je významný i u pilot s rozšířenou patou.

3.4 Výpočet únosnosti svislých osamělých pilot podle 2. skupiny mezních stavů

Podrobně je zpracována metodika výpočtu v následujícím členění:

- svislá tabulková únosnost,
- výpočtová únosnost osamělých pilot osově zatížených
 - výpočtová únosnost pilot opřených o nestlačitelné podloží,
 - výpočtová únosnost pilot zahloubených do stlačitelného podloží,
 - výpočtová únosnost pilot dle DIN 4014
 - osová mezní únosnost pilot opřených o skalní horninu,
 - výpočtová únosnost pilot v nesoudržných a soudržných zeminách,
 - nelineární výpočet sedání osamělé piloty,
- tahové piloty,
- negativní plášťové tření.

4. Únosnost vrtaných vodorovně zatížených pilot

Tato kapitola se zabývá výpočtem příčného zatížení pilot. Piloty jsou rozděleny v zásadě do dvou skupin:

- tuhé vrtané piloty, jejichž střednice po zatížení zůstává přímá, pouze se otáčí a/nebo posunuje,
- ohebné vrtané piloty, jejichž střednice se při zatížení deformuje.

Jsou probrána kritéria použitelnosti pro jednotlivé případy a diskuze je věnována volbě velikosti modulu horizontální stlačitelnosti zemin dle Winklerova vztahu. Je ukázáno, že výpočet tuhých vrtaných pilot vede na staticky určitý problém, kdy pomocí podmínek rovnováhy lze řešit jak deformaci, tak i napětí v dřívku piloty. V případě pilot ohebných jsou probrány 2 základní výpočtové modely:

- model Winklerův, kde řešení základní ohybové rovnice je provedeno metodou sítí,
- model Winkler-Pasternakův, kde řešení ohybové rovnice je provedeno MKP pro nosníkovou úlohu.

Diskuze je věnována volbě deformačních parametrů potřebných pro výpočet, tj. jejich stanovení z daných velikostí modulu přetvárnosti a Poissonova čísla. Je ukázána možnost nelineárního způsobu výpočtu.

5. Skupiny pilot

Problematicke stanovení skupinového účinku pilot je věnována celá kapitola. Je probrán výpočet únosnosti pilotové skupiny i výpočet sedání v pružném poloprostoru. V další části je věnována pozornost obecně zatíženým pilotovým skupinám a to pro následující případy:

- kloubové spojení pilot s nadzákladovou konstrukcí,
- vetknutí pilot do nadzákladové konstrukce.

Konečně je věnována pozornost příčně zatíženým pilotovým skupinám.

6. Pilotové a záporové stěny

Kapitola je věnována návrhu a výpočtu pilotových a záporových stěn jak pažících, tak i konstrukčních. Detailně je probráno zatížení těchto konstrukcí, jež se skládá:

- ze zemních tlaků,
- z přírůstku zemních tlaků od ostatního stálého i nahodilého zatížení,
- z vlivu podzemní vody,
- z dalšího vnějšího zatížení konstrukce.

Vlastní výpočet pilotových stěn je rozdělen na klasické řešení dle Bluma za předpokladu tuhé konstrukce a na výpočet ohebných pilotových stěn, kde je preferována metoda tzv. závislých zemních tlaků. Je zpracován algoritmus výpočtu kotvené, resp. rozepřené pilotové stěny, který sloužil k sestavení programu „STENA“. V další části jsou diskutovány problémy týkající se vnější a vnitřní stability kotvené pažící konstrukce. Kapitola je doplněna konstrukčními zásadami pro navrhování pilotových a záporových stěn, jakož i několika příklady z praxe.

7. Technologie provádění vrtaných pilot

Výroba pilot náleží mezi speciální stavební práce, které vyžadují dobré strojní vybavení, zacvičené pracovníky, dostatek praktických zkušeností a odpovědný přístup k provádění. Jsou probrány jednotlivé fáze výrobního postupu, jež jsou následující:

- vrtání či hloubení vrtu příslušné délky a profilu,
- přípravné práce před betonáží (čištění vrtu, atd.),
- armování piloty,
- betonáž piloty,
- příp. odpažení vrtu a úprava hlavy piloty.

Vrty pro piloty se provádějí většinou technologií rotačně náběrového vrtání, či drapákového hloubení. Vrty se provádějí buď jako nepažené, pokud je zaručeno, že v průběhu celého procesu instalace piloty je vrt zcela stabilní; v opačném případě se vrty paží a to buď zčásti nebo na celou délku pomocí ocelových pažnic, nebo na celou délku pomocí pažící suspenze, vesměs jílové. Detailně je probrán technologický postup vrtání pro všechny vyjmenované případy. Pozornost je věnována i moderní technologii provádění pilot pomocí průběžného šneku (CFA), kde pažení vrtu je zajištěno pomocí zeminy ulpívající na závitech tohoto šneku.

Jsou probrány technologické zásady platné pro betonáž pilot do sucha i pod vodu (resp. pod pažící suspenzi). Zvláštní kapitola je věnována stavební kontrole a dohledu nad prováděním vrtaných pilot.

8. Konstrukční zásady při navrhování vrtaných pilot

Tato kapitola je věnována návrhu vrtaných pilot pro stavby:

- bytové,
- občanské a průmyslové,
- mostní

a je doplněna vždy množstvím praktických příkladů z realizovaných staveb.

Další část se zabývá stavbami na poddolovaném území, kdy jsou probrány účinky poddolování pro oblasti s hlubinnou těžbou, kde dochází k výrazným pohybům a deformacím zemského povrchu, které se projevují buď spojitě, nebo i nespojitě. S ohledem na autorovy zkušenosti s navrhováním a realizací základů staveb v poddolovaném území zvláště na Ostravsku, jsou probrány zásady statického výpočtu těchto konstrukcí a je uvedeno množství příkladů z realizovaných staveb.

Kapitola je doplněna návrhem opatření k ochraně vrtaných pilot v agresivním prostředí, jež lze rozdělit do dvou skupin:

- primární,
- sekundární.

K primárním opatřením patří především vhodná úprava receptury betonové směsi, vhodná technologie provádění, tj. především kvalita betonáže, rozšíření staticky nutného profilu piloty, tedy zvětšení krytí výztuže a snaha o úpravu chemizmu podzemní vody. Tato opatření jsou přijatelná, pokud je stupeň agresivity hodnocen jako slabý až silný.

Sekundární opatření jsou ta, při nichž se zabrání styku podzemní vody s betonem piloty. Za nejspolehlivější opatření se považuje ponechání ocelových pažnic (resp. chrániček ve vrtu), což však má významný dopad do ceny zakládání. Levnější je sekundární ochrana pomocí povlakových folií z plastických hmot (PVC, PE). Při instalaci této ochrany vznikají však potíže technologického rázu a to zejména v případě vrtů pažených ocelovými pažnicemi. Tlakem betonu se pytel z folie přitiskne na vnitřní stěnu pažnice a při jejím vytahování po betonáži dochází k výraznému poškození folie, resp. jejímu celkovému znehodnocení. Je probrána autorem navržená a na mnoha stavbách vyzkoušená technologie provádění této ochrany za použití pletiva B-systému, jež zabrání svléknutí folie z dřívku piloty při tahání pažnic.

9. Závěr

Monografie Vrtané piloty se zabývá teorií a praxí navrhování a výpočtu pilotových základů. Z široké škály systémů a metod zakládání jsou vrtané piloty nejrozšířenější metodou v České republice. To je dáno jejich relativní univerzálností z hlediska geologické rozmanitosti stavení, která je typická pro naše podmínky. Rozvoj pilotování sahá do konce 60. let a souvisí s rozvojem bytové výstavby. Výzkum v oblasti teorie a návrhu vrtaných pilot u nás však z počátku zaostával ve srovnání s poměrně širokým uplatněním tohoto způsobu zakládání. Únosnost pilot se počítala pomocí statických vzorců. Porovnání těchto výpočtů s výsledky statických zatěžovacích zkoušek nebylo uspokojivé, neboť stávající výpočtové metody nevystihly skutečný mechanismus mobilizace únosnosti vrtané piloty a již vůbec nebyly schopny postihnout technologické zvláštnosti těchto typů pilot. Právě výzkum skutečného chování pilot pomocí statických zatěžovacích zkoušek, zvláště instrumentovaných ukázal, jak podstatný vliv má na jejich chování technologie provádění v celém svém komplexu. Výsledky těchto zkoušek byly zpracovány statistickými metodami, přičemž za teoretický základ posloužila metoda teorie pružnosti. Tak byla vypracována metodika výpočtu a konstrukce mezní zatěžovací křivky vrtané piloty, která umožní modelovat problém interakce pilotového základu s vlastní stavební konstrukcí.

Monografie obsahuje Úvod a 7 kapitol, které se zabývají:

- faktory, které ovlivňují návrh vrtaných pilot,
- únosností osamělých svisle zatížených vrtaných pilot,
- únosností vrtaných vodorovně zatížených pilot,
- pilotovými skupinami,
- pilotovými a záporovými stěnami,
- technologií provádění vrtaných pilot,
- konstrukčními zásadami při navrhování vrtaných pilot.

Kniha je doplněna rozsáhlým programovým vybavením, týkajícím se veškerých potřebných statických výpočtů v oblasti zakládání staveb na vrtaných pilotách a dále pilotových a záporových stěn. Výhodou je ta skutečnost, že předložené metody výpočtu jsou v praxi vyzkoušeny a používány specialisty v oboru již několik let.

10. Použitá literatura

- Bartholomew, R.F.: The protection of concrete piles in aggressive ground conditions: an international appreciation
- Bažant, Z., Masopust, J.: Velkopřůměrové piloty. IS, 1978, č.8, s.376 – 390
- Bažant, Z., Masopust, J.: Drilled pier design based on load-settlement curve. Proc. X-ICSMFE, Vol. 2, Stockholm 1981, s. 615 – 618
- Bažant, Z.: Estimating soil moduli from drilled pier load tests. JGED ASCE, Vol. 110, No.9, s.1323–1341
- Berezantzew, V.G., Khristoforov, V.S., Golubkov, V.N.: Load bearing capacity and deformation of pile foundations. Proc. 5-th ICSMFE, paris, s.11–15
- Bjerrum, J.: Problems of soil mechanics and construction on soft clays. Proc. 8-th ICSMFE, Moscow, 1973
- Borodačev, N.M., Galin, L.A.: Kontaktnaja zadača dlja štampa s osnovanijem v vidě ozkogo prjamougolnika. Prokadnaja matematika i mechanika, Tom 38, 1974, s.125 – 130
- Borodačev, N.M.: O vozmožnosti zameny složnych modelej uprugovo osnovanija boleje prostymi. Strojitel'naja mechanika i rasčot sooruzenij, 1975, Tom 4, s.37 – 39
- Bowles, J.: Foundation Analysis and Design. New York, Mc Graw-Hill 1968, 659 s.
- Burland, J.B., Cooke, R.W., The design of bored piles in stiff clays. Building Research Establishment, Current Paper, 1974
- Caquot, A., Kérisel, J.: Traité de mécanique des sols. Paris 1966, 505 s.
- Cernak, B.: The time effect of suspension on the behaviour of piers. Proc. 6-th ECSMFE, Wien, 1.1, s.111–114
- Davisson, M.T., Gill, H.L.: Laterally loaded piles in a layered soil system. JSMFD ASCE, 89, 1963, SM 3, s.63–94
- DeBeer, E.E.: Prévisions des fondations profondes a l'aide du pénétromètre. Proc. 5-th ICSMFE, Paris, 3, s.171–250
- DeBeer, E.E.: The scale effect in the transposition of the results of deep sounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations. Géotechnique, 13, 1, s.39 – 75
- Desai, C.S.: Numerical design analysis for piles in sands. JGED ASCE, 100.6, s.613 – 635
- Ellison, R.D., D'Appolonia, E., Thiers, G.R.: Load-deformation mechanism for bored piles. JSMFD ASCE, 97/4, s.661–678
- Feda, J.: Některé zkušenosti s vrtnými pilotami betonovanými na místě. IS, 17, č.9–10, s.359 – 366
- Feda, J.: Skin friction of piles. Proc. 6-th ECSMFE, Wien, 1.2, s.423 – 428
- Feda, J.: Základy mechaniky partikulárních látek. Praha Academia, 1977, 347 s.
- Feda, J.: Navrhování vrtných pilot podle výsledků zatěžovacích zkoušek. IS 1981, č.4, s.137 – 146
- Franke, E.: Pile foundations –single piles. General report. Proc. 6-th ECSMFE, , s.41 – 66
- Golder, H.O.. Some loading teststo failre on piles. Proc. 3-th ICSMFE, 2, s.41 – 66
- Gregor, R., Klein, K. a kol.: Odporúčania pre návrh konštrukcie pažených stavebných jám. Publ. VUIS Bratislava, č.112, 206 s.
- Havlíček, J.: Sedání plošných základů. IS, 19812, č.7, s.327 – 340
- Kézdi, A.: General report: Deep foundations. Proc. ICSMFE Montreal, 1965
- Masopust, J.: K výpočtu vetknutí podzemních a pilotových stěn do hornin, IS, 2/1973
- Masopust, J.: Statické zatěžovací zkoušky vrtných pilířů v cementárně Čížkovice, sborník konf. Geotechnika Praha, 1974
- Masopust, J.: Statické zatěžovací zkoušky vodorovně namáhaných pilot, sborník konference Zakladanie '75, I. diel, DT Košice
- Masopust, J.: Zakládání mostu v Hořicích v podkrkonoší na vrtných pilířích, sborník konference Pokrokové způsoby zakládání, Brno, 1976
- Masopust, J.: Zakladanie chirurgického bloku FN v Hradci Králové, sborník konference Zakladanie ocelových skeletov, DT SVTS Košice, 1978
- Masopust, J.: Únosnost vrtných pilířů. Kandidátská disertační práce, ČVUT Praha, 1978
- Masopust, J.: Výpočet únosnosti velkopřůměrových pilot pomocí tabulek normových únosností, Pozemní stavby, 10/1979
- Masopust, J.: Volba modulu deformace při výpočtu velkopřůměrových pilot, sborník konference Výpočet únosnosti pilotových základů, DT Karlovy Vary, 1980
- Masopust, J.: Návrhové parametry pro výpočet velkopřůměrových pilot, sborník konference Zakladanie stavieb 81, Vysoké Tatry, 1981

- Masopust, J.: Statické zatěžovací zkoušky izolovaných velkopřůměrových pilot, sborník konference Geotechnické problémy při výstavbě hl. m. Prahy, DT Praha, 1981
- Masopust, J.: Vodorovné zatížení pilot, Sborník prací Geoindustria Praha, ČSVTS, 1982
- Masopust, J.: Zakládání mostu Pionýrů v Ostravě, sborník konference Statika inženýrských konstrukcí v mimořádných podmínkách, DT Ostrava, 1982
- Masopust, J., Masopustová, C.: Hospodárné zakládání výrobní haly, sborník konference Úspěšné konstrukce zakladania, DT Vysoké Tatry, 1973
- Masopust, J.: Vrtané piloty pro montované skelety, sborník konference Současná problematika zakládání bytových a občanských staveb, ČSVTS Praha
- Masopust, J.: Vodorovné zatížení pilot na základě Winkler-Pasternakova modelu podloží, sborník konference Využití malých počítačů pro řešení problémů mechaniky zemin a zakládání staveb, DT Praha, 1985
- Masopust, J.: Grossbohrpfähle in der ČSSR, sborník konference 5. Baugrundtagung, Magdeburg, DDR, 1986
- Masopust, J.: Příspěvek k návrhu a použití šterkových pilot, sborník konference Zakladanie 89, Vysoké Tatry, 1989
- Masopust, J.: Statické zatěžovací zkoušky tahových pilot, sborník X. vědecké konference VUT Brno, 1989
- Masopust, J.: Auswertung der Probelastungen der Zugpfähle in Bamberg – Kläranlage, Bautechnik, 3/1989
- Masopust, J., Mühl, P.: Velkopřůměrové vrtané piloty. SNTL Praha, 1989, 316 s.
- Mattes, N.S., Poulos, H.G.: Settlement of single compressible pile. JSMFD ASCE, Vol.95, SM , s.189 – 207
- Meissner, K.: Tragverhalten axial und horizontal belasteter Bohrpfähle in körnigen Böden. Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana, Heft 93, Karlsruhe, 1983
- Ménard, L.: Règles pour le calcul de la force portante et du Tassement des fondations en fonction des résultats pressiométriques. Proc. 6-th ICSMFE, Montréal 1965, No. 2, s.295 – 299
- Meyerhof, G.G.: Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. JSMFD ASCE, 82, (1), s.866 – 872
- Meyerhof, G.G.: Bearing capacity and settlement of pile foundations. JGED ASCE, 102, 3, s. 197 – 228
- Pasternak, P.: Osnovy novogo metoda rasčeta fundamentov na uprugom osnovanii pri pomošči dvuch koeficientov posteli. Moskva, Strojizdat, 1954
- Plch, J.: Analýza rozvoja pilotovania v ČSSR a podmienky štruktúrnej zmeny v zakladaní. IS, 3/1975, s.128 – 133
- Poulos, H.G., Davis, E.H.: Settlement behaviour of single axially loaded piles and piers. Géotechnique, 18, 3, s.351 – 371
- Poulos, H.G., Mattes, N.S.: The behaviour of axially loaded end-bearing piles. Géotechnique, 19, 2, s.285 – 300
- Poulos, H.G.: Load-settlement prediction for piles and piers. JSMFD ASCE, Vol. 98, SM 9
- Poulos, H.G., Davis, E.H.: Pile foundation analysis and design. New York, J.Wiley and Sons, 1980
- Poulos, H.G., Mattes, N.S.: Settlement and load distribution analysis of pile groups. Australian Geomechanics Journal, 1977
- Reese, L.C., Touma, F.T., O'Neil, M.W.: Bored piles installed by slurry displacement. Proc. 8-th ICSMFE, Moscow, 2.1
- Reese, L.C.: Laterally loaded piles: Program documentation. JGED ASCE, 103, 1977, GT-4, s.287 – 305.
- Sanglerat, G.: The penetrometer and soil exploration. Elsevier, Amsterdam, 1972, 463 s.
- Sankaran, K.S., Krishnaswamy, N.R., Sharas Chandra, B.K.: Stresses of soil around vertical compressible piles. JGED ASCE, Vol. 107, 1981, s.107 – 112
- Schiel, F.: Statik der Pfahlwerke, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, 1970, 93 s.
- Smolczyk, U. a kol.: Grundbau – Taschenbuch, 3. Auflage, Teil 2, Verlag W.Ernst u. Sohn, Berlin, 1982, 995 s.
- Šimek, J., Sedlecký, O., Vacek, M.: Tři otázky statického řešení širokoprofilových pilot, sborník konference Zakladanie podpovrchových konstrukcií v stiesnených podmienkách zástavby, DT Vysoké Tatry 1974, s.256 – 264
- Tkaný, Z., Kosek, K.: The examination of skin friction value of bored piles. Arch. hydrotech., 21, s.247 – 258
- Verfel, J.: Injektování hornin a výstavba podzemních stěn. Praha, SNTL, 1983, 404 s.
- Vesič, A.S.: Investigations of bearing capacity of piles in sand. Duke University, Soil Mechanics Laboratory Pbl. 3, 19 s.
- Vesič, A.S.: Principles of pile foundation design. Duke University, Soil Mechanics Laboratory Pbl. Series No. 5, 95 s.
- Viswathan, S.: Application of static cone penetrometers in the design of deep foundation. Proc. Conf. SMFE, Budapest, 1968

- Weele, A.F.van: A method of separating the bearing capacity of a test pile into skin friction and point resistance. Proc. 4-th ICSMFE, London, s.76 – 80
- Weinhold, H.: Benoto-Bohrpfahlgründungen, Ausführungsbeispiele. Probebelastung und berechnung der Pfahltragfähigkeit. Tiefbau, 1962, Nr.10
- Wittke, W., Semprich, S., Rollberg, D.: Nachrechnung von lotrecht und horizontal belasteten Grossbohrpfählen nach der Methode Finiten Elemente. Frankfurt a.M., Baugrundtagung 1974, s.471 – 494
- Wittke, W., Spang, J., Rodatz, W., Semprich, S.: Bemessung von horizontal belasteten Grossbohrpfählen nach der Methode Finiten Elemente. Der Bauingenieur, 1974, Nr.49, s.210 – 226
- Woodward, R.J., Gardner, W.S., Greer, D.M.: Drilled pier foundations. New York, Mc Graw-Hill, 1973, 287 s.

11. Abstract

Monograph „Bored piles“ deals with the theory and practice of design method of deep foundations. Pile foundations represent the basic and most widespread deep foundation method for industrial, residential and civil engineering structures in Czech Republic. Among the wide range of foundation methods, bored piles method is the most widespread in our country which is caused by its universality. Pile foundations are suitable for a great variety of geological conditions typical for our building sites. The major boom of piling technology started in the sixties due to the intensive construction of large numbers of multistory panel buildings. Gradually piles were used for bridges and industrial structures. Research in a theory and design of bored piles was lagging behind their widespread use and the axial bearing capacity was calculated using classical static formulae. Numerous loading tests did not correspond satisfactorily with the calculations. The investigation of the real behaviour of piles using the static loading tests (especially instrumented) showed the substantial effect of the pile technology. Thus the basic principles of the execution of those piles were established and the share of the natural and technological effects was set up. The design load of a pile foundation may be arrived at

- either by the first group of limit states, i.e. by the ultimate limit state,
- or by the second group of limit state, i.e. by the serviceability limit state.

The limit state of serviceability is characterised by the construction of a load-settlement curve for a bored pile. Either the elasticity theory or quasi-elastic constitutive relations are used. The methods are modified by means of back analyses of loading tests and records of the behaviour of structures. Recently, the construction of the load-settlement curve of a bored pile has been based on a non-linear pile settlement theory.

Monograph includes Introduction and seven chapters, which deals with:

- effects which induce the design of bored pile foundation,
- bearing capacity of axially loaded single bored pile,
- bearing capacity of laterally loaded single pile,
- pile groups,
- pile walls and Berlinous walls,
- technology of bored pile foundations,
- principles of design of bored pile foundations.

A big package of software is enclosed with the book. This software deals with all types of statical analysis in the field of foundation engineering and pile sheeting structures. All presented methods has been verified in practice and has been used by specialists in the field of geotechnic up to the present time.