VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE
ANALÝZA ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY PILOTY

BRNO, 2017 BC.CYRIL PONÍŽIL

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEOTECHNIKY
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

NÁZEV PRÁCE
TITLE

ANALÝZA ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY PILOTY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Cyril Ponížil
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Radek Fiala
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Cyril Ponížil
Název	Analýza zatěžovací zkoušky piloty
Vedoucí práce	Ing. Radek Fiala
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu	Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

MASOPUST, Jan. Vrtané piloty. 1. vyd. [Praha]: Čeněk a Ježek, 1994. 263 s. ISBN 8023827553
EC 7-1 (EN 1997-1:2003) "Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla"
ÖNORM B 1997-1-3 - Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1-3: Pfahlgründungen

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem diplomové práce je převedení v ČR nejrozšířenější metody dle Masopusta pro stanovení únosnosti piloty na stejný princip, který je využíván v německé DIN a v rakouské ÖNORM. Tyto zahraniční normy nepracují s mezní zatěžovací křivkou, ale s tabulkově uspořádanými údaji definujícími tření na plášti a odpor na patě, přičemž konečné sedání je zohledněno již při jejich výběru.

Součástí práce bude i analytické vyhodnocení únosnosti piloty pro konkrétní případ v souladu s jednotlivými normami. Výsledky analytických metod budou doplněné o výsledky získané z numerického výpočtu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Radek Fiala

Vedoucí diplomové práce

Bibliografická citace VŠKP

Prohlášení:

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Cyril Ponížil *Analýza zatěžovací zkoušky piloty*. Brno, 2017. 91 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Radek Fiala

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

……
podpis autora

Cyril Ponížil

V Brně dne 10.1.2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Cyril Ponížil

autor práce

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi pomohli na cestě k této bakalářské práci a to jak spolužákům při pomoci v nesnázích, při vypracovávání projektů potřebných k zápočtům, popřípadě pomoci na zkoušky, tak všem mým přátelům. Dále všem z ústavu geotechniky, jelikož celý ústav své hodiny vedl velmi prakticky a poučně a to určitě napomohlo zvolit si tento obor. Dále bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Radku Fialovi, za odbornou pomoc, vedení, ochotu a cenné rady při vypracovávání této diplomové práce.

Abstrakt

V České republice je k posouzení pilot používána metoda podle Masopusta. Tato metoda je založena na statistickém zpracování rozsáhlého souboru dat ze zatěžovacích zkoušek pilot. Posouzení pilot je pak díky použití regresních součinitelů poměrně komplikované a málo přehledné. Zahraniční normy naopak obvykle využívají přímo stanovených hodnot mezního napětí na patě piloty a maximálního smykového napětí na plášti piloty. Postup pro stanovení únosnosti pilot se tímto značně zjednodušuje. V diplomové práci je metoda dle Masopusta porovnána s metodami, které se používají v Německu a Rakousku. Toto srovnání umožňuje vhled do míry bezpečnosti, kterou jednotlivé přístupy obsahují.

Klíčová slova

pilota, navrhování pilot, hlubinné základy, dřevěné piloty, betonové piloty, vrtané piloty, návrhový přístup dle Masopusta, DIN, ÖNORM, zatěžovací zkouška piloty,

Abstract

There is ussualy used the Masopust's method to assessment the piles in Czech Republic. This method is based on statistical processing of large data set of load piles tests. Due to the using of regression coefficients this method is relatively complicated and not very transparent. Instead, foreign standards ussualy use direct the values of limit stress on the base of piles and unit friction capacity. Procedure for determining the bearing capacity of the piles is thus considerably simplified. In this thesis the Masopust's method is compared with the methods used in Germany and Austria. This comparison provides insight to the safety level that include various approaches.

Key words

pile, pile design, deep foundation, timber piles, concrete piles, drilled pile, pile design according doc. Masopust, DINN, ÖNORM , pile load test

Obsah

1 Obecné 14

1.1 Úvod 14

2 Historie 15

3 Rozdělení 16

3.1 Prvky hlubinných základů 16

3.2 Rozdělení pilot 16

4 Technologie vrtaných pilot 19

4.1 Pažení vrtů 20

4.2 Vrtné nástroje 20

4.3 Přípravné práce před betonáží 21

4.4 Betonáž vrtaných pilot 23

Metoda contractor 24

4.5 Dokončovací práce: 24

CFA – piloty prováděné průběžným šnekem (CFA = Continuous flight augering) 25

5 technologie ražených pilot franki 27

6 Výpočet únosnosti piloty – řešení podle doc. masopusta 31

6.1 únosnost 1. mezního stavu dle masopusta 31

6.2 na základě 2. mezního stavu dle masopusta 32

Výpočtová únosnost pilot opřených o nestlačitelné podloží 32

Výpočtová únosnost pilot zahloubených do stlačitelného podloží – princip mezní zatěžovací křivky 33

6.3 Výpočet pilot dle doc. masopusta 34

7 Německá norma DIN 39

7.1 Tabulky 39

7.2 Mezní zatěžovací křivka 40

7.3 one penetration test 42

Průběh zkoušky 42

Korelace výsledků 44

8 ÖNORM 46

8.1 Úvod 46

8.2 SPT – Standard penetration test 48

9 Vyhodnocení výpočtu modelových pilot podle jednotlivých norem 50

9.1 Převody a postup výpočtu podle masopusta 50

Upravení veličin 50

Postup výpočtu pro první a druhou větev křivky 50

Dopočet celkové síly pro 1. Parabolickou větev 51

9.2 Výpočet podle německé normy ÖNORM 51

9.3 výpočet podle rakouské normy ÖNORM 51

9.4 Převody mezi indexem ulehlosti a ulehlostí, indexem konzistence a neodvodněnou smykovou pevností 52

Převody mezi indexem ulehlosti Id a ulehlostí D 52

Převody mezi indexem konzistence Ic D 54

10 výsledky a porovnání výsledků jednotlivých norem 55

10.1 Výpočet 55

10.2 Výsledky – nesoudržné zemint 55

Graf únosnosti na patě qb a závislost na poměru s/Db 56

Napětí na patě qbk - závislost na štíhlostním poměru 61

Plášťové tření qsk - závislost na délce, průměru a štíhlosti 64

10.3 výsledky – soudržné zeminy 69

Graf únosnosti na patě qb a závislost na poměru s/Db 69

Závislost plášťového tření qsk na štíhlosti L/d dle normy dle doc. Masopusta 73

Závislost únosnosti na plášti qsk pro jednotlivé poměry S/D 73

Plášťové tření qsk - závislost na délce, průměru a štíhlosti 75

11 vzorový příklad 81

11.1 VÝPOČET podle jednotlivých norem 82

12 Závěr 90

13 Zdroje 91

1 OBECNÉ

1.1 ÚVOD

Diplomová práce je rozdělena do několika kapitol.

- Historie
- Delení pilot
- Technologie pilot
    - Technologie vrtaných pilot
    - Technologie ražených pilot
- Jednotlivé normy
    - Česká norma podle doc. Masopusta
    - Německá norma DIN
    - rakouské norma ÖNORM
- Početní příklad jeho porovnání z výsledky z terénu

V první kapitole je velice stručně popsána historie. Dále se práce zabývá rozdělením pilot a podrobnějším popsáním jejích technologie. Poté následuje výpočtová část. V programu GEO 5 bylo provedeno několik vzorových pilot podle České normy dle doc. Masopusta, a ty pak jsou porovnávány s Rakouskou ÖNORM a Německou DIN. V této kapitole je rovněž blíže popsány principy navrhování podle jednotlivých norem. Pro větší přehlednost je závěrem proveden příklad a výpočet jedné konkrétní piloty podle jednotlivých norem, a jeho následné porovnání z výsledky z terénu.

2 HISTORIE

V dřívějších dobách byly vesnice a města zakládány v blízkosti jezer a řek kvůli přítomnosti vody. Slabě únosné zeminy byly vyztuženy dřevěnými pilotami, které byly manuálně zatlačeny do země.

Počátky hlubinného zakládání se datují někdy do 4. století před Kristem, některá data dokonce uvádějí, že před 6000 lety byla některá obydlí stavěna na hlubinných základech pro zpevnění hradeb před nepřátelskými nájezdy. Starověké národy Řecka a Říma používaly dřevěné piloty k vyztužení pobřežních oblastí na břehu středozemního moře. Rovněž ve Starověké Británií byly pomocí dřevěných pilot podepřeny mosty na řece Temži, stejně tak v Číně za Hanovy dynastie. Dále starověká města Ravena nebo Benátky byly podepřeny na dřevěných pilotách.

Používala se jednoduchá zastaralá pravIdla. Většinou se jednalo o piloty zaražené do země kladivem. Dřevo bylo tehdy jediným materiálem. Je pevné, tvárné, trvanlivé a zároveň lehké.

Postupem času se znalosti mechaniky zemin a znalosti hlubinného zakládání vyvíjely, hlavně pak během průmyslové revoluce. Na počátku 20. století došlo k objevení betonu a později vyztuženého betonu, a tyto nové materiály společně s ocelí dřevo nahradil, protože železobetonové a ocelové piloty jsou schopné odolat mnohem většímu namáhání.

V České republice došlo k výraznému rozvoji pilot převážně v 60. letech minulého století.

3 ROZDĚLENÍ

3.1 PRVKY HLUBINNÝCH ZÁKLADŮ

Studně
Kesony
Piloty
Mikropiloty
Podzemní stěny
Speciální (injektáže, kotvy)

Návrh hlubinných základů je ovlivněn přírodními a ekonomickými faktory, jsou navrhovány v místech, kde je základová půda málo únosná a stlačitelná. Úkolem hlubinných základů je přenos zatížení do únosnějších, hlouběji uložených vrstev a omezení sedání. Piloty jsou nejrozšířenějším prvkem hlubinného zakládání. Studně a kesony se používaly dříve, dnes jsou již překonané.

3.2 ROZDĚLENÍ PILOT

Podle příčného profilu

Maloprofilové (příčný rozměr od 0,3 m do 0,6m)
Velkoprofilové (příčný rozměr od 0,6 m do 3m)

Podle sklonu

přímé
svislé

Podle způsobu namáhání

tlačené
tažené
příčné zatížené (v kombinaci s tlakem či tahem)

Podle materiálu

betonové (PB, ŽB, z předpjatého betonu)
ocelové
dřevěné

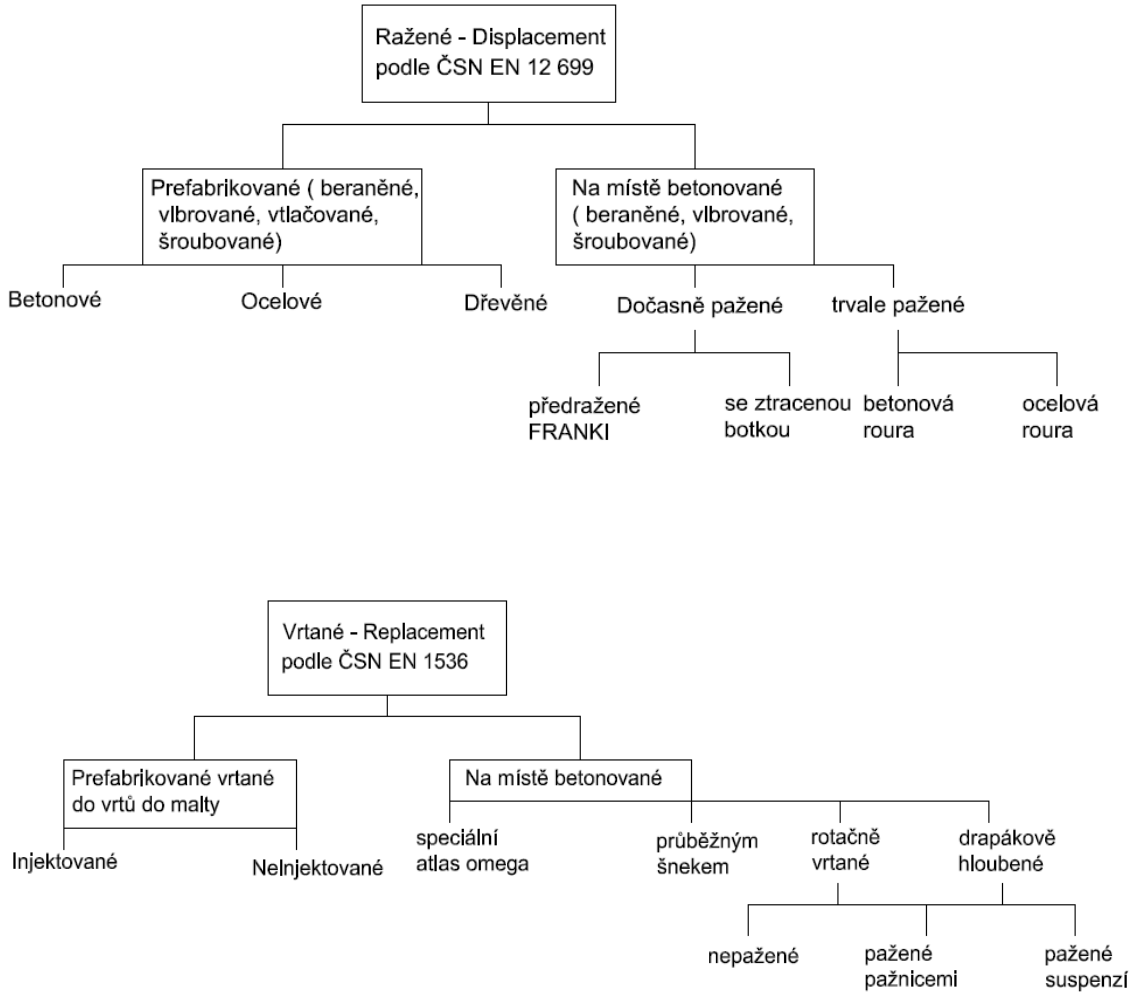
Piloty typu displacement – <u>Ražené piloty</u> – zemina není z prostoru odstraněna, ale je roztlačena do stran nebo pod patu piloty

Piloty typu replacement – <u>Vrtané piloty</u> – zemina je z prostoru odstraněna

Piloty Vrtané
Piloty Ražené
Mikropiloty
Speciální piloty (např. zmražené piloty)
Ostatní (pilotové zdi, „soldier piles“, sheet piles“)

V České republice převládá na trhu pilot výrazně vyšší procento vrtaných pilot. Uvádí se, že ve 30. letech minulého století se na trhu pilot ustálil takový stav, kdy 70-75 % zaujaly piloty vrtané, 10-20% zaujaly předražené piloty Franki a zbytek (vibrotlakové piloty VIUS, ražené železobetonové prefabrikované) pak 5-10%. Dnes podíl vrtaných pilot na trhu ještě více prohloubil (až 95% všech pilot), vibrotlakové a železobetonové ražené naopak úplně vymizely. Je to dáno převážně geologickými podmínkami na našem území, které jsou velmi rozmanité. A také je časté, že se v relativně malé hloubce (10-20) m nachází únosná skalní hornina, do níž je možné piloty vetknout. Dalším aspektem je také výrazný rozvoj speciálních technologií vrtání (např. CFA)

Podrobnější dělení pilot je zahrnuto v normě ČSN EN 12 699.



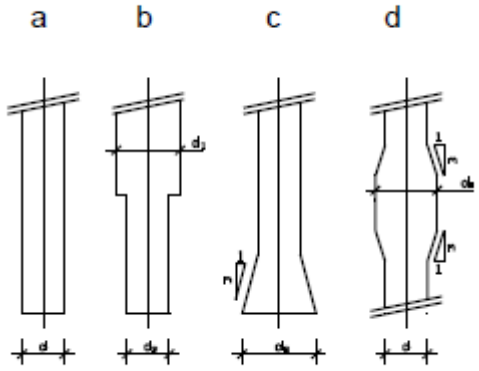
Obr. č. 1 – schéma rozdělení jednotlivých typů pilot podle ČSN EN 12 699.

Jak bylo uvedeno, v České republice se používají převážně vrtané piloty nebo ražené piloty (Franki). Tyto technologie budou v následujících kapitolách více rozepsány. Jsou možné i jiné technologie, těmi se však tato diplomová práce nezabývá.

4 TECHNOLOGIE VRTANÝCH PILOT

V následující kapitole budou podrobněji popsány vrtané piloty, vzhledem k jejich výrazně vyššímu podílu v České republice.

Všechny důležité podklady pro návrh a provádění pilot jsou uvedené v normě ČSN EN 1536: Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty (2009). Vrtané piloty jsou prováděny vrtáním a těžením. Nosný dřík přejímá zatížení a omezuje deformace. Piloty mohou mít kruhový průřez, nebo mohou být tvořeny lamelami podzemních stěn.



Obr. č. 2 – tvary dříků vrtaných pilot a) konstantní průřez b) teleskopický dřík c) rozšířená pata d) rozšířený dřík [1]

U vrtaných pilot je poměr štíhlostí L / $D \geq 5$. Piloty mohou být osamělé, skupinové, nebo použity jako opěrná a pažící konstrukce.

Vrty se provádějí technologií rotačně náběhového vrtání nebo drapákového hloubení (v balvanitých zeminách).

V závislosti na typu zeminy a sklonu piloty navrhujeme piloty:

Nepažené

Pažené ocelovými pažnicemi

Pažené jílovou suspenzí

4.1 PAŽENÍ VRTŮ

Pažení ocelovými pažnicemi je základní a nejvíce používanou metodou zajištění stability vrtů s $d \leq 1{,}50$ m. Používá se jednak tzv. černých (varných) ocelových rour (tl. stěny= 8-12mm), jednak speciálních spojovatelných ocelových pažnic (dvouplášťové, tl.40 mm). Pažnice se instalují zavrtáním za pomocí vrtné soustavy, vibrováním nebo beraněním nebo pomocí oscilačních tzv. dopažovacích zařízení. Pažnice postupuje společně s hloubením vrtu, nebo hloubení předchází.

Pažení pomocí jílové suspenze – používá se, pokud si nevystačíme s ocelovými pažnicemi. Zajišťuje stabilitu stěn i dna vrtu kombinovaným účinkem hydrostatického tlaku a elektrochemických jevů – má za následek vznik „ jílového ochranného koláče“ na stěně vrtu. Je – li jílová suspenze v klIdu, přejde z tekutého stavu na gel => zvětší svou pevnost ve střihu. Mícháním přejde gel na tekutinu. Jílová suspenze se vyrábí z jílu, vody, popř. dalších přísad. Použití pro pažení lamel podzemních stěn.¨

Pažení je nutné průběžně kontrolovat, aby v průběhu vrtání nevnikala do vrtu voda.

4.2 VRTNÉ NÁSTROJE

Obvyklými vrtnými nástroji při realizaci budoucích pilot jsou

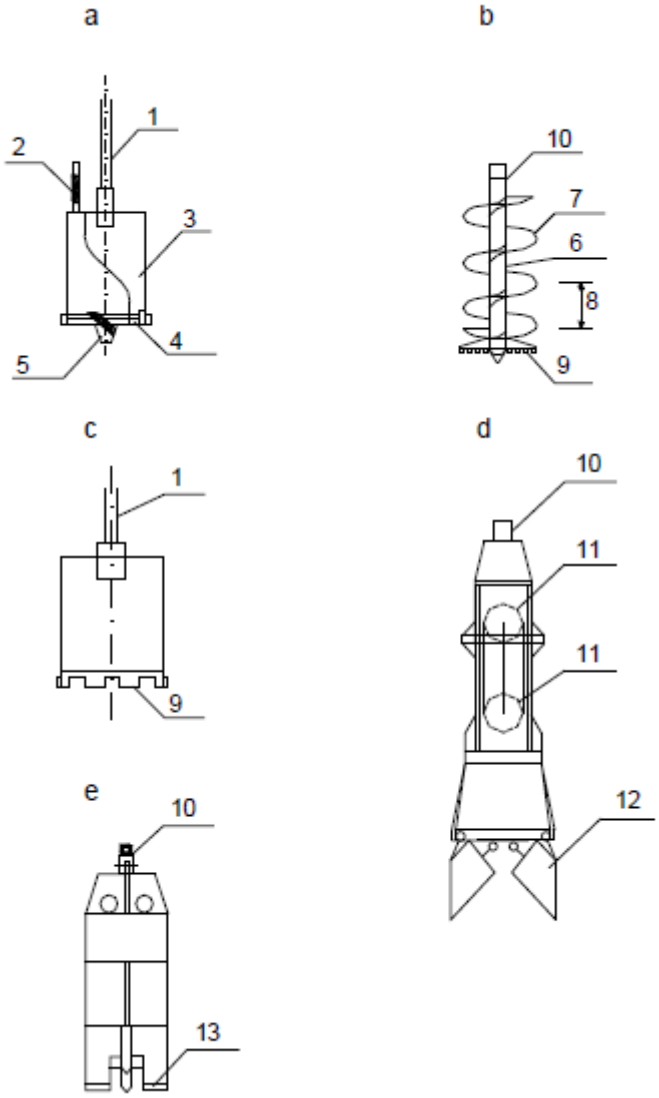
Vrtný hrnec (šapa) - vhodný pro písčité a štěrkopískové zeminy (suché i zvodnělé) a poloskalní hroniny.

Vrtný šnek (spirál) - vhodný pro soudržné zeminy

Vrtací korunka – vhodná pro provrtávání vložek skalních hornin

Jednolanový drapák – použití pro rozbíjení balvanů

Dláto – vhodné pro rozbíjení vrtných překážek



Obr. č. 3 – vrtné nástroje [1]

vrtný hrnec b) vrtný šnek c) vrtací korunka d) jednolanový drapák e) dláto

vytěžená zemina z vrtů se sype přímo na nákladní auta, nebo na terén v okolí vrtu.

4.3 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PŘED BETONÁŽÍ

Čištění vrtu

Kontrola délky vrtu

Čerpání podzemní vody
Armování ŽB piloty

Při realizaci pilot se musí dbát na to přestávka mezi dovrtáním a zahájením betonáže byla co nejkratší.

Vrtané, na místě betonované piloty, se provádějí

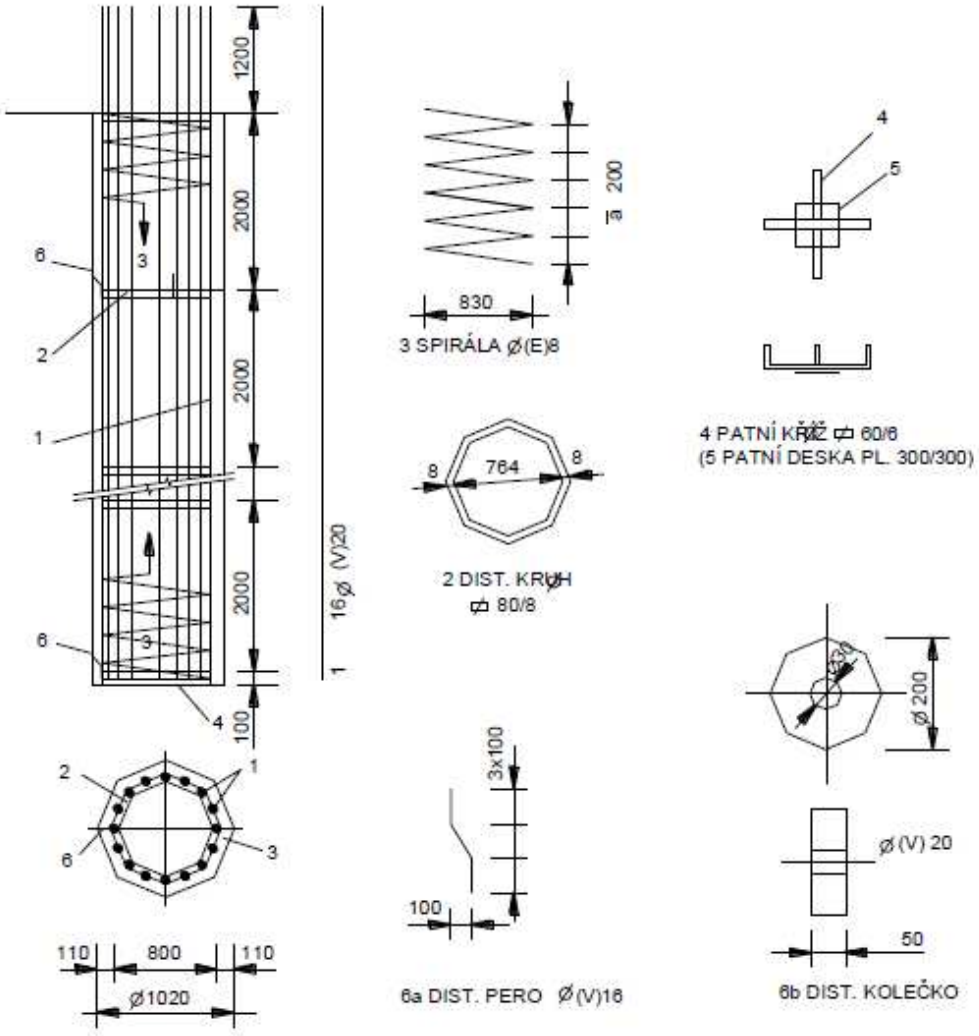
PB
ŽB (armovaný po celé dálce nebo jen v části)
S kotevní/spojovací výztuží

PB – pouze tlačené a v zeminách, které nejsou náchylné na ztrátu stability

ŽB – **Armokoš** musí být dostatečně tuhý, skládá se z:

Podélné výztuže
Příčné výztuže
Pomocné výztuže

Krycí vrstva – pro $d \leq 0{,}6$ m = 50 mm,pro d > 0,6 m = 60 mm. U pilot pažených se krycí vrstva zvětšuje o tloušťku stěny pažnice, obvykle = 40 mm.



Obr. č. 4 – příklad Armokoše vrtané piloty [1]

1 – podélná nosná výztuž, 2 – distanční kruhy z ploché oceli 3 – příčná výztuž ve formě spirály 4 – patní kříž z ploché oceli 5 – patní deska z plechu, 6a – distanční deska ve formě háku, 6b – distanční kolečko z betonu, popř. z umělé hmoty

4.4 BETONÁŽ VRTANÝH PILOT

Složení betonu by mělo v zásadě odpovídat požadavkům ČSN EN 206-1 Beton – Část 1. Třída betonu by měla být v rozmezí C16/20 až C30/37, nároky na vyšší třídu betonu nemají smysl. Pro dosažení požadovaných vlastností betonu je možné použít jako přísady do betonu plastifikátory, superplastifikátory a zpomalovače tuhnutí.

Betonáž může být prováděna

Za sucha (pouze v případě, je – li vrt dostatečně suchý)
Pod vodou nebo pod pažící suspenzí

Betonáž se provádí pomocí betonážní roury s vnitřním průměrem 200 mm, a současně musí platit, že průměr je větší než osminásobek nejvyšší frakce kameniva

Metoda contractor

V případě betonáže pod vodou se používá metoda **Contractor.** Pří této metodě se beton ukládá pomocí *sypákové* roury – ta je na horním konci opatřena násypkou trychtýřovitého tvaru, aby betonáž probíhala plynule. Největší příčný rozměr sypákové roury nemůže přesáhnout 35% průměru vrtu a zároveň 60% průměru armokoše. Před zahájením betonáže se sypáková roura spustí až na dno vrtu a opatří se vhodnou zátkou, jež zamezí promíchání betonu s kapalinou ve vrtu. Naplní se zcela betonem a povytáhne se o výšku rovnající se asi průměru roury. V dalším průběhu betonáže se sypáková roura pozvolna povytahuje, je třeba dbát na zásady, aby roura nebyla ponořena v betonu víc, než je povoleno.

Při betonáži do zapaženého vrtu je nutné hned po betonáži povytáhnout pažnice. Pokud je sloupec betonu dostatečně velký k vyvození potřebného přetlaku, který zabrání vniknutí vody nebo zeminy do vrtu, pažnice se začínají povytahovat již během betonáže. Pažnice se povytahují zvolna a sleduje se hladina betonu, může klesnout náhle v souvislosti se zaplněním zápažnicových kaveren. Hlavu piloty je pak nutné přebetonovat, aby hladina betonu neklesla po odpažení pod navrhovanou úroveň

4.5 DOKONČOVACÍ PRÁCE:

Úprava hlavy piloty
Úprava výztuže piloty
Zřízení nadpilotové konstrukce

Důležité je dávat pozor na kvalitu betonu v hlavě piloty, poškozený beton je nutné odstranit.

CFA – piloty prováděné průběžným šnekem (CFA = Continuous flight augering)

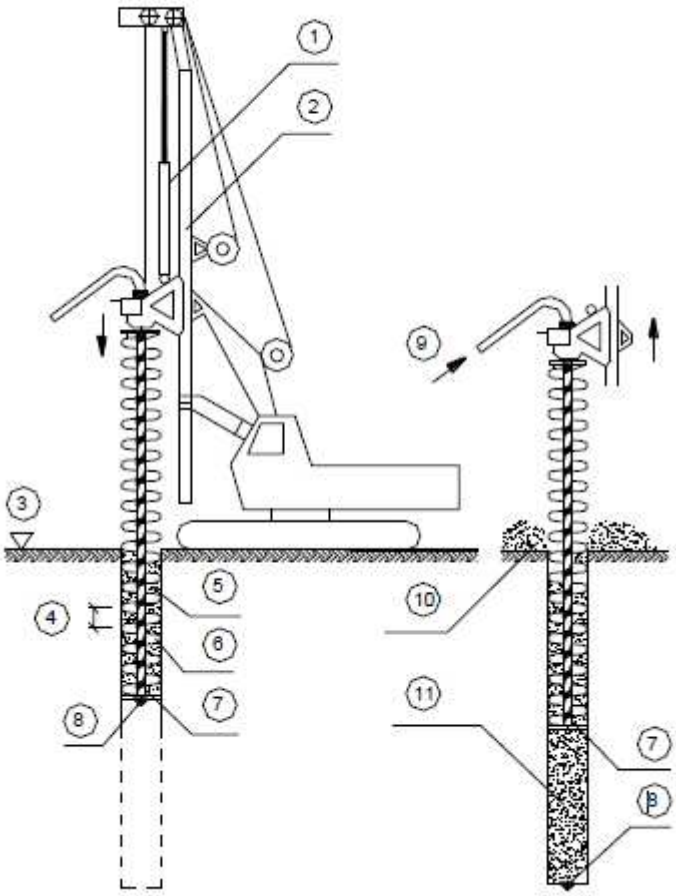
CFA technologie se používá od roku 1966 ve Velké Británií. Principem této technologie je provedení vrtu pomocí průběžného šneku, vrt je posléze zalit betonem. Jakmile se šnek vytáhne, vrt je posléze zalitý betonem a osazen výztuží.

Tato technologie je ve vhodném prostředí velice výhodná a několikanásobně zvyšuje produktivitu práce. Vhodným prostředí pro tuto technologií jsou jak nesoudržné zeminy (s Id < 0,4 a nestejnorodé – d60/d10 >2), které neobsahují balvany, tak zeminy soudržné (kromě měkkých zemin a senzitivních jílů (sensitivní jíl = forma citlivého mořského jílu, který má silnou tendenci měnit tuhý stav na tekutý) a spraší), které neobsahují tvrdé, nevrtatelné vložky.

Velkou výhodou této technologie je, že není třeba vrt pažit. Stabilita stěn je zajištěna pomocí zeminy, která zůstává na závitech šneku. Délka šneku je rovna délce piloty.Vrtání šneku musí být rychlé, vrtná soustava musí mít dostatečný kroutící moment i tažnou sílu.

Provádění pilot CFA technologií má tyto fáze:

Nástroj se zavrtá do zeminy
Betonáž rourou – vybetonován prostor u paty piloty
Vytažení nástroje + odstranění zeminy



Obr. č. 5 – Technologie provádění CFA [1]

1 – přítlačný válec, 2 – věž vrtné soupravy, 3 – pracovní plošina 4 – výška závitu 5- rozrušená zemina 6 – průběžný šnek 7 – vnitřní roura 8 – zátka roury 9 – přívod betonu 10 – vyvrtaná zemina 11 – beton piloty

5 TECHNOLOGIE RAŽENÝCH PILOT FRANKI

Přestože piloty typu displacement nejsou u nás tak běžné jako vrtané piloty, pořád představují k vrtaným pilotám určitou alternativu, proto bude i tento typ pilot v následující kapitole více rozebrán.

Metoda ražených pilot byla objevena v roce 1909 Belgickým inženýrem Edgardem Frankignoulem, který si na výrobu těchto pilot založil firmu. Ve 30. letech minulého století pak došlo k většímu rozšíření této metody do celé Evropy.

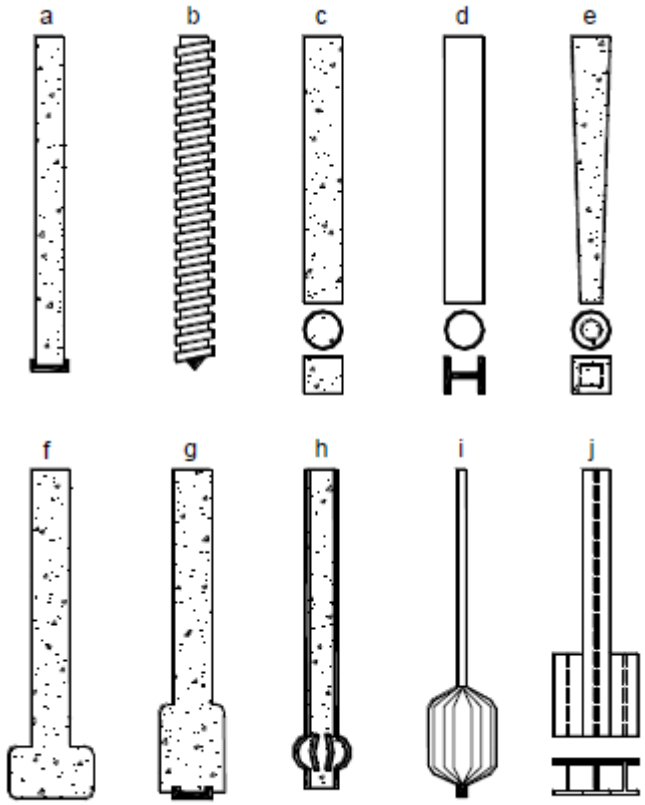
Materiály:

- Ocel
- beton
- ŽB
- předpjatý beton
- malta (injekční směs)
- dřevo
- kombinace

Piloty se instalují:

- Beraněním
- Vibrováním
- Zatlačováním
- Šroubováním
- Kombinací

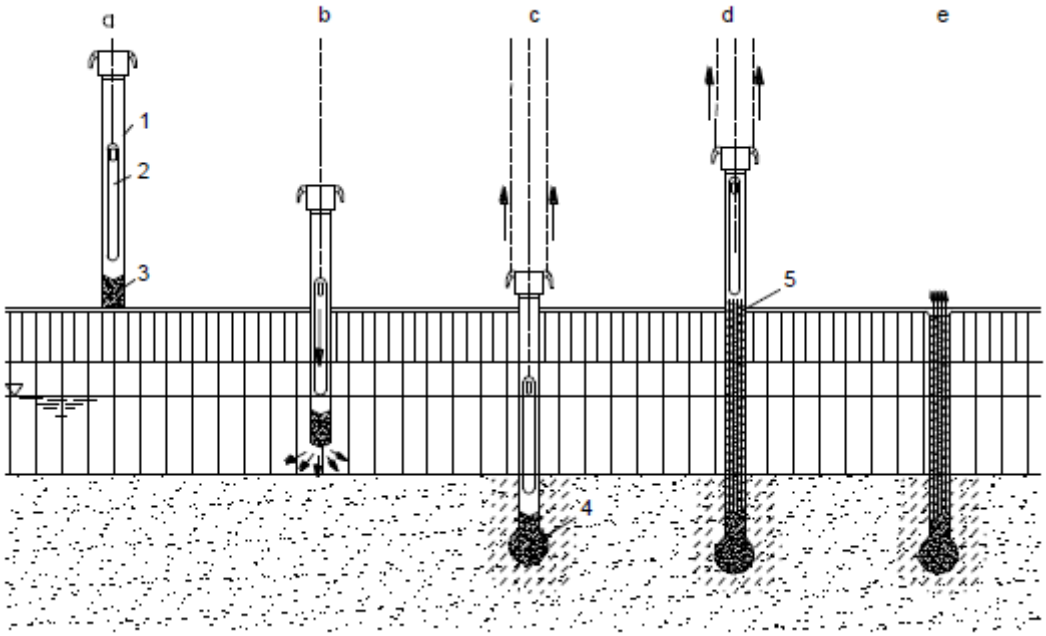
Typy ražených pilot:



Obr. č. 6 typy ražených pilot [1]

a - beraněná, na místě betonovaná pilota, b – šroubová na místě betonovaná pilota c . rozšířenou patou (předrážená, Franki), c – prefabrikovaná, železobetonová pilota d – ocelová pilota (kruhová, H profil), e – prefabrikovaná, železobetonová kónická pilota (kruhová nebo čtvercová, f na místě betonovaná pilota s rozšířenou patou (předražená FRANKI), g – na místě betonovaná s rozšířením paty, h – na místě betonovaná s ponechanou pažnicí a s rozšířením paty, i – pilota s tě-lesem rozšiřujícím patu v měkké zemině, j – ocelová svařovaná s rozšířením paty

Technologický postup výroby klasické předražené piloty dobře ilustruje následující obrázek:



Obr. č. 7 – technologický postup výroby předražené Franki. [1]

a – ražení razící roury se zátkou, b – ražení piloty skrz neúnosnou zeminu c – vyražení zátky d – formování dříku nevyztužené piloty e – hotová železobetonová pilota Franki

1 – razící roura, 2 – beran, 3 – betonová zátka (korek), 4 – rozšířená pata piloty, 5 - armokoš

K ražení pilot se nejčastěji používá silnostěnná ocelová razící roura, dlouhá cca 12 – 14m. Razící souprava neobsahuje hydraulické okruhy ani elektroniku, což je vzhledem k vystavení soupravy dynamickým účinkům velice výhodné

Piloty lze razit jak svislé, tak šikmé (do poměru 8:1). Největší frakce drceného kameniva použitého v betonu by neměla přesáhnout 22 mm.

Beton vytváří v dolní části roury zátku, která je hutněna pádem beranu o hmotnosti 1,5-5,5 tun. Razící roura vniká během beranění do základové půdy, beranění se sleduje vnik roury do základové půdy vzhledem k počtu úderů. Po dosažení únosné zeminy se razící roura vyvěsí pomocí lanových závěsů. PřIdá se beton a dojde k vyrážení zátky, dojde k formování „cibule“ pod patou piloty, jež má rozhodující vliv na únosnost. Pilota se

opatří armokošem, složeným z podélné výztuže (min ϕ 14), distančních kroužků a spirály. Následně se přIdá další beton, který se hutní beranem pracujícím uvnitř armokoše.

6 VÝPOČET ÚNOSNOSTI PILOTY – ŘEŠENÍ PODLE DOC. MASOPUSTA

V následující kapitole jsou uvedeny principy výpočtu české normy podle doc. Masopusta. Tato metoda je založena na empiricko-analytickém základě. Doc. Masopust provedl velké množství zatěžovacích zkoušek, na jejímž základě stanovil pravIdla popsaná v této kapitole. Tato metoda obsahuje velké množství parametrů a proměnných, které znesnadňují interpretaci jednotlivých výpočtových kroků.

Pilota musí vyhovět jak podmínkám pevnostním (1.MS), tak i podmínkám deformačním. Tato diplomová práce řeší a porovnává hlavně 2.MS pro pilot zahloubených do únosného podloží, protože se jedná o nejrozšířenější typ pilot. Pro přehlednost jsou zde ve stručnosti uvedeny i vztahy pro únosnosti pilot podle 1.MS a pro piloty opřené o nestlačitelné podloží – kapitoly 6.1 a 6.2.

6.1 ÚNOSNOST 1. MEZNÍHO STAVU DLE MASOPUSTA

Základní vztah pro posouzení pilot podle 1. MS je následující rovnice..

Uvd = Ubd + Ufd >= Vd

Uvd – celková svislá únosnost piloty

Ubd – celková únosnost paty piloty

Ufd – návrhová plášťové tření piloty

Vd – celková vodorovná síla působící v hlavě piloty

Ubd = k1 *As * Rd

k1- součinitel závislý na zvětšení únosnosti vlivem délky L

As – plocha paty piloty

Rd – návrhová únosnost paty piloty

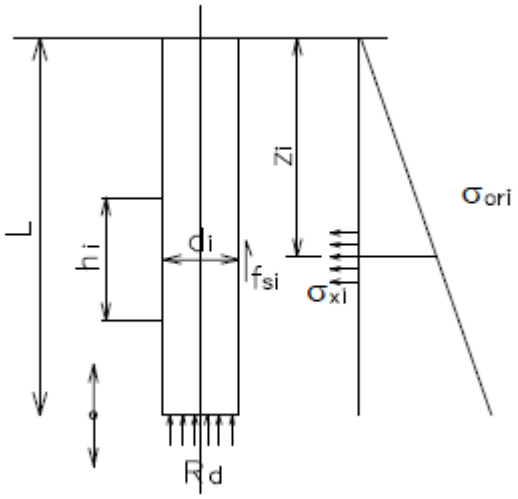
Rd = 1,2 cd*Nc + (1+sin φd)*γ1*L*Nd + 0,7*γ2*d/2*Nb

Nc, Nd, Nb – součinitele závislé na úhlu tření

Ufd = ∑ π*di*hi*fsi

fsi – tření na plášti

di, hi – dle obrázku



Obr. č. 8 – statické schéma piloty pro stanovení únosnosti podle 1.MS [1]

6.2 NA ZÁKLADĚ 2. MEZNÍHO STAVU DLE MASOPUSTA

Následující kapitola se zabývá principy výpočtu 2. MS podle doc. Masopusta. Jsou zde uvedeny výpočtové vztahy pro piloty „pouze opřené“ a vetknuté do nestlačitelného prostředí.

Výpočtová únosnost pilot opřených o nestlačitelné podloží

Jedná se o vrtané piloty opřené patou o skalní horniny, resp. zahloubené do této vrstvy o tloušťce t = 0,1 – 0,2 m.

$$\mathbf{U_{vd} = 0{,}8 * A_s * R_{bd}}$$

Uvd – svislá návrhová únosnost piloty

Rbd – výpočtová únosnost betonu v tlaku (závislá na třídě betonu)

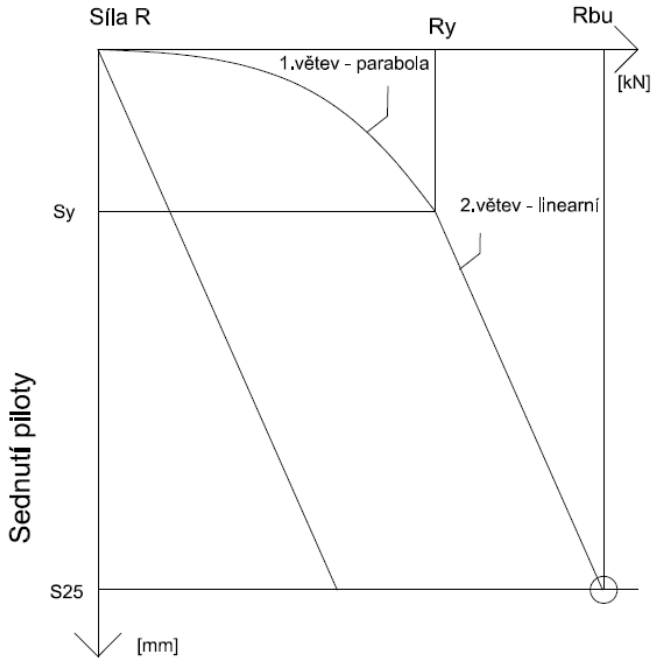
U vrtaných pilot se neuvažuje s efektem vzpěrné pevnosti.
Okamžité sedání je dáno vztahem: **s = Isp *V*L/ (As*Eb)**
Isp – příčinkový koeficient pro sedání piloty
V – působící svislá síla
Eb – modul deformace (pružnosti) betonu,
Es - je průměrná velikost sečnového modulu deformace zemin podél dříku pilot

Výpočtová únosnost pilot zahloubených do stlačitelného podloží – princip mezní zatěžovací křivky

Výpočtová únosnost pro 2. MS pilot zahloubených se odvíjí od mezní zatěžovací křivky, což je křivka vyjadřující závislost působící síly a sedání piloty. Křivka je zobrazena na obr. č. 9. Křivka obsahuje důležité body a má dvě větve.

První větev má tvar paraboly a zde se postupně aktivuje tření na plášti. Po dosažení síly Ry (resp.sednutí sy) se již plášťové tření plně aktivovalo. Ve druhé větvi křivky se s rostoucím sedáním plášťové tření již nezvyšuje. Narůstá již pouze únosnost paty piloty, a to tak, že lineárně.

Zbylým významným bodem je únosnost piloty Rbu, která je brána jako únosnost při mezním sednutím s25=sednutí 25mm. Tato hodnota byla zvolena na základě zkušeností. Na křivce jsou znázorněny i složky Rpu a Rsu. Rbu = Rpu+Rsu.



Obr. č. 9 – mezní zatěžovací křivka [1]

6.3 VÝPOČET PILOT DLE DOC. MASOPUSTA

V rámci aplikace metody dle Doc. Masupusta byly do programu GEO 5 byly zadány piloty jednotlivých délek (5 ; 7,5 ; 10 a 15 m) a průměrech (0,75 ; 0,92 a 1,22 m). Piloty byly simulovány do podloží soudržných i nesoudržných zemin. Jako vzorová nesoudržná zemina byl vybrán písek tř. S1 o index ulehlosti Id = 0,5 ; 0,75 a 1,0. Jako vzorová soudržná zemina byla vybrána hlína tř. F1 o stupni konzistence Ic = 0,75 a Ic = 1,0.

Pro výpočet byl zvolen návrhový přístup 2 - redukce zatížení a odporu. Pro jednotlivé zeminy a modely pilot byly zadány regresní koeficienty a,b,e a f podle tabulky 1 sečnový model Es podle tabulky 2. Program GEO 5 provedl výpočet dle zmíněných vztahů pro 1.MS a pro 2. MS. Výstupem z programu GEO 5 byly hodnoty Ry, Sy, Rpu a Rsu, které se vypočtou podle následujících vztahů.

Rsu – mezní plášťové tření piloty

Rsu = m1*m2*π*∑di*hi*qsi

hi - mocnost příslušné vrstvy

m1 – dílčí koeficient podle druhu zatížení;

m2 – dílčí koeficient vyjadřující vliv povrchu dříku piloty

qsi – plášťové tření piloty

qsi = a – b/ (Di/di)

a,b – regresivní koeficienty dle tabulky

Di vzdálenost hlavy piloty do poloviny vrstvy dle obr. č.2;

d-průměr piloty

q0 – velikost napětí na patě

q0= e- f/(L/d0)

e,f - regresivní koeficienty dle tabulky,

L – délka piloty,

d0=průměr piloty v patě.

V tabulkách č. 1 – 3 jsou uvedeny regresní koeficienty a,b,e a f pro jednotlivé typy zemin, sečnové moduly Es pro jednotlivé délky a průměry pilot. Všechny tyto veličiny mají významný vliv na výsledný tvar mezní zatěžovací křivky.

Zemina / Hornina		Regresní koeficienty [kPa]			
		a	b	e	f
poloskalní	R 3	246,02	225,95	2 841,31	1 298,96
	R 4	169,98	139,45	1 616,22	1 155,34
	R 5	131,92	94,96	957,61	703,89
hrubozrnné	$I_D = 0,5$	62,46	16,06	268,11	174,89
	$I_D = 0,7$	91,22	48,44	490,34	445,42
	$I_D = 0,9$	154,03	115,88	1 596,70	1 399,88
jemnozrnné	$I_C = 0,5$	46,39	20,81	197,74	150,22
	$I_C = 0,75$	71,85	64,70	592,67	617,24
	$I_C \geq 1,0$	97,31	108,59	987,60	1 084,26

Tab.1 – velikost regresních koeficientů pro jednotlivé typy zemin [1]

h [m]	d [m]								
	0,6			1,0			1,5		
	I_D								
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
1,5	11,0	13,7	28,3	12,8	15,8	30,6	13,0	15,3	29,0
3	15,5	20,2	44,5	18,4	25,0	47,8	19,4	24,5	52,5
5	18,8	26,6	56,1	22,8	32,5	69,1	24,5	36,0	78,2
10	23,8	36,6	72,1	29,8	47,8	93,4	32,6	54,0	107,3

Tab 2. – velikost sečnových modulů Es [MPa] pro hrubozrnné zeminy [1]

h [m]	d [m]								
	0,6			1,0			1,5		
	I_C								
	0,5	0,75	≥ 1,0	0,5	0,75	≥ 1,0	0,5	0,75	≥ 1,0
1,5	6,9	10,0	13,2	7,9	10,7	13,4	8,6	10,5	12,3
3	10,0	15,5	22,0	12,5	18,6	23,9	13,7	18,4	23,0
5	12,5	21,9	31,2	15,9	25,7	35,4	18,4	27,6	36,7
10	15,5	29,9	44,3	21,3	36,3	51,3	24,6	41,0	57,4

Tab 3. – velikost sečnových modulů Es [MPa] pro jemnozrnné zeminy [1]

Ry – síla na mezi sednutí sy

Ry = Rsu/(1-β)

β – koeficient přenosu zatížení do paty piloty

β = q0/(q0 - 4* qs´*L/d0)

qs – průměrná velikost plášťového tření podél dřu piloty

qs´= (∑di*hi*qsi)/(∑di*hi)

sy - Odpovídající hodnota sedání při síle Ry

sy = I*Rs/(d*Es)

Es - průměrná velikost sečnového modulu deformace zemin podél dříku piloty, viz tabulka 2 a 3.

I…příčinkový koeficient sedání piloty – viz. graf 1

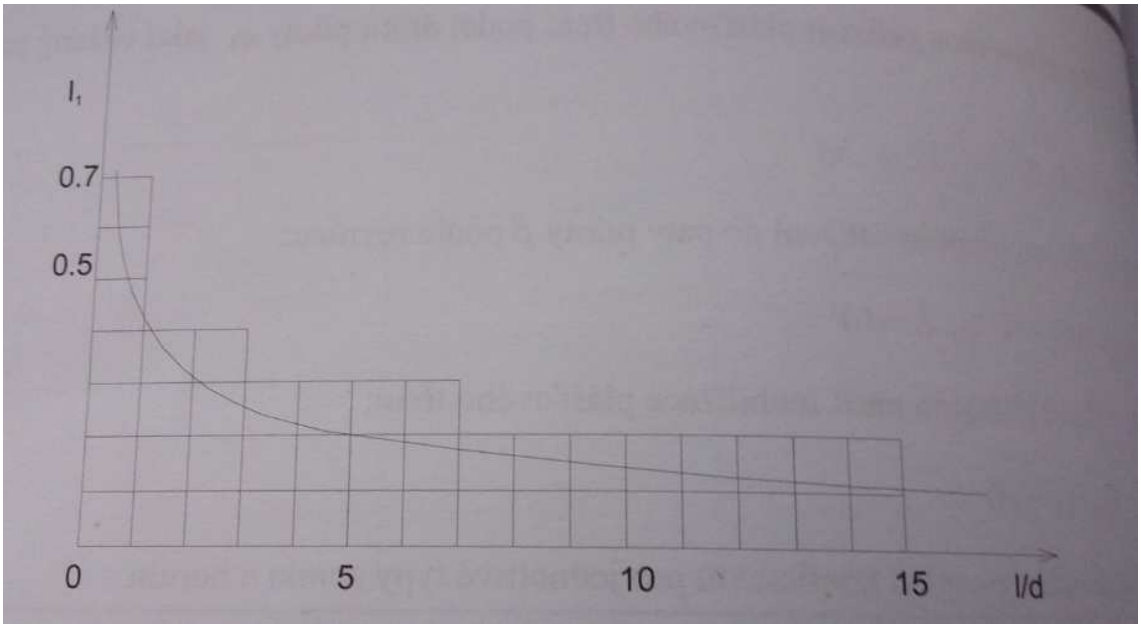
$I = I_1 R_{k,}$

I_1…základní příčinkový koeficient dle grafu

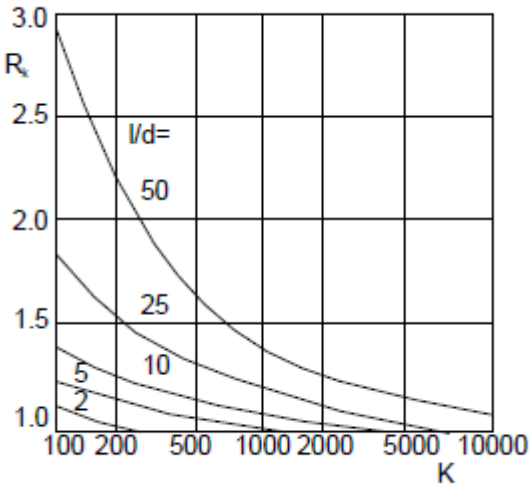
R_k…korekční součinitel viz. graf 2 vyjadřující vliv tuhosti pilot K a štíhlostní poměr L/d

Rpu = β*Ry*s25/sy

Rbu = Rpu + Rsu



Graf 1 – příčinkový koeficient I1 [1]



Graf 2 – korelační součinitel Rk [1]

7 NĚMECKÁ NORMA DIN

7.1 TABULKY

Zatímco v případě české normy (dle doc. Masopusta) je rozhodující působící síla (únosnot), tak podle rakouské a německé normy je rozhodující tření na plášti resp. únosnost qsk na patě. Její hodnoty jsou uvedené v následujících tabulkách 5.12 – 5.15. Hodnoty mají jednotku kN/m^2, a jsou závislé na poměru s/D (sedání/průměr piloty) a hodnotě odporu při penetraci na špici qc [MN/m^2] pro nesoudržné zeminy (tabulky 5.12 a 5.13) nebo smykové pevnosti neodvodněné půdy cu [[MN/m^2] (tabulky 5.14 a 5.15) pro soudržné zeminy.

Hodnoty v tabulkách platí za předpokladu, že níže únosná vrstva je větší jak 3xD (popř. 1,5m pod patou) a je prokázáno qc=7,5MN/m^2, s tím, že doporučené qc = 10MN/m^2.

s/Ds	CPT – qbk 7,5	CPT - qbk 15	CPT - qbk 25
0,02	500-800	1050-1400	1750-2300
0,03	700-1050	1350-1800	2250-2950
0,1	1600-2300	3000-4000	4000-5300

Tabulka 5.12. – hodnoty pro napětí na patě u nesoudržných zemin

střední odpor na špici qc	Plášťové tření qbk
7,5	55-80
15	105-140
>25	130-170

Tabulka 5.13. – hodnoty pro plášťové tření u nesoudržných zemin

s/Ds	CPT cu,k 100	CPT cu,k 150	CPT cu,k 250
0,02	300-450	600-750	950-1200
0,03	450-550	700-900	1200-1450
0,1	800-1000	1200-1500	1600-2000

Tabulka 5.14. – hodnoty pro napětí na patě u soudržných zemin

Neodvodněná pevnost zeminy - cuk	Plášťové tření qsk
60	30-40
150	50-65
>250	65-85

Tabulka 5.15. – hodnoty pro plášťové tření u nesoudržných zemin

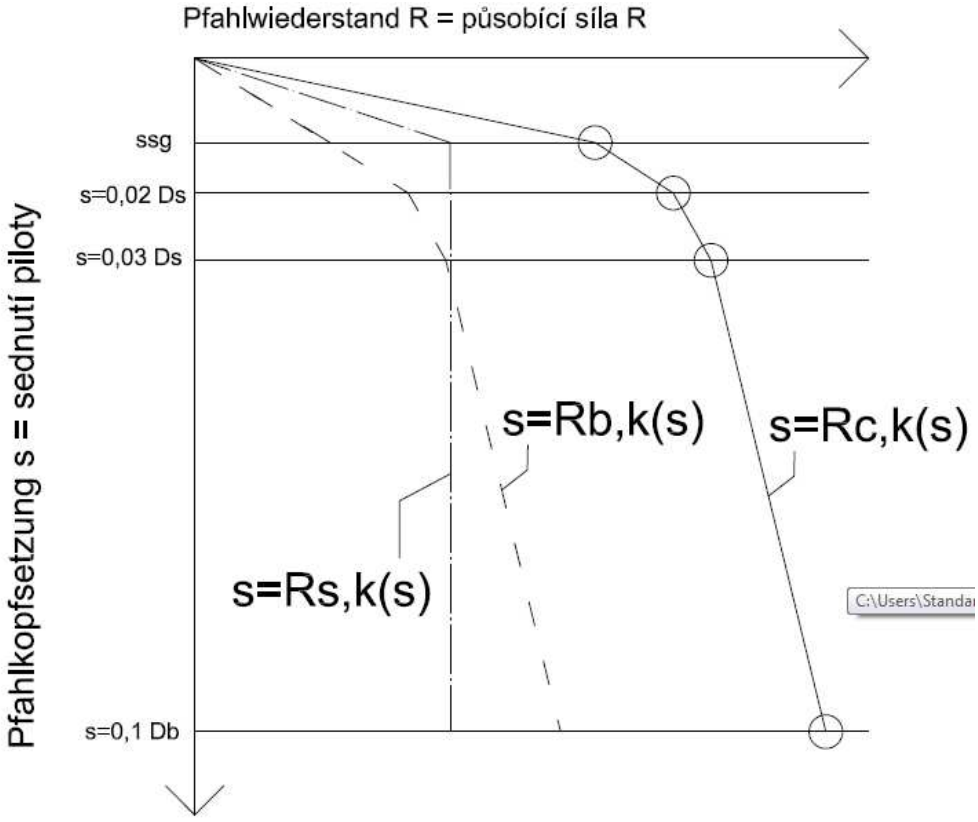
Podrobnosti pro smíšené zeminy (tj. soudržné a nesoudržné jsou uvedené v EC 7-1.

Tabulky vycházejí z ulehlosti „Lagerungsdichte D“. Převody mezi „Lagerungsdichte D a relativní ulehlostí Dr (= indexem Id) jsou uvedeny v kapitole 8.4.

7.2 MEZNÍ ZATĚŽOVACÍ KŘIVKA

Stejně jako v ÖNORM, tak v německé se neuvádí sedání, ale poměr s/Db (sedání/průměr piloty).

Stejně jako v případě normy podle Masopusta, tak i německá norma má mezní zatěžovací křivku. Jsou uvedeny jednotlivé empirické hodnoty pro s/D =0,02; s/D=0,03 a s/D = 0,1. Tyto hodnoty jsou platné pro 0,3m<D<3,0m, přičemž hloubka musí být alespoň 2,50m. Hloubka je ostatně zahrnutá v CPT testu, protože s hloubkou stoupá tuhost zeminy (u soudržných zemin). Tyto požadavky modely pilot splňují.



Obr.1 – německá mezní zatěžovací křivka.

Důležité jsou body na mezi s=0,02 Ds; s=0,03 Ds; a 0,1Db a Ssg.

Ssg je bod, kde se již plně aktivovala plášťové tření, a další průběh tedy závisí již pouze na únosnosti paty, je ekvivalentní s bodem sy ve výpočtu podle Masopusta. Ssg se vypočte se podle vzorce ssg=0,5 * Rsk [MN] + 5 < 30 mm,
Rsk (s) je právě síla, která působí až do sednutí při vyčerpání únosnosti na plášti.
Rc,k (s) – celková síla, která působí až do sednutí při vyčerpání únosnosti v tlaku („Druckpfahlwiederstand“), Rc,k = Rb,k + Rs,k¨

Rb,k (s) – síla, která působí až do limitního sednutí s = 0,1 *Db

Na křivce jsou uvedeny různé indexy. s/Ds = 0,02 a 0,03 a s/Db = 0,1. Rozdíl těchto indexů je pouze v předpokladu, že v místě paty piloty dochází k rozšíření průměru.

V případě této diplomové práce je průměr uvažován po celé délce konstantní, a tak uvažujeme, že Ds=D=Db.

Ostatní hodnoty ležící mimo významné body je možné lineárně interpolovat. U hodnot pro sedání vyšších jak 0,1D je pak mezní únosnost konstantní. Rovněž tedy německá norma připouští sedání větší než 25mm.

7.3 CONE PENETRATION TEST

Zatímco u České normy je rozhodujícím kritériem index ulehlosti Id u nesoudržných zemin a stupeň konzistence Ic u soudržných semin, v německé normě DIN jsou rozhodujícím kritériem hodnota ulehlost D („lagerungsdichte“) ze zkoušky Cone penetration test („zkouška penetrace kuželem“).

Cone Penetration test je zkouška, která je prováděna přímo v terénu a slouží k získání některých parametrů zeminy. Byla objevená v roce 1950 v Nizozemských laboratořích mechaniky zemin (někdy je tato zkouška nazývána i „Dutch penetration test), je to metoda, která je dodnes populární po celém světě.

Průběh zkoušky

Ke zkoušce je potřeba tzv. kuželový penetrometr („cone penetrometer“), na jehož konci leží vzorový kužel („cone“). Zbytou část zařízení tvoří „trubka“ (sleeve), ležící nad kuželem podle obrázku. Kužel je zatlačen do země o určité rychlosti (nejčastěji mezi 1,5-2,5 cm/s). Hodnoty měření vycházejí z odporu zeminy vůči penetraci kužele, a někdy i z odporu tření „trubky“. Průřez kužele je mezi 10-15 cm^2.

Důležitými vstupy a výstupy z CPT jsou:

Qc – celková síla působící na kužel
Ac – projektovaná plocha kuželu
qc – odpor kuželu vůči zemině („cone resistance“)
Fs – celková síla působící na „trubku“
As – plocha tření „trubky

fs – odpor vůči tření trubky („sleeve fiction“)

u1, u2, u3 – tlak pórů, umístění podle obr.

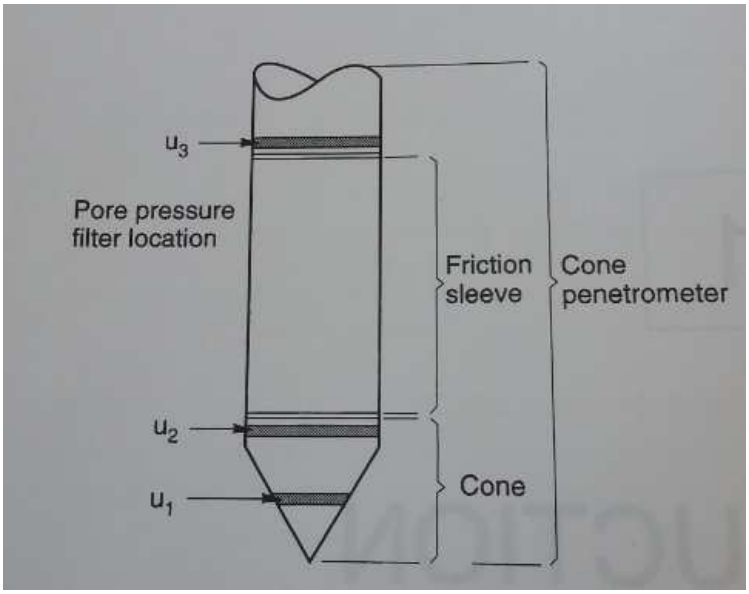
Účelem CPT testu je určení:

Geologické struktury zkoumaného místa

Režim podzemních vod

Fyzikální a mechanické vlastnosti zkoumané oblasti

(Rozdělení a složení nečistot)



Pro úspěšné provedení CPT Testu je celkem zapotřebí: [3]

Kuželový penetrometr

stlačovací zařízení („Pushing equipment“, nejčastěji CPT Truck)

Měřící zařízení

Zkouška se provádí z povrchu v místě vrtu, kužel je často připojen k měřícímu vozIdlu (tzv. „CTP truck“). Kužel a „trubka“ (Cone and sleeve“) jsou tedy zatláčeny do země, a měřící přístroje přitom ukazují odpor zeminy. Tento proces je pro stejnou hloubku poté několikrát opakován.

Korelace výsledků

Pro nesoudržné zeminy použijeme převody z následující tabulky. Grundbau-Taschenbuch: Teil 2.

Spitzerwiederstand qc MPa	**Bezogene Lagerungsdichte D**	**Bezeichnung**
<2,5	<0,15	sehr locker (= velmi kyprý)
2,5-7,5	0,15-0,35	locker (= kyprý)
7,5-15	0,35-0,65	Mittedicht (=“polotuhý“)
15-25	0,65-0,85	Dicht (tuhý)
>25	>0,85	Setr dicht (=velmi tuhý)

Z následující tabulky se tedy dá vyčíst, že:

Hodnotě odporu na špici kužele qc = 7,5 MN/m^2 odpovídá ulehlost zeminy D= 0,35
Hodnotě odporu na špici kužele qc = 15 MN/m^2 odpovídá ulehlost zeminy D= 0,65
Hodnotě odporu na špici kužele qc = 25 MN/m^2 odpovídá ulehlost zeminy D = 1,0.

A výsledné hodnoty se mezi tím interpolují.

Pro soudržné zeminy existuje na základě vědeckých článku několik možností převodu podle následující tabulky.

Tabelle 3. Vergleich der neuen Beziehung I_C zu c_u mit Normen und Veröffentlichungen
Table 3. Comparison of the new I_C to c_u relationship with existing standards and publications

Konsistenzgrenzen und Konsistenzbereiche	Konsistenz-zahl I_C [1]	Bezugs-gerade (Bild 5)	*Kézdi*, 1969 [16]	*Schuppener Kiekbusch*, 1988 [9]	P.I.A.N.C., 1984 [17] *Head*, 1994 [18]	*Wroth/ Wood*, 1978 [13]	Schweizer Norm, 1992 [19]
		Undränierte Scherfestigkeit c_u in kN/m²					
Fließgrenze w_L	0	2	–	5	–	1,7	–
breiig	0–0,25	2–6	< 12,5 sehr weich	5–15	< 20 very soft	–	< 12,5 sehr weich
sehr weich	0,25–0,50	6–20	12,5–25	15–35	20–40 soft	–	12,5–25 weich
weich	0,50–0,75	20–60	25–50 mittel	35–80	40–75 soft-firm	–	25–50 mittelsteif
steif	0,75–1,00	60–200	50–100	80–200	75–150 firm-stiff	–	50–100 mittelsteif-steif
Ausrollgrenze w_P	1,00	200	100	200	150	170	100
halbfest	1,00–1,25	200–600	100–200 sehr steif	200–400	> 150 very stiff or hard	–	100–200 hart
Schrumpfgrenze w_S	1,25	600	200	400	–	–	200
fest	> 1,25	> 600	> 200 hart	> 400	–	–	> 200 sehr hart

Obr.2 – převodní tabulky ze smykové pevnosti Cu na stupeň konzistence C [5]

V této tabulce je popsáno několik v praxi již úspěšně používaných metod, které mají empirický základ. Novinkou jsou hodnoty v prvním sloupci (Bezugsgerade), kde na rozdíl od ostatních metod byly provedeny zatěžovací zkoušky na neporušených vzorcích, tudíž se očekávají výsledky nejbližší realitě, nicméně tato metoda prozatím není ověřená praxí.

V případě této diplomové práce budeme brát hodnoty ze třetíhoe sloupce (Shcuppener Kiekbusch, 1988), kde jsou mezní hodnoty mezi jednotlivými konzistenčními stavy podobné hodnotám v německé normě DIN, není tedy nutné všechny hodnoty interpolovat.

8 ÖNORM

8.1 ÚVOD

Stejně jako v německé normě DIN, v rakouské normě jsem hodnoty pro napětí na patě qbk a pro plášťové tření qsk uvedené v jednotlivých tabulkách C3 – C7. Hodnoty jsou výsledky zavedené na základě zkušeností nebo jako výsledky zkoušek. Hodnoty z těchto tabulek se berou vždy, pouze pokud nebyla pro daný případ provedena zatěžovací zkouška.

Hodnoty jsou brány v případě, kdy
- nedošlo k rozšíření paty piloty
- byl proveden důkladný průzkum podzemní vody
- model podloží je jasně definován
- je splněna podmínka minimální délky piloty (L> 5 m, L > 5x D)
- pilota je do podloží vetknutá, minimální délka vetknutí je uvedena v tabulce C2 a C3

Hodnoty v tabulkách vylučují zakládání na velmi kyprých a velmi měkkých zeminách.. Hodnoty z tabulek C4 – C7 zavisí na D („lagerungsdichte“ = ulehlost - D= (n0 –n)/(n0-nd)), jsou vyjádřené jako N30 ze staticky dynamické zkoušky.

Stejně jako v České normě, i v rakouské normě je rozhodující veličinou popisující zeminové prostředí ulehlost D („lagerungsdichte). Převody mezi indexem ulehlosti Id, stupněm konzistence Ic a ulehlostí D jsou uvedeny v kapitole 7.3

Lagerungsdichte = ulehlost	N30 – z SPP zkoušky	Minimální délka vetknutí podloží
Velmi hutněný	Nad 50	D
Hutněný	30 - 50	2D
Průměrně ulehlý	10 - 30	3D

Tabulka C2 – tabulka pro minimální délku vetknutí v podloží u nesoudržných zemin

konzistence	Minimální délka vetknutí podloží
Polotuhá až tuhá	D
tuhá	2D

Tabulka C3 – tabulka pro minimální délku vetknutí v podloží u soudržných zemin

S/Db	Středně tuhá	Tuhá	Velmi Tuhá
0,005	0,30	0,40	0,50
0,01	0,55	0,80	1,00
0,02	1,05	1,40	1,75
0,03	1,35	1,80	2,25
0,05	1,90	2,50	2,95
0,075	2,50	3,10	3,55
0,1	3,00	3,50	4,00

Tabulka C4 – hodnoty únosnosti na patě qbk pro nesoudržné zeminy

S/Db	Tuhý	Velmi tuhý	Polopevný	Pevný
0,005	0,10	0,15	0,25	0,30
0,01	0,15	0,30	0,45	0,60
0,02	0,35	0,60	0,90	1,20
0,03	0,45	0,80	1,15	1,50
0,05	0,60	1,10	1,60	2,10
0,075	0,70	1,40	2,00	2,60
0,1	0,80	1,50	2,20	3,00

Tabulka C5 – charakteristická únosnost plášťového tření qsk pro nesoudržné zeminy

Lagerungsdichte = ulehlost	Charakteristická hodnota qsk – MS použitelnosti	Charakteristická hodnota qsk – MS únosnosti
Kyprý	0,030	0,045
Středně ulehlý	0,050	0,075
Tuhý	0,070	0,105
Velmi tuhý	0,120	0,180

Tabulka C6 – hodnoty únosnosti na patě qbk pro soudržné zeminy

Konzistence	Charakteristická hodnota qsk – MS použitelnosti	Charakteristická hodnota qsk – MS únosnosti
Měkký	0,010	0,015
Tuhý	0,020	0,030
Velmi tuhý	0,035	0,052
Pevný	0,050	0,075
Velmi pevný	0,070	0,105

Tabulka C7 - charakteristická únosnost plášťového tření qsk pro soudržné zeminy

8.2 SPT – STANDARD PENETRATION TEST

STP je dynamická penetrační zkouška prováděná v terénu. Používá se „silnostěnná vzorová trubice“ („thick-walled sample tube“), jejíž vnější průměr je roven 50,8 mm a vnitřní průměr 35 mm, celková délka je rovna 650 mm. Ta je zatlačena na dno údery silného kladiva o hmotnosti 63,5 kg, které dopadá z výšky 60 mm. Vzorová trubice je zavrtána do země do hloubky 150 mm, zaznamenává se počet úderů, kterým se trubice posune o dalších 150 mm („6 in“) a do hloubky 450 mm („18 in“). Počet úderů k překonání dalších 150 mm se nazývá tzv. „standartní penetrační odpor“ nebo tzv. „N –

hodnota“, ze které některé hodnoty v ÖNORM vychází. Pokud je počet úderů na překonání 150 mm větší než 50, zapíše se 50.

Hlavní význam zkoušky je určení relativní ulehlosti u písků a štěrků, u kterých je velice náročné udělat vrt a získat tím neporušené vzorky. Zkouška je ve světě rozšířená, její výhodou je jednoduchost a nízká cena.

Účelové použití výsledků pak závisí hlavně na typu zeminy, nejjemnější písky dávají nejpřesnější výsledky, hrubší písky pak dávají výsledky, které je třeba odůvodnit. Zkouška je nevhodná pro soudržné zeminy a jíly. Výsledky ze zkoušky zde neodpovídají reálnému chování zeminy.

Problémem STP je ten, že je zde nutné obnovení velmi narušeného vzorku, který není obvykle vhodný pro měření dalších pevnostních charakteristik. Aby se předešlo této nevýhodě, probíhá měření s větším vzorkovačem s lehce odlišným tvarem. Výsledek se však počítá, a tudíž není jednoduché najít správnou konverzi mezi STP a hodnotou N-30, ačkoliv již bylo navrženo mnoho postupů. Mnoho z nich se odvíjí od typu zeminy.

9 VYHODNOCENÍ VÝPOČTU MODELOVÝCH PILOT PODLE JEDNOTLIVÝCH NOREM

9.1 PŘEVODY A POSTUP VÝPOČTU PODLE MASOPUSTA

Upravení veličin

Zatímco v případě české normy (dle doc. Masopusta) je rozhodující působící síla (únosnot), tak podle rakouské a německé normy je rozhodující tření na plášti (únosnost qsk na patě). Pro porovnání jednotlivých norem je tedy nutný převod výsledené svislé síly (únosnosti piloty) s jednotkou kN, na plošné zatížení s jednotkou kN/m^2.

Síla na plášti Rs
Rs= 2*π*R*L*qsk; => **qsu=Rs/(2* π*R*L)**

Síla na patě Rp
Rp = π*R^2*qpk => **qbu = Rp/(= π*R^2)**

Postup výpočtu pro první a druhou větev křivky

V rakouské a německé normě se však neudává sedání, ale poměr s/Db, pro jednotlivá sedání a průměr pilot byl tedy tento poměr vyjádření i podle přístupu dle Masopusta. Zatímco doc. Masopust uvažuje pouze sedání do 25mm, německá a rakouské norma může brát v úvahu i sedání mnohem větší. V programu GEO 5 byl tedy pozměněn údaj o maximálním sednutí a dle průměru pilot byl zadán údaj tak, aby smax/D = 0,1.

Maximální únosnost paty Rpu při s/D=0,1 známe, dle výše zmíněného výpočtu ji nám vypočítá program GEO 5. Není problém dopočítat únosnosti na patě pro ostatní sedání (poměry s/D), neboť zde existuje přímá úměra. (Rpu,x = Rpu*smax/sx). Dále odvodíme qpk – napětí na patě.

Obdobný postup je i při odvození únosnosti na plášti. Dopočítáme maximální únosnost (Rsu+Rpu=Rbu => Rsu=Rbu-Rpu). A dále rozlišujeme, zda se jedná o první

(parabolickou) větev, nebo o druhou lineární větev, ve které došlo již k vyčerpání plášťové únosnosti.

Dopočet celkové síly pro 1. Parabolickou větev

Podle zatěžovací křivky tedy víme, že po dosažení bodu sednutí sy (síly Ry) zůstává plášťová únosnost konstantní, pro druhou větev křivky je tedy možné doplnit Rsu pro jednotlivá sednutí s, kde sy< s <smax. A obdobně dopočítat qsu a qbu (qsu = Rs /(2* π* R* L; qbu = qpu+qsu).

Pro první zatěžovací větev víme, že rovnice sedání s=sy* (R/Ry)^2. Z této rovnice je možné si vyjádřit celkovou únosnost pro dané sednutí (nebo poměr s/D) – napětí na patě Rbu = $\sqrt{Ry/sy}$ * s. Analogicky dopočítáme plášťové tření odečtením únosnosti na patě od celkové únosnosti Rsu = Rbu – Rpu. Z následujících údajů rovněž dopočítáme qsu plášťové tření a mezní napětí na patě qbu. (qsu = Rs /(2* π* R* L; qbu = qpu+qsu).

Výsledné hodnoty qbu (napětí na patě), a qsu (tření na pláši) pro jednotlivá sedání pak porovnáme tabulkovými hodnotami německé a rakouské normy. Pro větší přehlednost se jednotky těchto norem převody na kN/m^2.

9.2 VÝPOČET PODLE NĚMECKÉ NORMY ÖNORM

V německé normě je již výpočet mnohem jednodušší. Hodnoty pro jednotlivá podloží se vezmou z tabulek 5.12 – 5.15. Výsledná únosnost se pak rovná součtu únosnosti na patě a plášťového tření. **q = qbu + qcu.**

9.3 VÝPOČET PODLE RAKOUSKÉ NORMY ÖNORM

Analogicky provedeme výpočet i pro Rakouskou ÖNORM. Hodnoty pro jednotlivá podloží se vezmou z tabulek C4 – C7. Výsledná únosnost se pak rovná součtu únosnosti na patě a plášťového tření. **q = qbu + qcu.**

9.4 PŘEVODY MEZI INDEXEM ULEHLOSTI A ULEHLOSTÍ, INDEXEM KONZISTENCE A NEODVODNĚNOU SMYKOVOU PEVNOSTÍ

Převody mezi indexem ulehlosti Id a ulehlostí D

V České normě dle doc. Masopusta se únosnost zemin určuje podle Indexu ulehlosti Id zatímco v rakouské normě ÖNORM i v německé normě DIN je rozhodující „ulehlost D“ (=Lagerungsdichte). Zde srovnání daných norem poněkud naráží. Zatímco index ulehlosti Id vychází z čísla pórovitosti, ulehlost D vychází čísla pórovitosti.

Id = e0 - e / (e0 – ed)
Id = Dr = „relative dichte“

e… číslo porovitosti = Vs/Vp = („objem pórů/objem pevných částic)= n/(1-n)
e0 = min. číslo pórovitosti
ed = max. pórovitost

D = n0 – n/(n0 – nd)
D = „lagerungsdichte“

n… provitost = Vs/Vc = („objem pórů/celkový objem)
n0 = min. pórovitost
nd = max. pórovitost

Podle německé knihy Taschenbau je převod mezi „Lagerungsdichte D a relativní úlehlostí Dr (Idnex ulehlosti Id) dán následující tabulkou 4. Tabulka 4 je nadále doplněná o přibližné hodnoty v rakouské normy, která rozlišuje zeminy velmi kypré a velmi ulehlé, bližší rozdělení je popsáno v následujících tabulkách.

Norma	Kypré	Středně ulehlé	Ulehé
Stará česká norma	0 – 0,33 Id	0,3-0,66 Id	0,6 – 1,0 Id
DIN	0 – 0,3 D	0,33-0,6 D	0,6 – 1,0 D
ÖNORM	0 – 0,35 D	0,35 – 0,65 D	0,65 – 1,0 D

Tabulka 4 – vyjádření ulehlosti zeminy v jednotlivých normách

Na základě této tabulky se dá vyčíst, že 0,3D odpovídá 0,33 Id.V rámci této diplomové práce tedy převádíme všechny hodnoty na index ulehlosti Id podle staré české normy. Je to jednodušší a zároveň pevodem veličin na ulehlost D by pak mohl výpočet podle doc. Masopusta kolabovat.

EN ISO 14688-2:2004 (D)

Tabelle 4 — Bezeichnungen für die bezogene Lagerungsdichte

Bezeichnungen	bezogene Lagerungsdichte I_D %
sehr locker	0 bis 15
locker	15 bis 35
mitteldicht	35 bis 65
dicht	65 bis 85
sehr dicht	85 bis 100

Obr. č. 4 – Tabulka č.4 – upřesňující rozdělení zeminy podle indexu ulehlost Id [5]

D	0–0,15	0,15–0,30	0,30–0,50	0,50–0,80	> 0,80
Benennung	sehr locker	locker	mitteldicht	dicht	sehr dicht

Hodnoty pro Id z Rakouské ÖNORM se vezme podle obr. č 4 – Tabelle 4, která je však shodná s tabulkou C4 ,z té taky byly hodnoty pro Id brané, a tedy není nutné převádět.

Převody mezi indexem konzistence Ic D

Pro soudržné zeminy jsou již převody jednodušší. rakouské ÖNORM v tabulkách C5 a C7 odvozuje stejně jako česká norma podle doc. Masopusta únosnosti na patě a plášťové tření qsk a qbk podle indexu konzistence Ic, jakýkoliv převod zde tím pádem není nutný.

Hodnoty qsk a qbk z německé DIN pak vycházejí z neodvodněné smykové pevnosti cu. Převod mezi cu a Ic je uveden v tabulce 2 v kapitole 7.3.

10 VÝSLEDKY A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ JEDNOTLIVÝCH NOREM

10.1 VÝPOČET

Byl proveden výpočet podle všech norem. Byly dopočítány hodnoty qbk (napětí na patě) qsk (plášťové tření) a q = qsk + qbk.

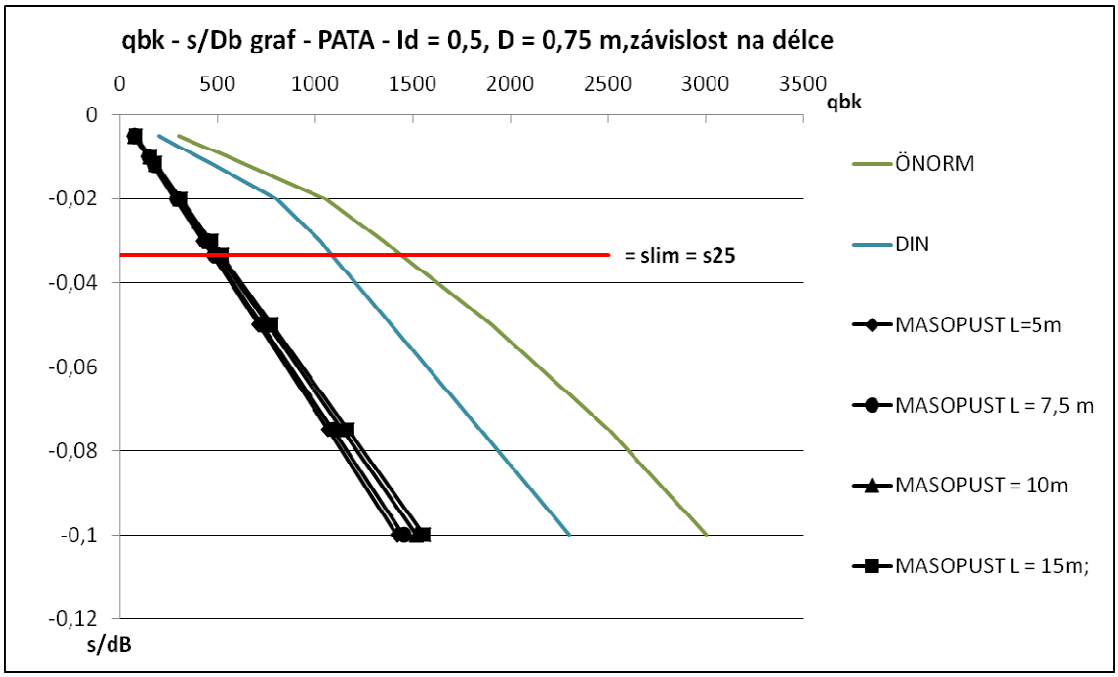
Výpočet všech těchto veličin byl proveden pro všechy poměry s/D uvedené v rakouské normě (všechny příslušné poměry s/D jsou uvedené v tabulkách C4 a C6 v kapitole 8.1). Poměry s/D byly taktéž doplněny o poměry s/D při hodnotách sedání s = sy a s= s25 dle normy dle doc. Masopusta. Všechny zmíněné veličiny byly pro tyto poměry dopočítány, hodnoty qsk a qbk z německé DIN se dopočítaly interpolací podle německé mezní zatěžovací křivky.

Názorný výpočet podle jednotlivých norem je uvedený v kapitole 11.

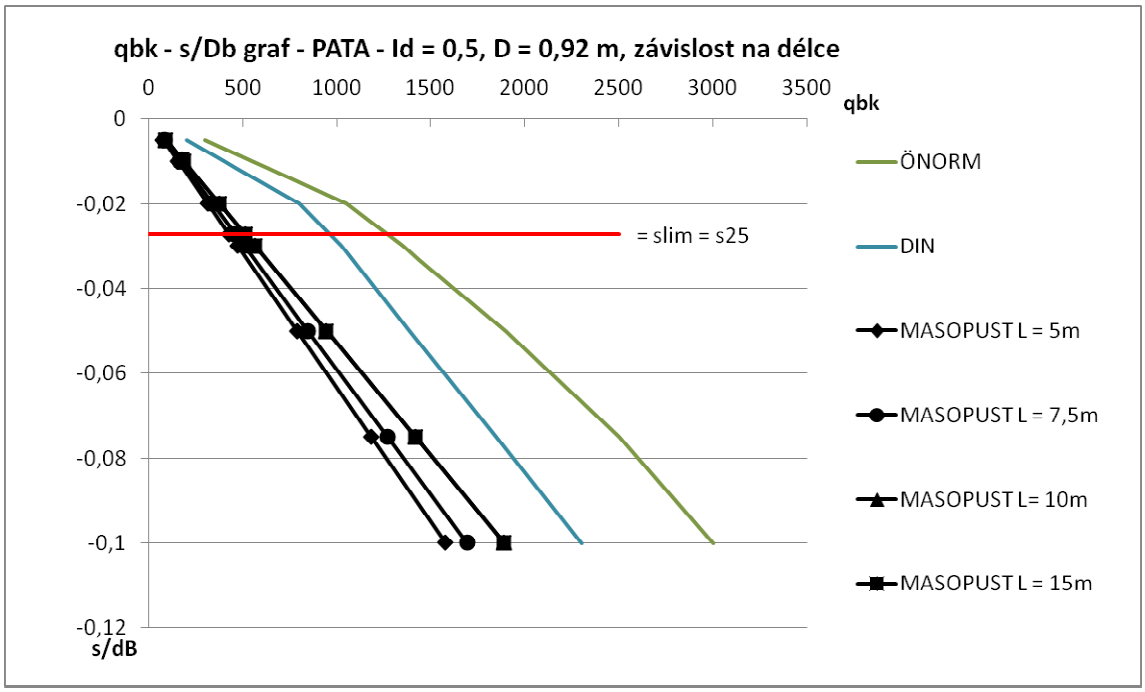
10.2 VÝSLEDKY – NESOUDRŽNÉ ZEMINT

Výsledky všech qbk – napětí na patě, qsk – plášťové tření a celková q = qsk + qbk pro simulované piloty daných rozměrů jsou uvedené v příloze této diplomové práce. Na základě získaných hodnot byly vytvořeny jednotlivé grafy popisující závislosti jednotlivých parametrů.

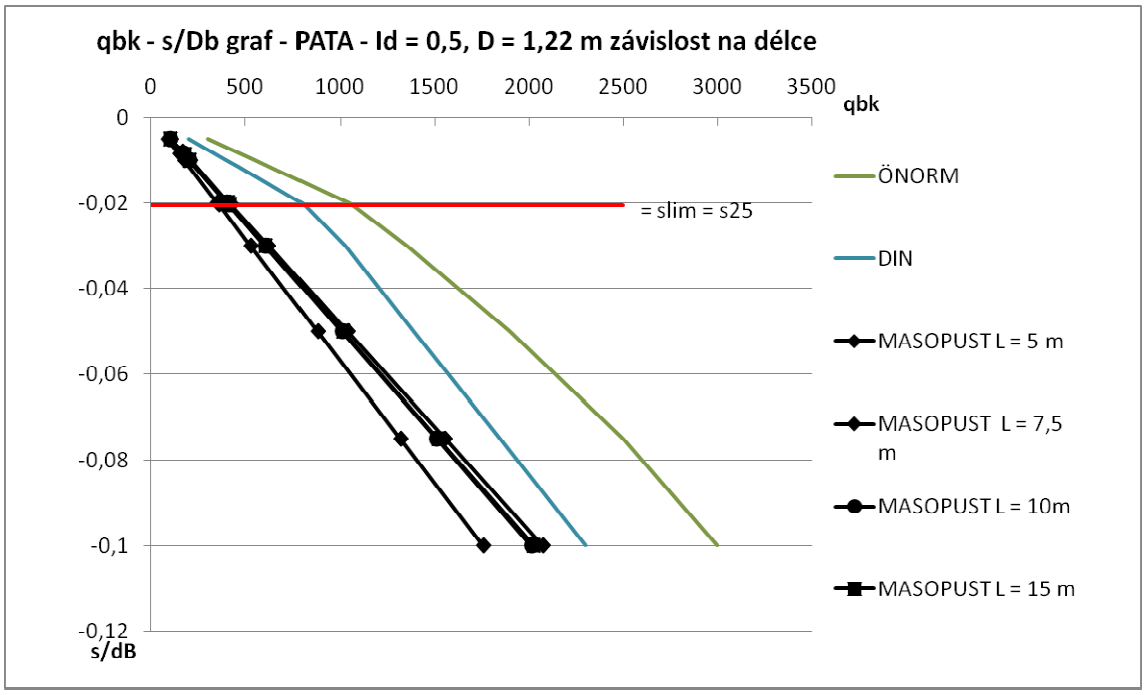
Graf únosnosti na patě qb a závislost na poměru s/Db



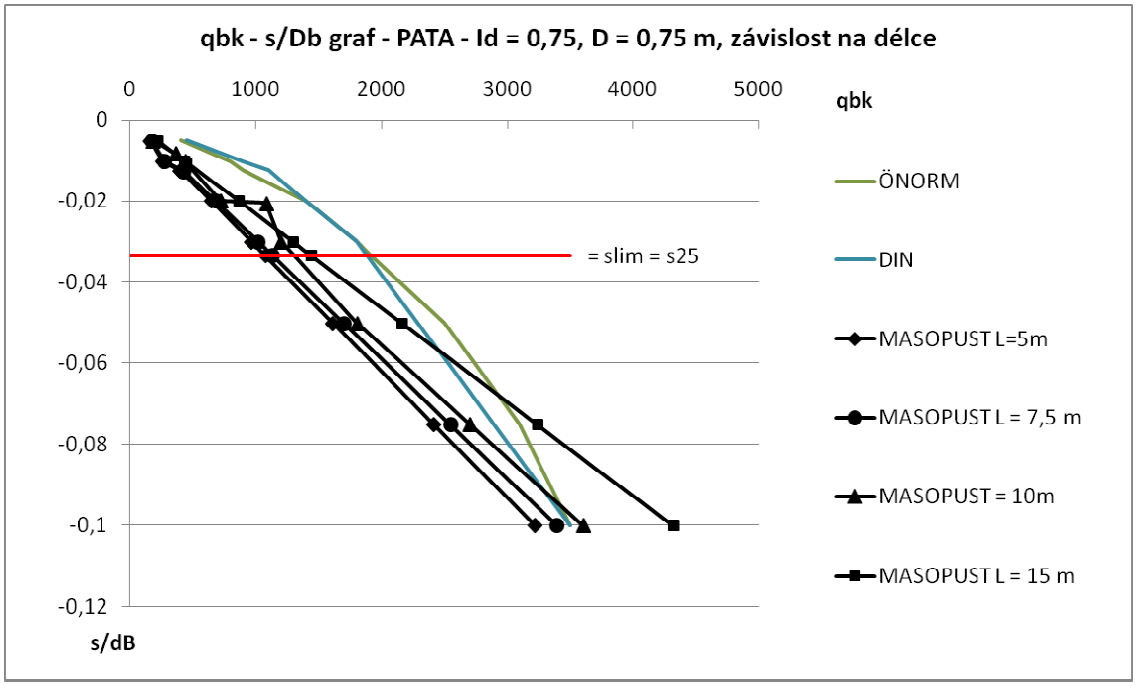
Obr. 10.2.1a



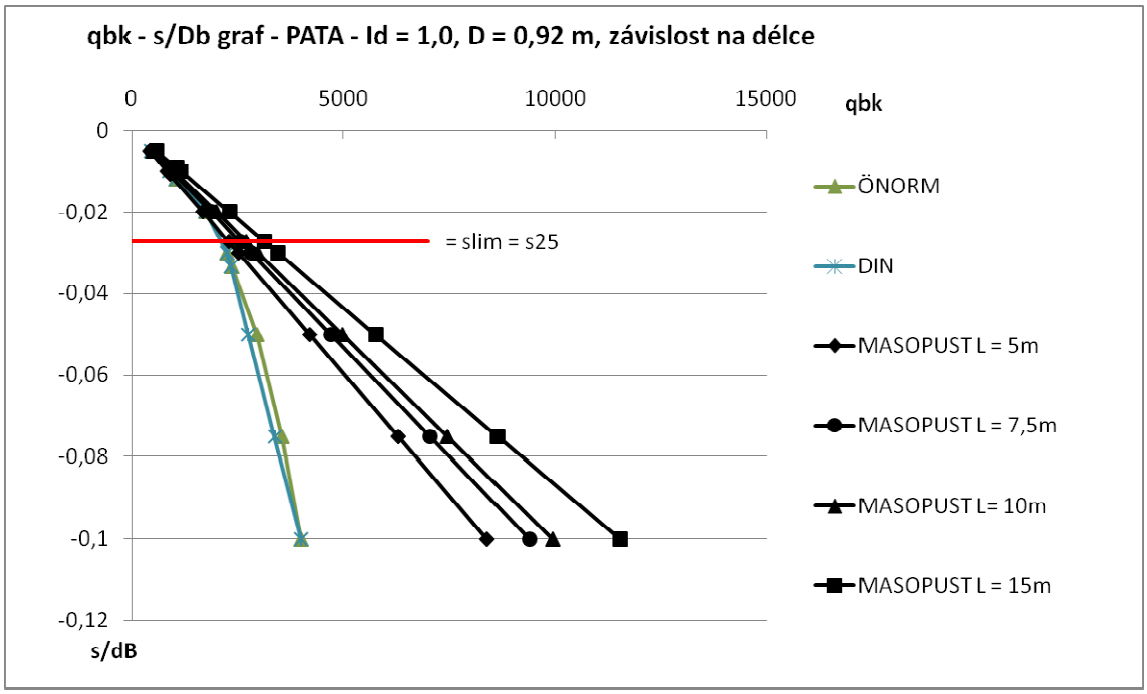
Obr. 10.2.1b



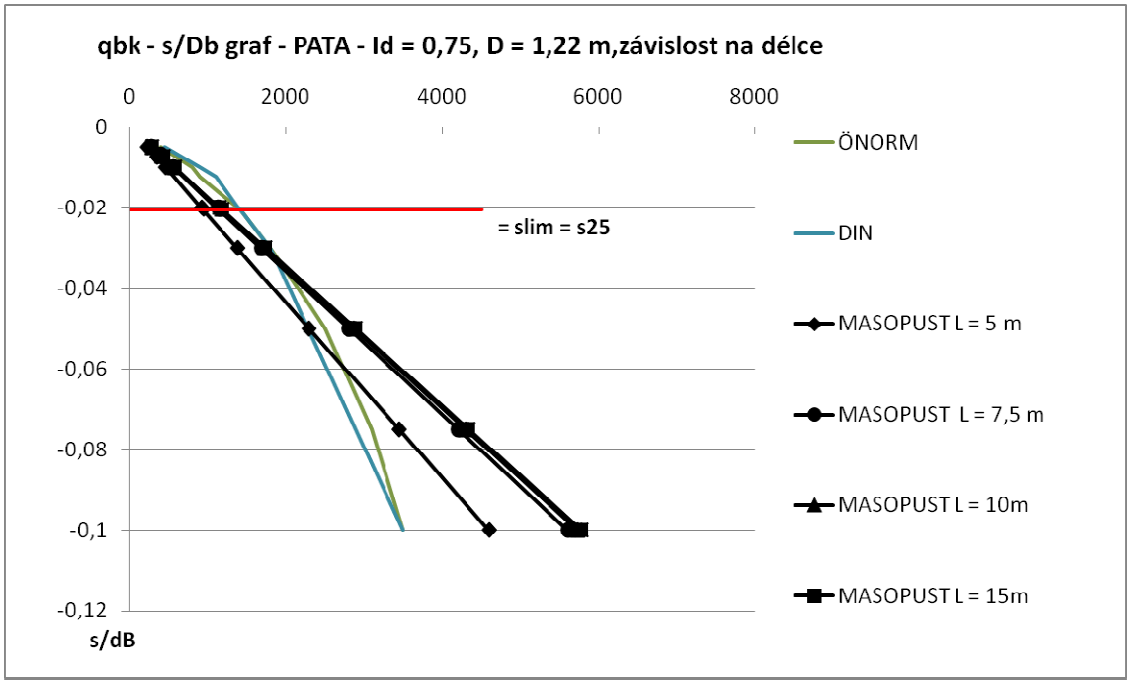
Obr. 10.2.1c



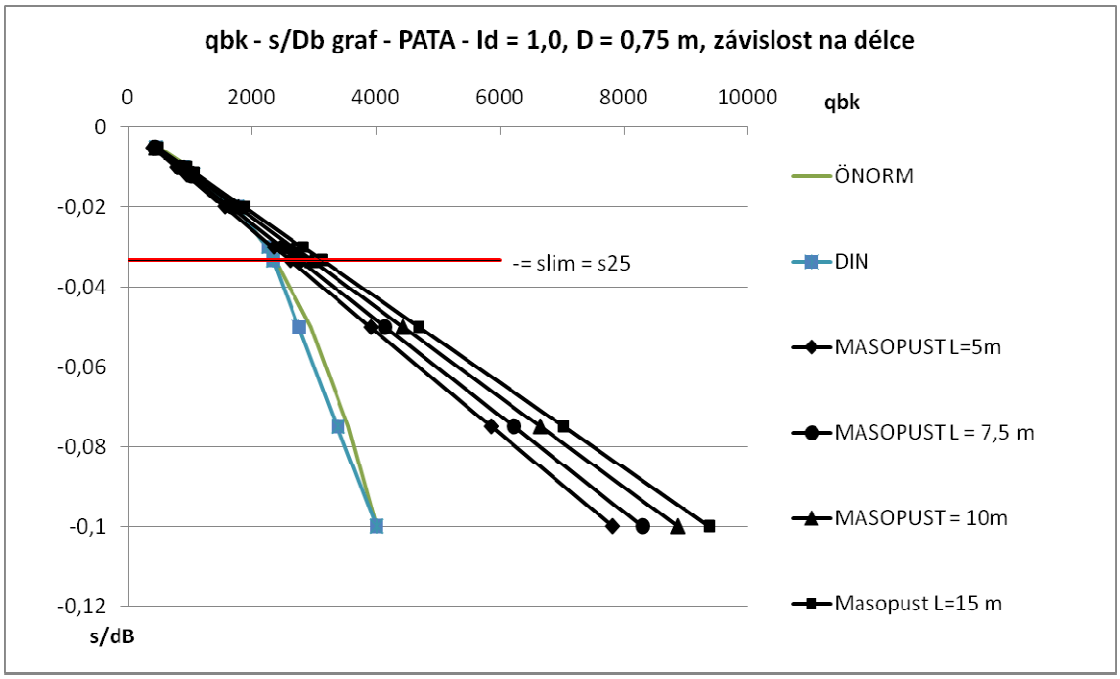
Obr. 10.2.1d



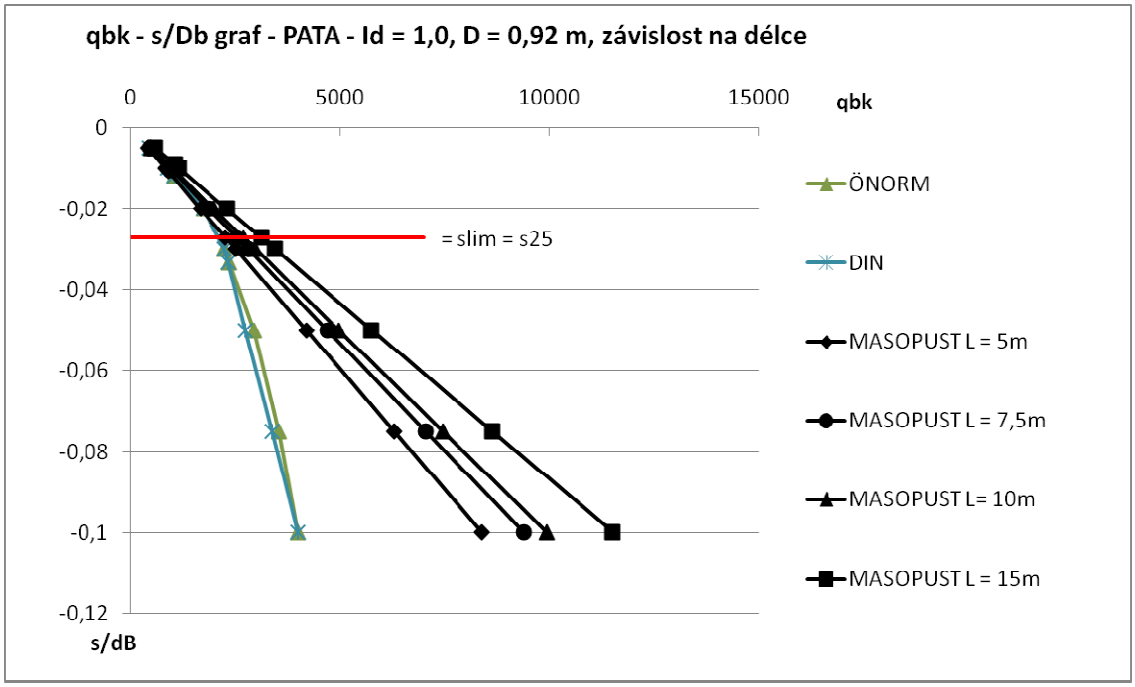
Obr. 10.2.1e



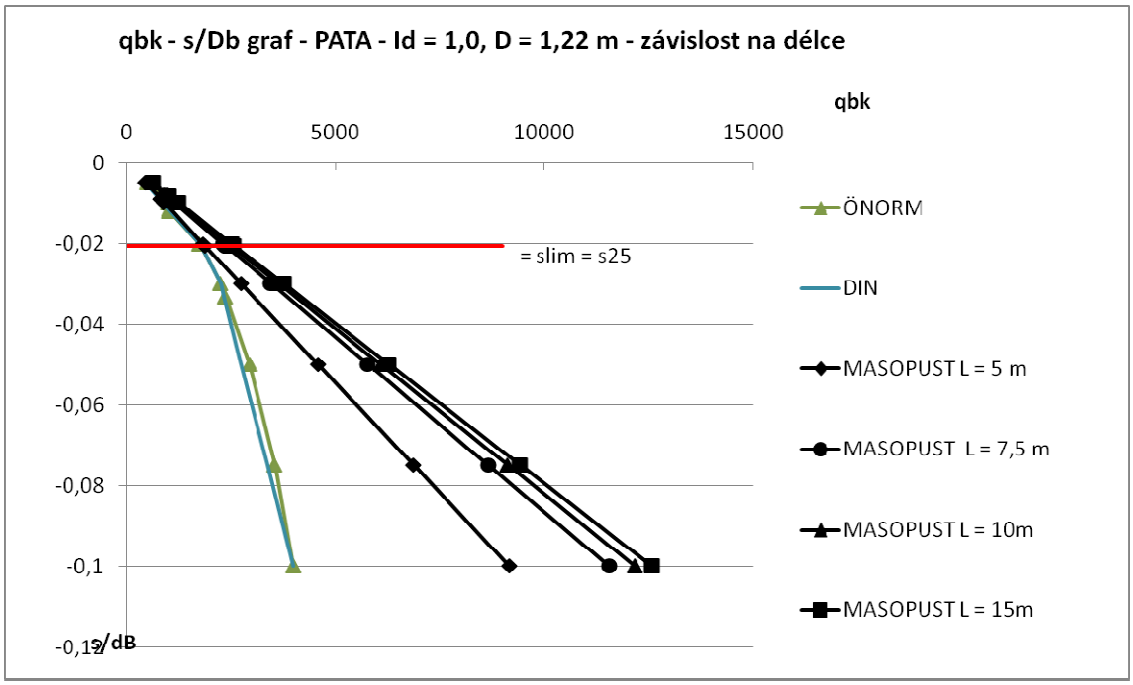
Obr. 10.2.1f


qbk - s/Db graf - PATA - Id = 1,0, D = 0,75 m, závislost na délce
0
2000
4000
6000
8000
10000
qbk
0
-0,02
-0,04
-0,06
-0,08
-0,1
-0,12
s/dB
-= slim = s25
ÖNORM
DIN
MASOPUST L=5m
MASOPUST L = 7,5 m
MASOPUST = 10m
Masopust L=15 m

Obr. 10.2.1g


qbk - s/Db graf - PATA - Id = 1,0, D = 0,92 m, závislost na délce
0
5000
10000
15000
qbk
0
-0,02
-0,04
-0,06
-0,08
-0,1
-0,12
s/dB
= slim = s25
ÖNORM
DIN
MASOPUST L = 5m
MASOPUST L = 7,5m
MASOPUST L= 10m
MASOPUST L = 15m

Obr. 10.2.1h



Obr. 10.2.1i

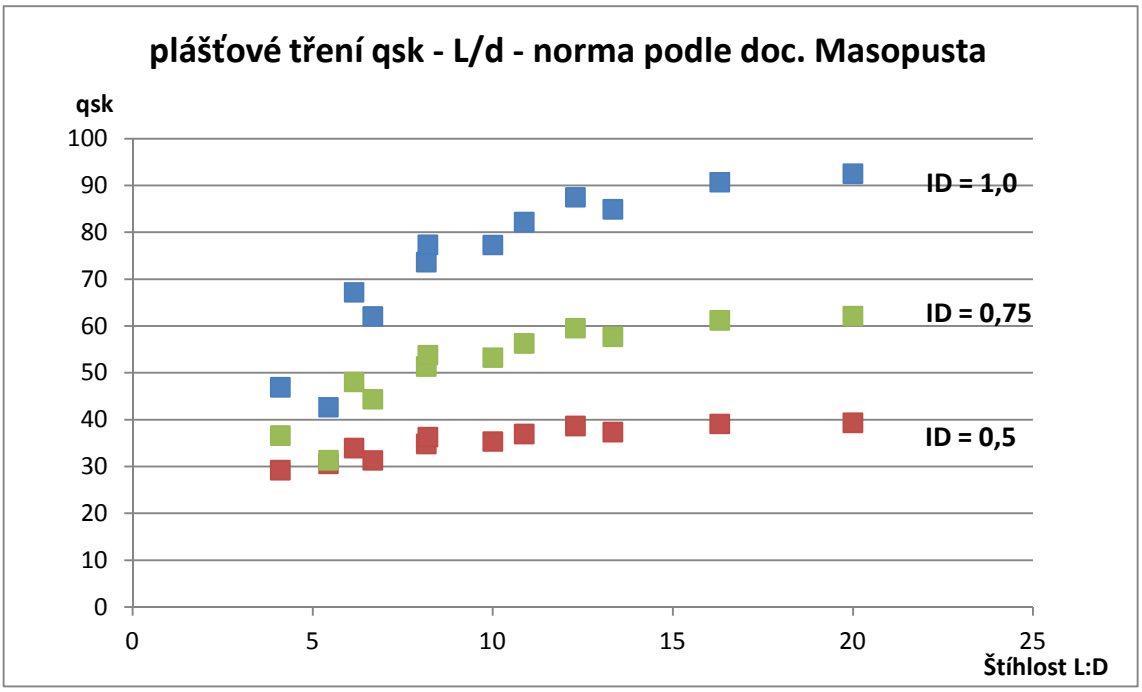
Závislost plášťovéhp tření qsk a L/d - norma podle doc. Masopusta

Z obrázků 10.2.1a, 10.2.1b a 10.2.1c lze vyčíst několik závislostí. Při ID = 0,5 (pro středně ulehlé zeminy) rakouské a německá norma únosnost silně nadhodnocují, zatímco norma podle Masposta bere únosnost menší.

Pro zeminy s ID = 0,75 (ulehlé zeminy) (obr. 10.2.1d, 10.2.1e a 10.2.1f) se již únosnost piloty na patě více blíží rakouské a německé normě, nicméně nad úrovní limitního sedání s = slim =25 mm, která je na grafech znázorněná červenou čarou, je únosnost německé DIN a rakouské ÖNORM stále vyšší, pouze piloty vyšších délek a vyšších průměrů se těmto hodnotám přibližují.

U zemin s ID = 1,0 (velmi ulehlé) (obr. 10.2.1g, 10.2.1g a 10.2.1i) již mají roli právě parametry délka piloty a průměr. Při vyšších délkách a vyšších průměrech je únosnost podle doc. Masopusta vyšší než rakouské a německá norma, při menších délkách jsou si normy přibližně rovny.

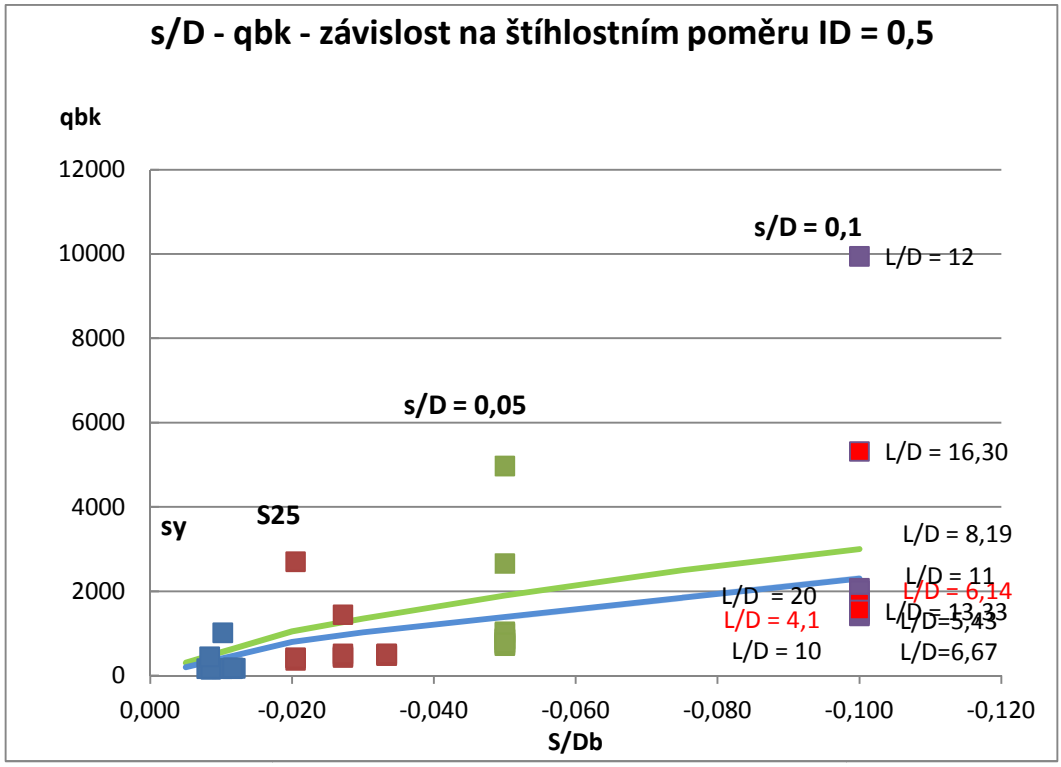
Po překročení meze sednutí s = slim = 25 mm již jsou naopak únosnosti podle doc. Masopusta výrazně větší, jejich hodnota lineárně stoupá, zatímco hodnoty podle německé a rakouské normy se postupně ustálí. Tento fakt pouze potvrzuje použitelnost normy podle doc. Masopusta do limitního sednutí s = 25m.



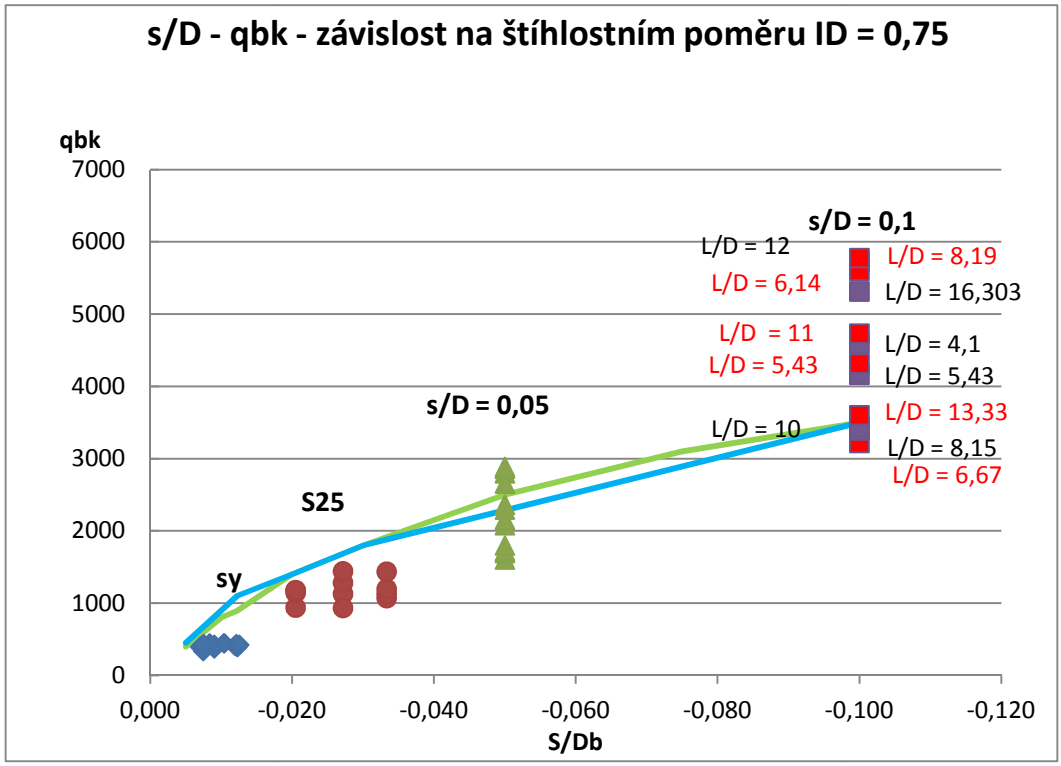
Obr. 10.2.2

Na obr. 10.2.2 je znázorněná závislost plášťového tření qsk na jednotlivých rozměrech (štíhlosti) piloty výpočtu dle doc. Masopusta. Pro vyšší Id je plášťové tření qsk vyšší.

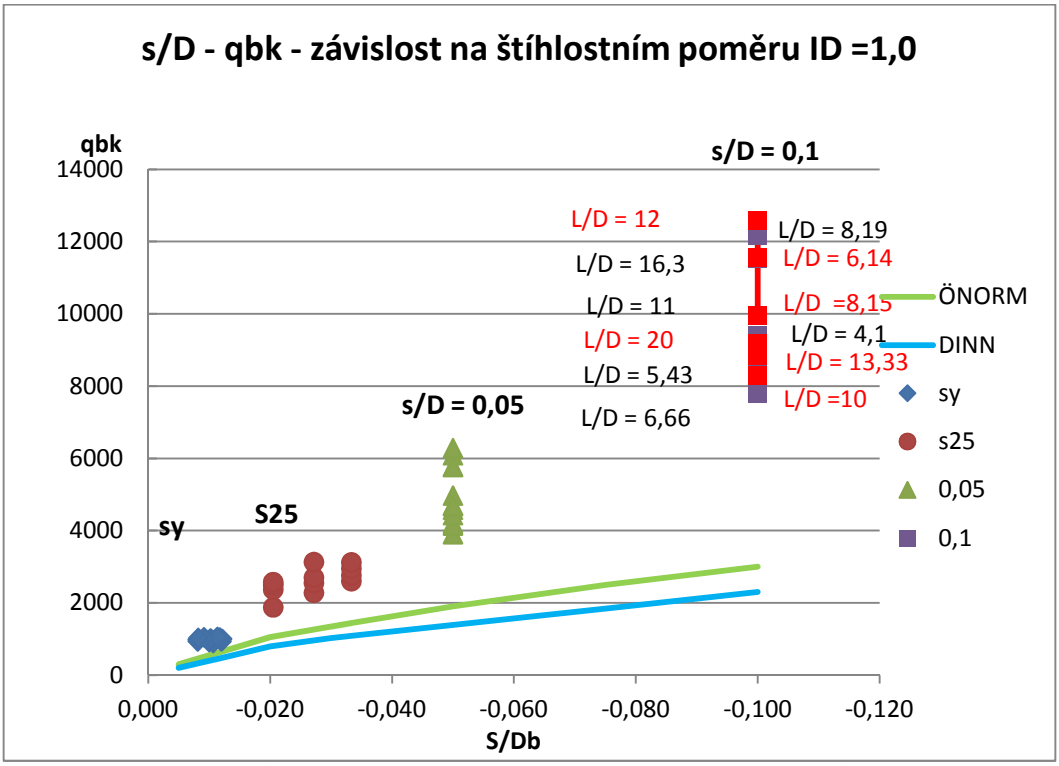
Napětí na patě qbk - závislost na štíhlostním poměru


s/D - qbk - závislost na štíhlostním poměru ID = 0,5
qbk
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
0,000
-0,020
-0,040
-0,060
-0,080
-0,100
-0,120
S/Db
s/D = 0,1
L/D = 12
s/D = 0,05
L/D = 16,30
sy
S25
L/D = 8,19
L/D = 11
L/D = 6,14
L/D = 13,33
L/D = 20
L/D = 4,1
L/D=5,43
L/D = 10
L/D=6,67

Obr. 10.2.3a


s/D - qbk - závislost na štíhlostním poměru ID = 0,75
qbk
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0,000
-0,020
-0,040
-0,060
-0,080
-0,100
-0,120
S/Db
s/D = 0,1
L/D = 12
L/D = 8,19
L/D = 6,14
L/D = 16,303
L/D = 11
L/D = 4,1
L/D = 5,43
L/D = 5,43
s/D = 0,05
L/D = 13,33
L/D = 10
L/D = 8,15
L/D = 6,67
S25
sy

Obr. 10.2.3b

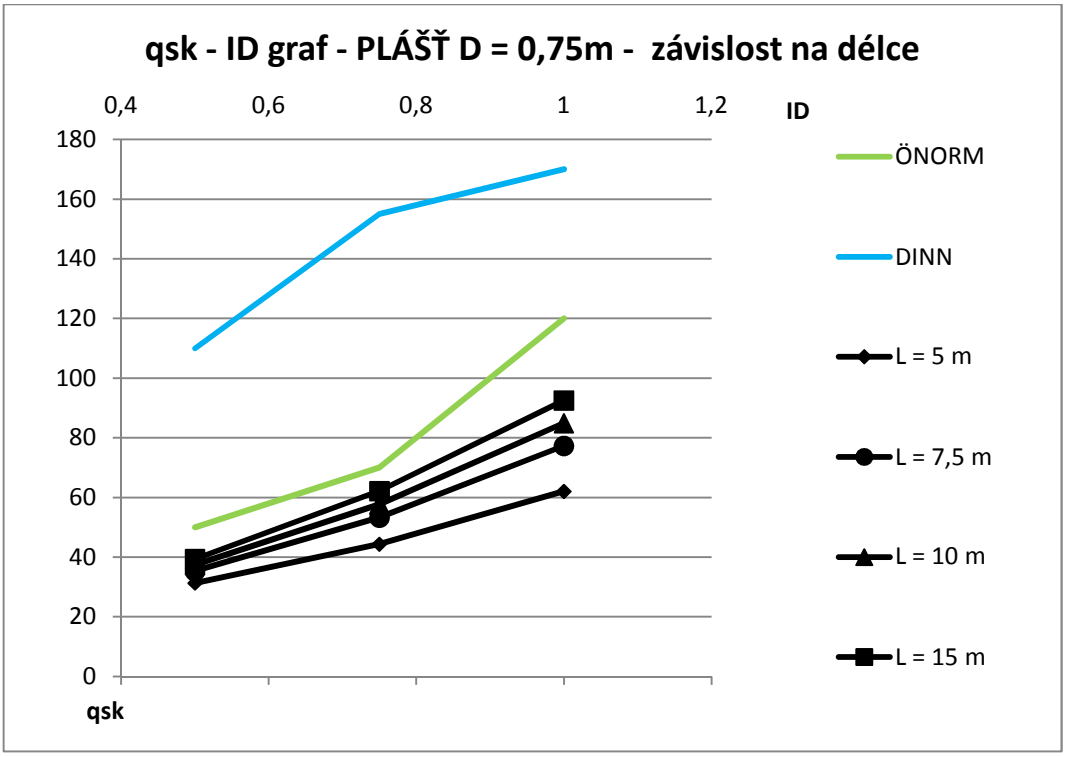


Obr. 10.2.3c

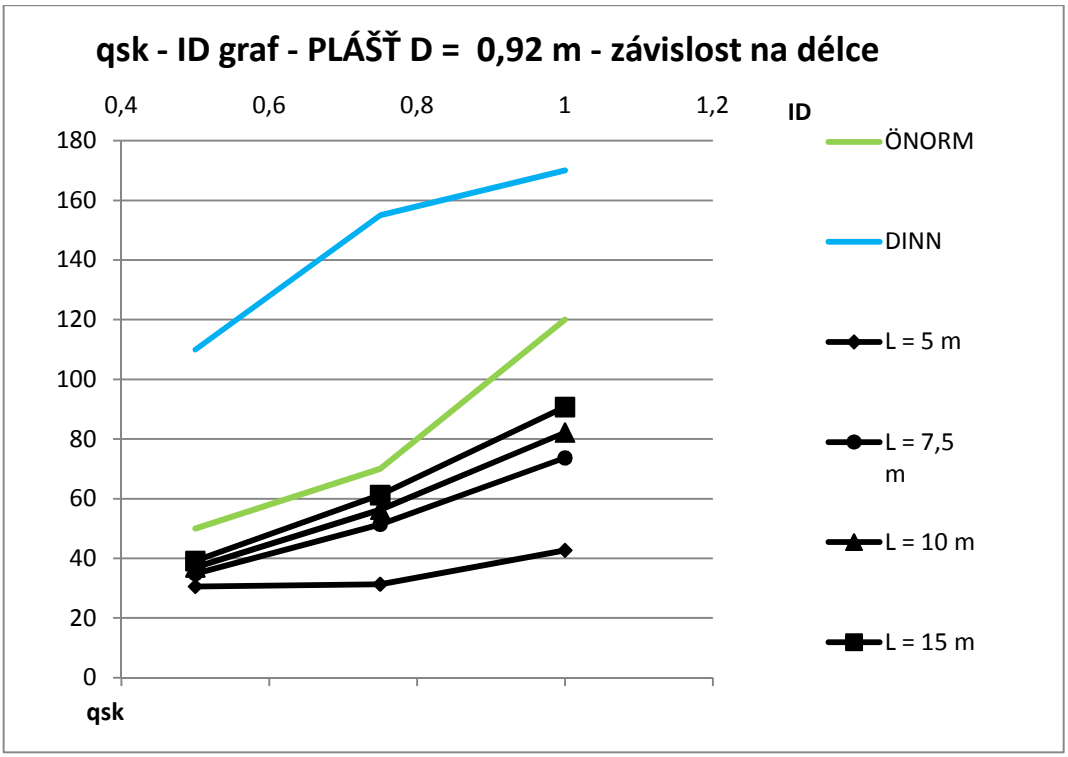
Na obr. 10.2.3a, 10.2.3b a 10.2.3c je snaha zohlednit, jaký vliv má štíhlost piloty. Jak je vIdět z grafů, nerozhoduje ani tak štíhlost, jako spíše délka piloty. Delší piloty předpokládají větší tlak u paty, a tím pádem se zvyšuje i únosnost piloty.

Při poměru sy/D a s25/D závisí hodnoty na ulehlosti zeminy. Pro menší Id (Id = 0,5) jsou hodnoty únosnosti na patě qbk spočítané podle doc. Masopusta menší než hodnoty dle DIN a ÖNORM, pro větší Id (Id = 1,0) naopak větší. Při hodnotách sedání s> s25 jsou pak hodnoty dle metody doc. Masopusta vyšší, ale jak již bylo uvedeno, tyto hodnoty neodpovídají realitě.

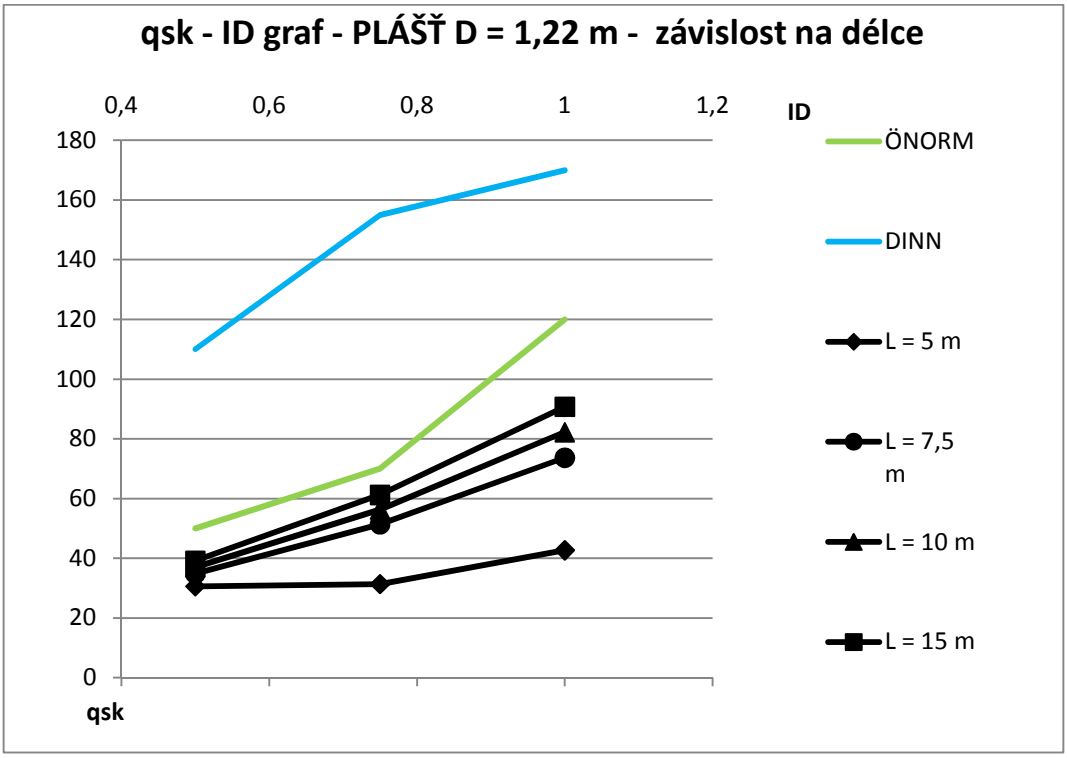
Plášťové tření qsk - závislost na délce, průměru a štíhlosti



Obr. 10.2.4a



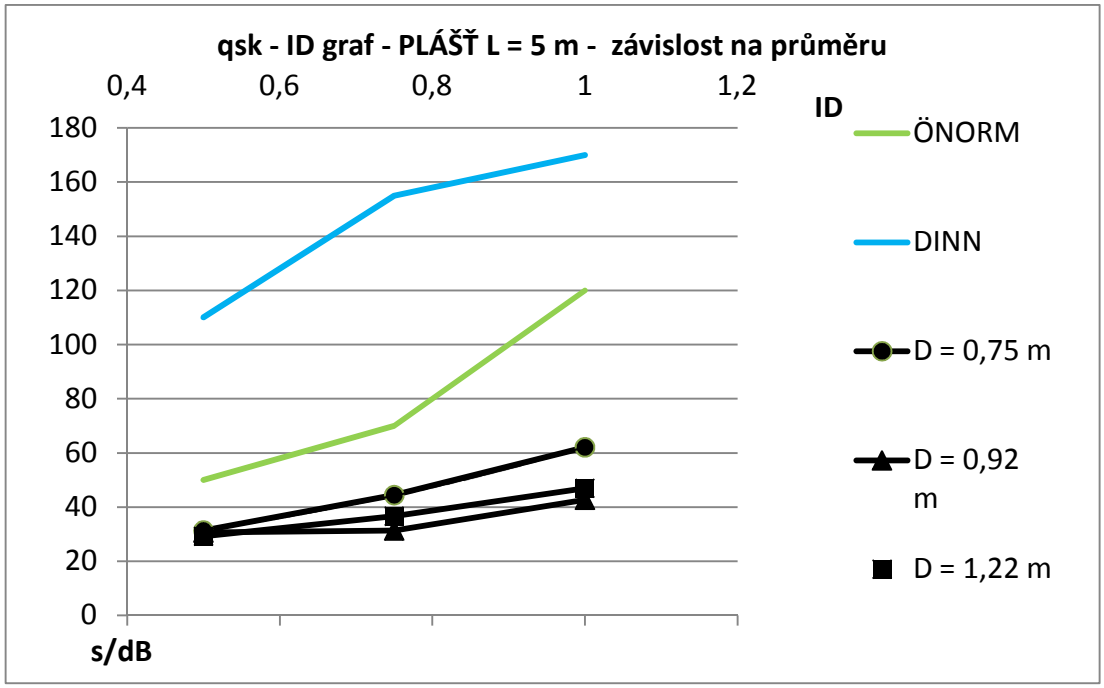
Obr. 10.2.4b



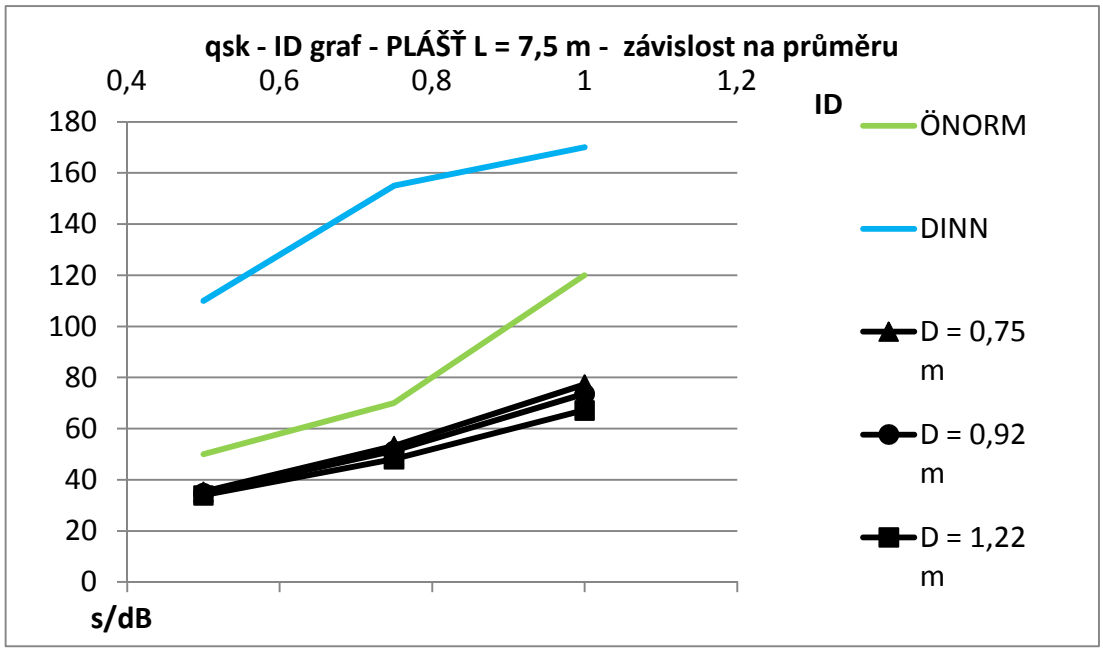
Obr. 10.2.4c

Na obr. 10.2.4a, obr. 10.2.4b a obr. 10.2.4c jsou znázorněné závislosti únosnosti na plášti v závislosti na Indexu ulehlosti Id, a sleduje se, jak se veličiny mění se stoupající délkou piloty.

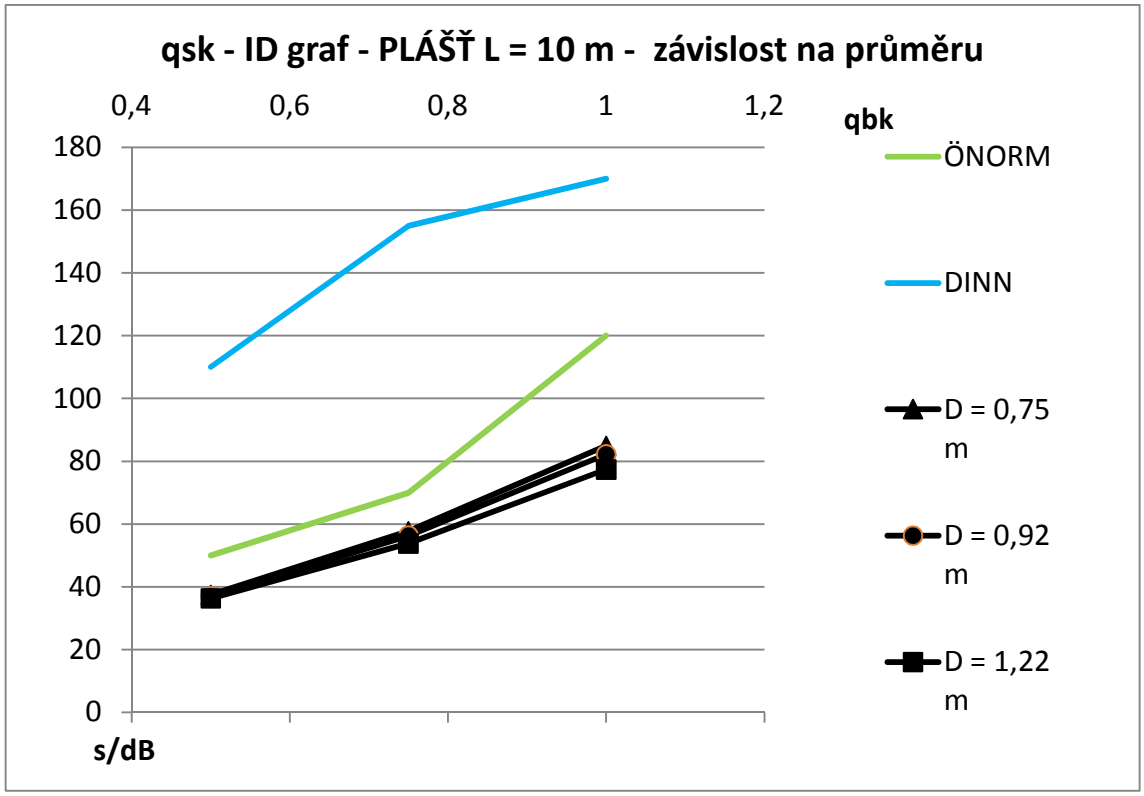
Z grafu vyplývá drobný rozdíl pro plášťové tření podle německé a rakouské normy, čímž se možná kompenzuje vyšší plášťové tření podle rakouské normy. Hodnoty podle doc. Masopusta se pak v závislosti na délce blíží hodnotám v ÖNORM, pro malou délku jsou však hodnoty plášťového tření velmi malé.



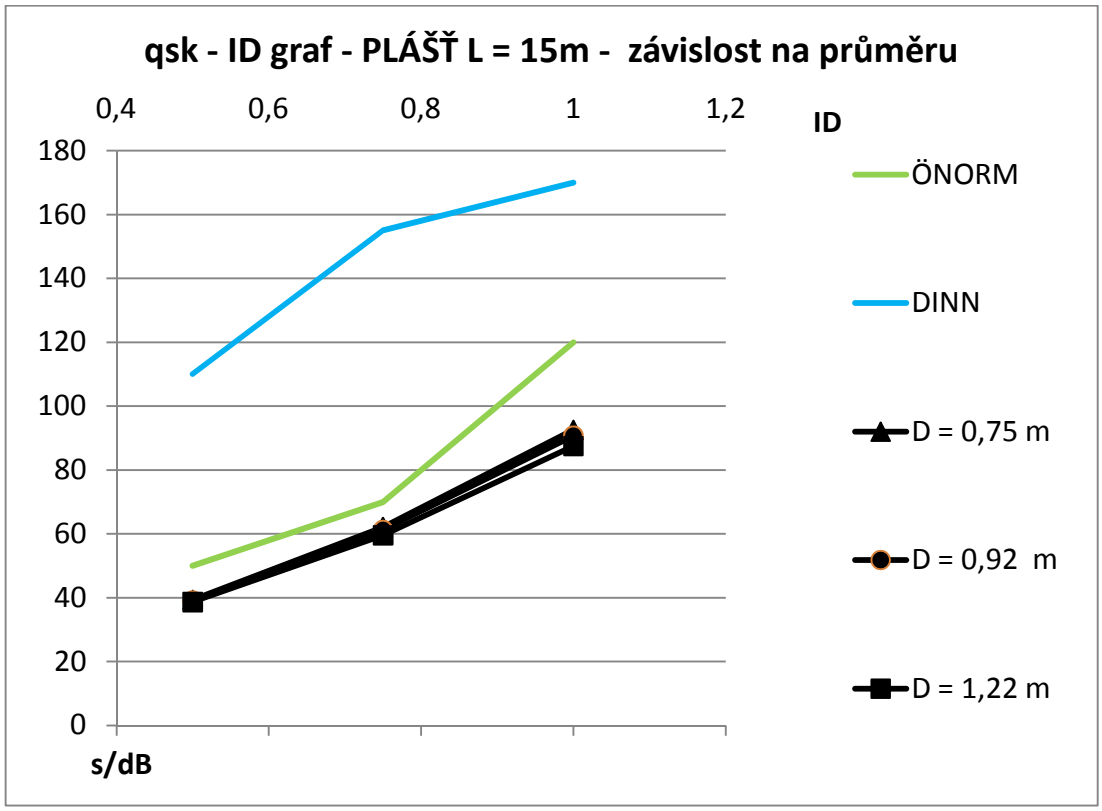
Obr. 10.2.5a



Obr. 10.2.5b


qsk - ID graf - PLÁŠŤ L = 10 m - závislost na průměru
0,4
0,6
0,8
1
1,2
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
s/dB
qbk
ÖNORM
DINN
D = 0,75 m
D = 0,92 m
D = 1,22 m

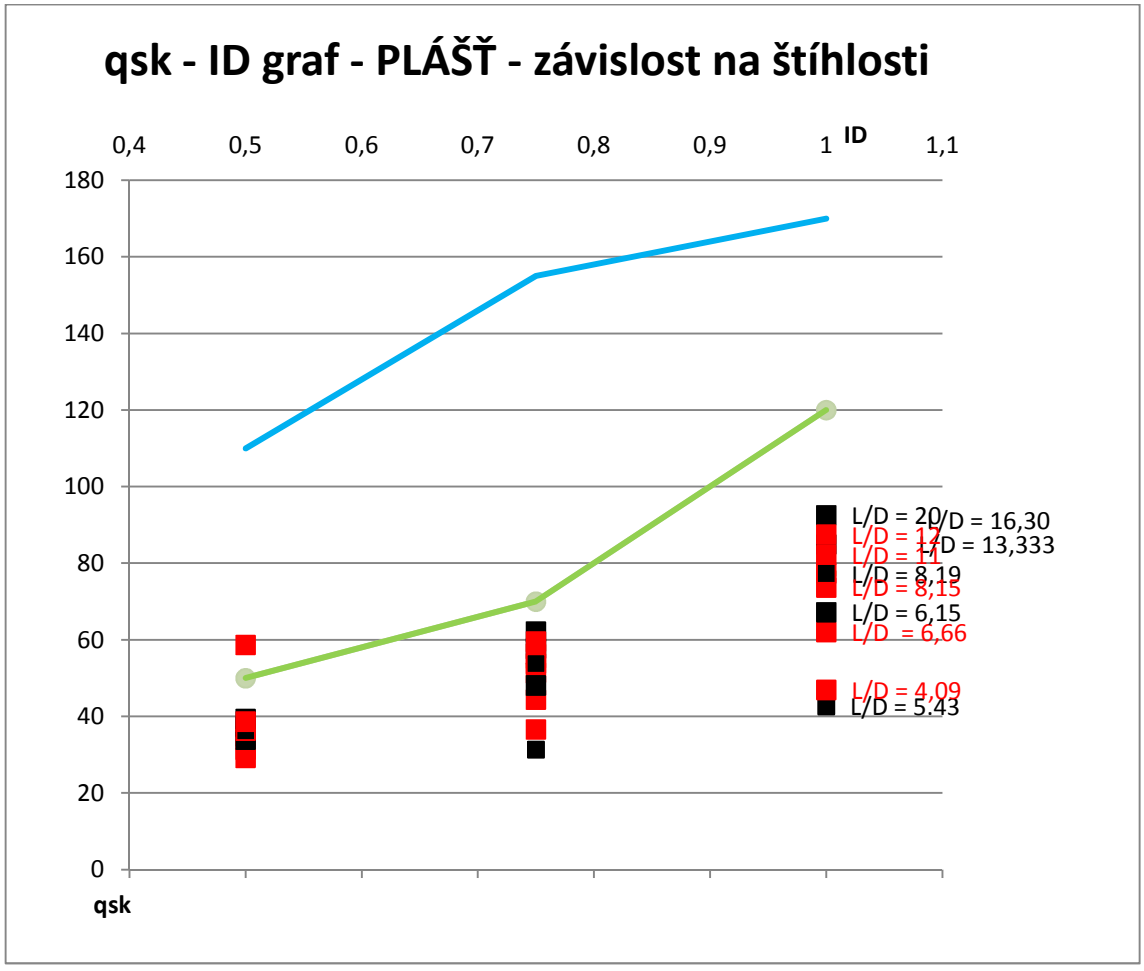
Obr. 10.2.5c


qsk - ID graf - PLÁŠŤ L = 15m - závislost na průměru
0,4
0,6
0,8
1
1,2
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
s/dB
ID
ÖNORM
DINN
D = 0,75 m
D = 0,92 m
D = 1,22 m

Obr. 10.2.5d

Na Obr. 10.2.5a, Obr. 10.2.5b, Obr. 10.2.5c a Obr. 10.2.5d. jsou znovu znázorněné závislosti únosnosti na plášti v závislosti na Indexu ulehlosti Id, a tentokrát se sleduje, jak se veličiny mění se zvyšujícím se průměrem piloty.

Na závěr obr. 10.2.6 je pak znázorněna závislost na celkové štíhlosti (poměr L/D). Zde je velice dobře vidět, že plášťové tření qsk se od štíhlosti odvíjí a se zvyšující se štíhlostí roste qsk.

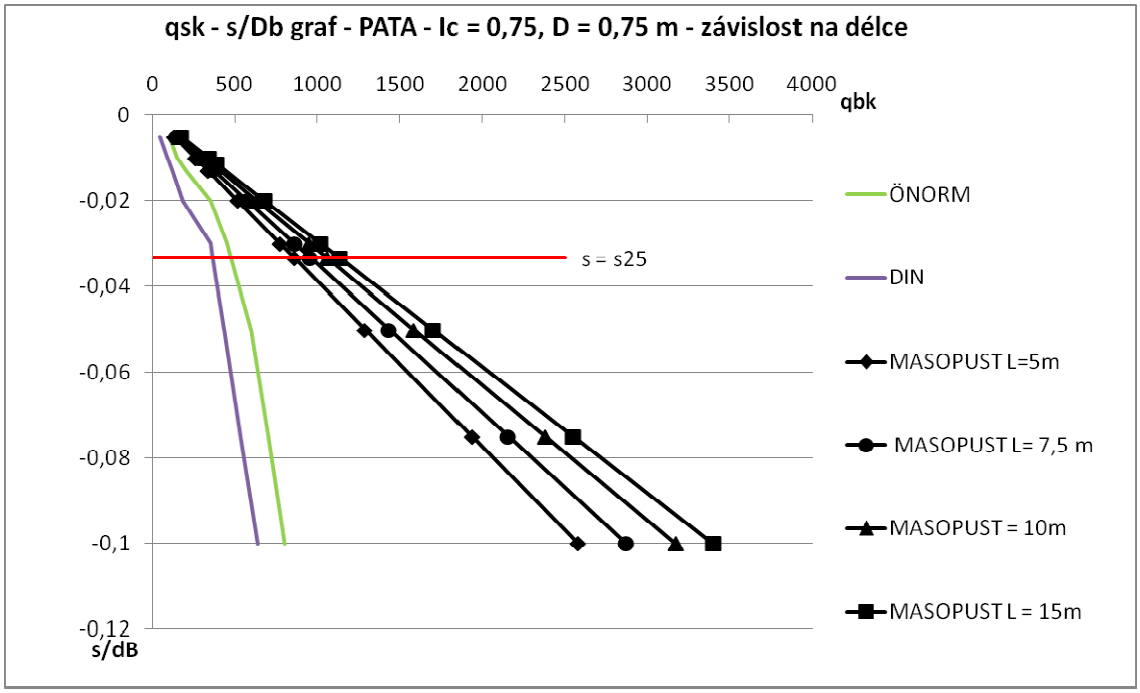


Obr. 10.2.5d

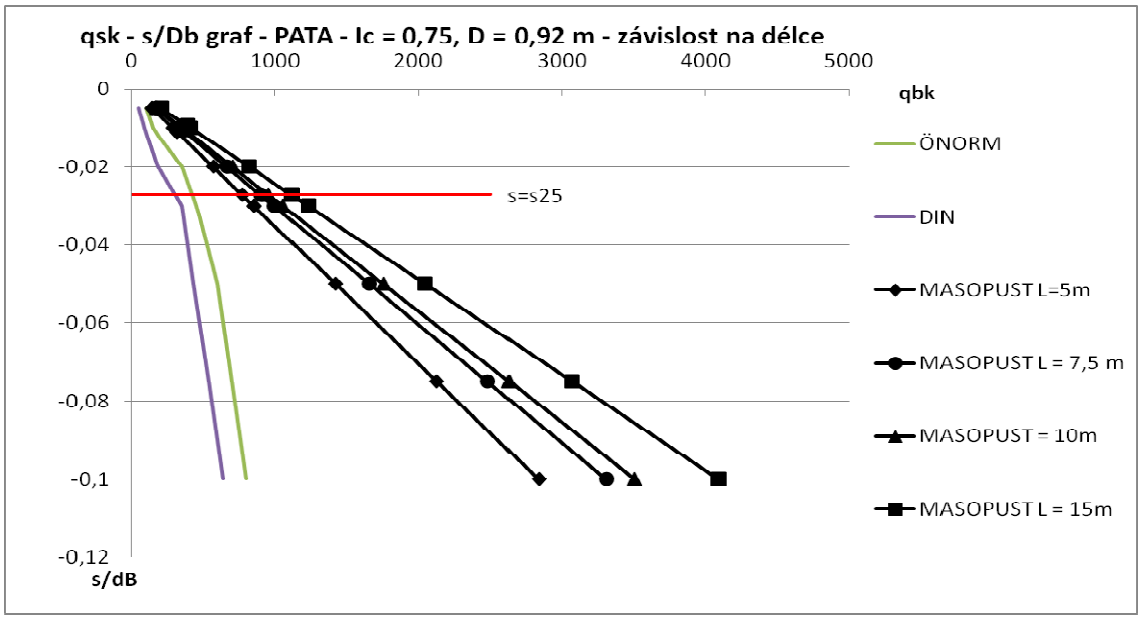
10.3 VÝSLEDKY – SOUDRŽNÉ ZEMINY

Analogickým postupem byl proveden výpočet pro soudržné zeminy, stejně jako u nesoudržných zemin, výstupem výpočtu jsou grafy popisující následující závislosti. Mnohé ze závislostí jsou však pro soudržné a nesoudržné zeminy stejné.

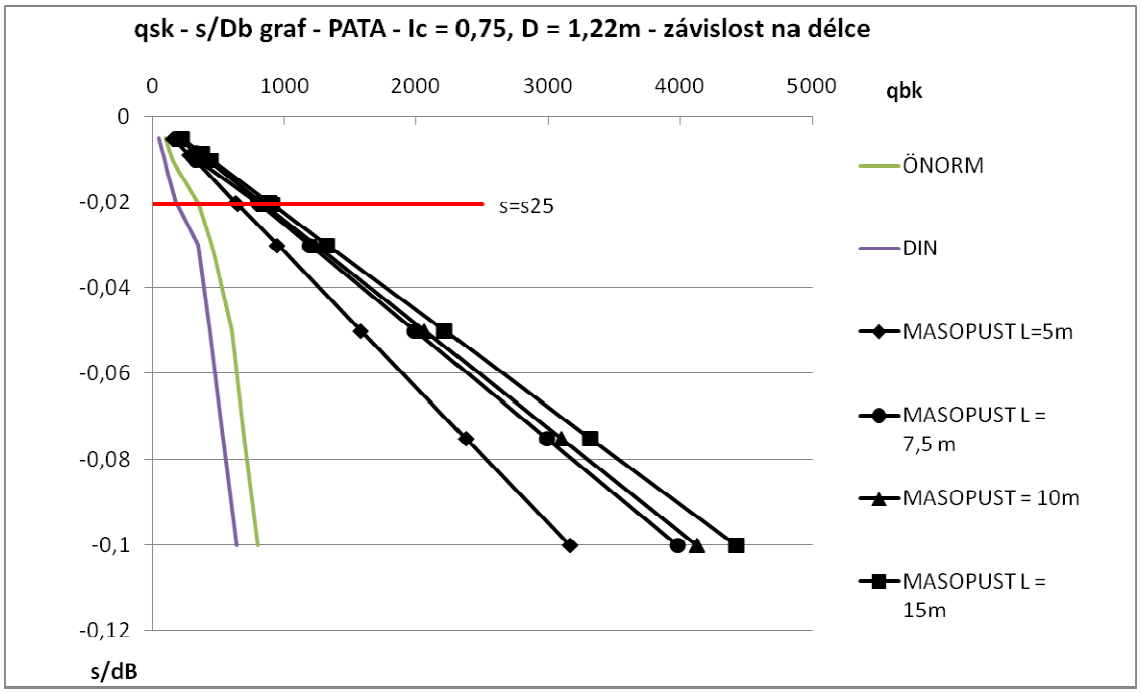
Graf únosnosti na patě qb a závislost na poměru s/Db



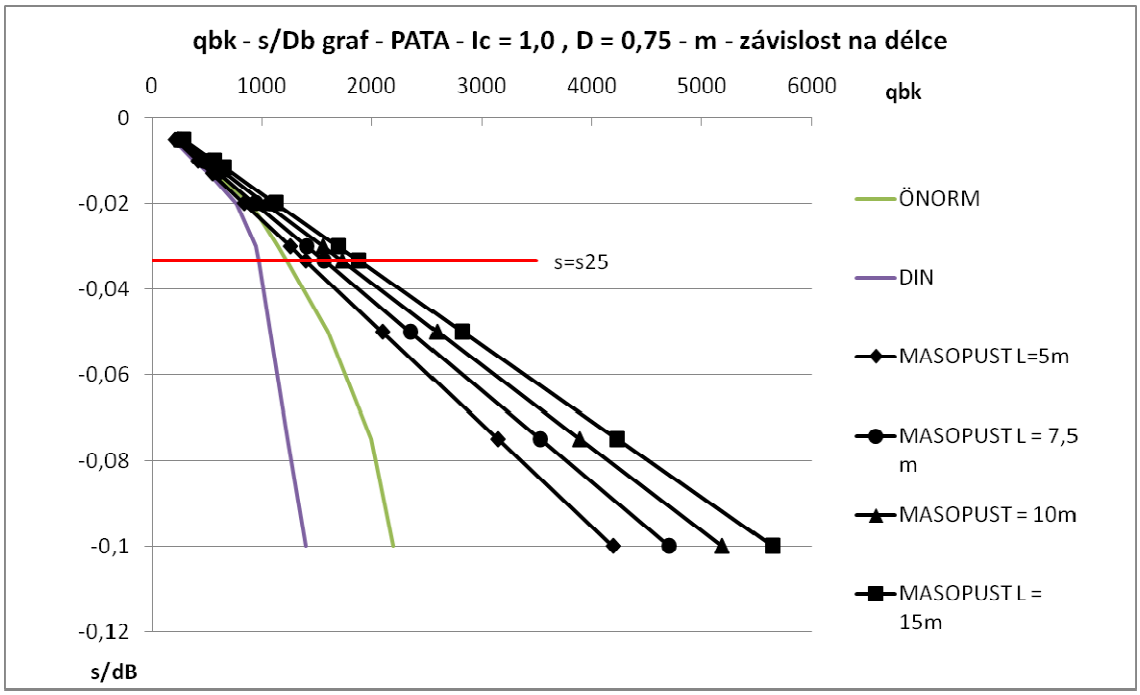
Obr. 10.3.1b



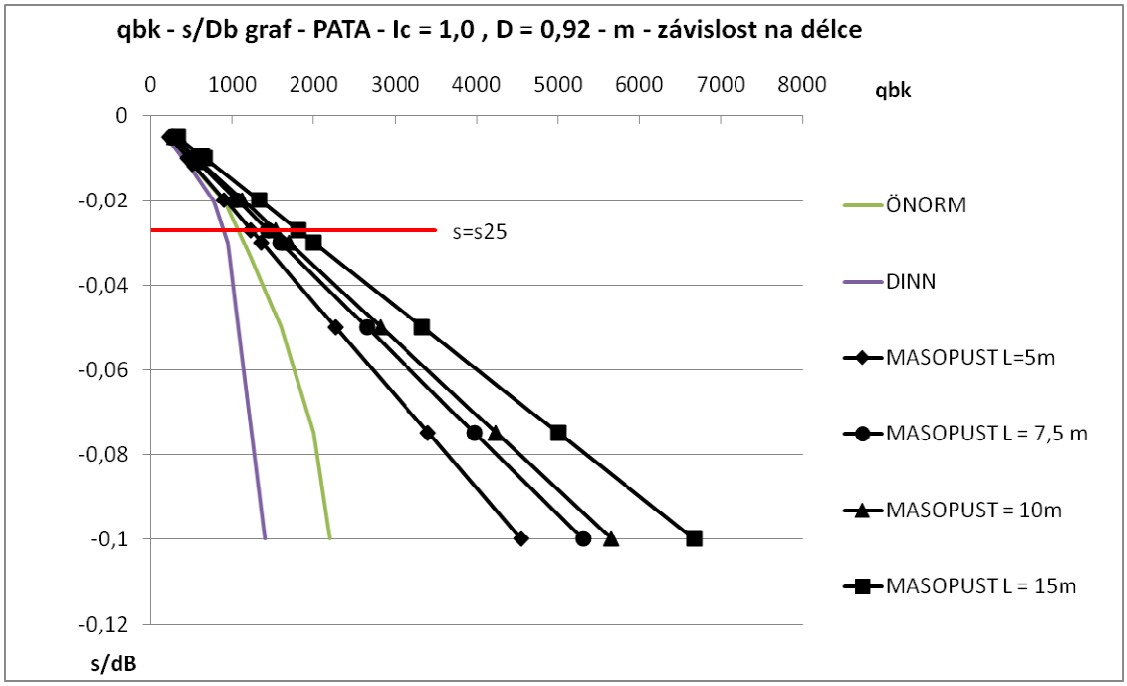
Obr. 10.3.1c



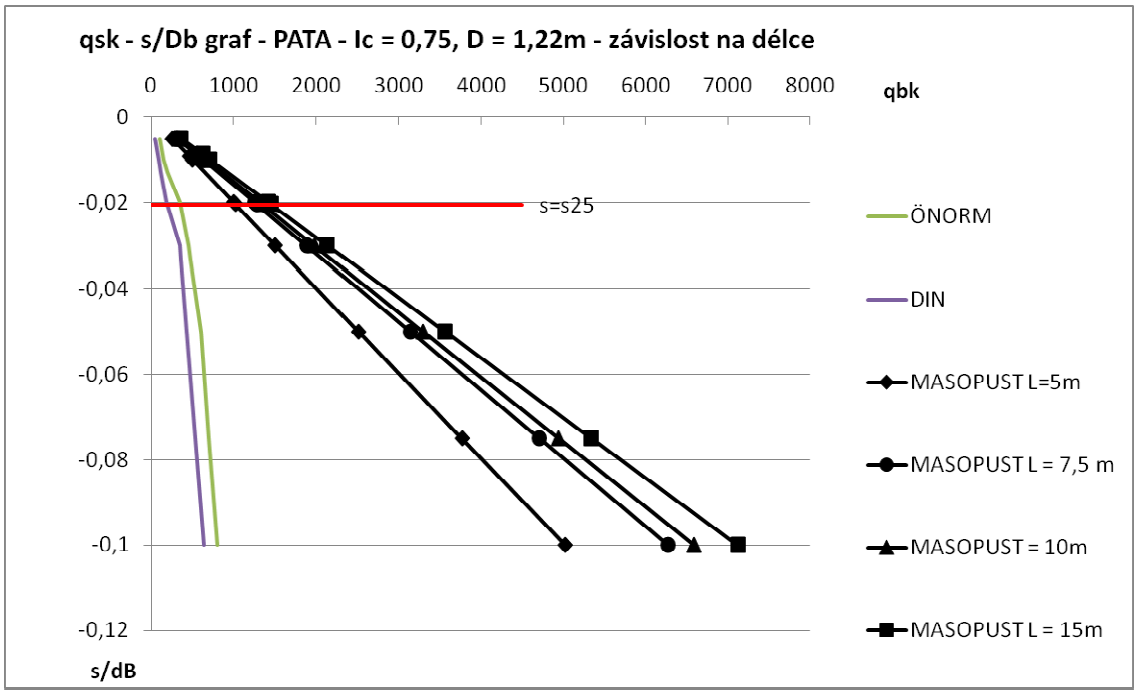
Obr. 10.3.1d



Obr. 10.3.1e



Obr. 10.3.1f



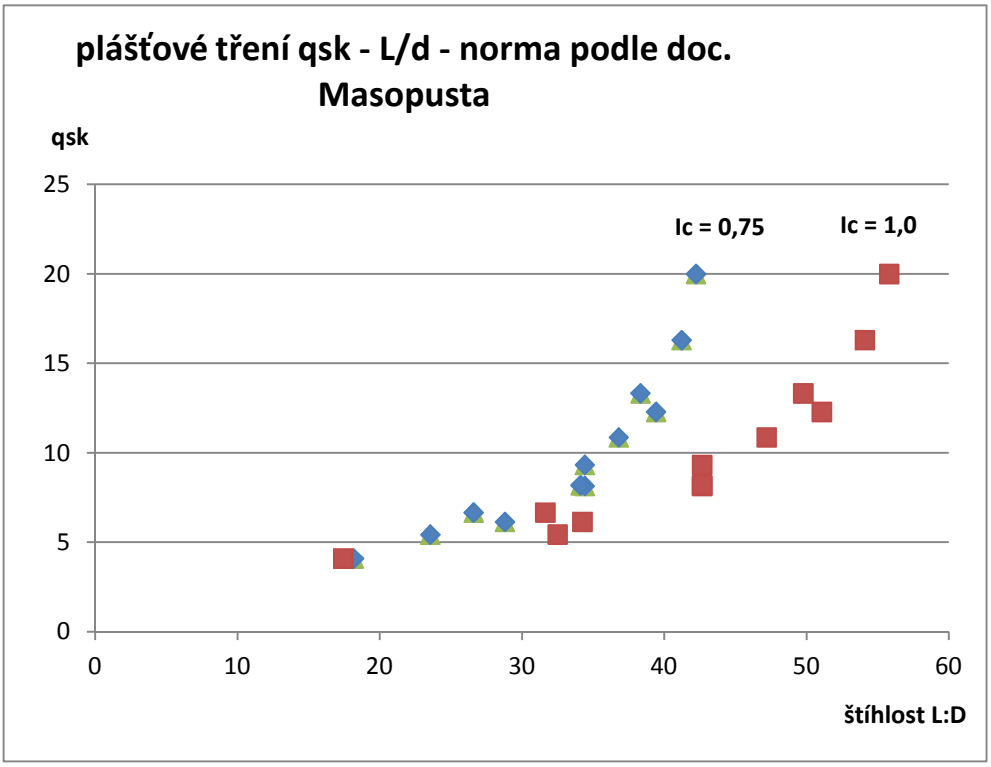
Obr. 10.3.1g

Na obrázcích 10.3.1a, 10.3.1b a 10.3.1c jsou uvedené závislosti pro Ic = 0,75. Zde je možné si všimnout, že hodnoty pro Rakouskou ÖNORM a Německou DIN jsou hodnoty nižší než pro výpočet dle docenta Masopusta, což je při srovnání s výstupy u nesoudržných zemin rozdíl. Tento fakt je však dán hlavně rozdílem hodnot v rakouské ÖNORM a německé DIN pro soudržné a nesoudržné zeminy. Pro soudržné jsou hodnoty menší

Pro vyšší Ic = 1,0 jsou pak hodnoty trochu bližší, což je dáno následkem vyšších hodnot únosností na patě pro ÖNORM a DIN, pořád však jsou hodnoty výpočtu dle doc. Masopusta vyšší.

Stejně jako u nesoudržných zemin, i u soudržných zemin hodnoty dle doc. Masopusta nad limitní hranicí pro s25 se výrazně zvyšují, opět to zpochybňuje použitelnost výpočtu nad touto hranicí.

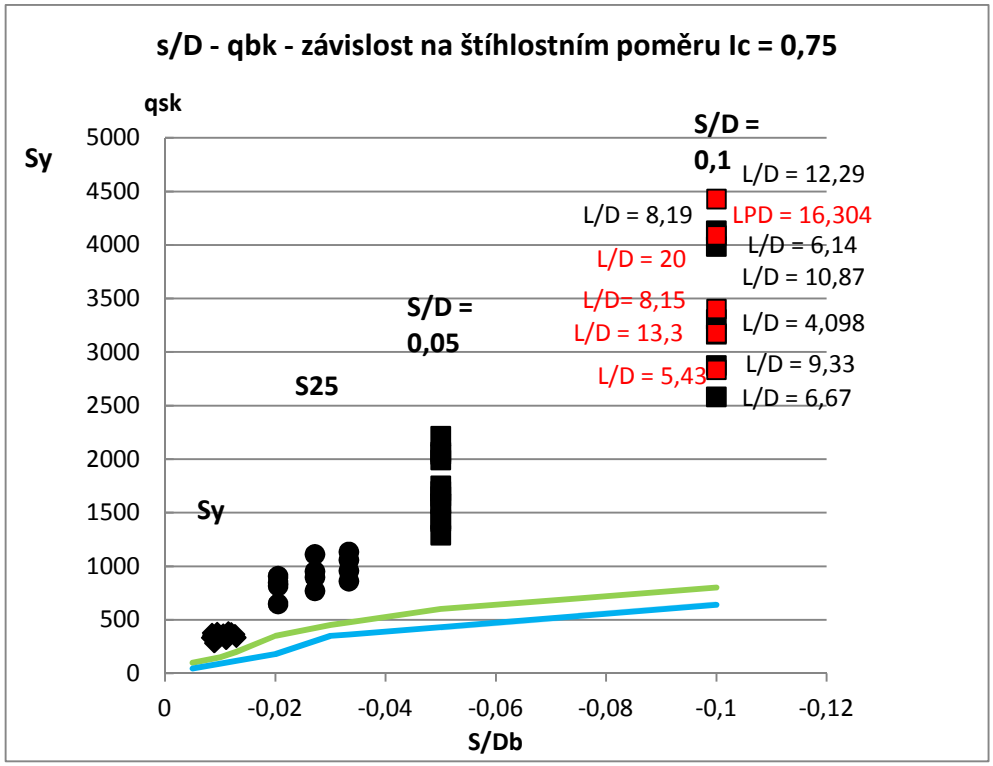
Závislost plášťového tření qsk na štíhlosti L/d dle normy dle doc. Masopusta



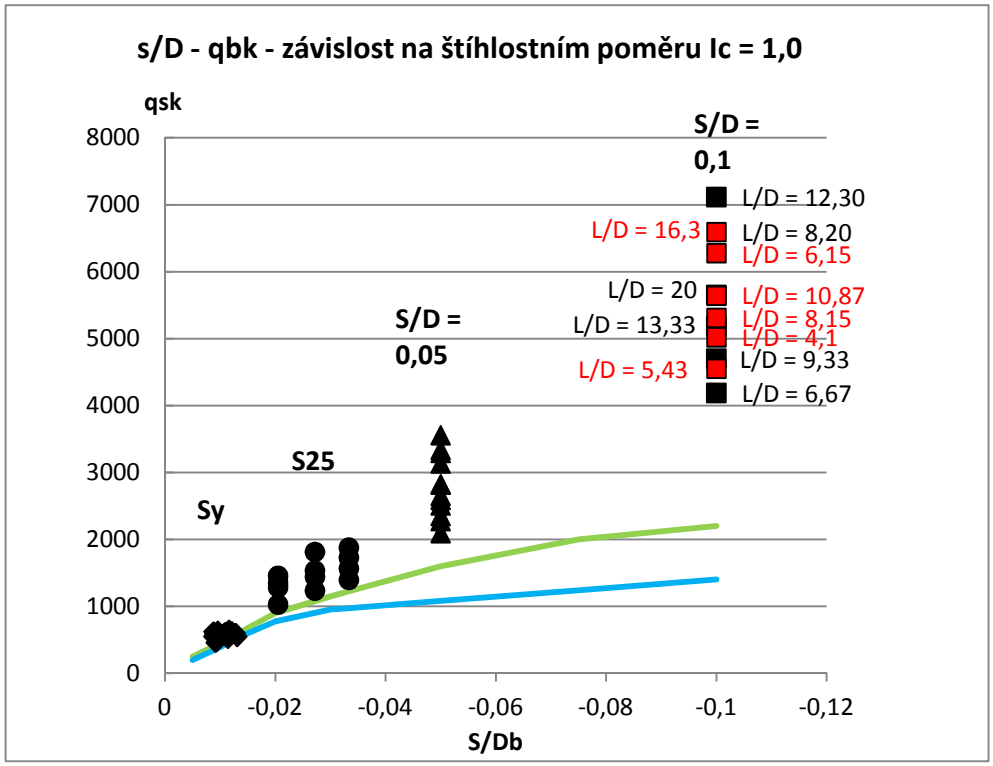
Obr. 10.3.2

Na obr. 10.3.2 je možné vidět závislost únosnosti na plášti na štíhlosti. Stejně jako u nesoudržných zemin, se zvyšující se štíhlostí plášťové tření qsk roste.

Závislost únosnosti na plášti qsk pro jednotlivé poměry S/D


s/D - qbk - závislost na štíhlostním poměru lc = 0,75
qsk
Sy
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
S/D =
0,1
L/D = 12,29
L/D = 8,19
LPD = 16,304
L/D = 6,14
L/D = 20
L/D = 10,87
L/D= 8,15
L/D = 4,098
L/D = 13,3
L/D = 9,33
L/D = 5,43
L/D = 6,67
S/D =
0,05
S25
Sy
0
-0,02
-0,04
-0,06
-0,08
-0,1
-0,12
S/Db

Obr. 10.3.3a

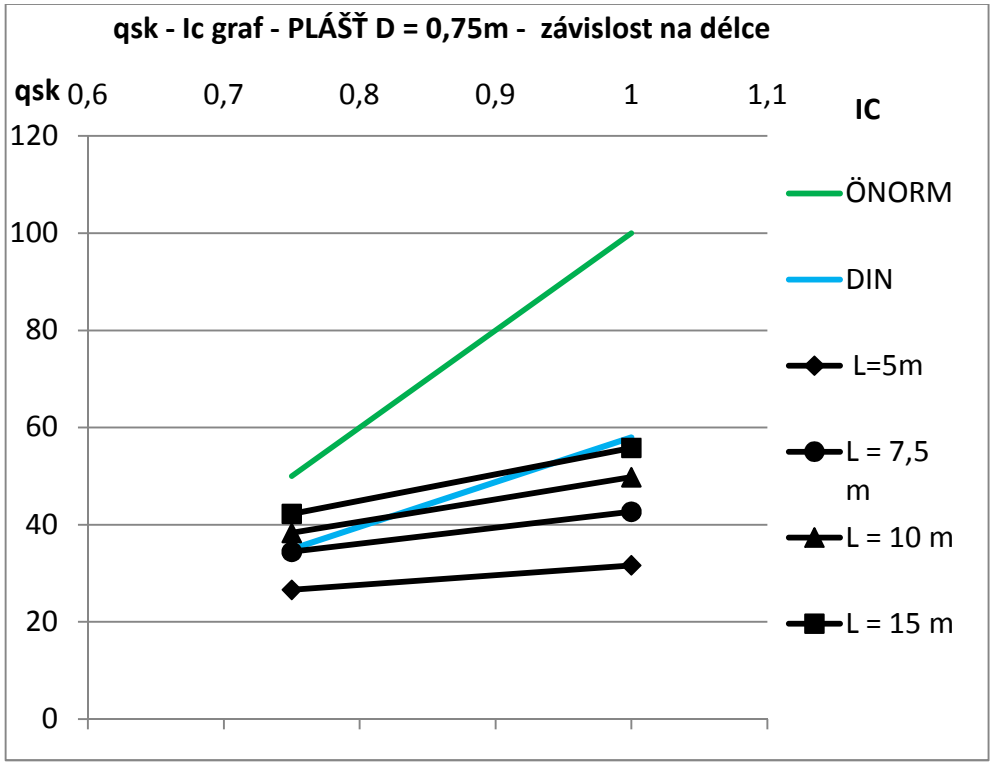

s/D - qbk - závislost na štíhlostním poměru lc = 1,0
qsk
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
S/D =
0,1
L/D = 12,30
L/D = 16,3
L/D = 8,20
L/D = 6,15
L/D = 20
L/D = 10,87
L/D = 13,33
L/D = 8,15
L/D = 4,1
L/D = 5,43
L/D = 9,33
L/D = 6,67
S/D =
0,05
S25
Sy
0
-0,02
-0,04
-0,06
-0,08
-0,1
-0,12
S/Db

Obr. 10.3.3b

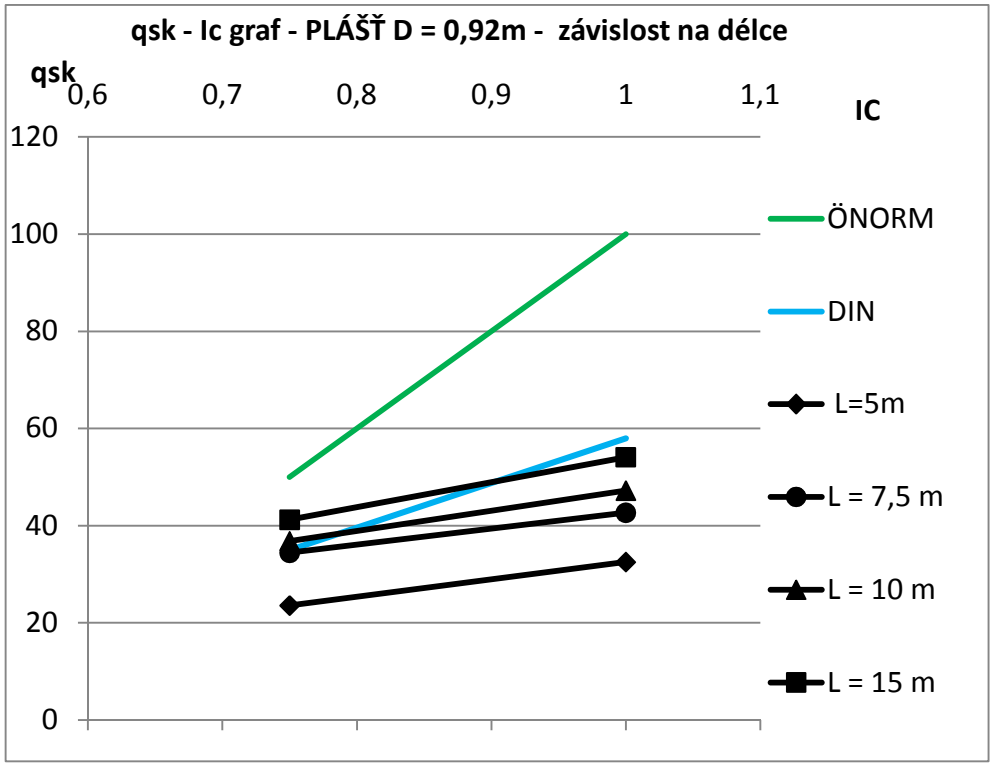
Na obr. 10.3.3a a 10.3.3b je stejně jako u soudržných zemin snaha zohlednit, jaký vliv má štíhlost piloty na únosnost qbk na patě. Stejně jako u nesoudržných zemin, i zde hraje větší roli délka.

Při poměru sy/D a s25/D jsou hodnoty přibližně rovny hodnotám z rakouské ÖNORM a německé DIN. Při hodnotách sedání s> s25 jsou pak hodnoty dle metody doc. Masopusta vyšší, což stejně jako u soudržných zemin nemá reálný základ.

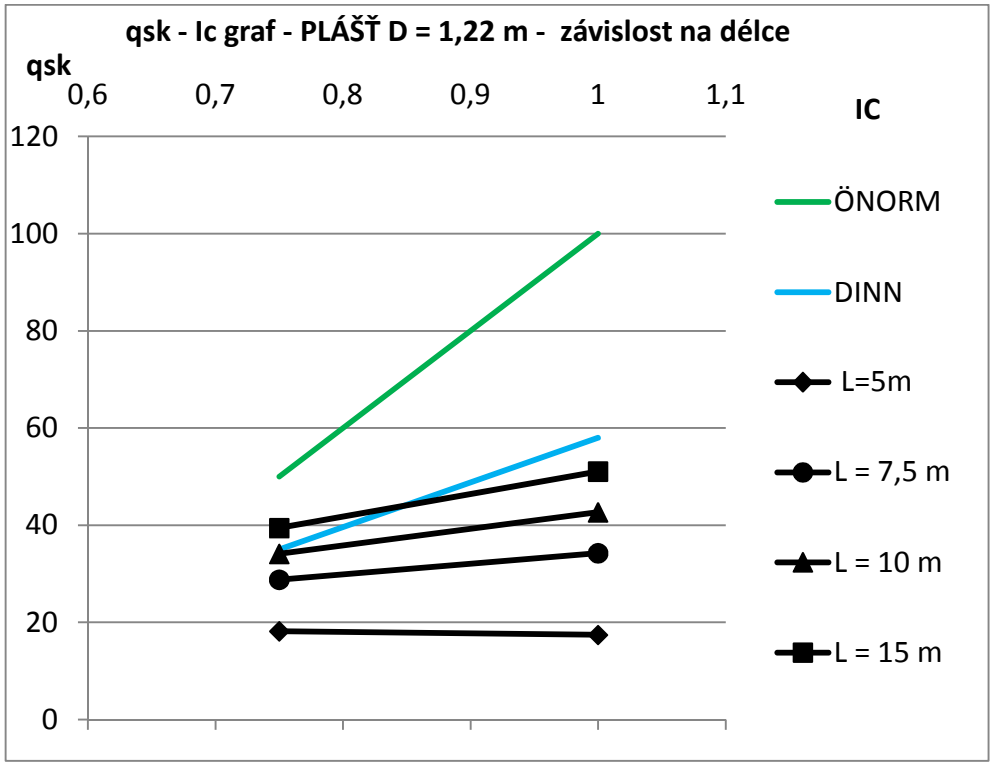
Plášťové tření qsk - závislost na délce, průměru a štíhlosti



Obr. 10.2.4a


qsk - Ic graf - PLÁŠŤ D = 0,92m - závislost na délce
qsk
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
120
100
80
60
40
20
0
IC
ÖNORM
DIN
L=5m
L = 7,5 m
L = 10 m
L = 15 m

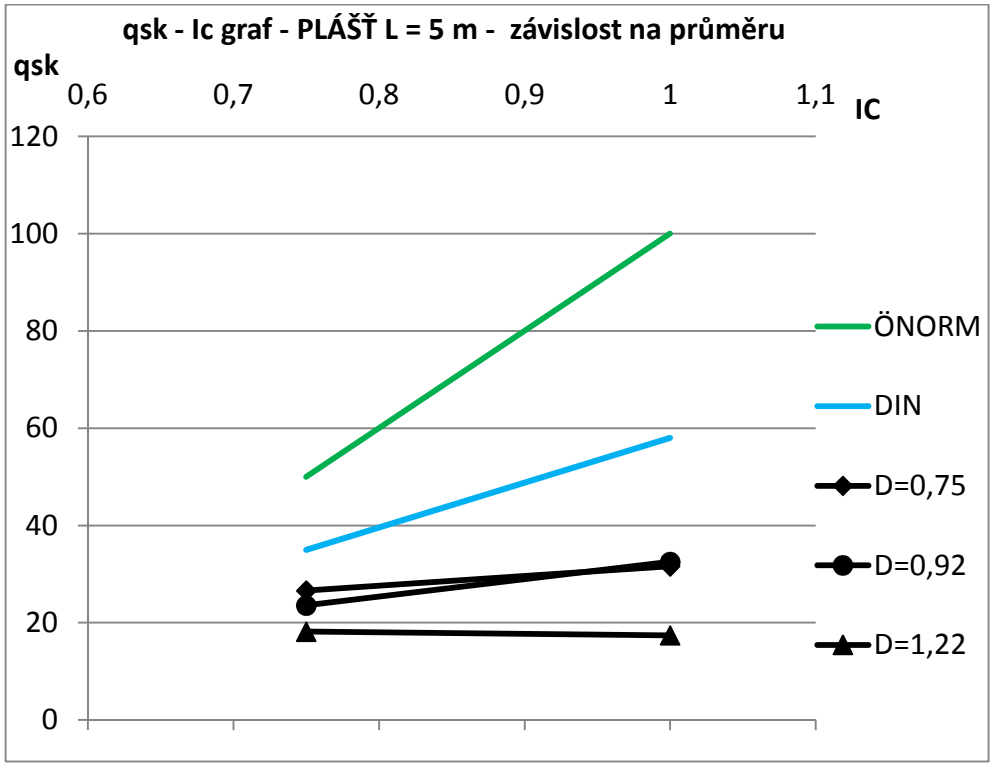
Obr. 10.2.4b


qsk - Ic graf - PLÁŠŤ D = 1,22 m - závislost na délce
qsk
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
120
100
80
60
40
20
0
IC
ÖNORM
DINN
L=5m
L = 7,5 m
L = 10 m
L = 15 m

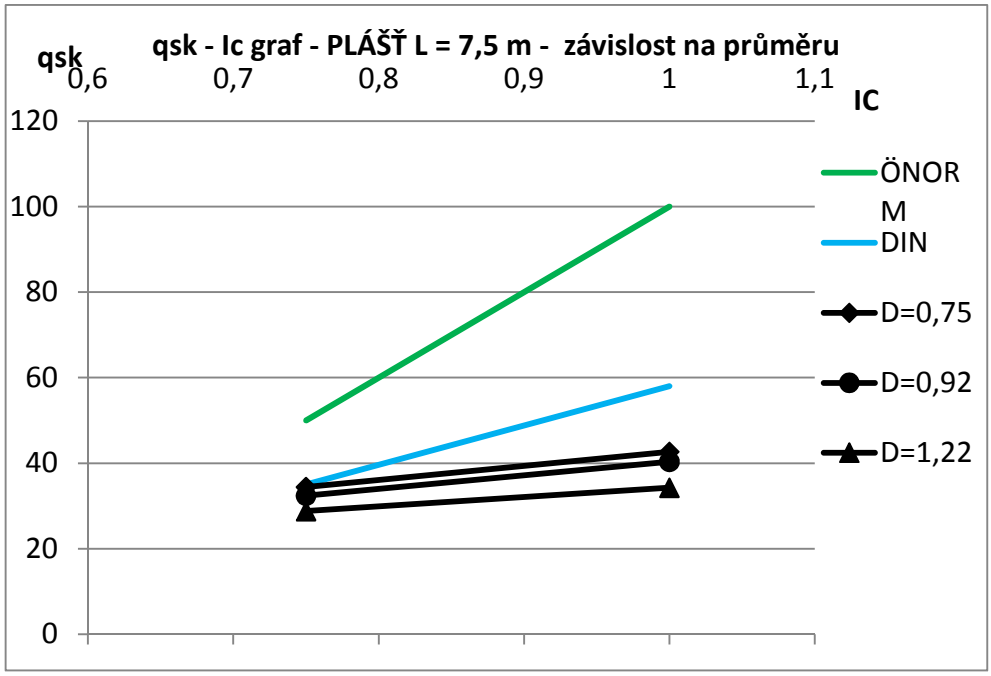
Obr. 10.2.4c

Na obr. 10.3.4a, a 10.3.4b a obr. 10.3.4c jsou znázorněné závislosti únosnosti na plášti v závislosti na Indexu ulehlosti Id, a sleduje se, jak se veličiny mění se stoupající délkou piloty.

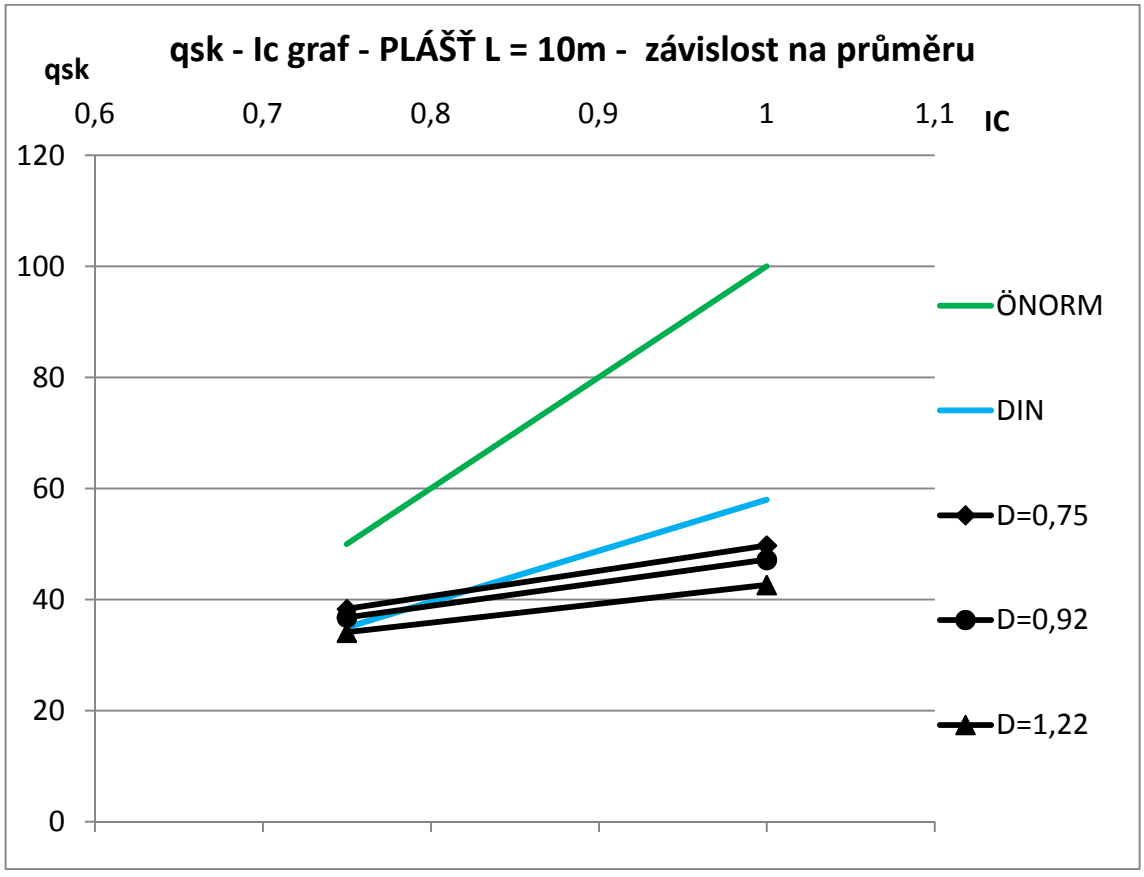
Zde je oproti nesoudržným zeminám rozdíl, že vyšší hodnoty plášťového tření obsahuje Rakouská ÖNORM. Hodnoty plášťového tření dle výpočtu dle doc. Masopusta jsou pak ještě menší.



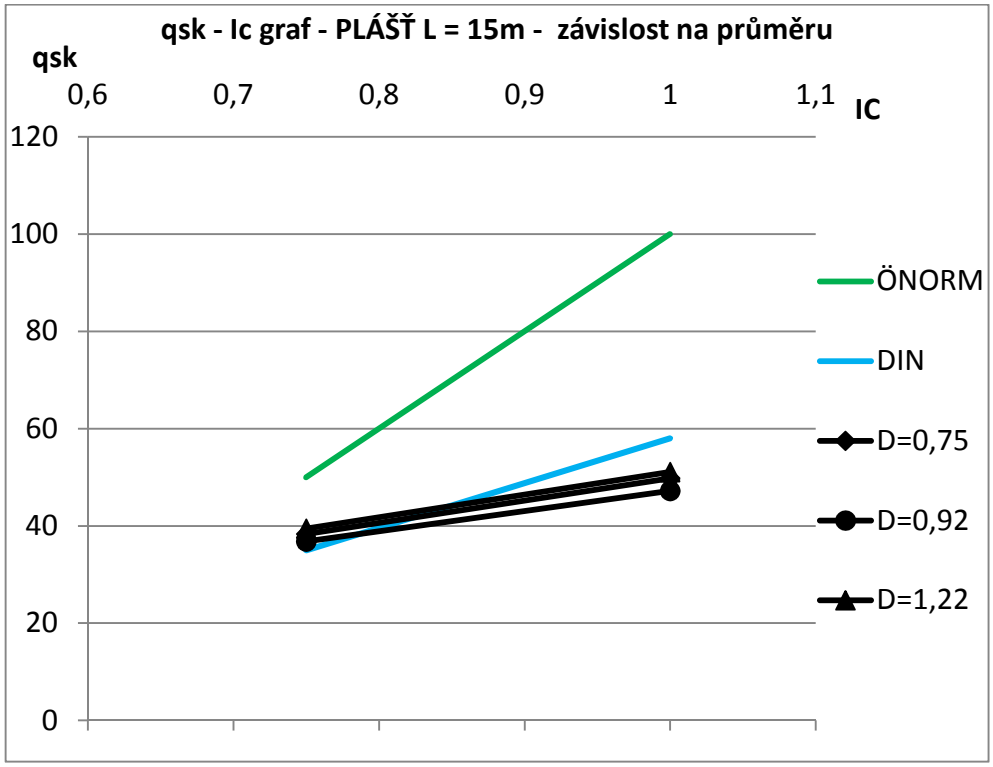
Obr. 10.3.5a


qsk - Ic graf - PLÁŠŤ L = 7,5 m - závislost na průměru
qsk
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
IC
120
100
80
60
40
20
0
ÖNORM
DIN
D=0,75
D=0,92
D=1,22

Obr. 10.3.5b

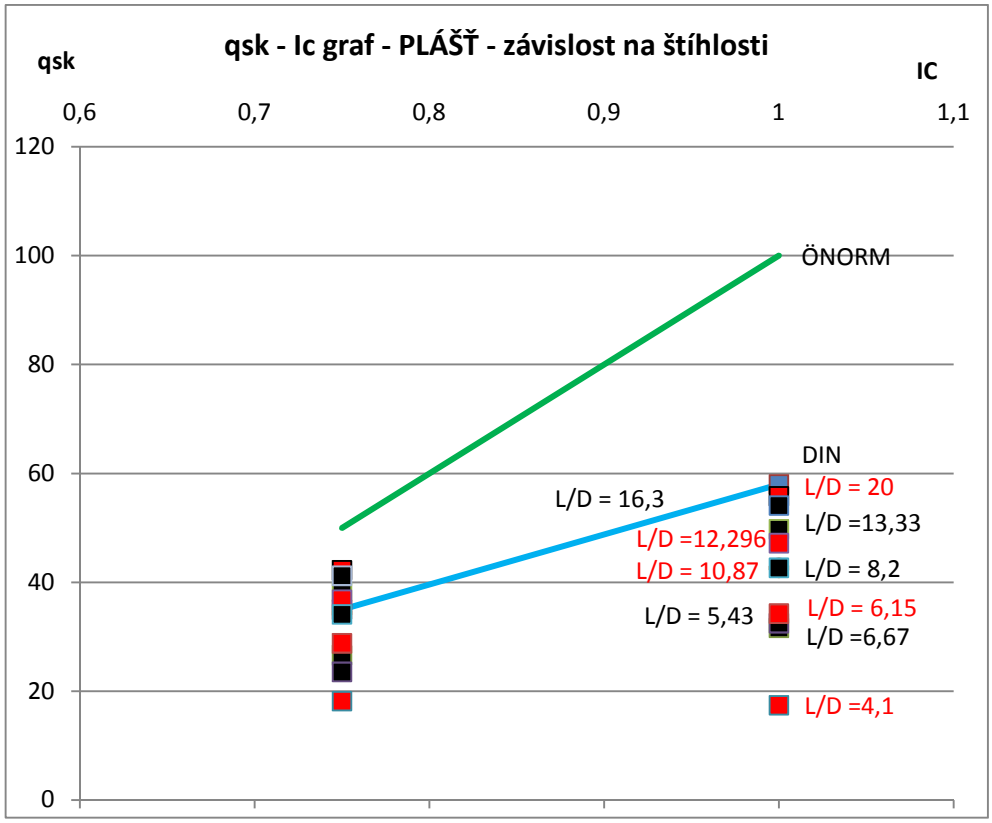

qsk - Ic graf - PLÁŠŤ L = 10m - závislost na průměru
qsk
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
IC
120
100
80
60
40
20
0
ÖNORM
DIN
D=0,75
D=0,92
D=1,22

Obr. 10.3.5c



Obr. 10.3.5d

Závěrem této kapitoly jsou znovu ukázané i závislosti plášťového tření na průměru (obr.10.3.5.a, obr.10.3.5.b, obr.10.3.5.c, obr.10.3.5 d) a na štíhlosti obr.10.3.6. Stejně jak u nesoudržných zemin, i zde je vidět, že s rostoucí štíhlostí roste i plášťové tření qsk.


qsk - Ic graf - PLÁŠŤ - závislost na štíhlosti
qsk
IC
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
120
100
80
60
40
20
0
ÖNORM
DIN
L/D = 16,3
L/D = 20
L/D =13,33
L/D =12,296
L/D = 10,87
L/D = 8,2
L/D = 5,43
L/D = 6,15
L/D =6,67
L/D =4,1

Obr. 10.3.5

11 VZOROVÝ PŘÍKLAD

Na závěr této diplomové práce bude uveden početní příklad. Ten bude nejprve spočítán podle jednotlivých norem, a poté bude porovnán z výsledky v měření v terénu.

Pilota má rozměry L = 10 m, d = 0,9. Na pilotu působí síla F = 1000 kN.

V podloží se nachází zemina o hodnotě odporu na špici kužele qc = 20MN/m2 v hloubce h = 0 – 8,0 m; qc = 20MN/m2 v hloubce h = 8,0 – 10,0m.

Podle tabulky 5.12 v německé normě DIN provedeme převod odporu na špici kužele qc na ulehlost („Lagerungsdichte D) podle tabulky 5.12 a 5.13 uvedené v kapitole 7.1 a poté převod na Id podle tabulky 4 v kapitole 9.4. Na základě těchto tabulek si odvodíme Index ulehlosti pro výpočet dle doc. Masopusta a zároveň ulehlost D pro výpočet pro německou a rakouskou normu. Oboje hodnoty jsou uvedené pro zadané hodnoty qc.

qc [MN/m^2]	D tabulkové	Id tabulkové	D odvozené	Id odvozené
7,5	0,35	0,385		
10			0,5	0,55
15	0,65	0,715		
20			0,85	0,8575
25	1	1	1	1

Tabulka 5 – převod zadaných hodnot odporu na špici kužele na ulehlost D a index ulehlosti Id

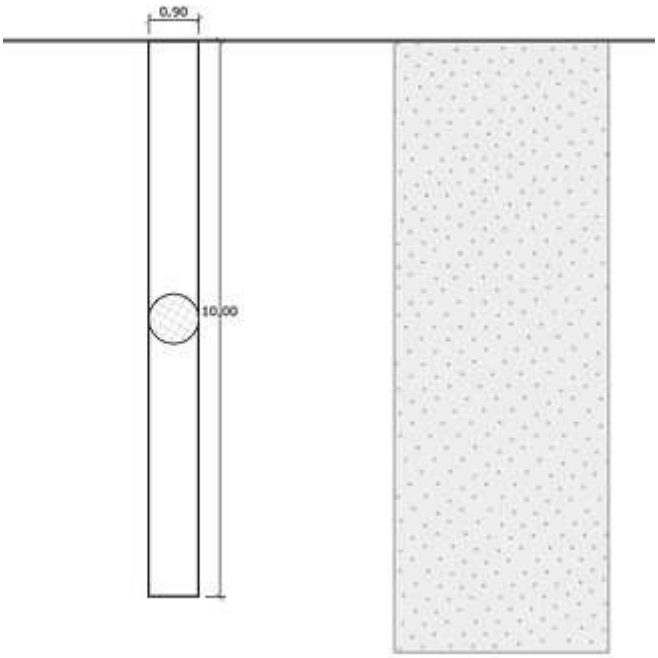
Pro hodnotu únosnější horní vrstvu uvažujeme přibližné D = Id = 0,85, pro spodní méně únosnou vrstvu Id = 0,55, D = 0,5.

Na závěr budou výsledky porovnány s pilotou, na které byla přímo v terénu provedena statická zatěžovací zkouška. Pilota č. 1 byla zatížená silou F = 3200 kN (Rs = 2575kN, Rb = 625kN), pilota č. 2 byla zatížena silou F = 2900kN (Rs = 1900kN, Rb = 1000kN).

11.1 VÝPOČET PODLE JEDNOTLIVÝCH NOREM

Výpočet dle doc. Masopusta

Do programu GEO 5 byla zadána pilota o příslušných rozměrech d = 0,9 a L = 10 m,. Byl zvolen návrhový přístup 2, geometrie je zobrazena na následujícím obrázku 11.1.1, jako zemina reprezentující podloží byl zvolen písek třídy S3.Sečnový modul Es byl a regresní součinitele a,b, e a f byly stanoveny podle indexu ulehlosti Id pro méně přiznivou spodní vrstvu zeminy (Id = 0,5).



Obr. 11.1.1 – geometrie modelu

Při posouzení na 1. MS (pevnostní) je kritický posudek svislé únosnosti, na tu však pilota bezproblému vyhoví.

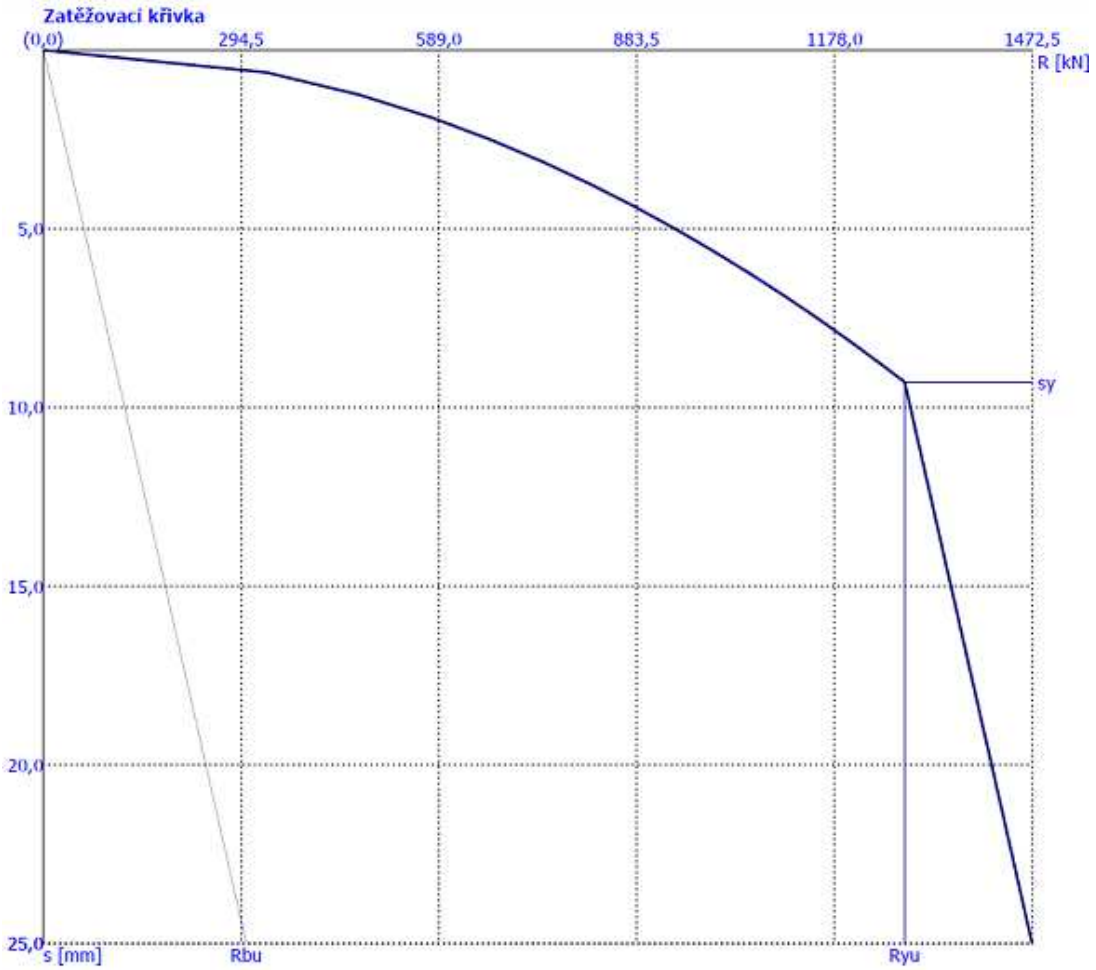
Posouzení tlačené piloty:
Nejnepříznivější zatěžovací stav číslo 1. (Zatížení č. 1)

Únosnost piloty na plášti R_s = 110,17 kN
Únosnost piloty v patě R_b = 7634,07 kN

Únosnost piloty R_c = 7744,24 kN
Extrémní svislá síla V_d = 1000,00 kN

$R_c = 7744{,}24\ kN > 1000{,}00\ kN = V_d$

Pro posouzení na 2.MS (deformační) slouží mezní zatěžovací křivka podle obr. 11.1.2., body zatěžovací křivky jsou pak zobrazené v tabulce 6.



Obr. 11.1.2 – mezní zatěžovací křivka pro výpočet dle Masopusta

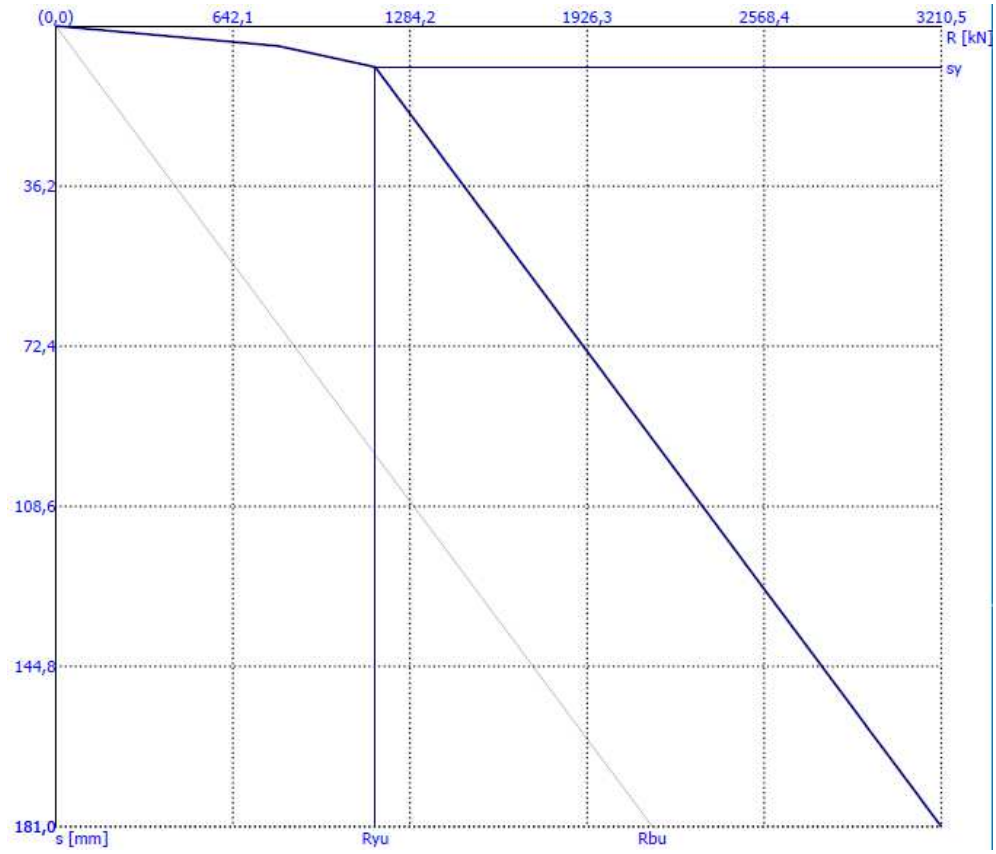
Sednutí [mm]	Zatížení [kN]
0,0	0,00
2,5	665,34
5,0	940,94
7,5	1152,41
10,0	1291,05
12,5	1321,28
15,0	1351,52
17,5	1381,76
20,0	1411,99
22,5	1442,23
25,0	1472,46

Tabulka 6 – body zatěžovací křivky

Z daných udajů však víme, že síla pro limitní sedání s = 25 je rovna R=1472,46 kN, což je únosnost, která potřebnou sílu nepřenese. Pro možnost porovnání je třeba zvýšit limitní bod sednutí. Ta však dosahuje s lim = 180mm, což je hodně, a tím pádem dle výpočtu dle Masopusta není pilota schopná přenést tak velké síly, aníž by nedošlo k nadměrné deformaci, přestože pilota na 1.MS stále vyhoví. Na vině je malá únosnost spodní vrstvy v podloží.

Sednutí [mm]	Zatížení [kN]
0,0	0,00
18,1	1263,70
36,2	1480,01
54,3	1696,31
72,4	1912,62
90,5	2128,92
108,6	2345,23
126,7	2561,53
144,8	2777,84
162,9	2994,14
181,0	3210,45

Tabulka 7 – body zatěžovací křivky pro zvýšený s lim = 180 mm.



Mezní zatěžovací křivka pro s lim = 180.

Celkové sednutí pro pilotu zatíženou silou F = 3200 je s = 181 mm.

Celkové sednutí pro pilotu zatíženou silou F = 2900 je s = 155 mm.

Zde je však znovu potřeba připomenout, že brát metodu dle Masopusta pro sednutí s > slim = 25 mm může být dost nepřesné.

Výpočet dle německé normy DIN

Při porovnání norem se převáděla z mezní zatěžovací křivky z výpočtu dle doc. Masopusta síla R (únosnost) s jednotkou kN na plášťové tření qsk a na napětí na patě qbk s jednotkou kN/m^2. Zd e je postup opačný. Potřebujeme znát, jaká celková únosnost q (q = qbk + qsk) přenese zatížení F = 1000 kN, což znamená, že musíme v tabulkách najít takové q, aby q/A >= F, resp. (qbk + qsk)/(π*d^2/4)>=F.

Nejjednodušší způsob, jak to zjistit, je sestavení mezní zatěžovací křivky pro německou DIN.

Podle tabulky 5.12 a 5.13 známe hodnoty qbk – napětí na patě, qsk – plášťové tření.na mezích sednutí s/D = 0,02; 0,03; a 0,1. Rovněž známe průměr, známe tedy přesné sednutí.

Podle daných vzorců dopočítáme hodnoty, které jsou uvedené v tabulce 7.

DIN	D [m]	0,9			
s/D	s [m]	qbk [kN/m ^2]	qsk [kN/m^2]	A [m^2]	R [kN]
0,02	0,018	800	107,5	0,63617251	1426,49986
0,03	0,027	1025	107,5	0,63617251	1780,177512
0,1	0,09	2300	107,5	0,63617251	3784,350869

Tabulka 8– převod q na R dle DIN

Stejně jako pro výpočet dle doc. Masopusta, i zde byla pro výpočet použitá ulehlost D pro spodní, méně únosnou, zeminu, u které je D = 0,5.

Potřebujeme však zjistil sednutí a celkovou únosnost q pro sílu R = 3200 a R= 2900 kN. Z tabulky vyčteme, že výsledné sednutí bude větší než s/D = 0,03 (menší než s = 0,018 m), a závoveň menší než s/D = 0,1 (s = 0,09 m = 90 mm), hodnoty pro síly je možné jednoduše interpolovat.

Výslednou interpolací mezi hodnotami z tabulky 8 vychází pro F = 3200 hodnoty poměru s/D = 0,079, a z toho tedy vyplývá výsledné sendutí s = 87,8 mm.

Pro sílu F = 2900 kN pak vychází výsledné sednutí 76,6 mm.

Výpočet dle rakouské ÖNORM

Princip výpočtu je hodně podobný jako u německé DIN. Vychází z tabulek C4 a C5. Opět je nutný převod qsk a qbk na R. Stejně jako u německé DIN, podle příslušných vzorců provedeme dopočet všech tabulkových veličin.

s = s/D*D

qbk – tab.C4

qsk – tabulka C5

A =(π*d^2/4)

R = q/A = (qbk + qsk)/ (π*d^2/4)

s/D	s [m]	qbk [kN/m ^2]	qsk [kN/m^2]	A [m^2]	R [kN]
0,05	0,045	30	70	0,63617251	157,1900673
0,01	0,009	550	70	0,63617251	974,578417
0,02	0,018	1050	70	0,63617251	1760,528753
0,03	0,027	1350	70	0,63617251	2232,098955
0,05	0,045	1900	70	0,63617251	3096,644325
0,075	0,0675	2500	70	0,63617251	4039,784728
0,1	0,09	3000	70	0,63617251	4825,735065

Tab. 7 – tabulkové veliny dle Rakouské ÖNORM.

I zde je třeba najít únosnost potřebnou pro přenesení zatížení F = 3200 kN,. Víme, že výsledná R = 1000 kN leží mezi poměrem s/D = 0,05 a 0,075. Znovu interpolujeme a zjistíme, že výsledné sednutí s = 58,5 mm.

Analogický výpočet provedeme pro sílu F = 2900 kN, kde je výsledné sednutí rovno s = 50,4 mm

11.2 POROVNÁNÍ SE STATICKOU ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKOU PROVEDENOU V TERÉNU

	Masopust	DINN	ÖNORM
F = 3200 kN	s = 181 mm	s = 87,8 mm	s = 58,5 mm
F = 2900 kN	s = 155 mm	s = 76,6 mm	s = 50,4 mm

Tabulka 8 – sednutí podle jednotlivých norem při daném zatížení

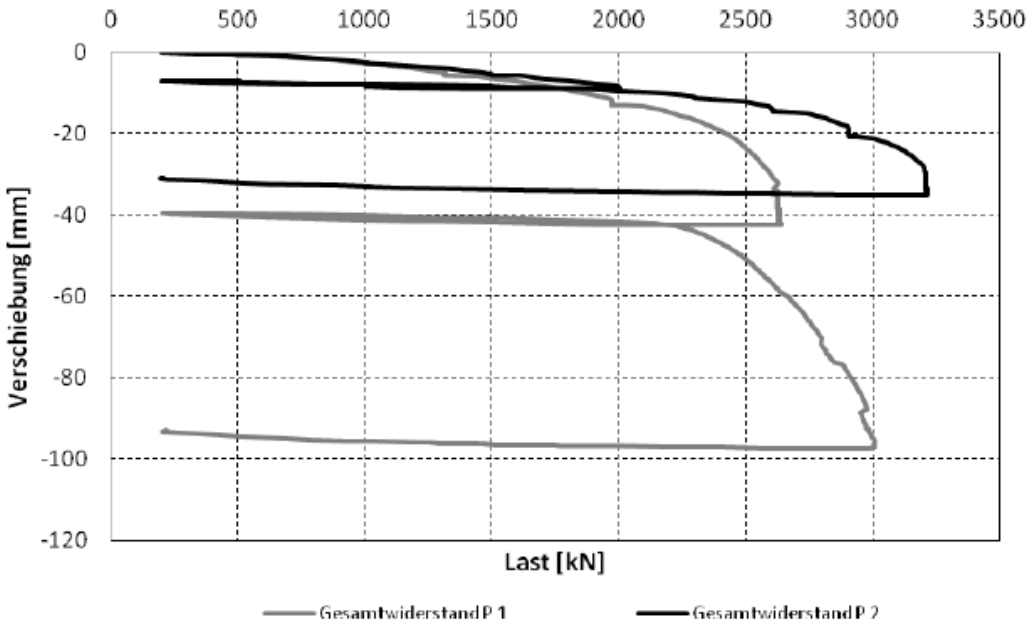
Jak vidíme z tabulky 8, výsledné sednutí pro každou z norem trochu jinak, měření přímo v terénu je tedy žádoucí.

Jak již bylo uvedeno výše, v roce 2012 byla rakouskými inženýry provedena zatěžovací zkouška piloty, při které byly rovněž zkoumány dynamické vlastnosti piloty, naměřené

hodnoty odpovídají zadání příkladu, pilota byla zatížená silou F = 3200 kN (Rs = 2575kN, Rb = 625kN), resp. F = 2900kN (Rs = 1900kN, Rb = 1000kN).

Výsledkem této zkoušky bylo několik výstupů, pro případ této diplomové práce je důležitý výstup uvedený na následujícím obrázku, kdy pilota při síle asi 2600 kN sedla na úroveň 40 mm, po odtížení a opětovném přitížení poté sedla přibližně o dalších 55mm.

Druhá pilota naopak při prvním přitížením o síle asi F = 2000 kN sednula na úroveň 16 mm. Po odtížení a opětovném přitíženín silou F = 3200 kN došlo k sednutí na úroveň cca 40 mm.



Obr. 11.2 – statická zatěžovací zkouška – závislost celkového napětí a sedání piloty

	Masopust	DINN	ÖNORM	Zatěžovací zkouška
F = 3200 kN	s = 181 mm	s = 87,8 mm	s = 58,5 mm	s = 38 mm
F = 2900	s = 155 mm	s = 76,6 mm	s = 50,4 mm	s = 95 mm

Tabulka 7 – shrnutí

Výsledky uvedené v tabulce 7 pouze potvrzují, že pro extrémní zatížení pilot má významnou roli také dynamika.

12 ZÁVĚR

V této diplomové práci byla podrobněji popsána technologie vrtaných a ražených pilot. Dále byly podrobněji pospány jednotlivé návrhové přístupy, podle doc. Masopusta, podle rakouské normy ÖNORM a německé normy DIN.Pro porovnání jednotlivých norem byl proveden výpočet. V programu Microsoft Excel, pro jednotlivé hodnoty S/D byly doplněny hodnoty qbk (napětí na patě), qsk (tření na plášti), cekové tření qs, sílu na patě Rb, sílu na plášti Rs, a celkovou sílu R. Výpočty byly provedeny podle každé normy.

Cílem této práce byla snaha dokázat, jak velkou roli hraje průměr, délka a štíhlost ve výpočtu podle doc. Masopusta. Během práce se zjistilo, že piloty menší délky je únosnost podle rakouské a německé normy nadhodnocená, naopak pro vyšší piloty jsou hodnoty v německé a rakouské normě na stranu bezpečnou.

Výstupem výpočtu byly grafy uvedené v kapitole 10, které zjistili, že na napětí na patě qbk má významný vliv délka piloty, plášťové tření qsk se zvyšuje s rostoucí štíhlostí.

13 ZDROJE

[1] Navrhování základových a pažicích konstrukcí, Příručka k ČSN EN 1997, JAN MASOPUST

[2] PILE DESIGN and CONSTRUCTION PRACTICE M.J. Tomlinson

[3] PENETRATION TESTING Thomas Thelfold

[4] CONE PENETRATION TESTING - T.Lunne, PK.Robertson,and J.J.M Powell

[5] *Grundbau-Taschenbuch: Teil 2: Geotechnische Verfahren*

[6] Grundbau-Taschenbuch: Teil 1: Geotechnische Grundlage

[7] Special Deep Foundation Compendium Methods and Equipment

[8] Dynamische Pfahlprobebelastungen an Bohrpfählen in einem Testfeld:Ein Ringversuch M. Baeßler1), E. Niederleithinger1),M. Herten2), S. Georgi1