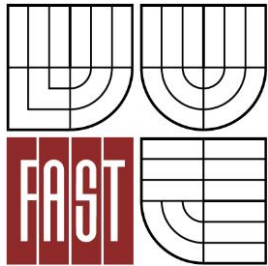




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

STANOVENÍ ÚNOSNOSTI MIKROPILOT RŮZNÝMI DOMÁCÍMI A ZAHRANIČNÍMI METODAMI

EVALUATION OF THE LOAD-BEARING CAPACITY OF MICROPILES USING VARIOUS
METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MÁRIA TARBAJOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JURAJ CHALMOVSKÝ

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Mária Tarbajová

Název Stanovení únosnosti mikropilot různými domácími a zahraničními metodami

Vedoucí bakalářské práce Ing. Juraj Chalmovský

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

BRUCE, D. A., DIMILLIO, A., JURAN, I. Micropiles: the State of Practice. Part 1: Characteristics, Definitions and Classification.. Ground Improvement, 1997, vol. 1, no. 1, p. 25–35.

JURAN, I., BRUCE, D. A., DIMILLIO, A., BENSLIMANE, A. Micropiles: the State of Practice. Part 2: Design of Single Micropiles, Groups and Networks of Micropiles. Ground Improvement, 1999, vol. 3, p. 89–110.

Micropile Design and Construction Guidelines. 2000. Publication No FHWA-SA-97-070.

MEERDINK, L. Performance of Micropiles Under Axial Tensile Loading. 2013. Master Thesis - TU Delft.

VERFEL, J. Injektování Hornin a Výstavba Podzemních Stěn. 1992. ISBN 80-7127-043-1.

MASOPUST, J. Speciální Zakládání Staveb - 1. díl. 2004. ISBN 80-214-2770-1.

Další podklady budou předány na základě konzultací v průběhu samotného řešení bakalářské práce.

Zásady pro vypracování

Cílem práce je dohledání, kritická analýza a porovnání různých domácích a zahraničních metod pro stanovení únosnosti mikropilot.

Práce bude primárně zaměřena na analýzu osově zatížených mikropilot. Práci lze alternativně rozšířit o problematiku horizontálně zatížených mikropilot nebo skupin mikropilot.

Struktura bakalářské/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. Juraj Chalmovský
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Práce se zaměřuje na popis různých domácích a zahraničních metod, které lze aplikovat na výpočet únosnosti mikropilot v soudržných a nesoudržných zeminách. Hlavním bodem bakalářské práce je stanovení únosnosti mikropiloty na dvou konkrétních případech, přičemž v prvním případě se jedná o soudržnou a ve druhém případě o nesoudržnou zeminu. Následně je provedeno porovnání a zhodnocení použitých výpočetních metod s výsledky zatěžovacích zkoušek.

Klíčová slova

Mikropilota, únosnost, typ injektáže, metody výpočtu, plášťové tření, skupiny mikropilot, soudržné zeminy, nesoudržné zeminy

Abstract

The work focuses on the description of various domestic and foreign methods that can be applied to calculate the load-bearing capacity of micropiles in cohesive and cohesionless soils. The main goal of this work is to determine the values of the load-bearing capacity of micropiles on two specific cases, while in the first case it is a cohesive and in the second case a cohesionless soils. Subsequently, the comparison and evaluation of the used methods of calculation with the results of load tests.

Keywords

Micropile, load-bearing capacity, type of injection, methods of calculation, skin friction, micropile groups, cohesive soils, cohesionless soils

Bibliografická citace VŠKP

Mária Tarbajová *Stanovení únosnosti mikropilot různými domácími a zahraničními metodami*. Brno, 2016. 71 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Juraj Chalmovský.

Prohlášení:

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

V Brně dne 26.5.2016

.....
podpis autora
Mária Tarbajová

Pod'akovanie:

Rada by som pod'akovala pánu Ing. Jurajovi Chalmovskému nielen za odborné vedenie bakalárskej práce a poskytovanie cenných rád, ale aj za jeho prístup a trpezlivosť. Moje pod'akovanie patrí tiež mojej rodine za neustálu podporu vo všetkých oblastiach.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	MIKROPILÓTY	10
2.1	História	10
2.2	Popis a definícia mikropilót.....	11
2.3	Rozdelenie mikropilót	12
2.4	Technologický postup výroby mikropilóty	15
2.4.1	Máloprofilové vrtanie.....	15
2.4.2	Zálievka.....	17
2.4.3	Injektáž.....	18
2.4.4	Výstuž	19
2.5	Nevýhody mikropilót	20
3	OSOVÁ ÚNOSNOSŤ MIKROPILÓT	20
3.1	Stanovenie únosnosti rôznymi domácimi a zahraničnými metódami	20
3.1.1	Lizziho metóda (1982)	21
3.1.2	Výpočet podľa Masopusta (2004).....	23
3.1.3	Metóda Littlejohn (1975)	25
3.1.4	Alpha metóda(1963).....	25
3.1.5	Beta metóda (1973)	28
3.1.6	Metóda Zweck a Bowles (1988)	31
3.1.7	Metóda Bustamante (1985).....	32
3.1.8	Ostermayer (1974)	35
3.1.9	Ostermayer a Scheele (1977)	37
3.2	Zhrnutie návrhových metód mikropilót.....	39
3.3	Priebeh plášťového trenia.....	40
3.2.1	Progresívne porušovanie	41
3.2.2	Súčiniteľ efektivity.....	42
3.4	Skupiny mikropilót.....	43
4	APLIKÁCIA NÁVRHOVÝCH METÓD VÝPOČTU ÚNOSNOSTI MIKROPILÓTY	45
4.1	Výpočet únosnosti mikropilóty rôznymi metódami v súdržných zeminách – neogénne íly v lokalite Brno	45
4.1.1	Presiometrické skúšky.....	51
4.2	Výpočet únosnosti mikropilóty rôznymi metódami v nesúdržných zeminách - pieskoch v lokalite Brusel	53

5	ZÁVER	61
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	63
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	66
	ZOZNAM PRÍLOH	69

1 ÚVOD

Predmetom bakalárskej práce pod názvom *Stanovení únosnosti mikropilot různými domácími a zahraničními metodami* je charakterizovať, posúdiť a porovnať jednotlivé metódy výpočtu únosnosti, ktoré je možné použiť pri návrhu únosnosti mikropilót.

V prvej časti je uvedený stručný popis mikropilót, ktorý zahŕňa históriu, klasifikáciu, technologický popis prevádzania mikropilót a ich nevýhody. Následne je spracovaný podrobný popis jednotlivých metód pre stanovenie únosnosti mikropilóty s uvedením ich obmedzení. V závere práce je prevedené porovnanie únosnosti mikropilóty s použitím rôznych metód výpočtu na dvoch prípadoch. V prvom prípade sa jedná o mikropilótu založenú v súdržnej zemine – neogénnych fľoch v lokalite Brna a v druhom prípade je výpočet únosnosti prevedený pre nesúdržnú zeminu, ktorou sú piesky v lokalite Brusel.

Mikropilotovanie je pomerne mladá technológia, ktorá je v súčasnosti využívaná pri mnohých geotechnických problémoch. Jej uplatnenie sa našlo ako v zakladaní stavieb tak aj v podzemnom staviteľstve. Štúdie, zaoberajúce sa mikropilotovaním nie sú v dnešnej dobe vo veľkom povedomí a stále je možnosť zistiť o tejto univerzálnej technológii viac.

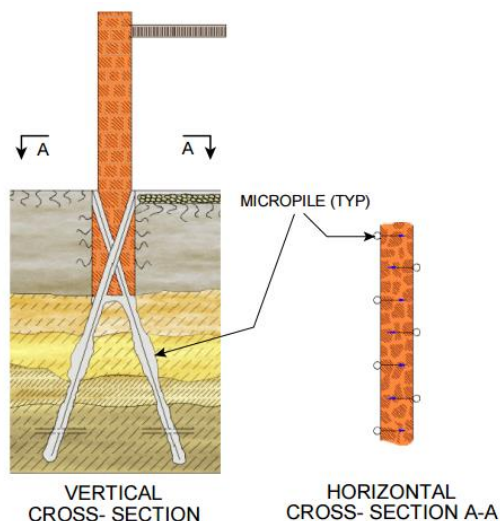
2 MIKROPILÓTY

2.1 História

Technológia mikropilotovania bola prvýkrát použitá v roku 1952 v Taliansku, kde bola potreba vyvinúť inovatívnu technológiu pre zosilnenie a podchytenie základov budov a historických pamiatok, ktoré boli poškodené počas druhej svetovej vojny. Plnili funkciu spoľahlivého oporného systému, ktorý minimálne narúšal existujúce základy a zároveň mohol byť inštalovaný v stiesnených podmienkach. Na obrázku 2-1 je ukážka patentu z roku 1952, ktorý znázorňuje klasické podchytenie murovanej steny použitím mikropilót. Za vynálezcu mikropilót (pali radice) sa považuje taliansky stavebný inžinier Dr. Fernando Lizzi. [2]

V Spojených štátoch amerických bola táto technológia predstavená až o 20 rokov neskôr a od polovice 80 rokov zaznamenala rýchly nárast v používaní. Mikropilóty slúžili najmä ako podporné prvky základov pri statických a seizmických aplikáciách, pri zaistení svahov a k stabilizácií stavebných jám. [1]

Veľa týchto aplikácií priamo súvisí s dopravnými projektami a tak sa Federal Highway Authority (FHWA) v roku 1993 rozhodol financovať výskumné projekty spojené s inováciou geotechnických aplikácií a vydal niekoľko manuálov, vrátane prvej na mikropilóty. Taktiež vo Francúzku v roku 1992 bol zahájený 5-ročný projekt nazývaný „FOREWER“ (Foundation Renforcées Verticalement) pod záštitou Ústavu pre aplikovaný výskum a experimentovanie v inžinierskom stavebníctve, ktorý zahŕňal rôzne štúdie, numerické modelovanie, laboratórne testovanie a in-situ poľné skúšky. Jej hlavným cieľom bolo podporiť využívanie mikropilót vo všetkých oblastiach stavebníctva. To bol začiatok nárastu používania mikropilót. Mikropilóty sú v súčasnej dobe podrobne špecifikované a používané vo všetkých odvetviach stavebníctva po celom svete. [1]



Obr. 2-1: Klasické podchytenie murovanej steny s využitím mikropilót [2]

2.2 Popis a definícia mikropilót

Mikropilóty patria medzi prvky hlbinného zakladania stavieb, ktoré sa vyznačujú svojou mimoriadnou štíhlosťou a skromnými nárokmi v miestne prevádzania. Sú inštalované metódami, ktoré spôsobujú minimálne narušenie priľahlých konštrukcií a zeminy. Ich úlohou je naďalej podchycovať a zosilňovať základy existujúcich konštrukcií, no využívajú sa aj pre novostavby, kde vzhľadom na obmedzený priestor, nejde využiť iné metódy. Vhodné sú aj tam, kde kôli zle vrtateľným zeminám nejde prevádzať vrtané pilóty. Mikropilóty možno inštalovať v ľubovoľnom uhle pod vodorovnou rovinou a taktiež v ľubovoľných dĺžkach. [3]

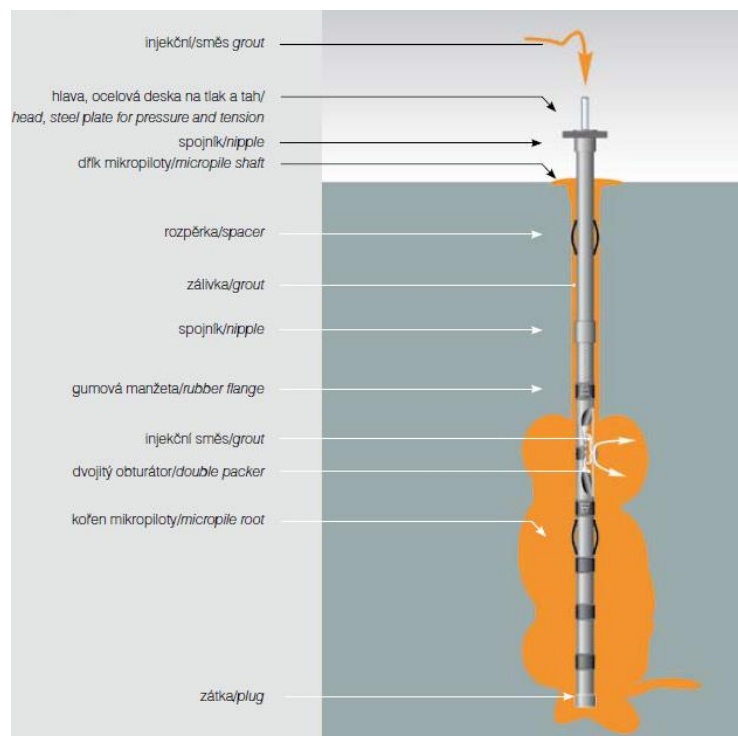
Najskôr sa priemer mikropilót pohyboval okolo 100 mm, ale s vývojom nových výkonnejších vrtacích zariadení stúpol a dnes sa používajú mikropilóty s priemerom do 300 mm. Mikropilóty sa u nás riadia ustanovením európskej normy ČSN EN 14199: Provádění speciálních geotechnických prací – Mikropiloty. Táto norma platí pro vrtané mikropilóty o vonkajšom priemere do 300 mm a pre mikropilóty razené o vonkajšom priemere do 150 mm.

Mikropilóta pozostáva z troch častí:

- hlavy, ktorá preberá zaťaženie od stavebnej konštrukcie.
- drieku, ktorý prechádza obvykle neúnosnými vrstvami.
- koreňa, ktorý je injektážou votknutý do okolitej horniny a odovzdáva jej tým zaťaženie od stavebného objektu.

Charakteristický priečny rez mikropilótou je znázornený na obrázku 2-2. Mikropilóta je vystužená najčastejšie zostavou ocelových kruhových trubiek spojenými skrutkovými spojkami. Ďalší spôsob vystužovania je možný pomocou armokoša z prútov stavebnej ocele. [4]

Mikropilóty sú schopné udržať prekvapivo vysoké zaťaženia (bolo zaznamenané tlakové zaťaženie viac ako 5000 kN) alebo naopak, môžu odolávať nižším zaťaženiám s minimálnym pohybom (deformáciou). [1]



Obr. 2-2: Charakteristický rez mikropilótou [4]

2.3 Rozdelenie mikropilót

Rozdelenie mikropilót je možné na základe mnohých kritérií. Podľa spôsobu namáhania sa delia na: tlakové, ťahové a namáhané priečnymi silami (najzriedkavejšie).

Podľa spôsobu uvedenia do funkcie rozdeľujeme mikropilóty na nepredt'azované, predt'azené a predpäté.

- Nepredt'azené (voľné), ktoré sú spojené s konštrukciou bez predchádzajúceho zaťaženia.
- Predt'azené, kedy sa mikropilóta najprv predt'azi silou, ktorá bude odpovedať jej následnému zaťaženiu, a po odľahčení sa spojí s konštrukciou. Mikropilóta teda vyčerpá svoje trvalé deformácie a prejaví len pružné deformácie.
- Predpäté, mikropilóta je pred spojením s konštrukciou predt'azená a následne v zaťažnom stave pevne spojená s konštrukciou. K nasledujúcim deformáciám už nedôjde alebo budú minimálne. [3, 4]

Pre účely stanovenia únosnosti je taktiež vhodné klasifikovať mikropilóty podľa:

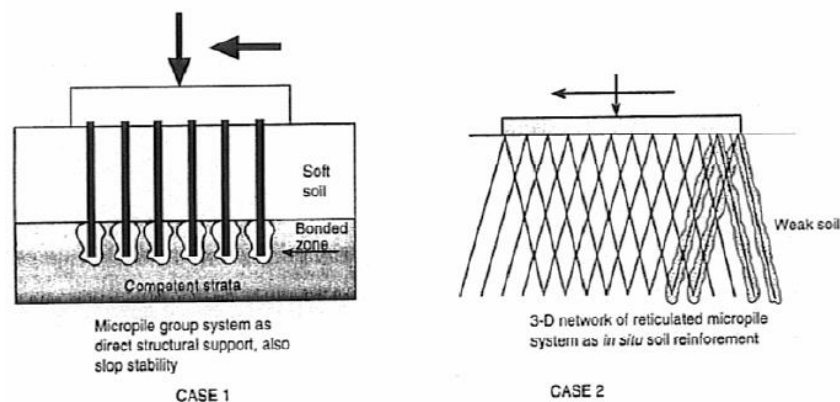
- Filozofie správania
- Metódy injektáže

a) Klasifikácia založená na filozofii správania:

Na základe filozofie správania, rozoznávame dve rozličné návrhové koncepty, ktoré sú znázornené na obrázku 2-3 :

Prípád 1. - mikropilóty sú navrhované jednotlivo k prenosu osového a bočného zaťaženia z málo únosných vrstiev do únosnejších (stabilnejších) vrstiev.

Prípád 2. - návrhový koncept, ktorý s použitím trojrozsmernej siete mikropilót (podobne ako koreňový systém stromu) vytvára kompozitný vystužený systém. V tomto prípade nie sú mikropilóty navrhované jednotlivo ale ako skupina. [1]



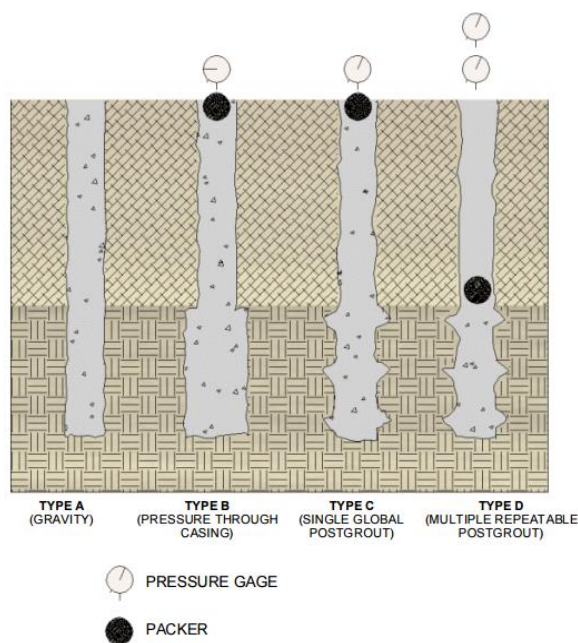
Obr. 2-3: Rozdelenie mikropilót na základe filozofie správania [5]

b) Klasifikácia podľa metódy injektáže:

Na základe použitej metódy injektáže môžeme mikropilóty rozdeliť do 4 skupín (Obr. 2-4) :

- Typ A - vyvrtaný vrt je vyplnený cementovou zálievkou, bez aplikovaného injektážneho tlaku.
- Typ B - cementová zálievka sa umiestni do vrtu pod tlakom za súčasného vyťahovania pažnice. Injektážne tlaky sa pohybujú v rozmedzí 0,3 - 1,0 MPa.
- Typ C - cementová zálievka sa umiestni do vrtu ako pri type A. Po vytvrdnutí primárnej injektážnej zmesi, nastáva injektáž koreňa mikropilóty prostredníctvom vopred umiestnenej manžetovej trubky za injektážneho tlaku aspoň 1MPa. Injektáž sa prevádza ako jednostupňová (injektáž koreňa je prevedená globálne) – tzv. IGU (injection globale et unitaire) mikropilóty.

- Typ D - cementová zálievka sa umiestni do vrtu ako pri type A. O niekoľko hodín neskôr, keď táto primárna injektážna zmes zatvrdne, nastáva injektáž koreňa mikropilóty prostredníctvom vopred umiestnenej manžetovej trubky. Injektuje sa zásadne vzostupne, dvojitým orburátorom pri injektážnych tlakoch 2 – 8 MPa. Ak je nutné prevádza sa opakovaná reinjektáž. Injektáž je viacstupňová – injektuje sa postupne celý koreň mikropilóty povytiahnutím orburátora upnutého na určitú etáž – tzv. IRS (injection repetitive et selective) mikropilóty. [1]

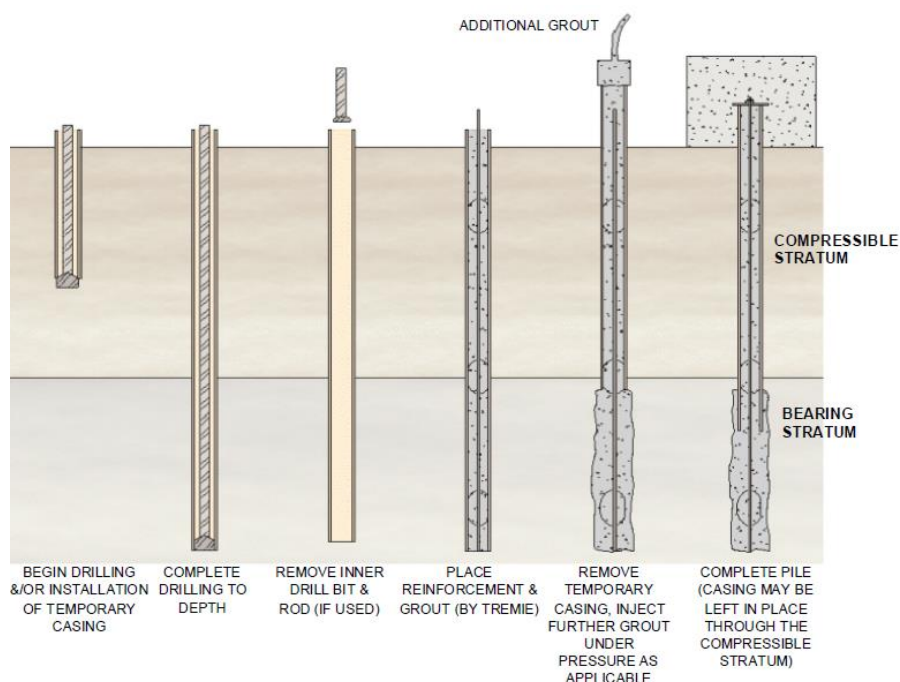


Obr.2-4: Rozdelenie mikropilót na základe metódy injektáže [2]

2.4 Technologický postup výroby mikropilóty

Technologický postup výroby mikropilót pozostáva z nasledujúcich etáp:

- Vrtanie máloprofilových vrtov do potrebnej dĺžky
- Príprava výstuže
- Zriadenie zálievky a osadenie pripravenej výstuže
- Injektáž koreňa mikropilóty pod zvoleným injektážnym tlakom
- Úprava hlavy mikropilóty [3]



Obr. 2-5: Technologický postup výroby mikropilóty s použitím oceľových pažnic [2]

2.4.1 Máloprofilové vrtanie

Vrtné súpravy, zvyčajne používané pre inštaláciu mikropilót sú zhodné s vrtnými súpravami pre výrobu kotiev. Sú umiestnené na menších pásových podvozkoch, takže sú dobre pohyblivé aj v obtiažnych terénnych podmienkach. Súčasťou je aj pomerne krátka lafeta, ktorá je vertikálne aj horizontálne otočná, čo umožňuje vrtanie v akomkoľvek sklone. Technológia vrtania sa volí predovšetkým s ohľadom na geotechnické podmienky na stavenisku, vo vzťahu k dimenziám a druhu geotechnickej konštrukcie a s ohľadom na charakter stavebného objektu. [3]

Veľkosť vrtných kolón sa môže značne líšiť, väčšia vrtná súprava umožňuje použitie dlhých vrtných sútyčí a pažníc v miestach bez obmedzenia priestoru (Obr. 2-6) a menšia vrtacia súprava, ktorá umožňuje prácu v ťažko prístupných miestach (Obr. 2-7). Na trhu sú ponúkané aj vrtné veže, ktoré je možno pripojiť na ramená a hydrauliku bagra. Pri tejto úprave je možné vŕtať aj v miestach, ktoré sú nedostupné pre pásovú či inú vrtnú súpravu. Kapacita vrtnej súpravy je vyjadrená maximálnym krútiacim momentom, ktorý môže byť aplikovaný na vŕtací nástroj a prítlačnou silou.



Obr. 2-6: Vrtná súprava MITO 60 od firmy FRASTE [7]



Obr. 2-7: Vrtná súprava FUTURO od firmy TEC system [7]

Pri hĺbení zemných otvorov sa používajú rôzne výplachy, ktoré vynášajú rozrušenú zeminu a tým čistia vrt pri vŕtaní. Používa sa vodný, vzduchový, ílový, ílovocementový a penový výplach. Okrem toho, môžu niektoré z týchto výplachov (ílový, ílovocementový) u nestabilných zemín plniť aj funkciu zaistenia stien vrtu. Vrt je možné pažiť taktiež oceľovými pažnicami. [3]

K dispozícii je veľké množstvo vrtných kolón v rôznych úpravách, predávaných dodávateľmi po celom svete, ktoré sú opatrené zo spodku vrtnými korunami či dlátami. Výsledkom je veľký počet technológií vŕtania máloprofilových vrtov, ktoré sa používajú. Základné technologické vŕtacie metódy sú:

- a) Vrtanie rotačným špirálovým vrtákom za sucha – Používa sa v súdržných zeminách tuhej až pevnej konzistencie a poloskalných mäkkých horninách, a to bez paženia. Zemina sa rozrušuje a špirálou je vynášaná z vrtu. Jedná sa o spoľahlivé a rýchle vrtanie.
- b) Rotačné vrtanie na plnú čelbu s výplachom – Vrtanie sa prevádza vrtným sútyčím, na ktorého konci je umiestnené dláto. V mäkkších zeminách sa používa listové dláto, v ostatných zeminách valivé dláto. Rozrušená zemina sa vynáša z vrtu výplachom, ktorý môže byť používaný aj k zabezpečeniu stien vrtu.
- c) Rotačne-príklepové vrtanie – S výhodou sa používa v tvrdších zeminách ako sú štrky a balvanité zeminy, kde nie je potrebné pažiť. Nárazom dláta sa zrná zeminy rozrušujú a z vrtu sa vynášajú vzduchovým alebo vodným výplachom.
- d) Vrtanie systémom Duplex – Používa sa v nevyhovujúcich geologických podmienkach (veľmi mäkké súdržné zeminy, zvodnené jemnozrnné a hrubozrnné zeminy), kde nemusí byť paženie stien vrtu výplachom dostatočné a je potrebné použitie oceľových pažníc. Vrtná kolóna duplex pozostáva s vrtného sútyčia s dlátami a obvodovej pažnice, ktorá je zakončená vhodnou vrtnou korunkou. Pohyb oboch častí môže byť rovnosmerný alebo protismerný. [3, 6]

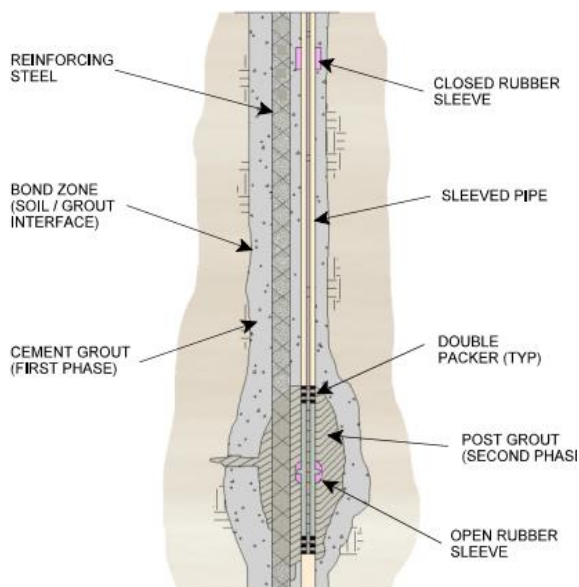
2.4.2 Zálievka

Zálievka je neoddeliteľnou súčasťou technológie mikropilótovania. Pre mikropilóty sa používa cementová zálievka. Po dokončení a vyčistení vrtu sa ňou vrt vyplní alebo sa prevedie výmena výplachu za zálievku - pri použití vodného, ílového či ílovocementového výplachu. U zapažených vrtov oceľovou pažnicou sa prevedie výmena výplachu za zálievku, za súčasného vyt'ahovania pažnice. Súčasne zaisťuje krytie výstuže mikropilóty. Zálievka musí poskytovať vysokú pevnosť a stabilitu, no musí mať aj vhodnú konzistenciu, ktorá je čerpatel'ná. Typický hmotnostný pomer zloženia voda/cement sa pohybuje v rozmedzí od 0,4 do 0,5. Pevnosť v tlaku u dobre spracovanej zálievky po vytvrdnutí je 27 – 35 MPa. [2, 3]

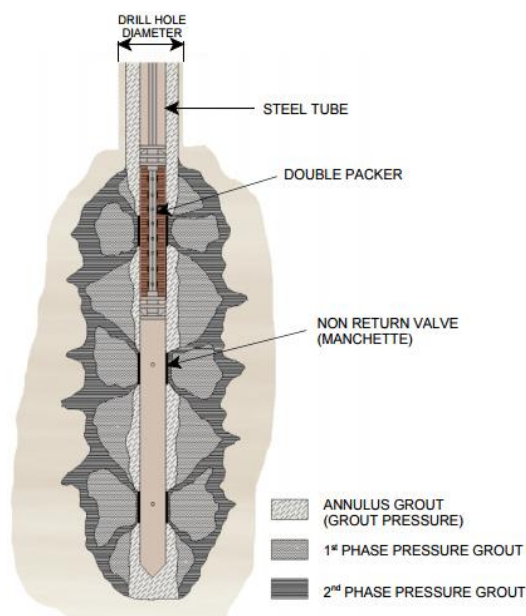
2.4.3 Injektáž

Injektáž má zásadný vplyv na únosnosť mikropilóty. Použitie vyšších injektážnych tlakov, má za následok vyššie hodnoty únosnosti prvku, čo je interpretované aj na obrázku 2-10. Podľa spôsobu jej prevedenia môžeme taktiež rozlišovať rôzne typy mikropilót (kapitola 2.3). Injektuje sa vysokotlakovým čerpadlom s použitím cementovej suspenzie o rovnakom zložení ako je cementová zálievka. Zámerom je použitím injektážneho tlaku roztrhnúť primárnu zálievku a jej roztlačenie radiálnym smerom. Zálievka tak s pomocou výstuže mikropilóty, bude bezpečne prenášať zaťaženie do únosnejších vrstiev zeminy. Injektážou sa teda docieli priameho upnutia mikropilóty do okolitého prostredia. Klasické sú opakované reinjektáže. [2, 3]

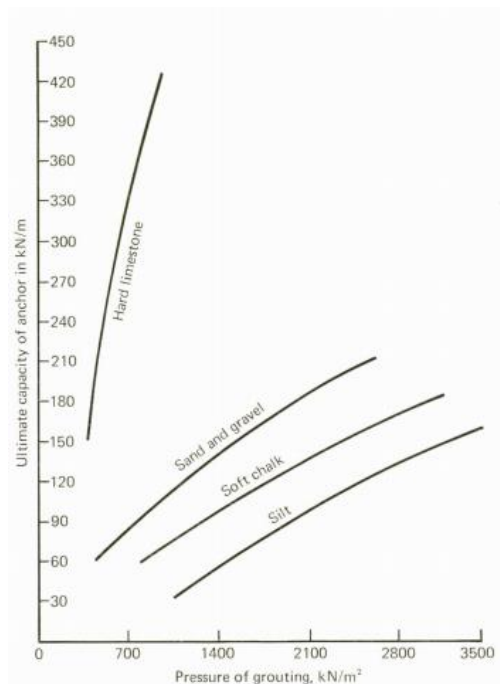
Injektuje sa s použitím dvojitého orburátora upnutého na určitú etáž. Injektáž sa môže prevádzať samostatne umiestnenou manžetovou trúbkou (Obr. 2-8) alebo dvojitým orburátorom umiestneným vo výstužnej trúbke s manžetami (Obr. 2-9).



Obr. 2-8: Injektáž manžetovou trúbkou umiestnenou vo vrte samostatne [2]



Obr. 2-9: Injektáž pomocou výstužnej trúbky s manžetami [2]



Obr. 2-10: Vplyv tlakovej injektáže na únosnosť [8]

2.4.4 Výstuž

Výstuž môže pozostávať z oceľových silnostenných trubiek, armokoša z bežnej betonárskej ocele alebo z valcovaných oceľových profilov. Vyčistená a odmastená výstuž sa osadzuje do vrtu pred injektážou do cementovej zálievky.

Najčastejšie používané výstužné silnostenné trubky sú $\varnothing 70/12$ mm, $\varnothing 89/10$ mm, $\varnothing 108/16$ mm. Ich typické dĺžky sú 1,5 a 3,0 m, ktoré sa spájajú pomocou vnútorného plochého závitú na potrebnú dĺžku. Perforácia koreňovej časti výstužnej trubky je tvorená 4 otvormi, ktoré sú prekryté gumovými manžetami. Je možné ich zapustiť aj v celku, no na manipuláciu je potreba dostatok miesta a žeriav.

Armokôš tvoria pozdĺžne pruty, profilu 20-28 mm a priečne ovinutá špirála z betonárskej ocele profilu 5 - 6 mm. Armokoše sa nemôžu používať v obmedzených priestoroch, pretože dlhší armokôš nejde pre nedostatok výšky zasunúť do vrtu (vyrába sa v jednom kuse – spoj komplikovaný). Vnútri armokoša je umiestnená manžetová trubka, ktorou sa prevádza injektáž. [3]

Vŕtanie, montáž výstuže, a injektáž mikropilóty by mala byť dokončená v sérii kontinuálnych procesov a vykonaná tak rýchlo ako je to možné. Dlhšie trvanie medzi dokončením vŕtania a umiestnením výstuže a zálievky môže mať nepriaznivý vplyv na integritu okolitej zeminy.

2.5 Nevýhody mikropilót

- Vertikálna únosnosť mikropilót, môže byť obmedzená priečnym namáhaním, ktoré spôsobí kolaps prvku.
- Vysoký štíhlostný pomer (L/D) – nevhodné pri seizmických aplikáciách.
- Nie sú efektívne z hľadiska nákladov oproti konvenčným pilótam.
- Obmedzené skúsenosti použitia mikropilót pre stabilizáciu svahov.
- Vyžadujú špeciálne zariadenie. [2]

3 OSOVÁ ÚNOSNOSŤ MIKROPILÓT

Osovú únosnosť mikropilóty je možné stanoviť zaťažovacou skúškou alebo statickým výpočtom. Zaťažovacie skúšky prevádzajú špecializované stavebné firmy a statickým výpočtom je projektant schopný vypočítať vnútornú a vonkajšiu únosnosť.

- vnútorná únosnosť: tlaková únosnosť spriahnutého prierezu skladajúcu sa z cementového kameňa a zvyčajne ocelevej výstužnej trubky. Do tohto výpočtu je nutné nezabudnúť zahrnúť vplyv vzperu v podobe výpočtu kritickej osovej sily.

- vonkajšia únosnosť: je definovaná trením na plášti a odporom v päte mikropilóty.

Ďalej je analyzovaná už je len vonkajšia únosnosť.

3.1 Stanovenie únosnosti rôznymi domácimi a zahraničnými metódami

Rozloženie napätosti po dĺžke mikropilóty je zložité a je ťažké ju stanoviť výpočtami, pretože je závislé na mnohých faktoroch, ktoré je ťažko presnejšie vyjadriť či vôbec určiť. Z tohto dôvodu výpočtové metódy je nutné brať ako isté odhady, ktoré

dávajú prehľad o rozsahu, v ktorom sa únosnosti navrhovaných mikropilót môžu pohybovať. Všetky uvádzané metódy vychádzajú z predstavy, že na plášti injektovanej časti mikropilóty pôsobí príslušné priemerné medzné plášťové trenie, z ktorého je možné vypočítať medznú návrhovú únosnosť mikropilóty.

$$Q = A \cdot \tau \quad (3-1)$$

kde:

A plocha injektovanej časti mikropilóty

τ priemerná medzná hodnota plášťového trenia

Rozdiel medzi jednotlivými metódami stanovenia únosnosti mikropilóty, spočíva vo vyjadrení hodnoty priemerného medzného plášťového trenia τ . Úlohou metód je snažiť sa čo najpresnejšie určiť skutočnú hodnotu priemerného medzného plášťového trenia mikropilóty, ktorá sa mobilizuje po plášti koreňa a tak sa čo najviac priblížiť skutočnej medznej únosnosti prvku.

Niektoré uvádzané metódy sú prevzaté s návrhu pre výpočet únosnosti koreňa injektovanej kotvy či pilóty. Taktiež často vyskytovaným javom pri návrhu je použitie hodnôt, získaných zo zaťažovacích skúšok injektovaných kotiev, či konvenčných pilót. V každom prípade by sa však v nových geologických, prevádzkových a technologických podmienkach mali prevádzať nevyhnutné overovacie zaťažovacie skúšky.

3.1.1 Lizziho metóda (1982)

Táto metóda je založená na poznatku, že únosnosť koreňa mikropilóty je priamo úmerná priemernej hodnote plášťového trenia na povrchu koreňa mikropilóty. Zjednodušujúcim predpokladom metódy je rovnomerná mobilizácia šmykového napätia pozdĺž koreňa mikropilóty. Tabuľkové hodnoty medzného plášťového trenia je možné použiť v prípade, ak nie sú vykonané žiadne zaťažovacie skúšky pre podrobnejšie zistenie.

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \tau_m \cdot J \quad (3-2)$$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
d priemer koreňa
l dĺžka koreňa
J bezrozmerný súčiniteľ vyjadrujúci vplyv priemeru vrtu (Tab. 1)
 τ_m priemerná medzná hodnota plášťového trenia (Tab. 2 – 4)

Tab. 3-1: Bezrozmerný súčiniteľ vyjadrujúci vplyv priemeru vrtu [6]

Priemer vrtu [mm]	J
100	1,00
150	0,90
200	0,85
250	0,80

Tab. 3-2: Priemerná medzná hodnota plášťového trenia podľa nemeckej normy DIN 4128 [6]

Zemina	τ_m [kPa]	
	Tlačené pilóty	Ťahané pilóty
stredne až hrubozrnný štrk	200	100
piesok a štrkopiesok	150	80
súdržné zeminy	100	50

Tab. 3-3: Parametre kotiev zo zaťažovacích skúšok podľa Klein a Mišove (1986) [9]

Zeminy	Priemer koreňa [mm]	Dĺžka koreňa [m]	Konečný injekčný tlak [MPa]	τ_m [kPa]
Skalné horniny	120	5 – 3	–	1000 – 1600
Poloskalné horniny	120 – 220	7 – 3	0,5 – 3,0	300 – 1000
Štrkovité injektovateľné	250 – 400	7 – 5	1,0	250 – 320
Štrkovité neinjektovateľné	280 – 350	7 – 5	2,0 – 4,0	230
Piesky stredné a jemnozrnné	220 – 350	12 – 7	1,5 – 4,0	150 – 180
Súdržné tvrdej a pevnej konzistencie	200 – 280	17 – 8	1,5 – 3,0	130 – 190
Súdržné pevné až tuho-plastické	150 – 400	20 – 9	1,0 – 2,5	100 – 130
Súdržné mätko-plastické	300 – 450	27 – 13,5	0,5 – 2,0	50 – 70

Tab. 3-4: Typické hodnoty plášťového trenia pre návrh mikropilóty podľa FHWA (2005) [2]

Soil / Rock Description	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths, kPa (psi)			
	Type A	Type B	Type C	Type D
Silt & Clay (some sand) (soft, medium plastic)	35-70 (5-10)	35-95 (5-14)	50-120 (5-17.5)	50-145 (5-21)
Silt & Clay (some sand) (stiff, dense to very dense)	50-120 (5-17.5)	70-190 (10-27.5)	95-190 (14-27.5)	95-190 (14-27.5)
Sand (some silt) (fine, loose-medium dense)	70-145 (10-21)	70-190 (10-27.5)	95-190 (14-27.5)	95-240 (14-35)
Sand (some silt, gravel) (fine-coarse, med.-very dense)	95-215 (14-31)	120-360 (17.5-52)	145-360 (21-52)	145-385 (21-56)
Gravel (some sand) (medium-very dense)	95-265 (14-38.5)	120-360 (17.5-52)	145-360 (21-52)	145-385 (21-56)
Glacial Till (silt, sand, gravel) (medium-very dense, cemented)	95-190 (14-27.5)	95-310 (14-45)	120-310 (17.5-45)	120-335 (17.5-48.5)
Soft Shales (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	205-550 (30-80)	N/A	N/A	N/A
Slates and Hard Shales (fresh- moderate fracturing, little to no weathering)	515-1,380 (75-200)	N/A	N/A	N/A
Limestone (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	1,035-2,070 (150-300)	N/A	N/A	N/A
Sandstone (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	520-1,725 (75.5-250)	N/A	N/A	N/A
Granite and Basalt (fresh- moderate fracturing, little to no weathering)	1,380-4,200 (200-609)	N/A	N/A	N/A

Type A: Gravity grout only

Type B: Pressure grouted through the casing during casing withdrawal

Type C: Primary grout placed under gravity head, then one phase of secondary "global" pressure grouting

Type D: Primary grout placed under gravity head, then one or more phases of secondary "global" pressure grouting

Je zjavné, že hodnoty plášťového trenia udávané rôznymi autormi sa líšia. Výber hodnôt plášťového trenia je teda závislý na znalostiach a skúsenostiach inžiniera prevádzajúceho daný návrh.

3.1.2 Výpočet podľa Masopusta (2004)

Únosnosť koreňovej časti je daná súčtom únosnosti na plášti a päte mikropilóty. Únosnosť na päte tlačenej mikropilóty sa zanedbáva, ak koreň mikropilóty nie je votknutý (popr. opretý) do hornín R1 až R3. [3]

$$U_{mv,d} = U_{ms,d} + U_{mp,d} \quad (3-3)$$

kde:

$U_{mv,d}$ koreňová únosnosť mikropilóty

$U_{ms,d}$ únosnosť na plášti koreňa mikropilóty

$U_{mp,d}$ únosnosť na päte tlačenej mikropilóty

$$U_{ms,d} = \pi \cdot d \cdot l \cdot \tau_i \cdot m_z \quad (3-4)$$

kde:

d priemer koreňa

l dĺžka koreňa

τ_i priemerná medzná hodnota plášťového trenia (Tab. 3-5)

m_z koeficient závislý na druhu zaťaženia (Tab. 3-6)

Tab.3-5: Návrhové veľkosti plášťového trenia mikropilót [3]

Druh základové pôdy	Typické vlastnosti	Počet injektáží	Konečný injekčný tlak (MPa)	Plášťové trenie τ_i (MPa)
Skalní horniny R1 – R4	$\sigma_f > 50$ MPa	0	–	0,6 – 1,0
Poloskalní horniny R5, R6	$\sigma_f < 50$ MPa	0 – 1	0,5 – 3,0	0,2 – 0,6
Štěrky písčité	$35^\circ < \varphi < 45^\circ$ $c = 0$ kPa	1 – 2	1,0 – 2,0	0,15 – 0,20
Štěrky jílovité	$25^\circ < \varphi < 35^\circ$ $c = 10$ kPa	1 – 2	2,0 – 4,0	0,15
Písky	$25^\circ < \varphi < 35^\circ$ $c = 0$ kPa	2 – 3	1,5 – 4,0	0,1 – 0,15
Soudržné zeminy tvrdé	$10^\circ < \varphi_u < 30^\circ$ $c_u > 0,1$ MPa	1 – 3	1,5 – 3,0	0,08 – 0,14
Soudržné zeminy pevné	$\varphi_u < 10^\circ$ $0,05 < c_u < 0,15$ MPa	2 – 3	1,0 – 2,5	0,06 – 0,08
Soudržné zeminy tuhé	$\varphi_u = 0^\circ$ $0,025 \text{ MPa} < c_u < 0,05 \text{ MPa}$	3 – (4)	0,5 – 2,0	0,04 – 0,06

Tab. 3-6: Koeficient m_z [3]

Druh zaťaženia	[-]
Tlak	1,0
Ťah	0,8

$$U_{mp,d} = \pi \cdot d^2 / (4 \cdot R_d) \quad (3-5)$$

kde:

d priemer koreňa

R_d únosnosť na päte pre skalné horniny R1 – R3 (Tab. 3-7)

Tab. 3-7: Návrhové veľkosti napätia R_d na päte mikropilóty v horninách R1 – R3 [3]

Hornina – trieda	Typické vlastnosti	R_d [MPa]
R1	$\sigma_c^{x)} > 150\text{MPa}$	8,0 – 10,0
R2	$\sigma_c^{x)} = 50 - 150\text{MPa}$	4,0 – 6,0
R3	$\sigma_c^{x)} = 15 - 50\text{MPa}$	1,5 – 3,0
^{x)} σ_c je pevnosť horniny v prostém tlaku		

3.1.3 Metóda Littlejohn (1975)

Táto metóda je založená na priamej úmernosti medzi únosnosťou mikropilóty a injektážnym tlakom. Zvyšovaním injektážnych tlakov sa zvyšuje hodnota trenia injektovanej časti a tým sa stáva prvok únosnejším. Injekčné tlaky sa najčastejšie pohybujú v rozmedzí od 2 MPa do 4 MPa. Metóda je vhodná pre výpočet mikropilót typu B.

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot p_i \cdot \tan\varphi' \quad (3-6)$$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
- d priemer koreňa
- l dĺžka koreňa
- p_i veľkosť injektážného tlaku
- φ' efektívny uhol šmykového trenia

Testovaním kotiev v uľahlých pieskoch pri injektážnych tlakoch 1 MPa – 2 MPa sa preukázalo, že použitie vzťahu (3-6) vedie k významnému nadhodnoteniu únosnosti. Podľa Littlejohn (1980) sa reziduálna hodnota injektážného tlaku pohybuje v rozmedzí $1/3p_i$ až $2/3p_i$. Hodnota konečného injektážného tlaku závisí napr. od priepustnosti injektovanej zeminy či na deformačných vlastnostiach zeminy. [8]

3.1.4 Alpha metóda(1963)

Je vhodná pre súdržné zeminy a používa sa pre výpočet osovo zaťažených prvkov. V tomto prípade je hlavnou zložkou pre výpočet únosnosti totálna kohézia zeminy upravená súčiniteľom adhézie. Použitie je obmedzené na mikropilóty typu A a B.

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \alpha \cdot c_u \quad (3-7)$$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
- d priemer koreňa
- l dĺžka koreňa
- α koeficient adhézie (Obr. 3-1, Obr. 3-2)
- c_u totálna kohézia

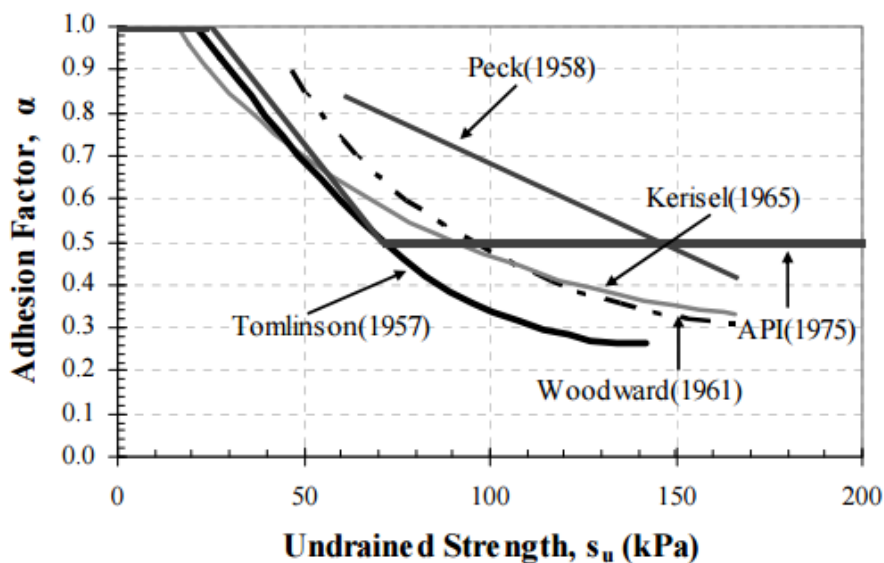
Do výpočtu je možné zahrnúť aj únosnosť na päte prvku, no iba v prípade, ak je dokázané, že päta prispieva k zvýšeniu únosnosti prvku (šmyková mobilizácia napätia je dosiahnutá po celej dĺžke plášťa koreňa). [10]

Následne sa únosnosť na päte vyjadří ako:

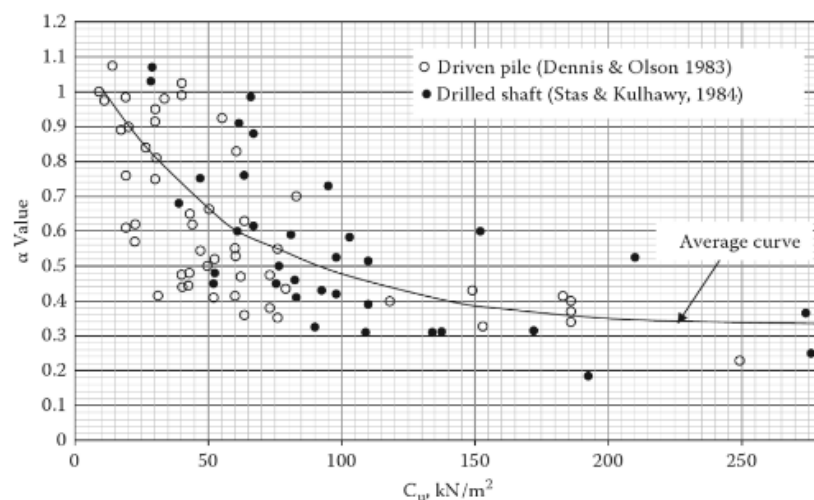
$$Q_d = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot N_c \cdot c_u \quad (3-8)$$

kde:

- Q_d únosnosť päty mikropilóty
- d priemer koreňa
- c_u totálna kohézia
- N_c koeficient únosnosti (pre hlbinné zakladanie sa uvažuje 9)



Obr. 3-1: Hodnoty koeficientu adhézie v závislosti na totálnej kohézii zo zaťažovacích skúšok podľa rôznych autorov [11]



Obr. 3-2: Hodnoty koeficientu adhézie v závislosti na neodvodnenej šmykovej pevnosti podľa Terzaghi, Peck a Mesri (1996) [12]

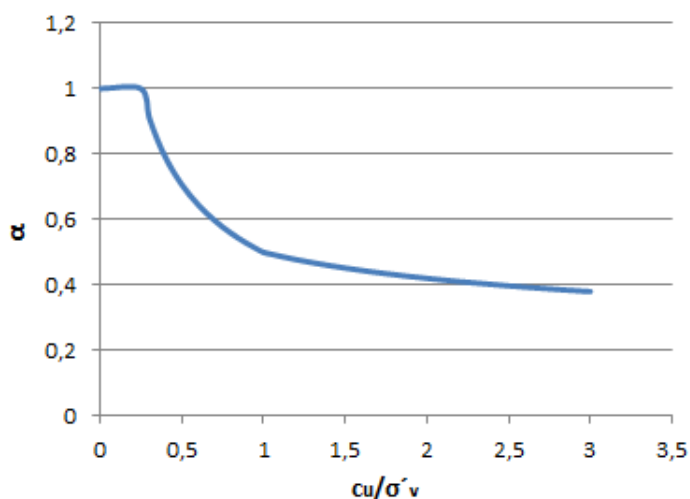
Pre odhad koeficientu adhézie môže byť alternatívne použité [11]:

$$\alpha = 0,5 \cdot \psi^{-0,5} \quad \text{ak } \psi \leq 1 \quad (3-9)$$

$$\alpha = 0,5 \cdot \psi^{-0,25} \quad \text{ak } \psi > 1 \quad (3-10)$$

kde:

ψ pomer totálnej kohézie ku zvislému efektívnému napätiu



Obr. 3-3: Grafické znázornenie výrazu (3-9) (3-10)

Orientačné hodnoty koeficientu adhézie získané zo skúšok zemných kotiev [8]:

Tuhé íly (Londýn) : $c_u > 90\text{kPa}$, ($w/c < 0,4$) $\alpha = 0,3 - 0,35$

Tuhé prekonsolidované íly (Taliansko): $c_u = 270\text{kPa}$, $\alpha = 0,28 - 0,36$

Tuhé ílovité silty (Johannesburg): $c_u = 95\text{kPa}$, $\alpha = 0,45$

Hodnoty koeficientu α získané na základe analýz zaťažovacích skúšok na vrtných pilótach majú veľký rozptyl. Whitaker a Cooke (1996) uvádzajú, že hodnota α leží v rozmedzí od 0,3 do 0,6, zatiaľ čo Tomlinson (1994) a Reese a O'Neill (1988) uvádzajú hodnoty v rozmedzí od 0,4 do 0,9. [13]

3.1.5 Beta metóda (1973)

Beta metóda definuje priemerné plášťové trenie ako súčin parametru efektívneho zvislého napätia a empirického koeficientu β . Na základe postupu určenia koeficientu β sa výpočet rozčleňuje, či sa jedná o výpočet únosnosti mikropilót typu A alebo B založených v nesúdržných zeminách. [5]

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \beta \cdot \sigma'_{vz} \quad (3-11)$$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
- d priemer koreňa
- l dĺžka koreňa
- σ'_{vz} efektívne zvislé napätie
- β koeficient beta

Koeficient β ovplyvňuje hneď niekoľko faktorov ako je pórovitosť, uhol vnútorného trenia či stlačiteľnosť zeminy. Pre mikropilóty typu A sa uvádza rovnica pre určenie koeficientu β ako:

$$\beta = K \cdot \tan \delta \quad (3-12)$$

kde:

- K koeficient zemného tlaku na plášti mikropilóty (Tab. 3-8)
- δ uhol trenia medzi mikropilótou a zeminou (Tab. 3-9)

Súčiniteľ zemného tlaku na plášti mikropilóty K je náročným parametrom pre určenie. Je funkciou súčiniteľa zemného tlaku v pokoji K_0 a aplikovanej technológie zhotovenia mikropilót. Stas a Kulhawy (1984) v tabuľke 3-8 uvádzajú pomer hodnôt K/K_0 v závislosti na použitej inštaláčnej metóde. Hodnota K/K_0 nebola pre mikropilóty presnejšie kalibrovaná a pre výpočet sa používa hodnota 1,0, ktorá však nemusí vždy odpovedať skutočnosti. [14]

Tab. 3-8: Typické hodnoty K/K_0 podľa zvolenej inštalačnej metóde Stas a Kulhawya (1984) [16]

Foundation Type and Method of Installation	Ratio of Horizontal Soil Stress Coefficient to In-Situ Value, K/K_0
Jetted pile	1/2 to 2/3
Drilled shaft, cast-in-place	2/3 to 1
Driven pile, small displacement	3/4 to 5/4
Driven pile, large displacement	1 to 2

Uhol trenia medzi mikropilótou a zeminou δ je všeobecne závislý na drsnosti materiálu v kontakte so zeminou. Stas a Kulhawya (1984) v tabuľke 3-9 interpretujú pomery hodnôt δ/φ' v závislosti na materiálnom rozhraní. Čím je materiál konštrukcie drsnejší, tým sa uhol trenia medzi konštrukciou a zeminou viac blíži hodnote efektívneho uhla vnútorného trenia zeminy. Konkrétne pre mikropilóty sa pri výpočte uvažuje uhol trenia medzi mikropilótou a zeminou totožný s efektívnym uhlom vnútorného trenia zeminy φ' [14].

Tab. 3-9: Typické hodnoty δ/φ' podľa materiálu, Stas a Kulhawya (1984) [16]

Interface Materials	Ratio of Interface Angle of Friction to Soil Angle of Friction δ/φ'	Typical Field Analogy
Sand/rough concrete	1,0	Cast-in-place
Sand/smooth concrete	0,8 to 1,0	Precast
Sand/rough steel	0,7 to 0,9	Corrugated
Sand/smooth steel	0,5 to 0,7	Coated
Sand/timber	0,8 to 0,9	Pressure-treated

Koeficient zemného tlaku v pokoji K_0 sa určí nasledovne:

- normálne konsolidované zeminy:

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \quad (\text{Jaky 1948}) \quad (3-13)$$

- prekonsolidované zeminy ($\text{OCR} > 1$):

$$K_0 = (1 - \sin\varphi') \cdot \text{OCR}^{\sin\varphi'} \quad (\text{Mayne and Kulhawya's 1982}) \quad (3-14)$$

$$K_0 = (1 - \sin\varphi') \cdot \sqrt{\text{OCR}} \quad (\text{Meyerhof 1976}) \quad (3-15)$$

kde:

- K_0 zemný tlak v kľude
 φ' efektívny uhol vnútorného trenia
OCR stupeň prekonsolidácie

Tab. 3-10: Typické hodnoty stupňa prekonsolidácie v závislosti na uhle vnútorného trenia [14]

Soil Type	ϕ [°]	OCR
Loose Sand	28 – 32	1 – 3
Medium Dense Sand	32 – 38	3 – 10
Dense Sand, Gravel	38 – 45	10 – 20

Určenie koeficientu β pre mikropilóty typu B je možné stanoviť podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\beta = K_1 \cdot K_2 \cdot \tan\varphi' \quad (3-16)$$

kde:

- K_1 koeficient zemného tlaku
 K_2 súčiniteľ predstavujúci zvýšenie účinného priemeru mikropilóty v dôsledku tlakovej injektáže prvku
 φ' efektívny uhol vnútorného trenia

Hodnoty koeficienta K_1 :

- sa uvádzajú v rozmedzí od 1,4 do 1,7

Hodnoty koeficienta K_2 :

- sa uvádzajú v rozmedzí od 1,2 do 4. Presnejšie pre uľahlé piesky 1,2 – 1,5, pre stredne uľahlé piesky 1,5 – 2,0 a pre štrk 3 – 4.

Turner (1995) odporúča kombinovaný K faktor (tj., $K_1 \times K_2$) v rozmedzí od 4 do 7. [5, 15]

3.1.6 Metóda Zweck a Bowles (1988)

Obidve metódy vychádzajú z podobných princípov. Závisia predovšetkým na priemernom geostatickom napätí na koreni mikropilóty. Metóda podľa Bowles (1988) vychádza priamo s Mohr-Coulombovej teórie porušenia, kde je všeobecne šmyková pevnosť zeminy vyjadrená vzťahom:

$$\tau_f = \sigma_n \cdot \tan\varphi + c \quad (\text{Coulombov vzťah}) \quad (3-17)$$

Po úprave $\tau_f = \sigma_{vz} \cdot K_0 \cdot \tan\varphi + c \quad (3-18)$

Metóda Zweck je obdobná. Nezahŕňa ale vplyv súdržnosti zeminy čo vedie k podhodnoteným hodnotám únosnosti v súdržných zeminách. U nesúdržných zemín ($c=0$) je naopak výhodnejšie použiť metódu podľa Zwecka. Metódy boli primárne vyvinuté pre výpočet koreňov kotiev a sú vhodné pre výpočet mikropilót typu A. [17]

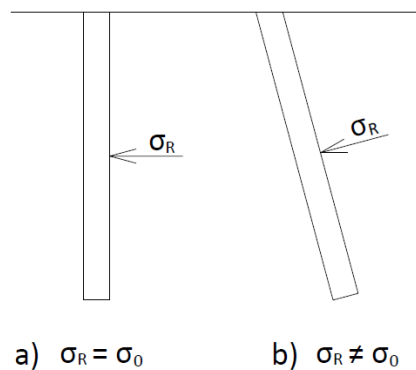
Zweck: $Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \frac{1+K_0}{2} \cdot \sigma'_{vz} \cdot \tan\varphi' \quad (3-19)$

Bowles: $Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \sigma'_{vz} \cdot K_0 \cdot \tan\varphi' + \pi \cdot d \cdot l \cdot c' \quad (3-20)$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
- d priemer koreňa
- l dĺžka koreňa
- σ'_{vz} efektívne zvislé napätie
- K_0 súčiniteľ tlaku v pokoji (rovnica 3-13, 3-14, 3-15)
- φ' efektívny uhol vnútorného trenia
- c' efektívna kohézia

Normálové napätie σ_r pôsobí kolmo k povrchu prvku, preto je nutné zohľadniť či je konštrukcia zhotovená kolmo alebo je uložená s istým odklonom od zvislice (Obr. 3-4). Predpoklad, že zemný tlak v pokoji je totožný s normálovým napätím pôsobiacim na plášť prvku platí len v prípade vertikálne umiestneného prvku (a). V prípade ukloneného prvku (b) tento predpoklad už neplatí. To poukazuje na to, že metódy výpočtu nezohľadňujú možnosť zhotovenia ukloneného prvku ale vychádzajú z predpokladu vertikálne umiestneného prvku.



Obr. 3-4: Súvislosť normálového napätia a zemného tlaku v pokoji za podmienok zhotovenia prvku
 a) kolmo k terénu b) s odklonom od zvislice

3.1.7 Metóda Bustamante (1985)

Bustamante a Doix (1985) vykonali štúdiu a zo získaných experimentálnych dát na zemných kotvách v rôznych pôdnych podmienkach zostavili grafickú závislosť medzi limitným presiometrickým tlakom a plášťovým trením (Obr. 3-5, 3-6, 3-7). Dôležitým poznatkom pre zistenie plášťového trenia sú výsledky presiometrickej skúšky alebo štandardnej penetračnej skúšky (SPT). Táto metóda je vhodná pre mikropilóty typu C a D. [18]

Na únosnosť koreňa mikropilóty má výrazný vplyv technologický postup prevedenej tlakovej injektáže. Metóda preto rozlišuje dva spôsoby injektáže prvku:

IGU – jednotná tlaková injektáž

IRS – opakovaná a selektívna tlaková injektáž orburátorom cez manžetovú trubku

$$Q = \pi \cdot d_s \cdot l \cdot q_s \quad (3-21)$$

$$d_s = \alpha \cdot d \quad (3-22)$$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
- l dĺžka koreňa
- d_s priemer koreňa (injektovaná časť)
- d priemer mikropilóty (neinjektovaná časť)
- q_s priemerná medzná hodnota plášťového trenia
- α koeficient alpha (Tab. 3-11)

Tab. 3-11: Hodnoty koeficientu α pre rôzne typy zeminy [18]

Type of soil	Value of α	
	IRS	IGU
Gravel	1,8	1,3 - 1,4
Sandy gravel	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4
Gravelly sand	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3
Coarse sand	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Medium sand	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Fine sand	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Silty sand	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Silt	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2
Clay	1,8 - 2,0	1,2
Marl	1,8	1,1 - 1,2
Marly limestone		
Weathered or fractured limestone	1,8	1,1 - 1,2
Weathered and/or fractured rock	1,2	1,1

Plášťové trenie na rozhraní medzi zeminou a injektovanou časťou mikropilóty, sa určí z hodnôt limitného presiometrického tlaku zeminy alebo z počtu úderov štandardnej penetračnej skúšky následne:

$$q_s = a + b \cdot p_{lm} \quad (3-23)$$

$$q_s = \alpha + \beta \cdot N_{30} \quad (3-24)$$

kde:

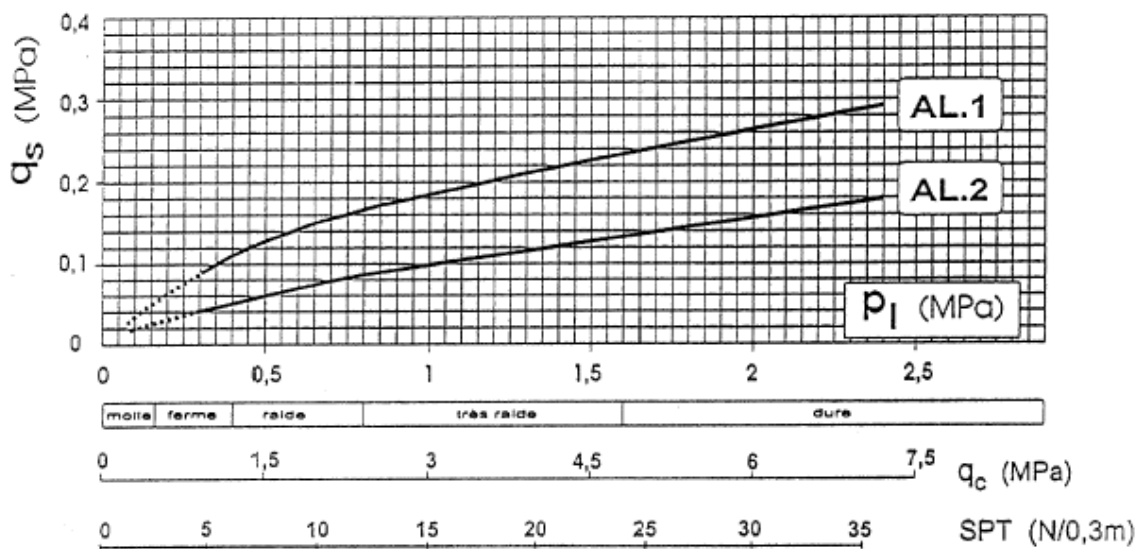
p_{lm} limitný presiometrický tlak

N_{30} počet úderov pre hĺbku penetrácie 0,3m

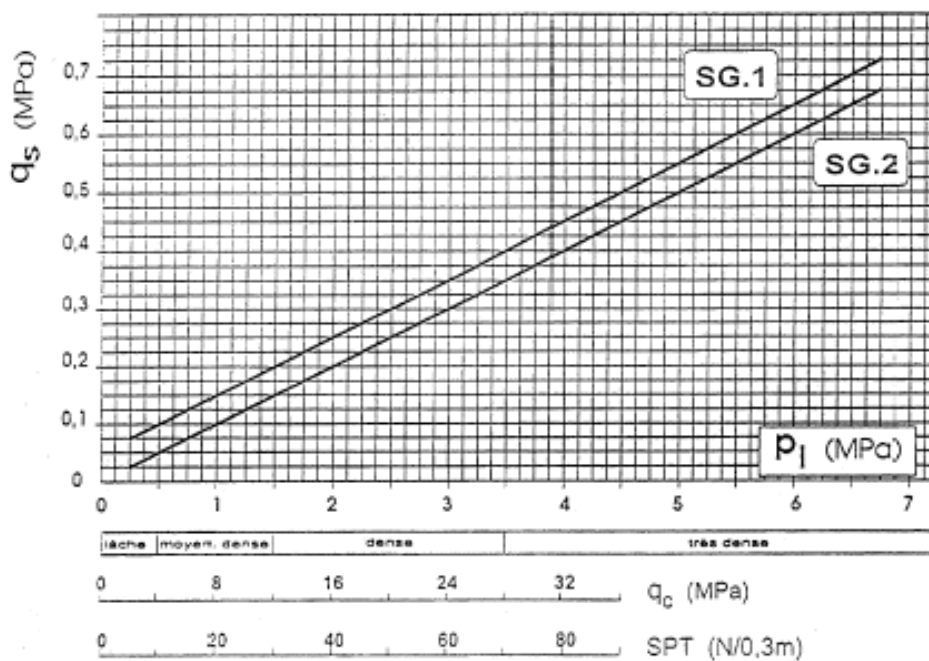
a, b, α, β Tab. 3-12

Tab. 3-12: Hodnoty koeficientov a, b, α, β [18]

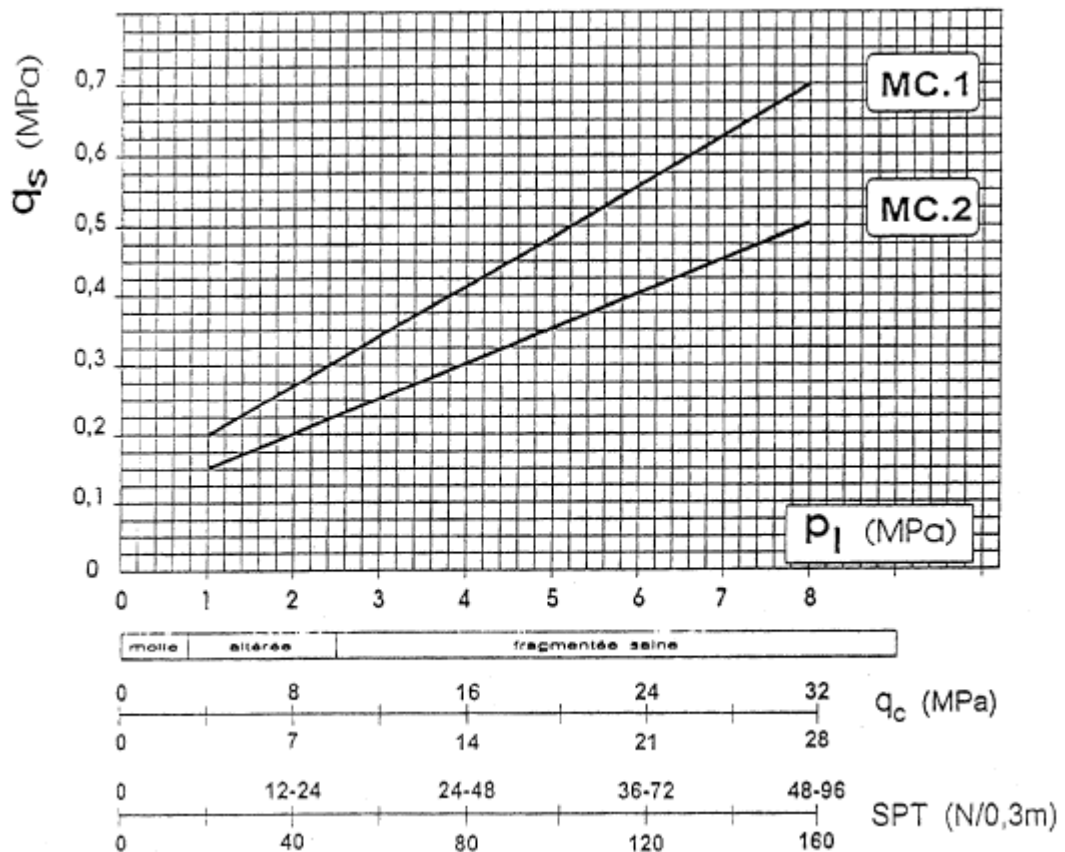
Soil type	Micropile type	a [Mpa]	b	α	β
Sand and gravel	IGU	0	0,10	0	0,005
	IRS	0,05	0,10	0,05	0,005
Silt and clay	IGU	0,04	0,06	0,04	0,004
	IRS	0,10	0,084	0,10	0,006
Weathered and fractured rock	IGU	0,04	0,10	-	-
	IRS	0,04	0,13	-	-



Obr. 3-5: Grafická závislosť limitného presiometrického tlaku a plášťového trenia pre íly a sily [19]



Obr. 3-6: Grafická závislosť limitného presiometrického tlaku a plášťového trenia pre piesky a štrky [19]



Obr. 3-7: Grafická závislosť limitného presiometrického tlaku a plášťového trenia pre slieň, kriedu a vápenec [19]

Únosnosť na päte mikropilóty sa buď neuvažuje alebo sa uvádza ako 15% únosnosti plášťa koreňa pilóty. [18]

$$Q_d = 0,15 \cdot Q \quad (3-25)$$

Predpokladá sa, že injektážny tlak p_g pre mikropilóty IGU a IRS sa nachádza v nasledujúcich rozmedziach [18]:

$$p_g \geq p_{lm} \quad \text{pre IRS mikropilóty}$$

$$0,5 \cdot p_{lm} \leq p_g \leq p_{lm} \quad \text{pre IGU mikropilóty}$$

3.1.8 Ostermayer (1974)

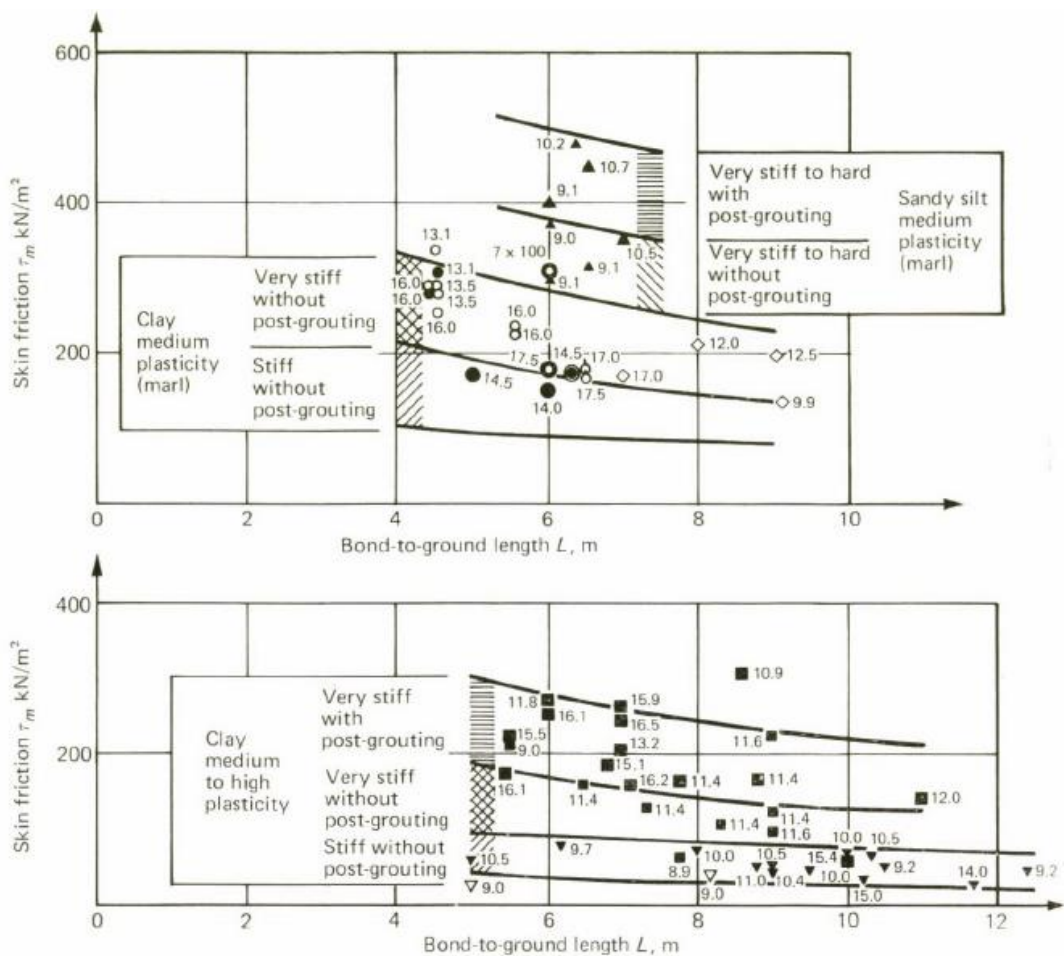
Na základe rozsiahlych údajov čerpaných z výskumných programov, ktoré skúmali únosnosť zemných kotiev s rôznymi koreňovými dĺžkami v súdržných zeminách, Ostermayer (1974) zhotovil prehľadné grafické znázornenie zobrazujúce priemerné medzné plášťové trenie v závislosti na dĺžke koreňa kotvy, type zeminy a či

bola prevedená vysokotlaková injektáž. Táto metóda je aplikovateľná len na injektované mikropilóty typu C a D v súdržných zeminách.

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \tau_m \quad (3-26)$$

kde:

- Q koreňová únosnosť mikropilóty
- l dĺžka koreňa
- d priemer mikropilóty
- τ_m priemerná medzná hodnota plášťového trenia



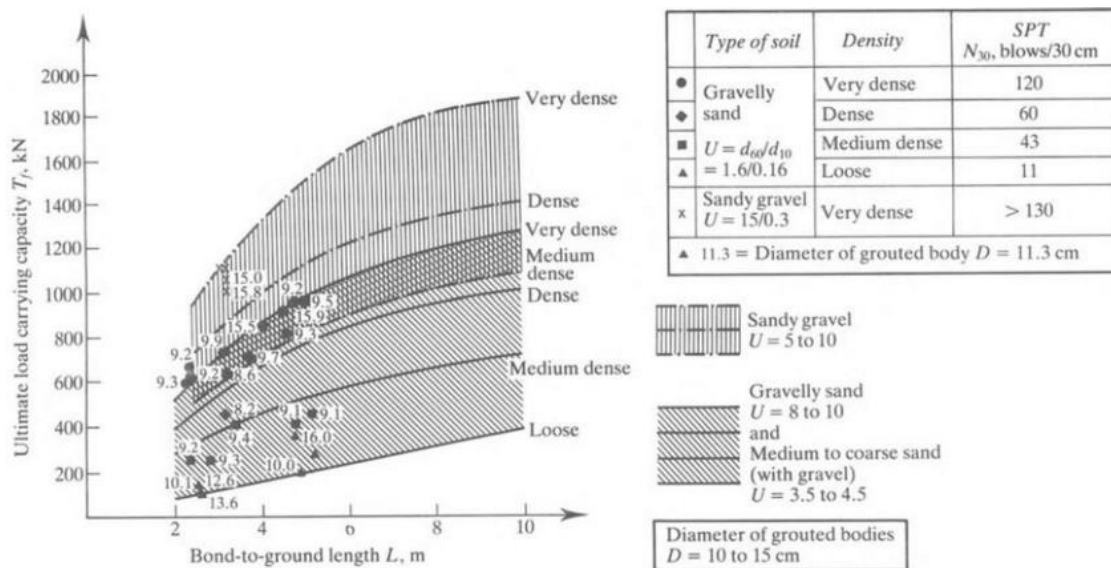
Failure load was reached	Failure load was not reached	Post-grouting	Type of soil	W_L %	I_p %	I_c %
▲	△	Without	Silt, very sandy (marl) medium plasticity	~ 45	~ 22	~ 1.25
▲	△	With				
●	○	Without	Clay (marl) medium plasticity	32–45	14–25	1.03–1.14
●	○	With				
●	○	Without				
●	○	With				
	◇	Without	Silt medium plasticity	23–28	5–11	0.7–0.85
■		Without	Clay medium to high plasticity	48–58	23–35	1.1–1.2
■		With				
▼	▽	Without				

Obr. 3-8: Plášťové trenie v závislosti na dĺžke koreňa kotvy, Ostermayer (1974) [8]

Z obrázku 3-8 je zjavné, že zvyšovaním indexu konzistencie a znižovaním indexu plasticity rastie hodnota medzného plášťového trenia. Plášťové trenie do hodnoty približne 100 kN/m^2 (najmä uľahlé íly bez vysokotlakovej injektáže) nezávisí na dĺžke koreňa a je v podstate takmer konštantné pri akejkoľvek dĺžke koreňa. Použitie vysokotlakovej injektáže výrazne zvyšuje plášťové trenie, teda aj únosnosť prvku. [20]

3.1.9 Ostermayer a Scheele (1977)

Ostermayer a Scheele (1977) zostavili empirické krivky na základe skúšok injektovaných zemných kotiev v nesúdržných zeminách. Na základe dĺžky koreňa, type zeminy, uľahlosti a výsledkov penetračnej skúšky v podobe parametra N_{30} sa dá odhadnúť únosnosť koreňa mikropilóty. Táto metóda je aplikovateľná len na injektované mikropilóty typu C a D zhotovené v štrkovitých a piesčitých zeminách. [21]



Obr. 3-9: Medzná sila kotiev v štrkovitých a piesčitých zeminách. Ostermayer a Scheele, (1977) [21]

Tvar kriviek na obrázku 3-9 sa výrazne mení, podľa toho či je zemná kotva zhotovená v kyprej alebo uľahlej zemine. V kypriých zeminách je možné povedať, že rozdelenie plášťového trenia v medznom stave po dĺžke zemnej kotvy je konštantné, čomu odpovedá lineárna závislosť medzi medznou silou a dĺžkou koreňa kotvy. No pri zvyšovaní uľahlosti zeminy, miera nelineárnosti medzi únosnosťou a dĺžkou koreňa rastie. Tento rozdielny jav je spôsobený rozdielnym správaním nesúdržných zemín.

3.2 Zhrnutie návrhových metód mikropilót

METÓDA	Typ mikropilóty			
	Typ A		Typ B	
	Súdržné zeminy	Nesúdržné zeminy	Súdržné zeminy	Nesúdržné zeminy
Lizzi (1982)	●	●	●	●
Masopust (2004)	○	○	●	●
Littlejohn (1975)	○	○	●	●
Alpha (1963)	●	○	●	○
Beta (1973)	○	●	○	●
Zweck	○	●	○	○
Bowles (1988)	●	○	○	○
Bustamante (1985)	○	○	○	○
Ostermayer (1974)	○	○	○	○
Ostermayer a Scheele (1977)	○	○	○	○

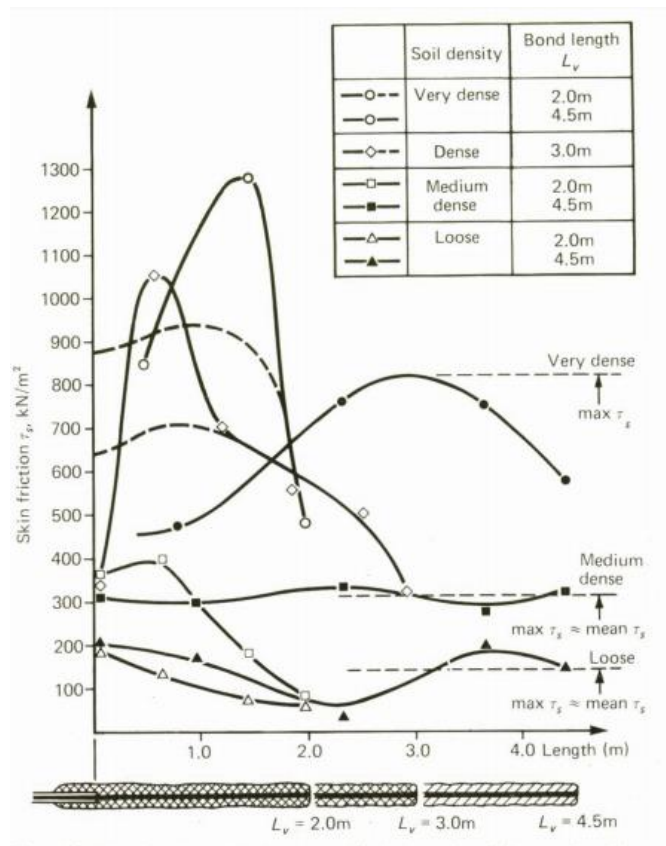
METÓDA	Typ mikropilóty			
	Typ C		Typ D	
	Súdržné zeminy	Nesúdržné zeminy	Súdržné zeminy	Nesúdržné zeminy
Lizzi (1982)	●	●	●	●
Masopust (2004)	●	●	●	●
Littlejohn (1975)	○	○	○	○
Alpha (1963)	○	○	○	○
Beta (1973)	○	○	○	○
Zweck	○	○	○	○
Bowles (1988)	○	○	○	○
Bustamante (1985)	●	●	●	●
Ostermayer (1974)	●	○	●	○
Ostermayer a Scheele (1977)	○	●	○	●

- metóda je aplikovateľná
- metóda nie je aplikovateľná

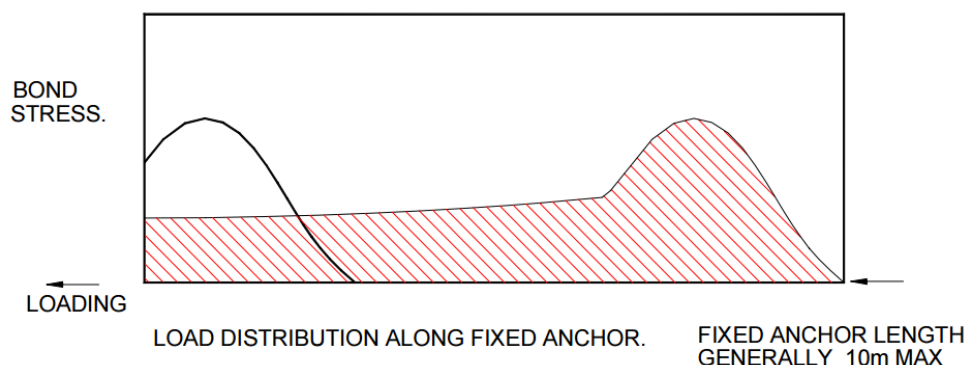
Tab. 3-13: Zhrnutie návrhových metód v závislosti na type mikropilóty a zeminy

3.3 Priebeh plášťového trenia

Na obrázku 3-10 je znázornené rozdelenie plášťového trenia po dĺžke koreňa kotvy v štrkových pieskoch s rôznou uľahlosťou a dĺžkou koreňa. Je nutné poznamenať, že v uľahlých až veľmi uľahlých zeminách je rozdelenie plášťového trenia po dĺžke koreňa výrazne nerovnomerné. V úvodnej časti koreňa kotvy dochádza k poklesu šmykového napätia tzv. progresívnemu porušovaniu, zatiaľ čo za úvodnou časťou šmykové napätie rastie až do vrcholového šmykového napätia. Zvyšovaním zaťaženia pôsobiaceho na koreňovú časť sa miesto, kde je dosiahnutá vrcholová šmyková pevnosť postupne vzdaluje od úvodnej časti a ku progresívnemu porušovaniu (poklesu šmykového napätia na reziduálnu hodnotu) dochádza na väčšej časti koreňa (Obr. 3-11).



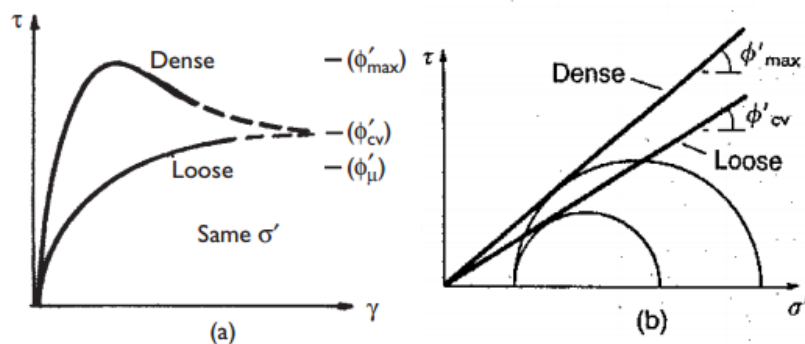
Obr. 3-10: Rozdelenie plášťového trenia po dĺžke koreňa kotvy v štrkových pieskoch s rôznou uľahlosťou a dĺžkou koreňa. [21]



Obr. 3-11: Priebeh plášťového trenia na počiatku zaťažovania a pred zlyhaním [23]

3.2.1 Progresívne porušovanie

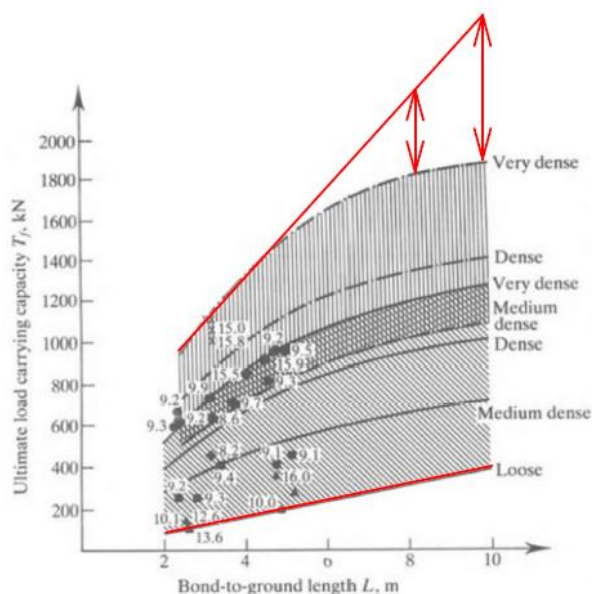
Jav progresívneho porušovania pravdepodobne súvisí s vrcholovým správaním uľahlých zemín. Po dosiahnutí vrcholovej šmykovej pevnosti dochádza k šmykovému zmäkčovaniu – poklesu šmykového napätia smerom ku kritickej a reziduálnej hodnote. Schematický rozdiel medzi uľahlou a kyprou nesúdržnou zeminou je vo forme pracovného diagramu a Mohrových kružníc znázornený na obrázku 3-12.



Obr. 3-12: a) Pracovný diagram nesúdržných zemín b) Mohrové kružnice [22]

Dôsledok progresívneho porušovania, sa môže prejaviť ako (už spomínaná) nelineárna závislosť medzi únosnosťou a dĺžkou analyzovaného prvku u dlhých koreňov mikropilót. Túto nelineárnu závislosť predpokladá len metóda Ostermayer a Scheele (1977) a Ostermayer (1974). Ostatné metódy sú založené na priamej úmernosti medzi únosnosťou a dĺžkou. Z obrázku 3-13 je zrejmé, že predpoklad lineárnej závislosti únosnosť – dĺžka prvku, môže viesť k výraznému nadhodnoteniu únosnosti. Miera nelinearity sa zvyšuje s rastúcim indexom relatívnej uľahlosti.

Predpoklad konštantnej mobilizácie šmykového napätia pozdĺž prvku, preto musí vyžadovať dôležité zváženie.



Obr. 3-13: Porovnanie lineárneho a nelineárneho správania uľahlých nesúdržných zemín

3.2.2 Súčiniteľ efektivity

Zavedenie nelineárneho súčiniteľa, ktorý by zahrňoval výskyt postupujúceho progresívneho porušovania po dĺžke koreňa, sa pokúšal analyzovať Barley (1995), ktorý na základe testovania zemných kotiev do vyčerpania únosnosti o rôznych dĺžkach koreňa, zaviedol nelineárny súčiniteľ efektivity f_{eff} (3-28). Aplikovaním nelineárneho súčiniteľa, tak eliminoval nadhodnotenie únosnosti u dlhších koreňov, pri uvažovaní lineárnej závislosti medzi dĺžkou koreňa a únosnosťou (plášťovým trením). Obrázok 3-14 znázorňuje závislosť súčiniteľa efektivity f_{eff} na meniacej sa dĺžke koreňa. [23]

$$T_{ult} = f_{eff} \cdot \tau_{ult} \cdot \pi \cdot l \quad (3-27)$$

$$f_{eff} = 1,6 \cdot L^{-0,57} \quad (3-28)$$

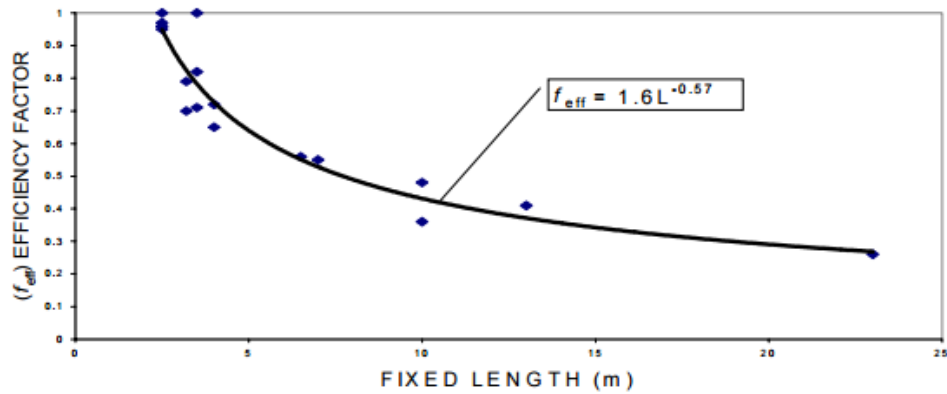
kde:

T_{ult} koreňová únosnosť mikropilóty

τ_{ult} priemerná medzná hodnota plášťového trenia

l dĺžka koreňa

f_{eff} súčiniteľ efektivity zohľadňujúci vplyv progresívneho porušovania



Obr. 3-14: Znáozornenie závislosti súčiniteľa efektivity a dĺžky koreňa kotvy v zrnitých pôdach (Ostermayer 1974) [23]

Ak má namáhaný prvok krátku koreňovú dĺžku, je strata v dôsledku postupujúceho progresívneho porušovania malá a súčiniteľ efektivity sa blíži jednej. Rozdelenie plášťového trenia po dĺžke koreňa je možné v tomto prípade považovať za konštantné.

Dĺžka koreňa [m]	4	6	8	10
f_{eff}	0,726	0,576	0,489	0,431

Tab. 3-14: Hodnoty efektívneho súčiniteľa v závislosti na dĺžke koreňa

3.4 Skupiny mikropilót

Návrh systému mikropilót, obzvlášť pokiaľ ide o podchycovanie, zvyčajne diktuje nutnosť použiť skupinu blízko umiestnených mikropilót. V závislosti na rozostupe mikropilót, únosnosť skupiny mikropilót, môže byť podstatne menšia a jej deformácia väčšia, než je súčet únosností všetkých mikropilót v rámci rovnakého zaťaženia v skupine. Nutné je preto zvážiť interakciu medzi mikropilótami v skupine a tak možno doceliť zvýšenie únosnosti celej skupiny mikropilót.

Obrázok 3-15 interpretuje hodnoty skupinového faktoru účinnosti η_v v závislosti na pomere vzdialeností jednotlivých pilót a ich priemere (s/D) získané od Lizzy (1978), Camberfort(1953) a O'Neill (1983). Skupinový faktor účinnosti η_v je pomer celkovej únosnosti skupiny, k súčtu únosnosti jednotlivých pilót v skupine (3-29). [5]

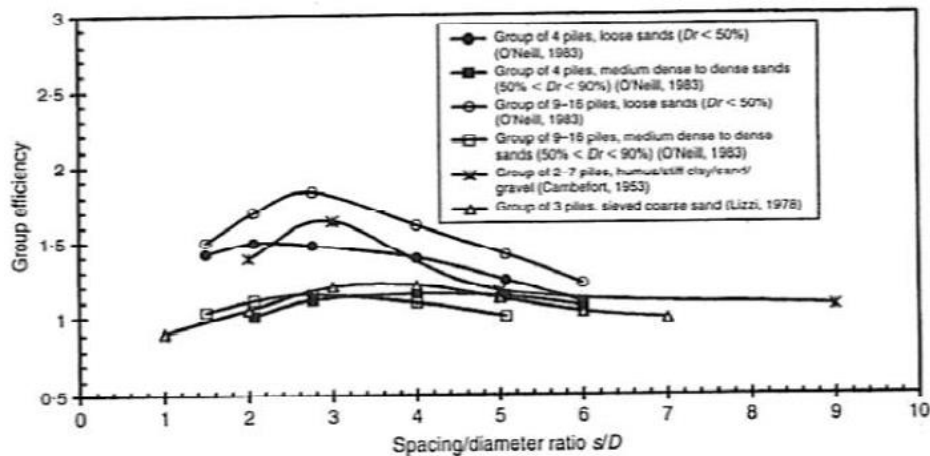
$$\eta_v = Q_{gu} / \sum_{i=1}^n Q_{iu} \quad (3-29)$$

kde:

η_v faktor účinnosti

Q_{gu} únosnosť skupiny mikropilót

Q_{iu} únosnosť jednej mikropilóty v skupine mikropilót



Obr. 3-15: Skupinový faktor účinnosti z modelového testovania skupín pilót, osovo namáhaných v nesúdržných zeminách podľa O'Neill (1983), Lizzi (1978) a Cambefort (1953) [5]

Pre najefektívnejšie využitie únosnosti skupiny mikropilót podľa obrázku 3-14 je nutné zvoliť pomer vzdialenosti jednotlivých mikropilót k priemeru mikropilóty v rozmedzí od 2 do 4 a docieľiť tak pozitívny skupinový efekt medzi mikropilótami $\eta_v > 1$.

Návrhové normy, ako je francúzska norma (CCTG, 1993) a AASHTO (1992) Bridge Specifications, doporučujú použitie rovnice Converse-Labarre (3-30) pre určenie skupinovej účinnosti trecích pilót a tiež (podľa francúzskej normy) mikropilót. Rovnica Converse-Labarre (3-30) predpokladá, že pilóty budú zvislé, identické a je obmedzená na pravouhlé skupiny s identifikovateľným počtom pilót v stĺpcoch n_c a riadkoch n_r . [5]

$$\eta_v = 1 - \arctan(D/s)/(\pi/2) \cdot (2 - 1/n_c - 1/n_r) \quad (3-30)$$

Converse-Labarre rovnica zahŕňa iba vzťah medzi geometriou skupiny pilót a faktorom účinnosti skupiny. Neberie ale v úvahu parametre, ako je inštalácia technika, štruktúrný pomer prvku či typ pôdy. Converse-Labarre (3-30) vzťah, môžeme považovať tým pádom za konzervatívny vzťah, ktorý by nemal byť používaný v projekčnej praxi pri návrhu únosnosti skupín mikropilót.

4 APLIKÁCIA NÁVRHOVÝCH METÓD VÝPOČTU ÚNOSNOSTI MIKROPILÓTY

4.1 Výpočet únosnosti mikropilóty rôznymi metódami v súdržných zeminách – neogénne íly v lokalite Brno

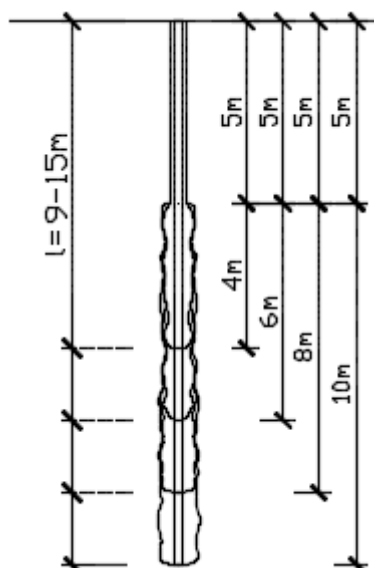
Parametre mikropilót:

- typ mikropilóty typ A a typ D
- priemer drieku 180 mm
- priemer koreňa 180 mm – typ A
324 mm – typ D (podľa Bustamante 1985 - Tab. 3-11)
- dĺžka koreňa 4 m, 6 m, 8 m a 10 m
- dĺžka drieku vždy 5 m
- vrt vertikálny
- namáhaná ťahom
- hladina podzemnej vody na úrovni terénu

Trieda	F8
Symbol	CV
γ [kN/m ³]	20,5
c_u [kPa]	80
ϕ_u [°]	0
c_{ef} [kPa]	10
ϕ_{ef} [°]	15

w [%]	33
w_l [%]	76,6
w_p [%]	29,9
I_p [%]	46,7
I_c [-]	1,1

Tab. 4-1: Smerné normové charakteristiky, pevnostné charakteristiky a fyzikálne indexové vlastnosti neogénnych ílov v lokalite Brno



Obr. 4-1: Schéma mikropilóty založenej v neogénnych floch – lokalita Brno

Hodnoty návrhovej únosnosti pre mikropilótu typu A :

Na výpočet únosnosti mikropilóty typu A založenej v súdržných zeminách je možné použiť metódy podľa Lizzi (1982), Bowles (1988) a Alpha metódu (1963). V tabuľke 4-2 sú uvedené hodnoty medznej únosnosti mikropilóty Q , únosnosti na meter dĺžky koreňa q_{\max} a veľkosti priemerného medzného plášťového trenia po dĺžke koreňa τ_{\max} pre jednotlivé metódy. Ako najbezpečnejšia metóda v tomto prípade je metóda podľa Bowles (1988), kde je nižšia únosnosť spôsobená vysokou hladinou podzemnej vody, ktorá výraznejšie znižuje hodnotu efektívneho zvislého napätia. Najvyššie hodnoty únosnosti uvádza metóda podľa Lizzi (1982), kde hlavnou zložkou medznej únosnosti sú práve tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia. Na obrázku 4-2 je znázornené grafické porovnanie únosností jednotlivých použitých metód.

Tab. 4-2: Medzná únosnosť, únosnosť na jeden meter dĺžky koreňa a priemerné plášťové trenie mikropilóty typu A v neogénnych fľoch – lokalita Brno

Metóda Lizzi (1982)

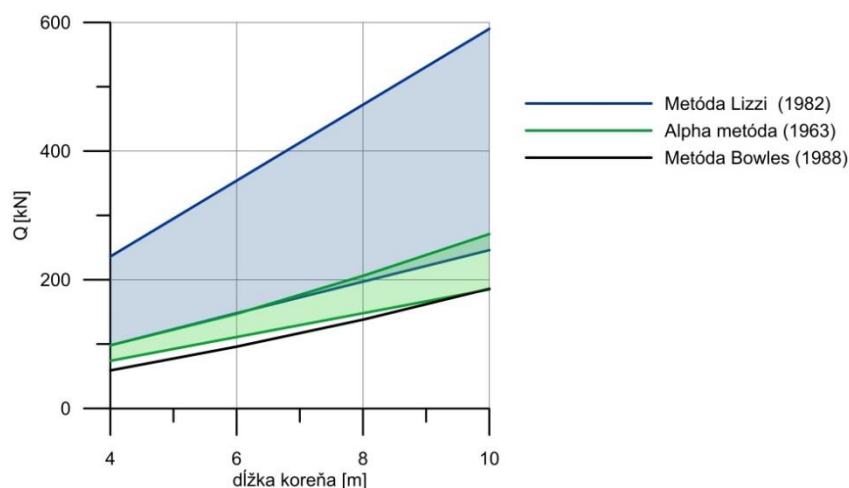
Dĺžka koreňa [m]			Q_{max} [kN]				q_{max} [kN/m]				τ_{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ_m [kPa]	DIN 4128, FHWA (2005)	50	98	148	197	246	25	25	25	25	43	44	44	44
	FHWA (2005)	120	236	354	472	590	59	59	59	59	104	104	104	104

Metóda Bowles (1988)

Dĺžka koreňa [m]			Q_{max} [kN]				q_{max} [kN/m]				τ_{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Efektívne priemerné geostatické napätie σ_z [kPa]	80,5	59	-	-	-	15	-	-	-	26	-	-	-	
	92	-	96	-	-	-	16	-	-	-	28	-	-	
	103,5	-	-	138	-	-	-	17	-	-	-	31	-	
	115	-	-	-	186	-	-	-	19	-	-	-	33	

Metóda Alpha (1963)

Dĺžka koreňa [m]			Q_{max} [kN]				q_{max} [kN/m]				τ_{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Hodnoty súčiniteľa adhézie α [-]	Tomlinson (1957)	0,410	74	111	148	185	19	19	19	19	33	33	33	33
	Terzaghi, Peck a Mesri (1996)	0,540	98	147	195	244	25	25	24	24	43	43	43	43
	Odhad súčiniteľa adhézie α	0,627	91	-	-	-	23	-	-	-	40	-	-	-
		0,601	-	146	-	-	-	24	-	-	-	43	-	-
		0,573	-	-	206	-	-	-	26	-	-	-	46	-
		0,543	-	-	-	271	-	-	-	27	-	-	-	48



Obr. 4-2: Grafické znázornenie medznej únosnosti mikropilóty typu A v neogénnych íloch – lokalita Brno

Hodnoty návrhovej únosnosti pre mikropilótu typu D :

Na výpočet únosnosti mikropilóty typu D založenej v súdržných zeminách je možné použiť metódy podľa Lizzi (1982), Masopusta (2004), Bustamante (1985) a Ostermayer (1974). Metódy podľa Lizzi (1982), Masopusta (2004) a Ostermayer (1974) vyjadrujú medznú únosnosť mikropilóty príslušnými hodnotami priemerného medzného plášťového trenia. Hodnoty priemerného plášťového trenia u metódy Bustamante (1985), sú závislé na limitnom presiometrickom tlaku. Jednotlivé hodnoty limitného presiometrického tlaku boli získané z presiometrického merania na 3 vrtoch tunelu Dobrovského. Kapitola 4.1.1 popisuje postup presiometrického merania a postup získania limitných presiometrických tlakov v zvolených hĺbkach. Výsledné únosnosti boli v závere porovnané s výsledkami zaťažovacích skúšok zemných kotiev typu D založených v neogénnych íloch v lokalite Brno. Tabuľka 4-3 uvádza výsledky tejto zaťažovacej skúšky. Následne je v tabuľke 4-4 a na obrázku 4-3 uvedené porovnanie použitých výpočtových metód.

Dĺžka koreňa [m]	Q_{max} [kN]
6	910
8	1005
10	1062

Tab. 4-3: Výsledky zaťažovacích skúšok zemných kotiev typu D založených v neogénnych íloch

Tab 4-4: Medzná únosnosť, únosnosť na jeden meter dĺžky koreňa a priemerné plášťové trenie mikropilóty typu D v neogénnych fľoch – lokalita Brno

Metóda Lizzi (1982)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _m [kPa]	DIN 4128	50	177	266	354	443	44	44	44	44	43	44	43	44
	FHWA (2005)	95	337	505	673	811	84	84	84	81	83	83	83	80
	Klein a Mišove (1986)	100	354	531	708	886	89	89	89	89	87	87	87	87
	Klein a Mišove (1986)	130	460	691	921	1151	115	115	115	115	113	113	113	113
	FHWA (2005)	190	673	1010	1346	1683	168	168	168	168	165	165	165	165

Metóda podľa Masopusta (2004)

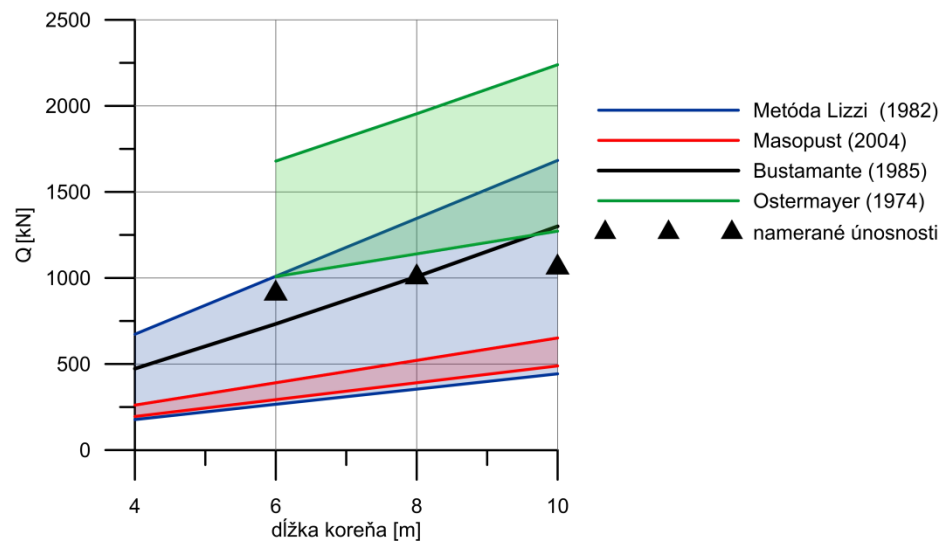
Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _i [kPa]	60		195	293	391	489	49	49	49	49	48	48	48	48
	80		261	391	521	651	65	65	65	65	64	64	64	64

Metóda Bustamante (1985)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Hodnoty priemerného plášťového trenia q _s [kPa]	149,26		473	-	-	-	118	-	-	-	116	-	-	-
	154,23		-	733	-	-	-	183	-	-	-	120	-	-
	159,19		-	-	1008	-	-	-	252	-	-	-	124	-
	164,15		-	-	-	1300	-	-	-	325	-	-	-	128

Metóda Ostermayer (1974)

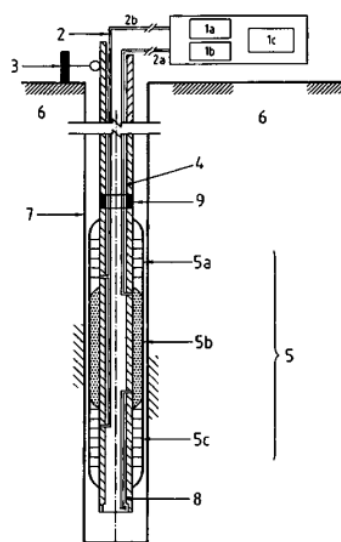
Dĺžka koreňa [m]		Q_{\max} [kN]				q_{\max} [kN/m]				τ_{\max} [kPa]			
		4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Hodnoty priemerného plášťového trenia q_m [kPa]	125	Nedefinované	-	-	1272	Nedefinované	-	-	127	Nedefinované	-	-	125
	140		-	1140	-		-	143	-		-	140	-
	165		1008	-	-		168	-	-		165	-	-
	220		-	-	2239		-	-	224		-	-	220
	240		-	1954	-		-	244	-		-	240	-
	275		1679	-	-		280	-	-		275	-	-



Obr. 4-3: Grafické znázornenie medznej únosnosti mikropilóty typu D v neogénnych fľoch s vyznačením výsledkov zaťažovacích skúšok

4.1.1 Presiometrické skúšky

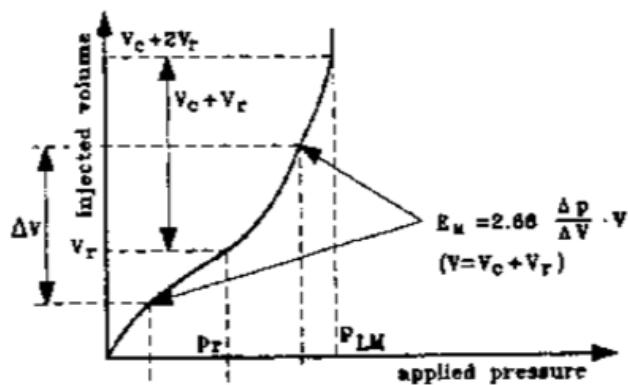
Presiometrické skúšky sú jednou z terénnych metód geotechnického prieskumu, ktoré umožňujú získať spoľahlivé informácie o pretvárných a pevnostných charakteristikách hornín. Zisťuje sa ňou závislosť deformácie stien vrtu na pôsobiacom radiálnom tlaku až do stavu, kedy nastane porušenie horninového prostredia (vzniká šmyková plocha). Základným výsledkom skúšky je Ménardov presiometrický modul pretvárnosti E_{OM} . Taktiež je možné získať Ménardov presiometrický modul pružnosti E_M , no v priebehu skúšky sa vrt musí postupne opakovane odľahčovať a zaťažovať. Na obrázku 4-4 je schéma presiometru typu Ménard. [24]



1-ovládacia jednotka, 1a-regulačný ventil diferenciálneho a meriaceho tlaku, 1b-merače tlaku a objemu, 1c-jednotka snímania, ukladania a tlačiareň dát, 2a-hadice prívodu vody do sondy, 2b-hadice prívodu plynu do sondy, 3-hĺbkomer, 4-tyče, 5-presiometrická sonda, 5a-horná ochranná bunka, 5b-stredná meračská bunka, 5c-dolná ochranná bunka, 6-zemina, 7-presiometrický vrt, 8-duté telo sondy, 9-pripojovacia príruha sondy

Obr. 4-4: Presiometer typu Ménard [24]

Výsledkom presiometrickej skúšky je pretvárný diagram (Obr. 4-5), ktorý stanovuje závislosť objemovej deformácie na vyvodenom radiálnom tlakovom napätí.



Obr. 4-5: Pretvárný diagram presiometrickej skúšky

Limitný radiálny presiometrický tlak p_{lm} je tlak, pri ktorom sa materiál na stenách vrtu porušuje (prekročenie šmykovej pevnosti). Aplikovaný tlak sa už nezvyšuje a dochádza už len k zvýšeniu deformácie vrtu (objemu). Býva extrapolovaný napríklad ako asymptota k pretvárnému diagramu.

V prílohe A sú uvedené jednotlivé hodnoty limitného presiometrického tlaku, ktoré boli získané z presiometrického merania na 3 vrtoch tunelu Dobrovského s následne prevedenou regresnou analýzou s použitím lineárne regresného modelu.

Spôľahlivosť výpočtu je overená koeficientom determinácie, ktorý je označovaný ako R^2 . Vyjadruje závislosť premennej Y od premennej X a je definovaný ako druhá mocnina koeficientu korelácie r. Jeho veľkosť je obmedzená na interval $0 \leq R^2 \leq 1$. [25] Hodnoty koeficientu determinácie troch uvádzaných vrtoch sa pohybujú pri využití lineárnej závislosti v rozmedzí 0,6813 až 0,8857. Nižšia hodnota 0,6813 je pravdepodobne spôsobená nehomogenitou v hĺbke približne 30 m vo vrte JM 1023.

Pre výpočet plášťového trenia mikropilóty bolo nutné získať hodnoty presiometrického limitného tlaku v hĺbkach 7, 8, 9 a 10 m. Pomocou aplikovaného prístupu (regresie) sa hodnoty dopočítali a priemer týchto troch vrtoch tvoril výsledok pre dopočítanie medzného plášťového trenia podľa metódy Bustamante (1985) (Tab. 4-5).

Tab. 4-5: Limitný presiometrický tlak v zvolených hĺbkach

hĺbka [m]	7	8	9	10
limitný presiometrický tlak [Mpa]	0,587	0,646	0,705	0,764

Zdroj: Spracované podľa prílohy A

4.2 Výpočet únosnosti mikropilóty rôznymi metódami v nesúdržných zeminách - pieskoch v lokalite Brusel

Parametre mikropilóty:

- typ mikropilóty typ A, typ C a typ D
- priemer drieku 133 mm – typ A a C; 180 mm – typ D
- priemer koreňa 133 mm – typ A
290 mm – typ C a D (stredná hodnota podľa Mišove a Klein 1986 - Tab. 3-3)
- dĺžka koreňa 4 m, 6 m, 8 m a 10 m
- dĺžka drieku 8 m, 7 m, 6 m a 5 m
- vrt vertikálny
- namáhaná ťahom
- hladina podzemnej vody nevyskytuje sa

Cieľom bolo porovnať vypočítané únosnosti s reálne nameranými hodnotami z výsledkov poľných skúšok na zemných kotvách na testovacom poli Limelette v Bruseli, kde sa inštalovali rôzne typy zemných kotiev v rôznych pôdnych podmienkach a tieto výsledky zo skúšok boli verejne sprístupnené. Pre náš prípad boli použité vertikálne založené zemné kotvy v prevažne homogennom prostredí pieskov (70–100%). Priemer drieku, dĺžky aj smerné normové charakteristiky základovej zeminy boli prevzaté z tejto literatúry.

Na základe efektívneho odporu na hrote zo statickej penetračnej skúšky CPT, ktorá sa prevádzala pri každej zemnej kotve a objemovej hmotnosti zeminy bola na základe korelačných vzťahov pre nesúdržné zeminy (4-1 až 4-3), základová zemina zatriedená do triedy S1 – piesok dobre zrnitý (Tab. 4-6). Smerné normové charakteristiky a pevnostné charakteristiky základovej zeminy sú uvedené v tab. 4-7.

$$I_D = 100 \cdot \{0,268 \cdot [(q_t/\sigma_{atm})/(\sqrt{\sigma_{vo}'/\sigma_{atm}})] - 0,675\} \quad (4-1)$$

$$\phi' = 17,6^\circ + 11,0^\circ \cdot \log(q_{t1}) \quad (4-2)$$

$$q_{t1} = (q_t/\sigma_{atm})/(\sigma_{vo}'/\sigma_{atm})^{0,5} \quad (4-3)$$

kde:

q_t efektívny odpor na hrote

$\sigma_{vo'}$ efektívne zvislé napätie

σ_{atm} referenčné napätie rovné 100kPa

ϕ' vrcholový efektívny uhol vnútorného trenia

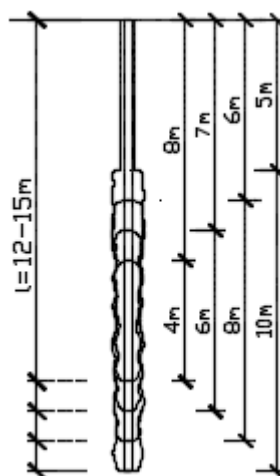
Označenie kotvy	q_t [kPa]	$\sigma_{vo'}$ [kPa]	ϕ' [°]	I_D
VE14	16300	212,8	40,130	0,589
VE15	17000	233,8	40,106	0,588
VE3	18500	204	40,836	0,629
VE10	16600	202,6	40,335	0,600
VE1	19500	221,2	40,894	0,632
VE2	19000	201,8	40,989	0,637
VE4	19900	206	41,161	0,647
VE11	17900	227,2	40,421	0,605

Tab. 4-6: Výsledky korelačných vzťahov pre nesúdržné zeminy

Trieda	S1
Symbol	SW
γ [kN/m ³]	20
I_D	0,62
ϕ' *	40
c_{ef} [kPa]	0

* vrcholová hodnota efektívneho uhla vnútorného trenia

Tab. 4-7: Smerné normové charakteristiky a pevnostné charakteristiky pieskov v lokalite - Brusel



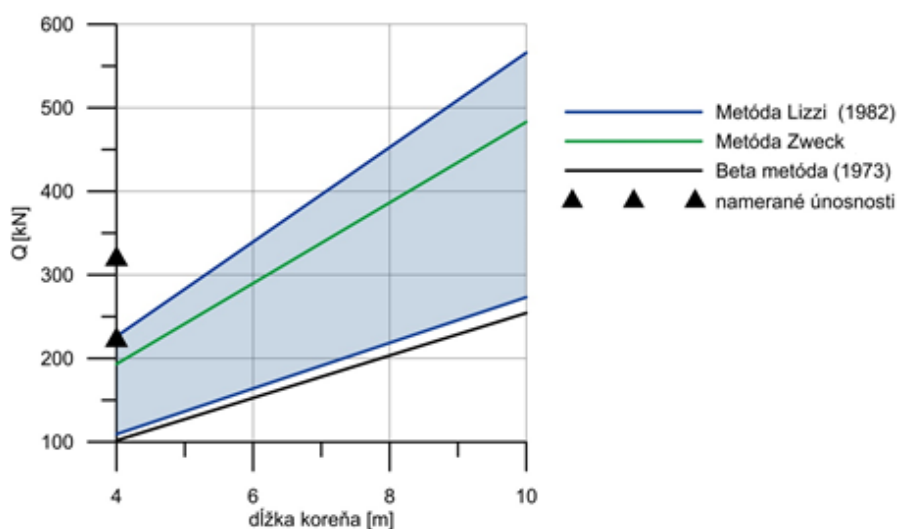
Obr. 4-6: Schéma mikropilóty založenej v pieskoch – v lokalite Brusel

Hodnoty návrhovej únosnosti pre mikropilótu typu A :

Pre výpočet únosnosti mikropilóty typu A založenej v nesúdržných zeminách je možné použiť metódy Lizzi (1982), Zweck a Beta metódu (1973). Najvyššie hodnoty únosnosti mikropilóty typu A, uvádza opäť metóda podľa Lizzi (1982), kde hlavnou zložkou medznej únosnosti sú tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia. Beta metóda (1973) je takmer zhodná so spodnou hranicou metódy Lizzi (1982) a metóda Zweck sa približuje skôr hornej hranici metódy Lizzi (1982). Vypočítané únosnosti sú porovnané z dvomi nameranými hodnotami únosností – Tab. 4-8.

Dĺžka koreňa [m]	Q_{\max} [kN]
4	222
4	319

Tab. 4-8: Výsledky zaťažovacích skúšok zemných kotiev typu A v pieskoch – prevzaté z Limelette [26]



Obr. 4-7: Grafické znázornenie medznej únosnosti mikropilóty typu A v pieskoch s vyznačením výsledkov zaťažovacích skúšok

Tab. 4-9: Medzná únosnosť, únosnosť na jeden meter dĺžky koreňa a priemerné plášťové trenie mikropilóty typu A v pieskoch

			Q_{max} [kN]				q_{max} [kN/m]				τ_{max} [kPa]			
Dĺžka koreňa [m]			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _m [kPa]	FHWA (2005)	70	109	164	219	273	27	27	27	27	65	65	65	65
	DIN 4128	80	125	187	250	312	31	31	31	31	75	75	75	75
	FHWA (2005)	145	226	340	453	566	57	57	57	57	135	135	135	135

			Q_{max} [kN]				q_{max} [kN/m]				τ_{max} [kPa]			
Dĺžka koreňa [m]			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Efektívne priemerné geostatické napätie σ _z [kPa]	203		193	290	386	483	48	48	48	48	116	116	116	116

			Q_{max} [kN]				q_{max} [kN/m]				τ_{max} [kPa]			
Dĺžka koreňa [m]			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Hodnoty efektívneho zvislého napätie σ _{vz} [kPa]	203		102	153	203	254	25	25	25	25	61	61	61	61

Hodnoty návrhovej únosnosti pre mikropilóty typu C a D:

Metódy vhodné pre výpočet únosnosti mikropilóty typu C a D v nesúdržných zeminách sú rovnaké. Niektoré sa ale líšia v vstupných parametroch. Sú porovnané metódy Lizzi (1982), Masopusta (2004), Bustamante (1985) a Ostermayer a Scheele (1977). Metódy podľa Lizzi (1982) a Masopusta (2004) vyjadrujú medznú únosnosť mikropilóty príslušnými hodnotami priemerného medzného plášťového trenia. Ostermayer a Scheele (1977) uvádzajú únosnosť priamo (bez výpočtu) a hodnoty priemerného plášťového trenia u metódy Bustamante (1985), sú tento krát získané zo štandardnej penetračnej skúšky s počtu úderov pre hĺbku penetrácie 30 cm. Výsledky penetračnej skúšky sú uvedené v prílohe B. V prípade mikropilót typu C a D sa hodnoty únosností metód pohybujú v rozmedzí metódy Lizzi (1982). V tabuľke 4-9 sa uvádzajú výsledky zo zaťažovacích skúšok na zemných kotvách s ktorými sa výpočet porovnával.

Typ C		Typ D	
Dĺžka koreňa [m]	Q_{\max} [kN]	Dĺžka koreňa [m]	Q_{\max} [kN]
4	371	4	1067
4	410	4	1101
6	789		
6	813		

Tab. 4-9: Výsledky zaťažovacích skúšok zemných kotiev typu C a D v pieskoch – prevzaté z Limelette

[26]

Tab. 4-10: Medzná únosnosť, únosnosť na jeden meter dĺžky koreňa a priemerné plášťové trenie mikropilóty typu C v pieskoch

Metóda Lizzi (1982)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _m [kPa]	DIN 4128	80	268	402	536	671	67	67	67	67	74	74	74	74
	FHWA (2005)	95	319	478	637	796	80	80	80	80	88	87	87	87
	Klein a Mišove (1986)	150	503	754	1006	1257	126	126	126	126	138	138	138	138
	Klein a Mišove (1986)	180	603	905	1207	1509	151	151	151	151	165	166	166	166
	FHWA (2005)	190	637	956	1274	1593	159	159	159	159	175	175	175	175

Metóda podľa Masopusta (2004)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _i [kPa]	100		292	437	583	729	73	73	73	73	80	80	80	80
	150		437	656	875	1093	109	109	109	109	120	120	120	120

Metóda Bustamante (1985)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Hodnoty priemerného plášťového trenia q _s [kPa]	145		528	793	1057	1321	132	132	132	132	145	145	145	145

Metóda Ostermayer a Scheele (1977)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
			450	570	660	730	113	95	83	73	123	104	91	80

Tab. 4-11: Medzná únosnosť, únosnosť na jeden meter dĺžky koreňa a priemerné plášťové trenie mikropilóty typu D v pieskoch

Metóda Lizzi (1982)

Dĺžka koreňa [m]			Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
			4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _m [kPa]	DIN 4128	80	268	402	536	671	67	67	67	67	74	74	74	74
	FHWA (2005)	95	319	478	637	796	80	80	80	80	88	87	87	87
	Klein a Mišove (1986)	150	503	754	1006	1257	126	126	126	126	138	138	138	138
	Klein a Mišove (1986)	180	603	905	1207	1509	151	151	151	151	165	166	166	166
	FHWA (2005)	240	770	1155	1539	1924	193	193	192	192	211	211	211	211

Metóda podľa Masopusta (2004)

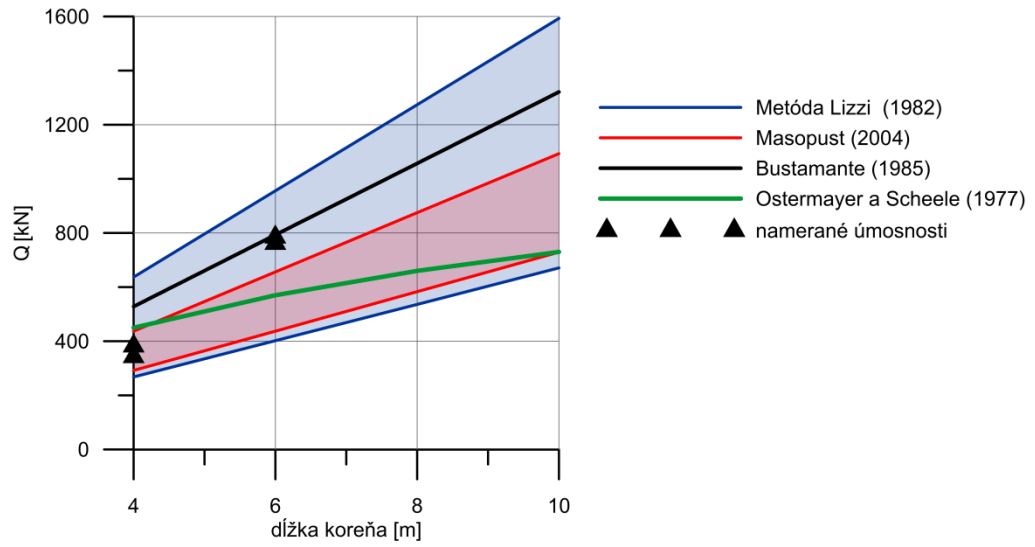
Dĺžka koreňa [m]		Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
		4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Tabuľkové hodnoty priemerného plášťového trenia τ _i [kPa]	100	292	437	583	729	73	73	73	73	80	80	80	80
	150	437	656	875	1093	109	109	109	109	120	120	120	120

Metóda Bustamante (1985)

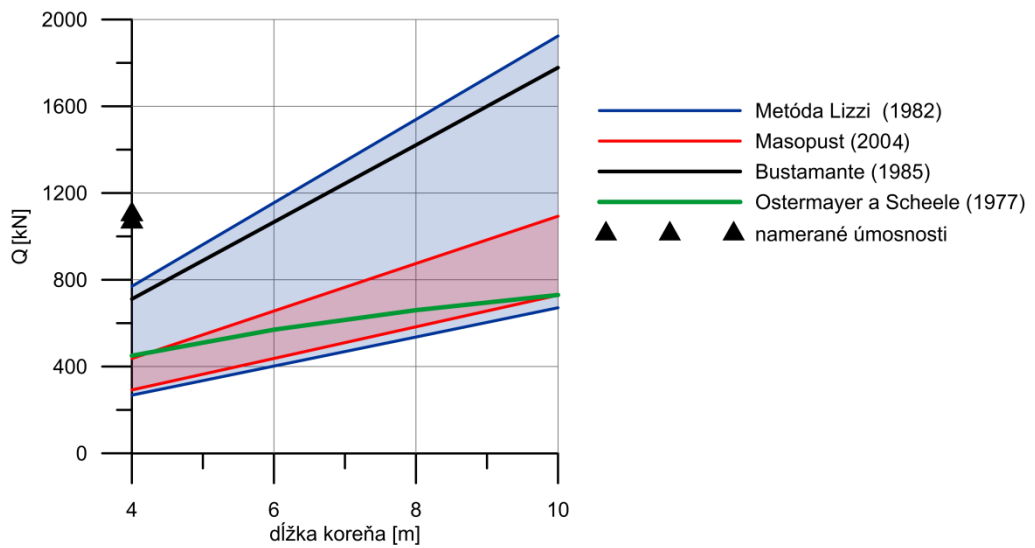
Dĺžka koreňa [m]		Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
		4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Hodnoty priemerného plášťového trenia q _s [kPa]	195	711	1066	1421	1778	178	178	178	178	195	195	195	195

Metóda Ostermayer a Scheele (1977)

Dĺžka koreňa [m]		Q _{max} [kN]				q _{max} [kN/m]				τ _{max} [kPa]			
		4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
		450	570	660	730	113	95	83	73	123	104	91	80



Obr. 4-8: Grafické znázornenie medznej únosnosti mikropilóty typu C v pieskoch s vyznačením výsledkov zaťažovacích skúšok



Obr. 4-9: Grafické znázornenie medznej únosnosti mikropilóty typu D v pieskoch s vyznačením výsledkov zaťažovacích skúšok

5 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo zoskupiť čo najviac výpočtových metód (prevažne sa uvádzajú zahraničné), ktoré je možné aplikovať na výpočet únosnosti mikropilóty a po stanovení hodnôt vstupných parametrov týchto metód previesť porovnanie na konkrétnych prípadoch.

Po porovnaní únosností získaných z výpočtu mikropilóty založenej v neogénnych fľoch v lokalite Brno a mikropilóty založenej v pieskoch v lokalite Bruselu, môžeme dôjsť k nasledujúcim záverom:

- Použitie metódy Lizzi (1982) vedie k veľmi veľkým rozptylom vo výpočte únosnosti a ku konkrétnejším únosnostiam sa dostáva len ťažšie.
- Únosnosti podľa Masopusta (2004) sa vždy pohybovali v okolí spodnej hranice metódy Lizzi (1982) a môžeme ju považovať za najbezpečnejšiu.
- Metóda Ostermayer (1974) naznačovala, že namerané únosnosti sa budú pohybovať vyššie.
- Metóda Ostermayer a Scheele (1977) dosahovala väčšiu zhodu s mikropilótou typu C.
- S výsledkami zaťažovacích skúšok zemných kotiev sa najviac zhodovala metóda Bustamante (1985).
- Vplyv podzemnej vody na únosnosť väčšina metód neuvažuje.
- Spôsob namáhania mikropilót rozlišuje len metóda podľa Masopusta (2004) a metóda Lizzi (1982) - pri použití tabuľkových hodnôt priemerného plášťového trenia nemeckej normy DIN4128 .

Je nutné poznamenať, že závery sú vzťahnuté k zvoleným dvom prípadom a v iných geologických podmienkach nemusia platiť. S istotou sa dá ale povedať, že pre výpočet medznej únosnosti mikropilóty je možné použiť množstvo rôznych metód od rôznych autorov. Stanovenie medznej únosnosti je u každej metódy rôzne a ktorá/é sa dajú považovať obecné za najlepšie/u nejde stanoviť. Stanovenie medznej únosnosti mikropilóty výpočtovou metódou, ktorá by odpovedala reálnej únosnosti je náročné.

Ďalších hodnotných záverov, by sa mohlo docieľiť porovnaním väčšieho množstva zaťažovacích skúšok s výpočtovými hodnotami únosnosti v rozdielnych geologických podmienkach.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] BRUCE, D.A., DIMILLIO, A., JURAN, I. *Micropiles: The State of Practice. Part 1: Characteristics, Definitions and Classification*. Ground Improvement, 1997, vol.1, no. 1, p. 25-35.
- [2] *Micropile Design and Construction – Reference Manual*. 2005. Publication No FHWA NHI-05-039.
- [3] MASOPUST, J. *Speciální Zakládání Staveb – 1.díl*. 2004. ISBN 80-214-2770-1.
- [4] Zakládání staveb. Mikropiloty [online]. ©2008-2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupný z: <<http://www.zakladani.cz/cz/mikropiloty>>.
- [5] JURAN, I., BRUCE, D. A., DIMILLIO, A., BENSLIMANE, A. *Micropiles: The State of Practice. Part 2: Design of Single Micropiles, Groups and Networks of Micropiles*. Ground Improvement, 1999, vol. 3, p. 89-110.
- [6] *Používání některých nových technologií v zakládání staveb: sborník přednášek*. Brno: Dům techniky ČSVTS, 1989. ISBN 80-02-99396-9.
- [7] Direct industry [online]. ©2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupný z: <<http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/micropile-drilling-rig-93544.html>>.
- [8] LITTLEJOHN, S. G. *Design estimation of the ultimate load-holding capacity of ground anchors*. 1980, p. 25-39.
- [9] TURČEK, Peter a Ivan SLÁVIK. *Zakládanie stavieb*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2002. Edícia skrípt. ISBN 80-227-1699-5.
- [10] API RP2A. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*, 2000, 21th ed., American Petroleum Institute, Washington DC.

- [11] RUFAR, M., MENDOZA, M.J., IBARRA, E. *Axial load capacity for an instrumented pile model: A review of Alpha and Beta Instituto de Ingeniería*, 2011, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [12] ISHIBASHI, Isao. a Hemanta. HAZARIKA. *Soil mechanics fundamentals and applications*. Second edition. ISBN 9781482250411.
- [13] TAN, Y.C, CHOW, C.M. *Design and Construction of Bored Pile Foundation*. 2003, Geotechnical Course for Pile Foundation Design and Construction, Ipoh.
- [14] KULHAWY, F.H., JOEN, S.S. *Some observation on axial compression capacity of micropiles*. Cornell university do Minho, School of Civill and Environmental Engineering, USA, 1999, p. 89-92.
- [15] ELSALFITI, A.K. *Skin Friction of Micropiles Embedded in Gravelly Soils*. Montreal: Concordia University Montreal, Building, Civil and Enviromental Engineering, 2011, p.114.
- [16] HORIKAWA, Kiyoshi. *Civil engineering*. Oxford: Eolss Publishers Co Ltd, 2009. ISBN 9781848269743.
- [17] GEO 5 Uživatelská příručka [online]. 2016, poslední aktualizace 2.2016, [cit. 2016-05-14]. Dostupný z: <http://www.fine.cz/manualy/?productId=GEO+5&predatorId=all&langId=cs>.
- [18] VIGGIANI, Carlo., Alessandro. MANDOLINI a Gianpiero. RUSSO. *Piles and pile foundations*. New York: Spon Press, 2012. ISBN 0203880870.
- [19] COMITÉ FRANÇAIS DE LA MÉCANIQUE DES SOLS ET DES TRAVAUX DE FONDATIONS. *Tirants d'ancrage: recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle, recommandations T.A.95*. [4e éd.]. Paris: Eyrolles, 1995. ISBN 2212018134.
- [20] SMOLTCZYK, Ulrich. *Geotechnical engineering handbook*. Berlin: Ernst & Sohn, 2003. ISBN 3433014515.

- [21] WINTERKORN, Hans F. a Hsai-Yang FANG. *Foundation engineering handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1975. ISBN 0442295642.
- [22] CRAIG, R.F. *Craig's soil mechanics*. 7th ed. London: Spon Press, 2004. ISBN 0-415-32703-2.
- [23] BARLEY, A.D., WINDSOR, CH.R. *Recent Advances In Ground Anchor And Ground Reinforcement Technology With Reference To The Development Of The Art*. ISRM International Symposium, 2000. ISRM-IS-2000-026.
- [24] Hudek, Jiří. Zkušenosti pudis, a. s., s presiometrickými zkouškami pro tunely. *Tunel* [online]. 2007, č. 3, s. 19-25 [cit. 2016-05-10] Dostupný z: <http://www.ita-aites.cz/files/tunel/komplet/tunel_3_07.pdf>.
- [25] ORŠANSKÝ, P. *Základy matematickej štatistiky*. Žilinská univerzita, 2009.
- [26] *Proceedings of the International Symposium Ground Anchors – Limelette test field results - Volume 2* [online]. 2008, [cit. 2016-05-05]. Dostupný z: <http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=services&doc=tis_sft_proceedings_Volume_2.pdf&lang=nl>.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

FHWA	Federal Highway Authority
FOREWER	Foundation Renforcées Verticalement
IGU	injection globale et unitaire
IRS	injection repetitive et selective
A	plocha injektovanej časti mikropilóty
τ	priemerná medzná hodnota plášťového trenia
τ_m	priemerná medzná hodnota plášťového trenia
τ_i	priemerná medzná hodnota plášťového trenia
τ_{ult}	priemerná medzná hodnota plášťového trenia
τ_{max}	priemerná medzná hodnota plášťového trenia
q_s	priemerná medzná hodnota plášťového trenia
q_{max}	únosnosť na meter dĺžky koreňa
q_t	efektívny odpor na hrote
Q	koreňová únosnosť mikropilóty
Q_{max}	koreňová únosnosť mikropilóty
Q_{gu}	únosnosť skupiny mikropilót
Q_{iu}	únosnosť jednej mikropilóty v skupine mikropilót
T_{ult}	koreňová únosnosť mikropilóty
$U_{mv,d}$	koreňová únosnosť mikropilóty
$U_{ms,d}$	únosnosť na plášti koreňa mikropilóty
$U_{mp,d}$	únosnosť na päte tlačenej mikropilóty
R_d	únosnosť na päte pre skalné horniny R1 – R3
Q_d	únosnosť päty mikropilóty
N_c	koeficient únosnosti
d	priemer koreňa
d_s	priemer koreňa
l	dĺžka koreňa
J	bezrozmerný súčiniteľ vyjadrujúci vplyv priemeru vrtu
m_z	koeficient závislý na druhu zaťaženia
p_i	veľkosť injektážneho tlaku

p_g	injektážny tlak
p_{lm}	limitný presiometrický tlak
φ'	efektívny uhol šmykového trenia
ϕ_u	totálny uhol vnútorného trenia
δ	uhol trenia medzi mikropilótou a zeminou
α	koeficient adhézie
α	koeficient alpha
β	koeficient beta
c_u	totálna kohézia
c'	efektívna kohézia
σ'_{vz}	efektívne zvislé napätie
σ'_{vo}	efektívne zvislé napätie
σ_{atm}	referenčné napätie rovné 100kPa
σ_c	pevnosť horniny v prostom tlaku
K	koeficient zemného tlaku na plášti mikropilóty
K_1	koeficient zemného tlaku
K_2	súčiniteľ predstavujúci zvýšenie účinného priemeru mikropilóty v dôsledku tlakovej injektáže prvku
K_0	súčiniteľ tlaku v pokoji
OCR	stupeň prekonsolidácie
r	koeficient korelácie
R^2	koeficient determinácie
E_{OM}	presiometrický modul pretvárnosti
E_M	presiometrický modul pružnosti
N_{30}	počet úderov pre hĺbku penetrácie 0,3m
f_{eff}	efektívny súčiniteľ zohľadňujúci vplyv progresívneho porušovania
η_v	faktor účinnosti
s	vzdialenosť jednotlivých mikropilót v skupine
n_c	počet pilót v stĺpcoch
n_r	počet pilót v riadkoch
I_D	relatívna uľahlosť
I_p	index plasticity

w	pôvodná vlhkosť zeminy
w_p	vlhkosť na medzi plasticity
w_L	vlhkosť na medzi tekutosti
d_{60}	ekvivalentný priemer zrna odpovedajúci 60% prepadu
d_{10}	ekvivalentný priemer zrna odpovedajúci 10% prepadu
γ	objemová hmotnosť zeminy

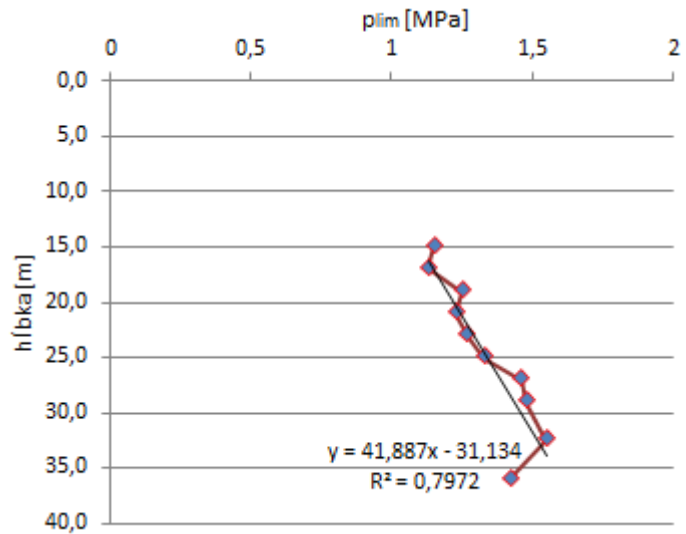
ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A	Výsledky limitného presiometrického tlaku – Tunel Dobrovský
Príloha B	Výsledky štandardnej penetračnej skúšky - Limelette

Príloha A

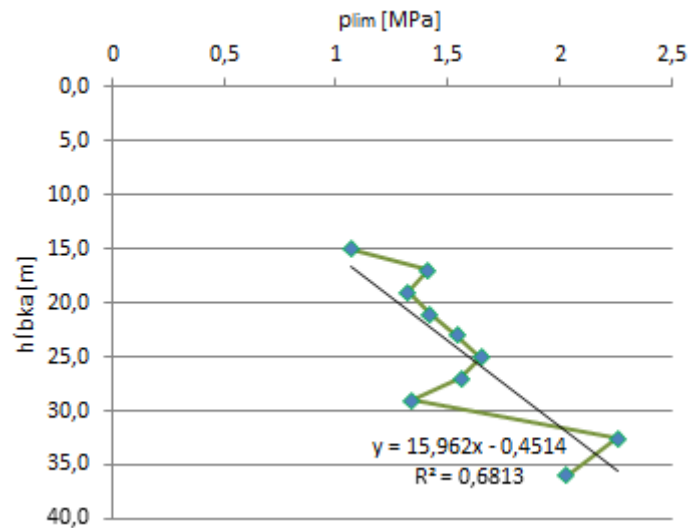
VRT JM 1013

h _{lbka} [m]	p _{lim} [MPa]
15,0	1,15
17,0	1,13
19,0	1,25
21,0	1,23
23,0	1,27
25,0	1,33
27,0	1,46
29,0	1,48
32,5	1,55
36,0	1,42



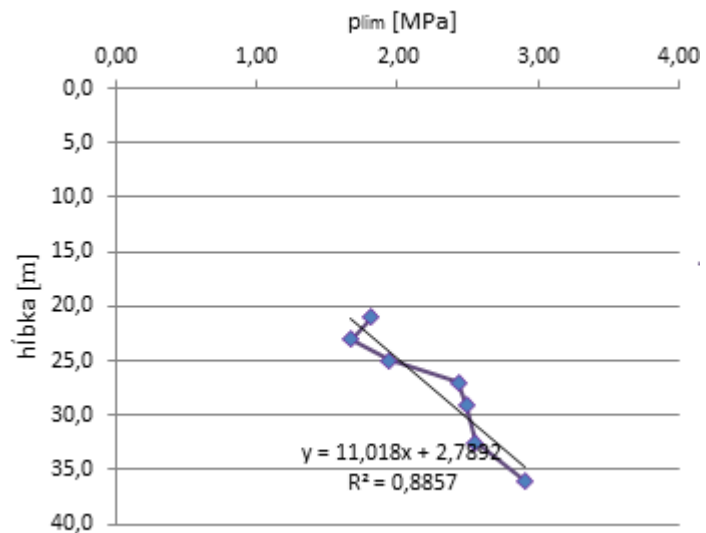
VRT JM 1023

h _{lbka} [m]	p _{lim} [MPa]
15,0	1,07
17,0	1,41
19,0	1,32
21,0	1,42
23,0	1,54
25,0	1,65
27,0	1,56
29,0	1,34
32,5	2,26
36,0	2,03



VRT JM 1023

h _{lbka} [m]	p _{lim} [MPa]
15,0	1,07
17,0	1,41
19,0	1,32
21,0	1,42
23,0	1,54
25,0	1,65
27,0	1,56
29,0	1,34
32,5	2,26
36,0	2,03



Príloha B

