

Dr.Ing. Hynek Lahuta, Ing. Josef Mráz

VŠB-TU Ostrava, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, L.Poděště 1875, 708 00
Ostrava-Poruba, hynek.lahuta@vsb.cz, nuska@klobouk.fsv.cvut.cz

ÚNOSNOST A PŘETVÁŘENÍ TYČOVÝCH MIKROPILOT TITAN V ZÁVISLOSTI NA VLASTNOSTECH HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ A JEJICH DÉLCE

Abstract

The contribution describes the load displacement behaviour of mikro-pilot TITAN placed in different types of soils. The research was conducted on 3D numerical model by program PLAXIS 3D.

1. Úvod

Tento příspěvek se zabývá chováním mikropilot TITAN v různých typech zemin a při různých osových zatíženích z hlediska závislosti mezi jejich zatížením a sedáním. Toto chování bylo zjišťováno pomocí 3D modelu s využitím programového systému Plaxis 3D [2].

2. Stručný popis mikropiloty TITAN

Parametry mikropiloty vycházejí ze standardního návrhu používané firmou Ischebeck. Velikost proinjektované části zeminy je závislá na typu zeminy ve které jsou piloty aplikovány (viz. tab.3). Při průměru piloty 32 a 38 mm je tedy průměr proinjektované oblasti

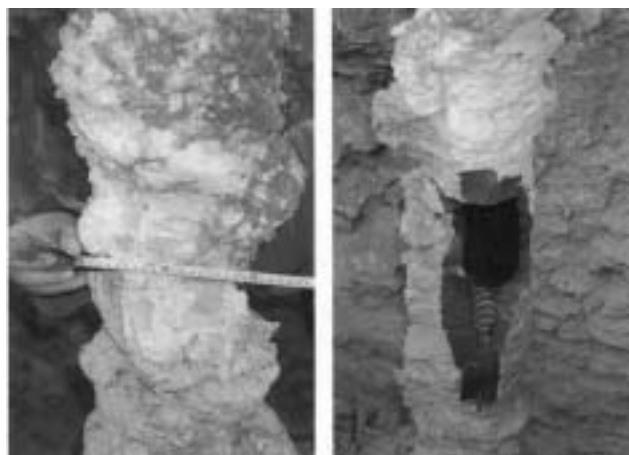
$D = d_k \times 1,5$ pro zeminy třídy G a S

$D = d_k \times 1,4$ mm pro zeminy třídy F, kde

d_k - průměr vrtné korunky (pro uvažované průměry tyčí $d_k \cong 70 - 90$ mm)

Pro výpočet byly v dolní kořenové části průměry D zvětšeny u jílu na 100 mm, pro šterky a písky na 200 mm. Tento úsek měl délku 500 mm od paty piloty. Parametry materiálu vyplňující kořenovou část jsou uvedeny v tab.4.

→ detaily o mikropilotách TITAN firmy Ischebeck jsou popsány ve firemním materiálu [1].



Obr. 1. Vykopané mikropiloty TITAN 73/53 dokreslují průměr piloty, který cca 2x větší než průměr vrtné korunky. Je patrné roztlačení do okolní zeminy a pokrytí cementovým kamenem bez obsahu zeminy a to i v soudržné zemině (např. naplaveném slínu)

3. Výpočet zatížení mikropilot TITAN dle firmy Ischebeck

Při návrhu se uvažují různá plášťová tření q_s pro typy zemín dle tab. 1.

Typ zeminy	q_s /kPa/
písek a štěrkopísek	200
soudržný jíł (jíł, slín)	150
zvětralý pískovec	100

dle DIN 1054-100

Tab. 1.

V závislosti na velikosti penetračního odporu dle SPT (Standard Penetration Test) je možno uvažovat s velikostí q_s dle tab. 2.

N (SPT)	q_s /kPa/
$N \leq 5$	0
$N < 10$	$7,2 \times N + 6$
$N > 10$	$4,1 \times N + 37$
pro jíly a hlíny, N – počet úderů SPT	

Tab. 2.

Příkladem pro návrh mikropiloty je výpočet plášťového tření v prostředí hlín, u kterých je $N=12$

(Bustamante)

$$q_s = 4,1 \cdot 12 + 37 = 86 \text{ kPa}$$

dle DIN 1054-10 (tab. 1)

$$q_s = 100 \text{ kPa}$$

při průměru korunky (pro TITAN 30/11) $d_k = 0,075 \text{ m}$, pak

průměr injektované oblasti $D = 0,075 \cdot 1,4 = 0,105 \text{ m}$ (viz tab.3)

Typ zeminy	Průměr injektované zóny /m/
hrubo a střednězrnné kameny	$D \geq 2 \cdot d_k$
písek a štěrkopísek	$D \geq 1,5 \cdot d_k$
soudržný jíł (jíł, slín)	$D \geq 1,4 \cdot d_k$
zvětralý pískovec, fylit, břidlice	$D \geq 1,0 \cdot d_k$

Tab. 3.

pak pracovní zatížení piloty F_w

$$F_w = \frac{\pi \cdot D \cdot q_s}{S} = \frac{\pi \cdot 0,105 \cdot 100}{2} = 16,5 \text{ kN/m} \quad \text{kde}$$

S – globální faktor bezpečnosti, $S=2$ dle DIN 4128

Potřebnou délku piloty lze stanovit z působícího zatížení na pilotu, které nesmí překročit únosnost tyče. Pro tyč TITAN 30/11 činí tato únosnost na mezi kluzu $R_k \cong 150 \text{ kN}$

a potřebná délka piloty $L = \frac{150}{16,5} \cong 9 \text{ m}$.

4. Model MKP

Pro stanovení závislosti „zatížení a sedání“ mikropiloty byl použit výpočtový model MKP v systému Plaxis 3D Tunnel. Parametry a typy zemin ve kterých byly aplikovány mikropiloty jsou uvedeny v tab.4.

materiál	γ [kN/m ³]	E_{ref} [kPa]	ν	c_{ref} [kPa]	úhel vnitř. tření [°]	úhel dilatance [°]
ocel	76,00	2,10E+8	0,2	2,52E+5	1,00	0
cementový kámen	20,00	1,00E+7	0,2	600,00	50,00	10,00
hlína tuhá-F5	20,00	4000	0,4	12,00	21,00	7,00
jíl tuhý-F6	21,00	5000	0,4	12,00	19,00	6,33
písek s přím. jílu-S3*	17,50	1,55E+4	0,3	1,00E-3	29,50	9,83
štěrk s přím. jílu-G3*	19,00	8,55E+4	0,25	1,00E-3	32,50	10,83

středně ulehly*

Tab. 4. Vstupní parametry

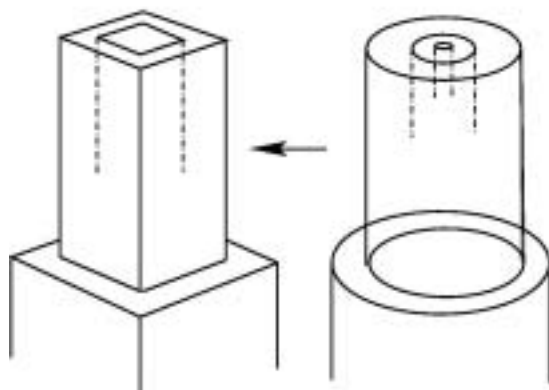
Byly zvoleny: tyče TITAN (DÉLKY) – 30/11 (4,6,8 m)
– 73/53 (3,6,9 m)

Výpočtem byly sledovány tyto veličiny:

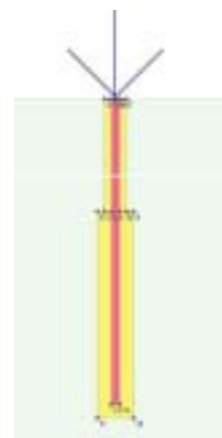
- únosnost s maximálním vertikálním posunem
- smyková napětí na kontaktu pilota-zemina

Jedním z principů Technologie Ischebeck TITAN je mimo jiné injektáž okolního prostředí cementovou směsí, kdy dochází ke zpevnění okolní horniny. Pevnost okolní zeminy se ve skutečnosti s narůstající vzdáleností od osy piloty snižuje. Namodelovat nepravidelný dřík odpovídající alespoň zčásti této skutečnosti je téměř nemožné, proto bylo nutné přikročit k určitým zjednušením v rámci geometrie.

Model, který byl vytvořen je rozměry shodný s rozměry, ze kterých vychází firemní výpočet. Průměr dříku piloty je závislý na druhu horninového prostředí a na velikosti použité korunky (viz tabulka 5). Tvar mikropiloty, který se ve skutečnosti blíží válci, byl nahrazen rovnoplochým průřezem čtvercovým, dutá tyč byla modelována jako plnostěnná. Větší průřez neovlivňuje výsledky ve zjišťované stabilitě mikropiloty, protože největší zatěžovací síly byly voleny hodnotou rovnou síle na mezi kluzu použité tyče (bez redukce součinitelem bezpečnosti)



Obr.2. Kruhový průřez dříku je v matematickém modelu převeden na čtvercový



Obr.3. Příklad zadávání rozhraní a přiřazení vlastností

V modelu Plaxis 3D je nutno zvolit takový prostorový tvar, který lze určit svislými prostorovými řezy a vodorovnými spojnicemi ve směru vytváření 3D rozměru. 3D model je pak tvořen tak, že pomocí zadaných přímk vznikají uzavřené homogenní oblasti („clusters“), kterým byly v jednotlivých svislých rovinách o rozdílné souřadnici ve směru osy z přiřazovány předvolené materiálové vlastnosti formou okrajových podmínek. Tím lze vytvořit odstupňovaný průřez složený z kvádrů.

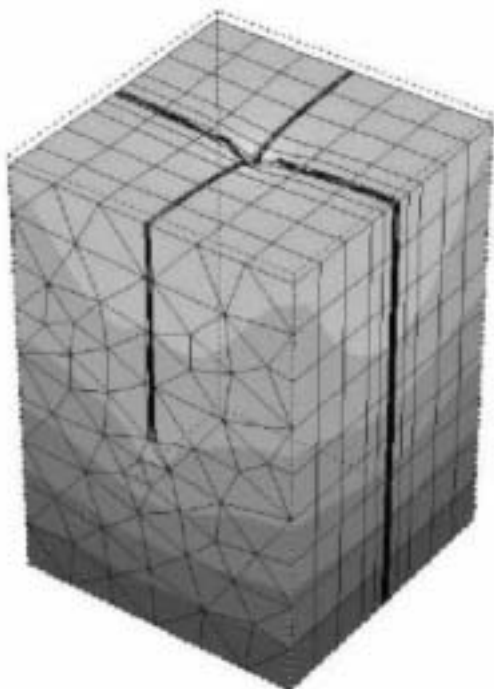
Tyč TITAN 30/11

korunka 75 mm	F5-tuhá	F6-tuhá	S3	G3
délka 4 m	94 mm	94 mm	100 mm	100 mm
délka 6 m	94 mm	94 mm	100 mm	100 mm
délka 8 m	94 mm	94 mm	100 mm	100 mm
pata široká 200 mm				

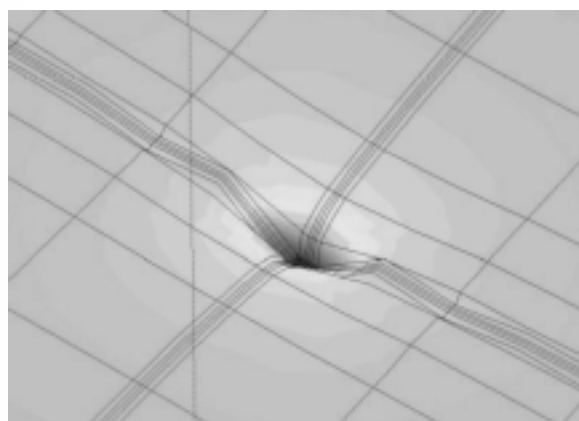
Tyč TITAN 73/53

korunka 200 mm	F5-tuhá	F6-tuhá	korunka 130 mm	S3	G3
délka 3 m	248 mm	248 mm	3 m	172 mm	172 mm
délka 6 m	248 mm	248 mm	6 m	172 mm	172 mm
délka 9 m	248 mm	248 mm	9 m	172 mm	172 mm
pata široká	400 mm	400 mm	pata široká	280 mm	280 mm

Tab. 5. Rozměr čtvercového dřívku dle typu zeminy a korunky



Obr. 4. Ukázka celého modelu s vertikální deformací při zatížení hlavy mikropiloty



Obr. 5. Detail deformace v hlavě mikropiloty

5. Výsledky a závěry

Analýzou grafů závislosti „zatížení – sedání“ lze sledovat změny v přírůstcích posunů a lze je považovat za výpočtový zatěžovací diagram mikropiloty (mezní zatěžovací křivka) Výsledkem řešení kombinací délek, průměrů a okolního prostředí v závislosti na zatížení je soubor diagramů, z nich lze zpětně podle předpokládaného zatížení a materiálu základové půdy zvolit délku tyče tak, aby deformace byly v přípustných mezích. Z něj je možno konvenčním způsobem stanovit hodnotu výpočtové únosnosti. Např. pro $s_{con}=25$ mm lze z grafů stanovit celkovou únosnost mikropiloty R_{con} a výpočtovou únosnost

$$U_{vd} = \frac{U_m}{\gamma_r}$$

kde součinitel spolehlivosti zatížení γ_r

$\gamma_r = 1,5$ pro únosnost U_y (únosnost na mezi zaboření), U_{pr} (únosnost na mezi úměrnosti) a U_{con} (únosnost směrná – ustálených 25 mm či přípustná z hlediska stavební konstrukce)

$\gamma_r = 1,3$ pro únosnost U_{def} (únosnost na mezi přetvoření)

Uvedený přehled na obr.7. ukazuje rozdílnost v hodnotách únosnosti stanovené modelem 3D a firemním výpočtem dle metodiky Ischebeck (kap. 3)

písek s příměsí jílu - středně ulehlý (S3), TITAN 30/11

Model Plaxis	4 m	$U_{pr} = 130 \text{ kN}$	$\gamma_{re} = 1,5$	$U_{vd} = \frac{U_{pr}}{\gamma_{re}} = \frac{130}{1,5} = 86,7 \text{ kN}$	$F_{te} = \frac{86,7}{4}$	$= 21,70 \text{ kN/m}$
Výpočet Ischebeck				$F = 150,00 \text{ kN}$	$F_{te} = \frac{150}{4}$	$= 37,50 \text{ kN/m}$
Model Plaxis	6 m	$U = 150 \text{ kN}$	$\gamma_{re} = 1,1$	$U_{vd} = \frac{U_{pr}}{\gamma_{re}} = \frac{150}{1,1} = 136,4 \text{ kN}$	$F_{te} = \frac{136,4}{6}$	$= 22,73 \text{ kN/m}$
Výpočet Ischebeck				$F = 150,00 \text{ kN}$	$F_{te} = \frac{150}{6}$	$= 25,00 \text{ kN/m}$
Model Plaxis	8 m	$U = 150 \text{ kN}$	$\gamma_{re} = 1,1$	$U_{vd} = \frac{U_{pr}}{\gamma_{re}} = \frac{150}{1,1} = 136,4 \text{ kN}$	$F_{te} = \frac{136,4}{8}$	$= 17,05 \text{ kN/m}$
Výpočet Ischebeck				$F = 150,00 \text{ kN}$	$F_{te} = \frac{150}{8}$	$= 18,75 \text{ kN/m}$

Obr. 7. Příklad srovnání výsledku modelem 3D a metodikou Ischebeck

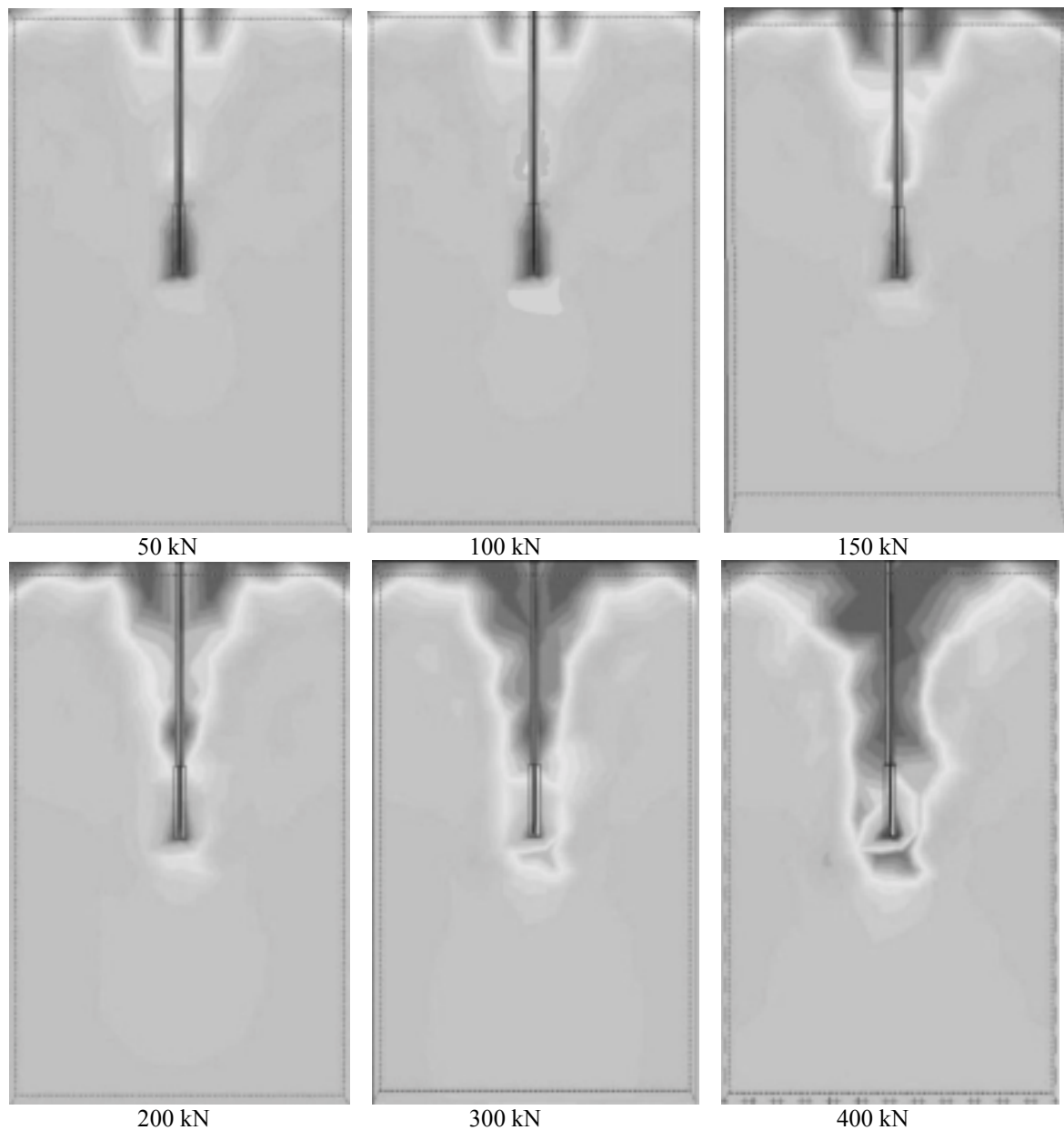
Pro hodnoty výpočtové únosnosti R_{dp} bylo zjištěno, že vliv vzpěru mikropilot je zanedbatelný [5]

Srovnáme-li hodnoty únosnosti (kN/m) stanovené v uváděném příkladě (kapitola 3), pak pro tuhý jíl při $s_{con}=25$ mm bude únosnost $U_{con} = \frac{65}{3} = 21,6 \text{ kN/m}$ a $U_{pr} = \frac{21,6}{1,5} = 14,4$

kN/m což je o cca 12% méně než uvádí firemní výpočet. Při tomto zatížení bude velikost smykového napětí na plášti cca 25 kPa což je hodnota srovnatelná s velikostí totální soudržnosti c_u .

Hodnoty únosnosti stanovené matematickým modelem 3D jsou tedy poněkud konzervativnější než postupy zjednodušené. Umožňují ale stanovit únosnost spolehlivěji pro zadané parametry sedání, vycházející z jeho přípustné nebo normové hodnoty.

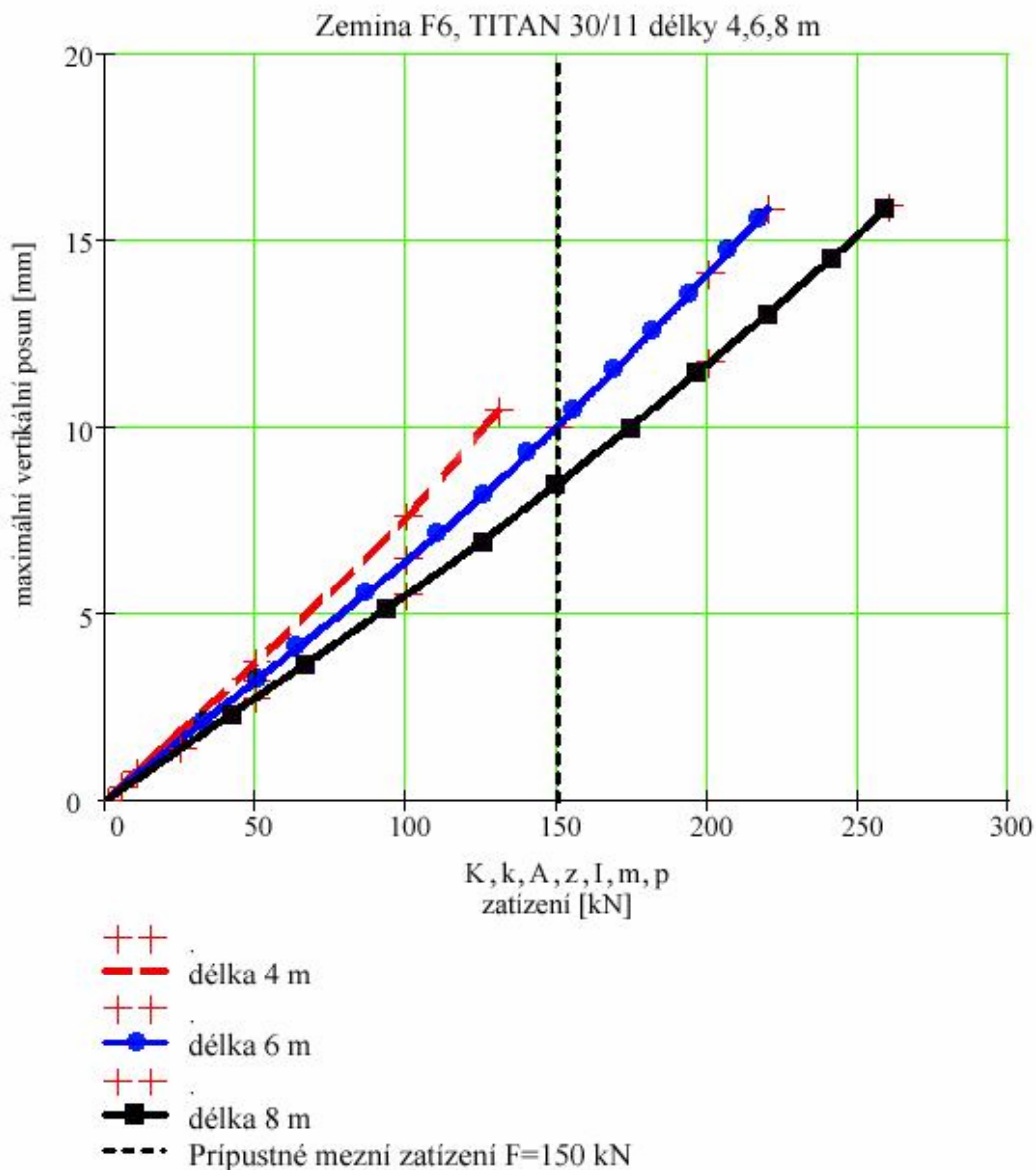
Z hodnocení plášťového tření je zřejmý vliv délky mikropiloty na velikost smykového napětí v okolí dřívku piloty. S rostoucí délkou se napětí snižuje. Rovněž při použití tyče většího průměru je hodnota napětí nižší. Při porovnání stejných průměrů a délek v různých zeminách je zřejmé, že hodnoty smykových napětí se zvyšují od jemnozrnných zemin (jíl (C), hlína (M)) k zeminám hrubozrnným (písek (S), štěrk (G)). Vypočítané hodnoty smykového napětí jsou nižší než tabulkové.



Obr. 6. Relativní smykové porušení pro mikropilotu TITAN 73/53 délky 6 m v písku (S3) při zvyšujícím se zatížení.

Literatura

- [1] Injektionsanker Ischebek Titan, katalog výrobků firmy, Ennepetal 2000
- [2] Brinkgreve J., Vermeer A.: Plaxis 3D manual, Balkema, 2001
- [3] Hulla, J.- Šimek, J.- Hulman, R.- Trávníček, I.-Štěpánek, Z.: Zakladanie stavieb, Alfa Bratislava - SNTL Praha, 1987
- [4] Mráz J.: „Únosnost a přetváření tyčových mikropilot v zeminách“, diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, 2003
- [5] Lahuta H., Aldorf J.: „Únosnost a sedání mikropilot TITAN stanovené 3D modelem MKP“, 7. mezinárodní seminář Zpevnování a těsnění hornin, Ostrava, 2002



TITAN 30/11 – délka mikropiloty 4 m

Zatížení svislou silou [kN]	Maximální vertikální posun [mm]
10	0,746
50	3,670
100	7,570
130	10,410

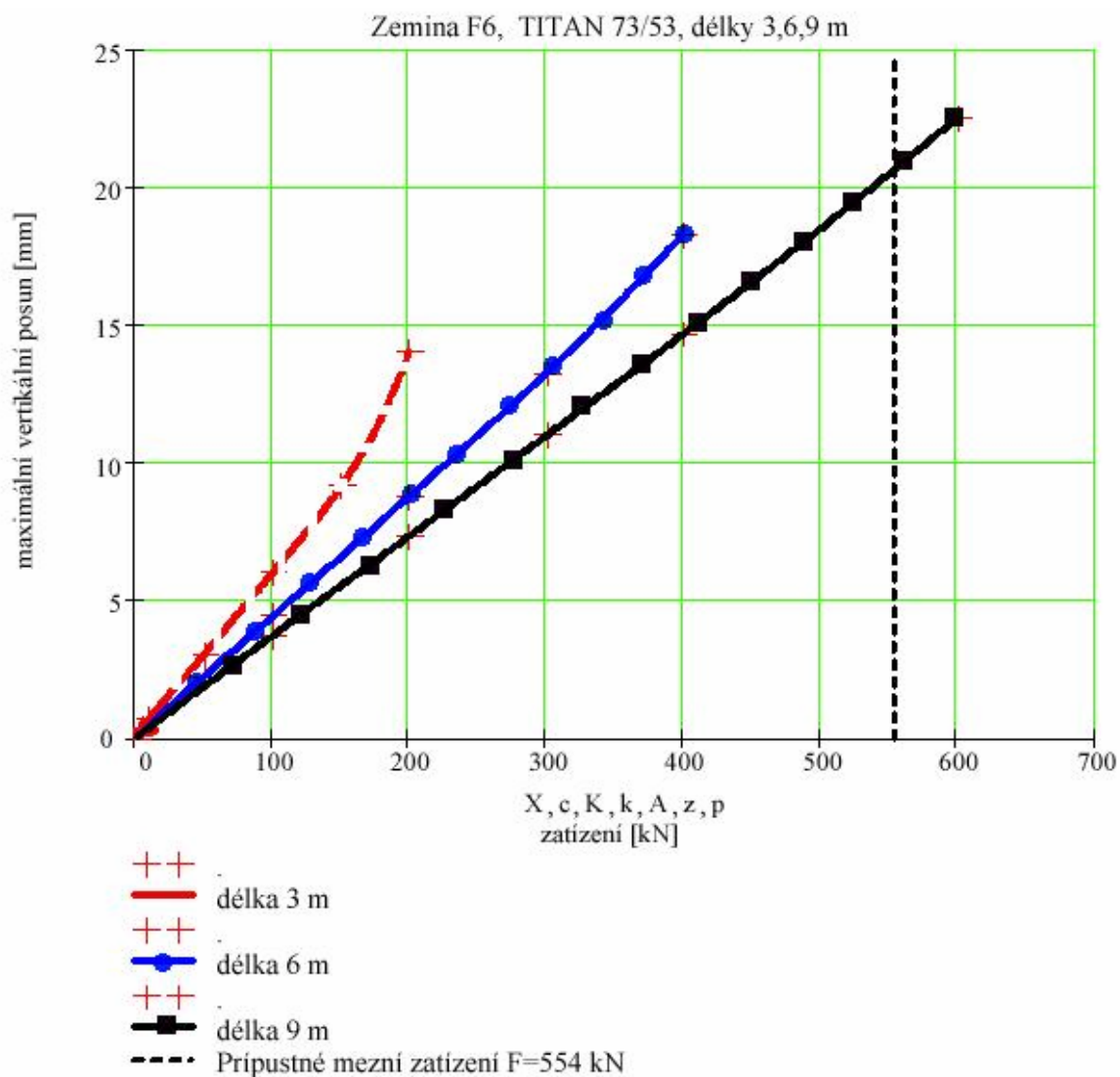
TITAN 30/11 – délka mikropiloty 6 m

Zatížení svislou silou [kN]	Maximální vertikální posun [mm]
50	3,190
100	6,420
150	10,000
200	14,090
220	15,830

TITAN 30/11 – délka mikropiloty 8 m

Zatížení svislou silou [kN]	Maximální vertikální posun [mm]
50	2,740
100	5,500
200	11,680
260	15,873

Obr.7. Příklad závislosti zatížení-sedání pro pilotu TITAN 30/11 v zemině F6.



TITAN 73/53 – délka mikropiloty 3 m

Zatížení svislou silou [kN]	Maximální vertikální posun [mm]
10	0,652
50	3,030
100	6,020
150	9,140
200	14,060

TITAN 73/53 – délka mikropiloty 9 m

Zatížení svislou silou [kN]	Maximální vertikální posun [mm]
100	3,710
200	7,350
300	11,000
400	14,700
600	22,580

TITAN 73/53 – délka mikropiloty 6 m

Zatížení svislou silou [kN]	Maximální vertikální posun [mm]
50	2,240
100	4,420
200	8,790
300	13,290
400	18,340

Obr.8. Příklad závislosti zatížení-sedání pro pilotu TITAN 73/53 v zemině F6.