

Geotechnika

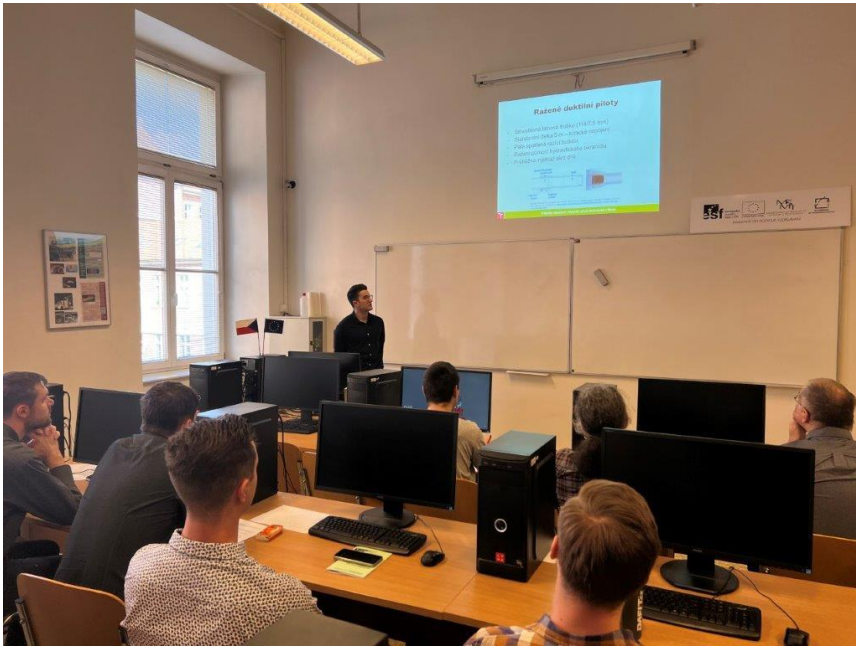
Garantující ústav: Ústav geotechniky
Vedoucí ústavu: doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Garant odborné sekce: Ing. Věra Glisníková, CSc.

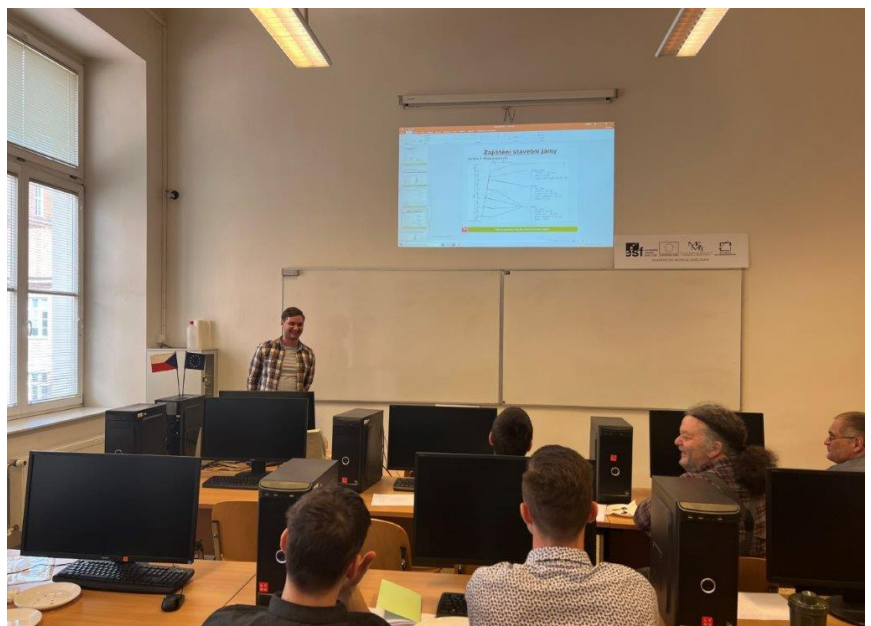
Odborná porota:
Předseda: Ing. Karel Zdražil, CSc.
Členové: Ing. Augustin Leiter, Ph.D.
Ing. Jaroslav Havlíček

Místo konání soutěže: FAST VUT v Brně, Veveří 331/95
III. patro, počítačová učebna GTN B331

Seznam soutěžních prací:

- 1. Vyhodnocení vybraných zatěžovacích zkoušek duktilních pilot instrumentovaných optovláknovými senzorickými systémy**
Řešitel: Christian Genzer, 4. ročník, B4K2
Vedoucí práce: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.
- 2. Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek trvalých horninových kotev osazených optovláknovými snímači**
Řešitel: Zdeněk Chylík, 4. ročník, B4K1
Vedoucí práce: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.
- 3. Rozbor možností využití metody FELA při analýze vnější stability vybraných geotechnických konstrukcí**
Řešitel: Petr Juračka, 4. ročník, B4K1
Vedoucí práce: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.
- 4. Aplikace metody přenosových funkcí pro stanovení mezní zatěžovací křivky mikropilot**
Řešitel: Matěj Mareš, 4. ročník, B4K3
Vedoucí práce: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.
- 5. Pažení stavební jámy**
Řešitel: Mykola Šajuk
Vedoucí práce: Ing. Věra Glisníková, CSc.







Vyhodnocení vybraných zatěžovacích zkoušek duktilních pilot instrumentovaných optovláknovými senzorickými systémy

Christian Genzer

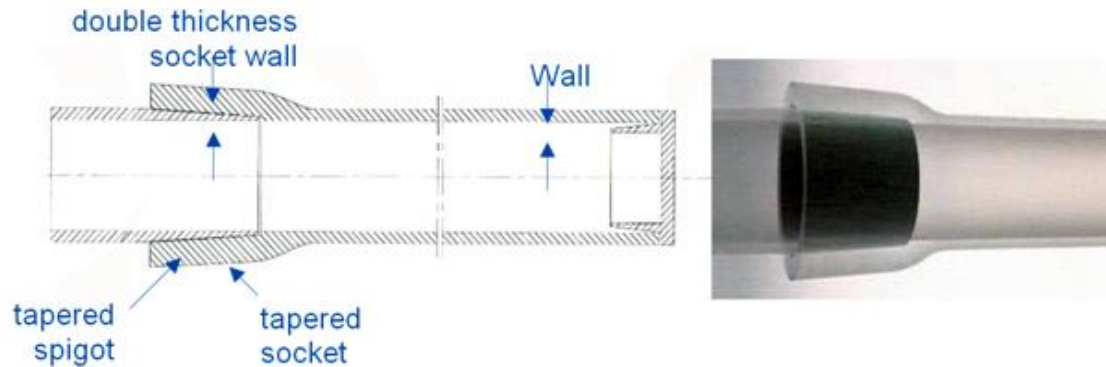
Vedoucí: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.

Ústav geotechniky

25. dubna 2023

Ražené duktilní piloty

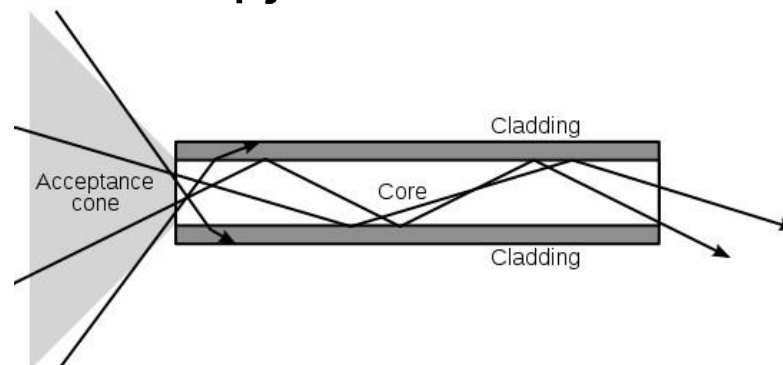
- Silnostěnná litinová trubka (118/7,5 mm)
- Standardní délka 5 m – kónické napojení
- Pata opatřená razící botkou
- Ražení pomocí hydraulického beranidla
- Průběžná injektáž skrz dřík



Simple Connections using Bell and Spigot Connections. Geotechniques: Terratest Company [online]. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.geotechniques.com/solutions/foundation-support/ductile-iron-piles-dips.html>

Distribuované optovláknové senzory (DFOS)

- Optické vlákno tvořeno čirým sklem + pláštěm + obalem
- Princip přirozeného rozptylu světla
- Většina světla projde skrz, malá část se však odrazí zpět
- Měří se čas odrazu světla, tím lze dopočítat vzdálenost libovolného bodu
- Porovnáním vzdáleností konkrétních bodů v počátečním stavu a ve stavu napjatosti lze určit hodnotu přetvoření



The Science Behind Optical Fibers. FiberFin [online]. [cit. 2023-03-26].
Dostupné z: <https://fiberfin.com/how-does-fiber-optics-work/>

Pozitiva & negativa DFOS

- Nekonečné množství měřících bodů
 - Snížení vzdálenosti měřících bodů z metrů na milimetry
 - Přehled o chování prvku v celé délce
 - Vysoká přesnost
-
- Vysoká přesnost a citlivost
 - Odolnost vůči okolním vlivům
 - Cena

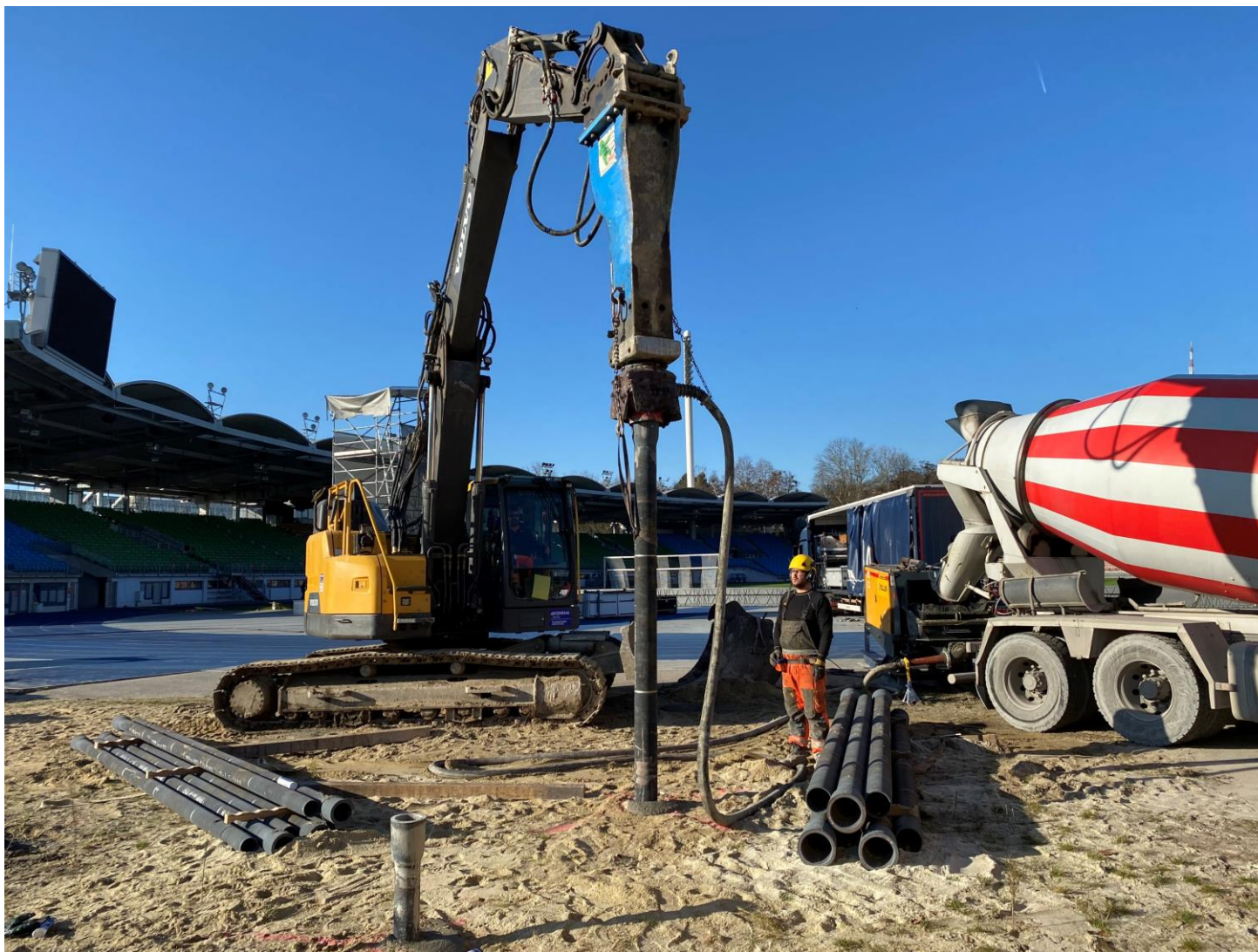


Cíle práce

- Provést systematické vyhodnocení dostatečného počtu zatěžovacích zkoušek (různé geologie)
- Vyfiltrovat oscilace v průběhu poměrných přetvoření způsobené přichycením optických vláken k tělu piloty
- Odfiltrovat vznik ohybu v průběhu zatěžování
- Sestavit průběhy poměrného přetvoření po délce piloty
- Stanovit průběhy mezního plášťového tření a korelovat je s razíciemi časy v jednotlivých segmentech
- Stanovit přenosové koeficienty K_{SHAFT} pro ověření hodnot získaných zpětnou analýzou zatěžovacích zkoušek

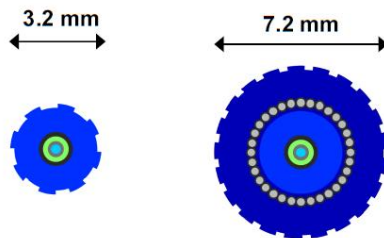
Přehled analyzovaných pilot

Lokalita	Hollern	Fronius International, Sattledt		Lask Station, Linz		WLC Wolfganggasse, Wien	
Dominantní geologie	Jíl	Jíl písčitý, štěrk písčitý		Jemný písek, písčitý štěrk		Hlína, písčitý jíl	
Typ zkoušky	Tlak	Sekundární HPS (tah)	Tlak	Sekundární HPS (tah)	Terciární HPS (tah)	Sekundární HPS (tah)	Terciární HPS (tah)
Délka piloty [m]	9,0	12,1	11,7	14,7	14,7	18,2	18,2
Průměr piloty [cm]	23	26	23	28	28	22	22
Průměr trubky [mm]	118/7,5	170/9,0	170/9,0	170/9,0	170/9,0	118/7,5	118/7,5
Maximální zatížení [kN]	800	1130	1890	2000	2000	1000	1000



Průběh měření

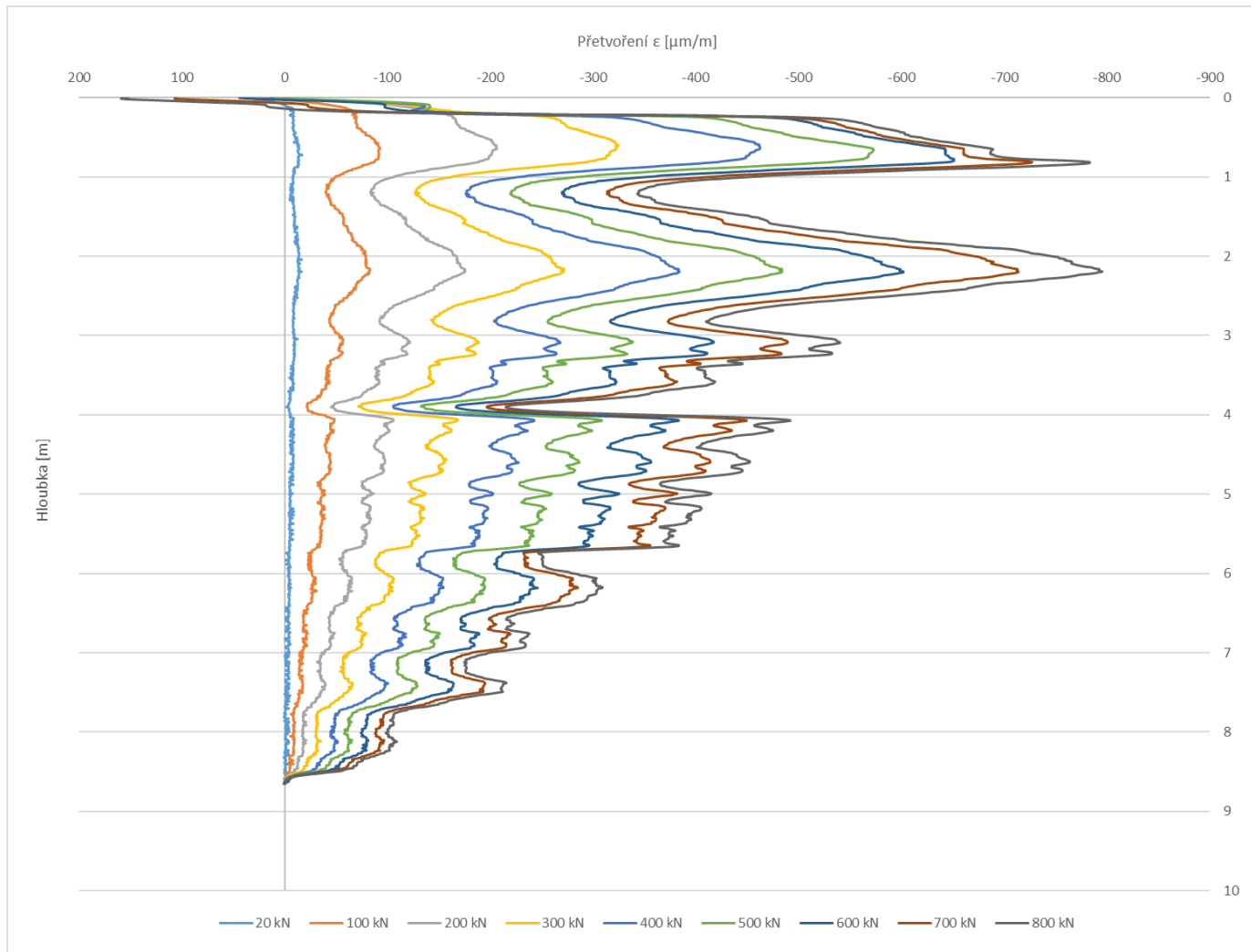
- Každá pilota opatřena min. 2 optickými kabely naproti sobě téměř po celé délce piloty
- V průběhu ražby standardně měřena spotřeba betonu a razící čas
- Během zatěžování zaznamenáváno poměrné přetvoření po centimetrech pro jednotlivé zatěžovací kroky



Ergebnisse der faseroptische Messungen Besprechung mit der Fa. Keller Grundbau, 30.07.2018:
INSTITUT FÜR INGENIEURGEODÄSIE UND MESSSYSTEME. Graz, 2018.

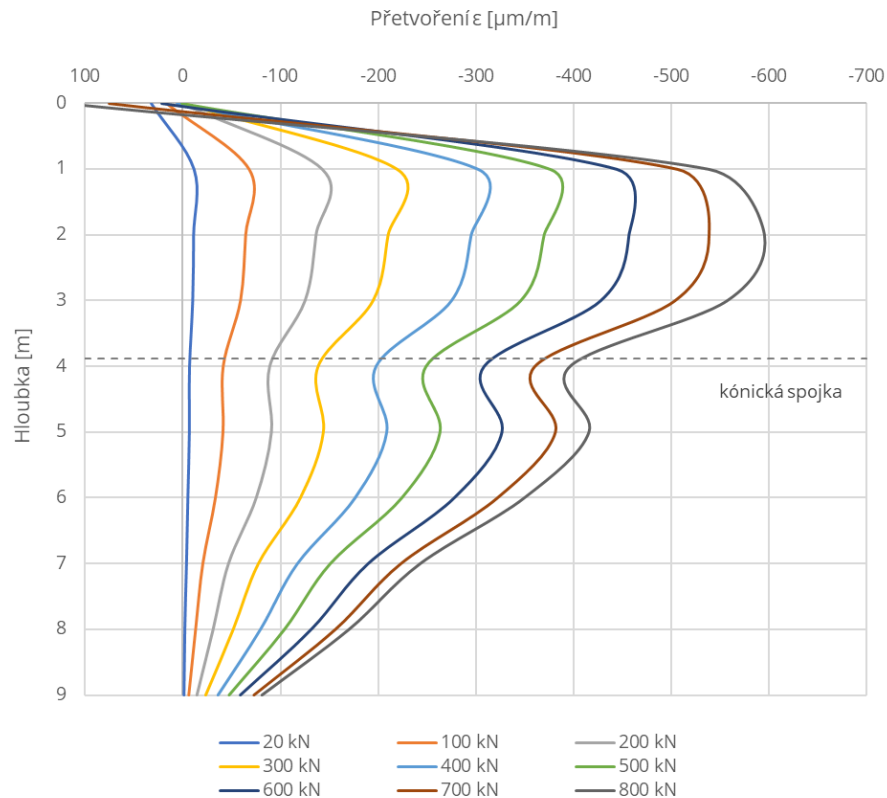


Nevýhoda vysoké přesnosti a citlivosti měření - Hollern



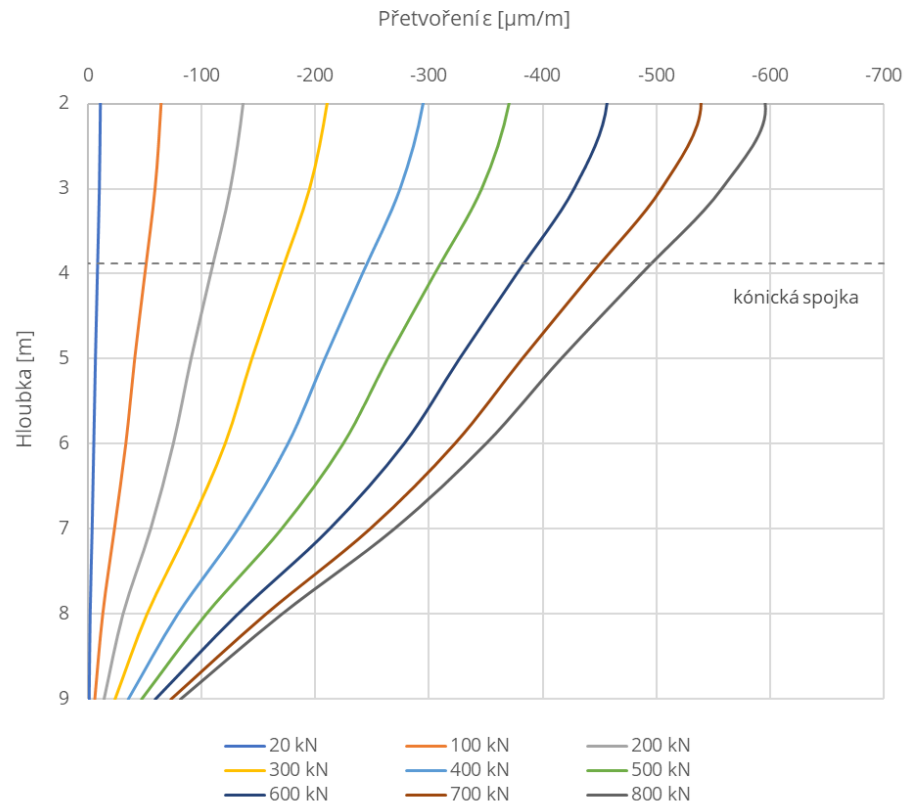
Postup vyhodnocení

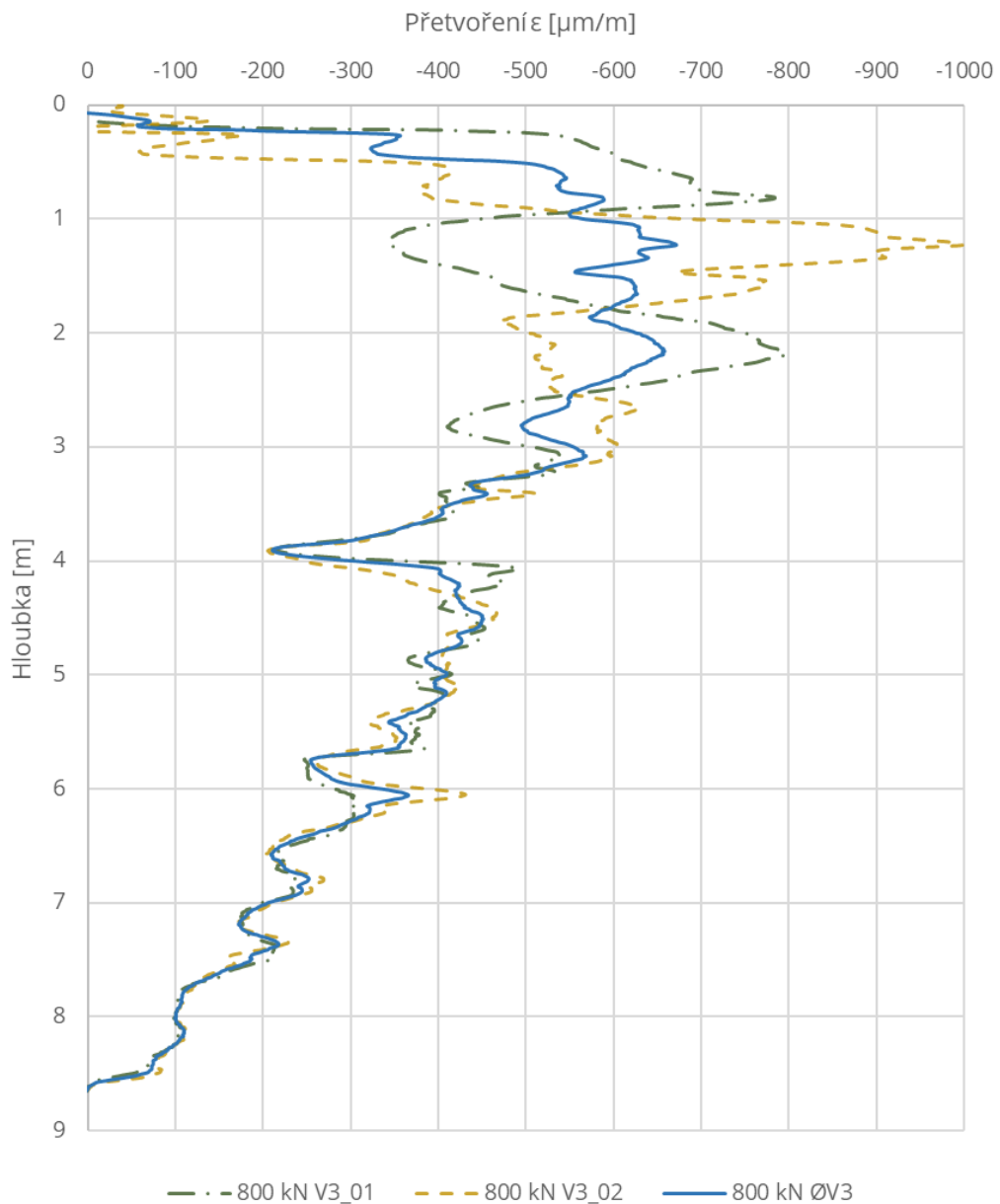
- Pilota rozdělena na metrové úseky
- Stanoven medián přetvoření reprezentující každý segment



Postup vyhodnocení

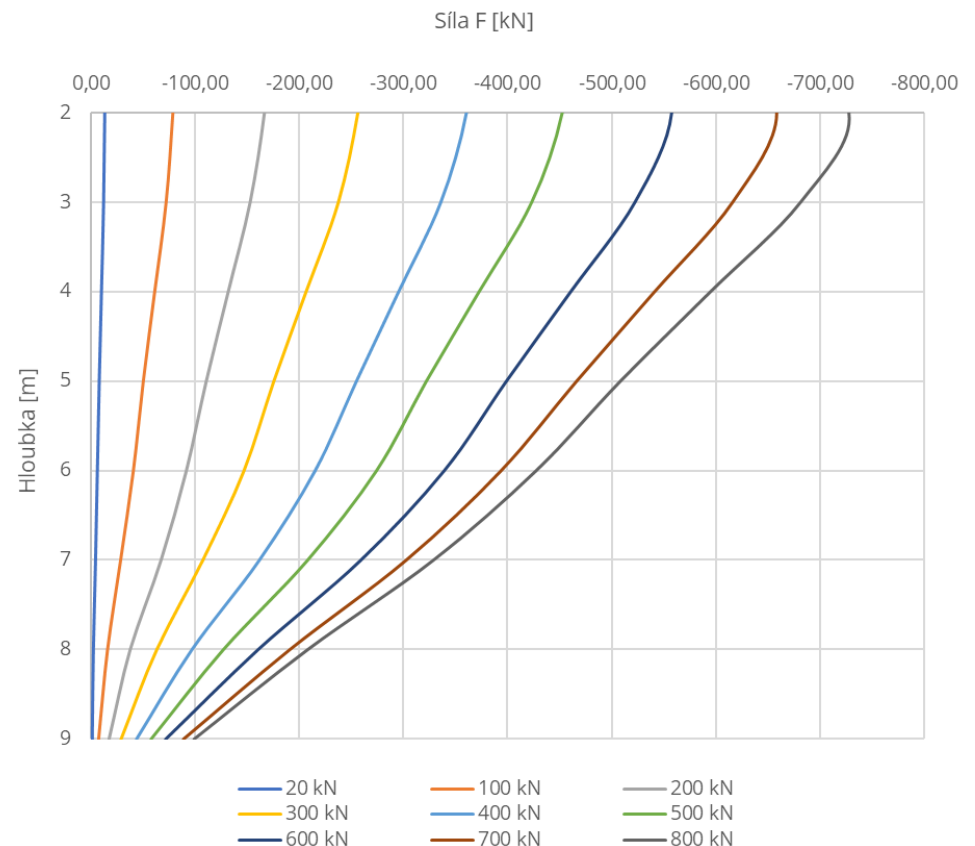
- Částečné odfiltrování ohybu
- Vyřazení silně zkreslených úseků





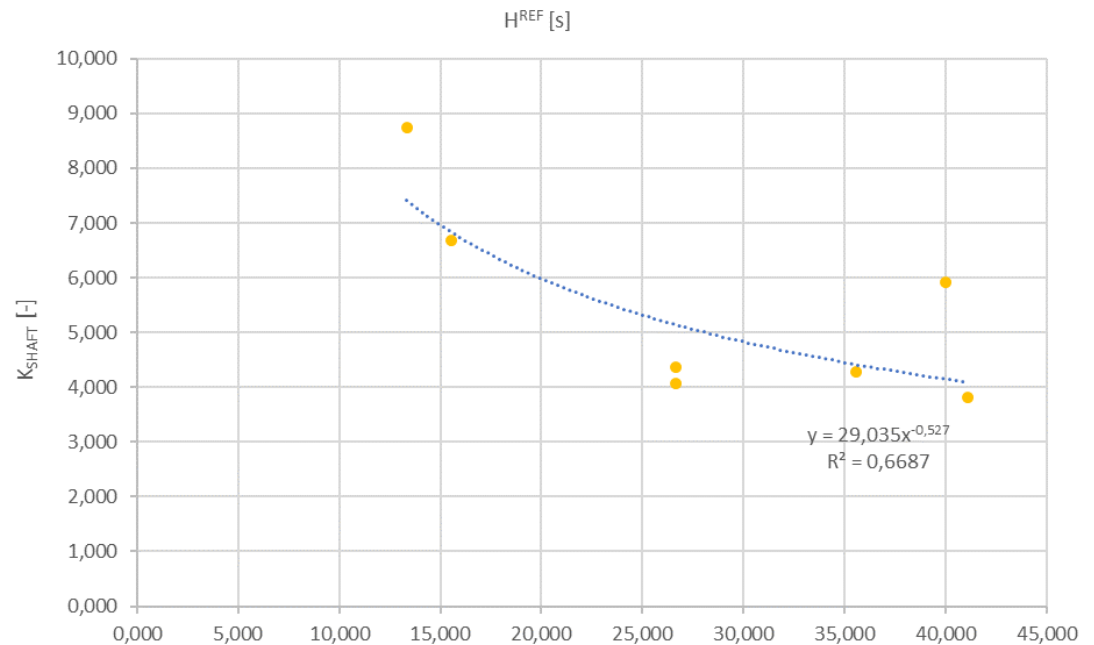
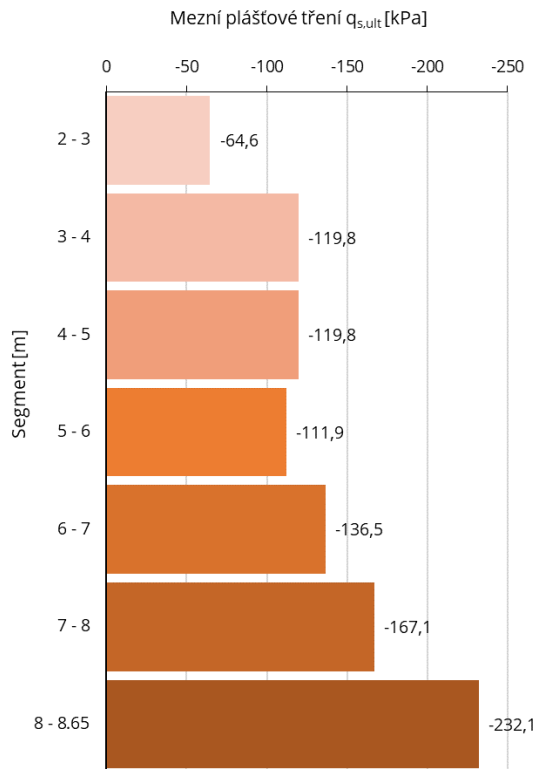
Postup vyhodnocení

- Výpočet sil
- U tahových zkoušek byl navíc zohledněn vliv dosažení pevnosti betonu v tahu
- Redukce průřezu při dosažení P_{cr}



Postup vyhodnocení

- Stanovení mezního plášťového tření
- Stanovení koeficientů K_{SHAFT}



Děkuji za pozornost



Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek trvalých horninových kotev osazených optovláknovými snímači

ústav geotechniky

Vedoucí práce SVOČ: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.

Zdeněk Chylík

25. dubna 2023

Lokalita

- Bratislava
 - Dvořákovo nábřeží
 - Vydrica

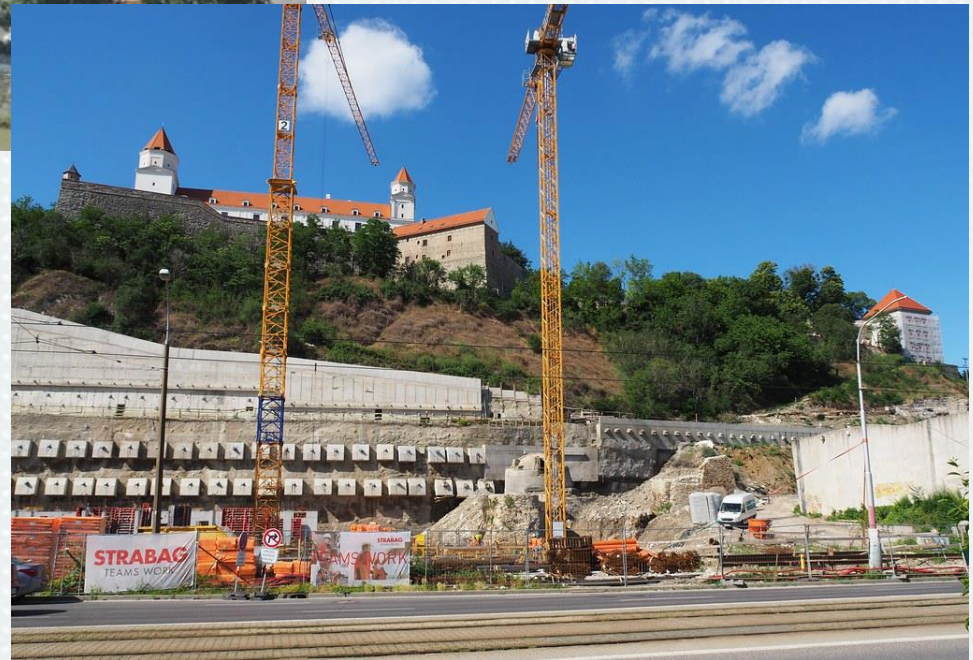


[02] Bratislava, Slovensko, Vydrica, Vodná veža, nábr. Armádného generála Ludvíka Svobodu (20220606). Flickr [online] Sutton: Flickr, Inc., ©2021 [cit.19.04.2023]. Dostupné z : <https://www.flickr.com/photos/monudet/52131904244>

[01] WOSCHITZ H., WINKLER M., Fiber Optic Measurements during load tests and prestressing of Ground-Anchor #36 and #52 [zpráva z měření]. 06.07.2021 [cit. 19.04.2023]

Kotvy:

- #36, #52
- $l_b = 20 \text{ m}$
- $l_f = 30 \text{ m}$
- 19 pramenců



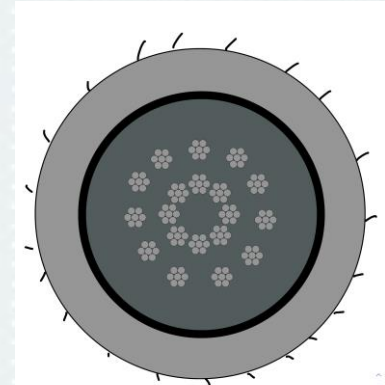
Technologie zajištění

Zajištění svahu

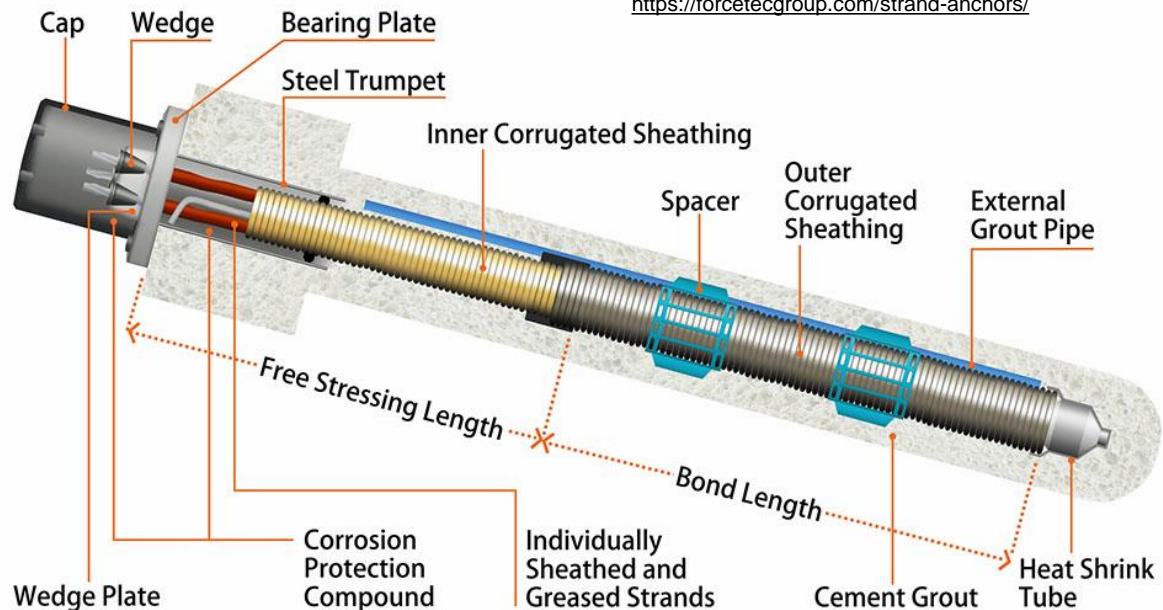
- Více než 150 trvalých kotev
- 40 m – 70 m
- Zkoušecí síly v jednotkách MN

Trvalé horninové kotvy

- Životnost jako konstrukce
- 2 antikoroziní ochrana



Permanent Strand Anchor



[03] Ground Anchors, ForceTec [online] Dubai : ForceTec LLC , ©2021 [cit 19.04.2023]. Dostupné z: <https://forcetecgroup.com/strand-anchors/>

Strand Anchor – pramencová kotva

Wedge – kuželík

Wedge plate – kotevní objímka

Cap – víko

Bearing plate – kotevní deska

Steel Trumpet – ocelová průchodka

Spacer – distančník

Corrugated sheathing – vrubovaná trubka

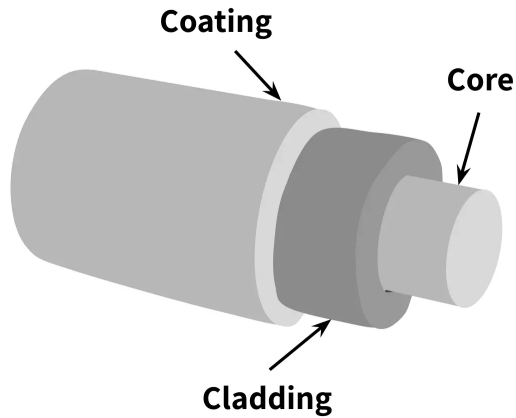
Cement grout – cementová injektáž

External grout pipe – vnější injektážní trubice

Free stressing length – volná délka táhla

Bond length – kořenová délka

Optická vlákna



- Kontinuální měření po celé délce
- 5 snímačů na kotvu (nyní využity 4)
 - 2x pramenec
 - 1x vnitřní injektáž
 - 1 x vnější injektáž

„core“ – skleněné jádro

„cladding“ – reflexní vrstva

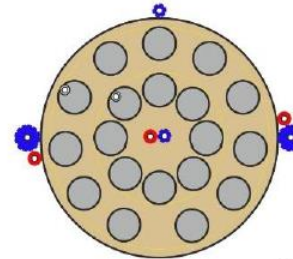
„coating“ – ochranný plášť

[04] How does and optical strain gauge work?. Tacuna Systems [online] Johnson Rd., Unit 17364: Tacuna Systems ©2021 [cit. 19.04.2023]. Dostupné z: <https://tacunasystems.com/knowledge-base/how-does-an-optical-strain-gauge-work/>

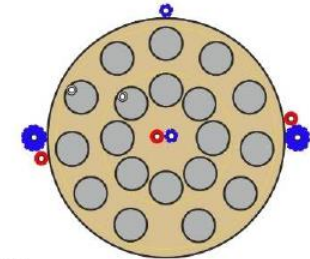


[01]

anchor #36



anchor #52

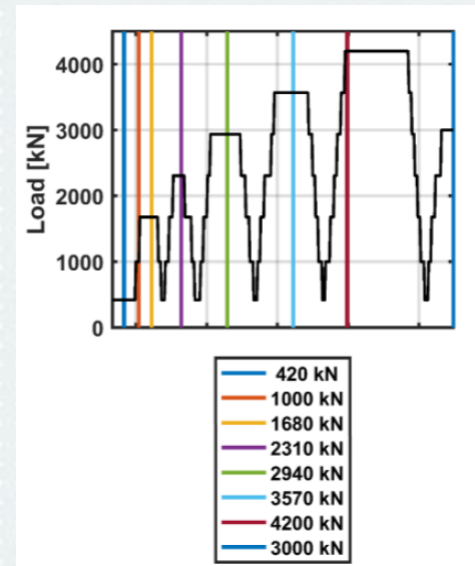
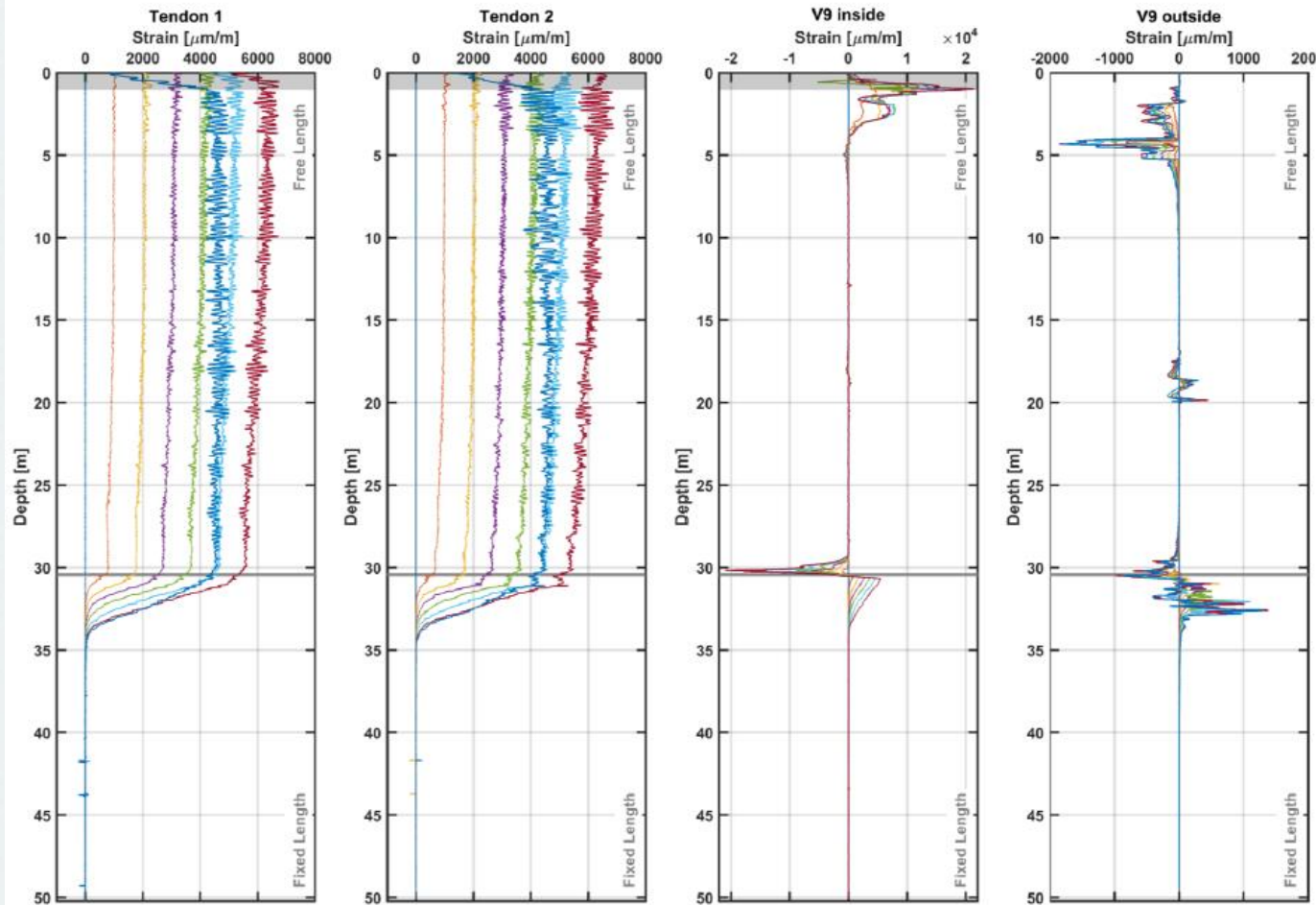


sensor cable types

- ϵ - #01
- ϵ - #02
- ϵ - #03
- t°

[01] WOSCHITZ H., WINKLER M., Fiber Optic Measurements during load tests and prestressing of Ground-Anchor #36 and #52 [zpráva z měření]. 06.07.2021 [cit. 19.04.2023]

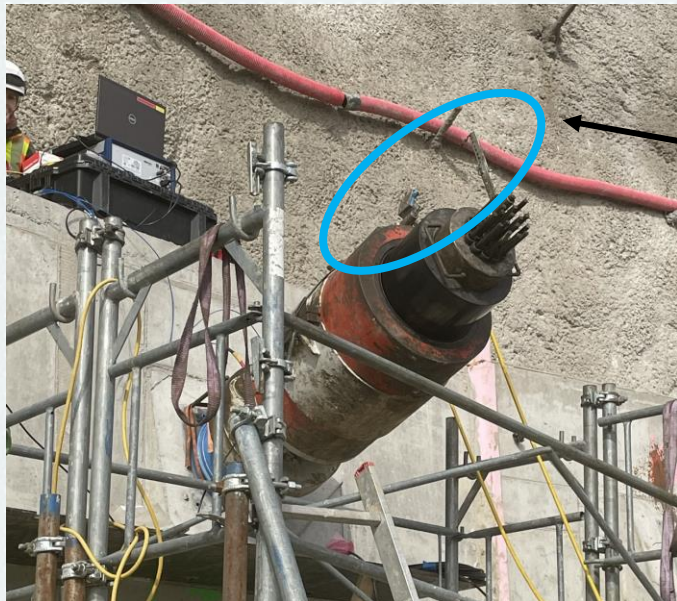
Záznam z optických vláken



[01] WOSCHITZ H., WINKLER M., Fiber Optic Measurements during load tests and prestressing of Ground-Anchor #36 and #52 [zpráva z měření]. 06.07.2021 [cit. 19.04.2023]



Standardní měření



Potenciometr



Vydrica

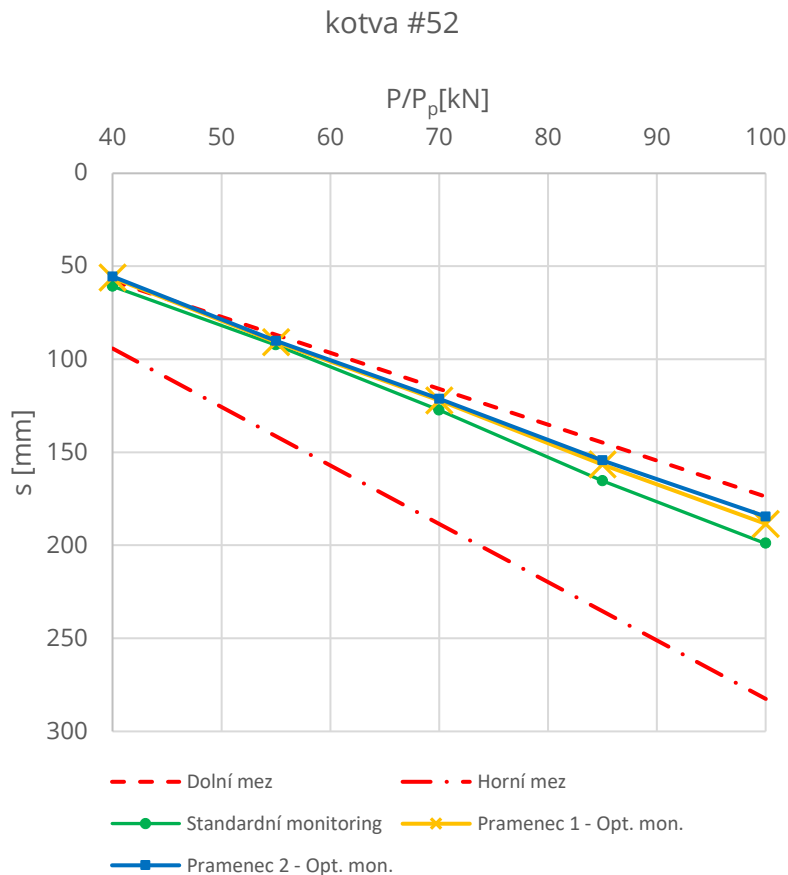
Preukážna skúška kotvy

KELLER		Preukážna skúška podľa EN ISO 22477-5																			
Vydrica		Kotvy																			
Kotva č.:	hlavica c.52	Stavba č.:	S 550 190043																		
		Majster:	Drábik Jozef																		
Merané hodnoty:																					
P/P _p	Tlak	Sila	Pozorovací čas (min)																		
			0	1	2	3	4	5	7	10	15										
[%]	[bar]	[kN]	0,00																		
10	44	420	0,00																		
40	186	1680	71,52	71,82	72,00	72,06	72,18	72,24	72,30	72,30	72,30										
10	44	420	14,01	11,54																	
40	186	1680	74,23	74,35																	
55	257	2310	108,03	108,15	108,27	108,45	108,51	108,57	108,63	108,69	108,69										
40	186	1680	92,45	90,95																	
10	44	420	18,82	16,30																	
40	186	1680	79,58	79,64																	
55	257	2310	112,12	112,18																	
70	328	2940	147,37	147,43	147,49	147,55	147,61	147,61	147,67	147,73	147,79										
55	257	2310	133,78	132,21																	
40	186	1680	98,83	96,30																	
10	44	420	22,85	20,63																	
40	186	1680	84,03	84,09																	
55	257	2310	117,00	117,12																	
70	328	2940	150,74	150,80																	
85	399	3570	185,81	186,05	186,11	186,17	186,23	186,23	186,30	186,35	186,41										
70	328	2940	174,80	174,38																	
55	257	2310	140,46	138,71																	
40	186	1680	103,46	100,87																	
10	44	420	25,14	24,30	21,23																
40	186	1680	84,45	84,45																	
55	257	2310	117,84	117,90																	
70	328	2940	151,82	151,89																	
85	399	3570	185,93	186,05																	
100	471	4200	221,42	221,48	221,66	221,66	221,72	221,72	221,84	221,97	222,15										
85	399	3570	213,66	213,24																	
70	328	2940	179,07	176,97																	
55	257	2310	142,56	139,97																	
40	186	1680	104,60	102,38																	
10	44	420	25,32	23,46																	
71	335	3000	159,40																		
*																					
P/P _p	Tlak	Sila	Pozorovací čas (min)																		
			20	25	30	45	60	90	120	150	180										
[%]	[bar]	[kN]																			
70	328	2940	147,85	147,98	147,98																
85	399	3570	186,47	186,53	186,59																
100	471	4200	222,21	222,27	222,27	222,45	222,51														

Cíle SVOČ

- Srovnání standardního monitoringu a monitoringu pomocí optických snímačů při posouzení výpočtové volné délky
- Stanovení plášťového tření ve volné délce
- Popis chování všech částí kotvy (pramence, vnitřní injektáž, vnější injektáž)

Komparace 2 metod měření při vyhodnocování L_{app}



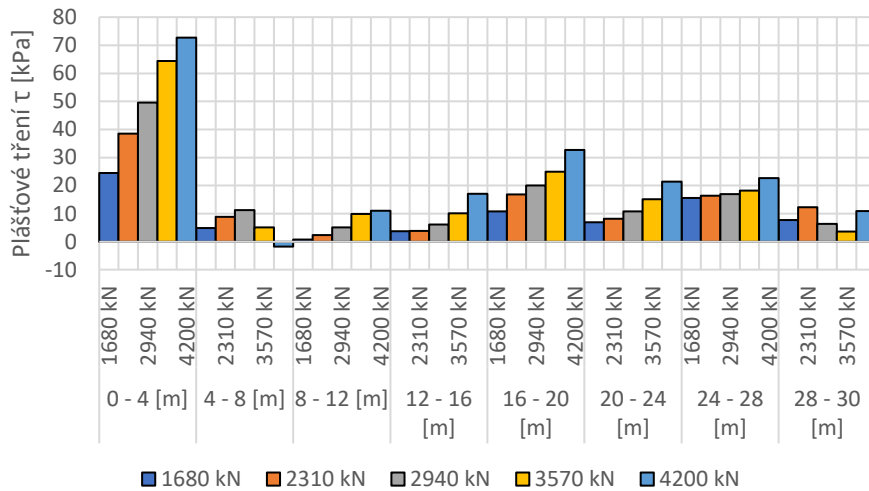
- Větší hodnoty ze standardního měření
- Podobný trend – blíže k dolní hranici
- Data z optických kabelů téměř totožná

Dílčí závěr:

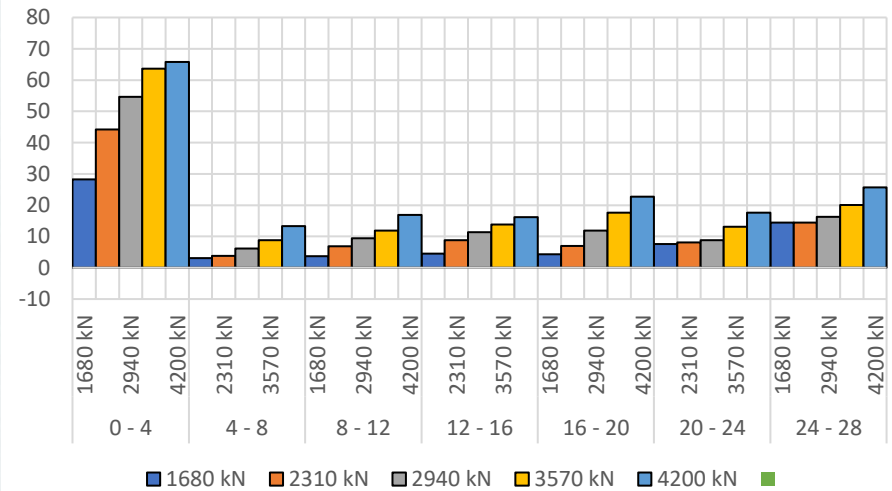
- Možné zatlačení kotevní hlavy dle svědectví ze stavby
- Oscilace negativně ovlivní prodloužení

Stanovení a zobrazení plášťového tření ve volné délce

Plášťové tření ve volné délce - τ
Pramenec 1 - kotva #52



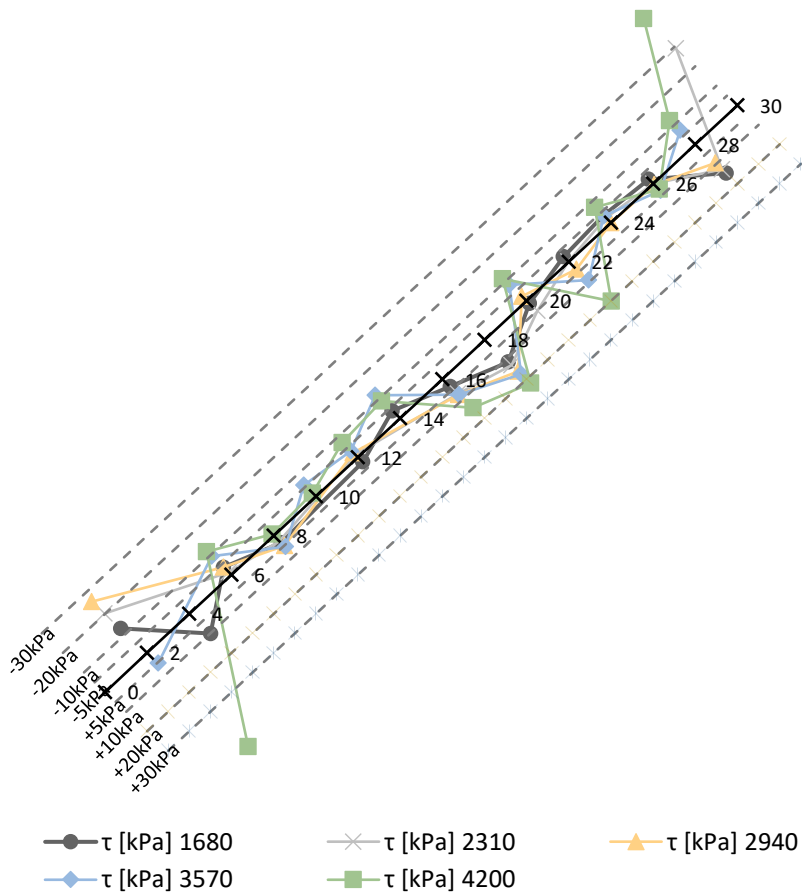
Plášťové tření ve volné délce po 4 m
Pramenec 2 - kotva 52



- Nutné po intervalech – oscilace
- Zvětšení tření - > Možné zakřivení vrtu

Srovnání plášťového tření

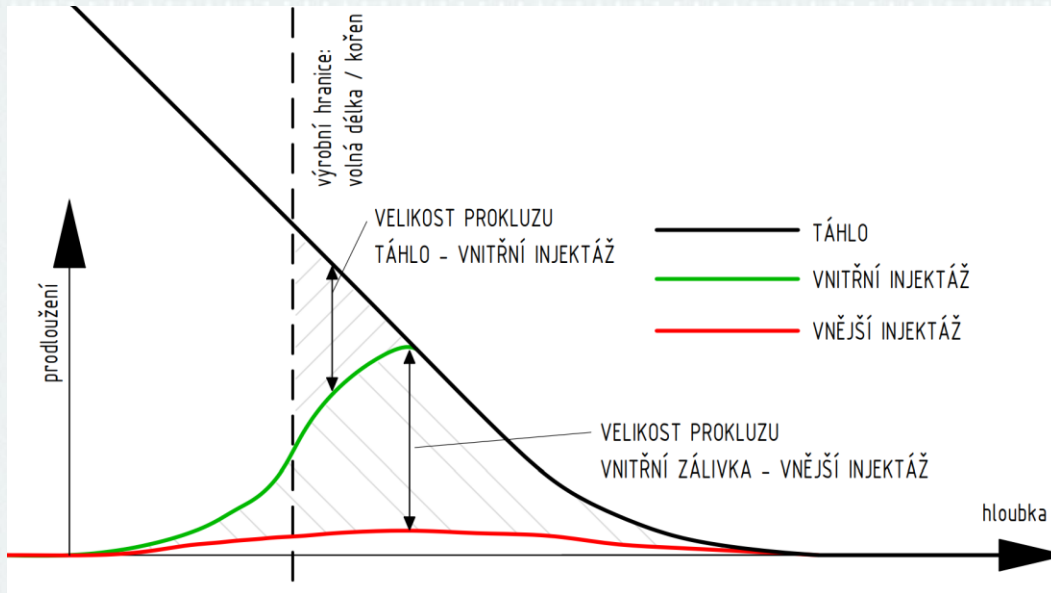
52: $\tau_{\text{pramenec-1}} - \tau_{\text{pramenec-2}}$



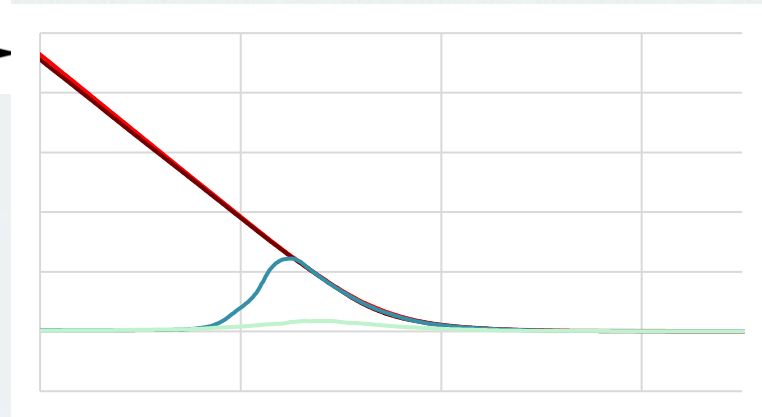
- V rámci jedné kotvy rozdíl v absolutních hodnotách
- Odlišnosti v převážně do 5 kPa

Chování kotvy volná délka / kořen

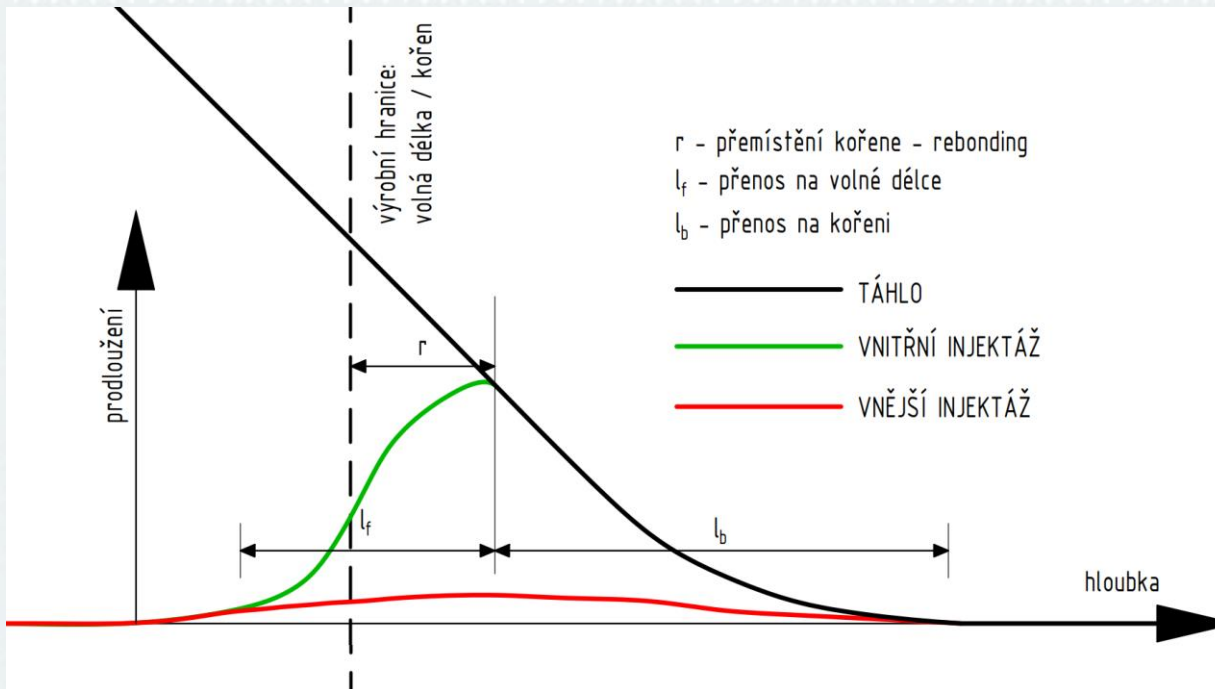
Ideální stav – stejné prodloužení v táhle, vnitřní i vnější injektáži (Přenos do skalního prostředí)



- Prokluz táhlo – vnitřní injektáž
- Prokluz vnitřní inj. – vnější inj.



Chování kotvy volná délka / kořen



Kotva #52						
	P/P_p [%]	r [cm]	l_f^t [cm]	l_b^t [cm]	l_f^t [%]	l_b^t [%]
Pramenec 1	40	51	77	210	27	73
	55	57	102	238	30	70
	70	60	107	259	29	71
	85	61	121	290	29	71
	100					

Závěry

- „Nadhodnocené“ výsledky – standardní monitoring
- Žádné příliš extrémní hodnoty tření
- Posun kořene = „Rebonding“
- Prokluz mezi injektážemi = nejslabší rozhraní je na PE trubici

Možné pokračování v tématu

- Setrvání monitoringu kotev stejnou technologií
- Korekce dat naměřených optickými snímači
- Matematické modelování rozhraní: volná délka / kořen

**děkuji Vám
za pozornost**

www.fce.vutbr.cz

Zdroje

[01] WOSCHITZ H., WINKLER M., Fiber Optic Measurements during load tests and prestressing of Ground-Anchor #36 and #52 [zpráva z měření]. 06.07.2021 [cit. 19.04.2023]

[02] Bratislava, Slovensko, Vydrica, Vodná veža, nábr. Armádneho generála Ludvíka Svobodu (20220606). Flickr [online] Sutton: Flickr, Inc., ©2021 [cit.19.04.2023]. Dostupné z : <https://www.flickr.com/photos/monudet/52131904244>

[03] Ground Anchors, ForceTec [online] Dubai : ForceTec LLC , ©2021 [cit 19.04.2023]. Dostupné z: <https://forcetecgroup.com/strand-anchors/>

[04] How does and optical strain gauge work?, Tacuna Systems [online] Johnson Rd., Unit 17364: Tacuna Systems ©2021 [cit. 19.04.2023]. Dostupné z: <https://tacunasystems.com/knowledge-base/how-does-an-optical-strain-gauge-work/>



Rozbor možností využití metody FELA při analýze vnější stability vybraných geotechnických konstrukcí

Zpracoval: Petr Juračka

Vedoucí práce: Ing. Juraj Chalmovský Ph.D.

25. duben 2023

FELA

- FELA= Finite element limit analysis
- OPTUM G2 (FEM)
- Limitní analýza [2]

$$FoS = \frac{\tan\varphi'}{\tan\varphi'_{mobilized}} = \frac{c'}{c'_{mobilized}}$$

FELA – Lower bound

- Výchozí zatěžovací rovnice [1]

$$c_1^T \sigma + c_2^T h$$

- Podmínky [1]

$$A_{11}\sigma + A_{12}h = b_1$$

$$A_2\sigma = b_2$$

$$f(\sigma^i) \leq 0$$

FELA – Upper bound

- Výchozí zatěžovací rovnice [1]

$$c_1^T u + c_2^T \lambda - c_3^T u$$

- Podmínky [1]

$$A_{11}u + A_{12}\lambda = 0$$

$$A_2u = 0$$

$$A_3u = 0$$

$$A_4u \leq 0$$

$$\lambda \geq 0$$

Metoda redukce smykové pevnosti

- Proces několika kroků [1]
 1. $F_0=1$
 2. $c_a' = c'/F_0$ $\varphi_a' = \varphi'/F_0$
 3. $\gamma_p \rightarrow m_0 = \gamma_p / \gamma$
 4. $m_0 < 1 \rightarrow F_1 = F_0 + 0,1$
 5. $c_a' = c'/F_1$ $\varphi_a' = \varphi'/F_1$
 6. $\gamma_p > 1 \rightarrow m_1 = \gamma_p / \gamma$
 7. $(m_1 - 1)(m_0 - 1) > 0 \rightarrow m_0 = m_1 \rightarrow F_0 = F_1$

Problém plasticity

- Asociovaná plasticita
 - $F=Q$
 - $\varphi=\psi$
 - $\Delta\varepsilon_P=0$
 - Přírůstky deformací závisí na normále k ploše Q když je identická s F tak je to zároveň normála k ní
 - Snazší výpočet
 - Nahodnocení dilatance

Problém plasticity

- Neasociovaná plasticita
 - $F \neq Q$
 - $\varphi \neq \psi$
 - $\Delta \varepsilon_P \neq 0$
 - Přírůstky plastických deformací závisí na normále k ploše Q , která není identická s plochou F
 - Komplikovanější výpočet
 - Dilatance více odpovídá realitě

Davisův přístup

- Použit pro neasociovanou plasticitu [2]
- $c^* = \beta \cdot c'$
- $\tan\varphi^* = \beta \cdot \tan\varphi'$

- Rozdělení
 - A – neměnný φ i β
 - B – proměnné φ i β
 - C – proměnné β a neproměnné φ

OPTUM G2

ACADEMIC LICENSE - NOT FOR COMMERCIAL USE

Properties

General	
ID	1
Unit Weight Type	Favourable
Material	
Name	MC Basic
Material Model	Mohr-Coulomb
Color	█ click to change
Reducible Strength	Yes
Strength	
c (kPa)	14.14
ϕ (°)	35.26
Tension Cut-Off	
Tension Cut-Off	No
Unit weights	
γ_{sat} (kN/m ³)	20
γ_{sat} (kN/m ³)	20
Hydraulic Model	
K_x (m/day)	1E-3
K_y (m/day)	1E-3
Advanced Settings	
Not relevant to analysis	

Lower Upper

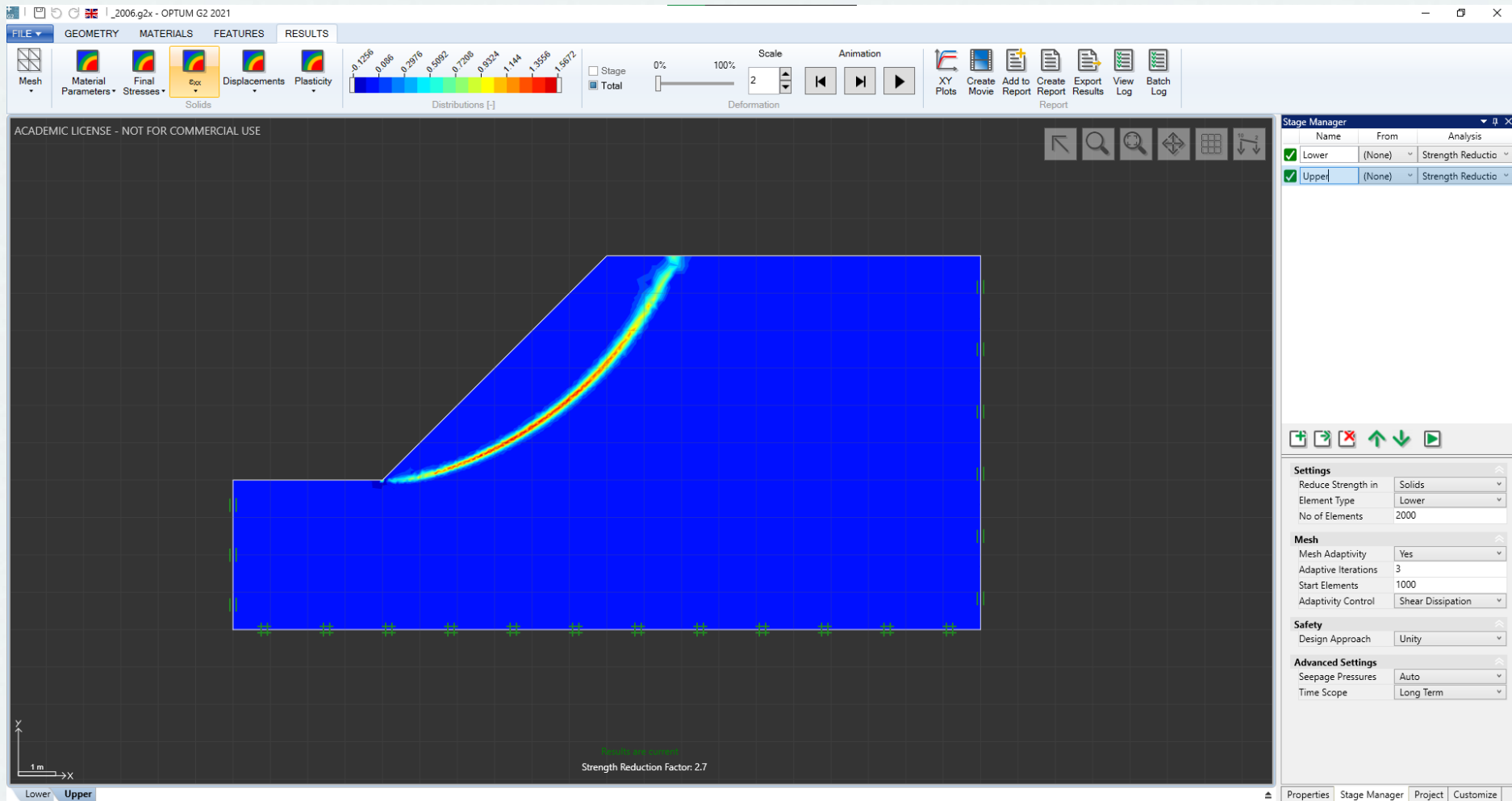
Absolute: 24.65, 4.91 | ABS / REL

Properties | Stage Manager | Project | Customize

220046@vutbr.cz, Academic license, Expires 13 Apr 2023

Obr. 1 Optum G2 rozhraní, autor

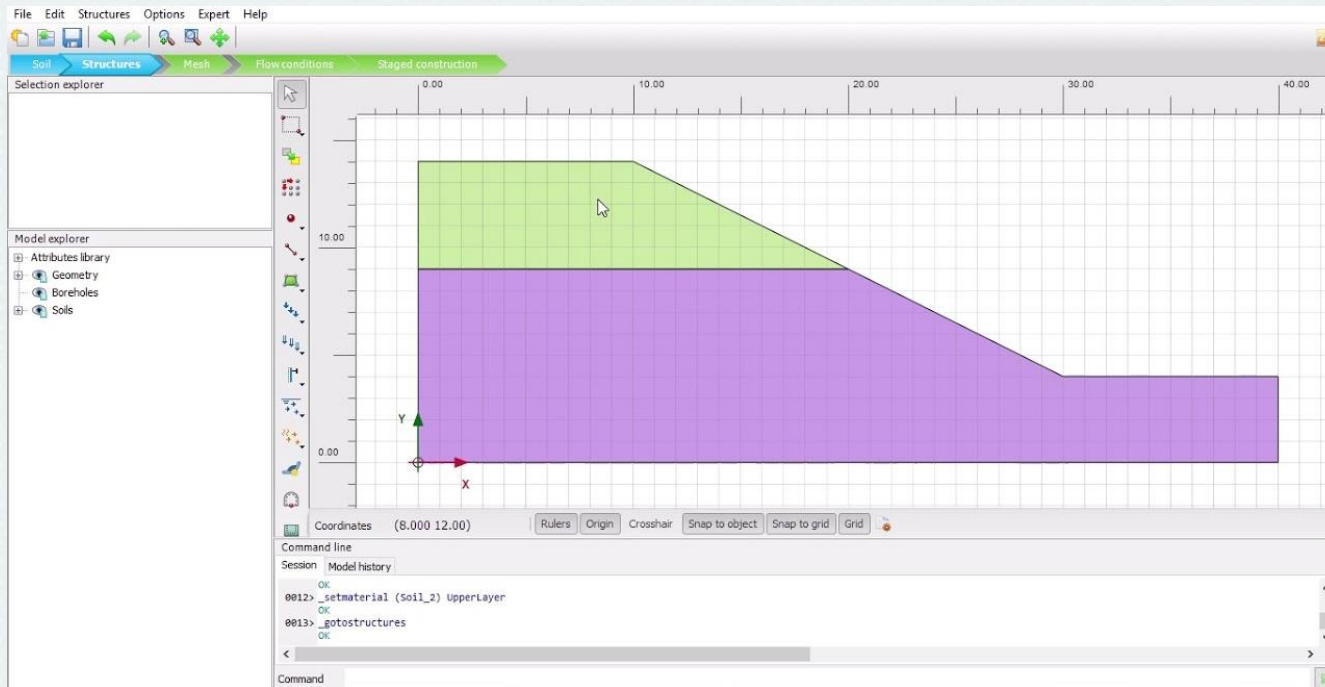
OPTUM G2



Obr. 2 Optum G2 rozhraní výsledků, autor

Benchmark

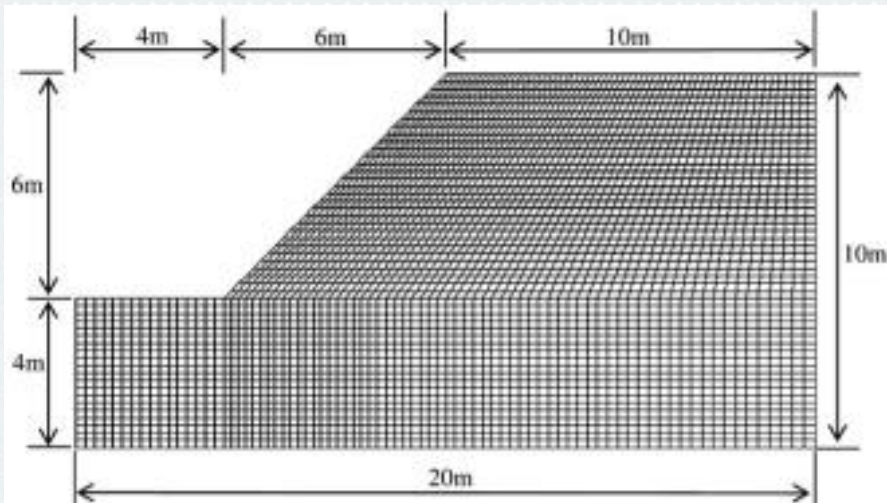
- Výběr úloh
- Adekvátní porovnání výsledků
- Plaxis 2D



Obr. 3 Plaxis 2D rozhraní, autor

Benchmark

- Odvodněné podmínky
 - Homogenní svah sklon 1:1



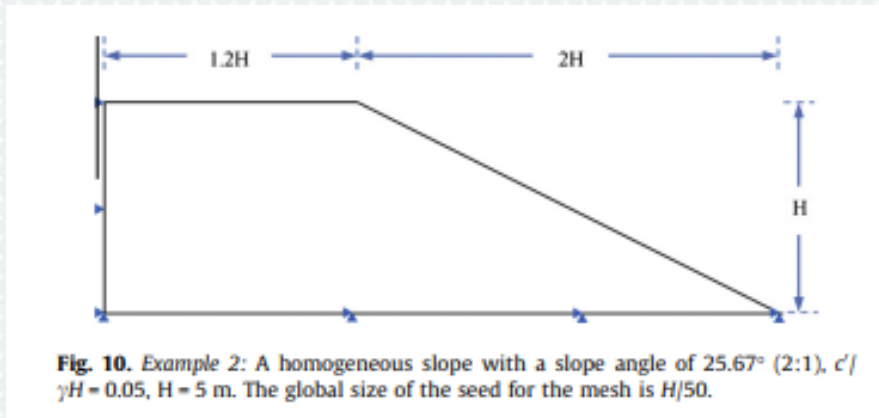
Obr. 4 Homogenní svah s podložím [3]

FoS

- FELA asoc. LB=2,756 UB=2,698
- FELA neasoc. LB=1,907 UB=1,942
- SRM asoc. FoS=2,69
- SRM neasoc. FoS=2,544
- SRM Davis A FoS=1,767

Benchmark

- Odvodněné podmínky
 - Homogenní svah sklon 2:1



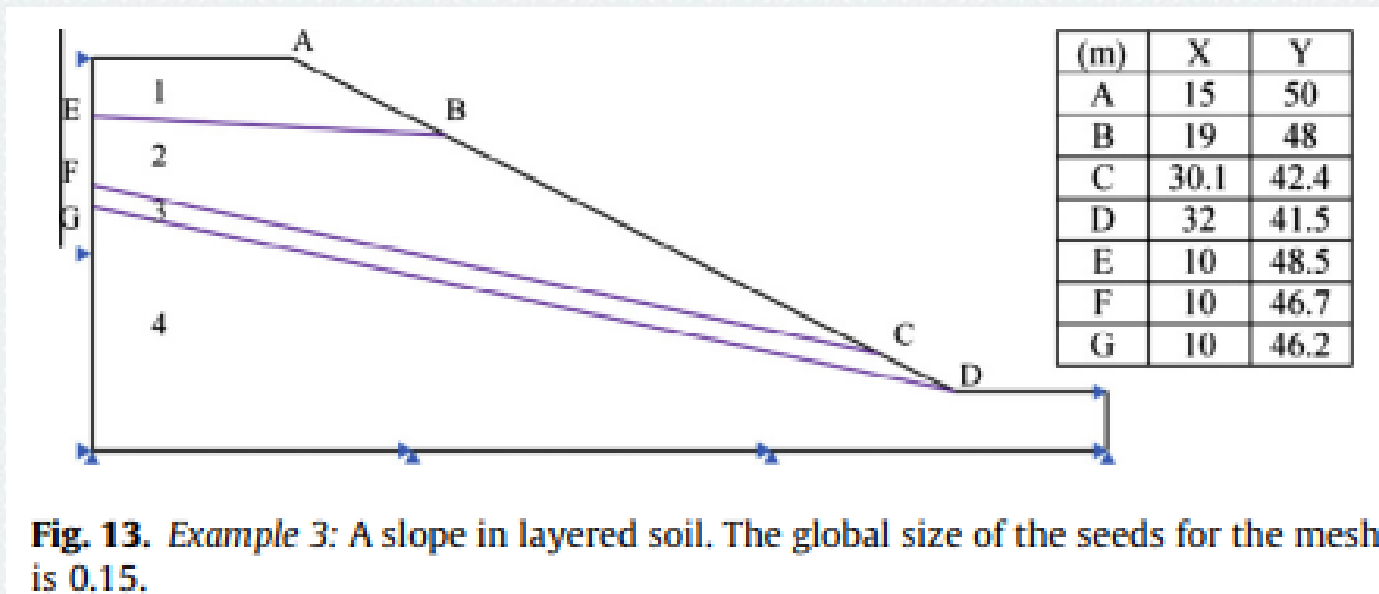
Obr. 5 Homogenní svah bez podloží [4]

FoS

- FELA asoc. LB=1,373 UB=1,386
- FELA neasoc. LB=1,288 UB=1,3
- SRM asoc. FoS=1,276
- SRM neasoc. FoS=1,250
- SRM Davis A FoS=1,194

Benchmark

- Odvodněné podmínky
 - Nehomogenní svah s oslabenou vrstvou



Obr. 6 Svah s oslabenou vrstvou [4]

Benchmark

- Odvodněné podmínky
 - Nehomogenní svah s oslabenou vrstvou

FoS

- | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------|
| • FELA asoc. | LB=1,124 | UB=1,151 |
| • FELA (wl Davis zbytek asoc.) | LB=1,114 | UB=1,38 |
| • SRM asoc. | FoS=1,026 | |
| • SRM neasoc. | FoS=1,020 | |
| • SRM vše Davis A | FoS=0,998 | |
| • SRM (wl Davis A zbytek neasoc.) | FoS=1,015 | |
| • SRM (wl Davis A zbytek asoc.) | FoS=1,014 | |

Benchmark

- Neodvodněné podmínky
 - Nehomogenní svah

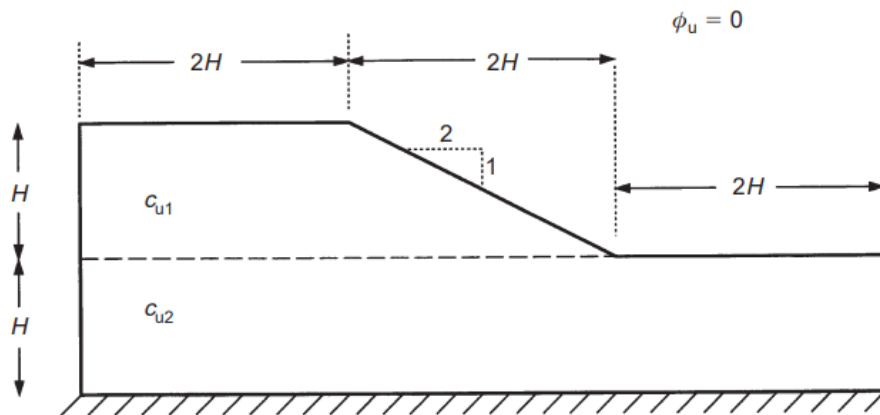


Fig. 9. Example 4: Undrained clay slope with a weak foundation layer ($D = 2$, $c_{u1}/\gamma H = 0.25$)

FoS

FELA LB=1,441 UB=1,456

SRM FoS=1,455

Obr. 7 Nehomogenní svah s oslabeným podložím [5]

Benchmark

- Neodvodněné podmínky
 - Nehomogenní svah s oslabenou vrstvou

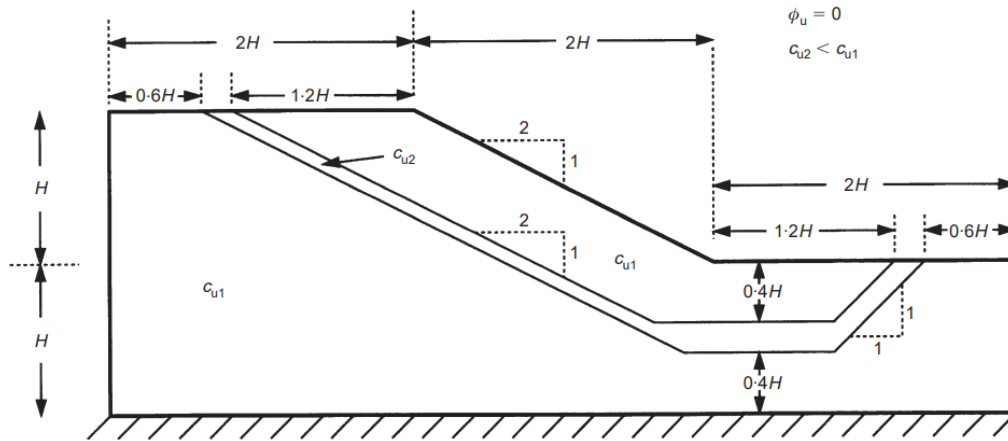


Fig. 6. Example 3: Undrained clay slope with a foundation layer including a thin weak layer ($D = 2$, $c_{u1}/\gamma H = 0.25$)

FoS

FELA LB=1,474 UB=1,486

SRM

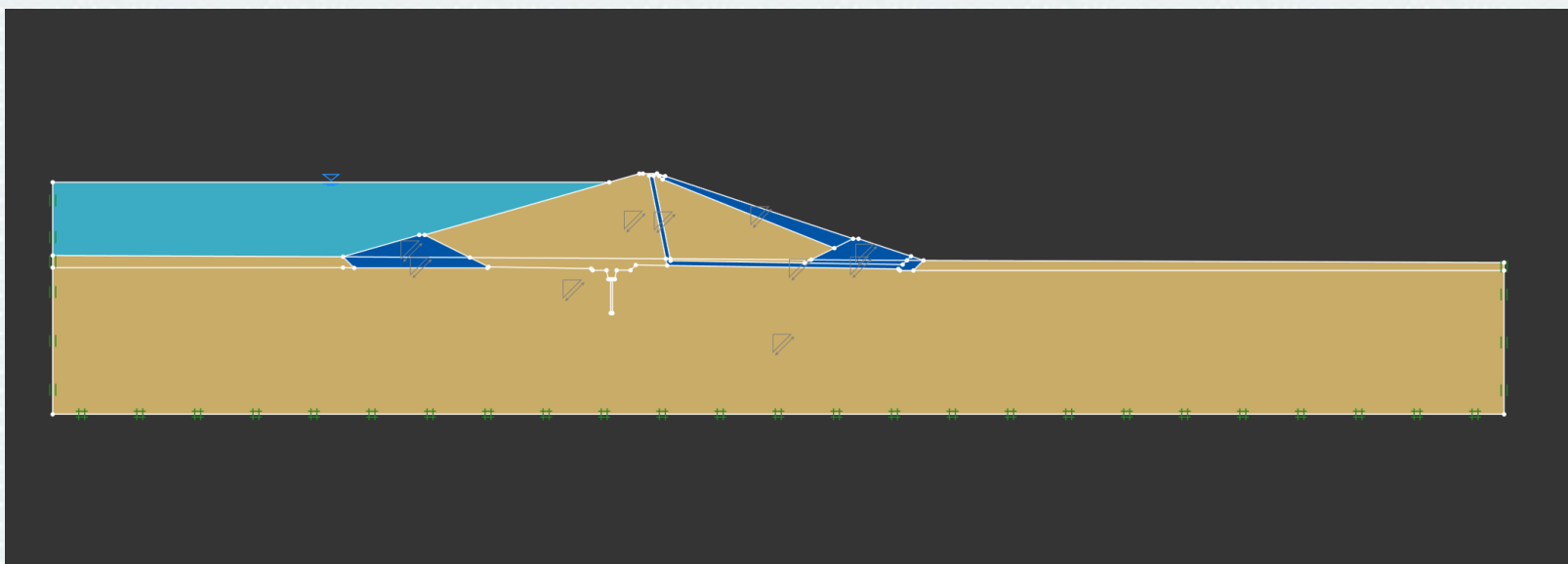
FoS=1,482

Obr. 8 Svah s oslabenou vrstvou [5]

Reálná okrajová úloha

- Projekt Vlachovice
- SRM x FELTA ověření
- Ustálené a neustálené proudění

Reálná okrajová úloha



Reálná okrajová úloha

Strength Reduction Factor: 1.587

<input checked="" type="checkbox"/>	Mesh HPV	(None)	Mesh
<input checked="" type="checkbox"/>	Initial	(None)	Initial Stress
<input checked="" type="checkbox"/>	Dam	Initial	Elastoplastic
<input checked="" type="checkbox"/>	Dam HPV	Initial	Elastoplastic
<input type="checkbox"/>	SRM - 6 noded	Dam	Strength Redu
<input checked="" type="checkbox"/>	SRM-6 HPV	Dam HPV	Strength Redu
<input type="checkbox"/>	SRM - 15 noded	Dam	Strength Redu
<input checked="" type="checkbox"/>	SRM-15 HPV	Dam HPV	Strength Redu
<input type="checkbox"/>	LB	Dam	Strength Redu
<input checked="" type="checkbox"/>	LB HPV	Dam HPV	Strength Redu
<input type="checkbox"/>	UB	Dam	Strength Redu
<input checked="" type="checkbox"/>	UB HPV	Dam HPV	Strength Redu

Settings

Reduce Strength in: Solids

Element Type: 15-node Gauss

No of Elements: 1000

Mesh

Mesh Adaptivity: Yes

Adaptive Iterations: 3

Start Elements: 500

Adaptivity Control: Shear Dissipation

Safety

Design Approach: Unity

Advanced Settings

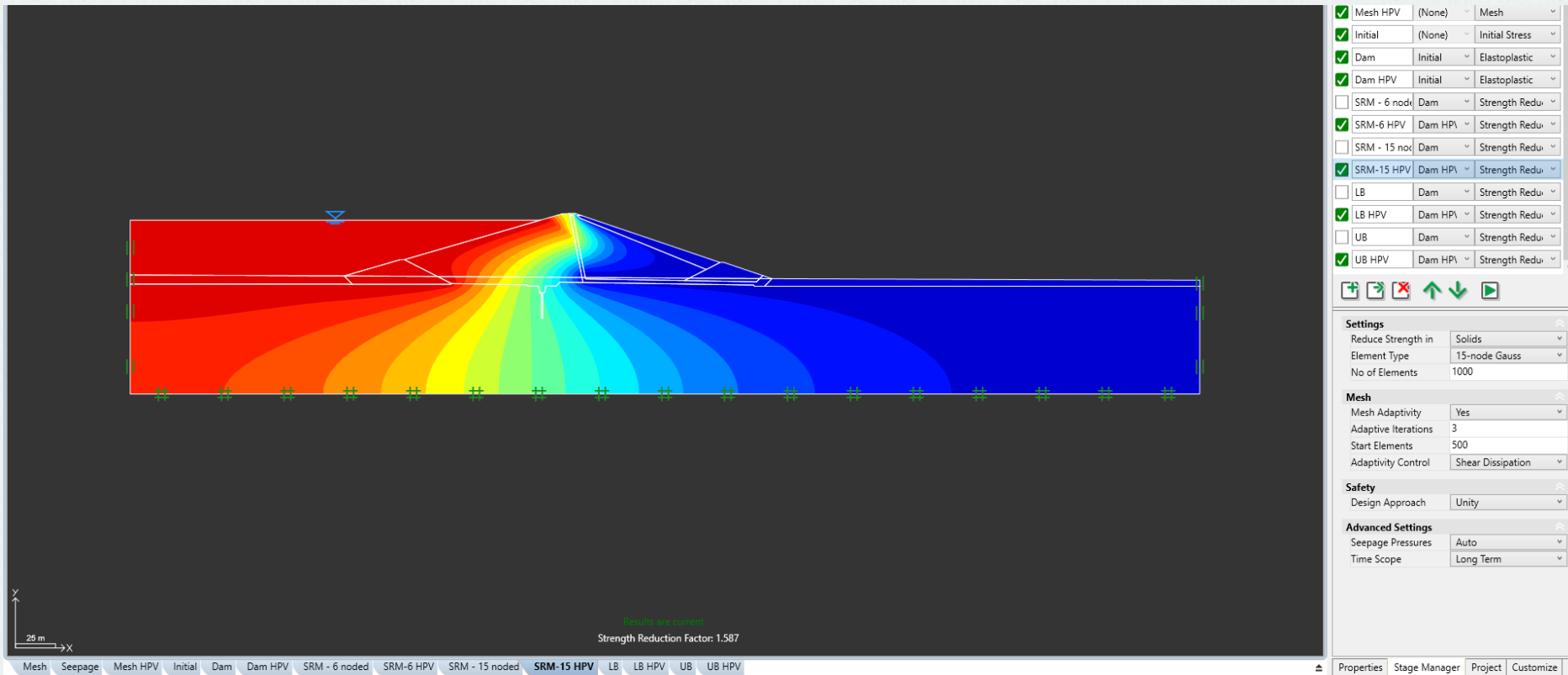
Seepage Pressures: Auto

Time Scope: Long Term

Mesh Seepage Mesh HPV Initial Dam Dam HPV SRM - 6 noded SRM - 6 HPV SRM - 15 noded **SRM - 15 HPV** LB LB HPV UB UB HPV

Properties Stage Manager Project Customize

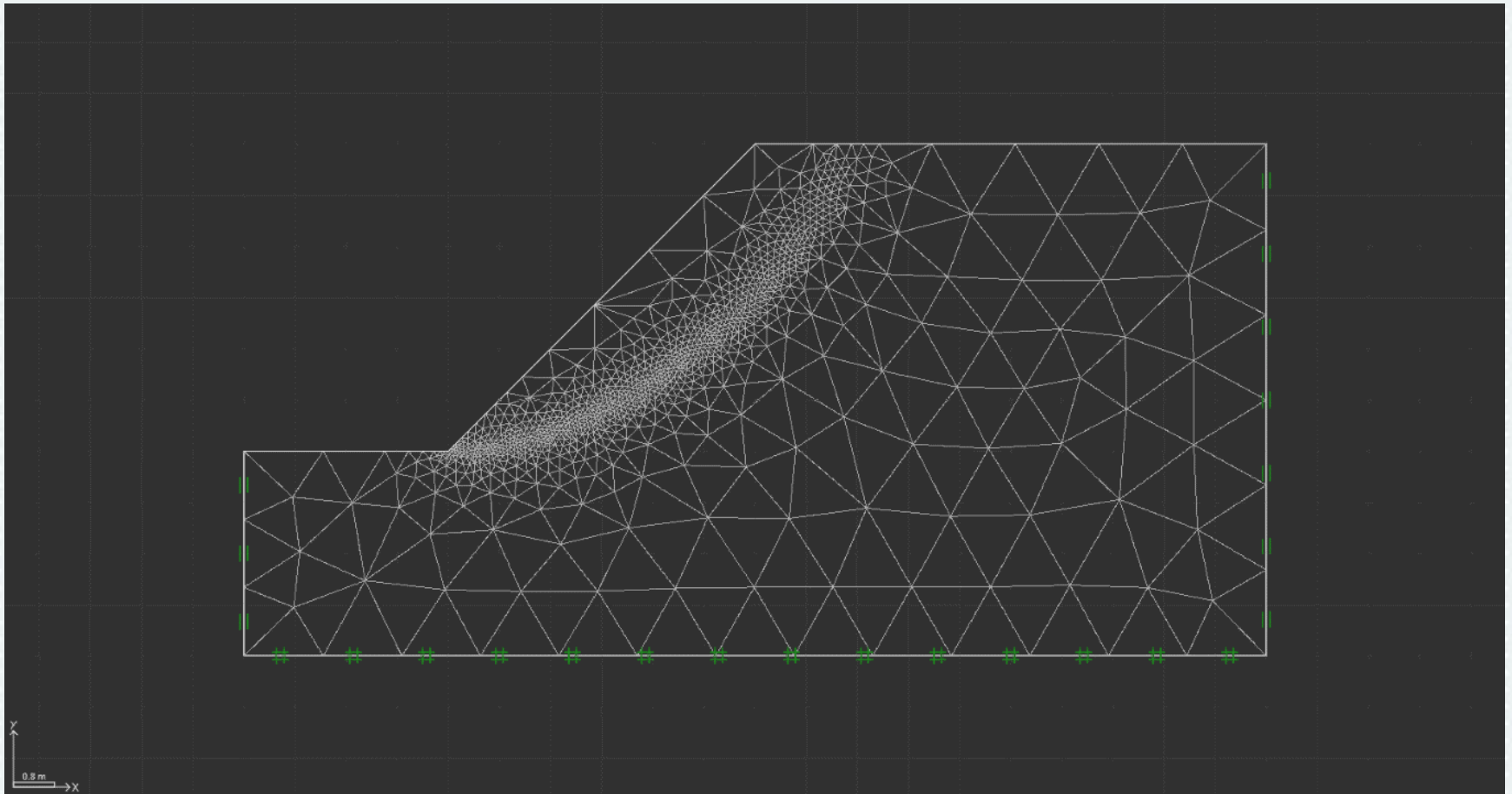
Reálná okrajová úloha



Závěr

- Omezení
 - Materiály
 - Neasociovaná plasticita
 - Vývoj
- Výhody
 - Vývoj
 - Intuitivnost
 - Odpovídající realitě
 - Rychlost výpočtu

VÝSTUP



Zdroje

- [1] Sloan SW. Geotechnical stability analysis, Geotechnique, 2013
- [2] F. Tschuchnigg, H.F. Schweiger, S.W. Sloan, Slope stability analysis by means of finite element limit analysis and finite element strength reduction techniques. Part I: Numerical studies considering non-associated plasticity, Geotechnique, 2015
- [3] Y.M. Cheng, T. Lansivaara, W.B. Wei, Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, Comput Geotech, 2006
- [4] S.Y. Liu, L.T. Shao, H.J. Li, Slope stability analysis using the limit equilibrium method and two finite element methods, Comput Geotech, 2014
- [5] Griffiths DV, Lane PA, Slope stability analysis by finite elements, Géotechnique, 1999

Děkuji za pozornost



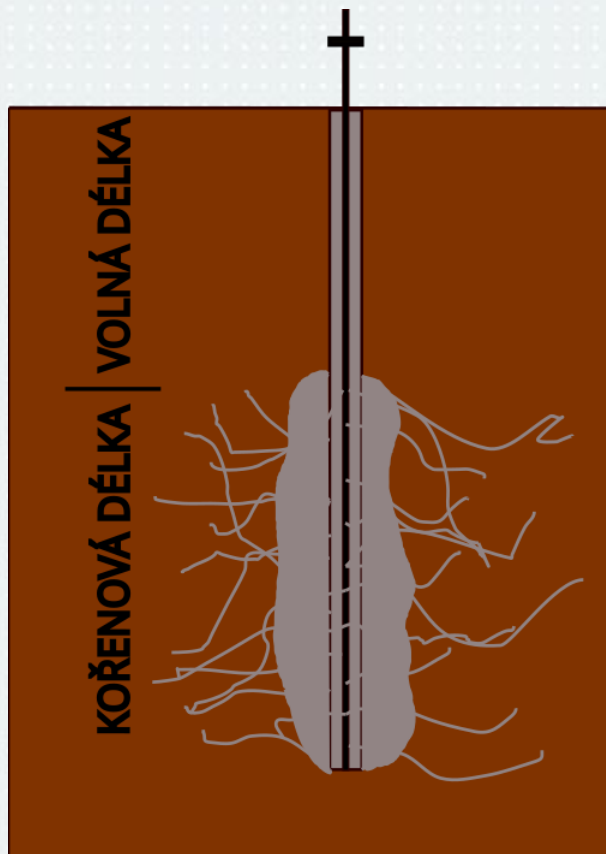
PREZENTACE PRÁCE SVOČ

Aplikace metody přenosových funkcí pro stanovení mezní
zatěžovací křivky mikropilot

Vedoucí práce: Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.

DRUHY ZKOUŠENÝCH MIKROPILOT

VRTANÉ MIKROPILOTY
VYZTUŽENÉ GEWI TYČÍ



SAMOZÁVRTNÉ MIKROPILOTY
SYSTÉMU ISCHEBECK TITAN



dostupné z: TITAN micropiles an Innovation prevails,
<https://www.ischebeck.de/en/service/downloads/>

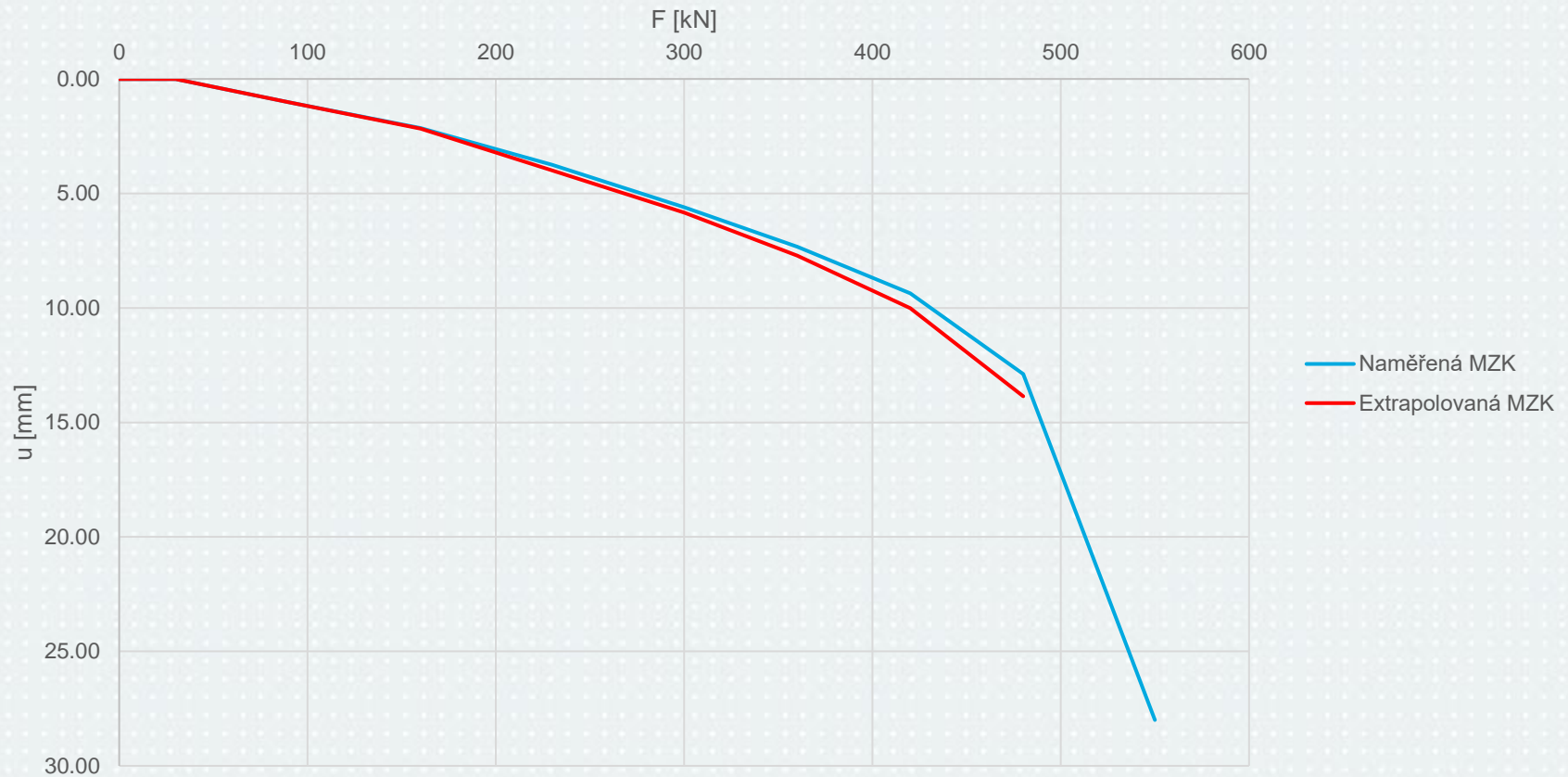
ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA MIKROPILOTY



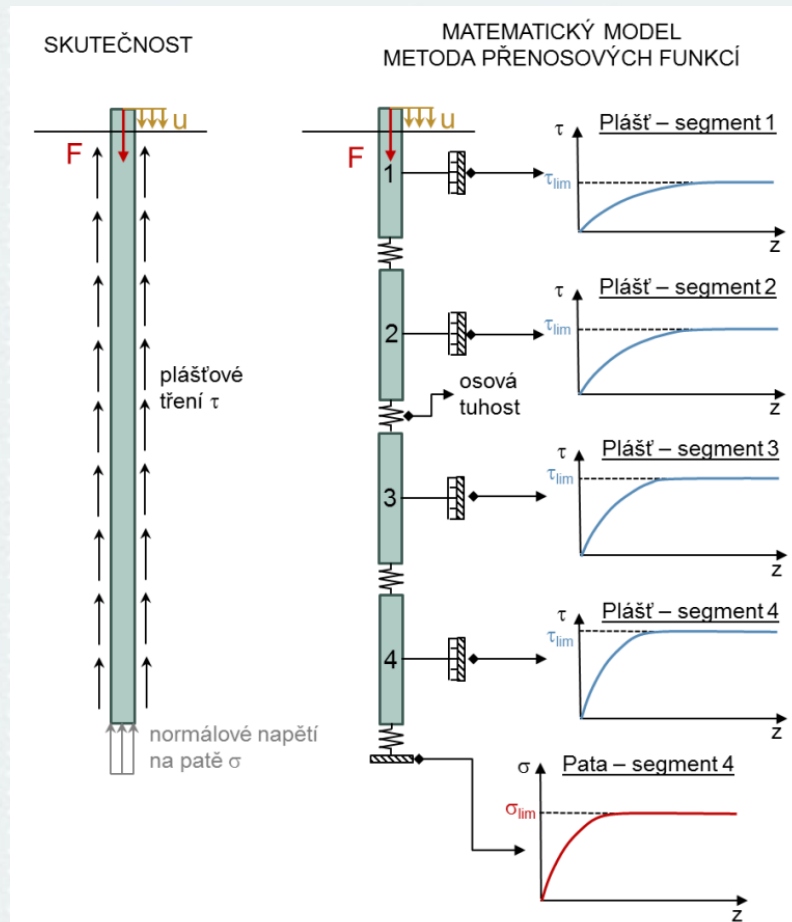
dostupné z: Static load tests of piles and micropiles, Evaluation of monitoring results, fa Keller, VUT v Brně

MZK ZÍSKANÁ ZE ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

MP1



METODA PŘENOSOVÝCH FUNKCÍ



- rozčlenění prvku na segmenty
- nahrazení kontaktu zemina-prvek přenosovou funkcí
- počáteční posun v patě piloty a stanovení normálového napětí
- stanovení mobilizovaného plášťového tření a výpočet plastické deformace
- pokud iterace dovršila požadovaného posunutí segmentu, pokračuje se na další segment
- sestavení MZK, plášťové tření

CHALMOVSKÝ, Juraj. *Využití metody přenosových funkcí pro predikci chování hlubinných základů v ČR*. Brno, 2021. Souhrnná výzkumná zpráva. Vysoké učení technické v Brně.

VÝHODY METODY PŘENOSOVÝCH FUNKCÍ

- zohlednění tuhosti piloty, která má vliv na mobilizaci tření a tvar MZK
- metoda je založena na fyzikálních principech a uvažuje minimální počet empirických konstant
- dává rovněž více výstupních údajů, jako jsou MZK pláště a paty, průběh mobilizovaného plášťového tření
- dobrý kompromis mezi empirickými metodami a metodou konečných prvků

ROZHHRANÍ PMpLTO

PMpLTO ver. 1.2: MP2_0M_parametricke studie.pout

Soubor Nastavení Nápvěda

Vlastnosti pily

Délka pily 12.0 [m] Plocha
 Průměr pily 168.0 [mm] Mikroplocha
 Modul pružnosti 48235.0 [MPa]
 Typ analýzy Tah

Vlastnosti zemního prostředí

Počet vřev 2
 Hladina podzemní vody 12.0 [m]
 Píštěř
 Typ přenosové funkce - píštěř Hyperbolická
 Pata
 Typ přenosové funkce - pata Hyperbolická
 Mezní napětí - pata 3500.0 [kPa]
 Počáteční tuhost - pata 0.02 [-]
 Mezní posun - pata [mm]

Nastavení výpočtu, typ analýzy

Předepsaný posun 25.0 [mm]
 Jednotkový posun 0.1 [mm]
 Délka segmentu (svrčku) 1.0 [m]

Posouzení - II. MS

Přípustné sedání 20.0 [mm]
 Charakteristické zatížení [kN]
 -90 -300 -500
 Vypočtené sedání [mm]
 4.43 10.2

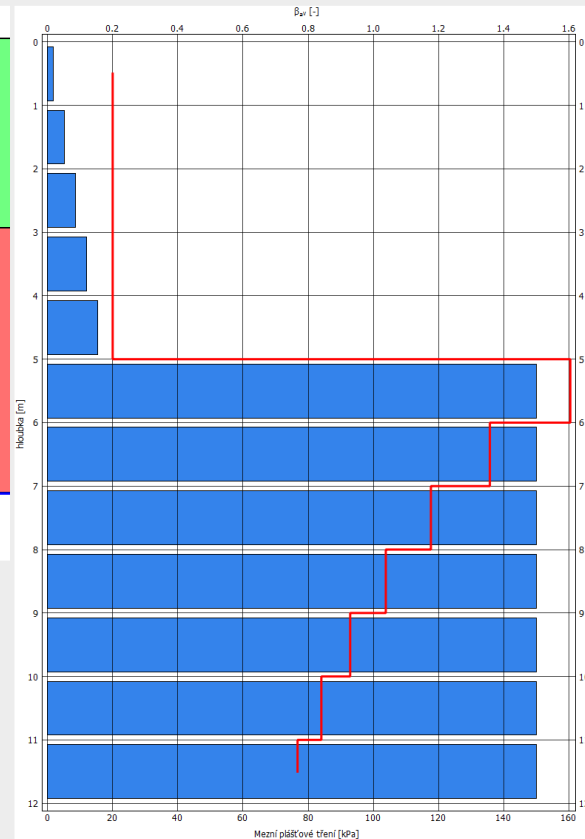
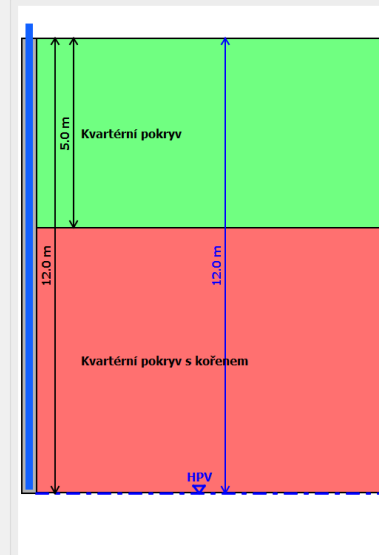
Posouzení - I. MS

Návrhové zatížení -600.0 [kN]
 Mezní únonost - píštěř -510 [kN]
 Mezní únonost - pata 0 [kN]
 Návrhová mezní únonost 110 [kN]

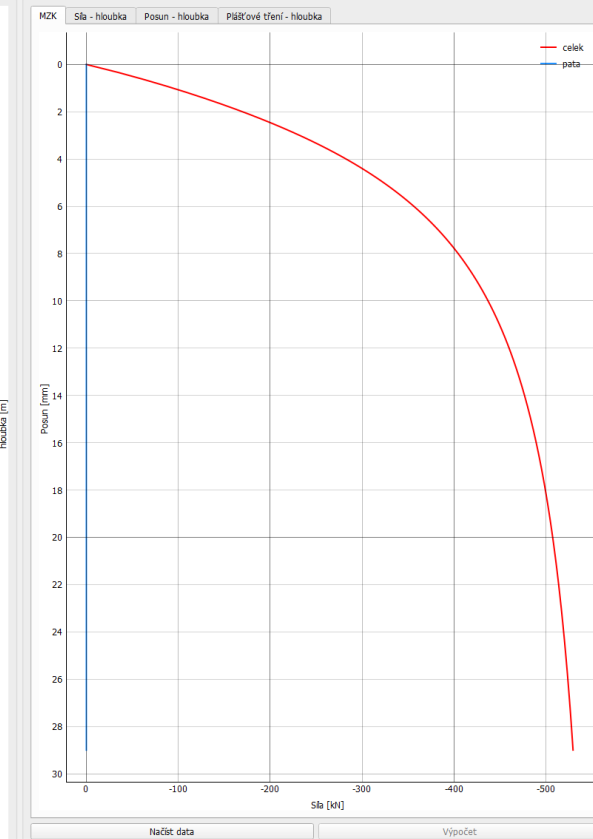
Geologický profil

Od [m]	Do [m]	Popis	Typ	Řešení	γ [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	M_s [-]	s_{lim} [mm]	B_w [-]	ϕ_w [-]	P/USF/RSI [k]	I_r [-]	G [MPa]	D ₅₀ [mm]	v_c [-]
1	0	5	Kvartérní pokryv	Soudržné (I _c =0,5)	17	19	0.0038		0.2						
2	5	12	Kvartérní pokryv s kořenem	Soudržné (I _c =1,0)	17	19	0.014		1	25	150				

Schematický profil



Výsledky analýzy

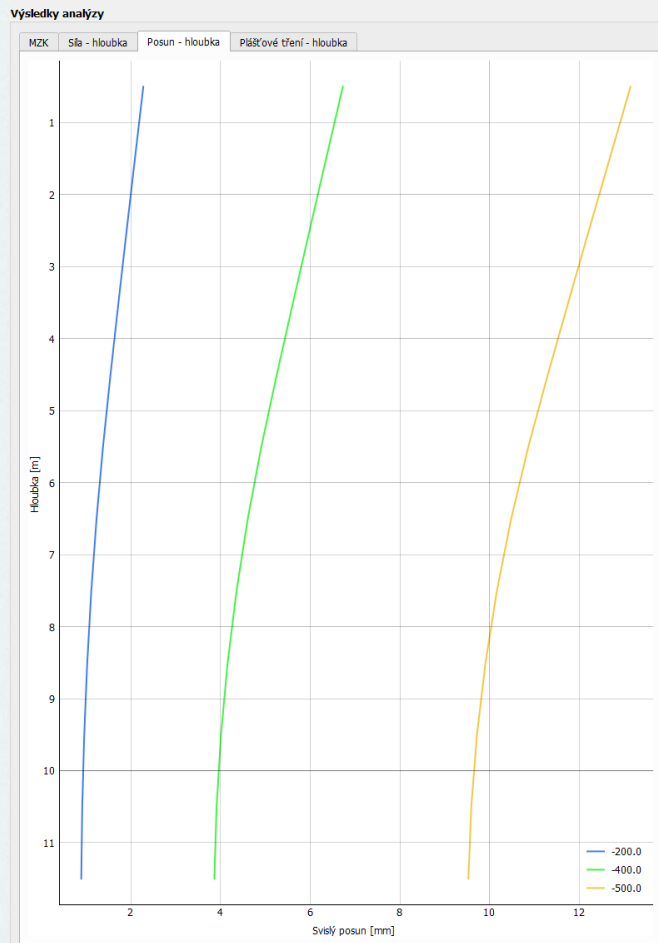


Dizájnová kancelář stavební

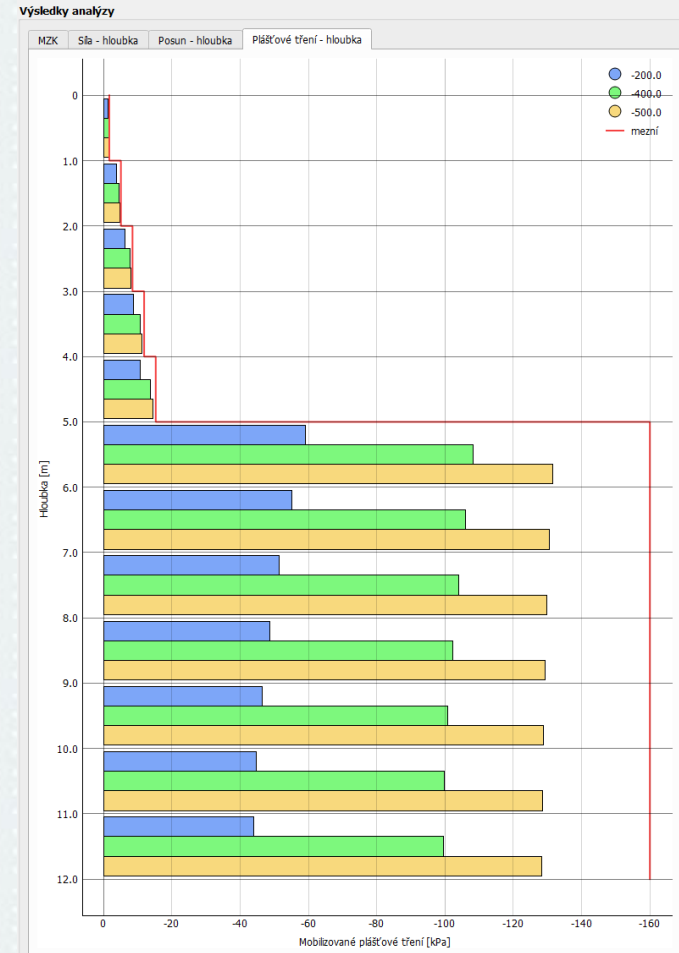


DALŠÍ VÝSTUPY

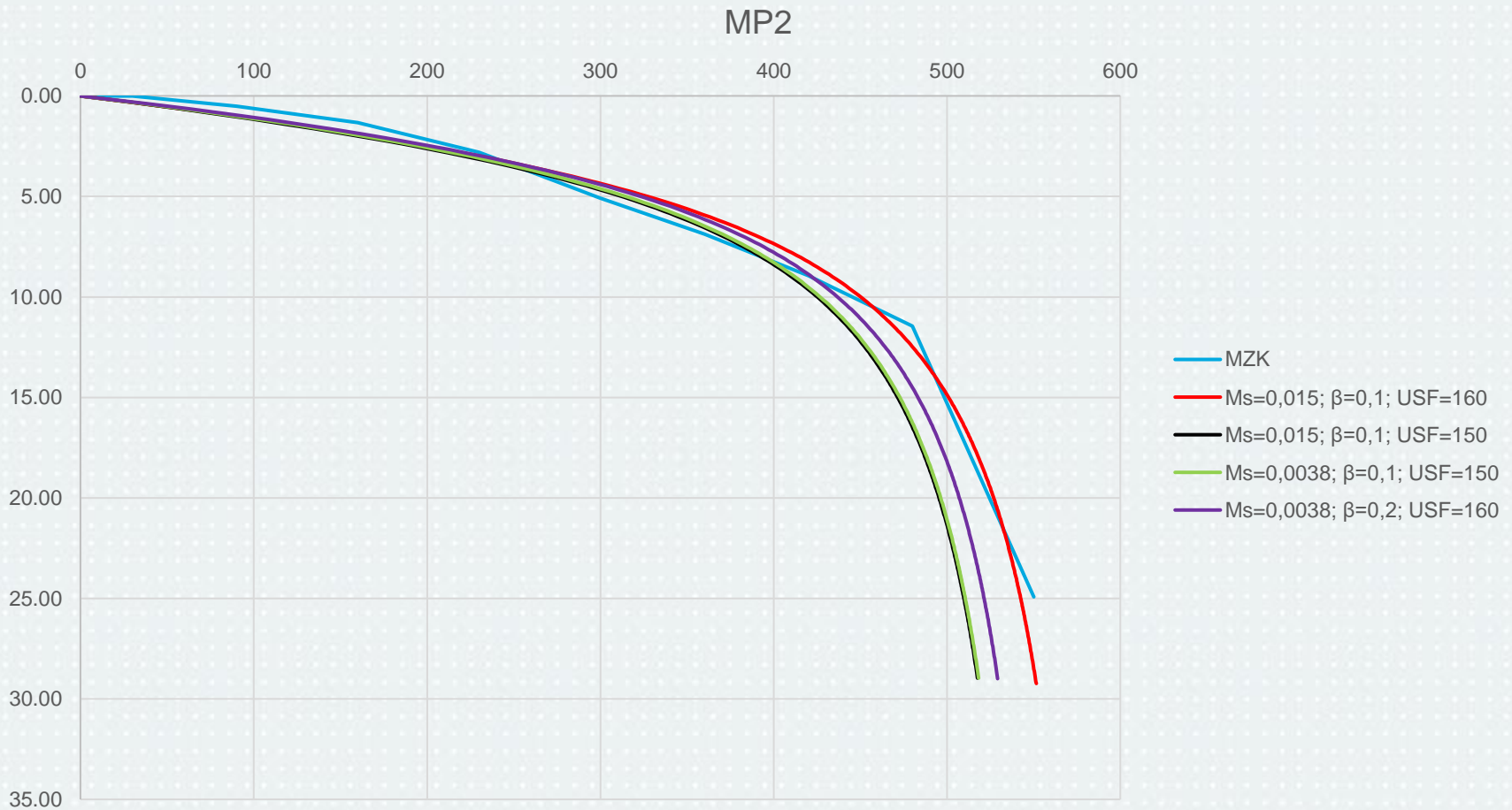
POSUN PILOTY S HLOUBKOU



PLÁŠřOVÉ TŘENÍ NA SEGMENTECH



FITTING ZPĚTNĚ PREDIKOVANÉ MZK



Hodnota $M_s=0,0038$ dle doporučených hodnot (Bohn 2016)

ZDROJE

- Static load tests of piles and micropiles, Evaluation of monitoring results, firma Keller, VUT v Brně
- Výstupy programu PMpLTO
- TITAN micropiles an Innovation prevails, <https://www.ischebeck.de/en/service/downloads/>
- CHALMOVSKÝ, Juraj. *Využití metody přenosových funkcí pro predikci chování hlubinných základů v ČR*. Brno, 2021. Souhrnná výzkumná zpráva. Vysoké učení technické v Brně
- BOHN, C., LOPES DOS SANTOS, A., FRANK, R. Development of axial pile load transfer curves based on instrumented load tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2016, vol. 143, no. 1.



Zajištění stavební jámy

Autor: Mykola Šajuk

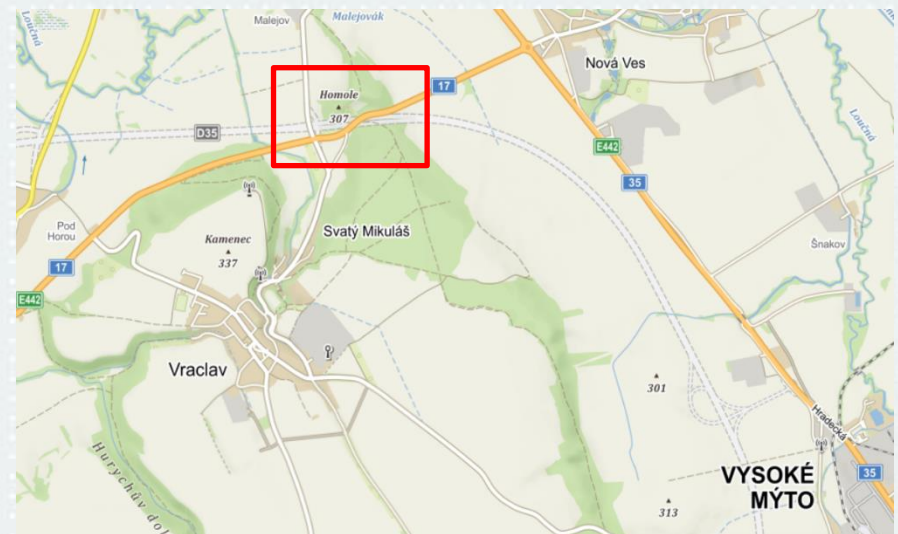
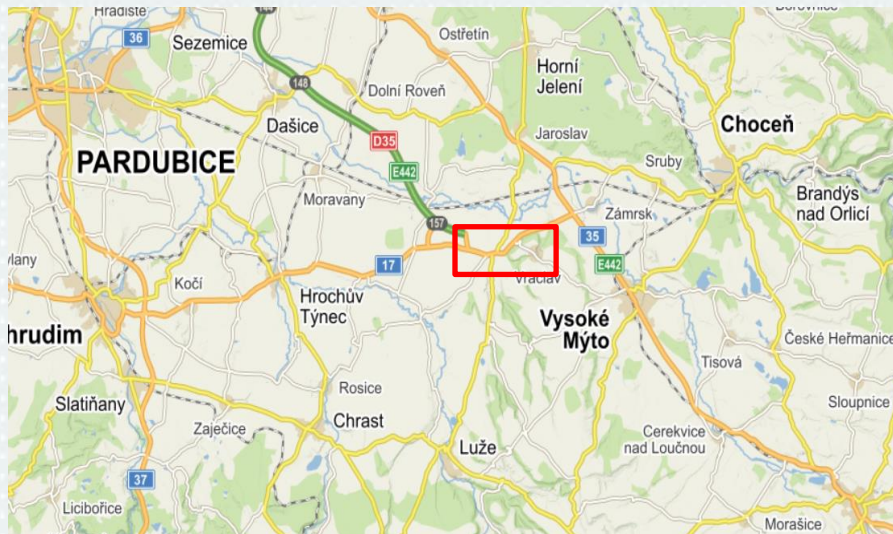
Vedoucí: Ing. Věra Glisníková, CSc.

Ústav geotechniky

Duben 2023

Umístění a popis stavby

Stavba se nachází v Pardubickém kraji v obci Vraclav, ležící čtyři kilometry západně od Vysokého Mýta.

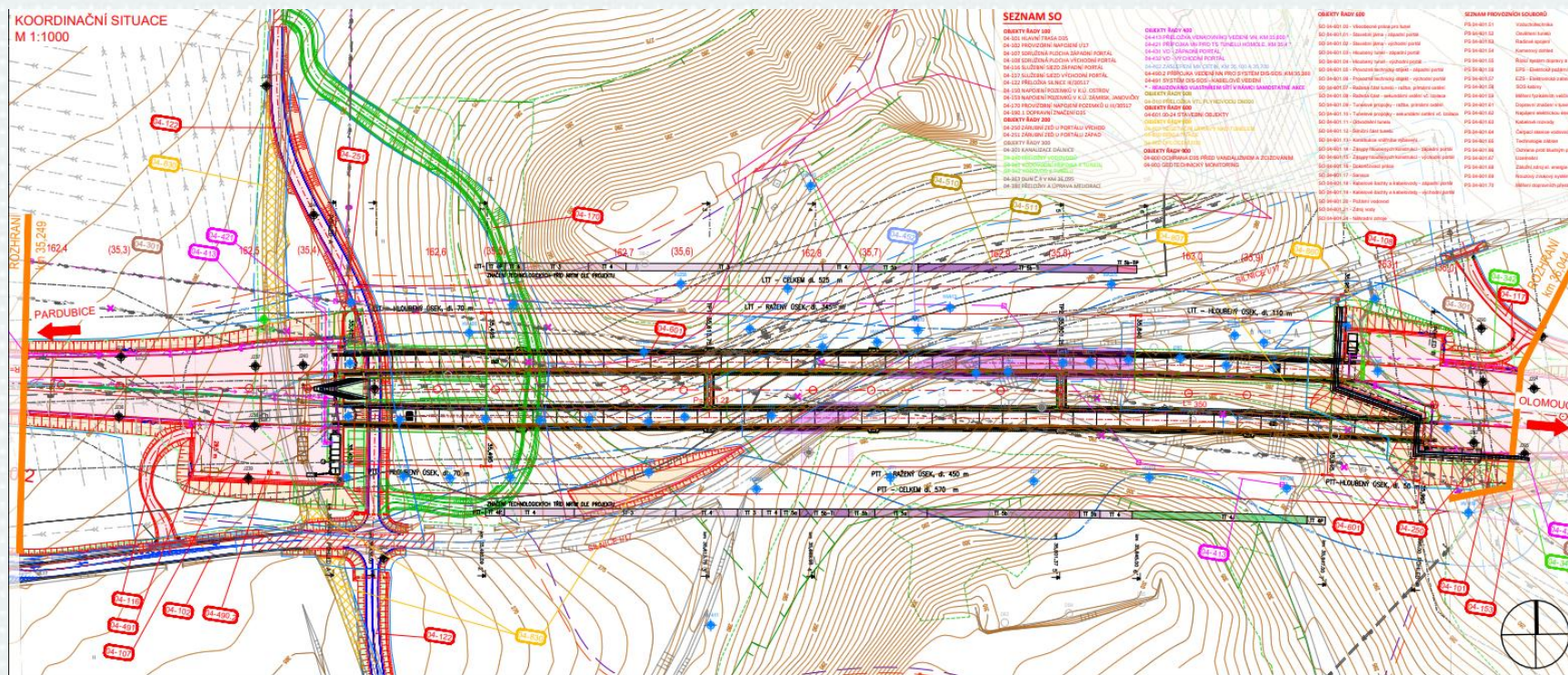


Jedná se o Tunel Homole délky 570 m, který je tvořen západní hloubenou částí, raženou částí a východní hloubenou částí. Stavba je jedním z celků dálnice D35 úseku Ostrov – Vysoké Mýto.

Západní část

Ražená část

Východní část



Vizualizace budoucího tunelu

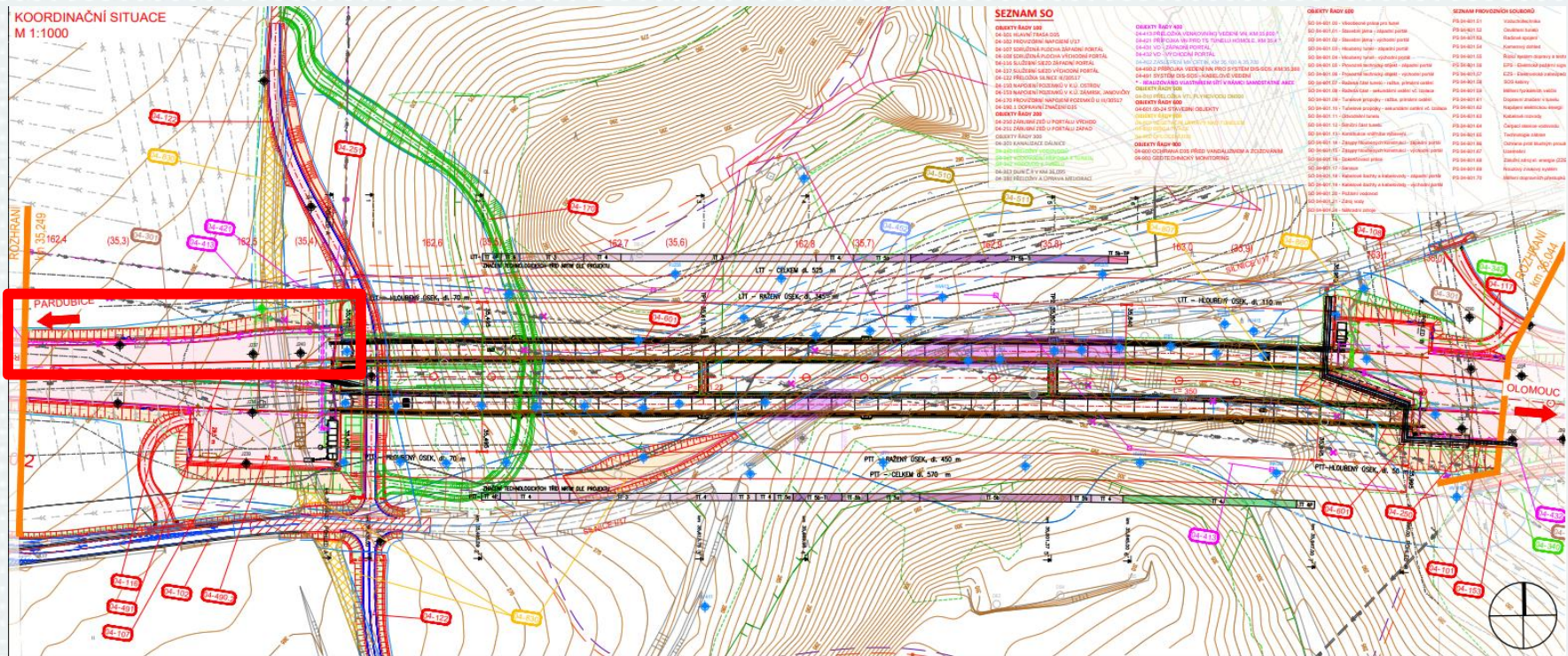


ŘEŠENÝ OBJEKT

Západní část

Ražená část

Východní část



Řešeným objektem je západní hloubená část, respektive její severní stěna. Délka stavební jámy 70,0 m a hloubka 18,75 m.



Geologie

Průzkumný vrt

Stratigrafie	Nadmořská výška (m)	Vrtný profil	Hloubka (Mocnost) (m)	Hladina podzemní vody (m)	Vzorek Lab. číslo	GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN	Zařízení ČSN 736133	RQD [%]	Geotyp	Těžitelnost ČSN 73 6133	Vrtnelnost TP 76
Q	264,74		0,50			humózní pokryv, organické hlíny, mírně písčité; tmavě hnědé, ornice	F6 O		Q0	I	I
	264,24		1,00			jíly písčité; tuhé až pevné; rezavě hnědé; písčité přiměs středně zrnitá; fluviaální geneze, kvartér	F4		Q3a	I	I
	263,24		2,00			eluviaální pokryv; jíly středně až vysoce plastické; šedo-běžové; bílé mramorování; rezivě polohy; vápnité; pevné; eluvium křídly	F6		K1a	I	I
	261,64		3,60			zcela až silně zvětralé slínovce rozvrtnané na materiál charakteru zeminy tř. F6; běžovo-šedé; úlomky o velikosti 10 - 30mm; u báze polohy R5; vápnité	R6(R5)		K1b	I	II
	260,44		4,80			rychlý přechod do mírně zvětralých slínovců; rozbíjitelných; šedých až běžovo-šedých; svrchu pevnějších; u báze úlomky a destičky o velikosti 20 - 100mm (tloušťka <40mm)	R4		K3	I-II	III
	254,24		11,00			navětralé slínovce; šedé; s častým zareznutím okolo puklin(zareznutí až cca 40 mm od puklin); subhorizontálně vrstevnaté; jádro 50 - 200 mm (extrémě 350 mm); pukliny rovné až zvlňené; hladké až středně drsné; sevřené až 1-2mm; bez výplně; limonitizované; dále i kosé pukliny 30°- 50°(v hloubce 7,8; 10,3; 10,5; m) místy i mírný sklon 10°- 20° (v hl. 9,9 m)	R3	•25 •95 •95 •95 •95 •92	K4	II	IV
K	248,24		17,00			slínovce zdravé; šedé; jen místy zarezlé; pukliny místy limonitizované; rozbíjitelné spíše hůře; jádro á 100 - 600mm (extrémě až 1000mm)při vyschnutí místy destičkovitý rozpad (slabší polohy)	R2/R3	•100 •100 •90 •90 •100 •95	K5	III	V

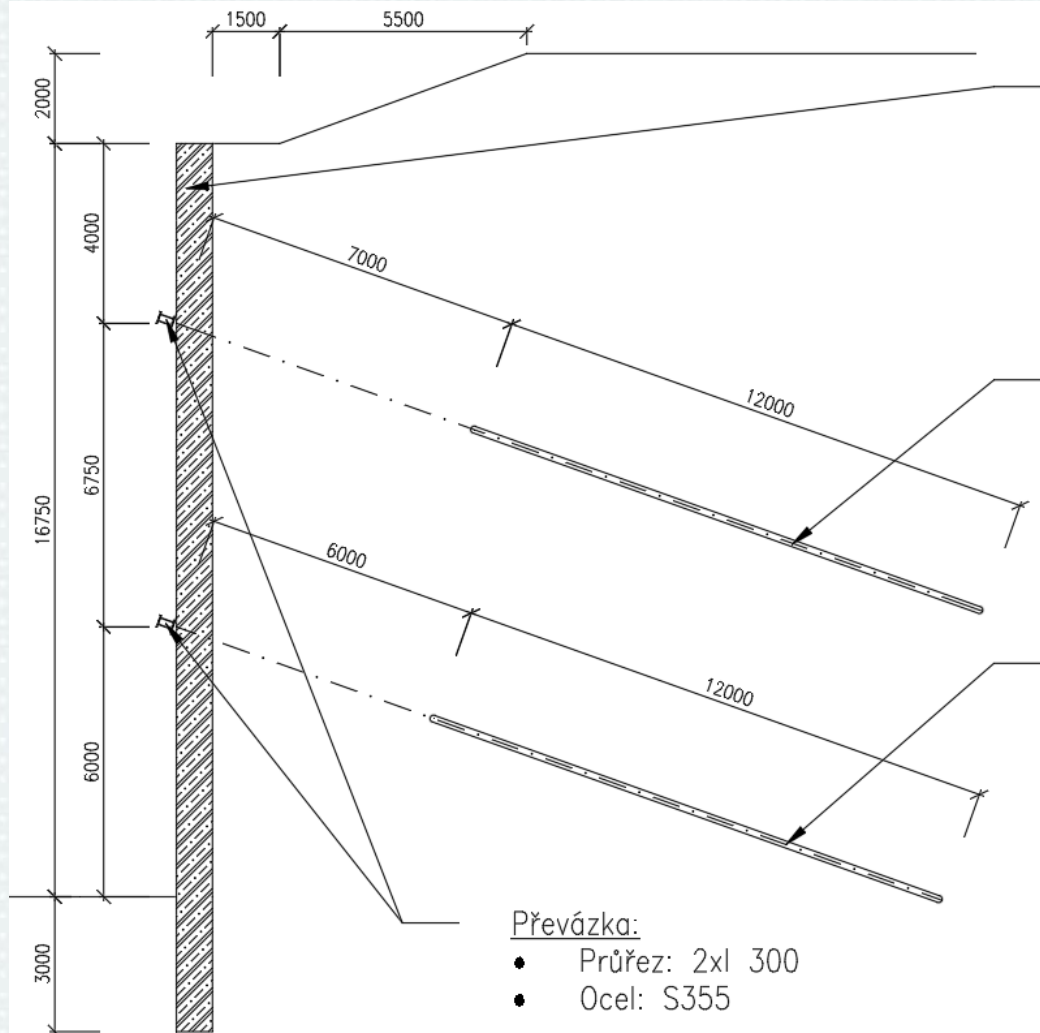
Svrchní vrstva podloží je tvořená antropogenní navázkou a písčitymi jíly do hloubky 2,0 m. V další vrstvě se objevuje zcela až silně zvětralý slínovec do hloubky 3,6 m. Následně pokračuje zvětralý slínovec do hloubky 4,8 m a navětralý slínovec do hloubky 11,0 m. Poslední vrstvu tvoří zdravý slínovec.

Cíl práce

- Cílem práce je návrh několika vhodných alternativ zajištění vybrané stavební jámy, optimalizace návrhu a ekonomické vyhodnocení jednotlivých navržených variant

Zajištění stavební jámy

Varianta 1: Pilotová stěna



Pilota:

- Průměr = 0,8
- Osová vzdálenost = 1,5 m
- Délka = 19,75 m
- Beton C20/25
- Podélná výztuž: 16 kusů $\varnothing 28$ mm
- Smyková výztuž: $\varnothing 10/150$ mm

Pramencová zemní kotva:

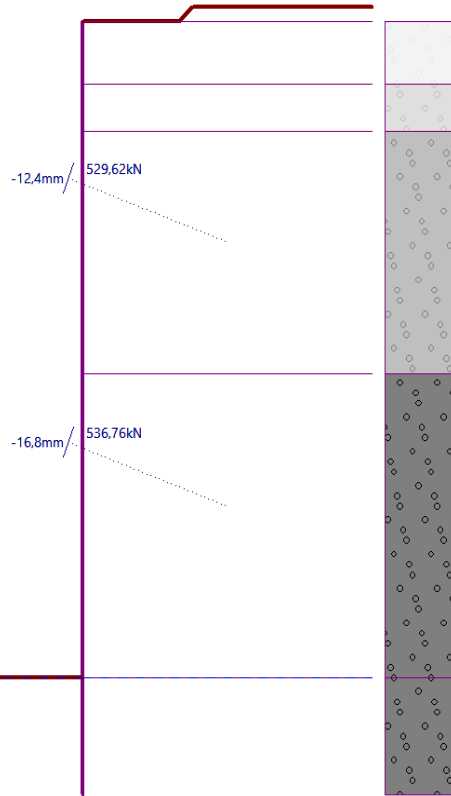
- Sklon kotev = $20,0^\circ$
- Volná délka = 7,0m
- Délka kořene = 12,0m
- Osová vzdálenost = 3,0 m
- Počet pramenců = 3 kusů
- Průměr kořene = 130 mm

Pramencová zemní kotva:

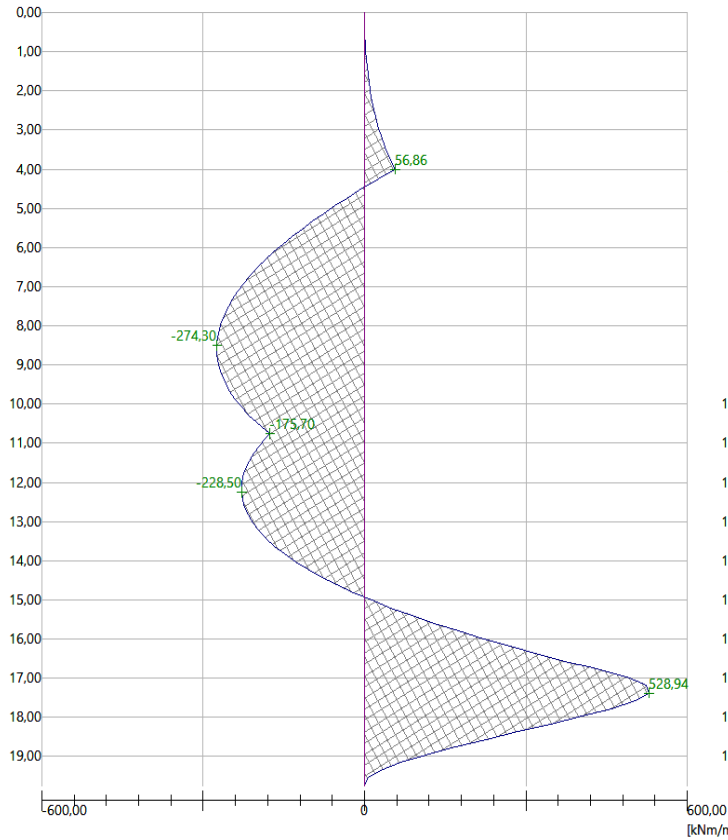
- Sklon kotev = $20,0^\circ$
- Volná délka = 6,0m
- Délka kořene = 12,0m
- Osová vzdálenost = 3,0 m
- Počet pramenců = 3 kusů
- Průměr kořene = 130 mm

Varianta 1: Pilotová stěna – Vnitřní síly

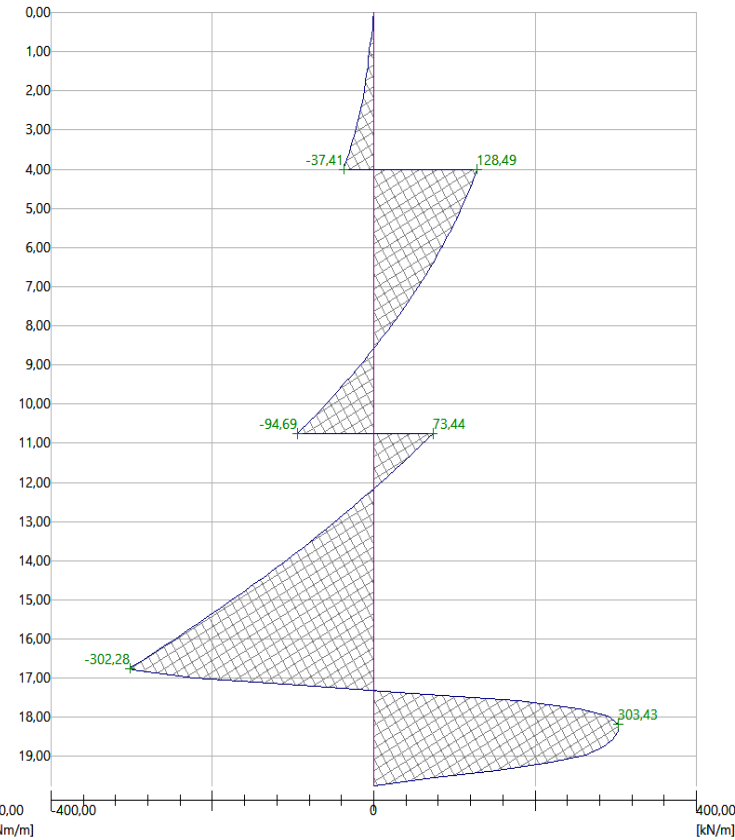
Geometrie konstrukce
Délka konstrukce = 19,75m



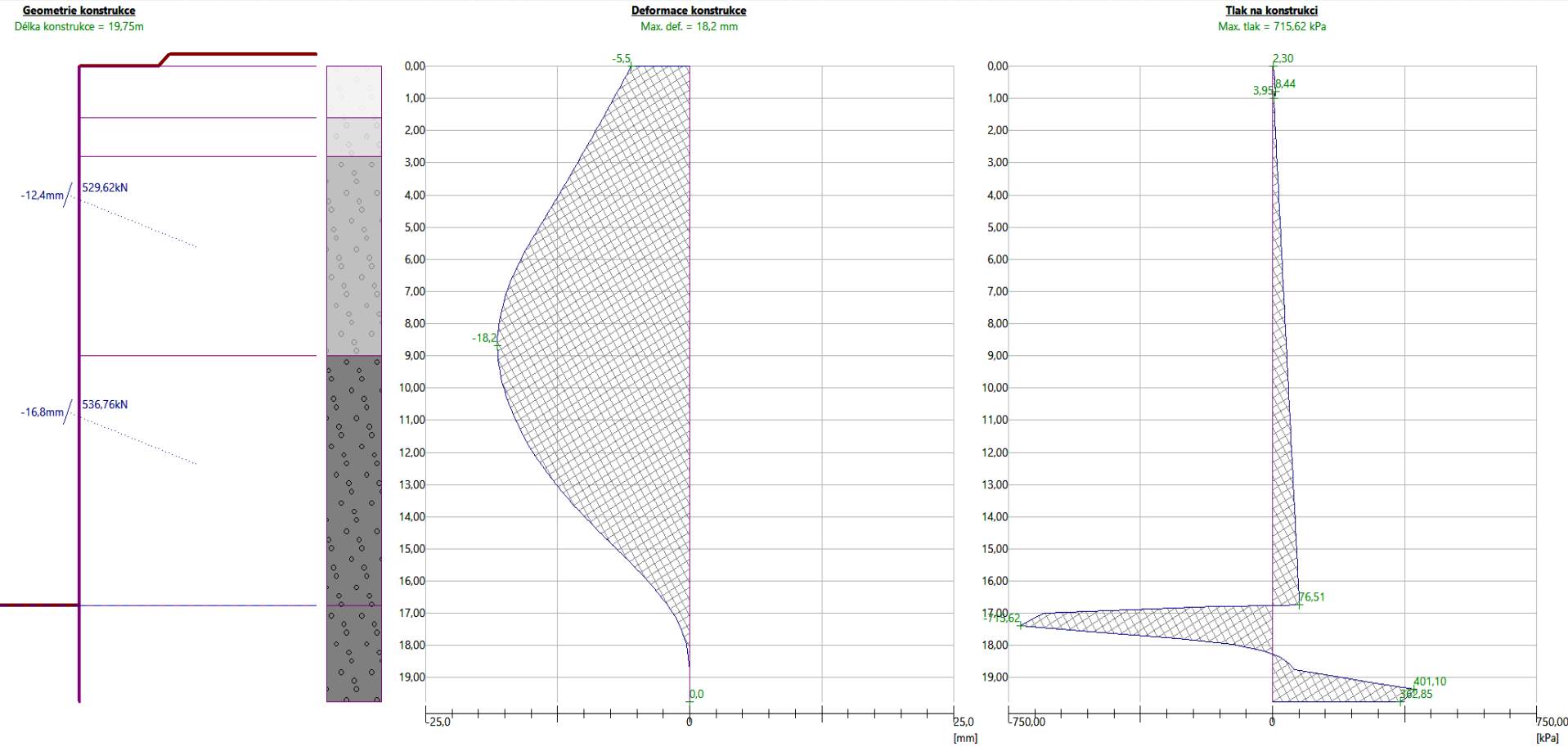
Ohybový moment
Max. M = 528,94 kNm/m



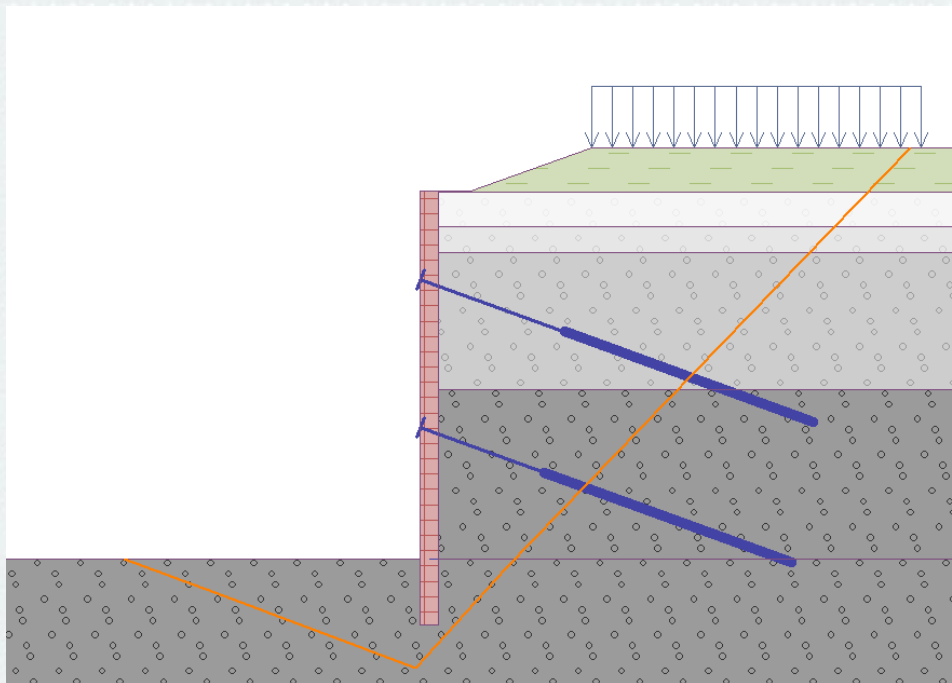
Posouvající síla
Max. Q = 303,43 kN/m



Varianta 1: Pilotová stěna – Deformace a napětí na konstrukci



Varianta 1: Pilotová stěna – Vnější stabilita svahu



Smyková plocha : polygonální Nahradit Upravit Odstranit Převést na kruh

— Parametry výpočtu —

Metoda :

Typ výpočtu :

Omezení

Délky kotev uvažovat nekonečné

— Polygonální smyková plocha —

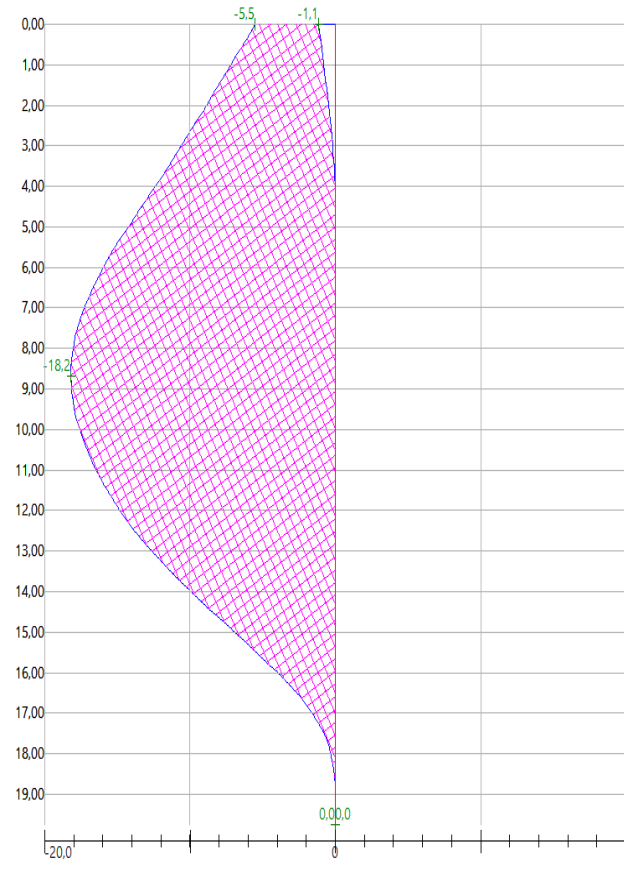
Číslo▲	x [m]	z [m]
1	-14,27	-16,75
2	-10,14	-18,28
3	-1,00	-21,69
4	3,13	-17,11
5	21,52	2,00

Posouzení stability svahu (Sarma)
Využití : 50,8 %
Stabilita svahu VYHOVUJE

Varianta 1: Pilotová stěna – Dimenzování piloty

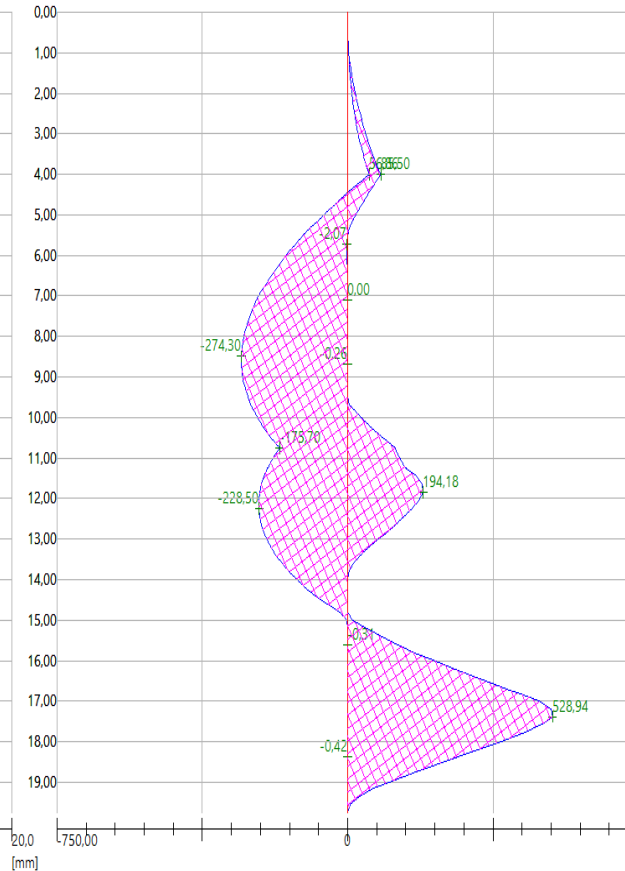
Deformace

Min1 = 0.0; Min2 = -18,2mm
Max1 = 0.0; Max2 = -1,1mm



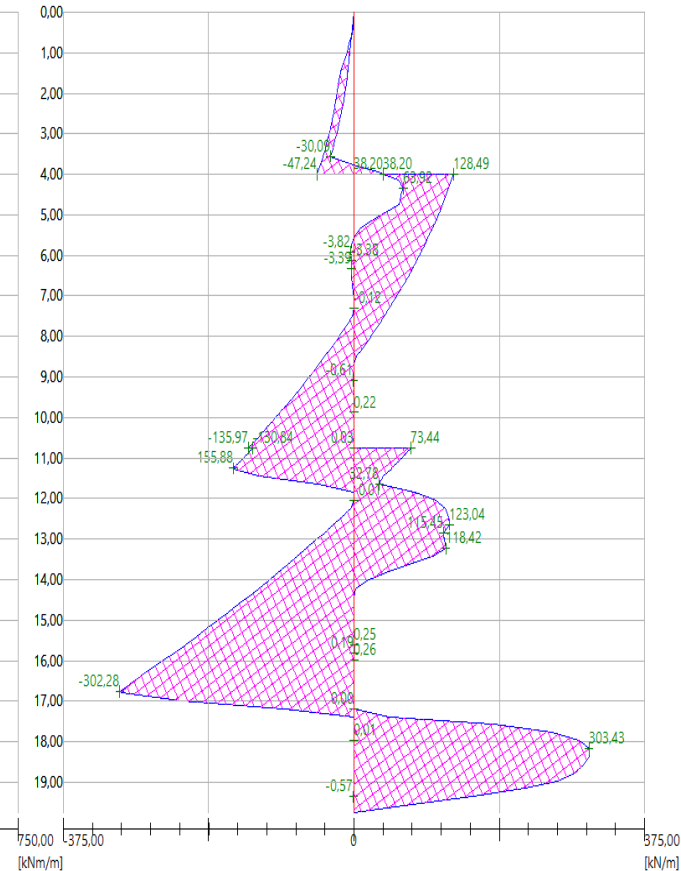
Ohybový moment

Min1 = 56,86; Min2 = -274,30kNm/m
Max1 = 528,94; Max2 = -2,07kNm/m



Posouvající síla

Min1 = 63,92; Min2 = -302,28kN/m
Max1 = 303,43; Max2 = -30,09kN/m



Varianta 1: Pilotová stěna – Únosnost piloty

Max. deformace = -18,2 mm
Max. posouvající síla na průřez Q_{\max} = 614,44 kN
Max. moment na průřez M_{\max} = 1071,11 kNm

Posouzení: celá konstrukce ▾

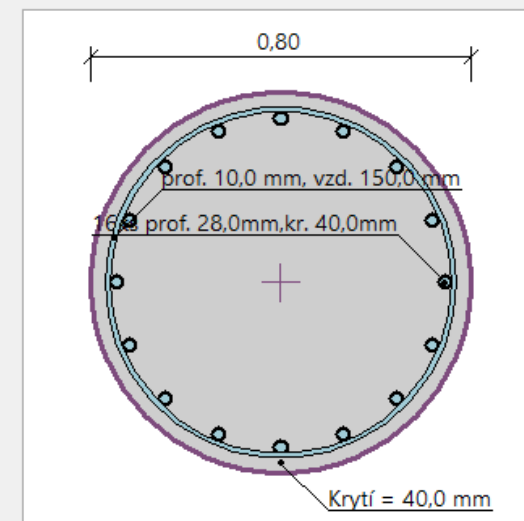
— Vyztužení

Počet: [ks] Smyková výztuž
Krytí: [mm] Profil: [mm]
Profil: [mm] Vzdálenost: [mm]
Profil příložek: [mm]

Posuzovat průřez

— Výsledky

SMYK : **VYHOVUJE** (93,7%)
OHYB A TLAK : **VYHOVUJE** (91,8%)
KONSTR. ZÁSADY : **VYHOVUJE** (13,3%)



Varianta 1: Pilotová stěna – Únosnost kotev

Číslo	Hloubka z [m]	Název	Maximální síla F [kN]	Přetržení kotvy R_t [kN]	Únosnosti		Využití [%]	Posouzení
					Vytržení ze zeminy R_e [kN]	Vytržení ze zálivky R_c [kN]		
1	4,00	VSL dočasná kotva 0.6" S 1860	529,62	620,00	720,06	579,19	91,44	Vyhovuje
2	10,75	VSL dočasná kotva 0.6" S 1860	536,76	620,00	1211,83	579,19	92,67	Vyhovuje

Varianta 1: Pilotová stěna – Únosnost převázky

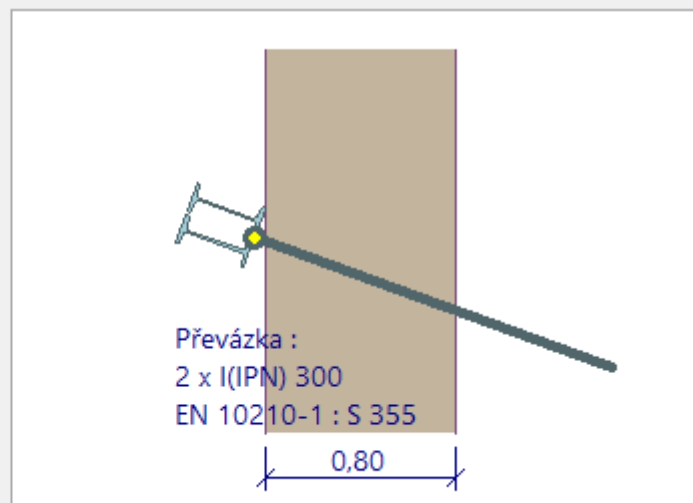
Maximální síla $F_{max} = 536,76$ kN
 Normálová síla $N = 100,00$ kN
 Moment max. $M_{max} = 402,57$ kNm
 Pos. síla max $Q_{max} = 536,76$ kN

Posuzovat průřez

Výsledky

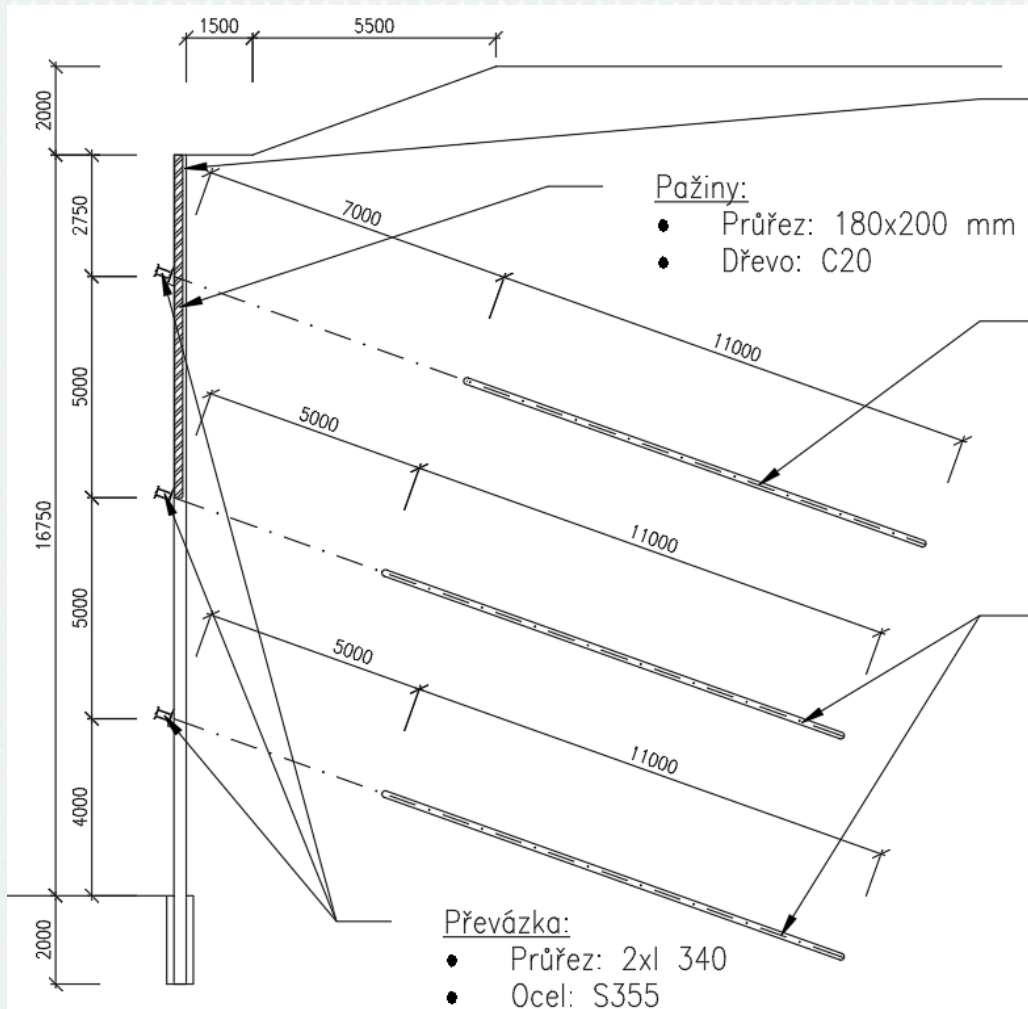
OHYB : VYHOVUJE (88,9%)

SMYK : VYHOVUJE (47,1%)



Zajištění stavební jámy

Varianta 2: Záporové pažení



Zápora:

- Průřez: HE 280B
- Osová vzdálenost = 1,5 m
- Délka = 18,75 m
- Ocel: S355

Pramencová zemní kotva:

- Sklon kotev = $20,0^\circ$
- Volná délka = 7,0m
- Délka kořene = 11,0m
- Osová vzdálenost = 3,0 m
- Počet pramenců = 2 kusů
- Průměr kořene = 90 mm

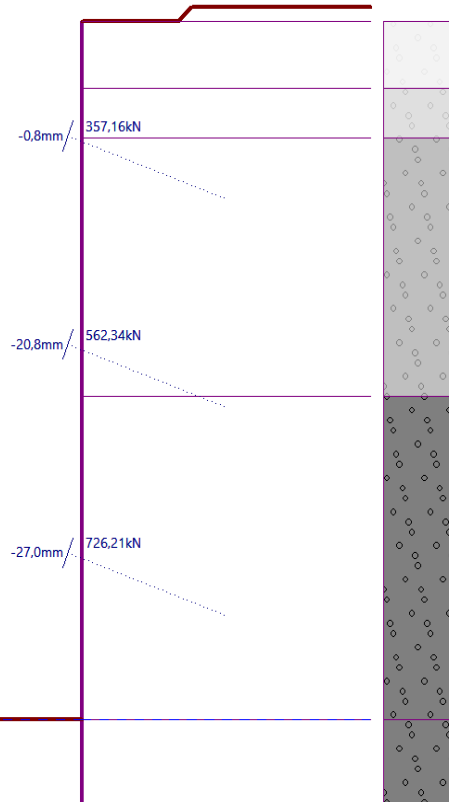
Pramencová zemní kotva:

- Sklon kotev = $20,0^\circ$
- Volná délka = 6,0m
- Délka kořene = 11,0m
- Osová vzdálenost = 3,0 m
- Počet pramenců = 4/5 kusů
- Průměr kořene = 130 mm

Varianta 2: Záporové pažení – Vnitřní síly

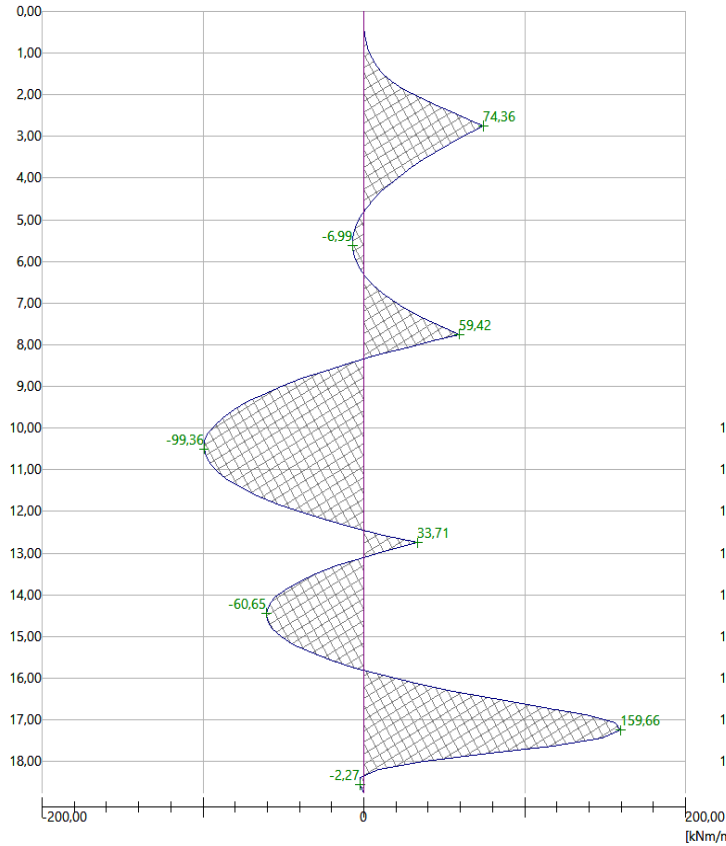
Geometrie konstrukce

Délka konstrukce = 18,75m



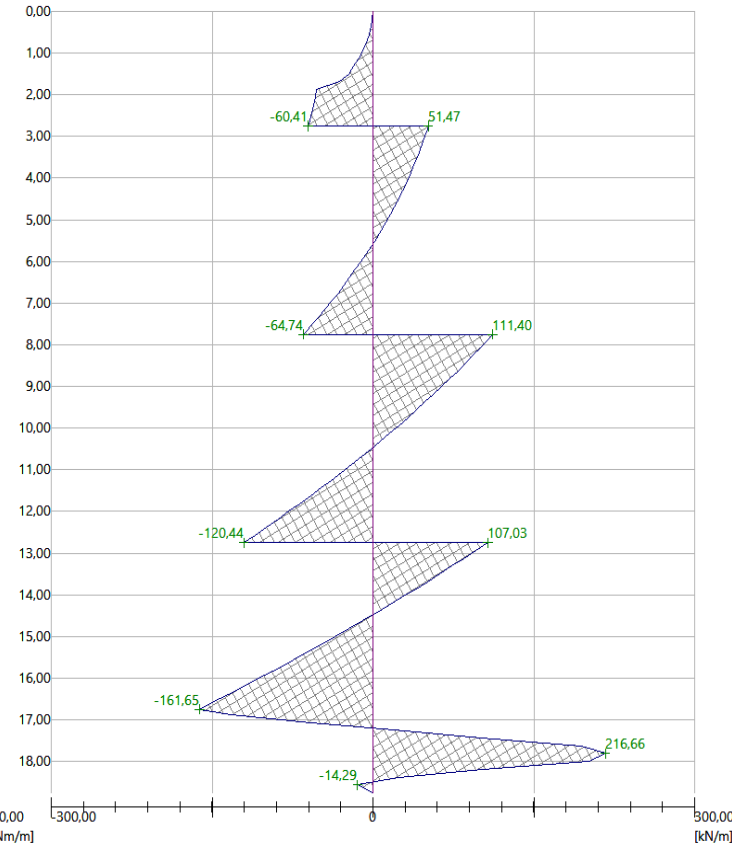
Ohybový moment

Max. M = 159.66 kNm/m



Posouvající síla

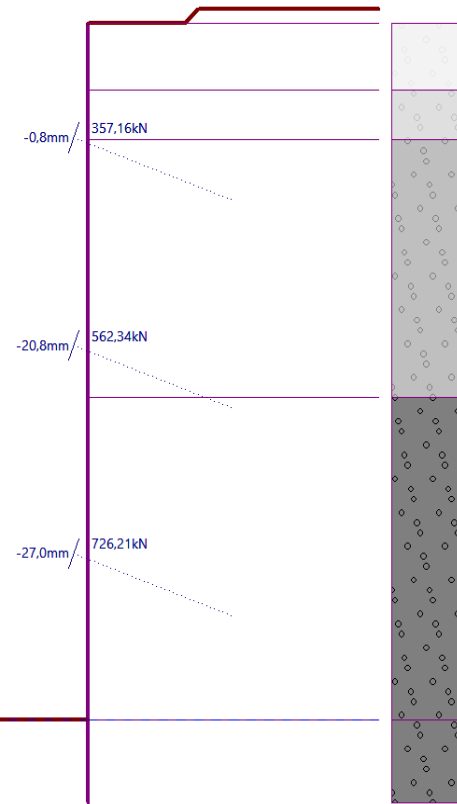
Max. Q = 216.66 kN/m



Varianta 2: Záporové pažení – Deformace a napětí na konstrukci

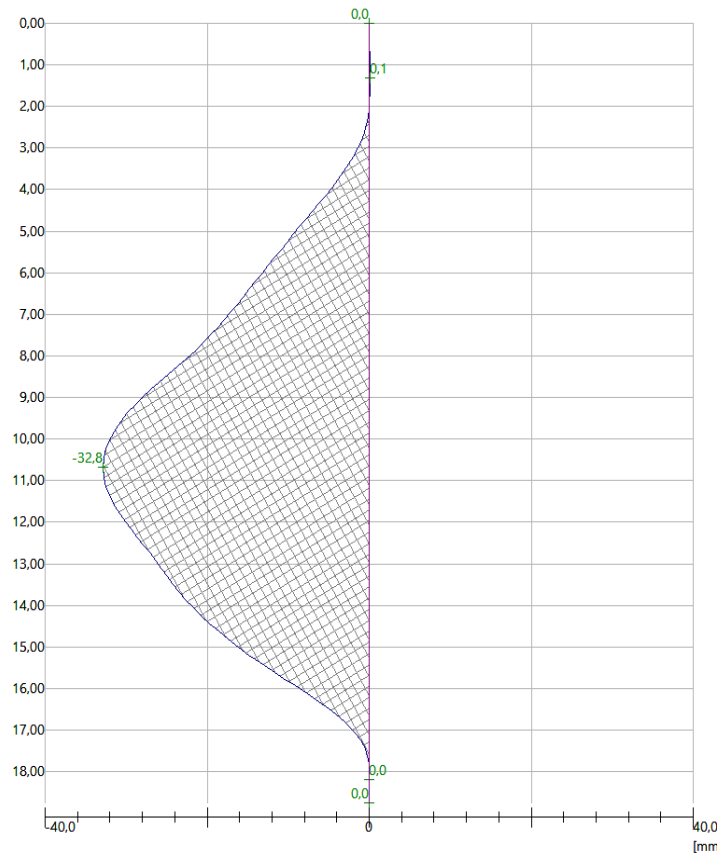
Geometrie konstrukce

Délka konstrukce = 18,75m



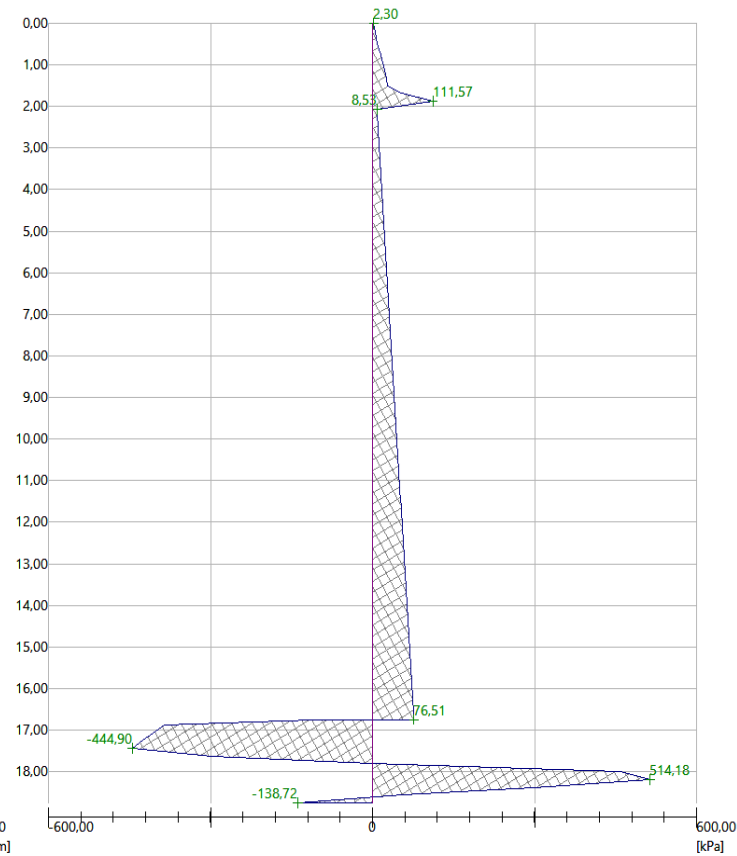
Deformace konstrukce

Max. def. = 32,8 mm

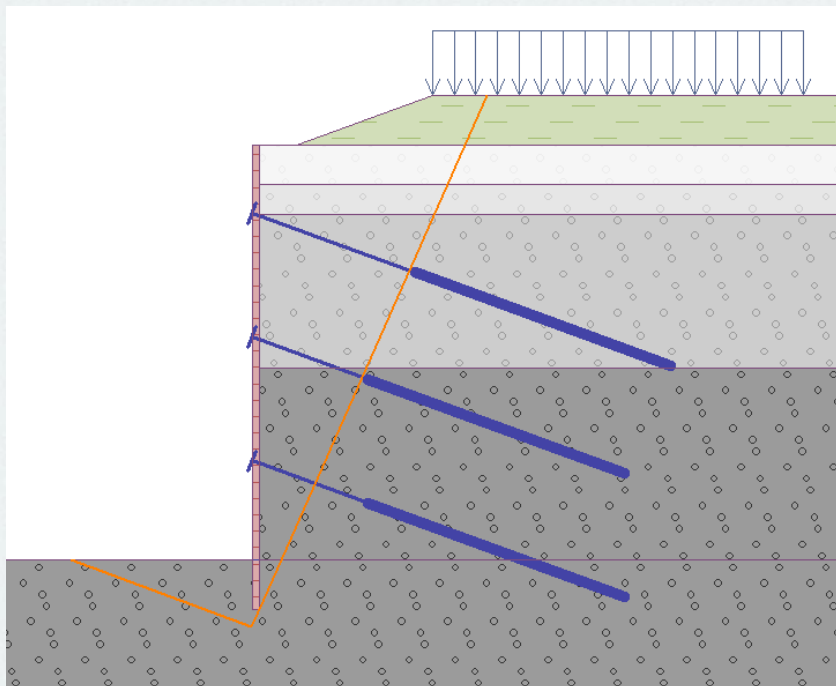


Tlak na konstrukci

Max. tlak = 514,18 kPa



Varianta 2: Záporové pažení – Vnější stabilita svahu



Smyková plocha : polygonální  Nahradit  Upravit  Odstranit  Převést na kruh

— Parametry výpočtu —

Metoda : Sarma

Typ výpočtu : Optimalizace

Omezení není zadáno

Délky kotev uvažovat nekonečné

— Polygonální smyková plocha —

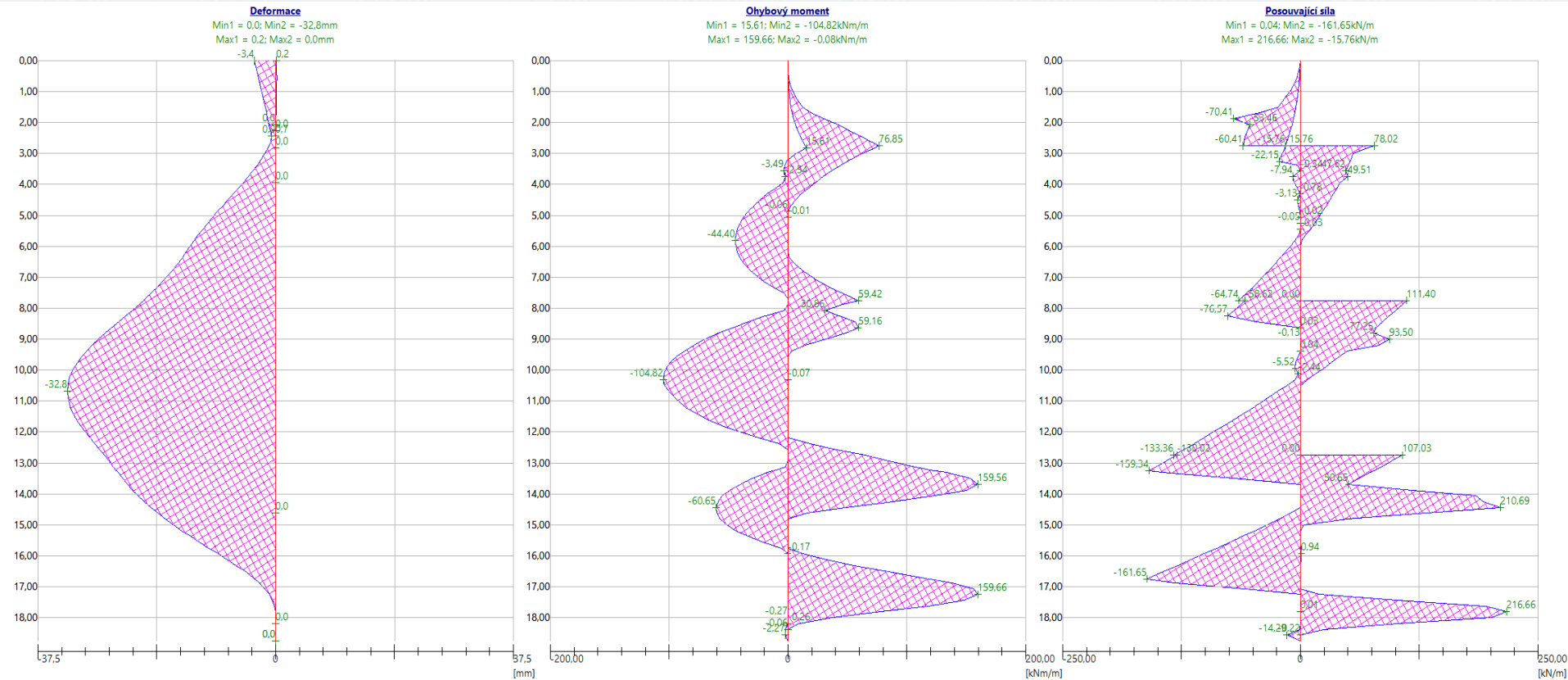
Číslo	x [m]	z [m]
1	-7,60	-16,75
2	-0,31	-19,45
3	0,21	-18,33
4	9,22	2,00

Posouzení stability svahu (Sarma)

Využití : 49,7 %

Stabilita svahu **VYHOVUJE**

Varianta 2: Záporové pažení – Posouzení záporny



Varianta 2: Záporové pažení – Posouzení záporý

Typ stěny : Ocelový I-průřez

Název průřezu : I-průřez : HE 280 B, a = 1,50 m Vlastní

Délka úseku : $l =$ 18,75 [m]

Koef. redukce tlaků pod dnem jámy : počítat 0,63 [-]


— Geometrie —

Osová vzdálenost profilů : $a =$ 1,50 [m]

— Průřez —

Katalog Svařovaný

Název : **HE 280 B**



— Informace —

$A = 8,76E-03$ [m ² /m]	$I = 1,28E-04$ [m ⁴ /m]
$W_{y1} = 9,176E-04$ [m ³ /m]	$W_{ply} = 1,023E-03$ [m ³ /m]

Max. deformace	=	-32,8 mm
Max. posouvající síla na průřez	Q_{max}	= 438,74 kN
Max. moment na průřez	M_{max}	= 323,30 kNm
Normálová síla na průřez (vliv kotev)	N	= 582,43 kN

— Výsledky —

OHYB A TLAK :	VYHOVUJE	(78,7%)
SMYK :	VYHOVUJE	(81,1%)

Varianta 2: Záporové pažení – Únosnost kotev

Číslo	Hloubka z [m]	Název	Maximální síla F [kN]	Přetržení kotvy R_t [kN]	Únosnosti		Využití [%]	Posouzení
					Vytržení ze zeminy R_e [kN]	Vytržení ze zálivky R_c [kN]		
1	2,75	VSL dočasná kotva 0.6" S 1860	357,16	413,33	393,23	433,50	90,83	Vyhovuje
2	7,75	VSL dočasná kotva 0.6" S 1860	562,34	826,67	878,09	613,06	91,73	Vyhovuje
3	12,75	VSL dočasná kotva 0.6" S 1860	726,21	1033,33	1167,62	795,36	91,31	Vyhovuje

Varianta 2: Záporové pažení – Únosnost převázky

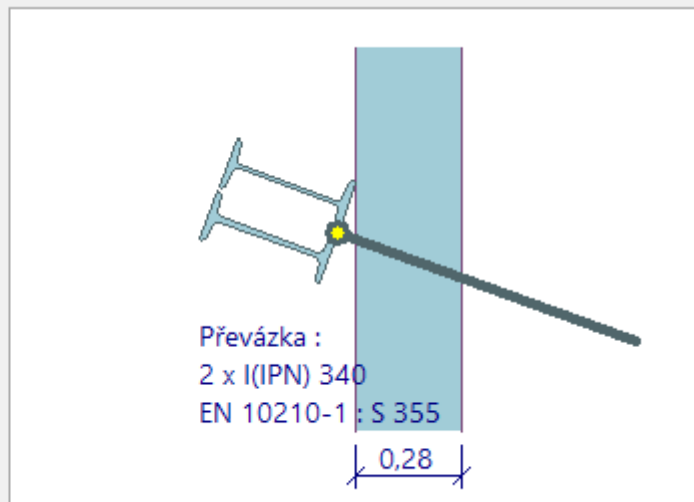
Maximální síla $F_{max} = 726,21$ kN
 Normálová síla $N = 100,00$ kN
 Moment max. $M_{max} = 544,65$ kNm
 Pos. síla max $Q_{max} = 726,21$ kN

Posuzovat průřez

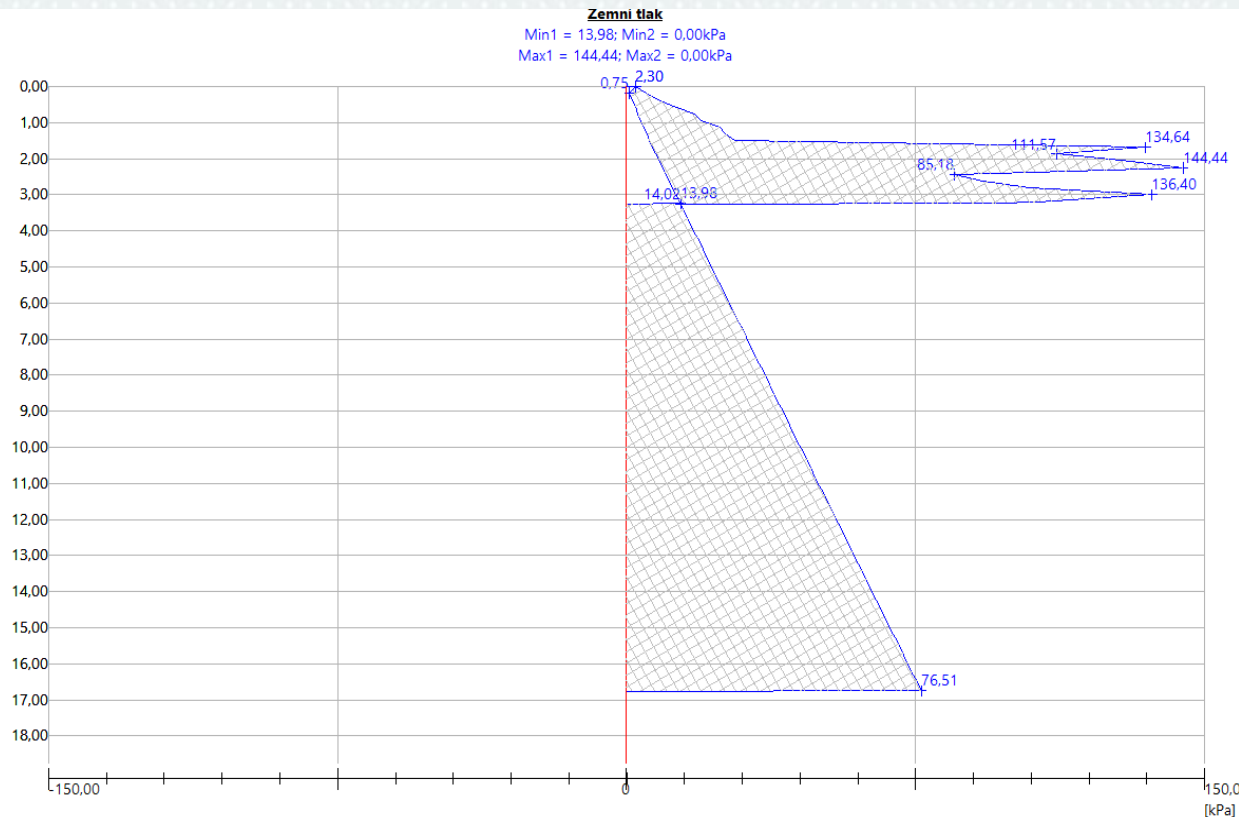
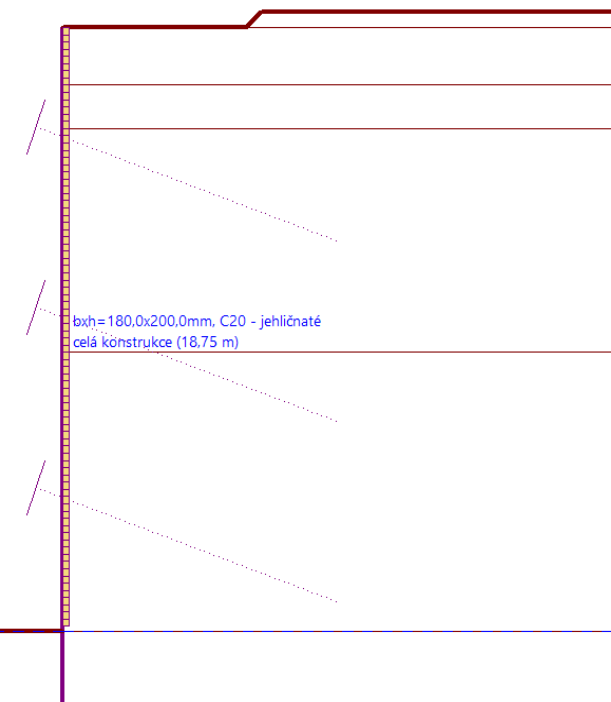
Výsledky

OHYB : VYHOVUJE (84,7%)

SMYK : VYHOVUJE (49,8%)



Varianta 2: Záporové pažení – Únosnost pažiny



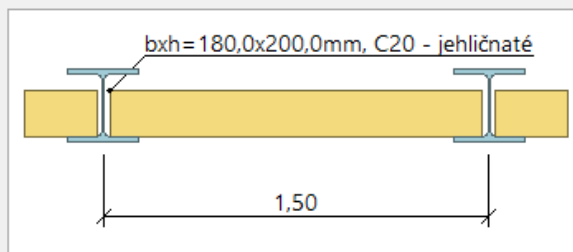
Max. tlak $q_{max} = 144,44$ kPa
 Moment max. $M_{max} = 8,12$ kNm
 Pos. síla max $Q_{max} = 21,67$ kN

Posuzovat průřez

Výsledky

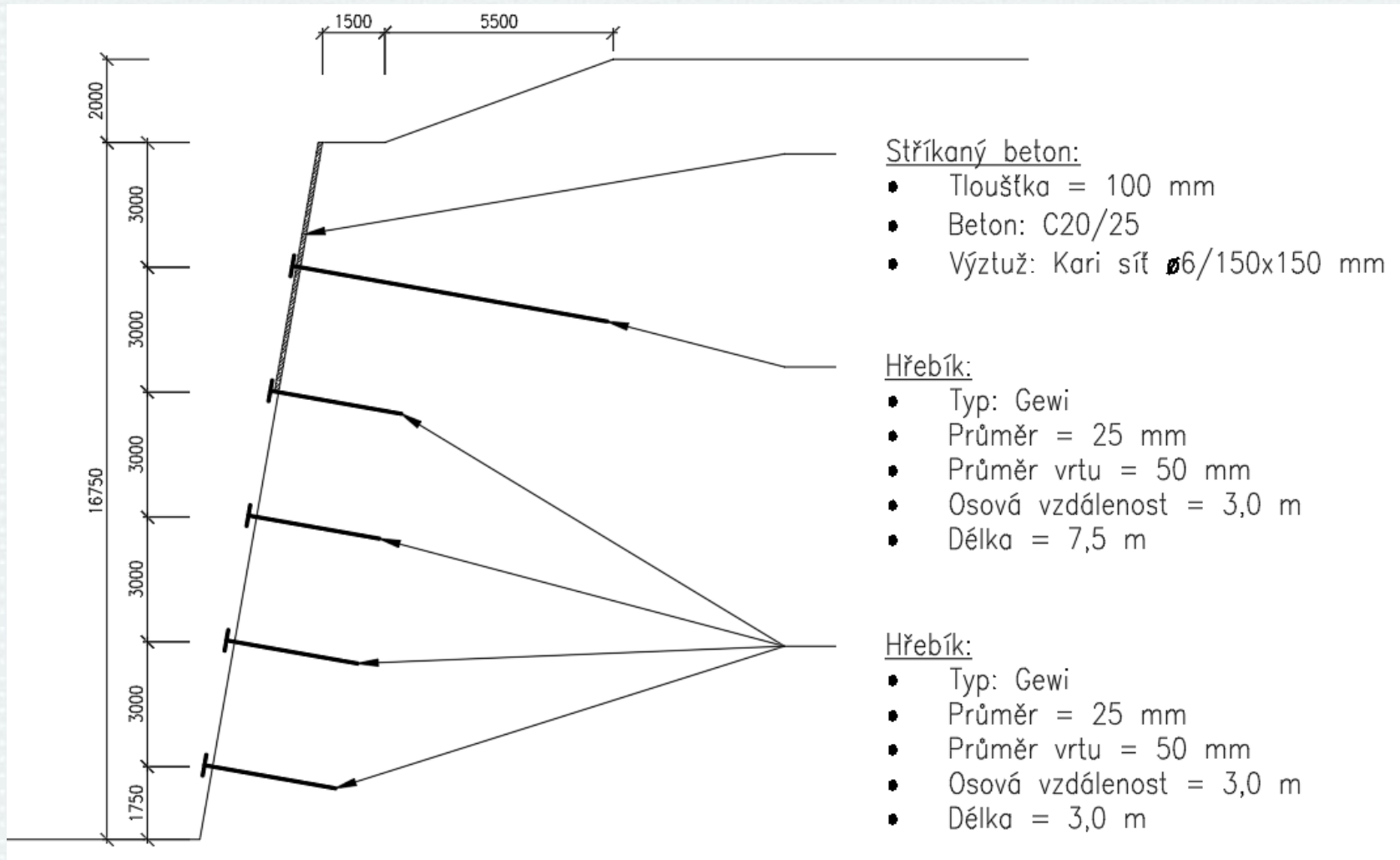
OHYB A TLAK : VYHOVUJE (97,8%)

SMYK : VYHOVUJE (97,3%)

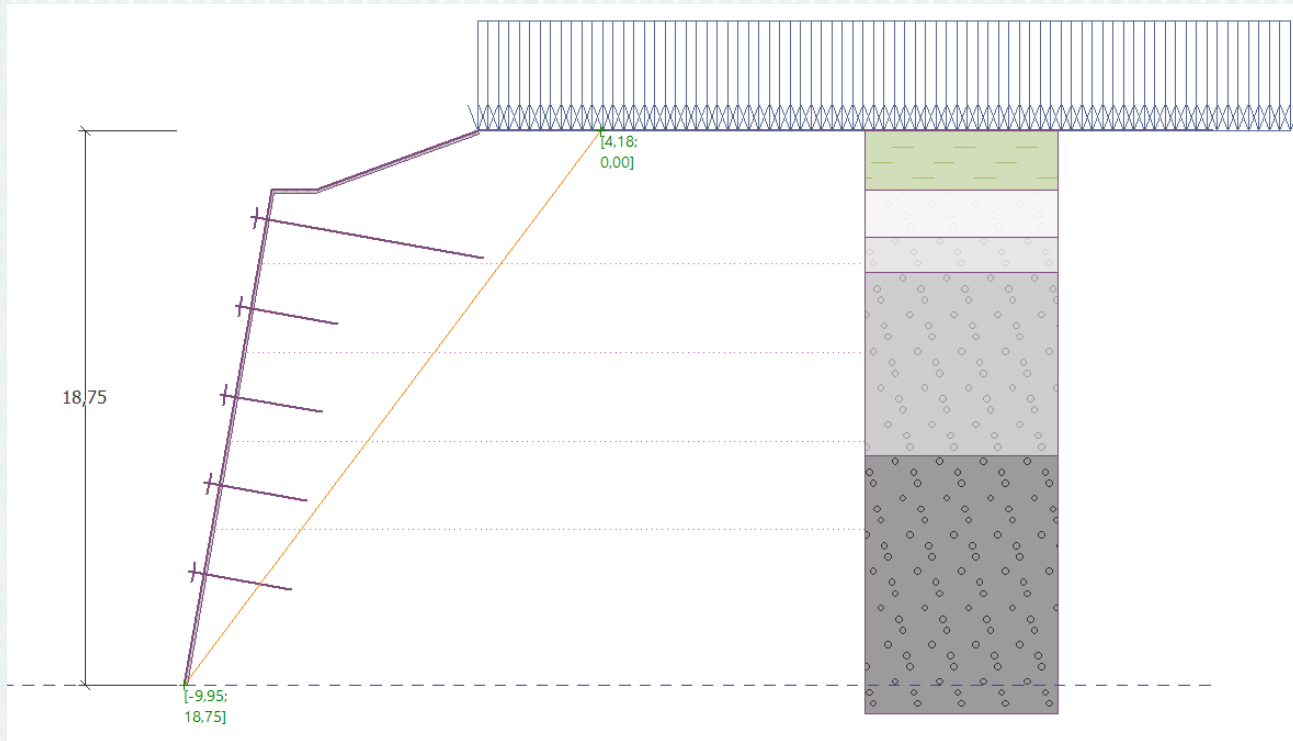


Zajištění stavební jámy

Varianta 3: Hřebíkováný svah



Varianta 3: Hřebíkováný svah – Vnitřní stabilita – rovná smyková plocha



Vnitřní stabilita - rovná smyková plocha ▾

Optimalizace smykové plochy

Hřebík číslo :

Úhel : [°]

Rovná smyková plocha po optimalizaci :

Úhel smykové plochy = 53,00 °
Počátek smykové plochy v hloubce = 18,75 m

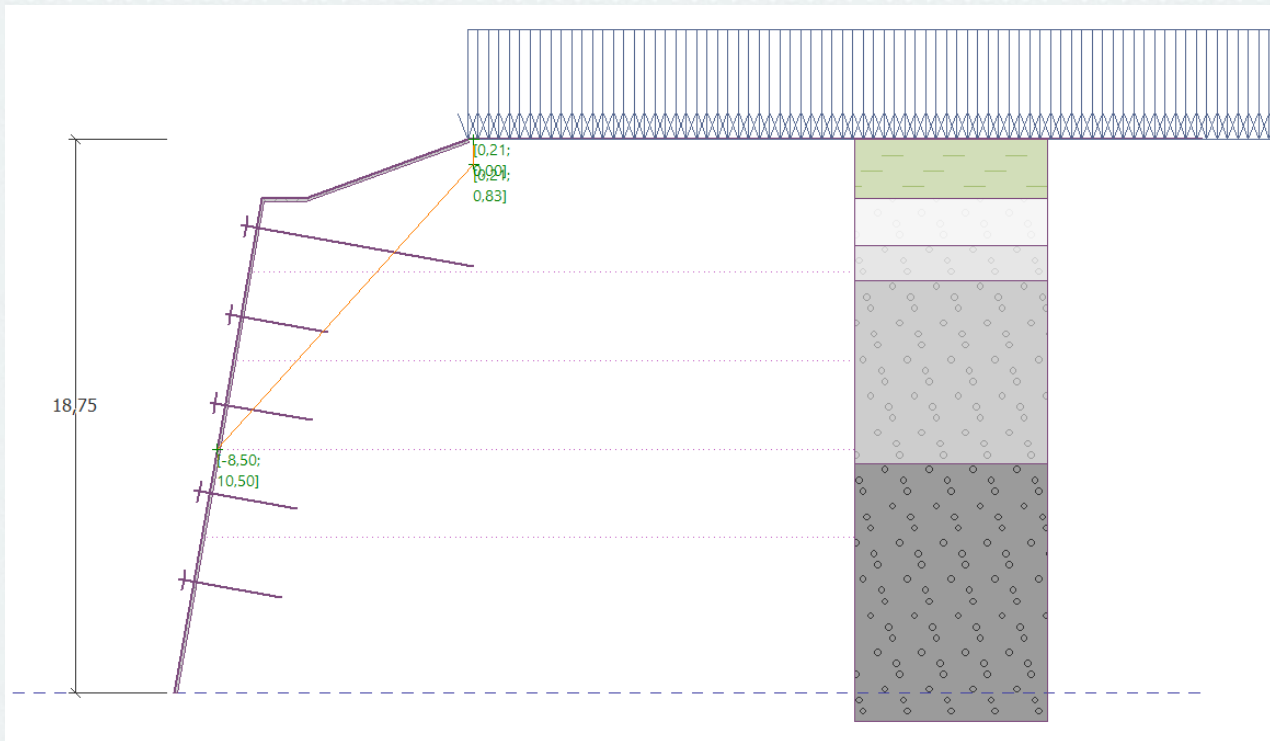
Posouzení :

Tíhová síla = 2871,97 kN/m
Celková síla v hřebících za sm. pl. = 11,12 kN/m
Síly na sm. ploše posun. (tíh.síla) = 2293,66 kN/m
Síly na sm. ploše posun. (tlak) = 0,00 kN/m
Síly na sm. ploše vzdor. (zemina) = 2763,13 kN/m
Síly na sm. ploše vzdor. (hřeby) = 5,05 kN/m

Vzdorující síla = 2768,18 kN/m > 2293,66 kN/m = posouvající síla.

Stabilita smykové plochy VYHOVUJE

Varianta 3: Hřebíkový svah – Vnitřní stabilita – lomená smyková plocha



Vnitřní stabilita - lomená smyková plocha ▾

Optimalizace smykové plochy

Hřebík číslo :

Úhel : [°]

Lomená smyková plocha po optimalizaci :

Úhel smykové plochy = 48,00 °
Počátek smykové plochy v hloubce = 10,50 m

Posouzení :

Tíhová síla = 931,06 kN/m
Celková síla v hřebících za sm. pl. = 24,07 kN/m
Síly na sm. ploše posun. (tíh.síla) = 691,91 kN/m
Síly na sm. ploše posun. (tlak) = 4,22 kN/m
Síly na sm. ploše vzdor. (zemina) = 1084,24 kN/m
Síly na sm. ploše vzdor. (hřeby) = 12,76 kN/m

Vzdorující síla = 1096,99 kN/m > 696,13 kN/m = posouvající síla.

Stabilita smykové plochy **VYHOVUJE**

Varianta 3: Hřebíkový svah – Vnitřní stabilita – únosnost hřebů

Únosnost hřebů ▼

— Posouzení únosnosti hřebů —

Redukční součinitel aktivního tlaku : $k_n =$ [-]

Posouzení únosnosti hřebů

Redukční součinitel aktivního tlaku pro posouzení únos. hřebů $k_n = 0,85$.

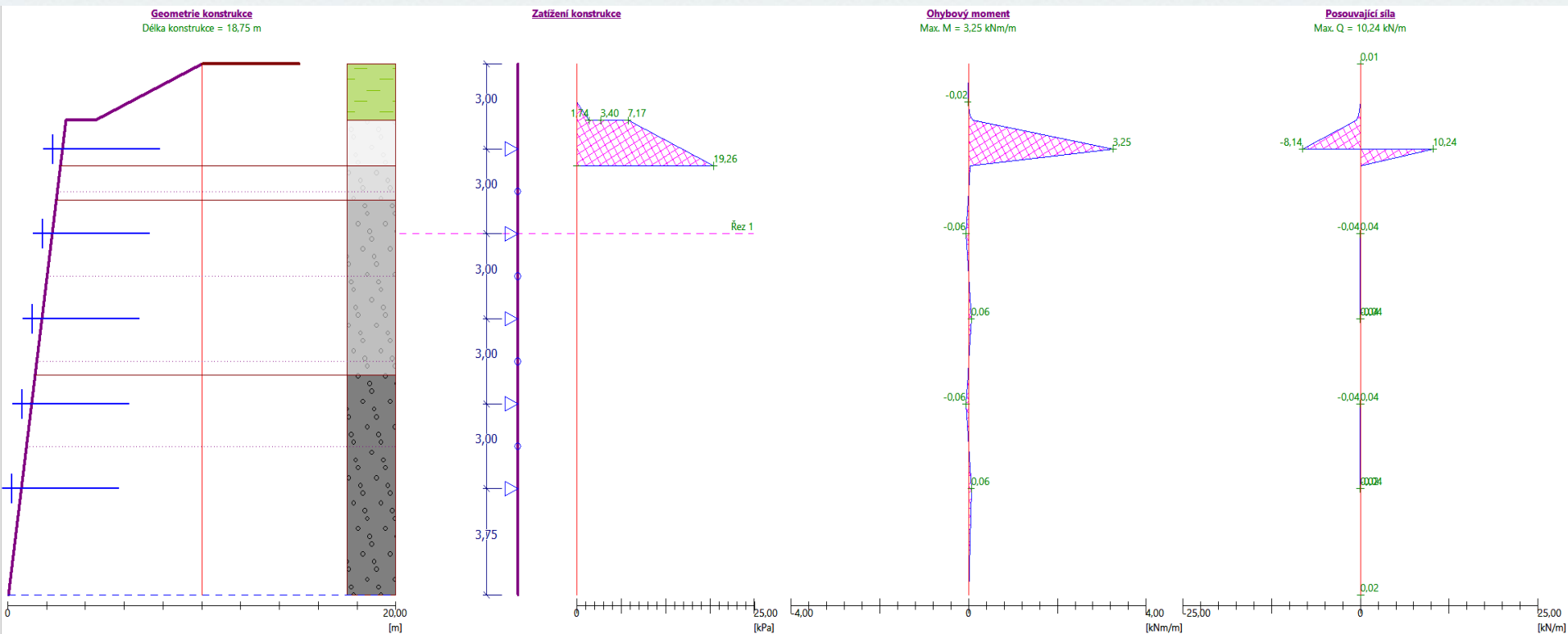
Hřeb	Hloubka h [m]	Typy hřebů	Únosnost hřebu [kN]	Síla v hřebu [kN]	Posouzení
1	3,00	GEWI D=25 mm	75,81	56,22	Vyhovuje
2	6,00	GEWI D=25 mm	49,34	0,00	Vyhovuje
3	9,00	GEWI D=25 mm	61,74	0,00	Vyhovuje
4	12,00	GEWI D=25 mm	81,71	0,00	Vyhovuje
5	15,00	GEWI D=25 mm	94,48	0,00	Vyhovuje

Maximálně využitý je hřeb č. 1

Únosnost hřebu = 75,81 kN > 56,22 kN = Síla v hřebu

Únosnost hřebů **VYHOVUJE**

Varianta 3: Hřebíkový svah – Únosnost stříkaného betonu



Vyztužení :

Typ sítě : Vnitřní síly :

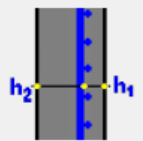
Název :

Plocha vodorovné výztuže : $A_{\text{hor}} = 188,5 \text{ [mm}^2\text{/m]}$

Plocha svislé výztuže : $A_{\text{vert}} = 188,5 \text{ [mm}^2\text{/m]}$

Vzdálenost těžiště sítě od rubu : $h_1 = 50,0 \text{ [mm]}$

Vzdálenost těžiště sítě od líce : $h_2 = 50,0 \text{ [mm]}$



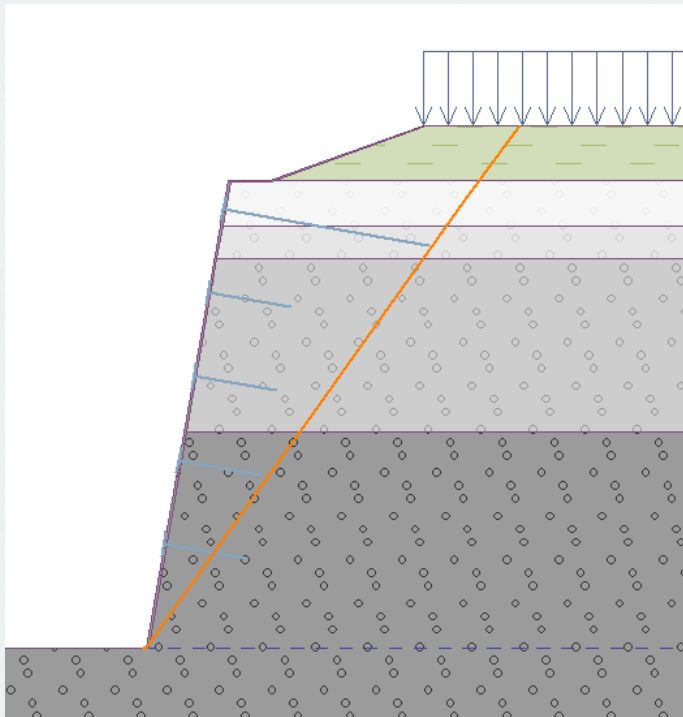
$h = 100,0 \text{ mm}$

Celkové posouzení

Svislý směr - rub = 84,62 % **VYHOVUJE**
 Vodorovný směr - rub = 94,08 % **VYHOVUJE**
 Svislý směr - líc = 1,54 % **VYHOVUJE**
 Vodorovný směr - líc = 47,04 % **VYHOVUJE**
 Konstrukční zásady = 34,48 % **VYHOVUJE**
 Posouzení na smyk = 43,51 % **VYHOVUJE**

Celkové posouzení VYHOVUJE

Varianta 3: Hřebíkováný svah – Vnější stabilita svahu



Smyková plocha : polygonální  Nahradit  Upravit  Odstranit  Převést na kruh

— Parametry výpočtu —

Metoda :

Typ výpočtu :

Omezení

— Polygonální smyková plocha —

Číslo	x [m]	z [m]
1	-10,05	-18,75
2	-9,95	-18,77
3	-9,82	-18,62
4	1,45	-2,71
5	3,41	-0,05
6	3,46	0,00

Posouzení stability svahu (Sarma)

Využití : 80,5 %

Stabilita svahu **VYHOVUJE**

**Děkuji Vám
za pozornost**