

# **Odstranění staré ekologické zátěže v bývalém areálu „ICEC“-Šlapanice**

**Stabilitní posouzení**

**Brno, červen 2019**

**GEOtest, a.s.**  
**Šmahova 1244/112, 627 00 Brno**  
**IČO: 46344942 DIČ: CZ 46344942**

tel.: **548 125 111**  
fax: **545 217 979**

e-mail: **geotechnika@geotest.cz**

Geologické a sanační práce pro ochranu životního prostředí, geotechnický a hydrogeologický průzkum

Číslo a název zakázky: 18 7579 Odstranění staré ekologické zátěže v bývalém areálu „ICEC“-Šlapanice  
Objednatel: Město Šlapanice  
Adresa: Masarykovo náměstí 100/7, 664 51 Šlapanice

## **Odstranění staré ekologické zátěže v bývalém areálu „ICEC“-Šlapanice**

### **Stabilitní posouzení**



Odpovědný řešitel: **Ing. Marek Polák**, oborový manažer IG

Zpracoval: **Ing. Adam Zapletal**

Prověřil: **Mgr. Lubomír Pivnička**, výrobní ředitel

**RNDr. Lubomír Klímek, MBA**  
ředitel společnosti, člen představenstva

**Brno, červen 2019**

**GEOtest, a.s.**

Šmahova 1244/112, 627 00 Brno  
DIČ CZ46344942



**Výtisk č.**

## OBSAH

1.	ÚVOD	2
2.	PŘEDANÉ A POUŽITÉ PODKLADY .....	2
3.	ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA .....	2
3.1	GEOTECHNICKÉ POMĚRY LOKALITY .....	2
3.2	GEOTECHNICKÉ MODEL Y .....	2
3.3	POSOUZENÍ.....	3
3.3.1	Posouzení nadzvižení dna stavební jámy .....	5
3.3.2	Návrh svahování pro úseky bez přetížení za hranou stavební jámy .....	6
3.3.3	Návrh svahování v blízkosti budov se základovou sparou v úrovni 0,8 m pod terénem .....	9
3.3.4	Návrh svahování v blízkosti budov se základovou sparou v úrovni 2,5 m pod terénem .....	12
3.3.5	Orientační návrh roubení stěn stavební jámy v těsné blízkosti stavebních objektů	15
4.	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ .....	19

# 1. ÚVOD

V rámci průzkumu lokality plánovaného sanačního zásahu v katastru města Šlapanice, který provádí odborní pracovníci společnosti GEOTest, a.s. bylo řešeno stabilitní posouzení stěn a dna projektované sanační jámy.

Hlavní důraz při zpracování posudku byl kladen na návrh geometrie sanační jámy a na dosažené stupně stability stěn a dna jámy. Konstrukce byly posouzeny z hlediska dlouhodobé stability. Výpočty stability se řídily normou ČSN EN 1997-1 a byl uvažován návrhový přístup 2.

## 2. PŘEDANÉ A POUŽITÉ PODKLADY

- [1] Závěrečná zpráva předsanačního doprůzkumu (DEKONTA, a.s., 2019),
- [2] Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí– část 1 - Obecná pravidla
- [3] Eurokód 7. Geotechnický návrh – část 2 - ENV 1997-2.,
- [4] Poulos H.G. and Davis E.H. (1974), Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics, John Willey & Sons, Inc., New York, USA,
- [5] Brinkgreve R.B.J and Vermeer (1998), PLAXIS – Finite Element Code for Soil and Rock Analysis, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands,
- [6] Terzaghi K., Peck R.B. and Mesri G (1996), Soil Mechanics in Engineering Practice, John Willey & Sons, Inc., New York, USA,
- [7] Plaxis bp.: Manual.

## 3. ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA

### 3.1 GEOTECHNICKÉ POMĚRY LOKALITY

Geotechnické a hydrogeologické poměry uvažované při posouzení sanační jámy byly stanoveny na základě výsledků sondážních prací [1] a byly případně upraveny a doplněny podle odborné literatury a zkušeností.

### 3.2 GEOTECHNICKÉ MODEL Y

Průběh geologických vrstev byl stanoven podle výsledků sondáže [1]. Geometrie sanační jámy byla navržena podle požadavků objednatele. Potřebné hodnoty geotechnických vlastností byly stanoveny podle výsledků laboratorních zkoušek, polních zkoušek a případně doplněny podle zkušeností či podle údajů uvedených v běžně používané odborné literatuře. Parametry zemin použité ve výpočtech se zavedením bezpečnostních součinitelů podle ČSN EN 1997-1 jsou uvedeny v přehledné tabulce 1 str. 4.

V použitém SW Plaxis je speciální možnost chování materiálu za neodvodněných podmínek „UnDrained“ (viz řádek 2 tab.1). Efektivní parametry G a  $\nu$ , jsou převedeny na neodvodněné

parametry  $E_u$  a  $\nu_u$  v souladu s rovnicemi:  $E_u = 2G(1 + \nu_u)$ , kde  $\nu_u = \frac{\nu' + \mu(1 + \nu')}{1 + 2\mu(1 + \nu')}$ ,  
 $\mu = \frac{1}{3n} \frac{K_w}{K'}$  a  $K' = \frac{E'}{3(1 - 2\nu')}$

Index  $u$  se používá pro označení pomocného parametru pro neodvodněné (totální) parametry zeminy. Nelze zaměňovat  $E_u$  a  $\nu_u$  s  $E_{ur}$  a  $\nu_{ur}$ , které se používají k označení při odtěžování / zatěžování.

Zcela nestlačitelné chování je možno vytvořit zadáním pro  $\nu_u = 0,5$ . Pokud však zvolíme  $\nu_u = 0,5$ , tak bude matice tuhosti singulární (za předpokladu analýzy při neodvodněných podmínkách). Ve skutečnosti není voda zcela nestlačitelná, ale skutečný modul objemové pružnosti vody je velmi vysoký. Aby se předešlo numerickým problémům, které způsobuje velmi nízká stlačitelnost vody, je třeba  $\nu_u$  brát nejvýše hodnotou 0.495, což způsobuje, že neodvodněné zeminy se stávají lehce stlačitelné. Za účelem zajištění reálných výsledků výpočtů musí být vysoký modul objemové pružnosti vody porovnán s velikostí modulu objemové pružnosti skeletu zeminy, tj.  $K_w \gg nK'$ . Tato podmínka je dostatečně zajištěna tím, že omezíme  $\nu' \leq 0,35$ . – SW Plaxis toto hlídá a proto v tabulkách materiálových vlastností výše není pro hodnotu  $\nu$  (v kombinaci s předpokladem neodvodněného chování materiálu) větší hodnota.

V důsledku toho je, pro neodvodněné chování materiálu, modul objemové pružnosti vody automaticky přidán do matice tuhosti. Hodnota modulu objemové pružnosti je dána vztahem:

$$\frac{K_w}{n} = \frac{3(\nu_u - \nu')}{(1 - 2\nu_u)(1 + \nu')} K' = 300 \frac{0,495 - \nu'}{1 + \nu'} K' > 30K', \text{ kde } \nu' \leq 0,35.$$

**Materiály charakteru zemin** jsou v matematickém modelu **reprezentovány základním Mohr-Coulombovým materiálovým vztahem**.

Geotechnické modely horninového prostředí jsou zadány v režimu „UnDrained“. Tento režim umožňuje na základě propustnosti zemin a stavu napjatosti simulovat reálný vývoj pórových tlaků v zeminách v závislosti na čase.

### 3.3 POSOUZENÍ

Posouzení bylo provedeno v programu PLAXIS 8.6 (výpočet metodou konečných prvků) určeném pro řešení zejména geotechnických úloh. Zpracovaná úloha byla v programu PLAXIS modelována jako 2D úloha – tj. rovinný stav deformace (plain strain). Hlavním cílem posudku bylo navržení geometrie sanační jámy a stanovení stabilitního chování svahů a dna jámy.

Stručný popis geologických vrstev:

- GT1 - kvartér, navážka – písek zahliněný, středně ulehlý, příměs kusů stavebního materiálu,
- GT2 - kvartér, fluviální – jíl prachovito písčité, tuhé až měkké konzistence,
- GT3 - kvartér, fluviální – písčité štěrky až jíl štěrkovito písčité, kyprý až středně ulehlý,
- GT4 - neogén, marinní – jíl s vysokou plasticitou, tuhý až pevný, stupeň konzistence do hloubky narůstá

Výsledky z deformačně-napjatostní analýzy jsou uvedeny pro zásadní fáze výstavby. Nejsou zobrazeny mezilehlé fáze, které zde nemají rozhodující důležitost. Ve výstupech jsou uvedeny zóny oslabení získané pomocí „phi/c reduction“ výpočtu, kde je největší pravděpodobnost vzniku smykové plochy.

Výpočty stability se řídily předpisem ČSN EN 1997-1.

Při návrhovém přístupu 2 k ověření mezních stavů STR a GEO jsou zatížení nebo účinky zatížení zvětšeny součinitelem  $\gamma_F$  nebo  $\gamma_E$  a parametry základové půdy jsou ponechány v původních hodnotách  $\gamma_M = 1.0$ . Hodnota redukčního součinitele  $\gamma_R = 1,4$  pro odpor základové půdy je zavedena jako minimální požadovaný stupeň stability konstrukce.

Při ověření mezních stavů UPL a HYD jsou zatížení nebo účinky zatížení zvětšeny součinitelem  $\gamma_F$  nebo  $\gamma_E$  a parametry základové půdy jsou sníženy součinitelem  $\gamma_M = 1,10$  pro tg  $\phi$  a  $\gamma_M = 1,30$  pro  $c_{ef}$ .

Parametry použité ve výpočtech podle ČSN EN 1997-1 jsou uvedeny v následující tabulce 1 pro ověření mezních stavů STR a GEO a v tabulce 2 pro ověření mezních stavů UPL a HYD.

Tabulka 1: Parametry zemin pro posouzení mezních stavů STR a GEO.

Mohr-Coulomb		GT1	GT2	GT3	GT4	GT4
		navážka - místy nesoudržná	jíl písčitý měkký/tuhý	písek/štěrk	jíl pevný	jíl tuhý
Type		UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,50	18,5	19,00	20,50	20,50
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,80	18,5	19,00	21,00	21,00
$k_x$	[m/s]	1,000E-06	8,000E-07	3,000E-06	1,000E-08	1,000E-08
$k_y$	[m/s]	1,000E-06	8,000E-07	3,000E-06	1,000E-08	1,000E-08
$E_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	22000,000	5900,000	23000,000	12000,000	8400,000
$\nu$	[-]	0,320	0,340	0,300	0,350	0,350
$G_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	8333,333	2201,493	8846,154	4444,444	3111,111
$E_{oed}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	31481,481	9081,157	30961,538	19259,259	13481,481
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	5,00	14,00	3,00	22,00	19,00
$\phi$	[°]	28,00	18,00	30,00	20,00	17,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$R_{inter.}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Interface permeability		Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral

Tabulka 2: Parametry zemin pro posouzení mezních stavů UPL a HYD.

Mohr-Coulomb		GT1	GT2	GT3	GT4	GT4
		navážka - místy nesoudržná	jíl písčitý měkký/tuhý	písek/štěrk	jíl pevný	jíl tuhý
Type		UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained
$\gamma_{unsat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,50	17,60	19,00	20,50	20,50
$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,80	17,60	19,00	21,00	21,00
$k_x$	[m/s]	1,000E-06	8,000E-07	3,000E-06	1,000E-08	1,000E-08

<i>Mohr-Coulomb</i>		GT1	GT2	GT3	GT4	GT4
		navážka - místy nesoudržná	jíl písčitý měkký/tuhý	písek/štěrk	jíl pevný	jíl tuhý
$k_y$	[m/s]	1,000E-06	8,000E-07	3,000E-06	1,000E-08	1,000E-08
$E_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	22000,000	5900,000	23000,000	12000,000	8400,000
$\nu$	[-]	0,320	0,340	0,300	0,350	0,350
$G_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	8333,333	2201,493	8846,154	4444,444	3111,111
$E_{oed}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	31481,481	9081,157	30961,538	19259,259	13481,481
$c_{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	3,85	10,77	3,00	22,00	19,00
$\varphi$	[°]	25,45	17,30	30,00	20,00	17,00
$\psi$	[°]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$R_{inter.}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Interface permeability</b>		Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral

Tabulka 3: Materiálový model pažení.

no.	Identification	EA	EI	w	$\nu$	Mp	Np
		[kN/m]	[kNm <sup>2</sup> /m]	[kN/m/m]	[-]	[kNm/m]	[kN/m]
1	štetová stěna	4,1423E6	16000,00	1,60	0,30	1E15	1E15

Tabulka 4: Materiálový model pro kotvy a vzpěry.

no.	Identification	EA	Fmax,comp	Fmax,tens	L spacing
		[kN]	[kN]	[kN]	[m]
1	Kotva	200000,00	1E15	1E15	4,00

### 3.3.1 Posouzení nadzvižení dna stavební jámy

Podle zásad navrhování geotechnických konstrukcí dle ČSN EN 1997 se jedná o návrhovou situaci UPL (ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy vlivem vztlačku) a HYD (nadzvihování dna, vnitřní eroze a sufoze v základové půdě, způsobená hydraulickým gradientem).

Pro ověření mezního stavu HYD je nutné použít vztah:

$$u_{dst,d} \leq \sigma'_{stb,d}$$

$u_{dst,d}$  je návrhová hodnota destabilizujícího celkového porového napětí  
 $\sigma'_{stb,d}$  je návrhová hodnota stabilizujícího celkového svislého napětí

Z průzkumu vyplývá, že napjatá zvodně proudí ve vrstvě štěrkopísků jejichž horní povrch (dolní povrch nepropustné jílové vrstvy) je v úrovni min 6,1 m pod povrchem a napjatá hladina vody v hydrogeologických vrtech vystoupala až na úroveň 1,7 m pod terénem. Destabilizující celkové pórové napětí má tedy přibližně hodnotu 44 kPa =  $u_{dst,d}$ .

Návrhová hodnota stabilizujícího celkového svislého napětí je dána objemovou hmotností zeminy (nepropustné jílové vrstvy nad napjatou zvodní) a její mocností  $\sigma'_{stb,d} = \gamma'_d h$

$\gamma'_d$  návrhová objemová tíha zeminy – po zavedení bezpečnostních součinitelů  $\gamma'_d = 17,6$  kN/m<sup>3</sup>

$h$  mocnost zeminy

Z výše uvedeného vyplývá vztah:

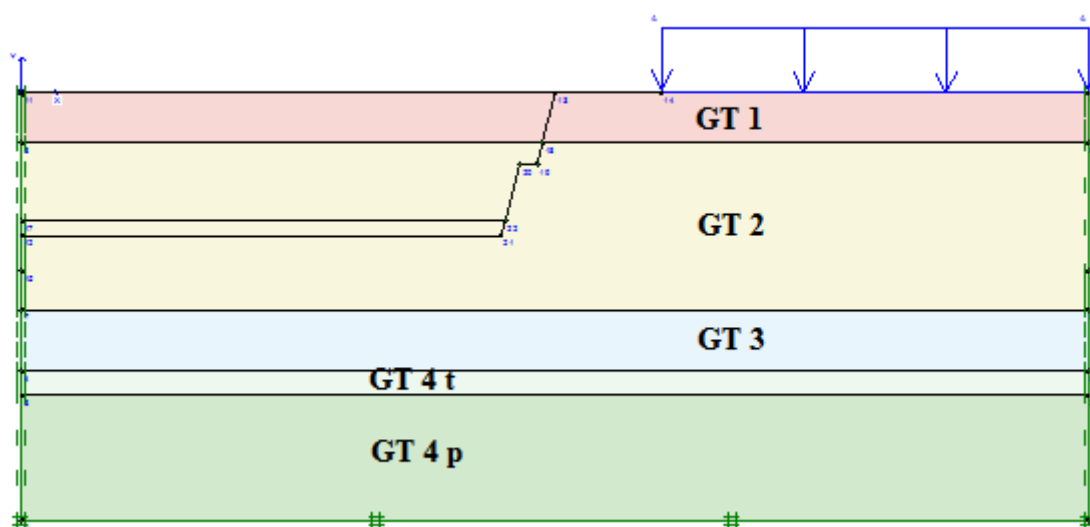
$$h_{\min} = u_{\text{dst},d} / \gamma'_d$$

$$h_{\min} = 44,0 / 17,6 = 2,5 \text{ m}$$

**Mocnost jílové vrstvy nad napjatou zvodní tedy musí být min 2,5 m. Pokud je úroveň spodního povrchu nepropustné jílové vrstvy v úrovni 6,1 m, pak není možné dle ČSN EN 1997 – 1 otevřít stavební jámu hlouběji než na úroveň 3,6 m pod terénem, což je stav absolutně limitní vycházející z jednoduché rovnováhy sil a při jeho překročení je pravděpodobnost protržení dna jámy velmi vysoká.**

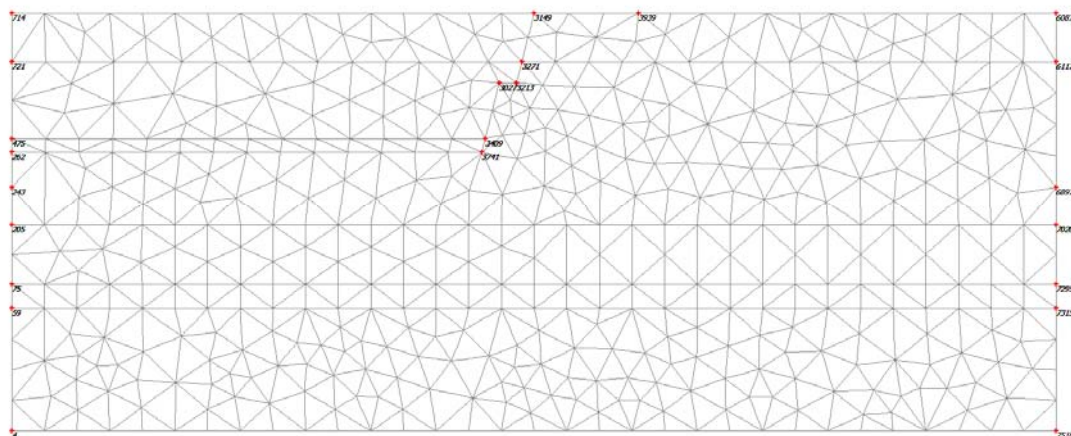
### 3.3.2 Návrh svahování pro úseky bez objektů za hranou stavební jámy

Ověření bezpečného sklonu svahu sanační jámy pro úseky, kde se za hranou jámy nevyskytují stavební objekty. Do vzdálenosti 3 m od hrany výkopu se nepředpokládá provoz stavebních strojů. Ve vzdálenosti od 3 m je uvažováno plošné nahodilé zatížení návrhovou hodnotou 15 kN/m<sup>2</sup>. Výpočet probíhal dle návrhového přístupu 2 k ověření mezních stavů STR a GEO a bylo předpokládáno otevření stavební jámy na hloubku 3,6 m pod terénem.



Obrázek 1: Matematický model včetně geologických rozhraní.

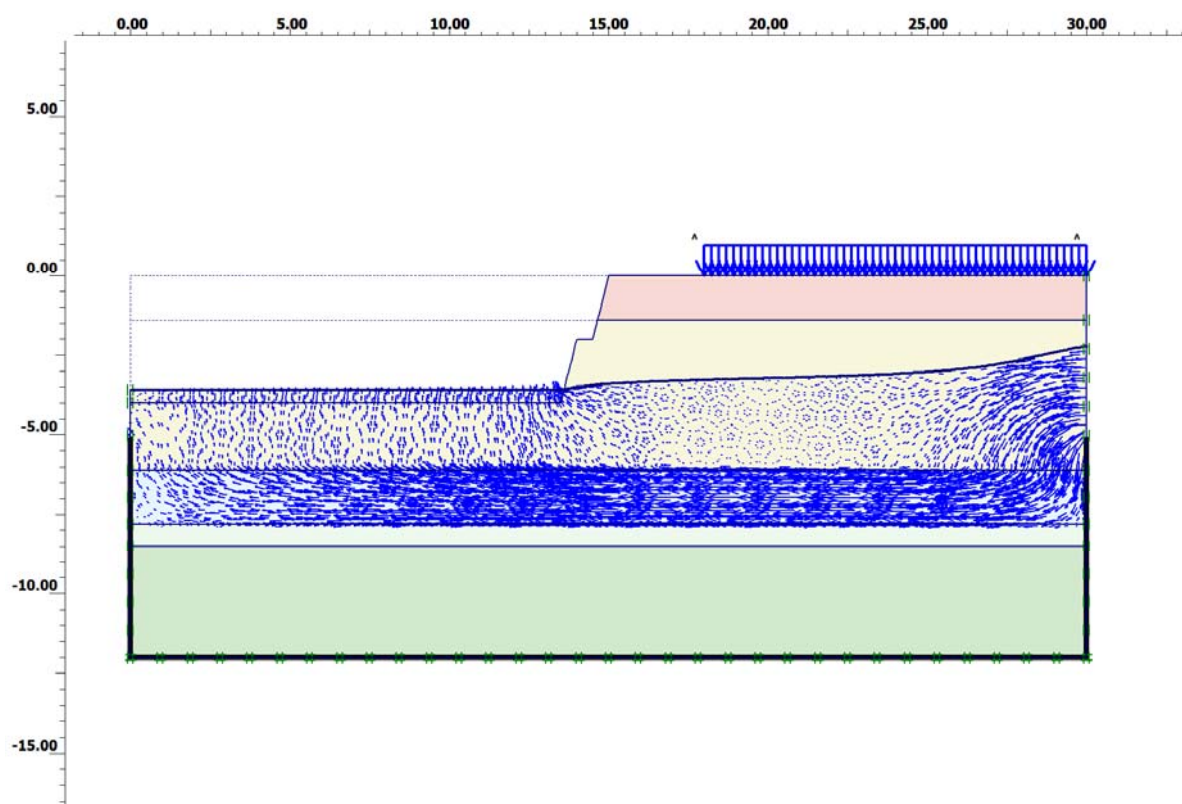




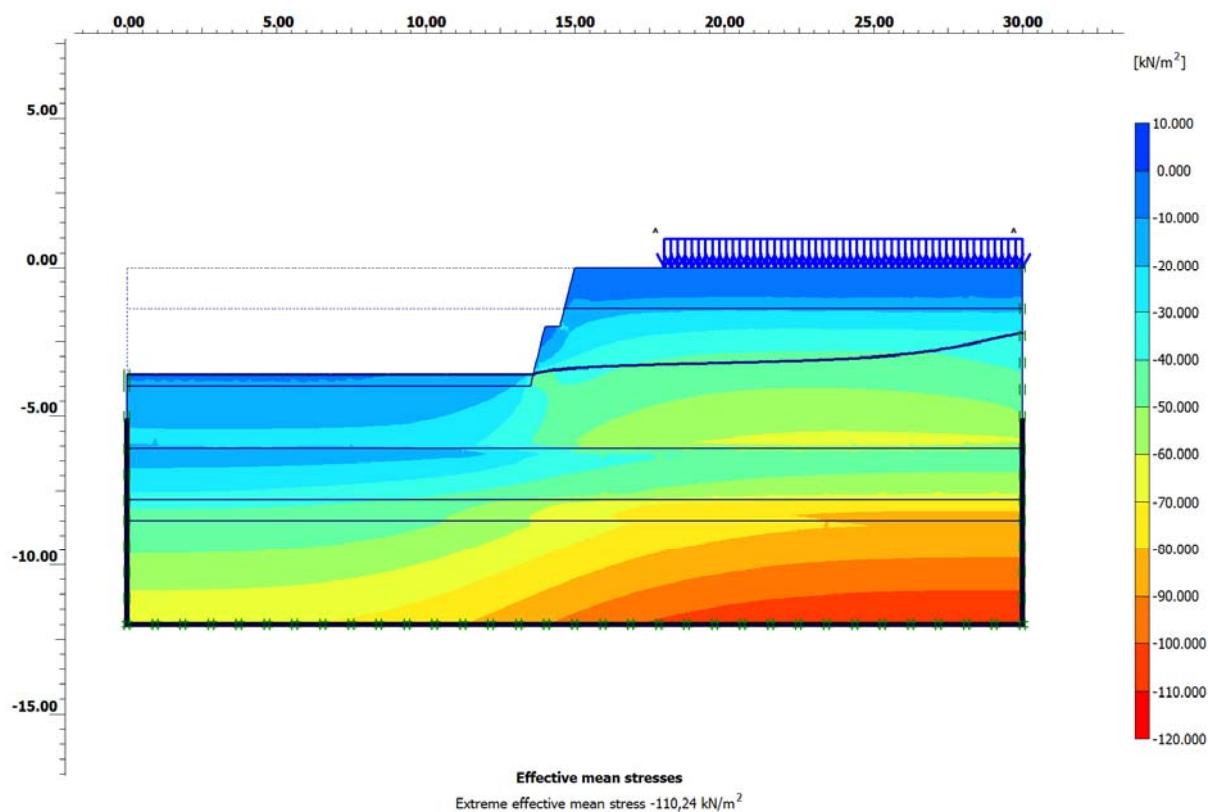
Obrázek 2: Rozdělení modelu na prvky.

Tabulka 5: Informace o prvcích.

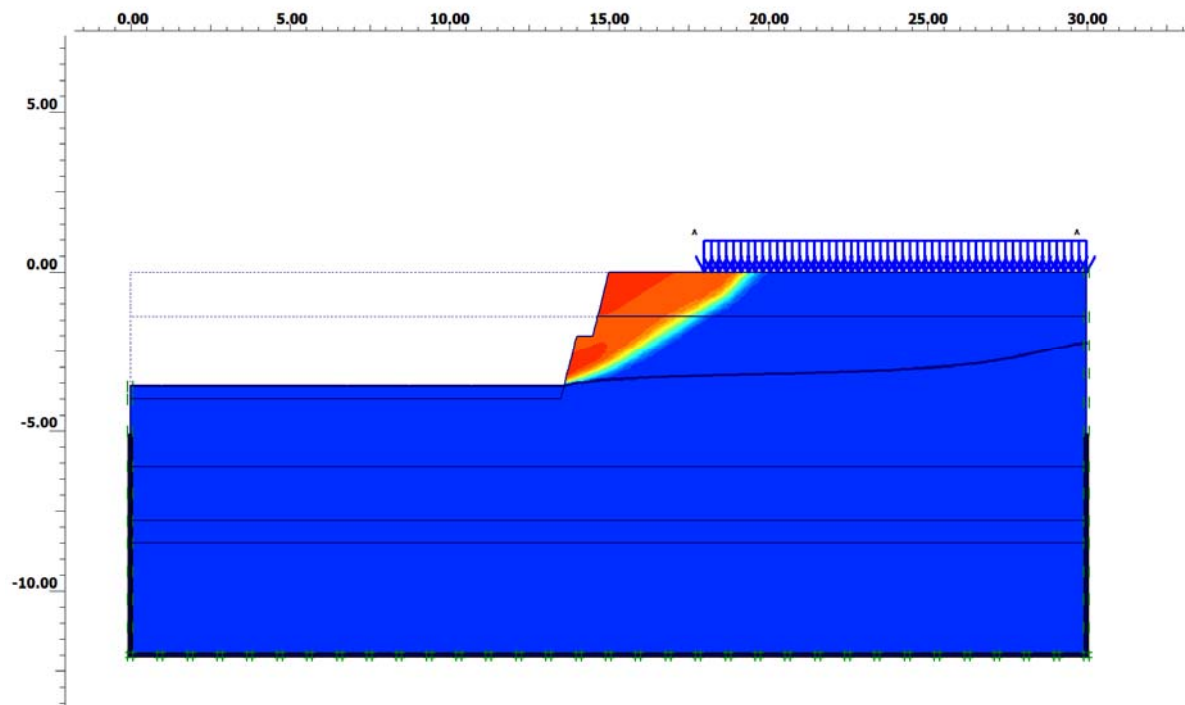
Type	Type of element	Type of integration	Total no.
Soil	15-Noded	12-point Gauss	918

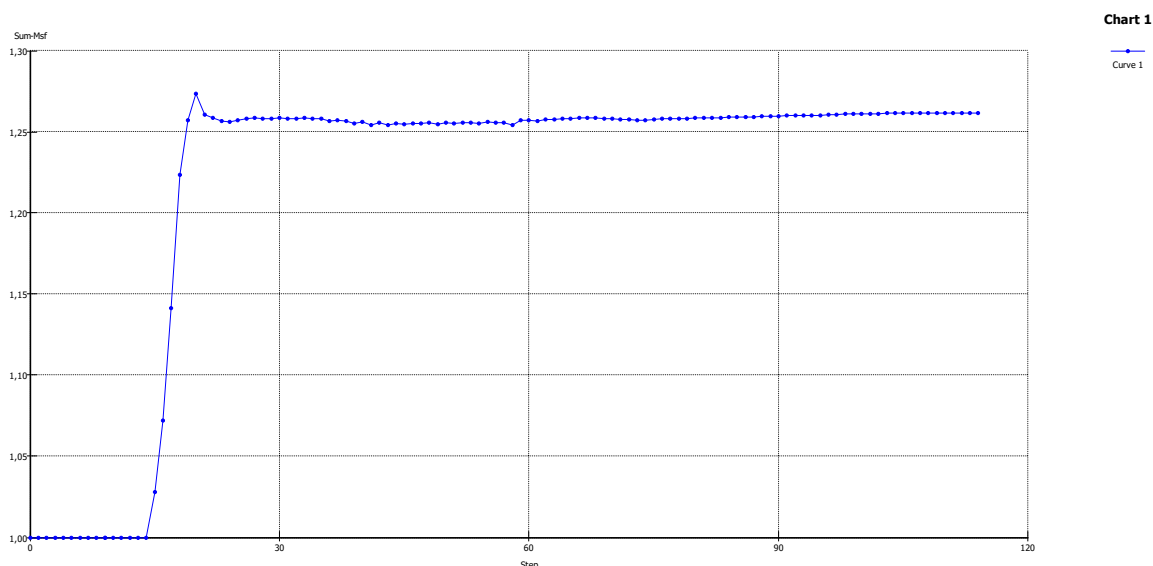


Obrázek 3: Model proudění vody v podloží.



Obrázek 4: Průběh efektivních napětí zobrazený pomocí isoploch. Patrný pokles efektivního napětí ve vrstvě štěrku způsobený napjatou hladinou podzemní vody.





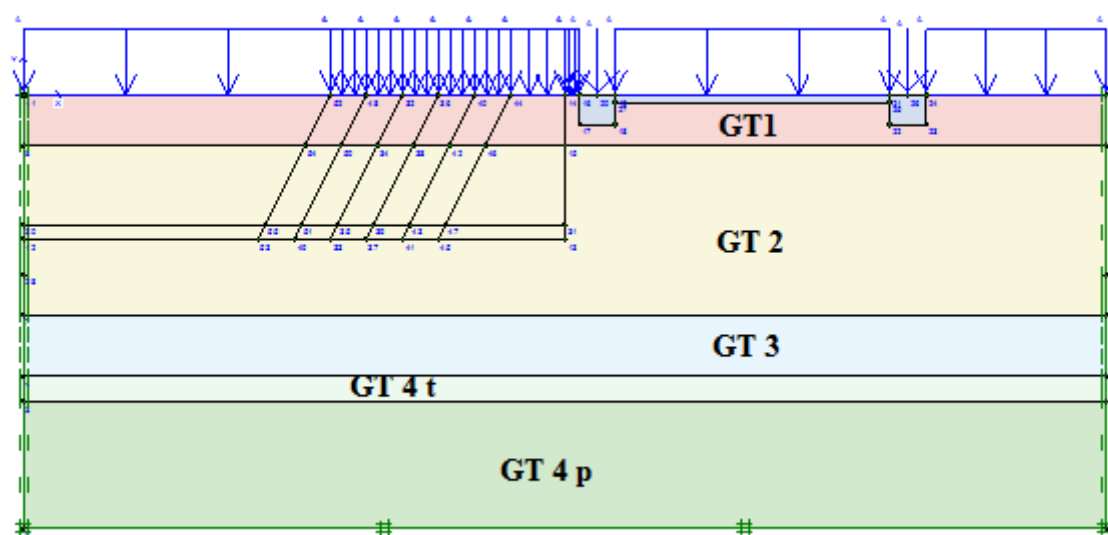
Obrázek 6: Graf zobrazující výpočet stupně stability pomocí „phi/c reduction“ metody.

Při strmém svahování 1 : 0,25 s vodorovnou lavičkou širokou 0,5 m realizovanou v úrovni 2,0 m pod terénem dosahuje stupeň stability hodnotu 1,253.

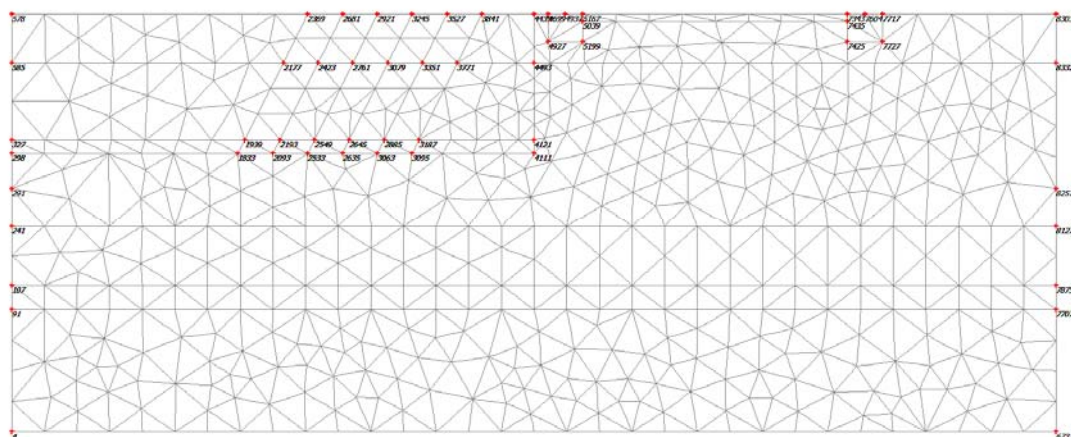
Pro svahy a celkovou stabilitu je dle ČSN EN 1997-1 při návrhovém přístupu 2 přípustný stupeň stability  $FS_{\min} = 1,1$ . Navržený způsob svahování tedy **vyhovuje**.

### 3.3.3 Návrh svahování v blízkosti budov se základovou sparou v úrovni 0,8 m pod terénem

Ověření bezpečné vzdálenosti svahu sanační jámy od stavebních objektů založených v úrovni 0,8 m pod terénem.



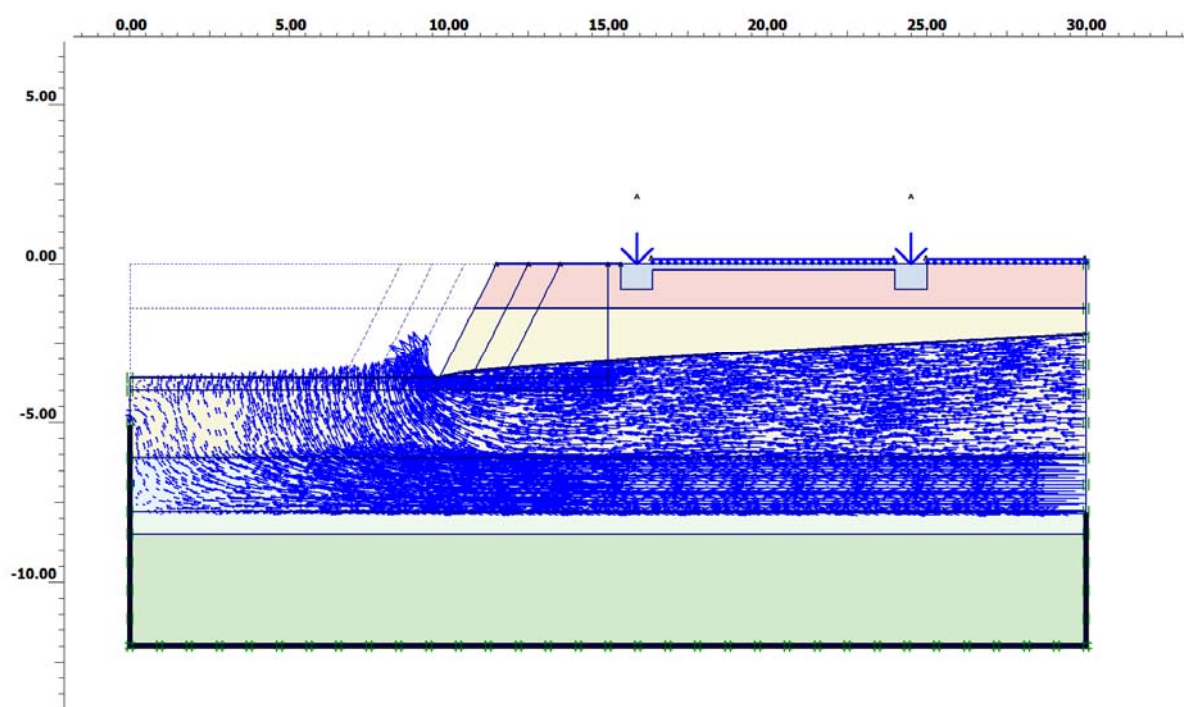
Obrázek 7: Matematický model včetně geologických rozhraní.



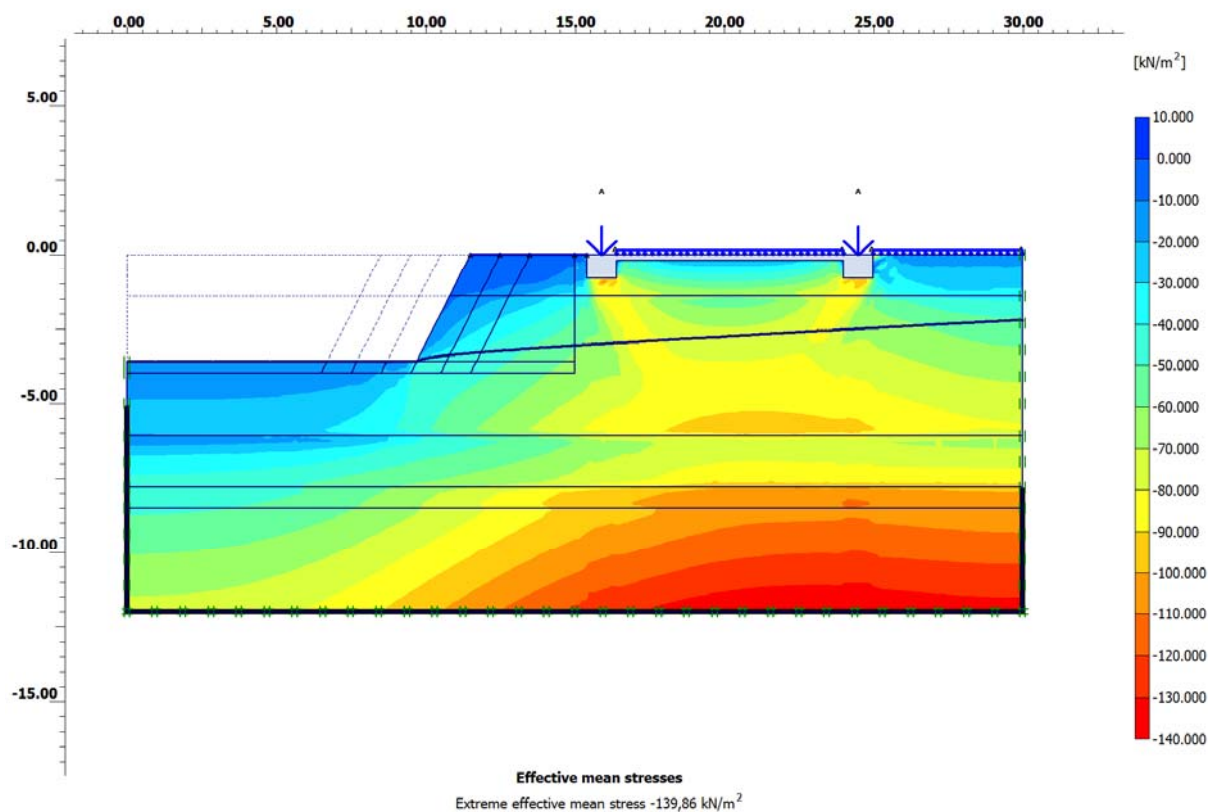
Obrázek 8: Rozdělení modelu na prvky.

Tabulka 6: Informace o prvcích.

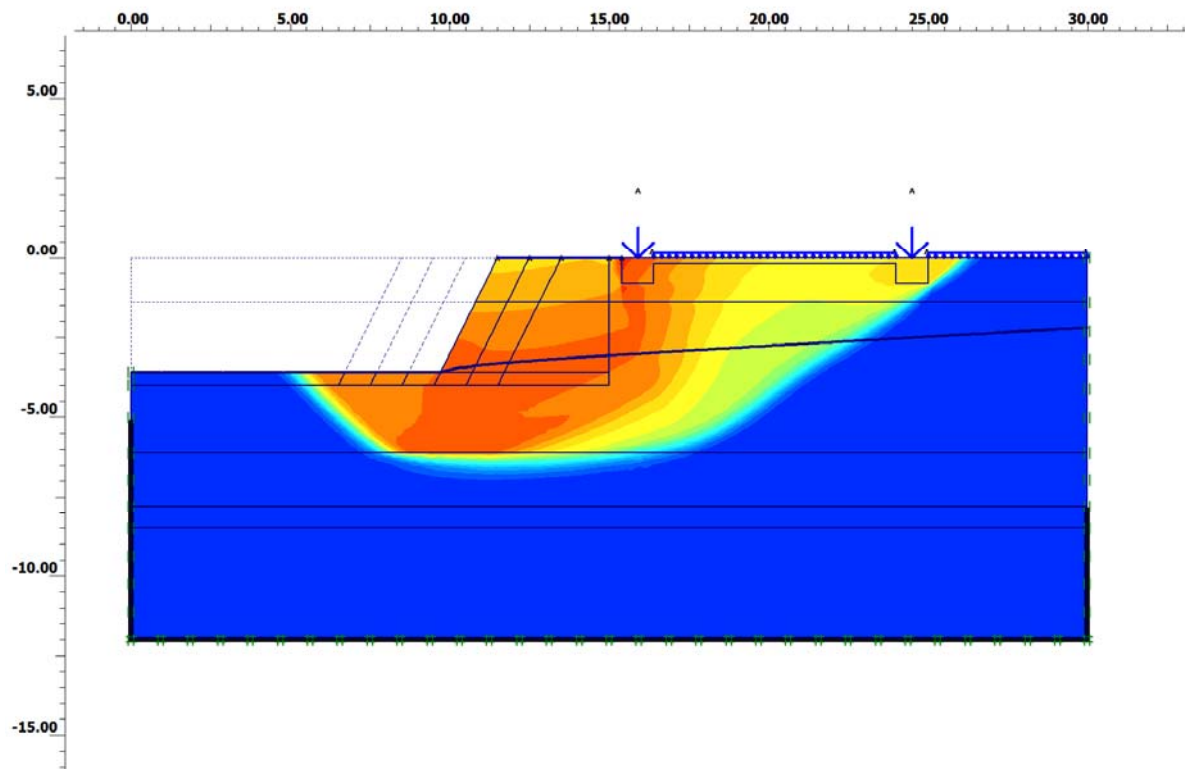
Type	Type of element	Type of integration	Total no.
Soil	15-Noded	12-point Gauss	1026



Obrázek 9: Model proudění vody v podloží.

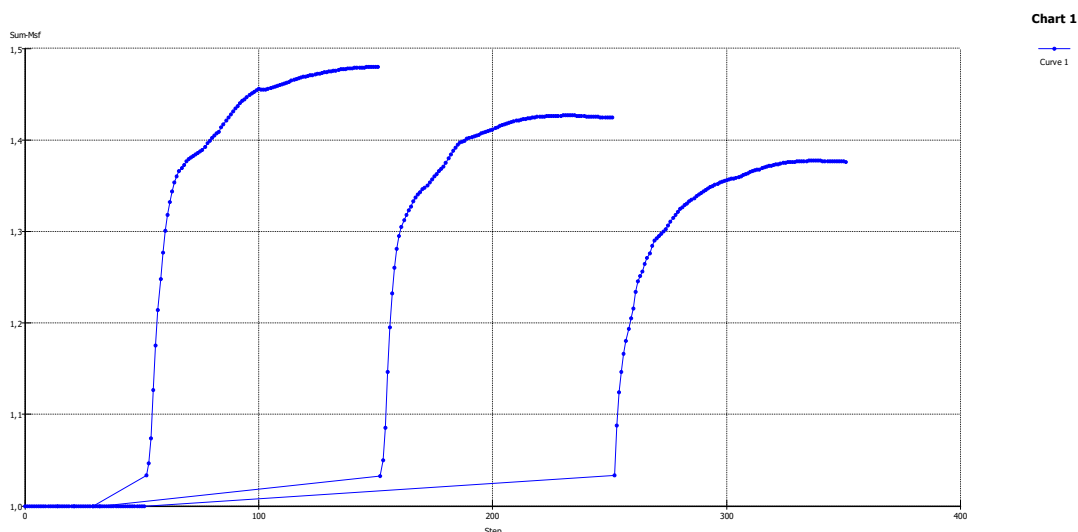


Obrázek 10: Průběh efektivních napětí zobrazený pomocí isoploch. Patrný pokles efektivního napětí ve vrstvě štěrku způsobený napjatou hladinou podzemní vody.



Obrázek 11: Tvar kritické smykové plochy při svahování 1 : 0,25 a horní hraně svahu ve vzdálenosti 4,0 m od objektu. Úroveň dna výkopu byla uvažována 3,6 m pod terénem a úroveň základové spáry objektu 0,8 m pod terénem. Vypočítaný stupeň stability  $FS = 1,425$ .





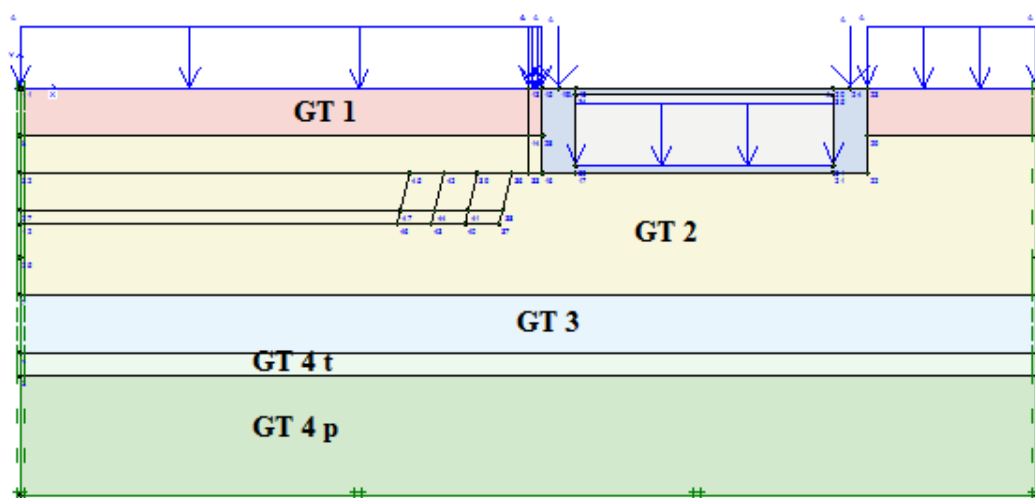
Obrázek 12: Graf zobrazující výpočet stupně stability pomocí „phi/c reduction“ metody.

Na obrázku 12 je graficky znázorněn průběh iteračního výpočtu stupně stability při horní hraně svahu ve vzdálenosti 5 m, 4 m a 3 m od objektu. Svahování bylo uvažováno ve sklonu 1 : 0,25 a dno výkopu v úrovni 3,6 m pod terénem. Při horní hraně svahu ve vzdálenosti 5 m od objektu má vypočítaný stupeň stability hodnotu 1,480 (graf vlevo). Při přiblížení horní hrany výkopu na vzdálenost 4,0 m od objektu klesne stupeň stability na hodnotu 1,425 (prostřední graf) a při vzdálenosti 3,0 m na hodnotu 1,377 (graf vpravo).

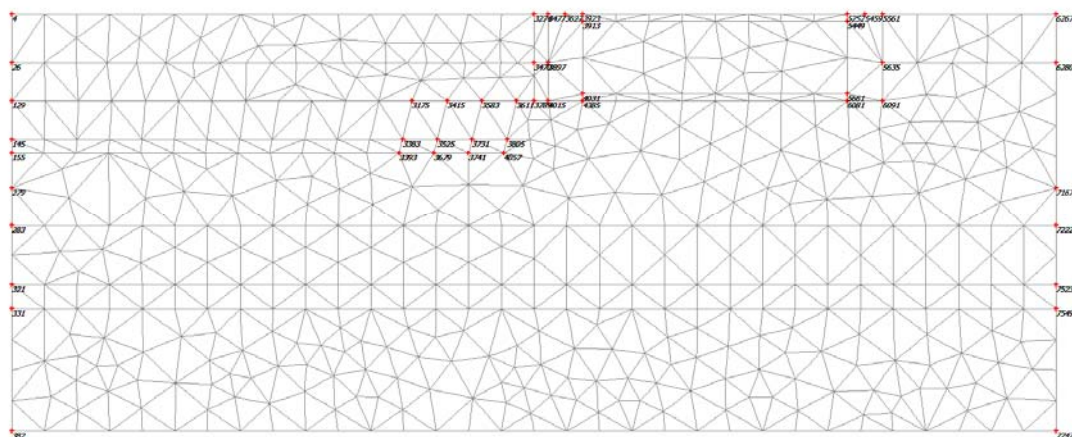
Pro plošné základy je dle ČSN EN 1997-1 při návrhovém přístupu 2 přípustný stupeň stability  $FS_{min} = 1,4$ . Při hloubení sanační jámy se svahy ve sklonu 1 : 0,25 je tedy nutné dodržovat bezpečnostní odstup horní hrany svahu od stavebních objektů minimálně 4,0 m.

### 3.3.4 Návrh svahování v blízkosti budov se základovou spárou v úrovni 2,5 m pod terénem

Ověření bezpečné vzdálenosti svahu sanační jámy od stavebních objektů založených v úrovni 2,5 m pod terénem. Výpočet předpokládá odtěžení zeminy až na úroveň základové spáry a následné prohlubování výkopu na konečnou úroveň.



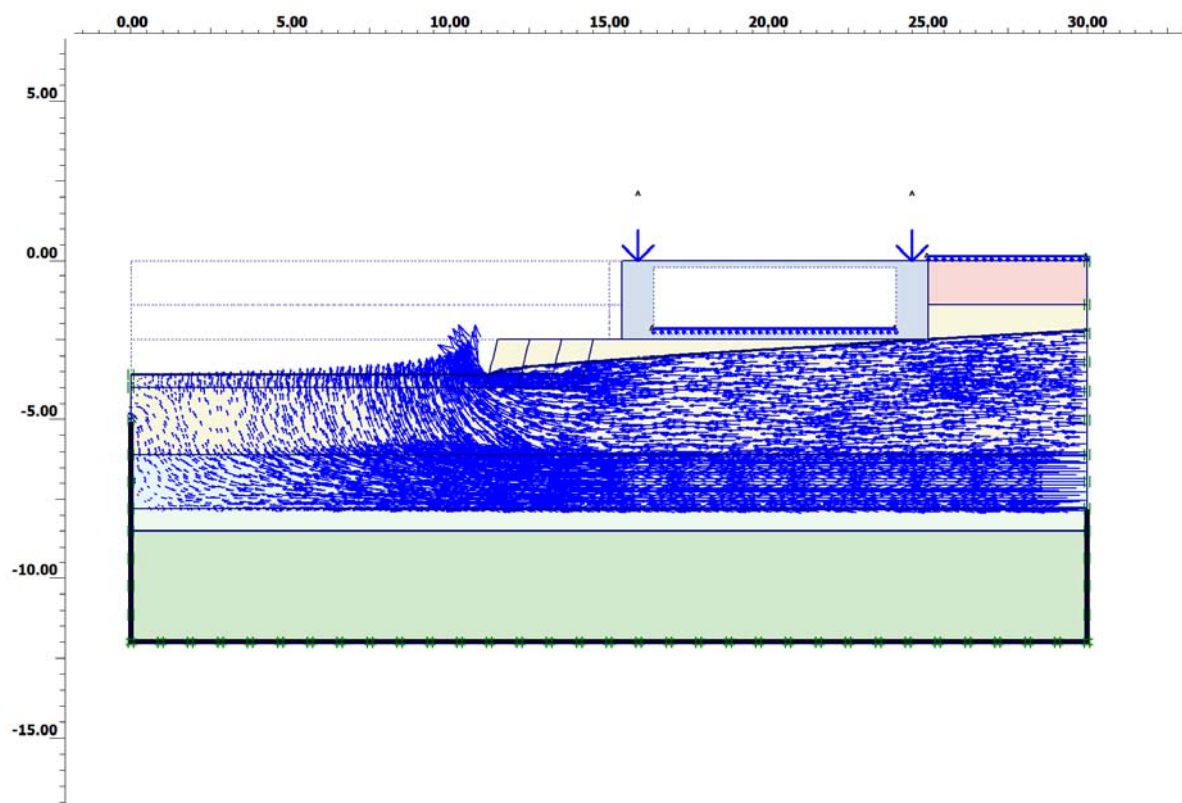
Obrázek 13: Matematický model včetně geologických rozhraní.



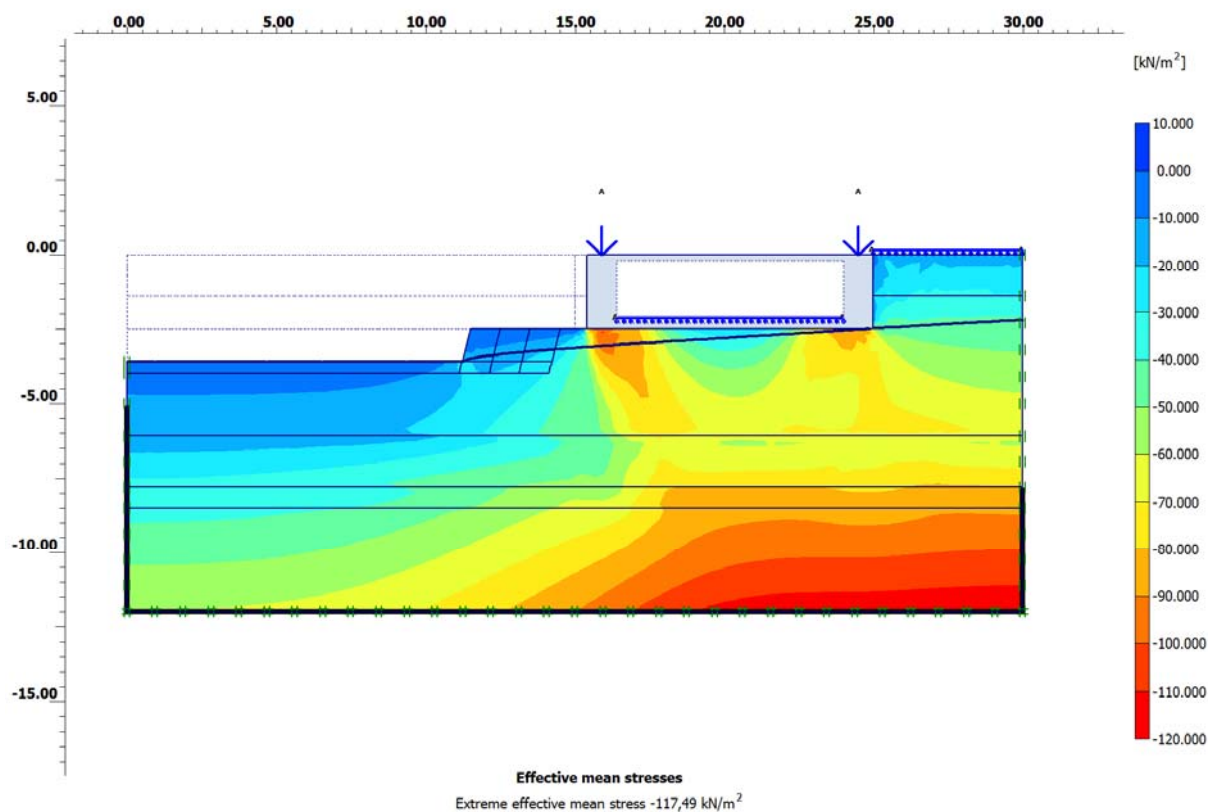
Obrázek 14: Rozdělení modelu na prvky.

Tabulka 7: Informace o prvcích.

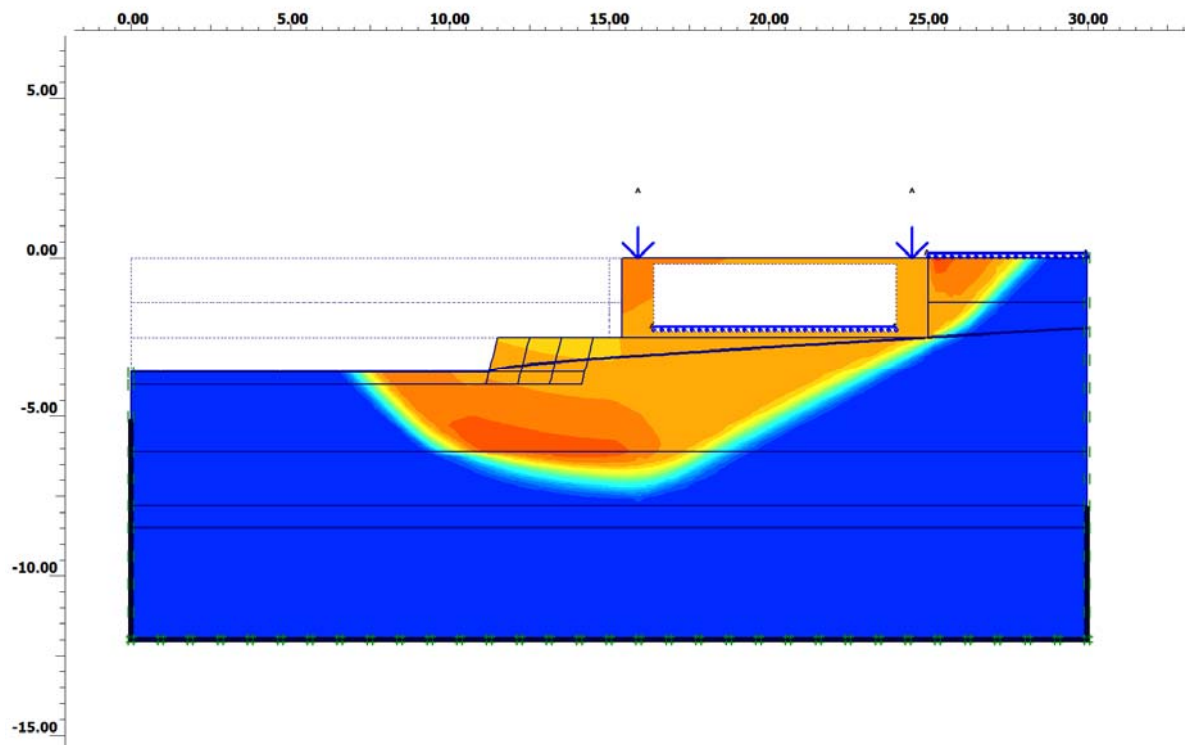
Type	Type of element	Type of integration	Total no.
Soil	15-Noded	12-point Gauss	946



Obrázek 15: Model proudění vody v podloží.

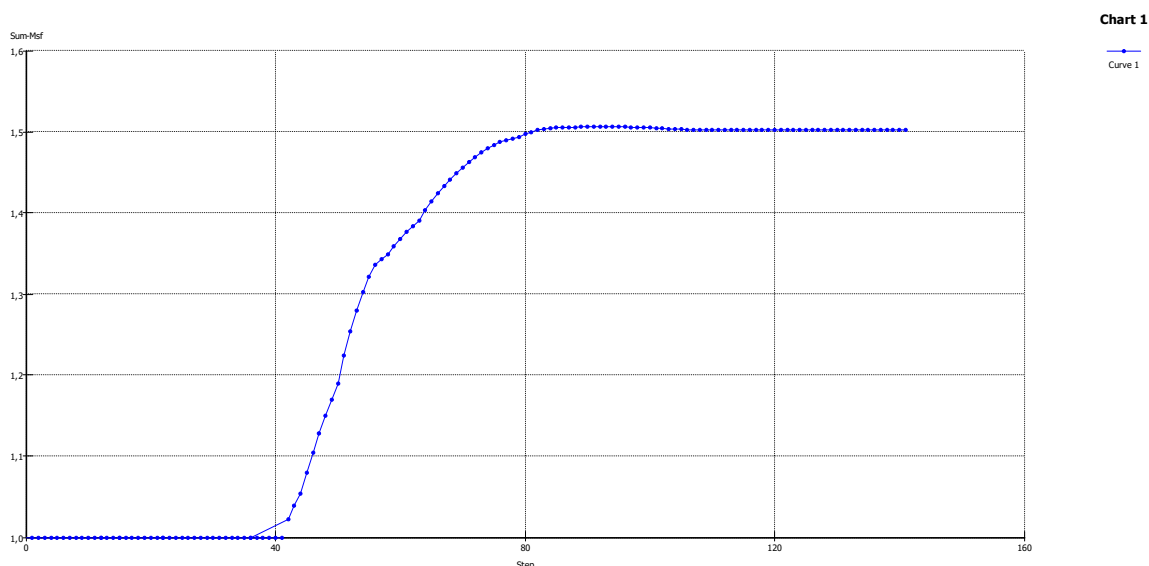


Obrázek 16: Průběh efektivních napětí zobrazený pomocí isoploch. Patrný pokles efektivního napětí ve vrstvě štěrku způsobený napjatou hladinou podzemní vody.



Obrázek 17: Tvar kritické smykové plochy při svahování 1 : 0,25 a horní hraně svahu ve vzdálenosti 4,0 m od objektu. Úrovní dna výkopu byla uvažována 3,6 m pod terénem a úroveň základové spáry objektu 2,5 m pod terénem. Vypočítaný stupeň stability FS = 1,502.





Obrázek 18: Graf zobrazující výpočet stupně stability pomocí „phi/c reduction“ metody.

Na obrázku 18 je graficky znázorněn průběh iteračního výpočtu stupně stability při horní hraně svahu ve vzdálenosti 4 m od objektu (viz obrázek 17). Svahování bylo uvažováno ve sklonu 1 : 0,25 a dno výkopu v úrovni 3,6 m pod terénem. Při přiblížení horní hrany výkopu na vzdálenost 4,0 m od objektu dosahuje stupeň stability hodnoty 1,502.

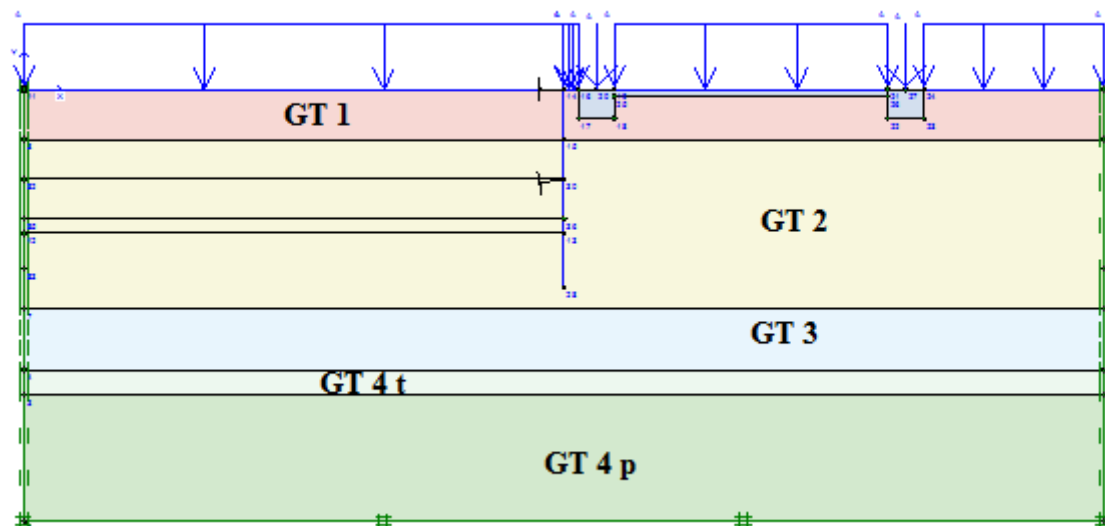
Pro plošné základy je dle ČSN EN 1997-1 při návrhovém přístupu 2 přípustný stupeň stability  $FS_{min} = 1,4$ . Při hloubení sanační jámy se svahy ve sklonu 1 : 0,25 je tedy nutné dodržovat bezpečnostní odstup horní hrany svahu od stavebních objektů minimálně 4,0 m.

**Upozorňujeme ovšem, že odtěžením materiálu způsobem předpokládaným ve výpočtu viz obr. 17 může dojít k vývoji značných nerovnoměrných deformací v základové spáře objektu a tím k jeho poškození. Deformace v úrovni základové spáry mohou dosáhnout hodnoty 20 – 30 mm. Odtěžení materiálu tímto způsobem proto doporučujeme provádět jen na krátkých úsecích délky maximálně 5 m.**

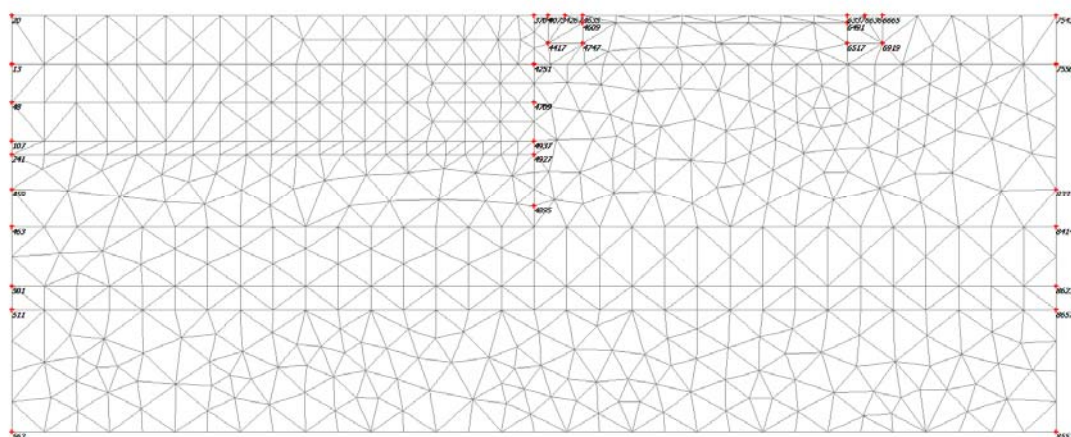
### 3.3.5 Orientační návrh roubení stěn stavební jámy v těsné blízkosti stavebních objektů

Následující zjednodušený výpočet je pouze orientační a pro případnou realizaci navrženého roubení – bude-li k této variantě přistoupeno – bude nutné provést další detailní posouzení této konstrukce.

**Provedený návrh a výpočet slouží pouze pro konzultaci možných technických řešení a pro orientační určení ceny této konstrukce a souvisejících prací.**



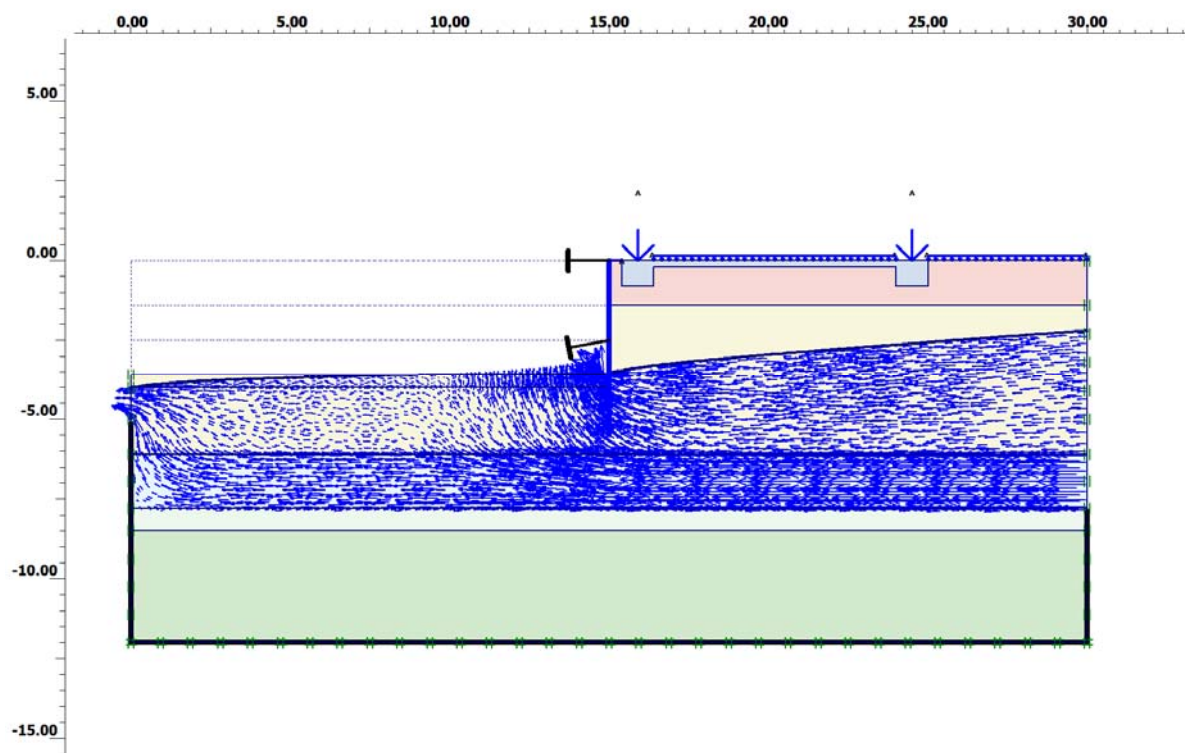
Obrázek 19: Matematický model včetně geologických rozhraní.



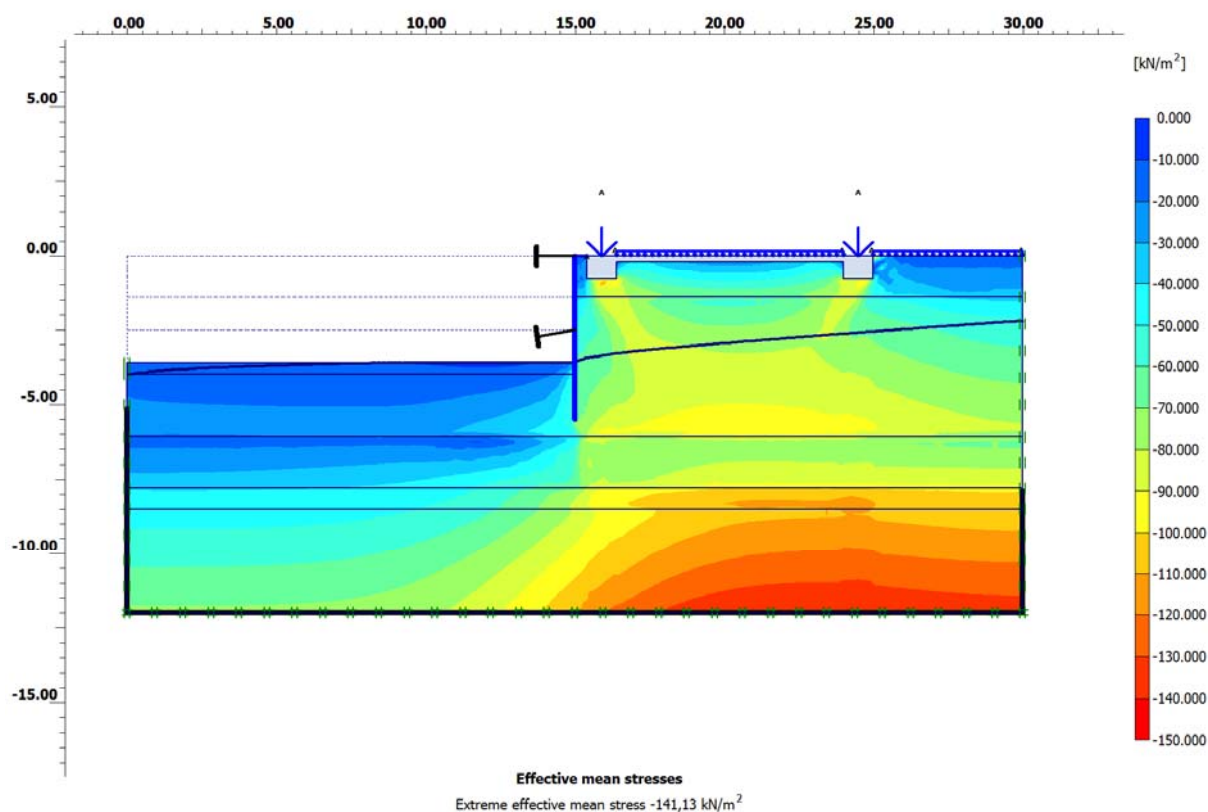
Obrázek 20: Rozdělení modelu na prvky.

Tabulka 8: Informace o prvcích.

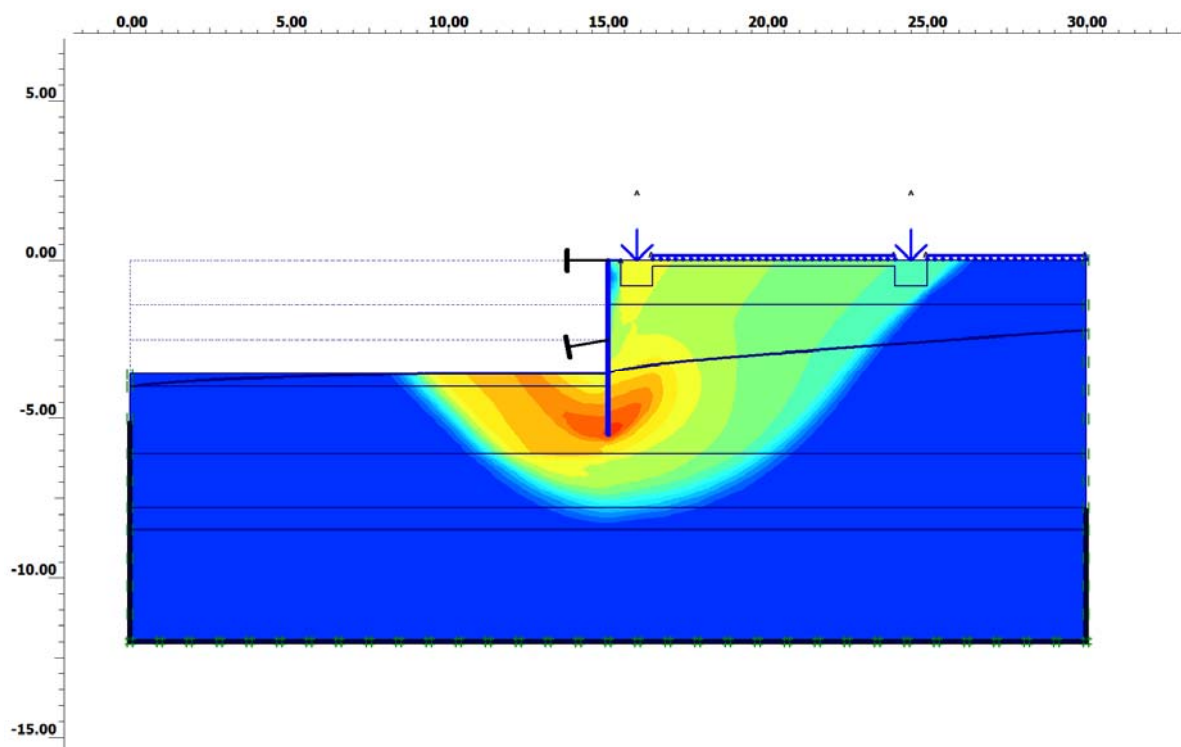
Type	Type of element	Type of integration	Total no.
Soil	15-Noded	12-point Gauss	1064
Plate	5-node line	4-point Gauss	11



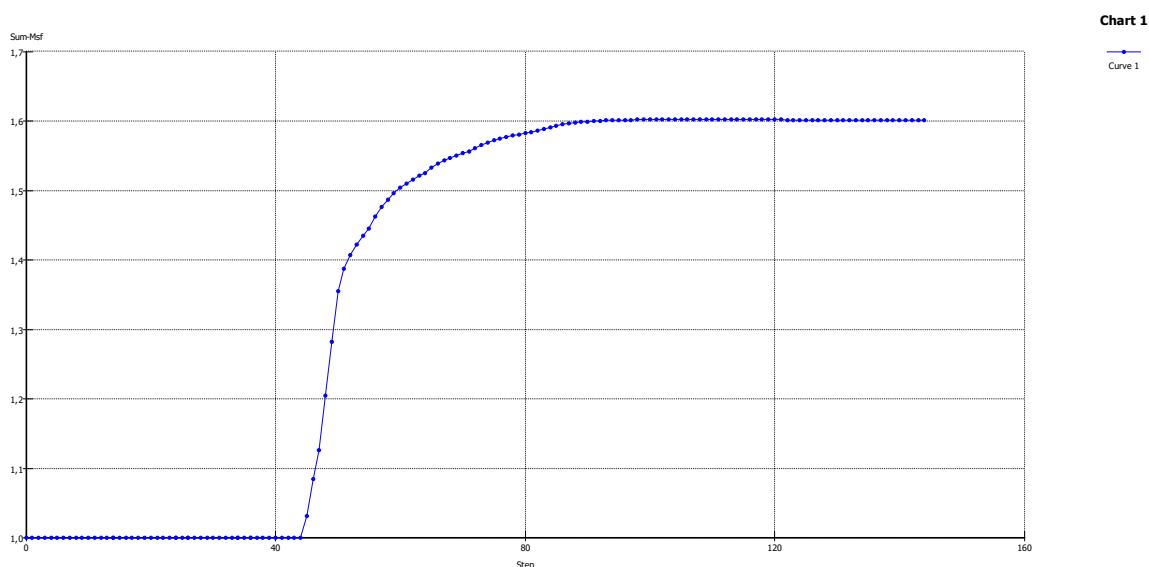
Obrázek 21: Model proudění vody v podloží.



Obrázek 22: Průběh efektivních napětí zobrazený pomocí isoploch. Patrný pokles efektivního napětí ve vrstvě štěrku způsobený napjatou hladinou podzemní vody.



Obrázek 23: Tvar kritické smykové plochy při úrovni výkopu 3,6 m pod terénem. Vypočítaný stupeň stability  $FS = 1,600$  je určen převážně pevností táhel a vzpěr.



Obrázek 24: Graf zobrazující výpočet stupně stability pomocí „phi/c reduction“ metody.

Na obrázku 24 je graficky znázorněn průběh iteračního výpočtu stupně stability záporové konstrukce. Vypočítaná stupeň stability dosahující zde hodnoty 1,6 je závislý především na pevnosti a tuhosti zvolených kotev a vzpěr. Při realizaci této konstrukce bude její stabilita a také velikost deformací přilehlých objektů značně ovlivněna kvalitou provádění a zvolenými konstrukčními detaily.

Pro opěrné konstrukce je dle ČSN EN 1997-1 při návrhovém přístupu 2 přípustný stupeň stability  $FS_{min} = 1,4$ . Navržený způsob řešení tedy **vyhovuje**.

## 4. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

V rámci průzkumu lokality plánovaného sanačního zásahu v katastru města Šlapanice, který provádí odborní pracovníci společnosti GEOTest, a.s. bylo řešeno stabilitní posouzení stěn a dna projektované sanační jámy.

Hlavní důraz při zpracování posudku byl kladen na návrh geometrie sanační jámy a na dosažené stupně stability stěn a dna jámy. Konstrukce byly posouzeny z hlediska dlouhodobé stability. Výpočty stability se řídily normou ČSN EN 1997-1 a byl uvažován návrhový přístup 2.

Pro materiálové modely podloží a vrstvy násypu byl použit základní Mohr-coulomb model. Geotechnický model byl vytvořen s použitím výsledků laboratorních zkoušek, polních zkoušek a případně doplněny podle zkušeností či podle údajů uvedených v běžně používané odborné literatuře.

Výpočty stability se řídily předpisem ČSN EN 1997-1. Byly použity jednak postupy pro posouzení mezních stavů STR a GEO podle 2. návrhového přístupu a dále postupy pro posouzení mezních stavů UPL a HYD.

Podle výsledků posouzení nadzvihování dna stavební jámy **není možné dle ČSN EN 1997 – 1 jámu otevřít hlouběji než na úroveň 3,6 m pod terénem.**

**S ohledem na výskyt napjaté hladiny podzemní vody a na značnou míru nejistoty ve vstupních parametrech zemin a v průběhu geologických vrstev doporučujeme provádět výkop sanační jámy pouze do úrovně -3,0 m pod terénem. Při lokálním výskytu znečištění hlouběji pod terénem je nutné postupovat po malých úsecích o ploše do 10 m<sup>2</sup> a je nutný geotechnický dozor.**

**Upozorňujeme, že i při dodržení navrženého postupu hloubení není nebezpečí protržení dna stavební jámy zcela vyloučeno. Fluviální vrstvy písčitých jíílů mohou být značně anizotropní a pokud se nad napjatou zvodní bude vyskytovat propustná vrstva s větším obsahem písčité frakce může zde vzniknout kolektor, který se vlivem vnitřní eroze rychle rozšíří. Podle vydatnosti zvodně pak může dojít ke zvýšeným přítokům do stavební jámy v extrémním případě až k jejímu zaplavení do úrovně 1,7 m pod terénem.**

Návrh svahování byl rozdělen na 3 možné případy zatížení povrchu za hranou stavební jámy. Pro první případ, kdy se do vzdálenosti 3 m nad hranou výkopu nepředpokládá žádné zatížení je možné svahování provádět ve strmém sklonu 1 : 0,25 a v úrovni 2 m pod terénem pak tento svah rozdělit vodorovnou lavičkou šířky 0,5 m.

Pro stejný způsob svahování pak byla stanovena bezpečná vzdálenost od hrany výkopu ke stavebním objektům. Pro objekty se základovou spárou v úrovni 0,8 m pod povrchem i pro objekty se základovou spárou v úrovni 2,5 m pod povrchem je možné doporučit stejnou bezpečnou vzdálenost 4,0 m od horní hrany výkopu po základovou spáru. Předpokládáno bylo, že před hloubením jámy na konečnou úroveň 3,6 m pod terénem bude nejprve odtěžena zemina až na úroveň základové spáry.

Uvedené hodnoty představují bezpečné řešení z hlediska stability stěn výkopu, konstrukce objektů v blízkosti však budou ovlivněny změnou napjatosti a z toho se odvíjejícími deformacemi v podloží. Výpočty ukazují, že velikosti těchto deformací jsou okolo 20 – 30 mm, což znamená, že v důsledku těchto deformací vzniknou na částech konstrukcí přiléhajících k jámě poruchy ve formě trhlin. **Odtěžení materiálu v těsné blízkosti stavebních objektů až na úroveň jejich základové spáry proto doporučujeme provádět jen na krátkých úsecích délky maximálně 5 m.**

Z tohoto důvodu byl také zpracován orientační návrh roubení stěn stavební jámy v těsné blízkosti stavebních objektů. Návrh předpokládá možnost kotvení zápor přes převázky ke stávajícímu sousednímu objektu a dále vzpěry realizované v předvýkopu. **Provedený návrh a výpočet slouží pouze pro konzultaci možných technických řešení a pro orientační určení ceny této konstrukce a souvisejících prací. Bude-li k této variantě zajištění stěn stavební jámy přistoupeno, bude nutné provést další detailní posouzení této konstrukce.**

**Předpoklady a závěry posouzení je vhodné během realizace ověřit a sledovat pomocí geotechnického monitoringu, který musí být osazen ještě před zahájením zemních prací!** Vhodnou metodou monitoringu je v tomto případě geodetické sledování deformací vybraných bodů na postižených stavebních objektech v blízkosti sanačního zásahu. K návrhu monitoringu stejně jako ke geotechnickému sledu během realizace projektu a k provádění geotechnických zkoušek ukládaného materiálu jsou nadále dispozici naši specialisté.

V Brně, 15. června 2019