

II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, PD

**Výpočet stability a sedání s časovým
průběhem v km 1,480 včetně
stanovení účinku na železniční násyp**

Srpen 2023

Zak. č.: 23.0307

Výtisk č.:

Název zakázky: II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, PD
Výpočet stability a sedání s časovým průběhem v km 1,480
včetně stanovení účinku na železniční násyp

Zhotovitel: GEOSTAR, spol. s r.o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno
Tel.: 545 221 218
geostar@geostar.cz
www.geostar.cz
IČO: 13690337
DIČ: CZ 13690337

Objednatel: Stráský, Hustý a partneři, s.r.o.
Bohunická 133/50
619 00 Brno

Identifikační číslo zakázky: 23.0307

Datum ukončení zakázky: srpen 2023

Zpracoval: Ing. Vojtěch Krejzar

Zodpovědný řešitel: Ing. Karel Zdražil, CSc.

.....
razítko a podpis

ROZDĚLOVNÍK

Výtisk č. 0 GEOSTAR, spol. s r.o.

Výtisk č. 1-4 Stráský, Hustý a partneři, s.r.o.

Obsah

1	ÚVOD	4
1.1	Použité podklady, normy a literatura	4
1.1.1	Podklady	4
1.1.2	Normy	4
1.1.3	Literatura	4
1.2	Použité programy	4
2	INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY	4
3	POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU	5
3.1	Metoda SRM – Strength reduction method (phi-c reduction)	6
4	POPIS VÝPOČTU A JEHO VÝSLEDKY	7
4.1.1	Initial stage	7
4.1.2	Sypání násypu	8
4.1.3	Zatížení dopravou	9
4.1.4	Konsolidace	10
5	ZÁVĚR	11
	Přílohy	13

1 ÚVOD

Provedení výpočtů na akci „II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, PD“ si objednala společnost Stráský, Hustý a partneři, s.r.o. Požadavkem bylo zpracování výpočtu stability násypu a sedání s časovým průběhem v km 1,480, včetně stanovení účinku na násyp železniční tratě. Výpočty jsou provedeny metodou konečných prvků v programu MIDAS GTS NX.

1.1 Použité podklady, normy a literatura

1.1.1 Podklady

- [1] HAUSER, J., POLÁŠKOVÁ, E: *II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, PD. Podrobný geotechnický průzkum*. Brno: GEOSTAR, spol. s r.o., červenec 2021
- [2] BEČKA, A., POPELÁŘOVÁ, V.: *Sil. II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, předběžný IG průzkum*. Brno: GEOSTAR, spol. s r.o., srpen 2017
- [3] Databáze ČGS – vrtná prozkoumanost (geology.cz)
- [4] Relevantní části projektové dokumentace, v elektronické formě

1.1.2 Normy

- [5] ČSN EN 1991 - 1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení. Objemové tíhy, vlastní tíha a užitné zatížení pozemních staveb*.
- [6] ČSN EN 1997-2 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy (2008)*.
- [7] ČSN EN 1997-1 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla (2005)*
- [8] ČSN 73 6133 – *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*

1.1.3 Literatura

- [9] FINE, spol. s r.o.: GEO5, Uživatelská příručka
- [10] MIDAS GTS NX Manual, 2021

1.2 Použité programy

- MIDAS GTS NX 2021, Midas IT
- AUTOCAD LT 2022, Autodesk, Inc.
- OFFICE 365, Microsoft

2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Svrchní vrstvy jsou tvořeny jak humózní hlínou tmavohnědé barvy, tak i antropogenní navážkou. Hlínu lze zařadit do třídy O F6 dle ČSN 73 6133. Mocnost humózních hlín dosahuje max. 30 cm. Antropogenní navážky jsou hlinité, s příměsí sutě, zatříděné jako S4 SM. Pod vrstvami hlíny a navážek se nacházejí kvartérní fluvialní vrstvy písčitých až štěrkovitých zemin říční terasy, jedná se většinou o hnědý až šedý, pevný, středně ulehlý, slídnatý písek s příměsí jemnozrnné zeminy a jílu a štěrk písčité, třídy S3 S-F,

S5 SC a G3 G-F. Zeminy dosahují do hloubky 2,0 – 5,10 m p.t. Písky a štěrky lze zařadit do I třídy těžitelnosti dle ČSN 73 6133. Ve vrtu JV10 byla zastižena vrstva hlín s vysokou plasticitou, třídy F7 MH, tuhé konzistence, hnědo rezavé barvy a mocná 1,0 m (od 2,0 do 3,0 m p.t.). Pod nimi byl zastižen říční štěrk dobře zrněný, třídy G1 GW.

Po kvartérních zeminách bylo zastiženo eluvium syenitu, třídy R6, jednalo se o eluvium charakteru G3 G-F. Příslušný vrt JV-10 byl ukončen v hl. 6,0 m p.t. Archivními vrtů v databázi ČGS je doložen silně zvětralý až navětralý zdravý syenit od hl. 5,8 m – viz příloha 2.

Ustálená hladina HPV se nachází v hloubce 2,1 m p.t.

3 POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU

Úloha je modelována v programu MIDAS GTS NX, který je aplikací metody konečných prvků (MKP) na geotechnickou problematiku, přičemž umožňuje matematicky modelovat poměrně široký rozsah geotechnických úloh. V tomto případě jde o výpočet typu *consolidation analysis* – stanovení napjatosti a deformací, s určením vývoje pórových tlaků, v závislosti na čase, a výpočet typu *slope stability analysis* – určení stupně stability metodou SRM (strength reduction method).

Geometrie řezu včetně zaměření tělesa železničního násypu byla poskytnuta objednatelem v elektronické formě. Příčný geologický profil byl sestrojen na základě sondy JV-10. Rozměry modelované oblasti jsou zvoleny tak, aby vzdálenost okrajových podmínek neovlivňovala výsledky.

Při výpočtu byl pro simulaci chování zemin použit materiálový model *Hardening Soil* (HS), pro skalní podloží *lineárně elastický model* (LE). Parametry jednotlivých zemin byly vzaty na základě doporučení IGP. Vstupní parametry, které v průzkumu chybí, byly stanoveny podle doporučení tvůrců programu a odborné literatury. Materiál nového násypu byl uvažován jako hlinitopísčitá zemina s parametry dle Tab. 3-1.

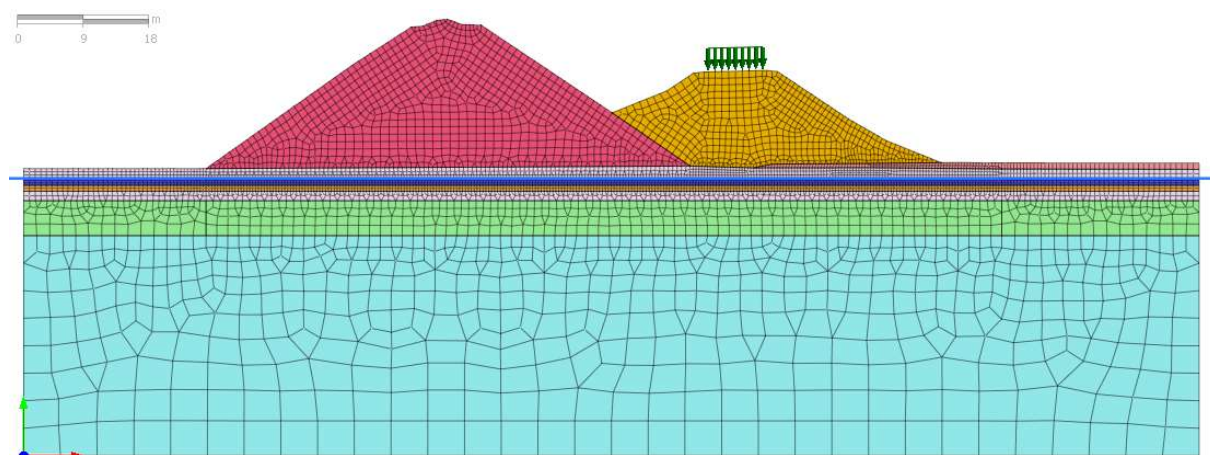
Tab. 3-1: Zeminy (Hardening soil model)

Geotyp		Navážka	GT2.1	GT3.1	GT2.1	GT4.1	Násyp železnice	Násyp NOVÝ
Popis		char. S4 SM	G3 G-F	F7 MH	G1 GW	R6/G3 G-F		char. S4 SM
γ	kN/m ³	18,5	19	21	21	19	20	20
v	-	0,3	0,25	0,4	0,2	0,25	0,3	0,3
k	m/s	1E-08	2,649E-04	1,128E-09	1,321E-03	5,298E-06	1E-05	2,649E-04
E_{def}	MPa	10	85	4	320	85	40	10
$E_{50,ref}$ $=E_{oed,ref}$	MPa	13,46	102,00	8,57	355,00	102,00	53,85	13,46
$E_{ur,ref}$	MPa	$3 \times E_{oed,ref}$						
m	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
p_{ref}	kPa	100	100	100	100	100	100	100
ϕ	°	28	35	18	40	35	38	28
c	kPa	5	0	7	0	0	6	5
ψ	°	0	5	0	10	5	8	0

Tab. 3-2: Horniny (Elastic model)

Geotyp		Syenit silně zvětralý
γ	kN/m ³	25
ν	-	0,2
E_{def}	MPa	250

Pro modelování ve 2D je použita automaticky generovaná síť troj a čtyřúhelníkových konečných prvků.



Obr. 3-1: Matematický model řez km 1,480 sil. II/360

Výpočet probíhá ve fázích na základě předpokládaného způsobu výstavby. Ve výpočtu byla uvažována rychlost výstavby násypu 0,3 m/den. V každém kroku jsou spočítány deformace, napětí a přetvoření během příslušné stavební fáze, přičemž každá další fáze je spočítána na základě té předchozí. V každé fázi je stanoven stupeň stability (viz kap. 3.1), jehož prostřednictvím je prokázána bezpečnost návrhu. Fáze výpočtu jsou podrobně rozepsány v následující kapitole.

Dopravní zatížení na koruně násypu je simulováno plošným přitížením 10 kN/m² dle [8].

Výsledky výpočtů sedání jsou v jednotlivých fázích prezentovány izoliniemi svislých deformací a zvýšených pórových tlaků.

Stupeň stability byl určován za využití Mohr-Coulombova materiálového modelu, metodou SRM, na zvláštním modelu s ořezaným železničním násypem, aby výsledky zachycovaly stabilitu pouze nového násypu.

3.1 Metoda SRM – Strength reduction method (phi-c reduction)

Stupeň stability (bezpečnosti) je v metodě definován jako:

$$FS = \frac{\tau}{\tau_f}$$

Kde τ je smyková pevnost materiálu, vyjádřená Mohr-Coulombovým kritériem:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$$

c, φ

vstupní pevnostní parametry

σ_n

skutečné normálové napětí

a τ_f je smyková pevnost nezbytná pro udržení rovnováhy a spočítá se následovně:

$$\tau_f = c_f + \sigma_n \tan \varphi_f$$

$$c_f = \frac{c}{SRF}$$

$$\varphi_f = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \varphi}{SRF} \right)$$

snížené pevnostní parametry

SRF

redukční faktor (*strength reduction factor*)

Podstatou metody je provádění opakovaného výpočtu při postupném snižování/zvyšování SRF. Jeho hodnota těsně před krokem výpočtu, kdy nebyla dosažena rovnováha, je považována za výsledný stupeň stability FS.

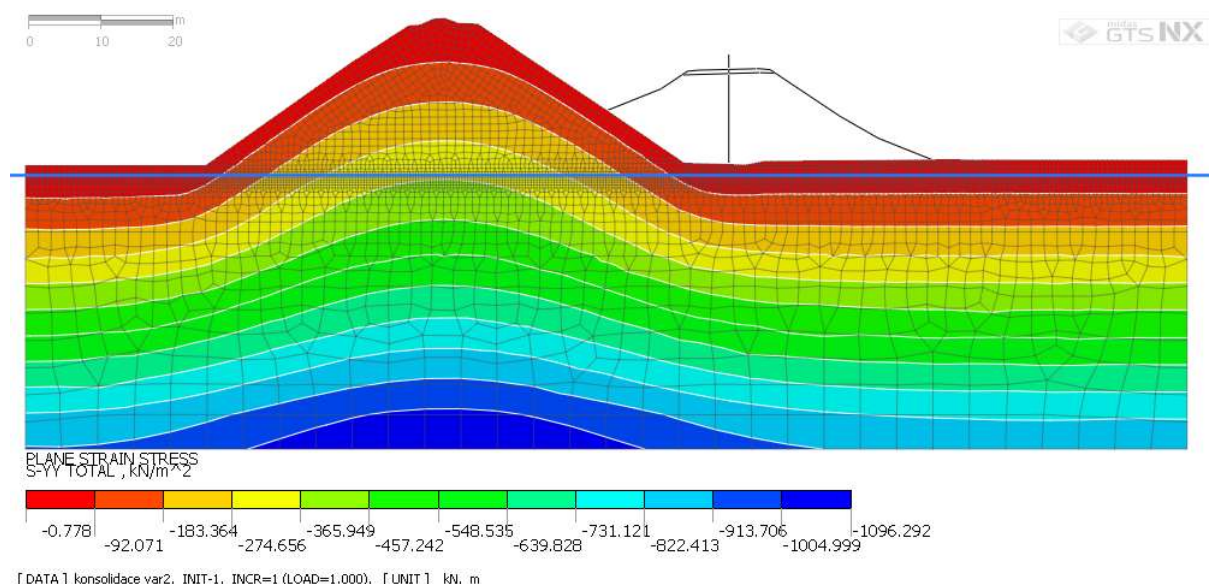
Je-li FS > 1, pak je konstrukce stabilní. Pro stupeň stability násypu z jemnozrnné sypaniny platí v případě únosného podloží dle normy [8] nejnižší přípustná hodnota FS = 1,3.

4 POPIS VÝPOČTU A JEHO VÝSLEDKY

Výpočet byl proveden v 5 fázích, v souladu s předpokládaným tempem prací:

4.1.1 Initial stage

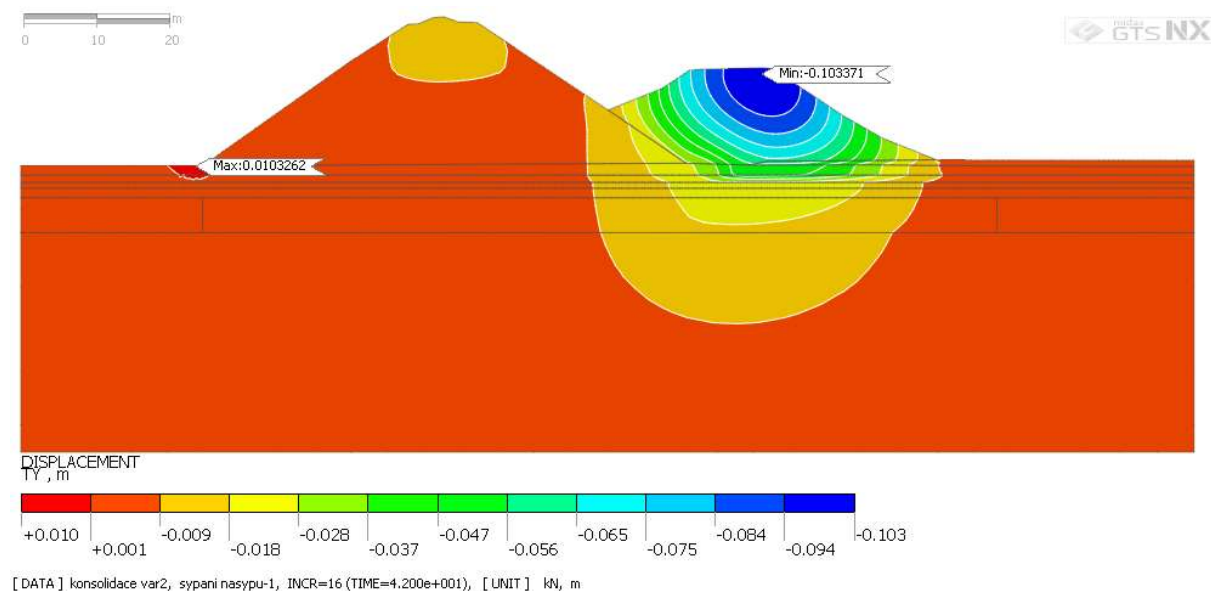
V počáteční fázi bylo vypočítáno pole napětí a pórových tlaků aplikací gravitačního zatížení v aktivovaných vrstvách původní zeminy. Spočtené deformace a přetvoření jsou po provedení výpočtu iniciální fáze vynulovány.



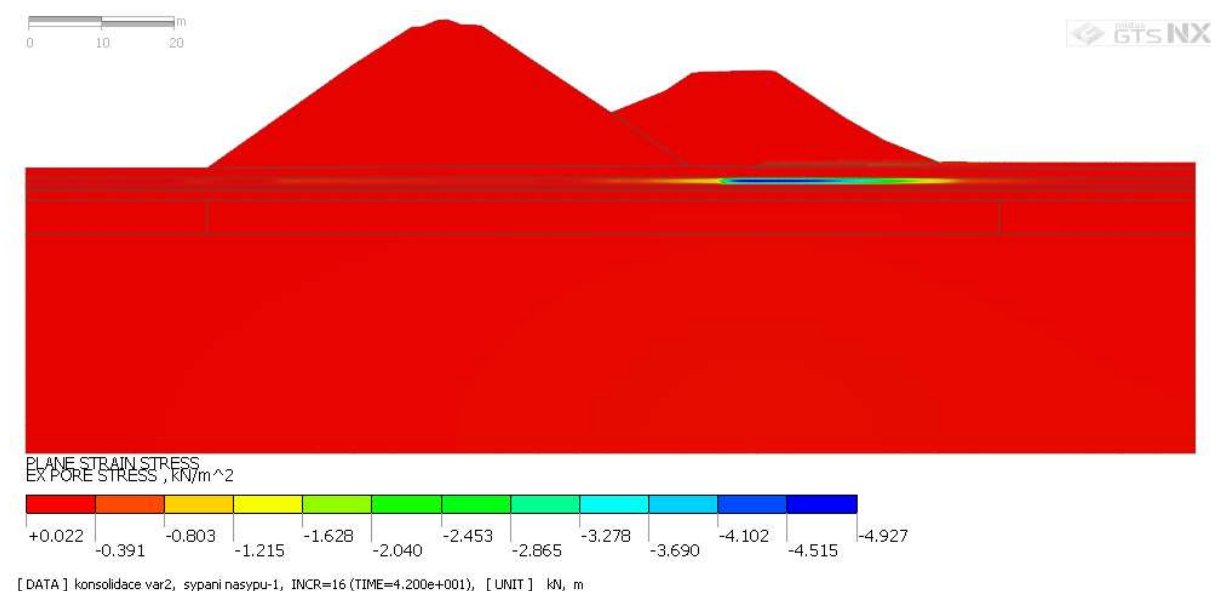
Obr. 4-1: Totální svislá napjatost v podloží před stavbou

4.1.2 Sypání násypu

V další fázi proběhla výstavba násypu. Uvažovaná rychlost výstavby je 0,3 m/den, tíha násypu je nanášena lineárně po dobu 42 dnů. Maximální hodnota deformace podloží je 63 mm, v koruně násypu 103 mm. Stlačení samotného násypu je pak cca 40 mm. Výše zmíněné deformace proběhnou již během výstavby násypu.

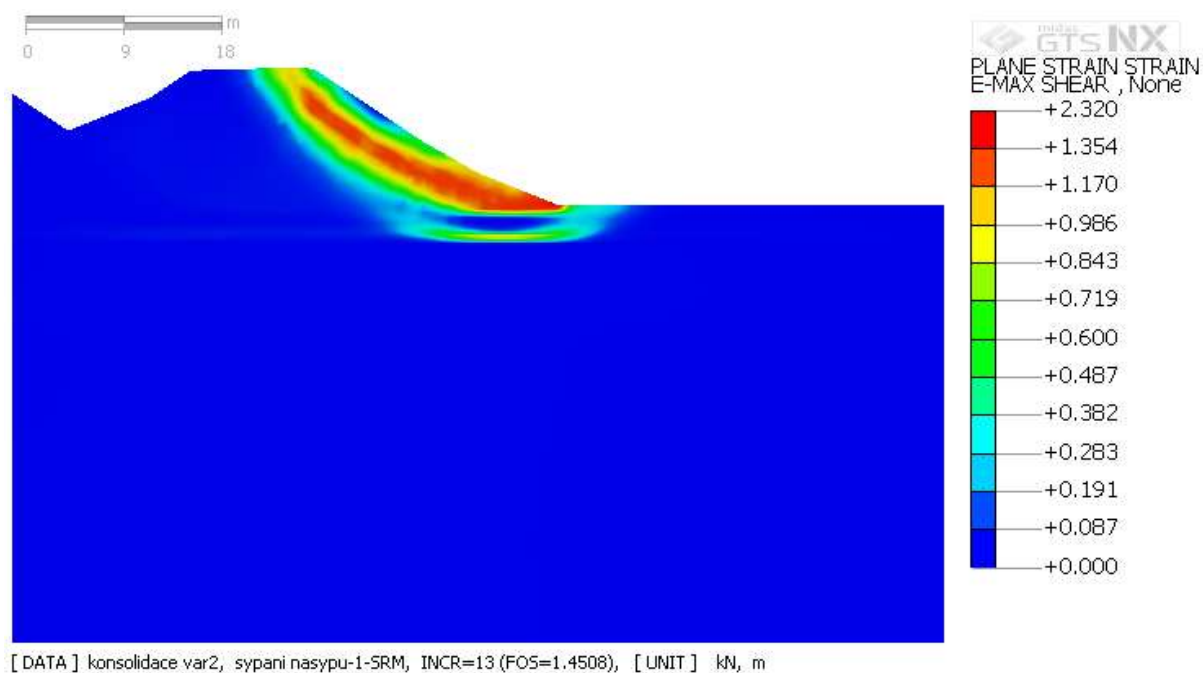


Obr. 4-2: Svislé deformace v okamžiku po navržení násypu



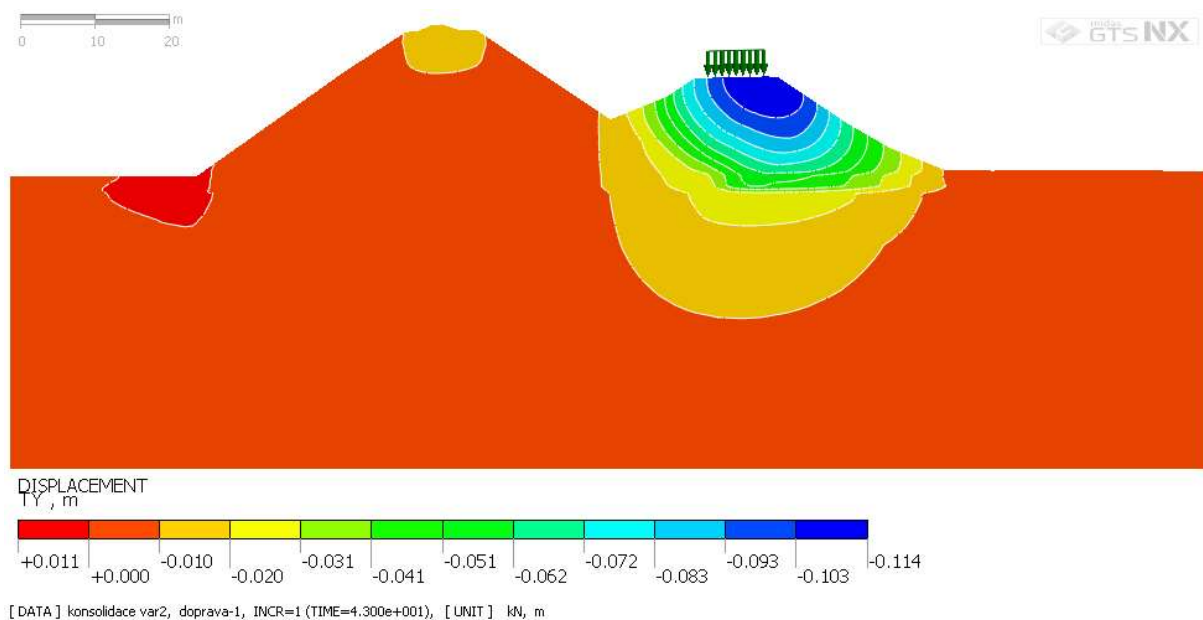
Obr. 4-3: Zvýšené pórové tlaky v podloží v okamžiku po navržení násypu vznikají pouze v cca 1,0 m mocné vrstvě tuhé hlíny. Maximální hodnota je cca 5 kPa

Spočtený stupeň stability po nasypání násypu má hodnotu 1,45. Znázornění nejpravděpodobnější smykové plochy je na Obr. 4-4.

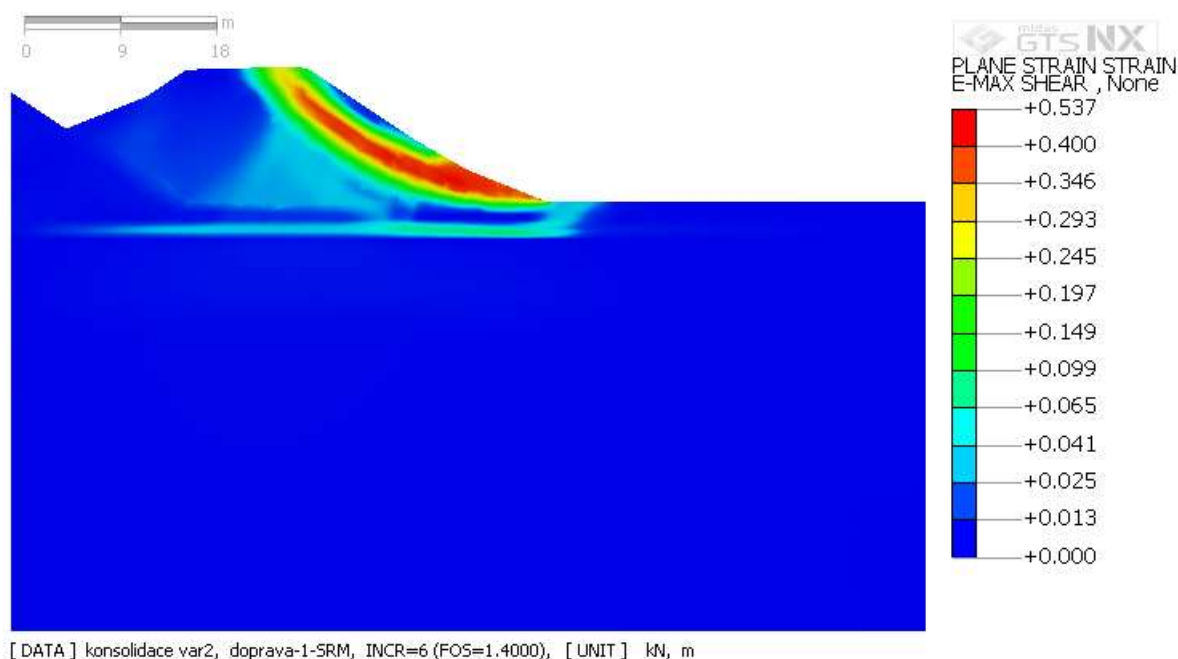
Obr. 4-4: Kritická smyková plocha – po navržení násypu ($FS = 1,45$)

4.1.3 Zatížení dopravou

V následující fázi je uvažováno zatížení násypu dopravou. Maximální deformace v koruně násypu činí 114 mm, v podloží 65 mm.

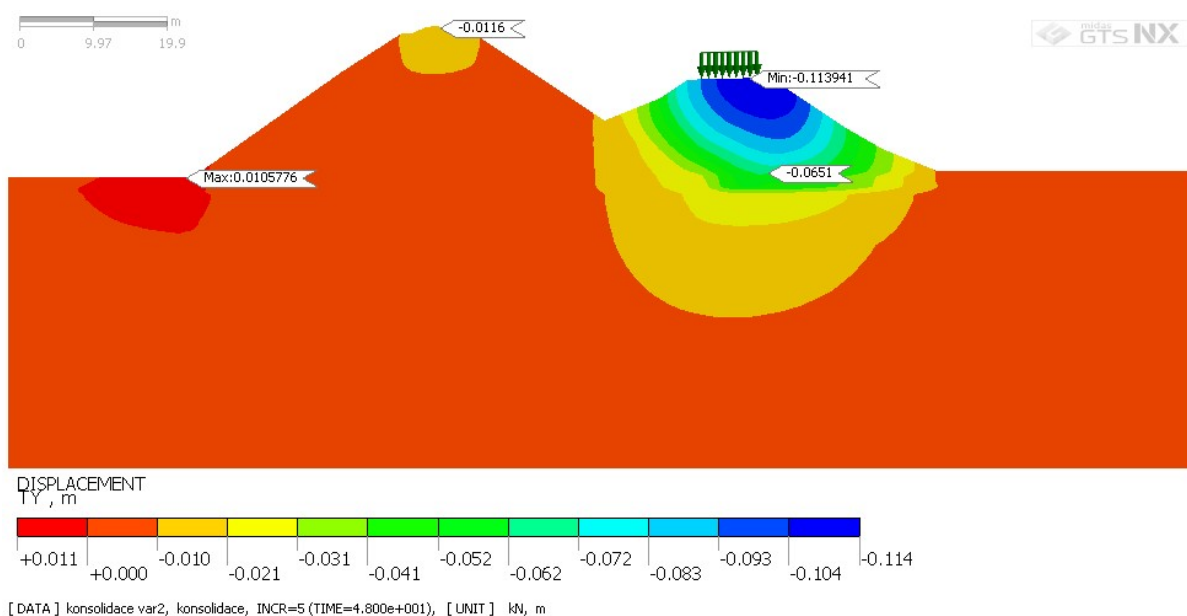


Obr. 4-5: Svislé deformace po nanesení dopravního zatížení

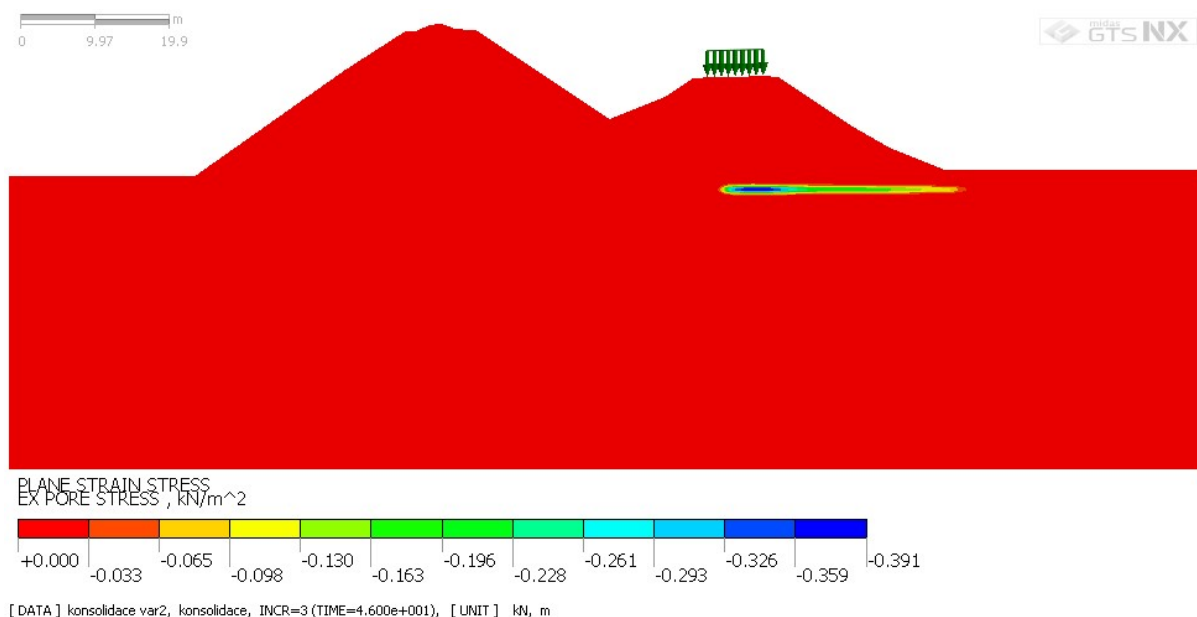
Obr. 4-6: Kritická smyková plocha po nanesení dopravního zatížení ($FS = 1,40$)

4.1.4 Konsolidace

V poslední fázi výpočtu je ověřován průběh konsolidace podloží až do rozptýlení zvýšených pórových tlaků. Na konsolidaci se podílí pouze vrstva zeminy F7 MH s malou propustností. Při poklesu pod 1 kN/m^2 je konsolidace považována za ukončenou. Toto kritérium bylo v modelu dosaženo za cca 2-3 dny po nasypání násypu, tedy v podstatě okamžitě. Konečná maximální hodnota svislé deformace v podloží násypu je 65 mm, v koruně násypu 114 mm. Deformace v koruně železničního násypu je **12 mm**.



Obr. 4-7: Svislé deformace po ukončení konsolidace



Obr. 4-8 Zvýšené pórové tlaky v podloží po 3 dnech. Maximální hodnota 0,39 kPa

5 ZÁVĚR

Na základě objednávky společnosti Stráský, Hustý a partneři, s.r.o., byl zpracován stabilitně-deformační výpočet násypu v km 1,480 stavby II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat. Metodou matematického modelování byly stanoveny sedání s časovým průběhem a stupeň stability násypu daného tvaru. Výsledné hodnoty deformace jsou uvedena v Tab. 5-1.

Tab. 5-1: Vypočtené max. sedání

Varianta	Po navržení násypu [mm] (% konečného sednutí)	Po zatížení dopravou [mm]	Konečné sednutí [mm]
Koruna násypu	103	114	114
Podloží násypu	63	65	65

Vzhledem k přítomnosti vrstvy málo propustné zeminy v podloží byl prověřen také časový průběh konsolidace. Protože se jinak jedná o dominantně propustné zeminové prostředí, proběhne disipace pórových tlaků v rámci jednotek dní po ukončení výstavby, tedy v podstatě okamžitě.

Výpočtem byl stanoven rovněž **deformační účinek nového násypu na přilehlý stávající železniční násyp**. Maximální pokles na koruně násypu (hrana kolejového lože) činí **12 mm**. Tato hodnota může být i menší, s ohledem na bezpečný odhad deformačního modulu skalního podloží.

Vypočtené stupně stability vyhovují ve všech řešených fázích požadavkům normy [8], viz Tab. 5-2.

Tab. 5-2: Vypočtený stupeň stability

Fáze	FS
Po nasypání násypu	1,45 > 1,3 VYHOVUJE
Po uvedení do provozu	1,40 > 1,3 VYHOVUJE

Podmínkou je dodržení parametrů materiálu násypu uvažovaného v tomto výpočtu (písek hlinitý S4 SM, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 28^\circ$, $c = 5 \text{ kPa}$).

Nebude-li při kontrolních zkouškách na stavbě dosaženo výše uvedených parametrů, bude nutné provést aktualizaci výpočtu stability, případně navrhnout např. sendvičovou konstrukci zemního tělesa.

Obecně doporučujeme vhodnější materiál ze zářezů (např. char. G3) používat, pokud možno, primárně do násypů zařazených ve 3. (příp. 2.) geotechnické kategorii.

Zpracoval: Ing. Vojtěch Krejzar

Přílohy

Příloha 1 Výstupy výpočtů v programu MIDAS

Příloha 2 Výpis z databáze ČGS

Elastic

Name		9:Syenit R4
Structure		No
E	kN/m†	250000
G	kN/m†	104166.667
Inc. of Elastic	kN/m‡	0
Inc. of E Ref. Height	m	0
nu		0.2
gamma	kN/m‡	25
Ko		1
Ko Method		Manual
Anisotropy		No
Thermal Coeff.	1/[T]	1e-006
Molecular Vapor Diffusion Coeff.	m/day†	0
Thermal Diffusion Enhancement		0
Damping Ratio		0.05
Creep Formulation		None
Conductivity	J/(m•day•[T])	0
Specific Heat	J/(ton•[T])	0
Heat Gen. Factor		1
gamma_sat	kN/m‡	24
e_o		0.5
kx	m/day	0.864
ky	m/day	0.864
kz	m/day	0.864
Ss	1/m	5.23021333e-006

Hardening Soil(small strain stiffness)

Name		1:Navazka S4S M	2:GT2.1 G3 G- F	3:GT3.1 F7 MH	4:GT2.1 G1 GW
Structure		No	No	No	No
Inc. of Elastic	kN/m [±]	0	0	0	0
Inc. of E Ref. Height	m	0	0	0	0
nu		0.3	0.25	0.4	0.2
gamma	kN/m [±]	18.5	19	21	21
Ko		0.530528437	0.426423564	0.690983006	0.35721239
Ko Method		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Anisotropy		No	No	No	No
Thermal Coeff.	1/[T]	1e-006	1e-006	1e-006	1e-006
Molecular Vapor Diffusion Coeff.	m/day [†]	0	0	0	0
Thermal Diffusion Enhancement		0	0	0	0
Damping Ratio		0.05	0.05	0.05	0.05
E50ref	kN/m [†]	13460	102000	8570	355000
Eoedref	kN/m [†]	13460	102000	8570	355000
Eurref	kN/m [†]	40380	306000	25710	1066000
Failure Ratio(Rf)		0.9	0.9	0.9	0.9
Ref. Pressure	kN/m [†]	100	100	100	100
Power of Stress Level Dependency		0.5	0.5	0.5	0.5
?	[deg]	28	35	18	40
K0nc		0.530528437	0.426423564	0.690983006	0.35721239
psi	[deg]	0	5	0	10
C	kN/m [†]	5	0	7	0
OCR		1	1	1	1
POP	kN/m [†]	0	0	0	0

Material

Conductivity	J/(m•day•[T])	0	0	0	0
Specific Heat	J/(ton•[T])	0	0	0	0
Heat Gen. Factor		1	1	1	1
gamma_sat	kN/m [±]	19	19.5	21.5	21
e_o		0.5	0.5	0.5	0.5
kx	m/day	0.000864	22.88736	9.74592e-005	114.1344
ky	m/day	0.000864	22.88736	9.74592e-005	114.1344
kz	m/day	0.000864	22.88736	9.74592e-005	114.1344
Ss	1/m	5.23021333e-006	5.23021333e-006	5.23021333e-006	5.23021333e-006
Name		5:GT4.1 R6_G3 G-F	6:Nasyp zelez nice	7:Nasyp NOVY G3 G-F	8:Nasyp NOVY S4 SM
Structure		No	No	No	No
Inc. of Elastic	kN/m [±]	0	0	0	0
Inc. of E Ref. Height	m	0	0	0	0
nu		0.25	0.3	0.25	0.3
gamma	kN/m [±]	19	20	20	20
Ko		0.426423564	0.384338525	0.426423564	0.530528437
Ko Method		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Anisotropy		No	No	No	No
Thermal Coeff.	1/[T]	1e-006	1e-006	1e-006	1e-006
Molecular Vapor Diffusion Coeff.	m/day [†]	0	0	0	0
Thermal Diffusion Enhancement		0	0	0	0
Damping Ratio		0.05	0.05	0.05	0.05
E50ref	kN/m [†]	102000	53850	96000	13460
Eoedref	kN/m [†]	102000	53850	96000	13460
Eurref	kN/m [†]	306000	161550	288000	40380



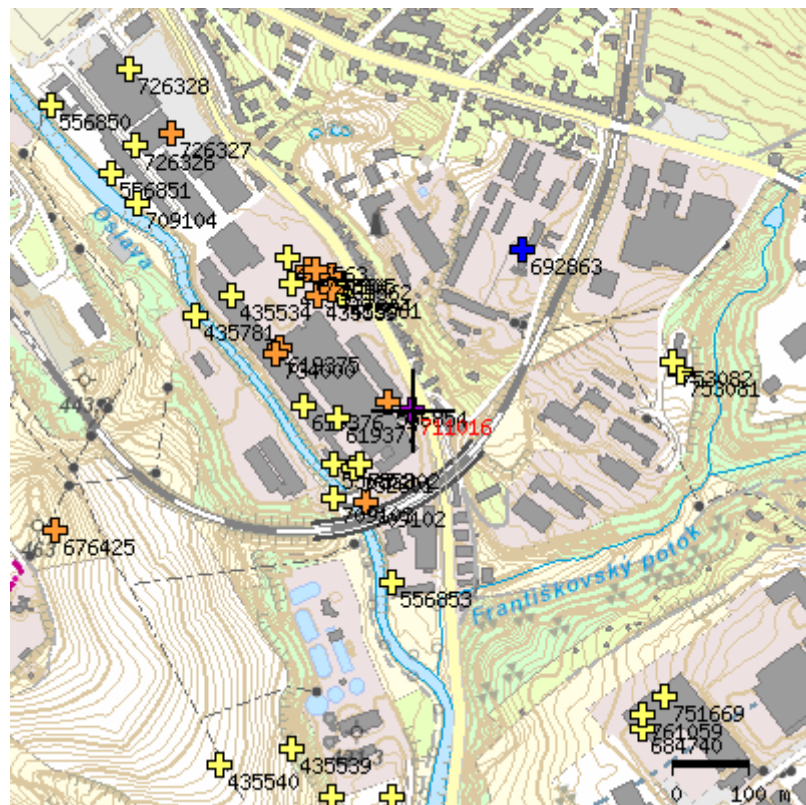
VRT - ZÁKLADNÍ INFORMACE

Stát	Česká republika	Nadmořská výška - souřadnice Z	421.00
Jazyk	česky	Inklinometrie (Y/N)	Y
Název databáze	GDO	Účel	hydrogeologický
ID	711016	Hydrogeologické údaje (Y/N)	Y
Původní název	VM-1-10	Hloubka hladiny podzemní vody [m]	,18
Zkrácený název	VM-1-10	Druh hladiny podzemní vody	ustálená
Rok vzniku objektu	2010	Karotáž (Y/N)	N
Poskytovatel dat	Česká geologická služba	Provedené zkoušky	hydrogeologické zkoušky a měření, chemické rozbory vody
Hloubka vrtu (m)	107	Hmotná dokumentace (Y/N)	N
Primární dokumentace	GF P130636	Druh objektu	vrt svislý
Souřadnice X - JTSK [m]	1139517.00	Geologický profil (Y/N)	Y
Souřadnice Y - JTSK [m]	638151.00	Organizace provádějící	ENVIREX, spol. s r.o.
Způsob zaměření X,Y	digitalizováno z mapy 1:2000	Organizace blokující	
Výškový systém	nezaměřeno (odečteno z mapy)	Blokováno do	

ZÁKLADNÍ LITOLOGICKÁ DATA

Hloubka[m]	Stratigrafie	Popis	—
0.00 - 0.20	Kvartér	beton	
0.20 - 1.20	Kvartér	navážka	
1.20 - 1.80	Kvartér	hlína jílovitý, příměs: písek	
1.80 - 3.90	Kvartér	štěrkopísek opracovaný, příměs: valouny písek jílovitý ve vložkách, příměs: valouny	
3.90 - 5.80	Variské stáří vyvřelin	eluvium štěrkovitý písčitý	
5.80 - 107.00	Variské stáří vyvřelin	syenit porfyrický silně zvětralý rozpukaný, šedá, černá syenit navětralý zdravý lokálně rozpukaný, šedá, černá	

LOKALIZACE V MAPĚ





VRT - ZÁKLADNÍ INFORMACE

Stát	Česká republika	Nadmořská výška - souřadnice Z	419.00
Jazyk	česky	Inklinometrie (Y/N)	Y
Název databáze	GDO	Účel	monitorovací, indikační, sanační
ID	556853	Hydrogeologické údaje (Y/N)	Y
Původní název	HP-104	Hloubka hladiny podzemní vody [m]	2,5
Zkrácený název	HP-104	Druh hladiny podzemní vody	ustálená
Rok vzniku objektu	1993	Karotáž (Y/N)	N
Poskytovatel dat	Česká geologická služba	Provedené zkoušky	zkoušky vody na kontaminaci, zkoušky zeminy na kontaminaci, hydrogeologické zkoušky a měření, chemické rozborů vody
Hloubka vrtu (m)	5,5	Hmotná dokumentace (Y/N)	N
Primární dokumentace	GF P078886	Druh objektu	vrt svislý
Souřadnice X - JTSK [m]	1139734.30	Geologický profil (Y/N)	Y
Souřadnice Y - JTSK [m]	638175.80	Organizace provádějící	GEOS & s.r.o., Brno
Způsob zaměření X,Y	zaměřeno	Organizace blokující	
Výškový systém	Balt po vyrovnání	Blokováno do	

ZÁKLADNÍ LITOLOGICKÁ DATA

Hloubka[m]	Stratigrafie	Popis
0.00 - 0.80	Kvartér	písek střednozrnný, hnědá
0.80 - 2.20	Kvartér	písek jemnozrnný slabě jílovitý, hnědá
2.20 - 2.80	Kvartér	písek páskovaný jemnozrnný střednozrnný, žlutá, hnědá
2.80 - 5.20	Variské stáří vyvřelin	reziduum písčité rozpadavý, šedá, hnědá
5.20 - 5.50	Variské stáří vyvřelin	reziduum písčité rozpadavý, hnědá, zelená

LOKALIZACE V MAPĚ

