


GEOTECHNICKÉ POSOUZENÍ

Vedoucí projektant	Ing. Martin Kašpar	 GEOMAT s.r.o. Pražákova 1008/69, 639 00, Brno +420 548 218 901, technika@geomat.cz	
Vypracoval	Ing. Ján Lajčák		
Kontroloval	Ing. Martin Kašpar		
Město	Běchovice	Formát	38 x A4
Stavba	Běchovice – stabilizace svahu podél cyklostezky	Stupeň	DSP
		ID	42297_P1
		Měřítko	-
Objekt	Armovaný svah		
Příloha	Geotechnické posouzení	Číslo pare	Číslo přílohy 0

Obsah zprávy

1	Informace o projektu.....	5
1.1	Základní informace	5
1.2	Úvod	5
1.3	Reference	5
1.3.1	Normy	5
1.3.2	Zahraniční normy.....	6
1.3.3	Předpisy	6
1.3.4	Literatura	6
1.3.5	Ostatní	6
1.3.6	Projektové podklady.....	6
2	Zhodnocení dostupných podkladů	7
3	Geotechnická konstrukce	7
3.1	Zhodnocení alternativ	7
4	Zásady návrhu	8
4.1	Návrhové situace	8
4.2	Mezní stavy.....	8
4.3	Zatížení a jejich kombinace	8
4.3.1	Zatížení	8
4.3.1.1	Proměnné zatížení.....	8
4.3.1.2	Seismické zatížení.....	9
4.3.2	Kombinace zatížení.....	9
4.4	Geotechnická kategorie.....	9
4.5	Spolehlivost návrhu	10
4.5.1	Třída rizika	10
4.6	Geotechnický model.....	10
4.6.1	Kritický profil	10
4.6.2	Základová půda.....	10
4.6.3	Sypaniny	11
	Konstrukční vrstvy cyklostezky jsou v modelu zahrnuty do sypaniny násypového tělesa.....	11
4.6.4	Podzemní voda	11
4.6.5	Výztužné geomříže	11
4.6.5.1	Redukční faktor poškození při instalaci.....	11
4.6.5.2	Interakce sypanina-výztuž	12
4.6.6	Dopady v rámci zóny vlivu	13
4.7	Další aspekty návrhu	13
4.8	Omezující podmínky	13
4.9	Předpoklady a zjednodušení	13
4.9.1	Předpoklady pro výpočetní modely	13
4.9.1.1	Vyztužený svah	13
4.9.2	Zjednodušení výpočetních modelů	13
4.10	Návrhová metoda	13
4.10.1	Ověření výpočtem (MSÚ)	14
4.10.1.1	Výpočetní model.....	14
4.10.2	Ověření na základě srovnatelné zkušenosti (MSP)	15

5	Geotechnická analýza.....	15
5.1	Předpokládaný rámec očekávaných výsledků.....	15
5.1.1	Mezní stavy únosnosti.....	15
5.1.2	Mezní stavy použitelnosti.....	15
5.2	Analýza geotechnické konstrukce	15
5.2.1	Mezní stavy únosnosti.....	15
5.2.2	Mezní stavy použitelnosti.....	16
5.2.2.1	Sedání základové půdy	16
5.2.2.2	Deformace vyztužené zemní konstrukce	16
5.3	Citlivostní analýza.....	17
5.3.1	Mezní stavy únosnosti.....	17
5.3.2	Mezní stavy použitelnosti.....	17
5.4	Zhodnocení výsledků.....	17
5.5	Fáze výstavby.....	18
6	Technologické požadavky.....	19
6.1	Specifikace materiálů	19
6.1.1	Geosyntetika.....	19
6.1.2	Sypaniny	19
6.2	Výkresy, schémata.....	19
6.3	Pravidla provádění.....	19
7	Dohled nad konstrukcí	20
7.1	Dohled	20
7.2	Dozor a inspekce	20
8	Závěr.....	21
8.1	Seznam příloh	21

Seznam obrázků

Obr. 1.	Mapa seismických oblastí ČR s vyznačenou lokalitou.....	9
Obr. 2.	Kritický profil dle projektové dokumentace.....	10
Obr. 3.	Redukční faktor poškození.....	12
Obr. 4.	Analytický výpočetní model	15
Obr. 5.	Průběh kritických smykových ploch	16

Seznam tabulek

Tab. 1.	Třída rizika	10
Tab. 2.	Základní parametry zemin.....	11
Tab. 3.	Základní parametry sypanin	11
Tab. 4.	Parametry výztužných geomříží Miragrid GX 80/30	11
Tab. 5.	Parametry interakce sypanina-výztuž	13
Tab. 6.	Způsob ověření mezních stavů výpočtem	14
Tab. 7.	Parciální faktory dle ČSN EN 1997-1.....	14
Tab. 8.	Dílčí součinitele dle TP 97.....	14
Tab. 9.	Stanovené deformace	16

Tab. 10. Specifikace geosyntetik	19
Tab. 11. Specifikace sypaniny ve vyztuženém bloku.....	19

1 Informace o projektu

1.1 Základní informace

Název projektu: **Běchovice – stabilizace svahu podél cyklostezky**

Název objektu: **Armovaný svah**

Navržená konstrukce: **Armovaný svah**

Lokalita: **Kraj hlavní město Praha**
Obec Běchovice [601527]
Katastrální území Běchovice [601527]

Objednatel: **VDI PROJEKT s.r.o**
K Botiči 1453/6
101 00, Praha 10

Zpracovatel: **GEOMAT s.r.o.**
Pražákova 1008/69
639 00, Brno

1.2 Úvod

V rámci předmětné akce je navržený armovaný svah podél cyklostezky v městské části Praha - Běchovice.

V této geotechnické zprávě je provedeno posouzení armovaného svahu na příslušné mezní stavy, včetně stanovení okrajových podmínek a předpokladů pro geometrii svahu a pro mechanické a fyzikální parametry konstrukčních materiálů (sypanin, geosyntetik).

1.3 Reference

1.3.1 Normy

- [1N] ČSN EN 1990:2004. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.*
- [2N] ČSN EN 1991-1-1:2004. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.*
- [3N] ČSN EN 1991-2:2005. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.*
- [4N] ČSN EN 1997-1:2006. *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla.*
- [5N] ČSN EN 1998-1:2006. *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby.*
- [6N] ČSN EN 1998-5:2006. *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 5: Základy, opěrné a zárubní zdi a geotechnická hlediska.*
- [7N] ČSN P 73 1005:2016. *Inženýrskogeologický průzkum.*
- [8N] ČSN 73 6133:2010. *Návrh a provádění tělesa pozemních komunikací.*
- [9N] ČSN 72 1006:2015. *Kontrola zhutnění zemin a sypanin.*
- [10N] ČSN EN 13242+A1:2008. *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace.*
- [11N] ČSN EN 13285:2019. *Nestmelené směsi - Specifikace.*
- [12N] ČSN EN 14475:2006. *Provádění speciálních geotechnických prací - Vyztužené zemní konstrukce.*
- [13N] ČSN EN 933-1:2012. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor.*

[14N] ČSN EN 933-2:1997. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 2: Stanovení zrnitosti - Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů.*

[15N] ČSN EN ISO 10318-1:2015. *Geosyntetika - Část 1: Termíny a definice.*

1.3.2 Zahraniční normy

[16N] BS 8006-1:2010+A1:2016. *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.*

[17N] ISO/TR 18228-7:2021. *Design using geosynthetics — Part 7: Reinforcement.*

1.3.3 Předpisy

[18N] TP 97:2021. *Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací.*

[19N] TP 170:2010. *Navrhování vozovek pozemních komunikací: dodatek č. 1.*

[20N] TKP 4:2009. *Kapitola 4 Zemní práce.*

[21N] TKP 30:2020. *Kapitola 30 Speciální zemní konstrukce.*

[22N] *Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements - EBGeo.* 1. Berlin: Ernst, 2011. ISBN 978-3-433-02983-1.

[23N] FHWA-NHI-00-043. *Mechanically Stabilised Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: Design & Construction Guidelines.* 1. Washington D.C.: National Highway Institute, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2001.

1.3.4 Literatura

[24N] CARTER, Michael a Stephen P. BENTLEY. *Soil properties and their correlations.* Second edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2016. ISBN 978-111-9130-871.

1.3.5 Ostatní

[25N] British Board of Agrément (BBA). *HAPAS Certificate 15/H231: TenCate Geosynthetics: Miragrid GX Geogrids.* Watford, 2020.

[26N] CIRIA. *Soil reinforcement with geotextiles: CIRIA Special Publication 123.* 1. London: CIRIA, 1996. ISBN 0 86017 425 5.

[27N] ReSSA. *Reinforced soil stability analysis.* v 3.0.

1.3.6 Projektové podklady

[1P] VDI PROJEKT, s.r.o. *Projektová dokumentace ve stupni DÚR+DSP.* 07/2021.

[2P] Agrogeologie, s.r.o. *Inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum v trase cyklostezky "trasa požární nádrž Běchovice – ČOV Újezd".* Praha, 2020.

2 Zhodnocení dostupných podkladů

Na zájmovém území byl provedený předběžný inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum. Vlastní průzkum zahrnuje 4 sondy do hloubky 1,5 – 2,0 m.

Sypanina vyztuženého bloku je předepsaná tímto geotechnickým posouzením, ve smyslu frakce, objemové tíhy a parametrů smykové pevnosti.

Další relevantní informace:

- Podzemní voda nebyla v sondách zastižena, lze ale předpokládat, že bude přibližně korespondovat s hladinou vody v Běchovickém potoce,
- v okrese Praha není přírodní seismická aktivita evidována,
- proměnné zatížení je uvažováno charakteristickou hodnotou 12 kN/m² (v souladu s TP97:2021)
- geometrie armovaného svahu je daná projektovou dokumentací.

Podklady jsou dostatečné pro posouzení mezních stavů konstrukce ve smyslu ČSN EN 1990 a ČSN EN 1997-1.

3 Geotechnická konstrukce

Stabilita svahu bude zabezpečena armovaným svahem, ve smyslu této zprávy **vyztuženou zemní konstrukcí**.

Vyztuženou zemní konstrukci **se sklonem líce 60°** tvoří

- **sypanina** vyztuženého bloku frakce 0/63,
- **výztužné geomříže**, tkané z polyesterových vláken a povlakované PVC pastou,
- poddajné lícové opevnění, tvořené svařovanými sítěmi se čtvercovým okem; **sítě (horizontální a lícová)** jsou vzájemně spojené **spirálami** a pomocí **distančních spon** sestavené do daného sklonu,

Všechny komponenty (s výjimkou sypanin) tvoří **certifikovanou systémovou konstrukci**.

Ze statického hlediska působí celá vyztužená zemní konstrukce jako gravitační, stabilitu konstrukce na potenciálních smykových plochách zajišťují výztužné geomříže, které jsou se sypaninou ve vzájemné interakci. Lícové opevnění zadržuje sypaninu mezi výztužnými mřížemi a určuje celkové estetické vyznění konstrukce.

3.1 Zhodnocení alternativ

Žádné alternativy nejsou ve fázi zpracování geotechnického posouzení zvažovány.

4 Zásady návrhu

4.1 Návrhové situace

Uvažují se následující návrhové situace:

Situace	Uvažuje se	Důvod
Dočasná	X	tvár a provedení výkopů je předmětem projektové dokumentace
Trvalá	✓	je vyvolaná účinky stálých a proměnných zatížení
Mimořádná	X	mimořádné vnější vlivy se nevyskytují
Seismická	X	přírodní ani technická seismická se nevyskytuje

4.2 Mezní stavy

Jsou posouzeny následující mezní stavy:

Skupina	Mezní stav
Mezní stavy únosnosti	Kombinovaná stabilita na válcové a neválcové smykové ploše ¹
	Přímý smyk ²
	Vytržení ³
Mezní stavy použitelnosti	Sedání základové půdy
	Deformace vyztužené zemní konstrukce

4.3 Zatížení a jejich kombinace

4.3.1 Zatížení

Uvažují se následující zatížení:

Zatížení	Uvažuje se	Důvod
Vlastní tíha	✓	vlastní tíha vyztužené zemní konstrukce a násypu
Stálé	X	stálá zatížení se nevyskytují
Proměnné	✓	dopravní zatížení dle ČSN EN 1991-2, LM 1
Mimořádné	X	mimořádná zatížení se nevyskytují
Seismické	X	přírodní ani technická seismická se nevyskytuje

4.3.1.1 Proměnné zatížení

Proměnné zatížení v koruně vyztuženého svahu dle TP 97:2021, kapitoly 7, tabulky 33, se uvažuje celoplošné, rovnoměrné, v charakteristických hodnotách dle vztahu (1).

S ohledem na účel cyklostezky se uvažuje náhradní intenzita za LM1 dle ČSN EN 1991-2 a zatížení pro násypy a svahy.

$$\begin{aligned} q_k &= 12 \text{ kPa v pruhu 1} \\ q_k &= 12 \text{ kPa v ostatních pruzích} \end{aligned} \quad (1)$$

¹ angl. compound stability.

² angl. direct sliding.

³ angl. pull-out.

4.3.1.2 Seismické zatížení

Dle mapy seismicky aktivních oblastí ČR (Obr. 1), uvedené v ČSN EN 1998-1:2006, se zájmová stavba nachází v okrese Praha, kde se přírodní seismická nevykazuje, a proto se v rámci návrhu neposuzuje.



Obr. 1. Mapa seismických oblastí ČR s vyznačenou lokalitou

4.3.2 Kombinace zatížení

Uvažují se následující kombinace zatížení:

Kombinace	Uvažuje se	Důvod
Základní	X	vyskytuje se pouze jedno proměnné zatížení
Mimořádná	X	nevyskytuje se mimořádné zatížení
Seismická	X	nevyskytuje se seismické zatížení
Charakter.	X	vyskytuje se pouze jedno proměnné zatížení
Častá	X	vyskytuje se pouze jedno proměnné zatížení
Kvazistálá	X	vyskytuje se pouze jedno proměnné zatížení

4.4 Geotechnická kategorie

Vzhledem k charakteru základové půdy, kterou tvoří hlinitopísčité navážky a fluvialní sedimenty přirozeného kvartéru, tvořené obecně jílovitými, písčito-jílovitými a hlinitopísčitými zeminami, lze základové podmínky označit za relativně proměnlivé a citlivé na podzemní nebo povrchovou vodu, interakce vyztužené zemní konstrukce se základovou půdou je jednoduchá.

Vyztužená zemní konstrukce je začleněná do 2. geotechnické kategorie.

Geologické poměry lokality hodnotíme jako **složitě**, s ohledem na přítomnost podzemní vody, která má nepříznivý vliv na konstrukci.

Geotechnickou konstrukci, resp. její interakci se základovou půdou, hodnotíme jako **jednoduchou**.

S ohledem na výše uvedená hlediska je geotechnická konstrukce začleněna do **2. geotechnické kategorie**, rovněž ve vazbě na třídu rizika dle kapitoly 4.5.1.

4.5 Spolehlivost návrhu

4.5.1 Třída rizika

Geotechnická konstrukce spadá do **1. třídy rizika** (Tab. 1) ve smyslu ČSN P 73 1005, Přílohy E, dle zhodnocení klíčových ukazatelů pro

- **stupeň 2** pravděpodobnosti vzniku nežádoucího jevu; vznik nežádoucího jevu je **málo pravděpodobný**,
- **stupeň 2** relativní míry velikosti škody; **mírné škody, které lze za určitých okolností připustit**.

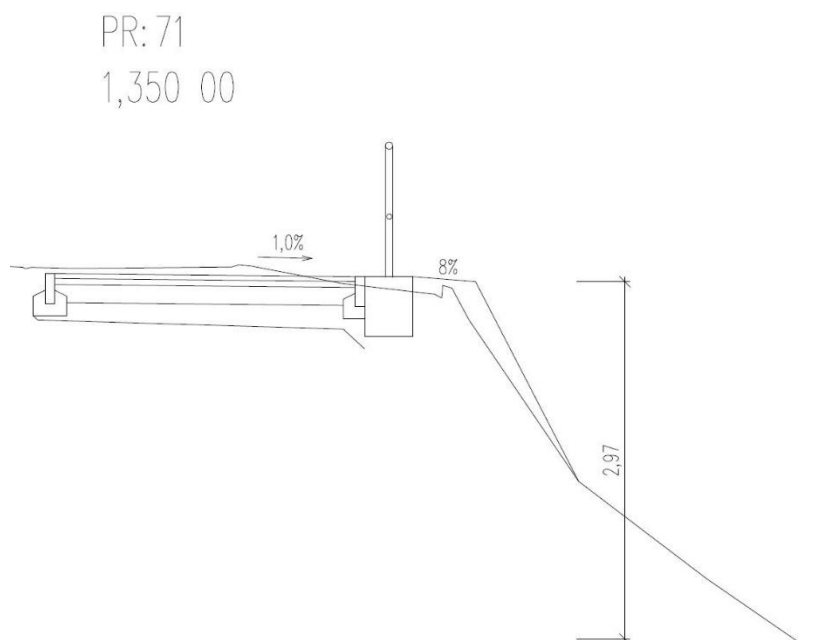
Tab. 1. Třída rizika

Třída rizika (TR)		Relativní míra škody				
		1	2	3	4	5
Pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu	1	1. TR	1. TR	2. TR	2. TR	3. TR
	2	1. TR	1. TR	2. TR	2. TR	3. TR
	3	1. TR	2. TR	2. TR	3. TR	3. TR
	4	1. TR	2. TR	2. TR	3. TR	3. TR
	5	2. TR	2. TR	3. TR	3. TR	3. TR

4.6 Geotechnický model

4.6.1 Kritický profil

Vzhledem k různé výšce vyztužené zemní konstrukce je kritický profil zvolený na základě maximální výšky (Obr. 2.)



Obr. 2. Kritický profil dle projektové dokumentace

4.6.2 Základová půda

Parametry zemin jsou uvažovány jako tabulkové hodnoty na základě zatřídění zemin uvedeném v inženýrskogeologickém průzkumu. Základní soubor parametrů uvádí Tab. 2.

Tab. 2. Základní parametry zemin

Zemina	Třída	γ [kN/m ³]	φ [°]	c [kPa]
Jíl se střední plasticitou	F6-CI	21	17	10

4.6.3 Sypaniny

Parametry sypaniny jsou předepsané zpracovatelem tohoto geotechnického posouzení Tab. 3.

Tab. 3. Základní parametry sypanin

Sypanina	Třída	γ [kN/m ³]	φ [°]	c [kPa]
Vyztužený blok	G3-G-F	19	32	0

Konstrukční vrstvy cyklostezky jsou v modelu zahrnuty do sypaniny násypového tělesa.

4.6.4 Podzemní voda

Podzemní voda nebyla v sondách zastižena, lze ale předpokládat, že bude přibližně korespondovat s hladinou vody v Běchovickém potoce.

4.6.5 Výztužné geomříže

Budou použity tkané výztužné geomříže Miragrid GX 80/30 z polyesteru, chráněné povlakem z PVC. Parametry výztužných geomříží, aplikované v geotechnické analýze, obsahuje (Tab. 4).

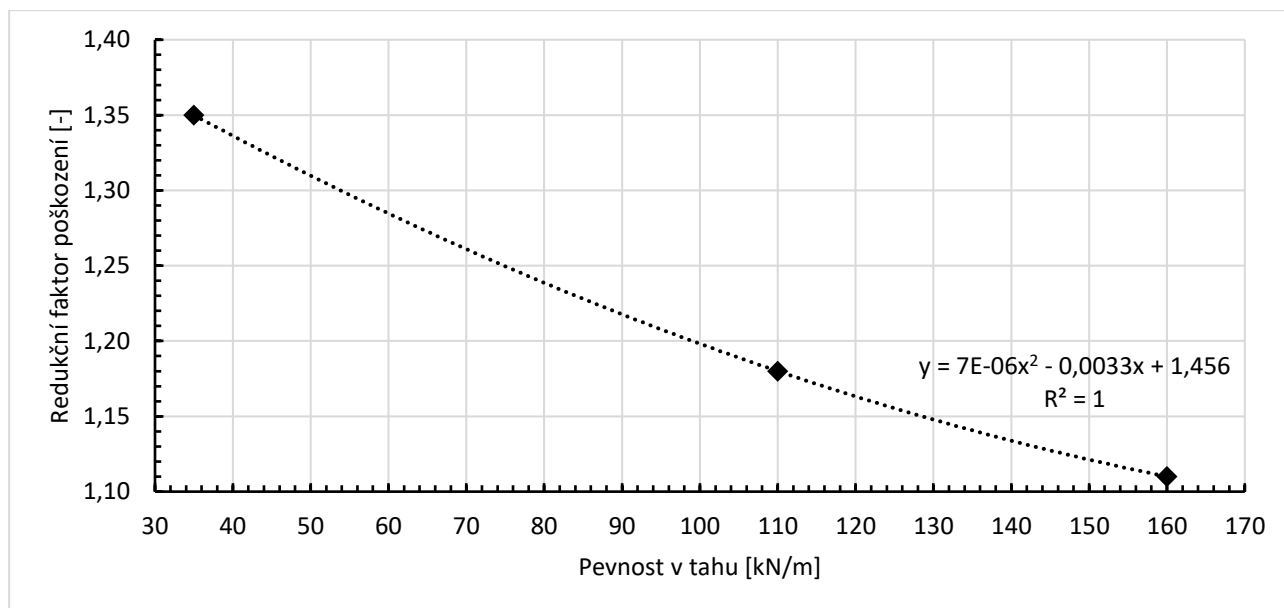
Tab. 4. Parametry výztužných geomříží Miragrid GX 80/30

Parametr	Jednotka	Hodnota	Zdroj
Pevnost v tahu, charakteristická	kN/m	80	Prohlášení o vlastnostech (DoP)
Redukční faktor creepu	-	1,56	BBA certifikát
Redukční faktor chemických a biologických vlivů	-	1,18	BBA certifikát
Redukční faktor poškození při instalaci	-	1,24	BBA certifikát (viz 4.6.5.1)
Redukční faktor vlivu povětrnosti	-	1,00	BBA certifikát
Modelový faktor extrapolace dat	-	1,03	BBA certifikát

4.6.5.1 Redukční faktor poškození při instalaci

Redukční faktor poškození při instalaci je pro geomříž Miragrid GX 80/30 interpolovaný na základě známých hodnot uvedených v BBA certifikátu⁴ (Obr. 3).

⁴ viz [25N].



Obr. 3. Redukční faktor poškození

4.6.5.2 Interakce sypanina-výztuž

Smykový odpor proti vytržení a v přímém smyku se uvažuje dle rovnice (1), respektive (2).

Odpor proti vytržení:

$$\mu_b = f_b \cdot \tan \varphi' \quad (1)$$

$$f_b = \alpha_s \cdot (\tan \delta / \tan \varphi') + (\sigma_b' / \sigma_n') \cdot (\alpha_b \cdot B / 2S) \cdot (1 / \tan \varphi') \quad (1.1)$$

$$(\sigma_b' / \sigma_n') = \tan(\pi/4 + \varphi'/2) \cdot \exp[(\pi/2 + \varphi') \cdot \tan \varphi'] \quad (1.2)$$

Odpor v přímém smyku:

$$\mu_{ds} = f_{ds} \cdot \tan \varphi' \quad (2)$$

$$f_{ds} = \alpha_s \cdot (\tan \delta / \tan \varphi') + (1 - \alpha_s) \quad (2.1)$$

kde je: μ_b	smykový odpor proti vytržení	[-]
f_b	koeficient odporu proti vytržení	[-]
μ_{ds}	smykový odpor v přímém smyku	[-]
f_{ds}	koeficient odporu v přímém smyku	[-]
α_s	proporční součinitel plochy smykového odporu	[-]
$\alpha_b \cdot B / 2S$	proporční součinitel vzdorující plochy geomříže	[-]
$\tan \delta / \tan \varphi'$	koeficient tření na rozmezí sypanina-výztuž	[-]
σ_b' / σ_n'	poměrový součinitel mobilizovaného odporu ⁵	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
φ'	efektivní úhel vnitřního tření sypaniny, reprezentativní	[°]

Do výpočtu se uvažuje smykový odpor dle Tab. 5

⁵ dle publikace CIRIA SP123:1996 (Rovnice 4.8, Tabulka 4.1), viz [26N].

Tab. 5. Parametry interakce sypanina-výztuž

Vstupní údaje ⁴				Vytržení		Přímý smyk	
φ'	$\tan \delta / \tan \varphi'$	α_s	$\alpha_b \cdot B/2S$	f_b	μ_b	f_{ds}	μ_{ds}
32,0 °	0,600	0,290	0,019	0,382	0,238	0,884	0,552

4.6.6 Dopady v rámci zóny vlivu

Při výstavbě budou stavební stroje produkovat hluk, emise a vibrace spojené s běžnou distribucí, ukládáním a hutněním sypanin, žádné speciální technologie výstavby spojené s nadměrnými otřesy nebo uvolňováním nebezpečných látek se nepředpokládají.

Budou použita taková geosyntetika, která neuvolňuje nebezpečné ani toxické látky do ovzduší nebo do půdy.

4.7 Další aspekty návrhu

Návrhová životnost vyztužené zemní konstrukce se dle trvanlivosti dílčích geosyntetik stanovuje na minimálně 100 let⁶ v přírodních zeminách s hodnotou $4 \leq \text{pH} \leq 9$ a při teplotách zeminy ≤ 25 °C.

Návrhová teplota se uvažuje $\vartheta = 20$ °C.

4.8 Omezující podmínky

Geosyntetika nesmí během výstavby ani v průběhu své životnosti přijít do styku s kyselými nebo zásaditými látkami ($\text{pH} < 4$, $\text{pH} > 9$), nesmí být vystaveny účinkům požáru nebo extrémních teplot a nesmí být mechanicky poškozeny, s výjimkou běžné manipulaci se sypaninami v souladu se schváleným technologickým postupem.

Výztužné geomříže musí být zakryty v den pokládky/vyjmutí z výrobního obalu.

4.9 Předpoklady a zjednodušení

4.9.1 Předpoklady pro výpočetní modely

4.9.1.1 Vyztužený svah

- Nad rámec souboru dílčích součinitelů dle ČSN EN 1997-1 se pro geomříže uplatní dílčí součinitele dle TP 97, Tabulky 34.
- Jedná se o trvalou návrhovou situaci

4.9.2 Zjednodušení výpočetních modelů

- Výpočetní modely jsou 2D úloha rovinné deformace.
- Konstrukční vrstvy vozovky jsou pro účely modelu uvažovány se shodnými parametry jako sypanina násypového tělesa.

4.10 Návrhová metoda

Mezní stavy únosnosti jsou ověřeny výpočtem. Mezní stavy použitelnosti jsou ověřeny empiricky, na základě srovnatelné zkušenosti.

⁶ dlouhodobá (creepová) pevnost geomříží se uvažuje pro návrhovou životnost 120 let a návrhovou teplotu 20 °C.

4.10.1 Ověření výpočtem (MSÚ)

Metody ověření jednotlivých mezních stavů výpočtem uvádí souhrnná Tab. 6.

Tab. 6. Způsob ověření mezních stavů výpočtem

Mezní stav	Situace	Metoda ověření	Dílčí součinitele
Kombinovaná stabilita na válcové a neválcové ploše	Trvalá	dílčí součinitele	ČSN EN 1997-1, TP 97
Přímý smyk			
Vytržení			

Ověření výpočtem je provedeno metodou dílčích faktorů dle ČSN EN 1997-1, Návrhový přístup 3⁷ (Tab. 7).

Pro vyztužený svah (poslední tři mezní stavy v Tab. 6) se nad rámec výše uvedeného uplatní dílčí součinitele pro geomříží dle TP 97 (Tab. 8).

Tab. 7. Parciální faktory dle ČSN EN 1997-1

	Značka	A1	A2	M1	M2	R1	R2	R3
Zatížení stálé	γ_G	1,35	1,00	-	-	-	-	-
Zatížení proměnné	γ_Q	1,50	1,30	-	-	-	-	-
Úhel vnitřního tření	$\gamma_{\phi'}$	-	-	1,00	1,25	-	-	-
Efektivní soudržnost	$\gamma_{c'}$	-	-	1,00	1,25	-	-	-
Neodvodněná smyková pevnost	γ_{cu}	-	-	1,00	1,40	-	-	-
Objemová tíha	γ_Y	-	-	1,00	1,00	-	-	-
Zaboření	$\gamma_{R,v}$	-	-	-	-	1,00	1,40	1,00
Usmýknutí	$\gamma_{R,h}$	-	-	-	-	1,00	1,10	1,00

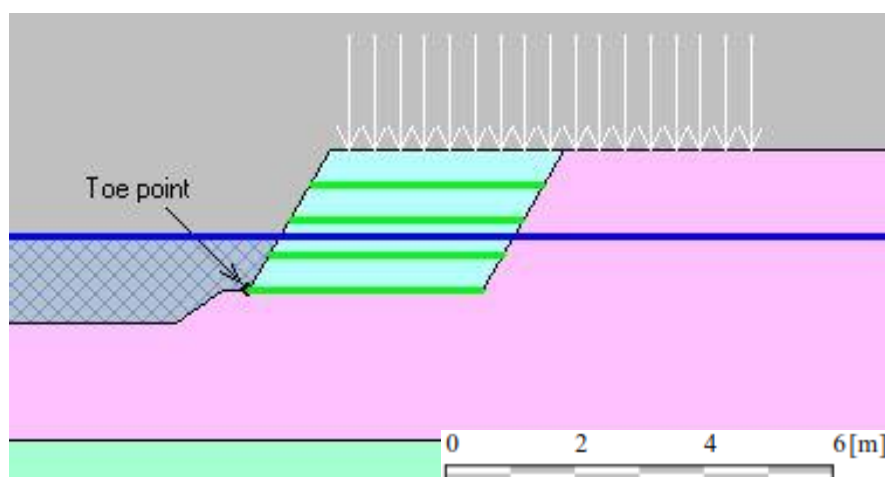
Tab. 8. Dílčí součinitele dle TP 97

	Značka	Hodnota dílčího součinitele
Odpor v tahu	$\gamma_{M,re}$	1,10
Odpor proti vytržení	$\gamma_{R,po}$	1,25
Odpor v přímém smyku	$\gamma_{R,ds}$	1,25
Odpor ve spoji nebo spojení	$\gamma_{R,con}$	1,35

4.10.1.1 Výpočetní model

Analytický výpočetní model sestavený na základě kritického řezu je zobrazený na Obr. 4.

⁷ kombinace A2 + M2 + R3.



Obr. 4. Analytický výpočetní model

4.10.2 Ověření na základě srovnatelné zkušenosti (MSP)

Ověření mezních stavů použitelnosti je provedeno zjednodušeným postupem výpočtu na základě Hookova zákona (sedání základové půdy) a na základě statistických dat uvedených v zahraniční literatuře⁸ (deformace vyztužené zemní konstrukce).

5 Geotechnická analýza

5.1 Předpokládaný rámec očekávaných výsledků

5.1.1 Mezní stavy únosnosti

Kombinovaná stabilita na smykové ploše, odpor v přímém smyku a odpor proti vytržení se předpokládají vyhovující ve smyslu ČSN EN 1997-1, resp. ve smyslu příslušných zahraničních norem a předpisů, a to v otázce mezních stavů vyztužené zemní konstrukce, které nejsou v ČSN EN 1997-1 obsaženy.

5.1.2 Mezní stavy použitelnosti

Sedání základové půdy se předpokládá v řádu jednotek cm, v důsledku stlačení povrchových, klimatem rozrušených vrstev zemin.

Horizontální deformace vyztužené zemní konstrukce se předpokládají do 100 mm, za předpokladu výstavby v souladu s předpisy TKP 4 a TKP 30, a za předpokladu použití sypanin v souladu s ČSN EN 14475.

5.2 Analýza geotechnické konstrukce

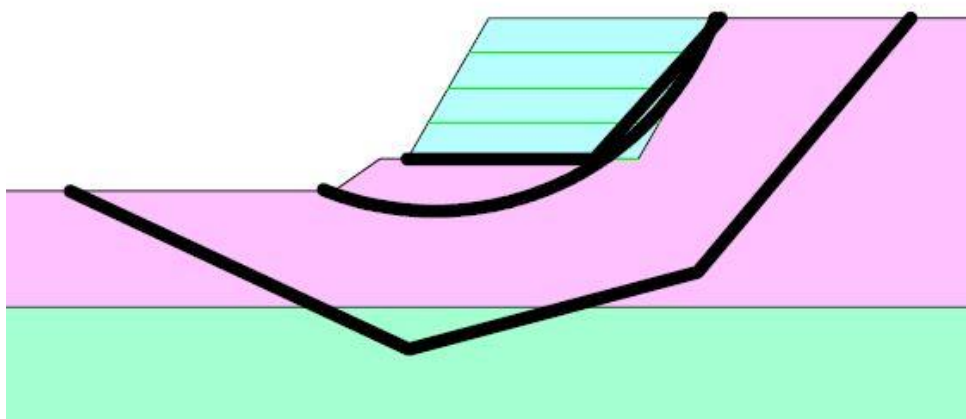
5.2.1 Mezní stavy únosnosti

Na Obr. 5 jsou znázorněny průběhy kritických smykových ploch pro mezní stavy únosnosti, převrácená hodnota stupně bezpečnosti⁹ vyjadřuje využití potenciálu stability:

- válcová smyková plocha 84 %
- přímý smyk a vytržení 97 %
- neválcová smyková plocha 62 %

⁸ viz [22N].

⁹ podrobněji viz Přílohu č. 1.



Obr. 5. Průběh kritických smykových ploch

Příloha č. 1 obsahuje kompletní protokol výpočtu, včetně vykreslení mapy smykových ploch pro jednotlivé mezní stavy únosnosti, které vyjadřují oblast podrobenou posouzení, včetně příslušných stupňů bezpečnosti.

5.2.2 Mezní stavy použitelnosti

5.2.2.1 Sedání základové půdy

Sedání základové půdy je stanoveno zjednodušeným empirickým modelem dle Hookova zákona (5):

$$v_u = \frac{\gamma \cdot H \cdot z}{E_{oed}} \quad (5)$$

kde je: v_u	sednutí základové půdy	[m]
γ	objemová tíha sypaniny = 19 kN/m ³	[kN/m ³]
H	výška konstrukce, od základové spáry na povrch = 2,5 m	[m]
z	tloušťka stlačených vrstev podloží = 2,0 m (vrstva F6 CI, S4 SM)	[m]
E_{oed}	edometrický modul = 10 MPa	[kPa]

Tento zjednodušený model zanedbává strukturní pevnost zeminy (geostatickou napjatost) a pokles přitížení základové půdy s rostoucí hloubkou, výsledek modelu je konzervativní.

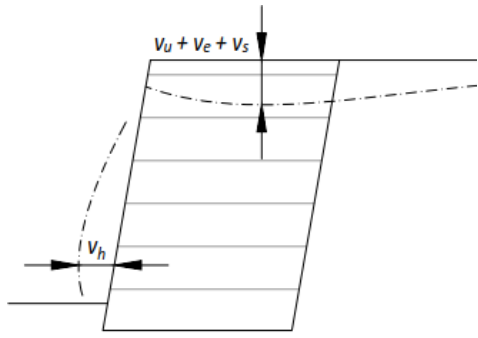
Vypočtené sedání $v_u = (\gamma \cdot H \cdot z) / E_{oed} =$
 $= (19 \cdot 2,5 \cdot 2,0) / 10000 =$
 $= 0,0095 \text{ m}$

5.2.2.2 Deformace vyztužené zemní konstrukce

Hodnoty deformací v Tab. 9 jsou stanovené základě dlouhodobé statistiky vyztužených zemních konstrukcí⁸.

Tab. 9. Stanovené deformace

Složka deformace	Symbol	Stanovená hodnota	
Horizontální deformace líce	v_h	20–40 mm	

Sedání základové půdy	v_u	$\leq 10 \text{ mm}$ (dle 5.2.2.1)	
Vnitřní sedání sypaniny	v_e	$\leq 25 \text{ mm}$ (při splnění ods. 4.6.3)	
Smyková deformace v koruně	v_s	10–20 mm	

5.3 Citlivostní analýza

5.3.1 Mezní stavy únosnosti

Kritická smyková plocha se 84 % využitím potenciálu stability je lokalizovaná ve vyztuženém bloku. Stabilita na kritické smykové ploše je daná výpočtovým odporem výztužných geomříží, u kterých je variabilita pevností ve smyslu horších hodnot nepravděpodobná, s ohledem na redukční faktory, dále je daná smykovou pevností sypaniny.

Smyková pevnost sypaniny ve vyztuženém bloku je parametrem citlivosti ve smyslu mezních stavů únosnosti a její hodnota nesmí klesnout pod $\varphi' = 32^\circ$ (se zanedbáním dilatance na smykové ploše).

Model je vysoce citlivý na parametry smykové pevnosti sypanin.

5.3.2 Mezní stavy použitelnosti

Sedání základové půdy se může lišit od vypočteného v případě změny modulu přetvárnosti E_{def} a úhlu vnitřního tření φ' . Tyto dva parametry, ovlivňující hodnotu E_{oed} , jsou parametry citlivosti ve smyslu mezních stavů použitelnosti, sedání základové půdy.

Reálně očekávatelná variabilita parametrů citlivosti E_{def} a φ' ve smyslu horších hodnot způsobí změnu sedání v řádu maximálně jednotek mm. V relativním měřítku se sice jedná o změny v řádu desítek procent, což indikuje vysokou citlivost modelu, ale absolutní dopad na konstrukci je zanedbatelný.

Deformace vyztužené zemní konstrukce jsou řízené geometrií konstrukce, jejíž variabilita je prakticky vyloučená, a dále technologií výstavby a obecnou technologickou kázní, která je hlavním parametrem citlivosti.

Při dodržení technologických postupů v souladu s normami a předpisy a v souladu s doporučením výrobce/dodavatele systémové konstrukce lze očekávat deformace vyztužené zemní konstrukce v normových mezích.

5.4 Zhodnocení výsledků

Výsledky obdržené z výpočtů naplňují předpoklady kapitoly 5.1.

Ve smyslu mezních stavů únosnosti je vyztužená zemní konstrukce **stabilní**, válcová smyková plocha indikuje stav návrhové mezní rovnováhy. Úhel vnitřního tření sypaniny ve vyztuženém bloku nesmí klesnout pod hodnotu $\varphi' = 32^\circ$ (se zanedbáním dilatance na smykové ploše).

Celkový **okamžitý pokles koruny** vyztužené zemní konstrukce **nepřekročí při splnění předpokladů hodnoty uvedené v tomto posouzení**.

Pokles koruny vyztužené zemní konstrukce **v důsledku navození silové rovnováhy** ve vyztuženém bloku (smyková deformace koruny) **nepřekročí při splnění předpokladů v této zprávě uvedených 20 mm**. Část této deformace nastane během výstavby a v rámci ní bude vykompenzována, zbylá část bude probíhat po dobu návrhové životnosti ve vazbě na probíhající creep výztužných geomříží.

Při dodržení technologických postupů výstavby lze očekávat, že **maximální horizontální deformace líce nepřekročí 40 mm**, ale ani dosažení normou přijaté hranice 100 mm není pro konstrukci ohrožující a neindikuje havarijní stav.

5.5 Fáze výstavby

Fáze výstavby jsou předmětem projektové dokumentace. V rámci geotechnické analýzy byla posouzena konstrukce v okamžiku bezprostředně po dokončení výstavby, zejména ve vztahu k deformacím, protože krátkodobá stabilita je *a priori* zajištěna¹⁰, a v okamžiku dosažení návrhové životnosti, kdy o stabilitě konstrukce rozhoduje výpočtový odpor výztužných geomříží.

¹⁰ tahová (krátkodobá) pevnost geomříží je vyšší než výpočtová pevnost v okamžiku dosažení návrhové životnosti.

6 Technologické požadavky

6.1 Specifikace materiálů

6.1.1 Geosyntetika

Specifikace geomříží obsahuje Tab. 10, **uvedené hodnoty jsou po odečtení výrobních tolerancí**, musí být doloženy Prohlášením o vlastnostech (DoP) a/nebo certifikátem vydaným třetí stranou.

Tab. 10. Specifikace geosyntetik

Vlastnost	Norma	Jednotka	Geomříž
			Miragrid GX 80/30
Zamýšlené použití (funkce)	ČSN EN ISO 10318-1	-	Vyztužování
Pevnost v tahu	ČSN EN ISO 10319	kN	≥ 80,00
Výpočtový odpor v tahu	TP97	kN	≥ 31,02
Návrhová životnost	TP97	rok	100
Návrhová teplota	TP97	°C	20

Vyztuženou zemní konstrukci tvoří certifikovaný systém.

6.1.2 Sypaniny

Do vyztuženého bloku bude použita sypanina s vlastnostmi dle Tab. 11.

Tab. 11. Specifikace sypaniny ve vyztuženém bloku

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Úhel vnitřního tření	°	≥ 32

6.2 Výkresy, schémata

Schémata jsou uvedena v Příloze 2.

6.3 Pravidla provádění

Všechna geosyntetika je před položením do konstrukce nutné chránit

- proti UV záření, geomříže je nutné zakrýt v den instalace,
- proti mechanickému poškození a
- všechny geotextilie je dále nutné chránit proti vlhkosti a vodě (stojaté, tekoucí, srážkové).

Žádná geosyntetika nesmí během skladování, manipulace, při pokládce ani v průběhu své životnosti přijít do styku s kyselými (pH <4) ani zásaditými (pH > 9) látkami libovolného původu a charakteru.

Žádná geosyntetika nesmí přijít do styku s otevřeným ohněm nebo jinými zdroji obdobně extrémního tepla.

Výztužné geomříže se pokládají dotykem (bez přesahu).

Výztužné geomříže se v rámci své kotevní délky nesmí spojovat ani napojovat, musí být celistvé.

Vodorovně kladená geosyntetika musí být před zasypáním zbavena všech záhybů, přehybů, vln a podobných manipulačních nerovností, např. jejich napnutím, ale bez nutnosti vnášet do geosyntetika počáteční sílu.

Položená geosyntetika nesmí přímo pojíždět žádná stavební technika (kolová, pásová), minimální tloušťka ochranné vrstvy sypaniny je 150 mm po zhutnění. Ani na ochranné vrstvě sypaniny nesmí žádná stavební technika náhle zrychlovat, náhle brzdit, zatáčet v prudkých obloucích, otáčet koly na místě, otáčet se na místě nebo provádět manévry obdobného charakteru.

Maximální volná výška zasypávání položených geosyntetik sypaninou je 1,5 m¹¹.

7 Dohled nad konstrukcí

7.1 Dohled

Na začátku výstavby vyztužené zemní konstrukce bude přítomen autorský dozor a/nebo zástupce dodavatele systémové konstrukce, který dohlédne na správný technologický postup výstavby a v případě potřeby provede zaškolení pracovní čety. O těchto, případně dalších skutečnostech provede autorský dozor/zástupce dodavatele zápis do stavebního deníku, a to za přítomnosti stavebního dozoru.

Alternativně je možné vypracovat technologický předpis stavby, na základě doporučeného postupu výstavby dodavatele systémové konstrukce, tento předložit zástupci dodavatele ke kontrole a následně správci stavby ke schválení.

7.2 Dozor a inspekce

V průběhu výstavby bude stavební dozor kontrolovat shodu (dodaných a do konstrukce zabudovaných) materiálů s projekčními specifikacemi. Identifikace geosyntetik na stavbě se řídí normou ČSN EN ISO 10320, včetně kontroly doprovodné dokumentace. U výstavby bude přítomen geotechnický dozor.

¹¹ tuto výšku je možné překročit na hodnotu technologického minima.

8 Závěr

V rámci geotechnické zprávy bylo provedeno posouzení armovaných svahů (vyztužená zemní konstrukce), které zabezpečují stabilitu svahu podél cyklostezky v Běchovicích.

Armované svahy jsou tvořené systémovou konstrukcí s poddajným lícem a tkanými výztužnými geomřížemi z polyesteru.

Budou použity výztužné geomříže Miragrid GX 80/30.

Kotevní délka výztužných geomříží je 3,5 m, geomříže na této délce nesmí být spojované ani jinak nastavované. V podélném směru konstrukce se geomříže kladou na dotyk (bez přesahu).

Výšková rozteč výztužných geomříží je daná modulární výškou lícových sítí 0,7 m ve sklonu 60° (svislá rozteč je ca 610 mm), výstavba každé vrstvy bude probíhat ve dvou technologických krocích, míra hutnění je určena normou ČSN 73 6133.

Během výstavby je nutné dbát doporučených technologických kroků dodavatele systémové konstrukce a snížit tak riziko nadměrných deformací líce na minimum.

8.1 Seznam příloh

Příloha	Název přílohy
Příloha č. 1	Protokol výpočtu
Příloha č. 2	Schematický řez

V Brně, dne 05. 4. 2022


Vypracoval: Ing. Ján Lajčák
projektant
Kontroloval: Ing. Martin Kašpar
autorizovaný inženýr v oboru geotechnika
ČKAIT: 1005289

PŘÍLOHA Č. 1

PROTOKOL VÝPOČTU

Report created by ReSSA(3.0): Update #4.21: Copyright (c) 2001-2016, ADAMA Engineering, Inc.

Soil profile contains 3 layers. Coordinates in [m.]
Water was described by phreatic line.

 Top of Layer 1

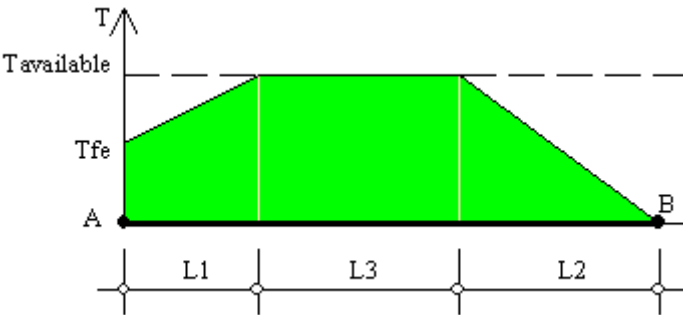
 Top of Layer 2

 Top of Layer 3

10	100.00	118.00
11	105.00	118.00
13	100.00	121.50

Top of Phreatic Line	13	100.00	121.50
----------------------	----	--------	--------

DISTRIBUTION OF AVAILABLE STRENGTH ALONG EACH REINFORCEMENT LAYER



A = Front-end of reinforcement (at face of slope)
B = Rear-end of reinforcement
AB = L1 + L2 + L3 = Embedded length of reinforcement

Tavailable = Long-term strength of reinforcement
Tfe = Available front-end strength (e.g., connection to facing)

L1 = Front-end 'pullout' length
L2 = Rear-end pullout length
Tavailable prevails along L3

Factor of safety on resistance to pullout on either end of reinforcement, $F_{s-po} = 1.50$

Reinforcement Layer #	Designated Name	Height Relative to Toe [m]	L [m]	L1 [m]	L2 [m]	L3 [m]	Tfe [kN/m]	Tavailable [kN/m]
1	Type 2	0.00	3.50	0.68	2.82	0.00	12.41	16.24 (*)
2	Type 2	0.61	3.50	0.73	2.77	0.00	10.86	14.74 (*)
3	Type 2	1.22	3.50	1.01	2.49	0.00	6.20	10.46 (*)
4	Type 2	1.83	3.50	1.04	2.46	0.00	3.10	5.40 (*)

(*) This Tavailable is dictated by the pullout resistance capacity, which is smaller than the long-term strength of the reinforcement that is related to its specified ultimate strength.

RESULTS OF ROTATIONAL STABILITY ANALYSIS

Results in the tables below represent critical circles identified between specified points on entry and exit. (Theta-exit set to 50.00 deg.)
The most critical circle is obtained from a search considering all the combinations of input entry and exit points.

Critical circles for each entry point (considering all specified exit points)									
Entry Point #	Entry Point (X, Y) [m]		Exit Point (X, Y) [m]		Critical Circle (Xc, Yc, R) [m]			Fs	STATUS
1	103.40	122.99	96.78	120.04	99.43	122.99	3.97	3.60	OK
2	104.20	122.99	99.88	120.00	100.98	123.03	3.22	1.59	
3	105.00	122.99	99.82	120.03	101.48	123.14	3.52	1.28	
4	105.80	122.99	99.82	120.03	101.62	123.91	4.28	1.20	
5	106.60	122.99	99.82	120.02	101.69	124.98	5.30	1.19	
6	107.40	122.99	99.82	120.02	101.70	126.36	6.62	1.27	
7	108.20	122.99	99.82	120.02	101.80	127.72	7.95	1.32	
8	109.00	122.99	98.65	120.00	101.99	127.85	8.53	1.40	
9	109.80	122.99	97.34	120.05	101.94	128.46	9.58	1.47	
10	110.60	122.99	96.82	120.00	102.23	128.32	9.92	1.57	
11	111.40	122.99	96.22	120.00	102.27	129.32	11.11	1.69	

Note: In the 'Status' column, OK means the critical circle was identified within the specified search domain. 'On extreme X-entry' means that the critical result is on the edge of the search domain; a lower Fs may result if the search domain is expanded.

Results in the tables below represent critical circles identified between specified points on entry and exit. (Theta-exit set to 50.00 deg.)
The most critical circle is obtained from a search considering all the combinations of input entry and exit points.

Critical circles for each exit point (considering all specified entry points).									
Exit Point #	Exit Point (X, Y) [m]		Entry Point (X, Y) [m]		Critical Circle (Xc, Yc, R) [m]			Fs	STATUS
1	95.00	120.00	107.40	122.99	99.88	126.97	8.51	1.46	OK
2	95.60	120.01	106.60	122.99	99.77	126.41	7.64	1.42	
3	96.18	120.02	106.60	122.99	100.11	126.00	7.15	1.37	
4	96.78	120.03	106.60	122.99	100.42	125.74	6.77	1.33	
5	97.40	120.03	106.60	122.99	100.72	125.47	6.38	1.28	
6	98.04	120.01	106.60	122.99	100.99	125.31	6.07	1.25	
7	98.62	120.02	106.60	122.99	101.22	125.25	5.84	1.23	
8	99.24	120.01	106.60	122.99	101.50	125.01	5.49	1.20	
9	99.82	120.02	106.60	122.99	101.69	124.98	5.30	1.19	
10	100.47	120.35	106.60	122.99	102.24	124.68	4.67	1.30	
11	101.08	120.57	106.60	122.99	102.63	124.54	4.26	1.44	

Note: In the 'Status' column, OK means the critical circle was identified within the specified search domain. 'On extreme X-exit' means that the critical result is on the edge of the search domain; a lower Fs may result if the search domain is expanded.

Critical two-part wedge along each interface:									
Interface	Height Relative to Toe [m]	(Xa, Ya) [m]	(Xb, Yb) [m]	(Xc, Yc) [m]	Fs	STATUS			
At toe elevation	0.00	101.27	120.56	102.72	120.56	105.62	122.99	1.22	OK
Reinf. Layer #1	0.00	101.27	120.56	104.11	120.56	106.46	122.99	1.03	OK
Reinf. Layer #2	0.61	101.62	121.17	102.38	121.17	104.63	122.99	1.40	OK
Reinf. Layer #3	1.22	101.98	121.78	102.78	121.78	104.17	122.99	1.41	OK
Reinf. Layer #4	1.83	102.33	122.39	103.08	122.39	103.72	122.99	1.42	OK

Bechovice stabilizace svahu
Copyright © 2001-2016 ADAMA Engineering, Inc. www.GeoPrograms.com

CRITICAL RESULTS OF ROTATIONAL AND TRANSLATIONAL STABILITY ANALYSES

Rotational (Circular Arc; Bishop) Stability Analysis

Minimum Factor of Safety = 1.19

Critical Circle: $X_c = 101.69[m]$, $Y_c = 124.98[m]$, $R = 5.30[m]$. (Number of slices used = 54)

Translational (2-Part Wedge; Spencer), Direct Sliding, Stability Analysis

Minimum Factor of Safety = 1.03

Critical Two-Part Wedge: ($X_a = 101.27$, $Y_a = 120.56$) [m]

($X_b = 104.11$, $Y_b = 120.56$) [m]

($X_c = 106.46$, $Y_c = 122.99$) [m]

(Number of slices used = 30)

Interslice resultant force inclination = 23.83 [degrees]

Three-Part Wedge Stability Analysis

Minimum Factor of Safety = 1.60

Critical Three-Part Wedge: ($X_2 = 95.44$, $Y_2 = 120.00$) [m]

($X_{\text{left}} = 101.30$, $Y_{\text{left}} = 117.27$) [m]

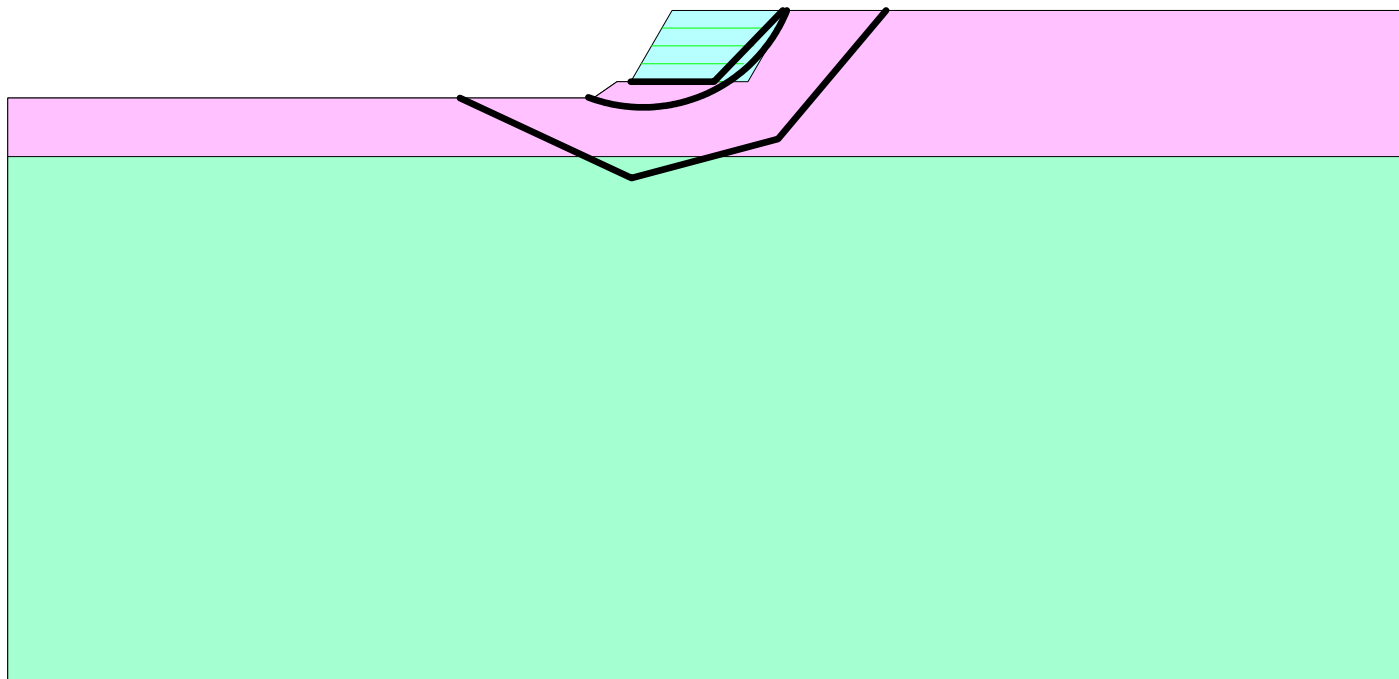
($X_{\text{right}} = 106.30$, $Y_{\text{right}} = 118.60$) [m]

($X_1 = 109.98$, $Y_1 = 122.99$) [m]

(Number of slices used = 45)

Interslice resultant force inclination = 9.03 [degrees]

REINFORCEMENT LAYOUT: DRAWING



SCALE:

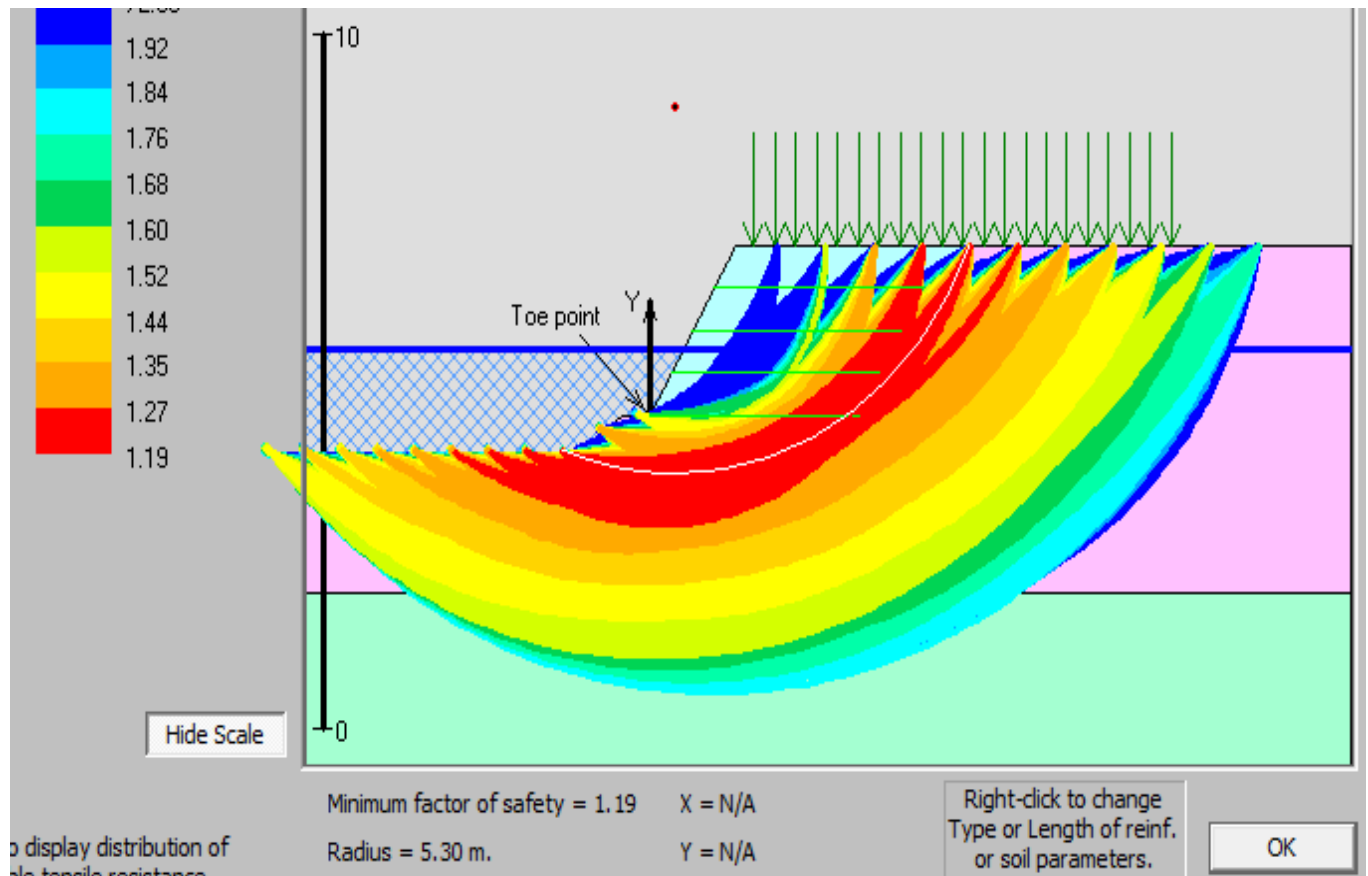
0 2 4 6[m]



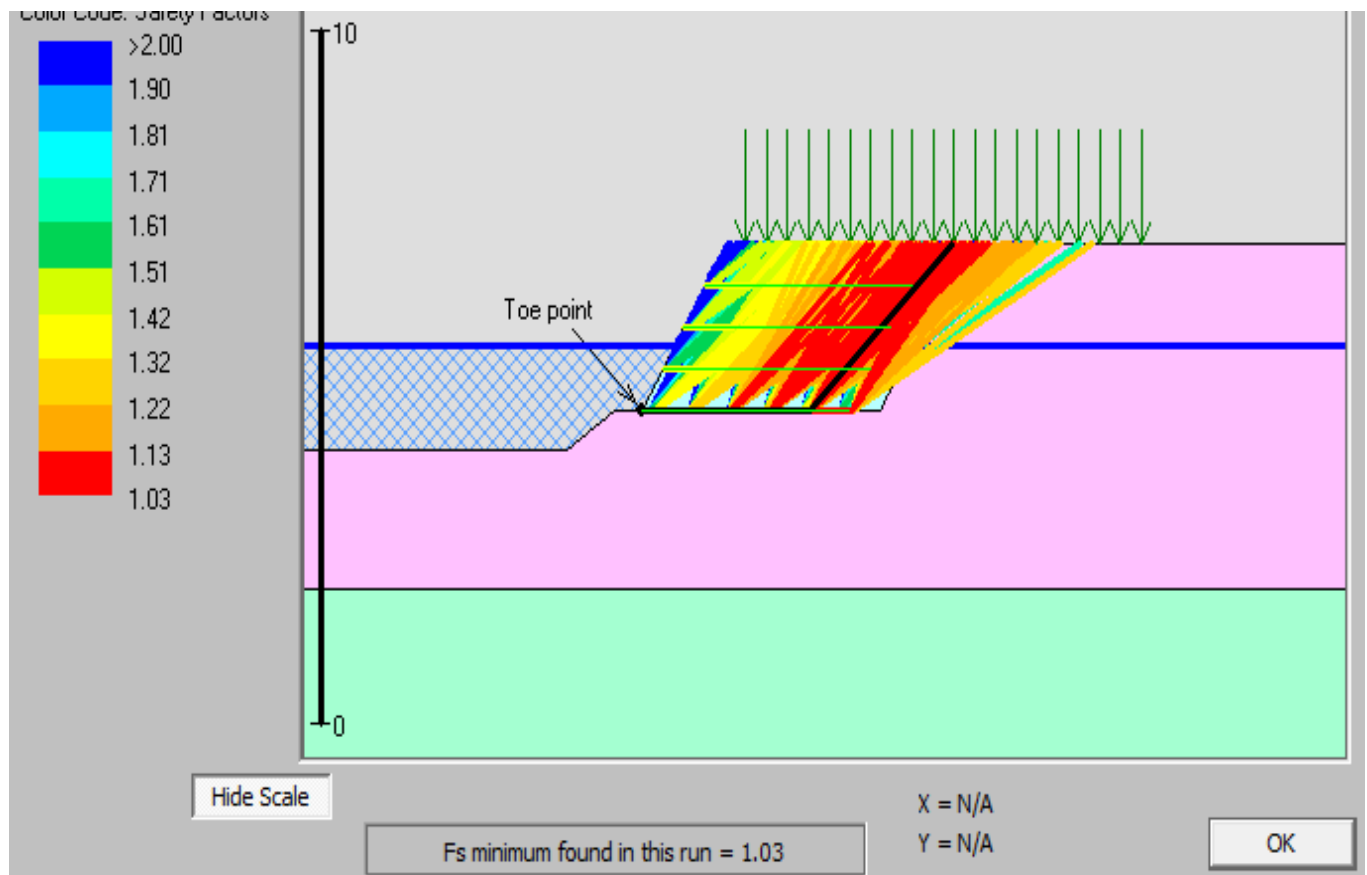
* Vertical distance between layers.

License number ReSSA-301709

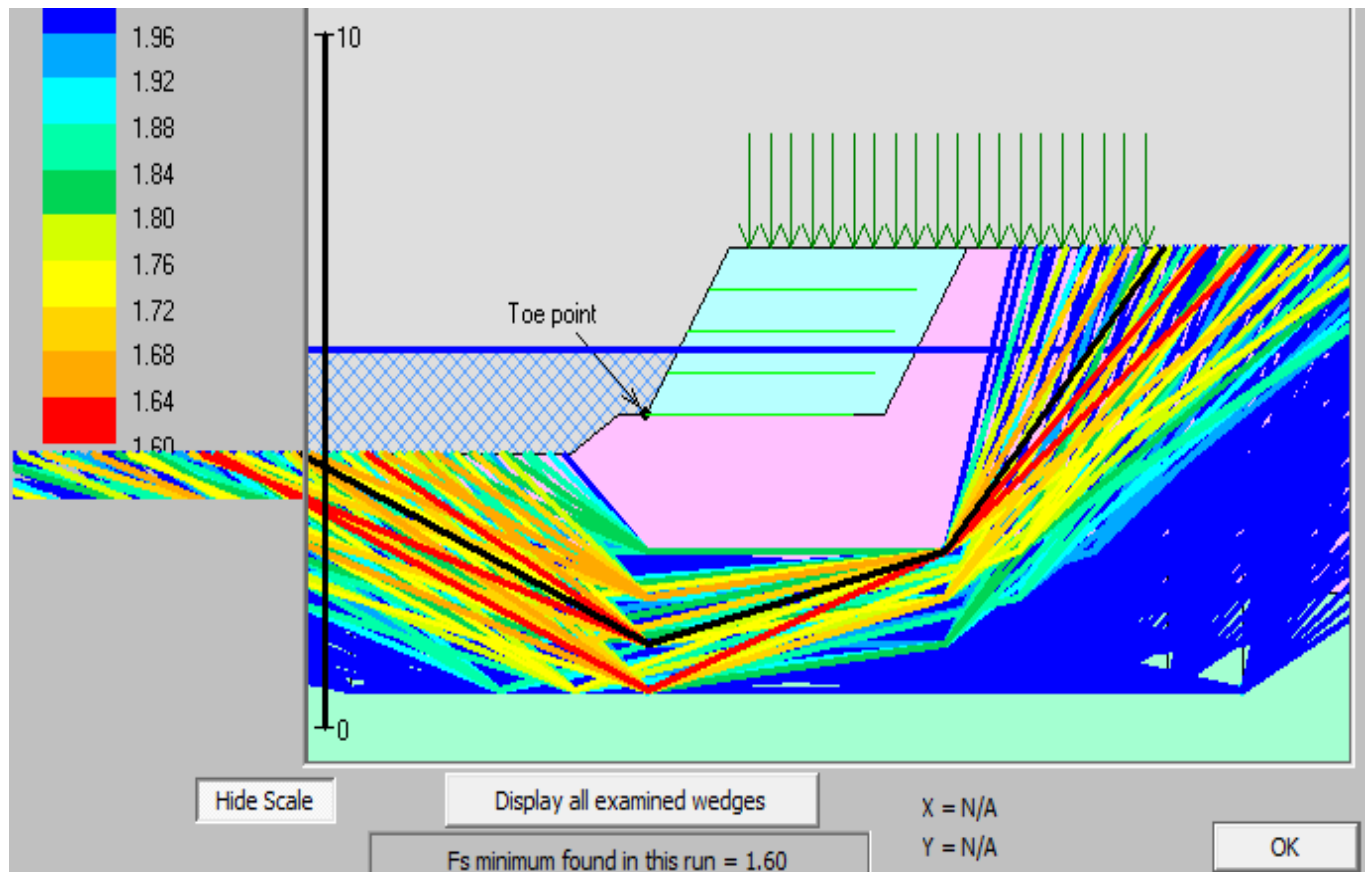
SAFETY MAP: BISHOP ROTATIONAL ANALYSIS MODE



SAFETY MAP: SPENCER TRANSLATIONAL, 2-PART WEDGE



SAFETY MAP: SPENCER TRANSLATIONAL, 3-PART WEDGE



PŘÍLOHA Č. 2

SCHÉMATICKÝ ŘEZ

SCHÉMA VYZTUŽENÍ

PANELY POSLEDNÍHO KOŠE ZKRÁTIT / ZAHNOUT
PODLE POTŘEBY DO KONSTRUKCE

STRMÝ SVAH SE SKLONEM LÍCE 60°
Z CERTIFIKOVANÉHO SYSTÉMU GEOWALL ROCK

FILTRAČNÍ GEOTEXTILIE,
PROPUSTNOST VODY KOLMO K ROVINĚ
GTX MIN. $27 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

OCELOVÉ LÍCOVÉ PANELY

POHLEDOVÝ KÁMEN
MOCNOST 300 - 500 MM

OBLOŽENÍ KAMENEM DO BETONU

