


DOKUMENTACE PRO VYDÁNÍ SPOLEČNÉHO POVOLENÍ

STAVEBNÍK: ZOO Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace U Zoologické zahrady 46 635 00 Brno		RAZÍTKO
--	---	---------

GENERÁLNÍ PROJEKTANT: GEOSTAR, spol.r.o. Tuřanka 240/111 627 00 Brno		RAZÍTKO
Hlavní inženýr projektu: Ing. Karel Zdražil, CSc.		
Č. ZAKÁZKY 22.0644		

PROJEKTANT STAVEBNÍ ČÁSTI ATRENO Mosty, s.r.o. Na Bystřičce 740/26 779 00 Olomouc		RAZÍTKO
Zodpovědný projektant Ing. Lenka Zapletalová		
Č. ZAKÁZKY 2303		

Výškový systém Bpv
Souřadnicový systém S-JTSK

HLAVNÍ INŽENÝR PROJEKTU	ING. KAREL ZDRAŽIL, CSc.			
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT	ING. KAREL ZDRAŽIL, CSc.			
VYPRACOVAL	ING. ANDREA STOKLASOVÁ			
KONTROLOVAL	ING. KAREL ZDRAŽIL, CSc.			
KRAJ: JIHMORAVSKÝ	OKRES: BRNO – MĚSTO	K.Ú.: BYSTRC	DATUM	06/2023
AKCE: SANACE SVAHOVÉ NESTABILITY V AREÁLU ZOO BRNO			FORMÁT	
			MĚŘÍTKO	
			ÚČEL	DUSP+PDPS
			ČÍS. ZAKÁZKY	22.0644
PŘÍLOHA: STATICKÝ VÝPOČET ZAJIŠTĚNÍ SKALNÍHO SVAHU			ČÍS. SOUPRAVY	ČÍS. PŘÍLOHY
				F.3

Sanace svahové nestability v areálu ZOO Brno

**Statický výpočet zajištění skalního
svahu**

červen 2023

Zak. č.: 22.0644

Výtisk č.:

Název zakázky:	Sanace svahové nestability v areálu ZOO Brno
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:	Zoo Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace U zoologické zahrady 147/46 635 00 Brno – Bystrc
Identifikační číslo zakázky:	22.0644
Datum ukončení zakázky:	červen 2023
Zpracovala:	Ing. Andrea Stoklasová
Zodpovědný řešitel:	Ing. Karel Zdražil, CSc.

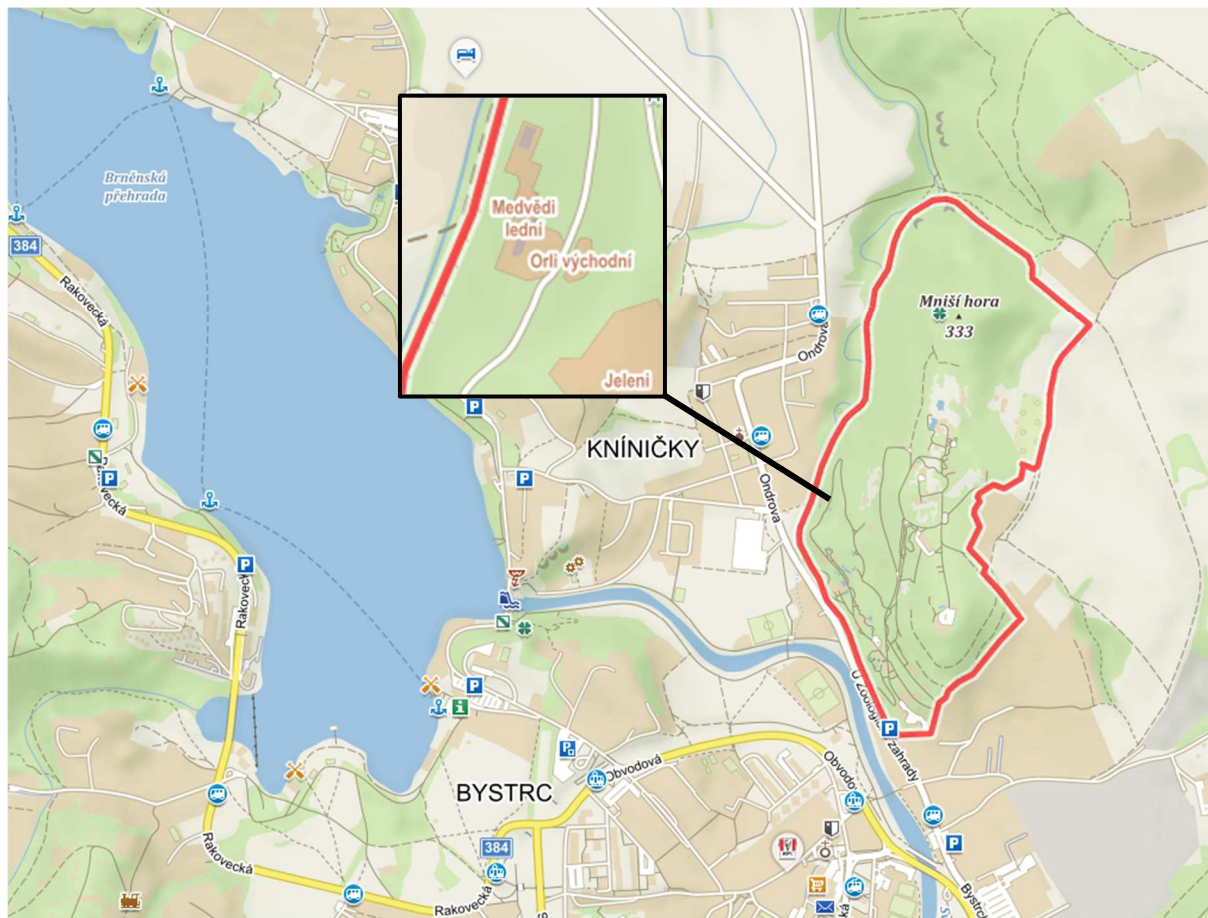
Obsah

1	ÚVOD	4
1.1	Použité podklady, normy a literatura	6
1.1.1	Podklady	6
1.1.2	Normy a TKP	7
1.1.3	Literatura.....	7
1.2	Použité programy.....	7
2	INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY	7
3	POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU	8
4	ZPŮSOB ZAJIŠTĚNÍ ZÁŘEZŮ	9
4.1	Návrh zajištění A.....	10
4.2	Návrh zajištění B.....	12
5	POSUZOVANÉ ŘEZY A VÝSLEDKY VÝPOČTU.....	14
5.1	Řez A-A'.....	14
5.2	Řez B-B'.....	19
6	ZÁVĚR.....	23
7	PŘÍLOHY.....	24
	Příloha 1 Plaxis report – řez A-A'	24
	Příloha 2 Plaxis report – řez B-B'	24
7.1	Plaxis report – řez A-A'	25
7.1.1	Materiály	25
7.1.2	Nastavení výpočtu	29
7.1.3	Fáze výpočtu	29
7.1.4	Total deviatoric strains.....	30
7.2	Plaxis report – řez B-B'	32
7.2.1	Materiály – stejné jako pro řez A-A' (viz kapitola 7.1.1 Materiály).....	32
7.2.2	Nastavení výpočtu	32
7.2.3	Fáze výpočtu	32
7.2.4	Total deviatoric strains.....	34

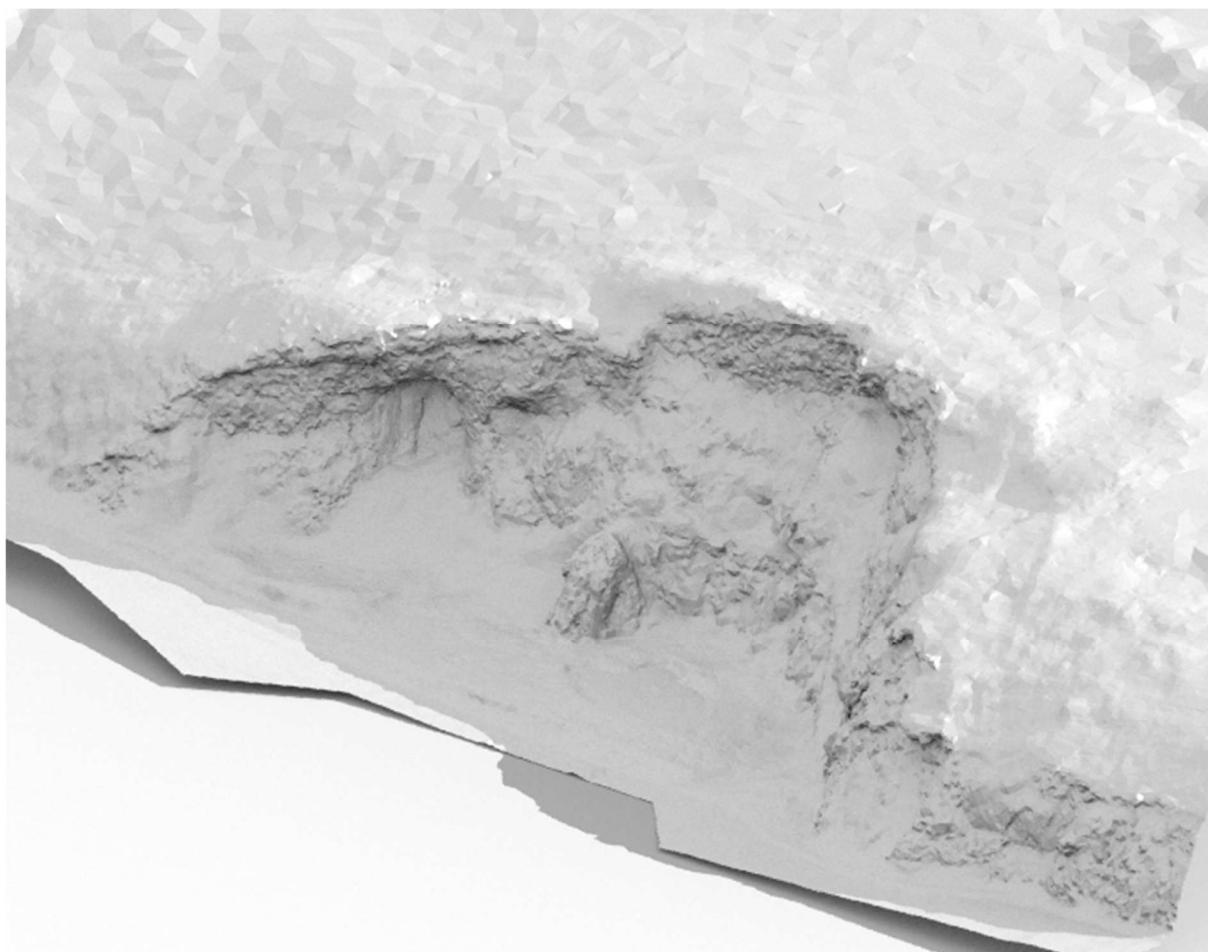
1 ÚVOD

Návrh a výpočet zajištění skalního svahu, objednala Zoologická zahrada Brno a stanice zájmových činností, příspěvková organizace. Jedná se o skalní svah výšky 6-10 m, který je situován v těsné blízkosti voliéry orla východního. Dotčený svah je dle České geologické služby zařazen do kategorie III sesuvných území – vysoké riziko.

Pro posouzení a návrh sanace byl zaměřen stávající polohopis a výškopis dotčeného svahu [2], zpracován inženýrskogeologický průzkum [1] a biologický průzkum.

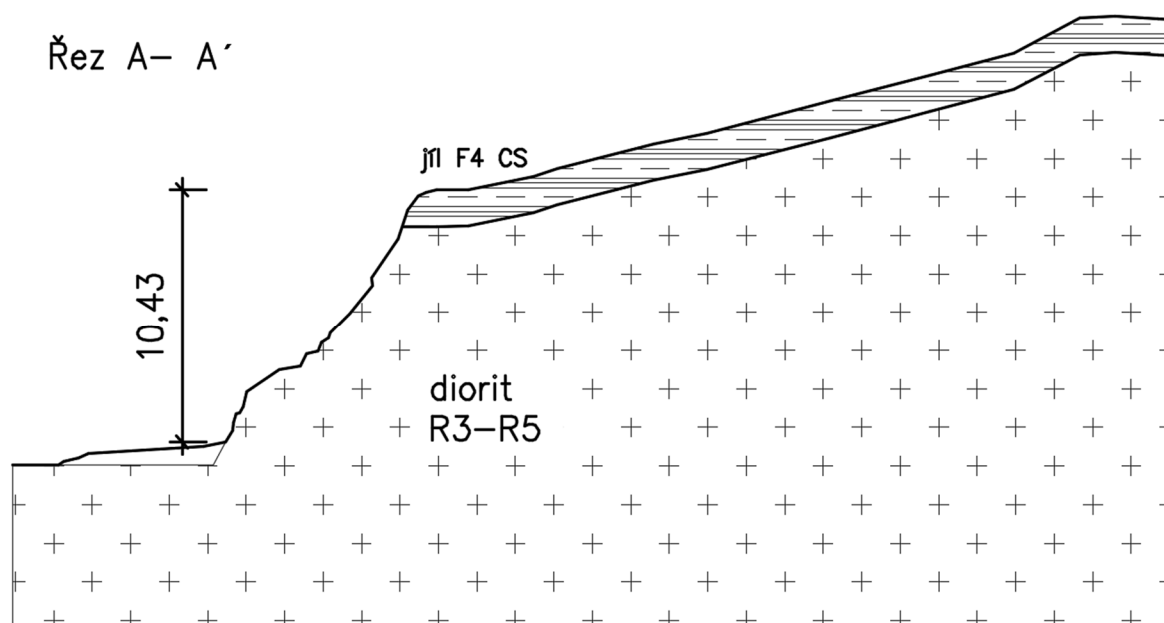


Obr. 1-1 Zájmové území – zdroj www.mapy.cz [1]

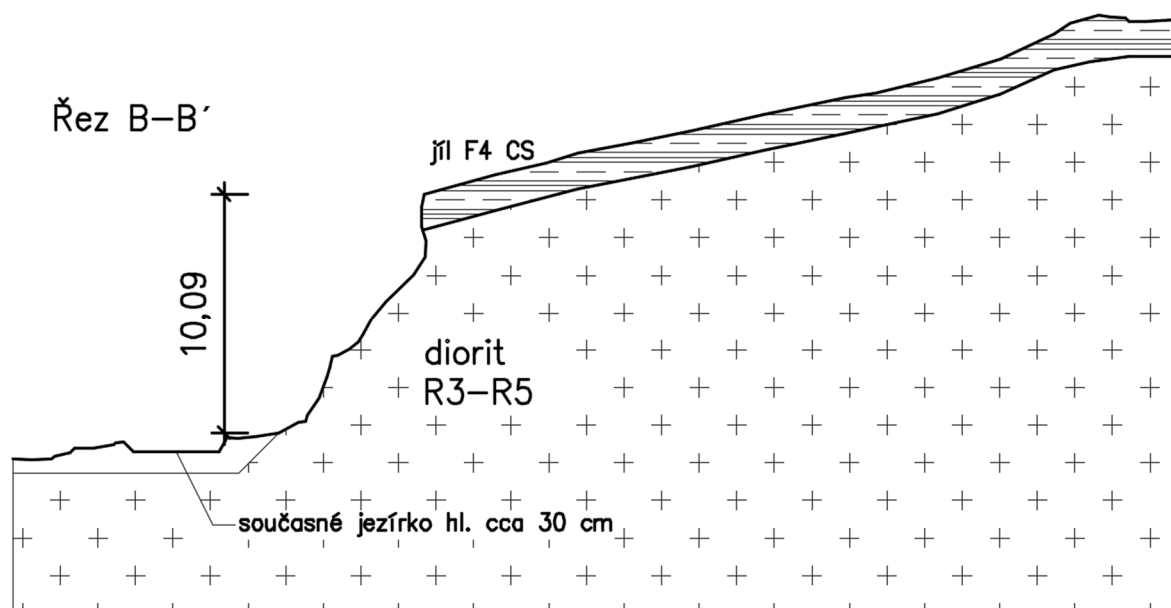


Obr. 1-2 Zájmové území – zaměřený svah 3D model [2]

Posuzovány byly dva příčné řezy. Pro zajištění stability svahu jsou použity zemní hřebíky. Lícové opevnění je navrženo jako měkké – dvouzákrutová síť. Hřebíková konstrukce se navrhuje jako trvalá na životnost 50 let.



Obr. 1-3 Řez A-A' [2]



Obr. 1-4 Řez B-B' [2]

1.1 Použité podklady, normy a literatura

1.1.1 Podklady

- [1] ZACHAŘ A., KOPEČNÝ T., ZOO Brno – geologické zmapování svahu, Inženýrskogeologický průzkum, GEOSTAR, spol. s r.o., Brno 03/23
- [2] Polohopisné a výškopisné zaměření svahu, HRDLIČKA spol. s r.o., Brno 03/23
- [3] Část projektové dokumentace, ATRENO Mosty s.r.o. Olomouc 05/23

1.1.2 Normy a TKP

- [4] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla (2005).
- [5] ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, Praha: Český normalizační institut, 2010
- [6] ČSN EN 206+A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (2021)
- [7] TKP 30 Speciální zemní konstrukce (2009).
- [8] ČSN EN 14490 Provádění speciálních geotechnických prací – Hřebíkování zemin (2010).

1.1.3 Literatura

- [9] CHALMOVSKÝ J.: Základy matematického modelování v geotechnice s využitím programu Plaxis. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. ISBN 978-80-214-4938-1
- [10] Plaxis 2D, uživatelská příručka.
- [11] MASOPUST J.: Navrhování základových a pažících konstrukcí. 2. vydání. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2018. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-88265-12-2.

1.2 Použité programy

- PLAXIS 2D, Bentley
- AUTOCAD LT®, Autodesk, Inc.
- MS OFFICE 2013, Microsoft

2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

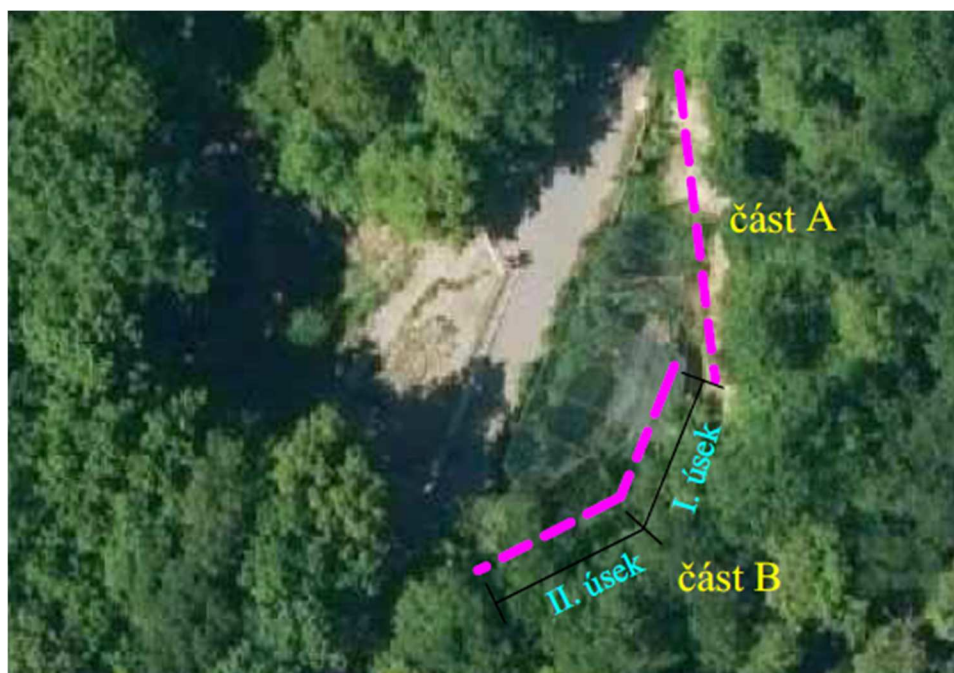
V rámci průzkumu byly na lokalitě provedeny terénní práce v rozsahu: změření vzdálenosti mezi puklinami, změření šířky puklin a sklonů puklin. Dále byla terénně stanovena drsnost puklin a popis výplně puklin s následným určením blokovitosti skalního svahu [1].

Skalní svah je tvořen silně tektonizovanými a zvětralými (meta)diority a podružně žilou ryolitu. Horniny krystalinika jsou překryty balvanitými svahovými sedimenty, na okraji části A také štěrkopísčitémi sedimenty říční terasy [1]. Přímo ve voliéře orla a jižním okraji úseku B vystupuje z velké části odtěžená žíla **ryolitu**, přibližně SSV-JJZ směru. Jedná se horninu vytvářející ostře ohraničené bloky, které vystupují také v nejvyšší části skalního svahu ve svahových sedimentech.

Měření tektonických prvků ukázalo, že nestabilita svahu je modifikována především těmito systémy puklin: $254^{\circ}/71^{\circ}$ a $285^{\circ}/70^{\circ}$ v úseku A, $326^{\circ}/70^{\circ}$ v úseku B. Převažující směr puklin je SV-JZ, tedy v podstatě paralelně se směrným protažením svahu. V důsledku toho je vyvinuta aktivní svahová nestabilita, řazená Registrem svahových nestabilit do III.kategorie sesuvných území – vysokého rizika [1].

Z lokality byly odebrány dva vzorky. Jeden z výplně puklin, který byl laboratorně vyhodnocen jako písek hlinitý. Druhým vzorkem byla zemina z kvartérního profilu a ta byla laboratorně zatříděna jako jíla písčité.

Během terénních prací nebyla zastižena hladina podzemní vody [1].



Obr. 2-1 Rozdělení svahu na úseky dle IGP [1]

3 POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU

Výpočty byly provedeny programem PLAXIS 2D, který je aplikací metody konečných prvků, směřovanou pro matematické modelování geotechnických problémů a úloh. V tomto případě se jedná o řešení úlohy stabilitního charakteru v horninovém prostředí

Pro posouzení a návrh zajištění svahu byly na základě informací o geologii sestaveny dva příčné řezy. Do řezů byly na základě geologického průzkumu [1] vkresleny geologické vrstvy. Velikost modelů je určena na 25x50 m tak, aby okraje modelu neovlivňovaly dosažené výsledky. Nejprve je modelován upravený stav svahu (očistění od převisů a uvolněných skalních bloků), spočtena jeho stabilita, poté určena geometrie prvků zajištění plnicích statickou funkcí. Při výpočtu stupně stability v jednotlivých fázích je použit výpočet typu Safety. Tento typ výpočtu získává stupeň stability s využitím tzv. Phi/c reduction přístupu. V průběhu výpočtu jsou postupně redukovány vstupní parametry pevnosti: úhel vnitřního tření a koheze. Stupeň stability SF (Safety factor) lze zapsat:

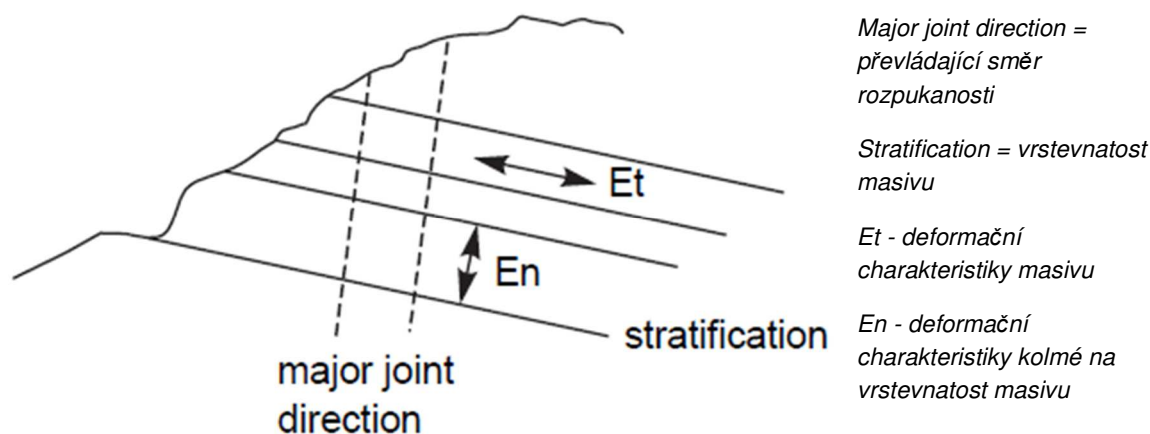
$$SF = \frac{\text{pevnost materiálu}}{\text{pevnost při poruše}} = \Sigma M_{SF}$$

Pro stupeň stability zářezu ve skalních zeminách platí dle normy [4] minimální hodnota 1,3.

Parametry materiálového modelu byly použity z dodaných podkladů [1], další parametry byly zvoleny dle doporučení tvůrců programu.

Materiály charakteru zeminy byly modelovány pomocí pokročilého materiálového modelu Hardening soil (HS). Na rozdíl od Mohr-Coulombova modelu (MC) s ideálně plastickým průběhem zatěžovací křivky je zatěžovací křivka HS modelu elasto-plastická. Již při malém zatížení nastávají plastické deformace. HS model dále zohledňuje závislost tuhosti zeminy na hloubce a také rozdílnou tuhost při odtížení a opětovném přetížení.

Pro horninové materiály byl použit konstituční model Jointed-Rock (J-R). J-R model je vhodný pro rozpukaný horninový masiv, u kterého se dá definovat převládající směr ložení a ploch nespojitosti. Dokáže vystihnout rozdílné chování materiálu v předepsaných směrech – charakteristiky masivu jako neporušeného materiálu a deformační charakteristiky kolmé na jeho vrstevnatost.



Obr. 3-1 Návrh zajištění zářezu za ekoduktem

Prvky zajištění svahu se statickou funkcí jsou také součástí matematického modelu. Konkrétně se jedná o hřebíky definované prvkem Embedded Beam a dvouzákrtová síť je vystižena pomocí prvku Geogrid. Použité parametry pro tyto prvky jsou uvedeny v příloze (příloha 1).

Pro J-R model byl zvolen převládající sklon puklin 70° , přičemž proměnné zastoupení ryolitu je zde reprezentováno sklonem puklin 83° dle [1].

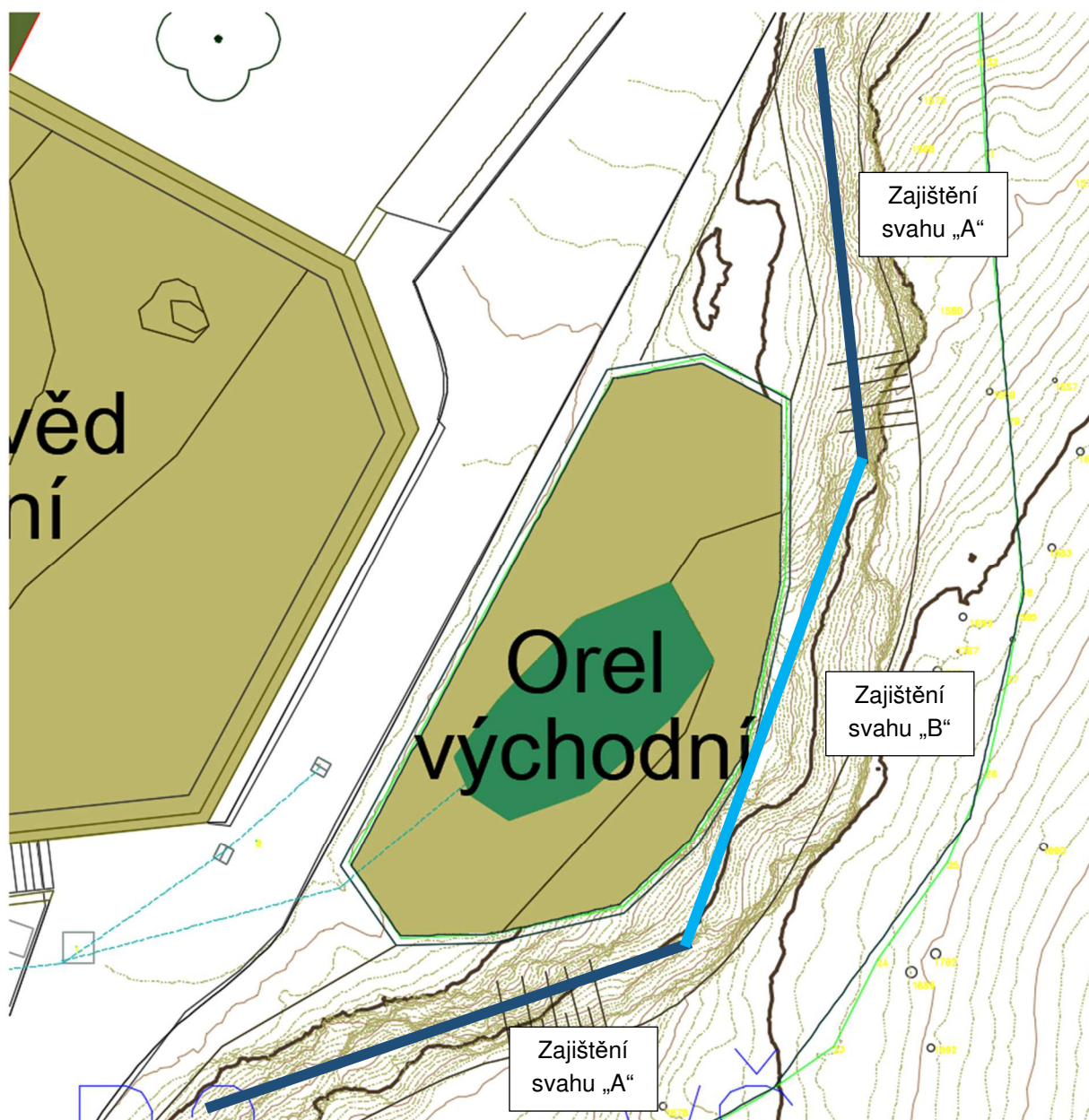
Všechny použité materiály včetně vstupních parametrů jsou uvedeny v příloze 1.

4 ZPŮSOB ZAJIŠTĚNÍ ZÁŘEZŮ

Povrchy svahů budou před zajištěním mechanicky očištěny za pomoci běžných mechanických prostředků. Je nutné odstranit veškeré převisy (i případně vzniklé během očišťování svahu) a uvolněné části horniny. Je nutno odstranit také veškeré úlomky, které by mohly propadávat oky sítě. V horních částech svahu, kde se nachází silně zvětralé horniny či zeminy, je nutné síť podložit georohoží k zamezení propadávání zrn skrz dvouzákrtovou síť. Terén nad skalním masivem bude upraven do maximálního sklonu 1:1.

Dvouzákrtová síť bude zatažena alespoň 1,0 m nad hranu svahu. Nad upraveným terénem nad skalním masivem ve sklonu 1:1, bude ve vzdálenosti min. 0,75 m umístěn svislý kotevní hřebík délky 2,5 m, který bude zakotven min. 0,5 m ve skalním podloží.

Řešený svah je rozdělen na 3 úseky a jsou navrženy odpovídající 2 způsoby zajištění – A a B.



Obr. 4-1 Situace návrhů zajištění

4.1 Návrh zajištění A

Návrh zajištění A bude proveden pro boční svahy řešeného území. Pro návrh tohoto zajištění byl vybrán řez A-A'.

Do svahu zářezu v řezu A-A' (výška 10,43 m) budou po jeho očištění postupně shora vyvrtány otvory pro zemní hřebíky, následovat bude osazení hřebíků a jejich následné zalití zálivkou. Po vytvrdnutí zálivky bude odshora osazena dvouzákrutová hexagonální síť.

Zemní hřebíky budou zhotoveny v 8 kotevních úrovních. Výška etáží bude zvolena dle technických možností prováděcího stroje, ne však vyšší jak 2,5 m.

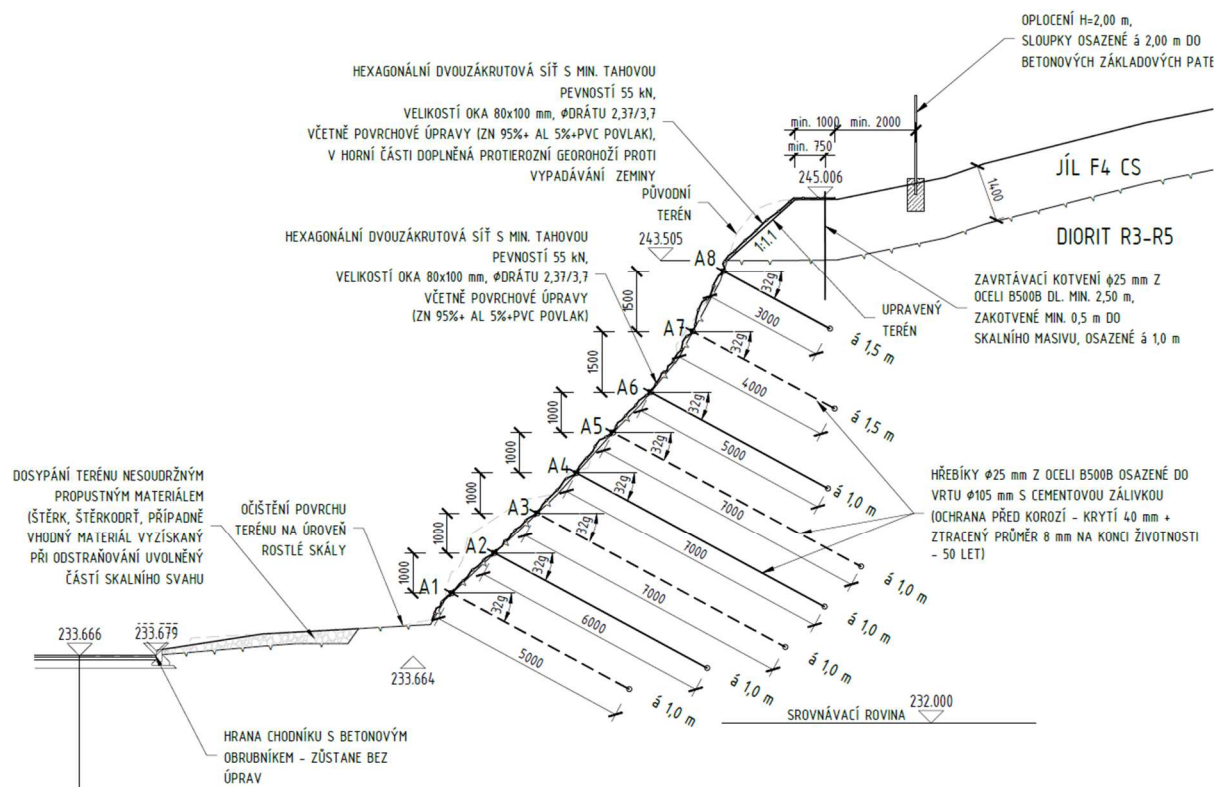
Rozmístění hřebíků bude provedeno po vzdálenostech 1,5 m pro horní dvě kotevní úrovně a zbylé kotevní úrovně budou od sebe vodorovně i svisle vzdáleny 1,0 m. Mezi kotevními úrovněmi je uvažován

vzájemný horizontální posun o půl osově vzdálenosti jednotlivých hřebíků, aby nedošlo k sloupcovému rozmístění hřebíků.

Použity jsou profily oceli průměru 25 mm uložené do vrtu o průměru 105 mm vyplněného cementovou zálivkou. Vzhledem k trvalému charakteru konstrukce je nutné navrhnout protikorozi opatření tak, aby nebylo v době životnosti konstrukce omezeno jejich statické působení. Navrhuje se dostatečné krytí ocelových hřebíků zálivkou (40 mm) v kombinaci s dimenzací na ztracenou tloušťku, která je v daném prostředí uvažována dle normy [8] maximální hodnotou 8 mm (dlouhodobé působení 30 – 100 let). Délka a vzdálenosti jednotlivých hřebíků jsou vypsány v tabulce Tab.1.

Kotevní úroveň	Délka hřebíků [m]	Vodorovná vzdálenost hřebíků [m]	Svislá vzdálenost hřebíků [m]
A8	3,0	1,5	1,5
A7	4,0	1,5	1,5
A6	5,0	1,0	1,0
A5	7,0	1,0	1,0
A4	7,0	1,0	1,0
A3	7,0	1,0	1,0
A2	6,0	1,0	1,0
A1	5,0	1,0	1,0

Tab. 1 Parametry kotevních úrovní A



Obr. 4-2 Návrh zajištění zářezu – A [3]

Lícové opevnění je navrženo jako měkké, pomocí dvouzákrutové hexagonální sítě s povrchovou úpravou odpovídající životnosti konstrukce

Při vrtání je nutné zajistit geotechnický dozor, který na místě zhodnotí shodu geologických podmínek s předpoklady výpočtu vyplývajícími z inženýrskogeologického průzkumu, případně zaznamená jejich odchylku a vyhodnotí vliv změn na stabilitu svahu, v případě potřeby také navrhne doporučené změny. V případě naražení na skalní podloží (alespoň třídy R4) dříve oproti předpokladu je možné hřebík zkrátit, ale musí být umístěn alespoň 1,0 m ve skalním podloží třídy R4.

4.2 Návrh zajištění B

Návrh zajištění B bude proveden pro zajištění svahu za současnou voliérou orla východního. Pro návrh tohoto zajištění byl vybrán řez B-B'.

Do svahu zářezu v řezu B-B' (výška 10,09 m) budou po jeho očištění postupně shora vyvrtány otvory pro zemní hřebíky, následovat bude osazení hřebíků a jejich následné zalití zálivkou. Po vytvrdnutí zálivky bude odshora osazena dvouzákrutová hexagonální síť.

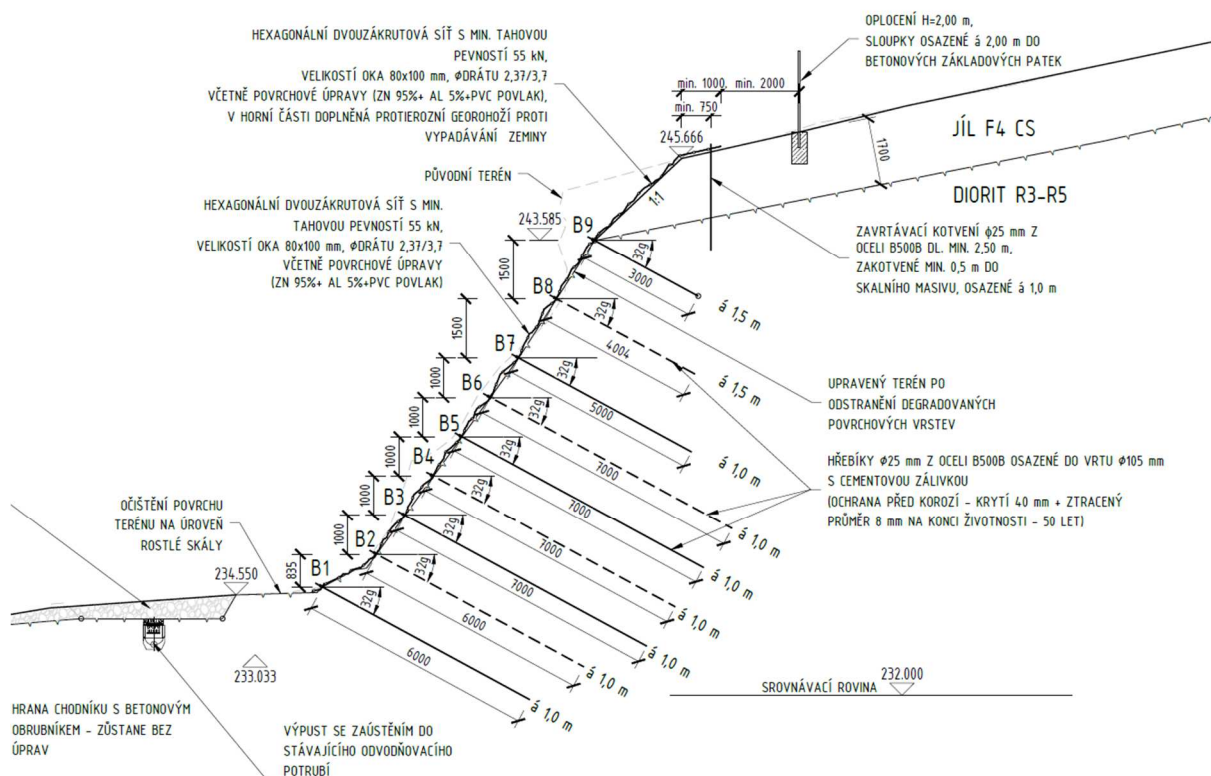
Zemní hřebíky budou zhotoveny v 9 kotevních úrovních. Výška etáží bude zvolena dle technických možností prováděcího stroje, ne však vyšší jak 2,5 m.

Rozmístění hřebíků bude provedeno po vzdálenostech 1,5 m pro horní dvě kotevní úrovně a zbylé kotevní úrovně budou od sebe vodorovně i svisle vzdáleny 1,0 m. Mezi kotevními úrovněmi je uvažován vzájemný horizontální posun o půl osové vzdálenosti jednotlivých hřebíků, aby nedošlo k sloupcovému rozmístění hřebíků

Použity jsou profily oceli průměru 25 mm uložené do vrtu o průměru 105 mm vyplněného cementovou zálivkou. Vzhledem k trvalému charakteru konstrukce je nutné navrhnout protikorozi opatření tak, aby nebylo v době životnosti konstrukce omezeno jejich statické působení. Navrhuje se dostatečné krytí ocelových hřebíků zálivkou (40 mm) v kombinaci s dimenzací na ztracenou tloušťku, která je v daném prostředí uvažována dle normy [8] maximální hodnotou 8 mm (dlouhodobé působení 30 – 100 let). Délka a vzdálenosti jednotlivých hřebíků jsou vypsány v tabulce Tab.2.

Kotevní úroveň	Délka hřebíků [m]	Vodorovná vzdálenost hřebíků [m]	Svislá vzdálenost hřebíků [m]
B9	3,0	1,5	1,5
B8	4,0	1,5	1,5
B7	5,0	1,0	1,0
B6	7,0	1,0	1,0
B5	7,0	1,0	1,0
B4	7,0	1,0	1,0
B3	7,0	1,0	1,0
B2	6,0	1,0	1,0
B1	6,0	1,0	1,0

Tab. 2 Parametry kotevních úrovní B

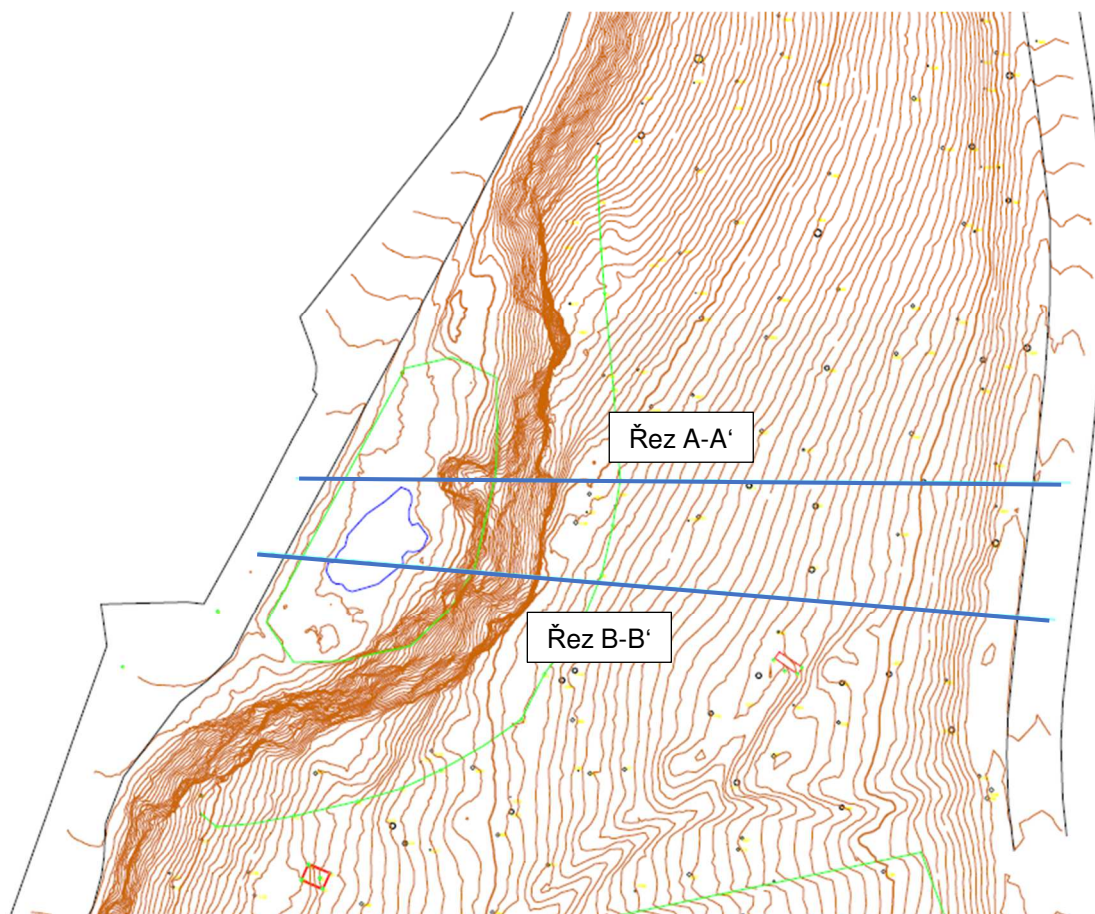


Obr. 4-3 Návrh zajištění zářezu – B [3]

Lícové opevnění je navrženo jako měkké, pomocí dvouzákrutové hexagonální sítě s povrchovou úpravou odpovídající životnosti konstrukce

Při vrtání je nutné zajistit geotechnický dozor, který na místě zhodnotí shodu geologických podmínek s předpoklady výpočtu vyplývajících z inženýrskogeologického průzkumu, případně zaznamená jejich odchylku a vyhodnotí vliv změn na stabilitu svahu, v případě potřeby také navrhne doporučené změny. V případě naražení na skalní podloží (alespoň třídy R4) dříve oproti předpokladu je možné hřebík zkrátit, ale musí být umístěn alespoň 1,0 m ve skalním podloží třídy R4.

5 POSUZOVANÉ ŘEZY A VÝSLEDKY VÝPOČTU

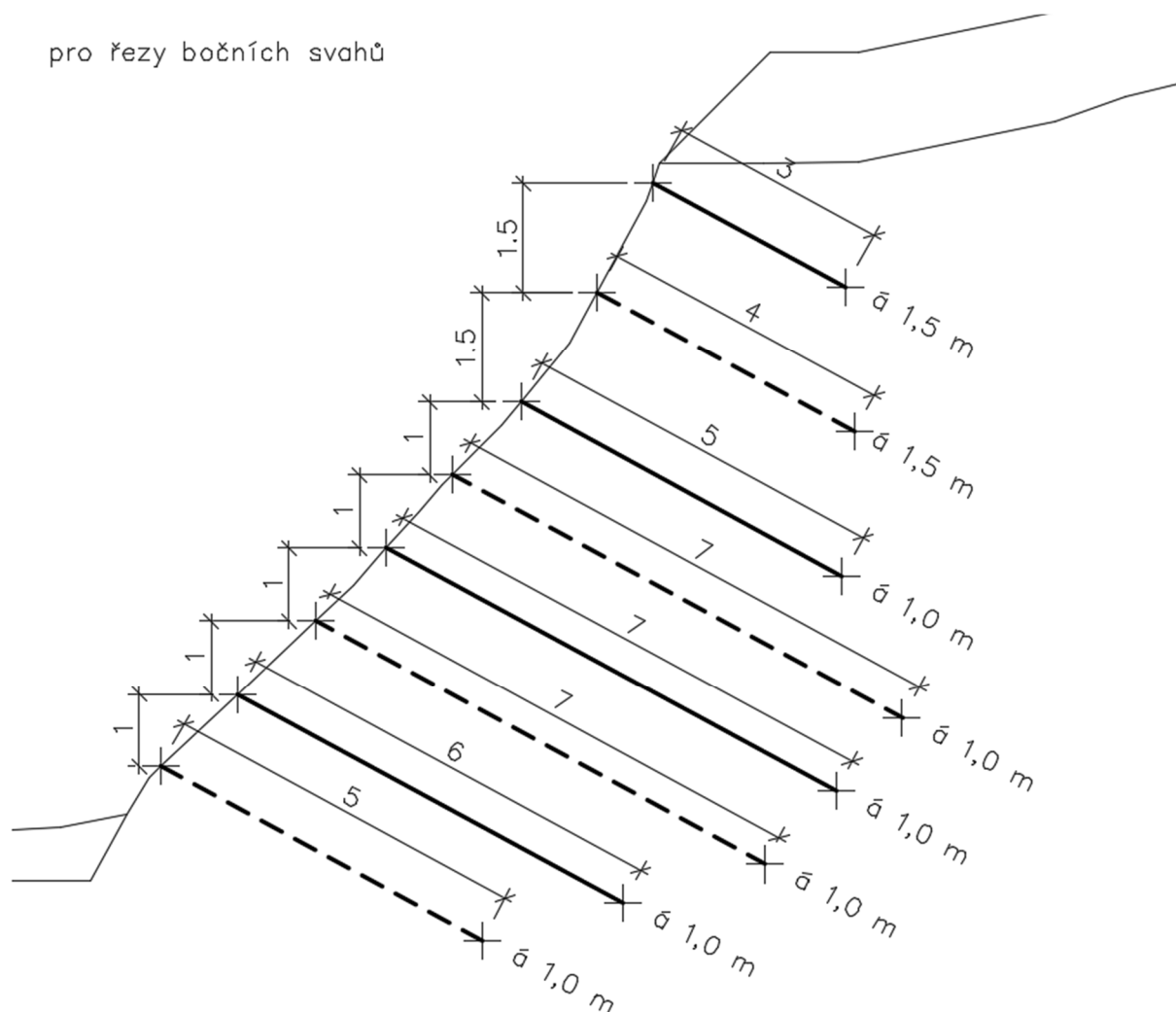


Obr. 5-1 Zaznačení posuzovaných řezů - půdorys

5.1 Řez A-A'

Zajištění je provedeno pomocí hřebíků profilu 25 mm osazených do vrtu průměru 105 mm, v osmi kotevních úrovních. První dvě kotevní úrovně jsou od sebe vzdáleny vodorovně i svisle 1,5 m následující pak 1,0 m.

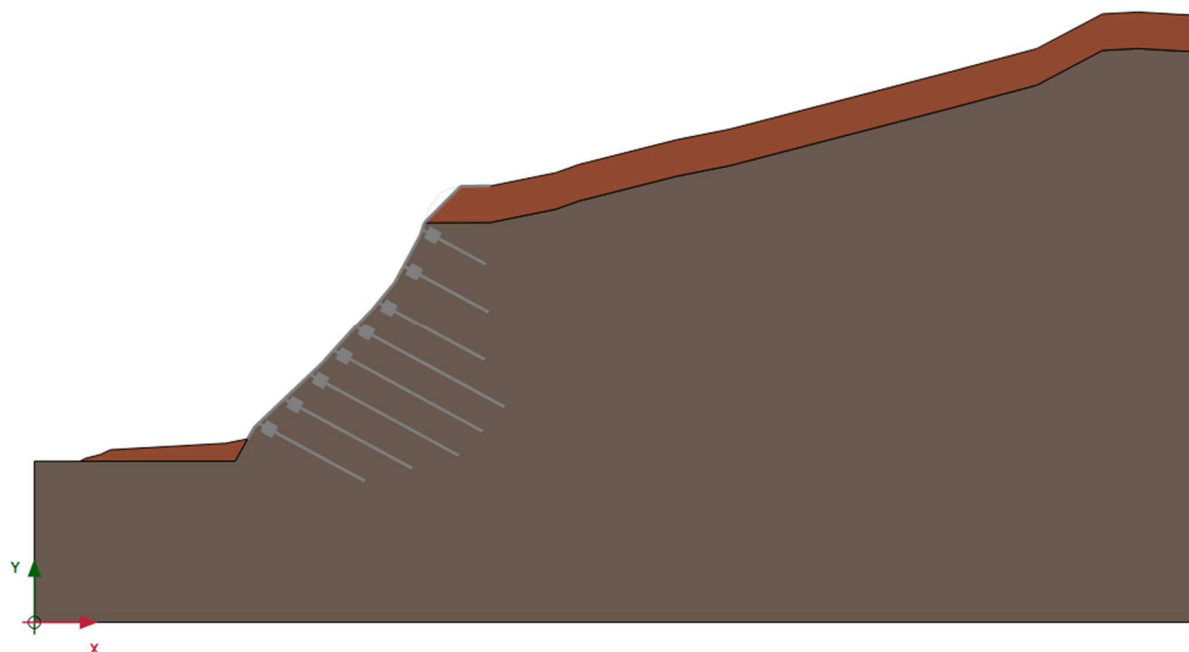
pro řezy bočních svahů



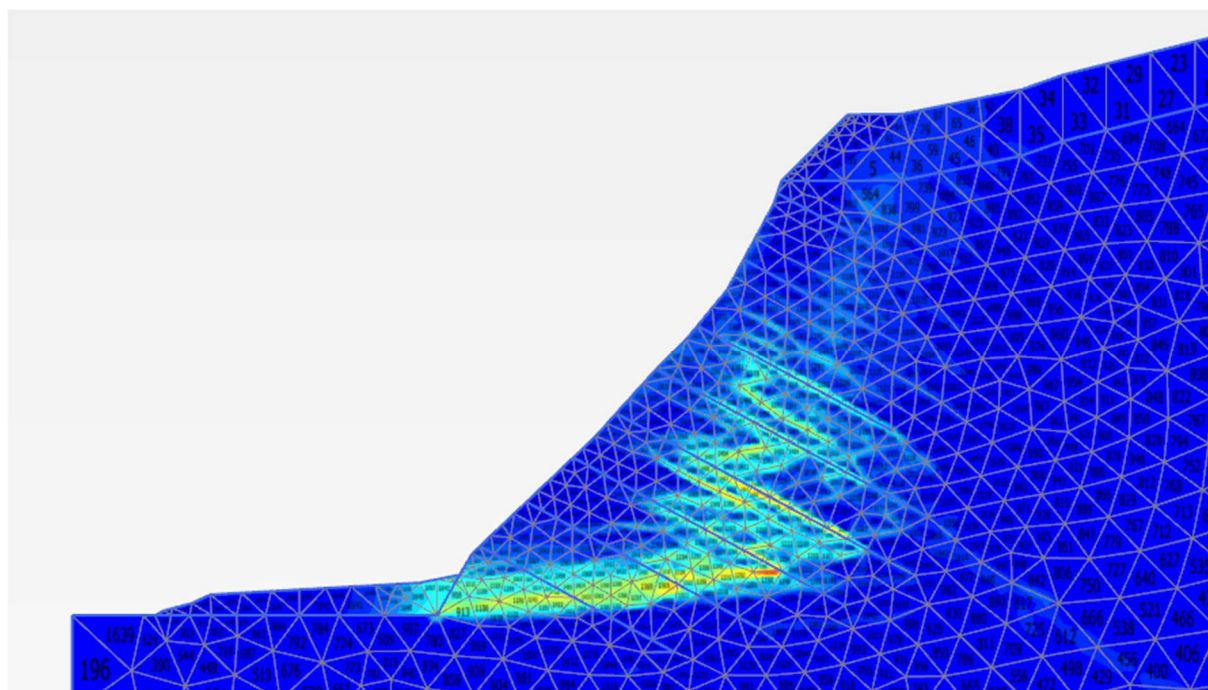
Obr. 5-2 Model zajištění "A"

Pro výpočet stupně stability byl použit výpočet typu Safety. Tento typ je určen pro výpočet stupňů stabilit svahů. V průběhu výpočtu jsou postupně redukovány vstupní parametry: úhel vnitřního tření a koheze

Na začátek výpočtu bylo spočteno původní pole napětí a pórových tlaků aplikací gravitačního zatížení v aktivovaných vrstvách podloží. Po provedení této fáze jsou spočtené deformace vynulovány. Na Obr. 5-3 je znázorněn model upraveného svahu od převisů a uvolněných bloků horniny.



Obr. 5-3 Řez A-A' upravený svah (pozn. šedě zbarvené prvky nejsou pro tuto fázi aktivní)

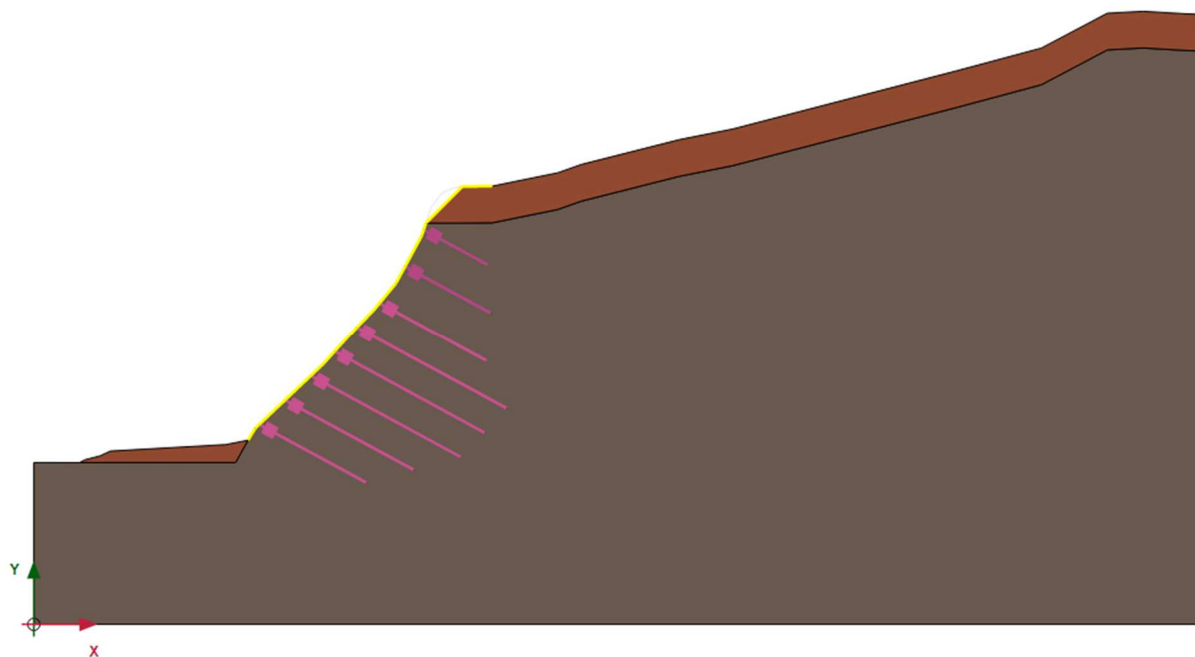


Obr. 5-4 Řez A-A' stabilita upraveného svahu

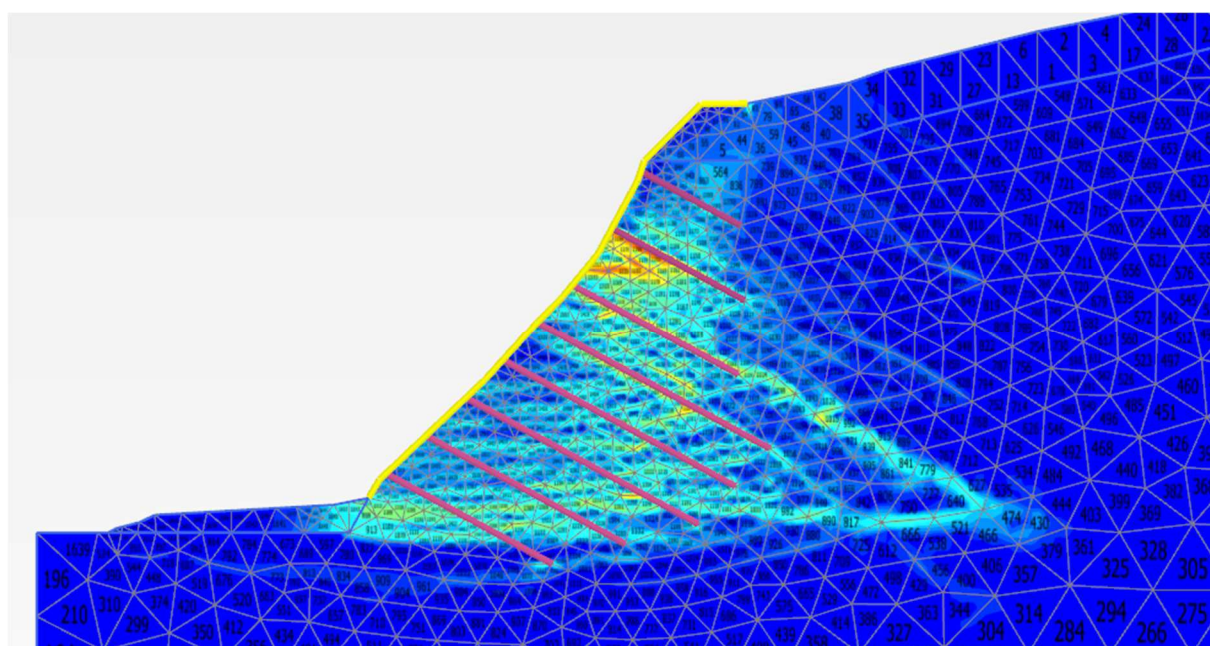
Stupeň stability upraveného svahu je spočten na $FS = < 1,0$. Stupeň stability značí, že svah je v pohybu a dle současně platných norem nesplňuje požadavky na stupeň stability pro zářezy ve skalních horninách.

Pro další fázi je použit typ výpočtu *Plastic*, který se používá pro elastoplastickou deformační analýzu. V tomto typu výpočtu se neuvažuje se změnou pórových tlaků v čase. Při tomto typu výpočtu nedochází ke konsolidaci. V této fázi dojde k aktivaci zemních hřebíků a aktivaci dvouzákrutové sítě. Pro tuto fázi

je výsledný stupeň stability $FS = 1,348 > 1,3$ což splňuje požadavky normy [5] na stupeň stability zářezu ve skalních horninách.

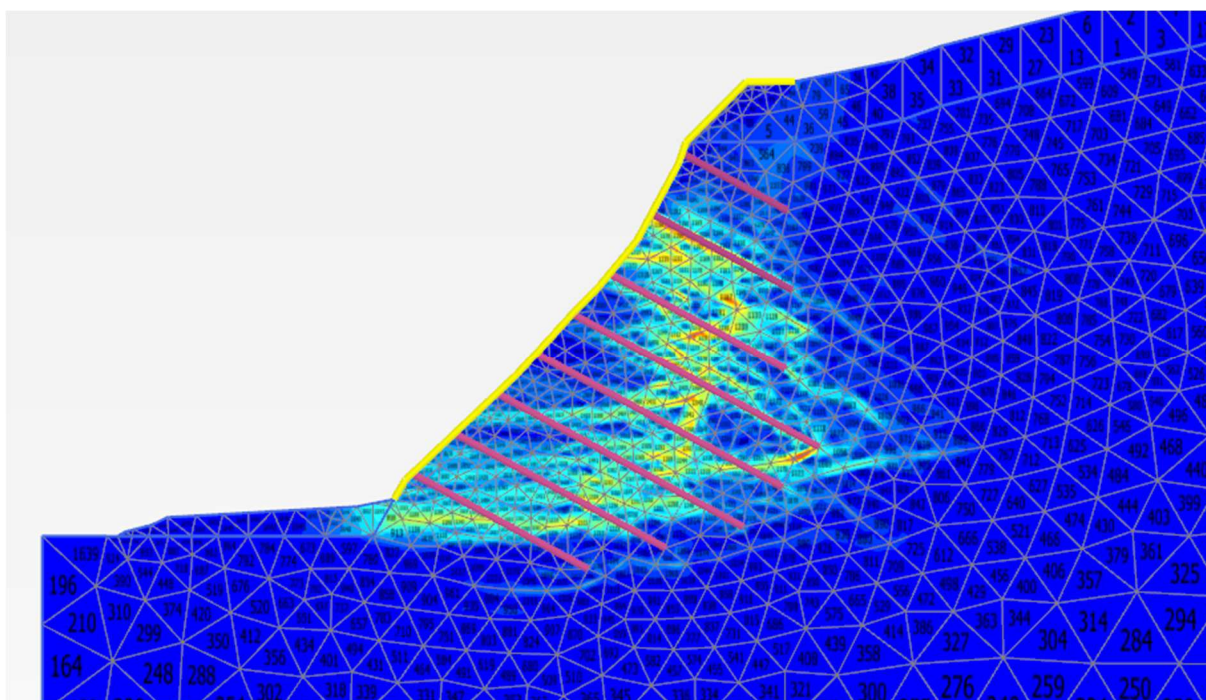


Obr. 5-5 Řez A-A' model zajištěného svahu



Obr. 5-6 Řez A-A' smyková plocha po zajištění zemními hřebíky a sít

Jako další fázi je spočtena stabilita svahu na konci životnosti (50 let). V této fázi je uvažováno, že dojde po 50 letech působení, k úbytku průměru hřebíků (protikorozní opatření – ztracený průměr). Výsledný stupeň stability je pro tuto fázi **$FS = 1,316 > 1,3$** což splňuje požadavky na stupeň stability svahů dle [5] i po 50 letech působení.

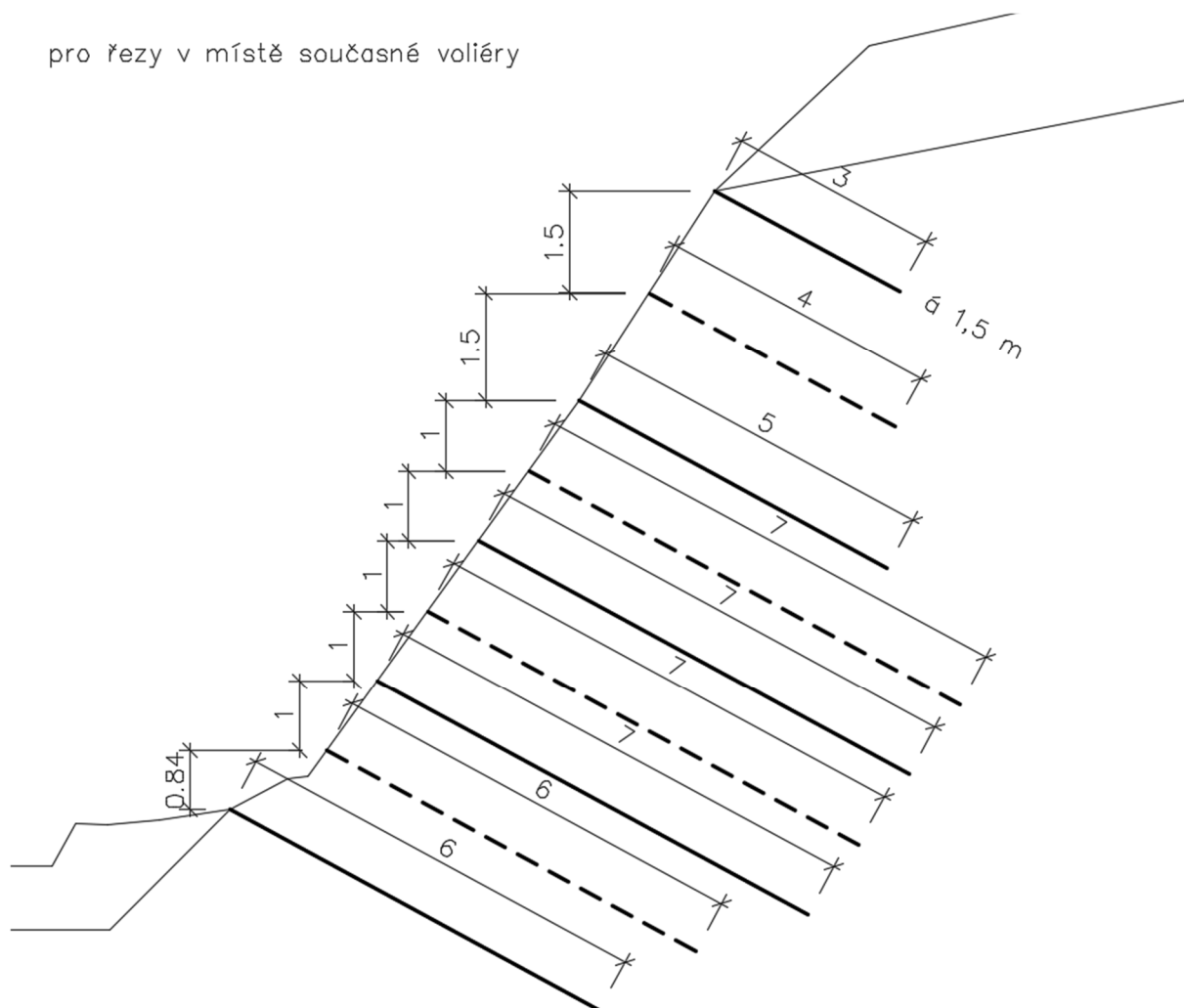


Z dosažených výsledků stupně stability po dokončení konstrukce $SF=1,348$, na konci životnosti $SF=1,316$ lze konstatovat, že je splněn minimální požadovaný stupeň bezpečnosti 1,3 (dle normy [5]).

5.2 Řez B-B'

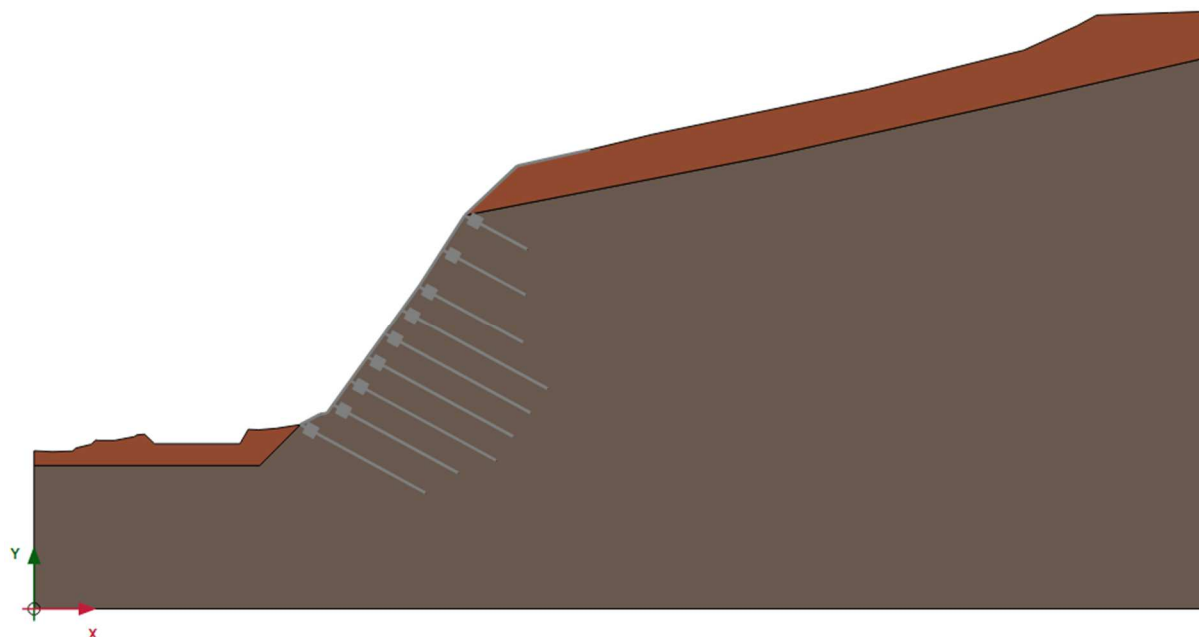
Zajištění je provedeno pomocí hřebíků profilu 25 mm, osazených do vrtu průměru 105 mm v devíti kotevních úrovních. První dvě kotevní úrovně jsou od sebe vzdáleny vodorovně i svisle 1,5 m následující pak 1,0 m.

pro řezy v místě současné voliéry

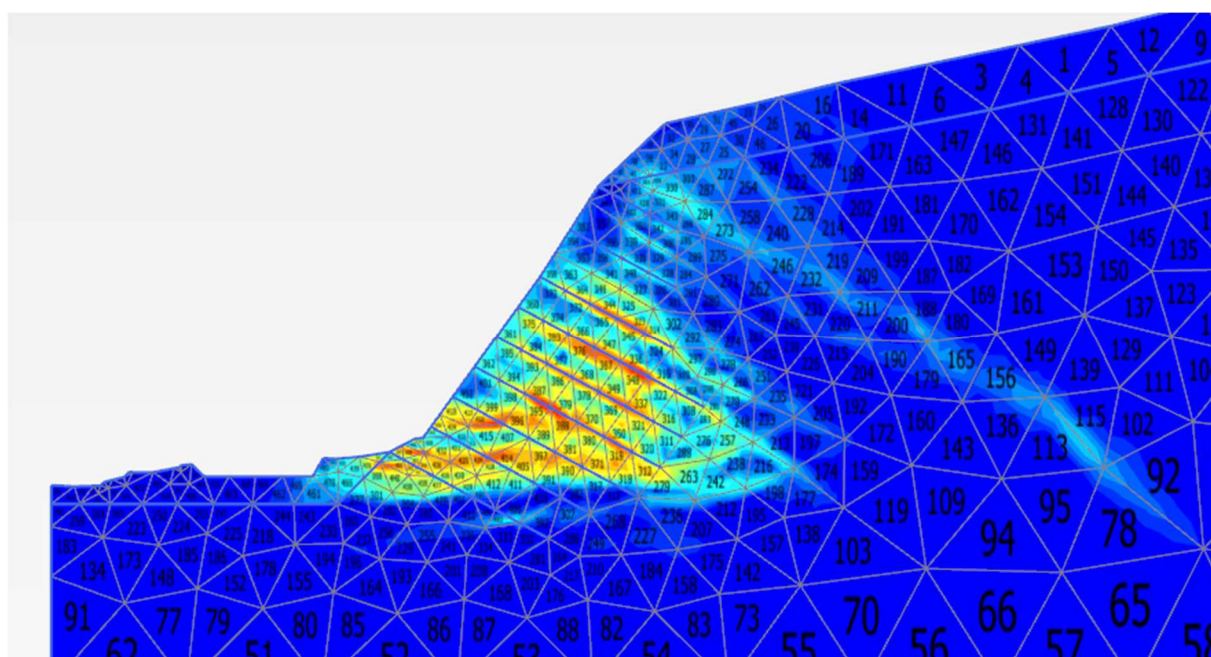


Pro výpočet stupně stability byl použit výpočet typu Safety. Tento typ je určen pro výpočet stupňů stabilit svahů. V průběhu výpočtu jsou postupně redukovány vstupní parametry: úhel vnitřního tření a koheze

Na začátek výpočtu bylo spočteno původní pole napětí a pórových tlaků aplikací gravitačního zatížení v aktivovaných vrstvách podloží. Po provedení této fáze jsou spočtené deformace vynulovány. Na Obr. 5-6 je znázorněn model upraveného svahu od převisů a uvolněných bloků horniny.



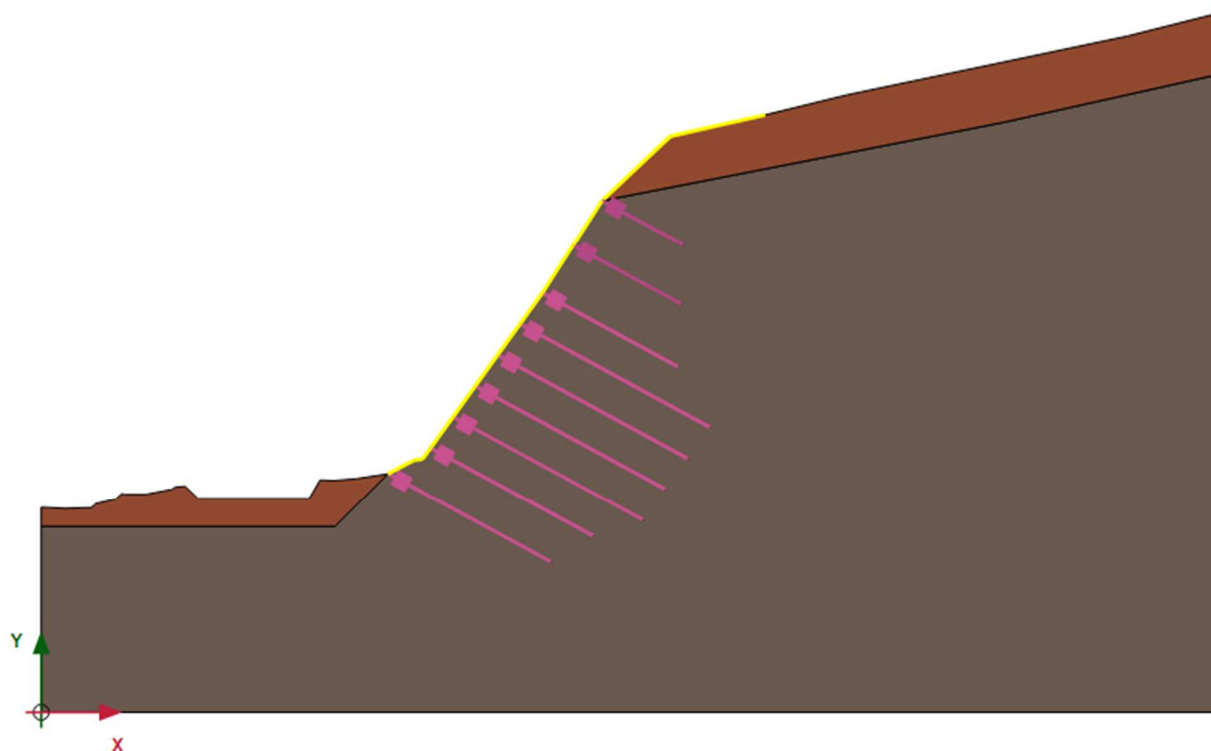
Obr. 5-7 Řez B-B' upravený svah (pozn. šedě zbarvené prvky nejsou pro tuto fázi aktivní)



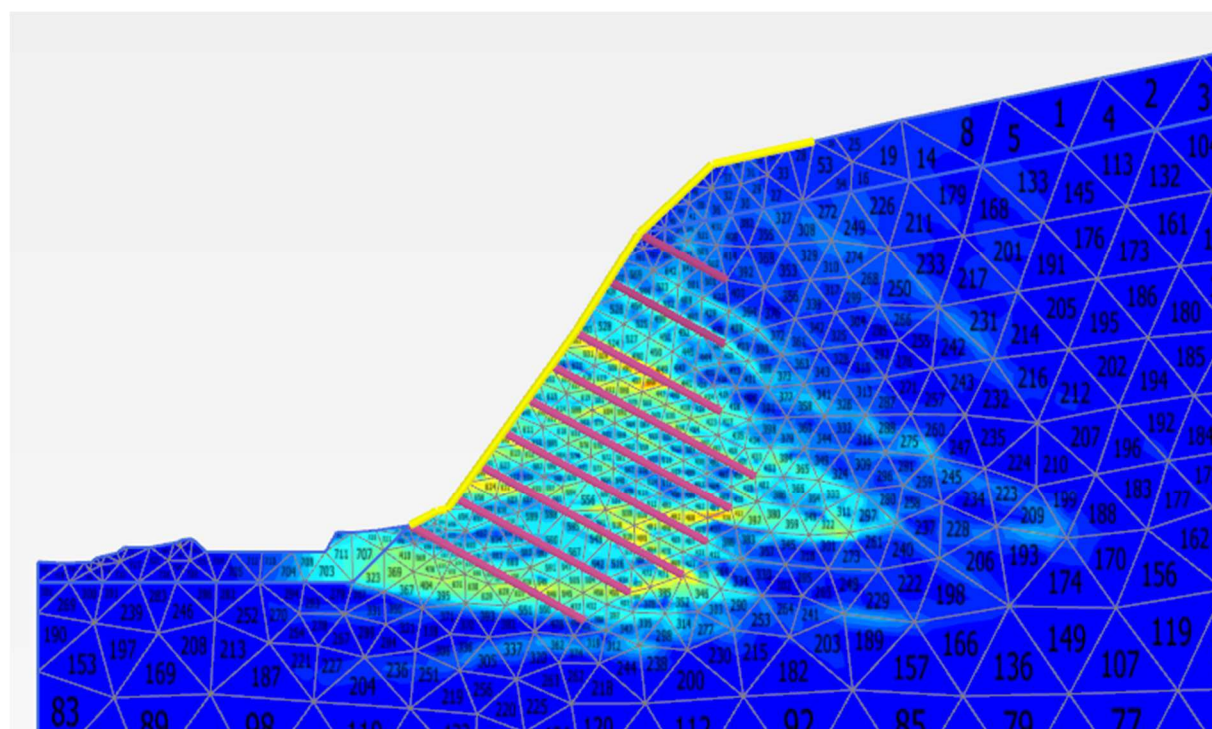
Obr. 5-8 Řez B-B' stabilita upraveného svahu

Stupeň stability upraveného svahu je spočten na $FS = < 1,0$. Stupeň stability značí, že svah je v pohybu a dle současně platných norem nesplňuje požadavky na stupeň stability pro zářezy ve skalních horninách.

Pro další fázi je použit typ výpočtu *Plastic*, který se používá pro elastoplastickou deformační analýzu. V tomto typu výpočtu se neuvažuje se změnou pórových tlaků v čase. Při tomto typu výpočtu nedochází ke konsolidaci. V této fázi dojde k aktivaci zemních hřebíků a aktivaci dvouzákutové sítě. Pro tuto fázi je výsledný stupeň stability $FS = 1,398 > 1,3$ což splňuje požadavky normy [5] na stupeň stability zářezu ve skalních horninách.



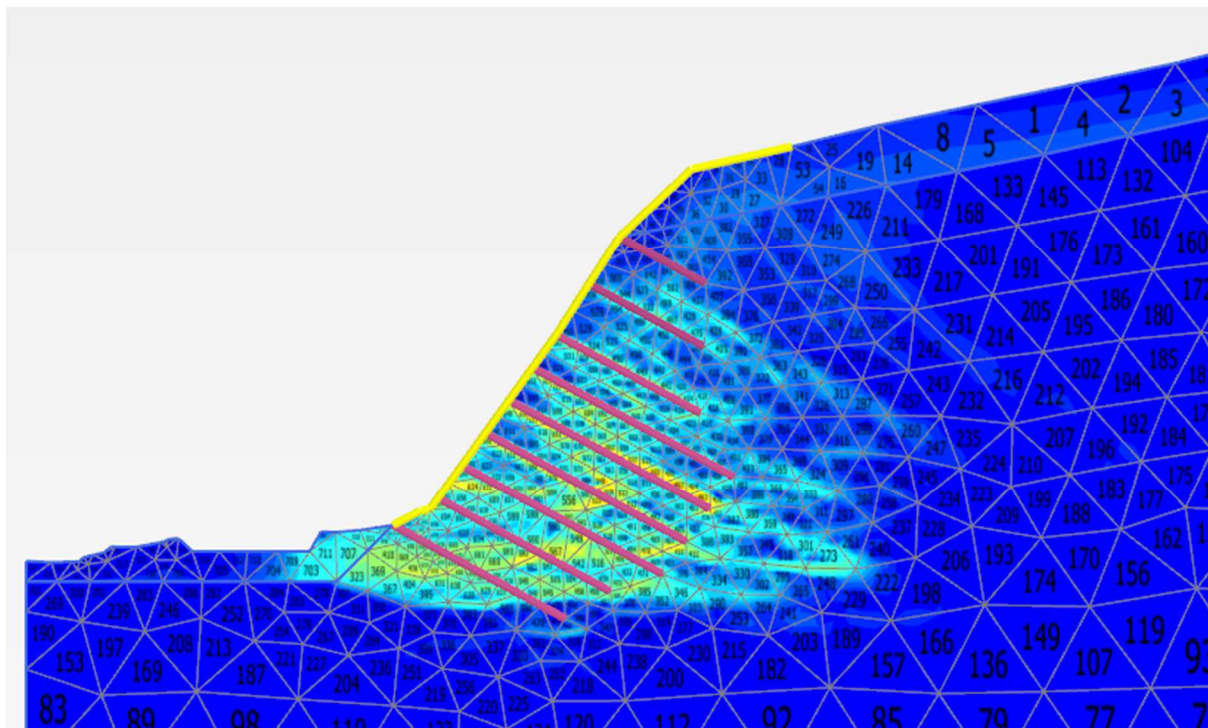
Obr. 5-9 Řez B-B' model zajištěného svahu



Obr. 5-10 Řez B-B' smyková plocha po zajištění zemními hřebíky a sítí

Jako další fázi je spočtena stabilita svahu na konci životnosti (50 let). V této fázi je uvažováno, že dojde po 50 letech působení, k úbytku průměru hřebíků (protikorozní opatření – ztracený průměr). Výsledný

stupeň stability je pro tuto fázi **FS = 1,364 > 1,3** což splňuje požadavky na stupeň stability svahů dle [5] i po 50 letech působení.



Z dosažených výsledků stupně stability po dokončení konstrukce SF=1,398, na konci životnosti SF=1,364 lze konstatovat, že je splněn minimální požadovaný stupeň bezpečnosti 1,3 (dle normy [5]).

6 ZÁVĚR

V rámci tohoto statického výpočtu byl stanoven způsob trvalého zajištění svahů skalního zářezů v zoologické zahradě v Brně u voliéry Orla východního.

Pro zajištění stability bylo navrženo zajištění svahu zemními hřebíky s ochrannou dvouzákrutovou sítí. Konkrétní specifikace způsobu zajištění je blíže popsána v kapitole 4 Způsob zajištění zářezů.

Pro řez A-A': Z dosažených výsledků stupně stability po dokončení konstrukce $SF=1,348$, na konci životnosti $SF=1,316$ lze konstatovat, že je splněn minimální požadovaný stupeň bezpečnosti 1,3 (dle normy [5]).

Pro řez B-B': Z dosažených výsledků stupně stability po dokončení konstrukce $SF=1,398$, na konci životnosti $SF=1,364$ lze konstatovat, že je splněn minimální požadovaný stupeň bezpečnosti 1,3 (dle normy [5]).

Sanace musí proběhnout bez zbytečné prodlevy za příznivých klimatických podmínek. Nelze připustit sanaci při teplotách pod bodem mrazu či deštích.

Mimo průběžnou vizuální kontrolu budou do upraveného skalního svahu osazeny nerezové měřické značky, na nichž bude možné sledovat případné deformace skalního svahu. Předpokládaná monitorovací metoda je geodetické sledování pomocí totální stanice (potřeba zhotovení stabilizačního bodu). Četnost měření by měla být v intervalu co 2 měsíce první rok po uvedení konstrukce do provozu. Po skončení prvního roku provozu konstrukce bude při naměření pouze nepatrných změn interval upraven na 4 měření ročně po dobu dalších 2 let provozu konstrukce. Po další 2 roky 2 měření ročně. Měření by mělo probíhat v přibližně stejných ročních obdobích. V den měření je potřeba uvést čas a klimatické podmínky, při kterých bylo měření prováděno. Každá měřická zpráva musí obsahovat zhodnocení naměřených pohybů autorizovaným geotechnikem.

Během provádění prací jsou navrženy zatěžovací zkoušky na systémových hřebících. Zkouška by měla prokázat uspokojivé chování hřebíku při navrženém zatížení. Navržené maximální zkušební zatížení $P_p = 180 \text{ kN}$ na 1 m délky hřebíku (např. 7 m hřebík má $P_p=1260 \text{ kN}$). Četnost zkoušených hřebíků je 3 % z celkového počtu hřebíků, minimálně však 5 zkoušek. Pokud možno zkoušky by měly být rovnoměrně rozmístěny po celé konstrukci. Podrobněji viz [8].

Při vrtání je nutné zajistit geotechnický dozor, který na místě zhodnotí shodu geologických podmínek s předpoklady výpočtu vyplývajících z inženýrskogeologického průzkumu, případně zaznamená jejich odchylku a vyhodnotí vliv změn na stabilitu svahu, v případě potřeby také navrhne doporučené změny. V případě naražení na skalní podloží (alespoň třídy R4) dříve oproti předpokladu je možné hřebík zkrátit, ale musí být umístěn alespoň 1,0 m ve skalním podloží třídy R4.

Zpracovala: Ing. Andrea Stoklasová





7 PŘÍLOHY

Příloha 1 Plaxis report – řez A-A‘


Příloha 2 Plaxis report – řez B-B‘

7.1 Plaxis report – řez A-A‘

7.1.1 Materiály

Identification number		1	2	3	4
Identification		Hřebík 25mm a1,0m	Hřebík 25mm a1,5m	Hřebík 17mm a1,0m	Hřebík 17mm a1,5m
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Colour					
Comments					
γ	kN/m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
L_spacing	m	1,000	1,500	1,000	1,000
Cross section type		Predefined	Predefined	Predefined	Predefined
Predefined cross section type		Solid circular beam	Solid circular beam	Solid circular beam	Solid circular beam
Diameter	m	0,1050	0,1050	0,1050	0,1050
A	m ²	8,659E-3	8,659E-3	8,659E-3	8,659E-3
I	m ⁴	5,967E-6	5,967E-6	5,967E-6	5,967E-6
E	kN/m ²	14,80E6	14,80E6	9,100E6	9,100E6
Axial skin resistance		Linear	Linear	Linear	Linear
T_skin, start, max	kN/m	300,0	300,0	300,0	300,0
T_skin, end, max	kN/m	300,0	300,0	300,0	300,0
Lateral resistance		Unlimited	Unlimited	Unlimited	Unlimited
F_max	kN	0,000	0,000	0,000	0,000
Default values		True	True	True	True
Axial stiffness factor		0,4611	0,3402	0,4611	0,4611
Lateral stiffness factor		0,4611	0,3402	0,4611	0,4611
Base stiffness factor		4,611	3,402	4,611	4,611


Tabulka materiálů – Embedded beams

Identification number		1
Identification		Dvouzákrutová síť
Material type		Elastoplastic (N-ε)
Colour		
Comments		
Isotropic		True

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

EA_1	kN/m	0,000
EA_2	kN/m	0,000
c	kJ/t/K	0,000
λ	kW/m/K	0,000
ρ	t/m ³	0,000
α	1/K	0,000
A_eff,T	m ²	0,000


Tabulka materiálů – Geogrids

Identification number		2
Identification		(meta) diority
Soil model		Jointed Rock
Drainage type		Drained
Colour		
γ_{unsat}	kN/m ³	26,50
γ_{sat}	kN/m ³	26,60
E_t	kN/m ²	20,00E6
ν_{nt}		0,2000
E_n	kN/m ²	20,00E6
ν_{ts}		0,2000
G_nt	kN/m ²	8,330E6
Number of planes		2 planes
c_1	kN/m ²	5,000
ϕ_1 (phi)	°	29,00
ψ_1 (psi)	°	0,000
α_{11} (alpha 1)	°	70,00
Tension cut-off_1		True
Tensile strength_1	kN/m ²	0,000
c_2	kN/m ²	5,000
ϕ_2 (phi)	°	29,00
ψ_2 (psi)	°	0,000

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

α_{12} (alpha 1)	°	83,00
Tension cut-off_2		True
Tensile strength_2	kN/m ²	0,000
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
v_u, equivalent (nu)		0,4950
Skempton B		0,9866
K_w, ref/n	kN/m ²	819,4E6
k_x	m/day	0,5000
k_y	m/day	0,5000
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Rigid
R_inter		1,000
Consider gap closure		True
Cross permeability		Impermeable
K_0 determination		Automatic
K_0,x		0,5000

Tabulka materiálů – Jointed – Rock

Identification number		1
Identification		F4 CS
Soil model		Hardening Soil
Drainage type		Drained
Colour		
γ_{unsat}	kN/m ³	18,50
γ_{sat}	kN/m ³	18,90
E_50^ref	kN/m ²	12,00E3
E_oed^ref	kN/m ²	12,00E3
E_ur^ref	kN/m ²	36,00E3
c'_ref	kN/m ²	25,00
ϕ' (phi)	°	26,00
ψ (psi)	°	0,000

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

c'_inc	kN/m ² /m	0,000
y_ref	m	0,000
Dilatancy cut-off		False
e_min		1,000E-9
e_max		999,0
Tension cut-off		True
Tensile strength	kN/m ²	0,000
Use defaults		True
K_0^nc		0,5616
R_f		0,9000
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
v_u, equivalent (nu)		0,4950
Skempton B		0,9866
k_x	m/day	8,400E-3
k_y	m/day	8,400E-3
Phase change		False
D_v	m ² /day	0,000
f_Tv		0,000
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Rigid
R_inter		1,000
Consider gap closure		True
δ_inter	m	0,000
K_0 determination		Automatic
K_0,x		0,5616
K_0,z		0,5616
POP	kN/m ²	0,000
OCR		1,000

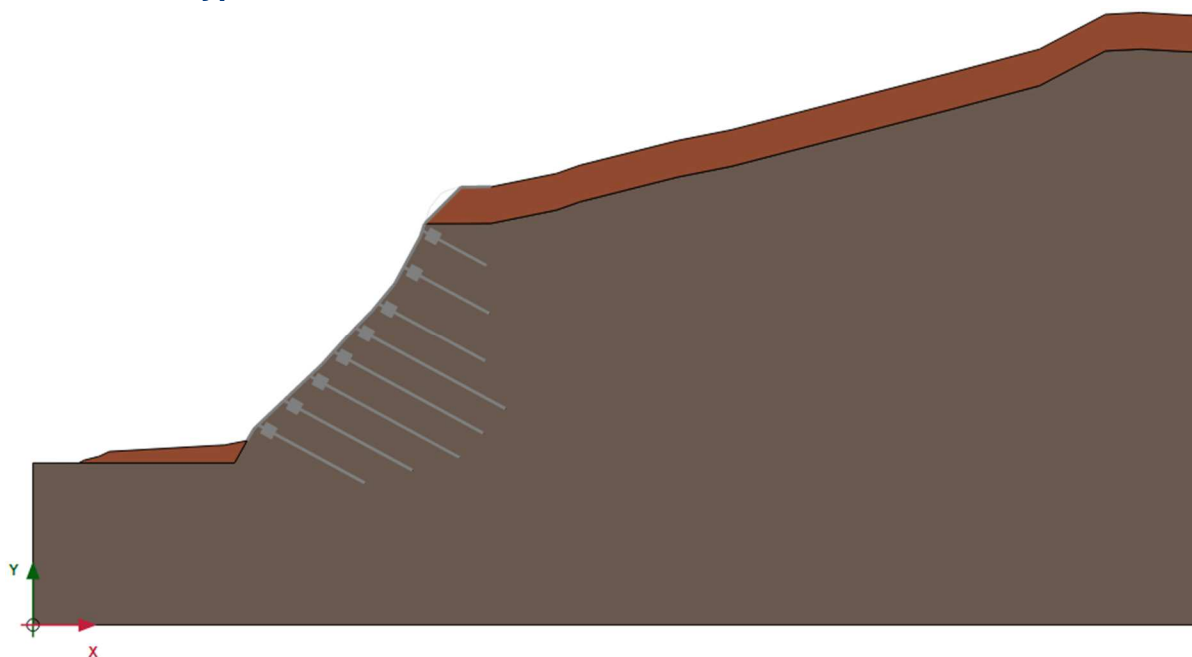
Tabulka materiálů – Hardening Soil

7.1.2 Nastavení výpočtu

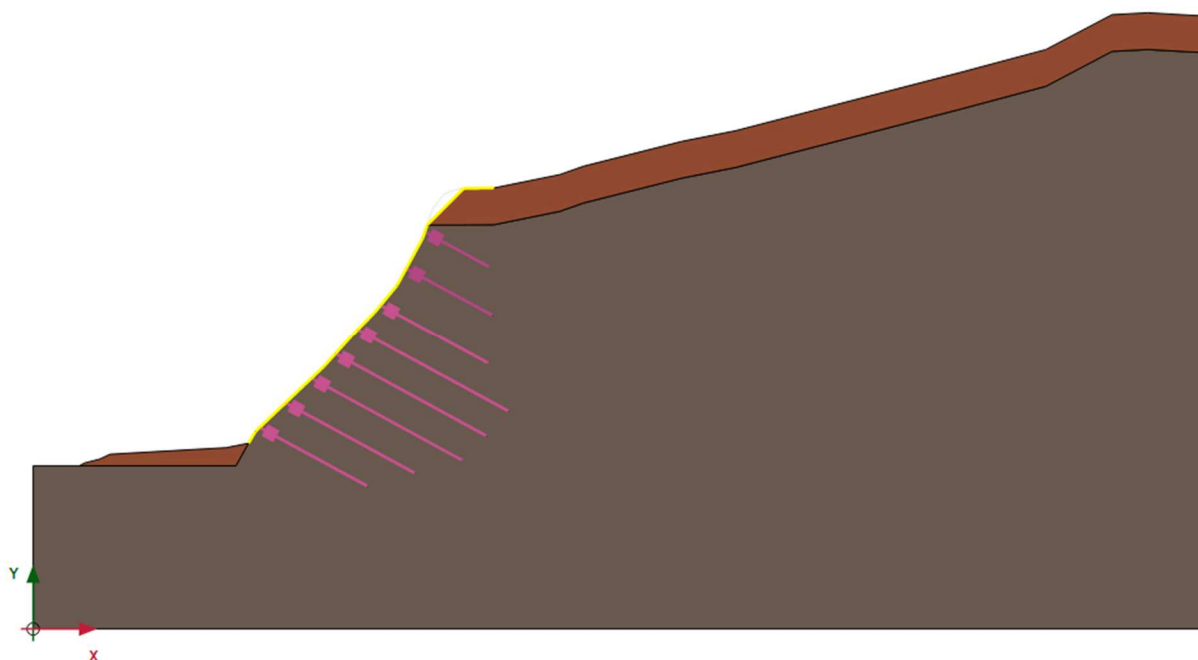
Identification ▲	Phase ▲	Start from ▲	Calculation type ▲	Loading input ▲	Pore pressure ▲
Initial phase [InitialPhase]	0	N/A	Gravity loading	N/A	Phreatic
Phase ₅ [Phase ₅]	5	0	Plastic	Staged construction	Phreatic
plný průřez [Phase ₄]	4	5	Plastic	Staged construction	Phreatic
stab. plný průřez [Phase ₁]	1	4	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase
oslabený průřez [Phase ₂]	2	4	Plastic	Staged construction	Phreatic
stab. oslabený průřez [Phase ₃]	3	2	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase

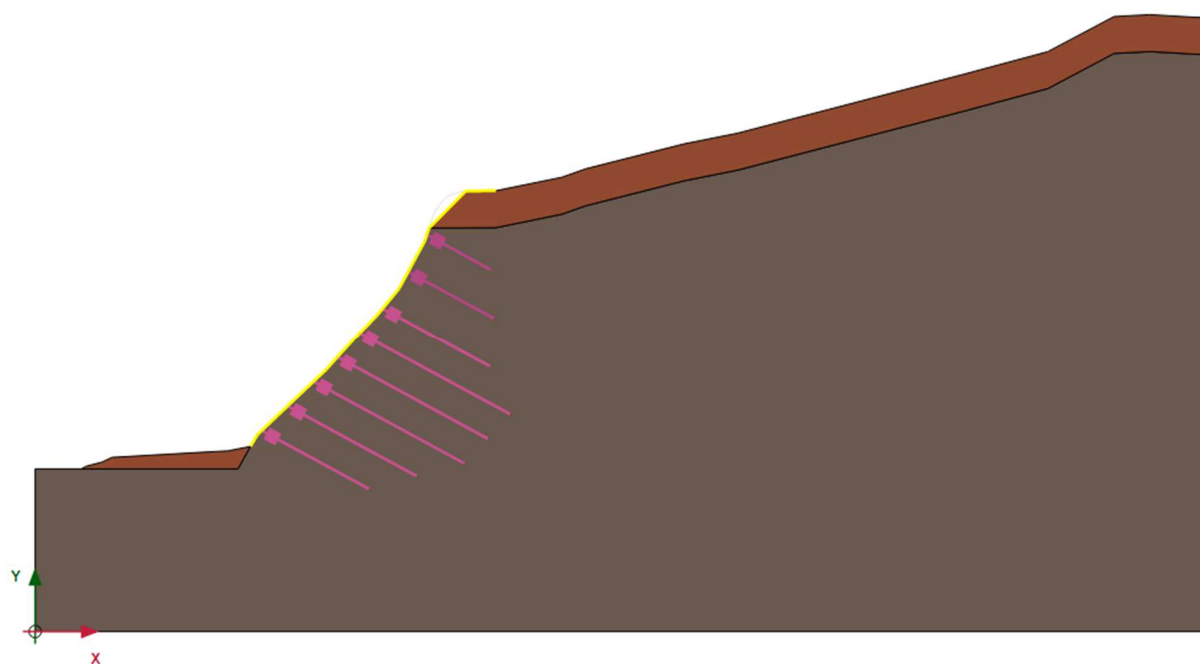
Tab. Nastavení výpočtu

7.1.3 Fáze výpočtu



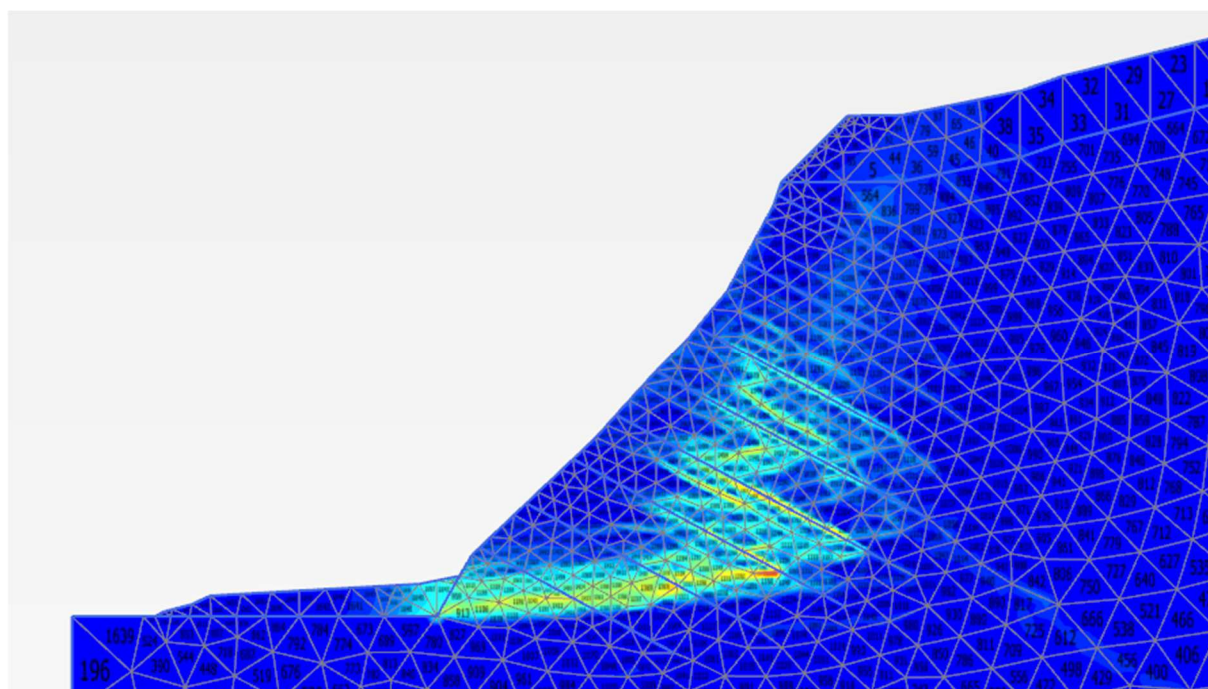
Initial Phase = Stabilita současného stavu (pozn. šedě zbarvené prvky nejsou v dané fázi aktivní)



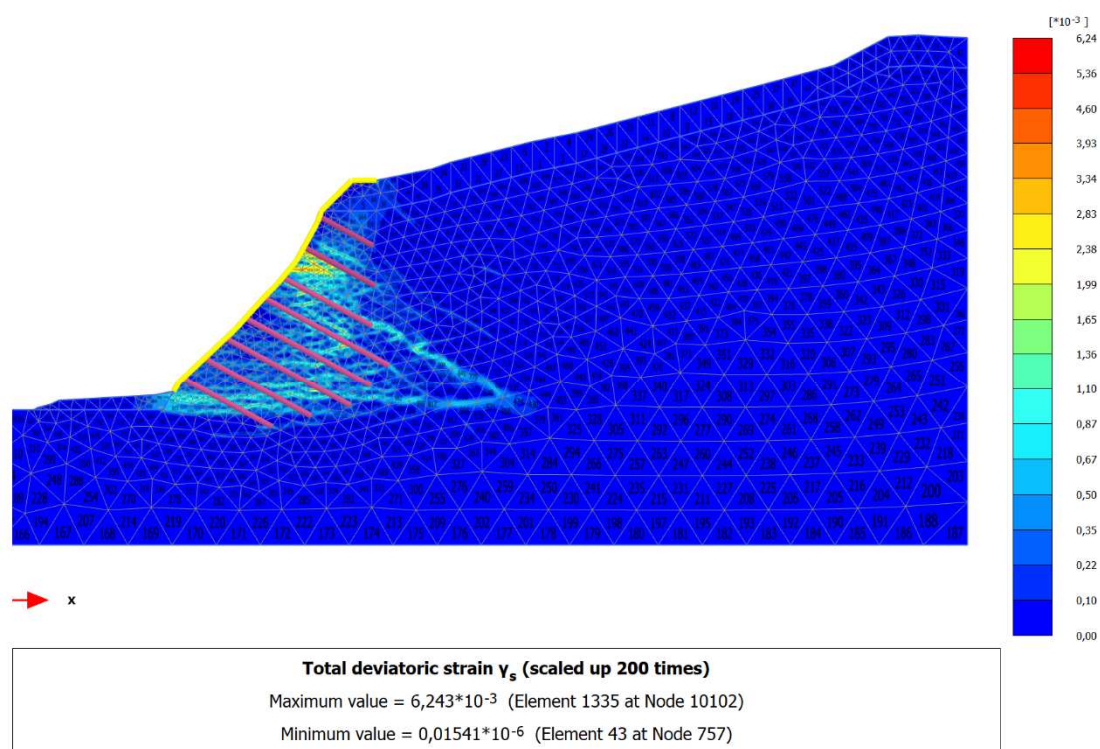


Stabilita na konci životnosti (jiný materiál zemních hřebíků)

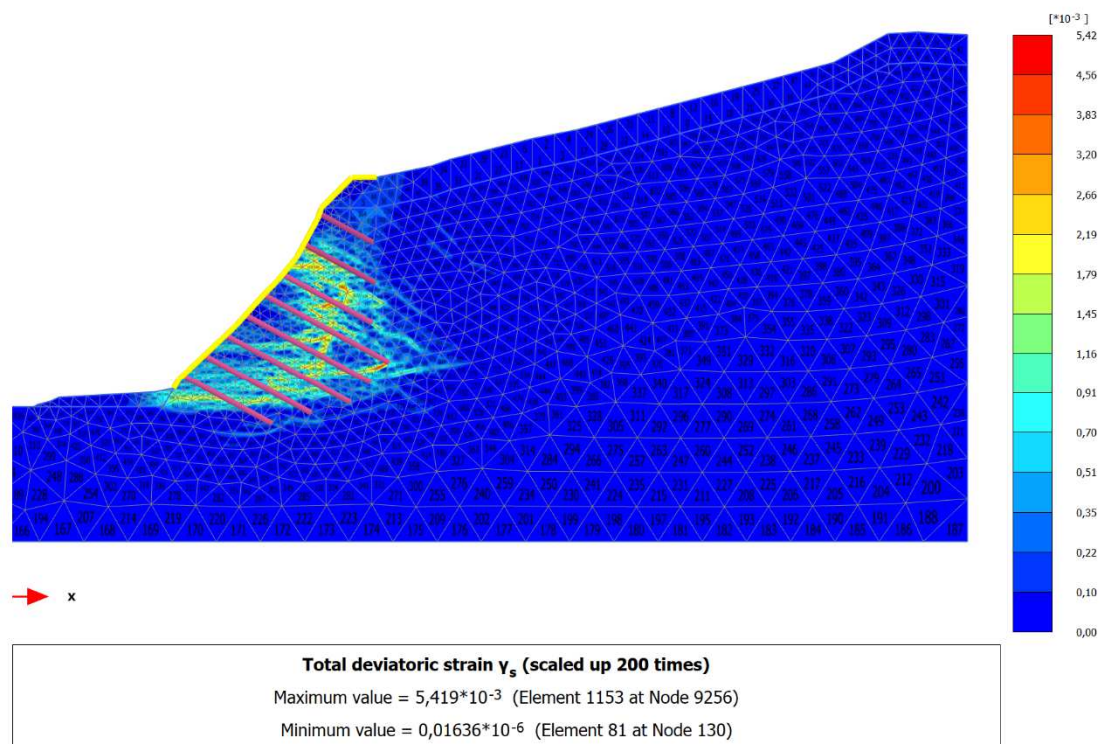
7.1.4 Total deviatoric strains



Stabilita upraveného svahu



Finální stabilita



Stabilita na konci životnosti konstrukce

7.2 Plaxis report – řez B-B'

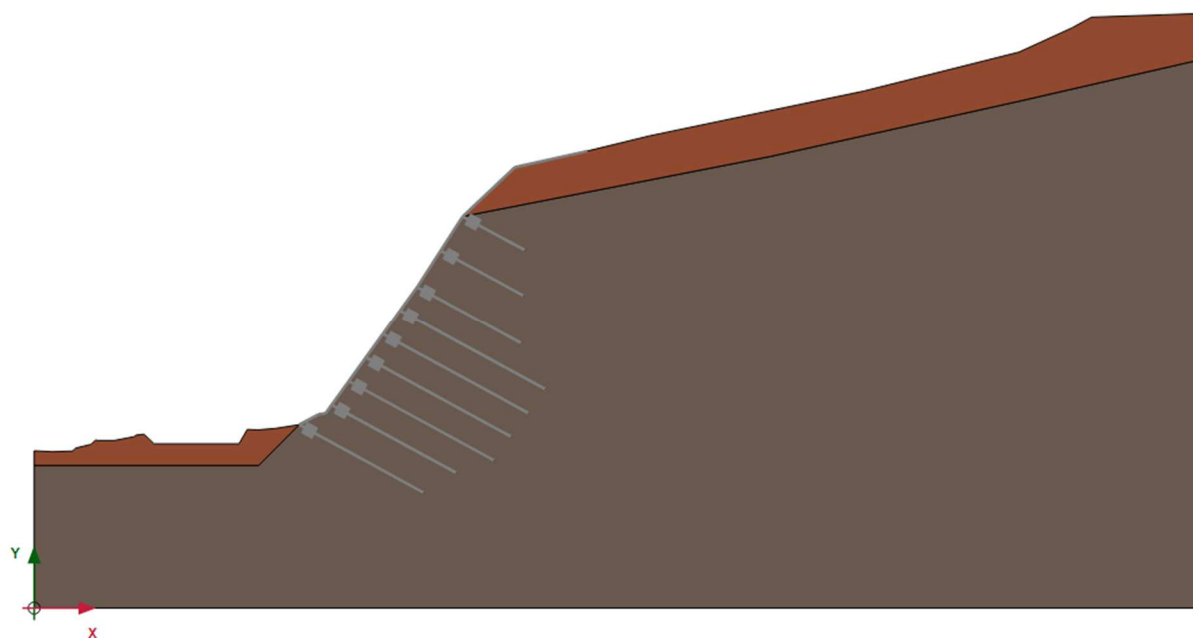
7.2.1 Materiály – stejné jako pro řez A-A' (viz kapitola 7.1.1 Materiály)

7.2.2 Nastavení výpočtu

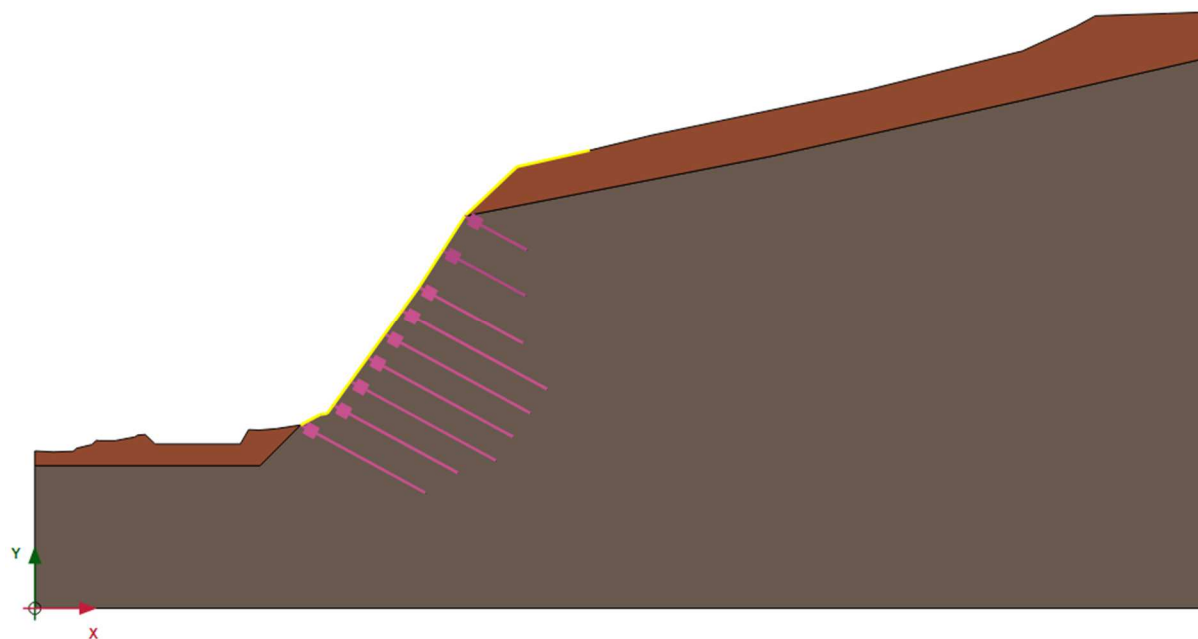
Identification ▲	Phase ▲	Start from ▲	Calculation type ▲	Loading input ▲	Pore pressure ▲
Initial phase [InitialPhase]	0	N/A	Gravity loading	N/A	Phreatic
Phase ₂ [Phase ₂]	2	0	Plastic	Staged construction	Phreatic
plný průřez [Phase ₄]	4	2	Plastic	Staged construction	Phreatic
stab. plný průřez [Phase ₁]	1	4	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase
oslabený průřez [Phase ₅]	3	2	Plastic	Staged construction	Phreatic
stab. oslabený průřez [Phase ₃]	5	3	Safety	Incremental multipliers	Use pressures from previous phase

Tab. Nastavení výpočtu

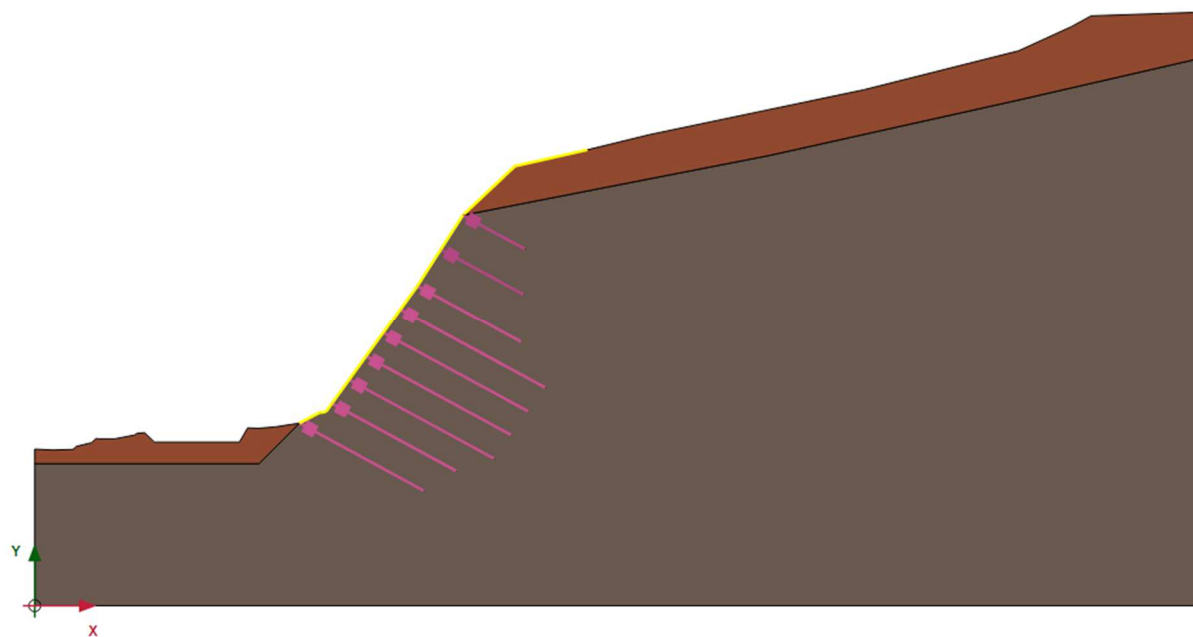
7.2.3 Fáze výpočtu



Initial Phase = Stabilita současného stavu (pozn. šedě zbarvené prvky nejsou v dané fázi aktivní)

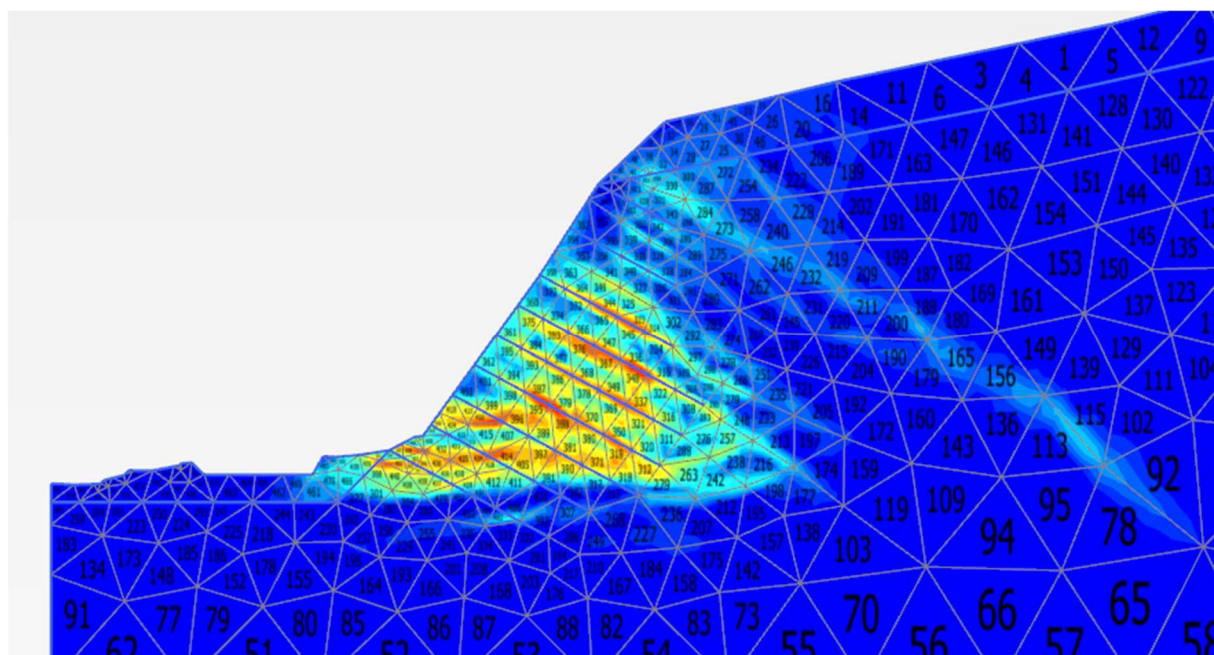


Aktivace zajištění zemními hřebíky + sítí = Finální stabilita

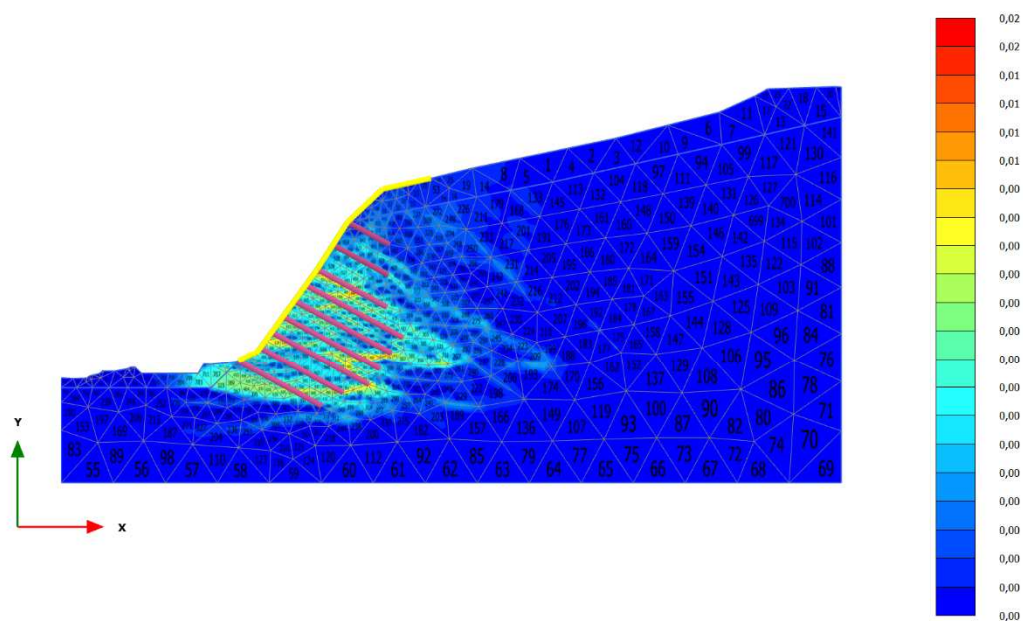


Stabilita na konci životnosti (jiný materiál zemních hřebíků)

7.2.4 Total deviatoric strains



Stabilita upraveného svahu

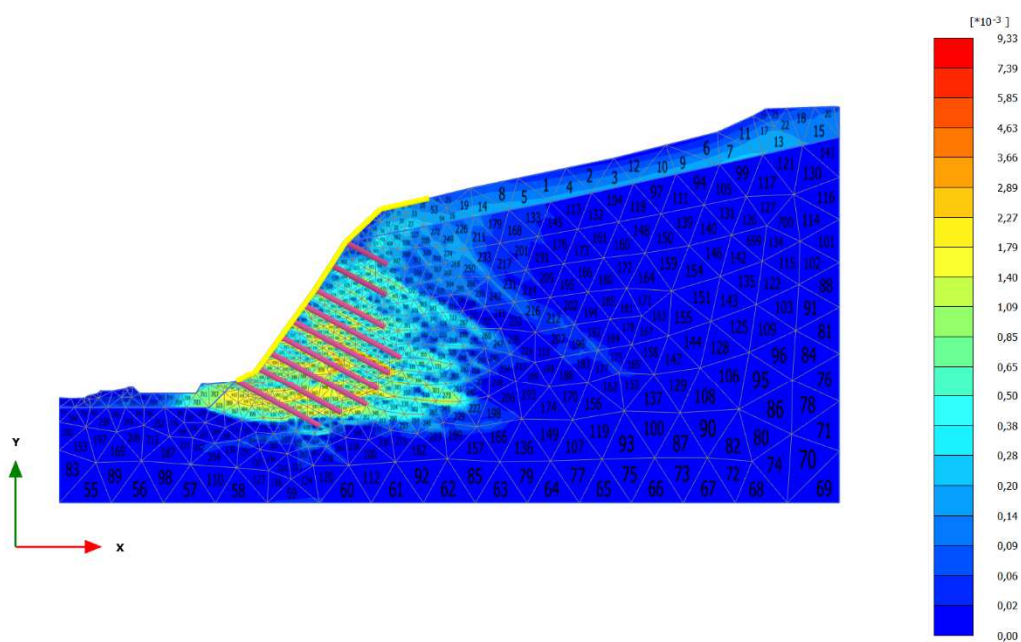


Total deviatoric strain γ_s (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,01901 (Element 448 at Node 4124)

Minimum value = 0,02226*10⁻⁶ (Element 148 at Node 408)

Finální stabilita



Total deviatoric strain γ_s (scaled up 200 times)

Maximum value = $9,333 \times 10^{-3}$ (Element 520 at Node 5244)

Minimum value = $0,1233 \times 10^{-6}$ (Element 148 at Node 410)

Stabilita na konci životnosti