

II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, DSP

**SO 213 – Návrh hřebíkové stěny
Posouzení globální stability**

Listopad 2023

Zak. č.: 23.0370

Výtisk č.:

Název zakázky: II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, DSP
SO 213 – Návrh hřebíkové stěny
Posouzení globální stability

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: 23.0370

Datum ukončení zakázky: listopad 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- Stráský, Hustý a partneři, s.r.o.

1 ÚVOD

Provedení výpočtů na akci „II/360 Velké Meziříčí – JV obchvat, DSP“ si objednala společnost Stráský, Hustý a partneři, s.r.o. Objekt SO 213 se nachází v zářezu hlavní trasy mezi km 2,012 až 2,075. Jedná se o zajištění skalního svahu pomocí hřebíkování a kotvené ochranné sítě. Z důvodu omezeného prostoru nad korunou svahu je svahování ve zvětralých partiích nahrazeno gabionovou opěrnou zdílkou.

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] Relevantní části projektové dokumentace (DUR, DSP), v elektronické formě

1.1.2 Normy

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

1.1.3 Literatura

- [8] MIDAS GTS NX Manual, 2023

1.2 Použité programy

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

2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Na lokalitě byla v rámci předběžného průzkumu [2] provedena kopaná sonda, která v hloubce 1,35 m pod vrstvami deluvií a eluvií zvětralého durbachitu charakteru G3 G-F ověřila povrch zvětralého durbachitu a geofyzikální měření, jež ve dvou na sebe kolmých profilech popsalo pokryvné útvary o mocnostech cca 1 – 2 m, tvořené hlínami a šterky, místy rozvětralými syenity. Podloží je tvořeno syenity (durbachity) různého stupně zvětrání (třídy R5 – R4). Podrobný průzkum [1] doplnil další kopanou sondu, která potvrdila uvedené předpoklady v místě budoucí stěny.

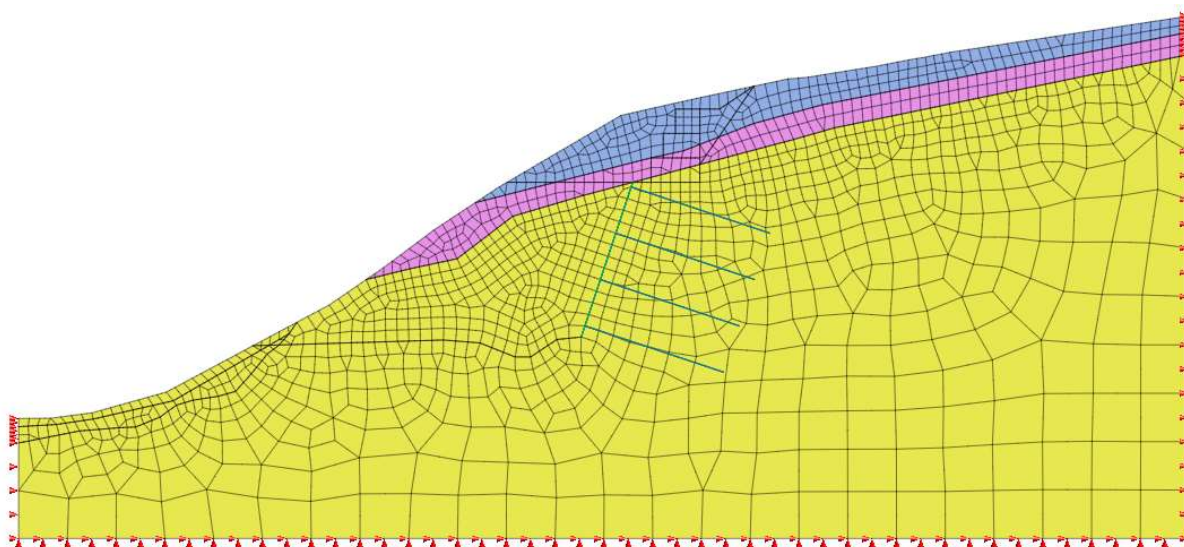
3 POPIS ŘEŠENÍ A METODIKA VÝPOČTU

Na základě výkresových podkladů [3] a geotechnických průzkumů [1], [2] byl zkonstruován výpočtový řez v nejvyšším místě skalního svahu se zakreslenými geologickými vrstvami, viz Obr. 3-1 a Obr. 4-1.

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 nonlinear static analysis – stanovení napjatosti a deformací při současném stavu konstrukce a výpočet typu slope stability analysis – určení stupně stability metodou SRM (strength reduction method). Ve výpočtu je zohledněn postup výstavby. V každém kroku jsou spočítány deformace, napětí a přetvoření během příslušné stavební fáze, přičemž každá další fáze je spočítána na základě té předchozí.

Následně je v poslední fázi stanoven stupeň stability (viz kap. 3.1), jehož prostřednictvím je prokázána bezpečnost návrhu. Fáze výpočtu jsou podrobně rozepsány v kap. 4. Pro vystižení vlastností skalního podloží je použit materiálový model Hoek-Brown, pro simulaci chování zemin je zvolen materiálový model Mohr-Coulomb. Jejich základní parametry jsou stanoveny na základě informací z geologického průzkumu [1] a za pomoci programu RocLab. Vstupní parametry, které v průzkumu chybí, byly stanoveny podle doporučení tvůrců programu. Gabion je modelován jako tuhý, lineárně elastickým materiálovým modelem.

Pro modelování zemin je použita automaticky generovaná síť troj a čtyřúhelníkových konečných prvků typu higher order pro přesnější výpočet stability, viz Obr. 3-1. Hřebíky jsou modelovány prvky typu *beam*, které přenáší osově síly smykové síly i ohybové momenty a jsou doplněny kontaktním prvkem *Pile*, jež simuluje plášťové tření mezi hřebíkem a okolní zeminou. Ochranné sítě jsou pak modelovány prvkem *geogrid*, jenž přenáší pouze tahová namáhání. Přehled vstupních parametrů všech použitých materiálů je uveden v příloze.



Obr. 3-1: Matematický model – síť konečných prvků

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 skalního zářezu platí dle normy [7] nejnižší přípustná hodnota FS = 1,3.

4 NÁVRH ZAJIŠTĚNÍ SKALNÍHO SVAHU

Stěna skalního zářezu bude trvale zajištěna pomocí hřebíkování s tzv. *měkkým lícem*, tj. s použitím ochranných sítí bez stříkaného betonu.

V horní části svahu lze dle geofyzikálního průzkumu očekávat až cca do hloubky 3 m deluviální a eluvio-deluviální zeminy. S ohledem na nedostatečnou vzdálenost od hranice trvalého záboru je navrženo zajištění horní cca 1/3 výšky svahu pomocí **gabionové zdi**, viz Obr. 4-1. Posouzení samotné gabionové zdi není součástí této zprávy a musí být posouzena v dalším stupni PD.

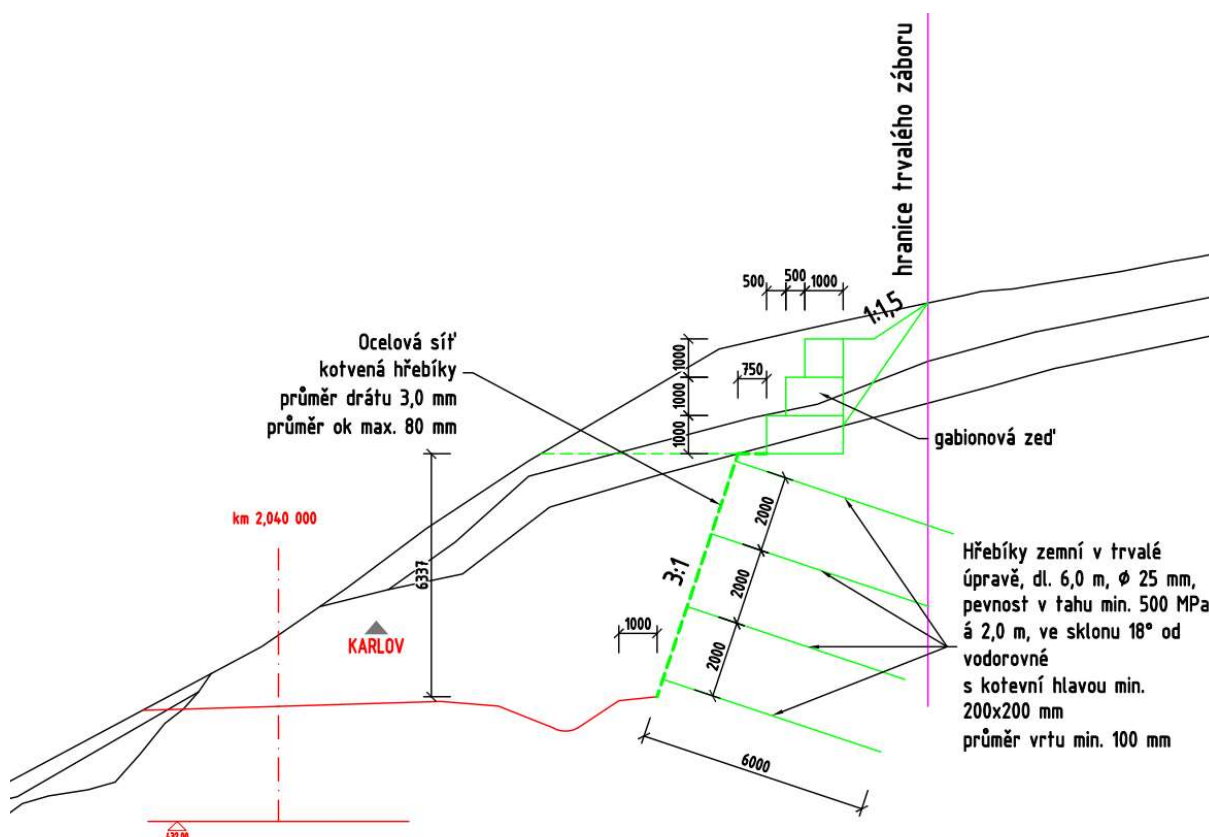
Skalní líc bude proveden ve sklonu 3:1. Je navržena ocelová ochranná síť s oky průměru max. 80 mm a průměrem drátu min. 3,0 mm. Je možné použít obdobného výrobku se stejnými nebo lepšími parametry. Z hlediska zajištění trvanlivosti je nutné řídit se pokyny výrobce sítě ohledně doporučené povrchové úpravy pro danou požadovanou životnost. Ze statického hlediska je požadováno zajištění **spolupůsobení sítě s hřebíky**. V horní části bude síť zatažena až ke gabionové zdi a řádně přikotvena. Zejména horní 2 m svahu (v závislosti na skutečně zastiženém stupni zvětrání) pak doporučujeme doplnit síť vhodným geosyntetikem s protierozní funkcí, které zamezí propadávání drobnějších úlomků skrze oka sítě.

Hřebíky jsou navrženy délky **6,0 m**, průměru **25 mm**, z oceli s tahovou pevností min. **500 MPa**. Při výpočtu je uvažována doba životnosti 50 let. Hřebíky jsou rozmístěny šachovnicovitě ve 4 etážích, s osovou vzdáleností max. **2,0 m** ve svislém i podélném směru. Sklon hřebíků je **18°** od vodorovné. Hřebíky, opatřené centrátory, budou vkládány do předvrtů o průměru min. **100 mm**, vyplněných cementovou zálivkou. Hřebíky budou ukončeny ocelovou hlavou o rozměrech min. 200x200 mm v antikorozi úpravě.

4.1 Postup výstavby

V první fázi bude provedeno odtěžení po úroveň základové spáry gabionu. Poté bude vybudována gabionová stěna a proveden zásyp za rubem. V další fázi bude probíhat odtěžování skalního zářezu po etážích, definovaných jednotlivými řadami hřebíků, instalace ochranné sítě a kotvení. Po provedení příslušné řady hřebíků může pokračovat odtěžování další úrovně až na projektovanou úroveň.

Četnost a pozice navržených kotevních prostředků musí reflektovat skutečný stav zastiženého horninového prostředí. Za tímto účelem bude při odhalení jednotlivých etází nezbytná **přítomnost geotechnika**, který zaznamená zastiženou geologii, zhodnotí případné odchylky od předpokladů, jejich vliv na návrh a stabilitu zajištění a navrhne případné opatření.



Obr. 4-1: Schéma návrhu řešení SO 213

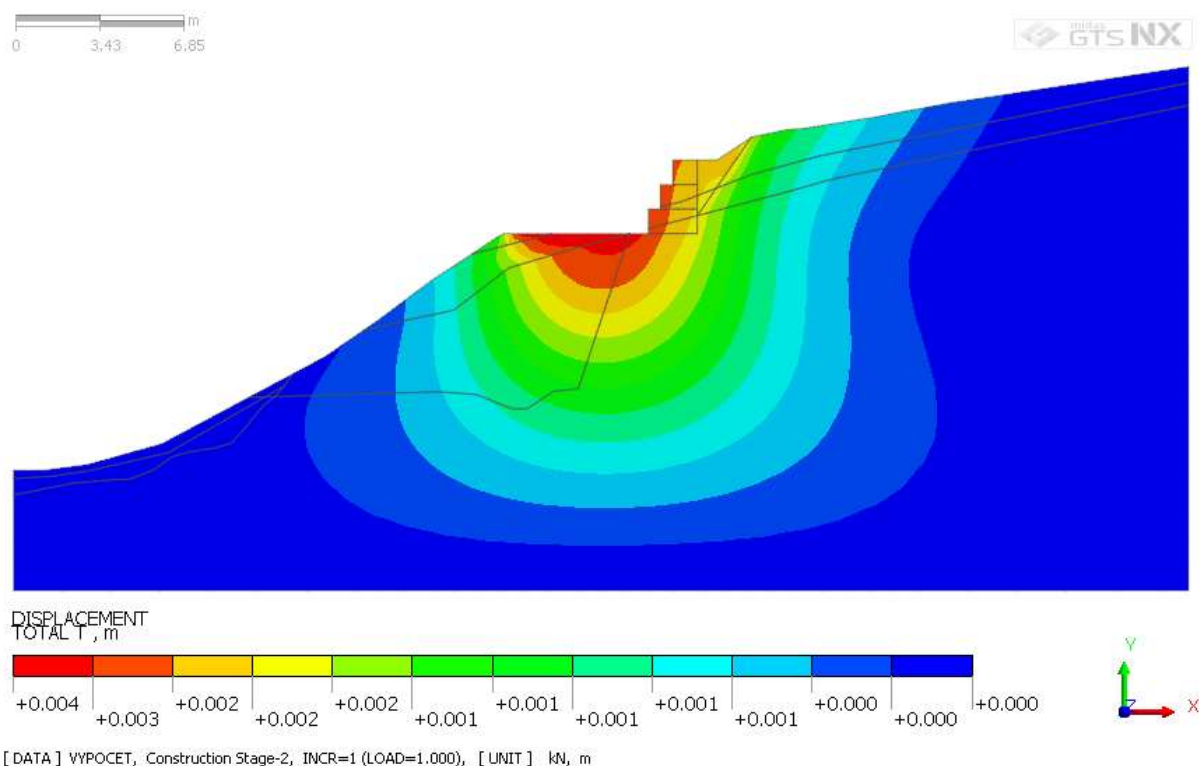
5 POPIS VÝPOČTU A JEHO VÝSLEDKY

Výpočet byl proveden ve 3 fázích:

5.1 Initial stage

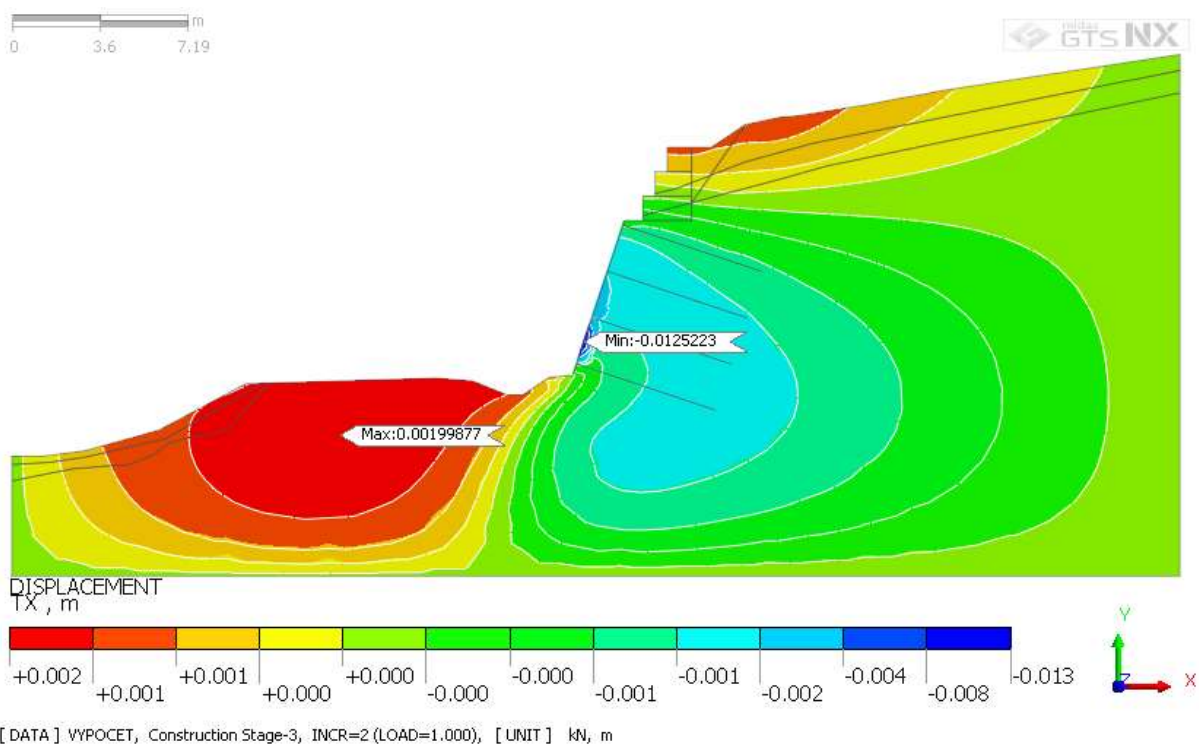
V počáteční fázi bylo vypočítáno pole napjatosti v původním stavu před stavbou aplikací gravitačního zatížení. Spočtené deformace a přetvoření jsou po provedení výpočtu iniciální fáze vynulovány.

5.2 Odtěžení po úroveň zákl. spáry gabionu



Obr. 5-1: Fáze 2 – první etapa odtěžení a vybudování gabionové zdi (celkové deformace)

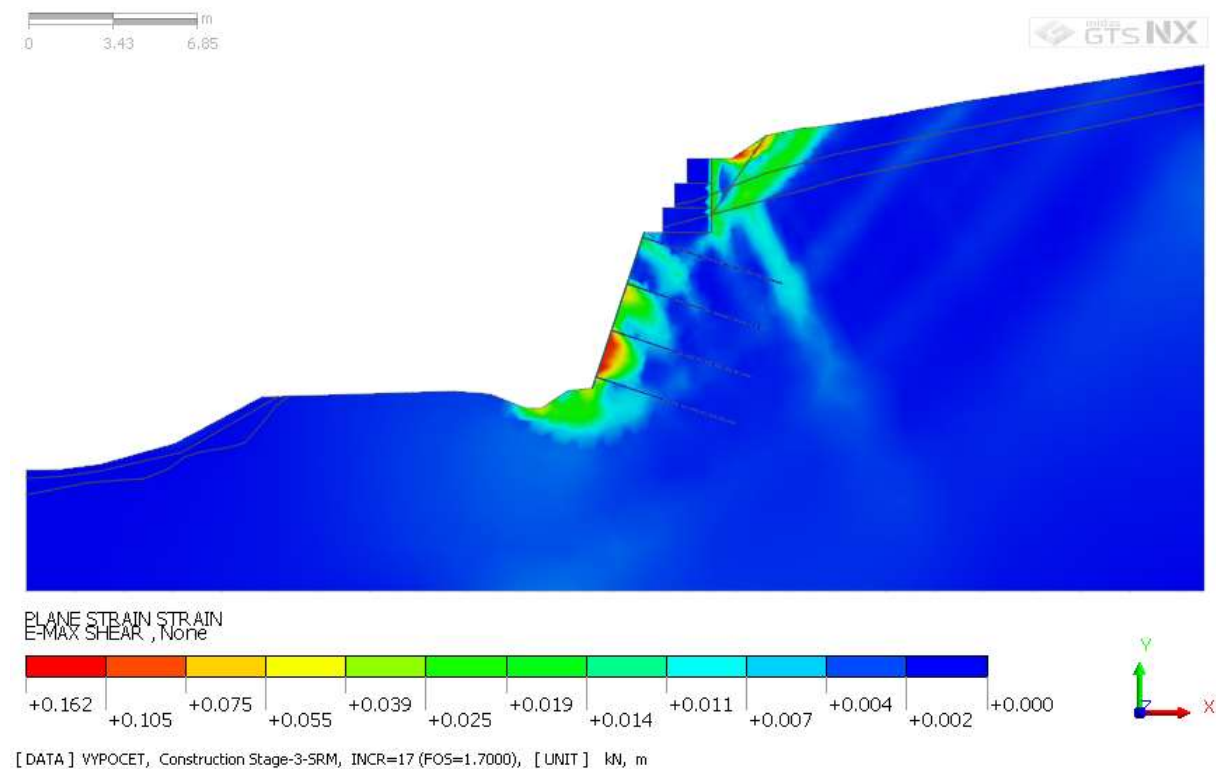
5.3 Odtěžení na projektovanou úroveň



Obr. 5-2: Fáze 3 – druhá etapa odtěžení + instalace hřebíků a ochranné sítě (vodorovné deformace)

Maximální vodorovné deformace jsou 13 mm. Stupeň stability svahu byl metodou SRM stanoven hodnotou 1,70. Kritická smyková plocha je zobrazena na Obr. 5-3.

FS = 1,70 > 1,30 => VYHOVUJE



Obr. 5-3: Výpočet stupně stability metodou SRM – tvar potenciální smykové plochy

6 ZÁVĚR

V této zprávě bylo řešeno zajištění skalního svahu na stavbě JV obchvatu Velkého Meziříčí (SO 213). Všechny výpočty byly provedeny podle platných norem. Svah je zajištěn pomocí kombinace hřebíkové stěny s ochrannou sítí a gabionové zdi. Návrh zajištění je popsán v kap. 4.

Posouzení samotné gabionové zdi není součástí této zprávy a musí být posouzena v dalším stupni PD.

Zpracoval: Ing. Vojtěch Krejzar