

Výzkumná zpráva č. HS 12860009L Kolejové úpravy v žst. Žd'ár nad Sázavou posouzení návrhu sanace

Objednavatel:

**WALTEC GDS, s. r. o.
Masarykova 1355/12, Blansko 678 01**

Vypracoval:

Ing. Helena Brdečková

Ing. et Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.

doc. Ing. Antonín Paseka, CSc.

Adam Vašina

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
vedoucí profit centra

BRNO, 30. 10. 2018

Výtisk č.

ROZDĚLOVNÍK:

| | | |
|------------|---------|---|
| Výtisk č.: | 1 až 8 | WALTEC GDS, s. r. o. |
| | 9 | Archív Centra AdMaS – skupina EGAR |
| | 10 | Archív Ústavu geotechniky FAST VUT v Brně |
| | 11 a 12 | Archív zpracovatelů akce |

Obsah

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Numerický výpočet sanace náspu Žďár nad Sázavou km 78.050..... | 3 |
| 2. | Použité podklady | 3 |
| 3. | Inženýrsko-geologické a geotechnické poměry | 5 |
| 4. | Předpoklady výpočtu | 5 |
| | Geometrické a geotechnické parametry modelu..... | 5 |
| | Kolejové lože a podkladní vrstva | 6 |
| | Hloubkové zlepšování zemin | 6 |
| | Opěrné gabionové stěny | 7 |
| | Vyztužení podloží geosyntetiky | 7 |
| | Zatížení | 8 |
| 5. | Fáze výpočtu..... | 8 |
| 6. | Materiálové modely a vstupní parametry..... | 10 |
| 7. | Výsledky..... | 11 |
| 8. | Závěrečné zhodnocení..... | 18 |

1. Numerický výpočet sanace násypu Žďár nad Sázavou km 78.050

Podle objednávky prací č. 169/2016 ze dne 14. 9. 2018 podané společností WALTEC GDS, s. r. o. bylo proveden geotechnické posouzení návrhu sanace násypu pro akci „Kolejové úpravy v žst. Žďár nad Sázavou“ v km 78 050 podle dodané dokumentace. Cílem posudku bylo zhodnotit stabilitu a deformační stav násypu ve stavu před a po navrhované sanaci. Násyp podle informací objednatele v současnosti vyžaduje opakovanou údržbu pro zachování předepsané nivelety kolejí.

Navrhovaná sanace využívá těchto metod:

- pro zvýšení stability svahů provedení kotvených gabionových zdí v patách svahů násypu;
- snížení sklonu svahu v místech, kde původní zeminy násypu vycházejí na povrch;
- pro snížení deformací zlepšení zemin násypu metodou deep soil mixing (DSM);
- omezení deformací v úrovni hlav pilířů DSM aplikací geomříže;
- omezení vodorovných deformací v horní části použitím geobuněk.

2. Použité podklady

- [1] *PLAXIS 2D: Reference manual* [online]. Version 2016, build 8122. Delft: Plaxis, 2016 [cit. 2017-10-30].
- [2] *DSP-REZY 2018-09-05-BLAHA-PASEKA-STAB*. WALTEC DGS, s. r. o., 2018.
- [3] *ZDAR GTN REZY_CAD2010*. WALTEC GDS, s. r. o., 2018.
- [4] *ZDAR1 GTN REZ_87_050*. WALTEC GDS, s. r. o., 2018.
- [5] HENEŠOVÁ, . *Žďár nad Sázavou – ŽĐAS – OPV r. č. Geofondu: P066018: (rešeršní inženýrskogeologický posudek širšího okolí lokality Žďár nad Sázavou)*. Brno: Geotest Brno, 1990.
- [6] POLENKA, . *ŽĐAS – OPV, Ochrana podzemní vody, r. č. Geofondu: P033425: (rešeršní inženýrskogeologický posudek širšího okolí lokality Žďár nad Sázavou)*. Brno: Geotest Brno, 1981.
- [7] KŘETÍNSKÝ, V. *BLANSKO - WALTEC DGS, LRMZ, akce GTP násep Žďár nad Sázavou: číslo zakázky 180069L*. 20. 7. 2018. Brno: GEOtes, a. s. Laboratoře mechaniky zemin, 2018.
- [8] LI, Dingqing, James HYSILIP, Theodore SUSSMANN a S. CHRISMER. *Railway geotechnics*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-0415695015.
- [9] ŽPSV OHL GROUP, . *Předepjaté betonové pražce: Rektifikační podpora, Rheda 200, Porr, ŽPSV*. ŽPSV OHL Group, 2014.
- [10] SVOBODA, Petr. *Hlubkové zlepšování zemin v české praxi*. 1. Brno: Akademické

- nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-663-8.
- [11] TATARNIUK, Catherine. *Deep Soil Mixing as a Slope Stabilization Technique in Northland Allochthon Residual Clay Soil*. Christchurch, New Zealand, 2014. Dissertation. University of Canterbury. Vedoucí práce Elisabeth Bowman.
- [12] ARDIACA, D. Mohr-Coulomb parameters for modelling of concrete structures: Spring Issue 2009. *PLAXIS Bulletin* [online]. 2009, , 12-15 [cit. 2018-10-18].
- [13] LAHUTA, H. a J. BROUL. *Návrh a posouzení zajištění žel. násypu v km 39,1 - 39,3 na trati Strakonice Volary*. Ostrava: Stavební fakulta VŠB - Technical University of Ostrava, 2004.
- [14] ENVIROMESH, . *Welded Mesh Gabion Specification: Trapezoidal Gabion 27 System - 3.00 / 4.00 Wire Diameter - Hot Dip Galvanised*. Bristol: ENVIROMESH, 2001.
- [15] ÓWIRKO, Marcin, Małgorzata JASTRZĘBSKA a Sławomir KWIECIEŃ. The Analysis of the Usefulness of Welded Meshes to Embankment Reinforcement. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2017, **39**(3), 3-9. DOI: 10.1515/sgem-2017-0024. ISSN 2083-831X. Dostupné také z: <http://content.sciendo.com/view/journals/sgem/39/3/article-p3.xml>
- [16] MINOVA BOHEMIA, . *Injekční zavrtávací kotevní tyče typu TITAN: Technický list 23. 5. 2016*. Ostrava-Radvanice, CZ: Minova Bohemia s. r.o., 2016.
- [17] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997. 1. vyd.* Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012, 208 s. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [18] MACCAFERRI, . *Product Guide: Brochure ZA ProductGuide 24. 7. 2013*. www.maccaferri.co.za, 2013.
- [19] HOLÝ, O. a L. MIČA. The setting of geosynthetic axial stiffness for numerical modelling - part 2. In: *Stavební konstrukce z pohledu geotechniky: česko-slovenská konference : 11.-12. prosince 2008 : sborník příspěvků*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, s. 59-62. ISBN 978-80-7204-609-6.
- [20] KOERNER, Robert. *Designing with geosynthetics*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2005. ISBN 9780131454156.
- [21] HEDGE, A. a S. THALLAK. Experimental and numerical studies on geocell reinforced sand beds. In: *Proceedings of Geosynthetics 2013*. Long Beach, California, USA, 2013, s. 119-126.
- [22] DUNCAN, J. a C. CHANG. Nonlinear analysis of stress and strain in soils. *Journal of Soil Mechanics & Foundations div. American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 1970, **96**(5), 1629-1653.
- [23] GEOMAT S.R.O., . *Technické specifikace geobuněk Multicell MC: Technické specifikace*. GEOMAT s.r.o., 2013.
- [24] MADHAVI, L. G., R. KARPURAPU a N. R. KRISHNASWAMY. Interfacial Friction Properties Of Geocell Reinforced Soil. In: *ISRM International Symposium, 19-24 November: ISRM-IS-2000-288*. Melbourne, Australia: International Society for Rock

Mechanics and Rock Engineering, 2000, s. 1-6.

[25] ŠEJNOHA, Michal, Jan PRUŠKA, Tomáš JANDA a Miroslav BROUČEK. *Metoda konečných prvků v geomechanice: teoretické základy a inženýrské aplikace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05743-8.

[26] HOEK, E., C. CARRANZA-TORRES a C. CORKUM. Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition. In: *Proceedings of NARMS-TAC Conference*. Toronto, 2002, s. 267-273.

3. Inženýrsko-geologické a geotechnické poměry

Podloží násypu je budováno zvětralými rulami moldanubika a jejich pevnými eluvii zpravidla písčito-jílovitými, část území je překryta stavební navázkou. Hladina podzemní vody leží v rulových eluviích. Násypové těleso je v řešeném profilu vyplněno ve spodní a střední části zeminami převážně charakteru hlinitých a jílovitých písků se štěrkem, které místy vykazují velmi nízké penetrační odpory. V horní části násypu jsou pod kolejovým ložem jílovito-hlinité písky se štěrkem a kameny. Svahy násypu jsou příliš strmé a nedostatečně stabilní.

4. Předpoklady výpočtu

Pro řešení úlohy byl v programovém prostředí Plaxis 2D [1] vytvořen 2D rovinný numerický model simulující vývoj napjatostně-deformačního stavu a stability posuzovaného tělesa s respektováním posloupnosti fází prováděných sanačních prací. Pro modelování byly použity 15ti uzlové konečné prvky aproximující posuny pomocí polynomu 4. stupně.

Tabulka 1 Základní charakteristiky vytvořeného matematického modelu

| Šířka modelu [m] | Výška modelu [m] | Počet konečných prvků [-] | Počet uzlů [-] |
|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------|
| 60 | 36 | 48172 | 391270 |

V následujících odstavcích jsou popsány předpoklady pro jednotlivé prvky sanačních prací na základě kterých byly odvozeny jejich parametry vstupující do výpočtu.

Geometrické a geotechnické parametry modelu

Geometrie násypu byla převzata z projektové dokumentace [2], [3], [4]. Skladba podloží, poloha litologických rozhraní a úroveň podzemní vody byla vyhodnocena z penetračních zkoušek a z rešeršních údajů zjištěných ve výše uvedených IG posudcích [5], [6]. Parametry zemin násypu byly stanoveny na základě výsledků laboratorních testů odebraných zemin [7] a s ohledem na výsledky penetračních zkoušek.

Kolejové lože a podkladní vrstva

Parametry materiálu kolejového lože a materiálu podkladní vrstvy mezi zemní plání a kolejovým ložem byly stanoveny podle [8] a upraveny po konzultaci s objednatelem. Parametry vrstvy představující v modelu kolejové podpory byly stanoveny podle [9]. Ekvivalentní modul pružnosti materiálu pražce (beton třídy C45/55, $E = 36 \text{ GPa}$) byl v modelu stanoven s ohledem na vzdálenost mezi pražci v podélném směru:

$$r_{pr} = \frac{A_{pr}}{A_T} = \frac{A_{pr}}{A_{pr} + A_{soil}} = \frac{0,24}{0,65} = 0,37 \quad (1)$$

$$E = r_{pr} \times E_{pr} = (0,37 \times 36\,000) = 13\,320 \text{ MPa} \quad (2)$$

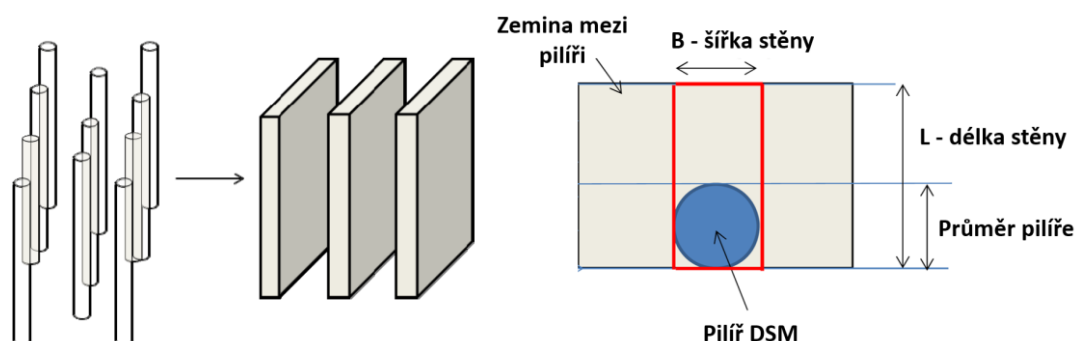
Hlubkové zlepšování zemin

Jednou z plánovaných metod sanace je instalace pilířů deep soil mixing (DSM) průměru 0,6 m v osové vzdálenosti v podélném směru 1,2 m. Při stanovení hodnot pevnostních a deformačních parametrů ($E_{col} = 2 \text{ GPa}$) zeminy zlepšené metodou DSM byly použity adekvátní údaje z literatury [10] po konzultaci s autorem publikace. Ekvivalentní modul pružnosti materiálu představujícího v modelu pilíř DSM byl stanoven jako vážený průměr modulů pilíře a materiálu mezi pilíři, přičemž váha byla stanovena podle [11] na základě poměru příčné plochy pilíře a plochy definované průměrem pilíře a osovou vzdáleností pilířů v podélné ose zemního tělesa:

$$r_{col} = \frac{A_{col}}{A_T} = \frac{A_{col}}{A_{col} + A_{soil}} = \frac{\frac{\pi \times 0,6^2}{4}}{0,6 \times 1,2} = 0,39 \quad (3)$$

$$r_{soil} = 1 - r_{col} = 1 - 0,39 = 0,61 \quad (4)$$

$$E = (r_{col} \times E_{col}) + (r_{soil} \times E_{soil}) = (0,39 \times 2000) + (0,61 \times 6) = 844 \text{ MPa} \quad (5)$$



Obrázek 1 Princip nahrazení pilířů DSM stěnou (vlevo) a princip stanovení jejích parametrů (vpravo).
Upraveno podle [11].

Pevnostní parametry materiálu tvořeného tělesem DSM byly stanoveny z jeho odhadované výpočtové pevnosti v prostém tlaku (3,5 MPa) [10] přepočtem podle [12]. Hodnota úhlu vnitřního tření byla podle [12] uvažována hodnotu $\phi = 35^\circ$ a koheze byla vypočtena podle vztahu:

$$c = 0.0035 \times 2^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} = \sqrt{\frac{f_{ck}}{100}} = \sqrt{\frac{3,5}{100}} = 0,187 \text{ MPa} \quad (6)$$

Kontakt mezi povrchem pilíře a okolní zeminou byl modelován kontaktním prvkem s parametrem $R_{\text{inter}} = 0,75$.

Opěrné gabionové stěny

V patě násypů se z obou stran násypu předpokládá vybudování tížných zdí z gabionových košů. Mechanické parametry výplňového materiálu gabionových košů byly převzaty z podkladu poskytnutého za tímto účelem objednatelem [13]. Parametry svařované sítě gabionových košů byly stanoveny podle [14], [15]. Bylo uvažováno použití sítí $\varnothing 3$ mm s roztečí drátů 75 mm. Kontakt mezi sítí koše a výplňovým materiálem a materiálem zásypu stěny byl modelován kontaktním prvkem s parametrem $R_{\text{inter}} = 0,7$. Kotvení gabionových stěn bude podle návrhu provedeno zavrtávacími tyčemi typu vnějšího průměru 30 mm a vnitřního 16 mm, s délkou kořene podle zadání objednatele $L_{\text{tb}} = 1,5$ m. Průměr kořene kotvy byl uvažován hodnotou $d = 90$ mm. Mechanické charakteristiky kotev byly stanoveny na základě technického listu [16]. Vliv rozmístění kotev v podélném směru je do 2D modelu zaveden rozpočítáním jejich tuhosti s uvažováním osově vzdálenosti kotev $l_s = 2,0$ m. Únosnost kořene kotvy byla podle [17] stanovena hodnotou 375 kN/m.

Vyztužení podloží geosyntetiky

Jako další součást sanačních opatření je uvažováno překrytí hlav pilířů DSM geomříží [18]. Maximální teoreticky dosažitelná osová tuhost geomříže byla stanovena podle [19] jako podíl tahové pevnosti ($T_{\text{ult}} = 1390$ kN/m) a procentuálního maximálního přetvoření (15%) stanovených podle [18]. Kontakt mezi geomříží a materiálem násypu byl modelován kontaktním prvkem s parametrem $R_{\text{inter}} = 0,92$ podle [20].

Ve vrstvě štěrkodrti pod kolejovým ložem je pak umístěna zemní deska (matrace) vyztužená geobunčkami. Ekvivalentní pevnostní a deformační parametry materiálu vrstvy představující v modelu vrstvu geobuněk byly stanoveny podle metodiky shrnuté v práci [21] vycházející z nelineárního konstitučního modelu materiálu výplně buněk [22] a s uvažováním zvýšení hodnot pevnostních a deformačních parametrů výplňového materiálu z titulu 3D napjatosti v prostoru buněk:

$$E_i = K_r P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n = 1257 \times 100 \times \left(\frac{38}{100} \right)^{0,43} = 83\,316 \text{ kN/m}^2 \quad (7)$$

$$c_r = \frac{\Delta\sigma_3}{2} \sqrt{K_p} = \frac{38}{2} \times \sqrt{3,0} = 33 \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_3 = \frac{2M}{d_0} \left[\frac{1 - \sqrt{1 - \xi_a}}{1 - \xi_a} \right] = \frac{2 \times 450}{0,24} \left[\frac{1 - \sqrt{1 - 0,02}}{1 - 0,02} \right] = 38 \text{ kPa} \quad (9)$$

$$K_r = K_e + 200M^{0,16} = 725 + 200 \times 450^{0,16} = 1257 \quad (10)$$

| | |
|------------------|--|
| d | počáteční ekvivalentní průměr jedné buňky |
| M | sečnový modul deformace materiálu geobuňky |
| ξ_a | poměrné přetvoření pro stanovení sečnového modulu deformace materiálu geobuňky |
| K_p | koeficient pasivního zemního tlaku pro výplňový materiál geobuněk |
| $\Delta\sigma_3$ | zvýšení bočního napětí v prostoru geobuňky |
| c_r | soudržnost materiálu vrstvy zemní desky z geobuněk |
| E_i | počáteční tečnový Youngův modul pružnosti zemní desky z geobuněk |
| K | koeficient modulu pružnosti výplňového materiálu |
| n | exponent modulu pružnosti výplňového materiálu |
| P_a | atmosférický tlak |

Ve výpočtu byly na základě údajů poskytnutých zadavatelem [23] uvažovány geobuňky výšky 200 mm vyplněné šterkodrtí. Pracovní diagram a mechanické parametry vysokohustotního polyetylénu (HDPE; Tahová pevnost $T_{ult} = 15,9 \text{ MPa}$; $E = 450 \text{ MPa}$) pro výpočet zvýšených hodnot parametrů výplňového materiálu byl převzat z [20]. Kontakt mezi vrstvou geobuněk a okolním materiálem byl na základě výsledků laboratorních testů publikovaných v [24] modelován jako neredukovaný ($R_{inter} = 1,0$).

Zatížení

Zatížení železniční dopravou je podle zadání objednatele uvažováno jako lineární, hodnotou 80 kN/m pražce.

5. Fáze výpočtu

Numerický výpočet typu „Staged construction“ byl rozdělen do těchto fází simulujících postup provádění sanačních prací:

Tabulka 2 Fáze výstavby

| Název | | Popis fáze, poznámky | Typ |
|-------|----------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Initial phase | Výpočet původní napjatosti v lokalitě před zahájením sanačních prací. Hladina podzemní vody je uvažována v horní úrovni rulových eluvií | Initial phase Gravity loading |
| 2 | Nil step | Provedení plastického výpočtu bez změn v geometrii či zatížení pro úpravu nevyrovnaných sil v modelu z předešlé fáze (hodnota tolerated error snížena na 0,005) | Plastic |
| 3 | Stab. původní stav | Výpočet stupně stability původního nezatíženého násypu | Stability |
| 4 | Původní stav 25 kN/m | Výpočet napjatostně-deformačního stavu násypu přetíženého zatížením od dopravy 25 kN/m pražce | Plastic |
| 5 | Stab. původní stav 25 kN/m | Výpočet stupně stability násypu přetíženého zatížením od dopravy 25 kN/m pražce | Stability |
| 6 | Odkop figury násypu | Výpočet napjatostně-deformačního stavu násypu po odtěžení stávajícího tělesa železničního svršku a jeho podkladní vrstvy | Plastic |
| 7 | Gabiony + kotvy + zásyp | výpočet napjatostně-deformačního stavu násypu po vybudování opěrných gabionových stěn, jejich přikotvení a provedení jejich zásypů | Plastic |
| 8 | Deep soil mixing | Výpočet napjatostně-deformačního stavu násypu po vytryskání pilířů DSM a uložení geomříže přes jejich hlavy | Plastic |
| 9 | Finální úprava | Výpočet napjatostně-deformačního stavu násypu po zbudování podkladní vrstvy železničního svršku (včetně zabudované vrstvy geobuněk), kolejového lože a kolejových podpor | Plastic |
| 10 | Stab. finální úprava | Výpočet stupně stability nezatíženého násypu po provedení sanačních prací | Stability |
| 11* | 80 kN/m | Výpočet napjatostně-deformačního stavu násypu přetíženého zatížením od dopravy 80 kN/m pražce | Plastic |
| 12 | Stab. 80 kN/m | Výpočet stupně stability násypu přetíženého zatížením od dopravy 80 kN/m pražce | Stability |

**Deformace dosažené v modelu v čase před dokončením finálních sanačních úprav byly před spuštěním výpočtu fáze vynulovány.*

Jednotlivé fáze výpočtu na sebe navazují tak, že do následující fáze se přenáší vypočtená napjatost z fáze předešlé. Fáze typu „stability“ do této posloupnosti nespádají a jsou počítány paralelně.

Princip redukce smykové pevnosti ve fázích typu „stability“ spočívá v opakovaném redukování pevnostních parametrů zeminy až do okamžiku, kdy je dosaženo limitního stavu rovnováhy charakterizovaného ztrátou konvergence výpočtu. Míra stability je vyjádřena stupněm stability FS, který je definován jako nejvyšší hodnota, kterou můžeme redukovat pevnostní parametry zeminy tak, aby svah zůstal stabilní. Míra stability je tedy poměr mezi dosažitelnou smykovou pevností a minimální smykovou pevností na hranici udržení rovnováhy. V porovnání s konvenčními metodami je výpočet stability zemních konstrukcí pomocí právě popsané metody obecnější, protože nevyžaduje předem definovaný tvar smykové plochy [25].

Parametry všech částí modelu jsou vzhledem k požadavku posouzení druhého mezního stavu a stability uvažovány charakteristickými hodnotami.

6. Materiálové modely a vstupní parametry

Pro analýzu posuzované konstrukce byly využity následující materiálové modely:

- *Mohr – Coulomb model (MC)* – byl použit pro modelování geomateriálů podloží, tělesa násypu, kolejového lože a jeho podkladní vrstvy a pilířů DSM;

Tabulka 3 Hodnoty vstupních parametrů MC modelu

| Materiál | | Objemová tíha | | Soudržnost/ úhel vnitřního tření | | Deformační parametry | |
|----------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------|----------------------|--------|
| | | γ_{unsat} | γ_{sat} | c' | ϕ' | E' | ν' |
| | | [kN/m ³] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | [-] |
| 1 | Eluvium ruly písčitohlinité | 18,5 | 20 | 4 | 30 | 11,89 | 0,3 |
| 2 | Gabion – výplň kamenivem | 17,9 | 19,6 | 100 | 35 | 20 | 0,2 |
| 3 | Geobuňky – zemní deska | 17,5 | 19,0 | 33 | 30 | 80 | 0,3 |
| 4 | Hlinitý štěrk | 19,00 | 20,50 | 3 | 35 | 26 | 0,3 |
| 5 | Kolejové lože | 20,00 | 22,00 | 1 | 40 | 135 | 0,25 |
| 6 | Navážka v okolí | 17,00 | 18,00 | 4 | 30 | 8,9 | 0,3 |
| 7 | Násyp horní část | 17,50 | 19,00 | 1 | 35 | 80 | 0,25 |
| 8 | Násyp-horší | 17,50 | 19,00 | 2,8 | 30 | 3,13 | 0,28 |
| 9 | Rula-zvětralá | 28,00 | 28,00 | 5600 | 39,5 | 600 | 0,25 |
| 10 | Zlepšená zemina-DSM | 20 | 21 | 187 | 35 | 844 | 0,3 |
| 11 | Zásyp | 17,50 | 19,00 | 4 | 32 | 10,4 | 0,3 |

- *Elastic* – byl použit pro modelování výztužné geomříže uložené nad hlavami pilířů DSM (prvek typu geogrid), táhel zemních kotev (prvek typu Achor) a roznášecích úhelníků v jejich hlavách (prvek typu Plate), prahů (2D plošný prvek s modulem pružnosti $E = 13,32 \text{ E6 MPa}$) a sítí gabionových košů (prvek typu geogrid).

Tabulka 4 Hodnoty vstupních parametrů LE modelu konstrukčních prvků

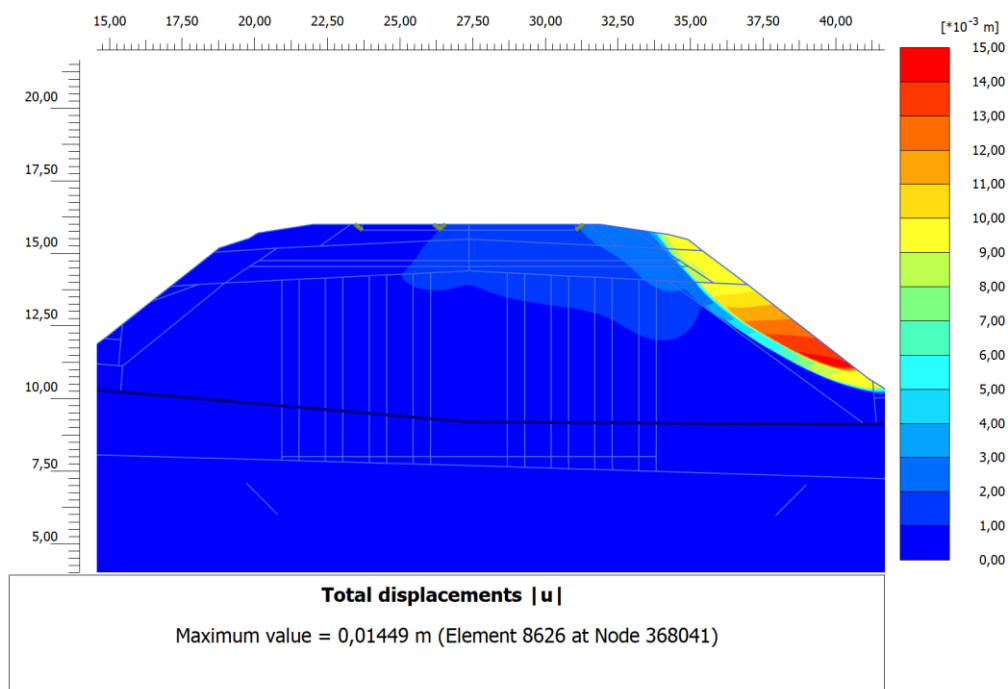
| | Materiál | Typ prvku | EA | EI | ν | L_{spacing} |
|---|-----------------------|------------------|---------|-----------------------|-------|----------------------|
| | | | [kN/m] | [kNm ² /m] | [-] | [m] |
| 1 | Převázka-L | plate | 4,2E6 | 140 | 0,28 | - |
| 2 | Roznášecí deska kotev | plate | 1,68E6 | 56 | 0,28 | - |
| 3 | Výztužná geomříž | geogrid | 12,86E3 | - | - | - |
| 4 | Síť gabionu | geogrid | 19E3 | - | - | - |
| 5 | Anchor – táhlo kotvy | anchor | 71,4E3 | - | - | 2,0 |
| 6 | Zálivka – kořen kotvy | embeded beam row | 11E6 | - | - | 2,0 |

7. Výsledky

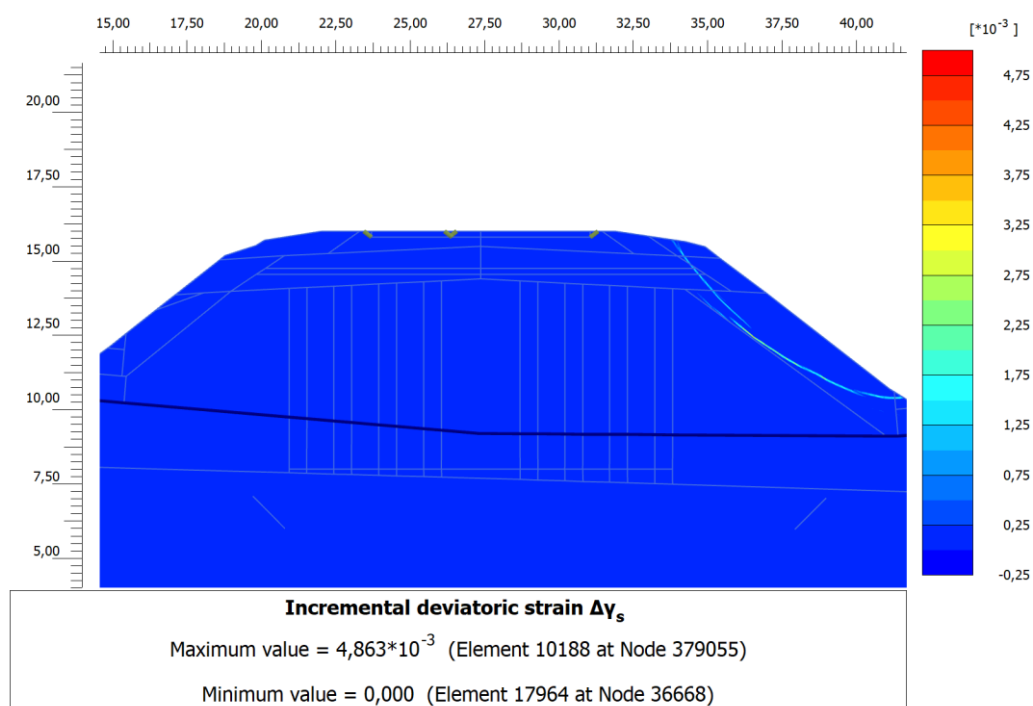
Stav před sanací

Při zatížení pouze vlastní tíhou zemin násypu je v současnosti stupeň stability $F = 1,09$. Zatížení od železniční dopravy 80 kN/m násyp není schopen v modelu přenést. Tato fakta potvrzují stav pozorovaný in-situ, kdy dochází ke stálým poruchám svahu.

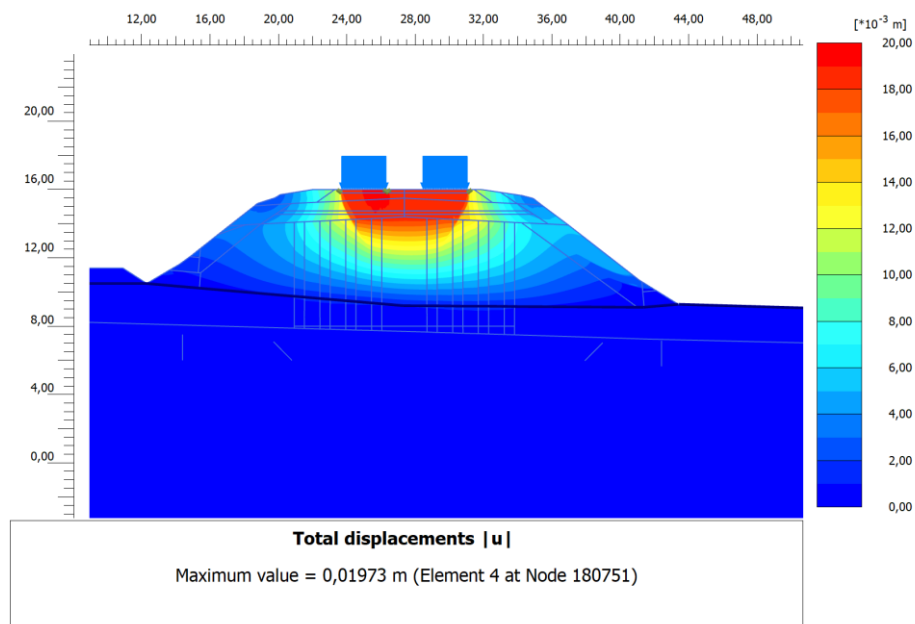
Byl proveden výpočet pro sníženou hodnotu zatížení od železniční dopravy 25 kN/m pražce (viz *Obrázek 4* a *Obrázek 5*). Poloha kritické smykové plochy viz (*Obrázek 2* a *Obrázek 3*).



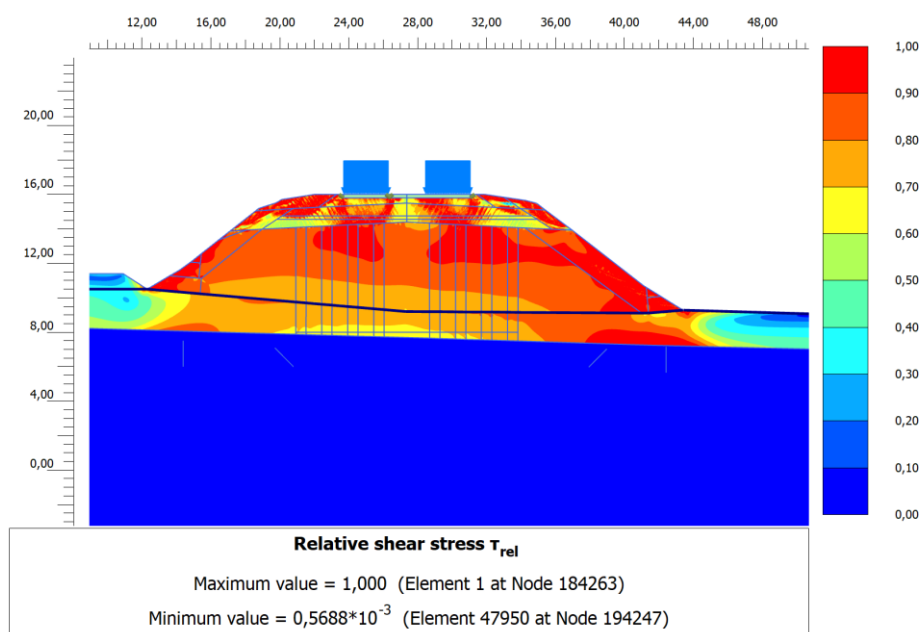
Obrázek 2 Poloha kritické smykové plochy (fáze 3 – stabilita původního tělesa nezatíženého dopravou) identifikovaná pomocí zobrazení izoploch celkových posunů



Obrázek 3 Poloha kritické smykové plochy (fáze 3 – stabilita původního tělesa nezatíženého dopravou) identifikovaná pomocí zobrazení deviatorického přetvoření



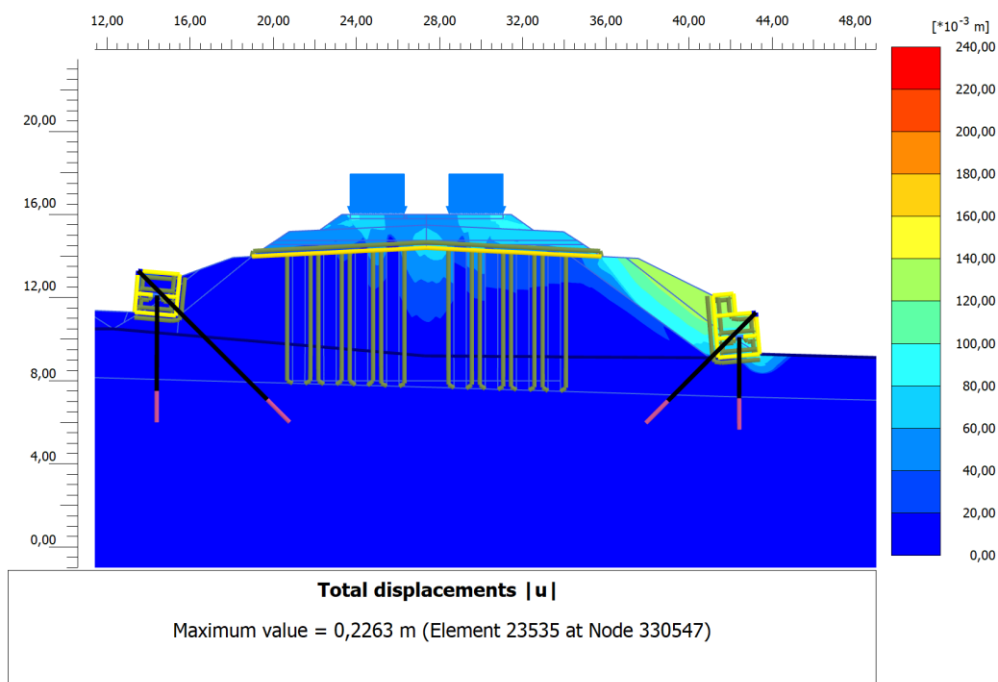
Obrázek 4 Izoplochy celkových posunů od zatížení dopravou 25 kN/m před provedením sanace (fáze 4)



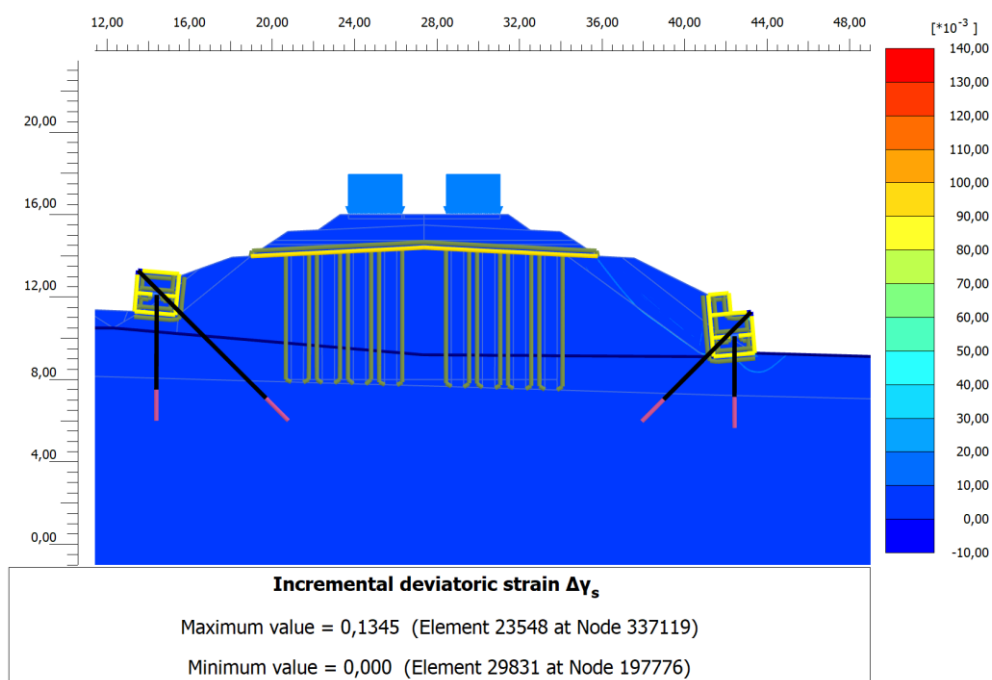
Obrázek 5 Izoplochy relativních hodnot čerpaných smykových pevností v násypu od zatížení dopravou 25 kN/m před provedením sanace (fáze 4)

Stav po provedení sanace

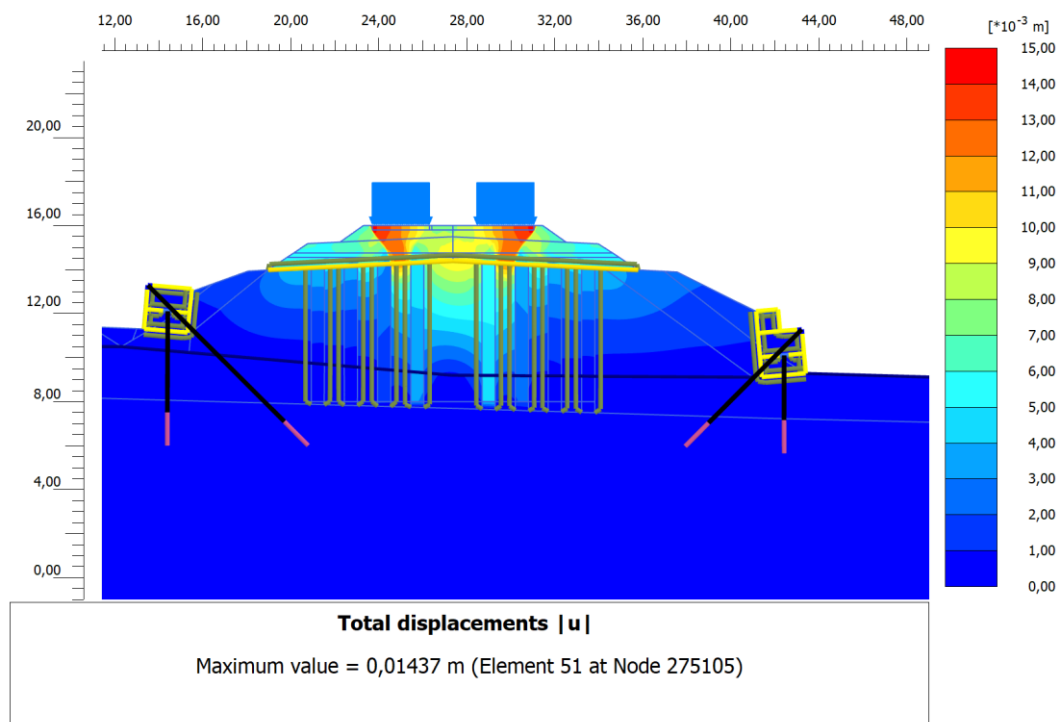
Provedením sanačních opatření dojde ke zvýšení stupně stability násypu zatíženého dopravou o uvažované intenzitě zatížení na hodnotu $F = 1,57$. Poloha kritické smykové plochy je lokalizována v pravé části násypu a prochází patou gabionové opěrné stěny (viz *Obrázek 6* a *Obrázek 7*).



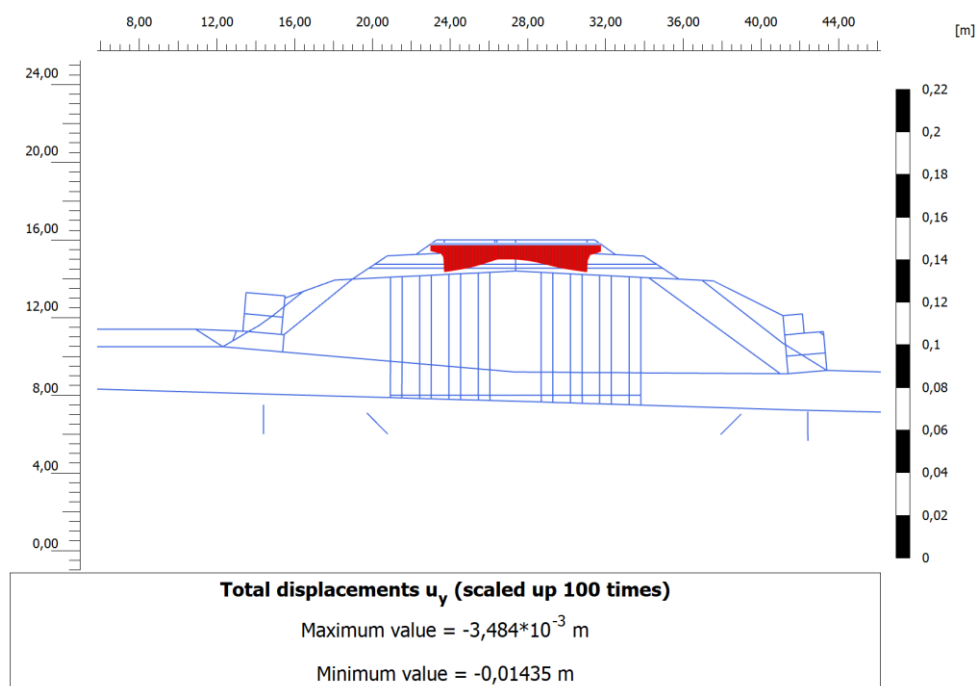
Obrázek 6 Poloha kritické smykové plochy (fáze 12 – stabilita sanovaného tělesa zatíženého zatížením o intenzitě 80 kN/m pražce) identifikovaná pomocí zobrazení celkových posunů



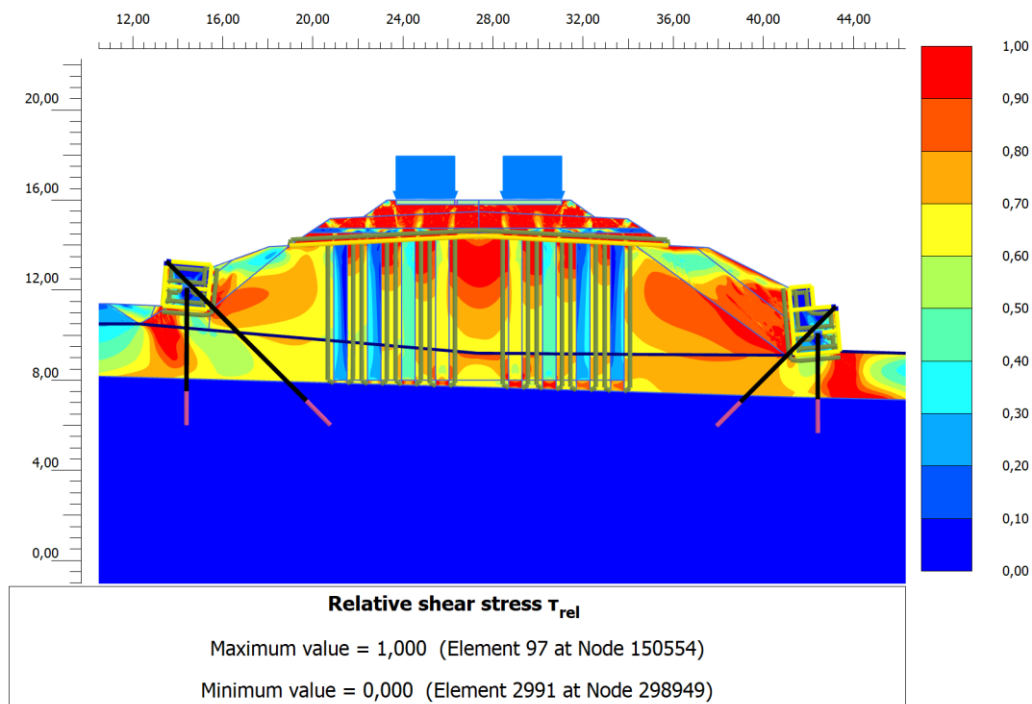
Obrázek 7 Poloha kritické smykové plochy (fáze 12 – stabilita sanovaného tělesa zatíženého zatížením o intenzitě 80 kN/m pražce) identifikovaná pomocí zobrazení deviatorického přetvoření



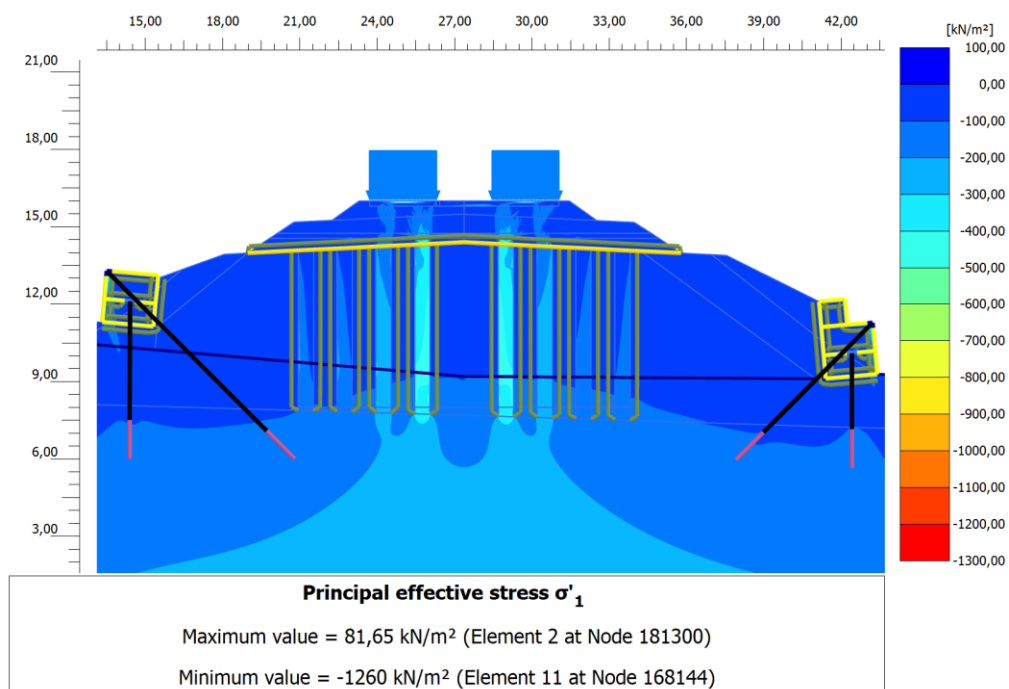
Obrázek 8 Izoplochy celkových posunů od zatížení dopravou 80 kN/m po provedení sanace (fáze 11)



Obrázek 9 Svislé posuny od zatížení dopravou 80 kN/m po provedení sanace v řezu vedeném spodní úrovní prážců (fáze 11)



Obrázek 10 Izoplochy relativních hodnot čerpaných smykových pevností v násypu od zatížení dopravou 80 kN/m po provedení sanace (fáze 11)



Obrázek 11 Izoplochy největších hlavních efektivních napětí v násypu od zatížení dopravou 80 kN/m po provedení sanace (fáze 11)

8. Závěrečné zhodnocení

Zatížení pouze vlastní tíhou zemin násypu před sanací odpovídá vypočtený stupeň stability $F = 1,09$. Tento fakt potvrzuje stav pozorovaný in-situ, kdy dochází ke stálým poruchám tělesa.

Provedením sanačních opatření dojde ke zvýšení stupně stability násypu zatíženého dopravou o uvažované intenzitě na hodnotu $F = 1,57$. Vypočtená celková deformace tělesa násypu od uvažovaného zatížení nepřekročí podle výpočtu hodnotu 14,37 mm (viz *Obrázek 8*).

Provedení sanačních opatření vede k redistribuci pole napětí v tělese násypu. Napětí se v sanovaném tělese koncentruje v pilířích DSM, které mají řádově vyšší tuhost než okolní materiál tvořící původní násyp. Největší podíl napětí je pak přenášen dvěma pilíři umístěnými nejbližší středu tělesa (viz *Obrázek 10* a *Obrázek 11*).

Výše popsané výsledky byly získány při uvažování uvedených vstupních hodnot parametrů nutných pro provedení výpočtu a za přijetí omezení vyplývajících z použitých konstitučních vztahů a nutných zjednodušení. Autoři zprávy si vyhrazují právo na úpravu všech výsledků uvedených v této zprávě v případě změny vstupních údajů výpočtu.