

STABILITA NÁSYPU PRI PORTÁLI TUNELA VIŠŇOVÉ

THE STABILITY OF THE EMBANKMENT NEXT TO THE TUNNEL PORTAL VIŠŇOVÉ

Peter Turček¹, Monika Súľovská²

ABSTRAKT

Centrálnu betonárku na výstavbu tunela Višňové, ale aj na prilahlé úseky diaľnice bolo potrebné umiestniť čo najbližšie k portálu. Zariadenie betonárky si vyžadovalo vytvoriť plošinu, ktorá sa ale zhotovila bez projektu na halde ťaženej horniny z tunela. Už počas sypania málo zhutneného násypu sa pri hrane plošiny začali vytvárať ťahové trhliny. Prevádzkovateľ betonárky si vyžiadaval posúdenie stability násypového telesa. V mieste násypu sa pôvodne nenachádzal prieskumný vrt, čo sťažovalo identifikovanie reálnych geologických pomerov podložia. Zostavilo sa niekoľko výpočtových modelov s rôznym umiestnením zariadení betonárky. Zároveň bolo odporúčané urobiť do dotknutého priestoru technické zákroky, zvyšujúce stabilitu celého telesa. V príspevku sú dokumentované skutočne realizované opatrenia, ako aj zákroky ktoré boli v rozpore s odporúčaniami. Betonárka je v súčasnosti v prevádzke, ale po komplexnom zhodnotení nie sú splnené podmienky stability svahu. V prípade poruchy násypu hrozí schopnosť prevádzkovať betonárku.

ABSTRACT

The central concrete plant for the construction of the Višňové tunnel, as well as the adjacent sections of the highway, had to be placed as close as possible to the portal. The concrete plant needed to create a platform that was made without a project on the dump of the excavated rock from the tunnel. As long as the embankment has been spilled, tensile cracks have begun at the edge of the platform. The concrete plant operator required an assessment of the stability of the embankment. At the site of the embankment initially there was no investigation borehole. This fact made it difficult to identify the real geological conditions of the subsoil. Several computational models have been developed with different locations of the concrete plant. At the same time, it was recommended to make technical interventions in the area concerned, increasing the stability of the whole soil body. In the paper are documented the realised actual actions, as well as the actions that were inconsistent with the recommendations. Concrete plant is currently in operation, but there is a risk of failure the slope stability and consequently the ability to operate the concrete plant.

1 Úvod

V priestore pred portálom tunela Višňové sa vytvoril násyp, na ktorom má byť po niekoľko rokov situovaná betonáreň. Jedná sa o jeden z rozhodujúcich pracovných uzlov, ktoré budú ovplyvňovať úspešnosť výstavby tunela a prilahlých diaľničných úsekov. Prehliadka lokality potvrdila vysoké riziko aktivizovania svahových deformácií. Priestor, na ktorom sa ukladal výrub z tunela a neskôr mal slúžiť ako plošina pre betonáreň, bol v archívnych materiáloch identifikovaný ako nestabilný. Potrebné bolo prehodnotiť stabilitu územia vo viacerých štádiách, napr. po vytvorení násypu a najmä po umiestnení zariadení betonárne vrátane skladu kameniva.

¹Prof. Ing. Peter Turček, PhD., Katedra geotechniky, SvF STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, tel.: 0905/829012; e-mail: peter.turcek@stuba.sk

²Ing. Monika Súľovská, PhD., Katedra geotechniky, SvF STU Bratislava, 810 05 Bratislava, tel.: 02/59274281; e-mail: monika.sulovska@stuba.sk

2 Geologické pomery lokality

Svahovitý terén má veľmi komplikovanú stavbu. Na svahoch až po hrebeň Malej Fatry je vyvinutý deluviálny komplex, zastúpený hlinami, ílmi, suťami, so samostatným zosuvným delúviom. Fluviálno-deluviálny komplex je tvorený premiešaným materiálom zo svahov a údolia. V údolných častiach dominuje fluviálny komplex zastúpený hlinami, ílmi, suťovým a štrkovým materiálom s polohami organických zemín. V podloží kvartérnych sedimentov sa nachádzajú paleogénne a mezozoické komplexy, pri povrchu terénu intenzívne zvetrané. Sú súčasťou flyšovej formácie; patrí sem ílovcové súvrstvie paleogénu a vápencovo-dolomitckej formácie stredného triasu križňanského príkrovu. Vápencovo-dolomitcké horniny južne od trasy diaľnice sú postihnuté blokovými deformáciami.

V trase diaľnice bolo na mnohých miestach identifikované zosuvné delúvium vo forme plošných zosuvov s aktívnymi formami. Pri všeobecnom hodnotení územia (Panek, 1999) bolo vytypované, že šmykové plochy v priestore diaľničného telesa siahajú do hĺbky 4 m, ojedinele aj hlbšie. Na podrobné stanovenie polohy a aktivity šmykových plôch boli zabudované inklinometre. Priebeh šmykových plôch bol interpretovaný z prieskumných vrtov, kopaných šachtíc, výsledkov geofyzikálnych prác a geologického mapovania. Hladina podzemnej vody bola prevzatá z meraní počas prieskumných prác. Pravidelným meraním hladiny podzemnej vody bolo zistené, že poloha HPV je silne ovplyvnená klimatickou situáciou. V období intenzívnych zrážok bolo pozorované výrazné stúpnutie HPV oproti zisteniu počas prieskumných prác.

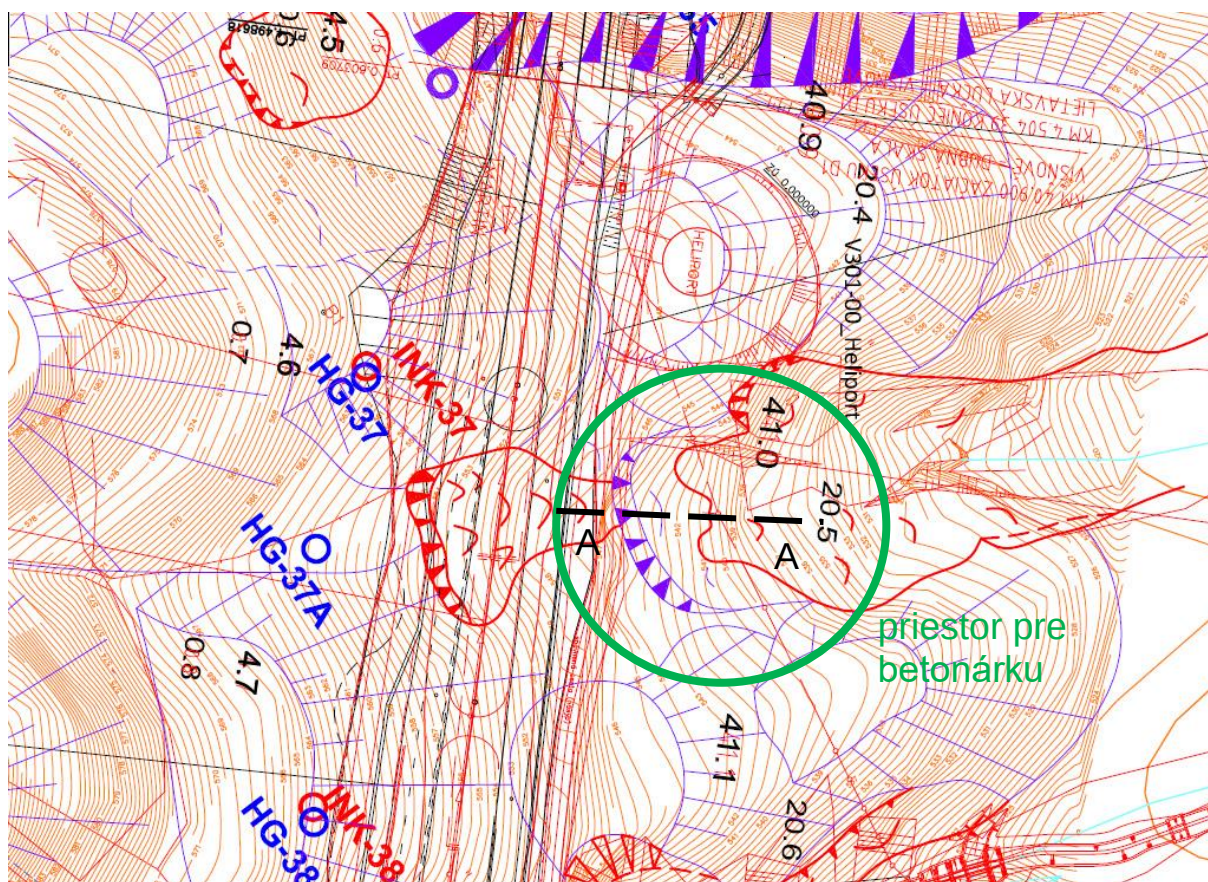
Súčasťou hodnotenia územia bolo aj zostavenie prognózy správania zemných telies (Panek, 1999). Ako príklad možno uviesť modelovú situáciu, podľa ktorej bolo vypočítané sadanie 14 m vysokého násypu $s = 0,48$ m (pri predpoklade, že v podloží sa nachádza 4,1 m hrubá stlačiteľná vrstva, ktorej $E_{oed} = 2,4$ MPa). Dosiahnutie 90 % konsolidácie ($U = 90$ %) bolo pre túto situáciu vyrátané na 5,8 roka.

Priamo v priestore násypu pre betonáreň sa nenachádzali prieskumné vrty. V blízko situovanom vrte sa v hĺbkach 3,0 – 3,2 m a 4,0 – 5,2 m pod terénom nachádzal íl tuhej až mäkkej konzistencie; podobne vo vrte SD-6 bola hĺbka 5,5 – 5,65 m pod terénom tvorená mäkkým až kašovitým ílom.

Južne nad priestorom plošiny pre budúcu betonárku vo svahu nad budúcou diaľnicou sa nachádza inklinometrický vrt INK 37, siahajúci do hĺbky 30,5 m, ktorý bol zabudovaný 30. 04. 2015. Podľa urobených prieskumov bol situovaný do potenciálneho zosuvu (pozri obr. 1). Základné meranie v inklinometri sa uskutočnilo 24. 05. 2015. Po 4 cykloch merania (pre potreby posúdenia stability betonárky naposledy 19. 09. 2015), t.j. po 4,5 mesiaci bola zistená šmyková plocha v hĺbke 3,0 – 3,2 m s veľkosťou pohybu 4,23 mm s tým, že označená vrstva tvorí zosuvné delúvium. Neskoršie merania potvrdili v podloží pomalé pretváranie.

Smerom k tunelovému portálu je podobne vo svahu južne nad trasou diaľnice umiestnený do zosuvu inklinometrický vrt INK 38, siahajúci do hĺbky 32 m, zabudovaný 25. 04. 2015 so základným meraním 24. 05. 2015. Podložie sa po celej hĺbke javilo ako nestabilné s rovnomerným kumulatívnym pohybom 3 mm (podľa merania za obdobie 4 mesiacov), pričom v povrchovej vrstve hrubej 2 m sa intenzita pohybu zvýšila na 5 mm.

Vzorka deluviálneho ílu strednej plasticity bola podrobená šmykovej skúške, pri ktorej sa zistilo $\phi' = 18,4^\circ$ a $c' = 20,8$ kPa. Podobne vzorka deluviálnej sute vykázala šmykovú pevnosť $\phi' = 20,3^\circ$ a $c' = 38$ kPa.



Obr. 1 Umiestnenie betonárky do svahu
Fig. 1 Placing the concrete plant on the bank

Už vo fáze inžinierskogeologického prieskumu sa vo vybratých úsekoch posudzovala stabilita dotknutých svahov ešte pred ovplyvnením budúcou diaľnicou. V km 41,175 trasy bola počítaná Pettersonovou metódou stabilita pôvodného terénu (Panek, 1999) so zadáním šmykovej pevnosti zosuvného delúvia $\phi' = 17^\circ$ a $c' = 0$ kPa. Vyrátaný stupeň stability bol $FS = 1,0453$. Po pridání násypového telesa diaľnice a zadání prieskumom zistenej HPV klesla stabilita na hodnotu $FS = 0,8727$. Zohľadnením účinného odvodnenia sa stabilita svahu vo výpočte upravila na hodnotu $FS = 1,0704$. Tieto výsledky potvrdzujú nedostatočne stabilné územie, príp. hodnotia územie ako také, ktorého stabilita je veľmi nízka.

V roku 2015 sa na dodatočné vyžiadanie uskutočnil v priestore budúcej betonárky inžinierskogeologický prieskum (Jezný, 2015). V rámci tohto prieskumu sa realizovali 3 penetračné sondy a 1 inklinometrický vrt. Do hĺbky 8,2 m od upravenej pracovnej plošiny siahali navážky z tunela (prevažne ílovce), ktoré mali charakter štrkovej sypaniny a boli zaradené do triedy G4. Podložie bolo od úrovne pôvodného terénu do hĺbky 9,8 m tvorené kvartérnymi deluviálnymi ílmi vysokej plasticity spočiatku pevnej, neskôr mäkkej konzistencie. V zóne 9,8 až 10,6 m sa nachádzali zvetrané paleogénne ílovce charakteru ílu s veľmi vysokou plasticitou (F8), hlbšie sa striedal pieskovec (R3) s ílovcom (R4). Najvýznamnejšou charakteristikou pre potreby posúdenia stability svahu sú experimentálne získané hodnoty šmykovej pevnosti, ktoré sú zhrnuté v tab. 1.

Tab. 1 Výsledky šmykových skúšok z vrtu IVV-1
Tab. 1 Results of the shear tests from borehole IVV-1

hĺbka (m)	φ' (°)	c' (kPa)	φ_r (°)	c_r (kPa)
8,8 – 9,0	17,2	2,0	12,6	0
9,3 – 9,6	16,8	9,0	12,1	5
9,8 – 10,0	21,4	15,0	21,0	6
10,0 – 10,3	13,4	9,0	11,3	1

V hĺbkovej úrovni 9,8 – 10,0 m pod terénom bola stanovená tuhá až pevná konzistencia ílovitých zemín. Uvedené údaje čiastočne zlepšili poznatky o vlastnostiach podložia. Slúžili tiež ako podklad ku kontrolnému posúdeniu stability svahu. Vzhľadom k vývoju svahových deformácií na lokalite v minulosti bolo rozhodnuté, že do výpočtov budú zadávané reziduálne parametre šmykovej pevnosti.

3 Budovanie násypu

Pri západnom portáli tunela Višňové bolo potrebné zhotoviť zariadenie staveniska. Voľné priestranstvo severným a západným smerom sa postupne vyplnilo ťaženým materiálom z tunela. Na nevyužitom priestore medzi heliportom a zariadením staveniska bolo rozhodnuté umiestniť centrum na výrobu betónu. Už počas navádzania sypaniny sa na okraji násypu začali vytvárať zátrhy. Dodatočne (podľa znalostí autorov článku bez projektu) bol do telesa násypu zhotovený drenážny systém, zachytávajúci priesaky zo zárezu od južnej strany – budúcej diaľnice, vyústený na severnej strane do vodou značne nasiaknutého mierneho svahu pod telesom násypu. Účinnosť drenážneho systému nebola zisťovaná.



Obr. 2 Drenážny systém budovaného násypového telesa
Fig. 2 Drainage system of the build embankment

4 Stabilita svahu

Oprávnenosť umiestnenia betonárky mal potvrdiť výpočet. Vytvorenie výpočtového modelu na stanovenie stability svahu bolo podmienené zohľadnením dostupných podkladov. Stabilita plošiny, na ktorej sa neskôr inštalovala betonárka, bola posudzovaná v dvoch vývojových etapách v reze A-A (Obr. 1):

- stabilita pôvodného svahu pred vytvorením plošiny;
- stabilita so zhotovenou plošinou a s prítlažením zariadeniami betonárky.

Na výpočet stability svahu bol použitý program GEO5, modul „Stabilita svahu“. Okrem samotnej stability svahu sa navrhli aj sanačné opatrenia, zabezpečujúce dlhodobú stabilitu od prítlačenia objektmi betonárky. V tejto poslednej fáze bol z programu GEO5 aplikovaný výpočtový modul „Posouzení pažíci konstrukce“.

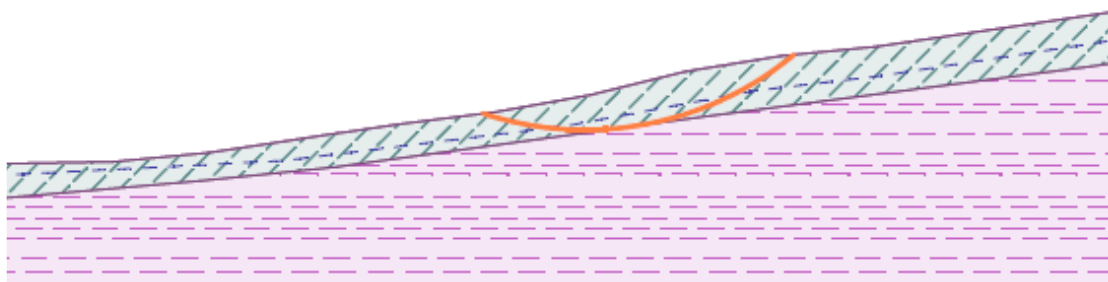
4.1 Stabilita svahu pred zhotovením násypu

Na výpočet stability svahu sa zostavil model podložia s vlastnosťami hornín, ktoré sú zhrnuté v tab. 2. Hrúbky jednotlivých vrstiev vyplynuli z poskytnutých geologických profilov.

Tab. 2 Vlastnosti podložia prírodného svahu
Tab. 2 The subsoil properties of natural bank

hornina	φ' (°)	c' (kPa)	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
fluviálno-deluviálny íl	13	2	17,0	17,5
rozložený ílovec	23	16	18,0	18,5
násyp	32	5	19,5	20,0

Modelovaných bolo viacero okrajových podmienok. Aby sa získala korektná predstava o stabilite svahu pred zhotovením násypu, zadané boli charakteristické hodnoty vlastností hornín v podloží (výpočet podľa tzv. stupňa bezpečnosti). Pri posúdení stability svahu Bishopovou metódou (ktorá sa považuje za najkomplexnejšiu) vyšiel stupeň stability bez úpravy hladiny podzemnej vody $F_s = 1,3$. Z hľadiska dlhodobých požiadaviek je táto hodnota menšia ako vyžadovaná stabilita $F_s = 1,5$. Napriek tomu bolo možné hodnotiť svah v prírodných podmienkach ako stabilný. Najnepriaznivejšia šmyková plocha zasahujúca do svahu v prírodných podmienkach je znázornená na obr. 3.

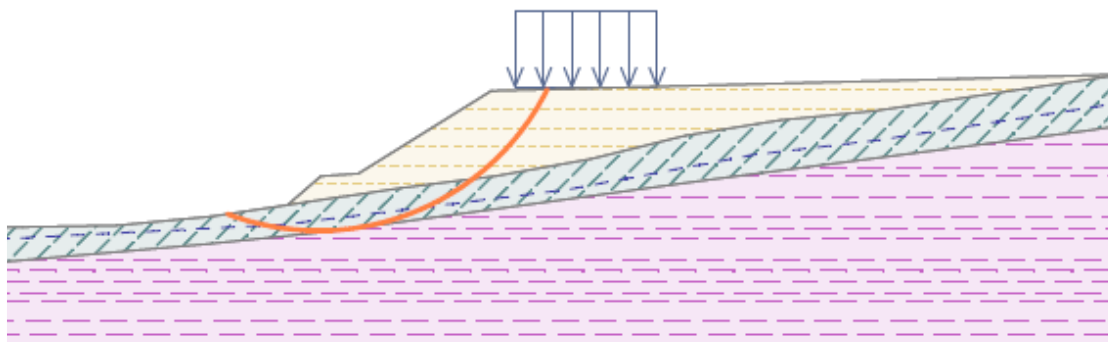


Obr. 3 Kritická šmyková plocha prírodného svahu
Fig. 3 Critical sliding plane of the natural slope

4.2 Stabilita svahu po zhotovení násypu

Ďalším krokom bolo zohľadnenie v čase posudzovania už takmer hotového násypu na stabilitu územia. Simulovaná bola situácia dokončeného násypu s prítlažením na povrchu objektmi betonárky. Údaje o rozmiestnení jednotlivých zariadení, ich plošných rozmeroch a intenzite prítlačenia vrátane skládky kameniva poskytol prevádzkovateľ betonárky. Vlastnosti násypového telesa boli akceptované z výsledkov doplnkového prieskumu.

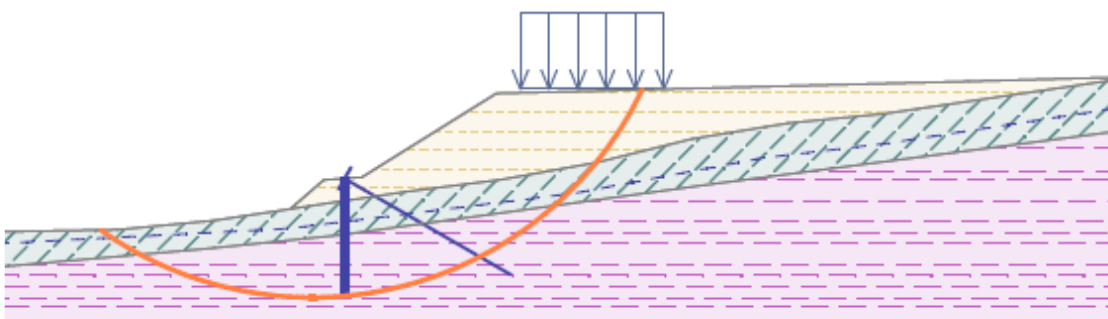
Zhotovením násypu pre betonárku a zaťažením skladom kameniva bez ovplyvnenia vlastností hornín v podloží sa svah ukázal ako nestabilný: $F_s = 0,80 < 1,50$ (pozri obr. 4).



Obr. 4 Kritická šmyková plocha po zhotovení násypu a zaťažení betonárkou

Fig. 4 Critical sliding plane after making the embankment and loaded by concrete plant

Získaný nepriaznivý výsledok inicioval hľadanie možnosti zvýšiť stabilitu svahu technickými opatreniami. Paralelne s návrhom stabilizačných zákrokov bola posudzovaná stabilita dotknutého svahu po prípadnej aplikácii navrhnutých zákrokov. Ukázalo sa, že veľmi často používaná preventívna sanácia odvodnením subhorizontálnymi vrtmi nebola postačujúca ani v prípade dobrej účinnosti drenážneho systému. Ďalším návrhom bolo priťaženie päty svahu prísypom z výrubu tunela. Ani táto myšlienka nebola úspešná jednak z dôvodu nedostatočnej účinnosti, jednak kvôli potrebnému neprimerane veľkému objemu horniny, čo by zasahovalo mimo vykúpený záber pozemkov. Ako jediné vhodné opatrenie sa ukázalo vytvorenie vertikálnej bariéry z veľkopriemerových vŕtaných pilót v blízkosti päty svahu, ktorá by zachytávala nevyrovnané horizontálne sily.

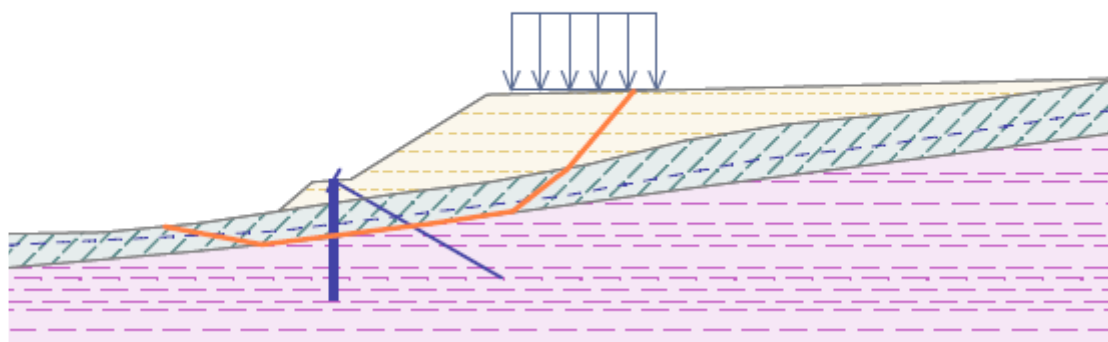


Obr. 5 Kritická šmyková plocha Bishopovou metódou pre násyp podopretý kotvenou pilóťovou stenou

Fig. 5 Critical sliding plane by Bishop method after supporting of embankment by pile wall with anchoring

Na zvýšenie stability bola do priestoru poľnej cesty v násype vložená pilóťová stena: vŕtané železobetónové pilóty $\varnothing 900$ mm, vzdialené medzi sebou po 1,3 m. Rovnomerné namáhanie pilót zabezpečí stužujúci železobetónový prah umiestnený do úrovne hláv pilót a doplnený lanovými kotvami dlhými 20 m, vzdialenými medzi sebou po 1,3 m, odklonenými od vodorovného smeru $\alpha = 30^\circ$ a predopnutými ťahovými silami 400 kN. Stupeň bezpečnosti tohto systému podľa Bishopovej metódy stabilitného výpočtu stúpol na hodnotu $F_s = 1,33$ (Obr. 5). Pretože vo vrstevnatom prostredí sa nemusí vytvoriť kruhová šmyková plocha, ale polygonálna, ktorá kopíruje rozhrania pevnejších a mäkkších vrstiev, bola prepočítaná aj stabilita Sarmovou metódou. Najnepriaznivejší stupeň bezpečnosti sa v tomto prípade

dosiahol $F_s = 1,47$ (Obr. 6). Aj keď výsledné riešenia nedosiahli hodnotu $F_s = 1,5$, ktorá sa v teórii stupňa bezpečnosti obvykle vyžaduje na splnenie dlhodobej stability, takto zabezpečený svah možno považovať za stabilný.



Obr. 6 Kritická šmyková plocha Sarmovou metódou pre násyp podopretý kotvenou pilótovej stenou

Fig. 6 Critical sliding plane by Sarma method after supporting of embankment by pile wall with anchoring

Vzhľadom k vyžadovanej vysokej spoľahlivosti preukázania stability svahu sa aplikovali na predmetnom svahu ešte dve metódy preukázania stability. V prvej z nich tvorili výstupy z výpočtového programu vstupy do nadväzujúceho modulu „Posouzení stabilizační piloty“. V tomto prípade sa musel aplikovať zvolený návrhový postup podľa Eurokódu 7. Použitý bol návrhový postup 2 s redukciami zaťaženia a odporu. Predchádzajúce okrajové podmienky boli doplnené o dĺžku pilót 12,0 m a hĺbku šmykovej plochy 6,0 m pod hlavami pilót. V rámci simulovania viacerých variantných riešení sa zjednotili dĺžky kotvy: voľná dĺžka 10,0 m a dĺžka koreňa 10,0 m. Vzďalenosť medzi kotvami ostala 1,3 m, odklon od vodorovného smeru 30° a napokon aj predopnutie kotiev ostalo 400 kN. Výsledkom bola max. deformácia pilótovej steny 3,9 mm v mieste šmykovej plochy a max. ohybový moment 350,86 kNm v hĺbke 3,6 m pod hlavami pilót. Uvažovalo sa s betónom pilóty C 20/25; na prenesenie vnútorných síl a momentov do pilóty bolo programom potvrdené vyhovujúce vystuženie: 12 Ø 20 mm.

Poslednou metódou preukázania vhodného zabezpečenia nestabilného svahu bolo využitie modulu „Posouzení pažicí konstrukce“. Aplikoval sa návrhový postup 2 (podľa Eurokódu 7) s redukciami zaťaženia a odporu. Uvažovalo sa s výpočtovou schémou, ktorá predpokladala oddelenie zeminy od pilótovej steny aktivovaním zosuvu, t.j. prerušenie spojitého kontaktu s pilótovej stenou. Úloha bola potom posudzovaná ako keby sa jednalo o „paženie stavebnej jamy“. Rozmery pilótovej steny a kotiev ostali bez zmeny. Z výpočtu vyšla max. deformácia pilótovej steny 6,7 mm v priestore blízko predpokladanej šmykovej plochy, maximálny ohybový moment by mal dosiahnuť 702,9 kNm. Z dôvodu iného výpočtového modelu vznikli rozdiely oproti modulu „Posouzení stabilizační piloty“; boli však prijateľné. Komplexné riešenie kotvenej pilótovej steny vyhovelo vo všetkých vyžadovaných posúdeniach.

Všetky vyššie uvedené úvahy o stabilizovaní násypu s betonárkou boli viazané na vopred stanovené rozmiestnenie objektov betonárky. Ako sa neskôr ukázalo, našlo sa vhodné riešenie v podobe posunutia celej výroby betónu bližšie k portálu tunela o niekoľko desiatok metrov a iného priestorového usporiadania jednotlivých zariadení (najmä odsunutia najväčších zaťažení od okraja násypu). Betonárka sa premiestnila do priestoru, kde násyp nad pôvodným terénom dosahoval pri hrane výšku približne 2 m oproti 6 – 7 m podľa pôvodného umiestnenia.

5 Záver

Prevádzkovateľ betonárky nerealizoval odporúčané opatrenia; dokonca pod objekty betonárky vytvoril dodatočný násyp bez overenia jeho pôsobenia, dosahujúci až 2 m (Obr. 7). Po dvoch rokoch prevádzky nie sú na násype badateľné nové poruchy vďaka posunutiu celej výroby betónu a preskupeniu ťažkých objektov ďalej od okraja svahu. Napriek tomu treba považovať vytvorenie dodatočného násypu bez preukázania dostatočnej stability celého systému za značne rizikové.



Obr. 7 Konečná poloha betonárky s dodatočným násypom
Fig. 7 The end position of concrete plant with additional embankment

Literatúra

- Panek, M.: D1 Višňové – Dubná Skala. Záverečná správa doplnujúceho inžinierskogeologického prieskumu. GEOstatik, s.r.o. Žilina, 03/1999.
- Jezný, M.: Višňové – Geologická sonda pre posúdenie stability územia pre betonárku. Záverečná správa z inžinierskogeologického prieskumu. Progeo, s.r.o. Žilina, 2015.

PodĎakovanie

Príspevok je jedným z výstupov projektu grantovej agentúry VEGA č. 1/0882/16 „Okrajové podmienky ovplyvňujúce medzné stavy geotechnických konštrukcií“.