

DEFINITÍVNE ÚPRAVY PORTÁLOV TUNELOV SVRČINOVEC A POĽANA TVORENÉ VYSTUŽENÝMI HORNINOVÝMI KONŠTRUKCIAMI S DRÔTOKAMENNÝM LÍCOM

DEFINITIVE ARRANGEMENT OF THE SVRČINOVEC AND POĽANA TUNNEL PORTALS MADE UP OF REINFORCED SOIL WITH GABION FACING

Matej Gužík¹, Jaroslav Adamec²

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá návrhom a realizáciou vystužených oporných múrov s drôtokamenným lícovým opevnením tvoriacich definitívne úpravy portálových častí tunelov Svrčinovec a Poľana na stavbe Diaľnica D3 Svrčinovec – Skalité. Príspevok sa bližšie venuje detailnému návrhu západného portálu tunela Svrčinovec ako aj zrealizovanému technickému riešeniu, ktoré sa v našich podmienkach v poslednom období čoraz častejšie uplatňuje pri výstavbe oporných múrov.

Kľúčové slová

tunel, portál, gabión, stavebná jama, vystužený zásyp

Abstract

The article describes design and construction of reinforced soil structures with gabion facing forming definitive portals of tunnels Svrčinovec and Poľana on Motorway D3 Svrčinovec – Skalité. The article focuses in detail on design of west portal of tunnel Svrčinovec and also on construction stage of solution, which in at present often used for retaining walls applications in the region.

Key words

Tunnel, Portal, Gabion, Excavation pit, Reinforced backfill

1 Úvod

Rozmach používania gabionových konštrukcií v dopravnom staviteľstve v súčasnosti súvisí s rozvojom výroby oceľových sietí, ktoré sa používajú na výrobu gabionov a nesporných výhod, ktoré tieto drôtokamenné konštrukcie prinášajú. V porovnaní s tradičnými technológiami, ktoré sa používajú pri budovaní trvalých konštrukcií, gabionové konštrukcie prinášajú množstvo výhod, medzi ktoré patria hlavne priepustnosť, suchý proces výstavby, bezúdržbovosť, ekonomická efektívnosť a v neposlednom rade estetickosť.

Gabionové konštrukcie nahrádzajú tradičné masívne gravitačné železobetónové konštrukcie. Môžu byť budované ako gravitačné gabionové oporné múry, alebo stále častejšie používané vystužené horninové konštrukcie s gabionovým lícom – tzv. Terramesh systém. V prípade, že sa jedná o komplexnejšie konštrukcie, kde celkovú stabilitu zabezpečujú rámové železobetónové konštrukcie stabilizované hĺbkovými prvkami zakladania, gabionové konštrukcie väčšinou plnia iba estetickú funkciu gabionového obkladu.

¹Ing. Matej Gužík, PhD., Basler & Hofmann Slovakia s.r.o, Panenská 13, 811 03 Bratislava,
e-mail: matej.guzik@baslerhofmann.sk

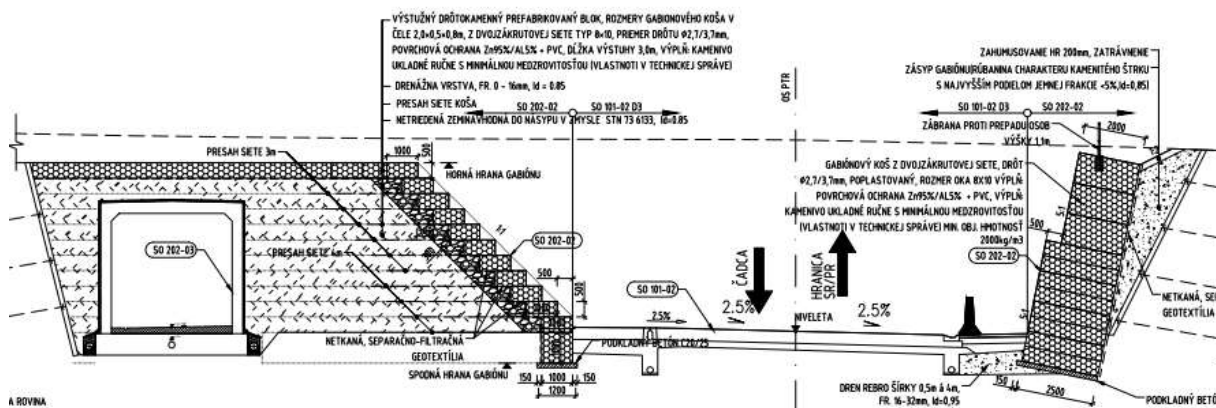
²Ing. Jaroslav Adamec, MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s.r.o, Kaplinské Pole 2859/24, 905 01 Senica,
e-mail: jaroslav.adamec@maccaferri.sk

Jednými z mnohých takto realizovaných projektov patrí aj úsek diaľnice D3 Svrčinovec - Skalité. Zhotoviteľom predmetného úseku diaľnice je združenie spoločností Doprastav, a. s., Metrostav SK a. s., Váhostav – SK, a. s. a STRABAG, s. r. o. Hlavným projektantom je spoločnosť DOPRAVOPROJEKT, a. s., hlavným riešiteľom tunelových objektov a portálových častí spoločnosť Basler & Hofmann Slovakia s. r. o.

- systém vystuženej horninovej konštrukcie so zeleným lícom v sklone 65° Green Terramesh, aplikovaných na strmých svahoch diaľnice D3 a prístupových komunikáciách k diaľnici,
- oporné múry zo systému vystuženej horninovej konštrukcie s betónovým lícom MACRES v sklone 90° v križovatke Svrčinovec
- gabionové gravitačné múry v trase diaľnice. Predmetom riešenia boli aj portálové svahy tunelov Poľana a Svrčinovec.

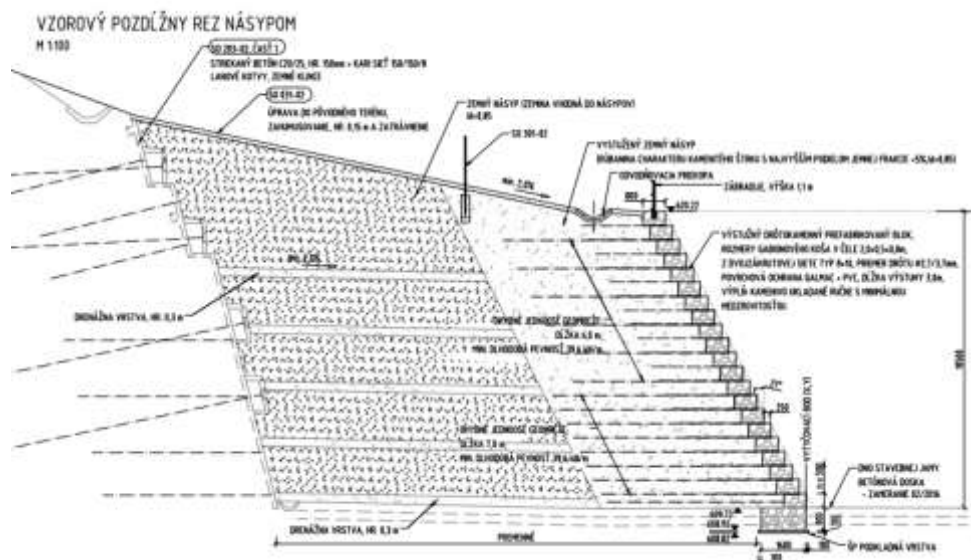
3 Portály tunelov Svrčinovec a Poľana

Stavba tunelov Svrčinovec a Poľana sa realizuje v polovičnom profile. V pravom jazdnom páse diaľnice sa budujú oba tunely kategórie T – 8,0 s dočasnou obojsmernou premávkou. V ľavom jazdnom páse diaľnice sú vybudované únikové štôlnie, ktoré s priechodnými priečnymi prepojeniami medzi tunelovou rúrou a únikovou chodbou, slúžia ako chránené únikové cesty. Územie pred portálmi, a v trase tunela má charakter poľnohospodárskej pôdy. Nad tunelom ani v blízkosti portálov sa nenachádza zástavba.



Obr. 1 Vzorový priečny rez východného portálu tunela Svrčinovec

Konečné terénne úpravy portálov oboch tunelov sú riešené kombináciou gabionového zárubného gravitačného múru a vystuženej horninovej zemnej konštrukcie s gabionovým lícom – systém Terramesh, pri tuneli Poľana nadväzuje na východný portál zárubný kotvený múr s gabionovým obkladom šírky 0,5 m.



Obr. 2 Východný portál tunela Poľana, rez vystuženou konštrukciou Terramesh

Gravitačný múr je tvorený gabionovými košmi zo šesťuholníkovej dvojzákrutovej ocelevej siete typu 8 x 10, s priemerom drôtu 2,7 mm. Gabionový obklad vzhľadom na menšiu šírku a frakciu kameňa je tvorený sieťou menšieho typu 6 x 8, s priemerom drôtu 2,7 mm. Vzhľadom na návrhovú životnosť konštrukcie na 100 rokov pri diaľničných stavbách v zmysle požiadaviek normy STN EN 10223-3, ako aj požiadaviek TKP 31, je oceľový drôt chránený povrchovou úpravou Galmac (Zn + 5 % Al) a prídavnou polymérnou ochranou tvorenou z PVC. Výška gabionového múru dosahuje 11 m a šírku 3,5 m v jeho základni.



Obr. 3 Pohľad na východný portál tunela Svrčinovec

Portálové časti tunelov kolmé na os diaľnice sú tvorené vystužnými blokmi Terramesh. Výška oporných múrov dosahuje maximálne 12 m, sklon líca ja zväčša 65 stupňov. Systém Terramesh je tvorený gabionovým košom v jeho líci v kombinácii s horizontálnou výstužnou

sieťou dĺžky 3,0 m dlhodobej ťahovej pevnosti 39,8 kN/m, ktorý v sebe spája výstužnú funkciu a zároveň zabezpečuje aj stabilitu čela svahu. Gabiónové čelo a horizontálna výstuž sú spojené už vo výrobnom procese a tvoria ucelenú časť systému. Lícové prvky sú výšky 0,5 m a šírky 0,8 m. Vonkajšia stabilita vystuženého zásypu je zabezpečená pomocou jednoosých ohybných geomreží PARAGRID 100/05 dlhodobej pevnosti 68,3 kN/m ukladaných vo vrstvách premenlivej dĺžky podľa statického výpočtu. Geomreže sú lícovým prefabrikátom spojené pomocou presahu, ktorého dĺžka je 3 m.

Blok Terramesh je vyrobený podobne ako aj gravitačné gabionové múry zo šesťuholníkovej dvojzákrutovej ocelej siete typu 8 x 10, s priemerom drôtu 2,7 mm, vzhľadom na návrhovú životnosť konštrukcie na 100 rokov pri diaľničných stavbách v zmysle požiadaviek normy STN EN 10223-3, ako aj požiadaviek TKP 31, chránený povrchovou úpravou drôtu Galmac (Zn + 5 % Al) a prídavnou polymérnou ochranou tvorenou z PVC. Keďže blok plní súčasne funkciu lícového prvku aj výstuže, umožňuje dosahovať vysokú efektívnosť pri budovaní konštrukcie a skrátiť tak dobu výstavby v porovnaní s podobnými konvenčnými systémami vystužených horninových konštrukcií, pri zachovaní požadovaných funkčných parametrov tuhosti líca konštrukcie.

4 Návrh západného portálu tunela Svrčinovec

Tunel Svrčinovec je situovaný v úseku trasy v km 22,3 - 22,7, v pravých svahoch Čierňanky, severne od obce Svrčinovec, cez široký chrbát v lokalite Kolibiská. Na základe geomorfologického členenia Slovenska patrí územie do oblasti Západných Beskýd. Celé územie je súčasťou geomorfologického celku – Jablunkovské medzihorie. V záujmovom území západného portálu tunela Svrčinovec boli na zisťovanie kvality horninového materiálu realizované prieskumné jadrové vrty TS-1 až TS-9, hĺbky 15 - 47 m. Tunel bude razený vo flyšovom paleogénnom komplexe tvorenom súvrstviami s rôznym zastúpením ílovcov, prachovcov a pieskovcov. Podľa výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu boli v oblasti portálov interpretované svahové deformácie charakteru plošných, potenciálnych zosuvov, v spodnej časti aktívnych, z dôvodu ťažby horniny z lomu na úpätí svahu. Podľa výsledkov geofyzikálnych meraní je v profile interpretovaná zóna „skalného“ podložia v rozsahu 8,5 - 14 m PT. Zóna nad touto úrovňou je charakterizovaná porušenými, zvetranými horninami. Z hľadiska stability zárezového svahu portálu sú z meraní drobnej tektoniky interpretované systémy diskontinuit so sklonom 50 - 60° v smere sklonu zárezu.

Podzemné vody sú charakterizované výraznými anizotropnými hydraulickými vlastnosťami. Anizotropia vyplýva z vrstvomitého charakteru flyšových súvrstiev, kde kolmo na vrstvy je priepustnosť minimalizovaná. Výnimku tvoria súvrstvia tvorené prevažne pieskovecami, bez ílovcových prevrstvení. Druhým faktorom je spôsob uloženia vrstvomých celkov. V pomerne plocho uloženom súvrství možno očakávať vo vertikálnom smere nižšiu priepustnosť. Flyšové súvrstvia sa vyznačujú veľmi malou puklinovou priepustnosťou a malým zvodnením. Litologický charakter flyšových jednotiek nevytvára zvlášť priaznivé podmienky na väčšiu akumuláciu a obeh podzemných vôd. Z tohto pohľadu je významnejšia pripovrchové pásmo rozvoľnenia a zvetraného plášťa. V uvedených podmienkach cca 20 – 40 m.

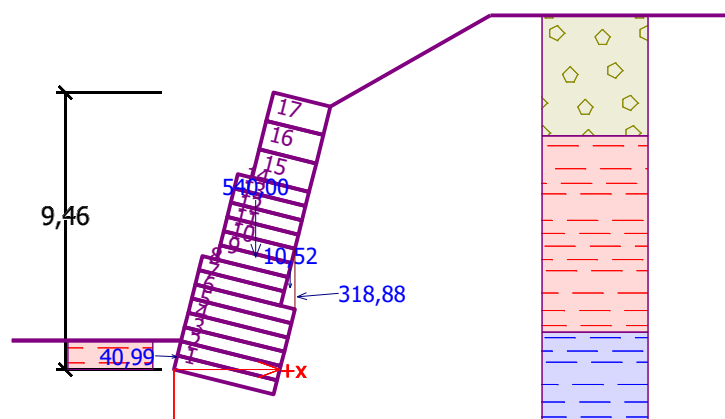
4.1 Statický návrh a posúdenie gravitačného gabionového múru

Návrh a posúdenie konštrukcie boli vykonané v zmysle platných noriem a eurokódov. Výpočet bol realizovaný pre stav rovinatej napätosti a to analytickými metódami v programe GEO 5 modul “Gabion“, modul “Stabilita svahu“ a modul “Vystužené násypy“. Vzhľadom k overeniu výsledkov výpočtu vykonaného analytickými postupmi bol vykonaný aj numerický výpočet stability v programe Plaxis. Základnými vstupmi do výpočtu boli

geotechnické parametre horninového prostredia, ktoré boli prebrané z prieskumu a interpretované pre predmetnú konštrukciu.

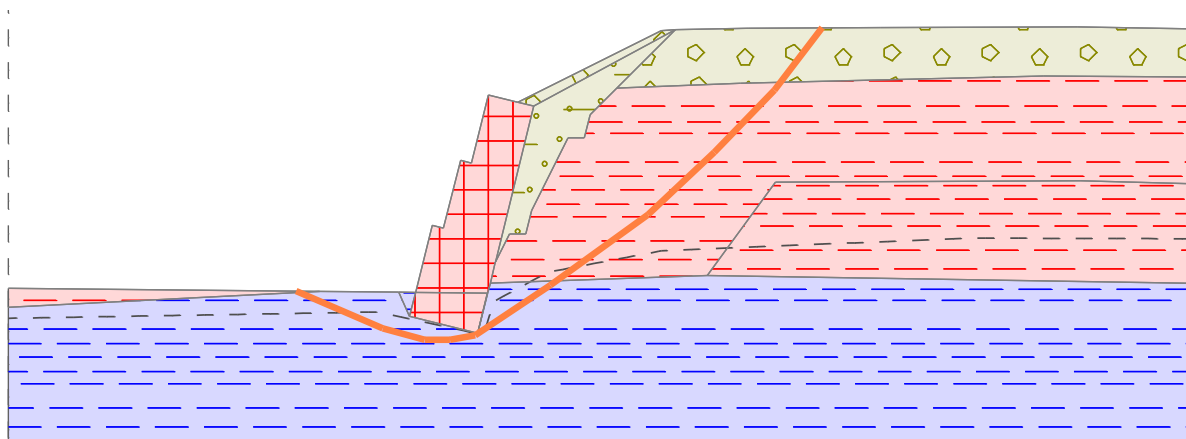
V posudzovanom profile boli interpretované tri základné súvrstvia hornín/zemín. Prvé súvrstvie je tvorené kvartérnymi pokryvmi o mocnosti 3,5 – 4 m charakterizované kamenitými suťami s ílovou, stredne plastickou výplňou. Pod kvartérnym pokryvom sa nachádza paleogénne súvrstvie ílovcov a pieskovcov s výraznou prevahou ílovcov o mocnosti 6,7 m. Ílovce sú výrazne tektonicky porušenými a silne zvetrané pevnosti R6. V spodnej časti profilu sa nachádza súvrstvie ílovcov a pieskovcov. Ílovce sú tektonicky porušené a zvetrané. Súvrstvie má ako celok pevnosť R5/R6. Hladina podzemnej vody v portálovej oblasti má charakter voľnej hladiny. V paleogénnom súvrství boli počas hĺbenia portálovej jamy detekované lokálne vývery. Trvalejšie prítoky podzemnej vody cez dočasné zaistenie jamy (striekaný betón) boli detekované najmä v puklinovom systéme pri polohách pieskovcov. S postupným hĺbením portálu a neskôr tunelovej rúry sa hladina znižovala.

Statické posúdenie gabiónového múru a celkovej stability bolo vykonané analytickými a numerickými postupmi. Posúdenie bolo vykonané v zmysle STN EN 1997-1 NP2 a pre výpočet celkovej stability NP3. Výpočet bol realizovaný v programe GEO5 moduly gabion, stabilita svahu a vystužený násyp. Pre overenie celkovej stability bol vykonaný overovací výpočet metódou konečných prvkov v programe PLAXIS pre odvodené podmienky s uvažovaním rovinnej napätosti. Za účelom dosiahnutia dostatočnej stability konštrukcie a šetrenia nákladov na výstavbu bola líčna strana navrhnutá v sklone 4:1. Tým sa zabezpečil dostatočný stabilizujúci moment pre preklopenie a umožnil hospodárnejšie (subtílnejšie) navrhnutie priečneho rezu. Naklonením základovej škáry sa dosiahla vyššia odolnosť proti posunutiu. Pre posudzovaný profil bola dosiahnutá stabilita proti posunutiu 77 % a proti preklopeniu 86 %.



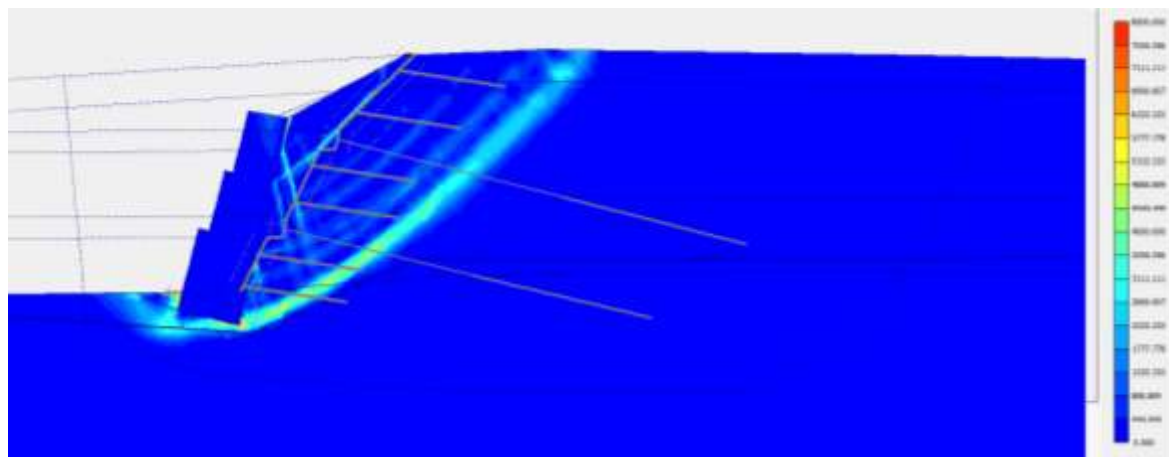
Obr. 4 Tvar gabiónového múru s priradením zemín - západný portál tunela Svrčinovec

Počas hĺbenia stavebnej jamy pre razenie tunela boli použité ako zaist'ovacie prvky zemné klinec a lanové kotvy. Tieto prvky boli navrhnuté a vyhotovené ako dočasné. Pri posudzovaní celkovej stability gabiónového múru sa neuvažovalo s ich účinkom a boli z výpočtu vynechané. Výpočet v programe GEO5 bol vykonaný analytickými postupmi pre valcovú (Bishop) a polygonálne (Spencer a Sarma) šmykové plochy. Podľa Bishopa je využitie pre daný profil na úrovni 85 %, Spencer 90 % a Sarma 89 % čo je v zmysle STN EN 1997-1 vyhovujúce. Na obrázku 5 je znázornený priebeh optimalizovanej šmykovej plochy podľa Sarma.



Obr. 5 Optimalizovaná šmyková plocha gab. múru - západný portál tunela Svrčinovec

Numerický výpočet metódou konečných prvkov bol vykonaný v programe PLAXIS, pre odvodnené podmienky a rovinnú napätosť. Materiálový model podložia bol zvolený Mohr-Coulomb, kde gabiónový prvok je modelovaný ako elastický materiál s odpovedajúcou tiažou. Rozhodujúce vstupné parametre do výpočtu stability sú ako v prípade analytického výpočtu uhol vnútorného trenia a súdržnosť. Výpočet bol realizovaný podľa STN EN 1997-1 a 1997-1/NA, teda pre návrhový prístup 3, redukciou pevnostných parametrov horninového prostredia. Výpočet rešpektoval postup výstavby, teda, výkop jamy a zaistenie stien výkopu čo bolo predmetom 1. časti stavby. Následne boli vynulované deformácie pri zachovaní napätostného stavu a aktivovanie klustrov charakterizujúcich zásyp a konštrukciu gabionového múru. Hladina podzemnej vody bola uvažovaná ako voľná geostatická hladina. Výpočtom bola vyčíslená stabilita na hodnotu $F_s = 1,21$ čo je približne 85 % využitia. Tento číselný výsledok a priebeh šmykových pretvorení (Obr. 6) dobre korešponduje s analytickým výpočtom a priebehom optimalizovanej šmykovej plochy pri uvažovaní uvedených okrajových podmienok.



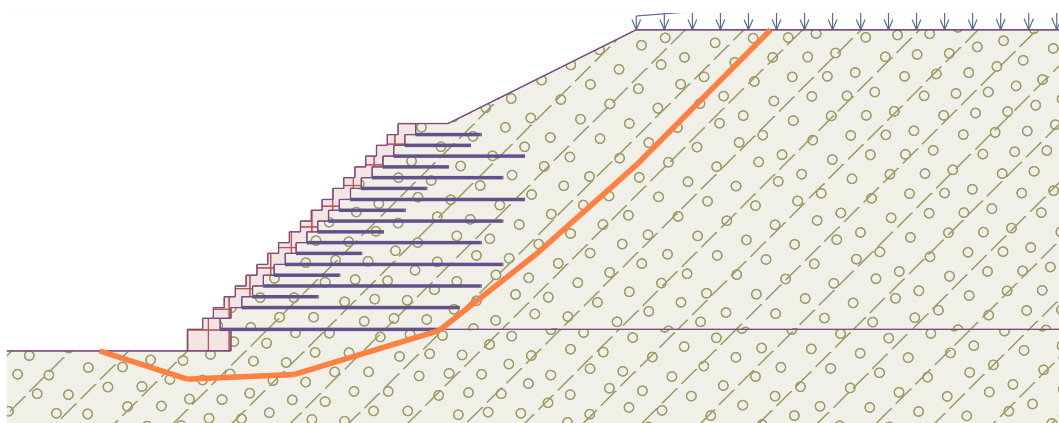
Obr. 6 Priebeh šmykových pretvorení – západný portál tunela Svrčinovec

4.2 Statický návrh a posúdenie vystuženej horninovej konštrukcie s gabionovým lícom

Konštrukcia obloženia západného a východného portálu tunela Svrčinovec predstavuje systém prefabrikovanej modulárnej konštrukcie tvorenej lícovými drôtokamennými prvkami s integrovanou výstužnou sieťou. Lícové prvky sú pričného rozmeru 0,5 x 0,8 m, v pozdĺžnom smere bude dĺžka závisieť od napojenia na objekt hlbeného tunela a gabionového múru.

Pohľadové prvky s vystužením formou horizontálneho panelu zo šesťuholníkovej dvojzákrutovej poplastovanej ocelevej siete s typom oka 8 x 10, sú pevne spojeného s košom, panel tvorí 3 m dlhú výstuž (kotvenie) v zásype tunela. Po príprave podložia formou zhutnenia základovej škáry ($E_{def2}/E_{def1} \leq 2,5$, $E_{def2} > 45$ MPa) a vyhotovenia podkladného betónu C20/25. Obloženie portálu sa vybuduje postupným ukladaním gabionových košov s horizontálnou výstužou do navrhnutých úrovní. Zásyp hĺbeného tunela bude tvoriť sendvičový zásyp kvôli urýchleniu konsolidácie. Konsolidačné drény boli navrhnuté hrúbky 0,3 m zo štrku fr. 0 - 16, $Id_{min} = 0,85$, a obsahom jemných častíc $f < 5$ %. Teleso zásypu je tvorené netriedenou zeminou, nenamrzavou, vhodná do násypu v zmysle STN 73 6133, fr. 0 - 63 mm. $Id_{min} = 0,85$, $E_{def2}/E_{def1} \leq 2,6$, $E_{def2} > 80$ MPa, $\phi_{min} = 32^\circ$. Geomreže budú použité ako predĺženie výstužných prefabrikátov poplastovanej dvojzákrutovej šesťhrannej siete. V mieste uloženia gabiónového obkladu na svahovanie únikovej štôlne (zárez v sklone 1:1 opatrený striekaným betónom a zemnými kĺncami) sa použijú obdobné konštrukcie ako v časti zásypu tunela (t.j. drenáž, separačno-filtračná geotextília, filtračná vrstva so štrku fr 0 - 16, minimálnej hrúbky 0,45 m) s výnimkou geosyntetických výstuží. Do striekaného betónu sa v každej tretej výškovej úrovni navrtávajú kotvy dl. 1 m, $\varnothing 18$ mm, oceľ B500B vo vzájomnej vzdialenosti 1,5 m. Na kotvy sa zvarom upevní roznášacia platňa rozmerov 200 x 200 x 100 mm. Za platňu sa uloží priebežná tyč $\varnothing 18$ mm, oceľ B500B za ktorú sa zatiahne presah siete gabiónu. Priebežná tyč, platňa a kotvička, musia byť opatrené protikoroziným náterom. V prípade, že presah zemných kĺncov bude nad striekaný betón dostatočný, nie je potrebné inštalovanie kotiev.

Keďže pre zásyp vystuženej časti nebola použitá triedená zemina, bolo nutné prispôbiť dĺžku jednotlivých výstuh tak, aby bola dosiahnutá potrebná interakcia a dĺžka ukotvenia geomreže v hornine z hľadiska medzného stavu na vytrhnutie. Ako výstužný prvok boli navrhnuté geomreže s dlhodobou pevnosťou v pozdĺžnom smere 68,30 kN/m dĺžky 8 – 12 metrov. Statické posúdenie bolo vykonané v programe GEO 5 modul vystužené násypy. Celková stabilita bola riešená analytickými postupmi podľa Bishopa, Sarmu a Spencera. Polygonálne šmykové plochy vykazovali vyššie percento využitia (85 – 89 %) pričom valcové šmykové plochy o niečo nižšie v rozmedzí 80 – 83 %. Pri polygonálnych šmykových plochách je možné vhodnou hustotou bodov dosiahnuť potrebnú geometriu šmykovej plochy a tým lepšie vystihnúť jej kritickú polohu. Výstup celkovej stability je znázornený na obrázku 7.



Obr. 7 Optimalizovaná šmyk. plocha Terrameshu - západný portál tunela Svrčinovec

5 Záver

Skúsenosti z už zrealizovaných a dokončených úsekov diaľnic, tak na Slovensku ako aj v zahraničí, ukazujú na narastajúci vývoj a rozmach používania drótokamenných konštrukcií najmä pri budovaní dopravnej infraštruktúry.

Tieto konštrukcie, či už hovoríme o vystužených horninových konštrukciách s gabionovým lícom – tzv. Terramesh System, alebo o gabionových obkladoch a gravitačných oporných múroch, si našli svoje nezanedbateľné miesto a potvrdili opodstatnenie ich používania.



Obr. 8 Pohľad na východný portál tunela Poľana

Je možné konštatovať, že projektanti, ale aj zhotovitelia si uvedené riešenia prijali a stotožnili sa s nimi, s princípmi ich návrhu ako aj s technológiou ich budovania.

Tieto riešenia predstavujú nielen funkčnú a ekonomickú alternatívu k tradičným masívnym betónovým konštrukciám, ale predstavujú aj estetické umocnenie a stvárnenie týchto konštrukcií, pretože tieto konštrukcie dokážu nenásilne zapadnúť do okolitého prostredia a podtrhnúť celkový charakter diela.



Obr. 9 Pohľad na východný portál tunela Svrčinovec

Literatúra

- [1] Adamec J.: Vystužené horninové konštrukcie vo výstavbe na Slovensku, Inžinierske stavby 04/2014
- [2] Archív MACCAFERRI CENTRAL EURPE s.r.o.
- [3] D3 Svrčinovec – Skalité, tunel Svrčinovec. Podrobný Inžinierskogeologický prieskum – 2. Etapa. Záverečná správa. 2007. Číslo geologickej úlohy: 400-2/2007
- [4] Lichý L.: Definitívna úprava portálových častí tunelov Šibenik a Poľana, Hydroizolácie mostov a tunelov 2015
- [5] Názov geologickej úlohy: Podrobný inžinierskogeologický prieskum stavby diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité číslo geologickej úlohy: 054058
- [6] Projektová dokumentácia: Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.
- [7] Záverečná správa: D3 Svrčinovec – Skalité, tunel Svčinovec Podrobný IGHP 2.etapa, GEOFOS, s.r.o., 2007