

# Geotechnické konštrukcie navrhované na modernizácii trate ŽSR Liptovský Mikuláš – Poprad-Tatry (mimo), 5. etapa

Obsahom článku sú geotechnické riešenia zárubných a oporných múrov na modernizovanej železničnej trati v úseku Liptovský Hrádok – Paludza, ktorá je v procese verejného obstarávania na výber zhotoviteľa. Súčasťou toho istého projektu, resp. modernizovanej časti, je aj hĺbený tunel Paludza. Železnica vedie vo vybranom koridore v blízkosti diaľnice D1 a prekonáva viaceré terénne nerovnosti. Od samotnej hĺbky zárezov, v ktorých trať vedie, boli odvodené a projektovo pripravené rôzne typy a kombinácie geotechnických konštrukcií.

T: Ing. Radoslav Kubuš, REMING CONSULT a. s., Žilina,  
Mgr. Silvia Hudečková,  
REMIING CONSULT a. s., Bratislava  
F: REMING CONSULT a. s.

Jedným zo strategických cieľov Slovenskej republiky v procese európskej integrácie je napojenie dopravných väzieb Slovenska na európsku dopravnú sieť. Predmetom článku sú niektoré príklady a návrhy geotechnických konštrukcií vrátane tunela na stavbe Modernizácia železničnej trate Žilina – Košice, úsek trate Liptovský Mikuláš – Poprad-Tatry (mimo), 5. etapa. Modernizácia je rozdelená do 5 etáp, ktoré tvoria samostatné stavby. Článok opisuje geotechnické konštrukcie v 5. etape, ktorá je delená na tieto 4 ucelené časti stavby (UČS):

- ▶ UČS 408 ŽST Liptovský Hrádok,
- ▶ UČS 409 Traťový úsek Liptovský Hrádok – Liptovský Mikuláš,
- ▶ UČS 410 ŽST Liptovský Mikuláš,
- ▶ UČS 411 Traťový úsek Liptovský Mikuláš – Paludza.

Dokumentácia pre realizáciu stavby 5. etapy rieši úsek ŽST Liptovský Hrádok v SŽKM 243,179 – výhybňa Paludza v SŽKM 263,476. Dĺžka úseku je v existujúcom trasovaní 20,297 km, v navrhovanom trasovaní 18,550 km, pričom 78,6 % trate vedie na novom telese.

Návrhová rýchlosť pre modernizáciu železničnej trate je

160 km/h, čo má za následok zmenu trasovania (zváženie oblúkov, zmena prevýšenia a parametrov trate), preto trasa vedie čiastočne v pôvodnom, ale hlavne v novom železničnom telese. Z tohto dôvodu bolo potrebné navrhnuť rôzne typy múrov a tunel.

Na voľbu typu múrov vplývala nielen geologická skladba územia, ale aj výška násypov a zárezov, smerové a výškové vedenie trasy, využiteľnosť vyťaženého materiálu

Tam, kde by bol obojstranný zárez do prostredia hlboký, sa na základe výškového vedenia trate posúdilo, či by nebolo vhodnejším riešením vybudovanie hĺbeného tunela. Takéto riešenie investor schválil v úseku neďaleko Liptovskej Mary, kde zvlnené pole podchádza tunel Paludza, ktorý sa bude realizovať z povrchu.

V ďalšom texte sme sa snažili vybrať najzaujímavejšie typy geotechnických konštrukcií – múrov

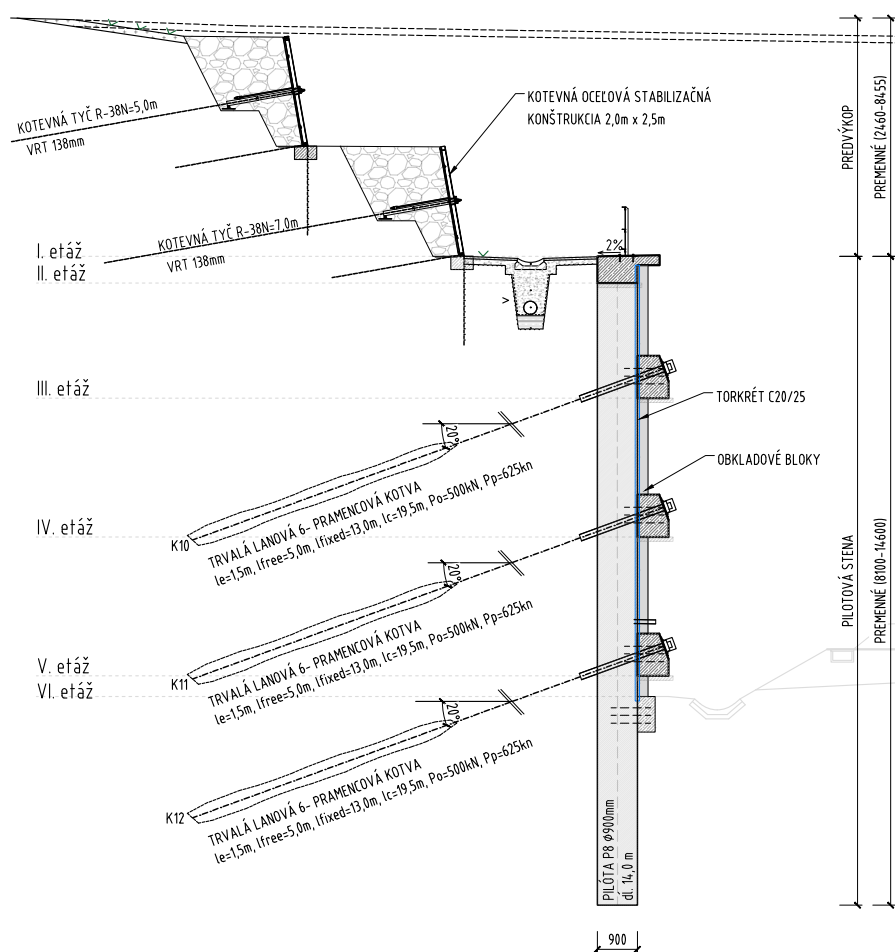
## TRASA VEDIE ČIASTOČNE V PÔVODNOM, ALE HLAVNE V NOVOM ŽELEZNIČNOM TELESE. Z TOHTO DÔVODU BOLO POTREBNÉ NAVRHNÚŤ RÔZNE TYPY MÚROV A TUNEL.

a mnoho ďalších faktorov. Navrhnuté typy oporných múrov sú napríklad vystužené oporné konštrukcie či železobetónové uholníkové múry. Projektované druhy zárubných múrov sú napríklad kotvené pilótové steny, prefabrikované stabilizačné konštrukcie a gravitačné múry.

a tunel –, ktoré boli naprojektované na 5. etape modernizácie železničnej trate.

### TECHNICKÉ RIEŠENIA VYBRANÝCH NAVRHNUTÝCH KONŠTRUKCIÍ

Smerové a výškové úpravy koľaje vyvolali výstavbu nových oporných



Obr. 1 Pričný rez v NŽKM 247,160 pri koľaji č.1

a zárubných múrov a tunela. Navrhnuté sú rôzne typy – kotvené pilótové steny, železobetónové uholníkové múry, gravitačný betónový zárubný múr, prefabrikované stabilizačné konštrukcie a vystužené oporné konštrukcie. Spolu je navrhnutých 27 oporných a zárubných konštrukcií a jeden hĺbený tunel.

#### SO 409-33-33 Zárubný múr v NŽKM 246,800 – 247,670 pri koľaji č.1

Stavebný objekt (obr. 1) tvorí pilótová stena kotvená cez železobetónové roznášacie vence. Objekt je dlhý cca 871,00 m. Stabilitu zárezu zabezpečuje pilótová stena s trvalými lanovými zemnými kotvami. Za pilótovú stenu bude v prvom kroku osadená prefabrikovaná stabilizačná konštrukcia,

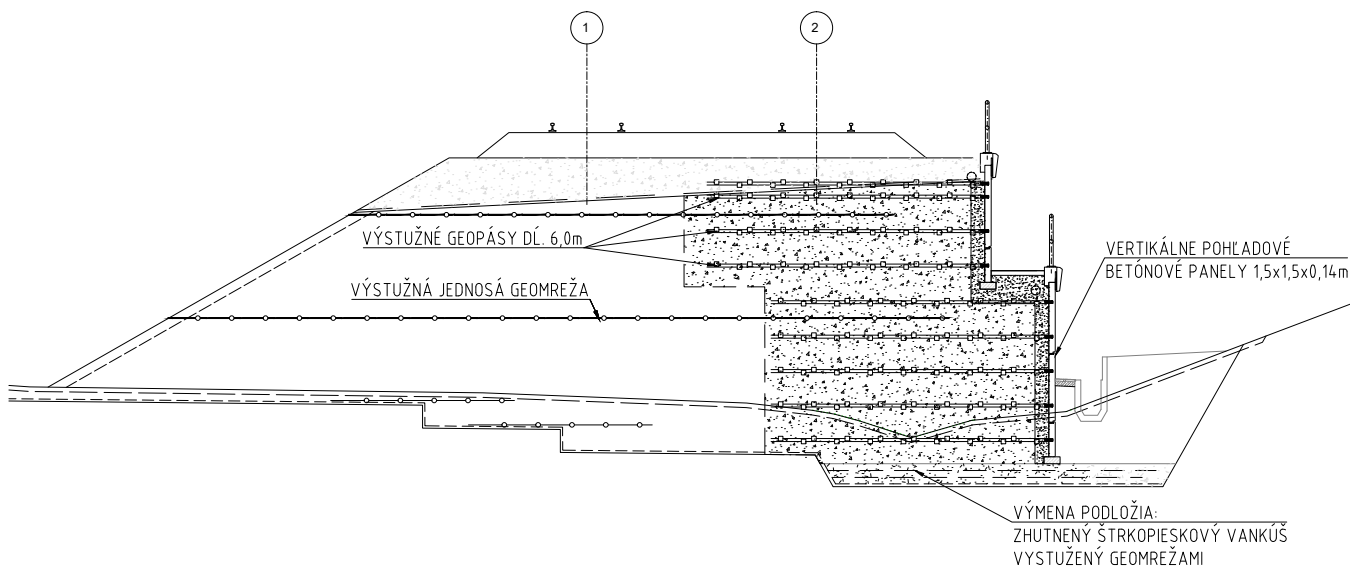
ktorej funkcia spočíva v zabezpečení výkopu a eliminácii výšky pilótovej steny. Taktovo vytvorená konštrukcia má pažiacu a zároveň pohľadovú funkciu.

Poloha pažiacей a stabilizačnej konštrukcie zohľadňuje rozmery navrhovaného objektu, jeho výškové členenie a geologické pomery.

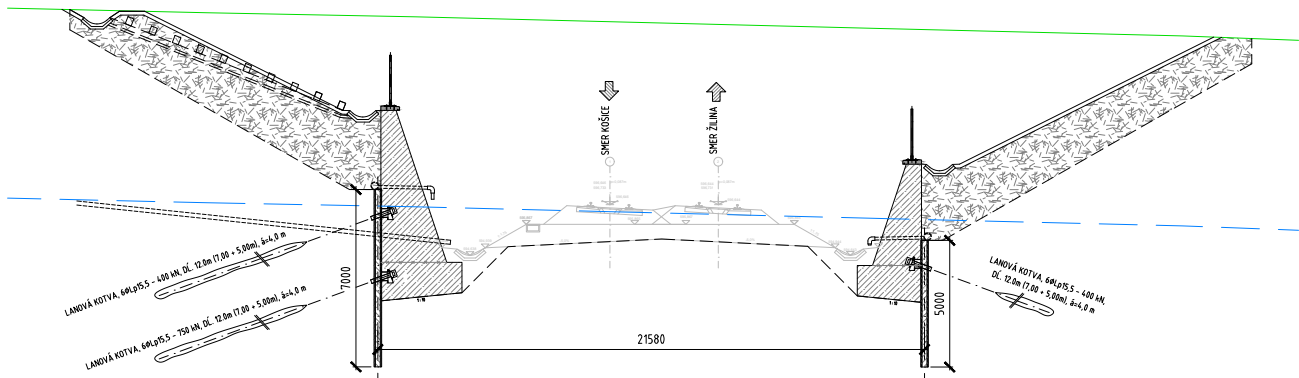
Na vybudovanie múru sa vytvorí na existujúcom svahu spevnený zárez (pilótovacia úroveň) na umožnenie prístupu ťažkej mechanizácie. Spevnený zárez – predvýkop bude zabezpečený pomocou prefabrikovaných stabilizačných prvkov – systém sa skladá z priestorovej nosnej ocelevej konštrukcie. Čelo predstavuje oceľový rám z prvkov HEA100 s ochrannou sieťou, s rozmermi 2,0 × 2,5 m. V telese zásepu bude skryté nosné ťahadlo – zemná kotva.

Hĺbková drenáž bude položená na vrstve ílového tesnenia s hrúbkou 0,2 m. Ryha sa zasype nezhutneným štrkopieskovým zásypom, obaleným filtračnou geotextíliou. Do hĺbkovej drenáže sa priečne privedie trativodné rebro s hĺbkou 2 m vo vzdialenostiach cca 50 m. Drenážne rebro bude vybudované v ryhe so šírkou 1,0 m v dne a 3,0 m v úrovni upraveného terénu. Steny ryhy sú navrhnuté v sklone 2 : 1. V päte stabilizačnej konštrukcie zabezpečujúcej paženie svahu sa nebude realizovať hĺbková drenáž.

Následne sa vyvrtávajú pilóty s priemerom 900 mm, ktoré sú v premenlivej osovej vzdialenosti 1 800 a 2 000 mm. Po vyvrtaní a zabetónovaní pilót budú práce pokračovať vyhotovením podkladového betónu, z ktorého úrovne prebehne betonáž železobetónovej rímsy, dilatovanej podľa výkresovej



Obr. 2 Pričný rez v NŽKM 251,350 vpravo



Obr. 3 Priečný rez v km 254,045 – SO 411-33-31 a SO 411-33-32

časti dokumentácie. Po dosiahnutí požadovaných pevnostných charakteristík budú práce pokračovať odkopom terénu. Povolný je maximálne vo výške 1,0 m, pričom ihneď po odkope sa (v prípade potreby) zrealizuje torkrét s hrúbkou 100 mm.

Za vrstvou torkréty (rub steny) sa umiestni drenážny geokompozit (dve vrstvy) na odvedenie vody, ktorá sa môže v období zvýšených úhrnov hromadiť za pilótovou stenou. Drenážny geokompozit vyústi do PVC rúry, ktorá bude vyvedená cez obkladové prvky, resp. pod terénom do zberného potrubia DN 400. Výkopové práce pokračujú po dosiahnutí úrovne prvého radu kotiev, pre ktoré je najskôr potrebné vybudovať ŽB venca s prechodkou na vŕtanie kotvy. Po dosiahnutí požadovaných pevnostných charakteristík železobetónového venca bude predopnutý lanovými kotvami. Práce pokračujú odkopom na ďalšiu kotevnú úroveň až na úroveň finálneho odkopu.

#### SO 410-33-31 Oporný múr v NŽKM 251,350 – 251,450 vpravo

Oporný múr (obr. 2) zabezpečí stabilitu stien svahu, na ktorom bude nové železničné teleso. Múr rešpektuje plánované rozšírenie diaľnice a chráni ho od telesa železničného násypu. Navrhnutý je ako oporný vystužený múr z betónových pohľadových prefabrikátov s horizontálnou geosyntetickou výstužou.

Konštrukcia múru predstavuje kombináciu vertikálnych betónových pohľadových prefabrikátov s rozmermi  $1,5 \times 1,5$  a hrúbkou 0,14 m z betónu C30/37 s vystužením formou horizontálnych vysokoadhézných polymerických geopásov. Oporný múr má premenlivú výšku (maximálne do 6,70 m) a sklon líca  $90^\circ$ . Je jedno- až dvojstupňový, bez nadnásypu.

V korune vystuženého múru sa umiestni prefabrikovaná rímša so šírkou 0,39 m z betónu C 30/37. Na rímse bude umiestnené zábradlie s výškou 1,1 m. Založenie vystuženého oporného múru je navrhnuté plošné, na upravenom podloží. Na ňom bude umiestnený základový pás s rozmermi  $0,35 \times 0,15$  m z betónu C20/25, ktorý slúži ako základová časť pre driek múru. Ten vytvára pohľadovú časť vystuženého oporného múru tvorenú vertikálnymi betónovými pohľadovými prefabrikátmi.

Všetky panely budú mať osadené polymérne úchyty na rubovej strane v počte závislom od geotechnického návrhu. Tvar úchyto, spôsob ich zabudovania a napojenia na panely, počet úchyto pre jednotlivé výšky spolu s typom a dĺžkou geosyntetickej výstuže musia byť v súlade so stabilitným výpočtom a s výkresovou dokumentáciou. Medzi všetkými horizontálnymi spojmi medzi panelmi musia byť použité špeciálne gumové podložky (ložiská), ktoré absorbujú posuvy a pohyby čelných panelov v opornom múre – vďaka nim má systém klbové usporiadanie.

Za rubom panelov sa zrealizuje súvislá vertikálna drenážna vrstva zo

štrkovitého materiálu s minimálnou hrúbkou 0,5 m. Zvislá vzdialenosť medzi jednotlivými úrovňami geopásov je 0,75 m.

Za rubom panelov sa zrealizuje súvislá vertikálna drenážna vrstva zo štrkovitého materiálu s minimálnou hrúbkou 0,5 m.

Oporný múr sa bude zriaďovať na upravenom lôžku tvorenom podkladovou vrstvou zo štrkodrviny v hrúbke minimálne 250 mm pod čelom múru, ktorá bude zároveň slúžiť aj ako drenážna vrstva na odvedenie infiltrovaných zrážkových vôd z telesa železničného spodku.

#### SO 411-33-31 a SO 411-33-32 Zárubné múry v km 253,860 00 – 254,170 00

Predmetom riešenia projektov dokumentácie stavebných objektov 411-33-31 a 411-33-32 (obr. 3) je trvalé zabezpečenie bočných svahov železničnej trate v úseku Liptovský Mikuláš – Poprad. Pri SO 411-33-31 je to v km 253,865 00 – 254,170 00 a pri SO 411-33-32 v km 253,860 00 – 254,130 00, na ľavej a pravej strane navrhovanej železničnej trate.

Zárubné múry sú navrhnuté ako dvojetažové. Prvá etaž sa v celej



Obr. 4 Poloha tunela Paludza neďaleko Liptovskej Mary

dĺžke objektov nachádza vo vrstve terasových štrkov. Je riešená v konečnej terénnej úprave svahovaním v sklone 1 : 2. Výška svahu bude premenná, max. do 6,0 m. Svahy sa po skončení všetkých nižšie opísaných stavebných prác zahumujú a zatravnia. V päte svahov sa ponechá lavica v šírke 1,5 m, v ktorej bude umiestnený odvodňovací žľab na odvedenie zrážkových vôd. Pod žľabom sa nachádza pozdĺžna hĺbková drenáž DN 300 na odvedenie podzemnej vody z vrstvy štrkov. Pozdĺžna drenáž je zaústená na koncoch múrov do priekopy pri trati.

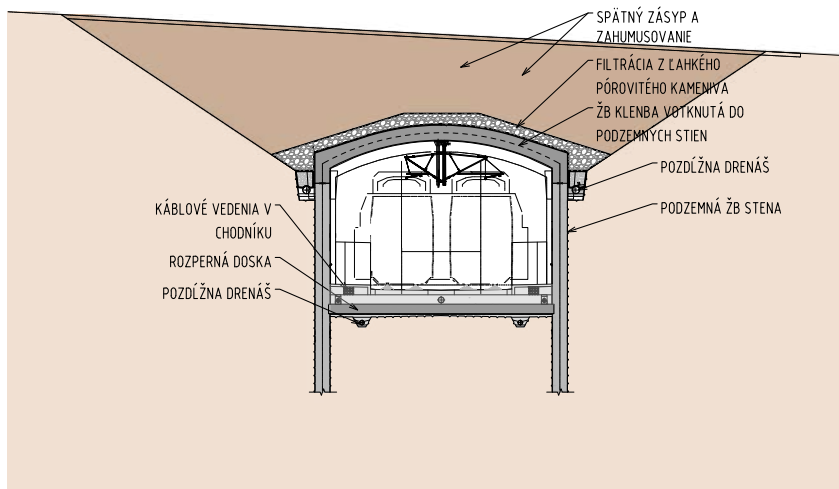
Predmetné múry budú vybudované v štyroch fázach:

1. fáza – odstránenie horninového prostredia do projektom udanej úrovne a vysvahovanie v dočasných svahoch v sklone 1 : 1,75;
2. fáza – realizácia pažiacej konštrukcie s postupným odkopávaním po 1,0 m a so zaistením stien striekovým betónom v hrúbke 200 mm;
3. fáza – vybudovanie gravitačného betónového múru po celej projektom udanej výške s rešpektovaním pracovných a dilatačných škár;
4. fáza – konečné terénne úpravy spočívajúce v spätných zásypoch predpísanou zeminou/horninou do trvalého sklonu svahov 1 : 2 s rešpektovaním trvalých záberov.

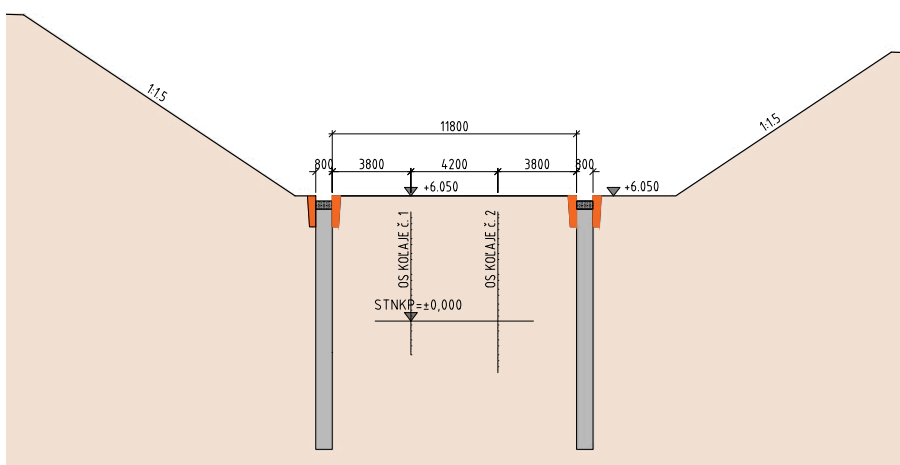
### SO 411-33-22 Železničný tunel

Tunel Paludza (obr. 4 až 8) predstavuje kľúčový prvok modernizácie trate. Ide o unikátne inžinierske dielo nielen z hľadiska geometrie a začlenenia do projektovanej trasy, ale predovšetkým z hľadiska použitej technológie výstavby – kombinácie podzemných stien a hĺbenia pod zastropením. V nasledujúcich odsekoch ukážeme uvedenú koncepciu a technické riešenie.

Tunel Paludza bude umiestnený v novotrasovanom úseku trate Liptovský Mikuláš – Poprad-Tatry, mimo súčasnej železničnej trasy.



Obr. 5 Vzorový priečný rez tunelom



Obr. 6 Realizácia podzemných stien

Celý tunel vrátane portálových oblastí sa bude nachádzať v extraviláne s charakterom poľnohospodársky využívannej pôdy. Nad trasou tunela sa nenachádza žiadna povrchová zástavba. Počas výstavby bude pozdĺž celej trasy vytvorená dočasná svahovaná jama, ktorá sa po zhotovení konštrukcie tunela a drenážneho odvodnenia zasype na pôvodnú úroveň terénu. Orientácia trasy tunela podľa svetových strán je v osi západ – východ.

Tunel Paludza je tvarovo navrhnutý ako atypická konštrukcia, vychádzajúca z modifikácie typového profilu STP7 podľa pripravovanej normy

STN 73 7508. Tento profil je určený pre dvojkoľajné, obdĺžnikové tunely navrhované pre rýchlosti od 160 do 200 km/h, so šírkou medzi koľajami 4 200 mm. Konštrukcia je riešená so združeným priechodným prierezom, s obojstrannými únikovými chodníkmi, bezpečnostným priestorom v šírke 0,5 m na oboch stranách a s poistným priestorom so šírkou 300 mm.

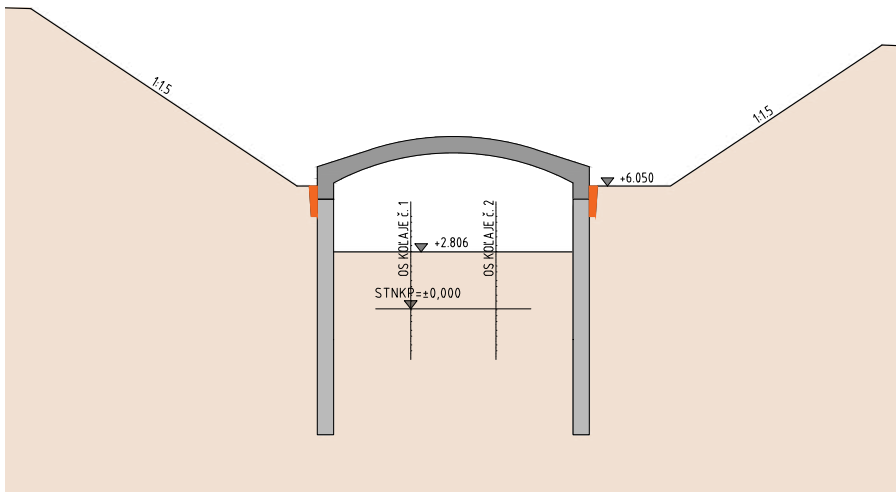
Združený priechodný prierez znamená, že obe koľaje vedú v jednej tunelovej rúre. Únikové chodníky umožňujú bezpečný presun osôb v prípade mimoriadnej udalosti. Bezpečnostný priestor slúži na pohyb údržbárskeho personálu alebo ako útočisko pri prejazde vlaku.

Nosnú konštrukciu tunelovej rúry tvoria monolitické železobetónové podzemné steny, monolitická železobetónová stropná klenutá doska a monolitická železobetónová dolná (základová) doska. Základová doska bude zazubená do podzemných stien, pričom tento detail zvyšuje pevnostné prepojenie a odolnosť proti priesakom vody.

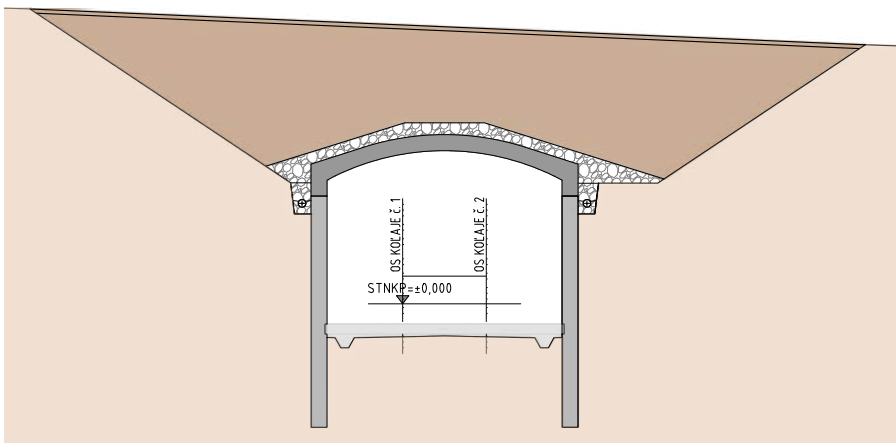
#### Základné technické údaje tunela Paludza

|                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Dĺžka tunela                | 630 m                         |
| Typ                         | jednorúrovňový, dvojkoľajný   |
| Plocha priečného profilu    | 84,87 m <sup>2</sup>          |
| Navrhovaná traťová rýchlosť | 160 km/h (200 km/h výhľadovo) |
| Vzdialenosť medzi koľajami  | 4 200 mm                      |
| Technológia výstavby        | hĺbený tunel (cut & cover)    |





Obr. 7 Hĺbenie pod zastropením



Obr. 8 Spätňý zásyp konštrukcie

Najzaujímavejší na tomto projekte je však postup výstavby, ktorého jednotlivé kroky opisujeme ďalej:

#### 1. etapa – príprava povrchu

Odstránenie humusovej vrstvy v hrúbke približne 0,2 m.

#### 2. etapa – zemné práce

Výkop stavebnej jamy na predpísanú úroveň.

#### 3. etapa – vodiace stienky

Výkop rýh, osadenie jednostranného debnenia, betonáž vodiacich stienok a spätňý zásyp.

#### 4. etapa – podzemné steny

Odstránenie zásypu, hĺbenie a paženie rýh pre lamely, betonáž podzemných stien.

#### 5. etapa – príprava na zastropenie

Začistenie stien, demontáž vodiacich stienok, hĺbenie jamy do -3,0 m pod hlavou stien.

#### 6. etapa – zhotovenie stropnej dosky

Montáž pojazdného debnenia a betonáž stropu tunela.

#### 7. etapa – drenáž a izolácia

Výkop pre postrannú drenáž, demolácia vodiacich stienok, inštalácia hydroizolácie a ochrannej štrkovej vrstvy, postupné hĺbenie pod zastropením.

#### 8. etapa – príprava na základovú dosku

Frézovanie drážky a stien, dohĺbenie a začistenie dna, zhotovenie drenážneho systému.

#### 9. etapa – základová doska a spätňý zásyp

Betonáž základovej dosky, úprava drenážnej vrstvy klenby, spätňý zásyp a zahumusovanie.

#### ZÁVER

Predmetný úsek modernizácie železničnej trate prechádza zvlneným prostredím klesajúcim od Nízkyh Tatier k Váhu, resp. Liptovskej Mare. Toto územie už dnes pretína diaľnica D1, s ktorou je paralelne navrhnutá nová trasa železnice. Keďže železnica má náročnejšie požiadavky na výškové vedenie

koľaje, v prostredí, ktoré pretína, vznikajú buď väčšie násypy, alebo zárezy. Zárezy sú definované svojou hĺbkou, na základe čoho sa potom určuje, aká geotechnická konštrukcia sa použije na ich zaistenie. Ak je zárez hlbší ako prejazdny profil železničného vozidla, v rámci riešenia sa zárez mení na hĺbený tunel. Práve v prostredí Tatier je z hľadiska snehovej pokrývky a možného vzniku snehových závejov potrebné prehodnocovať, kedy je lepší hlboký zárez a kedy hĺbený tunel. Pri príprave projektu trate v oblasti Liptovského Mikuláša tak boli navrhnuté rozmanité oporné a zárubné konštrukcie a jeden hĺbený tunel, čo potvrdilo rozmanitosť a zároveň flexibilitu využitia geotechnických konštrukcií.

#### Literatúra

1. DRS stavby ŽSR, Modernizácia trate Žilina – Košice, úsek trate Liptovský Mikuláš – Poprad-Tatry (mimo), 5. etapa.
2. Inžinierskogeologický prieskum, CAD-ECO a. s., Bratislava, 2010.
3. EC 0 Eurokód: Zásady navrhovania (STN EN 1990).
4. EC 1 Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií (STN EN 1991).
5. EC 7 Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických konštrukcií (STN EN 1997).
6. STN EN 14490: Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác – Klincovanie zemín.
7. STN EN 14475: Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác – Vystužené zemné konštrukcie.
8. TKP 31: Zvláštne zemné konštrukcie.

#### GEOTECHNICAL STRUCTURES ON MODERNIZED RAILWAY LINE LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ – POPRAD-TATRY (OUTSIDE), 5TH STAGE

The article describes the geotechnical solutions used on the modernized track in the section Liptovský Hrádok – Paludza, for which the project was prepared in the stage for the implementation of the building. The process of selecting a contractor for its implementation is currently underway. The railway in this section is designed in a corridor that passes through undulating terrain, which slopes from the Low Tatras to the Váh. In its routing it creates cuts of varying depths, which need to be ensured. This was made possible by the use of different types and combinations of geotechnical structures. Where the cut would be deeper than the gauge of the railway vehicle, the Paludza tunnel was designed.