

## **DIALNICA D4, TUNEL KARPATY**

### **MOTORWAY D4, KARPATY TUNNEL**

**Ing. Ján Snopko<sup>1</sup>**  
**Ing. Marek Bednár<sup>2</sup>**  
**Ing. Zuzana Oravcová<sup>3</sup>**  
**Mgr. Matúš Klúz<sup>4</sup>**

#### **ABSTRAKT**

Doterajšie budovanie cestnej siete nadradených komunikácií v Bratislavskom regióne, bolo realizované s ohľadom na "nepriechodnosť" masívu Malých Karpát. V minulosti najjednoduchšie prepojenie ľavobrežných dopravných koridorov od severozápadu (Diaľnica D2 zo smeru Malacky, Kúty) a od severovýchodu (Diaľnica D1 zo smeru Trnava, Pezinok) bolo vyriešené prevedením všetkej dopravy na pravý breh Dunaja.

Novo - navrhovaný úsek Diaľnice D4 Bratislava Rača - Záhorská Bystrica, súčasťou ktorého je diaľničný tunel Karpaty dĺžky 10 980 m, by okrem prepojenia Diaľnice D1 a D2 na popod masív Malých Karpát podstatne skrátil dopravné vzdialenosti v smere východ - západ a zároveň by zabezpečil diverzifikáciu dopravného prúdu v prípade vzniku "incidentu" v dopravnom lieviku Prístavný most.

Následne príspevok prináša informácie o návrhu technického riešenia takmer 11 km dlhého dvojrúrového diaľničného tunela Karpaty s dôrazom na celospoločenské prínosy vybudovania tohto úseku.

#### **ABSTRACT**

The existing building network highway communications in the Bratislava region, has been carried out in "respect" of the Small Carpathians massif. In the past, the easiest connection left sides transport corridors from west (highway D2 from the direction Malacky, corners) and the northeast (D1 motorway from the direction of Trnava, Pezinok) has been resolved by transferring all traffic on the right bank of the Danube.

New proposed motorway section D4 Bratislava Raca - Záhorská Bystrica, which includes highway tunnel Carpathians of 10 980 m, inter linkage of highway D1 and D2 on the underneath of the Small Carpathian significantly shorten transportation distances in the east - west and would ensure the diversification of traffic flow in the event of an "incident" in the transport funnel Harbour Bridge.

Post provides information on a draft technical solutions almost 11 km long twin-tube highway tunnel Karpaty, with an emphasis on building a society-wide benefits of this section.

---

<sup>1</sup>Ing. Ján Snopko, TAROSI c.c., s.r.o., Slávičie údolie 106, 811 02 Bratislava, Tel.: 0903 037 844, [snopko@tarosi.sk](mailto:snopko@tarosi.sk)

<sup>2</sup>Ing. Marek Bednár, TAROSI c.c., s.r.o., Slávičie údolie 106, 811 02 Bratislava, Tel.: 0911 037 848, [bednar@tarosi.sk](mailto:bednar@tarosi.sk)

<sup>3</sup>Ing. Zuzana Oravcová, TAROSI c.c., s.r.o., Slávičie údolie 106, 811 02 Bratislava, Tel.: 0911 037 847, [oravcova@tarosi.sk](mailto:oravcova@tarosi.sk)

<sup>4</sup>Mgr. Matúš Klúz, HydroGEP s.r.o., Hájnická 12/149, 962 31 Sliač, Tel.: 0948 544 432, [matus.kluz@hydrogep.sk](mailto:matus.kluz@hydrogep.sk)

## 1 Úvod

Navrhovaná Diaľnica D4 je súčasťou „Nového projektu výstavby diaľnic a rýchlostných ciest“, ktorý bol schválený uznesením vlády SR č. 162 z roku 2001, ktoré definuje diaľničnú sieť tvorenú ťahmi D1, D2, D3 a D4 a sieť rýchlostných ciest ťahmi R1, R2, R3, R4, R5, R6 a R7 s možnými ďalšími ťahmi v ďalekom výhľade, ktoré ráta s D4 v úseku Bratislava, Rača – Záhorská Bystrica.

Celú transeurópsku tranzitnú sieť (TEN) tvorí, jeden vnútrozemský plavebný dopravný koridor a deväť multimodálnych dopravných koridorov, z ktorých tri nasledujúce prechádzajú územím hlavného mesta Bratislavy.

- KORIDOR č. IV: Berlín - Praha - Kúty - Bratislava - Budapešť – Istanbul v trase Diaľnice D2
- KORIDOR č. Va: Terst - Bratislava - Žilina - Košice - Užhorod - Ľvov, s pripojením KORIDORU č. VI. Čadca - Katovice - Varšava - Gdaňsk
- KORIDOR č. VII: Dunaj (plavebný koridor pre riečnu lodnú dopravu)

Pre Bratislavu, ktorej cestná sieť nadradených komunikácií bola dosiaľ budovaná s ohľadom na nepriechodnosť masívu Malých Karpát južným obchvatom mesta, t.j. cez vodný tok Dunaja, aby táto trasa Diaľnice D4 Bratislava Rača – Záhorská Bystrica s tunelom Karpaty, znamenala nielen podstatné odľahčenie vnútorného diaľničného priedahu mesta (prístavného mosta) od tranzitnej dopravy, ale predovšetkým skrátenie dopravenej vzdialenosti v smere sever – východ a vybudovanie alternatívnej komunikácie pre preťažený úsek vnútromestský úsek diaľnice D1.

V súčasnosti do hlavného mesta dochádza za prácou denne ďalších cca 100 000 - 150 000 mimo bratislavských obyvateľov, ktorí využívajú Individuálnu automobilovú dopravu vstupujú na „územie hlavného mesta“ z nasledovných smerov prostredníctvom nasledovných regionálnych a vnútroštátnych dopravných koridorov:

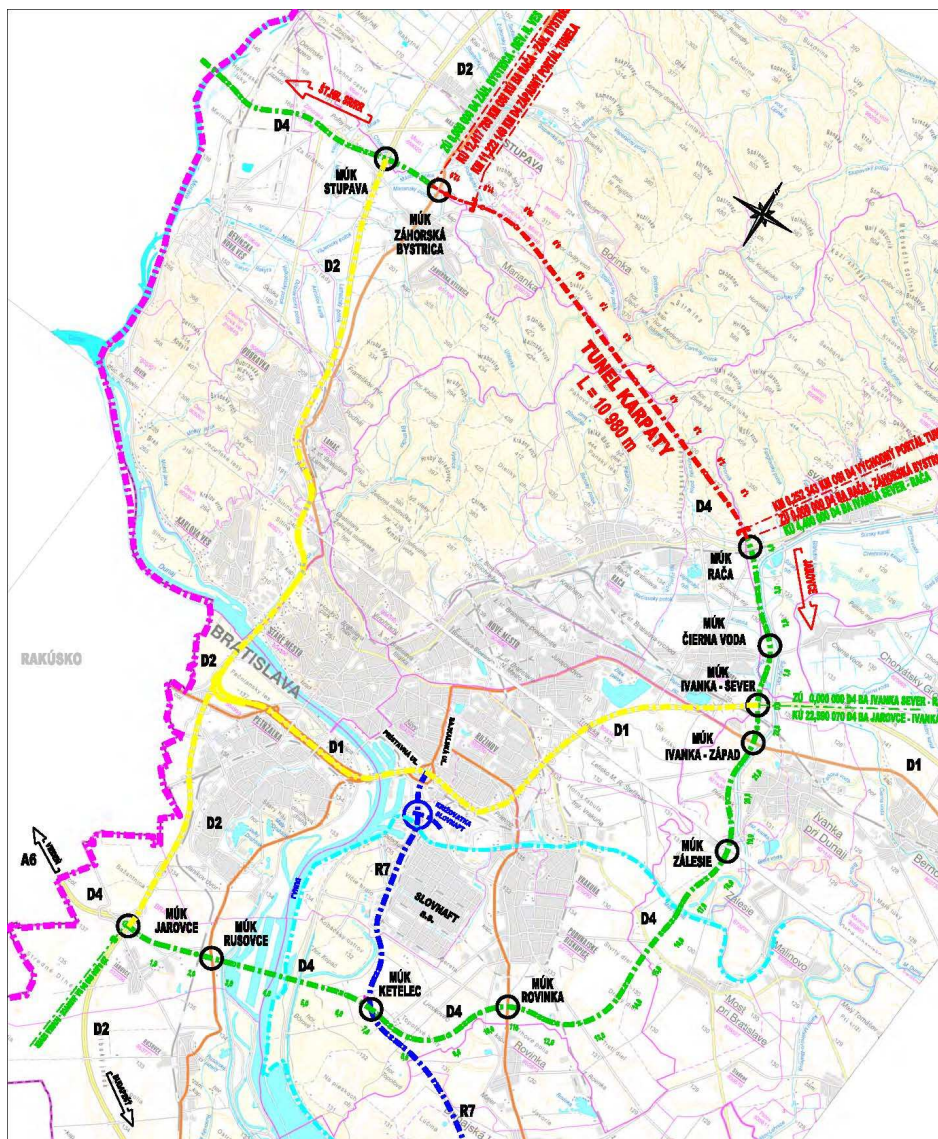
- od severozápadu - zo smeru Malacky, Kúty (Diaľnica D2),
- od severovýchodu - zo smeru Trnava, Pezinok (Diaľnica D1, cesta 502),
- od východu - zo smeru Senec, Komárno,
- od juhu - zo smeru hranica Maďarsko, Rakúsko.

Vybudovanie diaľnice D4 okolo Bratislavy je len prvý, zato významným krokom k riešeniu problematiky dopravy na území hlavného mesta SR - Bratislavy. Plný prínos diaľničného obchvatu Bratislavy sa prejaví až po dobudovaní:

- Diaľnice D4 v úseku Bratislava Rača – Záhorská Bystrica s tunelom Karpaty, ktorý prepojí dva hlavné diaľničné ťahy na ľavej strane Dunaja.
- Dobudovaní vnútorného mestského okruhu so systémom radikál, ktorého všetky križovania s ostatnými komunikáciami budú mimoúrovňové a bude vertikálne segregovaný od ostanej dopravy.

Na základe vyššie uvedeného vyplýva, že výstavba úseku D4 Bratislava Rača – Záhorská Bystrica, s tunelom Karpaty by mala byť zrealizovaná súčasne s predchádzajúcim úsekom Diaľnice D4 Bratislava Jarovce – Bratislava Rača a to najmä z dôvodu:

- Dopravného prepojenia D1 a D2 popod masív Karpát a tým podporiť diverzifikáciu dopravného prúdu okolo hlavného mesta.
- vyrovnania materiálovej bilancie násypov a výkopov. Predpokladané množstvo vyťaženej rúbaniny z tunelových rúr diaľničného tunela Karpaty bude 2 700 000 m<sup>3</sup>, čo pri koeficiente nakyprenia  $k = 1,3$  predstavuje 3 510 000 m<sup>3</sup> materiálu, ktorý bude vhodný použiť do násypov Diaľnice D4 a rýchlostnej cesty R7.



Obr. 1 Situácia Diaľnice D4  
Fig. 1 Lay-out of Motorway D4

## 2 Smerové a výškové vedenie trasy

Navrhovaná trasa diaľnice D4 prechádza z rovinatého územia Podunajskej nížiny na juhu cez hrebeň Malých Karpát do Záhorskej nížiny na severe záujmového územia. Priechod trasy od D1 je vedený v súbehu so Šúrsnym kanálom, kríži železničnú trať a štátnu cestu II/502, odkiaľ pokračuje smerom k južnému portálu tunela, umiestnenému na južných svahoch Malých Karpát.

Začiatok riešeného úseku km 0,000 000 D4 Bratislava Rača – Záhorská Bystrica začína severovýchodne od mestskej časti Bratislava Rača (severne od obce Vajnory), kde v staničení 4,400 000 km D4 (východný portál) predchádzajúceho úseku nadväzuje na pripravovanú Diaľnicu D4 „Ivanka Sever - Križovatka Rača, ktorý je súčasťou diaľničného obchvatu mesta Bratislavy, D4 Jarovce - Križovatka Rača.

Trasa diaľnice vstupuje do horninového prostredia na východných svahoch Malých Karpát s polomerom smerového oblúka  $R = 3\,900\text{ m}$  (os D4).

Poloha východného tunelového portálu tunela Karpaty je situovaná s ohľadom na umiestnenie MÚK s cestou II/502 a možnosťami smerového a najmä výškového vedenia diaľnice

kategórie D 26,5 pre návrhovú rýchlosť 120 km/h (100 km/h v tuneli), v terénnej depresii Račieho potoka, pod východnými svahmi Vajnorskej hory.

Nadväzujúci úsek dvojrúrového tunela Karpaty so smerovo rozdelenou dopravou je vedený v priamej s dĺžkou 7 935 m v osi D4, pričom pozdĺžny sklon stúpa 0,70 % po 7,163 km, odkiaľ klesá so sklonom 0,70 % až po Západný - Stupavský portál.

Vyústenie tunela Karpaty celkovej dĺžky 10 990 m je navrhnuté v km 16,525 km D4, severozápadne od obce Marianka. Zvyšný úsek diaľnice D4 bude v dĺžke cca 1,00 km vedený v násype v pravotočivom smerovom oblúku s polomerom  $R = 2\,600$  m, s klesaním 0,70 %.

Trasa diaľnice sa v koridore podľa DUŠ nultého okruhu vo vzdialenosti cca 150 metrov od zástavby napája na už zrealizovaný úsek Diaľnice D4 Križovatka Stupava (D2/D4) - Križovatka Záhorská Bystrica.

### 3 Inžinierskogeologické pomery v trase tunela

Najdlhšia časť tunela bude realizovaná v masíve granitických hornín so zastúpením viacerých litologických typov. Na dobré geotechnické vlastnosti zdravých a neporušených hornín v tomto úseku budú mať nepriaznivý vplyvu najmä:

- zóny rozvoľnenia a zvetrania v okrajovej časti masívu, ktoré reprezentujú z
- zóny rozvoľnenia a zvetrania v okrajovej časti masívu, ktoré reprezentujú zvodnené zóny a kolektory vody,
- zóny porušenia a rozvoľnenia s predpokladom zvodnenia v zónach interpretovaných hlavných listrických zlomov. U oboch typov porušenia dominuje smer SV-JZ so sklonom k JV až S-J so sklonom k Z.
- zóny alpínskej tektonogézy charakteru mylonitov orientácie najmä SV-JZ so sklonom k JV, ktoré tvoria zóny hydrogeologických barier
- predpokladané šikmé zóny zbridlčnatenia, späté s etapou aktivity strižných SZ-JV zlomov, ktoré vymedzujú zo SV a z JZ koridor tunela, ktoré tvoria zóny hydrogeologických bariér.

Úsek od cca km 9,00 po km 10 je budovaný súvrstvom marianskyh bridlíc, s generálnym sklonom k JV – V, lokálne až so subhorizontálnym uložením za ktorými nasledujú polohy neogénnych pieskov, siltovitých piesky až ílovité piesky.

Výsledky matematického modelovania (hydrogeologického modelu masívu) poukazujú na nevyhnutnosť použitia takej techniky výstavby tunelových rúr, aby pri razení tunela bolo možné rýchle zabudovanie nepriepustného samonosného vodotesného ostenia čo najbližšie k čelbe tunela tak, aby sa minimalizoval drenážny účinok „otvorených“ - neizolovaných úsekov tunela (v čase výstavby) na režim podzemných vôd.

Geochemické práce a ich vyhodnotenia poukazujú, že necitlivý technický zásah do štruktúry v oblasti západného portálu tunela Karpaty, bez dostatočného technického zabezpečenia, môže spôsobiť zmenu chemického zloženia podzemných vôd hlbšieho obehu s mineralizáciou nad 500 mg/l, ktorých genéza je pravdepodobne viazaná na horninové prostredie karbonátov Borinskej sukcesie (vrátane Svätej studne, Prameňa nad Sv. Studňou, prieskumných vrtov MHV 1-12 a Jalčovho vrtu).

Na základe syntézy údajov sme dospeli k záveru, že hydraulický vplyv tunela Karpaty na podzemné vody okolia Marianky - vrátane Svätej studne je opodstatnený len za podmienky, že tunel bude realizovaný metódou NATM (vrtno-trhavinové razenie) ako „otvorený“ neizolovaná tunelová rúra s primárnym ostením v staničení 8,60 - 9,75 km (Borinská sukcesia) po dobu presahujúcu 30 dní. V prípade zvolenia takéhoto postupu prác, by došlo po cca siedmich mesiacoch k zníženiu hladiny vody v Svätej studni o 1 m. Po 14 mesiacoch by poklesla hladina vody o 2 m. Tieto vplyvy môžu zároveň znamenať zmenu chemického zloženia podzemných vôd.

## 4 Údaje o tuneli Karpaty

Tabuľka 1 Údaje o Tuneli Karpaty  
Table 1 Data of the Karpaty tunnel

Parametre	Ľavá (južná) tunelová rúra	Pravá (severná) tunelová rúra
Celková dĺžka tunelovej rúry	10 980,00 m	10 980,00 m
Dĺžka hĺbeného tunela - Východný portál	140,00 m	130,00 m
Dĺžka razeného tunela	10 050,00 m	10 080,00 m
Dĺžka hĺbeného tunela - Západný portál	790,00 m	770,00 m
Začiatok hĺbeného tunela v km diaľnice D4 (Východný portál)	0,240 000 km LTR (JTR) 0,240 970 km D4	0,253 000 km PTR (STR) 0,252 343 km D4
Koniec hĺbeného tunela – začiatok razeného tunela v km diaľnice D4 (Východný portál)	0,380 000 km LTR (JTR) 0,381 678 km D4	0,383 000 km PTR (STR) 0,381 953 km D4
Koniec razeného tunela – začiatok hĺbeného tunela v km diaľnice D4 (Západný portál)	10,430 000 km LTR (JTR) 10,449 793 km D4	10,463 000 km PTR (STR) 10,453 758 km D4
Koniec hĺbeného tunela v km diaľnice D4 (Západný portál)	11,220 000 km LTR (JTR) 11,243 405 km D4	11,233 000 km PTR (STR) 11,222 149 km D4

Šírkové usporiadanie:	2T - 8,0 / 100
Šírka medzi obrubníkmi:	8,00 m
Šírka chodníkov:	1,00 m
Celková výška priechodného prierezu v tuneli:	4,80 m
Pozdĺžny sklon:	+0,70 %, - 0,70%
Max. priečny sklon:	-2,5 % - 2,5 %
Vetranie:	pozdĺžne s vetracími šachtami
Návrhová rýchlosť:	100 km/h

## 5 Popis technológie razenia tunelových rúr.

Vyššie popísané možné negatívne ovplyvnenie hladiny podzemných je možné PLNE ELIMINOVÁŤ použitím vhodnej metódy výstavby tunelových rúr.

Na základe vyššie uvedených dôvodov navrhujeme realizácia tunelových rúr pomocou metódy TBM (profilový raziaci stroja s plášťom ), kde je možné ihneď po vyrazení daného úseku tunela pod ochranou oceľového plášt'a raziaceho stoja montovať železobetónové segmentové ostenie z prefabrikovaných dielcov s vodotesnými spojmi, a tak zabezpečiť okamžitú vodotesnosť realizovaného diela. Tento spôsob výstavby eliminuje vplyv drenážneho účinku razenia tunela na okolitý horninový masív hladinu podzemných vôd.

Tunelová rúra je rozdelená na úseky budované razením a hĺbením. Hĺbené úseky budú realizované v otvorenej stavebnej jame na oboch portáloch, ktoré budú následne zasypané. Povrch zasypaní bude rekultivovaný zatrávením a vhodnou výsadbou kríkov a drevín, tak aby charakter prírodného prostredia bol zachovaný.



Obr. 2 Západný (Mariánsky) portál tunela Karpaty  
Fig. 2 West (Mariánka) portal of Karpáty tunnel

Predpokladané množstvo vyťaženej rúbaniny z tunelových rúr diaľničných tunelov bude  $2\,700\,000\text{ m}^3$ , čo pri koeficiente nakyprenia  $k = 1,3$  predstavuje  $3\,510\,000\text{ m}^3$  materiálu.

Počas razenia tunelov bude všetka rúbanina z tunelových rúr dopravovaná pomocou pásových dopravníkov priamo na skládky materiálov nachádzajúce sa pri západnom portáli tunela Karpaty.

Vhodná rúbanina môže byť po predrvení použitá do násypov presypaných zelených mostov – biokoridorov a ďalších zemných konštrukcií.

V prípade, že by bol počas realizácie tunelových rúr narazený výdatný zdroj podzemnej vody, je potrebné orientovať sa na možnosť využitia podzemného diela ako zdroja pitnej vody. Z hľadiska technického i hygienického nie je problémom vybudovať záchyt hlavných výverov podzemnej vody počas raziacich prác a ich zvedenie do tunelovej rúry bez toho, aby došlo ku kontaminácii vody. Takéto riešenia sú bežné nielen vo svete ale aj u nás (napríklad Čremošniansky tunel).



Obr. 3 Východný (Račiansky) portál tunela Karpaty  
Fig. 3 East (Raca) portal of Karpáty tunnel

## 6 Návrh vetrania tunela Karapy

V diaľničnom tuneli Karapy je navrhnuté pozdĺžne vetranie tromi vetracími šachtami, ktoré rozdeľujú tunel na samostatné vzduchotechnické úseky.

Navrhnuté pozdĺžne vetranie tunelov zaisťuje dodržanie požadovanej koncentrácie škodlivín od prevádzky vozidiel. Ide o CO oxid uhoľnatý, NO<sub>x</sub> oxidy dusíka, dodržanie priehľadnosti (opacity) v tuneli.

Pri normálnej dopravnej prevádzke, pri rýchlostiach vozidiel 40 – 100 km/h sa oba tubusy vyvetrajú pozdĺžnym vetraním s prúdovými ventilátormi pod klenbou tunela. Vetracie šachty zaisťujú odvod znečisteného vzduchu z daného vetracieho úseku a prívod čerstvého vzduchu. Výkon ventilátorov vo vetracích šachtách bude regulovaný pomocou frekvenčných meničov. Pri kongescii vozidiel v tuneli alebo za mimoriadnych klimatických podmienok (inverzné počasie, hmla, víchrica a pod.) bude podľa situácie postupne zvyšovaný výkon vetrania na základe údajov čidiel CO, opacity, merania rýchlosti a smeru prúdenia vzduchu v tuneli. Pri zastavení dopravy v tuneli budú vodiči vyzvaní, aby vyplli motor.

V prípade nehody a požiaru v jednom tuneli bude automaticky spustené vetracie zariadenie daného úseku. Vo vetracom úseku, kde vznikol požiar, sa automaticky spustí odsávací ventilátor v príslušnej vetracej šachte na min. výkon 250 m<sup>3</sup>/s. Množstvo odsávaného vzduchu zodpovedá dimenzovaniu VZT zariadení na normový požiar 50 MW.

## 7 Záverečné zhodnotenie

Predmetom technicko-ekonomického hodnotenia je porovnanie úseku Diaľnice D4 Bratislava Rača - Záhorská Bystrica v dvoch variantoch, s nulovým stavom, t.j. použitím náhradnej trasy:

- Náhradná trasa č. 1: D1 Mierová - Senecká, D2 Lamačská cesta - Staré grunty, Dĺžka trasy: 34,85 km,
- Náhradná trasa č. 2: D4 Jarovce - Rača, D2 Lamačská cesta - Staré grunty Dĺžka trasy: 47,80 km.

Z hľadiska porovnania finančných nákladov na výstavbu tunelov metódou NATM (vrtno-trhavinovou metódou) voči výstavbe pomocou metódy TBM (plnoprofilový raziaci stroj) je výstavba tunela Karapy pomocou metódy TBM drahšia o cca 10 %.

Hodnotenie metódou stupňa výnosností, ktoré vychádza zo súčasnej hodnoty očakávaných prínosov a nákladov počas realizácie stavby a jej dopravno-ekonomickej životnosti pre predpokladané obdobie rokov 2018 do roku 2022 je kvantifikované ako tok nákladov a prínosov pre navrhnutú investíciu. Miera vnútornej výnosovosti IRR investície pre úsek Diaľnice D4 Bratislava Rača - Záhorská Bystrica s tunelom Karapy pre variant:

- s tunelom Karapy, realizovaným pomocou metódy TBM (realizácia výrubu tunela pomocou plnoprofilového raziaceho stroja), IRR = 9,69 %,
- s tunelom Karapy, realizovaným pomocou metódy NATM (realizácia výrubu tunela pomocou vrtno-trhavinových prác), IRR = 10,69 %.

Napriek vyšším stavebným nákladom je potrebné zobrať do úvahy nasledovné prínosy ktoré ponúka metóda TBM v porovnaní s metódou NATM:

- podstatne kratší čas výstavby, cca 16 až 24 mesiacov,
- eliminácia negatívneho zásahu do podzemných vôd v lokalite Svätej studne,
- možnosť vybudovania multifunkčnej technologickej prístupovej cesty pod úrovňou vozovky, ktorú je možné využiť ako:
  - o chránené únikovú chodbu cestu v prípade incidentu v tuneli,
  - o prístupovú cestu pre hasičské a záchranné jednotky,
  - o multifunkčný technický kanál a kolektor pre káblové trasy.