

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra geotechniky



BAKALÁRSKA PRÁCA

Výpočet primárního ostění tunelu Ovčiarско

Design of Primary Lining of the Ovčiarско Tunnel

Študijný program: Stavební inženýrství

Študijný odbor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedúci práce: doc. Dr. Ing. Jan Pruška

Alexandra Majtánová

Praha 2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Majtánová Jméno: Alexandra Osobní číslo: 458912
Zadávající katedra: K135 Geotechnika
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Výpočet primárního ostění tunelu Ovčiarsko

Název bakalářské práce anglicky: Design of Primary Lining of the Ovčiarsko Tunnell

Pokyny pro vypracování:

- 1) rešerše IG podmínek zájmového území, popis konvenčních metod ražby, popis postupů výpočtu vnitřních sil primárního ostění
- 2) podrobný popis oblasti vybraného řezu - geologie, geometrie, vytvoření numerického modelu
- 3) výpočet vnitřních sil

Seznam doporučené literatury:

Barták, Pruška Podzemní stavby
zdroje na webu (CzTA, ITA AITES apod.)
firemní materiály

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Jan Pruška

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17. 5. 2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20. 02. 2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému *Výpočet primárneho ostění tunelu Ovčiarско* spracovala samostatne pod odborným vedením doc. Dr. Ing Jana Prušky, že som uviedla všetky použité literárne zdroje a parametre.

V Prahe 24.05.2020

Alexandra Majtánová

Podakovanie

Vznik tejto práce bol ovplyvnený radou ľudí, ktorí mi poskytli pomoc z odbornej strany a aj tej ľudskej.

V prvom rade moja obrovská vďaka patrí vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Dr. Ing. Janovi Pruškovi, za jeho ľudský prístup, odborné vedenie tejto práce a pomoc pri získavaní podkladov.

Vďaka patrí zhotoviteľovi stavby „Združeniu Ovčiarsko“, ktorý mi poskytol možnosť absolvovať odbornú prax na stavbe tunelu Ovčiarsko a tým získať reálny pohľad na výstavbu. Taktiež mi bola poskytnutá výkresová dokumentácia, ktorú som pri riešení práce využila.

Ďalej ďakujem pánovi Ing. Róbertovi Zwillingovi zo spoločnosti Basler&Hofmann Slovakia s.r.o. za poskytnutie údajov o geológii územia.

Nakoniec veľká vďaka patrí mojej rodine a partnerovi, ktorí za mnou stáli a podporovali ma za každých okolností v mojom štúdiu a pri písaní tejto práce.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom primárneho ostenia diaľničného tunelu Ovčiarsko, ktorý je súčasťou výstavby nového diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka.

Prvá časť práce prináša informácie o základnej sieti diaľnic na Slovensku, taktiež popisuje riešený úsek diaľnice, kde sa nachádza tunel Ovčiarsko. Súčasťou prvej časti je úvod do podzemného staviteľstva, kde sú vysvetlené základné používané pojmy. Samostatná kapitola sa zameriava na opis tunelu Ovčiarsko, jeho technické charakteristiky. Na záver prvej časti práce sú vysvetlené geologické pomery lokality.

Druhá časť práce je venovaná vytvoreniu numerického modelu, ktorý tvorí základ pre posúdenie primárneho ostenia. Pre získanie vnútorných síl a stanovenie zaťaženia vybraného rezu je numerický model vytvorený v programe GEO5 MKP.

Kľúčové slová

diaľnica, tunel, geológia, primárne ostenie, numerický model, metóda konečných prvkov, NRTM, tunel Ovčiarsko

Abstract

The bachelor's thesis deals with the design of primary lining of Ovčiarsko motorway tunnel that is the part of construction of new motorway section D1 Hričovské Podhradie-Lietavská Lúčka.

The first part of thesis provides information about the basic network of motorways in Slovakia, it also describes the section of motorway where is the tunnel Ovčiarsko located. Part of the first part is an introduction to underground construction where basic used terms are explained. The separate chapter focuses on the description of the tunnel Ovčiarsko and its technical characteristics. At the conclusion of the first part of thesis are explained the geological conditions of locality.

The second part of thesis is devoted to the creation of numerical model that forms the basis for assessment of the primary lining. For the acquisition of internal forces and the determination of the load of the selected cut is the numerical model created in the program GEO5 MKP.

Key words

motorway, tunnel, geology, primary lining, numerical model, finite element method, NRTM, Ovčiarsko Tunnel

Obsah

1	Úvod	10
2	Základný popis diaľnic na Slovensku	11
2.1	História a vývoj.....	11
2.1.1	Prvé návrhy	11
2.1.2	Slovensko v ére samostatnosti	13
2.2	Výstavba diaľničných tunelov na Slovensku	14
2.3	Diaľnica D1.....	15
3	Základný popis riešeného územia	17
3.1	Úsek D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka.....	17
3.1.1	Smerové a výškové vedenie trasy.....	18
3.2	Opis regiónu.....	19
3.2.1	Žilinská kotlina	20
3.2.2	Tektonický vývoj územia.....	21
4	Úvod do oblasti podzemného staviteľstva.....	23
4.1	Rozdelenie podzemných stavieb	23
4.1.1	Rozdelenie podľa dispozičného usporiadania	23
4.1.2	Rozdelenie podľa spôsobu prevedenia.....	24
4.1.3	Rozdelenie podľa účelu použitia.....	24
4.2	Výklad termínov.....	24
4.2.1	Základné pojmy a typológia podzemných objektov	24
4.2.2	Priestorové usporiadanie tunelov a štôlní.....	25
4.2.3	Horninové prostredie.....	25
4.2.4	Konštrukčné časti tunelov a štôlní.....	27
4.2.5	Technológia razenia tunelov.....	28
4.3	Spôsob výstavby podzemných diel	28
4.3.1	Razené podzemné diela	29
4.3.1.1	Nová rakúska tunelovacia metóda (NRTM)	29
5	Tunel Ovčiarsko	32
5.1	Identifikačné údaje	32
5.2	Základné údaje.....	32

5.2.1	Trasa tunela	33
5.2.2	Technológia výstavby.....	33
5.2.3	Prvky vystrojenia primárneho ostenia.....	36
6	Geologické a geotechnické pomery lokality.....	38
6.1	Prieskumná štôľňa.....	38
6.1.1	Prieskumná štôľňa v čase obhliadky	40
6.2	Geologické pomery v trase tunelu.....	42
6.2.1	Geodynamické javy	43
6.2.2	Charakteristika základných typov hornín a vyčlenenie celkov	44
6.2.3	Geotechnické úseky	45
6.2.3.1	Portálové oblasti G0	46
6.2.3.2	Geotechnický úsek G1.....	46
6.2.3.3	Geotechnický úsek G2.....	47
6.2.3.4	Geotechnický úsek G3.....	47
6.3	Hydrogeologické pomery prostredia	48
7	Návrh primárneho ostenia tunelu	50
7.1	Použitý software	50
7.1.1	GEO5 – MKP	50
7.2	Zvolený priečny profil	51
7.2.1	Parametre hornín a zemín	51
7.2.2	Parametre primárneho ostenia	51
7.2.2.1	Vlastnosti striekaného betónu.....	52
7.2.3	Vplyv svorníkovej výstuže	53
7.3	Numerický model.....	54
7.3.1	Výsledky výpočtu	56
8	Záver	60
9	Slovníček	61
10	Použitá literatúra.....	62
11	Zoznam obrázkov	66
12	Zoznam tabuliek	68
13	Prílohy.....	69

Zoznam skratiek

SB	striekaný betón
JTR	južná tunelová rúra
k.ú.	katastrálne územie
MKP	metóda konečných prvkov
MP	mikropilóty
NRTM	Nová rakúska tunelovacia metóda
NZ	núdzový záliv
STR	severná tunelová rúra
VT	vystrojovacia trieda
VÚC	vyšší územný celok
ŽB	železobetónový

1 Úvod

Slovensko ako pomerne mladá krajina neustále prechádza vývojom. Jedným zo znakov moderného štátu je aj vyspelá infraštruktúra a rozvinutá doprava. Po osamostatnení stálo Slovensko pred úlohou rozvinúť sieť diaľnic a rýchlostných ciest. Prioritou každej vlády sa preto stalo spojiť západ krajiny s jej východom. Táto snaha sa preniesla do budovania diaľnice D1 naprieč celým Slovenskom. Avšak v krátkom čase sa ukázala rada problémov, ktorá neustále oddŕažovala dokončenie jednotlivých úsekov, ktoré by postupne vytvorili celý úsek. Finančné problémy nebola jediná starosť, ktorá prinášala oneskorenie, boli to mnohokrát aj zložité geologické podmienky. Medzi najzložitejšie stavby úsekov sa stali tunely. Aj napriek zahájeniu stavby niektoré z nich sa do dnešného dňa stretávajú s komplikáciami, ktoré neumožňujú ich prevádzku. Avšak existuje rada prípadov kedy sa nielen tunel, ale aj úsek ako celok dokončil a umožnil tak priblížiť sa k cieľu spojiť krajinu.

Jeden z takýchto úsekov, ktoré sa podarilo dokončiť a v krátkej dobe aj uviesť do prevádzky je úsek D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. V predmetnom úseku sa nachádzajú dva tunely - tunel Ovčiarsko a tunel Žilina. Práve tunel Ovčiarsko sa stal predmetom riešenia tejto bakalárskej práce.

V úvode bakalárskej práce je uvedená stručná história a vývoj diaľničnej siete Slovenska, ktorá približuje voľbu trás jednotlivých vetiev diaľnic v ére samostatnosti. Pozornosť sme venovali aj konkrétnemu úseku a základnej regionálnej geológii, avšak podrobným informáciám o tuneli Ovčiarsko sa venuje samostatná kapitola. Podrobne sa práca zaoberá aj geologickou stavbou horninového masívu, ktorým tunel prechádza. Návrhom primárneho ostenia sa zaoberá druhá časť práce. Pomocou numerického modelu zvoleného rezu sme sa posunuli k ďalšiemu kroku, ktorým sa stal návrh primárneho ostenia.

2 Základný popis diaľnic na Slovensku

2.1 História a vývoj

Prvé počiatky diaľničnej siete siahajú do obdobia medzivojnovovej Československej republiky. Vzhľadom na nárast automobilovej dopravy bola stále väčšia potreba vybudovania nových sietí. Jedným z hlavných dôvodov chýbajúcich ciest bolo za čias Rakúsko-Uhorska budovanie komunikácií do centier monarchie a to Viedeň a Budapešť. Československu chýbala akási hlavná tepna, ktorá by prepájala obe krajiny.

2.1.1 Prvé návrhy

Neustály tlak priniesol vôbec prvý návrh, ktorý niesol názov „Národní silnice Plzeň - Košice“. Prišiel v roku 1935 a bol vypracovaný Dopravnou komisiou Československého regionalistického ústredia pod vedením Stanislava Bechyně. Keďže tento návrh z dnešného pohľadu nepretína významnejšie mestá, v tom istom roku prišiel druhý návrh od inžinierov z Brna. Už na prvý pohľad táto alternatíva poskytovala dve vetvy namiesto jednej. Severná vetva začínala v meste Cheb, pretínala Olomouc a Žilinu a končila v Košiciach. Južná vetva začínala taktiež v Chebe a končila v Košiciach, ale viedla cez Brno, Hodonín a Trnavu. Vláda Československa nevenovala pozornosť ani jednému z návrhov a považovala ich za zbytočné.



Obr. 1: Mapa návrhu Národní silnice Plzeň - Košice [1]



Obr. 2: Mapa návrhu Cheb - Košice [2]

Zlom nastal až v roku 1937, kedy priemselník Jan Baťa priniesol návrh s názvom „Cestná magistrála Cheb – Veľký Bočkov“. Začínala v Chebe a mala končiť vo Veľkom Bočkove na Podkarpatskej Rusi. Táto trasa podobne ako predchádzajúce trasy vynechávajú dôležité mestá. Podľa Baťových rozpočtov 1 kilometer autostrády mal stáť 2 milióny Kč a teda 980 km trasy malo vyjsť 2 miliardy korún.



Obr. 3: Mapa návrhu Jana Baťu [3]

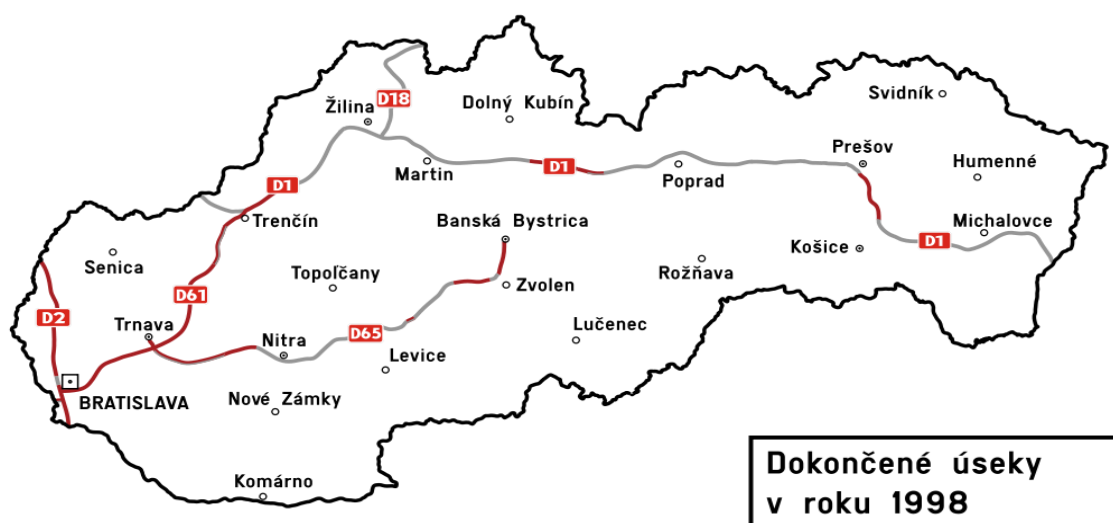
V roku 1938 prichádza k politickému napätiu v dôsledku Hitlerovej invázie do Rakúska a v septembri toho istého roku po Mníchovskej dohode prichádza Česko-Slovensko o české a moravské pohraničie. Táto zmena sa prejavila na existujúcom návrhu, kde sa začiatok cesty presúva k Terezínu. Ďalšia zmena trasy prišla po 2. novembri 1938, kedy bola zvolaná Viedenská arbitráž a Slovensko spolu s Podkarpatskou Rusou bolo pripravené o pohraničné oblasti. Po týchto veľkých

zmenách boli zedefinované podrobné technické parametre a navrhnuté nové označenie a to slovom diaľnica. Maximálna rýchlosť bola stanovená na 120 km/h, bola smerovo rozdelená a všetky križovatky mali byť mimoúrovňové. Takisto sa zmenil smer jazdy na pravostrannú premávku.

2.1.2 Slovensko v ére samostatnosti

Prvé rozostavané úseky diaľnic na Slovensku pochádzajú ešte z obdobia 80. rokov minulého storočia. Na konci tejto dekády Slovensko disponovalo so 182,557 km diaľnic, ktorých trasa kopírovala plán z dôb socializmu. Po tom, čo bol v roku 1989 zvrhnutý komunistický režim v Česko-Slovensku sa úloha budovania diaľničnej siete presunula na každý štát jednotlivo.

Slovensko v prvých rokoch svojej samostatnosti bojovalo s nedostatkom financií na výstavbu a veľké problémy predstavovalo aj vykupovanie pozemkov pre plánované trasy. Diaľničná sieť sa po osamostatnení nezmenila, avšak bola do nej zahrnutá dávnejšie plánovaná diaľnica D1, ktorá smerovala na Skalité. V roku 1990 sa dokončil úsek diaľnice D1 Liptovský Hrádok - Hybe a o rok neskôr sa začalo s budovaním obchvatu okolo Trenčína. Po roku 1994 sa pokračovalo v budovaní druhej časti obchvatu okolo Trenčína a to úsek Skala - Nemšová. Chýbajúce úseky medzi Hornou Stredou a Trenčínom sa začali budovať v roku 1996.

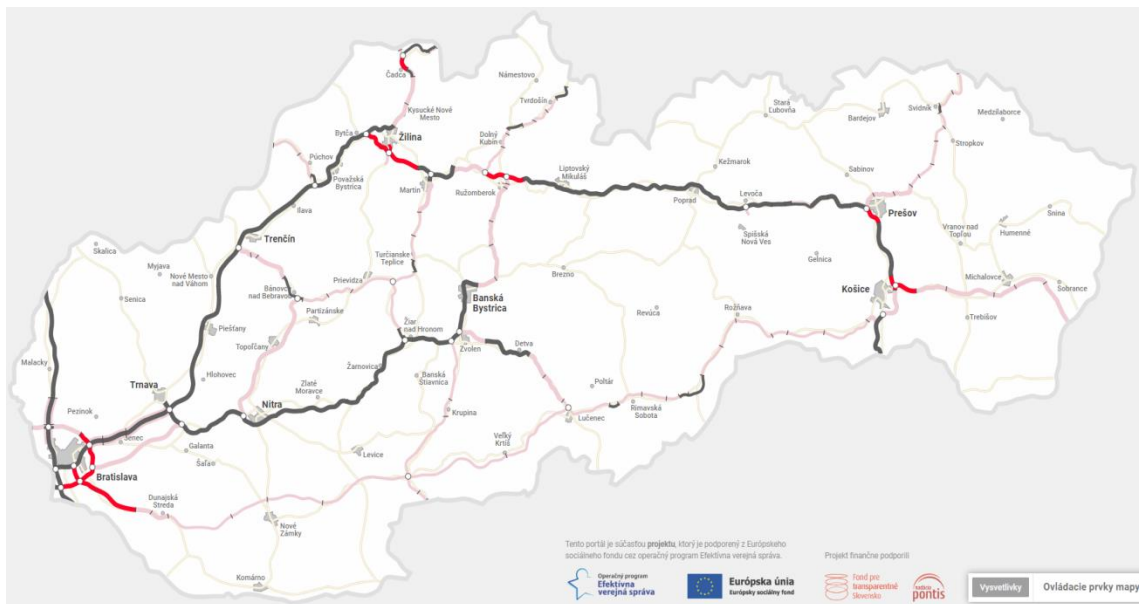


Obr. 4: Mapa diaľničnej siete Slovenska [4]

Vzhľadom na Uznesenie vlády Slovenskej republiky bolo v marci 1999 zmenené číslovanie diaľnic a bolo rozhodnuté, že diaľnica D1 sa bude skladať z D1 a D61. Po výmene premiéra sa dospelo k názoru, že predchádzajúce tempo výstavby je neudržateľné a preto dochádza k obmedzeniu. Postihnuté úseky boli 3 na D1, ale najmä celá diaľnica D3. Pôvodné plány sa darí dodržiavať na strednom Považí na diaľnici D1 a aj pri stavbe tunela Branisko. Postupne sa výstavba diaľničnej siete na Slovensku začína rozbiehať, zahajujú sa nové úseky a v roku 2003 bol otvorený vôbec

prvý diaľničný a zároveň najdlhší dopravný tunel na Slovensku, 4 975 m dlhé Branisko. V roku 2005 bola ukončená stavba úseku D1 Viedenská - Prístavný most, ktorý prechádza naprieč hlavným mestom Bratislava. Snaha o odľahčenie dopravnej situácie v meste Poprad spočívala vo vybudovaní 25 km dlhého úseku Mengusovce - Jánovce. Verejná súťaž, ktorá bola sprevádzaná škandálom ohľadom kartelovej dohody firmami zmarila tento plán a od výstavby sa upustilo.

Nástupom novej vlády bolo prisľúbené urýchlenie dostavby diaľnice D1 medzi Bratislavou a Košicami, čo predstavuje hlavnú migračnú trasu ľudí medzi západom a východom Slovenska. Všetky chýbajúce úseky na D1 sa rozdelili do troch balíkov. Prvý predstavoval úsek Vrútky - Prešov, druhý zahŕňal úseky na R1 Nitra - Tekovské Nemce a severný obchvat Banskej Bystrice. Tretí zároveň posledný balík predstavuje výstavbu južného obchvatu mesta Žilina a preložku cesty I/64 Žilina - Lietavská Lúčka. Vzhľadom na prichádzajúcu finančnú krízu a nezodpovedné hospodárenie viedlo k nedostatku financií, čo spôsobilo odsúvanie ich výstavby. Do tohto obdobia sa stihol uzavrieť iba tzv. 2. balík. Veľkým míľnikom sa stáva dlho očakávaná dostavba D1 naprieč Považskou Bystricou, kde diaľničný most vedie priamo nad samotným mestom. Týmto krokom sa skompletizovalo spojenie Bratislava - Žilina. Obrázok 5 predstavuje súčasnú situáciu diaľničnej siete na Slovensku, kde úseky zvýraznené čiernou farbou sú dostavané, červené úseky sú vo fáze výstavby a bledočervené sú plánované. [5]



Obr. 5: Mapa súčasnej diaľničnej siete na Slovensku [6]

2.2 Výstavba diaľničných tunelov na Slovensku

Povrch Slovenska zaberajú pohoria a vysočiny, čo predstavuje až tri pätiny územia. Spolu s navrhnutou diaľničnou sieťou predstavujú dva faktory, ktoré počítajú s výstavbou tunelov. Táto sieť sa pohybuje v oblasti s výraznými morfológickými

pomeri, ktoré sú typické pre blízkosť horského masívu Karpaty. Práve diaľničné tunely spolu s mostami umožňujú prekonanie pohorí a údolí bez zmeny plánovanej trasy diaľnic. Prehľadná mapa diaľničných tunelov zachytáva súčasnú situáciu na území Slovenska v Prílohe 1.

Tab. 1: Prehľad diaľničných tunelov na Slovensku [7]

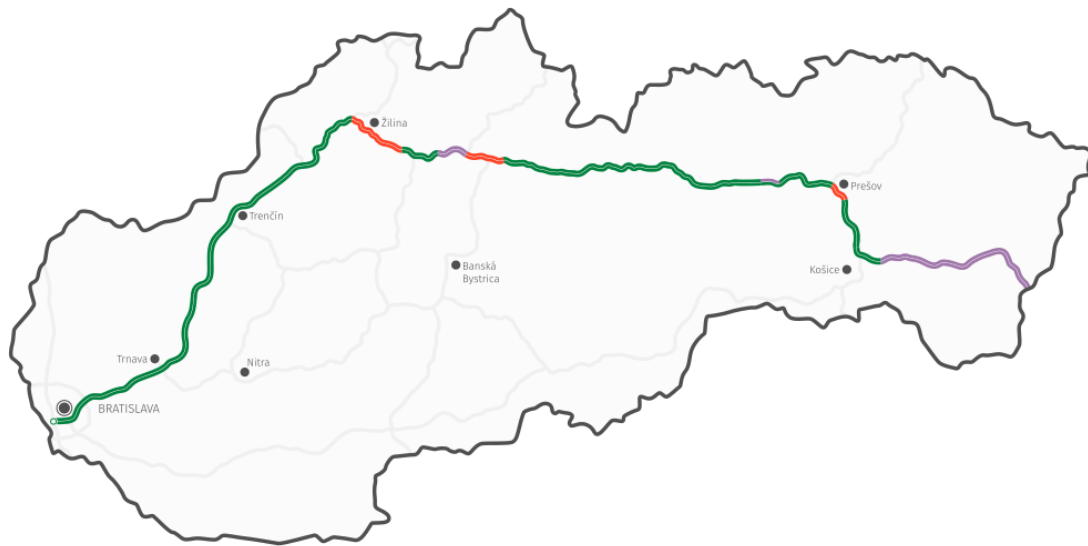
Tunel	Dĺžka	Kraj	Úsek	Stav
Bôrik	995 m	BRA	D1 Mengusovce- Jánovce	v prevádzke
Branisko	4975 m	PRE	D1 Beharovce- Široké	v prevádzke
Čebrať	3619 m	ZIL	D1 Hubová- Ivachnová	vo výstavbe
Dargov	1050 m	KOS	D1 Bidovce- Dargov	v pláne
Havran	2807 m	ZIL	D1 Turany- Hubová	v pláne
Horelica	605 m	ZIL	D3 Oščadnica- Čadca	v prevádzke
Karpaty	10 990 m	BRA	D4 Rača- Stupava	v pláne
Korbeľka	5868 m	ZIL	D1 Turany- Hubová	v pláne
Lučivná	250 m	PRE	D1 Važec- Mengusovce	v prevádzke
Ovčiarsko	2367 m	ZIL	D1 Hričovské Podhradie- Lietavská Lúčka	vo výstavbe
Poľana	898 m	ZIL	D3 Svrčinovec- Skalité	v prevádzke
Považský Chlmec	2249 m	ZIL	D3 Žilina, Strážov- Brodno	v prevádzke
Prešov	2244 m	PRE	D1 Prešov, západ- Prešov, juh	vo výstavbe
Sitina	1440 m	BRA	D2 Mlynská dolina- Lamačská cesta	v prevádzke
Svrčinovec	420 m	ZIL	D3 Svrčinovec- Skalité	v prevádzke
Šibenik	588 m	PRE	D1 Jánovce- Jablonov	v prevádzke
Višňové	7520 m	ZIL	D1 Lietavská Lúčka- Dubná Skala	vo výstavbe
Žilina	687 m	ZIL	D1 Hričovské Podhradie- Lietavská Lúčka	vo výstavbe

2.3 Diaľnica D1

Diaľnica D1 predstavuje najdlhšiu a zároveň najvýznamnejšiu diaľnicu, ktorá spája západné a východné Slovensko. Samotný počiatok výstavby siaha do roku 1972, kde križovatka Bratislava - Pečňa je počiatok, čiže nulý kilometer. Po jej dobudovaní spojí Bratislavu so Záhorom a jej súčasťou sa stane aj hraničný prechod Vyšné Nemecké - Užhorod na štátnej hranici s Ukrajinou. Celá trasa pretína strategicky významné mestá z pohľadu ekonomiky, dopravy a migrácie občanov. Začiatok predstavuje už spomínané hlavné mesto Bratislava a pokračuje cez Trnavu, Trenčín, Žilinu, Martin, Poprad, Prešov, Košice a Michalovce. Veľký význam potvrdzuje, že práve

táto diaľnica je súčasťou Paneurópskeho koridoru, konkrétne vetvy V., ale aj európskych ciest E50.

Správcom diaľničnej siete je Národná diaľničná spoločnosť, a.s., ktorá predstavuje predĺženú ruku štátu. Celková dĺžka je 512 km je zobrazená na obrázku 6, avšak k dnešnému dňu je v prevádzke iba 376,5 km (zelená farba), vo výstavbe 47,8 km (oranžová farba) a plánuje sa 87,7 km (fialová farba). Diaľnica D1 je rozdelená celkovo na 44 úsekov.



Obr. 6: Mapa Diaľnice D1 [8]

3 Základný popis riešeného územia

3.1 Úsek D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka



Obr. 7: Mapa úseku D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka [9]

Predmetný úsek je situovaný neďaleko mesta Žilina v Žilinskom kraji na severe stredného Slovenska. Navrhovaný úsek je súčasťou hlavného diaľničného ťahu a celá stavba súvisí s komplexným riešením úseku D1 Sverepec - Višňové - Martin, s diaľnicou D3 Žilina - Kysucké Nové Mesto a taktiež s preložkou cesty I/64 v obci Lietavská Lúčka.

Celá stavba začína vo Vážskej kotline a napája sa na v súčasnosti už existujúcu a využívanú stavbu D1 Vrtižer - Hričovské Podhradie a to v mieste križovatky diaľnic D1 a D3 v obci Dolný Hričov v km 24,000. Pomocou mostných objektov navrhnutých od km 24,118 prechádza ponad železničnú trať Bratislava - Košice, areál poľnohospodárskeho družstva v Dolnom Hričove a cestu I/18. Na východ smeruje do tunela Ovčiarsko. Pomocou tohto tunela prekonáva masív bradlového pásma. Po jeho opustení sa trasa dostáva do Žilinskej kotliny. Prechádza prevažne extravilánom obcí Bitarová, Brezany, Hôrky a cez katastrálne územie Bánova. V striedaní násypov, zárezov a mostných objektov nad údoliami vchádza do tunela Žilina. Tunel prekonáva morfológický výbežok Dúbravy. Pomocou ďalších mostných objektov, ktoré nasledujú hneď po opustení tunela na rozhraní katastrálnych území Bytčica a Lietavská Lúčka je prekonaná dolina Rajčianka. Koniec úseku je pahorkatá časť Malej Fatry a predstavuje ho v km 35,435 križovatka s diaľničným privádzačom Lietavská Lúčka - Žilina. Práve táto križovatka je totožná s počiatkom ďalšieho úseku D1 Lietavská Lúčka - Višňové.

Trasa riešeného úseku je vedená poľnohospodárskymi pozemkami a v malej miere lesnými pozemkami. Celý profil územia prechádza postupne od rovín, pahorkatín, ktoré sú špecifické zosuvnými svahmi a končia až vrchovitým terénom. [10]

Úsek je navrhnutý v celej dĺžke ako štvorpruhová diaľnica, ktorá je smerovo rozdelená v kategórii D 26,5/100 vo voľnej trati a v tuneloch v kategórii T8,0/100. Dĺžka úseku predstavuje 11,307 km. Celková stavba sa skladá z 217 stavebných objektov. Medzi hlavný stavebný objekt je zaradený objekt 101-00 Diaľnica D1 km 24,000 -

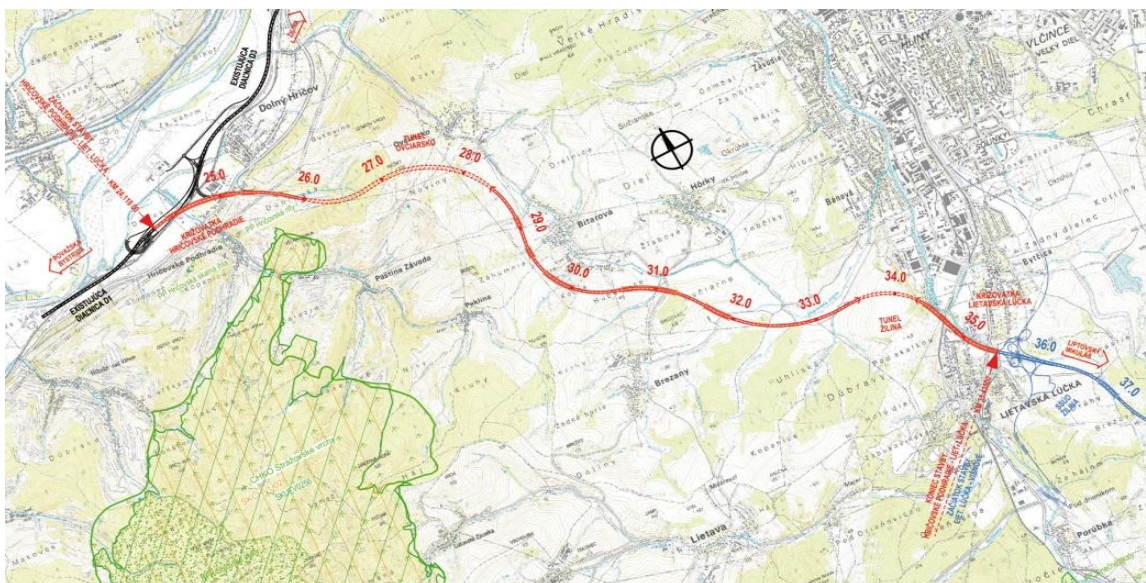
35,435. Na trase sa nachádza 11 mostných objektov, kde najdlhší most je estakáda (209-00) v Lietavskej Lúčke s dĺžkou 1 042 m. Celková dĺžka mostných objektov je 3 670 m. Významnou súčasťou stavby sú aj dva tunely a to Ovčiarsko a Žilina. Južná tunelová rúra tunela Ovčiarsko má dĺžku 2 367 m, kde razená časť predstavuje 2 320 m. Severná tunelová rúra je o 7 metrov kratšia a to 2 360 m, razená časť má dĺžku 2 300 m. Južná tunelová rúra tunelu Žilina je dlhá 687 m, razená časť má 651 m. Severná tunelová rúra toho istého tunelu má dĺžku 684 m a razená časť predstavuje 363 m. Na stavbe sa nachádzajú taktiež 3 oporné múry s dĺžkou 290m. V neposlednom rade je potreba ochrániť priľahlé obce proti šíreniu hluku a vibrácií z premávky na tomto úseku. Práve preto bolo použitých 6 protihlukových stien v celkovej dĺžke 3 450 m. [11] [12]

Samotný začiatok výstavby je datovaný na január 2014. Celá výstavba úseku sa riadila podľa zmluvných podmienok žltého FIDIC-u. Celkové ukončenie spolu s privádzacím bolo plánované na prvú polovicu roku 2019, avšak pre nadväzujúce stavebné úpravy, pred spustením prevádzky do dopravného uzla Žilina, sa posúva otvorenie na prvú polovicu roku 2020. [13]

Jedenástkilometrový diaľničný úsek D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka ušetrí motoristom celkovo 9 minút jazdy v porovnaní s cestou prvej triedy a je financovaný z časti z eurofondov. Úsek by mal stáť 427 milióna eur bez DPH. [14]

3.1.1 Smerové a výškové vedenie trasy

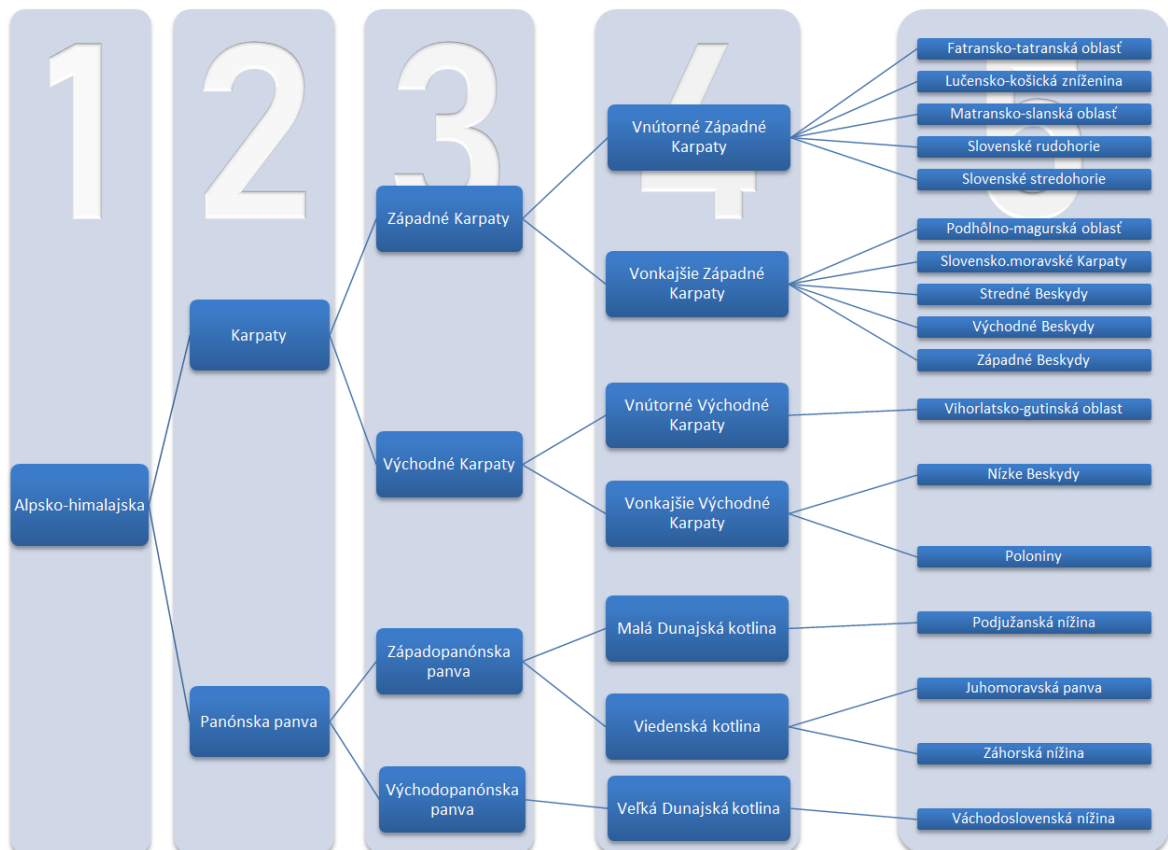
Polomery smerových oblúkov sa pohybujú v rozmedzí $R = 800$ m až $R = 1\,750$ m. Niveleta je navrhovaná v pozdĺžnom sklone od minimálneho 0,3 % až po maximálny sklon 3,0 %. Lomy nivelety sa zaoblujú vypuklými oblúkmi s $R_v = 10\,000 - 100\,000$ m a vydutými oblúkmi s $R_u = 10\,000 - 50\,000$ m. [15]



Obr. 8: Staničenie trasy úseku D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka [16]

3.2 Opis regiónu

Z hľadiska opisu geomorfológie ale aj geológie Slovenska je potrebné dostať sa na začiatok veľkej sústavy, ktorá prechádza od juhu Španielska, naprieč celou Európou až na Ázijský kontinent. Rozsiahla geomorfologická sústava, ktorá predovšetkým vznikla uzatváraním oceánskeho priestoru nesie názov Alpsko-himalajská sústava. Slovensko leží v tejto sústave, kde Karpaty a Panónska panva tvorí podsústavu, ktorá bližšie rozdeľuje územie na menšie oblasti. Tieto oblasti sú prehľadne zobrazené na obrázku 9.

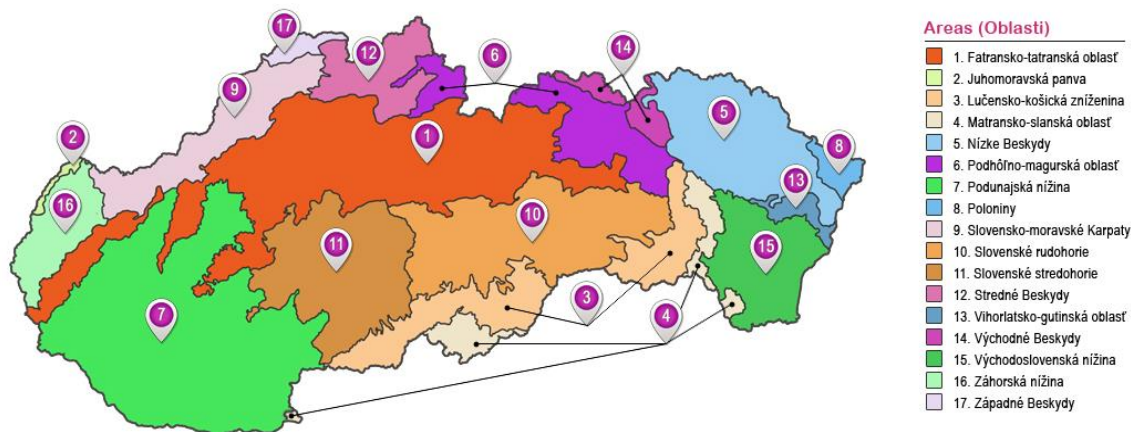


Obr. 9: Geomorfologické členenie Slovenska

1 - Sústava, 2 - Podsústava, 3 - Provincia, 4 - Subprovincia, 5 - Oblasť

Pre správne popísanie oblasti v okolí riešenej stavby je potrebné špecifikovať územie v širších vzájomných vzťahoch. Ako sme už spomínali, Slovensko je tvorené dvoma podsústavami. Tunel Ovčiarско je vybudovaný v blízkosti mesta Žilina. Práve Žilina leží v podsústave Karpaty. Karpaty sa delia na Západné Karpaty, ktoré sa dvíhajú z údolia Dunaja a pokračujú na východ cez celé Slovensko až k hraniciam so Zakarpatskou Ukrajinou, kde nadväzujú na Východné Tatry. V zrovnaní s Českým masívom sú Karpaty geologicky podstatne mladšie. Západné Karpaty sú rozdelené na vnútorné a vonkajšie, ktoré majú špecifikované ešte menšie územia. Celé riešené územie spadá do oblasti Fatransko-tatranskej oblasti. V tomto momente sa nachádzame v úrovni oblastí, kde Vnútorne Západné Karpaty obsahujú štyri.

Fatransko - tatranská oblasť ako aj ostatné oblasti, obsahuje jednotlivé celky, podcelky a časti. Fatransko-tatranská oblasť zahŕňa spolu 20 celkov, ktoré sú prehľadne vidieť na obrázku 10. Medzi týmito celkami sa nachádza aj Žilinská kotlina, na ktorej území leží predmetná stavba. V nasledujúcej podkapitole bližšie uvádzame stručný vývoj kotliny a jej regionálnu geológiu. [17] [18]



Obr. 10: Členenie Slovenska na úrovni oblastí [19]

3.2.1 Žilinská kotlina

Žilinská kotlina v dnešnom svojom rozsahu a základnej tvárnosti je pomerne mladým útvarom. Žilinská kotlina predstavuje oproti okolitým pohoriam depresiu v štruktúrno-tektonickom i geomorfologickom zmysle. Horizontálne je kotlina pomerne silne členitým útvarom. V kotline sa výrazne odlišujú dva terénne stupne, a to rovinné územie, tvorené poriečnymi nivami a nízkymi terasami Váhu, Rajčianky a Vavrínky, a vyšší stupeň vlastnej pahorkatiny, v ktorom sa striedajú nízke a široké chrbtly s pomerne plytkými rozovretými, často úvalinovitými dolinami potokov, stekajúcich z Malej Fatry a Súľovskej hornatiny. Reliéf študovaného územia môžeme označiť ako štruktúrno-tektonický. Je výsledkom zložitého vývoja, ktorý prebiehal v štyroch základných etapách, mocne ovplyvňovaných mladými tektonickými pohybmi a klimatickými zmenami. Z prehľadnej geomorfologickej mapy, ktorú vypracoval E. Mazúr, dokážeme identifikovať územie v okolí stavby ako plytko členený, hladko modelovaný reliéf tektonicko-erózných kotlín, prevažne na prvkoch centrálnokarpatského flyšu. Územie nie je charakterizované len touto skupinou, prelína sa do nej silne rozčlenený, prevažne hladko modelovaný reliéf bradlového pásma v obklopení tvrdošov a erózných depresií.

Žilinskú kotlinu budujú väčšinou mäkké flyšové súvrstia centrálnokarpatského paleogénu, ktoré sú len lokálne spestrené výstupmi slabších polôh súľovských zlepencov, v južnej časti Rajeckého výbežku i odolné komplexy vápencov a dolomitov chočskej a strážovskej série, vo Vavrínskom výbežku bradlové prvky. Spraše a sprašové hliny majú v Žilinskej kotline až prekvapujúco veľký rozsah. Pravda nejde tu o spraše,

s akými sa stretávame napr. v Poddunajskej nížine, ale o sediment, ktorý síce nesie početné znaky spraše, na druhej strane sa však od nej výrazne líšia. Hlavným odlišovacím znakom sú hrubšie zrna a odvápnenie. Pri zameraní na konkrétnejšie územie v okolí stavby, môžeme podľa Prílohy 2: Mapa stavebných jednotiek (Mazúr, 1963) [20] určiť výskyt predovšetkým elementov bradlového pásma, centrálnokarpatského bazálneho paleogénu a flyšu. Pri pohľade na Mapu geomorfologickej hodnoty hornín môžeme konštatovať výskyt málo odolných hornín a stredne odolných hornín s variáciou karbonatických zlepcov a pieskovcov. [20]

3.2.2 Tektonický vývoj územia

Celková tektonická porušenosť masívu je nerovnorodá, od málo porušených masívov až po úplne tektonicky rozpadnuté horniny.

Vývoj územia je charakteristický zložitou stavbou, ktorý je zastúpený vo viacerých etapách vývoja:

a) „mezoalpínskou fázou vrásnenia po vrchnej kriede (predpaleogénne).

Vrásnenie bolo reprezentované formou násunu kriedových vrstiev bradlového pásma zo SZ na JV. Výsledkom je zložitá tektonická stavba s viacerými, dielčimi prešmykmi, vrásami s častým potrhaním vrstiev. Tektonická aktivita súvrství so zastúpením rigidnejších členov a plastických členov spôsobila vznik budinovaných zón, prešmykových zón s porušením najmä ílovcovej, plastickej časti súvrstvia. Rigídne členy – vrstvy vápencov, pieskovcov, zlepcov sú porušené krehkých pretvorením, so separáciou na dielčie bloky, kryhy, resp. sú porušené výraznejším puklinovým systémom, pravdepodobne v súčasnosti s nevyhojeným systémom mikrotrhlín. Pôvodná vrstevnatá textúra charakteru laminovaných až lavicovitých vrstiev je zmenená na nerovnomerné, nepravidelné tektonické zbridičnenie s prejavom výraznej, nevratnej mechanickej degradácie masívu. V plastických členoch súvrstvia boli dielčie plochy pohybu vyhladené, zvlnené, často so smerným ryhovaním. Stupeň tektonického porušenia je v dĺžke štôlne nerovnomerne zastúpený, ale v základe je možné pozorovať zjemňovanie smerom do centrálnej časti Žilinskej kotliny, do súboru Žilinských vrstiev. Iba ojedinele boli dokumentované neporušené vrstvy, so zachovalou nezmenenou vrstevnatou textúrou. V dôsledku dlhodobého vystavenia horninových tlakov boli pravdepodobne porušené i vrstvy masívnych, klastických hornín – zlepcov a súvislejšie plochy pieskovcov a drobnozrnných zlepcov. Zníženie vlastností, najmä u zlepcov formou ich ľahkého rozpadu na jednotlivé klasty je podmienené aj ich litologickým zložením, najmä zložením výplne tmelu. Vergencia pohybu bola prevažne Z-SZ na JV-V. V masíve sú plastické, plasticko-krehké pretvorenia.

b) **Fázou vrásnenia v období paleogénu**, po sedimentácii platkovodnejších bazálnych súvrství a hlbších, pelagických súvrství centrálnokarpatského paleogénu. Toto vrásnenie zanechalo stopy súvrství vo forme prešmykov a zmeny rozloženia hlavných napätí. Prevláda smer Z-V až SV-JV so subhorizontálnymi pohybmi v smere S-J.

c) **Neoalpínska etapa** (posledná fáza vývoja) vo forme neotektonických zlomov. S využitím starých porušených štruktúr je charakteru tektonicky germanotypného veku, so zlomovou štruktúrou a následným znásobením nepriaznivých vlastností. Systém je založený najmä v smere S-J, resp. SZ-JV. Zlomy tohto systému sú charakteru priebežných, zjavných zlomov s extenziou a ostrým odčlenením masívov, resp. sú charakterizované dominantnejším zastúpením paralelných systémov puklín.“ [21]

4 Úvod do oblasti podzemného staviteľstva

Nárast počtu obyvateľov, neustále sa zväčšujúce mestá, ochrana životného prostredia, potreba rýchleho transportu veľkého množstva ľudí a tovarov a mnoho viac faktorov predstavuje okrajové podmienky pre rozvoj dopravy. Vzhľadom na zvyšujúcu sa životnú úroveň miest a krajín je vyvíjaný tlak na technickú infraštruktúru. V dnešnom ponímaní sveta sa prisudzuje práve dômyselne vyriešená infraštruktúra ekonomicky zdatnému a vyspelému štátu alebo mestu. Povrch mesta sa začína racionálne využívať pre potreby obyvateľstva a to v podobe parkovacích miest, nákupných centier, tržníc, parkov, miest pre kultúru a šport. Práve v dôsledku tohto trendu sa minimalizuje priestor pre vedenie trás individuálnej a verejnej dopravy po povrchu. Druhou veľkou skupinou, ktorá je obmedzená práve zastavanosťou povrchu intravilánu je zásobovanie energiami potrebnými k bežnému fungovaniu v 21. storočí. Sú to hlavne vodovody, kanalizácie, elektrovody, plynovody, teplovody a mnoho ďalších. Prelomovým a pritom jednoduchým riešením je práve presunúť dopravu a infraštruktúru pod zem. Využitie podzemného priestoru výrazne napomôže či už k ochrane životného prostredia alebo k zvýšeniu efektívnosti prepravy ľudí. Čo sa týka stavieb v extraviláne, geomorfológia väčšiny krajín na tomto svete neumožňuje vedenie dopravnej trasy po povrchu v celej dĺžke. Prekážky ako pohoria, vodné toky, moria alebo práve mestá nútia presunúť časť trasy pod povrch. Často krát to predstavuje ekonomicky alebo časovo výhodnejšie riešenie ako presun trasy.

4.1 Rozdelenie podzemných stavieb

Dlhé roky podzemné stavby znamenali prevažne líniové diela, ktoré sa nachádzajú pod zemským povrchom a prevládajúcim rozmerom je dĺžka. Boli to hlavne tunely a šachty. Avšak posledné desaťročia podzemné staviteľstvo prešlo výrazným vývojom vpred a zvládne vytvoriť diela, ktoré sú dispozične a rozmerovo veľmi náročné.

V publikácií Podzemní stavby (Barták, Pruška, 2011) [22] je uvedené rozdelenie podzemných stavieb a to podľa dispozičného riešenia, spôsobu prevedenia a účelu.

4.1.1 Rozdelenie podľa dispozičného usporiadania

- **Stavby líniové** – ich charakteristika je rádovo prevládajúca dĺžka diela oproti výške a šírke výrubu. Podľa veľkosti plochy priečného profilu sa delia tieto stavby na: štoly, tunely a šachty.
- **Stavby plošné** – u nich nad výškou výrazne prevládajú dva približne rovnaké vodorovné rozmery.
- **Stavby halové** – tzv. kaverny, majú veľkú pôdorysnú plochu aj výšku, všetky tri rozmery sú rádovo rovnaké.

4.1.2 Rozdelenie podľa spôsobu prevedenia

- **Razené podzemné diela** – u nich celá výstavba prebieha v podzemí bez zásahu do nadložia.
- **Podzemné diela realizované z povrchu** – u nich sa najčastejšie výstavba diela prevádza v otvorenej jame a po vybudovaní sa hotové dielo zasype (tzv. hĺbené tunely).

Zvláštnym typom podzemných konštrukcií prevádzaných z povrchu sú **tenkostenné presypávané konštrukcie**, ktoré môžu byť buď oceľové alebo železobetónové.

4.1.3 Rozdelenie podľa účelu použitia

- **Podzemné stavby dopravné** – tunely, železničné, cestné, prieplykové, podzemné mestské dráhy, podchody pre peších.
- **Podzemné stavby vodohospodárske** – vodovodné privádzače, kanalizačné zberače a stoky; prívodné, obtokové a odpadné tunely u priehrad a hydrocentrál; tlakové, vyrovnávacie a iné šachty.
- **Podzemné stavby komunálne** – káblovody (slaboprúd a silnoprúd), parovody, horúcovody, teplovody, kolektory pre spoločné vedenie inžinierskych sietí.
- **Halové a plošné podzemné stavby** – hydrocentrály, vyrovnávacie komory, uzáverové komory, trafostanice, energetické zásobníky (ropa, zemný plyn), skladisko, výrobné, garáže, parkoviská, halové podchody, objekty zdravotnej techniky (nádrže, vodojemy, čistiarne odpadových vôd), záštitné stavby civilnej ochrany (úkryty pre civilné obyvateľstvo, štátnu správu, skladisko). [22]

4.2 Výklad termínov

Vzhľadom na riešenie témy považujeme za vhodné uviesť vybrané pojmy zo základnej terminológie podzemného staviteľstva, ktoré sa nachádzajú v technických podmienkach Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky. [23]

4.2.1 Základné pojmy a typológia podzemných objektov

Tunel (*ang. tunnel, nem. der Tunnel*) – líniový objekt s pozdĺžnym sklonom do 45° (100%) vrátane a plochou výrubu väčšou alebo rovnou ako 16 m².

Štôľňa (*ang. gallery, nem. der Stollen*) – líniový podzemný objekt s pozdĺžnym sklonom do 45° (100%) vrátane a plochou výrubu menšou ako 16 m².

Razenie (*ang. driving, nem. der Vortrieb*) – súhrnný názov pre rozpojovanie horniny, nakladanie a odvoz rúbaniny a vystrojovanie, vykonávané bez odstránenia nadložia.

Výrub (*ang. stope, nem. der Ausbruch*) – podzemný priestor vytvorený rozpojovaním horniny bez odstránenia nadložia.

Razený tunel (*ang. driven tunnel, nem. der vorgetriebene Tunnel*) – tunel zhotovený bez odstránenia nadložia.

Tunel pozemnej komunikácie (*ang. road tunnel, nem. Strassentunnel*) – líniový podzemný objekt, ktorým je vedená pozemná komunikácia (ďalej len tunel).

Prieskumná štôľňa (*ang. exploratory gallery, nem. der Sondierstollen*) – štôľňa razená za účelom podrobného inžiniersko-geologického a hydrogeologického prieskumu.

Priečne prepojenie (*ang. cross-connection, nem. die Querverbindung*) – podzemný objekt spájajúci dve tunelové rúry alebo rúru s únikovou štôľňou, ktorý je súčasťou únikovej cesty

4.2.2 Priestorové usporiadanie tunelov a štôľní

Dĺžka tunela (*ang. tunnel length, nem. die Tunnellänge*) – vzdialenosť medzi vonkajšími lícami oboch tunelových portálov meraná v osi pozemnej komunikácie, prípadne v osi jazdného pásu, prechádzajúceho tunelovou rúrou v úrovni nivelety; v prípade sklonených portálov je dĺžkou tunela vzdialenosť medzi rovinami vedených kolmo na os komunikácie v mieste plného profilu tunela; v tuneloch s niekoľkými tunelovými rúrami sa stanoví dĺžka tunela samostatne pre každú rúru.

Vzorový priečný rez (*ang. typical cross section, nem. der Regelquerschnitt*) – typický prierez s údajmi o primárnom ostením hydroizolácií, sekundárnom ostení, vnútorných konštrukciách, priečnom usporiadaní a technologickom vybavení tunela.

Projektovaný profil výrubu – výrubový profil definovaný podľa vzorového priečného rezu včítane dočasného nadvýrubu.

Núdzový záliv (*ang. lay-by, nem. die Nothaltebuchte*) – priestor na núdzové odstavenie vozidiel, ktorý sa zriaďuje v tuneli v určitých vzdialenostiach vyplývajúcich z dĺžky tunela.

Úniková cesta (*ang. escape route, nem. der Fluchtweg*) – trvalo voľná komunikácia alebo priestor v podzemnej stavbe alebo na nej, ktorá umožňuje bezpečnú evakuáciu osôb zo stavby alebo z požiarneho úseku ohrozeného požiarom na voľné priestranstvo alebo do priestoru, ktorý nie je ohrozený požiarom.

4.2.3 Horninové prostredie

Inžinierska geológia – vedná disciplína, ktorá skúma prírodné a antropogénne geologické javy v najvrchnejšej časti zemskej kôry za účelom racionálneho využitia

územia, budovania stavebných diel, ako aj ochrany životného prostredia. Základným predmetom štúdia inžinierskej geológie sú vzťahy medzi horninovým prostredím, reliéfom povrchu, podzemnými vodami a stavebným dielom.

Inžinierskogeologický prieskum – prieskum horninového prostredia na stanovenie inžinierskogeologických a hydrogeologických pomerov územia vrátane skúmania stability územia náchylného na zosúvanie. Inžinierskogeologický prieskum pre stavebné účely sa legislatívne riadi všeobecnými ustanoveniami zákona a vyhláškou, ktorá presnejšie špecifikuje vykonávanie prieskumu.

Geologická dokumentácia – písomná, grafická a hmotná dokumentácia v zmysle zákona. Člení sa na prvotnú geologickú dokumentáciu (písomná, grafická, hmotná dokumentácia, fotografické záznamy) a súhrnnú geologickú dokumentáciu (výsledky prvotnej dokumentácie vrátane máp, rezov a pod.).

Monitoring (*ang. geomonitoring, nem. messtechnische Überwachung*) – súhrn činností zameraných na zisťovanie stavu spolupôsobenia stavebnej konštrukcie tunela s horninovým (okolitým) prostredím a sledovanie vývoja tohto stavu v čase a priestore.

Hornina (*ang. rock, nem. das Gestein*) – prírodná asociácia rôzneho zloženia a štruktúry, ktorá vznikla pôsobením geologických procesov.

Horninový masív (*ang. rock mass, nem. das Gebirge*) – horniny spoločne s diskontinuitami, zónami zvetrania a s podzemnou vodou.

Diskontinuita (*ang. discontinuity, nem. die Diskontinuität*) – plocha alebo priestor, v ktorom je porušená spojitosť horninového materiálu v horninovom masíve; môže sa pootvárať zmenami napätia aj v dôsledku inžinierskych prác.

Skálna hornina (*ang. rock, nem. das Felsgestein*) – prirodzené zoskupenie minerálov, vykryštalizovaných, scementovaných alebo inak spoločne spojených, ktoré tvoria materiál pevnejší alebo tvrdší ako zeminy.

Zemina (*ang. soil, nem. der Boden*) – zoskupenie minerálnych častíc a/alebo organickej hmoty vo forme sedimentu, niekedy organického pôvodu, ktoré možno deliť jemným mechanickým spôsobom a ktoré obsahujú premenlivé množstvo vody a vzduchu (a niekedy aj iných plynov).

Konzistencia – stav jemnozrnných zemín v závislosti na ich vlhkosti.

Štruktúra (*ang. structure of rock, nem. die Gesteinsstruktur*) – rozmer, tvar a spojenie zrn, úlomkov a kryštálov v sedimentárnych, vyvretých a metamorfovaných horninách.

Textúra (*ang. texture of rock, nem. die Gesteinstextur*) – priestorové usporiadanie častíc (kryštálov, zrn, úlomkov) horniny, hodnotené na rozmerovej úrovni horninovej vzorky alebo na horninovom výbruse.

Nadložie tunela (*ang. overburden, nem. die Überlagerung*) – horninový masív nad výrubom.

Výška nadložia tunela – hrúbka horninového masívu meraná vertikálne od hornej hrany výrubu v osi tunela po povrch terénu.

Vystrojovacia trieda (*ang. support class, nem. die Sicherungsklasse*) – zatriedenie vystrojovania výrubu podľa spôsobu, množstva a miesta osadenia vystrojovacích prvkov.

Trieda rozpojiteľnosti (*ang. excavation class, nem. die Abbauklasse*) – zatriedenie horninového masívu podľa nákladov potrebných na rozpojovanie určitého úseku pomocou mechanických prostriedkov.

4.2.4 Konštrukčné časti tunelov a štôlní

Konštrukcia tunela (*ang. tunnel structure, nem. die Tunnelkonstruktion*) – konštrukcia, ktorá zabezpečuje vnútorný priestor tunela, odporuje tlaku horniny a/alebo vody a chráni tunel pred podzemnou vodou; pri razených tuneloch tvoria túto konštrukciu ostenie tunela spoločne s časťou jeho horninového prostredia, ktoré spolupôsobí s ostentím.

Portál tunela (*ang. tunnel portal, nem. das Tunnelportal*) – vonkajšia ochranná konštrukcia tunela, ktorá vytvára vjazdovú alebo výjazdovú časť tunelovej rúry.

Výstroj (*ang. support, nem. die Ausbruchsicherung*) – konštrukcia zhotovená pri razení, ktorá slúži na zabezpečenie pracovnej bezpečnosti a stability ako aj na obmedzenie deformácií horninového masívu okolo výrubu počas výstavby podzemného objektu.

Primárne ostenie (*ang. primary lining, nem. die Aussenschale*) – konštrukcia zhotovená pri razení, ktorá slúži na zabezpečenie stability výrubu ako aj na obmedzenie deformácií horninového masívu okolo výrubu počas výstavby aj užívania podzemného objektu.

Vystrojovací prvok – prvok výstroja, resp. primárneho ostenia ako je striekaný betón, kotva, betonárska výstuž, oceľová oblúková výstuž, pažnica, segment, drevená stojka a pod.

Kotva (*ang. anchor, nem. der Anker*) – ťahový vystrojovací prvok, ktorým sa prenáša časť zaťaženia výstroja, resp. primárneho ostenia do horninového masívu a/alebo ktorým sa zlepšujú vlastnosti horninového masívu okolo výrubu.

Sekundárne ostenie (*ang. final lining, nem. die Innenschale*) – nosná konštrukcia tunela zhotovená ako doplnenie primárneho ostenia alebo zhotovená samostatne, ktorá má spoľahlivo prenášať pôsobiace zaťaženia, zabrániť nedovoleným deformáciám, zabrániť

priesakom podzemnej vody a chrániť vnútorný priestor tunela počas celej plánovanej životnosti.

4.2.5 Technológia razenia tunelov

Výlom (*ang. excavation, nem. der Abbau*) – priestor, ktorý vznikne rozrušením a odhodením celistvej horniny.

Čelba (*ang. tunnel face, nem. die Ortsbrust*) – čelná plocha razeného podzemného objektu.

Rúbanina (*ang. muck, nem. das Ausbruchsmaterial*) – rozpojená a ťažená hornina.

Vystrojovanie (*ang. supporting, nem. die Stützmassnahmen*) – stavebno-technická činnosť zabezpečujúca stabilitu a tvar výrubu pomocou vystrojovacích prvkov.

Cyklické razenie (*ang. cycling driving, nem. der zyklische Vortrieb*) – postup (spôsob) razenia, pri ktorom sa jednotlivé pracovné postupy rozpojovania, nakladania a vystrojovania vykonávajú za sebou v časových odstupoch a pomocou jednotlivých strojných zariadení; rozpojovanie sa spravidla realizuje trhacími prácami, bagrami alebo strojmi s výložníkovou frézou.

Záber (*ang. advance, nem. der Abschlag*) – časť výrubu vyrazená počas jedného cyklu pri cyklickom razení.

Dĺžka záberu (*ang. advance length, nem. die Abschlagslänge*) – dĺžka vyrazená počas jedného cyklu pri cyklickom razení.

Členenie výrubu (*ang. sequential excavation, nem. die Ausbruchsabfolge*) – postup razenia, pri ktorom sa výrub vytvára viacerými horizontálne a/alebo vertikálne usporiadanými čiastkovými výrubmi realizovanými v časových odstupoch.

Pracovný úsek (*ang. working area, nem. der Arbeitsbereich*) – miesto, vo výrube, kde sa vykonávajú rôzne vystrojovacie opatrenia; rozlišuje sa úsek čelby L1, úsek razenia L2 a zadný úsek L3. [23]

4.3 Spôsob výstavby podzemných diel

Podzemné diela môžeme zaradiť do dvoch veľkých skupín z hľadiska ich spôsobu výstavby. Do prvej skupiny zaraďujeme razené podzemné diela a do tej druhej podzemné diela vykonávané z povrchu.

Razené podzemné diela, u nich celá výstavba prebieha v podzemí bez zásahu do nadložia. Tento typ sa uplatňuje predovšetkým pri uložení podzemného diela vo väčšej hĺbke (nadložie diela má mocnosť väčšiu než cca dvojnásobná šírka výrubu). Za cenu vyšších nákladov a prevedenie náročných technických opatrení ide všetko týmto

spôsobom realizovať i plytko uložené tunely, čím sa značne zníži negatívne ovplyvnenie životného prostredia.

Podzemné diela vykonávané z povrchu, u nich sa najčastejšie výstavba diela vykonáva v otvorenej jame a po vybudovaní sa hotové dielo zasype (tzv. *hĺbené tunely*). Jedná sa spravidla o objekty s nízkym nadložíom alebo bezprostredne pod povrchom územia. Narušenie životného prostredia pri tomto spôsobe vykonávania je spravidla behom výstavby značné a stavebný postup by mal otvorenie jamy obmedzovať na čo najkratšiu dobu. [22]

4.3.1 *Razené podzemné diela*

Razenie v pevných skalných horninách sa vykonáva súčasnom štádiu vývoja tunelovacích metód dvoma základnými spôsobmi:

- ***plynulým postupom***, pri ňom sa podzemné dielo naraz „vyvrta“ pomocou mohutného tzv. plnoprofilového tunelovacieho stroja.
- ***cyklickým postupom***, pri ňom sa pravidelne opakujú operácie, ktoré vždy v súhrnu jedného cyklu umožní postup ražby o jeden pracovný záber. Rozpojovanie horniny sa vykonáva buď pomocou trhaviny alebo sa v súčasnosti často využíva pri menších pevnostiach horniny aj beztrhavinové razenie pomocou tunelových fréz, tunelových bagrov alebo impaktorov.

Pre cyklický postup výstavby sú charakteristické klasické tunelovacie metódy a konvenčné tunelovacie metódy. Čo sa týka klasických tunelovacích metód, vznikli už na začiatku 19. storočia. Pre klasické tunelovacie sústavy s výdrevou bolo charakteristické otváranie plného výlomu v priečnom reze pomocou čiastkových výrubov. Jednotlivé najznámejšie sústavy – rakúska, talianska, nemecká (jadrová), belgická (podchycovanie) a anglická – sa od seba odlišujú predovšetkým schémou poberania, tj. umiestnením a poradím otvárania čiastkových výrubov. [22]

„Ku konvenčným tunelovacím metódam, ktoré využívajú prstencový systém razenia, náleží staršia „*pražská*“ *prstencová metóda* a v súčasnosti v ČR výhradne používaná *Nová rakúska tunelovacia metóda*. K špeciálnym postupom patria metódy *Perforex* a *ADECO - RS*. Jednotlivé zábery sa vystužujú buď priamo definitívnym prefabrikovaným ostením (*prstencová metóda*) alebo postupne realizovaným dvojplášťovým ostením (*Nová rakúska tunelovacia metóda*).“ [22]

4.3.1.1 *Nová rakúska tunelovacia metóda (NRTM)*

Pri značnom rozmachu podzemného stavebníctva došlo k výraznému rozšíreniu tunelovacej metódy s dvojplášťovým ostením, ktorá využíva nosnú schopnosť horninového masívu. Je zaistená spolupôsobením s primárnym ostením, kde jeho rýchla a dokonalá aktivácia neumožňuje porušenie horniny a sily, ktoré sa nachádzajú v okolí výrubu uvádza do rovnováhy. Sekundárne alebo aj definitívne ostenie je realizované s časovým odstupom a zaisťuje stabilitu diela po celú dobu jeho životnosti.

Podstatným atribútom NRTM je fakt, že patrí medzi technológie aplikujúcu tzv. observačnú metódu navrhovania konštrukcií, ktorá spočíva v sledovaní (observácií) správania a upravovania pôvodného návrhu konštrukcie na základe analýzy vybraných monitorovaných veličín.

Obecné zásady observačnej metódy boli pre ražbu pomocou NRTM formulované nasledovne:

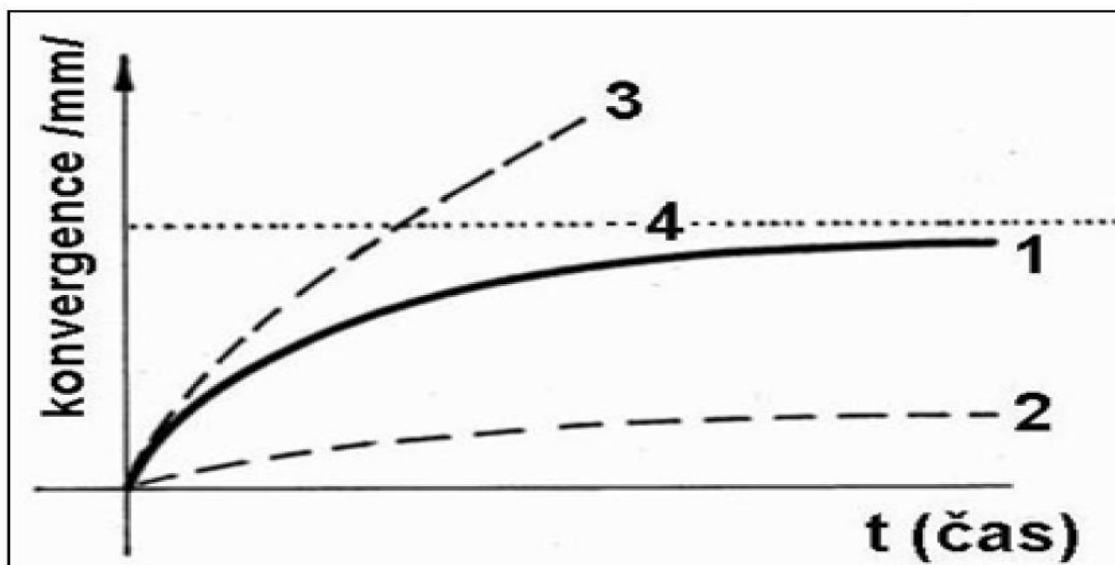
PRINCIP: **Postup ražby a spôsob vystužovania výrubu sa upravuje v priebehu ražby**

POŽIADAVKY:

1. **Základný návrh primárneho ostenia** z vystuženého a v prvých fázach tvrdnutia deformabilného striekaného betónu – statickým výpočtom sú **stanovené medze deformácií** primárneho ostenia a nadložia,
2. monitorujú sa vybrané veličiny, najčastejšie deformácie primárneho ostenia (**konvergenčné merania**) a deformácie po výške tunelového nadložia (**extenzometrické merania**),
3. **nepriaznivý priebeh deformácií primárneho ostenia nutné zastaviť** – skrátením záberu, zahustením svorníkov, členenie čelby, uzatváranie ostenia, zosílenie primáru.

Z hľadiska technológie výstavby sa horniny rozpojujú bežnými spôsobmi ako sú strelné práce, pneumatické kladivá, výložníkové frézy a bagre. Po rozpojení horniny nastáva vystrojovanie a zaistovanie výrubu, ktoré sa vykonáva striekaným betónom (primárne ostenie), doplnené priehradovými alebo plnostennými oblúkovými nosníkmi, pridávajú sa výstužné siete a/alebo drátkobetón. Spriahnutie tohto vystrojovania výrubu a horninového masívu je zaistené pomocou súdržnosti líca výrubu so striekaným betónom a kotviacim systémom. Primárne ostenie je tvorené zo striekaného betónu, ktorého hrúbka dosahuje od 10 do 40 cm. Táto hrúbka závisí na veľkosti výrubu a vlastnostiach horninového masívu. Definitívne ostenie sa najčastejšie realizuje z monolitického betónu (prostého alebo vystuženého) a chráni sa medzilahlou fóliovou izoláciou. Železobetónové definitívne ostenie umožňuje vytvoriť veľmi únosné ostenie s malou hrúbkou. Pokiaľ sa nachádzame vo vhodných geologických podmienkach je vhodné ostenie realizovať z prostého betónu. Realizácia definitívneho ostenia sa najčastejšie robí pomocou posuvného teleskopického debnenia. [22] [24]

Znižovanie horninového tlaku, smerujúcim k dosiahnutiu rovnovážneho stavu s namáhaním primárneho ostenia, sa sleduje monitoringom deformácie líca primárneho ostenia – *konvergencia ostenia*.



Obr. 11: Schéma možných priebehov konvergencií primárneho ostenia [22]

Signalizáciu správneho priebehu procesu predstavuje ustálenie konvergencií v čase k limitnej hodnote 4, stanovenej vopred statickým výpočtom, ktorú signalizuje čiara 1. Celý priebeh je vidieť na obrázku 11. Takýto vývoj nám zaručuje, že únosnosť primárneho ostenia je správne využívaná a nebude vyčerpaná.

Čiara 2 a jej priebeh signalizuje ražbu, ktorá prebieha v lepšej technologickej triede výrubu ako bola aktuálne uvažovaná. Z tohto vyplýva slabé využitie únosnosti primárneho ostenia. V takomto prípade je možné rozhodnúť o zmene a to znížiť technologickú triedu výrubu. Po takomto kroku dôjde k zoslabeniu primárnej výstuže.

Posledná možnosť, ktorá signalizuje priebeh konvergencií predstavuje čiara 3. Ražba v tomto prípade prebieha v horšej technologickej triede výrubu než bola aktuálne uvažovaná. Únosnosť primárneho ostenia bude samozrejme vyčerpaná a prekročená. Preto je nutné včas, ešte pred prekročením limitnej deformácie 4, realizovať niektoré z možných stabilizačných opatrení. Sú to napríklad posilnenie svorníkovej výstuže, skrátiť záber, členenie výrubu, uzatváranie čiastkových výlomov spodnou klenbou, prípadne použitie ochranných dáždnikov z mikropilót, tlaková alebo trysková injektáž. [22]

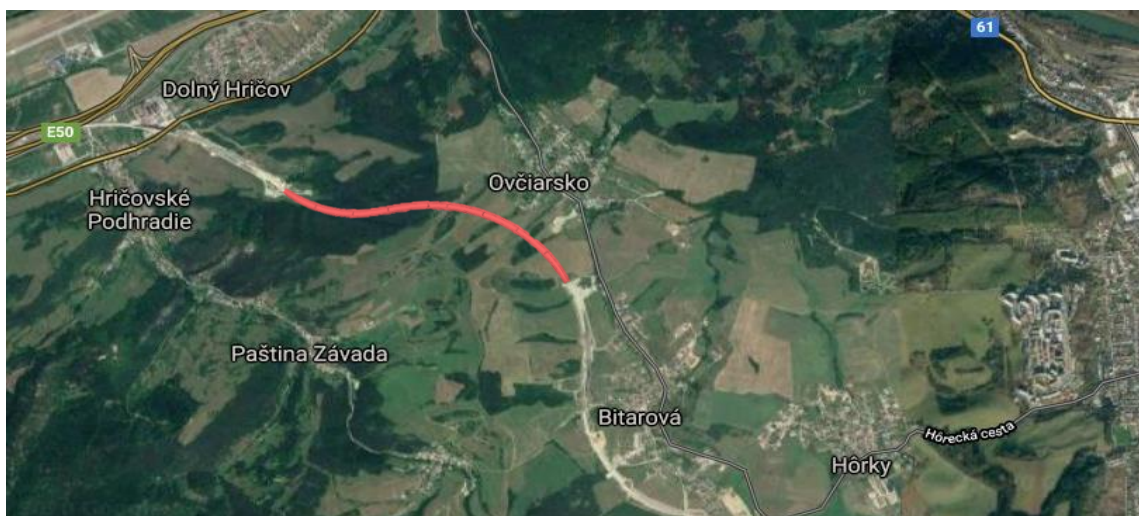
5 Tunel Ovčiarско

5.1 Identifikačné údaje

Názov stavby:	Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka
Ucelená časť stavby:	Tunel Ovčiarско
Miesto stavby:	k.ú. Dolný Hričov, Ovčiarско
	Okres Žilina, VÚC Žilinský samosprávny kraj
Stavebník a budúci správca:	Národná diaľničná spoločnosť, a.s.
Zhotoviteľ stavby:	„Združenie Ovčiarско“
	Doprastav, a.s. Bratislava – vedúci člen
	VÁHOSTAV – SK, a.s. Žilina – člen združenia
	STRABAG s.r.o. Bratislava – člen združenia
	Metrostav a.s. Praha – člen združenia

5.2 Základné údaje

Tunel Ovčiarско je jeden z dvoch tunelov nachádzajúcich sa na budovanej trase Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. Ako už samotný názov naznačuje nachádza sa v blízkosti obce Ovčiarско a prechádza cez vrch Viešky. Celé územie a to pred portálmi, ale aj v trase tunela bolo využívané ako poľnohospodárska pôda, les a lúky. Nad tunelom ani v jeho blízkosti sa nenachádzala žiadna povrchová výstavba.



Obr. 12: Mapa s umiestnením tunelu Ovčiarско

Celý tunel Ovčiarsko je navrhovaný ako diaľničný tunel, projektovaný pre diaľničnú dopravu, s piatimi prejazdnými priečnymi prepojeniami. Takéto prejazdné prepojenie umožňuje prejazd vozidla v prípade núdzového stavu. V tuneli sú taktiež vybudované tri priechodné priečne prepojenia pre pohyb osôb a zároveň šesť jednostranných núdzových zálivov. Tunel Ovčiarsko je rozdelený na dve samostatné tunelové rúry, každá pre jeden smer jazdy. Každý z týchto dvoch stavebných objektov nesie svoje označenie, a to SO 407–00 Razený tunel – Južná tunelová rúra a SO 408-00 Razený tunel – Severná tunelová rúra. Celková dĺžka severnej tunelovej rúry (ďalej len STR) je 2300 m a južnej tunelovej rúry (ďalej len JTR) je 2320 m a to razená časť. Vzdialenosť medzi osami jednotlivých tunelových rúr je variabilná, v miestach priečných prepojení je od 43,5 do 45,4 m. Najvyššia mocnosť nadložia sa nachádza približne v strede tunela pod vrcholom pohoria Viešky, a to približne 156 m. [25]

5.2.1 Trasa tunela

Navrhovaný tunel je kategórie 2T – 8,0 s návrhovou rýchlosťou 80 km/h a z hľadiska veľkosti sa radí medzi stredne dlhé tunely.

Popis trasy tunela a jeho smerové a výškové vedenie je rozdielne pre každú tunelovú rúru. JTR, ktorá predstavuje pravý jazdný pás začína v smere staničenia v km 0,262 000 smerovým oblúkom $R=4000$ m – prechodnica – smerový oblúk $R=822,50$ m – prechodnica – smerový oblúk $R=1371,01$ m – prechodnica. Výškové vedenie celej razenej časti JTR je + 1,7 %. V prípade STR, tá predstavuje ľavý jazdný pás začína v km 0,289 000 a to prechodnicou – smerový oblúk $R=777,50$ m – prechodnica – prechodnica – smerový oblúk $R=1152,50$ m – prechodnica – smerový oblúk $R=960$ m – prechodnica. Výškové vedenie v prípade STR je + 1,68%.

Tab. 2: Geometrické údaje priechodného prierezu [25]

Južná a severná tunelová rúra	
Šírka vozovky medzi obrubníkmi	$b_0 = 8,0\text{m}$
Šírka jazdného pruhu	$a = 2 \times 7,5$
Šírka postranného vodiace prúžku	$v_1 = 0,25\text{ m}$
Prejazdná výška	$h = 4,8\text{ m}$
Šírka núdzového chodníka	$p = 1,0\text{ m}$
Výška priechodného priestoru nad núdzovým chodníkom	$h_1 = 2,2\text{m}$

5.2.2 Technológia výstavby

Celková výstavba tunela sa datuje v rokoch 1997 až 1998, kedy sa začala raziť prieskumná štôľňa v mieste súčasnej STR. Avšak celý tunel sa začal raziť až po 15 rokoch od realizácie prieskumnej štôľne. Obe tunelové rúry sa začali raziť na jeseň roku 2014, ukončenie razenia v prípade STR bolo 04/2016 a pre JTR 07/2016. [26]

Budovanie tunela bolo vykonávané cyklickým spôsobom razenia s horizontálnym členením výrubu na kalotu, stupeň a dno. Razenie tunela bude realizované z oboch portálov. Zo západného dovrchným spôsobom a z východného portálu úpadne. Minimálna vzdialenosť čelieb severnej aj južnej tunelovej rúry je stanovená projektantom na minimálne 3 násobok profilu tunela, t.j. 40 m. Podľa technickej správy pre obe tunelové rúry razenie tunela prebiehalo v zásadách NRTM – cyklické razenie. Cyklické razenie podľa NRTM razenie, kedy sa hneď po vyrazení výrubu zabudujú všetky prvky primárneho ostenia podľa vopred dohodnutej triedy. Cyklické razenie sa skladá z pracovných cyklov, ktoré sa neustále opakujú.

Pre výstavbu tunela bol určený odporúčaný postup výstavby:

- razenie kaloty,
- razenie stupňa,
- razenie dna v profile bez spodnej klenby, resp. s ochrannou protiklenbou podľa odporúčania,
- razenie dna v profile so spodnou klenbou je potrebné realizovať s minimálnymi odstupmi, aby bol čo najskôr uzatváraný prstenec primárneho ostenia,
- realizácia hydroizolačného systému
- realizácia sekundárneho ostenia.

Ako je možné vidieť na obrázku 13, pred samotným začiatkom razenia tunela sa v portálovej oblasti vybudoval ochranný dáždnik z MP 114/6,3 dĺžky 18,0 m s razením v dĺžke 13 m. Pri razení práve v portálových oblastiach bolo potrebné čo najskôr uzatvoriť ostenie, aby sa predišlo veľkým deformáciám.



Obr. 13 Pohľad na zrealizovaný MP ochranný dáždnik pred začiatkom razenia tunela [27]

S ohľadom na predpokladané inžinierskogeologické pomery sa rozpojovanie hornín realizovali vrtno-trhavinovým razením a s razením pomocou tunelbagra. [25]



Obr. 14: Trhacie práce na čelbe [28]



Obr. 15: Severná tunelová rúra - ražba kaloty [29]



Obr. 16: Nakladanie rúbaniny pomocou tunelbagra z oblasti dna [30]

5.2.3 Prvky vystrojenia primárneho ostenia

Vzhľadom na porušenie horninového masívu razením je potrebné čo v najkratšom čase vytvoriť jeho opätovnú stabilitu. Horninový masív je potrebné podchytiť okamžite po výrube a rýchlo zrealizovanom začistení povrchu kotvením, striekaným betónom, prípadne inými k tomu navrhnutými opatreniami, ktorých cieľom je minimalizovať závaly, udržať pevnosť horniny a vytvoriť horninovú klenbu. Na to slúžia zaistovacie prvky, ktoré sú závislé od geológie, ale aj od metódy razenia. Pre tunel Ovčiarsko sa primárne ostenie skladá z:

- **striekaný betón** – trieda C25/30, mladý betón trieda J2. Po 6 hodinách musí preukazovať pevnosť $3,0 \text{ N/mm}^2$, po 24 hodinách min. $9,0 \text{ N/mm}^2$ a konečnú pevnosť po dňoch 25 N/mm^2 .
- **priehradové nosníky** – navrhnuté pre bežný profil tunela, profil NZ a priečne prepojenia. Osádzajú sa do vrstvy striekaného betónu a ich geometria je pre každú VT iná. (126/22/32; 100/22/28; 50/18/25)
- **výstužné siete** – zvarané oceľové siete 6x6/ 150x150, 8x8/ 150x150, 8x8/ 100x100. Trieda ocele sietí je B 500 B.
- **horninové kotvy** – pre bežný profil tunela je navrhnuté systémové kotvenie a prispôsobujú sa geologickým podmienkam (VT).
 - *Mierne tektonicky narušená skalná hornina* - typ maltové a trecie kotvy dl. 4 až 6 m, únosnosť pre maltové min. 250 kN a pre trecie min. 150 kN.
 - *Miesta porúch alebo silne tektonicky narušená skalná hornina* - typ samozávrtné kotvy dl. 6 a 8 m, únosnosť min. 280 kN.
 - *Nestabilné geologické podmienky* - typ sklolaminátové kotvy dl. 8 m , únosnosť min. 300 kN. [25]



Obr. 17: STR pohľad na čelbu pred nástrekom striekaného betónu - možnosť vidieť prvky vstrojenia [31]

6 Geologické a geotechnické pomery lokality

6.1 Prieskumná štôľňa

„Štôľňa slúžiaca k prevedeniu podrobného geotechnického prieskumu horninového masívu spravidla realizovaného v mimoriadne komplikovaných geologických pomeroch.“ [32]

V rokoch 1997-1998 bol vykonaný podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum a to formou prieskumnej štôľne. Táto štôľňa bola vedená v osi súčasnej STR. Samotná ražba prebiehala v období od 12.1.1997 do 10.4.1998. Dĺžka celej razenej štôľne bola 2,379 10 km, z toho bol úsek v STR 2,322 km. Prerazenie prieskumnej štôľne bolo 17.4.1998 v staničení km 0,153 240.

Súčasťou prieskumu bolo:

- prieskumná štôľňa v trase STR, kde boli vykonané komplexné skúšky mechaniky hornín in situ,
- vrty v oblasti portálov, niekoľko z nich bolo zabudovaných ako vrty monitorovacieho systému a niektoré mali funkciu odvodňovacích vrto-
v,
- vrty v trase prieskumnej štôľne, ktoré slúžili pre geotechnický monitoring,
- odvodňovacie vrty v prieskumnej štôľne,
- terénne skúšky a geotechnické merania na povrchu územia, ale aj v trase štôľne,
- hydrogeologický a geotechnický monitoring.

Z hľadiska rozpojovania bolo na vybudovanie prieskumnej štôľne použitých niekoľko technológií. V tabuľke 3 je prehľadne uvedené staničenie a použitý spôsob rozpojovania.

Tab. 3: Spôsob razenia prieskumnej štôľne [21]

Razenie zo strany západného portálu	
Staničenie	Spôsob rozpojovania
279,5 – 315,0 m	raziaci stroj AM 50
315,0 – 35,0 m	pomocná mechanizácia
335,0 – 420,0 m	raziaci stroj AM 50
420,0 – 456,0 m	nepravidelné striedanie raziaceho stroja AM 50 a vrtno-trhacími prácami
456,0 – 1532,4 m	vrtno-trhacie práce

Razenie zo strany východného portálu	
Staničenie	Spôsob rozpojovania
2 665,6 – 2 557,6 m	razenie ručné
2 557,6 – 1 642,6 m	raziaci stroj AM 50
1 642,6 – 1 532,4 m	vrtno-trhacie práce



Obr. 18: Pohľad na čelbu a raziaci stroj AM 50 (Alpine) [33]

Definitívne úpravy štôlne boli ukončené do roku 1999, kde oba portály boli zabezpečené mrežami. Pre neustále poškodzovanie mreží bolo Slovenskou správou ciest rozhodnuté, že sa mreže odstránia a portály budú zasypané. Pred samotným zasypaním bola uskutočnená posledná kontrolná obhliadka prieskumnej štôlne, ktorá sa konala asi 1 rok po jej dokončení.



Obr. 19: Zasypaný západný portál prieskumnej štôlne [34]

Na základe výsledkov prieskumu bola charakterizovaná celá geologická stavba horninového masívu, ktorá je podrobne rozobraná v podkapitolách kapitoly 6. Na

základe predchádzajúcich etáp prieskumov a prieskumnej štôlne boli určené VT a následne aj samotný návrh konštrukcie tunelu Ovčiarско.

6.1.1 Prieskumná štôľňa v čase obhliadky

Po takmer 10-tich rokoch od prerazenia štôlne a po približne 9-tich rokoch od definitívnej úpravy bola dňa 20.02.2008 vykonaná komisionálna obhliadka. Táto obhliadka bola súčasťou doplnkového inžinierskogeologického prieskumu. Okrem samotnej obhliadky štôlne sa realizovali aj kontrolné hydrogeologické, geotechnické a geodetické merania v štôľni a na povrchu v trase tunela. Samotná prehliadka bola vykonaná po sprístupnení portálov, ktoré boli zasypané a bol zaistený bezpečný prechod štôľňou. Vzhľadom na chýbajúce vyznačenie metráže na stenách štôlne sa pre ďalšie potreby určilo orientačné značenie.



Obr. 20: Západný portál - odčistenie zasypania a odvetrávanie štôlne pred obhliadkou [21]

Na základe obhliadky bolo možné konštatovať, že stav úsekov v staničení 1 700 - 1 750 m, ale najmä v staničení 1 553 - 1 688 m primárne ostenie nemalo veľké defekty. Najvýraznejšie porušenie však bolo v úseku 1 600 - 1 660 m a to rozpad a opadávanie striekaného betónu, k tomu pridružené uvoľnené a spadnuté prvky drenáže. V okolí zaústenia Rozrážky č.I boli pozorované na stene štôlne praskliny. V okolí konvergenčného profilu KPZ-19 a väčšine dĺžky štôlne neboli pozorované v stene žiadne praskliny alebo deformácie. Opadávanie a rozptýlené vývrevy sa vyskytli v okolí úseku 1 660 - 1 700 m. Lokálne a to v staničení 830 - 850 m boli pozorované z betónu biele výluhy v podobe povlakov až brčkovitých kvapľov.

Vybudované betónové dno bolo realizované v úseku 315,0 – 2 530,0 m.

„Výraznejšie deformácie na betónovom dne (prasknutie a zdvih) štôlne boli v úsekoch:

- v okolí zaústenia a za Rozrážkou I. (staničenie 825 - 850 m) – blok PGZ-3,
 - okolo konvergenčného profilu KPZ-19, v úseku staničenia 1 380 - 1 410 m (blok PGZ1-PGZ2),
 - v úseku po staničení 1 550 m v úseku so zabezpečením stien sieťovinou a striekaným betónom (PGZ3),
 - v úseku so staničením 1 660 - 1 835 m bolo niekoľko úsekov s porušením dna – bloky PGZ3 a PG3. **Najvýraznejšie porušenie dna bolo v úseku 1 725 - 1 835 m** (relatívne staničenie 830 - 940 m), **so zdvihom až do 0,5 m**. V úseku však nebolo registrované porušenie steny, takmer v celom úseku bola štôlna vystrojená TH výstužou, sieťovinou a striekaným betónom,
 - úsek 2 170 - 2 240 m (PG2-PG3) – úsek výhybne a úsek so sanovaným primárnym ostením,
 - úsek v staničení 2 280 - 2 380 m – blok PG3 a v okolí rozrážky RIII (2 376 m) prasknuté dno bez zdvihnutia.
- Celková dĺžka porušenia dna bola cca 500 m.



Obr. 21: Úsek 1 725 - 1 835 m – najviac porušený úsek dna štôlne s prasknutým a zdvihnutým betónom [21]

Najvýraznejšie porušenie so zdvihom až do cca 50 cm je v úseku relatívneho staničenia od VP 830 - 930 m (v absolútnom staničení 1 725 - 1 835 m) vo vyčlenenom geotechnickom bloku PG3, v úseku s výrazným zastúpením tektonicky porušených ílovcov lftp, červenofialových ílovcov – lftp; v úseku okraja tektonickej zóny poklesov, s výskytom šošoviek pieskovcov s marinogénnou vodou. V tomto úseku boli vyčlenené kvázihomogénne bloky PXXVII-PXXVIII. Kvalita masívu je veľmi nízka (RQD do 25%).“ [21]

Po obhliadke bolo možné z celkových 74 konvergenčných profilov použiť iba 17. Tento stav nastal predovšetkým 10 ročným bezúdržbovým obdobím, ktoré čiastočne porušilo a znehodnotilo meracie body.

Inklinometrické merania v oblasti východného portálu nepreukázali voči meraniam, ktoré boli realizované do 04/1998 výraznejšie zmeny. Vzhľadom na celkové obdobie 10-tich rokov boli prírastky deformácií nevýrazné.

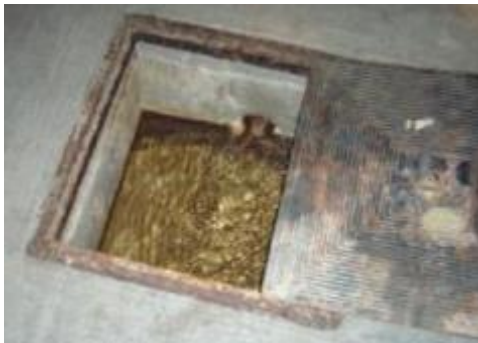
Za celé obdobie, kedy je prieskumná štôlna vyrazená sa prítoky a odtok zo štôlne ustálil. Pritekajúca voda tečie smerom k západnému portálu, pričom prietok v poslednej kontrolnej šachte reprezentuje celkový odtok zo štôlne v objeme cca do 2 l.s^{-1} . Zrealizovaná dnová drenáž okrem úseku, kde došlo k porušeniu dna je funkčná a kontrolovateľná v jednotlivých šachtách. Celá prieskumná štôlna drénuje horninový masív, kde v profile vyústenia šachty štôlne podzemná voda neodteká. V oblasti východného portálu sa pravdepodobne voda infiltruje do horninového masívu.



Obr. 21: Kontrolná šachta (staničenie 710 - 730 m), prietok drénovanej vody s Q do 2 l.s^{-1} [21]



Obr. 22: Kontrolná šachta v úseku 1 730 - 1750 m, voda nepreteká z dôvodu porušenej drenáže deformáciou dna [21]



Obr. 23: Kontrolná šachta v staničení 2 300 - 2 340 m, odtok vody z posledných 350 m [21]



Obr. 24: Kontrolná šachta v úseku 2 400 - 2 450 m, stály odtok vody z posledných 250 m z masívu paleogénnych ílovcov [21]

6.2 Geologické pomery v trase tunelu

Na základe podrobného inžinierskogeologického prieskumu a archívnej geologickej preskúmanosti bolo zistené, že horninový masív, cez ktorý prechádza tunel Ovčiarско je tvorený dvoma základnými tektonickými jednotkami.

- 1) „**Manínska jednotka** (Vonkajšie Západné Karpaty). Manínska jednotka je

zastúpená flyšovým súvrstvom obalu bradlového pásma, ktorý je tvorený súvrstvom slieňov, slienitých bridlíc, vápnitých ílovcov, pieskovcov, piesčitých vápencov. Horniny sú tektonicky porušené a reprezentujú zónu Vonkajších Karpát.

2) **Vnútrokarpatský paleogén** (Vnútorne Západné Karpaty), ktorý je zastúpený flyšovým súvrstvom paleogénneho komplexu vo vývoji:

- a) Hričovsko - žilinského paleogénu (vek paleocén), vo vývoji hričovských vrstiev na území západného portálu v dvoch pruhoch. Sú vo vývoji ílovcov s blokmi rífových vápencov a súvrstvia ílovcov, pieskovcov a zlepencov,
- b) súvrstvia zlepencov, pieskovcov, ílovcov vo vývoji tzv. „súľovských zlepencov“ (vek eocén) a Domanižských vrstiev v zastúpení súvrstvia zlepencov, pieskovcov, ílovcov (vek stredný eocén),
- c) súvrstvia Žilinských vrstiev v spodnej a vyššej časti s vývojom ílovcovo – pieskovcového súvrstvia so zastúpením pestrých ílovcov na jeho okraji (vek eocén).“ [21]

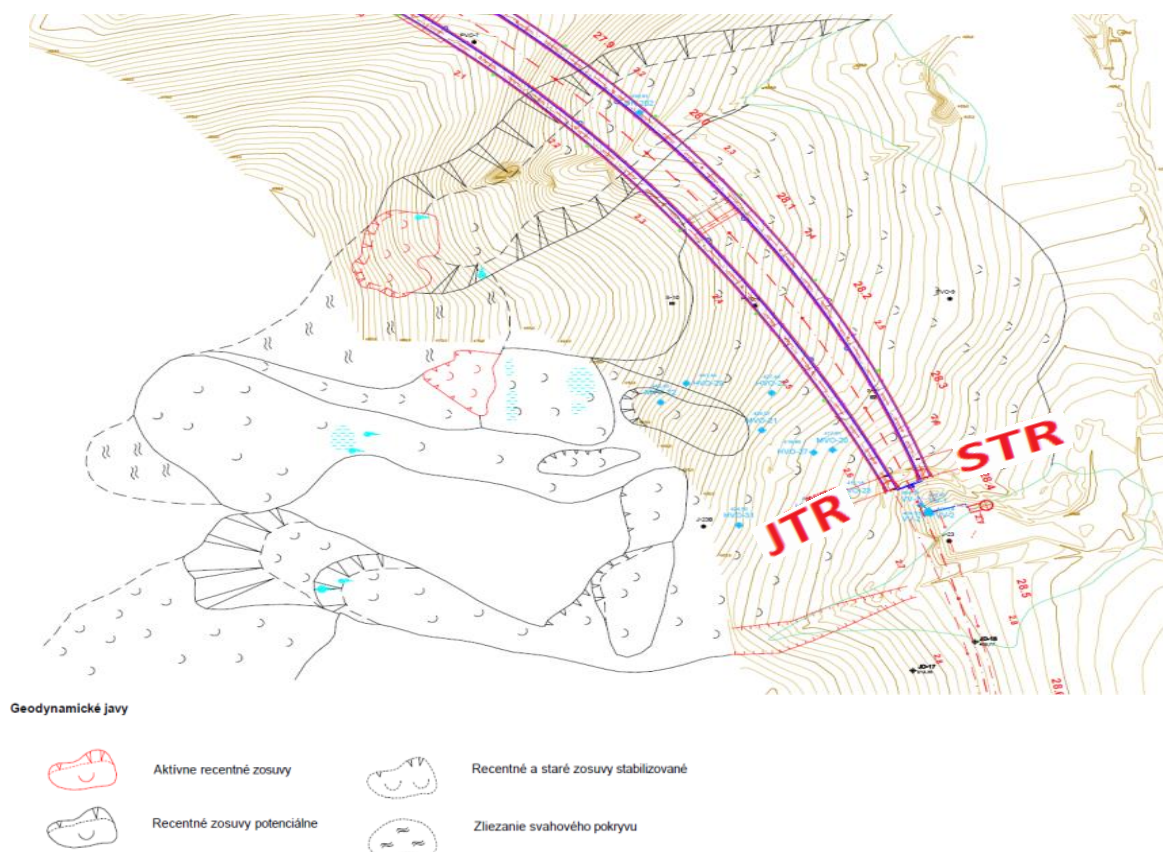
Celý komplex súvrství, sa zaraďuje do mezozoika a paleogénu, je litologicky charakterizovaný ako flyšové súvrstvia - striedanie pieskovcov, zlepencov, ílovcov a slieňovcov, v niektorých prípadoch aj vápencov. Na povrchu celého územia je zastúpená skupina kvartérnych sedimentov so zastúpením zemín charakteru ílov alebo hlinitých sutí. Do kontaktu so stavbou dochádza iba v oblasti portálov.

6.2.1 Geodynamické javy

Vzhľadom na konštatovanie autora v publikácií Žilinská kotlina a príľahlé pohoria (Mazúr, 1963) [20] sa ukazuje, že pre oblasť Žilinskej kotliny sú charakteristické zosuny. Práve zosuny sa zaraďujú medzi najvýznamnejšie geodynamické javy. Výrazne dokážu ovplyvniť návrh a samotnú výstavbu podzemného diela.

Východne od Hričovského Podhradia sa v údoliach a taktiež v oblasti východného portálu prejavujú svahové pohyby. Práve v oblasti portálu sa objavujú najväčšie svahové deformácie. V súčasnosti je väčšina zosunov stabilizovaná, pri technickom zásahu dochádza k ich aktivácií. Ku vzniku zosunov prispieva fakt, že územie je z hľadiska tektonického vývoja veľmi komplikované. Blokové deformácie boli vyvinuté v okrajových častiach masívov. Takéto masívy sú budované vrstvami bazálneho paleogénu vo vývoji súľovských zlepencov.

Masív Viešky, ktorým prechádza predmetný tunel má porušené západné svahy. Okrem zosunov sa ukázalo aj zliezanie pokryvných kvartérnych sedimentov. V tesnej blízkosti západného portálu prebiehajú tektonické línie. Práve tieto línie podmienili vznik sústavy erózných rýh a zónu svahových deformácií v oblasti ľavého svahu údolia Vlčia jama. [21]



Obr. 25: Geodynamické javy - zosuvy v oblasti východného portálu [35]

6.2.2 Charakteristika základných typov hornín a vyčlenenie celkov

Na základe prieskumných prác, ktoré boli vykonané v severnej tunelovej rúre boli určené základné litologické komplexy hornín. Vo väčšine prípadov išlo o heterogénne súvrstvia z litologicky pestrých typov. Litologické typy hovoria o sedimentárnych horninách. Podľa typu tektonickej jednotky boli vyčlenené základné litologické typy a označené príslušnými indexami. Tieto typy uvádzame v tabuľke 4 s priradením indexu podľa stupňa stavu a kvality.

Tab. 4: Vyčlenenie litologických typov [21]

Litologické typy	Index
Vápenité ílovce	Ív
Piesčité ílovce	Ip
Pestré ílovce	If
Pieskovce	P
Piesčité vápence až pieskovce	Vp
Zlepence	Z
Drobnozrnné zlepence	Zd
Litologický typ zdravý až nevetraný	Xn
Litologický typ zvetraný	Xz

Litologický typ silne zvetraná až rozčlenený	Xe
Litologický typ tektonicky porušený	Xtp
Litologický typ zbridičnatený	Xb

Následne boli vyhodnotené kvazihomogénne bloky - bloky s litologickou homogenitou a priradené ku každému záberu charakteristické hodnotenie vlastností. „Zo strany západného portálu sú bloky označované ako M1 až M8 (bloky budované mezozoickými litologickými typmi) a bloky P9 až P50 (bloky budované paleogénnymi litologickými typmi). Z východného portálu boli vyčleňované bloky budované paleogénnymi litologickými typmi s označením PI až PXXXV. Týmto spôsobom bolo celkovo vyčlenených 85 blokov, podľa ktorých boli charakterizované klasifikácie podľa QTS už v etape priebežného spracovania (čiastkové správy).“ [21]

V konečnej etape hodnotenia horninového masívu, bol masív rozčlenený na kvazihomogénne geotechnické bloky. Udialo sa tak, na základe určenia základných geotechnických vlastností a na základe nasledujúcich atribútov:

- 1) označenie symbolu podľa základných horninových masívov tektonických jednotiek:
 - M -masív mezozoika
 - PGZ -masív paleogénneho flyšového súvrstvia „zlepencový flyš“, do ktorého boli začlenené aj masívy Hričovsko- žilinských vrstiev
 - PGZZ -masív paleogénneho súvrstvia s prevahou súľovských zlepencov
 - PG -masív vnútro paleogénneho súvrstvia žilinských vrstiev
- 2) označenie podľa stupňa tektonického porušenia:
 - 1 -masívy s takmer neporušenými vrstvami vo flyšovom vývoji, mimo dosahu zvetrávania
 - 2 -masívy so zastúpením tektonicky porušených litologických typov, najmä charakteru úzkych, dielčích zón tektonicky porušených ílovcov v mezozoickom a paleogénnom súvrství,
 - 3 -masívy širokých tektonicky porušených vrstiev s prevahou tektonicky porušených hornín resp. dielčích zón s tektonicky porušenými horninami, ktoré podstatne nepriaznivo ovplyvňujú podmienky razenia a masívy zvetraných hornín.

Všetky tieto skutočnosti nakoniec viedli k presnému rozčleneniu masívov na jednotlivé celky, pre ktoré boli charakterizované konkrétne údaje a hodnoty.

6.2.3 Geotechnické úseky

V etape upresňovania projekčných podkladov v roku 2005 boli na základe požiadaviek zástupcov projektanta vyčlenené geotechnické úseky. Geotechnické úseky predstavujú združené úseky masívu, ktoré boli označené symbolom G1 - G3, pričom symbol G0 označuje portálové oblasti.

6.2.3.1 Portálové oblasti G0

- zastúpenie kvartérnych zemín – charakteru ílov strednej a vysokej plasticity (F6/CL a F8/CH) prevažne tuhej konzistencie, respektíve ílov s úlomkami (hlinité sute v zmysle STN 73 1001 F2/CG),
- zvetrané až rozložené predkvartérne horniny (vápenité ílovce mezozoika - VP, ílovcov - ZP) v zóne silne zvetraných a rozložených hornín charakteru zemín - ílov s úlomkami (hlinité sute - F2/CG) a ílov strednej až vysokej plasticity (F6/CL a F8/CH),
- citlivosť na kontakt s vodou sprevádzané degradáciou geotechnických parametrov a náchylnosť na vznik svahových deformácií.

Tab. 5: Základné geotechnické charakteristiky G0 [21]

Portálové oblasti G0	Objemová hmotnosť	Modul deformácie	Uhol vnútorného trenia	Kohézia	Poissonovo číslo
	[kN.m-3]	[MPa]	[°]	[kPa]	[v]
Typ zemín (F6/CL, F8/CH)	22,0	8 - 12	18	12 - 20	0,40 – 0,42
Odporúčané hodnoty	22,0	8 - 12	18	12 - 20	0,40 – 0,42

6.2.3.2 Geotechnický úsek G1

- masív najviac tektonicky porušených hornín, resp. hornín s prevahou tektonicky porušených zón, samostatne vyčlenených, šírky aj nad n.1 m (horninové prostredie tvorené predovšetkým M3, PGZ3, PG2 a PG3 - s pevnosťou pod hranicou poloskálnych hornín - v zmysle STN 73 1001 R4-R5, kde $\sigma = 10-15$ MPa),
- masívy v zónach tektonických budinácií,
- masívy s tektonickým porušením pôvodnej vrstevnatej štruktúty, so zónami tektonizovaných ílovcov,
- litologické typy s minimálnymi geotechnickými parametrami,
- nestabilné horninové typy na styku s vodou spojené s objemovými zmenami,
- masívy s nepriaznivou orientáciou vrstevnatosti, tektonicky porušených zón so sklonom do výrubu (predpoklad razenia zo ZP na VP) - riziko nestability čelby, kaloty,
- lokálna prítomnosť blokov, vrstiev pevných zlepcov, pieskovcov do 1 m.

Tab. 6: Základné geotechnické charakteristiky G1 [21]

Geotechnický úsek G1	Objemová hmotnosť	Modul deformácie	Uhol vnútorného	Kohézia	Poissonovo číslo
----------------------	-------------------	------------------	-----------------	---------	------------------

	trenia				
	[kN.m-3]	[MPa]	[°]	[kPa]	[v]
M3	25,1	200 - 500	30	300	0,30
PGZ3	22,5	100 - 500	30	300	0,30
PG2	22,8	100 - 300	26	250	0,32
PG3	22,4	20 - 100	24	200	0,35
Odporúčané hodnoty	22,8	100 - 200	28	250	0,32

6.2.3.3 Geotechnický úsek G2

- masív s premenlivým podielom tektonicky porušených zón, prevažne ako súčasť porušeného súvrstvia, so šírkou prevažne n.0,1m, lokálne n.1 m (do 10 m), horninové prostredie tvorené hlavne M2, PGZ2 a PG1 – s pevnosťou hornín - v zmysle STN 73 1001 R3-R2, kde $\sigma = 40-70$ MPa),
- masívy s podielom tektonicky porušenej pôvodnej vrstevnatej štruktúry,
- tektonicky málo alebo neporušené súvrstvia paleogénnych hornín,
- masívy s nepriaznivou orientáciou vrstevnatosti do výrubu (predpoklad razenia zo (ZP do VP) - riziko nestability čelby, kaloty,
- predpoklad prítomnosti aj zdravých vrstiev, vrstevnatých sledov hornín III. geotechnického typu (pieskovce, zlepenca) v zónach < 10 m.

Tab. 7: Základné geotechnické charakteristiky G2 [21]

Geotechnický úsek G2	Objemová hmotnosť	Modul deformácie	Uhol vnútorného trenia	Kohézia	Poissonovo číslo
	[kN.m-3]	[MPa]	[°]	[kPa]	[v]
M2	25,8	400 - 800	34	450	0,28
PGZ2	25,8	200 - 600	36	500	0,26
PG1	23,0	300 - 600	32	400	0,30
Odporúčané hodnoty	24,0	300 - 500	34	450	0,28

6.2.3.4 Geotechnický úsek G3

- masív s ojedinelými tektonicky porušenými zónami n šířky n.0,1 m, (horninové prostredie s minimálnym porušením tvorené PGZ1 a PGZ2 s pevnosťou hornín v zmysle STN 73 1001 R2, kde $\sigma = 50-90$ MPa),
- prevaha vrstiev piekovcov, zlepenčov a rôznym stupňom litifikácie (možnosť rôzneho tmelu - dolomitický, karbonatický),
- neporušené časti vrstiev v zónach nad 10 m,

- lokálna prítomnosť porušenia (zóna šírky n.0,1 – n.0,1 m).

Tab. 8: Základné geotechnické charakteristiky G3 [21]

Geotechnický úsek G3	Objemová hmotnosť [kN.m-3]	Modul deformácie [MPa]	Uhol vnútorného trenia [°]	Kohézia [kPa]	Poissonovo číslo [v]
PGZ1	26,0	300 - 1500	40	650	0,22
PGZZ2	26,8	300 - 1200	38	600	0,24
Odporúčané hodnoty	26,4	400 - 800	38	600	0,24

6.3 Hydrogeologické pomery prostredia

Celá trasa úseku diaľnice je z hľadiska geológie situovaná v tektonicky veľmi náročnom styku bradlového pásma a paleogénnej výplne Žilinskej kotliny, s prítomnosťou regionálne významného suľovsko - prečínskeho zlomu. Celkovo však hydrogeologické zhodnotenie trasy tunela a územia západného portálu je priaznivé. „Prítoky, ktoré viac či menej komplikovali razenie prieskumnej štôlne zmenou inžinierskogeologických vlastností hornín, sú takmer výlučne viazané na tektonické línie, otvorené systémy priebežných diskontinuit a zlomov a na silne porušené horniny v blízkosti poruchových zón, prípadne na styk litograficky odlišných prostredí.“ [21]

Hydrogeologické pomery úseku boli sledované v období razenia prieskumnej štôlne. V tejto etape boli najvýraznejšie prítoky s výdatnosťou od 5-8 l.s⁻¹. Za hydrogeologicky nepriaznivé úseky možno označiť úseky, ktoré sú tvorené kolektormi nasýtenými podzemnou vodou. V takýchto prípadoch došlo k ich zániku ihneď po vyprázdnení, prípadne mali nemerateľné výdatnosti. Hydraulicky aktívne prítoky zostali v štyroch úsekoch s výdatnosťou 0,03 – 2 l.s⁻¹. Sumárna výdatnosť aktívnych prítokov meraných v máji 1998 predstavuje 2,5 l.s⁻¹.

Pri razení tunelových rúr boli predpokladané prítoky v rovnakých zónach horninového masívu. Najvýraznejšie však z južnej tunelovej rúry. Okamžitý prítok pri razení bol predpokladaný s výdatnosťou nad 20 l.s⁻¹, lokálne 30 l.s⁻¹. Avšak nepriaznivé pomery sú aj v oblasti východného portálu. V zosuvných sedimentoch je akumulovaná podzemná voda s napätou hladinou. Toto negatívne ovplyvňuje inžinierskogeologické vlastnosti hornín. Situáciu bolo potrebné zlepšiť a to umelými odvodňovacími vrtmi VV-1, VV-2 a drenážnou funkciou prieskumnej štôlne.

Z hľadiska chemického zloženia podzemnej vody boli zistené v oblasti západného úseku prieskumnej štôlne vody základného, výrazného, respektíve nevýrazného vápenato - horečnato - hydrogénuhličitanového typu. V prípade oblasti východného úseku prevláda základný, sodno - hydrogénuhličitanový typ. V úsekoch so staničením 1790,0 m, 1793,6 m, 2081,2m sa v prítokoch sporadicky objavil prítomnosť

nevýrazného sódno - chloridového typu vody. Vody nedosahujú parametre agresívnosti AX1 - slabá agresivita.

Vyhodnotenie agresívnych účinkov na betónové konštrukcie ukázalo, že väčšina analyzovaných vzoriek vôd nevykazovalo agresívne vlastnosti. Výnimku však tvorili prítoky v staničení východného portálu 1722,7 m, 1790,9 m, 2390,0 m a 2596,1 m. Ukázalo sa, že podzemné vody majú zvýšený obsah chloridov v rozpätí 808,26 až 1829,2 mg.l⁻¹.

Najintenzívnejšie agresívne účinky vôd na železo sa prejavilo vo vode, ktorá vykazovala prítomnosť CO₂ na železo v staničení 2581,3 m. Podobne možno hodnotiť vodu síranovú s obsahom chloridov ako vysoko agresívnu. Ostatné vody vykazovali nízku agresivitu na železo. [21]

7 Návrh primárneho ostenia tunelu

V poslednej kapitole práce sa zaoberá návrhom primárneho ostenia tunela Ovčiarsko. Pre túto úlohu bol na základe dostupných materiálov a to výkresovej dokumentácie a geologickej správy vybraný rez. Pre riešený rez boli určené potrebné geotechnické a geometrické parametre, ktoré nám umožnili vytvoriť numerický model. Dôvodom vytvorenia numerického modelu bolo získanie hodnôt zaťaženia.

7.1 Použitý software

Pre riešenie úlohy bol použitý software od spoločnosti FINE spol. s.r.o. s názvom GEO5 - MKP (metóda konečných prvkov). Pomocou tohto software-u boli získané hodnoty zaťaženia primárneho ostenia.

7.1.1 GEO5 – MKP

Česká spoločnosť FINE spol. s.r.o. vytvorila radu GEO5. Táto rada okrem iného obsahuje aj program MKP – Metoda konečných prvkov. Tento program ponúka moduly, pomocou ktorých je možné riešiť konkrétne úlohy a to *Konsolidace*, *Proudění* a *Tunel*. Program MKP je predovšetkým určený k modelovaniu geotechnických úloh ako sú:

- sadanie terénu,
- pažiace konštrukcie,
- kotvené oporné konštrukcie,
- stabilita svahu,
- nosníky na podloží,
- výpočty výrubu a tunelov,
- výpočet prúdenia a iné.

Modelovanie konštrukcie v programe prebieha v dvoch krokoch. Prvým krokom je topológia. V tomto kroku sa zadáva geometria celej úlohy, vrstvy zemín alebo hornín a ich parametre. Taktiež je možné zadávať línie konštrukcií a kontakty medzi rôznymi rozhraniami, napríklad kontakt medzi konštrukciou a zeminou. Následne sa vygeneruje sieť konečných prvkov, ktorú program generuje automaticky. Je možné zasiahnuť do hustoty siete, a to v miestach, kde potrebuje získať presnejšie výsledky. Avšak s voľbou hustejšej siete sa predlžuje doba výpočtu, preto je potrebné voliť optimálnu hustotu alebo zahusťovať len v oblasti, kde očakávame kľúčové výsledky. Druhý krok je fáza budovania, v ktorej sa postupne modeluje postup výstavby daného diela (konštrukcie). V jednotlivých fázach výpočtu sa modeluje konkrétny krok výstavby, zavádzajú sa konštrukčné prvky a kontakty. Výsledkom celého procesu je získanie nami zvolených výsledkov potrebných pre ďalšie použitie. [36]

7.2 Zvolený priečný profil

Pre riešenie úlohy bol vybraný jeden priečný profil, ktorý označujeme ako PP1. Tento profil bol volený vzhľadom na dostatok informácií z projektovej dokumentácie a inžinierskogeologickej správy. Nachádza sa v južnej tunelovej rúre tunela Ovčiarsko, staničenie PP1 je uvedené vo formáte staničenia JTR a nie v staničení celkovej trase úseku D1.

- Priečný profil PP1 – km 0, 600 000
 - kvalitu horninového masívu možno označiť za uspokojivú – zaradenie do geotechnického úseku G3, z hľadiska hodnotenia na kvazihomogénne bloky PGZZ2 – Súľovské zlepence, zastúpenie pieskovce, ílovce a zlepence, so zastúpením tektonicky porušených vrstiev,
 - predpoklad VT 5/2 – ľahké vystrojenie výrubu,
 - výška nadložia je približne 45 m.

7.2.1 Parametre hornín a zemín

Vzhľadom na získané materiály a podklady nebol k dispozícii konkrétny geologický profil v podobe geologického vrtu. Hodnoty boli získané na základe výkresovej dokumentácie, geologickej správy a konzultácií a to v podobe zaradenia prostredia okolo tunelu do geotechnického bloku. Predmetné hodnoty sú uvedené v tabuľke 9.

Tab. 9: Geotechnické parametre pre priečný profil PP1

Geotechnický úsek G3	Objemová hmotnosť	Modul deformácie	Uhol vnútorného trenia	Kohézia	Poissonovo číslo
	[kN.m-3]	[MPa]	[°]	[kPa]	[v]
PGZ1	26,0	300 - 1500	40	650	0,22
PGZZ2	26,8	300 - 1200	38	600	0,24
Odporúčané hodnoty	26,4	400 - 800	38	600	0,24
Hodnoty použité vo výpočte	26,4	500	38	600	0,24

7.2.2 Parametre primárneho ostenia

Riešený profil PP1 je zaradený do vystrojovacej triedy 5/2. Výrub je horizontálne členený na kalotu, stupeň a dno.

Kalota: výrub je zaistený striekaným betónom SB 25 (C 20/25) hrúbky 150 mm, vystužený jednou vrstvou sietí 150x150x6 mm a priehradovým nosníkom 50/18/25 v osovej vzdialenosti 1,3 – 1,7 m. Pre zaistenie stability výrubu je použité radiálne

kotvenie SN kotvená tyč \varnothing 28 mm, dĺžky 4,0 m s minimálnou požadovanou únosnosťou 250 kN. Vzájomné vzdialenosti vytvárajú raster o strane 2,2 m. Zabezpečenie stropu je pomocou oceľových ihiel \varnothing 28 mm, dĺžky 4 m vo vzájomných vzdialenostiach 300 mm. Dĺžka záberu v kalote je 1,3 – 1,7 m.

Podľa výkresovej dokumentácie, ktorá je súčasťou je dno kaloty vo výške + 1,000 m. Výška kaloty je + 7,290 m a celková plocha kaloty predstavuje pre profil PP1 59,35 m².

Stupeň: výrub je zaistený striekaným betónom SB 25 (C 20/25) hrúbky 150 mm, vystužený jednou vrstvou sieťou 150x150x6 mm a priehradovým nosníkom 50/18/25. Zaistenie stability výrubu je zabezpečené radiálnym kotvením SN kotvená tyč \varnothing 28 mm dĺžky 4,0 m s požadovanou únosnosťou 250 kN. Dno stupňa sa nachádza vo výške – 0,500 m a dĺžka záberu sa pohybuje od 1,3 – 1,7 m. Plocha výrubu stupňa je 18,30 m².

Dno: v našom prípade úroveň dna je v úrovni dna stupňa, to znamená, že nie je potrebné zaistenie výrubu pomocou striekaného betónu ani iných zaistovacích prvkov. Oblasť dna je od – 0,856 m do – 1,978 m, v celej tejto výške je navrhnutá ochrana dna z betónu triedy C 16/20. Dĺžka záberu predstavuje 2,6 – 3,4 m a plocha dna predstavuje 13,90 m.

Celková plocha výrubu priečného profilu PP1 je 91,55 m². Pre správne modelovanie výstavby je potrebné stanoviť pracovné úrovne. Tie boli rozdelené na tri úrovne, I. pracovná úroveň je vo výške + 1,000 m, II. pracovná úroveň je vo výške – 0,500 m a posledná III. pracovná úroveň je vo výške – 1,978 m.

7.2.2.1 Vlastnosti striekaného betónu

V zvolenom priečnom profile PP1 je použitý striekaný betón SB25 obor J2. Obor J2 sa využíva v prípade pokiaľ má byť betón nanesený čo najrýchlejšie a to v silných vrstvách. Taktiež sa používa v prípadoch pri rýchlom náraste zaťaženia horninovým tlakom alebo pri pôsobení priťaženia. [37]

V tabuľke 10 uvádzame základné mechanické vlastnosti striekaného betónu.

Tab. 10: Parametre striekaného betónu SB25

Betón SB25	E	v	R _{ck}	R _{ctk}
	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]
Mladý (3 dni)	18 100	0,2	12	1,1
Starý	29 000	0,2	25	2,2

V programe GEO5 MKP je v priebehu modelovania možné simulovať reálne starnutie betónu a to pomocou zvyšovania parametrov nosníkových prvkov. Avšak zmena je možná iba v prípade modulov pružnosti (E, G). Pre modelovanie boli použité

tlakové a ťahové pevnosti striekaného betónu, v priebehu úlohy ich nie je možné meniť. [38]

$$f_{ck} = 20,00 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,20 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti v šmyku sa vypočíta nasledujúcou rovnicou:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

kde: E Modul pružnosti,

ν Poissonovo číslo.

Po dosadení hodnôt do rovnice a získaní jednotlivých výsledkov modulu pružnosti v šmyku pre mladý a starý betón boli použité pre modelovanie časového priebehu zmeny mechanických vlastností betónu.

$$G_{\text{mladý}} = \frac{18\,100}{2 \cdot (1+0,2)} = 7542 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{starý}} = \frac{29\,000}{2 \cdot (1+0,2)} = 11\,340 \text{ MPa}$$

„Vplyv výstuže na tuhosť primárneho ostenia spravidla pri tvorbe numerického modelu zohľadnená nie je. Pri posúdení ostenia zo SB v interakčnom diagrame by mali byť zahrnuté oceľové siete, naopak oceľové priehradové rámy by do posúdenia zahrnuté byť nemali.“ [37]

7.2.3 Vplyv svorníkovej výstuže

Ako je uvedené v kapitole 7.2.2 *Parametre primárneho ostenia*, stabilita výrubu pre triedu 5/2 je zaistená pomocou SN kotviacou tyčou tyč \varnothing 28 mm dĺžky 4,0 m s minimálnou únosnosťou 250 kN. Vzďialenosť svorníkov v priečnom smere je 2,2 m a v pozdĺžnom smere rovnako 2,2 m.

V prípade zavádzania svorníkov do numerického modelu sa konkrétna prekotvená oblasť nahradí horninou s lepšími materiálovými parametrami. V takýchto prípadoch sa uvažuje nárast súdržnosti zeminy. Výsledkom je určenie celkovej súdržnosti horniny zvýšená vplyvom svorníkov a to vzťahom:

$$c_{h+s} = c_h + c_s \text{ [kPa]}$$

kde: c_{h+s} celková súdržnosť horniny zvýšené vplyvom svorníkovej výstuže,

c_h pôvodná súdržnosť,

c_s zvýšená súdržnosť vplyvom svorníkovej výstuže.

V prípade PP1 sa prekotvená oblasť nachádza v jednej stanovenej vrstve horniny, pre ktorú bolo stanovené zvýšenie súdržnosti c_s :

$$c_s = \frac{Nu}{Ak} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_{ef})}{2 \cdot \cos(\varphi_{ef})} \cdot \frac{1}{\gamma_{kc}}$$

$$c_s = \frac{250}{3,09} \cdot \frac{1 + \sin(38)}{2 \cdot \cos(38)} \cdot \frac{1}{1,5} = 61,20 \text{ kPa}$$

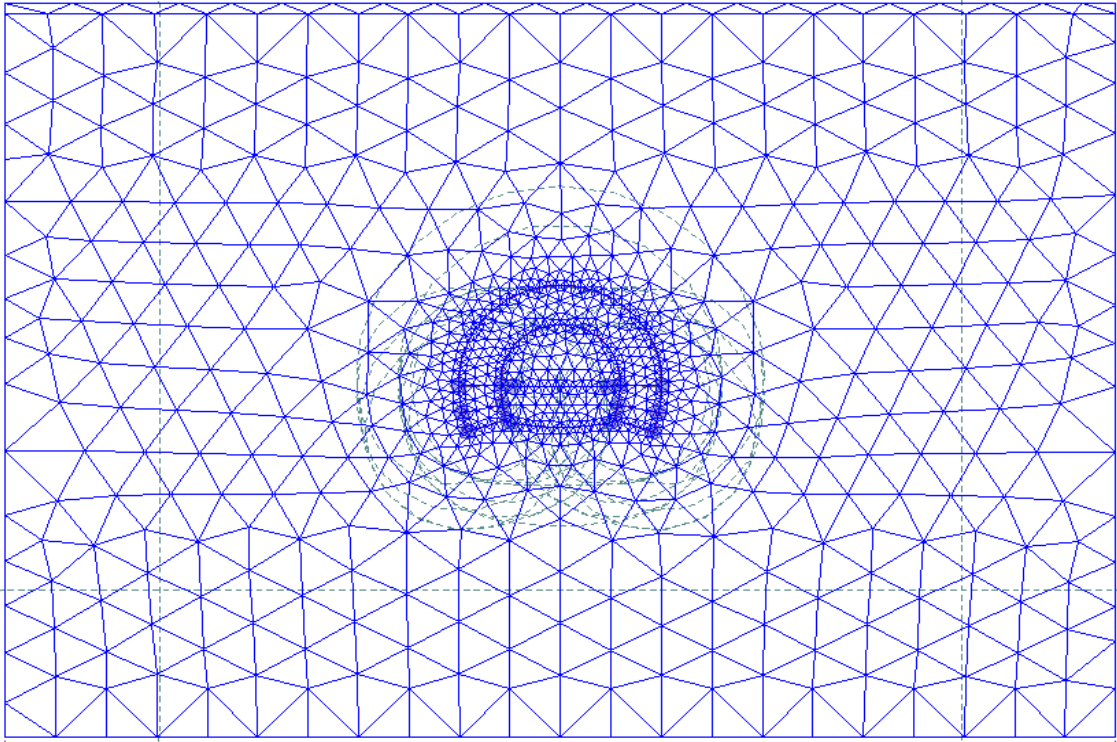
- kde: N_u únosnosť svorníkov [kN],
 A_k plocha pripadajúca na jeden svorník [m^2],
 φ_{ef} uhol vnútorného trenia [$^\circ$],
 γ_{kc} súčiniteľ spoľahlivosti kotvenia [-]. [39]

Plocha pripadajúca na jeden svorník A_k bola spočítaná, ako dĺžka záberu pre násobená obvodom výrubu a následne vztiahnutá na 1 svorník. V našom prípade je to $A_k = 1,5 \times 22,65 = 33,98 \text{ m}^2$. Pri uvážení 11 svorníkov je plocha na jeden svorník približne $3,09 \text{ m}^2$.

Súdržnosť horniny v okolí výrubu je pred použitím svorníkov $c = 600 \text{ kPa}$, vplyvom kotvenia sa zvýšila súdržnosť na hodnotu $c_{h+s} = 661,20 \text{ kPa}$.

7.3 Numerický model

V programe GEO5 MKP bol postup rozdelený do dvoch veľkých častí. V prvej časti - *topologie* sa vkladali všetky potrebné vstupné dáta. A to parametre zemín a hornín, kontaktné prvky jednotlivých rozhraní, geometriu a podobne. Nutné je podotknúť, že nebol prístupný geologický vrt ani iná dokumentácia, ktorá by veľmi presne určila typ zeminy/horniny, ich hrúbku a parametre. Mali sme k dispozícii zaradenie do geotechnického bloku a jeho výpočetné parametre. Na začiatku bol zvolený „rozmer sveta“ okolo tunela približne 5 násobok profilu vpravo aj vľavo, v okolí pod a nad tunelom predstavovali rozmery približne 3 násobok profilu. Pri tvorbe horninového prostredia bola využitá možnosť „nahradiť“ ostatné vrstvy nadložia jednou vrstvou s parametrami bežnej zeminy (hlina), avšak v prípade objemovej tiaže hodnota vysoko prevažovala bežné hodnoty. Tento krok nám umožnil simulovať prítlačenie nadložia. Následne sme pokračovali vo vytvorení siete konečných prvkov so základnou dĺžkou hrany 5,0 m, v okolí profilu PP1 bola dĺžka hrany skrátaná a zahustená. Výsledná sieť je zobrazená na obrázku 26.



Obr. 25: PP1 – sieť konečných prvkov

Druhá fáza modelovania – *budování* spočívala v jednotlivých fázach budovania. Každá fáza je ukončená vlastným výpočtom, kde je možné získať hodnoty vnútorných síl, deformácií a iné. V našom prípade bolo vytvorených celkovo 6 fáz výpočtu. Tieto fázy sú stručne uvedené nižšie.

Fáza č. 1

- výpočet primárneho napätia

Fáza č. 2

- realizácia výrubu kaloty, aktivácia nevystrojeného výrubu
- exkavácia 30 % (výrub), 70 % ostáva (kalota)

Fáza č. 3

- zaistenie kaloty striekaným betónom (mladý SB)
- inštalácia svorníkov
- exkavácia 70 % (výrub), 0% ostáva (kalota)

Fáza č. 4

- zmena parametrov ostenia kaloty
- exkavácia 30 % (výrub), 70% ostáva (stupeň)

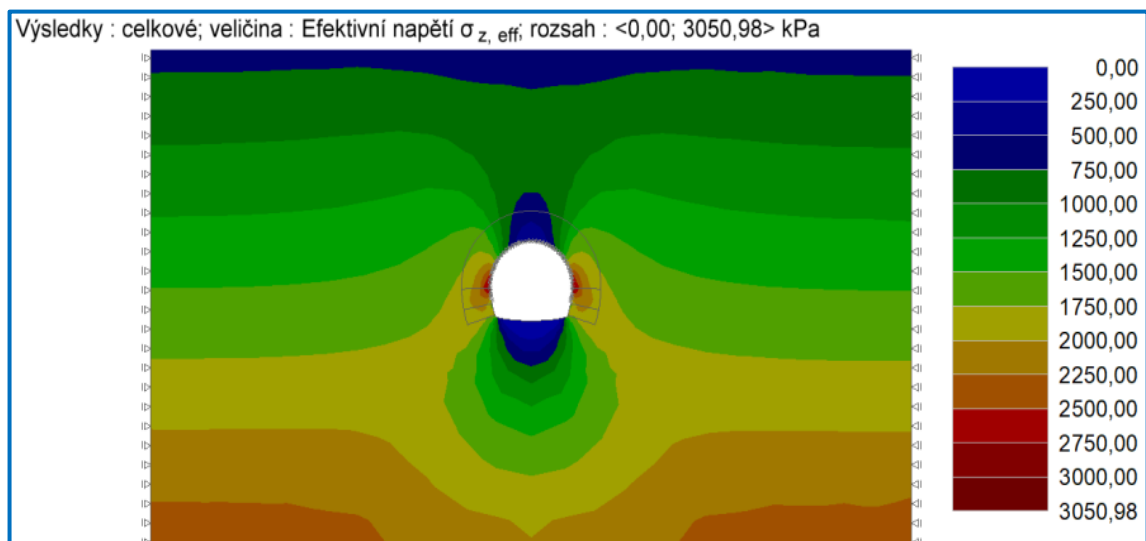
Fáza č.5

- zaistenie stupňa striekaným betónom (mladý SB)
- exkavácia 70 % (výrub), 0 % ostáva (stupeň)

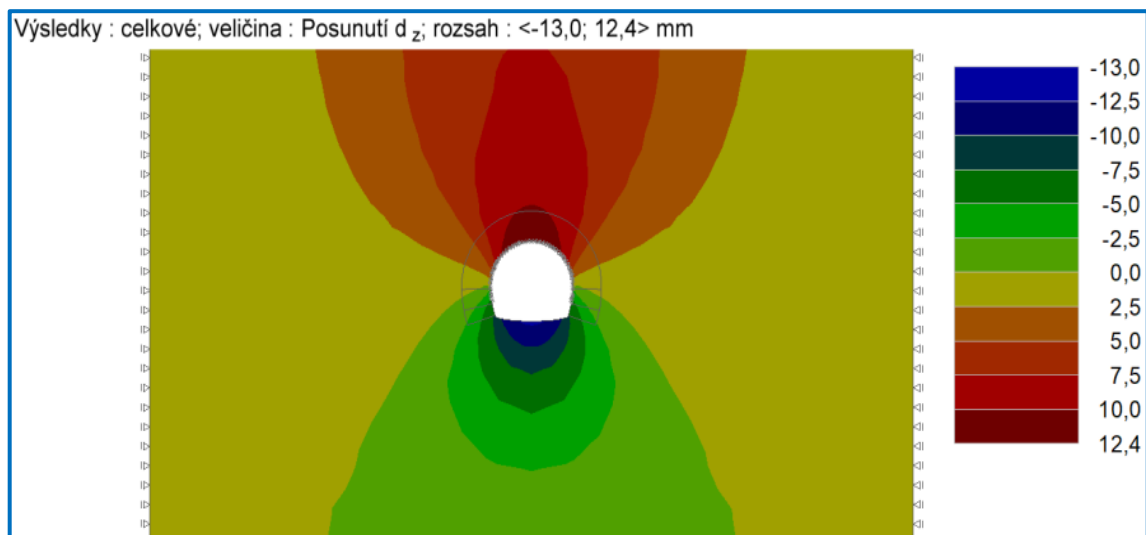
Fáza č. 6

- odťaženie dna
- zmena parametrov ostenia na starý SB

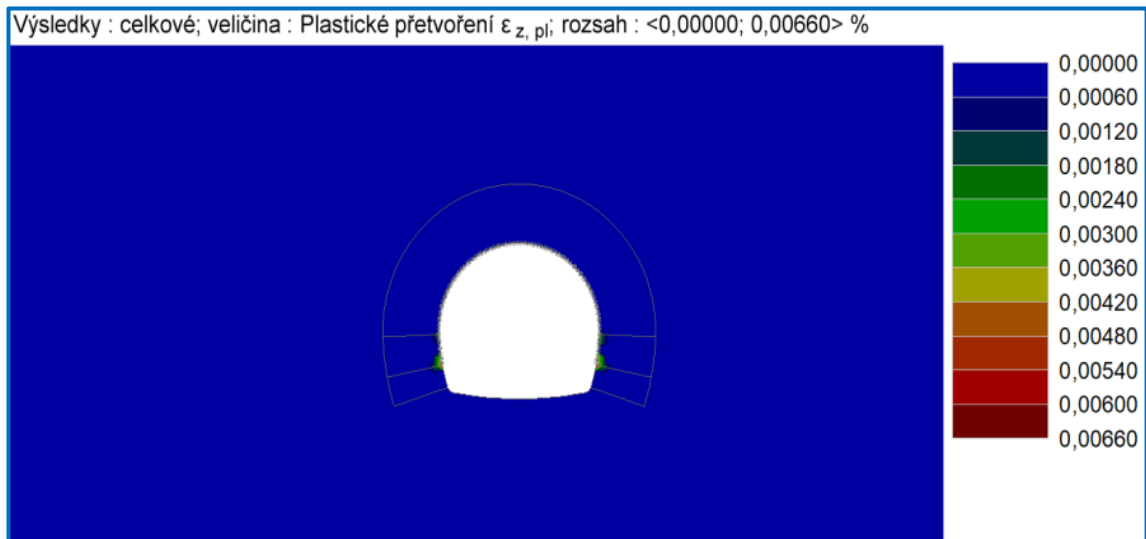
7.3.1 Výsledky výpočtu



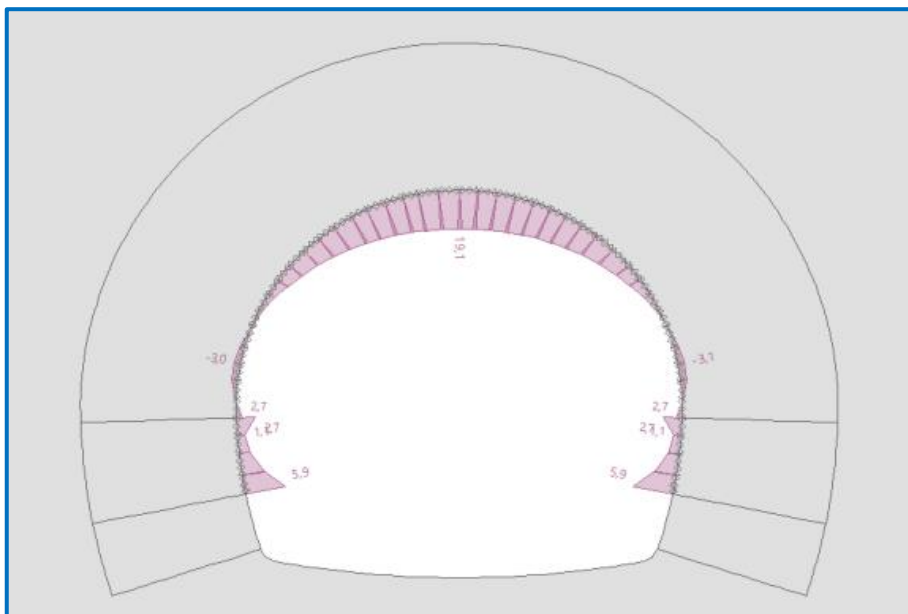
Obr. 26: Priebeh zvislého efektívneho napätia (Fáza 6)



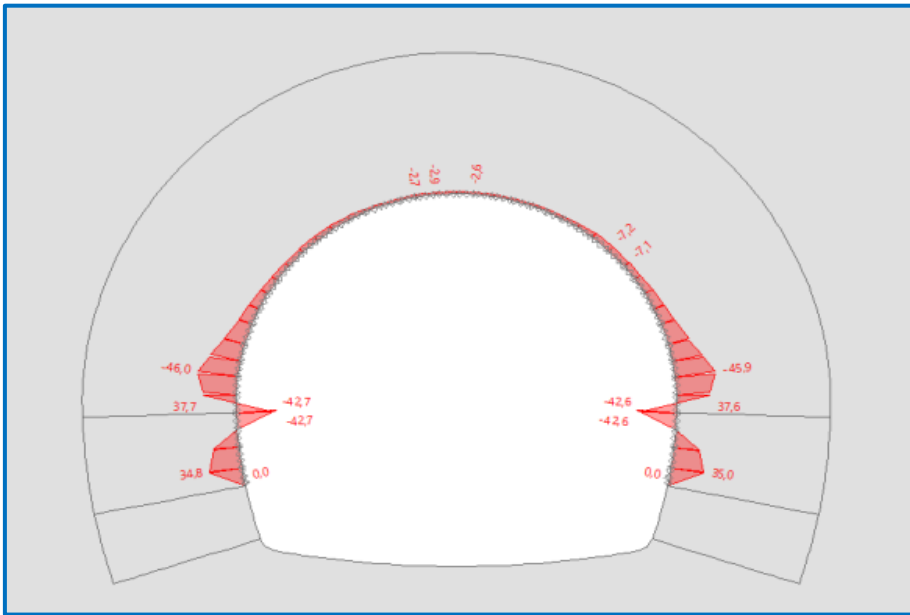
Obr. 27: Sadnutie d_z (Fáza 6)



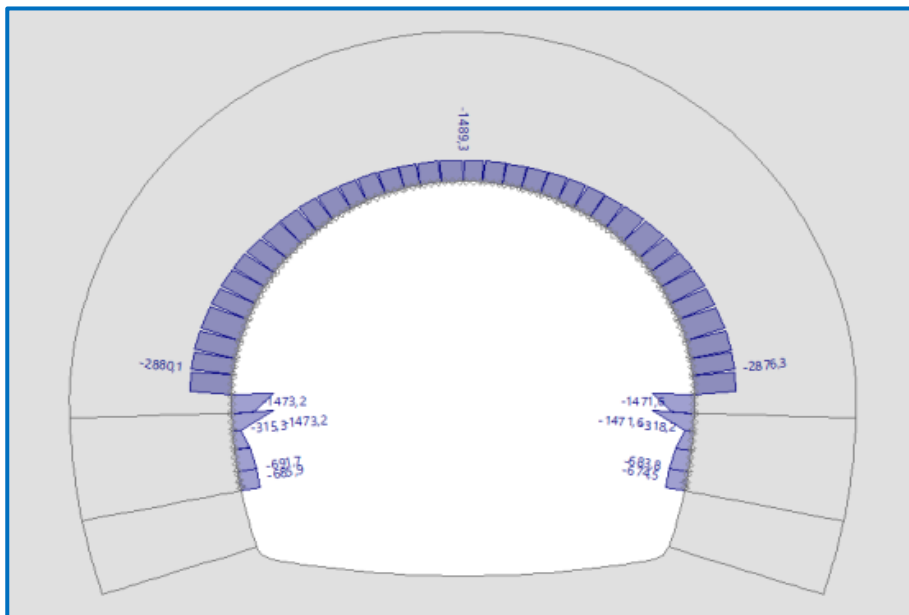
Obr. 28: Plastické pretvorenie ϵ_z, pl (Fáza 6)



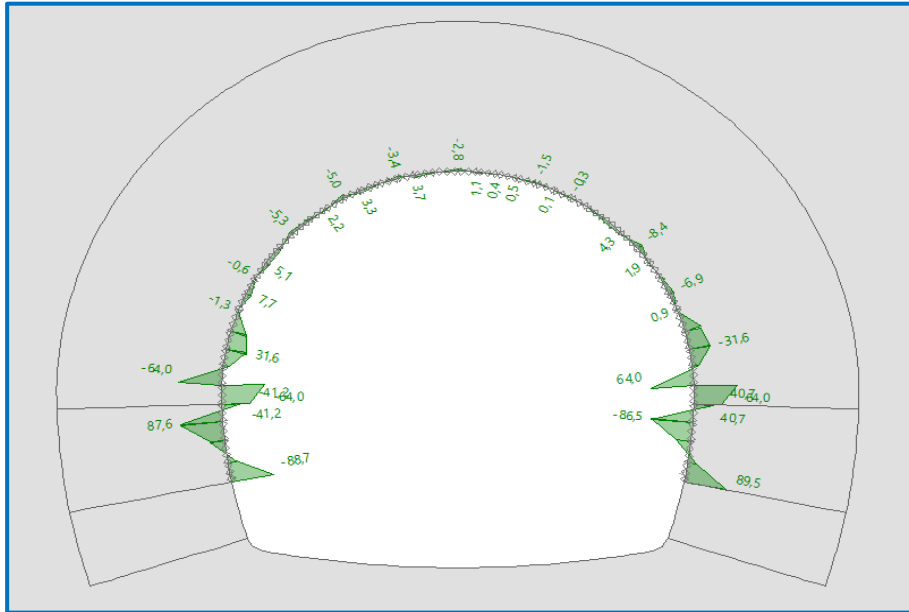
Obr. 29: Kolmá deformácia ostenia (Fáza 6)



Obr. 30: Priebch ohybových momentov (Fáza 6)



Obr. 31: Priebch normálových síl (Fáza 6)



Obr. 32: Priebeh posúvajúcich síl (Fáza 6)

V nasledujúcej tabuľke 11 sú uvedené hodnoty extrémov vnútorných síl primárneho ostenia po 6. fáze budovania.

Tab. 11: Extrémne hodnoty vnútorných síl na primárnom ostení PP1

Fáza budovania 7 – Vnútorné sily		
N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
-2 880,0	-46,0	-88,7
-	+ 37,7	+89,5

Primárne ostenie je vystužené výstužnými sieťami 150x150x6 mm (zvárané siete z betonárskej výstuže) a oceľovými priehradovými nosníkmi. Zavedenie výstužných sietí do numerického modelu MKP sme v našom prípade neuvažovali a to by bolo predmetom samotného posúdenia.

Na záver výpočtu je potrebné konštatovať, že ide o zjednodušený návrh ostenia a model by bolo potrebné optimalizovať.

8 Záver

Cieľom tejto práce bol zjednodušený návrh primárneho ostenia tunela Ovčiarsko, ktorý je kľúčový pre spustenie nového diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. Tento úsek má priblížiť západ Slovenska s jeho východom a tým výrazne zefektívniť dopravu.

Úvodnú časť práce možno označiť ako teoretickú, kde sú uvedené základné informácie o vývoji a súčasnom stave diaľničnej siete Slovenska, podrobne je popísaný predmetný úsek, v ktorom sa nachádza aj riešený tunel. Je uvedené jej základné výškové a smerové riešenie, ale aj regionálna geológia úseku. Vzhľadom na riešenu problematiku práca uvádza niekoľko vybraných termínov a rozdelení z oblasti podzemného staviteľstva. Tunelu Ovčiarsko je venovaná samostatná kapitola so základnými údajmi o stavbe, prvkoch vystrojenia a mnoho ďalších. Záver teoretickej časti práce je venovaný samotnej geológii tunela, popisuje vývoj a zloženie horninového masívu. Za zmienku stojí aj prieskumná štôľňa, vďaka ktorej boli spresnené geologické pomery a parametre. Následné rozdelenie horninového masívu je interpretované pomocou geotechnických úsekov G1 – G3. Hydrogeologické pomery prostredia prinášajú podstatné informácie z hľadiska zloženia podzemnej vody a jej agresivity na konštrukcie.

V druhej časti práce bol vytvorený výpočet vnútorných síl primárneho ostenia pomocou metódy konečných prvkov vo zvolenom priečnom profile s názvom PP1. Priečny profil bol volený vzhľadom na dostatok informácií z výkresovej dokumentácie a záverečnej inžinierskogeologickej správy. PP1 bol zvolený v mieste s nadložíom s výškou 45 m. Pre predstavu správania sa horninového masívu a stanovenie zaťaženia bol konkrétny rez vytvorený ako numerický model v programe GEO5 MKP. Výsledkom výpočtu bolo modelovanie reálneho budovania tunelu a zisk vnútorných síl.

Pre priečny profil PP1 v staničení km 0,600 000 v JTR bola určená vystrojovacia trieda 5/2. Primárne ostenie tvorené striekaným betónom SB 25 (C20/25) hrúbky 150 mm bolo vystužené jednou vrstvou výstužnej siete 150x150x6 mm. Jednou z úloh sa stalo zavedenie vplyvu svorníkovej výstuže pomocou zlepšenia parametrov horniny v oblasti prekotvenia svorníkmi.

Na záver práce je potrebné pripomenúť, že nami vytvorený model vo vybranom priečnom profile je zjednodušený vzhľadom na dostupné informácie a bola by potrebná optimalizácia modelu, ktorá nebola z časových dôvodov realizovaná.

9 Slovníček

Slovenský názov

Cestný

Čiastkový

Debnenie

Híbené

Híbka

Hrúbka

Jav

Krútenie

Medza

Napätie

Plytko

Prierez

Realizované

Rozpätie

Trúba

Väčší

Zosun

Český názov

Silniční

Dílčí

Bednění

Hloubené

Hloubka

Tloušťka

Jev

Kroucení

Mez

Napětí

Mělce

Průřez

Provádené

Rozpětí

Roura

Větší

Sesuv

10 Použitá literatúra

- [1] Mapa návrhu ČSRÚ (1935). In: *Wikipedia* [online]. Wikimedia, 2010. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/N%C3%A1rodn%C3%AD_silnice_Plze%C5%88-Ko%C5%A1ice.svg
- [2] Mapa Cestnej magistrály od brnianskych inžinierov (1935). In: *Wikipedia* [online]. Wikimedia, 2010. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Silni%C4%8Dn%C3%AD_magistr%C3%A1la_%28Brno%29.svg
- [3] Mapa Cestnej magistrály navrhnutéj J. A. Baťom v roku 1937. In: *Wikipedia* [online]. Wikimedia, 2010. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Silni%C4%8Dn%C3%AD_magistr%C3%A1la_%28Ba%C5%A5a%29.svg
- [4] Rozostavanosť diaľnic na Slovensku v roku 1998. In: *Wikipedia* [online]. Wikimedia, 2010. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/D-SVK-1998-dostavane.svg>
- [5] Dejiny výstavby diaľnic a rýchlostných ciest na Slovensku. In: *Wikipedia: slobodná encyklopédia* [online]. Wikimedia Foundation, 2010. Stránka naposledy edit. 10. 04. 2020 v 11:29. [cit. 2020-03-05]. Slovenská verzia. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Dejiny_v%C3%BDstavby_dia%C4%BEnic_a_r%C3%BDchlostn%C3%BDch_ciest_na_Slovensku#cite_note-7
- [6] *Ineko* [online]. INEKO. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <http://cesty.ineko.sk/mapa>
- [7] *Diaľnice.szm.sk* [online]. Diaľnice.szm.sk. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <http://dialnice.szm.com/tunnels/tunnels.html>
- [8] Diaľnica D1 na Slovensku. In: *Wikipedia* [online]. Wikimedia, 2018. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Motorway_D1_SK_map.svg
- [9] Mesto Žilina: *ROZHODNUTIE O UMIESTNENÍ STAVBY „Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka“*. Žilina, 2007.
- [10] *Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka* [online]. Národná diaľničná spoločnosť. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.ndsas.sk/stavby/vystavba/hricovske-podhradie-lietavska-lucka>

- [11] *D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka* [online]. Dialnica.info. 2019. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://www.dialnica.info/dialnice/D1_HP-LietavskaLucka.html
- [12] *Diaľnica D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka* [online]. Dopravoprojekt.sk. 2016. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://dopravoprojekt.sk/projekt/dialnica-d1-hricovske-podhradie-lietavska-lucka-2/>
- [13] TASR. Dokončenie úseku D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka deklarujú do konca tohto roka In: *SME.sk* [online]. 2019. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://myzilina.sme.sk/c/22103226/dokoncenie-useku-d1-hricovske-podhradie-lietavska-lucka-deklaruju-do-konca-tohto-roka.html>
- [14] SITA. Prerazili tunel Ovčiarsko. In: *SME.sk* [online]. 2016. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://myzilina.sme.sk/c/20151680/prerazili-tunel-ovciarsko.html>
- [15] BEKEČ, I., CHALUPEC, A., KAPSIAROVÁ, H. Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. In: *ASB.sk* [online]. 2016. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/inzinarske-stavby/dialnice/dialnica-d1-hricovske-podhradie-lietavska-lucka>
- [16] Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. In: *ASB.sk* [online]. JAGA GROUP, s.r.o., 2016. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/inzinarske-stavby/dialnice/dialnica-d1-hricovske-podhradie-lietavska-lucka/attachment/9194-5b36830df03f5>
- [17] KOČISKÝ, D., IVANIČ, B. *Geomorfologické členenie Slovenska* [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2014. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <http://apl.geology.sk/temapy/>
- [18] POKORNÝ, M., VACHTL, J., ZÁRUBA, Q. *Základy geologie a petrografie pro stavební fakulty*. 3. vyd. Praha: Bratislava: Státní nakladatelství technické literatury, Nakladatelství ALFA, 1974.
- [19] Areas (regions). In: *Guide to Slovakia* [online]. Guide to Slovakia, ©2020. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.guidetoslovakia.com/slovakia/geomorphological-division/geomorphology-of-slovakia/>
- [20] MAZÚR, E. *Žilinská kotlina a príľahlé pohoria*. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie viet, 1963. 71 – 021 – 63.
- [21] GEOFOS, s.r.o.: *Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka „Tunel Ovčiarsko“ Dokumentácia pre stavebné povolenie, Inžinierskogeologická časť, Záverečná správa*. Žilina, 2008.

- [22] BARTÁK, J., PRUŠKA, J. *Podzemní stavby*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04789-7.
- [23] TP 020. *Tunelové názvoslovie*. Bratislava: Ministerstvo dopravy, pôšt a telekomunikácii SR, Sekcia dopravnej infraštruktúry, 2006.
- [24] ČLENOVÉ PRACOVNÍ SKUPINY ČTuK PRO KONVENČNÍ TUNELOVÁNÍ. *Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR* [online]. Praha: Český tunelářský komitét ITA/AITES, 2006. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/Knihovnicka_CzTA/CzTA_KonvencniTunelovani.pdf
- [25] Basler&Hofmann: *Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, Technická správa, 407-00 Razení tunel – Južná tunelová rúra, časť 01. Primárne ostenie*. Bratislava, 2014.
- [26] JALOVIAROVÁ, R. Tunel začali raziť o 15 rokov neskôr. In: *Pravda.sk* [online]. 2014. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://spravy.pravda.sk/domace/clanok/329921-tunel-zacali-razit-o-15-rokov-neskor/>
- [27] Tunel Ovčiarsko – východný portál. In: *Diaľnica.info* [online]. Diaľnica.info, ©2015. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: http://www.dialnica.info/dialnice/D1_HP-LietavskaLucka6.html
- [28] Tunel Ovčiarsko – trhacie práce. In: *Slovenská tunelárska asociácia* [online]. Slovenská tunelárska asociácia, 2014. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://www.sta-ita-aites.sk/fotografie/5-tunel-ov-siarsko-trhacie-przace.JPG>
- [29] Kalota STR ražba. In: *Slovenská tunelárska asociácia* [online]. Slovenská tunelárska asociácia, 2016. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://www.sta-ita-aites.sk/fotografie/101-kalota-str-ra-uba.jpg>
- [30] Tunel Ovčiarsko, D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. In: *S-BAU SK, s.r.o.* [online]. S-BAU SK, s.r.o., ©2014. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://www.sbausk.sk/en/images/photo/SK02.jpg>
- [31] STR čelba SB. In: *Slovenská tunelárska asociácia* [online]. Slovenská tunelárska asociácia, 2014. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://www.sta-ita-aites.sk/fotografie/62-str-selba-pred-sb.jpg>
- [32] HILAR, M. a kol. *Přehled terminologie podzemního stavitelství* [online]. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, 2011. [cit. 2020-04-20]. ISBN 978-80-254-8366-4. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/Knihovnicka_CzTA/Prehled_terminologie_OK.pdf

- [33] Pohľad na čelbu a raziaci stroj AM-50 (Alpine). In: *Dialnice.szm.sk* [online]. Dialnice.szm.sk, ©2018. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: http://dialnice.szm.com/tunnels/img/Ovciarsko/Ovciarsko6_240x160.jpg
- [34] Západný portál prieskumnej stôlne. In: *Dialnice.szm.sk* [online.] Dialnice.szm.sk, ©2018. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://dialnice.szm.com/tunnels/img/Ovciarsko/Ovciarsko3.jpg>
- [35] GEOFOS, s.r.o.: *Dokumentácia pre stavebné povolenie: 400_10_02 Situácia prieskumných diel*. Žilina, 2008.
- [36] FINE spol. s.r.o. *Online nápoveda GEO5* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/program-mkp-01/>
- [37] HILAR, M. a kol. *Stříkaný beton v podzemním stavitelství* [online]. Praha: Český tunelářský komitét ITA-AITES, 2008. [cit. 2020-05-22]. ISBN 978-80-254-1262-6. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/edice_CTuK/ctuk_03_strikany_beton.pdf
- [38] TURANSKÝ, D. *Návrh železničního tunelu Chotýčany*. Diplomová práce. Praha: ČVUT, 2017.
- [39] *Numerické modelování tunelu metodou NRTM: Inženýrský manuál č. 26*. In: Fine [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: file:///C:/Users/Majtanova/Downloads/em26_cs.pdf

11 Zoznam obrázkov

Obr. 1: Mapa návrhu Národnej silnice Plzeň - Košice [1]	11
Obr. 2: Mapa návrhu Cheb - Košice [2]	12
Obr. 3: Mapa návrhu Jana Baťu [3]	12
Obr. 4: Mapa diaľničnej siete Slovenska [4]	13
Obr. 5: Mapa súčasnej diaľničnej siete na Slovenku [6]	14
Obr. 6: Mapa Diaľnice D1 [8]	16
Obr. 7: Mapa úseku D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka [9]	17
Obr. 8: Staničenie trasy úseku D1 Hričovské Podhradie - Lietavská Lúčka [16]	18
Obr. 9: Geomorfologické členenie Slovenska	19
Obr. 10: Členenie Slovenska na úrovni oblastí [19]	20
Obr. 11: Schéma možných priebehov konvergencií primárneho ostenia [22]	31
Obr. 12: Mapa s umiestnením tunelu Ovčiarsko	32
Obr. 13 Pohľad na zrealizovaný MP ochranný dáždnik pred začiatkom razenia tunela [27]	34
Obr. 14: Trhacie práce na čelbe [28]	35
Obr. 15: Severná tunelová rúra - ražba kaloty [29]	35
Obr. 16: Nakladanie rúbaniny pomocou tunelbagra z oblasti dna [30]	36
Obr. 17: STR pohľad na čelbu pred nástrekom striekaného betónu - možnosť vidieť prvky vystrojenia [31]	37
Obr. 18: Pohľad na čelbu a raziaci stroj AM 50 (Alpine) [33]	39
Obr. 19: Zasypaný západný portál prieskumnej štôlne [34]	39
Obr. 20: Západný portál - odťaženie zásypu a odvetrávanie štôlne pred obhliadkou [21]	40
Obr. 21: Úsek 1 725 - 1 835 m – najviac porušený úsek dna štôlne s prasknutým a zdvihnutým betónom [21]	41
Obr. 21: Kontrolná šachta (staničenie 710 - 730 m), prietok drénovanej vody s Q do 2 l.s-1 [21]	42
Obr. 22: Kontrolná šachta v úseku 1 730 -1750 m, voda nepreteká z dôvodu porušenej drenáže deformáciou dna [21]	42
Obr. 23: Kontrolná šachta v staničení 2 300 - 2 340 m, odtok vody z posledných 350 m [21]	42

Obr. 24: Kontrolná šachta v úseku 2 400 -2 450 m, stály odtok vody z posledných 250 m z masívu paleogénnych ílovcov [21]	42
Obr. 25: Geodynamické javy - zosuvy v oblasti východného portálu [35]	44
Obr. 25: PP1 – sieť konečných prvkov	55
Obr. 26: Priebeh zvislého efektívneho napätia (Fáza 6)	56
Obr. 27: Sadnutie D_z (Fáza 6)	56
Obr. 28: Plastické pretvorenie ϵ_z , ρ_l (Fáza 6)	57
Obr. 29: Kolmá deformácia ostenia (Fáza 6)	57
Obr. 30: Priebeh ohybových momentov (Fáza 6)	58
Obr. 31: Priebeh normálových síl (Fáza 6)	58
Obr. 32: Priebeh posúvajúcich síl (Fáza 6)	59

12 Zoznam tabuliek

Tab. 1: Prehľad diaľničných tunelov na Slovensku [7]	15
Tab. 2: Geometrické údaje priechodného prierezu [25]	33
Tab. 3: Spôsob razenia prieskumnej štôlne [21]	38
Tab. 4: Vyčelenenie litologických typov [21]	44
Tab. 5: Základné geotechnické charakteristiky G0 [21]	46
Tab. 6: Základné geotechnické charakteristiky G1 [21]	46
Tab. 7: Základné geotechnické charakteristiky G2 [21]	47
Tab. 8: Základné geotechnické charakteristiky G3 [21]	48
Tab. 9: Geotechnické parametre pre priečny profil PP1	51
Tab. 10: Parametre striekaného betónu SB25	52
Tab. 11: Extrémne hodnoty vnútorných síl na primárnom ostení PP1	59

13 Prílohy

Príloha 1: Mapa diaľničných tunelov na Slovensku

Príloha 2: Geomorfologické členenie Slovenska