



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV GEOTECHNIKY

INSTITUTE OF GEOTECHNICS

## PŘEDPOKLADY A SKUTEČNOST PŘI GTM NA TUNELU VIŠŇOVÉ VE SR.

PREREQUISITES AND FACTS WI THE GT MONITORING ON THE VIŠŇOVÉ-TUNNEL  
IN SLOVAKIA.

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michaela Horňáková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.

BRNO 2018



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav geotechniky

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Michaela Horňáková
<b>Název</b>	Předpoklady a skutečnost při GTM na tunelu Višňové ve SR.
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

---

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Podklady budou předány vedoucím Bakalářské práce zvlášť.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Ve SR na trase dálnice D1 je ražen významný tunel Višňové-Dubná Skala. V bakalářské práci jsou srovnány některé předpoklady projektu s realitou zobrazenou ve výsledcích uskutečněného geotechnického monitoringu (GTM).

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Práca je rozdelená do dvoch častí, z ktorých prvá sa zaoberá teóriou geotechnického monitoringu. Druhá, praktická, časť sa zaoberá tunelom Višňové na severe SR. Spracováva históriu, technológiu výstavby, geológiu a geotechnický monitoring, ktorý bol pre tunel schválený. Nakoniec na niekoľkých profiloch porovnáva reálne zachytené geotechnické podmienky s predpokladom odvodeným z prieskumnej štôlne.

## KLÍČOVÁ SLOVA

geotechnický monitoring, inžinierskogeologický prieskum, tunel, geológia, geologická dokumentácia, konvergencie, deformácie, ADECO-RS, razenie, prieskumná štôlňa, horninový masív

## ABSTRACT

The bachelor's thesis is divided to two main parts, from which first is focused on the theory of geotechnical monitoring. The second, practical part deals with tunnel Višňové in the north of Slovakia. It processes the history and technology of construction, geomorphology and geotechnical monitoring, which was approved for tunnel. Finally on the few profiles compares real geotechnical conditionals with prerequisites from exploration gallery.

## KEYWORDS

geotechnical monitoring, geological survey, tunnel, geology, geological documentation, convergence, deformation, ADECO-RS, excavation, exploration gallery, rock mass

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Michaela Hornáková *Předpoklady a skutečnost při GTM na tunelu Višňové ve SR.*. Brno, 2018. 85 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30. 4. 2018.

---

Michaela Horňáková

autor práce

## POĎAKOVANIE

Najväčšie poďakovanie by som chcela venovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Vladislavovi Horákovi, ktorý mi bol celú dobu skvelým konzultantom. Ďalej by som sa rada poďakovala kolektívu na tuneli Višňové konkrétne: Róbertovi Mokrému a jeho tímu, pod ktorého vedením som začala pracovať na tuneli Višňové, RNDr. Tomášovi Molčanovi a Ing. Petrovi Mitrengovi, Ph.D. za ich cenné rady okolo GTM na tuneloch. A nakoniec by som sa chcela poďakovať mojím rodičom, ktorí mi umožnili štúdium na vysokej škole a po celú dobu ma podporovali.

## Obsah

1	ÚVOD .....	11
2	TEORETICKÁ ČASŤ: GEOTECHNICKÝ MONITORING .....	12
2.1	DEFINÍCIA POJMOV .....	12
2.2	CIELE MONITORINGU .....	12
2.3	KONKRÉTNE CIELE MONITORINGU .....	13
2.4	PROSTRIEDKY MONITORINGU .....	13
2.5	ZHOTOVITEĽ MONITORINGU .....	14
2.6	MONITORING A RIADENIE RIZÍK .....	14
2.7	PROJEKT MONITORINGU .....	15
2.8	RADA MONITORINGU – RAMO .....	15
2.9	DOBA TRVANIA MONITORINGU .....	16
2.10	VAROVNÉ STAVY .....	16
2.10.1	ZÁKLADNÉ PRINCÍPY .....	16
2.10.2	STAV VYSOKEJ MIERY BEZPEČNOSTI .....	18
2.10.3	STAV PRÍPUSTNÝCH ZMIEN .....	18
2.10.4	STAV MEDZNEJ PRIJATEĽNOSTI .....	19
2.10.5	KRITICKÝ STAV .....	19
2.10.6	HAVARIJNÝ STAV .....	20
2.11	INŠTRUMENTÁCIA .....	21
2.11.1	MERANÉ VELIČINY .....	21
2.11.2	MERANIE DEFORMÁCIÍ VÝRUBU .....	21
2.11.3	MERANIE DEFORMÁCIÍ HORNINOVÉHO MASÍVU V OKOLÍ VÝRUBU .....	23
2.11.4	MERANIE NAPÄTIA .....	29
2.11.5	MERANIE SILY KOTIEV .....	31
2.11.6	MERANIE SEIZMICKÝCH A DYNAMICKÝCH ÚČINKOV .....	32
2.11.7	MERANIE TEPLoty .....	32
2.11.8	MERANIE VODNÉHO REŽIMU .....	33



3	PRAKTICKÁ ČASŤ PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA.....	36
3.1	ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O TUNELI VIŠŇOVÉ .....	37
3.2	MIESTNE A GEOMORFOLOGICKÉ POMERY.....	38
3.3	HISTÓRIA .....	39
3.4	STAV VÝSTAVBY K 30. 4. 2018.....	43
3.5	METÓDA RAZENIA .....	43
3.5.1	NAPÄTOSŤ HORNINOVÉHO MASÍVU - VŠEOBECNE.....	43
3.5.2	METÓDA ADECO – RS.....	44
3.6	INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ ZHODNOTENIE HORNINOVÉHO MASÍVU PRIESKUMNEJ ŠTÔLNE .....	46
3.7	GTM NA TUNELI VIŠŇOVÉ .....	48
3.7.1	CIELE GEOTECHNICKÉHO MONITOROVANIA NA TUNELI VIŠŇOVÉ .....	48
3.7.2	POZOROVANIE ČELBY .....	48
3.7.3	MERANIE DEFORMÁCIÍ.....	49
3.7.4	MONITORING PODZEMNEJ VODY .....	50
3.7.5	MONITORING MASÍVU .....	50
3.7.6	MONITORING SEKUNDÁRNEHO OSTENIA.....	52
3.7.7	FREKVENCIA MERANÍ.....	54
3.7.8	KRITÉRIA VAROVNÝCH STAVOV .....	55
4	JEDNOTLIVÉ HODNOTENÉ ÚSEKY.....	56
4.1	ÚSEK Č. 1: STR – KONVERGENČNÝ PROFIL KVG -77.....	57
4.1.1	ČIASTKOVÝ ZÁVER PRE ÚSEK Č. 1 .....	66
4.2	ÚSEK Č.2: JTR – KONVERGENČNÝ PROFIL kvG-113.....	66
4.2.1	ČIASTKOVÝ ZÁVER PRE ÚSEK Č. 2 .....	71
4.3	ÚSEK Č.3: JTR – KONVERGENČNÉ PROFILY KVG-108 A KVG-109 .....	71
4.3.1	ČIASTKOVÝ ZÁVER PRE ÚSEK Č. 3 .....	78
5	ZÁVER .....	79
6	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	80

SÚPIS OBRÁZKOV A TABULIEK..... 82

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV ..... 85

# 1 ÚVOD

Geotechnický monitoring je veľmi rozsiahla a dôležitá problematika pri realizácii tunelov, pretože podmieňuje bezpečné a zároveň ekonomické razenie tunela. U niektorých tunelárskych metód (tzv. „observačných“ – napr. Novej rakúskej tunelovacej metódy – NRTM) platí, že je ich nevyhnutnou súčasťou. Zahrňuje množstvo typov meraní do rôznych geotechnických podmienok v závislosti na technológií a okolitom prostredí výstavby. Téma tejto bakalárskej práce je zameraná na dokázanie dôležitosti geotechnického monitoringu pri tak rozsiahlom projekte v zložitých a meniacich sa geologických podmienkach ako je tunel Višňové – Dubná Skala.

Práca sa skladá z dvoch hlavných častí. Prvá, teoretická, časť sa zaoberá otázkou čo je to geotechnický monitoring a prečo ho vykonávame, aké sú položky a inštrumentácia monitoringu.

Druhá, praktická, časť je venovaná konkrétne tunelu Višňové, jeho základným parametrom, histórií, technológií výstavby a geotechnickému monitoringu, ktorý bol pre tento projekt schválený. Praktická časť na niekoľkých profiloch tunela porovnáva správanie sa horninového masívu, aké bolo predpokladané podľa vyrazenej prieskumnej štôlne s realitou zachytenou pri samotnom razení tunela.

Záver práce obsahuje zhodnotenie výsledkov zistených z tohoto porovnania a overenie dôležitosti vykonávania geotechnického monitoringu.

## **2 TEORETICKÁ ČASŤ: GEOTECHNICKÝ MONITORING**

### **2.1 DEFINÍCIA POJMOV**

Geotechnický monitoring (GTM) je súhrn činností vedúcich k zisteniu stavu horninového masívu a k sledovaniu vývoja spolupôsobenia stavebnej konštrukcie tunela s horninovým (okolitým) prostredím v priestore a v čase. Cieľom geotechnického monitoringu je porovnanie skutočnosti overené observáciou s predpokladom návrhu a predpoveď ďalšieho chovania sledovaného systému (horninový masív – stavebná konštrukcia) a pokiaľ je možné bezodkladné prijímanie opatrení, ktorými by sa chovanie sledovaného masívu udržalo v medziach požadovaných v dokumentácií. S tým súvisí aj kontrola účinnosti týchto opatrení a predpoveď vzniku nežiadúcich a neočakávaných javov, čím sa zvyšuje bezpečnosť práce a na minimum znižuje prácu a náklady navyše a predlžovanie času výstavby v zložitých geologických podmienkach.

Preto je monitoring neoddeliteľnou súčasťou výstavby každého podzemného diela.

GTM je možné uplatniť už pri geotechnickom prieskume, ktorý slúži pre získanie základných znalostí pre zostavenie geomechanického modelu a pre predstavu, akým spôsobom bude horninový masív reagovať na výstavbu. V prípade GTM pri razení prieskumnej štôlne je vhodné použiť také metódy, s ktorými sa počíta pri razení samotného tunela. Pri vyhodnocovaní je ale nutné brať na ohľad mierku, pretože prieskumná štôlna má menšie rozmery ako tunel a odozva horninového masívu môže byť iná.

Výsledky monitoringu tunela tiež umožňujú úpravu pôvodných predpokladov z geotechnického prieskumu a spresnenie vstupných parametrov do statických výpočtov tunelových ostení. [1, 3,4]

### **2.2 CIELE MONITORINGU**

Základným cieľom monitoringu je porovnanie skutočného vývoja chovania sledovaného systému horninový masív – stavebná konštrukcia s predpokladmi realizačnej dokumentácie stavby. Ďalším základným cieľom monitoringu je predpoveď ďalšieho chovania systému primárne ostenie – horninový masív a spracovanie podkladov pre prijímanie opatrení, ktorými by sa toto chovanie udržalo v medziach očakávaných v

realizačnej dokumentácii razenia.

Geotechnický monitoring by mal byť komplexný. Mal by zahŕňať monitoring ostenia a horninového masívu v jeho okolí a monitoring povrchu terénu a objektov nadzemnej zástavby v rozsahu predpokladanej poklesovej kotliny a monitoring prípadných vplyvov razenia tunela na životné prostredie najmä zmien vodného režimu.

Obvykle **komplexný** monitoring zahŕňa meranie deformácií, posuvov, napätia, horninových a hydrostatických tlakov a ďalších veličín na reprezentatívnych miestach a miestach s extrémnymi podmienkami a to na dostatočne veľkom množstve meracích miest s dostatočným opakovaním.

### 2.3 KONKRÉTNE CIELE MONITORINGU

Konkrétne ciele monitoringu treba stanoviť individuálne pre jednotlivé tunelové projekty podľa konkrétnych podmienok. Obvykle to sú:

- overenie a spresňovanie geologického, geotechnického a geomechanického modelu použitého pre dimenzovanie ostenia a návrh technológie razenia,
- posúdenie vhodnosti úpravy technológie razenia a operatívny návrh vystrojenia výrubu podľa skutočných inžinierskogeologických podmienok na stavbe v každom zábere,
- kontrola účinnosti prijatých opatrení,
- optimalizácia požiadaviek na ekonomiku a bezpečnosť razenia,
- kontrola vplyvu raziacich prác na práva tretích strán,
- právne preukázanie kvality vyhotoveného diela.

### 2.4 PROSTRIEDKY MONITORINGU

Ciele monitoringu sa dosahujú niekoľkými základnými prostriedkami:

- vizuálnymi prehliadkami celého prostredia dotknutého výstavbou,
- geologicko-geotechnickým hodnotením čelieb, nezaistených stien výrubu a horninového prostredia dotknutého razením,
- meraním skutočnej reakcie systému horninový masív – stavebná konštrukcia na razenie prostredníctvom inštrumentácie (posuny, tlaky, napätia, teplota, vodný režim, atď.),

- matematickým modelovaním spolupôsobenia horninového masívu so stavebnou konštrukciou, najmä používanie spätných analýz,
- hromadným zberom zameraných dát, ich uchovávaním, spracovaním a operatívnym priebežným on-line prenosom spracovaných dát k užívateľom, vrátane vizualizácie s využitím informačných technológií.

## **2.5 ZHOTOVITEĽ MONITORINGU**

Zhotoviteľ monitoringu je právnická osoba s oprávnením na vykonávanie geotechnických prác, ktorý v potrebnom rozsahu disponuje prístrojovou technikou a skúseným odborným personálom.

Tunel alebo prieskumná štôlna je podzemná stavba, ktorej realizácia je súčasne aj činnosťou vykonávanou banským spôsobom a je dozorovaná orgánmi štátnej banskej správy.

## **2.6 MONITORING A RIADENIE RIZÍK**

Pri výstavbe každého podzemného/tunelového diela je nevyhnutné podstúpiť väčšie či menšie riziká. Monitoring je základným predpokladom kontroly týchto rizík. Umožňuje predvídať a obmedzovať vznik nežiadúcich javov a teda aj znižovať z nich plynúce škody. Riziko sa definuje ako súhrn pravdepodobnosti vzniku nežiadúceho javu pri razení tunela a jeho dôsledkov pre účastníkov výstavby vo finančnom vyjadrení.

Nežiadúce javy pri razení tunela môžu byť predovšetkým:

- väčšie deformácie ako stanovila realizačná dokumentácia objektu,
- väčšie hodnoty tlakov a zaťaženia na ostenie ako výpočtové hodnoty,
- nestabilné, nezabezpečené steny výrubov a čelieb,
- vykomínovanie, nadvýlom,
- neprijateľný priebeh poklesovej kotliny,
- neprijateľný deformačný vývoj staticky dôležitých častí konštrukcií nadzemnej zástavby,
- neprijateľné zníženie alebo zvýšenie hladiny podzemnej vody,
- neprijateľné prítoky podzemnej vody do tunela, prievaly vôd,

- priesaky nebezpečných látok do tunela,
- neočakávané kontakty s prirodzenou či antropogénnou podzemnou dutinou,
- geologické anomálie,
- výrazne odlišné geotechnické podmienky voči projektovaným predpokladom,
- závažná udalosť, nebezpečný stav, prevádzková nehoda a závažný pracovný úraz,
- použitie doplňujúcich technológií a mimoriadnych stavebných postupov, ktoré sú neadekvátne pre schválený pracovný postup.

Pravdepodobnosť nežiaducich javov sa hodnotí od jednej do nuly. Istota vzniku nežiaduceho javu na určitú dĺžku tunela (alebo celého tunela) znamená hodnotu jedna. Istota, že nežiaduci jav počas celého obdobia výstavby nenastane, sa oceňuje hodnotou nula.

## **2.7 PROJEKT MONITORINGU**

Pre významnejšie podzemné diela býva obvyklé spracovaný „Projekt monitoringu“.

Medzi hlavné kroky pri spracovávaní projektu monitoringu patrí:

- vytváranie základnej hypotézy pretvárania systému tunelové ostenie - horninový masív – okolitá zástavba v dôsledku razenia,
- analýza geotechnický a inžinierskych rizík,
- formulácia jednotlivých cieľov monitoringu pre jednotlivé úseky a objekty stavby,
- definovanie základných otázok, na ktoré má monitoring odpovedať a kvôli ktorým sa realizuje.

Po upresnení týchto krokov nasleduje:

- návrh metód a postupov merania a inštrumentácie,
- návrh varovných stavov a ich kritérií,
- návrh opatrení prijímaných v prípade dosiahnutia jednotlivých varovných stavov,
- návrh organizácie monitoringu a jeho začlenenie do celkového systému riadenia, výstavby a do systému riadenia rizík pri razení tunelu.

## **2.8 RADA MONITORINGU – RAMO**

Pre správny priebeh monitoringu behom stavby sa obvykle zriaďuje „Rada monitoringu“ – RAMO.

Jednania RAMO sa konajú za účelom prejednania výsledkov monitoringu so všetkými kompetentnými účastníkmi výstavby, kde každý z nich vystupuje ako samostatný účastník výstavby so svojou zodpovednosťou vyplývajúcou z uzatvorených obchodných zmlúv.

Zmyslom RAMO je, aby s výsledkami meraní, s ich hodnotením a súvislosťami boli oboznámený všetci kompetentní účastníci výstavby. V prípade vzniku nebezpečia (nepredpokladaný vývoj sledovaných veličín s nutnosťou upraviť priebeh monitoringu a razenia) iniciuje kancelária monitoringu mimoriadne jednanie RAMO v najrýchlejšom možnom termíne. Cieľom je dosiahnutie zhody všetkých účastníkov jednania.

## **2.9 DOBA TRVANIA MONITORINGU**

Všetky výsledky merania získané počas priebehu výstavby sa archivujú po dobu záručných lehôt.

Na monitoring realizovaný v priebehu výstavby nadväzuje monitoring behom prevádzky. Ten sa realizuje v rozsahu, ktorý je odôvodnený typom zvolenej stavebnej konštrukcie tunela, charakterom dotknutého horninového prostredia a poznatkov získaných monitoringom, realizovaným vo fázy výstavby tunela.

Počiatočná početnosť meraní je spravidla 1x za štvrt' rok do ustálenia meraných veličín. Potom sa početnosť znižuje obvykle až na konečnú hodnotu 1 x ročne. Početnosť meraní stanovuje prevádzkovateľ tunela na základe odporúčaní projektanta stavby a záverečnej správy o monitoringu.

## **2.10 VAROVNÉ STAVY**

### **2.10.1 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY**

Varovný stav v chovaní sledovaného systému je definovaný ako taká kvalitatívna zmena v jeho chovaní, ktorá znamená zásadnú zmenu v úrovni podstupovaného rizika.

Sledovaným systémom sa rozumie interakcia horninových masív – ostenie tunela, prípadne ďalších stavebných konštrukcií (nadzemná zástavba, susedné podzemné objekty, atď.).

Dosiahnutie varovného stavu je podnetom na bezodkladné prijatie technicko – organizačných opatrení, ktoré sú spravidla predom pripravené v realizačnej dokumentácii. Tieto opatrenia sú nástrojom pre udržanie systému v prijateľných



medziach a pre odvrátenie následkov vzniku nežiadúcich javov počas výstavby.

Tieto opatrenia spočívajú v:

- úprave vykonávania vlastného monitoringu (organizačne – zvýšenie/zníženie frekvencie meraní; technicky – rozšírenie monitoringu o meračské body atď.),
- úprave realizačnej dokumentácie razenia tunela,
- úprave technológie razenia tunela.

V súvislosti s varovnými stavmi sú definované nasledujúce pojmy:

- stupeň varovného stavu,
- kritérium varovného stavu.

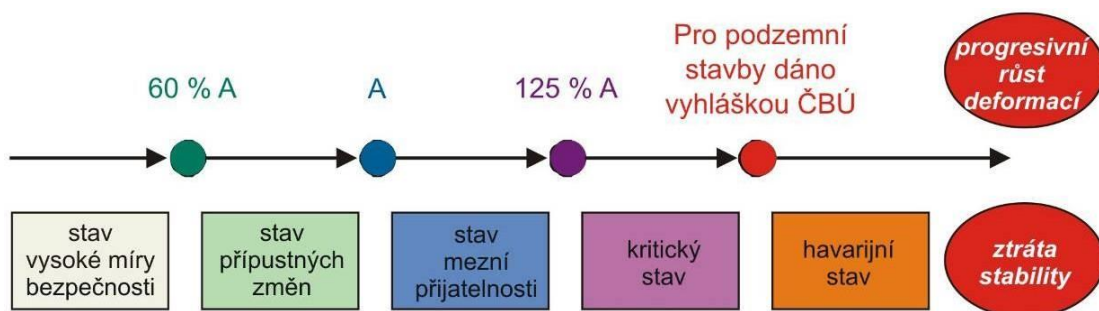
**Stupeň varovného stavu** je určitý stav v správaní horninového masívu a/alebo stavebnej konštrukcie, ktorý má vzťah k stanovenému cieľu monitoringu a je spojený s určitým opatrením. Čím vyšší je stupeň varovného stavu, tým väčšie je podstupované riziko, tzn. horninový masív či sledovaná stavebná konštrukcia má bližšie k strate stability.

Posledný stupeň varovného stavu znamená postupovať podľa havarijného plánu pod vedením vedúceho likvidácie havárie v súlade s platnou legislatívou. Počas výstavby sa jednotlivé stupne varovných stavov upravujú na základe nových poznatkov získaných práve monitoringom.

Odporúča sa stanoviť 5 úrovní stupňov varovných stavov – obr. 1:

- stav vysokej miery bezpečnosti,
- stav prípustných zmien,
- stav medznej prijateľnosti,
- kritický stav,
- havarijný stav.

**Kritéria varovného stavu** sú exaktne alebo empiricky vopred stanovené hodnoty sledovaných veličín, súvisiace s príslušným stupňom varovného stavu a mierou podstupovaného rizika. Vopred stanovenými hodnotami sledovaných veličín sa rozumejú hodnoty stanovené pre začatím razenia projektantom realizačnej dokumentácie v súčinnosti s hlavným geotechnikom zhotoviteľa monitoringu. Tieto hodnoty sú spravidla stanovené statickým výpočtom (medzná hodnota „A“). Hodnota „A“ je zodpovedajúca očakávanému správaniu sledovaného systému (napr. očakávaná hodnota konvergenencie, očakávanie sadanie, atď. )



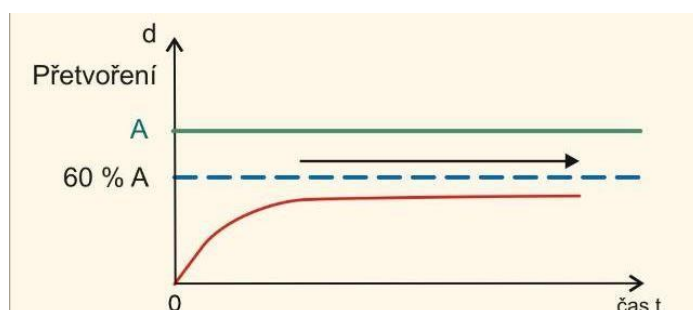
Obr. č. 1 – Stupně varovných stavů – příklad pro NRTM [13]

### 2.10.2 STAV VYSOKEJ MIERY BEZPEČNOSTI

Merané hodnoty sú ustálené a sú podstatne nižšie ako 60% hodnoty sledovanej veličiny „A“ predpokladanej výpočtom/projektom pre danú fázu výstavby – obr. 2.

Základná charakteristika prijímaných opatrení je:

Postup merania a sledovania prebieha podľa realizačnej dokumentácie monitoringu, prípadne môže dôjsť k obmedzeniu niektorých druhov meraní. Môžu sa prijať opatrenia k úspore nákladov napr. zrýchlenie razenia, ale je nutné zabezpečiť overenie dôsledkov týchto opatrení.



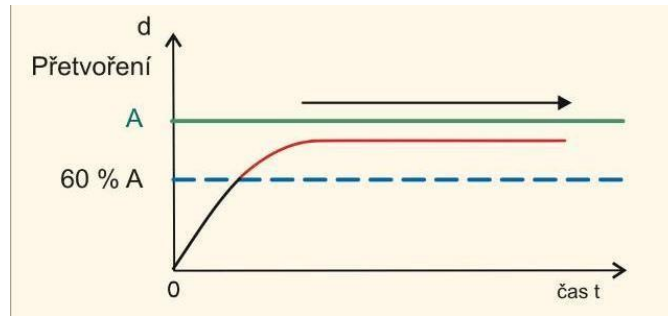
Obr. č. 2 – Stav vysoké miery bezpečnosti [13]

### 2.10.3 STAV PŘÍPUSTNÝCH ZMIEN

Hodnoty meraných veličín sa rýchlo ustália a neprekročia hodnotu „A“ sledovanej veličiny predpokladanej pre danú fázu výstavby. Kritériom pre vyhlásenie tohto stavu je dosiahnutie viac ako 60%, ale menej ako 100% projektovanej hodnoty „A“ – obr. 3.

Základná charakteristika prijímaných opatrení je:

Postup merania a sledovania prebieha podľa realizačnej dokumentácie monitoringu a výstavba postupuje podľa schválenej dokumentácie razenia.



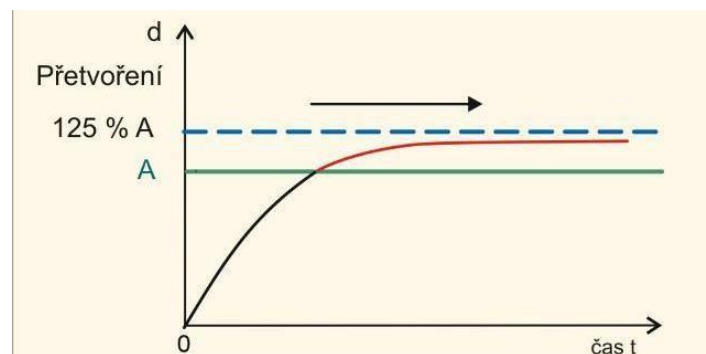
Obr. č. 3 – Stav prípustných zmien [13]

#### 2.10.4 STAV MEDZNEJ PRIJATEĽNOSTI

Je to stav mierne za hranicou hodnôt sledovaných veličín očakávaných projektom či výpočtom. Nie je však ohrozená stabilita sledovaného systému, či dosiahnutý jeho prvý medzný stav. Sledované veličiny hoci nie sú úplne ustálené, zreteľne smerujú k ustálenému stavu bez prekročenia približne 125% projektovanej hodnoty „A“ sledovanej veličiny predpokladanej pre danú fázu výstavby – obr. 4. Podstupované riziká sú už na hranici prijateľnosti.

Základná charakteristika prijímaných opatrení je:

Zvýšenie početnosti meraní, zvyšujú sa nároky na rýchlosť spracovania a odovzdávania spracovaných dát. Pri razení sa vychádza z realizačnej dokumentácie razenia ale je nevyhnutné počítat' v menšom rozsahu s prácami navyše.



Obr. č. 4 – Stav medznej prijateľnosti [13]

#### 2.10.5 KRITICKÝ STAV

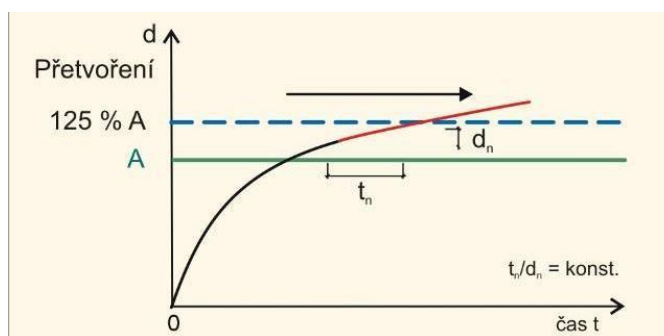
Kritický (varovný) stav zodpovedá už neprijateľnej úrovni rizík. Vývoj a správanie systému horninový masív – stavebná konštrukcia by bez prijatia mimoriadnych opatrení

v technológií výstavby, prípadne bez úpravy realizačnej dokumentácie razenia predstavoval vysoké riziko vzniku nežiadúcich javov a v krajnom prípade mimoriadnych udalostí.

Pre kritický stav je charakteristické, že hodnoty sledovaných veličín prekračujú 125% projektovanej hodnoty „A“ sledovanej veličiny pre danú fázu výstavby – obr. 5.

Základná charakteristika prijímaných opatrení:

Pri monitoringu zvýšenie početnosti meraní, prípadne zaradenie nových druhov meraní, ktoré si vyžaduje situácia, Pri razení zmeny v technológií výstavby, úpravy realizačnej dokumentácie razenia. V rámci technológie razenia sa môže pristúpiť aj k opatreniam, o ktorých sa v spracovanej realizačnej dokumentácii pre daný úsek tunela neuvažovalo alebo k opatreniam, ktoré majú charakter prác navyše.

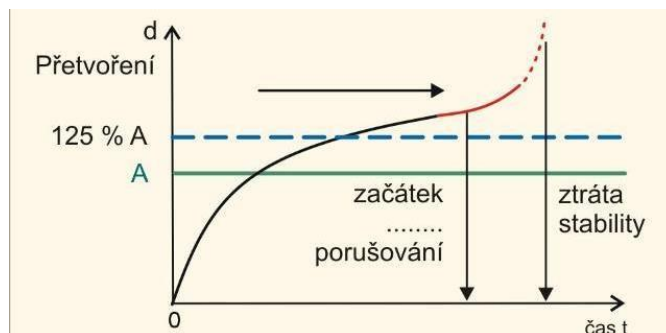


Obr. č. 5 – Kritický stav [13]

### 2.10.6 HAVARIJNÝ STAV

Je to stav, pri ktorom sledované veličiny začali progresívne rásť. Výrazne prekonalí 125% projektovanej hodnoty „A“ sledovanej veličiny v danej fáze výstavby a hodnoty druhého medzného stavu – obr. 6.

Systému horninové prostredie – stavebná konštrukcia hrozí strata celkovej stability. Stavbe hrozí mimoriadna situácia a postupuje sa preto podľa schváleného havarijného plánu zhotoviteľa a v súlade s platnými bezpečnostnými predpismi.



Obr. č. 6 – Havarijný stav [13]

## 2.11 INŠTRUMENTÁCIA

Inštrumentácia je časť monitoringu, ktorá sa zaoberá meracou prístrojovou technikou, jej inštaláciou a kalibráciou. Používajú sa všetky mysliteľné princípy merania – mechanické, elektrické, optické, termické, atď. Pri voľbe konkrétneho meracieho prístroja sa vychádza z definovaného cieľa merania, požiadaviek na presnosť merania, dlhodobosti merania, spoľahlivosti merania, odolnosti proti vonkajším vplyvom a pod.

### 2.11.1 MERANÉ VELIČINY

Obvykle sledované veličiny pri monitoringu výstavby tunela, prípadne prieskumnej štôľne sú: deformácie (posuny), nakláňanie, sily, napätie, hydrostatický tlak, prúdový a pórový tlak vody, teplota, vlhkosť, rýchlosť šírenia seizmických vln a pod.

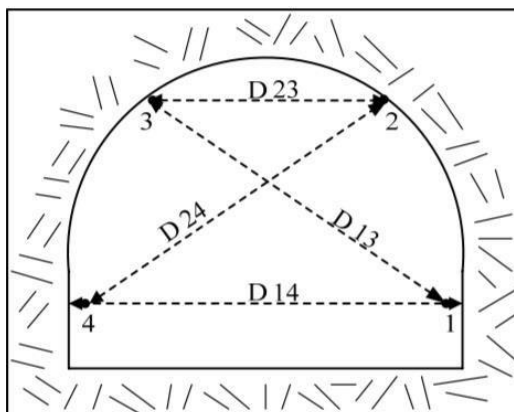
### 2.11.2 MERANIE DEFORMÁCIÍ VÝRUBU

#### 2.11.2.1 Konvergencie

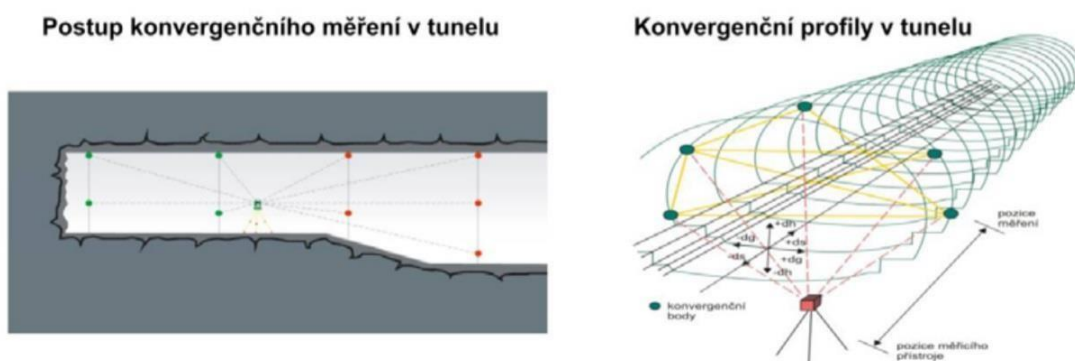
Sledovanie deformácií – najskôr líce výrubu a následne primárneho ostenia tunela. Sledujú sa vzájomné priblíženia – konvergencie, resp. oddialenie – divergenzie bodov osadených na líci výrubu alebo na ostení alebo sa sledujú absolútne vektory deformácie týchto bodov. Vlastné merania sa vykonávajú na bodoch osadených v líci výrubu pravidelne rozmiestnených v jednotlivých priečných profiloch v tuneli (prieskumnej štôľni).

Meranie sa dnes štandardne vykonáva pomocou optickej automatickej stanice – obr. 8. Pri malých profiloch (do 35 m<sup>2</sup>) sa meranie vykonáva pomocou konvergenčných meradiel

– pásiem, drátových či príložných konvergometrov – obr. 7.

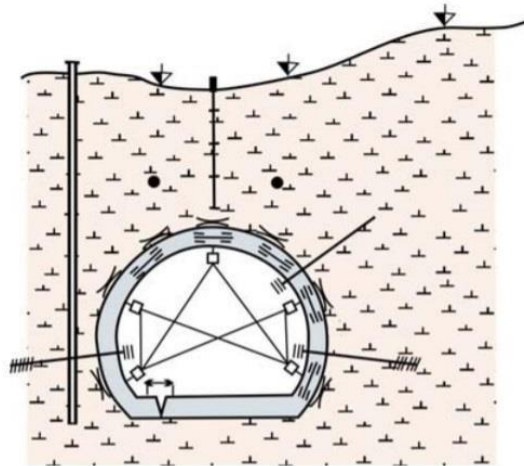


Obr. č. 7 – Meranie konvergencií tunela konvergenčným pásmom [4]



Obr. č. 8 – Usporiadanie merania deformácií ostena optickým meraním [4]

### 2.11.3 MERANIE DEFORMÁCIÍ HORNINOVÉHO MASÍVU V OKOLÍ VÝRUBU



Obr. č. 9 – Príklad tunelu s nízkym nadložíom s extenzometrami, inklinometrickým vrtom zhotoveným z povrchu tunela, tlakovými poduškami, strunovými deformetrami a konvergenčnými bodmi [4]

#### 2.11.3.1 Meranie extenzometrami

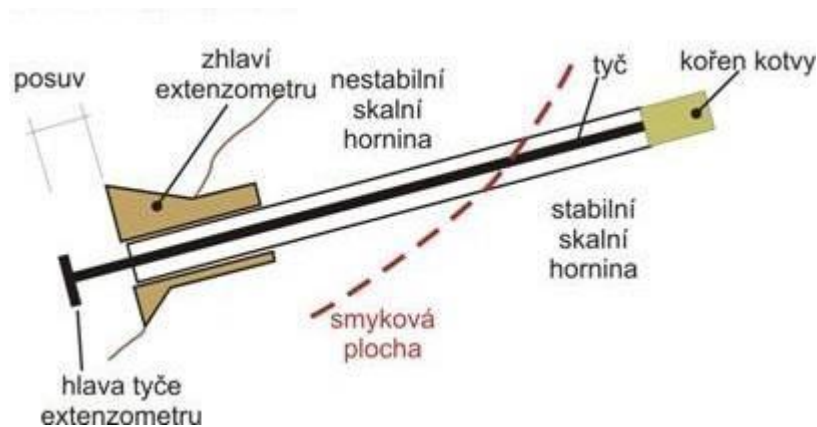
Slúži na sledovanie pohybov masívu v smere osi vrtu. Jednoduchý tyčový extenzometer je tyč, zakotvená na dne vrtu do horninového masívu. Od koreňa kotvy je tyč vedená v ochrannej rúrke k referenčnému záhlaviu vrtu. To sa spravidla nachádza na povrchu terénu alebo výrubu. Posuny vzhľadom ku koreňu tyče sa merajú na záhlaví vrtu – obr.

10. Používajú sa aj viactyčové extenzometre pre indikácie v rôznych hĺbkach vrtu.

Pri tuneloch s nízkym nadložíom sa vrtanie extenzometrov realizuje z povrchu v dostatočnom predstihu pred začatím razenia, minimálne 3 týždne pred začiatkom merania vzhľadom na zabezpečenie cementačného pokoja.

Pri hlbokých tuneloch (nad 50 m nadložia) sa odvrtanie vykonáva z výrubu tunela. Slúžia na určenie zóny rozvoľnenia v okolí výrubu. Tieto merania nezachytia tzv. stratenú konvergenciu.

Zvláštnym prípadom extenzometrického merania je vodorovný extenzometer k meraniu vybúlenia čelby (extruze – vodorovné deformácie čelby smerom do výrubu). Používa sa v prípade, kde je pre minimalizáciu veľkosti konverencie a priebehu poklesovej kotliny volená technológia razenia stužovaním horniny pred čelbou systémom vodorovných kotiev z čelby.



Obr. č. 10 – Schéma tyčového extenzometru [2]

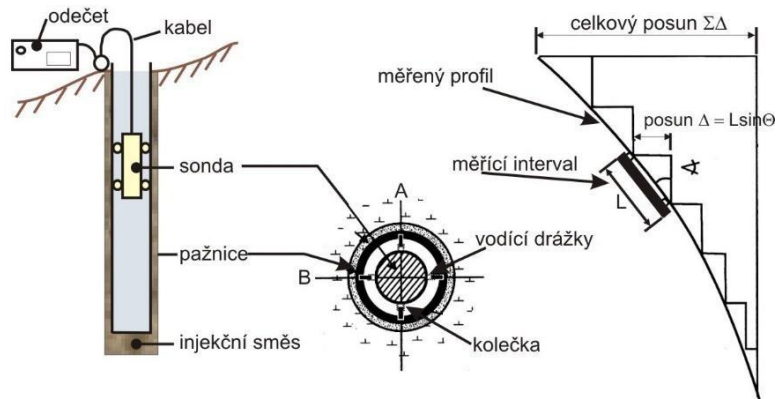
### 2.11.3.2 Meranie inklinometrami

Inklinometre slúžia na sledovanie horizontálnych pohybov masívu v smere/rovine kolmom na os vrtu. Inklinometre sa osádzajú do monitorovacích vrtov. Po vystrojení inklinopažnicami sa medzikružie zacementuje ílovocementovou zálievkou – obr. 11. Odvrtanie sa musí vykonať v dostatočnom predstihu pred začatím razenia, vzhľadom na zabezpečenie cementačného pokoja minimálne 3 týždne pred začiatkom merania.

Dno inklinometrického vrtu musí byť umiestnené do takej polohy horninového masívu, ktorá je mimo dosah zmien poľa napätia a deformácie spôsobených razením tunela. Pokiaľ to nie je možné musí sa trigonometricky zamerať záhľadie vrtu.

Merania inklinometrami sa používajú pri sledovaní svahových pohybov zapríčinených vlastnou geologickou stavbou územia ako aj stavebnou činnosťou. Ďalej sa toto meranie používa na sledovanie horizontálnych pohybov masívu v oblasti pred čelbou tunela v blízkosti stien výrubov, na sledovanie stability horninového piliera medzi tunelovými rúrami, na sledovanie ovplyvnenia základov budov vo veľkých hĺbkach v bezprostrednej blízkosti tunela a svahov príportálových oblastí.



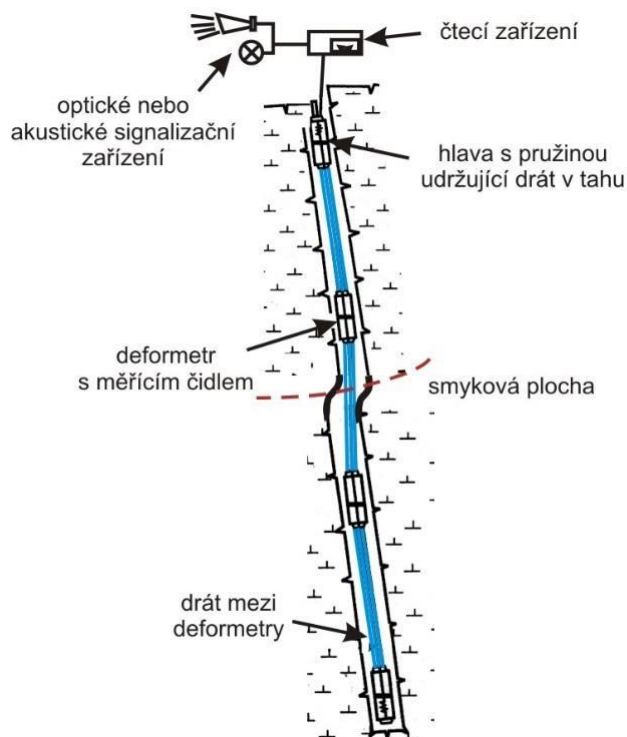


Obr. č. 11 – Princíp merania inklinometrickou sondou [2]

### 2.11.3.3 Meranie klzavými deformetrami

Klzávový deformeter spája extenzometrické a inklinometrické meranie do jedného systému. V jednom vrte osadenom špeciálnymi pažnicami možno merať veľmi presne horizontálne aj vertikálne deformácie naraz – obr. 12.

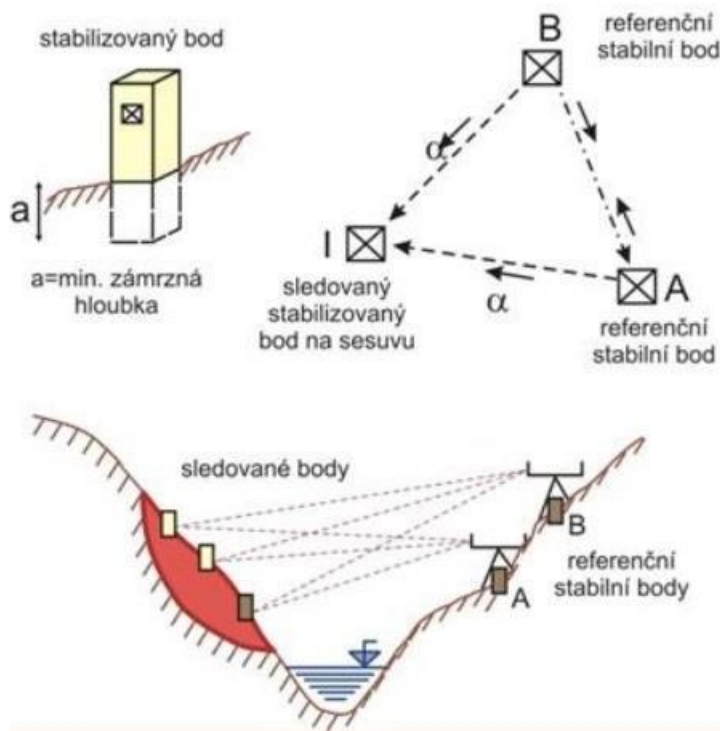
Klzávový deformeter je vhodný na meranie veľmi malých deformácií v podmienkach, kde majú veľký význam pre stabilitu sledovaných objektov (vysoké objekty v poklesovej kotline).



Obr. č. 12 – Schéma drátového deformetru pre meranie posuvov vo vrte [2]

#### 2.11.3.4 Trigonometrické meranie

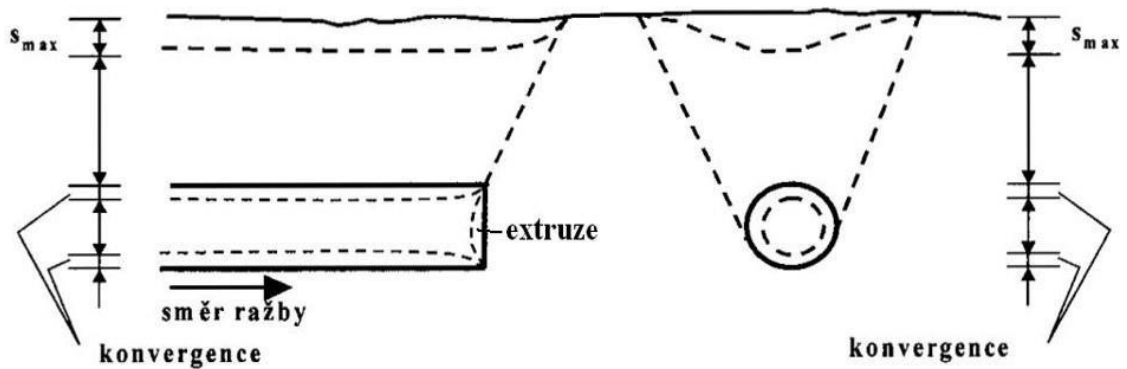
Používa sa pre sledovanie portálových svahov a svahov prilahlých k jame pre portál tunela resp. prieskumnej štólne. Body pre trigonometriu sú osadené priamo do zemin (horniny) alebo na konštrukciu zabezpečujúcu líce portálovej jamy – obr. 13. Meranie sa vykonáva pomocou optickej automatickej stanice.



Obr. č. 13 - Určovanie polohových zmien stabilizovaných bodov trigonometrickým meraním [2]

#### 2.11.3.5 Nivelácia na povrchu terénu

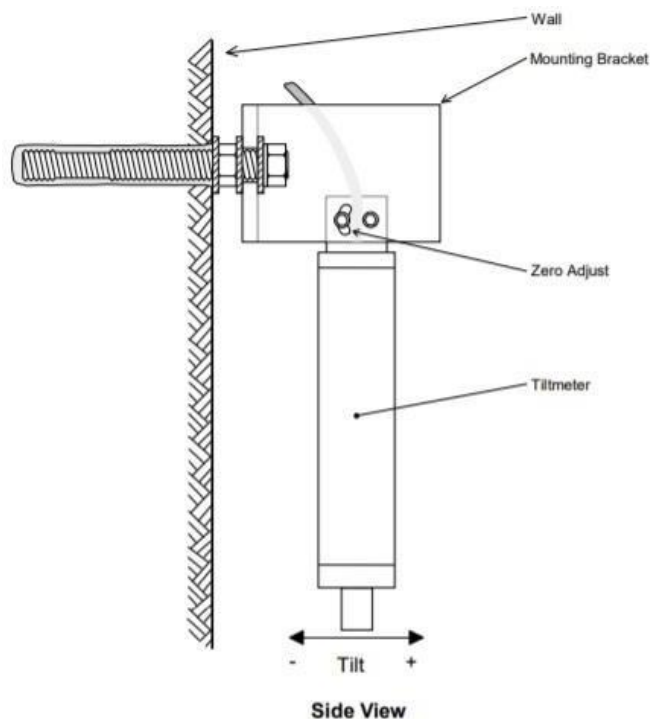
Poklesy povrchu terénu a objektov nad tunelom sa spravidla merajú geodeticky, prostredníctvom presnej nivelácie v priečných a pozdĺžnych profiloch. Priečne profily sú súčasťou tzv. združených profilov. Ďalej je presná nivelácia vykonávaná na všetkých objektoch nadzemnej zástavby v zóne ovplyvnenej ražbou tunela. Umiestnenie a spôsob stabilizácie meračských bodov musí byť stanovené v realizačnej dokumentácii monitoringu. Pripojovacie body nivelačného merania musia byť osadené bezpečne mimo predpokladanú poklesovú kotlinu.



Obr. č. 14 – Znáročenie poklesovej kotliny [18]

### 2.11.3.6 Meranie náklonov

Náklony sa merajú stabilnými alebo prenosnými náklonomermi s elektrickými snímačmi zavesenými na lankách. Pre zistenie náklonov je možné použiť aj trigonometrické meranie. Meranie náklonov sa vykonáva prostredníctvom stabilných základní umiestnených na fasádach všetkých nadzemných objektov dotknutých razením tunela – obr. 15.

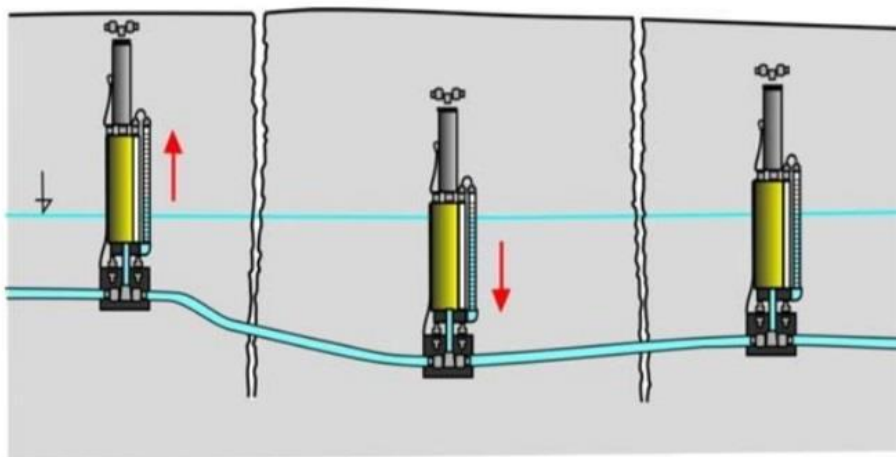


Obr. č. 15 – Schéma osadenia náklonomeru [zdroj: Geokon]

### 2.11.3.7 Hydrostatická nivelácia

Používa sa k sledovaniu zvislých deformácií v podzemných priestoroch nadzemnej zástavby nachádzajúcich sa v dosahu poklesovej kotliny tam, kde sú tieto priestory obtiažne prístupné pre geodetické sledovanie a kde je žiadúci automatický a kontinuálny zber dát.

Meracie body sú osadené nádobami s plavákmi v nádobách s voľnou hladinou vody, prepojených vzájomne medzi sebou hadicami – obr. 16. Hladina vody vymedzuje porovnávaciu rovinu, vzhľadom na ktorú sa meria zvislý pohyb nádob. Jedna z nádob je referenčná a je zameriavaná geodeticky alebo je v mieste mimo posunov.

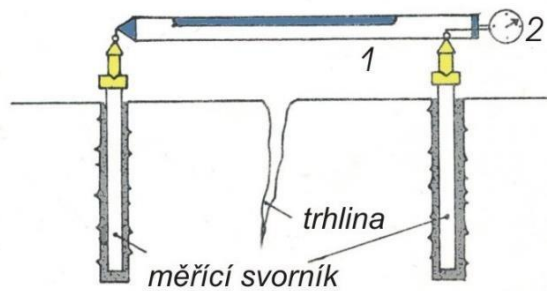


Obr. č. 16 – Hydrostatická nivelácia pre meranie na zosuvoch, v podzemných priestoroch, pivniciach a pod. [4]

### 2.11.3.8 Meranie trhlín na objektoch

Sledovanie posunu na trhlínach slúži na zistenie zmien vzdialenosti dvoch pevných bodov fixovaných na sledovanej konštrukcii – obr. 17. Rovnakým spôsobom sa merajú trhliny na povrchu tunelového ostenia. Meranie sa vykonáva meradlami rôzneho typu (sadrové pásy, páskové meradlá, príložné hrotové deformetre, automatické dilatometry). Súčasne s meraním posunu na trhlínach sa meria aj povrchová teplota na elimináciu vplyvu teplotnej rozťažnosti.

Už pred začatím výstavby sú monitorované významné trhliny na postihnutých objektoch, najmä v nosných konštrukciách, počas výstavby navyše aj novo vzniknuté významné trhliny.



1 - posuvné měřidlo, 2 - indikátorové hodinky

Obr. č. 17 – Schéma trhlinomeru [15]

## 2.11.4 MERANIE NAPÄTIA

Meranie napätosti sa vykonáva tlakovými poduškami.

Tlakové podušky mávajú tvar dutého kotúča, štvorca, obdĺžnika, ktorý sa vkladá do horniny tak, aby podstava kotúča smerovala kolmo na smer predpokladaného napätia. Poduška je zvyčajne vyplnená olejom. V dôsledku tlaku pôsobiaceho na podstavy sa poduška spolu so svojim horninovým okolím stláča a v médiu, ktoré ju vyplňa vzniká tlak. Ten sa meria rozličnými typmi snímačov.

Ako meracie snímače sa najčastejšie používajú odporové tenzometre lepené zvnútra na vnútorné plochy podstavy podušky, kmitajúce struny alebo hydraulické snímače.

Dôležitým parametrom každého snímača je ich tuhosť. Tá sa musí zvoliť tak, aby približne zodpovedala tuhosti prostredia, v ktorom sa bude meranie vykonávať.

### 2.11.4.1 Meranie tlaku horniny na ostenie tunela

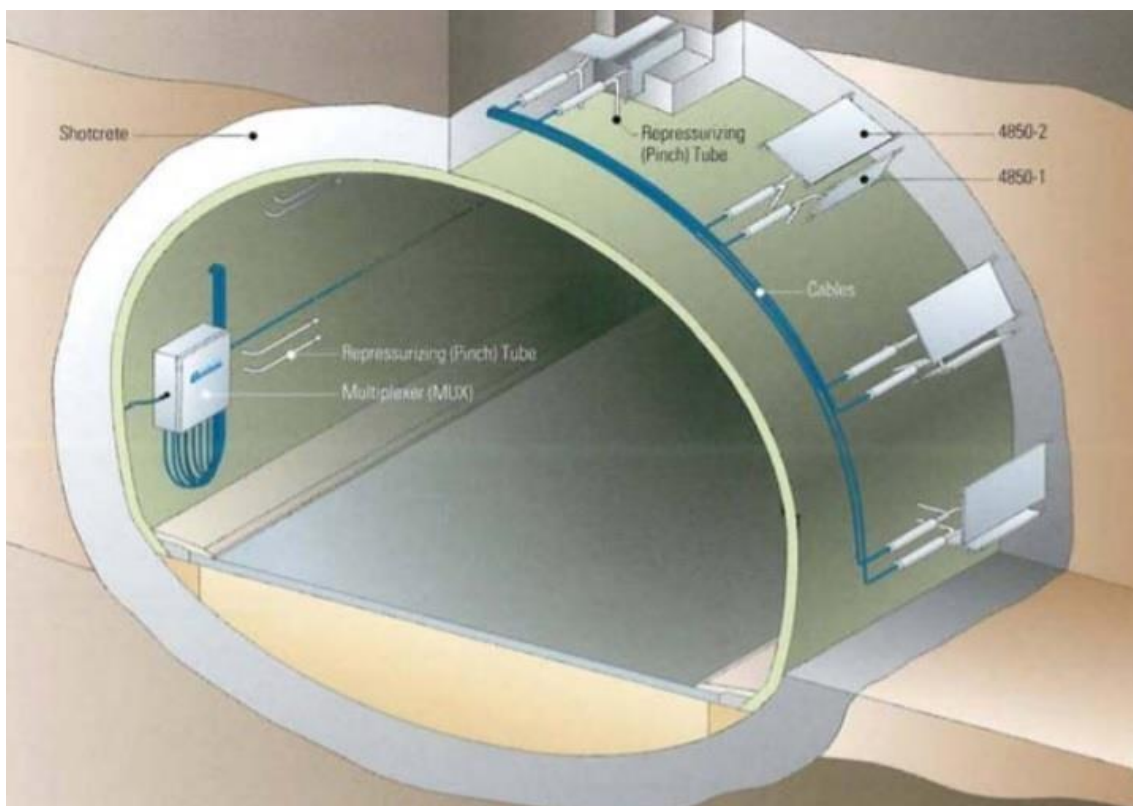
Meranie slúži na zistenie skutočného zaťaženia ostenia tunela horninovým tlakom a vykonáva sa tlakovými poduškami. Meradlá sa umiestňujú na povrch výrubu. Meracie body sa umiestňujú do priečných profilov, ktoré majú rovnaké usporiadanie v profile ako konvergenčné body.

### 2.11.4.2 Priame meranie stavu napätia v primárnom ostení

Ide o priame meranie stavu napätia na vonkajšom a vnútornom líci primárneho ostenia tunela tlakovými poduškami.

Osadenie tlakovej podušky sa musí vykonávať spôsobom, ktorý zabezpečí jej dokonalé

spojenie s betónom ostenia, inak sú výsledky meraní problematické.



Obr. č. 18 – Meranie napätia tlakovými poduškami [4]

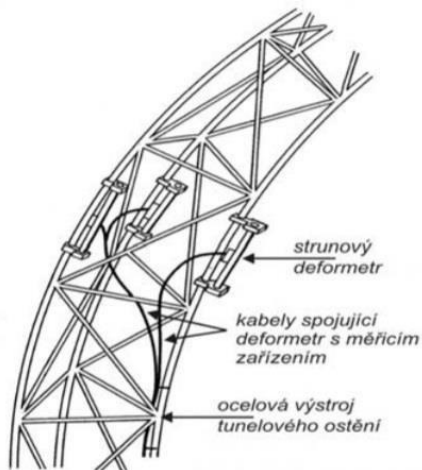


Obr. č. 19 - Tlakové podušky umiestnené na stykoch oceľových skruží [9]

#### 2.11.4.3 Nepriame meranie napätosti ostenia strunovými tenzometrami

Pri tomto spôsobe sa meria deformácia v betóne ostenia. Napätie sa potom počíta na

základe znalosti modulu pružnosti betónu ostenia. Strunové tenzometre sa osadzujú na výstuž pri vonkajšom a vnútornom líci ostenia – obr. 20.

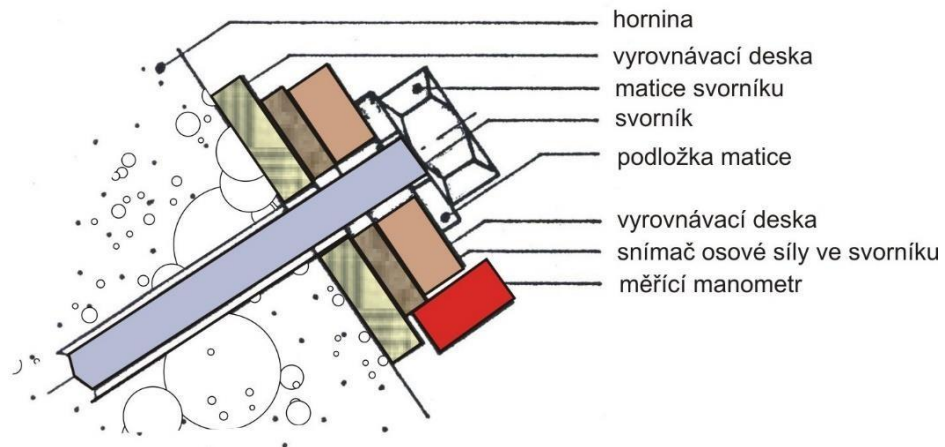


Obr. č. 20 – Osadenie strunový deformetra na ocelovej výstuži tunelového ostenia [2]

## 2.11.5 MERANIE SILY KOTIEV

### 2.11.5.1 Dynamometre na meranie síl v kotvách

Meranie dáva predstavu o skutočnom zaťažení kotvy, vývoji kotevnej sily a o stabilite celého systému. V podzemných častiach ide hlavne o zabezpečenie stability výrubu, pričom sa najbežnejšie používajú tyčové kotvy (svorníky). Pre meranie deformácií a síl sa používajú meracie tyčové kotvy (svorníky – majú obdobnú únosnosť ako aplikované kotvy, teda nahrádzajú systémovú kotvu), ktoré majú vo svojom vnútri integrovaný 4-násobný extenzometer. V nadzemných častiach ide o kotvy (tyčové, lanové) aplikované na portáloch alebo stavebných jamách, pričom okrem vyššie uvedených meracích tyčových kotiev sa pre meranie síl v kotvách môžu inštalovať aj prstencové dynamometre s priamym meraním medzi hlavou kotvy a konštrukciou – obr. 21.



Obr. č. 21 – Schéma dynamometru [15]

### 2.11.5.2 Strunové deformetre

Slúžia na zistenie sily pôsobiacej v systémoch, ktoré sú priamo súčasťou alebo dodatočne zosilňujú nosné konštrukcie napr. rozpery na pažiacich konštrukciách, rozpery a stojky tunela, tiahla alebo rámy vystužujúce objekty nadzemnej zástavby nad tunelom.

### 2.11.6 MERANIE SEIZMICKÝCH A DYNAMICKÝCH ÚČINKOV

Pri požití trhacích prác pri razení tunela je povinnosťou zhotoviteľa monitorovať seizmické a dynamické účinky na okolité stavebné konštrukcie a nadzemnú zástavbu.

Vibrácie/chvenie/kmity môžu vzniknúť aj pri strojnom rozpojovaní, napr. pri použití impaktora alebo frézy.

Výsledky meraní umožňujú korigovať veľkosť náloží, či upraviť postup odstrelu pri trhacích prácach s ohľadom na prostredie v okolí tunela a s ohľadom na zachovanie vlastností horninového masívu v miestach razenia.

### 2.11.7 MERANIE TEPLoty

Ide o meranie teploty v sekundárnom ostení z liateho betónu a to na vonkajšom a vnútornom líci ostenia a sledovať tak dlhodobý vývoj hydratačného tepla behom tuhnutia betónu v ostení. Vo zvláštnych prípadoch sa meria aj teplota vzduchu a podzemné/povrchové vody.



## 2.11.8 MERANIE VODNÉHO REŽIMU

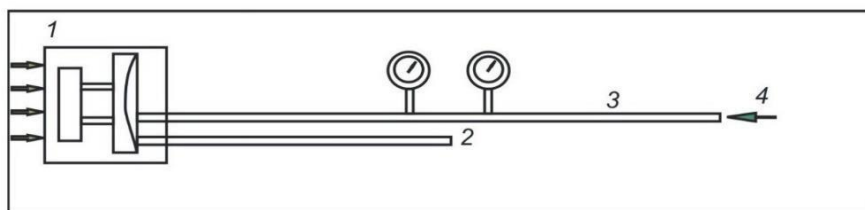
### 2.11.8.1 Zmeny polohy hladiny podzemnej vody

Zisťujú sa ručnými hladinomerami alebo hladinomerami s automatickým záznamom.

Pred začatím výstavby je nutné spraviť hydrogeologický prieskum pre zistenie prirodzeného režimu podzemných vôd. Pre zisťovanie zmien polohy hladiny podzemnej vody je nutné vybudovať pred začatím razenia dostatočnú sieť hydrogeologických vrtov. Samotné merania sa vykonávajú počas celého obdobia výstavby a je potrebné ho vykonávať aj po ukončení výstavby, a to minimálne 1 rok.

### 2.11.8.2 Meranie pórových tlakov

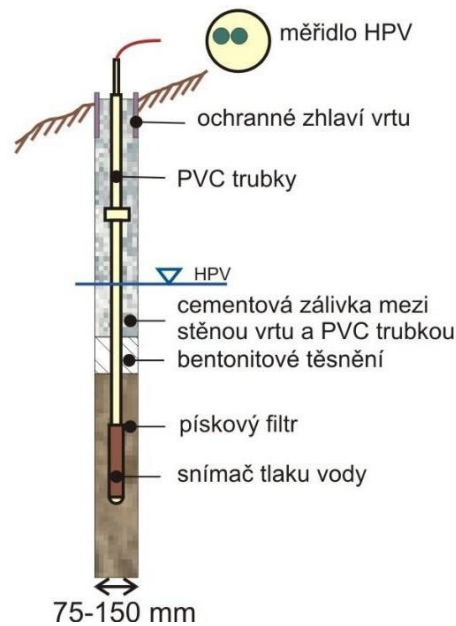
V špeciálnych prípadoch sa merajú pórové tlaky vody v jemnozrnných horninách v rozsahu reakcie horninového masívu na razenie. Správna činnosť piezometru – obr. 22, osadeného do vrtu závisí na dobrom prepojení meradla pórového tlaku s okolitou horninou, či zeminou. To je zabezpečené prostredníctvom pieskového zásypu bezprostredného okolia pórezného prvku meradla pórového tlaku. Ďalšou podmienkou je spoľahlivé utesnenie vrtu nad meradlom.



1 - hrot piezometru, 2 - zpětné potrubí, 3 - tlakové potrubí, 4 - regulátor množství vzduchu

Obr. č. 22 – Schéma uzatvoreného piezometru [15]

Otvorené piezometre sú vrty, ktoré sa používajú na sledovanie hladiny podzemnej vody v priepustných a stredne priepustných zeminách – obr. 23.



Obr. č. 23 – Otvorený jednotrubicový piezometer [2]

### 2.11.8.3 Meranie hydrostatického tlaku na sekundárne ostenie

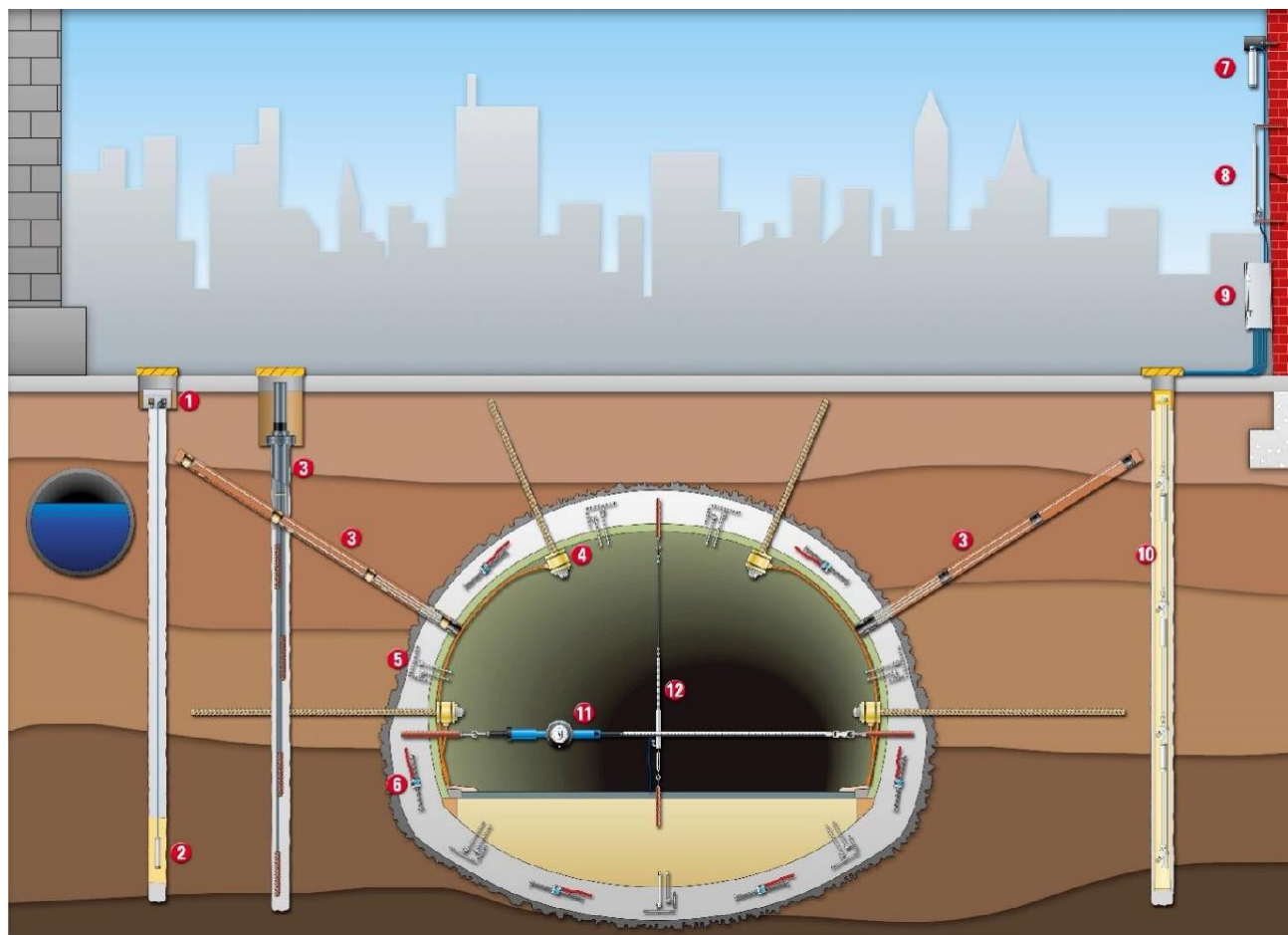
Vykonáva sa tlakovými poduškami alebo pórovými meradlami, ktoré sa najčastejšie umiestňujú do počvy a bokov tunela. Vlastné meradlo sa môže osadiť medzi izoláciu a primárne ostenie alebo do otvorov v primárnom ostení tak, aby bolo osadené až k lícu horniny.

### 2.11.8.4 Meranie prítokov vody do tunela

Vykonáva sa pomocou odmerných nádob priamo na zdroji prítokov, na čelbe alebo na ostení alebo sa prítoky organizovane sústredia a meranie prebieha na odtoku z prepadu, v tomto prípade je nutné zabezpečiť aby sa merali len prítok podzemnej vody a nie aj technologická voda.

### 2.11.8.5 Meranie chemizmu vody

Chemické rozboru podzemnej vody sú vykonávané za účelom overenia agresivity na stavebné konštrukcie. Súčasťou rozboru vody je aj stanovenie jej pH.



Obr. č. 24 – Tunelová inštrumentácia: 1 – jednotlivé odčítavacie zariadenie, 2 – piezometer, 3 - tyčový extenzometer, 4 – zaťažovacia bunka, 5 – tlaková bunka, 6 - tenzometer , 7 - náklonomer, 8 – trhlinomer, 9 - viacnásobné odčítavacie zariadenie, 10 - inklinometer, 11 – pásový extenzometer, 12 - konvergenčné meradlo [zdroj: Geokon]

### 3 PRAKTICKÁ ČASŤ PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA

Praktická časť bakalárskej práce je venovaná konkrétne tunelu Višňové. Ten sa nachádza na severe Slovenskej republiky a je momentálne najvýznamnejšou budovanou dopravnou stavbou na Slovensku. Tento oddiel práce sa zaoberá základnými parametrami tunela Višňové, históriou geotechnického prieskumu, plánovania trasy a jeho výstavbou, a to samotnou technológiou výstavby a geotechnickým monitoringom, ktorý bol pre tento objekt schválený. Nakoniec sa na niekoľkých profiloch tunela porovnáva správanie sa horninového masívu, aké bolo predpokladané podľa vyrazenej prieskumnej štôlne s realitou zachytenou pri samotnom razení tunela.



Obr. č. 25 – Obhliadka otvoreného výrubu

Čelba je budovaná tmavosivými biotitickými granodioritmi, horninový masív je porušený vo viacerých smeroch.



Obr. č. 26 – Obhliadka otvoreného výrubu

### 3.1 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O TUNELI VIŠŇOVÉ

dĺžka tunela:	7 503,1 m (severná tunelová rúra) 7 537,1 m (južná tunelová rúra)
dĺžková kategória tunela podľa STN 73 7507:	dlhý tunel
šírková kategória podľa STN 73 7507:	2T 7,5/100
šírka vozovky medzi obrubníkmi:	7,5 m
výška prejazdneho prierezu:	4.80 m
pozdĺžny sklon:	2,29% (vo väčšine dĺžky tunela)
spôsob prevádzky:	jednosmerná
vetranie:	pozdĺžne s bodovým odsávaním
návrhová rýchlosť:	100 km/h
najvyššia dovolená rýchlosť:	100 km/h

Tunel Višňové je súčasťou diaľničného úseku D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala s celkovou dĺžkou 13,5 km, vedeného juhovýchodne od krajského mesta Žilina – obr. 27. Tunel dĺžky približne 7,5 km je budovaný v plnom profile s dvomi tunelovými rúrami.

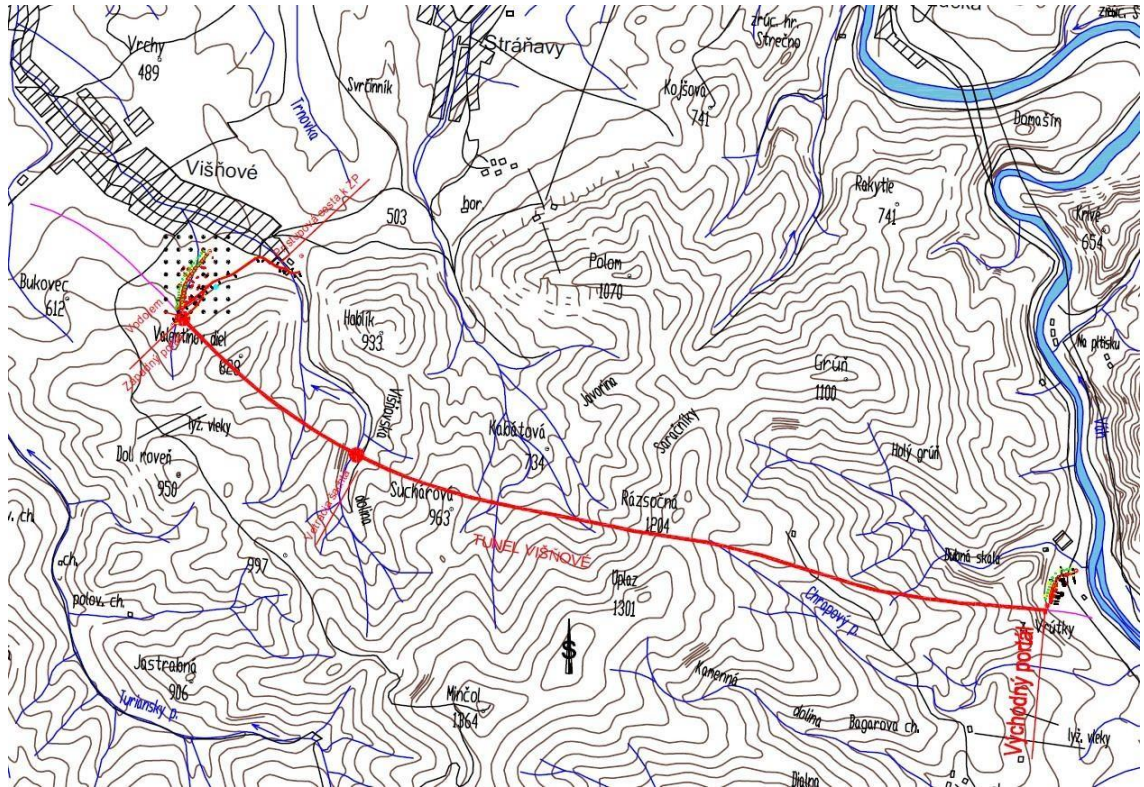
Investorom stavby je Národná diaľničná spoločnosť, zhotoviteľom stavby je taliansko-slovenské združenie Salini Impregilo – Dúha.



Obr. č. 27 – Vedenie diaľničného úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala [6]

### 3.2 MIESTNE A GEOMORFOLOGICKÉ POMERY

Tunel Višňové sa nachádza na území pohoria Malá Fatra. Malá Fatra je 55 km dlhé horské pásmo v severozápadnej časti Slovenska. Hlavný hrebeň smeruje od juhozápadu na severovýchod. Stred horského pásma je rozdelený korytom rieky Váh. Na tomto mieste vytvorila rieka 12 km dlhé úzke údolie známe pod menom Strečnianska tiesňava, ktorým sa tiahne komplikovaný dopravný úsek pod hradom Strečno. Nadmorská výška horského pásma na projektovanej trase tunela sa pohybuje v rozmedzí od 800 do 1 300 m.



Obr. č. 28 – Geomorfologické pomery [16]

### 3.3 HISTÓRIA

Prvou etapou inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu bol orientačný prieskum, ktorý bol realizovaný v období júl 1997 až február 1998 formou vrtných a geofyzikálnych prác v koridore pôvodnej severnej varianty tunela Višňové. Pri priebežnom spracovaní bola odporúčaná zmena trasy tunela s posunutím na juh.

Od mája 1998 bol realizovaný podrobný inžinierskogeologický prieskum formou prieskumnej štôlne so začiatkom vlastných raziacich prác v novembri 1998 na východnom a západnom portáli. Prieskumná štôľňa bola prerazená 24. 8. 2002 v absolútnom staničení 4 118,6 m.

Štôľňa sa razila dvomi rozdielnymi metódami. Od západného portálu konvenčnou metódou vrtno-trhacími prácami a vystrojovaním podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy v dĺžke 3,12 km a od východného portálu v dĺžke 4,36 km v kruhovom profile metódou strojného razenia s použitím plnoprofilového raziaceho vrtného stroja s priemerom vrtnéj hlavy 3,5 m.

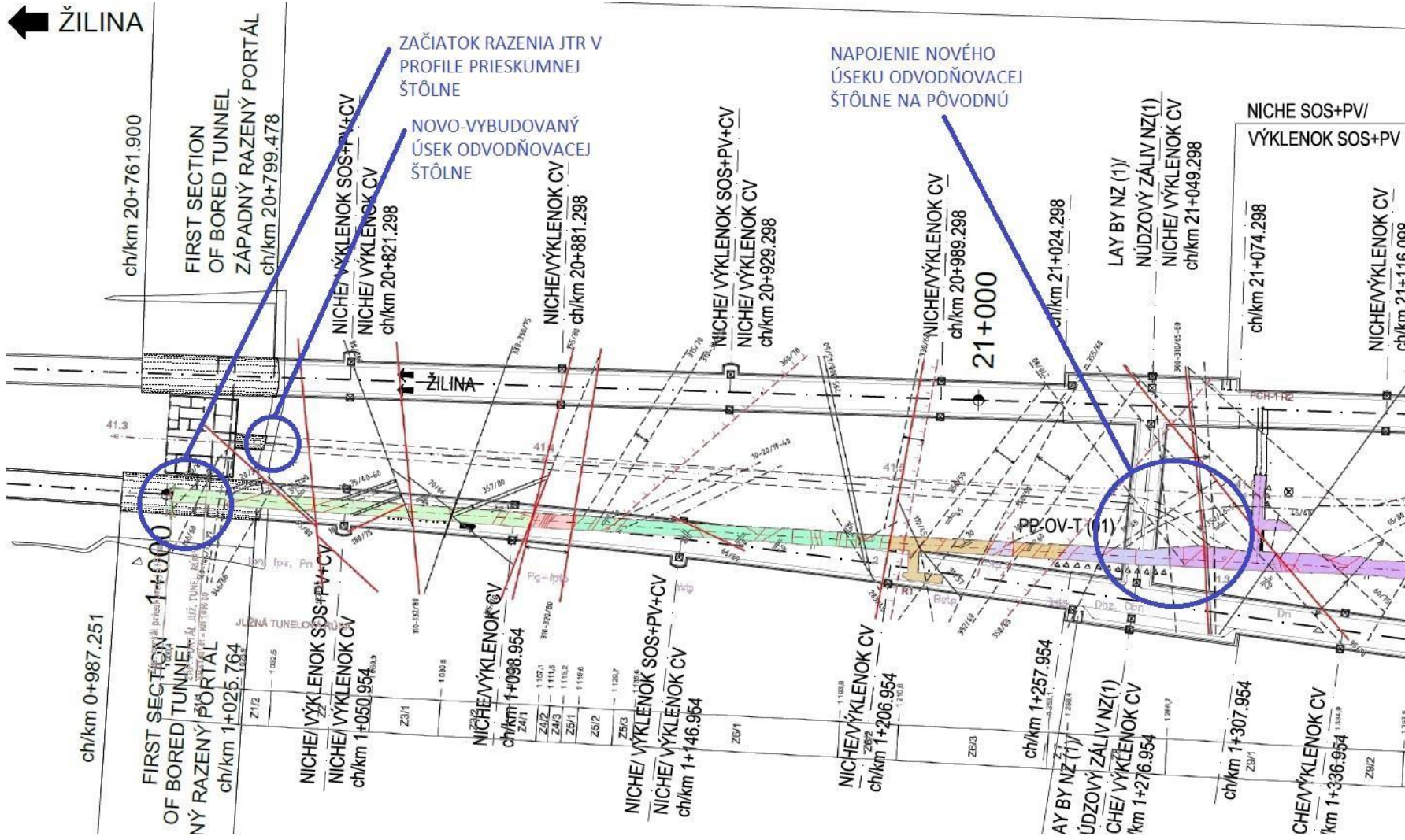
Výsledkom boli čiastkové správy, súčasťou ktorých bola komplexná dokumentácia

vyrazených úsekov v celkovej dĺžke 7 480,23 m. V marci 2005 bola vypracovaná záverečná správa, ktorá spracovala všetky realizované geologické práce a práce geotechnického a hydrogeologického monitoringu za obdobie 2002-2004.

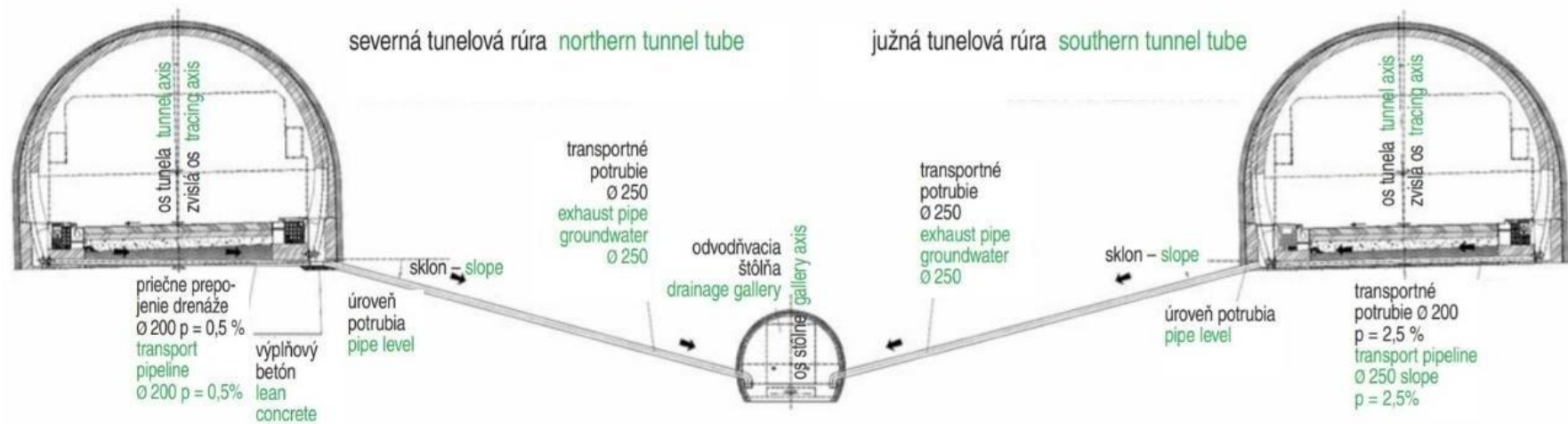
Pôvodne mal mať tunel jednu tunelovú rúru s obojsmernou premávkou a prieskumná štôlna mala slúžiť ako úniková, ale po prehodnotení dopravných prognóz bolo riešenie zmenené na tunel s dvomi rúrami s jednosmernou premávkou.

V dokumentácii na stavebné povolenie z roku 2008 sa predpokladalo, že južná tunelová rúra bude razená v profile existujúcej prieskumnej štôlny, no táto varianta sa zmenila po vybudovaní západného portálu, kedy bola preštudovaná a potvrdená možnosť zachovania štôlny a jej využitia na účely odvodnenia horninového masívu, s čím sa neskôr stotožnila aj Národná diaľničná spoločnosť. Vzhľadom na túto skutočnosť bolo nutné upraviť smerové aj výškové vedenie oboch tunelových rúr v úseku medzi portálmi tunela, tak aby v prevažnej časti dĺžky tunela bola štôlna situovaná približne v strede medzi rúrami a zároveň výškovo pod úrovňou tunelových rúr – obr. 30. V oboch priportálových úsekoch bolo potrebné vybudovať nové krátke úseky štôlny, nakoľko táto je čiastočne zlikvidovala razením južnej tunelovej rúry – obr. 29.





Obr. č. 29 - Situácia tunelových rúr a novej časti odvodňovacej štôlne [výrez: 17]



Obr. č. 30 - Upravená poloha štôlny vzhľadom voči tunelovým rúram s riešením odvádzania horninových vôd [6]

Pre tunel Višňové nebola v súťažných podkladoch definovaná technológia raziacich prác. Okrem konvenčného razenia s vrtno-trhacím rozpojovaním bola v súťažných podkladoch definovaná aj možnosť razenia kontinuálnou metódou za použitia tunelovacieho stroja TBM. Túto možnosť nevyužil ani jeden z uchádzačov súťaže.

Na rozdiel od obvyklej Novej rakúskej tunelovacej metódy, ktorá bola predpokladaná v dokumentácií pre stavebné povolenie, zhotoviteľ stavby navrhol použitie konvenčnej metódy výstavby podľa princípov ADECO-RS.

Samotné raziace práce začali v apríli 2015 razením severnej tunelovej rúry od západného portálu. Prvé úseky tunelovej rúry boli ešte razené Novou rakúskou tunelovaciou metódou. Od augusta 2015 začali práce metódou ADECO-RS. V priebehu ďalších mesiacov sa postupne rozbehli raziace práce na všetkých štyroch čelbách od oboch portálov ako aj na dvoch čelbách odvodňovacej štôlne.

### **3.4 STAV VÝSTAVBY K 30. 4. 2018**

Na konci apríla 2018 je spolu vyrazených 13 374,02 m pričom 5 701,15 m je vyrazených zo západného portálu (2 914,09 m v severnej a 2 787,06 v južnej) a 7 672,87,53 od východného portálu (3 846,44 v severnej a 3 826,43 v južnej). To znamená, že ostáva ešte vyraziť 1 512,97 m tunelových rúr (661,59 v severnej a 851,38 v južnej tunelovej rúre).

### **3.5 METÓDA RAZENIA**

#### **3.5.1 NAPÄTOSŤ HORNINOVÉHO MASÍVU - VŠEOBECNE**

Pri razení tunela dochádza k porušeniu primárneho rovnovážneho stavu napätosti. Sily, ktoré prenášala hornina odstránená z priestoru výrubu, sa musia rozložiť do jeho okolia, pričom sa výrub deformuje. Môžu pritom nastať dva charakteristické prípady :

- Vertikálne napätie sa koncentruje pri stenách po oboch stranách výrubu a postupne s narastajúcou vzdialenosťou sa rýchlo znižuje až na pôvodnú hodnotu. Nad a pod výrubom je naopak málo rozsiahla zóna zníženej napätosti, pričom nad výrubom môžu v hornine vzniknúť aj ťahové napätia. Takéto preskupenie v horninovom prostredí je charakteristické len pre veľmi pevné a celistvé horniny – tento prípad nie je v našich geologických podmienkach

častý.

- Častejší je prípad, že horninové prostredie je prestúpené rôznymi systémami plôch nespojitosti, ktoré výrazne znižujú jeho pevnosť. Taká hornina sa nechová ako pružná látka, zvýšené namáhanie v okolí výrubu nedokáže preniesť a postupne sa rozvolňuje. Pokiaľ sa výrub včas nezaistí, vypadávajú zo stropu a stien postupne bloky horniny ohraničené systémom diskontinuit.

Rozloženie napätia v okolí výrubu:

- Bezprostredne v okolí výrubu sa vytvára zóna znížených napätí, ktorú je potreba podprieť výstrojou aby sa zabránilo ďalšiemu rozvolňovaniu príp. zavaleniu.
- Zóna zvýšených napätí – horninová klenba, v ktorej sa v horninovom prostredí rozloží napätie, ktoré predtým prenášala hornina odstránená výrubom, to sa presúva hlbšie do masívu a má menej výrazné maximum. Hrúbka horninovej klenby závisí na rozmeroch a tvare výrubu a od pevnostných a deformačných charakteristikách horniny (býva od niekoľkých metrov až po desiatky metrov).

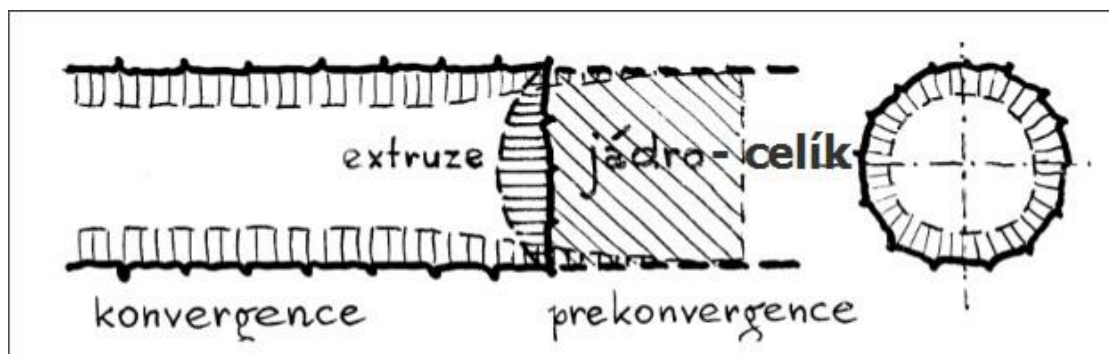
### 3.5.2 METÓDA ADECO – RS

(L'Analisi delle **D**eformazioni **C**ontrollate nelle **R**occe e nei **S**uoli (prof. Lunardi) – „NITM“) vychádza z predpokladu, že existuje priamy vzťah medzi deformáciou čelby, veľkosťou deformácií prebiehajúcich pred čelbou a veľkosťou deformácií výrubu a primárneho ostenia meraných po prechode čelby. Metóda definuje pojem jadro ako celok o profilu tunela nachádzajúci sa pred čelbou – obr. 31.

K základným prvkom tejto metódy patrí zvýšenie tuhosti jadra v predstihu pred samotnou ražbou, použitie tuhého primárneho ostenia vystuženého napr. válcovanými profilmi tuhých rámov, ražba tunelu na plný profil a betonáž sekundárneho ostenia v technologicky minimálnom odstupe od čelby s rýchlym uzatváraním spodnej klenby.

Štandardne je jadro vystužované sklolaminátovými kotvami s dĺžkou minimálne o priemeru tunela, v prípade nestabilného prostredia je zlepšované pomocou tryskovej injektáže. K ďalším opatreniam patrí zabudovanie mikropilotových dáždnikov.

Samotná ražba prebieha pod ochrannou vyššie uvedených opatrení. Razenie na plný profil si vyžaduje nasadenie špeciálneho strojného vybavenia s dostatočným dosahom odpovedajúcim veľkosti tunela.



**Ražba plným profilem.  
Zpevnění oblasti horninového masivu předčelbového jádra.  
Masivní provizorní ostění.  
Rychlá výstavba definitivního ostění.**

Tyto úpravy **zmenšujú extrúzi, prekonvergenca i konvergenca** –  
dúsledkom je zmenšenie deformácií nadloží a sedání povrchu.

obr. č. 31 - Princíp ADECO-RS [18]

V závislosti na chovaní jadra pri výstavbe definuje metóda len tri geotechnické kategórie na základe, ktorých je zvolený ďalší technologický postup – tab. 1:

- Kategória A: čelba je stabilná, prostredie sa chová ako skalná hornina,
- Kategória B : čelba je stabilná krátkodobo, typ chovania súdržných materiálov,
- Kategória C: čelba je nestabilná, typ chovania nesúdržných materiálov.

NÁVRHOVÝ KONCEPT					
Geomechanická jednotka	očakávané správanie		akcia	intervencia	vystrojovacia trieda
1 – 2 – 3	A	stabilná čelba	zaistenie	striekany betón swellex svorníky	A0/1 A0/2 A1/1 A1/2 LB-A0
		plastická zóna okolo čelby 0,0 – 0,5 m			
		plastická zóna okolo výrubu 1,0 – 2,0 m			
		očakávaná konvergenca 1,0 – 3,0 cm			
4 – 5	B	krátkodobo stabilná čelba	zaistenie + predzaistenie	striekany betón oceľové skruže oceľové mikropiloty	B0/1 B0/2 B0V/1 B0V/2 LB-B0
		plastická zóna okolo čelby 1,0 – 2,5 m			
		plastická zóna okolo výrubu 4,0 – 8,0 m			
		očakávaná konvergenca 2,0 – 6,0 cm			
6a – 6b	B/C	nestabilná čelba	Zaistenie + predzaistenie jadra čelby	striekany beton oceľové skruže Sklolaminátové prvky oceľové mikropiloty protiklenba	B0/3 B2 B2/V
		plastická zóna okolo čelby 2,0 – 4,0 m			
		plastická zóna okolo výrubu 9,0 – 12,0 m			
		očakávaná konvergenca 5,0 – 10,0 cm			

Tab. č. 1 - Geotechnické kategórie pre ADECO-RS

### **3.6 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ ZHODNOTENIE HORNINOVÉHO MASÍVU PRIESKUMNEJ ŠTÔLNE**

Od západného portálu bola štôľňa razená v horninách centrálnokarpatského paleogénu Žilinskej kotliny v úseku staničenia od portálu (1 000,4 m) po staničenie 1 115,0 m. Vrstvy majú prevahu ílovcov nad pieskovecami. Úvodný úsek v dĺžke cca 60 m bol porušený svahovými, blokovými deformáciami, s dosahom porušenia až pod niveletu štôľne do vzdialenosti 50-60 m od západného portálu.

Paleogénny masív je oddelený od komplexu mezozoika zónou strmého, tektonického zlomu v šírke 15 m, budovaného tektonicky porušenými ílovcami s budinami pieskovca. Prieskumná štôľňa v úseku od staničenia 1 115 m do 2 400 m je budovaná horninami mezozoika so zastúpením vrstevného sledu v úsekoch:

- 1 115 – 1 530 Fatrikom – krížňanskou tektonickou jednotkou vo vývoji zliechovskej série,
- 1 530 – 2 346 m Fatrikom – krížňanskou tektonickou jednotkou vo vývoju d'určinskej série,
- 2 346 – 2 400 m Tatrikom – malofatranskou tektonickou jednotkou v zastúpení kataklasticky porušených vrstiev spodného triasu.

Spolu s východným okrajom mezozoika, širokou tektonickou zónou sa masív tatrika ponára pod komplex kryštalinika. Kryštalinikum buduje masív až do úrovne východného portálu. Od západného okraja smerom k východu možno kryštalinikum rozdeliť na dva základné úseky:

- 2 400 – 2 880 m – kryštalinikum tvorené mylonitmi,
- 2 880 – 8 480 m – kryštalinikum tvorené granodioritmi (všeobecne).

<b>INDEXY INŽINIERSKOGEOLOGICKÝCH TYPOV</b>	
<b>KRYŠTALINIKUM</b>	
G(z, n, tp)	granitoid prevažne tonalitového typu, zelenosivý, všesmernej, nerovnomerne zrnitej, granitickej textúry (resp. Nečlenený granitoid)
ktGtp	kataklasticky porušený granitoid, sivý, svetlosivý, s výraznou kataklázou a budinážou horniny
Gkn	tektonická melange, usmernenej, šmuhovitej textúry, s budinami hornín
brGtp	mylonitizovaný granitoid charakteru kryštalických bridlíc, čiernej farby, výraznej bridličnatej textúry
brmyl(n,tp)	granitoidný blastomylonit, zelenosivý, usmernenej textúry, lokálne zbridličnatený
bGn	biotitický granodiorit sivý až tmavosivý, chloritizovaný, epidotizovaný, všesmernej granitickej textúry
pG(n,tp)	porfýrický granitoid , ružovosivý, s porfýrickými výrastlicami K-živcov
hG(n,tp)	hybridný granitoid, tmavosivý, s usmernenou textúrou
MG(n,tp)	migmatizovaná rula až migmatit tmavosivý, usmernenej až páskovanej textúry
L	lamprofýr, zelený až tmavozelený
<b>MEZOZOIKUM</b>	
Bstp	slienitá bridlica, tmavosivá až čierna, zbridličnatená
Vstp	ílovitý vápenec „typ fleckenmergel“, sivý tmavosivo škrvritý, budinovaný
Bqtp	kremitý pieskovec až kremeneč, brekciovitý, kataklazovaný
Br(n,tp)	bridlica ílovitá, červenofialová, kataklazovaná
V(n,z,tp)	vápenec (nečlenený), tmavosivý až čiernosivý, doskovitý až lavicovitý, ojedinele masívny, s nevýraznými kalcitovými žilkami
Vg(n,z,tp)	vápenec gutensteinského typu, tmavosivý s kalcitovými žilkami, doskovitý až lavicovitý, lokálne skrasovatený
D(b,n,z,tp)	dolomit sivý, tenkodoskovitý až masívny, lokálne kryštalický
lktp	karbonatické ílovce – karbonatický kalkazit, sivý, šmuhovitý, lokálne brekciovitej textúry
Bk	brekcia karbonatická, žltá, hrdzavožltá, s rôznym stupňom litifikácie
Vptp	pieščitý vápenec, budinovaný
Brtp	bridlice červenej a zelenej farby
<b>PALEOGÉN</b>	
lp	ílovec piesčitý, sivý až tmavosivý, šmuhovitý, laminovaný až tenkodoskovitý s polohami siltovcov
P(n,z,tp)	pieskovec, lokálne drobnozrnný zlepenec, doskovitý až lavicovitý

Tab. č. 2 – Indexy inžinierskogeologických typov zastúpených v prieskumnej štôlni

### **3.7 GTM NA TUNELI VIŠŇOVÉ**

#### **3.7.1 CIELE GEOTECHNICKÉHO MONITOROVANIA NA TUNELI VIŠŇOVÉ**

Monitorovanie hlavného tunela je realizované za účelom overenia horninového masívu a správania sa konštrukcie v priebehu raziacich prác ale aj v dlhodobom horizonte, kedy bude tunel uvedený do prevádzky.

Detailne sú sledované nasledovné ciele:

Fáza razenia:

- Kontrola geomechanických a geoštruktúrnych podmienok horninového masívu,
- Kontrola deformačného správania sa výrubu počas razenia,
- Kontrola deformačného správania sa horninového masívu okolo výrubu,
- Analýzy napät'ovo-deformačného správania sa primárneho ostenia (striekaný betón, svorníky a oceľové rebrá),
- Kontrola hladiny podzemnej vody a hydrostatického tlaku za ostením,
- Kontrola prítokov vody (ak je nutné).

Dlhodobá fáza:

- Kontrola deformačného správania sa sekundárneho ostenia,
- Kontrola napät'ového stavu v sekundárnom ostení.

#### **3.7.2 POZOROVANIE ČELBY**

Pozorovanie čelby umožní získanie informácií o geomechanickej a geoštruktúrálnej povahe masívu. Podľa výsledkov pozorovania čelby je potvrdený alebo modifikovaný postup razenia.

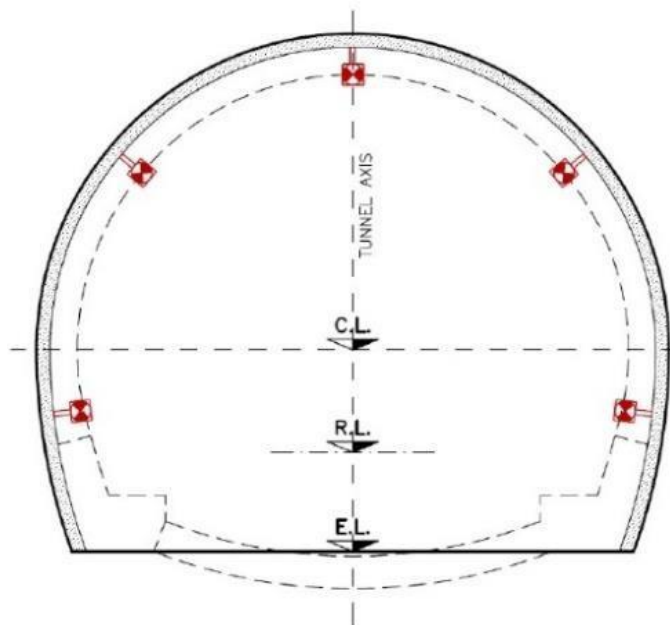
Dva rôzne typy pozorovania čelby:

- Detailné pozorovanie: v nadväznosti na zmeny litológie alebo aspoň každých 250 m,
- Priebežné pozorovanie: systematicky v každom zábere.



### 3.7.3 MERANIE DEFORMÁCIÍ

Meranie deformácií je realizované s vysokou presnosťou na 5 meracích bodoch okolo výrubu.



Obr. č. 32 – Body pre meranie konvergencií [9]

Pozície bodov umožňujú určiť konvergenciu v 6 rôznych smeroch. Merané sú 3D deformácie aby sa presne určilo deformačné správanie tunela. Profily pre meranie deformácií sú rozdelené v rôznych intervaloch, podľa aplikovaných vystrojovacích tried. Prvé meranie má byť vykonané tak skoro ako sa dá, vždy pred začatím razenia ďalšieho záberu.

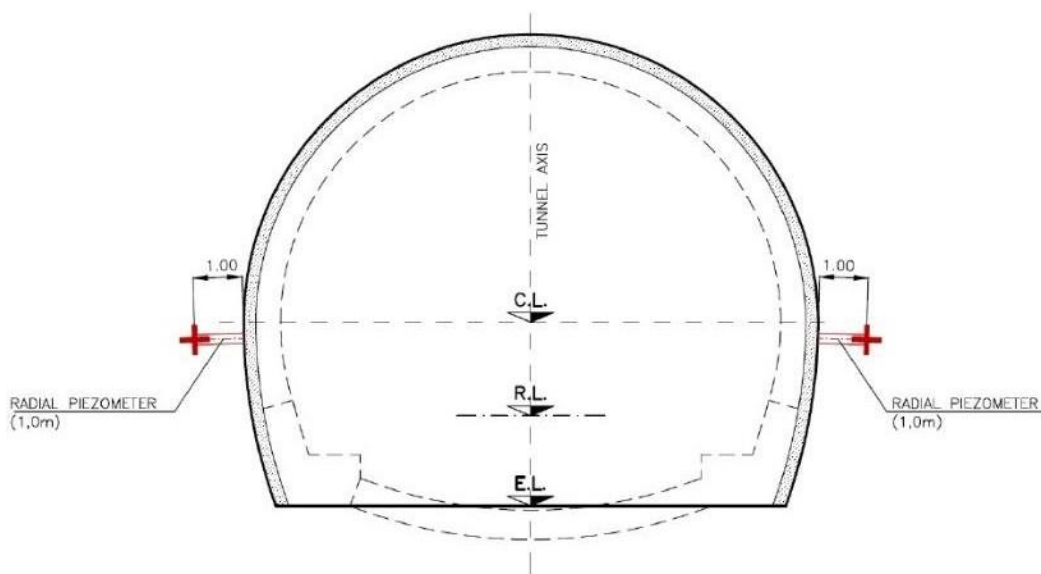
VYSTROJOVACIA TRIEDA	ROZDELENIE MONITOROVACÍCH PROFILOV
B2 – B2V (LB – B0V pre záliv)	Každý 1. záber
B0 – B0V (LB – B0 pre záliv)	Každý 2. záber
A0 – A1 (LB – A0 pre záliv)	Každých 50,0 m

Tab. č. 3 - Meranie deformácií – rozdelenie profilov

### 3.7.4 MONITORING PODZEMNEJ VODY

Na kontrolu hladiny podzemnej vody a vývoja hydrostatického tlaku za ostentím bude zriadené monitorovanie podzemnej vody.

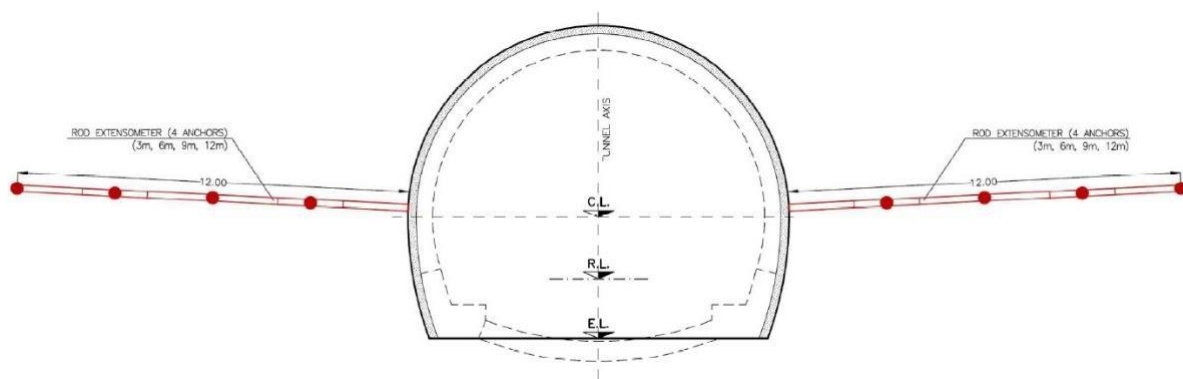
Monitoring predpokladá umiestnenie niekoľkých elektrických piezometrov dĺžky 1,0 m podľa stredovej osi. Tie budú zriadené každých 1 000 m v oboch rúrach. V prípade veľkých prítokov vody bude zabezpečené bodové meranie prítokov v čelbe.



Obr. č. 33 – Radiálne piezometre – ich umiestnenie v profile tunela [9]

### 3.7.5 MONITORING MASÍVU

Na meranie radiálnej deformácie v horninovom masíve okolo výrubu sa predpokladala inštalácia 2 tyčových extenzometrov, ktoré sa nachádzajú v korešpondencií stredovej osi ako je znázornené v nasledujúcom obrázku.



Obr. č. 34 – Tyčové extenzometre – ich umiestnenie v profile tunela [9]

System umožňuje inštaláciu kotviacich bodov pripojených k povrchu laminátovými tyčami chránenými robustným vonkajším plášťom. Tyče, schopné pohybu v rámci svojho ochranného plášťa, prevedú pohyb bodu ukotvenia do čela zariadenia. Tento pohyb je načítaný elektrickým snímačom.

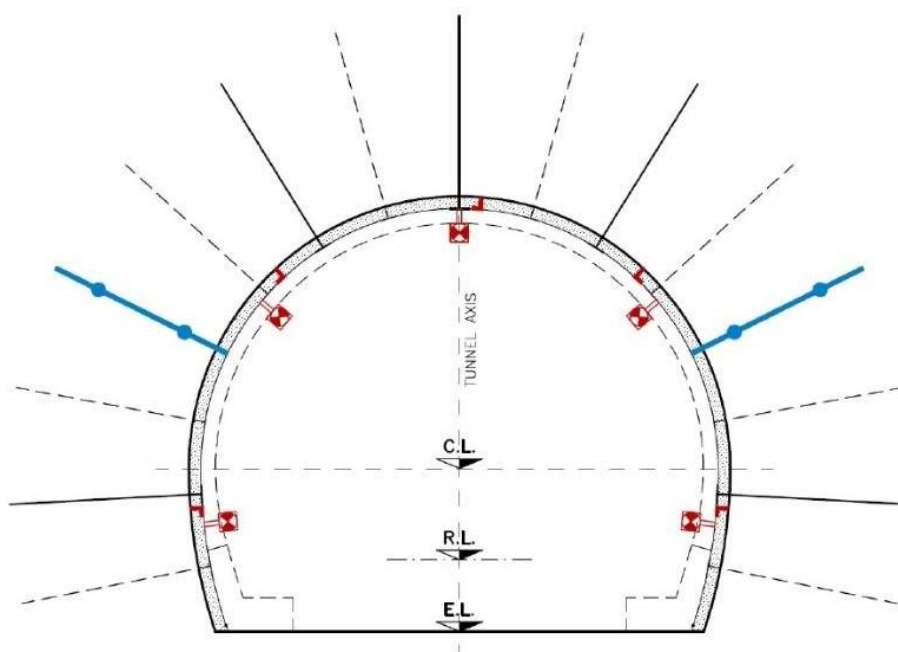
Monitorovací profil bude zriadený každých 1 000,0 m pre obe rúry.

### 3.5.6. MONITORING NAPATÍ – PRIMÁRNE OSTENIE

Pre analýzu deformačného správania primárneho ostenia tunela budú zriadené dva zvláštne profily v závislosti na vstrojovacej triede.

Tam, kde sa predpokladá radiálne kotvenie (vstrojovacie triedy A0 a A1), bude zriadený jeden profil vybavený špeciálnymi meracími kotvami s inštrumentáciou, tenzometrami a terčmi pre optické meranie.

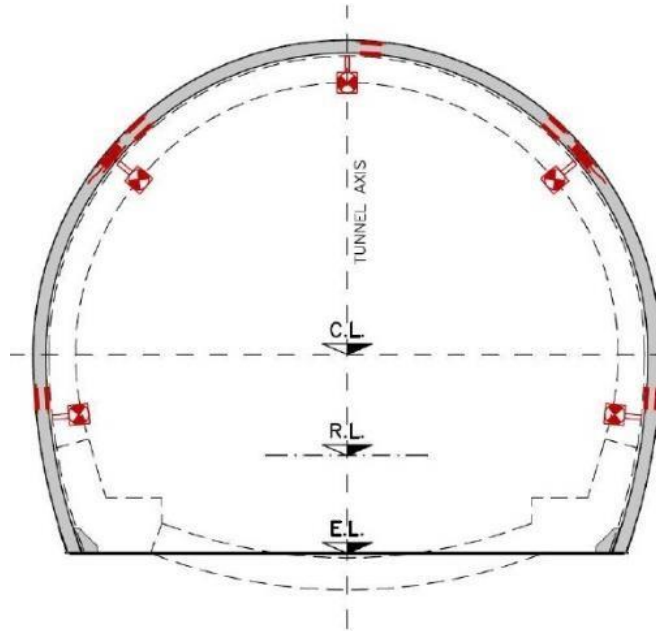
Meracie kotvy (2 pre každý profil), budú vybavené tenzometrami (2 pre každú kotvu), aby bolo možné merať napätie v kotve. Päť tlakových buniek bude umiestnených pre analýzu napätostných podmienok ostenia zo striekaného betónu. Najviac bude zriadených 5 terčov k overeniu deformácií.



Obr. č. 35 – Monitoring napätí v ostení a v kotvách – ich umiestnenie v profile tunela

[9]

Tam, kde sú predpokladané oceľové skruže, meracie kotvy a tlakové bunky budú nahradené tlakovými bunkami a tenzometrami na skružiach. Dve tlakové bunky budú umiestnené v stykoch skruží. Okrem toho bude použitých 5 tenzometrov.



Obr. č. 36 – Monitoring napätí v skružiach – ich umiestnenie v profile tunela [9]

Meracie profily (na kotvách alebo skružiach, podľa vstrojovacej triedy) budú zriadené každých 500,0 m v oboch rúrach.

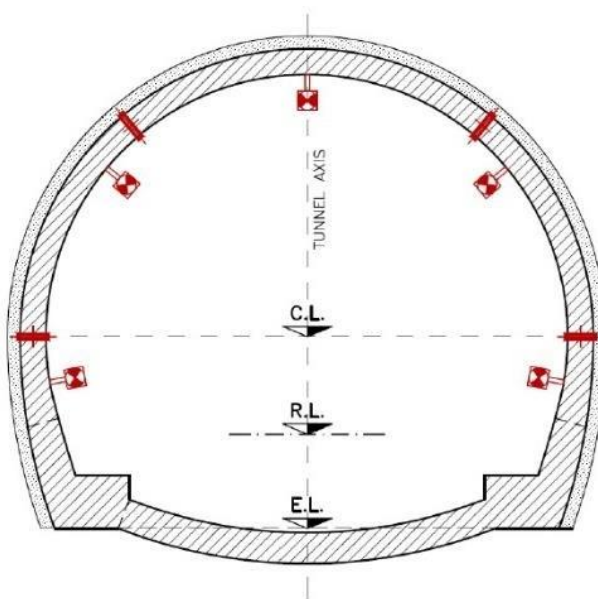
### 3.7.6 MONITORING SEKUNDÁRNEHO OSTENIA

Slúži na zaistenie kontroly napätí a deformácií sekundárneho ostenia. Čo sa týka sekundárneho ostenia, bude meranie deformácií realizované s vysokou presnosťou prieskumu súradníc 5 meracích bodov, umiestnených pozdĺž tunela.

Ploché konektory tzv. flat-jacky sú skúšky pre meranie napätí. Flat-jack sa skladá z plochej zvaranej kovovej nádrže s dvomi otvormi pre vstup a výstup tekutiny, ktorá sa naplní olejom pomocou pretlakového systému. Skúška je rozdelená do dvoch krokov:

- Meranie zníženia vzdialenosti medzi dvomi horizontálnymi čiarami umiestnenými pod a nad rezom v stene flat-jacku.
- Určenie tlaku potrebného pre obnovenie polohy oboch línií pred rezom. Tento tlak zodpovedá zvislému napätiu v stene na úrovni rezu.

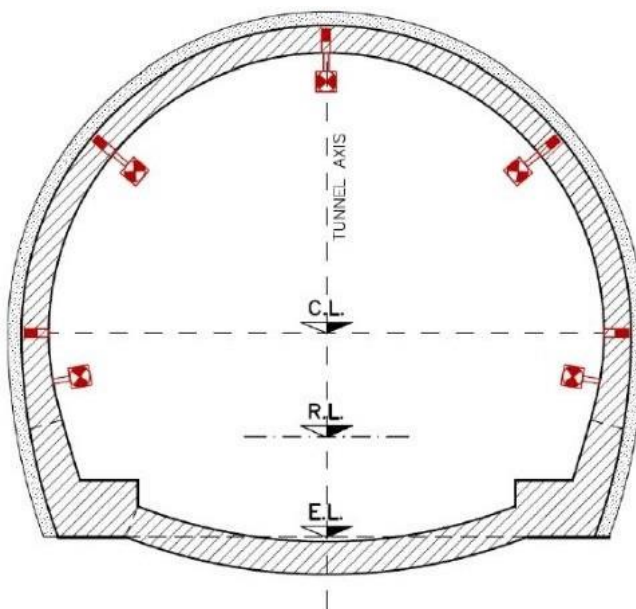
Štyri meracie zariadenia budú umiestnené v každom profile.



Obr. č. 37 - Monitoring sekundárneho ostenia – terče a flat-jacky – ich umiestnenie v profile tunela [9]

Tzv. doorstoppers merajú napätostný stav v masíve aj v betónovom ostení.

Päť meracích zariadení bude umiestnených v každom profile.



Obr. č. 38 – Monitoring sekundárneho ostenia – terče a doorstoppers – ich umiestnenie v profile tunela [9]

Profily pre monitoring sekundárneho ostenia budú zriadené každých 500,0 m v oboch rúrach striedajúc flat-jacky a doorstoppers.

### 3.7.7 FREKVENCIA MERANÍ

MERACIE ZARIADENIE	FREKVENCIA MERANÍ
Meranie deformácií (Primárne ostenie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Každý deň počas razenia (&lt; 10,0 m od čelby) podľa triedy</li> <li>- Dvakrát týždenne vo vzdialenosti &lt; 50,0 m od čelby</li> <li>- Raz týždenne vo vzdialenosti &gt; 50,0 m od čelby</li> </ul>
Monitoring podzemnej vody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Každý deň počas razenia (&lt; 10,0 m od čelby) podľa triedy</li> <li>- Raz týždenne ďalej</li> </ul>
Monitoring masívu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Každý deň počas razenia (&lt; 10,0 m od čelby) podľa profilov</li> <li>- Raz týždenne ďalej</li> </ul>
Monitoring napätí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Každý deň počas razenia (&lt; 10,0 m od čelby) podľa profilov</li> <li>- Dvakrát týždenne vo vzdialenosti &lt; 50,0 m od čelby</li> <li>- Raz týždenne vo vzdialenosti &gt; 50,0 m od čelby</li> </ul>
Meranie deformácií (Sekundárne ostenie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Každé dva týždne</li> </ul>

Tab. č. 4 – Frekvencia meraní

Skutočná frekvencia meraní mala byť kalibrovaná detailne počas vykonávania razenia v závislosti na monitorovacích údajov. Meranie malo byť zastavené v prípade stabilizácie meraných javov.

Všetky meracie prístroje mali byť vybavené dátovou pamäťou, umožňujúcou automatické meranie.

### 3.7.8 KRITÉRIA VAROVNÝCH STAVOV

Počas razenia je najdôležitejším prvkom pre kontrolu správania sa horninového masívu topografický monitoring, ktorý umožní zhodnotiť konvergencie výrubu a sadanie oceľových rebier.

Pre každú vystrojovaciu triedu je definovaná predpokladaná hodnota konvergencie a sadania na základe vykonaného výpočtu a skúseností. Samozrejme vyššia deformácia sa očakáva v najhorších podmienkach (triedy B0V, B2, a B2V) a nižšia v lepších podmienkach masívu (triedy A0, A1, B0). Vo vzťahu k očakávaným hodnotám deformácie budú definované varovné a výstražné hodnoty a to nie len s ohľadom na absolútne hodnoty, ale tiež na rastúci gradient (mm/deň, vyhodnotený s odkazom na týždeň)

Vystrojovacia trieda	Deformácia	Očakávaná hodnota	Varovná hodnota	Výstražná hodnota
A0	Konvergencia	1,0 - 2,0 cm	2,0 - 3,0 cm	3,0 - 5,0 cm
	Sadanie	1,0 - 2,0 cm	2,0 - 3,0 cm	3,0 - 5,0 cm
A1	Konvergencia	1,0 - 3,0 cm	3,0 - 4,0 cm	4,0 - 6,0 cm
	Sadanie	1,0 - 3,0 cm	3,0 - 4,0 cm	4,0 - 6,0 cm
B0	Konvergencia	2,0 - 5,0 cm	5,0 - 7,0 cm	7,0 - 10,0 cm
	Sadanie	2,0 - 5,0 cm	5,0 - 7,0 cm	7,0 - 10,0 cm
B0V	Konvergencia	3,0 - 7,0 cm	7,0 - 9,0 cm	9,0 - 12,0 cm
	Sadanie	3,0 - 7,0 cm	7,0 - 9,0 cm	9,0 - 12,0 cm
B2	Konvergencia	5,0 - 10,0 cm	10,0 - 12,0 cm	12,0 - 15,0 cm
	Sadanie	5,0 - 10,0 cm	10,0 - 12,0 cm	12,0 - 15,0 cm
B2V	Konvergencia	5,0 - 10,0 cm	10,0 - 12,0 cm	12,0 - 15,0 cm
	Sadanie	5,0 - 10,0 cm	10,0 - 12,0 cm	12,0 - 15,0 cm

Tab. č. 5 - Tabuľka očakávaných, varovných a výstražných hodnôt pre každú vystrojovaciu triedu – tab. 1.

## 4 JEDNOTLIVÉ HODNOTENÉ ÚSEKY

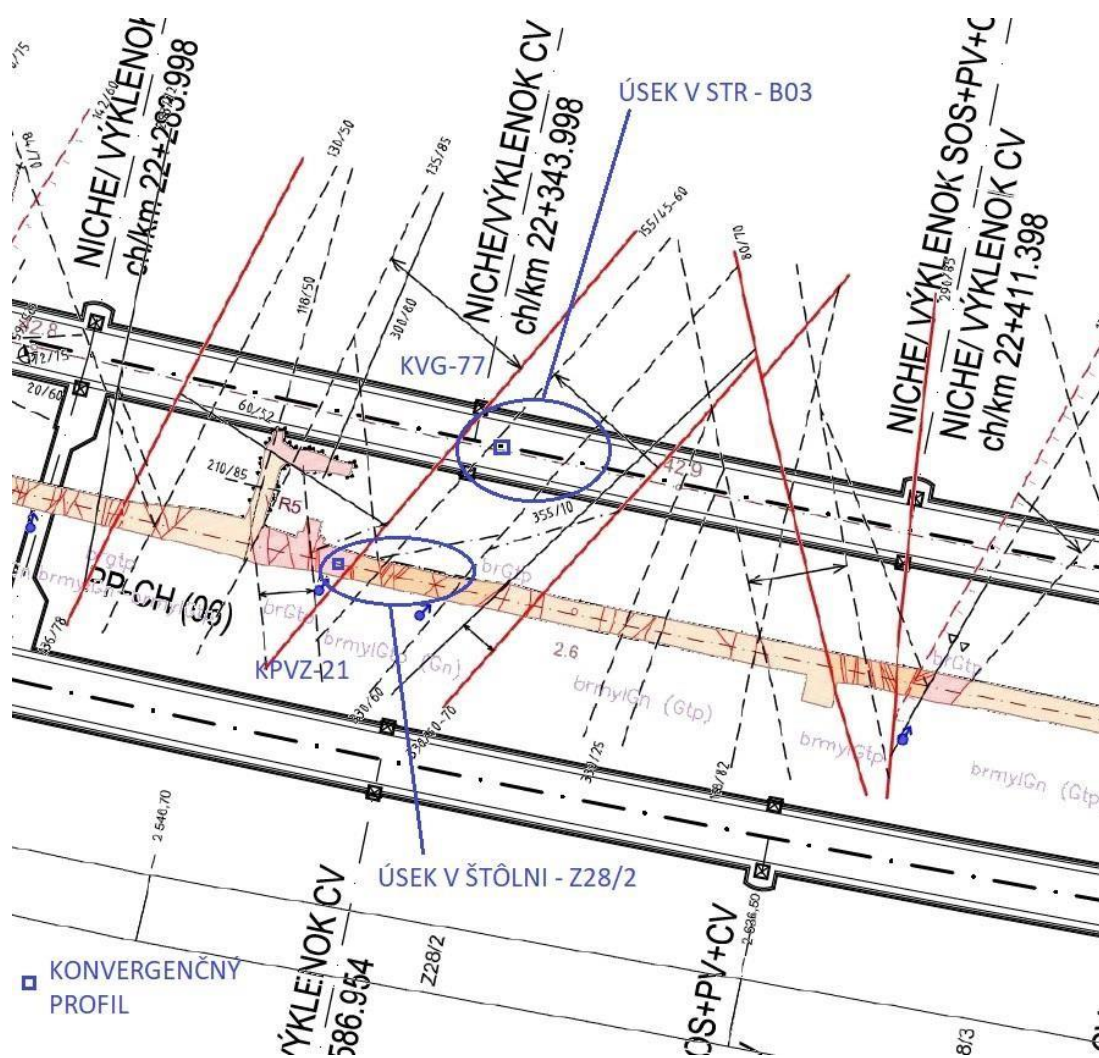
Úsek	Ig - typ	Opis Ig - typu
Úsek č. 1 STR - konvergenčný profil KVG-77	brmyl Gtp	granitoidný blastomylonit, zelenosivý, usmernenej textúry, lokálne zbridičnatený
	Gtp	granitoid prevažne tonalitového typu, zelenosivý, všesmernej, nerovnomernej zrnitej, granitickej textúry, tektonicky porušený
Úsek č. 2 JTR - konvergenčný profil KVG-113	pGn	porfyrický granitoid , ružovosivý, s porfyrickými výrastlicami K-živcov
	bGtp	biotitický granodiorit sivý až tmavosivý, chloritizovaný, epidotizovaný, všesmernej granitickej textúry, tektonicky porušený
Úsek č. 3 JTR - konvergenčný profil KVG-108, KVG-109	bGn	biotitický granodiorit sivý až tmavosivý, chloritizovaný, epidotizovaný, všesmernej granitickej textúry
	bGtp	biotitický granodiorit sivý až tmavosivý, chloritizovaný, epidotizovaný, všesmernej granitickej textúry, tektonicky porušený
	pGn	porfyrický granitoid , ružovosivý, s porfyrickými výrastlicami K-živcov
	pGtp	porfyrický granitoid , ružovosivý, s porfyrickými výrastlicami K-živcov, tektonicky porušený

Tab. č. 6 – Jednotlivé hodnotené úseky s priradenými a vysvetlenými Ig - typmi



#### 4.1 ÚSEK Č. 1: STR – KONVERGENČNÝ PROFIL KVG -77

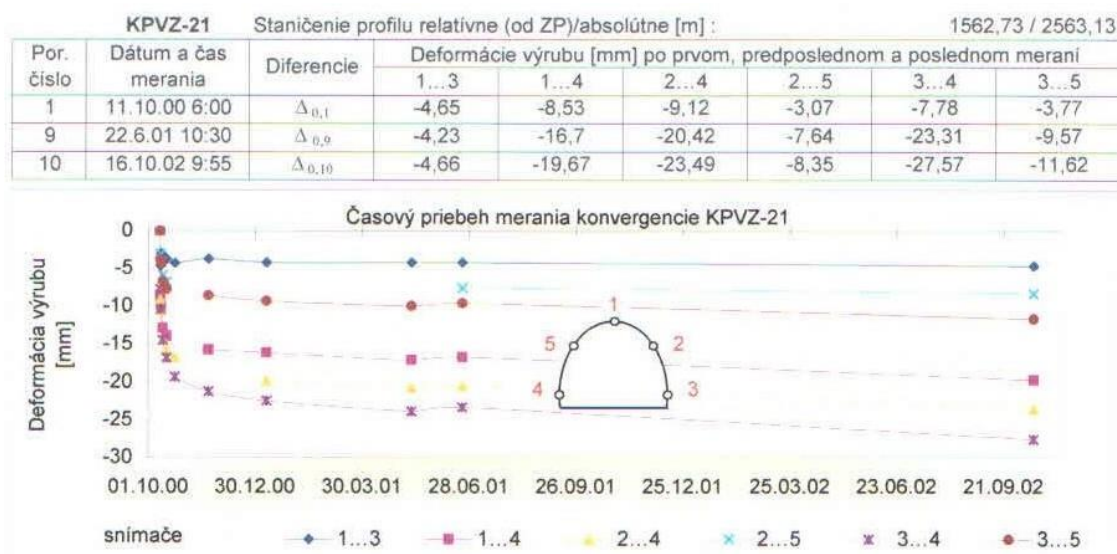
Podľa predpokladu z geotechnického prieskumu formou prieskumnej štôlne, razenej od západného portálu trhavinovým spôsobom uplatnením NRTM, kde v absolútnom (abs.) staničení 2 546,70 – 2 636,50, ktorý podľa skutočne zachytených geotechnických podmienok zodpovedá preberanému úseku v STR, ide o kvázihomogénny celok Z28/2. V tomto úseku boli počas razenia prieskumnej štôlne lokalizované mylonitizované granitoidy, ktoré boli tektonicky porušené a označené ako ig typ brmylGtp, Gtp s polohami granitoidného mylonitu a blastomylonitu charakteru plagioklasovej ruly – tab. 6. Úsek bol vyhodnotený ako geotechnický úsek č. 5 v zmysle SIA 198.



Obr. č. 39 – Lokalizovanie úseku štôlne Z28/2 + KPVZ21 a STR - B03 + KVG-77

[výrez: 17]

Danému úseku zodpovedajú merania na konvergenčnom profile KPVZ-21. Konvergenčný profil KPVZ-21 (staničenie rel. 1 562,70 m/abs. 2 563,10 m, osadený 10. 10. 2000) bol osadený vo výrazne tektonicky porušených granitoidoch charakteristických veľkým nadvýlomom (do 5 m<sup>3</sup>), kde počiatočný veľký nárast deformácií bol stabilizovaný cca do 3 týždňov. Najväčšia celková deformácia bola medzi bodmi 3-4 – 27,57 mm, pričom maximálna rýchlosť priestorovej deformácie mala hodnotu 3 mm/deň.



Obr. č. 40 – Vývoj deformácií na konvergenčnom profile KPVZ-21 [10]

Počas samotného razenia STR boli už od staničenia 22 317 na čelbe lokalizované černasté blastomylonity s prechodom do sivých mylonitizovaných granitoidov lokálne s grafitom a povlakom mastenca. Horninový masív bol veľmi porušený a narušený tektonikou. Pevnosť neporušeného horninového masívu bola od veľmi nízkej po strednú a čelba bola vo všeobecnosti vlhká a dočasne stabilná.

To viedlo projektanta k zmene vystrojovacej triedy z B02 na B03 s inštaláciou sklolaminátových kotiev do čela horninového masívu s dĺžkou 18 m, s min. prekrytím 6 m až do staničenia 22 339, kde bola na troch záberoch vyskúšaná vystrojovacia trieda B02 – obr. 42. Keďže kvalita horninového masívu sa nemenila boli opäť navrátené sklolaminátové kotvy (v dňoch 21. 12. – 23. 12. 2016).



Obr. č. 41 – Dokumentácia čelby STR, B02, st. 22 339, dňa 20.12.2016  
Čelba je budovaná čiernastými blastomylonitmi s prechodom do sivých  
mylonitizovaných granitoidov lokálne s grafitom a povlakom mastenca

Po navítaní sklolaminátových kotiev sa pokračovalo v razení vo vstrojovacej triede B03 s dĺžkou záberu 1,0 m – obr. 42. Razenie prebiehalo mechanicky s použitím impaktora alebo frézy.

ON915	B03	22337,48	1538,00	0,97	20.12.16 4:15	
ON916	B03	22338,50	1539,02	1,02	20.12.16 11:00	
ON917	B03	22339,50	1540,02	1,00	20.12.16 16:30	
ON918	B02	22340,49	1541,01	0,99	20.12.16 22:00	
ON919	B02	22341,47	1541,99	0,98	21.12.16 3:15	
ON920	B02	22342,48	1543,00	1,01	21.12.16 12:15	
ON921	B03	22343,46	1543,98	0,98	23.12.16 8:45	
ON922	B03	22344,46	1544,98	1,00	23.12.16 15:00	
ON923	B03	22345,44	1545,96	0,98	26.12.16 13:30	
ON924	B03	22346,37	1546,89	0,93	26.12.16 20:00	
ON925	B03	22347,37	1547,89	1,00	27.12.16 5:00	
ON926	B03	22348,40	1548,92	1,03	27.12.16 11:15	
ON927	B03	22349,39	1549,91	0,99	27.12.16 17:00	
ON928	B03	22350,35	1550,87	0,96	27.12.16 23:00	KVG - 77
ON929	B03	22351,35	1551,87	1,00	28.12.16 6:00	
ON930	B03	22352,35	1552,87	1,00	28.12.16 12:00	
ON931	B03	22353,34	1553,86	0,99	28.12.16 17:15	
ON932	B03	22354,31	1554,83	0,97	28.12.16 0:00	

Obr. č. 42 – Výrez z grafikonu razenia - STR

Pri razení boli na čelbe lokalizované sivé mylonitizované granitoidy s polohami blastomylonitov. Horninový masív bol veľmi narušený a porušený tektonikou. Pevnosť neporušeného horninového masívu bola od veľmi nízkej po strednú a čelba bola vo všeobecnosti suchá, vlhká na niektorých spojoch a dočasne stabilná.



Obr. č. 43 – Dokumentácia čelby STR, B03, st. 22 344, dňa 23.12.2016  
Čelba je budovaná čiernastými blastomylonitmi s prechodom do sivých  
mylonitizovaných granitoidov, väčšinou s grafitovo – ílovitou výplňou.

Dňa 27. 12. 2016 bol v staničení 22 350/ TM 1 550 v nosníku č. 928 osadený konvergenčný profil KVG 77, so zameraním nultého merania dňa 28. 12. 2016. Sledovaním tohoto profilu sa ukázal nárast priečných deformácií do profilu tunela na bodoch 4 a 5, kde dňa 7. 2. 2017 došlo k prekročeniu očakávanej konvergencie pre danú vystrojovaciu triedu na bode 4 a neskôr aj na bode 5 s neustálym nárastom až k prekročeniu varovnej hodnoty dňa 15. 3. 2017 na obidvoch bodoch – obr. 44 a 45.



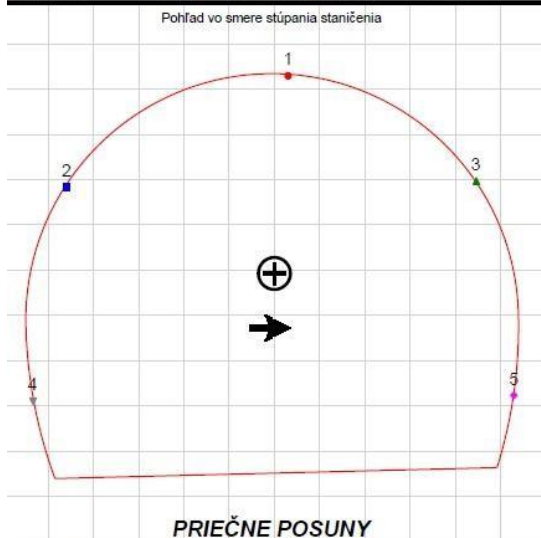
RAZENIE TUNELA  
PRIMÁRNE OSTENIE  
Národná diaľničná spoločnosť

Stavba : D1 LIETAVSKÁ LÚČKA - VIŠŇOVÉ - DUBNÁ SKALA

TUNEL VIŠŇOVÉ

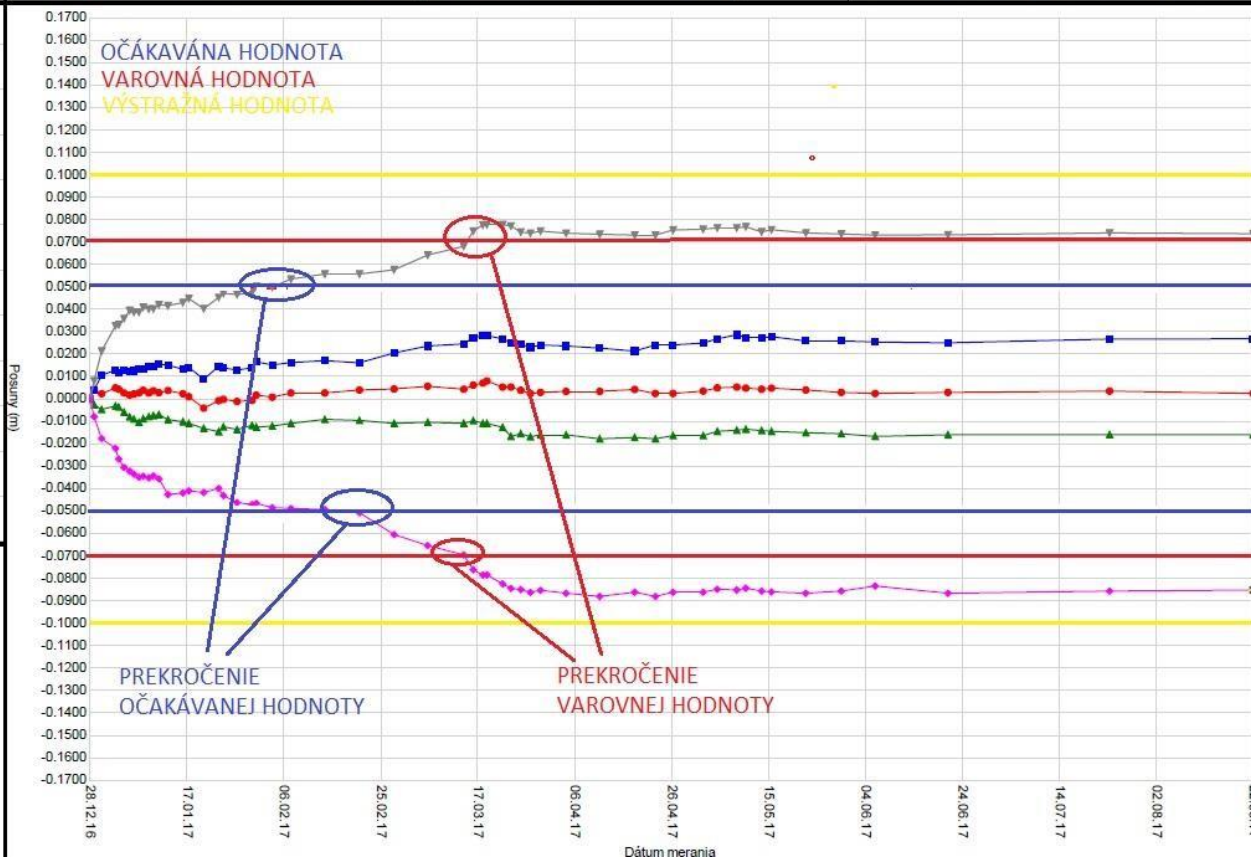
OBJEKT : STR - ZÁP. PORTÁL (NORTH TUNNEL - WEST)

Staničenie : 22349.80 - Prof.77



Poznámky:

Profil 77 (27.12.2016 23:00) Osadenie profilu.  
(28.12.2016 12:40) Nulté meranie. (21.2.2017)  
NNČ bod 4.



Obr. č. 44 - Vývoj priečných deformácií na konvergenčnom profile KVG 77 [zdroj: GTM stavby]



RAZENIE TUNELA  
PRIMÁRNE OSTENIE  
Národná diaľničná spoločnosť

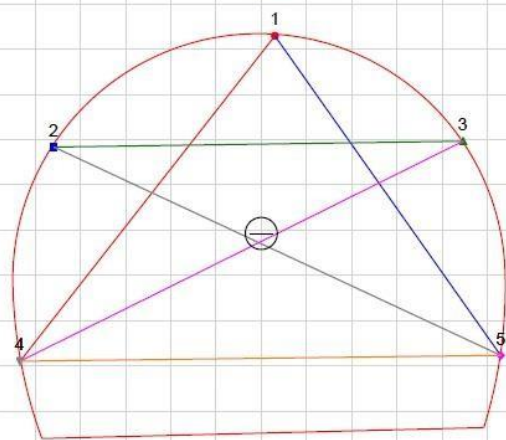
Stavba : D1 LIETAVSKÁ LÚČKA - VIŠŇOVÉ - DUBNÁ SKALA

TUNEL VIŠŇOVÉ

OBJEKT : STR - ZÁP. PORTÁL (NORTH TUNNEL - WEST)

Staničenie : 22349.80 - Prof.77

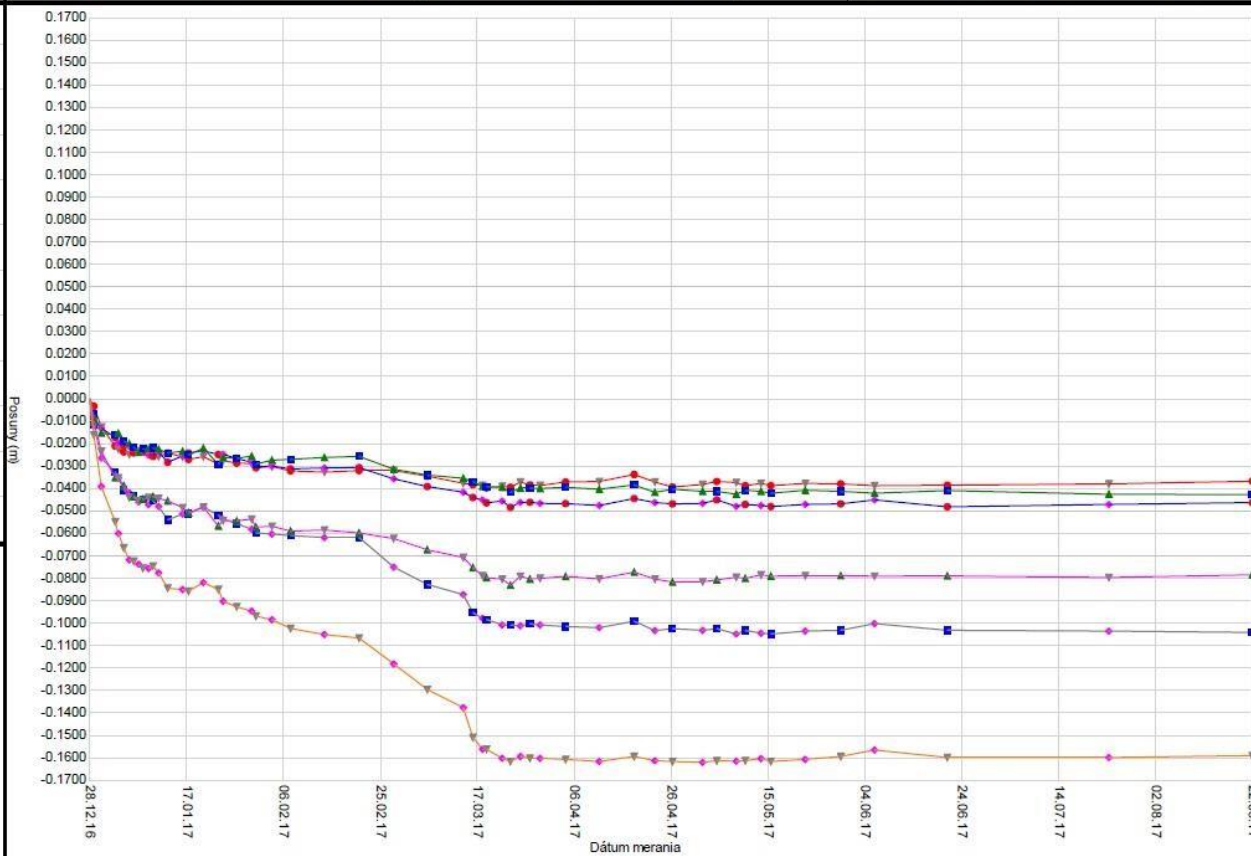
Pohľad vo smere stúpania staničenia



### KONVERGENCIA

Dátum merania

Profil 77 (27.12.2016 23:00) Osadenie  
profilu. (28.12.2016 12:40) Nulté meranie.  
(21.2.2017) NNČ bod 4.



Obr. č. 45 - Vývoj konvergencií medzi jednotlivými bodmi na KVG-77 [zdroj: GTM stavby]

Z tohoto dôvodu sa projektant a zhotoviteľ stavby rozhodli pre riešenie formou rýchleho uzavretia dna inštaláciou invertu. Inštalácia invertu prebiehala od 15. 3. do 20. 3. 2017 privarením protiklenbových nosníkov k nosníkom v kalote a zastrekaním striekaným betónom s rozptýlenou drátkovou výztužou – obr. 46 a 47.



Obr. č. 46 a 47 – Inštalácia invertu v st. 22 346 – 22 355 v dňoch 15. – 20.3.2017

Z ďalšieho sledovania vývoja deformácií sa ukázalo, že toto riešenie bolo postačujúce a vývoj deformácií sa od obdobia 20.3.2017 ustálil – obr. 48.





RAZENIE TUNELA  
PRIMÁRNE OSTENIE  
Národná diaľničná spoločnosť

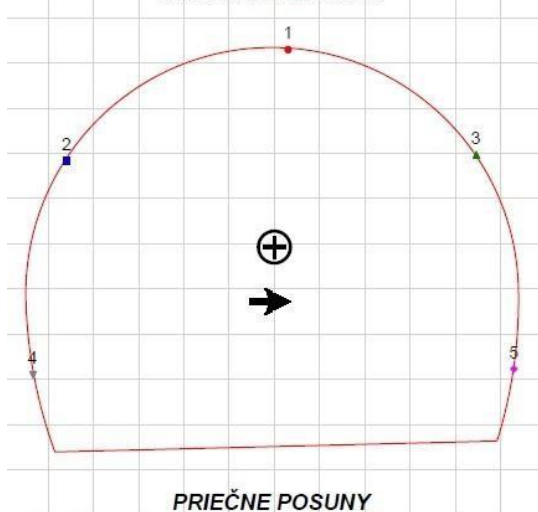
Stavba : D1 LIETAVSKÁ LÚČKA - VIŠŇOVÉ - DUBNÁ SKALA

TUNEL VIŠŇOVÉ

OBJEKT : STR - ZÁP. PORTÁL (NORTH TUNNEL - WEST)

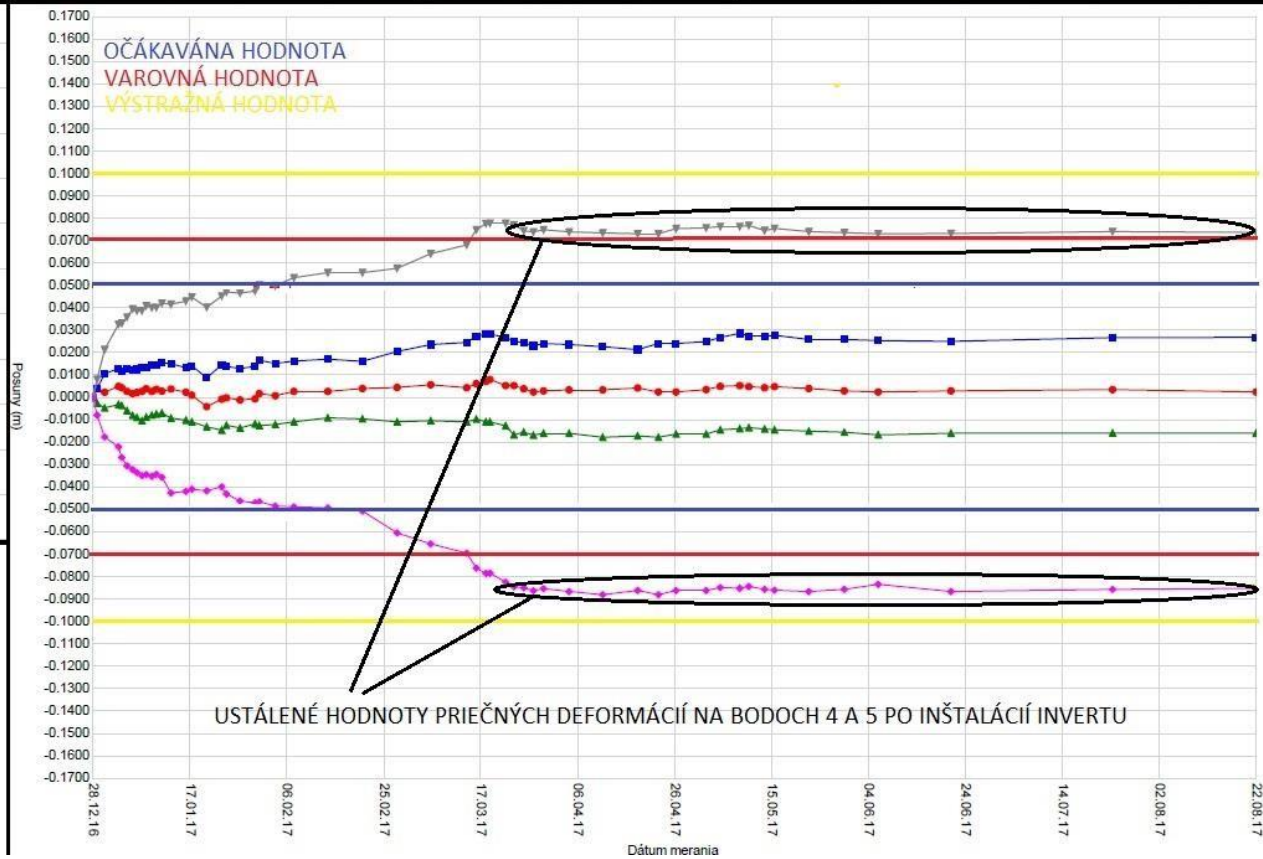
Staničenie : 22349.80 - Prof.77

Pohľad vo smere stúpania staničenia



Poznámky:

Profil 77 (27.12.2016 23:00) Osadenie profilu.  
(28.12.2016 12:40) Nulté meranie. (21.2.2017)  
NNČ bod 4.



Obr. č. 48 – Ustálené hodnoty priečných deformácií na bodoch 4 a 5 na KVG 77 [zdroj: GTM stavby]

#### **4.1.1 ČIASTKOVÝ ZÁVER PRE ÚSEK Č. 1**

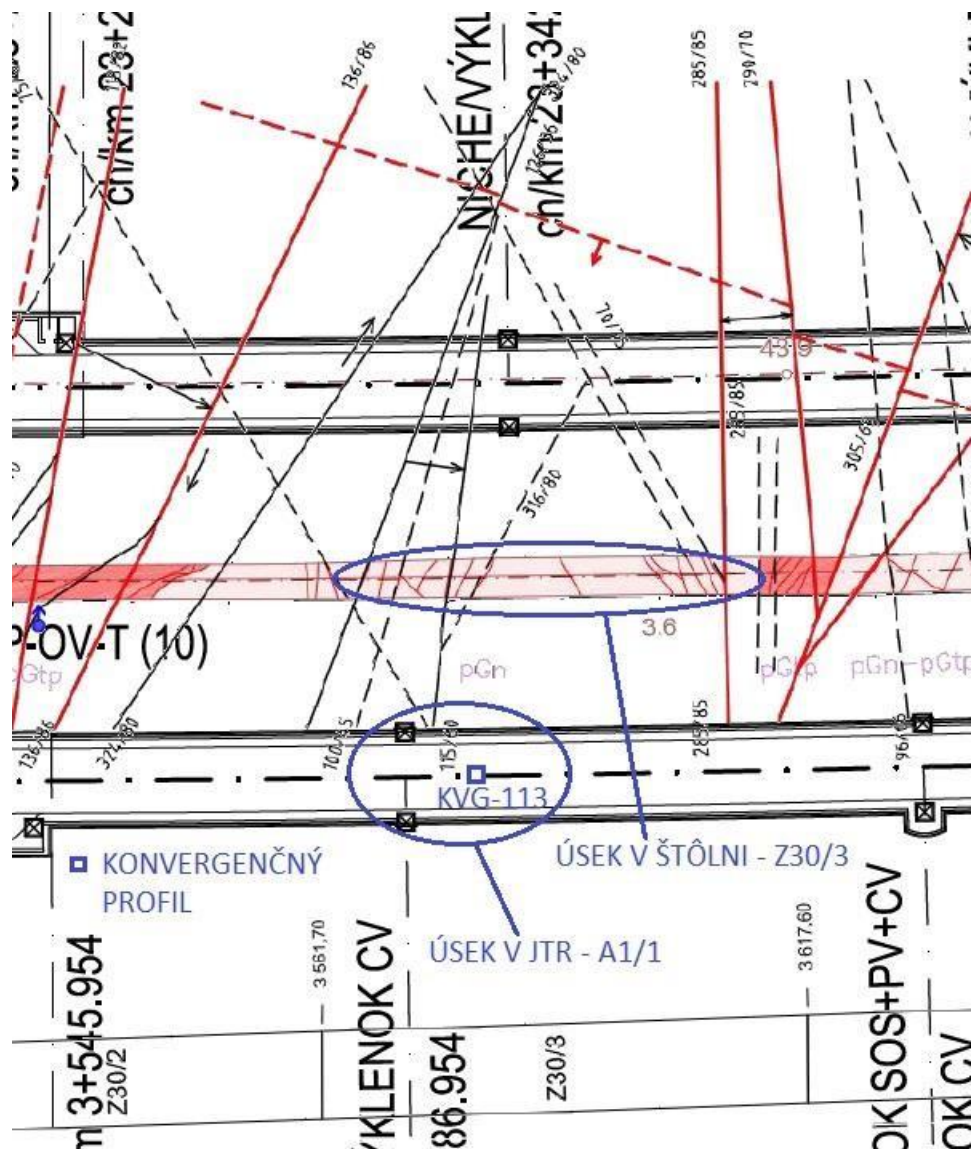
Podobne ako pri geotechnickom prieskume boli aj pri razení samotného tunela zastihnuté horšie geotechnické podmienky, horninový masív bol tektonicky porušený, a čelba bola iba dočasne stabilná.

Inštalácia sklolaminátových kotiev zachytila deformácie pred čelbou ale bolo nutné sledovať deformácie po prejení čelby na danom konvergenčnom profile. V tomto prípade sa ukazuje dôležitosť realizovaného monitoringu, keďže došlo k prekročeniu varovných stavov a bolo nutné reagovať na situáciu. Po inštalovaní invertu bolo meraním na KVG-77 ukázané, že toto riešenie bolo postačujúce a ďalší vývoj deformácií bol zastavený.

#### **4.2 ÚSEK Č.2: JTR – KONVERGENČNÝ PROFIL KVG-113**

Podľa skutočne zachytených geotechnických podmienok v JTR odpovedá tento úsek v štôlni kvázihomogénemu celku Z30/3 s abs. staničením 3 561,70 – 3 617,60. V tomto úseku prevláda zdravý porfyrický granitoid, sivý až ružovosivý, ig typ pGn, ktorý bol slabo tektonicky porušený – vid' tab. 6. Úsek bol vyhodnotený ako geotechnický úsek č. 2 v zmysle SIA 198– obr. 49.

V tomto celku nebol počas razenia štôlne umiestnený konvergenčný profil zrejme z dôvodu stabilného horninového prostredia.



Obr. č. 49 – Lokalizovanie úsekov Z30/3 a JTR A1/1 + KVG-113 [výrez: 17]

Počas razenia JTR od staničenia 3 552,22 m vo vstrojovacej triede B01 s max. dĺžkou záberu 1,80 m použitím vrtno-trhacích prác boli na čelbe lokalizované najmä tmavosivé biotitické granodiority, lokálne mylonitizované. Horninový masív bol porušený vo viacerých smeroch. Granodiority boli strednej až vysokej pevnosti, lokálne mylonitizované.

Od staničenia 3 572,67 bola trieda razenia zmenená na A1/1 s dĺžkou záberu max 4,0 m s použitím vrtno-trhacích prác – obr. 50. Počas razenia v marci 2018 do staničenia 3 700,58 boli v profile čelby lokalizované biotitické granodiority, sporadicky

mylonitizované. Granodiority boli strednej až vysokej pevnosti. Postupne pribúdalo blastomylonitov s grafitom. Hodnoty klasifikácie RMR kolísali v rozmedzí od 41 – 50.

ON1654	B01	3567,61	2541,85	1,80	25.2.18 14:00		
ON1655	B01	3569,42	2543,66	1,81	26.2.18 3:45		
1656	A1/1	3572,67	2546,91	3,25	26.2.18 19:00		
1657	A1/1	3575,69	2549,93	3,02	27.2.18 8:00		
1658	A1/1	3578,43	2552,67	2,74	27.2.18 22:30		
1659	A1/1	3581,62	2555,86	3,19	28.2.18 15:00		
1660	A1/1	3584,57	2558,81	2,95	1.3.18 9:30		
1661	A1/1	3587,02	2561,26	2,45	1.3.18 22:30		
1662	A1/1	3590,34	2564,58	3,32	2.3.18 14:00		
1663	A1/1	3593,41	2567,65	3,07	3.3.18 4:30		
1664	A1/1	3595,89	2570,13	2,48	3.3.18 19:30		
1665	A1/1	3599,27	2573,51	3,38	4.3.18 8:30	KVG-113	3595
1666	A1/1	3601,76	2576,00	2,49	4.3.18 23:45		
1667	A1/1	3604,90	2579,14	3,14	5.3.18 15:00		

Obr. č. 50 – Výrez grafikonu razenia - JTR



Obr. č. 51 - Dokumentácia čelby JTR, A1/1, st. 3 595,89, dňa 3.3.2018

Čelba je budovaná sivými až tmavosivými blastomylonitmi strednej v prevahe nad biotitickými granodioritmi



Obr. č. 52 - Dokumentácia čelby JTR, A1/1, st. 3 604,90 dňa 5.3.2018  
Čelba je budovaná sivými až tmavosivými biotitickými granodioritmi, lokálne mylonitizovanými granodioritmi a blastomylonitmi

Dňa 4. 3. 2018 bol v st. 3 599,44 v zábere č. 1665 osadený konvergenčný profil KVG-113.

Vysoká pevnosť a kompaktnosť horninového masívu sa odrážala aj na nízkej deformácii výrubu, kedy nebola dosiahnutá ani očakávaná konvergencia – obr. 53.

Sledovaním deformácií na tomto profile sa ukázala vhodnosť zmeny triedy razenia z B01 na A1/1 bez použitia oceľových nosníkov.

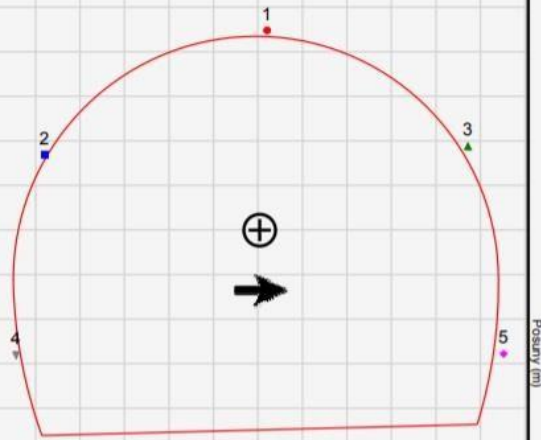


RAZENIE TUNELA  
PRIMÁRNE OSTENIE  
Národná diaľničná spoločnosť

Stavba : D1 LIETAVSKÁ LÚČKA -VIŠŇOVÉ -DUBNÁ SKALA  
OBJEKT : JTR - ZÁP. PORTÁL (SOUTH TUNNEL - WEST)

TUNEL VIŠŇOVÉ  
Staničenie :3599,40 - Prof.113

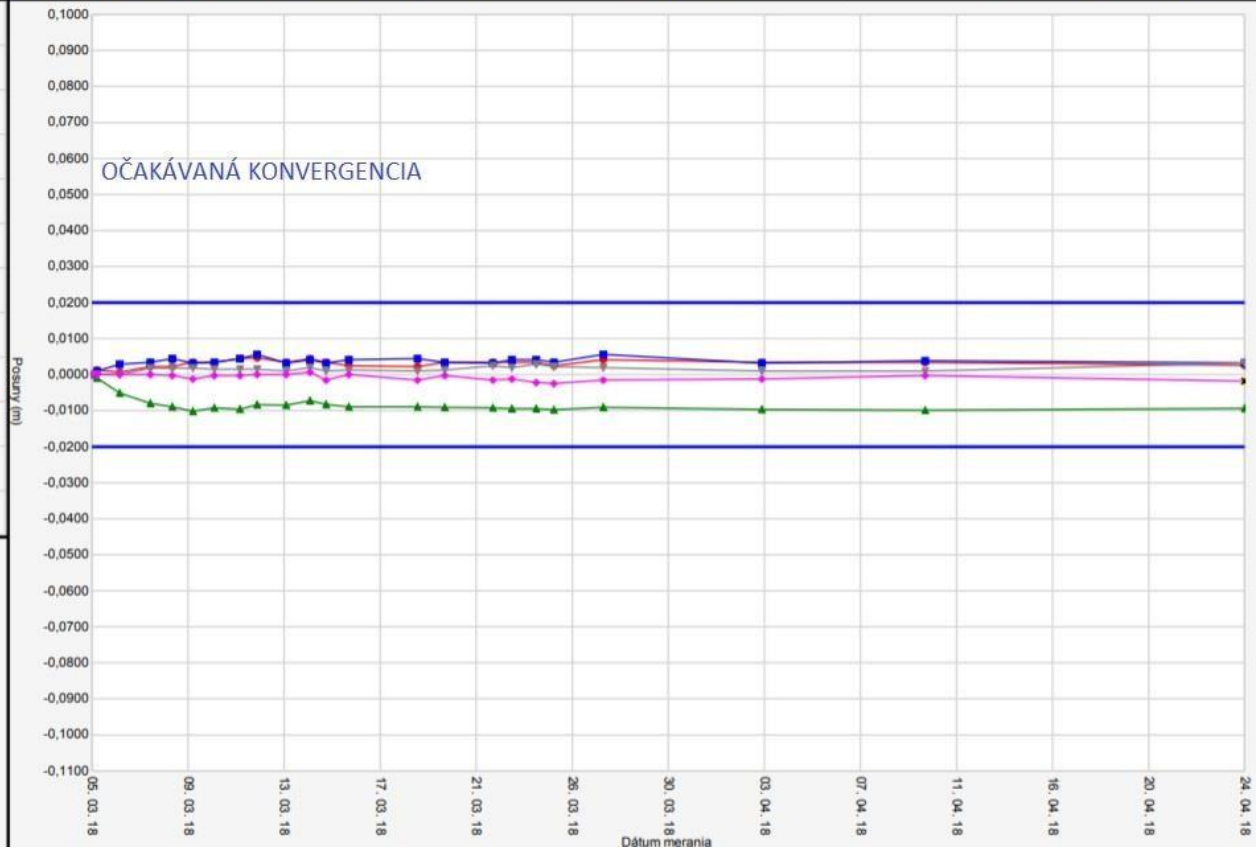
Pohľad vo smere stúpania staničenia



PRIEČNE POSUNY

Poznámky:

Profil 113 (A1/1, bl. J218) (5.3.2018 3:30)  
Osadenie profilu (3:50) Nulté meranie. (6.3.) NNČ  
4.5. (7.3.) NNČ 5. (8.3.) NNČ4.



Obr. č. 53 – Vývoj priečných deformácií na konvergenčnom profile KVG-113, JTR [zdroj: GTM stavby]

#### **4.2.1 ČIASTKOVÝ ZÁVER PRE ÚSEK Č. 2**

Podľa geotechnického prieskumu išlo o úsek hodnotený podľa SIA 198 ako geotechnický úsek č. 2, teda úsek budovaný pevnejšími a celistvejšími horninami. Rovnako tomu bolo aj pri razení samotného tunela, čo dokazuje vystrojenie vo vystrojovacej triede A1/1 s použitím vrtno – trhacích prác s maximálnym rozsahom a konvergenčný profil umiestnený v tomto úsek, na ktorom sa deformácie len na 50% priblížili k očakávanej hodnote, čo je hodnotené ako stav vysokej miery bezpečnosti.

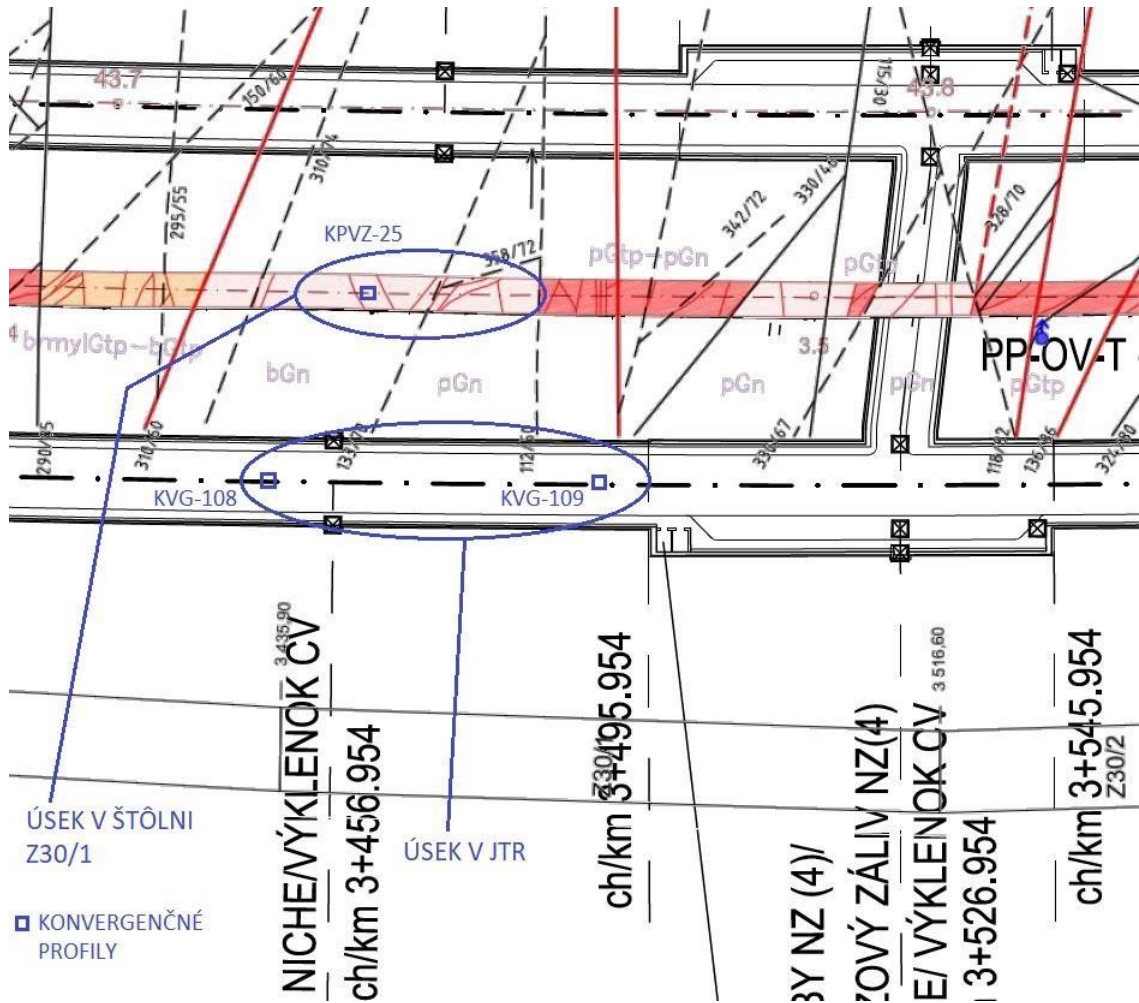
#### **4.3 ÚSEK Č.3: JTR – KONVERGENČNÉ PROFILY KVG-108 A KVG-109**

Preberaný úsek sa bol definovaný v štôlni ako kvázihomogénny celok Z30/1, abs. staničenie 3 435,90-3 516,60 m. Úsek zastúpený biotitickým granitoidom ig typ bGn s polohami tektonicky porušenej horniny ig typ bGtp. Od cca 3 442,2 m s prechodom do porfyricikých biotitických granitoidov ig typ pGn až pGtp – vid' tab. 6. Horninový masív je prevažne sivý, tmavosivý, lokálne ružovosivý (výrastlice K-živcov), ojedinele tmavosivý až čierny.

Záznam z razenia prieskumnej štôlne od staničenia 3 435 m:

Úsek prieskumnej štôlne od začiatku staničenia razený strelno-trhacími prácami s krokom 1,7 m. Na čelbe strednozrný až hrubozrný lokálne porfyrický granodiorit, sivý až zeleno-sivý granitoid s málo výraznými, ojedinelými porfyrickými výrastlicami. Sklon plôch výrazne proti smeru razenia, čo spôsobuje nestabilitu čelby. Hornina bola vysokej pevnosti a kladivom ťažko rozbíjateľná.

Záber staničenie 3 443,4 m vŕtaný na 1,7 m na čelbe sivý až ružovosivý, všesmerne, nerovnomerne zrnitý porfyrický granitoid – granit až granodiorit. Štôlna vyrazená na dva zábery dĺžky 1,7 m v triede 3, nestriekalo sa a bez vystrojenia sieťovinou od záberu 3 439,40 potom zastriekavanie úseku na 4 m. Lepšia kvalita horniny ako v úseku staničenia 3 430,4.

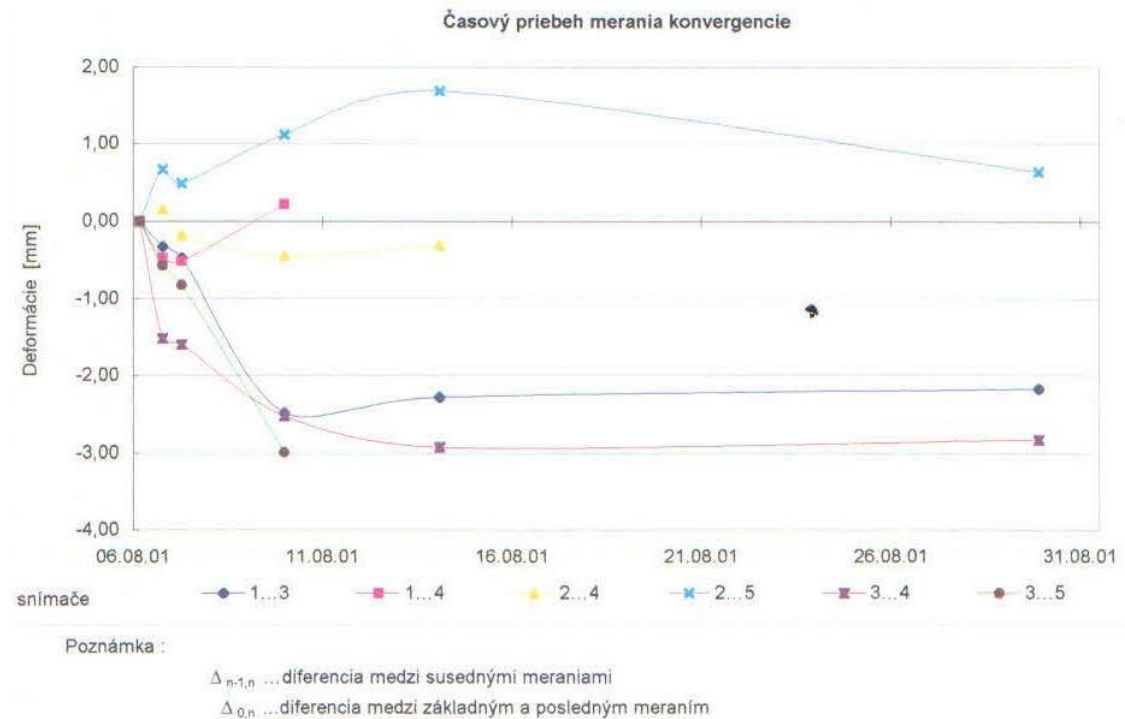


Obr. č. 54 - Lokalizovanie úsekov Z30/1 a JTR – KVG-108 a 109 [výrez: 17]

V staničení 3 446,60 m bol zabudovaný konvergenčný profil KPVZ-25.

Bolo osadených 5 konvergenčných profilov do horninového masívu tvoreného porfyrickým granitoidom triedy 3 v zmysle SIA 198. Zvýšená pevnosť a kompaktnosť horninového masívu bez nadvýlomu sa odráža aj v zníženej deformácii výrubu, čo dokumentuje aj najväčšia nameraná deformácia medzi bodmi 3-4 -2,83mm a bodmi 3-5 -4,2 mm, pričom aj maximálna rýchlosť priestorovej deformácie ma hodnotu len 2,0 mm/deň.





Obr. č. 55 – Vývoj konvergencií na profile KPVZ-25 [10]

Počas razenia JTR sa v staničení 3 436,58 – 3 516,17 v profile čelby objavovali najmä biotitické granodiority, sporadicky mylonitizované granodiority, lokálne chloritizované, po plochách diskontinuit zdravé až navetrané, miestami prechádzali do biotitického granitoidu tonalitového charakteru. Pevnosť neporušeného materiálu bola stredná až nízka a horninový masív bol suchý miestami vlhký. Pevnosť horninového masívu kolísala v závislosti od tektonického porušenia.



Obr. č. 56 – Dokumentácia čelby JTR, A1/1, st. 3486,18, dňa 16.1.2018.  
Čelba je budovaná sivými až tmavosivými biotitickými granodioritmi.



Obr. č. 57 – Dokumentácia čelby JTR, B01, st. 3495,55, dňa 20.1.2018  
Čelba je sivými až tmavosivými biotitickými granodioritmi.

Razenie prebiehalo hlavne vo vstrojovacie triede B (B01, B02).

Dňa 5. 1. 2018 bol v st. 3 445,9 v nosníku č. 1572/trieda razenia B01 osadený konvergenčný profil č. 108. Najväčší nárast deformácií bol medzi bodmi 2-3 -23,8 mm ale už od cca 20. 1. 2018 bol vývoj deformácií ustálený ako vidno na obr. č. 59.

Od st. 3 477 bola trieda razenia zmenená z B01 na A1/1 – obr. 58 v závislosti na zlepšení inžinierskogeologických podmienok, kde bola pevnosť horninového masívu.

Dňa 16. 1. 2018 bol staničení 3 486,60 m v zábere č. 1594 osadený konvergenčný profil KVG-109. Sledovaním vývoja deformácií na tomto profile došlo dňa 4. 2. 2018 k prekročeniu očakávanej konvergenencie medzi bodmi 4-5 a postupne aj medzi bodmi 3-4, 2-5, 1-5 s najväčšou hodnotou deformácie -35,8 mm – obr. 60.

Vzhľadom k opätovnému zhoršeniu geotechnických podmienok a budúcemu rozširovaniu profilu v dôsledku prechodu do zálivu bola trieda razenia A1/1 späť zmenená na B01 a následne na triedu razenia pre záliv LB-B0.

ON1571	B01	3445,19	2419,43	1,59	5.1.18 4:15		
ON1572	B01	3446,78	2421,02	1,59	5.1.18 17:00	KVG-108	3445
ON1573	B01	3448,37	2422,61	1,59	6.1.18 7:45		
ON1574	B01	3450,16	2424,40	1,79	6.1.18 20:00		
ON1575	B01	3451,95	2426,19	1,79	7.1.18 10:30		
ON1576-1586	B01	3453,74 - 3470,87		1,6 - 1,8	7.1. - 13.1.2018		
ON1587	B01	3472,67	2446,91	3472,67	13.1.18 17:15		
ON1588	B01	3474,46	2448,70	1,79	14.1.18 6:00		
ON1589	B01	3476,27	2450,51	1,81	14.1.18 23:30		
ON1590	B01	3477,67	2451,91	1,40	15.1.18 6:00		
1591	A1/1	3480,53	2454,77	2,86	15.1.18 20:45		
1592	A1/1	3482,67	2456,91	2,14	16.1.18 8:00		
1593	A1/1	3486,18	2460,42	3,51	16.1.18 21:30		
1594	A1/1	3488,11	2462,35	1,93	17.1.18 22:00	KVG-109	3485
1595	A1/1	3490,45	2464,69	2,34	18.1.18 12:00		
ON1596	B01	3490,73	2464,97	0,28	19.1.18 5:15		
ON1597	B01	3492,42	2466,66	1,69	19.1.18 5:45		
ON1598	B01	3493,96	2468,20	1,54	19.1.18 23:30		
ON1599	B01	3495,55	2469,79	1,59	20.1.18 17:30		
ON1600	LBB0	3496,18	2470,42	0,63	2.2.18 1:30		

Obr. č. 58 – Výrez z grafikonu razenia - JTR

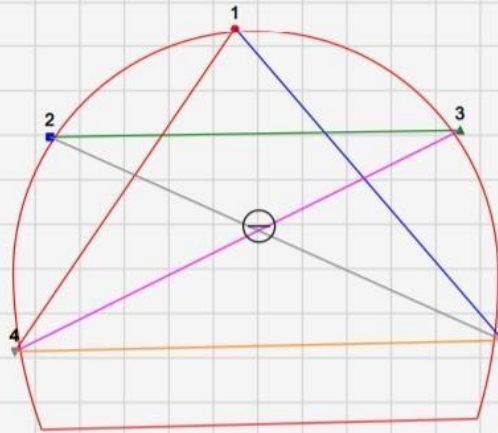


RAZENIE TUNELA  
PRIMÁRNE OSTENIE  
Národná diaľničná spoločnosť

Stavba : D1 LIETAVSKÁ LÚČKA -VIŠŇOVÉ -DUBNÁ SKALA  
OBJEKT : JTR - ZÁP. PORTÁL (SOUTH TUNNEL - WEST)

TUNEL VIŠŇOVÉ  
Staničenie :3445,90 - Prof.108

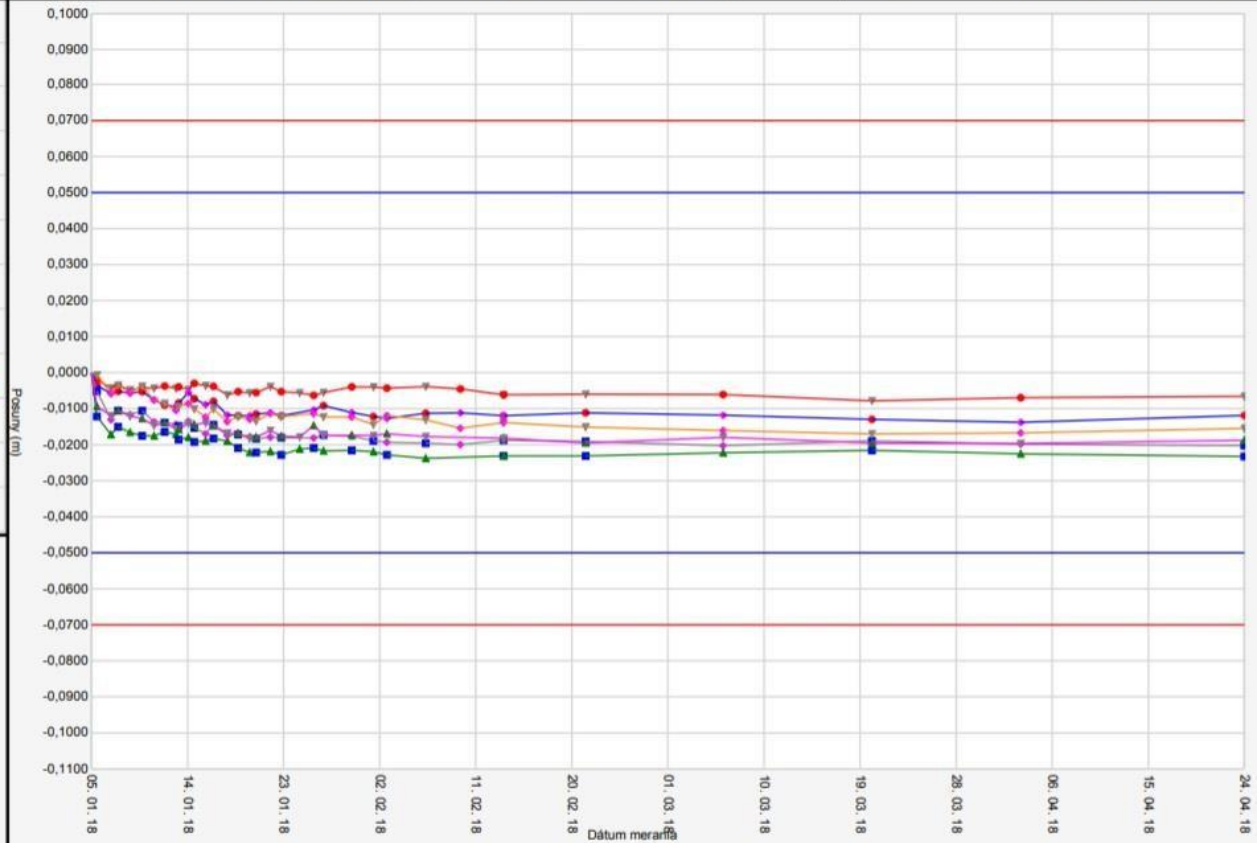
Pohľad vo smere stúpania staničenia



### KONVERGENCIA

Dátum merania

Profil 108 (B01, bl.J205) (5.1.2018 17:00)  
Osadenie profilu. (20:30) Nulté meranie. (6.1.)  
NNČ 4. (7.1.) NNC3. (8.1.)NNČ1.(25.1.)  
Nemer5. (9.2.) Nemer3.



Obr. č. 59 – Vývoj konvergencií na konvergenčnom profile KVG-108, JTR [zdroj: GTM stavby]



RAZENIE TUNELA  
PRIMÁRNE OSTENIE  
Národná diaľničná spoločnosť

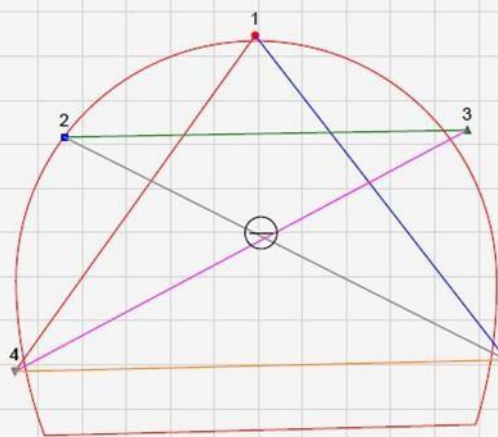
Stavba : D1 LIETAVSKÁ LÚČKA -VIŠŇOVÉ -DUBNÁ SKALA

TUNEL VIŠŇOVÉ

OBJEKT : JTR - ZÁP. PORTÁL (SOUTH TUNNEL - WEST)

Staničenie :3486,60 - Prof.109

Pohľad vo smere stúpania staničenia



**KONVERGENCIA**

Dátum merania

Profil 109 (A11, bl. J208) (17.1.2018 22:00)  
Osadenie profilu. (18.1. 3:00) Nulté meranie.  
(20.1.)NNČ 4,5. (22.1.) NNČ4. (26.1.) NNČ5.  
(1.2.) NNČ5.



Obr. č. 60 – Vývoj konvergencií na konvergenčnom profile KVG-109, JTR [zdroj: GTM stavby]

### **4.3.1 ČIASTKOVÝ ZÁVER PRE ÚSEK Č. 3**

Zo sledovania týchto dvoch konvergenčných profilov vyplýva, že pri razení v tomto úseku bola vhodnejšie zvolená trieda razenia B01 s použitím oceľových nosníkov nakoľko pevnosť horninového masívu kolísala v závislosti na tektonickom porušení.

Pri razení prieskumnej štôlne boli na čelbe lokalizované skôr porfyrické granitoidy a horninový masív bol kompaktnjší zatiaľ, čo pri razení južnej tunelovej rúry sa stretávame s tmavosivými biotitickým granodioritmi, ktoré sú síce strednej až vysokej pevnosti ale porušené tektonikou vo viacerých smeroch, čo znižuje celkovú stabilitu horninového masívu.

## 5 ZÁVER

Cieľom teoretickej časti bakalárskej práce bolo oboznámenie s princípmi geotechnického monitoringu na tuneloch, s jeho základnými cieľmi pri realizácii „Observačných metód výstavby predovšetkým podzemných stavieb“ (NRTM), s varovnými stavmi a s používanou inštrumentáciou pre nadviazanie na praktickú časť.

V nadväzujúcej praktickej časti boli po oboznámení sa so základnými parametrami tunela Višňové, históriou geotechnického prieskumu až k súčasnému stavu výstavby, metódou razenia a schváleným geotechnickým monitoringom pre tunel, na troch konkrétnych úsekoch vyrazeného tunela popísané skutočne zachytené geotechnické podmienky a tieto porovnané s predpokladom z geotechnického prieskumu realizovaného formou prieskumnej štôlne.

Cieľom praktickej časti bolo potvrdiť dôležitosť vykonávania geotechnického prieskumu a geotechnického monitoringu pre tunely prostredníctvom dvoch vybraných metód monitoringu: geologickej dokumentácie a merania konvergencií. Výsledkom bolo potvrdenie tejto dôležitosti, keďže sa jedná o dlhý tunel v zložitých a meniacich sa podmienkach. Samotný geotechnický prieskum dal prehľad očakávaných geotechnických podmienok na jednotlivých úsekoch, čo umožňuje zhotoviteľovi prispôbiť sa budúcim podmienkam.

Zatiaľ čo geotechnický monitoring prostredníctvom geologickej dokumentácie podáva informácie pre posúdenie skutočných geologických pomerov a umožňuje úpravu geotechnických parametrov a geotechnického modelu použitého pre tunel (vyjadrený zmenami v predpokladaných vstrojovacích triedach).

Konvergenie zas ukazujú skutočné správanie sa systému horninový masív – primárne ostenie a správnosť prijatých rozhodnutí a z toho vyplývajúcich zmien zaistovania jadra (sklolaminátovými kotvami). A súčasne včas varujú zhotoviteľa pred kritickými alebo havarijnými stavmi (prekročenie varovných a výstražných hodnôt konvergencií) a dáva možnosť, zosílením výstroje, udržať deformácie v medziach očakávaných v projektovej dokumentácii.

## 6 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] KLEPSATEL, F. – KUSÝ, P. – MAŘÍK, L. 2003. Výstavba tunelů ve skalních horninách. 1.vyd. Bratislava: Jaga group v. o. s., 2003. 215 s. ISBN 80-88905-43-5
- [2] ROZSYPAL, A. 2001. Kontrolní sledování a rizika v geotechnice. 1. vyd. Bratislava: Jaga group v.o.s., 2001. 198 s. ISBN 80-88905-44-3
- [3] Ministerstvo dopravy SR, sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií: TKP – časť 28: Geotechnický monitoring pre tunely a prieskumné štôlne. december 2016, Bratislava
- [4] Ministerstvo dopravy, odbor pozemných komunikací a územního plánu: TP – Geotechnický monitoring tunelů pozemných komunikací. 2011, Praha
- [5] ROZSYPAL, A. – VESELÝ, V. – EBERMANN, T. 2010. Interní technická norma: Monitoring tunelů. ARCADIS Geotechnika a.s., 2010
- [6] FRANKOVSKÝ, M., MITRENGA, P. 2016. Najdlhší slovenský tunel Višňové vo výstavbe. Tunel. č. 4/2016. 66 s.
- [7] BALUŠÍK, P., MAŘÍK, L. 2009. Porovnání metod NRTM a ADECO-RS na příkladu italského tunelu Monte Coneo. Tunel. č. 1/2009. 104 s.
- [8] MATEJČEK, A. 2007. Závěrečná správa Diaľnica D1 Višňové – Dubná Skala Inžinierskogeologická časť. GEOFOS s.r.o., Žilina, 2007
- [9] Združenie DÚHA – Salini Impregilo. Technická správa, Geotechnický monitoring – Tunel Višňové, Razenie. 2015
- [10] Združenie GEO-VIŠŇOVÉ. Výsledky geotechnického monitoringu a skúšok in situ v prieskumnej štôlni v úseku ZP 2 400,0 - 3 500,0 m (relatívne staničenie 1 399,60 – 2 499,60 m), VP 5 700,0 - 5 000,0 m (relatívne staničenie 2 780,63 – 3 480,63 m). Žilina: INGEO a.s., 31.01.2002.
- [11] Združenie GEO-VIŠŇOVÉ. Závěrečná správa – Zhodnotenie geotechnických parametrov horninového masívu. Žilina: INGEO a.s., 31.12.2002
- [12] Združenie DÚHA – Salini Impregilo. Mesačná správa – geológia – Mesiac 12/2016, Geotechnický monitoring, Tunel Višňové. 2016
- [13] Združenie DÚHA – Salini Impregilo. Mesačná správa – geológia – Mesiac 01/2018, Geotechnický monitoring, Tunel Višňové. 2018



- [14] ROZSYPAL, A.: Inženýrské stavby. Řízení rizik. JAGA. Bratislava. 2008.
- [15] MARSCHALKO, M. – MULLEROVA, J. – IDEŠ, D. Svahové deformace – výukové multimediální texty. VŠB, Technická univerzita Ostrava. [online].  
Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/svadef/>
- [16] VALKO, J. – JANEGA, P. – GREGA, L. – JURÍK, I. – UDIČ, M. –  
KAŇUŠČÁK, M. 2015. Tunel Višňové. [online]. Dostupné z:  
<https://www.asb.sk/inzinierske-stavby/tunely/tunel-visnove>
- [17] Združenie Dúha – Salini Impregilo. Geologický pôdorys tunela –  
V401-09.01\_VTD\_R\_TN\_EX\_LPL. 2016
- [18] HORÁK, V.: Prednáška - Podzemní stavby – Poklesová aktivita

## SÚPIS OBRÁZKOV A TABULIEK

Obr. č. 1 – Stupne varovných stavov – príklad pre NRTM [13] .....	18
Obr. č. 2 – Stavy vysokej miery bezpečnosti [13] .....	18
Obr. č. 3 – Stav prípustných zmien [13] .....	19
Obr. č. 4 – Stav medznej prijateľnosti [13] .....	19
Obr. č. 5 – Kritický stav [13] .....	20
Obr. č. 6 – Havarijný stav [13] .....	21
Obr. č. 7 – Meranie konvergencií tunela konvergenčným pásmom [4] .....	22
Obr. č. 8 – Usporiadanie merania deformácií ostenia optickým meraním [4] .....	22
Obr. č. 9 – Príklad tunelu s nízky nadloží s extenzometrami, inklinometrickým vrtom zhotoveným z povrchu tunela, tlakovými poduškami, strunovými deformetrami a konvergenčnými bodmi [4] .....	23
Obr. č. 10 – Schéma tyčového extenzometra [2] .....	24
Obr. č. 11 – Princíp merania inklinometrickou sondou [2] .....	25
Obr. č. 12 – Schéma drátového deformetru pre meranie posuvov vo vrtu [2] .....	25
Obr. č. 13 - Určovanie polohových zmien stabilizovaných bodov trigonometrickým meraním [2] .....	26
Obr. č. 14 – Znázornenie poklesovej kotliny [18] .....	27
Obr. č. 15 – Schéma osadenia náklonomeru [zdroj: Geokon] .....	27
Obr. č. 16 – Hydrostatická nivelácia pre meranie na zosuvoch, v podzemných priestoroch, pivniciach a pod. [4] .....	28
Obr. č. 17 – Schéma trhlinomeru [15] .....	29
Obr. č. 18 – Meranie napätia tlakovými poduškami [4] .....	30
Obr. č. 19 - Tlakové podušky umiestnené na stykoch oceľových skruží [9] .....	30
Obr. č. 20 – Osadenie strunový deformetru na oceľovej výstuži tunelového ostenia [2] .....	31
Obr. č. 21 – Schéma dynamometru [15] .....	32
Obr. č. 22 – Schéma uzatvoreného piezometru [15] .....	33
Obr. č. 23 – Otvorený jednorubicový piezometer [2] .....	34
Obr. č. 24 – Tunelová inštrumentácia: 1 – jednotlivé odčítavacie zariadenie, 2 – piezometer, 3 - tyčový extenzometer, 4 – zaťažovacia bunka, 5 – tlaková bunka, 6 - tenzometer, 7 - náklonomer, 8 – trhlinomer, 9 - viacnásobné odčítavacie zariadenie, 10	

- inklinometer, 11 – pásový extenzometer, 12 - konvergenčné meradlo [zdroj: Geokon]	35
Obr. č. 25 – Obhliadka otvoreného výrubu	36
Obr. č. 26 – Obhliadka otvoreného výrubu	37
Obr. č. 27 – Vedenie diaľničného úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala [6]	38
Obr. č. 28 – Geomorfologické pomery [16]	39
Obr. č. 29 - Situácia tunelových rúr a novej časti odvodňovacej štôlne [výrez: 17]	41
Obr. č. 30 - Upravená poloha štôlne vzhľadom voči tunelovým rúram s riešením odvádzania horninových vôd [6]	42
obr. č. 31 - Princíp ADECO-RS [18]	45
Tab. č. 1 - Geotechnické kategórie pre ADECO-RS	45
Tab. č. 2 – Indexy inžinierskogeologických typov zastúpených v prieskumnej štôlni...	47
Obr. č. 32 – Body pre meranie konvergencií [9]	49
Tab. č. 3 - Meranie deformácií – rozdelenie profilov	49
Obr. č. 33 – Radiálne piezometre – ich umiestnenie v profile tunela [9]	50
Obr. č. 34 – Tyčové extenzometre – ich umiestnenie v profile tunela [9]	50
Obr. č. 35 – Monitoring napätí v ostení a v kotvách – ich umiestnenie v profile tunela [9]	51
Obr. č. 36 – Monitoring napätí v skružiach – ich umiestnenie v profile tunela [9]	52
Obr. č. 37 - Monitoring sekundárneho ostenia – terče a flat-jacky – ich umiestnenie v profile tunela [9]	53
Obr. č. 38 – Monitoring sekundárneho ostenia – terče a doorstoppers – ich umiestnenie v profile tunela [9]	53
Tab. č. 4 – Frekvencia meraní	54
Tab. č. 5 - Tabuľka očakávaných, varovných a výstražných hodnôt pre každú vstrojovacu triedu – tab. 1.	55
Obr. č. 39 – Lokalizovanie úseku štôlne Z28/2 + KPVZ21 a STR - B03 + KVG-77 [výrez: 17]	57
Obr. č. 40 – Vývoj deformácií na konvergenčnom profile KPVZ-21 [10]	58
Obr. č. 41 – Dokumentácia čelby STR, B02, st. 22 339, dňa 20.12.2016	59
Obr. č. 42 – Výrez z grafikonu razenia - STR	60

Obr. č. 43 – Dokumentácia čelby STR, B03, st. 22 344, dňa 23.12.2016 .....	61
Obr. č. 44 - Vývoj priečných deformácií na konvergenčnom profile KVG 77 [zdroj: GTM stavby] .....	62
Obr. č. 45 - Vývoj konvergencií medzi jednotlivými bodmi na KVG-77 [zdroj: GTM stavby] .....	63
Obr. č. 46 a 47 – Inštalácia invertu v st. 22 346 – 22 355 v dňoch 15. – 20.3.2017 .....	64
Obr. č. 48 – Ustálené hodnoty priečných deformácií na bodoch 4 a 5 na KVG 77 [zdroj: GTM stavby] .....	65
Obr. č. 49 – Lokalizovanie úsekov Z30/3 a JTR A1/1 + KVG-113 [výrez: 17] .....	67
Obr. č. 50 – Výrez grafikonu razenia - JTR .....	68
Obr. č. 51 - Dokumentácia čelby JTR, A1/1, st. 3 595,89, dňa 3.3.2018 .....	68
Obr. č. 52 - Dokumentácia čelby JTR, A1/1, st. 3 604,90 dňa 5.3.2018 .....	69
Obr. č. 53 – Vývoj priečných deformácií na konvergenčnom profile KVG-113, JTR [zdroj: GTM stavby] .....	70
Obr. č. 54 - Lokalizovanie úsekov Z30/1 a JTR – KVG-108 a 109 [výrez: 17] .....	72
Obr. č. 55 – Vývoj konvergencií na profile KPVZ-25 [10] .....	73
Obr. č. 56 – Dokumentácia čelby JTR, A1/1, st. 3486,18, dňa 16.1.2018.....	74
Čelba je budovaná sivými až tmavosivými biotitickými granodioritmi .....	74
Obr. č. 57 – Dokumentácia čelby JTR, B01, st. 3495,55, dňa 20.1.2018 .....	74
Obr. č. 58 – Výrez z grafikonu razenia - JTR .....	75
Obr. č. 59 – Vývoj konvergencií na konvergenčnom profile KVG-108, JTR [zdroj: GTM stavby] .....	76
Obr. č. 60 – Vývoj konvergencií na konvergenčnom profile KVG-109, JTR [zdroj: GTM stavby] .....	77

## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

obr.	obrázok
tab.	tabuľka
atď.	a tak ďalej
tzn.	to znamená
tzv.	tak zvané
napr.	napríklad
č.	číslo
resp.	respektíve
rel.	relatívne
abs.	absolútne
st.	staničenie
ig typ	inžinierskogeologický typ
km/h	kilometer za hodinu
mm/deň	milimeter za deň
min.	minimálny
max.	maximálny
NRTM	Nová rakúska tunelovacia metóda
ADECO-RS	Analysis of <b>CO</b> ntróled <b>DE</b> formation in <b>R</b> ocks and <b>S</b> oils (Riadenie deformácií v horninách a zeminách)
TBM	Tunnel Boring Machine (tunel vrtajúci stroj)
GTM	geotechnický monitoring
STR	severná tunelová rúra
JTR	južná tunelová rúra
TM	tunelometer
RMR	rock mass rating (klasifikácia horninové masívu)
KVG	konvergencia
KPVZ	konvergenčný profil prieskumnej štólne – západný portál
A0, A1, B0, LB-B0	vystrojovacie triedy
3D	trojrozmerný
D1	diaľničný úsek
pH	potential of hydrogen (potencial vodíku)