

Zhodnotenie výstavby tunela Považský Chlmec z hľadiska nadvýlomov

Anton Petko

Abstrakt

Výstavba diaľničného tunela Považský Chlmec dĺžky 2,2 km na úseku diaľnice D3 Žilina Strážov – Žilina Brodno je už ukončená a tunel je od decembra 2017 v prevádzke. To je vhodný čas na bilancovanie projektu ako takého. Medzi podstatné technicko-ekonomické ukazovatele patrí aj výskyt, príčina a vyplňanie nadvýlomov a náklady s tým spojené. V príspevku je podané zhodnotenie nadvýlomov pri razení tunela Považský Chlmec od príčin ich vzniku až po spôsob ich vyplňania. Konečná analýza a zhodnotenie je urobené po ukončení betonáže sekundárneho ostenia. Do celkovej bilancie tu sú zahrnuté aj nevyznené deformácie primárneho ostenia a zhodnotenie nadvýlomov v závislosti jednotlivých výrubových tried a technologických parametrov razenia.

Kľúčové slová

Nadvýlom, výstavba tunela, primárne ostenie, sekundárne ostenie, striekaný betón

Abstract

Construction of the 2.2 km long motorway tunnel Považský Chlmec in the section of the D3 motorway Žilina Strážov - Žilina Brodno is already finished and the tunnel is in operation since December 2017. This is a good time to evaluate the project. The overbrakes, causes of their occurrence and costs for backfilling are an significant technical and economic indicators. The paper presents an assessment of overbrakes by excavation of the Považský Chlmec tunnel from the causes of its origin to the way of its backfilling. The final analysis and evaluation is done after finishing of secondary lining. The unfulfilled deformations of primary lining and the assessment of overbrakes are included in the overall balance, depending on the individual excavation rock classes and the technological parameters of excavation.

Key words

Tunnel construction, Primary lining, Secondary lining, Overbreaks, Shotcrete, Pavement, Tunnel technology

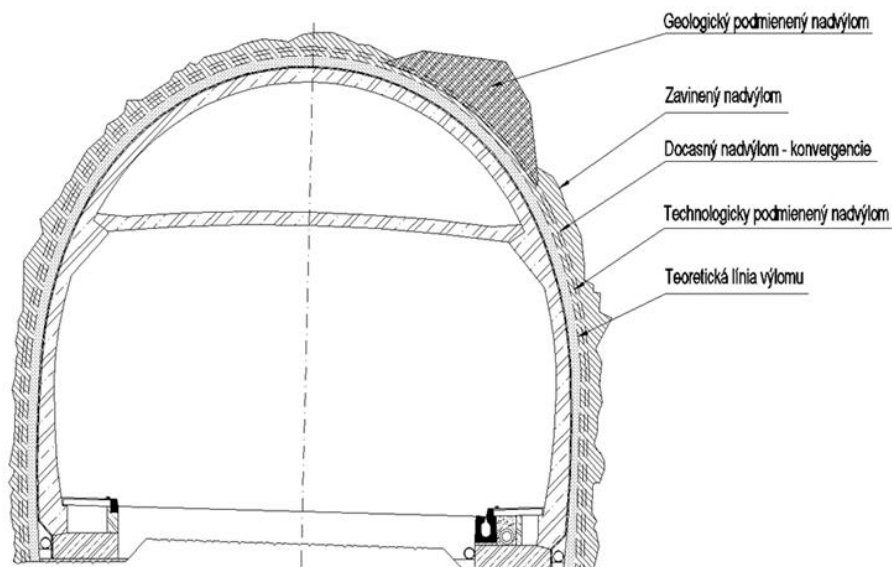
1 Úvod

Nadvýlomy vznikajú vo väčšej či menšej miere pri razení a budovaní tunelov jednak ako technologická nutnosť, ale môžu byť spôsobené aj nezvládnutím technológie, či geologickými pomermi. Majú výrazne negatívny dopad na spotrebu materiálu, náklady s manipuláciou horniny z nadvýlomu a celkovú ekonomiku stavby.

„Nadvýlom možno všeobecne definovať ako kladný rozdiel medzi skutočným hrubým a projektovaným hrubým pričným prierezom tunela.“ [1] K tejto definícii si dovoľím pridať aj to, že k nadvýlomu patrí aj technologicky, geotechnicky a staticky naddimenzovaná konštrukcia ostenia a neodôvodnené stavebné tolerancie.

Tento objem je treba vyplniť striekaným betónom a rozpojenie, odvoz a vyplnenie týchto nadvýlomov objednávateľ neuhrádza. Je to vyslovene na škodu zhotoviteľa (až na odôvodnené prípady – tzv. geologicky podmienené nadvýlomy, technologicky nutné nadvýlomy a nevyznené konvergencie (inak nazývané aj dočasné nadvýlomy). V každom prípade je

nadvýlom a jeho nutné vyplňanie negatívnym faktorom, ktorý zvyšuje náklady na podzemné dielo či už na strane objednávateľa alebo zhotoviteľa (Obr. 1).



Obr. 1 Ilustračný priečny rez a druhy nadvýlomov

1.1. Druhy nadvýlomov

Nadvýlomy z hľadiska technologickej nutnosti môžeme rozdeliť na tie, ktorým sa z dôvodu technológie razenia a metódy razenia nevieme vyhnúť. Tu patria:

- nadvýlomy z nevyznených konvergencií,
- technologicky nutný nadvýlom.

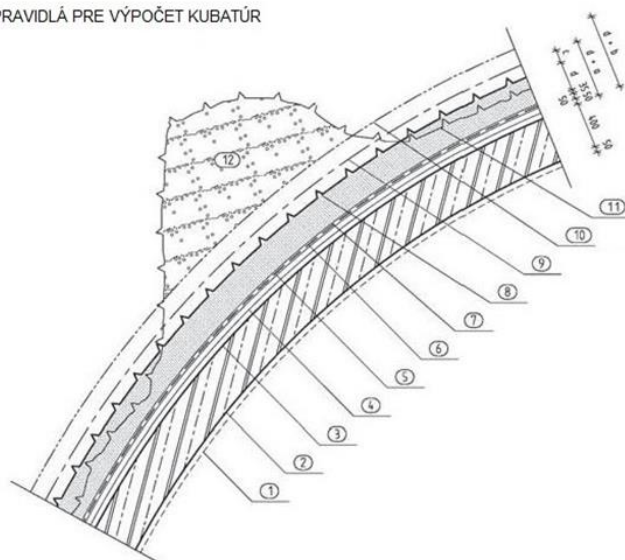
Nadvýlomy, ktorým sa pri razení vyhnúť možno, ale aj napriek tomu sa vyskytujú pravidelne sú:

- zavinený nadvýlom ako dôsledok porušenia technologickej disciplíny,
- z časti aj geologicky podmienený nadvýlom, ktorému sa dá použitím určitých opatrení vyhnúť.

Nadvýlomy pri razení tunelov možno z hľadiska doby trvania rozdeliť na:

- dočasné nadvýlomy,
- trvalé nadvýlomy.

PRAVIDLÁ PRE VÝPOČET KUBATÚR



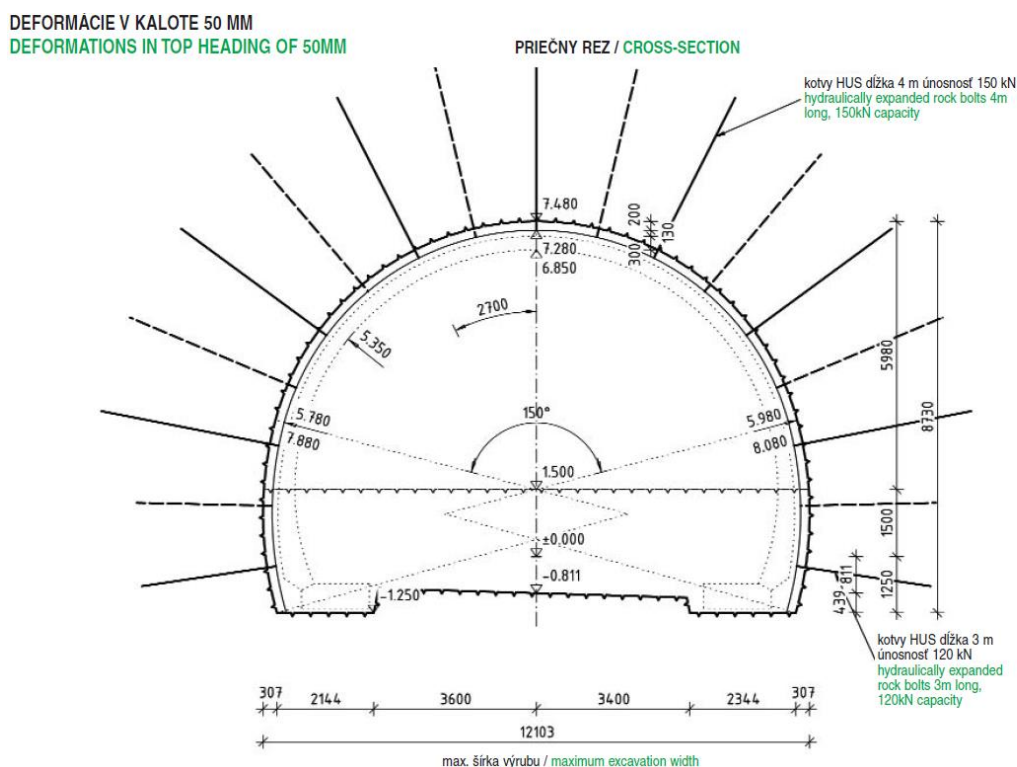
- 1 - HRANICA PROFILU TUNELA STANOVENÁ V DRS
- 2 - LÍCE DEFINITÍVNEHO OSTENIA
- 3 - RUB DEFINITÍVNEHO OSTENIA
- 4 - NADVÝŠENIE PRIMÁRNEHO OSTENIA - STAVEBNÝ TOLERANCIA ZHOTOVITEĽA 50mm
- 5 - NADVÝŠENIE PRIMÁRNEHO OSTENIA O PREDPOKLADANÉ DEFORMÁCIE 50 mm
- 6 - NADVÝŠENÝ LÍC PRIMÁRNEHO OSTENIA O HRúbKU HYDROIZOLAČNÉHO SÚVRSTVIA
- 7 - NADVÝŠENÝ LÍC PRIMÁRNEHO OSTENIA
- 8 - NADVÝŠENÝ RUB PRIMÁRNEHO OSTENIA - HRANICA VÝRUBU
- 9 - HRANICA TECHNOLOGICKY PODMIENENÉHO NADVÝLOMU PREPLATENÁ PAUŠÁLNE VRÁTANE VÝPLNE STRIEKANÝM BETÓNOM
- 10 - HRANICA GEOLOGICKY PODMIENENÉHO NADVÝLOMU
- 11 - SKUTOČNÝ TVAR VÝRUBU
- 12 - NEZAVINENÝ NADVÝLOM PREPLÁCANÝ PO POSÚDENÍ GEOLÓGOM OBJEDNÁVATEĽA
- a - TECHNOLOGICKY PODMIENENÝ NADVÝLOM VRÁTANE NADVÝŠENIA PRE KONVERGENCIE, TOLERANCIE PRIMÁRNEHO OSTENIA A HYDROIZOLAČNÉ SÚVRSTVIE
- b - GEOLOGICKY PODMIENENÝ NADVÝLOM VRÁTANE NADVÝŠENIA PRE KONVERGENCIE, TOLERANCIE PRIMÁRNEHO OSTENIA A HYDROIZOLAČNÉ SÚVRSTVIE
- c - SKUTOČNÝ TECHNOLOGICKY PODMIENENÝ NADVÝLOM
- d - HRúbKA PRIMÁRNEHO OSTENIA

Obr. 2 Hranice pre výpočet nadvýlomov

2 Základné údaje

Tunel Považský Chlmec bol už na konferencii Tunely a podzemné stavby prezentovaný v roku 2015. Vtedy sa príspevok týkal hlavne náročnosti termínu výstavby, organizácie raziacich prác, zabezpečenia kapacít a výkonov pri razení. Pri tej príležitosti bol tunel ako stavba podrobne predstavený a preto teraz na úvod zopakujem len hlavné parametre diela, geologického prostredia a technológiu razenia.

- Dĺžka razených častí tunelov - severná tunelová rúra 2200,00 m, južná tunelová rúra 2120,50 m.
- Dve tunelové rúry, každá s dvoma jazdnými pruhmi v jednom smere.
- Plocha hrubého výlomu tunelovej rúry: 83,1 – 112,02 m² (podľa geológie a vstrojovacej triedy).
- Tunel bol razený vo flyšových súvrstviach tvorených prevažne ílovcami, pieskovicami a polymyknými zlepcami.
- Šírkové usporiadanie: kategória tunela 2T – 8,0 podľa STN 73 7507 r. 2008 (dva jazdné pruhy, šírka medzi obrubníkmi je 8 m).
- Tunel má dva odstavné zálivy v každej rúre a osem priečnych prepojení.
- Vetranie tunela je priebežné zabezpečené prúdovými ventilátormi.
- Tunel bol razený Novou rakúskou tunelovacou metódou – cyklickým razením s rozpojovaním vrtno – trhacími prácami, z dôvodu krátkej doby výstavby bol razený až šiestimi čelbami súčasne.
- Na víťanie vývrtov (Obr. 4) sa používali dvojlafetové víťacie vozy Atlas – Copco Rocket Boomer E2C, vybavené laserovým navádzaním, počítačom a plošinou na nabíjanie. Používal sa neelektrický roznetný systém NITRONEL.



Obr. 3 Príklad -výrubová trieda 5.1 podľa NRTM. Tvar v priečnom reze s primárnym ostením, horizontálne členený výrub.

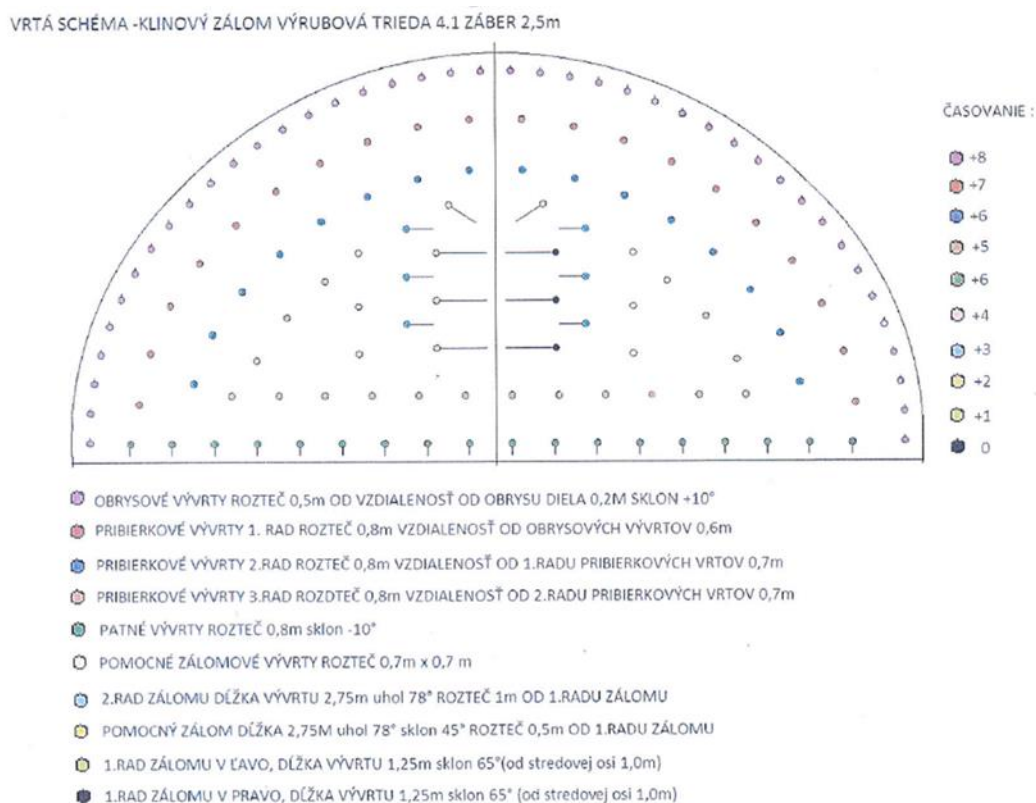
3 Geologické prostredie tunela

Územie v trase tunela Považský Chlmec je súčasťou pieninského bradlového pásma. Severná a južná časť koridoru tunela Považský Chlmec je budovaná snežnickým súvrstvom v zastúpení flyšového súvrstvia vápnitých ílovcov a pieskovcov. V **snežnickom súvrství kysuckej skupiny** sú vrchy pieskovcov hrúbky 10 - 16 cm. Masívne vrstvy sú časté v súboroch, v ktorých prevládajú pieskovce nad ílovcami (v pomere 5:1). V slieňovcoch prítomné laminované vrstvy sú zložené z prachovcov. Snežnické súvrstvie sa vyznačuje stálosťou hrúbky vrstiev. **Zlepencový flyš kysuckej skupiny** sa vyznačuje veľkou hrúbkou. Utvárajú akumulácie a šošovky veľkej hrúbky do 100 - 400 m, a objemu do 5 - 8 km³, často s blokmi a balvanmi. Jednotlivé telesá sú hrubé od 2 do 12 m, sú často gradačne zvrstvené alebo s inverziou gradácie dobre zaoblených úlomkov veľkosti balvanov (do veľkosti až 2,5 m) až prach. V zlepencoch prevládajú karbonátové úlomky, ktoré tvoria asi 50 %, nad vulkanickými horninami (cca 30 %), klastikami do 10 - 12 %, intruzívami a metamorfity do (5 %).

4 Technológia razenia

Razenie oboch razených tunelových rúr prebiehalo podľa zásad Novej rakúskej tunelovej metódy. Čelba bola delená na kalotu a jadro, protiklenbu nebolo potrebné budovať v celom úseku tunelových rúr.

Na rozpojovanie horniny boli použité prevažne (95 %) vrtno-trhacie práce (Obr. 4). Ostatný podiel tvorilo mechanické rozpojovanie tunelovým bagrom Liebherr 944 Litronic, resp. CAT 328D LCR.

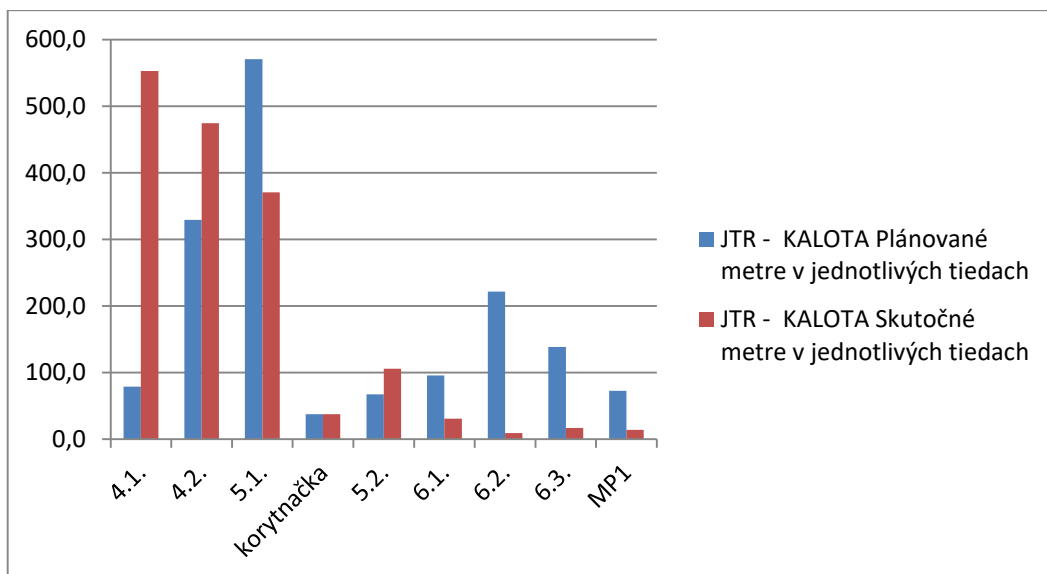


Obr. 4 Vrtná a odpalová schéma pre kalotu

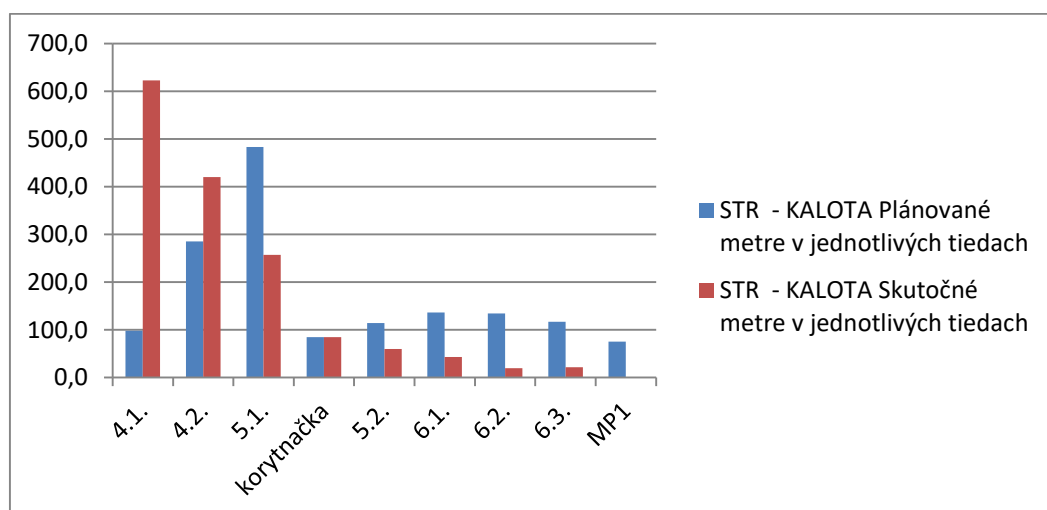
Odtážba bola realizovaná čelnými kolesovými nakladačmi CAT 966 K do dumprov CAT 730, ktoré rozpojenú horninu vyvážali na depóniu. Čelba sa po trhacích prácach začist'ovala (obtŕhala) od uvoľnených kusov horniny tunelovým bagrom Liebherr 944 Litronic, resp. CAT 328D LCR. Striekany betón bol na tejto stavbe aplikovaný pomocou striekacích zariadení MEYCO Potenza s teoretickým výkonom 30 m³ striekaného betónu/hodinu s použitím bezalkalického urýchľovača tuhnutia BASF Masterrock 183. Trieda betónu primárneho ostenia je C 25/30. Súčasťou primárneho ostenia sú priehradové nosníky typu ARCUS, KARI siete a hydraulicky upínateľné svorníky HUS dĺžky 3 až 6 m, resp. IBO alebo SN kotvy. Čelba pri razení bola delená na kalotu a stupeň.

5 Výrubové triedy

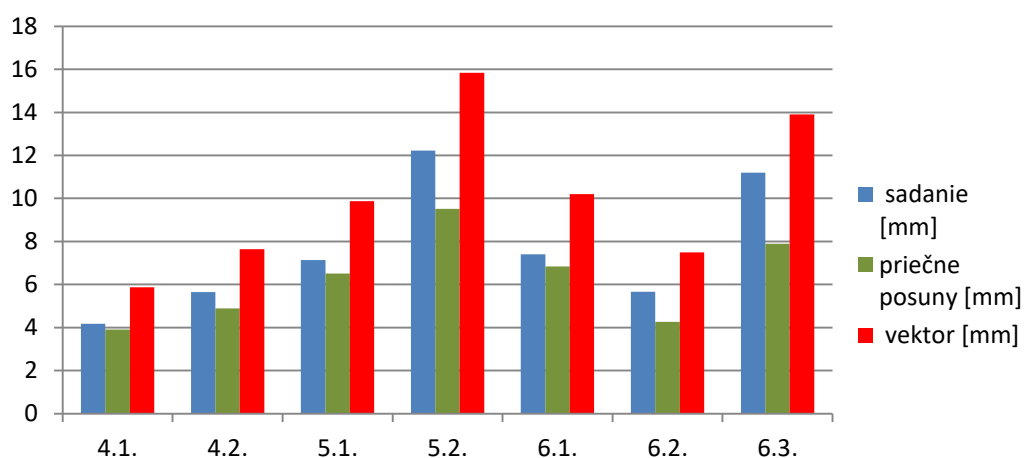
Z hľadiska tvorby nadvýlomov sú dôležité parametre záberu cyklického razenia, vystrojovacie prvky a jednotlivé výrubové triedy (Obr. 3). Na tuneli Považský Chlmec boli realizované úseky razenia v zastúpení jednotlivých výrubových tried podľa nasledujúcich grafov.



Obr. 5 Porovnanie plánovaných a skutočne zastihnutých výrubových tried v JTR



Obr. 6 Porovnanie plánovaných a skutočne zastihnutých výrubových tried v STR



Obr. 7 Konvergenie podľa výrubových tried



Obr. 8 Čelba v kompaktných zlepencoch



Obr. 9 Čelba v ílovcoch a pieskovcoch

6 Metodika meraní a vyhodnotenie nadvýlomov.

Na komplexnú analýzu nadvýlomov na tunely Považský Chlmec bolo potrebné vyhodnotiť nasledovné dielčie úlohy:

Úloha č. 1. Stanoviť a kvantifikovať nadvýlomy pri razení vo vzťahu k rubu primárneho ostenia - línii 8 (Obr. 2).

Jednotlivé zábery pri razení kaloty boli po odťažbe a začistení výrubu zamerané na líci výrubu po jeho obvode vo vzdialenosti približne 50 cm. Meranie bolo realizované totálnou stanicou Leica. Následne sa meranie vyhodnotilo a spracovalo v počítači. Namerané body tvoria polygón ktorý je geometrickou hranicou plochy výlomu. Druhou hranicou je pre každú výrubovú triedu projektovaná línia výrubu 8 (Obr. 2). Výsledkom bol protokol (Obr. 10) a výpočet plochy nadvýlomu v konkrétnom profile v m². Takto bolo zameraných a vyhodnotených celkovo 719 profilov na razenom úseku 2 152,50 m v severnej tunelovej rúre a 659 profilov na razenom úseku 2 110,10 m v južnej tunelovej rúre. To znamená zameranie profilu priemerne každé 3 metre. Tieto merania reprezentujú rozsiahly súbor dát, z ktorého je možné vypočítať pomerne presné priemerné hodnoty. Tieto zamerané nadvýlomy sú v štruktúre:

- Technologicky nutný nadvýlom pre priemernú dĺžku záberu 2,5 m – hrúbka h=18 cm (hodnota teoreticky vypočítaná z uhlov konvergencie a divergencie obrysových vrtov v závislosti na dĺžke záberu),
- Zavinený nadvýlom,
- Geologicky podmienený nadvýlom malého rozsahu, nedokumentovaný osobitne.

Vyhodnotenie úlohy č. 1 (tab. 1 a 2)

Priemerný nadvýlom na bežný meter diela v severnej tunelovej rúre: 4,43 m³

Priemerný nadvýlom na bežný meter diela v južnej tunelovej rúre: 4,14 m³

Priemerná hrúbka nadvýlomu v severnej tunelovej rúre: 24,1 cm

Priemerná hrúbka nadvýlomu v južnej tunelovej rúre: 22,5 m

Na týchto úsekoch neboli zaznamenané geologicky podmienené nadvýlomy takého rozsahu aby ich bolo možné zmysluplne zdokumentovať. Na účely nároku zhotoviteľa to nemalo zmysel, pretože geologické riziko v tomto prípade zmluvného vzťahu išlo za zhotoviteľom. Vyskytovalo sa však mnoho geologicky podmienených nadvýlomov menšieho rozsahu nepresahujúcich líniu 10 (Obr. 2). Tieto boli spôsobené vrstevnatosťou a plochami odľučnosti hornniny hlavne v úsekoch razených v ílovcoch a pieskovcoch. V polohách zlepcov to boli zasa kríženia tektonických porúch a puklinatosť. Dokumentovať zvlášť geologicky podmienené nadvýlomy a zavinené nadvýlomy v tomto prípade nemalo zmysel a vyhodnotil som ich v spoločnej skupine. Po odrátaní hrúbky technologicky nutného nadvýlomu h = 18 cm (hodnota pre dĺžku záberu 2,5 m) [1] priemerná hrúbka pripadajúca na geologicky podmienený a zavinený nadvýlom bola v severnej tunelovej rúre 7 cm a v južnej tunelovej rúre 4,6 cm. To sú v daných geologických podmienkach pre tunel tohto priečného prierezu hodnoty veľmi uspokojivé. Boli dosiahnuté nasledovnými opatreniami:

- Optimalizácia trhacích prác (použitie NONEL systému roznetu, odľahčených obrysových náloží, úprava vrtnej schémy, použitie ílovej upchávky)
- Vrtanie podľa počítača vrtacieho voza
- Vyhodnocovanie každého odvítaného záberu z počítača vrtacieho voza
- Zameranie a vyhodnotenie nadvýlomov takmer každého záberu

Tab. 1 Hodnotenie nadvýlomov meraných na hrubom výlome STR Považský Chlmec

STR-KALOTA - NADVÝLOMY PODĽA VÝRUBOVÝCH TRIED- MERANIE HRUBÉHO VÝLOMU						
Výrubová trieda	dĺžka úseku STR (m)	zastúpenie (%)	Objem nadvýlomov (m3)	Nadvýlom na bm (m3)	Obvod primáru pre VT (m)	Priemerná hrúbka nadvýlomu
4.1	765,20	0,35	3 417,85	4,47	18,26	0,245
4.2	563,90	0,26	2 442,06	4,33	18,41	0,235
5.1	523,90	0,24	2 564,75	4,90	18,48	0,265
5.2	130,60	0,06	627,40	4,80	18,48	0,260
6.1	52,20	0,02	227,35	4,36	18,48	0,236
6.2	41,90	0,02	140,77	3,36	18,56	0,181
6.3	107,90	0,05	315,74	2,93	18,72	0,156
6.4	14,40	0,01				
MP1						
celkom	2 200,00	1,00	9 735,92	4,43		0,241

Tab. 2 Hodnotenie nadvýlomov meraných na hrubom výlome JTR Považský Chlmec

JTR-KALOTA - NADVÝLOMY PODĽA VÝRUBOVÝCH TRIED- MERANIE HRUBÉHO VÝLOMU						
Výrubová trieda	dĺžka úseku JTR (m)	zastúpenie (%)	Objem nadvýlomov (m3)	Nadvýlom na bm (m3)	Obvod primáru pre VT (m)	Priemerná hrúbka nadvýlomu
4.1	644,00	0,30	2 453,71	3,81	18,26	0,209
4.2	601,70	0,28	2 584,29	4,29	18,41	0,233
5.1	585,00	0,28	2 732,60	4,67	18,48	0,253
5.2	143,10	0,07	621,85	4,35	18,48	0,235
6.1	46,80	0,02	152,83	3,27	18,48	0,177
6.2	31,20	0,01	102,59	3,29	18,56	0,177
6.3	54,60	0,03	65,25	1,20	18,72	0,064
6.4						
MP1	14,10	0,01	56,26	3,99	18,72	0,213
celkom	2 120,50	1,00	8 769,38	4,14		0,225

Úloha č. 2. Stanoviť a kvantifikovať nadvýlomy podľa jednotlivých výrubových tried. Namerané a vypočítané hodnoty nadvýlomov v kalotách oboch tunelových rúr som priradil podľa staničení jednotlivým výrubovým triedam. Tieto hodnoty sú v tabuľkách č. 3 a č. 4 zoradené podľa výrubových tried od najľahšej po najťažšiu (najviac vystuženú) výrubovú triedu. Dĺžky záberov sú pre jednotlivé VT rôzne, od 3,5 m pre VT 4.1 až po 0,8 m pre VT MP1. Z tabuliek je zrejmé, že najväčšie nadvýlomy boli vo VT 5.1 a 5.2.

Vyhodnotenie úlohy č. 2.

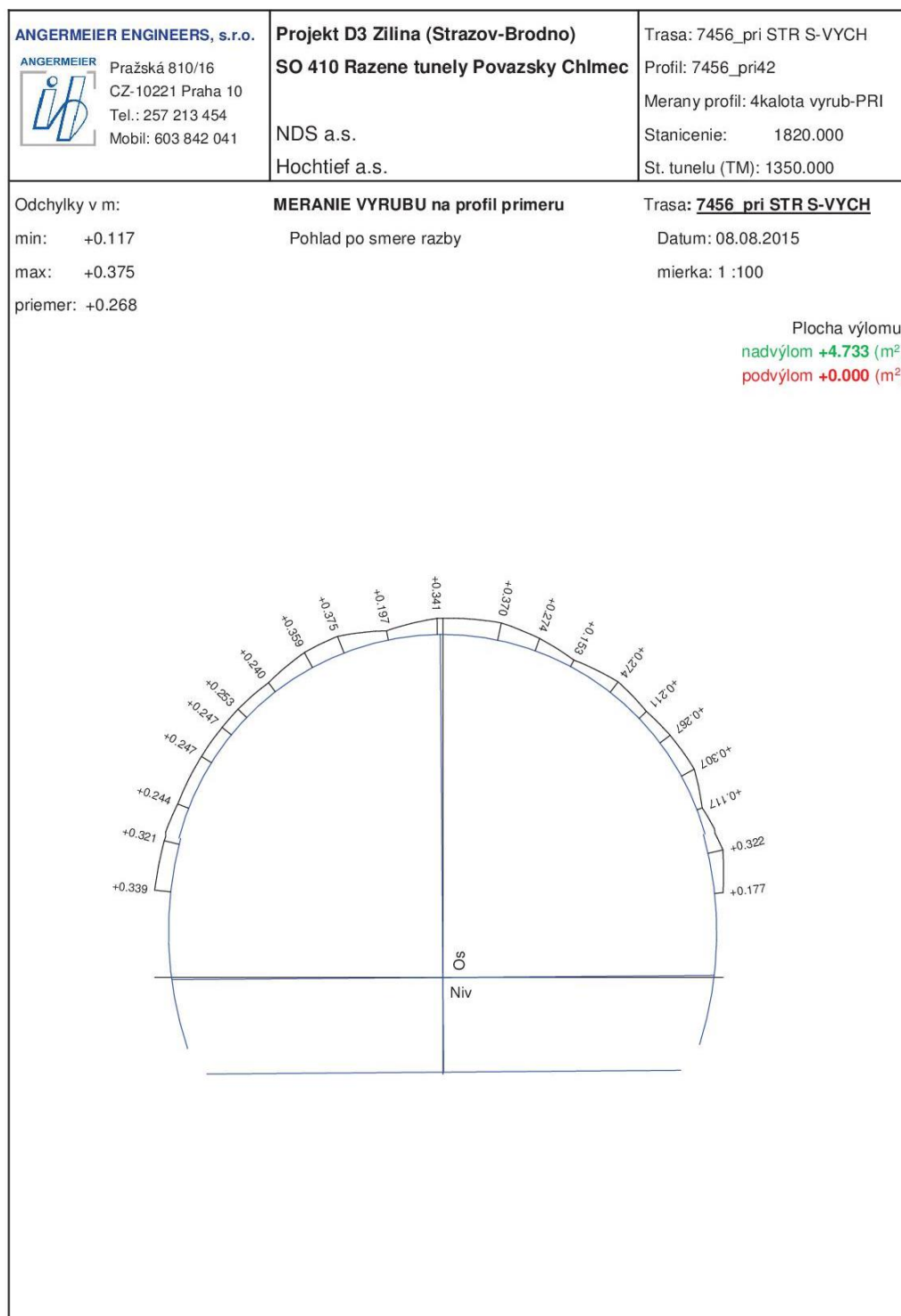
Toto vyhodnotenie ukazuje, že **pre celkové nadvýlomy (TNN+ZN+GPN) neplatí pravidlo: čím dlhší záber, tým väčší nadvýlom.** Obzvlášť zaujímavý je výsledok pre VT 4.1, kde boli realizované väčšinou zábery dĺžky 3 m a priemerná hrúbka nadvýlomu pre obe tunelové rúry je 0,228 m. To je podľa tabuľky 2 teoretická hodnota pre technologicky nutný nadvýlom TNN, čo znamená že v tejto VT pripadá na TNN celý nadvýlom a prakticky sa nevyskytol žiadny zavinený nadvýlom ani geologicky podmienený nadvýlom. Táto skutočnosť je daná aj veľmi dobrými geologickými podmienkami v tomto úseku oboch tunelových rúr, ako aj zvládnutím vrtno-trhacích prác a počítačovým riadením vrtacieho stroja.

Tab. 3 Hodnotenie nadvýlomov meraných na primárnom ostení STR Považský Chlmec

STR-KALOTA - NADVÝLOMY PODĽA VÝRUBOVÝCH TRIED- MERANIE PRIMÁR. OSTENIA						
Výrubová trieda	dĺžka úseku STR (m)	zastúpenie (%)	Objem nadvýlomov (m3)	Nadvýlom na bm (m3)	Obvod primáru pre VT (m)	Priemerná hrúbka nadvýlomu
4.1	765,20	0,35	2 060,66	2,69	18,26	0,15
4.2	563,90	0,26	463,48	0,82	18,41	0,04
5.1	523,90	0,24	469,07	0,90	18,48	0,05
5.2	130,60	0,06	47,15	0,36	18,48	0,02
6.1	52,20	0,02	19,75	0,38	18,48	0,02
6.2	41,90	0,02	42,39	1,01	18,56	0,05
6.3	107,90	0,05	20,83	0,19	18,72	0,01
6.4	14,40	0,01	28,30	1,97	18,72	0,10
MP1					19,90	
celkom	2 200,00	1,00	3 151,63	1,43		0,077

Tab. 4 Hodnotenie nadvýlomov meraných na primárnom ostení JTR Považský Chlmec

JTR-KALOTA - NADVÝLOMY PODĽA VÝRUBOVÝCH TRIED- MERANIE PRIM. OSTENIA						
Výrubová trieda	dĺžka úseku JTR (m)	zastúpenie (%)	Objem nadvýlomov (m3)	Nadvýlom na bm (m3)	Obvod primáru pre VT (m)	Priemerná hrúbka nadvýlomu
4.1	644,00	0,30	1 504,18	2,34	18,26	0,13
4.2	601,70	0,28	683,08	1,14	18,41	0,06
5.1	585,00	0,28	634,20	1,08	18,48	0,06
5.2	143,10	0,07	62,93	0,44	18,48	0,02
6.1	46,80	0,02	17,70	0,38	18,48	0,02
6.2	31,20	0,01	11,28	0,36	18,56	0,02
6.3	54,60	0,03	5,32	0,10	18,72	0,01
6.4					18,72	
MP1	14,10	0,01	3,37	0,24	18,72	0,01
celkom	2 120,50	1,00	2 922,06	1,38		0,075



Obr. 10 Protokol zamerania nadvýlomov v kalote

Úloha č. 3. Stanoviť a kvantifikovať objem striekaného betónu primárneho ostenia vrátane nadspotreby na vyplňanie nadvýlomov počas budovania primárneho ostenia.

Na výpočet tohto ukazovateľa som použil merania, ktoré sa vykonávali ihneď ako to bolo možné po zabudovaní primárneho ostenia. Výsledkom bol podobný protokol ako na obr. 10, ale zameraná línia striekaného betónu primárneho ostenia bola porovnaná a vyhodnotená vo vzťahu k teoretickému lícu primárneho ostenia – línia 7 (Obr. 2).

Spolu bolo zameraných 2 309 profilov. Zameraných a vyhodnotených celkovo 1 163 profilov na razenom úseku 2 200 m v severnej tunelovej rúre a 1 146 profilov na razenom úseku 2 120,50 m v južnej tunelovej rúre.

Na výpočet objemu zabudovaného striekaného betónu primárneho ostenia a ním vyplnených nadvýlomov som použil rovnicu:

$$O_{SBC} = N_V + O_{TP} - N_P \quad (1)$$

Kde:

O_{SBC}	celkový objem striekaného betónu (primár aj nadvýlomy),
N_V	celkový objem nadvýlomu z meraného výrubu,
N_P	celkový objem nadvýlomu z meraného primáru,
O_{TP}	teoretický objem primárneho ostenia vypočítaný z objemov primárneho ostenia v jednotlivých VT a pomerného zastúpenia jednotlivých VT.

Objem nadvýlomov zastriekaných striekaným betónom v rámci operácie budovania primárneho ostenia je:

$$O_{NSB} = N_V - N_P \quad (2)$$

Vyhodnotenie úlohy č. 3

V južnej tunelovej rúre tunela Považský Chlmec bolo takto vyplnených striekaným betónom 5 847 m³ nadvýlomov a v severnej tunelovej rúre 6 584 m³.

Úloha č. 4

Stanoviť a kvantifikovať nadvýlom z nevyznených konvergencií. Kvantifikovať nadspotrebu betónu sekundárneho ostenia na vyplnenie nadvýlomov celkom a na vyplnenie nadvýlomov z nedoznených konvergencií.

Ide o stanovenie kubatúry nadvýlomu ktorá ostala na vyplnenie betónom sekundárneho ostenia po doznení konvergencií a profilácii primárneho ostenia. Na tento účel boli použité výsledky merania skenerom.

Výsledkom je objem O_{NLB} ktorý ohraničuje línia 3 (Obr. 2) – rub definitívneho ostenia a línia skutočne realizovaného primárneho ostenia po doznení konvergencií. Z tohto objemu je časť ktorá pripadá na vrub nadvýlomu z nedoznených konvergencií O_{NK} . Na stanovenie tohto objemu som použil konvergenčné merania, ktoré sa robili až do ustálenia deformácií v jednotlivých konvergenčných profiloch. Maximálne hodnoty vektorov po ustálení deformácií (Tab. 5) som porovnal s projektovanou hodnotou navýšenia na deformácie pre každú výrubovú triedu. Z toho som stanovil priemernú hodnotu nedoznených konvergencií (mm) (Tab. 6 a 7).

Tab. 5 Hodnoty deformácií v jednotlivých konvergenčných profiloch

Staničenie tunela [TM]	Profil	Prvné meranie	Poslednémeranie	Max zvislý	Max priečný	Max pozdĺžny	vektor (mm)
12	ZP-STR-FP1	9.1.2016 14:00	15.1.2016 17:00	2	1,4	0,6	2,4413
16	ZP-STR-FP2	9.1.2016 14:00	28.1.2016 8:00	4	2,5	1,7	4,7170
20	ZP-STR-FP3	9.1.2016 14:00	28.1.2016 8:00	3	3,9	1,7	4,9204
32	ZP-STR-01	4.4.2015 8:00	28.8.2015 20:00	5	2,2	1,4	5,4626
42	ZP-STR-02	4.4.2015 8:00	28.8.2015 20:00	3	2,8	1,7	4,1037
52	ZP-STR-03	4.4.2015 8:00	28.8.2015 20:00	2	3,3	1,7	3,8588
57	ZP-STR-04	5.4.2015 18:00	28.8.2015 20:00	4	1,9	3,1	4,4283
67,5	ZP-STR-05	17.4.2015 8:00	28.8.2015 20:00	2	3,1	1,6	3,6892
77,5	ZP-STR-06	18.4.2015 8:00	19.9.2015 16:00	17	12,5	9,3	21,1009
87,5	ZP-STR-07	25.4.2015 11:00	19.9.2015 16:00	11	5	4,7	12,0830
97,5	ZP-STR-08	30.4.2015 16:00	19.9.2015 16:00	9	3,6	5	9,6933
117,5	ZP-STR-09	12.5.2015 17:00	10.10.2015 9:00	8	5,4	3,2	9,6519
137,5	ZP-STR-10	19.5.2015 10:00	31.10.2015 8:00	5	5,8	2,7	7,6577

Tab. 6 Priemerná hodnota nevyčerpaných konvergencií STR

TM stredú bloku	kvg profil	Technologická trieda výrubu (VT realita)	kvg vektor real. [mm]	kvg vektor projekt [mm]	Nevyčerpané kvg [mm]	Geológia
2130,75	VP-STR-09	5.2	48,6	50,0	1,4	Zl-ilov/lc/Pc
2143,25	VP-STR-08	5.1	27,9	50,0	22,1	Zl-ilov/lc/Pc
2155,75	VP-STR-07	5.1	37,7	50,0	12,3	Zl-ilov/lc/Pc
2168,25	VP-STR-07	5.1	37,7	50,0	12,3	Zl-ilov/lc/Pc
2180,75	VP-STR-06	5.2	34,7	50,0	15,3	Zl-ilov/lc/Pc
2193,25	VP-STR-05	6.1	29,6	50,0	20,4	Zl-ilov/lc/Pc
2205,75	VP-STR-05	6.2	29,6	50,0	20,4	Zl-ilov/lc/Pc
2218,25	VP-STR-03	6.2	18,4	50,0	31,6	Zl-ilov/lc/Pc
2230,75	VP-STR-02	6.4	10,9	100,0	89,1	Zl-ilov/lc/Pc
2243	VP-STR-01	6.4	5,1	100,0	94,9	Zl-ilov/lc/Pc
Priemerná hodnota nevyčerpaných konvergencií					33,5	

Tab. 7 Priemerná hodnota nevyčerpaných konvergencií JTR

TM stredú bloku	kvg profil	Technologická trieda výrubu (realita)	kvg vektor	kvg vektor projekt [mm]	Nevyčerpané kvg [mm]	Geologia
2068,25	VP-JTR-06	5.1	36,2	50,0	13,8	Zl_lclc/tp
2080,75	VP-JTR-06	5.1	41,8	50,0	8,2	Zl_ilov/lc
2093,25	VP-JTR-05	5.2	45,2	50,0	4,8	Zl_ilov/lc
2105,75	VP-JTR-05	5.2	45,2	50,0	4,8	Zl_ilov/lc
2118,25	VP-JTR-04	5.2	26,4	50,0	23,6	Zl_ilov/lc
2130,75	VP-JTR-03	6.1	14,6	50,0	35,4	Zl_ilov/lc
2143,25	VP-JTR-03	6.2	15,4	50,0	34,6	Zl_ilov
2155,75	VP-JTR-02	6.2	16,6	50,0	33,4	Zl_ilov
2168,25	VP-JTR-01	6.2	15,0	50,0	35,0	Zl_ilov
2180,50						
Priemerná hodnota nevyčerpaných konvergencií					29,3	

Vyhodnotenie úlohy č. 4.

Objem nadvýlomov z nevyčerpaných konvergencií je násobkom tejto hodnoty, obvodu rubu sekundárneho ostenia a celkovej hodnotenej dĺžky tunela.

$$\text{Pre STR } O_{\text{NNK}} = 33,5 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 200 \text{ m} \cdot 24 \text{ m} = 1\,768,80 \text{ m}^3$$

$$\text{Pre JTR } O_{\text{NNK}} = 29,3 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 120,5 \text{ m} \cdot 24 \text{ m} = 1\,491,14 \text{ m}^3$$

7 Vyhodnotenie a záver

Na tuneli Považský Chlmec boli vykonané komplexné merania výrubu, primárneho a sekundárneho ostenia, ako aj deformácií. Nadvýlomy boli merané bezprostredne po vyrazení takmer každého záberu v kalote aj v stupni. V tejto fáze bol zameraný priamo výrub. Následne boli robené merania po zabudovaní primárneho ostenia na každom zábere. Po ustálení konvergencií a profilácii primárneho ostenia bolo urobené zameranie primárneho ostenia skenovaním celej tunelovej rúry. Tieto merania poskytli široký súbor dát a umožnili vyhodnotiť nadvýlomy vo všetkých fázach razenia tunela a budovania primárneho a sekundárneho ostenia.

Celkové zhrnutie a vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.

Tab. 8 Vyhodnotenie nadvýlomov na tuneli Považský Chlmec

NADVÝLOMY - CELKOVÉ ZHRNUTIE					
		JUŽNÁ RÚRA RAZENÁ ČASŤ 2120,5 m		SEVERNÁ RÚRA RAZENÁ ČASŤ 2200 m	
		PRIEMERNÁ HRÚBKA (m)	OBJEM CELKOM (m ³)	PRIEMERNÁ HRÚBKA (m)	OBJEM CELKOM (m ³)
MERANÉ NA VÝLOM (lína 8 obr. 2)	KALOTA	0,22	8 769,38	0,24	9 735,92
	STUPEŇ	0,20	2 398,71	0,22	2 735,04
	CELÝ PROFIL	0,22	11 168,09	0,24	12 470,96
MERANÉ NA PRIMÁR (lína 5 obr. 2)	KALOTA	0,08	2 922,06	0,08	3 151,63
	STUPEŇ	0,13	1 496,22	0,11	1 355,20
	CELÝ PROFIL	0,09	4 418,28	0,09	4 506,83
MERANÉ NA PRIMÁR PO PROFILÁCII (voči línii rubu sekundáru bez tolerancií)	KALOTA				
	STUPEŇ				
	CELÝ PROFIL	0,16	8 379,06	0,16	8 493,82
NEDOZNENÉ KONVERGENCIE CELÝ PROFIL		0,0293	1 491,14	0,0335	1 768,80

Literatúra

[1]. Dojčár, O.: Technologicky nutný nadvýlom pri razení tunelov trhavinami, Tunel 2/2000