

# **TUNELOVÁNÍ VE FLYŠOVÝCH HORNINÁCH ZÁPADNÍCH KARPAT**

## **TUNNELING IN FLYSCH ROCKS OF THE WESTERN CARPATHIANS**

**Daniel Horváth<sup>1</sup>, Jakub Ondráček<sup>2</sup>**

### **ABSTRAKT**

Na příkladu již dvou proražených silničních tunelů v Žilinském kraji (tunel Ovčiarsko a tunel Považský Chlmec) bychom chtěli poukázat na problematiku ražení podzemních staveb ve flyšových horninách. Ne vždy obdobná geologie totiž předurčuje ke zvolení stejného razícího postupu. Často se musí technologie ražby značně modifikovat, aby se dodržely všechny předepsané stanovy. V geologickém pojetí je totiž flyš brán za dosti obširný termín, kde flyšová hornina dostatečně nespecifikuje své geotechnické vlastnosti, které jsou potřeba pro vhodně zvolené razící metody, a především pro stanovení vstrojovacích tříd.

### **ABSTRACT**

On the example of two road tunnels in the Žilina Region (Ovčiarsko tunnel and Považský Chlmec tunnel), we would like to point out the issue of mining underground constructions in flysch rocks. Not always the same geology determines the choice of the same excavation process. Technology of excavation often must be considerably modified, that to for stand by all prescribed statutes. In a geological concept is the flysch of expansive term, where the flysch rock does not sufficiently specify its geotechnical properties, which are needed for suitably chosen methods of excavation and especially for the determination of excavation support classes.

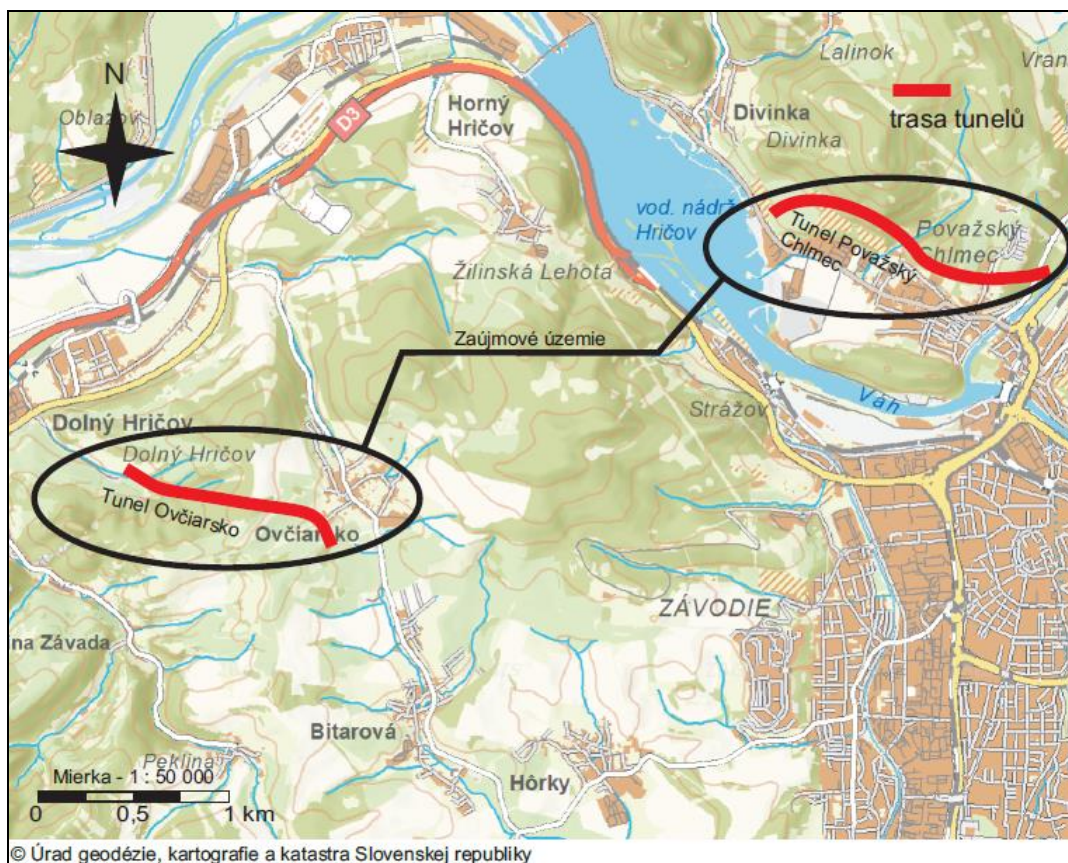
## **1 Úvod**

Na západě Slovenska, v blízkosti města Žilina byly v prostředí okrajového flyše vnějších a vnitřních Západních Karpat raženy dvě tunelové stavby: silniční tunel Považský Chlmec (délky cca 2250 m) a silniční tunel Ovčiarsko (délky cca 2360 m). Tunel Ovčiarsko je součástí dálnice D1 v úseku Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka a tunel Považský Chlmec dálnice D3 v úseku Žilina Strážov – Žilina Brodno. Jejich vzájemná vzdušná vzdálenost není větší než 10 km a z regionálního hlediska mají podobnou geologii, přesto byla ražba obou tunelů prováděna za odlišných geotechnických podmínek (projekt, časová náročnost, realizace stavby, postup ražby). Ve fázi přípravy stavby byla pro budoucí tunel Ovčiarsko použita průzkumná štola, na které si během ražby bylo možné ověřit skutečnou reakci horninového masivu, tektonické poruchy, vliv podzemních vod a další parametry. Autoři popisují použitou metodiku pro postup ražeb na obou tunelech v prostředí flyše.

---

<sup>1</sup> Mgr. Daniel Horváth, SG Geotechnika, a. s., Mlýnská 425/70, 602 00 Brno, tel.: +420727984878, e-mail: [daniel.horvath@geotechnika.cz](mailto:daniel.horvath@geotechnika.cz)

<sup>2</sup> Mgr. Jakub Ondráček, SG Geotechnika, a. s., Mlýnská 425/70, 602 00 Brno, tel.: +420601574640, e-mail: [jakub.ondracek@geotechnika.cz](mailto:jakub.ondracek@geotechnika.cz)



Obr. 1 Přehledná situace tunelů

Fig. 1 Synoptic map of tunnels

## 2 Stručná geologicko-tektonická charakteristika

Ražba tunelu Ovčiarско probíhala v zóně tektonického styku vnějších a vnitřních Západních Karpat, jižně od bradlového pásma, v tzv. příbradlové zóně (Maheľ, 1986). Z tektonického hlediska je horninový masiv tunelu členěn do dvou základních jednotek:

Manínská jednotka (vnější Západní Karpaty) představuje flyšovou sérii mezozoického stáří a Vnitrokarpatký paleogén (vnitřní Západní Karpaty), který je zastoupený ve vývoji hričovsko-žilinského paleogénu (paleocén), jenž je na západním portálu tunelu reprezentován pruhem jílovců s bloky riftových vápenců a souvrstvím jílovců, pískovců a slepenců. Dále je vnitrokarpatký paleogén zastoupen souvrstvím jílovců, pískovců a slepenců ve vývoji tzv. sůlovských slepenců (eocén) a domanižských vrstev (střední eocén). Nejmladší souvrství je reprezentováno souvrstvím žilinských vrstev (eocén) s vývojem jílovcovo-pískovcového souvrství. V oblasti portálu je povrch území zastoupený komplexem kvartérních sedimentů, respektive deluviálních jíílů a hlinitých sutí.

Tektonická stavba v celé délce tunelu byla od málo porušených hornin až po zcela tektonicky porušené horniny (pouze sůlovské slepence byly místy bez tektonického postižení). Tektonické poruchy jsou charakterizované přesmyky, poklesovými zlomy, vrásami, puklinovými systémy a budináží. Velikost sklonu dislokací kolísá od subhorizontálního až do téměř vertikální polohy (80°), směr sklonu převládá k severozápadu. V oblasti východního portálu se uplatnily zejména recentní i pleistocenní svahové pohyby.

Území tunelu P. Chlmec spadá do vnějších Západních Karpat. Dle tektonického členění se blíže jedná o bradlové pásmo se svou kysuckou jednotkou, někdy též nazývanou kysucko-pieninskou. Jde o tzv. hlubokovodní vývoj (Kováč a kol. 1993). Litostratigraficky odpovídá sněžnickým vrstvám svrchnokřídového stáří (turón-spodní santón). Jsou zde zastoupeny hlavně horniny flyšové formace s exotickými slepenci. Flyš je reprezentován střídáním poloh

jílovců, jemnozrnných vápnitých pískovců a slínovců (Andrusov-Samuel 1983). Z kvartérního pokryvu jsou zastoupeny antropogenní, deluviální, deluviálně-proluviální, proluviální, fluviální a terasovité komplexy. Vesměs se jedná o jílovitý, písčitý a šterkovitý sediment o mocnosti jen pár metrů (Matejček A. a kol. 1999).

Tektonické poruchy na tunelu P. Chlmec jsou velmi dobře vyvinuty v systému tří kolmých ploch, z nichž jeden je vždy paralelní s vrstevnatostí (mezivrstevní zlomy). V celé oblasti tunelu můžeme pozorovat dvě významné poruchy. První je v oblasti středového portálu, kde je patrné poruchové pásmo směru SSZ-JJV. Tato porucha predisponovala vznik daného údolí, kde je situovaná středová jáma. Další patrné poruchové pásmo je východně od středové jámy se směrem SZ-JV a u východního portálu v pásmě směru V-Z. Tyto poruchy se však v morfologii na povrchu neprojevují. Zlomy mají převážně jílovitou výplň a některé další poruchy jsou vyhojeny kalcitem. Tato poruchová pásma často slouží jako kolektory podzemních vod.

### **3 Technologie výstavby**

Oba tunely se razily na základě principů nové rakouské tunelovací metody (NRTM), která představuje cyklický způsob ražení. V obou případech byl výrub členěn na horizontální části (kalota, jádro a dno). Na tunelu Ovčiarsko probíhala ražba z obou portálových částí (západní a východní), tunel Považský Chlmec byl navíc ražen, díky morfologii povrchu, ještě z hloubeného středového portálu. Postupy ražeb vždy probíhaly na základě vlastností horninového masivu, případně portálových částí i geotechnických vlastností zemin. Považský Chlmec se převážněrazil za pomoci metody drill and blast, pouze v portálových oblastech se rozpojování hornin provádělo mechanicky pomocí tunelbagrů. Tunel Ovčiarsko byl ražen obdobně, a to trhačímí pracemi a mechanicky, ale díky své pestřejší geologické stavbě byly obě metody využity téměř v rovnoměrném poměru.

### **4 Geotechnický monitoring**

Geotechnický monitoring tunelů poskytuje informace o reakci horninového masívu na způsob ražení, a to tak, aby výstavba mohla být realizována co nejušporněji, bezpečně a při dodržení všech technicko-kvalitativních a časových požadavek investora a aby v případě potřeby mohla být přijatá účinná opatření k zamezení negativních vlivů stavební činnosti na okolí stavby.

Pro posouzení horninového masívu se využívají tzv. indexové klasifikace, které slouží především pro určení vhodných vystrojovacích tříd (Tab. 1.). Na tunelu Ovčiarsko bylo použito klasifikačního kritéria RMR (Rock Mass Rating dle Bieniawského 1976 úprava 1989), dále se posuzovalo procentuálním ohodnocením horninového masívu klasifikací QTS podle Tesaře (1979). V rámci bodového hodnocení parametrů v klasifikaci RMR se zjišťuje i index RQD (Rock Quality Designation dle Palmstöma 1982). Na tunelu Považský Chlmec se využívaly především indexové klasifikace QTS a RQD.

Tab. 1 Klasifikace kvality horninového prostředí.

Tab. 1 Classification of quality rock mass.

| <b>Tunel Ovčiarsko</b>       |            |            |                                |
|------------------------------|------------|------------|--------------------------------|
| <b>RQD (%)</b>               | <b>RMR</b> | <b>QTS</b> | <b>Vystrojovací třídy (VT)</b> |
| 0-25                         | <20        | <41        | 8/1, 7MP                       |
| 25-50                        | 20-40      | 41-59      | 6/5, 6/4, 6/2, 6/1, 5/2        |
| 50-75                        | 40-60      | 59-76      | 4/2                            |
| 75-90                        | 60-80      | 76-94      | -                              |
| 90-100                       | 80-100     | >94        | -                              |
| <b>Tunel Považský Chlmec</b> |            |            |                                |
| 0-25                         | -          | ≤40        | MP-1, 6/4, 6/3, 6/2, 6/1       |
| 25-50                        | -          | 41-51      | 5/2,5/1                        |
| 50-75                        | -          | 51-66      | 4/2                            |
| 75-90                        | -          | 66-81      | 4/1                            |
| 90-100                       | -          | >81        | -                              |

Každá vystrojovací třída v rámci použití na tunelu nemusí vždy striktně dosahovat uvedených klasifikačních bodů případně procent, pro které byly navrženy. Stává se, že dochází k jejich přechodům, protože kolikrát zaleží i na dalších aspektech jako je například výška nadloží, technologické problémy atd.

Jak již bylo zmíněno, ražba tunelu Ovčiarsko probíhala na tektonickém styku vnějších a vnitřních Západních Karpat, to se odrazilo i na podmínkách ražení, které byly náročné.

Prvních přibližně 200 m od západního portálu bylo raženo v mezozoických horninách, přičemž první desítky metrů byly tvořeny rozloženými až silně zvětranými vápnitými jílovci a dále následoval rigidní blok písčitých vápenců a vápnitých pískovců. Poté ražba tunelu přešla přes tektonická rozhraní do flyšových hornin paleogenního stáří. Prvních 100 m paleogenního komplexu je tvořeno výrazným zastoupením tektonicky porušených vrstev (přesmyky, poklesy) flyšových hornin (Obr. 2). Po tomto geotechnicky náročném úseku následoval úsek s monotónním zastoupením slepenců, které vytvářeli nejprůhodnější podmínky pro ražení. Další úseky jsou opět charakteristické různým zastoupením tektonicky porušených vrstev flyšových hornin, které jsou přerušeny dvěma zónami tektonicky zcela neporušených slepenců, jenž se místy střídají s jílovci. Tyto úseky jsou typické přibližně pro první kilometr ražby tunelu od západního portálu. Dalších cca 450 m bylo raženo v rytmicky střídajícím se flyši, který byl ovšem výrazně postižen vrásněním. Dále následovala tektonická zóna, která představovala přechod do flyšových hornin žilinského souvrství, které bylo jen místy zvrásněné. Z tektonického hlediska žilinské souvrství nepředstavovalo žádné složité podmínky pro ražení, avšak z geotechnického hlediska, představoval tento úsek jeden z nejproblematictějších – nízké nadloží, zvodnělé úseky, silné zvětrání hornin (portálové oblasti) a velký obsah jílových minerálů. Žilinské souvrství bylo charakteristické rytmickým střídáním tence laminovaných až tenkých vrstev jílovců a prachovců, ojediněle i pískovců. Některé úseky tohoto souvrství byly zcela zvodnělé se souvislými přítoky vody (do 0,5 l/s). Velká bobtnavost jílových minerálů zde způsobila po dokončení ražby místy velké deformace.



*Obr. 2 Tektonicky porušené a převrásněné polohy jílovců, prachovců, pískovců a drobnozrnných polymiktních slepenců (vystrojovací třída 4/2; TM 1033,60) tunel Ovčiarsko*  
*Fig. 2 Tectonic deformed layer of claystone, sandstone and conglomerates (Excavation support class 4/2; TM 1033,60) tunnel Ovčiarsko*

Na tunelu Považský Chlmec byly od západního portálu na prvních přibližně 450 m zastihnuty flyšové horniny reprezentující střídající polohy pískovců a jílovců s různým stupněm zvětrání a tektonickým porušením (Obr. 3). Následujících 750 m bylo raženo jen téměř v masivních (málo porušených) slepencích s vápnito-písčítým tmelem. Tento úsek tvořil nejhodnější podmínky pro ražbu. Další část cca 200 m tvořily pískovce s občasným střídáním jílovců a slepenců, které byly zvodnělé. Od 1400 m až do konce tunelu (2250 m) byly zastiženy slepence s vápnito-jílovitým tmelem, které se prolínaly s jílovcí a místy i s pískovci. Poslední úsek byl v určitých částech dosti saturován vodou, kde některé přítoky byly i 5 l/s, které mají vazby na tektonické poruchy.

Zhoršené geotechnické podmínky se objevily především při portálových částech tunelu. Na západním portálu souvisely zhoršené podmínky se zónou zvětrání (malá mocnost nadloží), kvartérními uloženinami, tektonickým porušením a s výskytem laminovaných jílovců, to se projevilo nestabilitou v stropní části a na bocích kaloty. Geologické podmínky na úseku při středovém portálu byly příznivější z hlediska stability výrubu, zde se především kladla obezřetnost na procházející inženýrské sítě a okolní zástavbu. Úsek při východním portálu byl komplikovaný zónou zvětrání, zvodněním a výraznějším tektonickým porušením exotických slepenců, v nich při ražení docházelo k samovolnému opadu valounů průměru 30 - 50 cm.



Obr. 3 Masív tvořen zvětralými a navětralými pískovci se strmým uložením jednotlivých vrstev (vystrojovací třída 5/1; TM 115,70) tunel Považský Chlmec.

Fig. 3 The massif consists of mouldered and weakly weathering sandstone with steep dip of individual layers (Excavation support class 5/1; TM 115,70) tunnel Považský Chlmec.

## 5 Závěr

Pro stabilitu podzemního díla budovaného ve flyši jsou určující zejména tektonické poměry masivu, sklon a směr hlavních diskontinuit, jejich změna podél trasy díla, a především zastížené horninové složení (poměrné zastoupení pískovců, exotických slepenců a různě porušených jílovců). Základním rizikem je míra tektonického porušení, která může v extrémním případě způsobit úplnou ztrátu původní napjatosti. Z hlediska srovnání zjištěných a předpokládaných geologických poměrů se jako nejvýznamnější rizikové faktory pro stabilitu výrubu jeví procentuální zastoupení litologických typů hornin, stupeň zvětrání, hustota a orientace diskontinuit a zvodnění masivu. Zejména tyto rizikové faktory tvořily vstupní parametry pro klasifikaci horninového masivu a měly největší vliv na volbu vystrojovací třídy a stabilitu výrubu, a s tím spojený vznik nadvýmů a rychlosti postupu ražení.

Ražba tunelu Ovčiarско probíhala v obtížných geotechnických podmínkách, které jsou dány rozdílnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi hornin, a to i v jediné čelbě (pevnost, stupeň zvětrání, vlhkost atd.), nevhodnou orientací diskontinuit, ražbou na kontaktu tektonických poruch a výskytem podzemní vody, především v souvrstvích jílovců. Během ražeb bylo nejvíce využito technologické třídy 6/2, 5/2 a 4/2.

Tunel P. Chlmec byl ražen z cca 90 % ve VT 4/1, 4/2 a 5/1 tedy v ucházejících geotechnických podmínkách. Horninový masív byl minimálně porušený (zejména když byly zastíženy exotické slepence (s vápnito-písčitou matrix)), nebo se souhlasnou orientací diskontinuit, ve většině případů byl masív suchý až vlhký a slabě zvětraný.

## **Literatura**

- Andrusov D., Samuel O. (1983): Stratigrafický slovník Západních Karpat II. – Geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.
- Bieniawski Z.T. (1976): Rock mass classification in rock engineering. – In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, p. 97-106. Cape Town: Balkema.
- Bieniawski Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications. – New York: Wiley
- Kováč M. a kol. (1993): Alpínský vývoj Západných Karpát. – Přírodovědecká fakulta Masarykovy University. Brno.
- Mahel' M. (1986): Geologická stavba československých Karpát. – Slovenská akadémia vied, Geologický ústav Dionýza štúra, Bratislava.
- Matejček A. a kol. (1999): Závěrečná správa. – MS, Podrobný inženýrskogeologický a hydrogeologický prieskum, Žilina.
- Palmström A. (1982): The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of rock jointing. – Proceedings IV congress International Association of Engineering Geology. n. 2, p. 221-228. New Delhi.
- Tesař O. (1979): Klasifikace skalního hornin a jejich využití pro ražení podzemních staveb v Praze. č. 8. Praha.