

DILATOMETRICKÉ SKÚŠKY V ETAPE PRIESKUMU A REALIZÁCIE TUNELA

DILATOMETRIC TESTS IN STAGE OF EXPLORATION AND REALIZATION OF TUNNEL

Ladislav Stolárik¹

Martin Sinak²

Július Bohyník³

ABSTRAKT

Pre bezpečný a efektívny návrh realizácie a následné vystuženie konštrukcie tunelovej rúry je potrebné čo možno najreálnejšie stanoviť geotechnické parametre horninového masívu, v ktorom bude podzemné dielo realizované. Za týmto účelom sa v minulosti využívali viaceré skúšky in-situ a to predovšetkým veľkorozmerové statické zaťažovacie skúšky doskou realizované v prieskumných štôľňach a šachticiach. V snahe redukovať náklady na inžinierskogeologický prieskum sa v súčasnosti od realizácie prieskumných štôľní upúšťa. Ako vhodná náhrada pre stanovenie deformačných veličín horninového prostredia skúškami in-situ sa do popredia dostávajú dilatometrické skúšky vo vrtoch. Robustná konštrukcia dilatometrickej sondy umožňuje realizáciu skúšky v hĺbkach do 500 m (2000 m). Skúška spočíva v radiálnom zaťažovaní steny vrtu, pričom sa sledujú objemové deformácie podobne ako pri presiometrickej skúške. Predkladaný príspevok sumarizuje výsledky realizovaných dilatometrických skúšok vo vrtoch počas prieskumných prác pre plánovaný železničný tunel Kýčerka na trati Žilina – Bohumín, pre alternatívny tunel Korbeľka na diaľnici D1 Turany – Hubová, ako ja výsledky realizovaných dilatometrických skúšok počas razenia tunela Čebrať na trase diaľnice Hubová – Ivachnová v rámci geotechnického monitoringu tunela.

ABSTRACT

For safe and effective design of tunnel driving and subsequently of tunnel tube's structure reinforcement it is necessary to determine the geotechnical parameters of the rock massif in the vicinity of the tunnel. For this purpose a number of in-situ geotechnical tests were used in the past, especially large scale static plate load test carried out in exploratory galleries and pits. In an effort to reduce the overall cost of engineering geological exploration the performance of the exploration adits is currently waived. As a suitable alternative for determination of deformation parameters of the rocks by field tests a dilatometer tests in boreholes come to the fore. Robust design of dilatometer probe enables an execution of dilatometer tests at depths up to 500 m. In extreme cases abroad were these tests conducted at depths up to 2000 m. The test is based on a radial loading applied to a borehole walls, simultaneously followed by radial deformation detection, similar to the pressuremeter test. The presented contribution summarizes the results of the implemented dilatometric tests in boreholes during exploration works for the planned railway tunnel Kýčerka on the line Žilina – Bohumín, for alternative Korbeľka tunnel on the motorway D1 Turany - Hubová and results of dilatometric tests conducted during driving of tunnel Čebrať on the highway D1 Hubová - Ivachnová as a part of geotechnical monitoring of the tunnel.

¹Ing. Ladislav Stolárik, CAD-ECO a. s, Svatoplukova 28, 821 08 Bratislav, stolarikl@cadeco.sk

²Ing. Martin Sinak, CAD-ECO a. s, Svatoplukova 28, 821 08 Bratislav, sinakm@cadeco.sk

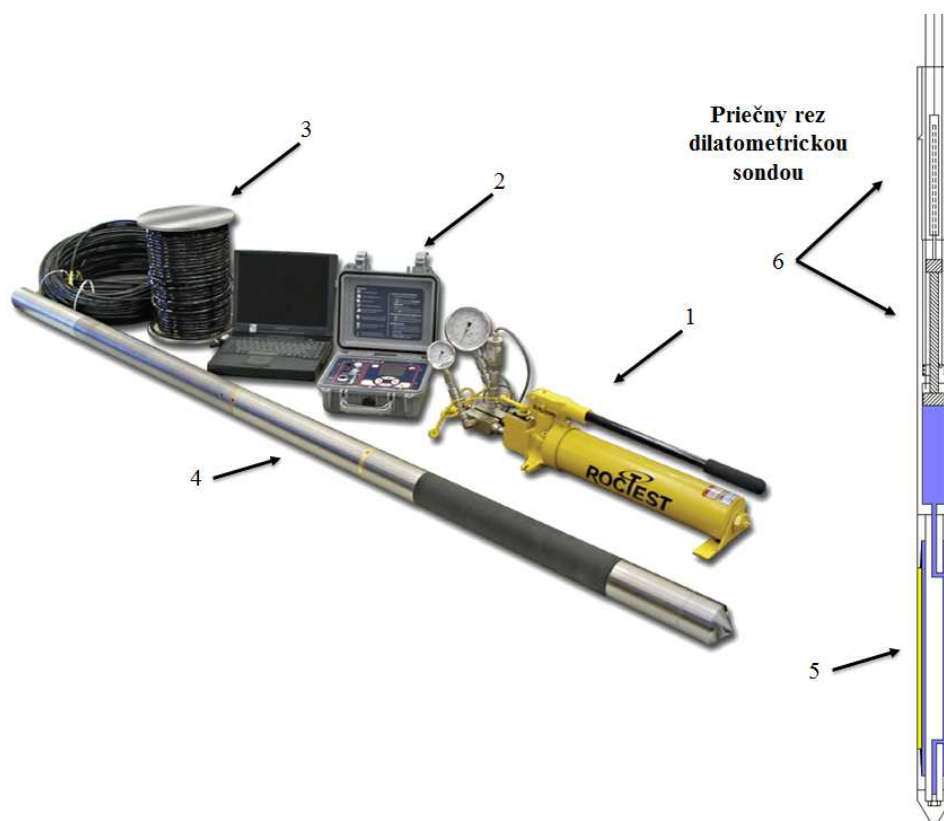
³Ing. Július Bohyník, CAD-ECO a. s, Svatoplukova 28, 821 08 Bratislav, bohynikj@cadeco.sk

1 Úvod

Jedným zo základných predpokladov pre ekonomicky efektívny a bezpečný návrh razenia a vystuženia podzemnej stavby je čo najlepšie stanoviť geotechnické parametre horninového prostredia, v ktorom sa bude tunel nachádzať. Geotechnické skúšky in-situ predstavujú najvhodnejší spôsob, ktorým je možné zistiť reálne hodnoty horninového prostredia priamo v mieste. Pre stanovenia deformačných parametrov sa v praxi používajú veľkorozmerové statické zaťažovacie skúšky tuhou doskou, realizované v prieskumných štôlnach alebo šachticiach. Príprava a realizácia tohto typu skúšok je časovo a finančne náročná, hlavne z pohľadu realizácie banského prieskumného diela, pričom však ich vypovedacia schopnosť o vlastnostiach horninového prostredia je najvyššia. V súčasnosti je na Slovensku tendencia redukovať náklady na prieskumné práce, čo sa odzrkadľuje na možnosti realizácie prieskumných štôlní. Jednou z alternatív, ktorou je možné nahradiť statické zaťažovacie skúšky v prieskumných štôlnach, je použitie horninového dilatometra v prieskumnom vrte. Skúška horninovým dilatometrom je modifikáciou presiometrickej skúšky, pričom konštrukcia sondy je prispôbená na možnosti realizácie skúšok vo veľkých hĺbkach s možnosťou vyvodenia mnohonásobne vyššieho zaťaženia na stenu vrtu ako pri presiometrickej skúške. Výhodou tejto skúšky sú výrazne nižšie časové nároky na prípravu a realizáciu, nakoľko odpadáva čas na vybudovanie prieskumnej štôlne, úpravy skúšobného miesta a zložitá príprava nosného, merného a snímacieho systému pre veľkorozmerové zaťažovacie skúšky. Z uvedeného vyplýva logicky aj nižšia finančná náročnosť realizácie skúšky, možnosť realizovať viac skúšok pozdĺž osi prieskumného vrtu, ale tiež rýchlejšie vyhodnotenie a použitie výsledkov dilatometrickej skúšky. Horninový dilatometre PROBEX firmy ROCTEST TELE-MAC využíva spoločnosť CAD-ECO a.s. pri svojich aktivitách od roku 2012. Prvou možnosťou aplikácie dilatometrických skúšok bola realizácia podrobného inžinierskogeologického prieskumu pre plánovaný železničný tunel Kýčera na trati Žilina – Čadca – štátna hranica SR/ČR, kde bolo vykonaných 77 skúšok v 6 štruktúrnych vrtoch. Druhou aplikáciou skúšok bola realizácia orientačného inžinierskogeologického prieskumu pre variant diaľnice D1 Turany – Hubová s tunelom Korbeľka, kde bolo vykonaných celkovo 106 ks skúšok v 9 štruktúrnych vrtoch. Treťou lokalitou, kde sme dosiaľ uplatnili dilatometrické skúšky v úrovni tunelovej rúry, bol úsek diaľnice D1 Hubová – Ivachnová s tunelom Čebrať, kde bolo vykonaných 6 ks dilatometrických skúšok pričom tieto skúšky boli realizované vo vodorovnom vrte v čelbe tunela.

2 Princíp činnosti prístroja

Podobne ako v prípade presiometrických skúšok, princíp činnosti dilatometrického prístroja vychádza z radiálneho zaťažovania steny vrtu pomocou nafukovacej membrány. Zatiaľ čo presiometrickú sondu tvorí meracia bunka spolu s dvoma ochrannými bunkami, dilatometrickú sondu tvorí meracia bunka s dvojčinným hydraulickým piestom a analógovým prevodníkom objemu (potenciometer). Pri oboch skúškach sondy zapustené do vrtu umožňujú meranie deformácií horninového masívu v požadovanej hĺbke (presiometer typu Menard v hĺbke max. 30 – 50 m, dilatometer PROBEX 500 m) sledovaním objemových zmien kvapaliny v meracej bunke pri súčasnom sledovaní vyvodzovaného tlaku. V porovnaní s presiometrickým prístrojom je meracia bunka cca 2,5 krát dlhšia (dĺžka meracej časti sondy je 457 mm) a maximálny vyvodzovaný tlak je 5 – 10 krát väčší (až do 30 MPa).



Obr. 1 Celá zostava dilatometra PROBEX:

1. Hydraulická pumpa s prevodníkom tlaku a kontrolnými manometrami
2. Snímač dát pre sledovanie a záznam meraných údajov
3. Hydraulický a elektrický obvod
4. Dilatometrická sonda
5. Meracia bunka
6. Dvojčinný hydraulický piest a analógový prevodník objemu (potenciometer)

Fig. 1 Assembly of rock dilatometer PROBEX:

1. Hydraulic pump with pressure transducer and analogue manometers
2. Datalogger for data watching and recording
3. Hydraulic and electrical circuit
4. Dilatometer probe
5. Test cell
6. Double-action hydraulic jack and analogue volume transducer (potentiometer)

Konštrukčne je teleso meracej bunky dilatometra podstatne robustnejšie ako teleso presiometrickej bunky a je spúšťané do paženej hĺbky pomocou vrtného sútyčia rovnakého priemeru. To umožňuje bezpečné vytiahnutie aparatury z vrtu, pretože celý vrt je sútyčím zároveň pažený a nehrozí zaseknutie prístroja vypadávajúcimi úlomkami.



Obr. 2 Zapúšťanie dilatometrickej sondy do vrtu a meranie
 Fig. 2 Lowering of dilatometer probe into a borehole and measurement

3 Spôsob vyhodnotenia meraní

Na vyhodnotenie skúšok horninovým dilatometrom t.j. výpočet modulu pretvárnosti E_{def} je potrebné poznať inerciu (odpor) dilatometrickej sondy (tlakové straty) a rozťažnosť hydraulického obvodu (objemové straty). Kalibračné postupy sa vykonávajú pred samotným meraním, v prípade dlhšieho trvania skúšky aj po ňom.

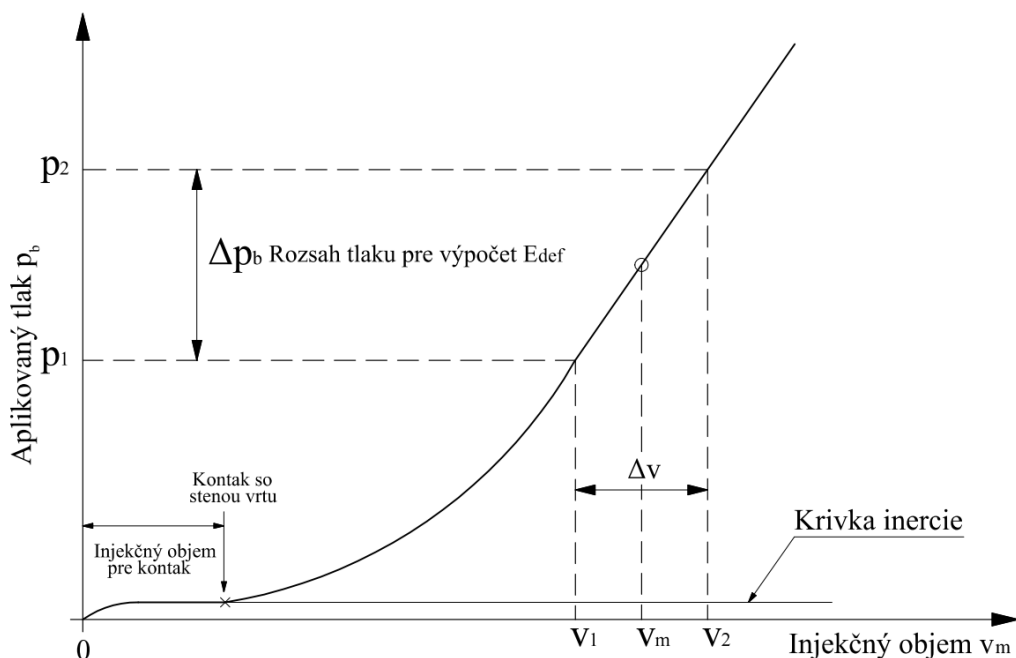
Modul pretvárnosti je modulom distorzie a charakterizuje pseudoplastickú fázu skúšky – deformácie horninového prostredia. Hodnotu modulu pretvárnosti E_{def} potom môžeme určiť podľa vzorca (Roctest Ltd., 2002):

$$E_{def} = 2 \cdot (1 + \nu_r) \cdot (\nu_o + \nu_m) \cdot \frac{1}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta p_b}\right) - c}$$

kde:

- ν_r - Poissonovo číslo skúšanej horniny
- ν_o - objem sondy
- ν_m - priemerný objem vrtu v mieste skúšky medzi dvomi tlakmi p_1 a p_2
- ΔV - rozdiel objemov $\Delta V = V_2 - V_1$
- Δp_b - rozdiel tlakov $\Delta p_b = p_2 - p_1$
- p_1, p_2 - tlaky v pružno-plastickej fáze deformácie
- V_1, V_2 - objem vrtu v mieste skúšky pri tlaku p_1 a p_2 .
- c - korelácia objemu

Kalibračný koeficient c ovplyvňuje vyhodnotenie objemu systému a závisí najmä od aktuálne použitej zostavy hydraulického obvodu a od zvoleného rozsahu zaťaženia. Dĺžka hydraulického obvodu sa volí v závislosti od hĺbky, ktorú požadujeme dosiahnuť pri skúške.



Obr. 3 Interpretácia priebehu dilatometrickej skúšky
Fig.3 Interpretation process of dilatometric test

4 Realizácia dilatometrických skúšok

V letných mesiacoch roku 2012 boli po prvýkrát na území Slovenskej republiky realizované zaťažovacie skúšky na stenu v hĺbke 259,5 m, ktoré boli vykonané počas podrobného inžinierskogeologického prieskumu pre modernizáciu železničnej trate Krásno nad Kysucou – Čadca – štátna hranica, konkrétne pre tunel Kýčerka, ktorý sa v danej trase nachádza.

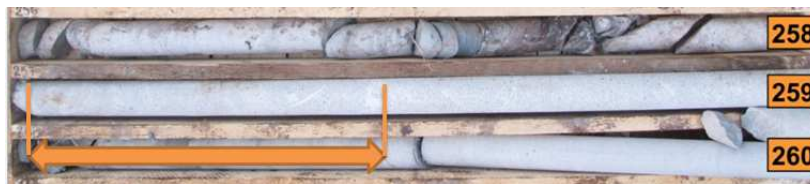
Pre potreby inžinierskogeologického prieskumu bolo v trase tunela Kýčerka realizovaných 12 ks prieskumných štruktúrnych vrtov hĺbky 26,0 – 260,5 m. Vrty boli realizované dvojitou (trojitou) jadrovkou systémom WireLine s vodným výplachom. Na účely dilatometrických skúšok boli v 6 vrtoch vykonané návrtvy priemeru NQ (76 mm) dĺžky cca 30 – 40 m v zóne okolo nivelety tunelovej rúry resp. v úsekoch, ktoré boli z hľadiska určenia geotechnických parametrov horninového masívu zaujímavé. Vzhľadom na pomerne jednoduché zastúpenie jednotlivých horninových typov (pieskovce a ílovce) v trase tunela sme sa sústredili pri výbere skúšobných úsekov najmä na rôzne stupne porušenia a zvetrania vyskytujúcich sa typov hornín.

Z celkového počtu 77 bolo najviac dilatometrických skúšok realizovaných v prostredí paleogénnych silno tektonicky porušených až rozložených ílovcov, ktoré miestami nadobúdali až charakter tektonických ílov s úlomkami pôvodných hornín (pieskovcov a ílovcov). Zistený modul pretvárnosti dosahoval hodnoty v rozsahu $E_{def} = 2,96 - 184,28$ MPa v priemere $E_{def} = 56,40$ MPa. Tieto horniny nie je možné testovať klasickým spôsobom v laboratóriu z dôvodu okamžitého porušenia vzorky po vytiahnutí z vrtu. Tektonicky porušené ílovce majú tendenciu okamžite sa rozpadnúť na drobné „šupinky“ ílovca.



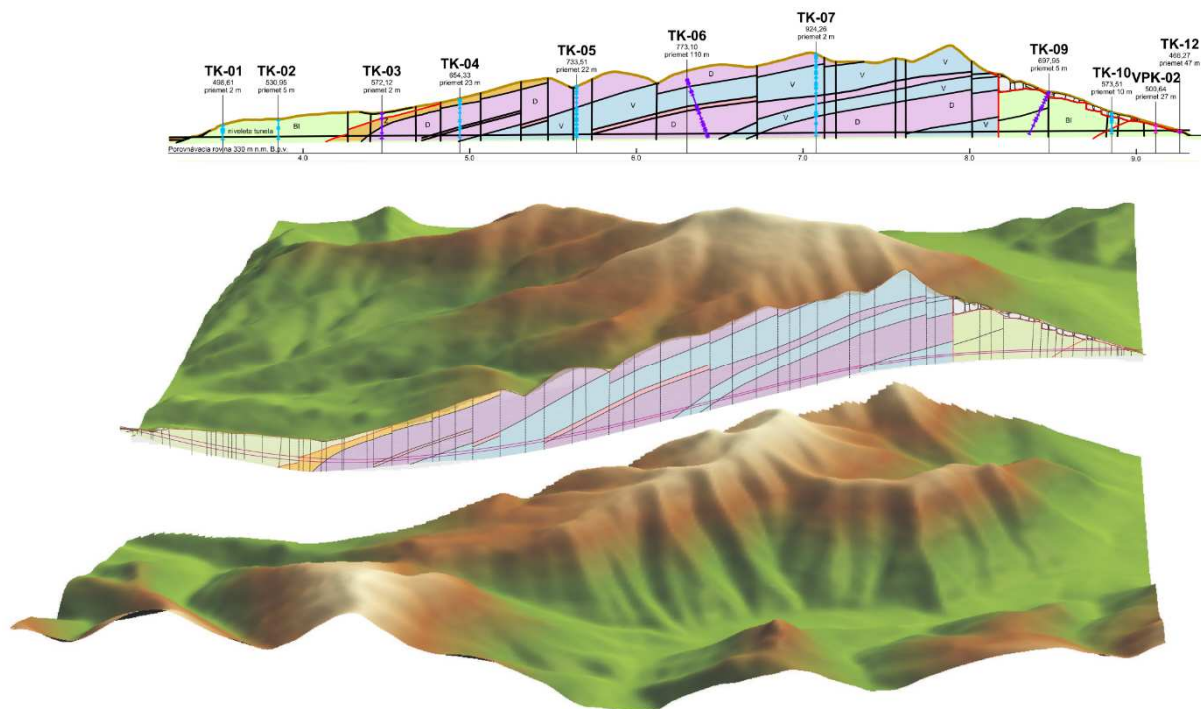
Obr. 4 Vrtné jadro z vrtu CZ-08 z úseku 247,0 – 254,0 m. Vyznačené polohy dilatometrických skúšok s modulom deformácie $E_{\text{def}} = 20,39 - 24,95$ MPa
 Fig. 4 Core recovery of borehole CZ-08 from the depth 247.0 – 254.0 m. Indication of dilatometric tests with modulus of deformation $E_{\text{def}} = 20.39 - 24.95$ MPa

Naopak najkvalitnejšie horniny v danom prostredí sú tvorené masívnymi, zdravými a kompaktnými pieskovcami s ojedinelým lokálnym porušením. Tieto pieskovce boli testované 14 dilatometrickými skúškami, ktoré preukázali modul pretvárnosti $E_{\text{def}} = 3429,85 - 22993,73$ MPa v priemere $E_{\text{def}} = 9891,90$ MPa.



Obr. 5 Miesto skúšky kde modul pretvárnosti dosiahol absolútne najvyššiu hodnotu $E_{\text{def}} = 22993,73$ MPa
 Fig. 5 Test position where modulus of deformation reached the absolutely highest value $E_{\text{def}} = 22993.73$ MPa

Druhá možnosť pre realizáciu dilatometrických skúšok v prieskumných vrtoch sa naskytla v období február až apríl 2014 počas realizácie orientačného inžinierskogeologického prieskumu pre variant diaľnice D1 Turany – Hubová s tunelom Korbeľka. Pre diaľničný tunel Korbeľka bolo v jeho trase realizovaných 10 ks štruktúrnych prieskumných vrtov s hĺbkou 50,0 – 490,0 m pričom pre dilatometrické skúšky bolo využitých 9 štruktúrnych vrtov. Projektovaný tunel Korbeľka má celkovú dĺžku 5800 m a prechádza cez viaceré horninové typy ako sú siltovce, ílovce, pieskovce, dolomity a vápence, ktoré sú rôznej genézy, pevnosti a stupňa zvetrania. Pre bližšiu orientáciu geologickej stavby je na obr. 6 vykreslený schematický inžinierskogeologický rez cez horninový masív.



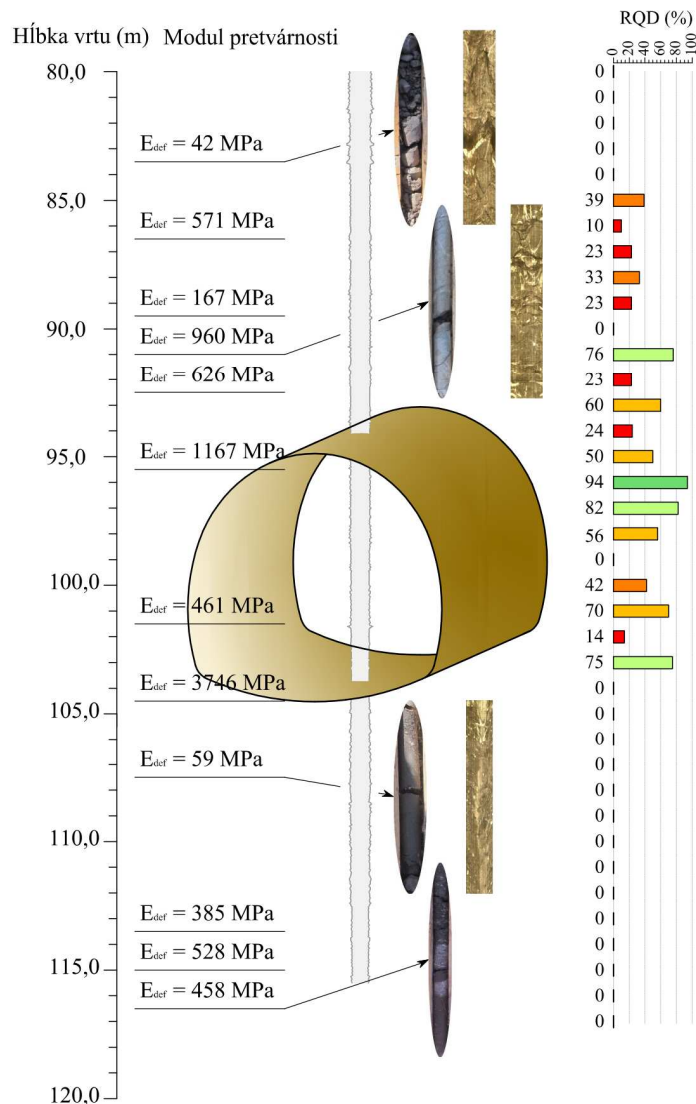
Obr. 6 Schematický inžinierskogeologický rez tunelom Korbeľka
 Fig. 6 Geological section through the tunnel Korbeľka

Pre upresnenie polohy dilatometrických skúšok a podrobnejšiu analýzu horninového masívu boli použité v štruktúrnych vrtoch geofyzikálne merania (karotáž), ktoré nám presne vyčlenili polohy, v ktorých bolo možné uchytiť dilatometrickú sondu bez rizika jej straty a poškodenia čím sme sa mohli vyvarovať vyskytujúcim sa kavernám a porušeným stenám vrtu. Okrem tejto pridanej hodnoty nám geofyzikálne merania a hlavne kavernometria potvrdzovali pevnosť a celistvosť stien vrtov realizovaných v oblastiach brekciovitých dolomitov, pričom však výnos z vrtného jadra a následná analýza RQD boli blízke nule. V tomto horninovom type bolo vykonaných najviac dilatometrických skúšok (38 ks), kde aj napriek „nulovej“ kvalite horninového prostredia (Rock Quality Designation) boli potvrdené pomerne vysoké hodnoty modulov pretvárností v širokom rozsahu hodnôt $E_{def} = 1\,750,59 - 35\,665,34$ MPa, v priemere $E_{def} = 8\,254,69$ MPa. Tieto dilatometrické skúšky overili brekciovité dolomity vo vrtoch TK-04, TK-03, TK-05 a TK-06.

Silno tektonicky porušené až rozložené bridličnaté a vápnité ílovce charakteristické pre najviac oslabené miesta (až blízke vlastnostiam zemín) boli overené 27 skúškami, kde modul pretvárnosti dosahoval $E_{def} = 7,19 - 570,95$ MPa, v priemere $E_{def} = 164,47$ MPa. Uvedené výsledky reprezentujú dilatometrické skúšky vo vrtoch TK-01, TK-02, TK-10 a VPK-01.

Navetrané až zdravé kompaktné ílovce s laminami pieskovca boli otestované vo vrte TK-10, kde boli zistené deformačné parametre v rozsahu $E_{def} = 1\,100,64 - 6\,947,72$ MPa, v priemere $E_{def} = 3\,681,46$ MPa.

Súvrstvie bridlíc s prevahou vápenca sme otestovali 7 skúškami vo vrtoch TK-02 VPK-01 ZPK-01, kde modul pretvárnosti dosahoval $E_{def} = 1\,023,08 - 1\,630,52$ MPa, v priemere $E_{def} = 1\,293,24$ MPa.



Obr. 7 Vrt TK-02 s výsledkami dilatometrických skúšok, fotodokumentáciou a charakteristikou RQD

Fig. 7 The borehole TK-02 with the results of dilatometric tests, photo documentation, and characteristics of RQD

Tretia možnosť uplatnenia horninového dilatometra v oblasti tunelových stavieb sa naskytla v januári 2015 na trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová, kde si projektant počas razenia severnej rúry tunela Čebrať vyžiadal prieskumný štruktúrny vrt dĺžky 30 m a následnú realizáciu dilatometrických skúšok na overenie deformačných parametrov horninového prostredia.

Vrt bol realizovaný v horizontálnom dovrchnom smere na čelbe tunela a jeho umiestnenie bolo do kaloty tunelovej rúry. V prieskumnom vrte bolo realizovaných 6 ks dilatometrických skúšok, ktoré otestovali horninové prostredie tvorené prevažne súvrstvím zdravých slienitých vápencov s polohami slieňovcov.

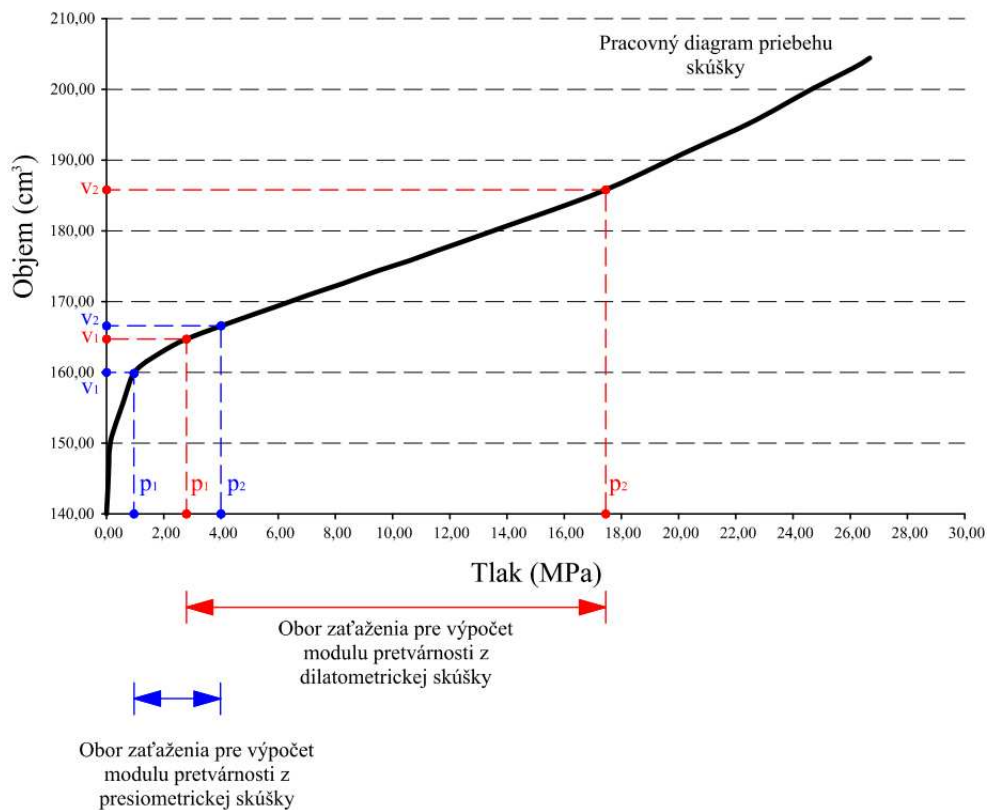


Obr. 8 Realizácia dilatometrických skúšok v tuneli Čebrať
 Fig. 8 Realization of dilatometer tests in the tunnel Čebrať

V tabuľke 1 sú prezentované výsledky deformačných parametrov, spolu s obormi zaťaženia ($p_1 - p_2$), s ktorými sme uvažovali pri výpočte modulu pretvárnosti E_{def} z realizovaných dilatometrických skúšok. Pre ilustráciu a porovnanie prezentujeme aj odvodený modul pretvárnosti vyhodnotený z dilatometrických skúšok, kde sme upravili obor zaťaženia v pracovných diagramoch, ktorý je charakteristický pre presiometrické skúšky t.j. rozsah 0,78 – 4,00 MPa.

Tabuľka 1 Výsledky modulov pretvárnosti pre dilatometer a presiometer
 Table 1 Results of modulus deromations for the dilatomet and pressuremeter

Ozn. skúšky	Hĺbka [m]	Obor zaťaženia	Modul pretvárnosti	Obor zaťaženia	Modul pretvárnosti	Litologický typ horniny
		[MPa]	E_{def} [MPa]	[MPa]	E_{def} [MPa]	
DS-01	29	1,56 – 18,02	3476,23	1,56 - 4,00	1698,32	slienité vápence
DS-02	26	2,56 – 21,62	4451,9	1,23 - 4,00	2017,16	slienité vápence
DS-03	23	1,86 – 21,05	6287,13	1,86 - 4,00	2664,92	slienité vápence
DS-04	17	1,41 – 28,32	4170,85	1,41 - 4,00	2214,07	slienité vápence
DS-05	11	2,79 – 17,45	3498,15	0,96 - 4,00	1779,71	slienité vápence
DS-06	5	2,62 – 26,08	4493,03	0,78 - 4,00	1908,74	slienité vápence



Obr. 8 Priebeh dilatometrickej skúšky DS-05
 Fig. 8 Course of the dilatometric test DS-05

5 Záver

Na základe prvých skúseností s horninovým dilatometrom môžeme konštatovať, že tento prístroj poskytuje v porovnaní s doteraz používaným presiometrickým prístrojom nové a rozsiahlejšie možnosti v testovaní horninových masívov in-situ. V podmienkach Slovenska, kde sa prieskumné práce výrazne redukujú a upúšťa sa hlavne od realizácie prieskumných štôlní a s tým aj spojenými skúškami in-situ, ako je napríklad veľkorozmerová statická zaťažovacia skúška tuhou doskou, je dilatometrické testovanie horninového masívu vo vrtoch vhodnou náhradou, pričom dochádza k výraznej časovej a finančnej úspore v rámci inžiniersko geologického prieskumu. Zároveň v porovnaní s presiometrickou skúškou je možné dosiahnuť niekoľkonásobne vyšší obor zaťaženia; testovaný úsek steny vrtu v hornine je dlhší, čo poskytuje aj presnejší obraz o danom prostredí. Neporovnateľnou výhodou oproti presiometru je mnohonásobne väčší hĺbkový dosah. V rámci našej praxe bola najhlbšia realizovaná skúška v hĺbke 355,5 m pričom je možnosť realizovať tieto skúšky až do hĺbky cca 500 m.

Jedným z najväčších benefitov je možnosť testovania veľmi nestabilných hornín, najmä ílovcov, ktoré predstavujú pomerne hojne sa vyskytujúce horniny v rámci geologickej stavby Slovenska. Tieto horniny sú veľmi citlivé na zmeny vlhkosti i napätosti a po ich vytiahnutí z vrtu sa zvyčajne veľmi rýchlo rozpadajú na úlomky nevhodné na laboratórne testovanie mechaniky hornín a preto je možné tieto horniny testovať len skúškami in-situ.

Okrem využitia horninového dilatometra v rámci etáp prieskumu sa jeho opodstatnenie a prínos preukazujú aj v rámci samotnej výstavby tunela, kedy si projektant potrebuje overiť alebo upresniť reálne parametre horninového prostredia s ktorými uvažuje v statických výpočtoch a tým môže upraviť triedy vystrojenia tunelovej rúry, poprípade redukovať alebo

zosilňovať vystrojovacie prvky primárneho ostenia, poprípade modifikovať sekundárne ostenia.

6 Zoznam použitej literatúry

- Instruction manual dilatometer, 2002: model PROBEX-1, Poctest Limited, Canada
- Kuvik M., Bohyník J., Coplák M., Holeša Š., Borovský M., Šimek M. & Flimmel J., 2012: Záverečná správa, ŽSR Modernizácia železničnej trate Krásno na Kysucou (mimo) – Čadca – štátna hranica SR/ČR na rýchlosť do 160 km/h, podrobný inžinierskogeologický prieskum CAD-ECO a. s, Bratislava.
- Bohyník J., Kuvik M., Sinak M., 2014: Prvé použitie horninového dilatometra na Slovensku – nové možnosti testovania deformačných veličín skalných hornín in-situ.
- Kuvik M. et al. 2014: Záverečná správa – variant V2, Diaľnica D1 Turany – Hubová, modifikovaný údolný variant V1a a variant V2 s tunelom Korbeľka, orientačný inžinierskogeologický prieskum CAD-ECO a.s. Bratislava
- Bohyník J. et al. 2015: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, dilatometrické skúšky, geotechnický monitoring tunela Čebrať CAD-ECO a. s. Bratislava
- Briaud Jean-Louis: The pressuremeter, Rotterdam [etc.]: Balkema III. ISBN 90 6191 125 7 bound. Taylor and Francis Group plc, London, ©2005
- Richard Simon, Desheng Deng: Estimation of Scale Effects of Intact Rock Using Dilatometer Tests Results. GeoHalifax, 2009
- Ghamgosar, M., Fahimifar, A., Rasouli, V.: Estimation of rock mass deformation modulus from laboratory experiments in Karun dam. EUROCK. 2010
- Zalesky, M., Bühler, Ch., Burger, U., John, M.: Dilatometer tests in deep boreholes in investigation for Brenner base tunnel. Underground Space – the 4th Dimension of Metropolises – Barták, Hrdina, Romancov and Zlámál (eds) © 2007 Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-0-415-40807-3
- A. Burak Göktepe, Selim Altun, Alper Sezer: Simulation of dilatometer tests by neural networks. Mathematical and Computational Applications, Vol. 16, No. 2, pp. 535-545, 2011. © Association for Scientific Research