

# Prvé použitie horninového dilatometra na Slovensku – nové možnosti testovania deformačných vlastností skalných hornín in-situ

Július Bohyník, Marian Kuvik & Martin Sinak

CAD-ECO a.s., Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava; e-mail: cadeco@cadeco.sk; cadeco-zilina@cadeco.sk

## AGEOS First using of rock dilatometer in Slovakia – a new possibilities of in-situ testing of rocks' deformation properties

**Abstract:** The basic problem of engineering geotechnical investigation is – besides geological condition's description – determination of specific geotechnical parameters of rock and soil on the site of future structure. In the case when detection of the rock massif's parameters is desirable in the underground structure route, the deformation parameters of rock massif may be obtained by execution of in-situ tests in exploration gallery, e.g. plate static load tests. Driving of exploration galleries is usually thrown-over in Slovakia, due to overwhelming cost-cutting worship. The results of geological investigation are then based only on laboratory tests, which consequently lead to inadequate characteristics of geotechnical parameters of rock massif. Thanks to advance in technical development of field-test apparatus there is a possibility to use pressuremeter and dilatometer tests as a relevant solution. The contribution brings an acquaintance with the new opportunities to detect deformation parameters on an example of dilatometer tests, provided for designed railway tunnel Kýčera.

**Key words:** rock massif, deformation parameters, dilatometer, tunnel

### 1. ÚVOD

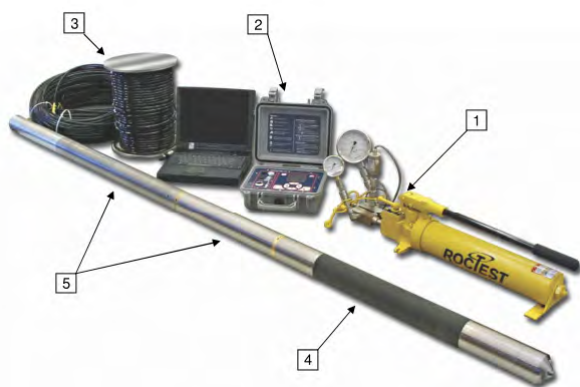
Jedným zo základných predpokladov pre ekonomicky efektívny a bezpečný návrh razenia a následného vystuženia tunela je čo najvýstižnejšie stanovenie geotechnických parametrov horninového prostredia, v ktorom sa tunel bude nachádzať. Geotechnické skúšky in-situ predstavujú najvhodnejší spôsob overenia reálnych vlastností horninového masívu priamo na mieste budúceho stavebného diela. Pre stanovenie deformačných parametrov sa zvyčajne využíva veľkorozmerová statická zatažovacia skúška tuhú doskou. Skúška je časovo i finančne náročná, nakoľko predpokladá vyrazenie prieskumnej štôlne, v ktorej sa následne môže skúška realizovať. Tendencia redukovať náklady na prieskumné práce pre plánované podzemné stavby na Slovensku sa odzrkadľuje i v obmedzenej možnosti realizácie prieskumných štôlní. Jednou z možností, ktorou možno nahradiť statickú zatažovaciu skúšku doskou realizovanou v prieskumnej štôlni, je použitie horninového dilatometra v prieskumnom vrte. Skúška horninovým dilatometrom je modifikáciou presiometrickej skúšky. Výhodou takejto skúšky je výrazne kratší čas na prípravu i realizáciu skúšky, alebo súboru skúšok, odpadá potreba realizácie štôlne (rozrážky), úprava skúšobného miesta a zložitá príprava zostavy nosného, merného a snímacieho systému pre veľkorozmerové zatažovacie skúšky. Z uvedeného vyplýva logicky i nižšia finančná náročnosť skúšky, možnosť realizovať viac skúšok pozdĺž osi prieskumného vrtu ale tiež rýchlejšie vyhodnotenie a použitie výsledkov dilatometrickej skúšky. Skúška umožňuje tiež aplikovať vyššie obory zataženia, ako je zvykom pri klasickej presiometrickej skúške a dilatometrická sonda má väčší hĺbkový dosah.

Horninový dilatometer PROBEX firmy ROCTEST TELEMAC využíva spoločnosť CAD-ECO a.s. pri svojich aktivitách od roku 2012. Prvou možnosťou aplikácie dilatometrickej skúšky bola realizácia podrobného inžinierskogeologického prieskumu pre plánovaný tunel Kýčera na železničnej trati Žilina – Čadca – štátna hranica SR/ČR.

### 2. PRINCÍP ČINNOSTI PRÍSTROJA

Podobne ako v prípade presiometrických skúšok, princíp činnosti dilatometrickej prístroje vychádza z radiálneho zatažovania steny vrtu pomocou nafukovateľnej 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 potrebnej hĺbke (presiometer typu Menard v hĺbke max. 30–50 m, dilatometer PROBEX aj vo viac ako 300 m) sledovaním objemových zmien kvapaliny v meracej bunke pri súčasnom sledovaní vyvozdovaného tlaku. V porovnaní s presiometrickým prístrojom je meracia bunka dilatometra cca 2,5 krát dlhšia (dĺžka meracej časti sondy je 457 mm) a maximálny vyvozdovaný tlak je 5–10 krát väčší (až do 30 MPa).

Konštrukčne je teleso meracej bunky dilatometra podstatne robustnejšie ako teleso presiometrickej bunky a je spúšťané do požadovanej hĺbky pomocou vrtného sútyčia rovnakého priemeru. To umožňuje bezproblémové vytiahnutie aparatúry



Obr. 1. Celá zostava dilatometra PROBEX: 1 – Hydraulická pumpa s prevodníkom tlaku a kontrolnými manometrami; 2 – Snímač dát pre ich sledovanie a záznam; 3 – Hydraulický a elektrický obvod; 4 – Meracia bunka; 5 – Dvojčinný hydraulický piest a analógový prevodník objemu (potenciometer); zdroj: Roctest Telemac.

Fig. 1. Assembly of rock dilatometer PROBEX: 1 – Hydraulic pump with pressure transducer and analogue manometers 2 – Datalogger for data watching and recording; 3 – Hydraulical and electrical circuit 4 – Test cell; 5 – Double-action hydraulic jack and analogue volume transducer (potentiometer); source: Roctest Telemac.

z vrtu, pretože celý vrt je sútyčím zároveň pažený a nehrozí zaseknutie prístroja vypadávajúcimi úlomkami. Celá zostava je v závislosti od dosiahnutej hĺbky pomerne ťažká a vyžaduje aktívnu spoluprácu osádky vrtnej súpravy. Pohľad na zostavu dilatometra a jej súčasti je na obr. 1.

Účelom dilatometrických skúšok je získať informácie o deformačno-pevnostných charakteristikách horninového prostredia až do štádia jeho porušenia. Zo skúšok je možné určiť:

- ▶ začiatok pružnoplastickej fázy namáhania;
- ▶ medzu limitného tlaku pri poloskalných horninách a zeminách;
- ▶ modul pretvárnosti;
- ▶ modul pružnosti;
- ▶ hysteréziu.

### 3. OPIS LOKALITY A REALIZÁCIA SKÚŠOK

Na skúšobnej lokalite v trase tunela Kýčera bolo realizovaných 12 ks prieskumných vrtov hĺbky 26,0 až 260,5 m. Vrty boli realizované dvojitou (trojitou) jadrovkou systémom WireLine s vodným výplachom. Na účely dilatometrických skúšok boli v 6 ks vrtov vykonané cieľené návrty priemeru NQ (76 mm) dĺžky cca 30–40 m v zóne okolo nivelety budúcej tunelovej rúry resp. v úsekoch, ktoré boli z hľadiska určenia geotechnických parametrov horninového masívu zaujímavé. Vzhľadom na pomerne jednotvárne zastúpenie jednotlivých horninových typov (pieskocov a ílovcov) v trase tunela sme sa sústredili pri výbere skúšobných úsekov najmä na rôzne stupne porušenia a zvetrania vyskytujúcich sa typov hornín.

Pred realizáciou skúšok bolo potrebné overiť tesnosť sústavy, odpor membrány meracej bunky (inercia) a rozťažnosť tlakového obvodu (kalibrácia – realizovaná min. Sx). Údaje z kalibrácie

a merania odporu membrány vstupujú do vyhodnotenia skúšky a výpočtu modulov.

Vlastné skúšky boli realizované v požadovaných hĺbkových úrovniach vždy pri minimálne siedmich zatažovacích stupňoch (nenulových tlakových úrovniach). Zvyšovanie tlakov bolo postupné, pričom počas odčítavania bolo potrebné dosiahnuť kvázi ustálený stav objemu a tlaku. Veľkosť zatažovacích stupňov sa volila v závislosti od skúšaného horninového prostredia a od inercie membrány použitej meracej sondy. Tlak bol vyvodzovaný pomocou hydraulického olejového okruhu, napojeného na ručnú hydraulickú pumpu. V sonde tlak hydraulického oleja pôsobí na piest, ktorý následne vyvodzuje tlak na vodou vyplnenú meraciu bunku. Uvedená konštrukcia v prípade roztrhnutia bunky umožňuje zachovať funkčnosť hydraulického obvodu a nedochádza k znečisteniu horninového prostredia únikom hydraulického oleja. Po skončení testovacieho cyklu sa meracia bunka odľahčila a po dosiahnutí minimálneho objemu membrány bolo možné posunúť sondu dilatometra do ďalšej pozície. Pohľad na meraciu bunku pred jej zapustením do vrtu je na obr. 2.

Sumárne bolo v šiestich vrtoch realizovaných 77 dilatometrických skúšok, pričom najhlbšia dosiahnutá úroveň bola 258,3 m pod terénom. S dôrazom na stanovenie modulu pružnosti bolo realizovaných 13 ks skúšok s aplikáciou cyklického zataženia.

### 4. SPÔSOB VYHODNOTENIA MERANÍ

Na vyhodnotenie skúšok skalným 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 skúšok i po ňom.

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

$$E_{def} = \frac{2(1+\nu_r) \cdot (V_0 + V_m)}{\frac{\Delta V}{\Delta p_b} \cdot c}$$

kde:

$\nu_r$  – Poissonovo číslo skúšanej horniny;

$V_0$  – objem sondy;

$V_m$  – priemerný objem vrtu v mieste skúšky medzi dvomi tlakmi  $p_1$  a  $p_2$

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$\Delta V$  – rozdiel objemov  $\Delta V = V_2 - V_1$ ;

$\Delta p_b$  – rozdiel tlakov  $\Delta p_b = p_2 - p_1$ ;

$p_1, p_2$  – tlaky v pružno-plastickej fáze deformácie (v prípade zeminy a poloskalnej horniny), prípadne v pružnej fáze deformácie (v prípade skalnej horniny);

$V_1, V_2$  – objem vrtu v mieste skúšky pri tlaku  $p_1$  a  $p_2$ ;  
 $c$  – kalibračný koeficient.

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 skúškach. Zvyčajná hodnota koeficientu je v rozmedzí 1,00–1,15.

Poissonovo číslo na vyhodnotenie skúšok sa odvodzuje prevažne od laboratórne zistených hodnôt tohto parametra, pokiaľ je to možné, prípadne sú využité výsledky laboratórnych stanovení z obdobného geologického prostredia z iných lokalít.

Na obr. 3 je typický priebeh dilatometrickej skúšky, ktorá bola realizovaná v prostredí rozpukaných jemnozrnných pieskoviec až siltovcov.

## 5. SKÚŠENOSTI Z REALIZÁCIE SKÚŠOK A STRUČNÁ ANALÝZA A INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

Vyššie opísaný prístroj a postupy sme odskúšali po prvýkrát na Slovensku počas inžinierskegeologického prieskumu pre plánovaný železničný tunel Kýčera na úseku trate Krásno nad Kysucou – Čadca.

Trasa tunela pretína okraj pohoria Javorníky, ktoré je budované paleogénnymi až kriedovými horninami flyšového charakteru. Pohorie Javorníky je súčasťou mohutného flyšového pásma a má charakteristickú príkrovovú stavbu, vďaka ktorej sa horniny zlínskeho a belovežského súvrstvia na danom území niekoľkokrát opakujú vo vrstevných sledoch „nad sebou“. Z hornín sa v trase tunela vyskytujú pieskovce až mikrozapence, ílovce a siltovce a ich nespočetné vzájomné prechody. Súborny vrstiev v trase tunela sú generálne sklonené smerom na juh až juhovýchod so sklonom vrstiev 40–70°. Len v miestach tektonických línii je orientácia vrstevnatosti odlišná – prevažne vztýčená. Schematický inžinierskegeologický rez trasou tunela Kýčera je na obr. 4.

V dôsledku zložitého geologického vývoja flyšového pásma (presun príkrovov a zlomová tektonika) sú horniny v trase tunela zväčša intenzívne tektonicky porušené. Tektonické porušenie podmienilo i podstatne väčší dosah zvetrania, ako je to bežné v litologicky podobných, ale nezvrásnených komplexoch. Dominantným typom tektonického porušenia je tzv. medzivrstevná tektonika, kde medzi rigidnými platňami pieskoviec sa ako klzná plocha pri tektonických pohyboch a presunoch čiastkových príkrovov uplatnili najmä málo odolné ílovce. Okrem medzivrstevnej tektoniky bol horninový masív porušený i zlomovými poruchami a lokálne intenzívne zvrásnený (Kuvik et al., 2012).

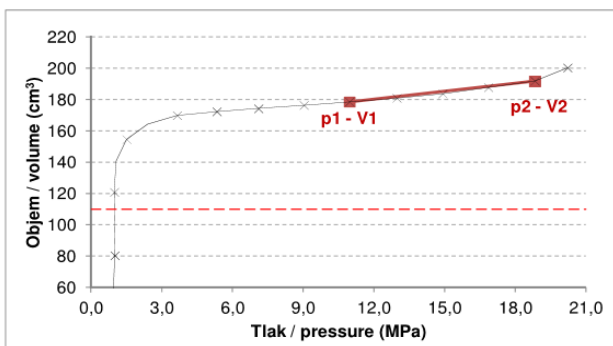
V oblastiach portálov tunela a v miestach s nízkym nadložíom (miesto plánovanej štartovacej jamy pre raziene TBM) bolo možné v prieskumných kopaných sondách a v horizontálnej rozrážke otestovať len silne zvetrané a rozvolnené horninové prostredie resp. úseky vo fosilnom zosuvnom delúviu. Vzhľadom na fakt, že v osi tunela sa nerealizovala prieskumná štôlna, zásadným problémom bolo overenie deformačných parametrov hornín v okolí tunelovej rúry v hlbších častiach masívu, kde



Obr. 2. Sonda dilatometra pripravená na spúšťanie do prieskumného vrtu CZ-08.

Fig. 2. Dilatometer probe ready for lowering into borehole CZ-08.

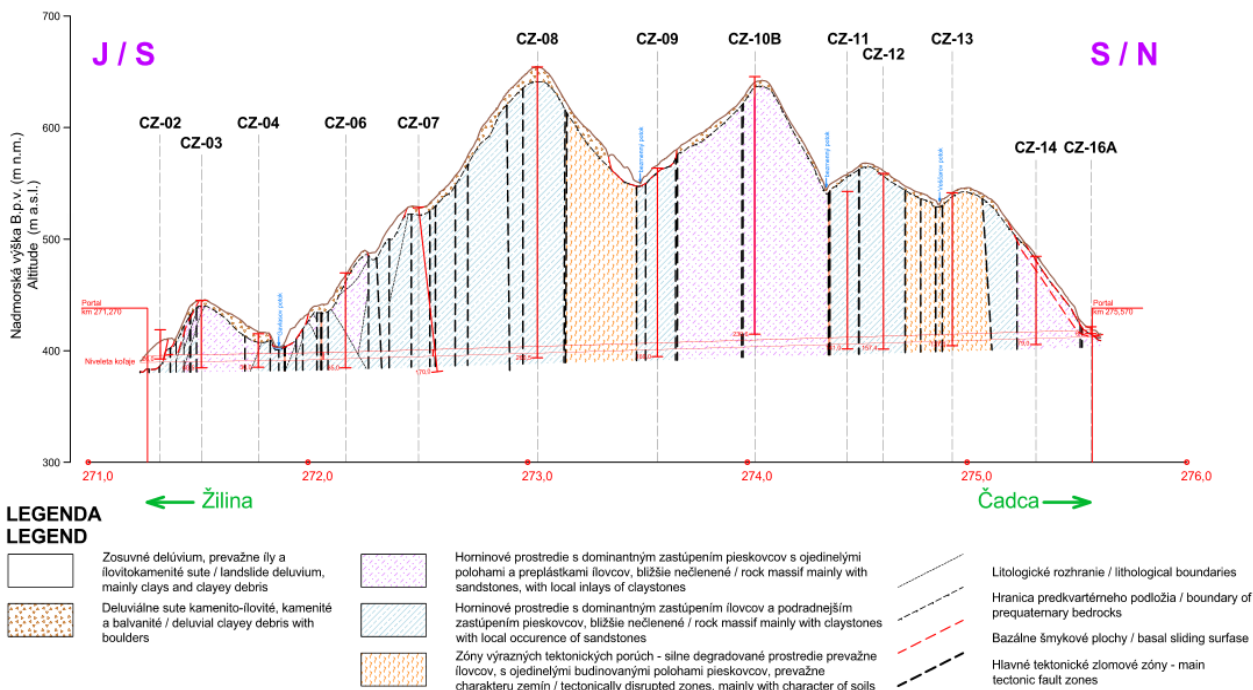
sme predpokladali výskyt menej porušených, menej zvetraných a rozvolnených hornín. Výška nadložia tunela dosahuje až 270 m, čo vylučuje možnosť použitia klasických presiometrických meraní. Z vrtného jadra bolo v laboratórnych podmienkach možné odskúšať prevažne len najkvalitnejšie neporušené časti. Z týchto dôvodov sme využili možnosti dilatometrickeho prístroja PRO-BEX na overenie parametrov hornín in-situ v prieskumných vrtoch.



Obr. 3. Priebeh dilatometrickej skúšky DS-47 vo vrtu CZ-11 v hĺbke 129,5 m.

Fig. 3. Curve of dilatometer test DS-47 in the borehole CZ-11 in the depth 129,5 m.





Obr. 4. Schematický inžinierskogeologický rez trasou tunela Kýchera s vyznačením polohy prieskumných vrtov.

Fig. 4. Schematic engineering geological cross-section of tunnel Kýchera route, with indication of boreholes' position.

V trase tunela bolo počas prieskumu odvrtaných 15 prieskumných vrtov. Vhodne situované hlboké inžinierskogeologické vrty poskytli možnosť realizovať dilatometrické skúšky cielene – tak v oblasti tunelovej rúry ako aj pod jej niveletou a v nadloží jej kaloty.

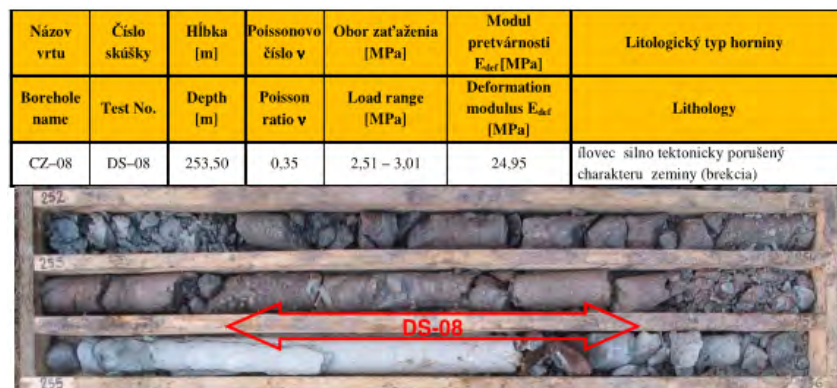
V plytších vrtoch CZ-02, CZ-03, CZ-14 a CZ-16B sme realizovali presiometrické skúšky v hĺbkach 3,0 až 51,2 m pod terénom. V hlbších štruktúrnych vrtoch CZ-08 až CZ-14 boli využité dilatometrické skúšky. Celkom bolo realizovaných 77 skúšok. Hĺbka skúšaných miest bola v rozsahu 56,0–259,5 m (najhlbšie realizovaná skúška bola vo vrte CZ-08). V jednotlivých vrtoch bolo realizovaných od 8 do 17 skúšok vzostupným spôsobom od najhlbšej časti vrtu. Skúšky boli vykonané nielen v prostredí najkvalitnejších masívnych pieskoviec, ale i v prostredí úplne tektonicky porušených ílovcov charakteru zemín.

Z celkového počtu 77 ks najviac dilatometrických skúšok bolo realizovaných v prostredí paleogénnych silno tektonicky

porušených až rozložených ílovcov, ktoré miestami nadobúdali až charakter tektonických ílov s úlomkami pôvodných hornín (pieskoviec aj 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 jej vytiahnutí z vrtu. Tektonicky porušené ílovce majú tendenciu okamžite sa rozpadáť na drobné šupinkaté úlomky. Ojedinele pri vyššom podiele ílu je možné vzorku odskúšať ako neporušenú vzorku v laboratóriu mechaniky zemín. Na obr. 5 je fotografia vrtného jadra zo skúšaného úseku vrtu CZ-08, kde sa vyskytovali podobné silne tektonicky porušené horniny.

Vo výrazne tektonicky porušených ílovcoch bol zistený modul pretvárnosti v rozsahu  $E_{def} = 149,56-1693,45$  MPa, v priemere  $E_{def} = 796,66$  MPa.

Stredne porušené až masívne horniny ílovcového komplexu dosiahli hodnoty modulu pretvárnosti v rozsahu



Obr. 5. Vrtné jadro z vrtu CZ-08 z úseku 252,0–256,0 m. Zbridičnatené pestré ílovce charakteru šupinkatého ílu s úlomkami prechádzajú na báze ostro do masívnych pieskoviec. Dilatometrické skúšky boli realizované vo vyznačenej hĺbke 253,50 m.

Fig. 5. Core recovery of borehole CZ-08 from depth 252,0–256,0 m. Versicolour shale of flaky clay character with debris, which sharp transition into massive sandstones. Dilatometer test was performed at prompted depth 253,50 m.

$E_{def} = 4068,62 - 11505,44$  MPa, v priemere  $E_{def} = 7454,90$  MPa. Tieto hodnoty sú neočakávané vysoké v porovnaní s doteraz zistenými hodnotami z obdobných horninových prostredí, ktoré ale boli zisťované len presimetrickými skúškami. Tento temer rádivý rozdiel v hodnotách možno pripísať väčšiemu oboru zaťaženia a väčšiemu skúšanému úseku horniny v prípade použitia dilatometra. Laboratórne testy deformačných parametrov ílovcov sú prakticky neuskutočniteľné, nakoľko jadro tvorené ílovcom sa aj po jeho okamžitom zabalení rozpadáva vplyvom zmeny napätosti a vlhkosti na disky pozdĺž plôch vnútornej laminácie alebo plôch vrstevnatosti. Po doprave do laboratória zvyčajne nie je možné pripraviť vhodnú skúšobnú vzorku.

Výsledky dilatometrickej skúšky DS-44 predstavujú charakteristické hodnoty tak modulu pretvárnosti  $E_{def} = 7560,28$  MPa,

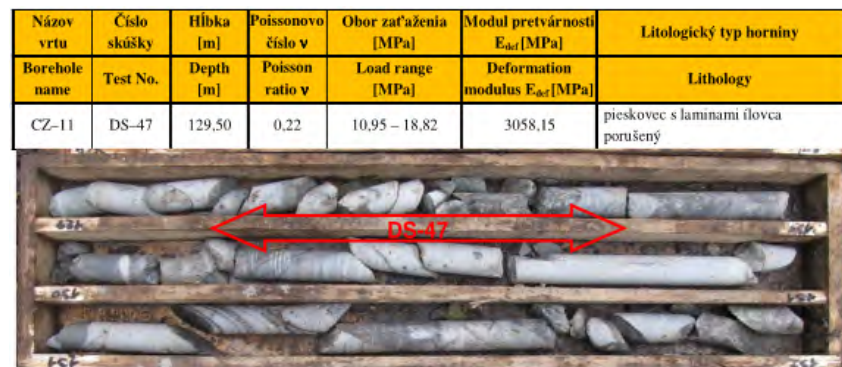
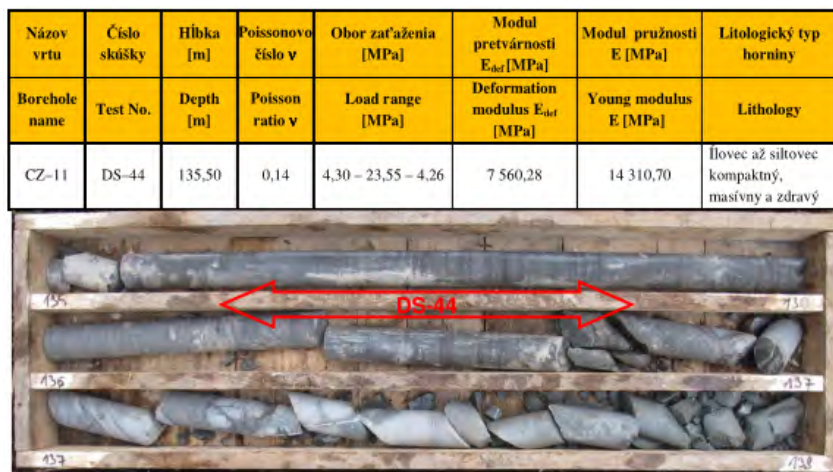
ako aj modulu pružnosti  $E = 14310,70$  MPa pre uvedený inžinierskogeologický typ horninového masívu (Obr. 6).

Porušené a zvetrané pieskovce s preplástkami alebo laminami ílovca boli otestované 13 dilatometrickými skúškami, kde výsledky preukázali veľký rozsah modulu pretvárnosti  $E_{def} = 210,75 - 4209,59$  MPa, v priemere  $E_{def} = 1899,60$  MPa. Obr. 7 znázorňuje vrtné jadro v mieste skúšky DS-47 s hodnotou modulu pretvárnosti  $E_{def} = 3058,15$  MPa tohto inžinierskogeologického typu, obr. 8 dokumentuje miesto skúšky DS-36 s nízkou hodnotou  $E_{def} = 298,68$  MPa.

Najkvalitnejšie horninové prostredie tvorené masívnymi, zdravými a kompaktnými pieskovecami s ojedinelým lokálnym porušením bolo testované 14 dilatometrickými skúškami, ktoré preukázali  $E_{def} = 3429,85 - 22993,73$  MPa, v priemere  $E_{def} = 9891,90$  MPa.

Obr. 6. Vrtné jadro z vrtu CZ-11 z hĺbky 135,0–138,0 m. Kompaktné masívne ílovce, postupne prechádzajúce do doskovitých pieskoviec.

Fig. 6. Core recovery from borehole CZ-11 from depth 135,0–138,0 m. Compact massive claystones, which gradually pass into thin-bedded sandstones.

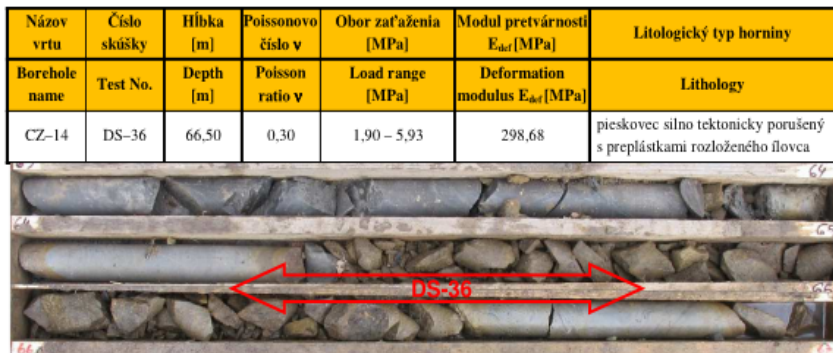


Obr. 7. Vrtné jadro z vrtu CZ-11 z hĺbky 129,0–132,0 m. Zdravé ale rozpukané jemnozrnné pieskovce až siltovce.

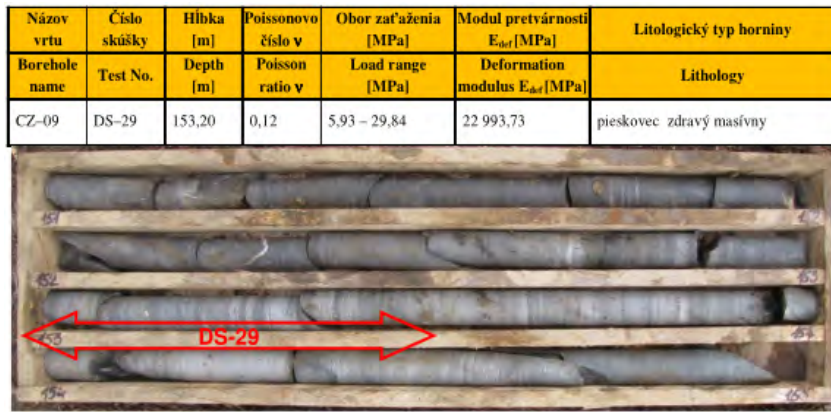
Fig. 7. Core recovery of borehole CZ-11 from depth 129,0–132,0 m. Jointed fine-grained fresh sandstones, to siltstones.

Obr. 8. Vrtné jadro z vrtu CZ-14 z hĺbky 63,0–66,0 m. Tektonicky porušené pieskovce s preplástkami rozloženého ílovca.

Fig. 8. Core recovery of borehole CZ-14 from depth 63,0–66,0 m. Tectonically disrupted sandstones with interlayers of claystones.

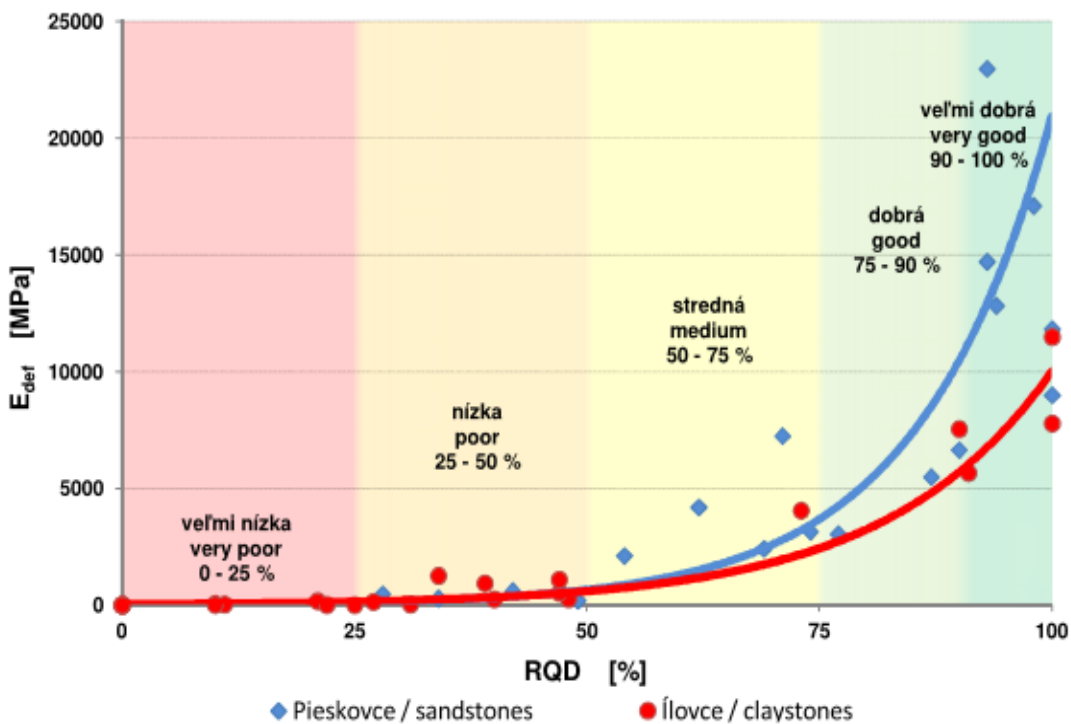






Obr. 9. Vrtné jadro z vrtu CZ-09 z hĺbky 151,0–155,0 m. Kompaktné masívne jemnozrnné pieskovce až siltovce, najkvalitnejšie horninové prostredie zistené v trase tunela.  
 Fig. 9. Core recovery of borehole CZ-09 from depth 151,0–155,0 m. Compact massive fine-grained sandstones and siltstones, the best-quality rock environment determined in route of the tunnel.

Obr. 10. Vrtné jadro z vrtu CZ-08 z hĺbky 256,0–260,5 m. Kompaktné masívne pieskovce až mikrozelepence s preplástkami tektonicky porušených pestrých ílovcov.  
 Fig. 10. Core recovery of borehole CZ-08 from depth 256,0–260,5 m. Compact massive sandstones or fine-grained agglomerates with intercalations of tectonically disrupted versicolour claystones.



Obr. 11. Trend závislosti modulu pretvárnosti  $E_{def}$  od indexu RQD pre ílovcový a pieskovecový horninový masív.  
 Fig. 11. Tendency of correlation between deformation modulus and rock quality design ratio (RQD) for claystones and sandstones.

Tab. 1. Tabuľkový prehľad priemerných zistených hodnôt modulov deformácie rozličných horninových typov a pre rozličný stupeň ich porušenia (Ic – ílovec, Pc – pieskovec).

Tab. 1. Table digest of mean values of deformation modulus for various rock types and various degree of disturbance (Ic – claystone, Pc – sandstone).

Výsledky dilatometrických skúšok s účelovou klasifikáciou horninového prostredia Results of dilatometer tests with objective classification of rock environment				Účelová klasifikácia horninového prostredia Rock environment classification	
Litologický typ Lithological type	Priemer mean Edef (MPa)	RQD rozsah/priemer range/mean (%)	RMR rozsah/priemer range/mean	RQD	RMR
Ic silno tektonicky porušené, rozložené Ic tectonically disturbed or decomposed	56,40	0 – 27/8	15 – 28/18	veľmi nízka very poor 0 – 25 %	< 20 veľmi zlá very bad
Ic rozpukané Ic jointed	796,66	34 – 48/43	25 – 42/35	nízka poor 25 – 50 %	21 – 40 zlá bad
Ic stredne porušené až zdravé Ic medium joined and fresh	7454,90	73 – 100/90	46 – 62/57	stredná medium 50 – 75 %	41 – 60 uspokojivá fair
Pc silno tektonicky porušené až rozložené Pc very tectonically disturbed or decomposed	423,35	28 – 49/38	27 – 35/32	dobrá good 75 – 90 %	61 – 80 dobrá good
Pc rozpukané Pc jointed	2786,19	54 – 77/67	35 – 46/42	veľmi dobrá very good 90 – 100 %	81 – 100 veľmi dobrá very good
Pc navetrané až zdravé Pc slightly weathered or fresh	9891,90	93 – 100/97	46 – 78/68		

Na obr. 9 je znázornené miesto skúšky DS-29, kde modul pretvárnosti dosiahol absolútne najvyššiu hodnotu  $E_{def} = 22993,73$  MPa pre tento najpriaznivejší inžinierskogeologický typ horninového masívu v trase tunela, čo dokumentuje takmer zhodu s výsledkami deformačných parametrov zistených laboratórne.

Do tohto typu najkvalitnejšieho horninového prostredia bola situovaná aj dilatometrická skúška DS-05, realizovaná vo vrte CZ-08 v doteraz najväčšej hĺbke na Slovensku – 258,30 m (Obr. 10).

Vzhľadom na cieľ prieskumných prác – overiť kvalitu horninového prostredia na účely výstavby tunela – v nasledujúcom obr. 11 sme sa pokúsili vyjadriť závislosť výsledkov dilatometrických skúšok vyjadrenú modulom pretvárnosti  $E_{def}$  od stupňa porušenia horninového masívu tvoreného ílovcami a pieskovecami, vyjadrenú indexom RQD. Index RQD predstavuje jedno zo základných hodnotiacich kritérií účelových klasifikácií kvality horninového masívu používaných pri prieskume a výstavbe tunelov. Index RQD bol určený z vrtného jadra prieskumných vrto.

Tieto údaje sú porovnané i v tab. 1, ktorá prezentuje výsledky podrobnej analýzy horninového prostredia tvoreného ílovcami a pieskovecami s rôznym stupňom zvetrania a porušenia. Orientačne pre uvedený typ ílovcového a pieskovecoveho horninového komplexu uvádzame aj hodnoty RMR, t. j. klasifikácie hornín podľa Bieniawského (1973, 1979), ktorá je z výsledkov prieskumných vrto bez prieskumnej štólne najlepšie aplikovateľná a univerzálna. Ratingové bodové ohodnotenie v sumáre zohľadňuje posúdenie viacerých prvkov horninového masívu: pevnosť

v prostom tlaku  $\sigma_c$ , index kvality RQD, vzdialenosť a charakter diskontinuit, vplyv podzemnej vody a vzťah štruktúrnych prvkov masívu k osi tunela.

Z nameraných údajov po ich štatistickom spracovaní vyplýva niekoľko zaujímavých skutočností:

- ▶ zdravé masívne málo rozpukané horniny dosahujú pri dilatometrickom testovaní rovnaké a často vyššie výsledky hodnôt modulu pretvárnosti ako vzorky testované v laboratórnych podmienkach (túto skutočnosť bude v budúcnosti potrebné overiť na väčšom súbore laboratórnych testov hornín z oblasti realizácie dilatometrických skúšok);
- ▶ priemerné zistené hodnoty modulov pretvárnosti málo porušených ílovcov a pieskovecov sú temer zhodné, prakticky sa stráca rozdiel medzi týmito horninovými typmi. Modul pretvárnosti dosahuje v priemere hodnoty 7 GPa v prípade masívnych ílovcov a cca 10 GPa v prípade kompaktných pieskovecov;
- ▶ čím je hornina viac porušená resp. zvetraná, tým väčší je rozdiel v moduloch pretvárnosti nameraných v prípade ílovcov a v prípade pieskovecov. Kým tektonicky silne porušené resp. rozložené ílovce mali v priemere modul pretvárnosti na úrovni 56,40 MPa, podobne porušené a zvetrané pieskovce dosahovali v priemere hodnoty  $E_{def} = 423,35$  MPa, t. j. zistený bol rozdiel cca 1 rádu;
- ▶ v prípade silne tektonicky porušených až rozložených ílovcov je možné odobrať vzorky na laboratórne testovanie deformačných parametrov ako neporušenú vzorku zeminy. Laboratórne zistené hodnoty deformačných parametrov sú

blízke k parametrom nameraným pomocou dilatometrických skúšok, ale aj pomocou statických zaťažovacích skúšok doskou a presiometrických skúšok;

- ▶ v prípade rozpukaných ílovcov nie je možné odobrať vhodnú vzorku na laboratórne testovanie deformačných parametrov, nakoľko vplyvom odlahčenia vzorky a zmien vlhkosti dochádza k okamžitej dezintegrácii vrtného jadra. Porovnateľné sú len výsledky dilatometrických a presiometrických skúšok, kde hodnoty získané z dilatometrických skúšok sú 2–5 krát vyššie ako z presiometrických skúšok a to z dôvodu aplikácie vyšších oborov zaťaženia;
- ▶ veľký význam z hľadiska deformačných a pevnostných parametrov pieskocov má ich mineralogické zloženie (pričom v danej lokalite ide o kremenné až arkóзовé pieskovce s glaukonitom) a materiál cementačného tmelu (zvyčajne kremenný).

## 6. ZÁVER

Na základe prvých skúseností s horninovým dilatometrom možno 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 pre významné tunelové alebo vodohospodárske stavby neodôvodnene redukovávajú až za hranicu spoľahlivosti, pričom sa upúšťa najmä od realizácie prieskumných štôlní, predstavuje horninový dilatometer vhodnú alternatívu, ako doplniť a overiť projektantmi požadované údaje. Samozrejme, samotná skúška je časovo i finančne náročnejšia ako klasická presiometrická skúška – vyžaduje sa dlhšia príprava pred meraním (kalibrácie), aktívna spoluúčasť osádky vrtnej súpravy (spúšťanie sondy na vrtných tyčiach, prestoje), komplikovanejšie je i vyhodnocovanie výsledkov. V porovnaní s realizáciou prieskumných štôlní a statických zaťažovacích skúšok doskami vykonávaných v nich je však skúška horninovým dilatometrom lacnejšia a rýchlejšia. Zároveň v porovnaní s presiometrickou skúškou je možné dosiahnuť cca 5–10 krát väčší obor zaťaženia, pričom zároveň je testovaný dlhší úsek steny vrtu, čo v konečnom dôsledku predstavuje väčšiu výpovednú schopnosť posúdenia kvality horninového masívu.

Jednou z najväčších výhod je možnosť otestovania i veľmi nestabilných hornín, najmä ílovcov, ktoré predstavujú pomerne hojne sa vyskytujúce horniny v rámci geologickej stavby Slovenska. Tieto horniny sú citlivé na zmeny vlhkosti i napätosti a po ich vytiahnutí z vrtu sa zvyčajne veľmi rýchlo rozsypávajú na úlomky, nevhodné na laboratórne skúšky mechaniky hornín. Kôra zvetrania v komplexe ílovcov siaha zvyčajne do hĺbok viac ako 50 m, čo znemožňuje ich otestovanie v zdravšom stave klasickou presiometrickou skúškou. Možnosť zistiť ich parametre in-situ bez rizika zavalenia vrtu i v zóne zdravých a málo navetraných hornín predstavuje jeden z najväčších prínosov dilatometra pre poznanie geotechnických vlastností hornín na Slovensku.

Na kvalitné a spoľahlivé porovnanie výsledkov dosiahnutých s horninovým dilatometrom s inými druhmi skúšok a na odvodenie potrebných korelačných vzťahov je však potrebné realizovať štatisticky rozsiahlejší súbor všetkých typov skúšok na viacerých lokalitách v rôznych typoch horninových prostredí.

V súčasnosti sa na Slovensku pripravujú mnohé zaujímavé podzemné stavby, kde by bolo uvedený prístroj možné uplatniť a využiť jeho možnosti testovania aj hlbokých partií masívov. Takisto aj počas samotnej výstavby je možnosť spresňovať geotechnické parametre horninového masívu, najmä na stavbách, kde rozsah prieskumu nebol dostatočný a zodpovedajúci náročnosti stavebného diela a kde pretrvávajú neistota ohľadom kvality a spoľahlivosti poskytnutých údajov. Odvrátenie prieskumného vrtu a realizácia dilatometrických skúšok v ňom nepredstavuje časové straty a v porovnaní s nákladmi na samotnú realizáciu podzemného diela sú náklady na takéto doplnkové skúšky zanedbateľné. Celkovo tak doplnkové skúšky umožnia optimalizovať stavebné náklady operatívne aj v priebehu výstavby.

Veríme, že možnosti prístroja budú zaujímavé i pre investovateľov, keďže z finančného pohľadu umožňujú získavať podstatne spoľahlivejšie údaje o deformačných parametroch hornín lacnejšie a bez potreby realizovať náročné banské prieskumné diela. V princípe ide o komplexnejšie využitie prevažne hlbokých prieskumných vrtov realizovaných systémom Wireline.

Je však potrebné zároveň uviesť, že vrtným prieskumom nemožno nahradiť inžinierskogeologický prieskum formou prieskumnej štôlne a to najmä z hľadiska podrobnosti získaných informácií o geologickej stavbe a uplatniteľných geotechnických skúšobných metód. V geologicky exponovaných územiach, v ktorých sa plánujú podzemné stavby, by preto mali byť využité obe metódy prieskumu – vrtný prieskum i prieskumná štôlna.

Na záver si dovoľujeme poďakovať generálnemu projektantovi stavby tunela Kýčera, spoločnosti Reming Consult a. s. Bratislava a investorovi stavby, Železnicám Slovenskej republiky za možnosť publikovať výsledky prieskumných prác.

## Literatúra

- USBR, 2009: Determining in situ deformation modulus using a flexible volumetric dilatometer. Designation USBR 6575-09, Materials Engineering and Research Laboratory, code 86-68180, Technical Service Center, Denver, Colorado, 22 p.
- Instruction manual dilatometer, 2002: model PROBEX-1, RocTest Limited, Canada, 14 p.
- Kuvik M., Bohyník J., Coplák M., Holeša Š., Borovský M., Šimek M. & Flimmel J., 2012: Záverečná správa, ŽSR Modernizácia železničnej trate Krásno nad Kysucou (mimo) – Čadca – štátna hranica SR/ČR na rýchlosť do 160 km/h, podrobný inžinierskogeologický prieskum. CAD-ECO a.s., Bratislava.
- Singh B. & Goel R.K., 1999: Rock mass classification, a practical approach in civil engineering. Elsevier Science Ltd., Oxford, 34–44 p.
- STN EN ISO 22476-5, 2013: Geotechnický prieskum a skúšanie. Terénne skúšky. Časť 5: Flexibilná dilatometrická skúška (ISO 22476-5: 2012). SUTN.

**Summary:** During engineering geological investigation works for designed railway tunnel Kýčera a new dilatometer apparatus was used for determination of geotechnical parameters of rock massif. The dilatometer tests were realized in 6 boreholes, in the depths from 50,0 m up to 258,3 m. Totally 77 dilatometer tests were carried out.

On the basis of the first experience with rock dilatometer we are able to say, that this apparatus in comparison with commonly used pressuremeters brings new and large opportunities for testing of rock massifs in-situ. Dilatometer tests represent a good alternative how to obtain a relevant



geotechnical data, which are demanded by tunnel designers. In Slovakia deformation parameters of rock massif are usually tested by static plate load tests or by pressuremeter tests.

Performance of static plate load test requires preparing an underground exploration gallery, what brings higher overall costs and longer time frame of geological investigation works. However, in Slovak conditions this fact leads to unfounded reduction of investigation works, often overcrossing data reliability limits. In comparison with static load tests in exploration galleries, the dilatometer tests cost less and their execution is much faster.

On the other hand the pressuremeter apparatus requires less time for execution the tests, but its technical limits don't allow using these tests in the depths exceeding 30 – 50 m. Indeed, realization of dilatometer tests is more expensive and more time demanding than pressuremeter tests – it is required longer preparation before measurement (calibration), effective cooperation of drilling machine crew (lowering of test probe into borehole), sophisticated processing of data etc. But in comparison with pressuremeter test, the dilatometer probe is able to reach 5 to 10 times higher load range and atop on this, it is possible to test longer section of borehole wall. These facts improve reliability of obtained geotechnical parameters of rock massif and also estimation of rock quality.

One of the greatest advantages of rock dilatometer apparatus is a possibility to test very unstable and weak rocks without risk of burying of testing probe. This type of rock is very common in geological conditions of Slovakia. Especially Palaeogene claystones represent abundant rock type, which is very sensitive to moisture content changes and changes of stress state. Usually, this claystone is shortly after its recovery from borehole decomposed into debris. Often it is absolutely impossible to select rock specimens for laboratory tests. Zone of weathering usually reaches depths of more than 50 m, therefore it is unfeasible to test fresh claystones by pressuremeter tests.

The results show some interesting facts:

- ▶ fresh massive non-jointed rocks reach the values of deformation modulus, obtained from dilatometer tests, comparable with results of laboratory tests of rocks;
- ▶ mean values of deformation modulus for undisturbed massive claystones and sandstones are almost equal. Thus the difference between these rock types diminishes. Mean deformation modulus for massive claystone reaches 7 GPa, while for massive sandstone the mean deformation modulus attacks the values up to 10 GPa.
- ▶ in case of totally tectonically disrupted or weathered claystones there was a possibility to sample the rocks for laboratory soil mechanics tests. In-labo obtained results of deformation modulus are in very good coincidence with the results of dilatometer tests, and even the pressuremeter tests and plate static load tests;

For quality and reliability comparison of results achieved by rock dilatometer and by other geotechnical tests and for derivation of vital correlations it is necessary to realize statistically larger set of dilatometer tests on more localities in different geological environments.

Nowadays a lot of interesting underground projects are in preparation, where it would be possible to apply the dilatometer tests for determination of geotechnical properties in deep parts of rock massifs. It is also possible to enhance geotechnical parameters of rocks in case of uncertainty of geotechnical parameters reliability during construction phase of underground, transportation or hydrotechnical engineering structures, where engineering geological investigation would be deficient.