

Renesance terénních smykových a zatěžovacích zkoušek in situ na průzkumu pro metro D v Praze

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., PUDIS, a.s.

Ing. Ivo Pavlík, GEOtest, a.s.

ROZVINUTÝ PODÉLNÝ ŘEZ ROZRÁŽKY RI

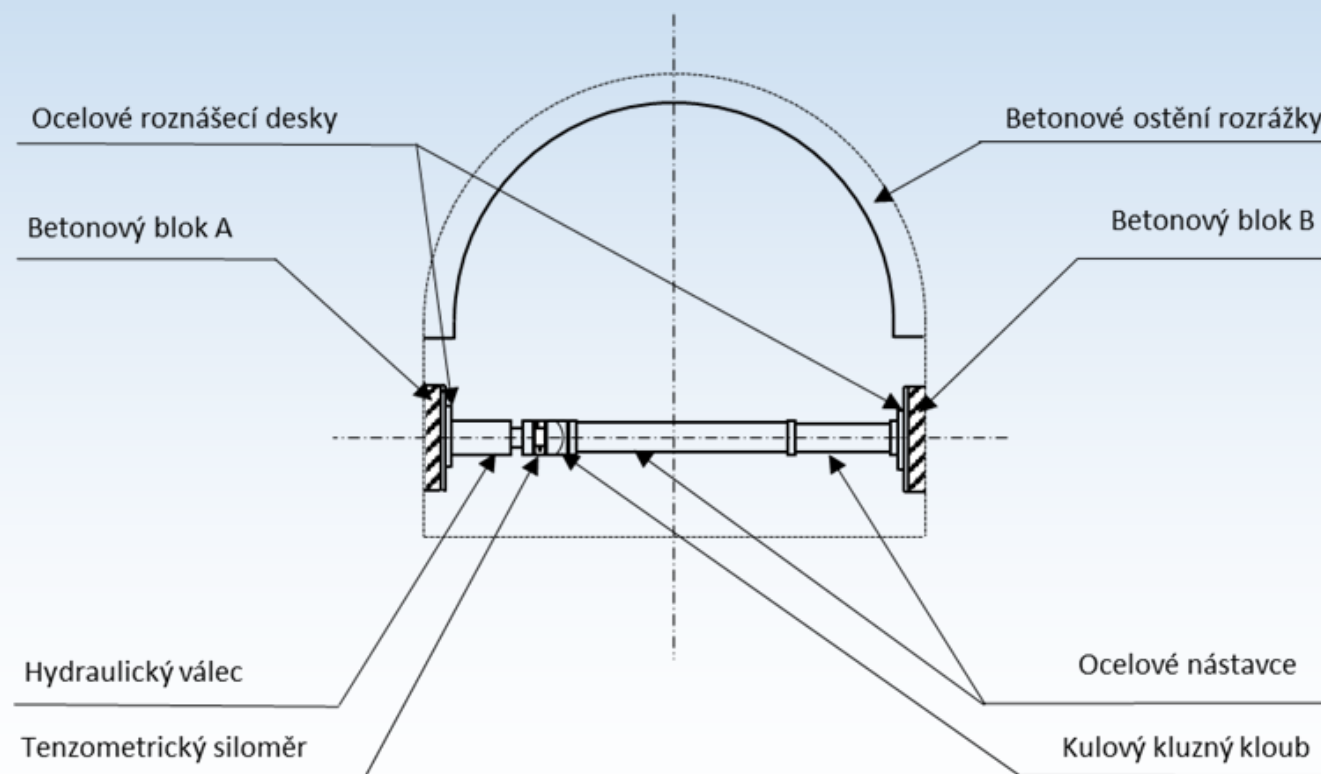


Zatěžovací zkoušky deskou

- rozpěrné zkoušky v horizontálním směru
- kolmo na osu geotechnické rozrážky
- zkoušen byl proinjektovaný horninový masív
 - jílovité břidlice laminované křemenci
 - křemence
- čtvercové zkušební plochy o hraně 0,5 m
 - velikost zkušební plochy 0,25 m²
- masív byl zatěžován přes betonové bločky tl. 5 – 10 cm

Zatěžovací zkoušky deskou

Schéma zatěžovací sestavy



Příprava zkušebních ploch



Příprava zkušebních bločků



Příprava zatěžovací sestavy



Metodika zatěžovací zkoušky

- zatěžování po zatěžovacích stupních
- velikost zatěžovacího stupně 100 kN, první stupeň půlený (50 – 100 – 200 – 300 – 400 kN)
- maximální kontaktní napětí 1,6 MPa
- Odlehčování po stupních 200 – 100 – 50 – 0 kN
- Na každém zatěžovacím i odlehčovacím stupni jsou ustáleny deformace na každém snímači (0,025 mm / 3 minuty)
- provedeny 2 zatěžovací a odlehčovací cykly

Schéma zkoušky:

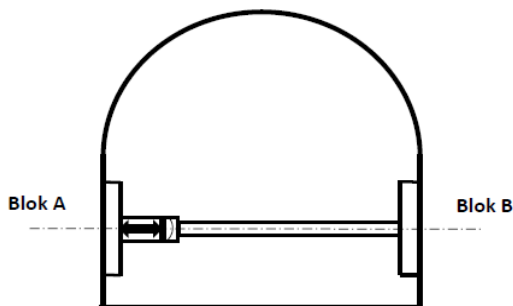
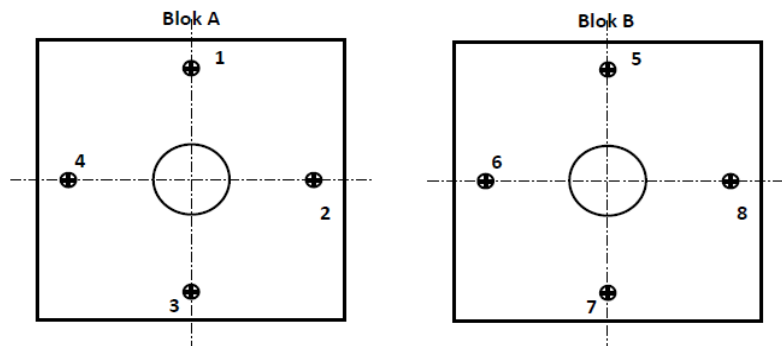


Schéma rozmístění snímačů deformace:



Realizace zatěžovací zkoušky



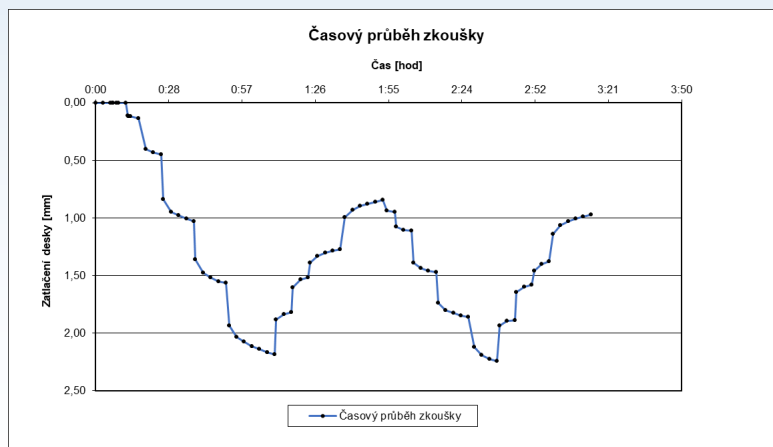
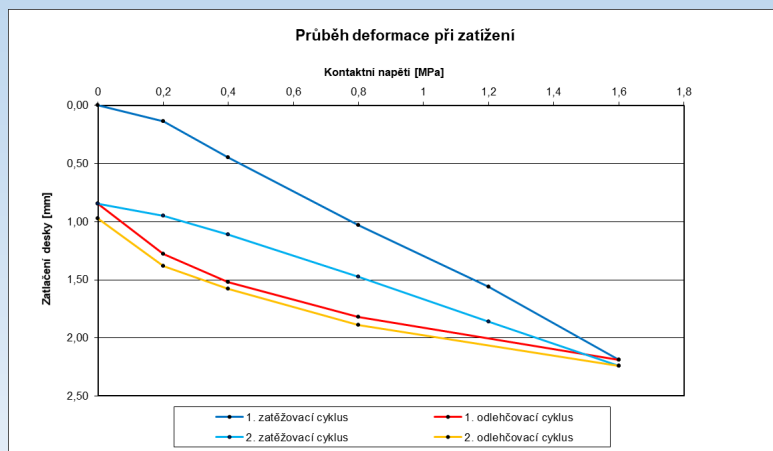
Měření deformací a záznam dat



- digitální úchylkoměry, výrobce Mahr
- měřicí rozsah 25 mm
- přesnost čtení 0,001 mm
- dálkový přenos dat do počítače přes Bluetooth port
- automatické vyhodnocování naměřených hodnot a zpracování průběhu zkoušky



Vyhodnocení zatěžovací zkoušky



- Schleichertův vzorec

$$E_{def} = (1 - \nu^2) \cdot a \cdot \alpha \cdot \Delta p / \Delta y$$

ν - Poissonovo číslo horninového masívu

0,27 – břidlice laminované křemenci

0,22 - křemence

a - délka strany zatěžovací desky [m]

α - součinitel tvaru a tuhosti desky

$\alpha = 0,88$ pro ocelovou tuhou desku

Δp - změna kontaktního napětí [MPa]

Δy - změna zatlačení desky [m]

Výsledky zatěžovacích zkoušek

Číslo zkoušky	Staničení [m] Zkoušený blok	Zkoušený materiál	Maximální průměrná deformace (mm)	Modul přetvárnosti E_{def} [MPa]	Modul pružnosti E [MPa]
01/190281	11,5 A (levý)	jílovité břidlice laminované křemencem	1,53	407	664
	11,5 B (pravý)	jílovité břidlice laminované křemencem	1,91	325	495
02/190281	13,5 A (levý)	jílovité břidlice laminované křemencem	1,68	361	689
	13,5 A (levý) *)	křemence	0,28	2 290	3 325
	13,5 B (pravý)	jílovité břidlice laminované křemencem	2,62	233	360
03/190281	17,5 A (levý)	křemence	0,22	3 014	3 710
	17,5 B (pravý)	jílovité břidlice laminované křemencem	2,19	278	500

Pozn.: Uvedené maximální průměrné deformace jsou z prvního zatěžovacího cyklu.

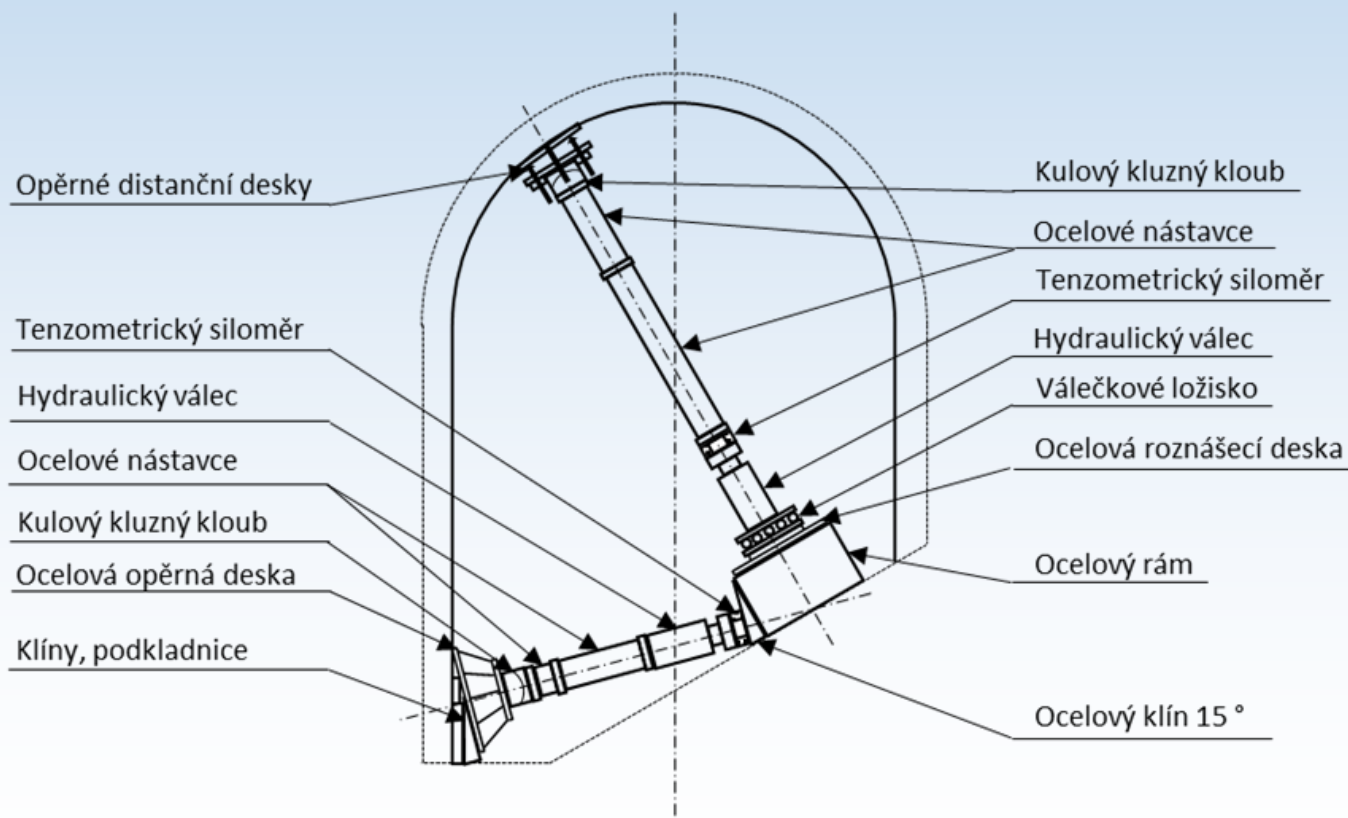
*) hodnoty vyhodnocené samostatně z deformací na snímači č. 1 v lavici křemenců

Smykové zkoušky

- stanovení parametrů smykové pevnosti horninového masívu
- opracované horninové bloky jsou zabetonovány do ocelových rámců 0,5 x 0,5 x 0,3 m
- horninové bloky jsou namáhány kombinací normálových a tangenciálních sil až do usmýknutí
- jílovité břidlice s tenkými laminami křemenců
- zkoušen byl proinjektovaný horninový masív
- smyková síla je orientována rovnoběžně s vrstevnatostí
- sklon vrstev v rozrážce 24 – 36 °

Smykové zkoušky

Schéma zatěžovací sestavy pro smykové zkoušky



Příprava horninových bloků



Příprava horninových bloků



Příprava zatěžovacích sestav



Metodika smykových zkoušek

- blok je nejprve zatížen plnou hodnotou normálového zatížení
- normálové zatížení je voleno v rozmezí 0,2 – 0,8 MPa (50 – 200 kN)
- po ustálení deformací je blok zatěžován tangenciální silou po zatěžovacích stupních velikosti 1/6 – 1/10 normálové síly
- tangenciální zatížení je do bloku vnášeno pod úhlem 15 °
- současně je snižováno normálové napětí o normálovou složku smykové síly tak, aby bylo po celou dobu zkoušky konstantní
- po dosažení každého zatěžovacího stupně jsou ustáleny deformace na všech snímačích (0,025 mm / 3 minuty)
- zatěžování pokračuje až do usmýknutí bloku
- následně jsou uzavřeny ventily hydraulických systémů a jsou sledovány časové průběhy poklesu sil – reziduální smyková pevnost
- následně jsou usmýknuté bloky překlopeny a smykové plochy jsou zdokumentovány a zplanimetrovány

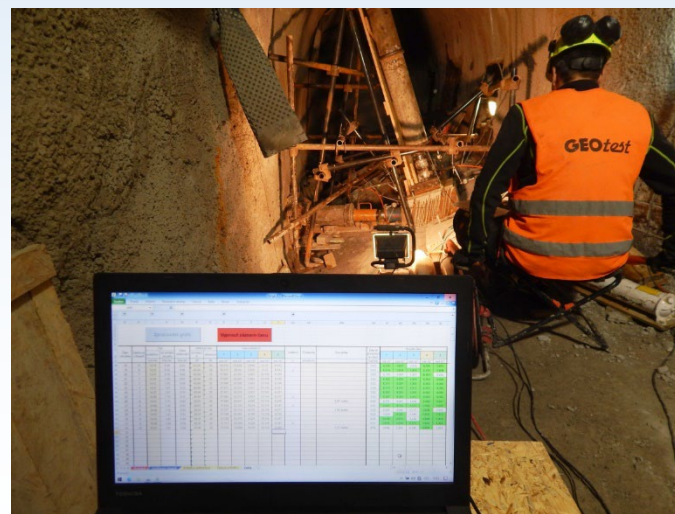
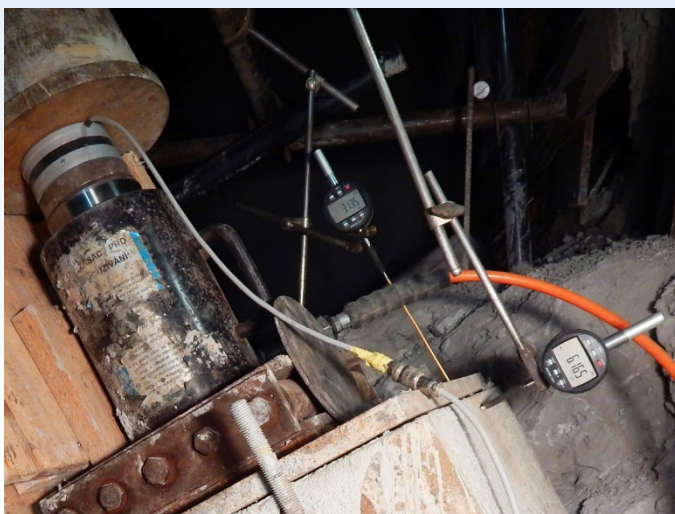
Realizace smykových zkoušek



Měření deformací a záznam dat



- 3 snímače pro měření smykových posunů
- 2 snímače na kyvných stojkách pro měření normálových deformací (dilatance bloku)
- digitální úchylkoměry, výrobce Mahr
- měřící rozsah 25 mm
- přesnost čtení 0,001 mm
- dálkový přenos dat do počítače přes Bluetooth port
- automatické vyhodnocování naměřených hodnot a zpracování průběhu zkoušky



Dokumentace smykových ploch

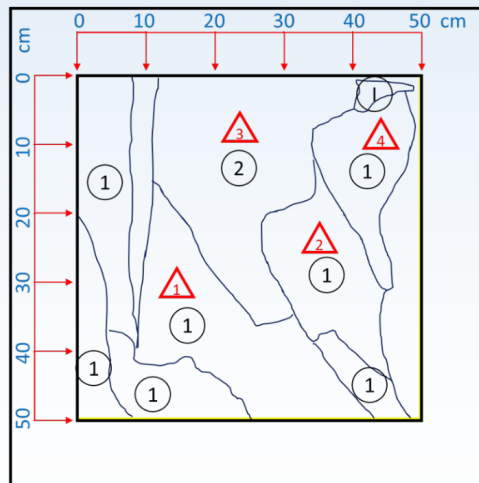
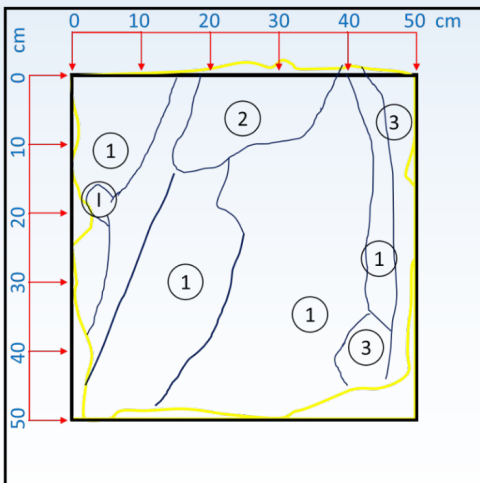
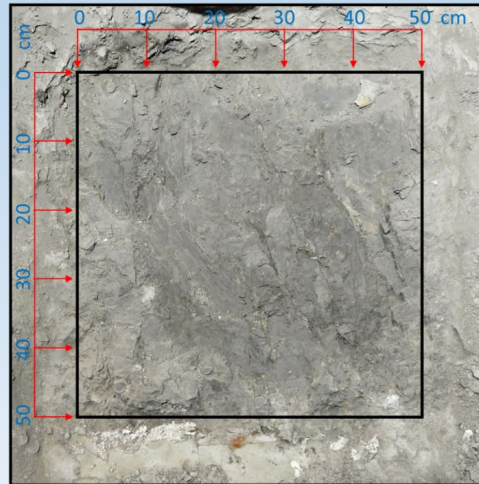


Dokumentace smykových ploch

Dokumentace usmýknutého bloku:



Dokumentace plochy odlomu:

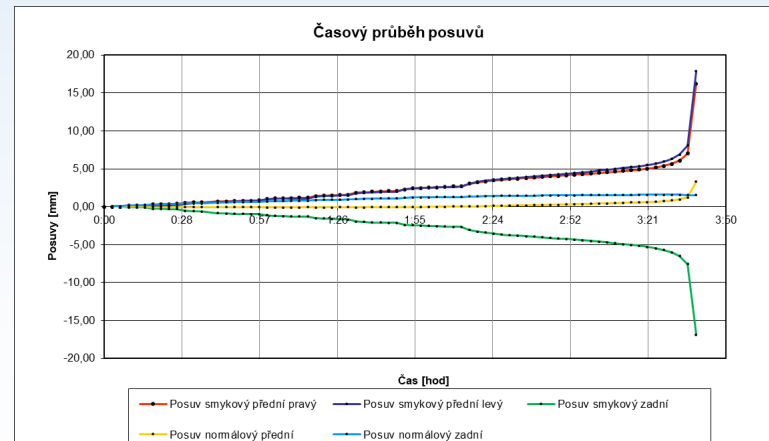
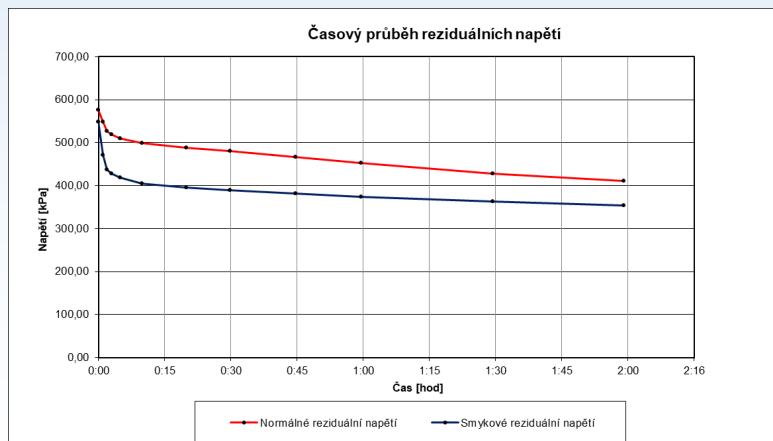
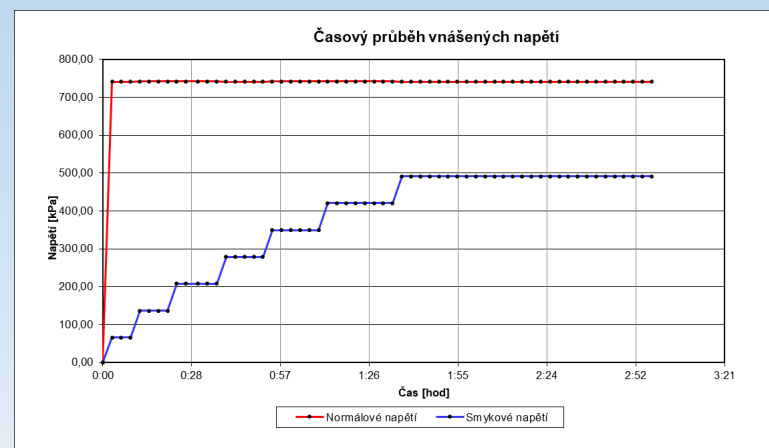
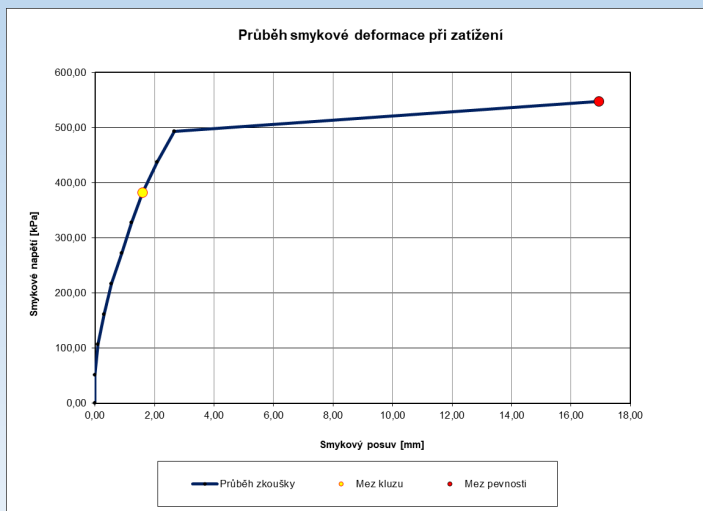


- Jílovitá břidlice s příměsí pyritu – křehký lom,
- 1 drčení úlomků horniny vlivem smykového posuvu
- 2 Jílovitá břidlice – křehký lom s občasnými ohlasy ve směru smyku
- 3 Křemence
- I Injektáž

Tektonická měření:

	0° / 25°	plocha lomu
	355° / 25°	plocha lomu
	8° / 35°	plocha lomu
	358° / 35°	plocha lomu

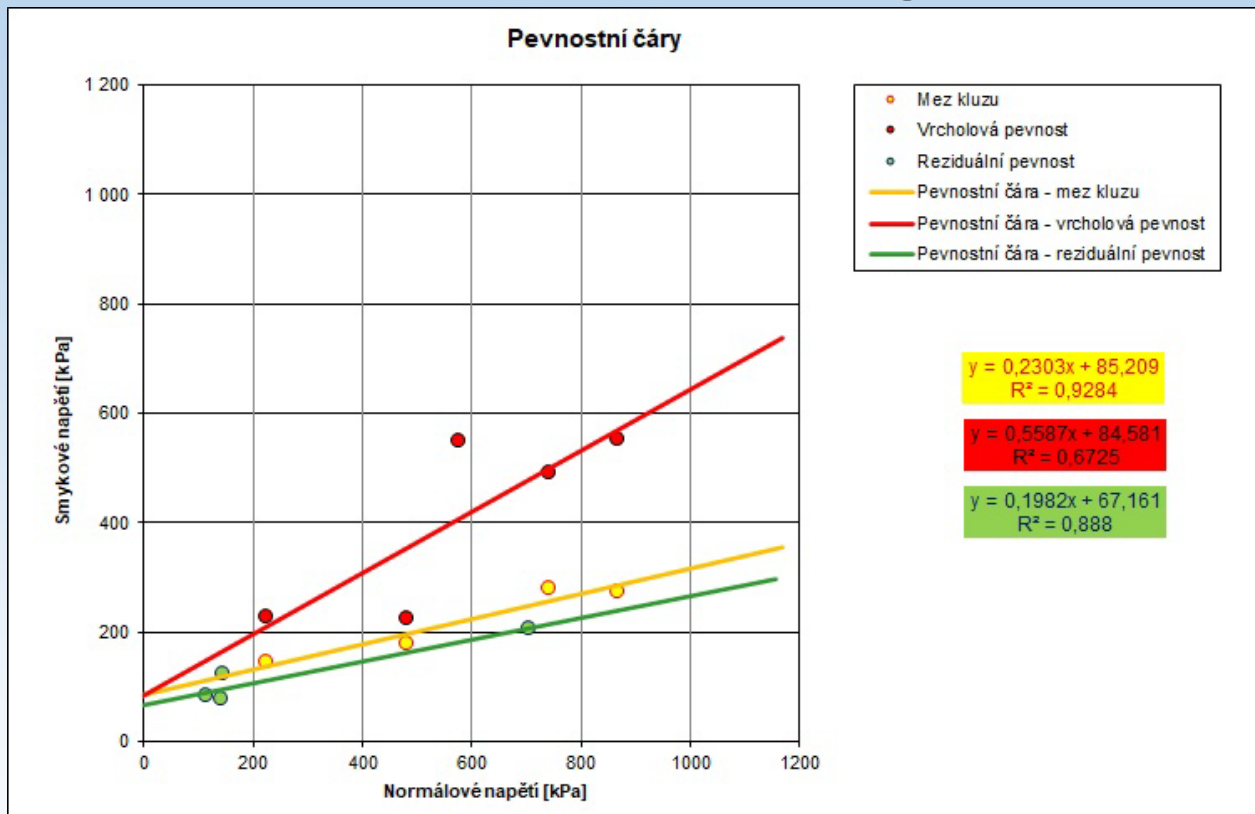
Grafické průběhy smykových zkoušek



Výsledky smykových zkoušek

Číslo zkoušky	Staničení [m] Zkoušený blok	Velikost normálové síly [kN]	Maximální dosažená smyková síla [kN]	Velikost smykové plochy [m ²]	Normálové napětí [kPa]	Maximální smykové napětí [kPa]
04/190281	11,7 Blok č. 1	200	133,33	0,2323	868	551
05/190281	12,7 Blok č. 2	50	90	0,2358	219	365
06/190281	13,9 Blok č. 3	125	125	0,2187	579	548
07/190281	15,4 Blok č. 4	150	105	0,2044	742	491
08/190281	16,5 Blok č. 5	50	55	0,2291	225	227
09/190281	17,6 Blok č. 6	100	50	0,2103	483	224

Vyhodnocení parametrů smykové pevnosti



Parametry pevnostních čar:

Mez kluzu:	$\tau_{0y} = 85$ kPa	$\phi_y = 12,97^\circ$
Vrcholová pevnost:	$\tau_{0p} = 85$ kPa	$\phi_p = 29,19^\circ$
Reziduální pevnost:	$\tau_{0r} = 67$ kPa	$\phi_r = 11,21^\circ$

Terénní smykové a zatěžovací zkoušky na horninových blocích

- Jsou v případě jako je průzkum pro jednolodní stanici metra v takto exponovaném místě opodstatněné
- V heterogenním horninovém prostředí jako je střídání jílovitých břidlic a vložek křemenných pískovců dávají tyto zkoušky velmi cenné výsledky a jsou důležitým podkladem pro stanovení doporučených geomechanických charakteristik v závěrečném zhodnocení průzkumu
- V návaznosti na realizaci tohoto typu zk. na pražském metru především v 70. a 80. letech 20. stol. lze tak hovořit o jejich současné renesanci