

Vlastimil R e i n e r , VÚHU

Zhodnocení reprodukovatelnosti laboratorního měření odporu
proti rozpojení terciérních nadložních hornin SHR na horizon-
tální obrážečce SH - 700A

Úvod

Metoda laboratorního měření odporu proti rozpojení terciérních nadložních sedimentů na horizontální obrážečce se v SHR používá ke stanovení rozpojitelnosti pro zařídění vzorků podle jednotné klasifikace sedimentů (JKS). Toto měření je poměrně rychlé a jednoduché, lze hodnotit jak vzorky z vrtných jader, tak i vzorky z těžebních řezů.

V roce 1988 bylo zpracováno a vyhodnoceno celkem 244 vzorků prachovitých, písčitých a karbonatických jílových hornin, z nichž 142 bylo využito pro hodnocení reprodukovatelnosti měření. Vzorky pevných poloh, u kterých nedochází k řezání, ale k vylamování se neměřily.

Sledování bylo prováděno na sedimentech z lokalit DJŠ, DLM, VČSA, Kohinoor, VMG, DNT a PKAZ.

Metodika měření a výpočet odporu proti rozpojení sedimentů

Měření odporu proti rozpojení je laboratorní metodou, která přímo eviduje naměřený odpor při rozpojování sedimentů, podchycený na záznamu registračního přístroje. Toto měření přibližně napodobuje rozpojování sedimentů prováděné zubem korečku na kolese rýpadla. Síla, potřebná k rozpojení vzorku, je snímána dvěma odporovými tenzometrickými snímači M 120, připevněnými na zadní straně držáku nože a tenzometrickým můstkem PHILIPS typu PR 9307 a registrována rychlozapisovačem RFT TSS-101.

Cejchování je prováděno statickým zatížením přes soustavu kladek (obr. 1). Smluvný řezný nástroj (nůž), který má úhel hřbetu 10° , úhel břitu 37° , úhel čela 43° a délku řezné hrany 2,5 cm, je namáhán rovnoměrně po 40 N do celkového zatížení 320 N, případně i většího při měřicím rozsahu 1 (někdy 2 a 5). Toto zatěžování nože se pak přímo registruje rychlozapisovačem na záznam, ze kterého podle naměřených výchylek stanovíme převodní koeficient mezi zatížením a velikostí výchylky pro daný měřicí rozsah. Tyto výchylky jsou pak přepočteny na hodnotu kN.m^{-1} délky řezné hrany a jsou vyneseny do cejchovacího grafu, bez něhož nelze provádět vyhodnocení výsledků měření /1/.

Rozpojování vzorků se provádí speciálně upraveným nožem, jehož držák je pevně uchycen na smykadle. Zkoušený vzorek je pevně uchycen ve svěráku na stole horizontální obrážky. Horizontálním posuvem nůž odřezává jednotlivé třísky vzorku o tloušťce 5 mm v kolmém směru proti vrstvám (obr. 2). U každého vzorku se provádí 5 řezných záběrů (dále jen záběry), u nichž se zjišťují maximální výchylky.

Ze třech středních záběrů se vypočítává průměrná hodnota maximálních výchylek, která se převádí podle cejchovacího grafu na hodnotu odporu proti rozpojení (F_{TCM} v kN.m^{-1}).

Odpor proti rozpojení je definován jako odpor, který klad sediment při rozpojování řezným nástrojem při určité síle vyvinuté horizontální obrážkou a ustálené rychlosti posunu.

$$F_{\text{TCM}} = \frac{F}{l} \cdot 10^{-3} \quad (\text{kN.m}^{-1}),$$

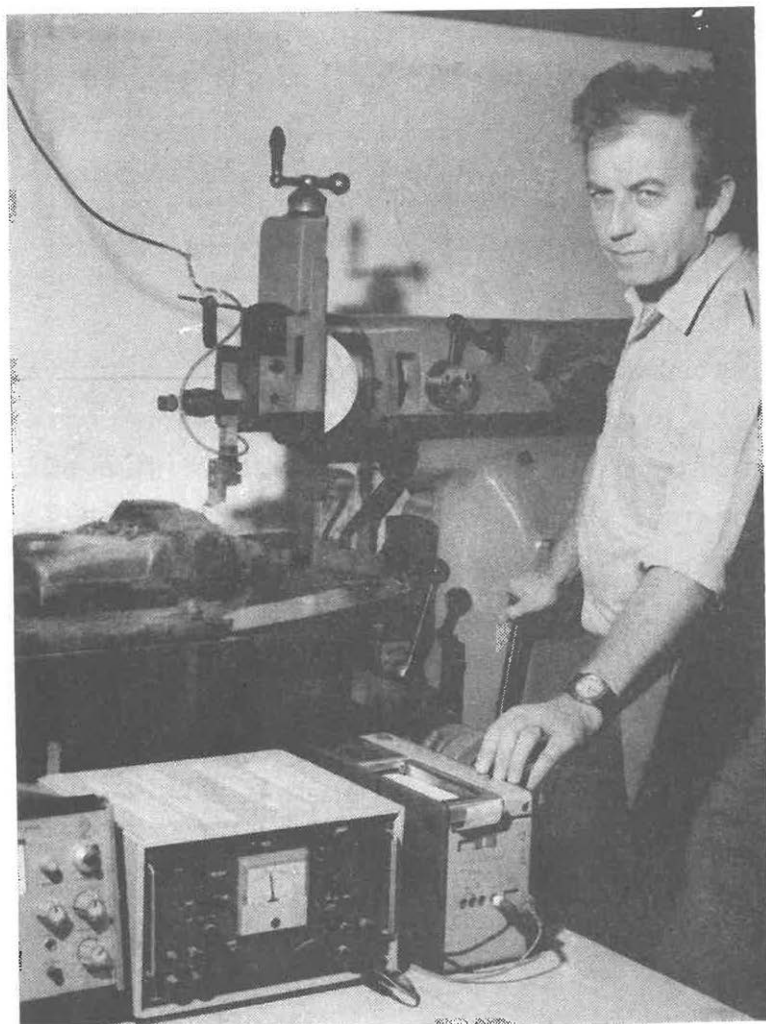
kde: F síla (N)

l délka řezné hrany nože (m)

Odpor proti rozpojení je měřen při rychlosti posunu v_1 ($16,2 \text{ cm.s}^{-1}$), je počítáno s délkou řezné hrany nože 2,5 cm, tloušťka třísky h_3 (5 mm) se z hlediska porovnávání výsledků z předchozích let nebere v úvahu.



Obr. 1 Čejchování řezného nástroje horizontální obrážečky
SH 700 A



Obr. 2 Rozpojování sedimentů horizontální obrážekou
SH 700 A

Postup a výpočet reprodukovatelnosti měření

Vycházelo se z měření odporu proti rozpojení sedimentů (dále jen odpor), kde se výsledný odpor dostává ze tří středních záběrů. Byly použity hodnoty z registračních záznamů (výchyly v milimetrech) vzhledem ke zjednodušení výpočtů a přesnějšímu porovnávání hodnot měření. Z těchto tří naměřených hodnot byly vypočteny:

- a) aritmetický průměr výchylek v mm
- b) rozptyl v mm²
- c) směrodatná odchylka v mm
- d) reprodukovatelnost v %

Reprodukovatelnost měření (dále jen reprodukovatelnost) je dána přesností naměřených údajů horizontální obrážecí plovčí při opakovaných zkouškách na stejných vzorcích a při dodržení stejných podmínek zkoušek. Pro hodnocení sedimentů byla určena výchozí hranice spolehlivosti 80 %.

Pro stanovení reprodukovatelnosti (R) s 80 procentním intervalem spolehlivosti náhodné veličiny x , která má normální rozdělení, použijeme následující vztahy:

Pro distribuční funkci $\Phi(x)$ platí /2/, že

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\bar{x}}{\sigma}\right)^2} dt,$$

$$\begin{aligned} \text{kde: } \dots \Phi(x) &\longrightarrow 1 &<=> x &\longrightarrow \infty \\ \Phi(x) &\longrightarrow 0 &<=> x &\longrightarrow -\infty \end{aligned}$$

$$\text{Po transformaci } U = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad /2/$$

získáváme normovanou veličinu U . Normální rozdělení přechází na normované normální rozdělení, pro které platí $\Phi(U)$,
kde: $\bar{x}$ je střední hodnota (v našem případě aritmetický průměr)

σ je směrodatná odchylka

$P(\bar{x} - 0,1\bar{x} < x < \bar{x} + 0,1\bar{x}) = \dots$ pravděpodobnost, že náhodná veličina bude ležet v 10 % odchylce

$$= P(-0,1\bar{x} < x - \bar{x} < 0,1\bar{x}) =$$

$$= P(-0,1 \frac{|\bar{x}|}{S} < \underbrace{\frac{x - \bar{x}}{S}}_U < 0,1 \frac{|\bar{x}|}{S} =$$

$$= P(U < 0,1 \frac{|\bar{x}|}{S}) - P(U < -0,1 \frac{|\bar{x}|}{S}) =$$

$$= 2\Phi(0,1 \frac{|\bar{x}|}{S}) - 1$$

Platí: $2\Phi(0,1 \frac{|\bar{x}|}{S}) - 1 \in (0,1)$ a tedy reprodukovatelnost R vyjádřená v procentech je definována vzorcem

$$R = \left[2\Phi(0,1 \frac{|\bar{x}|}{S}) - 1 \right] \cdot 100 \quad (\%),$$

kde: Φ je distribuční funkce normálního rozdělení
 $\bar{x}$ je střední hodnota (aritmetický průměr)
 S je směrodatná odchylka

Abychom stanovili tuto reprodukovatelnost opakovanými zkouškami na stejných vzorcích, byl dodržen následující postup:

Další trojice výsledků z opakovaného měření se přičte k trojici výsledků z prvního měření a vypočte se aritmetický průměr výchylek, rozptyl, směrodatná odchylka a reprodukovatelnost.

Tímto způsobem bylo prováděno přičítání hodnot i při vícenásobně opakovaných zkouškách vzorků jednotlivých sedimentů.

Reprodukovatelnost R vypočteme tak, že po zjištění aritmetického průměru výchylek $\bar{x}$, rozptylu S^2 , směrodatné odchylky S vypočteme argument distribuční funkce $\Phi = (0,1 \frac{|\bar{x}|}{S})$.

V tabulce 2 "Distribuční funkce normálního rozdělení $N(0,1)$ " podle příslušné hodnoty argumentu " u " nalezneme ve sloupci " $F(u)$ " hodnotu distribuční funkce Φ .

Dosazením této hodnoty do vzorce

$$R = (2\Phi - 1) \cdot 100 \quad (\%)$$

zjistíme výpočtem reprodukovatelnost v procentech.

Podle výše uvedeného postupu byl v samostatném oddělení ASŘ TP VÚHU sestaven program pro výpočet reprodukovatelnosti (s využitím podprogramu /3/) pro počítač SM 1420 (operační systém RSX-11 M V4.1, programovací jazyk Pascal).

Vyhodnocení reprodukovatelnosti měření

Reprodukovatelnost měření terciérních nadložních sedimentů SHR na horizontální obrážce byla sledována u 142 vzorků z lokalit DJŠ, DLM, VČSA, Kohinoor, VMG, DNT a PKAZ /4/. Část záznamu z počítače SM 1420 uvádím v tabulce 1. Každý vzorek je označen pořadovým číslem tak, jak byla měření postupně prováděna. Pro možnost kontroly je uváděno též laboratorní číslo. Dále jsou uvedeny výchylky, jejich aritmetický průměr, rozptyl, směrodatná odchylka a reprodukovatelnost měření každého jednotlivého vzorku tak, že v každém prvním řádku jsou uvedeny vypočtené hodnoty ze tří záběrů. Ve druhém řádku kromě uvedených výchylek jsou pak vypočtené hodnoty pro šest záběrů (z výchylek 1. a 2. řádku), ve třetím řádku kromě uvedených výchylek jsou obdobně uvedeny vypočtené hodnoty pro devět záběrů a následovně uvedeny a vypočteny hodnoty i pro 12 a 15 záběrů.

Toto měření bylo prováděno pouze u těch vzorků, které nebyly odběrem, přepravou ani skladováním porušeny.

Ze základního souboru 142 vzorků bylo vyřazeno 5 vzorků, které vykazovaly zhoršenou reprodukovatelnost. Tyto vzorky

vykazovaly nepřiměřené rozdíly výchylek jednotlivých záběrů. Při bližším hodnocení se zjistilo, že vzorky jsou silně nehomogenní a vyschlé, proto byly vyřazeny.

Při hodnocení reprodukovatelnosti měření je tedy nutné prověřovat některé vlivy, které negativně na výsledky měření působí.

Jsou to především tyto vlivy:

- a) nevhodný odběr vzorků z vrtných jader (ukroucení a prohnění vzorku se někdy pozná při jeho úpravě před měřením nebo až při jeho rozpojování na horizontální obrážecce);
- b) špatná ochrana vzorků (vzorky nedokonale zabalené, rozpukavé, rozpadavé, vyschlé);
- c) vliv nehomogenity vzorků (vliv druhotného zpevnění křemenem, karbonáty, přítomnost konkrecí, prouhelněné organické hmoty ap.);
- d) nedodržení stejných podmínek při měření (orientace vzorku, způsob řezání, velikost třísky, rychlost odřezávané třísky, otupení nože ap.).

Hodnocení reprodukovatelnosti měření bylo tedy provedeno u 137 vzorků. Všechny vzorky byly seřazeny podle velikosti odporu do šesti skupin podle zvolených stupňů rozpojitelności po 5 kN.m^{-1} . Sledoval se vliv velikosti odporu proti rozpojení na reprodukovatelnost.

Bylo zjištěno, že reprodukovatelnost se přímo úměrně zvyšuje s velikostí odporu proti rozpojení. V tabulce 2 je uveden přehled reprodukovatelnosti podle těchto zvolených stupňů rozpojitelności a počtu záběrů. Vzestupnou tendenci těsnosti výsledků měření narušilo jen několik ojedinělých nehomogenních vzorků.

U stupně rozpojitelności $0 - 5 \text{ kN.m}^{-1}$ výsledky z 28 vzorků ovlivnil 1 vzorek s uhelnými šmouhami, 4 vzorky tmavě hnědé, uhelnaté a vlhké, 1 vzorek zpevněný a 1 vzorek silně porušený ohlazy. Reprodukovatelnost (dále jen R) se pohybovala v rozmezí 95,76 - 98,81 %.

Tabulka 1

Reprodukovatelnost měření terciérních nadložních sedimentů
SHR na horizontální obrážce SH 700 A

Poř.č. vzorku	Číslo vzorku	Výchyly v mm			Aritm. průměr	Rozptyl	Směr. odch.	Reprod.
		x_1	x_2	x_3				
1	121/88	19,10	18,00	18,60	18,57	0,20	0,45	100,00
	121/88	19,00	19,50	18,80	18,83	0,22	0,46	100,00
	121/88	19,50	18,80	19,70	19,00	0,25	0,50	99,99
	121/88	20,40	20,00	20,40	19,32	0,50	0,70	99,39
	121/88	17,50	19,00	19,00	19,15	0,60	0,78	98,63
2	122/88	17,60	17,20	17,90	17,57	0,08	0,29	100,00
	122/88	17,00	17,00	17,80	17,42	0,13	0,37	100,00
	122/88	18,00	19,00	18,80	17,81	0,46	0,68	99,11
	122/88	19,80	19,60	18,60	18,19	0,85	0,92	95,14
	122/88	18,00	18,00	16,50	18,05	0,86	0,93	94,88
3	123/88	17,30	18,00	18,40	17,90	0,21	0,45	99,99
	123/88	17,70	19,10	18,90	18,23	0,41	0,64	99,58
	123/88	17,70	18,50	18,00	18,18	0,31	0,56	99,88
	123/88	18,00	17,60	18,00	18,10	0,26	0,51	99,96
	123/88	17,00	19,00	17,00	18,01	0,42	0,65	99,47

U stupně rozpojitelosti $5 - 10 \text{ kN.m}^{-1}$ výsledky z 67 vzorků ovlivnily nepatrně 2 vzorky zpevněné karbonáty a 1 vzorek s různým stupněm zpevnění. $R = 98,46 - 99,25 \%$.

U stupně rozpojitelosti $10 - 15 \text{ kN.m}^{-1}$ výsledky ze 30 vzorků ovlivnily 2 vzorky karbonatické, 2 vzorky s rozptýlenou uhelnou hmotou a 1 vzorek prachovitý. $R = 98,20 - 99,85 \%$.

U stupně rozpojitelosti $15 - 20 \text{ kN.m}^{-1}$ výsledky z 8 vzorků značně ovlivnil 1 vzorek karbonatický. $R = 93,59 - 99,67 \%$.

U stupně rozpojitelosti $20 - 25 \text{ kN.m}^{-1}$ byly výsledky jen ze 2 vzorků. Celkový výsledek nepatrně ovlivnil vzorek s uhelnou příměsí. $R = 98,16 - 100,00 \%$.

U stupně rozpojitelności 25 - 30 kN.m⁻¹ byly výsledky opět jen ze 2 vzorků. Jde v obou případech o homogenní jílovce prachovité až pelokarbonáty, u kterých se při jednotlivých záběrech plochy skoro vůbec neporušily (jen ojedinělé vytrhávání v podobě milimetrových lupínků). R = 100 %.

Stupeň rozpojitelności 25 - 30, 20-25 a částečně 15-20 kN.m⁻¹ obsahuje pro srovnání i výsledky měření vzorků pevných poloh, u kterých nedocházelo k vytrhávání materiálů a byl zachován proces řezání.

Podle výše uvedených výsledků v jednotlivých stupních rozpojitelności můžeme konstatovat, že reprodukovatelnost v jednotlivých stupních rozpojitelności je velice dobrá. Nutno však poznamenat, že při hodnocení vyšších stupňů rozpojitelności (počínaje stupněm rozpojitelności 15 - 20 kN.m⁻¹) nebyl k dispozici větší počet vzorků. Protože výsledky vyšších stupňů rozpojitelności taktéž ověřují zjištěnou závislost reprodukovatelnosti na stupních rozpojitelności, byly i tyto výsledky zahrnuty do celkového hodnocení. Výsledky lepší reprodukovatelnosti u vyšších stupňů rozpojitelności lze pravděpodobně přičíst vyšší homogenitě jílových hornin a hornin s jemným a pravidelným rozptýlením cementační složky (nikoli však tvrdých).

Podle vlivu velikosti odporu (viz stupně rozpojitelności) na reprodukovatelnost bylo zjištěno, že při vyšších hodnotách odporu je převážně vyšší i hodnota reprodukovatelnosti.

Můžeme shrnout, že průměrná hodnota reprodukovatelnosti tří záběrů (ze 137 vzorků) činí 99,36 %. Při dalším opakování měření vzorků činí průměrná hodnota reprodukovatelnosti ze šesti záběrů (137 vzorků) 98,18 %, z devíti záběrů (53 vzorků) 98,33 %, z dvanácti záběrů (41 vzorků) 98,15 % a z patnácti záběrů (18 vzorků) 98,32 %.

Reprodukovatelnost sledovaného souboru 137 vzorků se pohybuje v rozmezí hodnot 98,15 - 99,36 %.

Přehled reprodukovatelnosti podle zvolených stupňů rozpojitelnosti

Stupně rozpojitel- nosti kN.m ⁻¹	3 záběry		6 záběrů		9 záběrů		12 záběrů		15 záběrů	
	Počet vzor- ků	Repro- duk. %	Počet vzor- ků	Repro- duk. %	Počet vzor- ků	Repro- duk. %	Počet vzor- ků	Repro- duk. %	Počet vzor- ků	Repro- duk. %
0 - 5	28	98,81	28	96,28	11	95,85	6	95,76	3	96,40
5 - 10	67	99,25	67	98,46	29	98,88	24	98,53	12	98,73
10 - 15	30	99,85	30	99,09	9	99,57	8	98,70	2	98,20
15 - 20	8	99,67	8	98,64	1	93,59	1	95,49		
20 - 25	2	100,00	2	98,16	1	100,00	1	99,97	1	99,31
25 - 30	2	100,00	2	100,00	2	100,00	1	100,00		
Σ	137	99,36	137	98,18	53	98,33	41	98,15	18	98,32

Závěr

Metodou laboratorního měření odporu proti rozpojení terciérních nadložních sedimentů SHR na horizontální obrázečce SH 700 A bylo vyhodnoceno celkem 244 vzorků prachovitých, písčitých a karbonatických jílových hornin. Pro účely sledované reprodukovatelnosti měření bylo vybráno jen 142 vzorků, neboť ostatních 102 vzorků bylo ze sledování z důvodu nevhodnosti vyloučeno (vysoká pevnost, nehomogenita, nevhodný odběr a špatná ochrana vzorků).

Při porovnávání výsledků měření bylo zjištěno, že pět vzorků vykazovalo zhoršenou reprodukovatelnost (s hranicí spolehlivosti $< 80 \%$), bližším hodnocením bylo zjištěno, že tyto vzorky jsou silně nehomogenní a vyschlé a proto byly též vyřazeny.

Podle výše uvedeného zjištění lze hodnotit reprodukovatelnost měření následovně:

Reprodukovatelných bylo 137 vzorků 100 %, z nichž hodnotu $F_{TCM} > 17,5 \text{ kN.m}^{-1}$ mělo 7 vzorků 5,11 %.

Reprodukovatelnost měření sledovaného souboru 137 vzorků činí 98,15 až 99,36 %, což tedy znamená, že tyto výsledky jsou důkazem dostatečné spolehlivosti měření.

Na základě předchozího zjištění a výsledků by bylo vhodné metodiku reprodukovatelnosti, uplatněnou při měření odporu proti rozpojení, aplikovat i pro ostatní druhy laboratorních zkoušek, které jsou používány pro stanovení indexu jednotné klasifikace sedimentů z hlediska rozpojitelnosti (JKS), zejména doporučuji ověřit spolehlivost měření pevnosti v prostém tlaku, odporu v penetraci i vtlačné pevnosti.

Z výsledků reprodukovatelnosti měření ze 137 vzorků bylo zjištěno, že na horizontální obrázečce lze s vyhovující reprodukovatelností měřit všechny prachovité, písčité a karbonatické jíly a jílovce až do hodnoty $17,5 \text{ kN.m}^{-1}$. U pevnějších sedimentů, které vykazují na horizontální obrázečce hod-

noty nad $17,5 \text{ kN.m}^{-1}$, dochází ve většině případů při rozpojování k vylamování vzorků, takže reprodukovatelnost metody klesá. Vyskytují se však i případy, že lze ojediněle tyto pevnější sedimenty měřit s velmi dobrou reprodukovatelností. Reprodukovanost těchto vzorků je patrna z tabulky 3.

Tabulka 3

Poř.č. vzorku	Číslo vzorku	Hodnota odporu proti rozpojení	Reprodukovanost měření
27	245/88	$28,6 \text{ kN.m}^{-1}$	100 %
28	246/88	$18,7 \text{ kN.m}^{-1}$	93,59 - 97,39 %
90	657/88	$17,6 \text{ kN.m}^{-1}$	98,26 - 99,98 %
95	662/88	$17,9 \text{ kN.m}^{-1}$	98,05 - 100,00 %
116	708/88	$25,2 \text{ kN.m}^{-1}$	96,32 - 100,00 %
140	1464/88	$29,3 \text{ kN.m}^{-1}$	100 %
142	1466/88	$22,6 \text{ kN.m}^{-1}$	99,31 - 100,00 %

Vysvětlením pro tuto skutečnost budou pravděpodobně strukturní nebo texturní zvláštnosti sedimentů, jejich podstata zatím nebyla zjišťována.

Z hodnocení reprodukovatelnosti měření plyne, že hodnota odporu proti rozpojení na horizontální obrážeece $17,5 \text{ kN.m}^{-1}$ dosud obecně platí jako hranice mezi sedimenty bez výraznějšího vlivu na plynulost odklízu prachovito-jílovitých sedimentů a mezi pevnými polohami, které výrazně ovlivňují tento proces.

Reprodukovaností se podařilo prokázat, že horizontální obrážeečka je vhodným zařízením pro laboratorní zjišťování odporu proti rozpojení, a tedy k určování jednoho ze vstupních parametrů pro stanovení rozpojitelosti sedimentů pomocí indexu JKS ve třídách A a C a v nižší polovině třídy D.

Podrobnější informace budou případným zájemcům poskytnuty autorem článku.