

Vliv variability stanovení reziduální pevnosti zemin na stabilitní výpočty: Případová studie sesuvu Březno u Postoloprť

Jakub Roháč, Bianca G. Severini,
Jan Najser & Jan Jerman



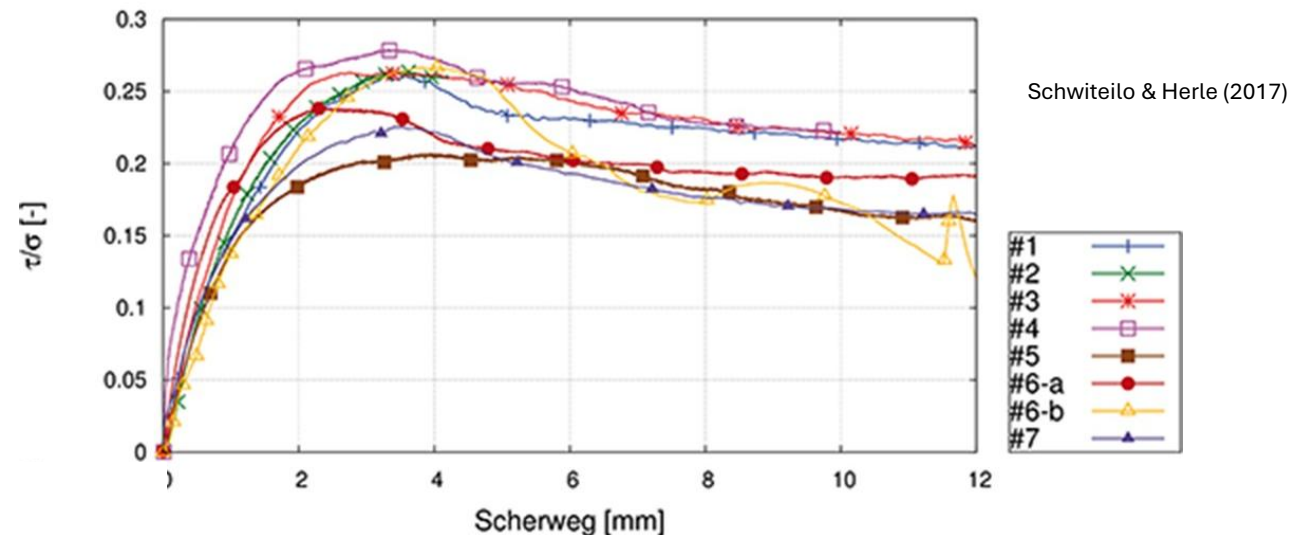
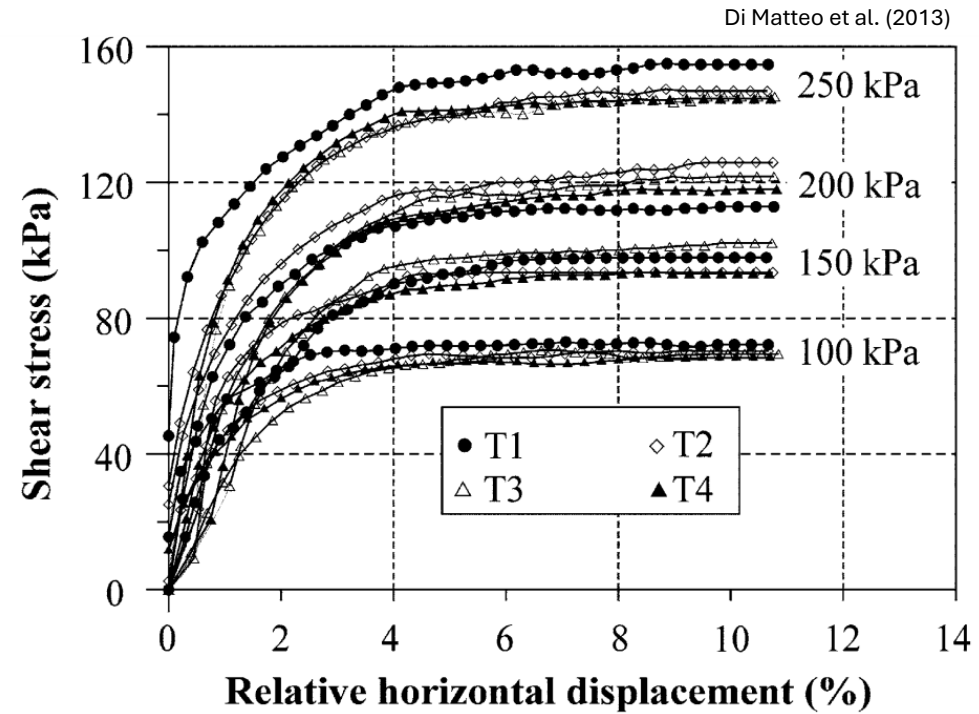
Úvod a obsah

- součástí výzkumu DP, která zde bude prezentována
- určení variability skrze
 - opakovatelnost – autorské zkoušky
 - reprodukovatelnost
 - součinnost 5 externích laboratoří
 - porovnání výsledků autorky s výsledky laboratoří
- výsledky aplikované na reálný sesuv Březno u Postoloprť (v řešení)



Teorie na úvod

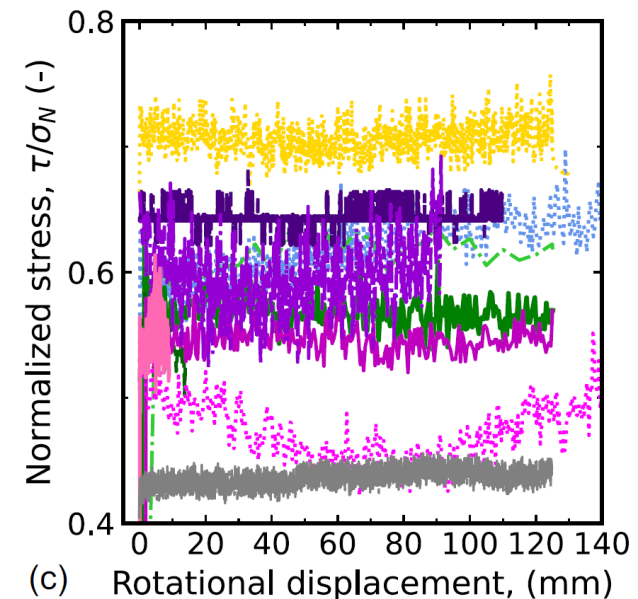
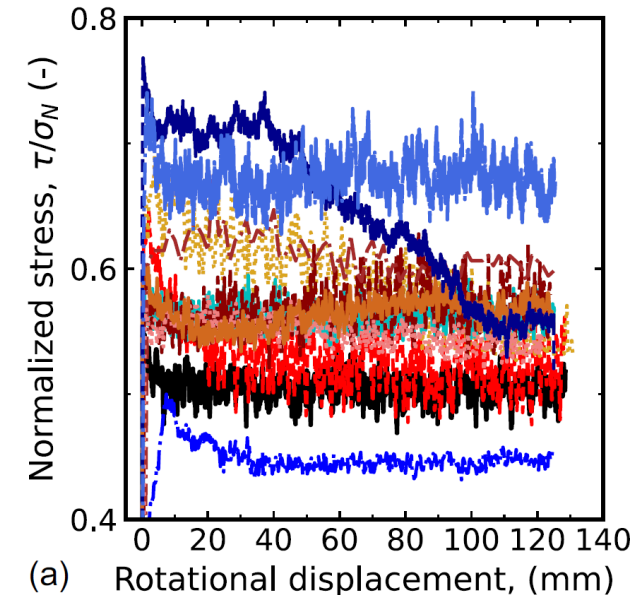
- **opakovatelnost** = stejná laboratoř užívající totožného vybavení a vzorků, testující při stejné metodice jedním technikem během krátké doby (ASTM E177-20 in Bareither et al., 2008)
- **reprodukovatelnost** = totožná metodologie v jiných laboratořích, na jiných zařízeních, prováděná různými techniky
- literatury na variabilitu rez. pevnosti nedostatek
 - Bromhead et al. (1999); **Quinteros et al. (2026)**



Teorie na úvod

- **opakovatelnost** = stejná laboratoř užívající totožného vybavení a vzorků, testující při stejné metodice jedním technikem během krátké doby (ASTM E177-20 in Bareither et al., 2008)
- **reprodukovatelnost** = totožná metodologie v jiných laboratořích, na jiných zařízeních, prováděná různými techniky
- literatury na variabilitu rez. pevnosti nedostatek
 - Bromhead et al. (1999); **Quinteros et al. (2026)**

Quinteros et al. (2026)



19
laboratoří

Slow-shearing stage: (a and c) normalized stress

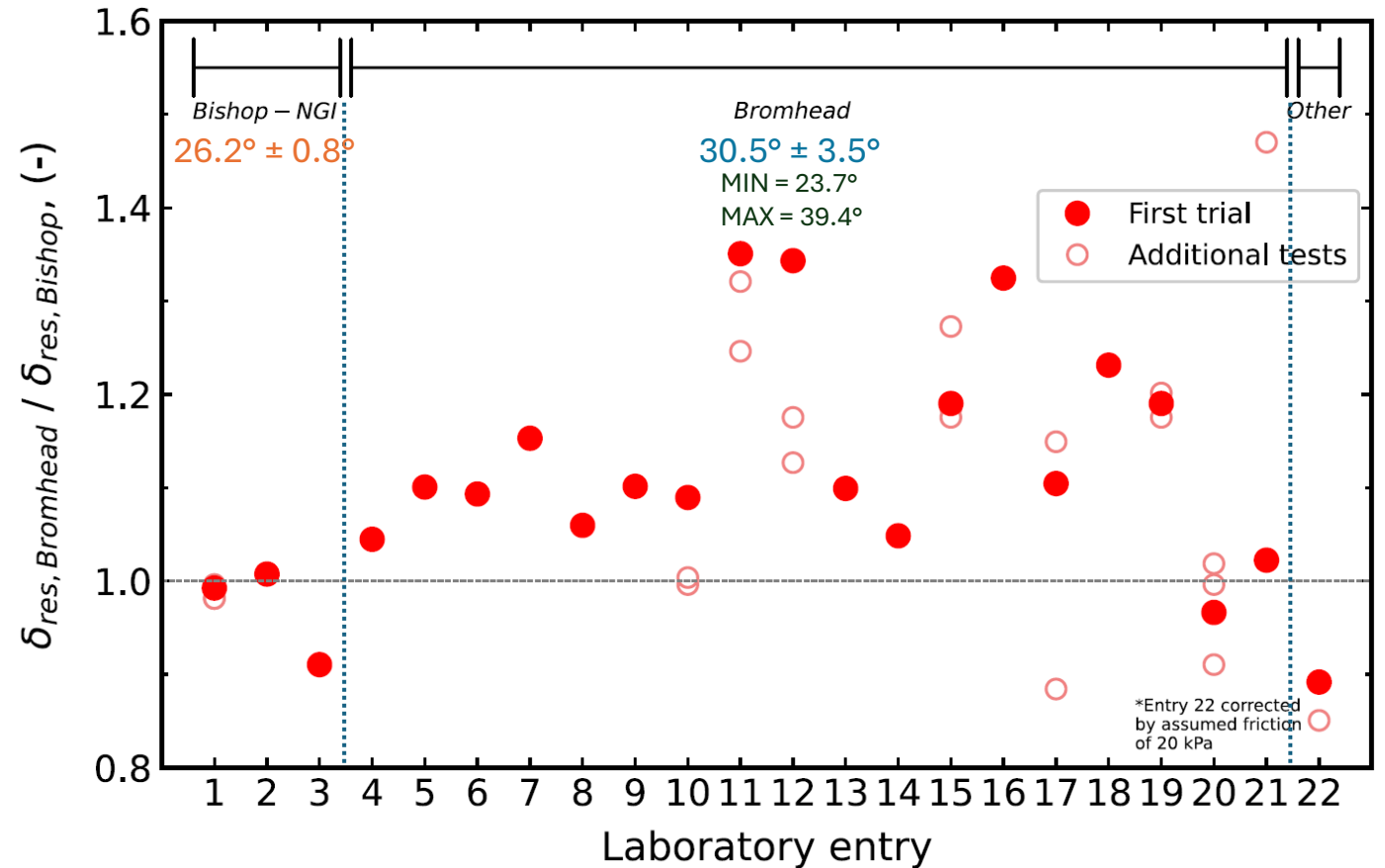
K čemu nám je určení variability?

Stejná zemina = stejné výsledky?

- písek Hokksund
- 42 rotačních smykových zkoušek
- 30 různých zařízení 3 typů
- 19 laboratoří z různých zemí
- **výrazný rozdíl ve výsledcích:** hodnoty v rozmezí od 23.7° do 39.4°

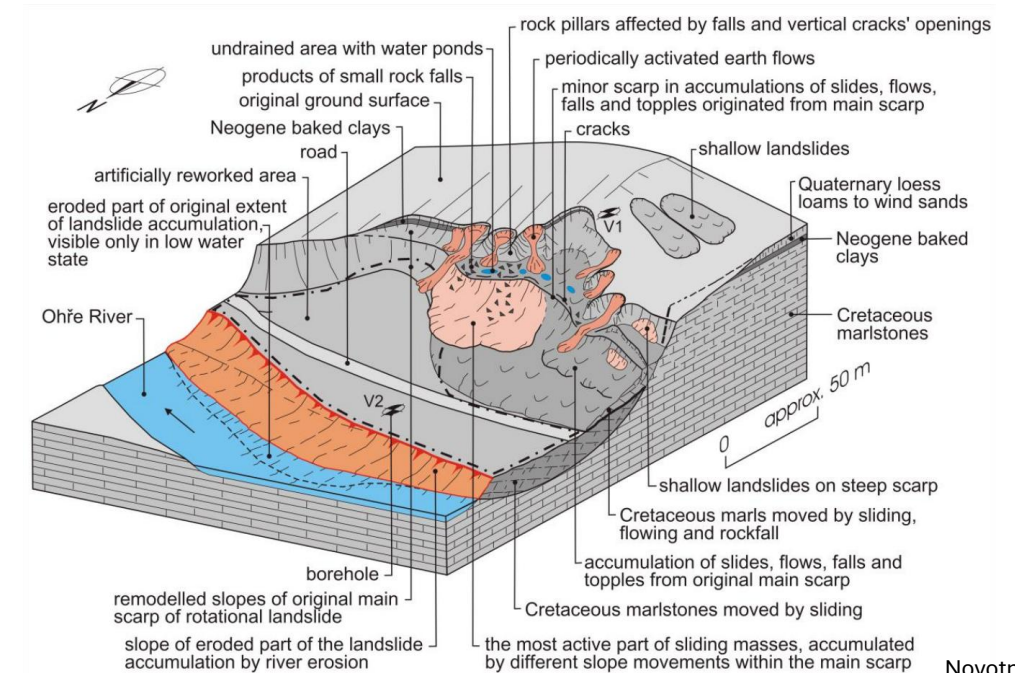
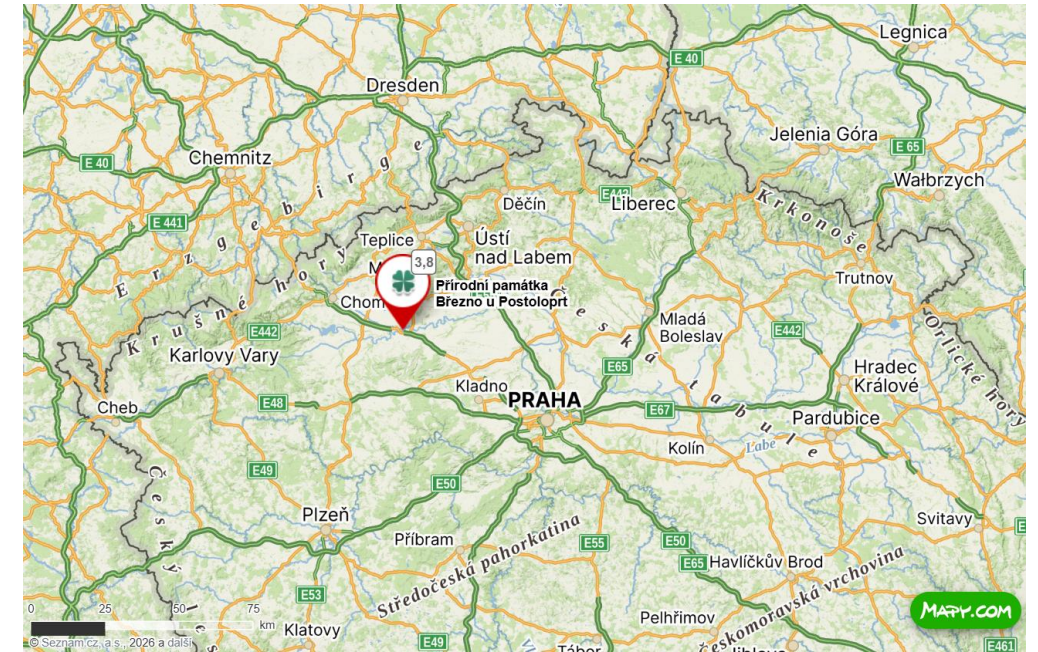
Důsledky pro praxi:

- poddimenzované základy
- ekonomická, environmentální & bezpečnostní rizika



Praktická část

- materiál z vrtu IJ-1 sesuvu Březno u Postoloprty
- hloubka: 11.5–12.0 m
- tmavě šedý slínovec F7 MH (siCl)
 - vlhkost na mezi plasticity $w_p = 34 \%$
 - vlhkost na mezi tekutosti $w_L = 68 \%$ (Laboratoř geomechaniky a terénní měření – SG Geotechnika a.s., 2022)



Praktická část

- připraveny 3 typy vzorků – M, P, N
- M = well **M**ixed (dobře připraveno)
 - $w = 65 \pm 5 \%$
 - 13 zkoušek
 - materiál nastrouhán, homogenizován, smíchan s vodou, zpracováván 6 dní a přiset → slurry



vzorek M

- P = **P**re-consolidated (předkonsolidováno)
 - $w = 44 \% \pm 3 \%$
 - 6 zkoušek
 - konsolidován ve válci



vzorek P

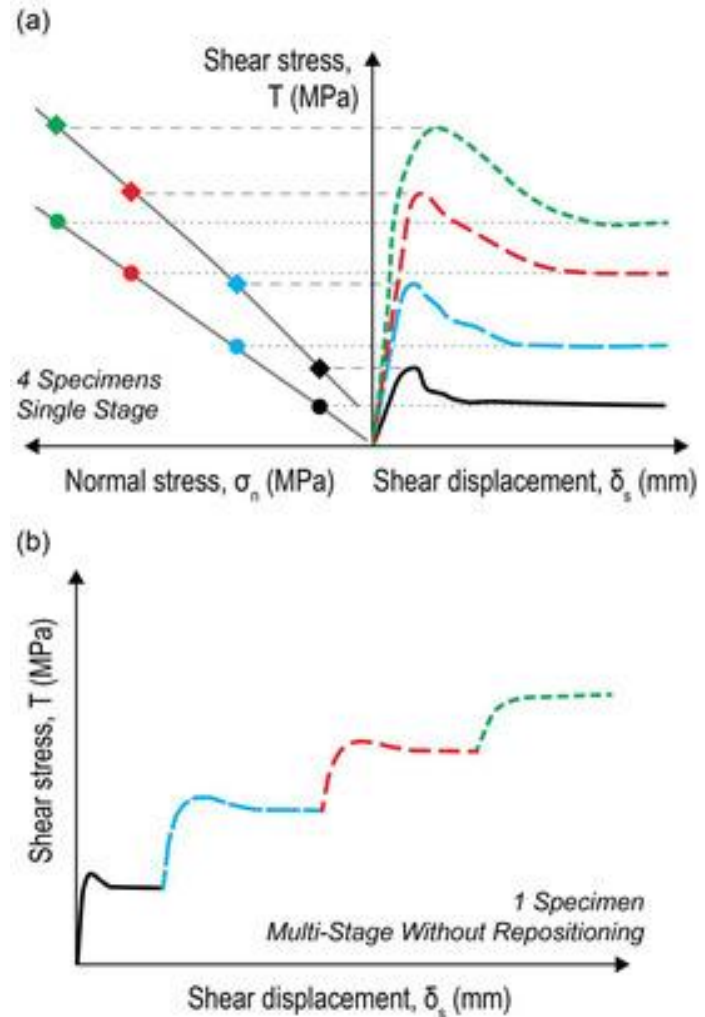
- N = **N**egligently mixed (nedbale připraveno)
 - 3 zkoušky
 - ke stanovení vlivu přípravy vzorků



vzorek N

Zkušební metodologie

- multistage přístup



MacDonald et al. (2023)



Bromhead M



Bromhead
Torshear



Zkušební metodologie

- multistage přístup
- rychlost smyku: $0.096^\circ/\text{min}$ ($\approx 0.071 \text{ mm/min}$)
- normálová napětí: 50–100–150–200 kPa
- rotač. smyk. přístroj typu Bromhead (1979)
 - Bromhead M a Bromhead Torshear
- totožné požadavky na zkoušky, včetně předpřipravených zkušebních vzorků (vzorek M), byly zaslány účastnícím se laboratořím
- Poznámka: Náklady vynaložené na získání výsledků z oslovených laboratoří byly finančně podpořeny projektem RENS No. SS02030023 (TAČR), jehož hl. řešitelem je ČGS.



Bromhead M



Bromhead Torshear



Oslovené laboratoře

- během 2024 a 2025 bylo kontaktováno několik laboratoří
 - a. Università degli Studi di Palermo
 - b. Università degli Studi della Basilicata
 - c. Instytut Techniki Budowlanej (ITB)
 - d. Politechnika Gdańska
 - e. SG Geotechnika a.s.
 - f. Technische Universität Bergakademie Freiberg
- laboratoře byly pro účely této studie anonymizovány a náhodně jim byla přiřazena čísla 1–6
- další byly osloveny na jaře 2026 – výsledky se zpracovávají



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
BASILICATA**

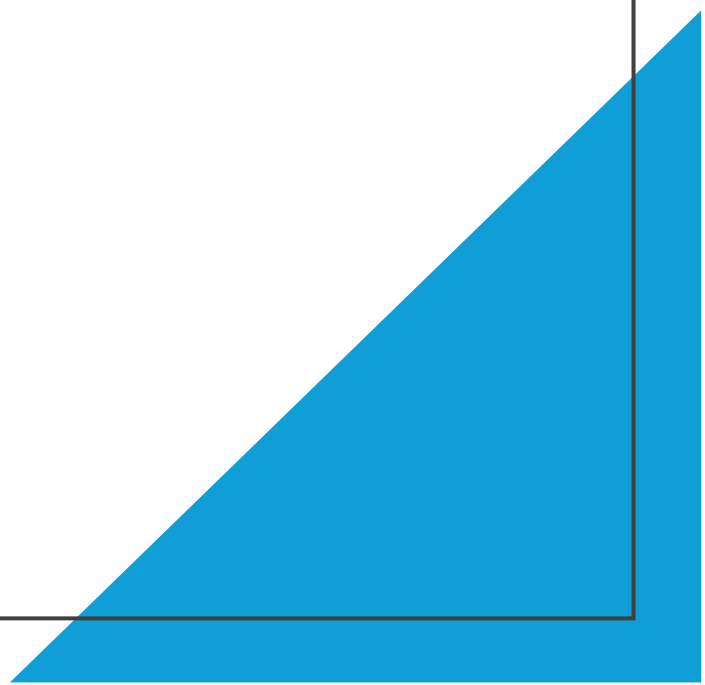


**Università
degli Studi
di Palermo**



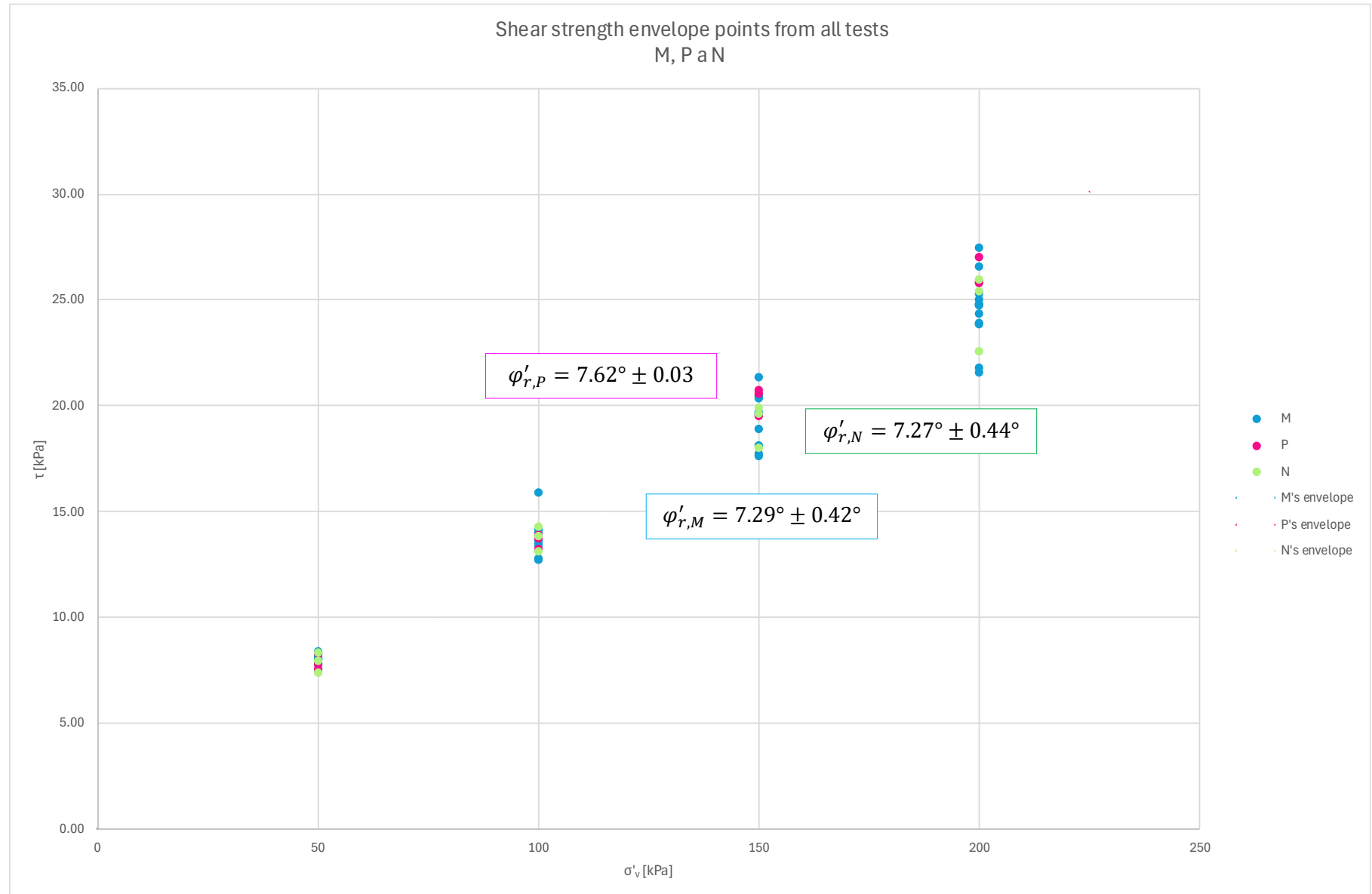
Instytut Techniki Budowlanej

Výsledky



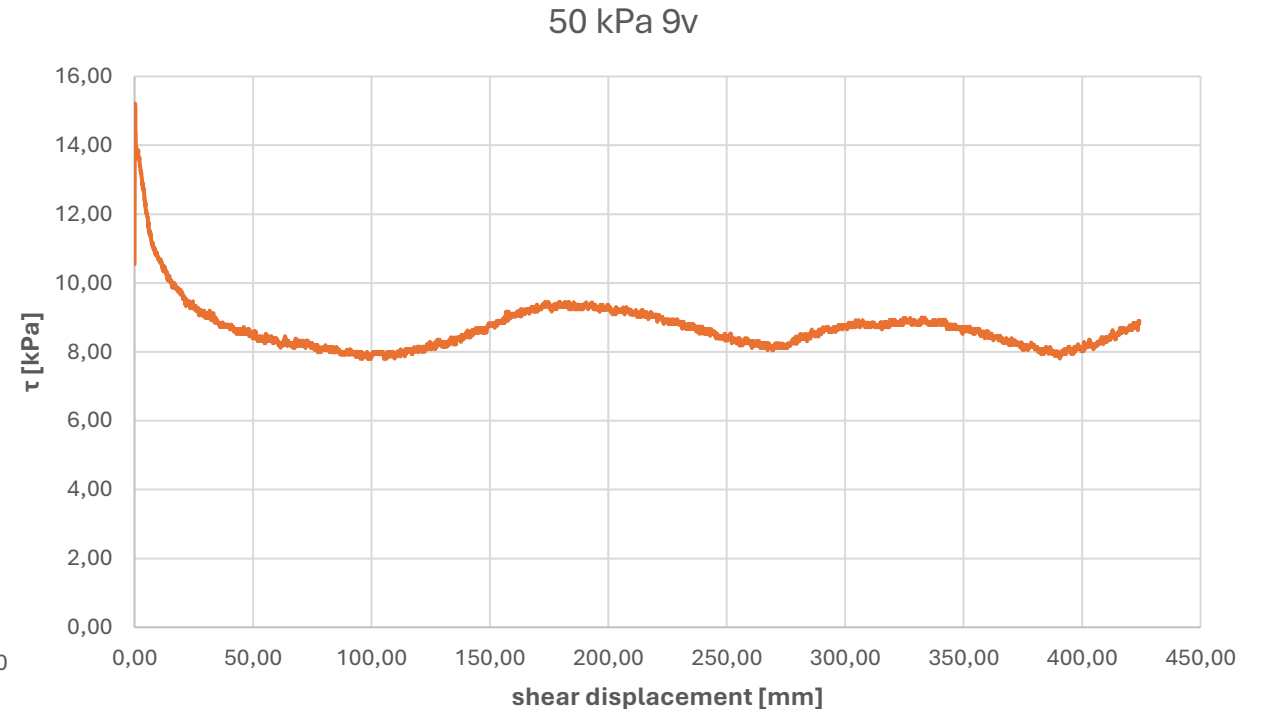
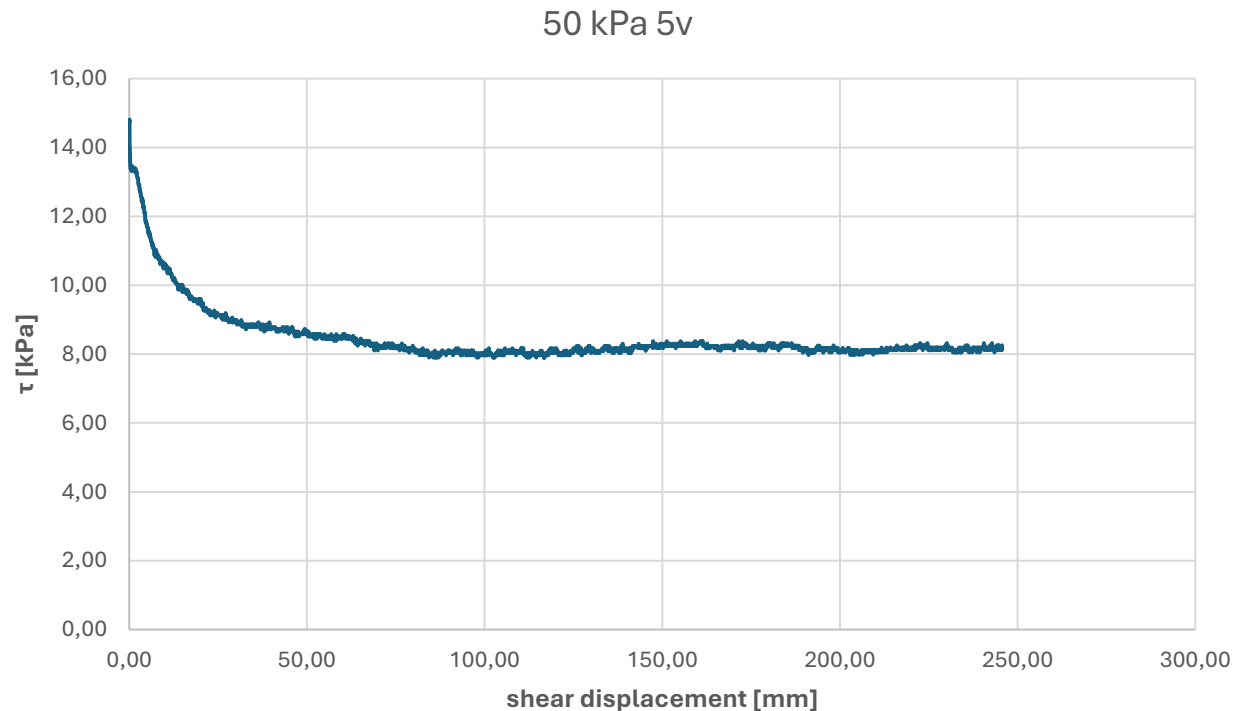
Výsledky autorských zkoušek

- rozdíly zanedbatelné
- vliv přípravy vzorků na φ'_r neprokázán



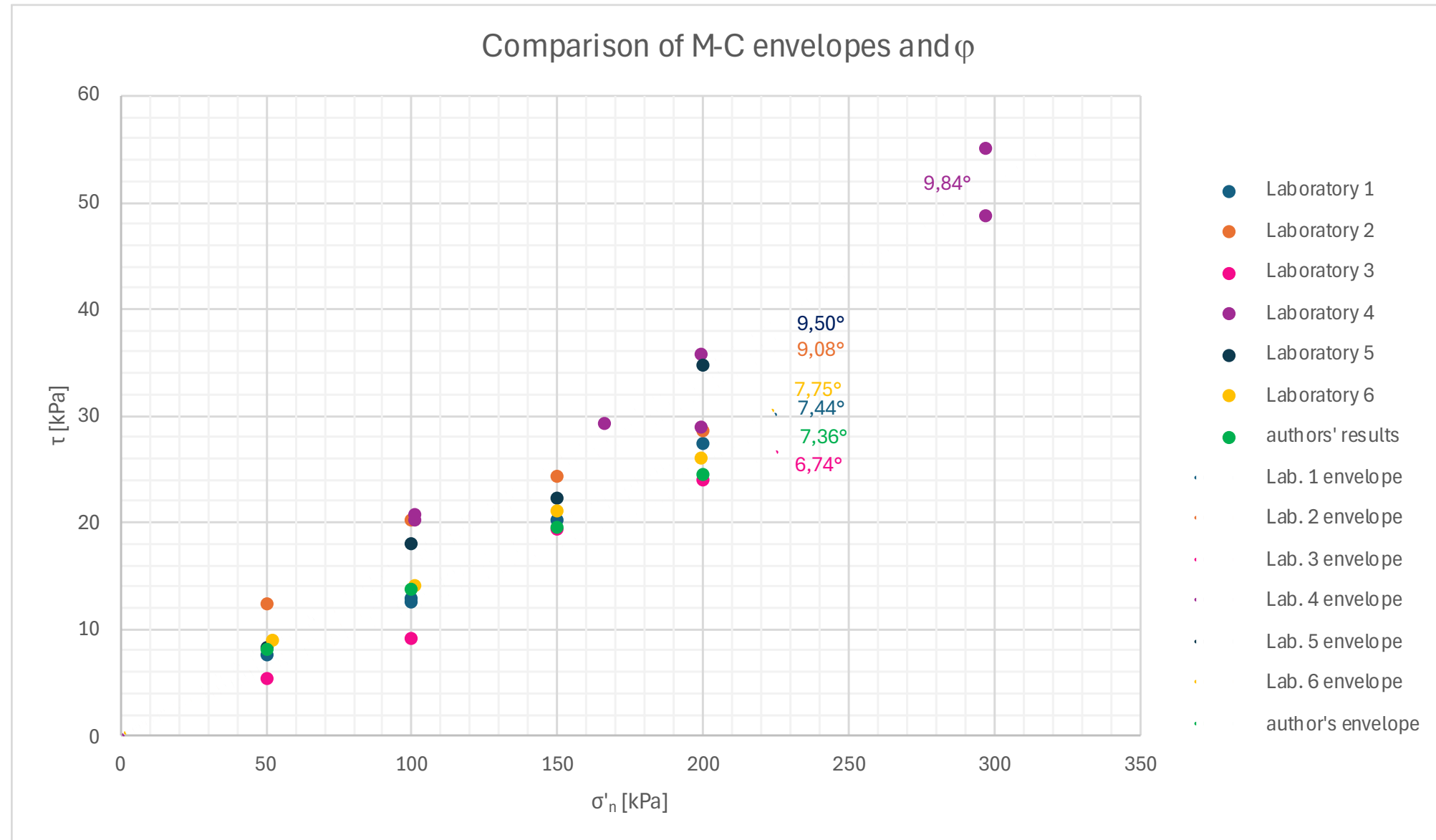
Výsledky autorských zkoušek

- minimální hodnoty neustálených napěťo-přetvárných diagramů $\approx$ hodnotám ustálených diagramů $\rightarrow \varphi_r'$
- lze pozorovat vztah mezi předpětím ve třmenech přístroje, vlhkosti vzorku a zatěžovacím sledu; nutné ověřit dalším výzkumem



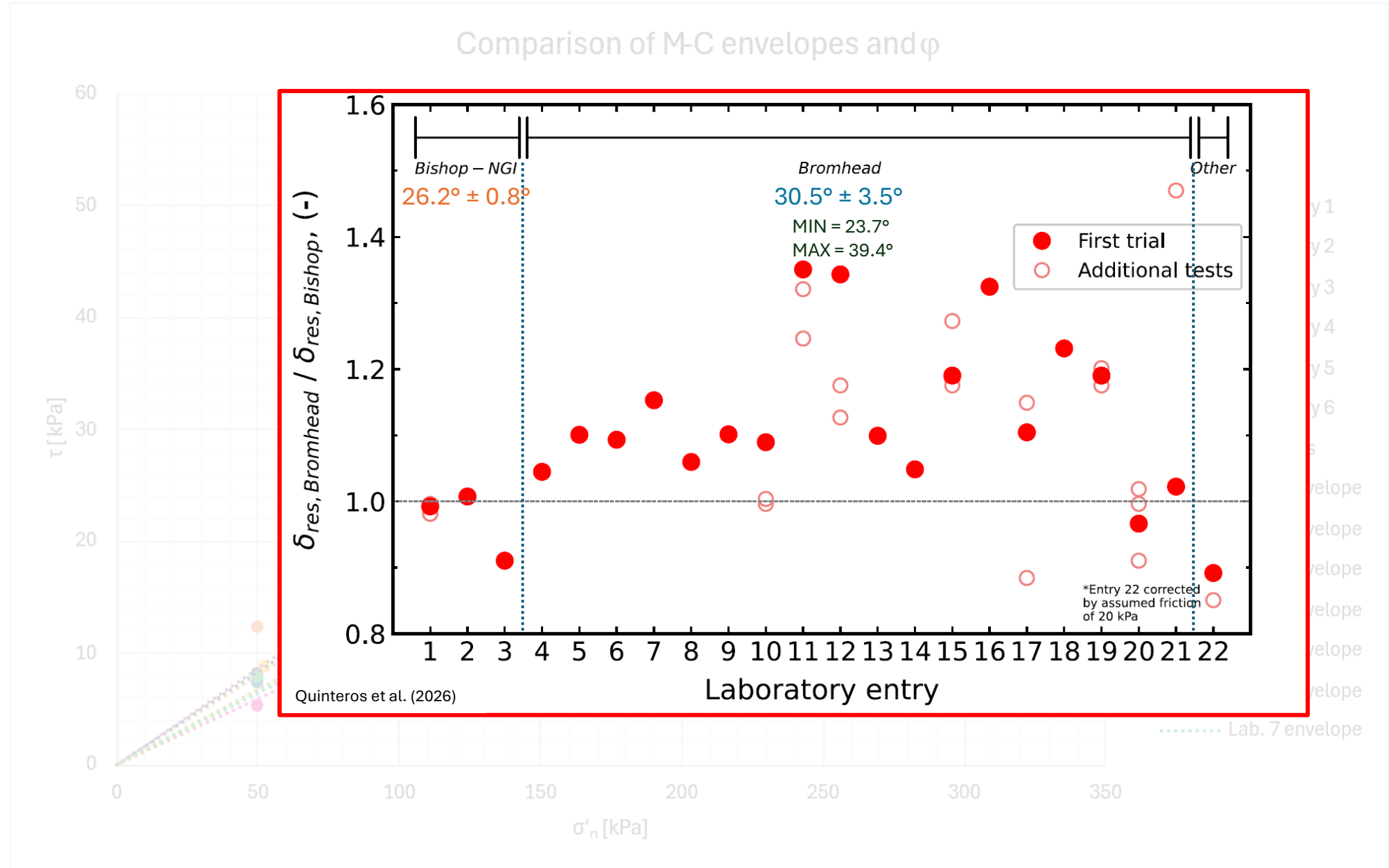
Výsledky srovnávacích zkoušek

- rozdl až **3.1°**
(Lab. 3 a Lab. 4)



Výsledky srovnávacích zkoušek

- rozdl až **3.1°**
(Lab. 3 a Lab. 4)



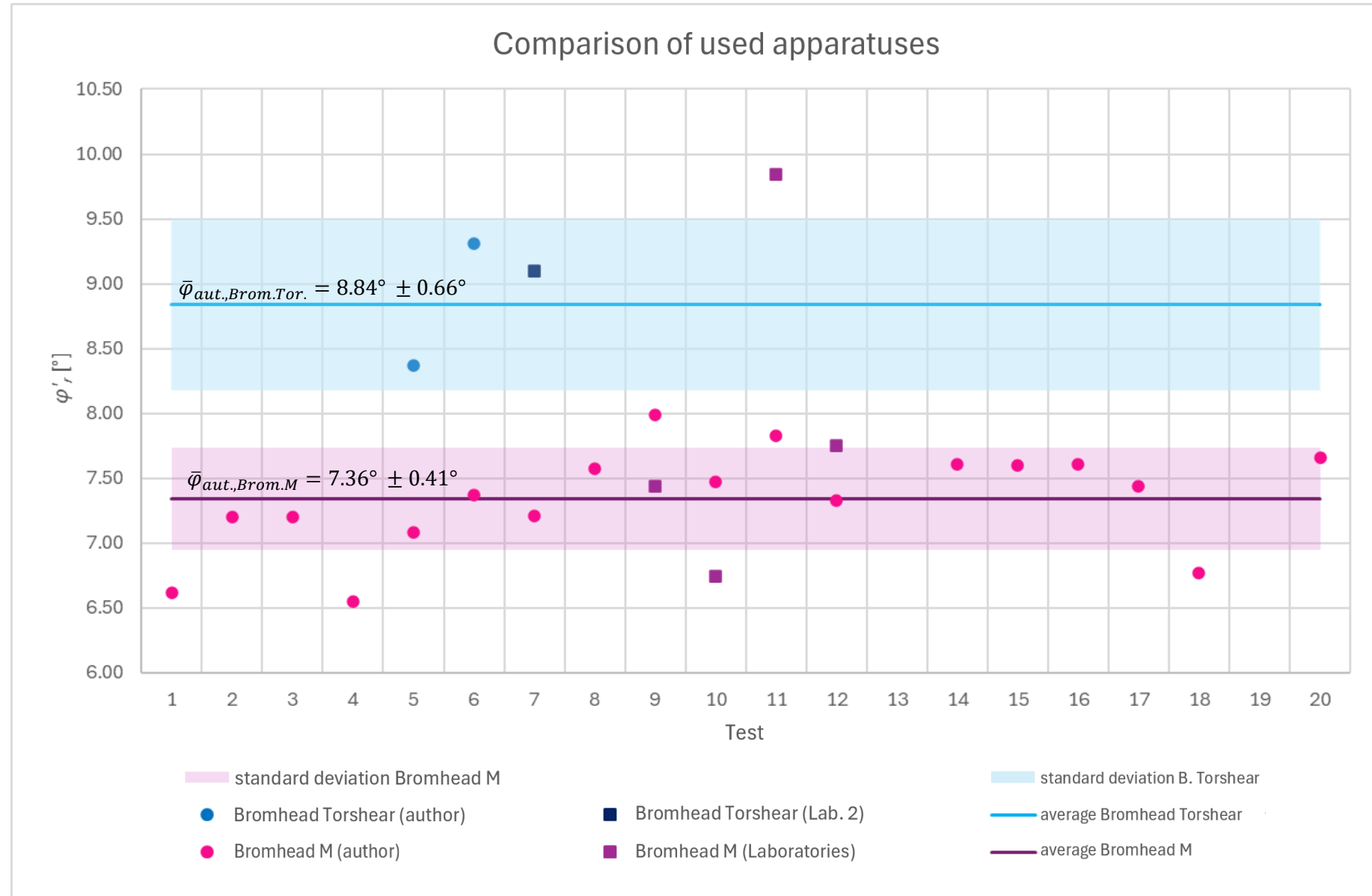
Výsledky srovnávacích zkoušek

Autorské zkoušky

- $\bar{\varphi}_{Bromhead\ M} = 7.36^\circ \pm 0.41^\circ$
- $\bar{\varphi}_{Torshear} = 8.84^\circ \pm 0.66^\circ$

Srovnávací zkoušky

- $\bar{\varphi}_{lab.,Bromhead\ M} = 7.94^\circ \pm 1.33^\circ$
- $\bar{\varphi}_{lab.,both\ apparatuses} = 8.17^\circ \pm 1.27^\circ$
- Vliv rychlosti smyku
 - množství laboratoří na použitelném minimu → další již byly osloveny
- zřejmý vliv zvoleného přístroje



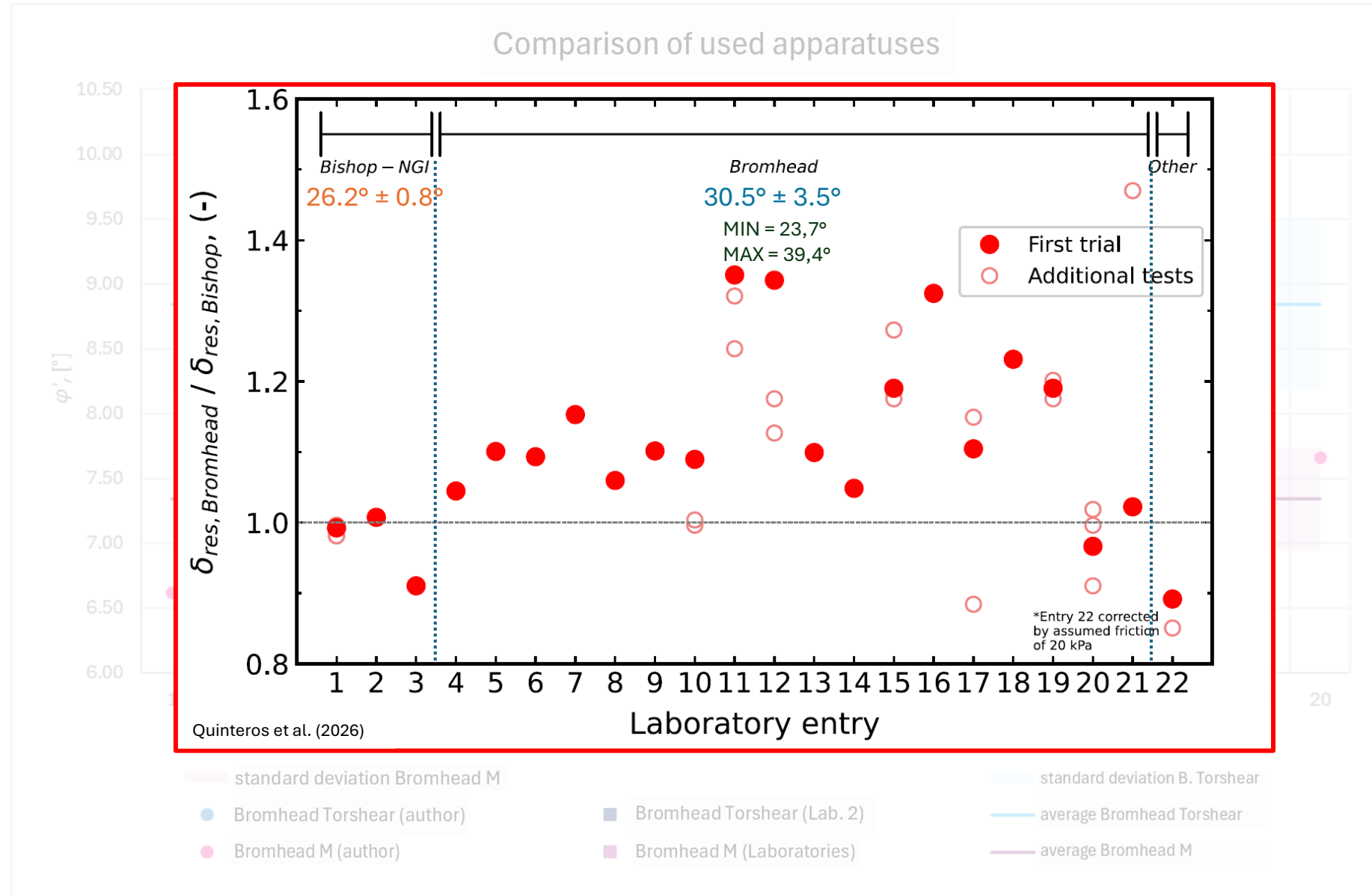
Výsledky srovnávacích zkoušek

Autorské zkoušky

- $\bar{\varphi}_{Bromhead\ M} = 7.36^\circ \pm 0.41^\circ$
- $\bar{\varphi}_{Torshear} = 8.84^\circ \pm 0.66^\circ$

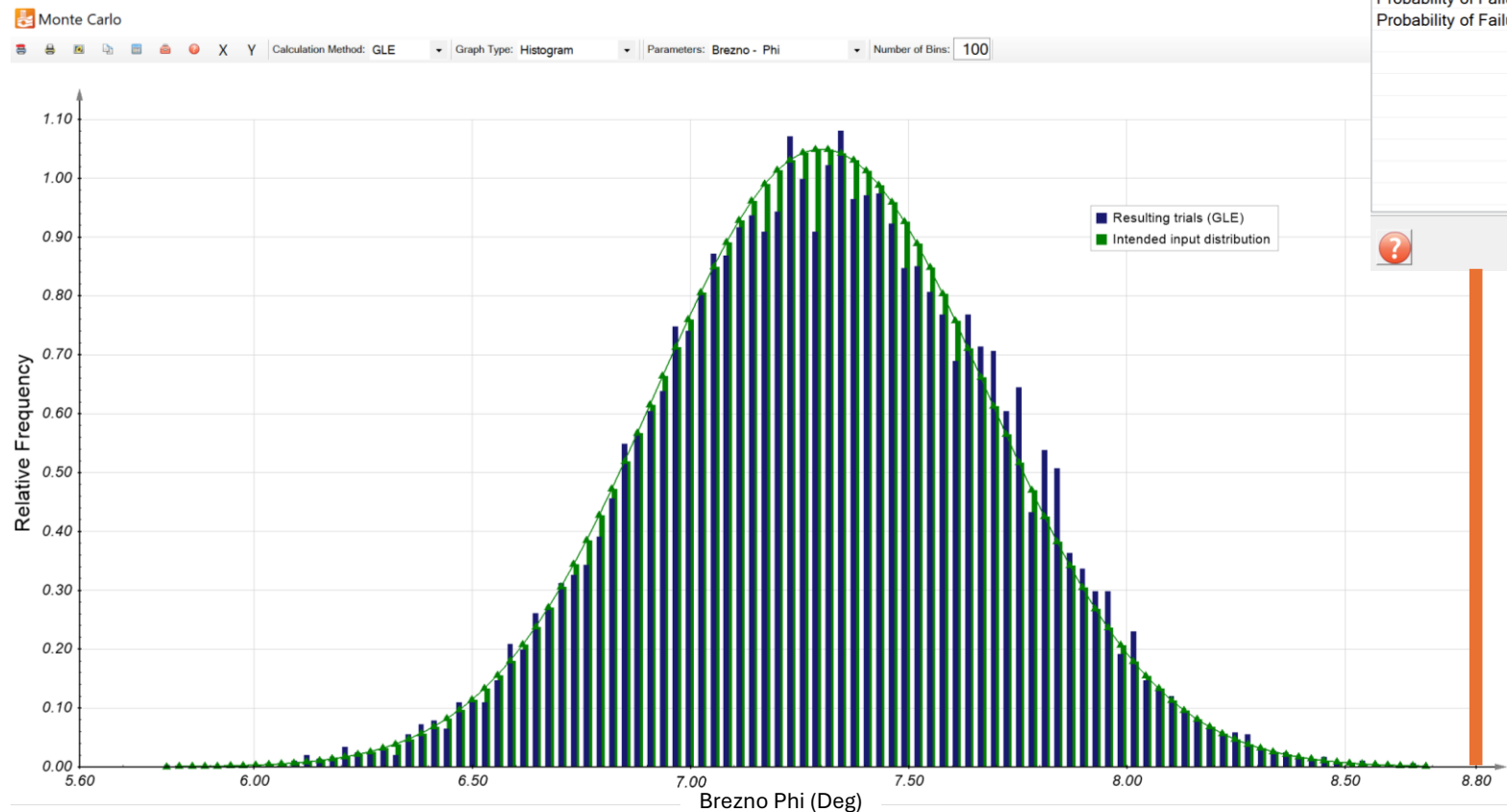
Srovnávací zkoušky

- $\bar{\varphi}_{lab.,Bromhead\ M} = 7.94^\circ \pm 1.33^\circ$
- $\bar{\varphi}_{lab.,both\ apparatuses} = 8.17^\circ \pm 1.27^\circ$
- Vliv rychlosti smyku
 - množství laboratoří na použitelném minimu → další již byly osloveny
- zřejmý vliv zvoleného přístroje



Praktické dopady zjištěných skutečností

- idealizovaná geometrie svahu
- úhel svahu odpovídající sesuvu Březno



Monte Carlo Values	
Calculation Method: GLE	
Summary of Values	
	Values
Mean of FOS	1.092
Variance of FOS	0.002...
Standard Deviation of FOS	0.0504
Reliability Index (Normal)	1.825
Reliability Index (Lognormal)	1.884
Probability of Failure %	3.41
Probability of Failure (Normal...	3.386
Probability of Failure (LogNor...	2.961

Pro $\varphi'_r = 7,36^\circ$

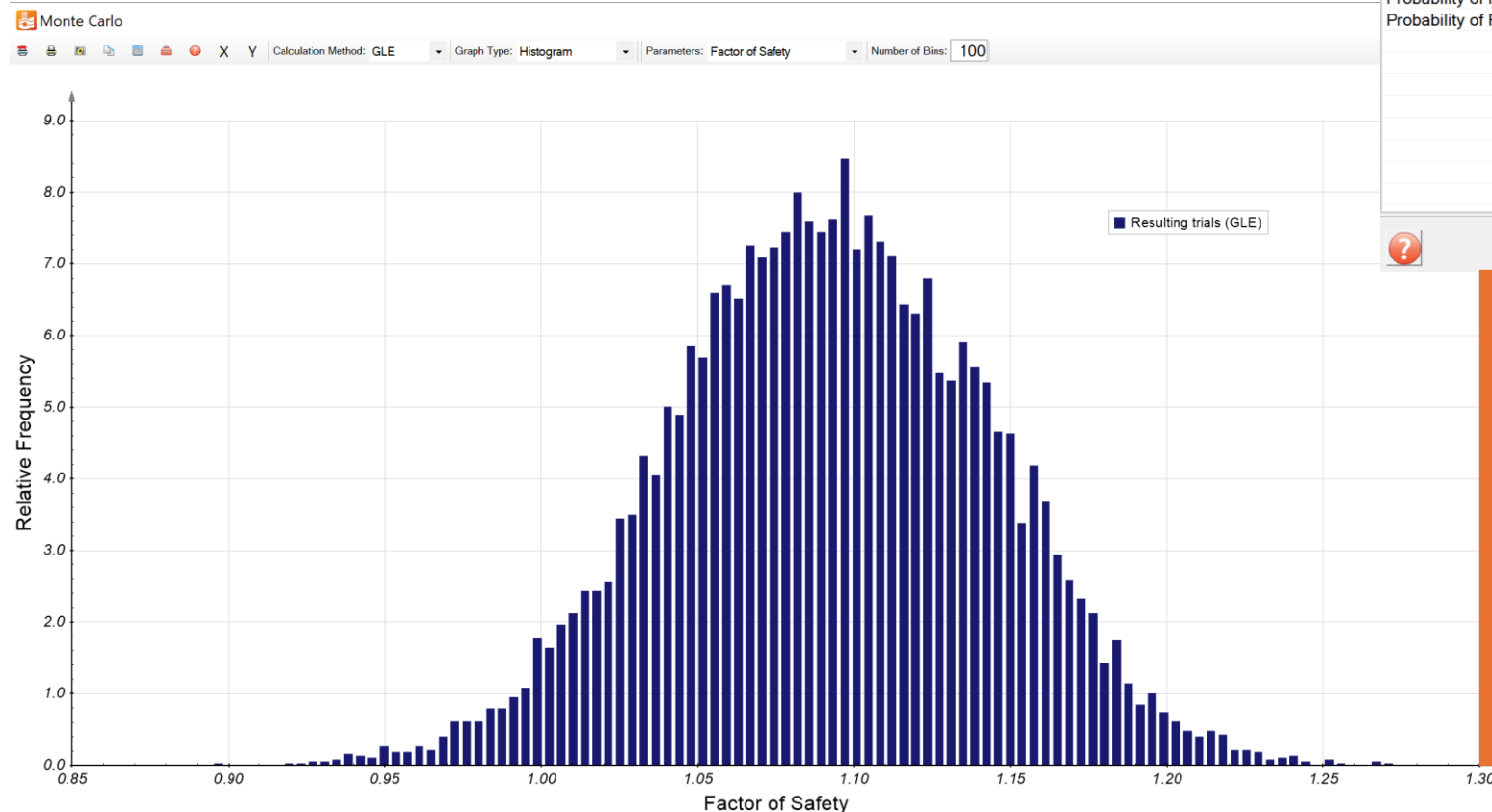
→ $FoS \cong 1,09$

Pro $\varphi'_r = 8,84^\circ$

→ $FoS \cong 1,32$

Praktické dopady zjištěných skutečností

- v rámci probíhajícího výzkumu – více robustní citlivostní analýza



Monte Carlo Values	
Calculation Method: GLE	
Summary of Values	
	Values
Mean of FOS	1.092
Variance of FOS	0.002...
Standard Deviation of FOS	0.0504
Reliability Index (Normal)	1.825
Reliability Index (Lognormal)	1.884
Probability of Failure %	3.41
Probability of Failure (Normal...)	3.386
Probability of Failure (LogNor...	2.961

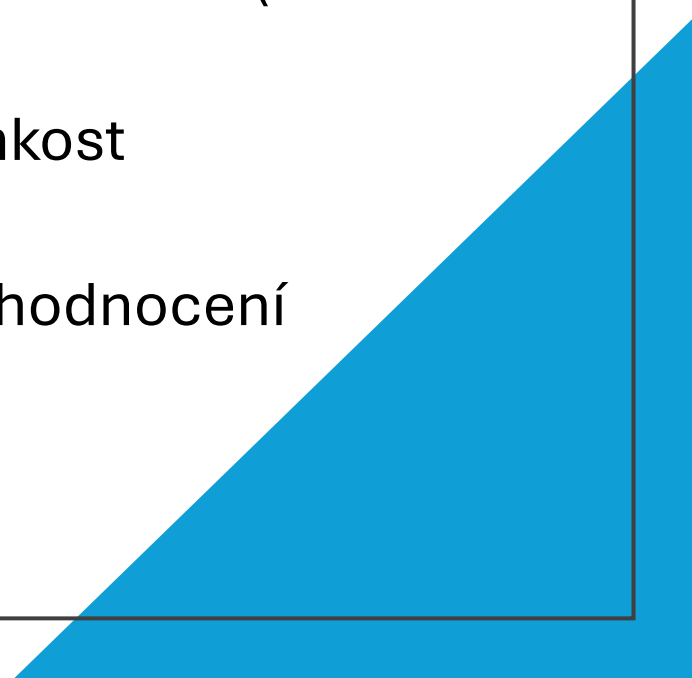
Pro $\varphi'_r = 7,36^\circ$

→ FoS $\cong 1,09$

Pro $\varphi'_r = 8,84^\circ$

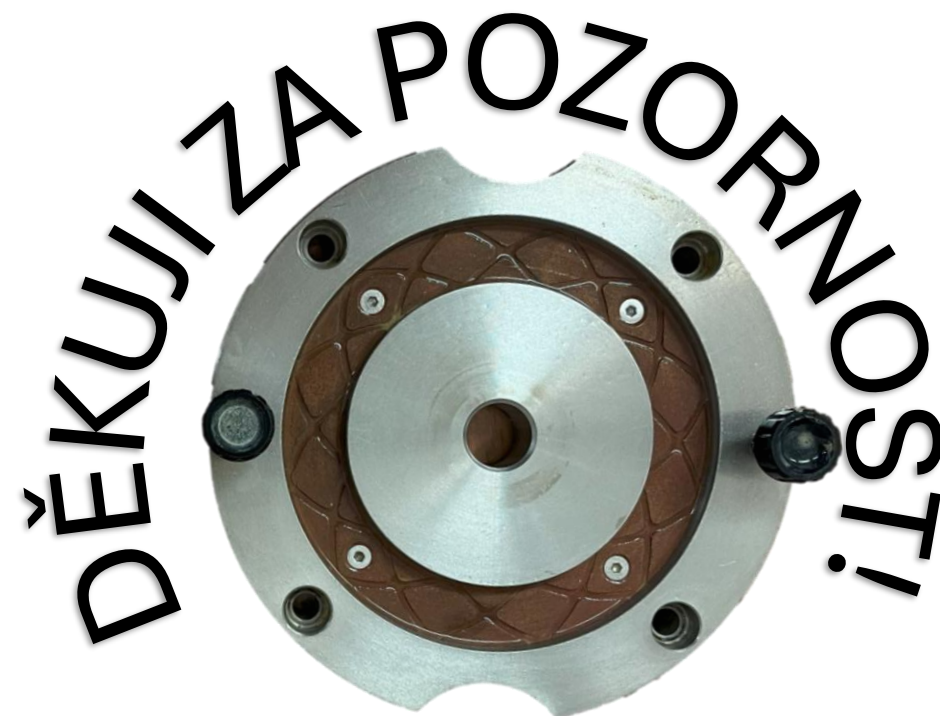
→ FoS $\cong 1,32$

Závěr

- vysoká opakovatelnost ($v = 5.38\%$) a nízká reprodukovatelnost ($v = 14.31\%$)
 - na výsledky zkoušek může mít vliv zvolený přístroj, vlhkost vzorků, předpětí třmenů, zatěžovací sled
 - podcenění důležitosti reziduální pevnosti a špatné vyhodnocení může vést k fatálním následkům
- 
- A large blue right-angled triangle is positioned in the bottom right corner of the slide, pointing towards the top right.

Vyplývající doporučení

- rekonstituované vzorky důkladně rozmíchané ve vodě
- předpětí třmenů přístroje > 0.020 mm (≈ 3 N)
- při sinusoidálním průběhu nap.-přet. diagramu $\rightarrow$ přístroj lze rozebrat a vyčistit hrany
- při sinusoidálním průběhu nap.-přet. diagramu $\rightarrow$ lze považovat minimální hodnotu za reprezentativní φ_r'



Mgr. Bianca Georgina Severini

AKREDITOVANÁ LABORATOŘ MECHANIKY ZEMIN A HORNIN

bianca.severini@pudis.cz

+420 608 454 715

Použitá literatura

- **Bromhead, E. N., Harris, A. J., & Ibsen, M. L. (1999).** *Statistical variability of ring shear test results on a shear zone in London Clay.* In J. C. Jiang, Y. Norio, & T. Tamagami (Ed.), *Slope Stability Engineering* (s. 1109–1114). <https://doi.org/DOI:10.1201/9780203739600-83>
- **Di Matteo, L., Valigi, D., & Ricco, R. (2013).** *Laboratory shear strength parameters of cohesive soils: variability and potential effects on slope stability.* *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72(1), 101–106. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0459-6>
- **Hawkins, A. B., & Privett, K. D. (1985).** *Measurement and use of residual shear strength of cohesive soils.* *Ground Engineering*, 18(8).
- **MacDonald, N. R., Packulak, T. R. M., & Day, J. J. (2023).** *A Critical Review of Current States of Practice in Direct Shear Testing of Unfilled Rock Fractures Focused on Multi-Stage and Boundary Conditions.* *Geosciences*, 13(6), 172. <https://doi.org/10.3390/geosciences13060172>
- **Novotný, J. (2014).** *Engineering Geological Models: Some Examples of Use for Landslide Assessments.* In *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 7* (Vol. 7, pp. 11–15). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09303-1_2
- **Stark, T. D., & Eid, H. T. (1994).** *Drained Residual Strength of Cohesive Soils.* *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(5), 856–871. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:5\(856\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:5(856))
- **Schwiteilo, E., & Herle, I. (2017).** *Vergleichsstudie zur Kompressibilität und zu den Scherparametern von Ton aus Ödometer- und Rahmenscherversuchen.* *Geotechnik*, 40(3), 204–217. <https://doi.org/10.1002/gete.201600015>
- **Quinteros, S., Dyvik, R., Peikli, I., Silva, D. C. A., Seiphoori, A., Westgate, Z., Kidane, M., Zepilli, D., Sørensen, K. K., Song, S., Uday, A., Cudmani, R., Gebremeskel, B. M., Stutz, H. H., Franco, A. & Chen, Z. (2026).** *Interface Friction Angle from Ring Shear Tests on Sand: A Round Robin.* *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 152(6). <https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-13628>