



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

## **Detekce zdánlivého přístěnného skluzu v mikrodisperzních kapalinách**

Pěnkavová, Věra  
2015

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-201158>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 26.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://nusl.cz) .

# Detekce zdánlivého přístěnného skluzu v mikrodisperzních kapalinách

---

Pěnkavová V., Tihon J., Wein O.

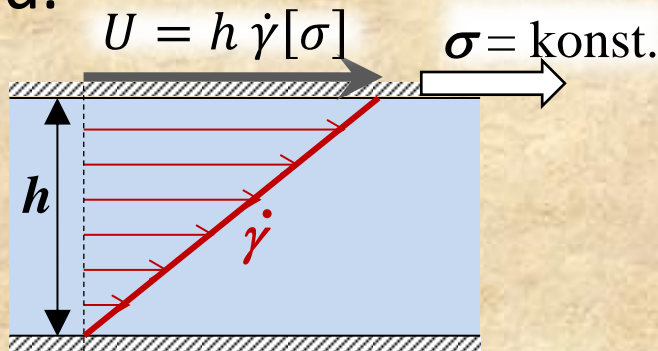


Oddělení vícefázových reaktorů,  
Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.  
Praha  
Česká republika

# Přístěnný skluz

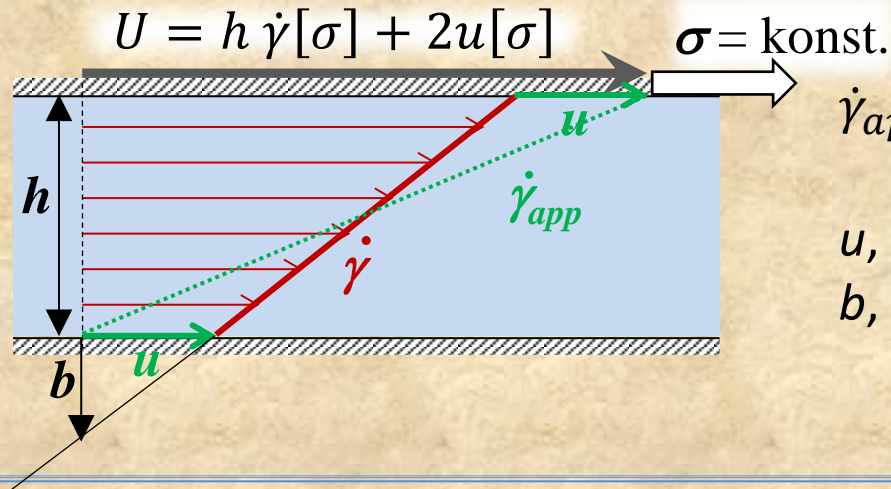
Prostý smykový tok:

a) Bez skluzu.



$U, \text{ms}^{-1}$  rychlost  
 $\sigma, \text{Pa}$  smykové napětí  
 $\dot{\gamma}, \text{s}^{-1}$  smyková rychlost  
 $h, \text{m}$  tloušťka štěrbiny

b) Přístěnný skluz.

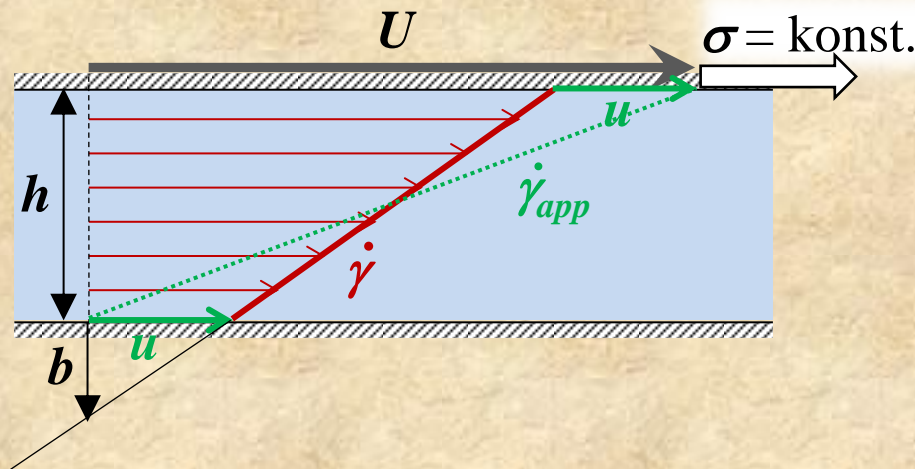


$\dot{\gamma}_{app}, \text{s}^{-1}$  zdánlivá  
 smyková rychlost  
 $u, \text{ms}^{-1}$  skluzová rychlost  
 $b, \text{m}$  extrapolovaná  
 skluzová délka,  
 $b = u[\sigma] / \dot{\gamma}[\sigma]$



# Přístěnný skluz

Prostý smykový tok - přístěnný skluz.



$U, \text{ms}^{-1}$  rychlost  
 $\sigma, \text{Pa}$  smykové napětí  
 $\dot{\gamma}, \text{s}^{-1}$  smyková rychlost  
 $h, \text{m}$  tloušťka štěrbiny  
 $\dot{\gamma}_{app}, \text{s}^{-1}$  zdánlivá  
 smyková rychlost  
 $u, \text{ms}^{-1}$  skluzová rychlost  
 $b, \text{m}$  extrapolovaná  
 skluzová délka,  
 $b = u[\sigma] / \dot{\gamma}[\sigma]$

$$\dot{\gamma}_{app}(\sigma, h) = U/h = \dot{\gamma}[\sigma] + 2u[\sigma]/h$$

Fluidita:

$$\varphi[\sigma] = \dot{\gamma}[\sigma] / \sigma$$

**KAPALINA**

Skluzový koeficient:

$$\chi[\sigma] = u[\sigma] / \sigma$$

**MEZIFÁZÍ**

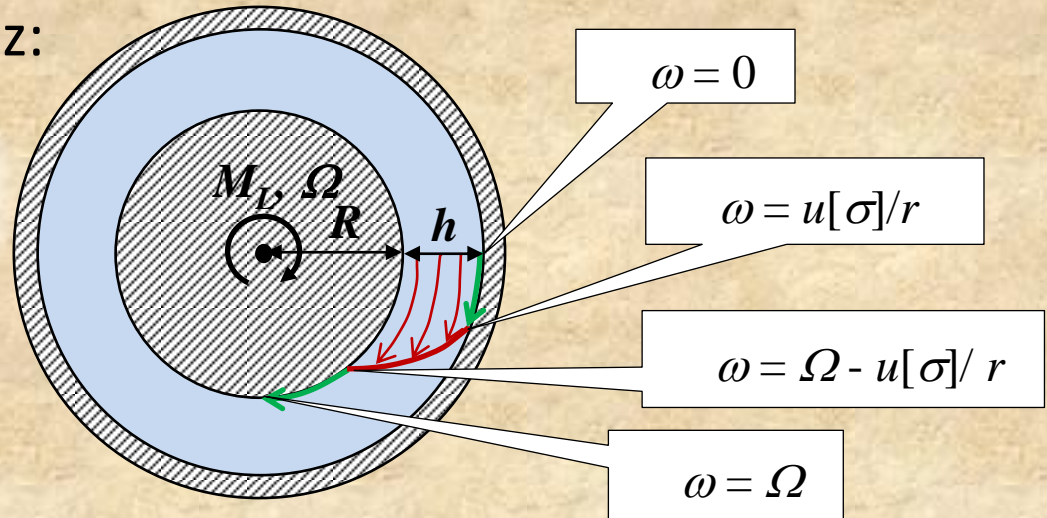
$$A = \frac{2u[\sigma]/h}{\dot{\gamma}[\sigma] + 2u[\sigma]/h}$$

# Přístěnný skluz

Couettův tok - přístěnný skluz:

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_R} = \left(\frac{R}{r}\right)^2 \quad \sigma_R = \frac{M_L}{2\pi R^2 L}$$

$h, m$	tloušťka štěrbiny
$R, m$	poloměr rotoru
$L, m$	délka rotoru
$M_L, Nm$	moment
$\omega, \text{rads}^{-1}$	úhlová rychlost
$\Omega, \text{rads}^{-1}$	úhlová rychlost rotoru
$\sigma_R, Pa$	smykové napětí na povrchu rotoru
$\dot{\gamma}, s^{-1}$	smyková rychlost
$u, \text{ms}^{-1}$	skluzová rychlost
$\kappa = R/(R+h)$	



$$\Omega[\sigma_R, h] = \frac{1}{2} \int_{\kappa^2 \sigma_R}^{\sigma_R} \dot{\gamma}[\sigma] \frac{d\sigma}{\sigma} + \frac{u[\sigma_R]}{R} + \frac{\kappa u[\kappa^2 \sigma_R]}{R}$$

Fluidita:

$$\varphi[\sigma] = \dot{\gamma}[\sigma] / \sigma$$

**KAPALINA**

Skluzový koeficient:

$$\chi[\sigma] = u[\sigma] / \sigma$$

**MEZIFÁZÍ**

# Přístěnný skluz

Celkový kinematický efekt  $G$ :

$$G(\sigma, h) = F(\varphi[\sigma]) + S(\chi[\sigma], h)$$

Tokový příspěvek  $F$ .  
 $\varphi[\sigma] = \dot{\gamma}[\sigma] / \sigma$   
**KAPALINA**

Skluzový příspěvek  $S$ .  
 $\chi[\sigma] = u[\sigma] / \sigma$   
**MEZIFÁZÍ**

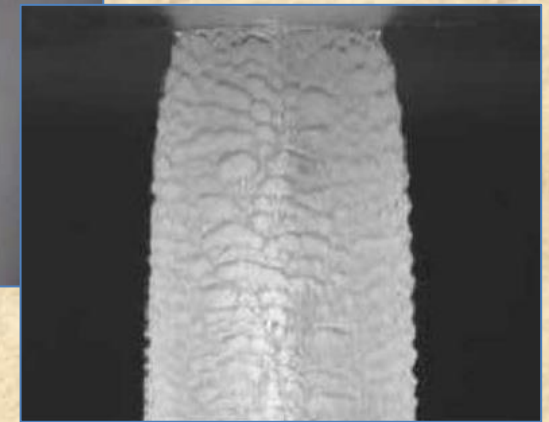
Relativní skluzový příspěvek  $A$ :

$$A = \frac{S}{G}$$

# Přístěnný skluz

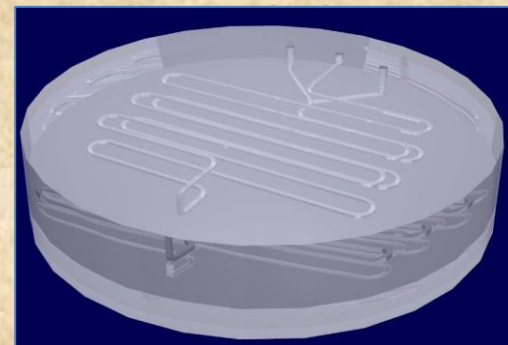
V taveninách polymerů vede “stick-slip” efekt k deformaci extrudátu.

Hatzikiriakos, S.G., Wall slip of molten polymers. *Progress in Polymer Science* **2012**, 37(4), 624-643.



Na solvofobních površích nelze skluz korelovat s tlakovou ztrátou.

Vinogradova, O.I., Slippage of water over hydrophobic surfaces. *International Journal of Mineral Processing* **1999**, 56(1-4), 31-60.  
Granick, S.; Zhu, Y.; Lee, H., Slippery questions about complex fluids flowing past the solids. *Nature Materials* **2003**, 2, 221-227.



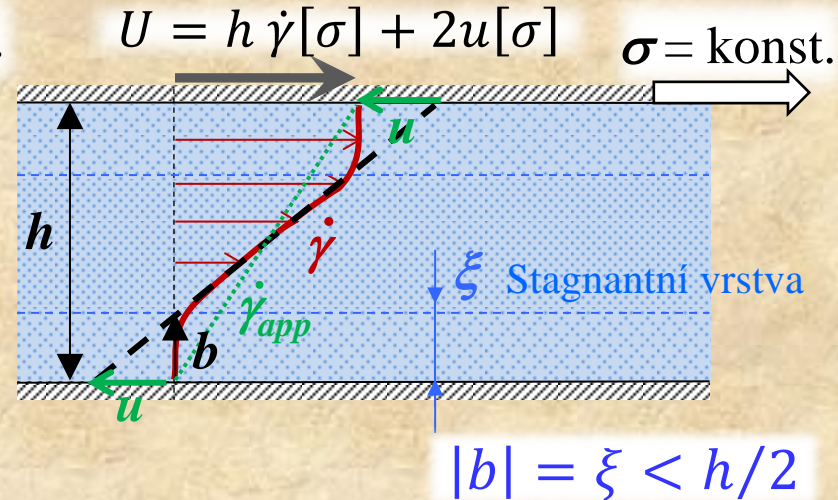
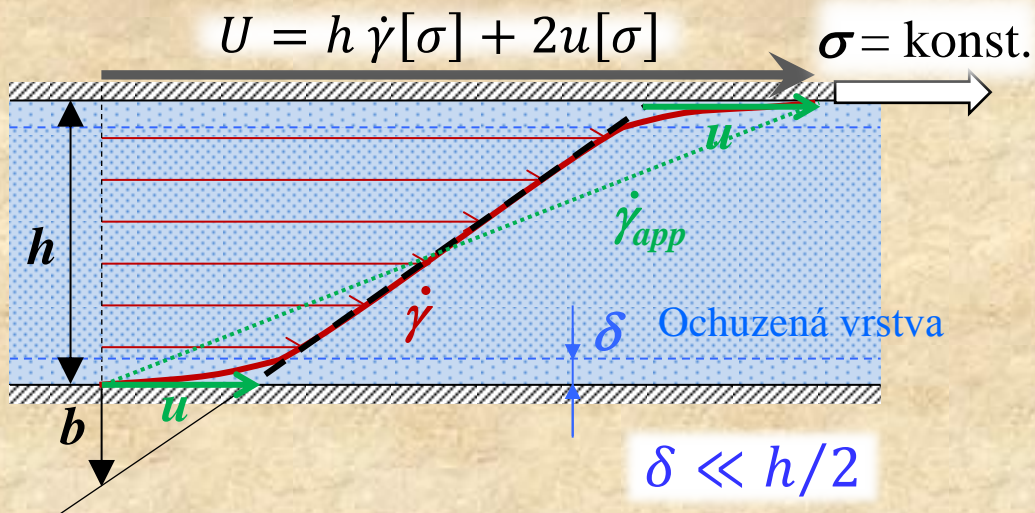


# Zdánlivý přístěnný skluz (AWS)

Mikrodisperzní kapaliny.

Sterické,  
elektrochemické,  
hydrodynamické,  
viskoelastické  
efekty.

Vznik ochuzené nebo  
stagnantní vrstvy  
~  
MAKROSKOPICKY zdánlivý  
přístěnný skluz.



Barnes, H.A., A Review of the Slip (Wall Depletion) of Polymer-Solutions, Emulsions and Particle Suspensions in Viscometers - Its Cause, Character, and Cure. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* **1995**, 56(3), 221-251.  
Sochi, T., Slip at Fluid-Solid Interface. *Polymer Reviews* **2011**, 51(4), 309-340.



# Zdánlivý přístěnný skluz (AWS)

Dva přístupy viskozimetrie:

1. potlačení skluzových efektů  
a měření pouze tokových vlastností kapaliny  
(profilované senzory, lopatkový „vane“ senzor)



Barnes, H.A.; Nguyen, Q.D., Rotating vane rheometry - a review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 2001, 98(1), 1-14.

2. kvantitativní stanovení skluzových efektů  
(AWS viskozimetrie)

# AWS viskozimetrie

---

Kvantitativní detekování zdánlivého přístěnného skluzu.

$$G(\sigma, h) = F(\sigma) + S(\sigma, h)$$

$$A = S(\sigma, h) / G(\sigma, h)$$

$G$  – celkový kinematický efekt,  $F$  – tokový příspěvek,  $S$  – skluzový příspěvek

Je nezbytné provádět viskozimetrická měření s různou tloušťkou štěrbiny (v různých geometriích toku).

$A \rightarrow 0\%$  - nelze stanovit skluz

$A \rightarrow 100\%$  - nelze stanovit fluidita

# AWS viskozimetrie

## 1930 - Tokové křivky závislé na průměru kapiláry.

Schofield, R.K.; Scott Blair, G.W., The influence of the proximity of a solid wall on the consistency of viscous and plastic materials. *J. Phys. Chem.* **1930**, 34, 248-262.

Scott Blair, G.W., The Rheology of Soil Pastes. *Journal of Rheology* **1930**, 1(2), 127.

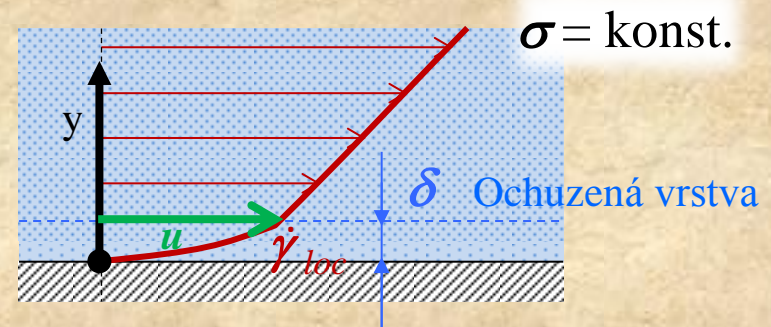
## 1931 - Vyhodnocení fluiditní a skluzové funkce.

Mooney, M., Explicit formulas for slip and fluidity. *Journal of Rheology* **1931**, 2, 210-222.

## 1956 - Koncept skluzového koeficientu jako materiálové vlastnosti.

Oldroyd, J.G., *Rheology*. Non-Newtonian flow of liquids and solids. 653-682 **1956**.

$$u[\sigma] = \int_0^{\delta} \dot{\gamma}_{loc}(\sigma, y) dy$$





# AWS viskozimetrie

---

## 1988 - Další metody vyhodnocení fluiditní a skluzové funkce.

Yoshimura, A.; Prudhomme, R.K., Wall Slip Corrections for Couette and Parallel Disk Viscometers. *Journal of Rheology* **1988**, 32(1), 53-67.

Wein, O.; Tovchigrechko, V.V., Rotational Viscometry under Presence of Apparent Wall Slip. *Journal of Rheology* **1992**, 36(5), 821-844.

Yeow, Y.L.; Lee, H.L.; Melvani, A.R.; Mifsud, G.C., A new method of processing capillary viscometry data in the presence of wall slip. *Journal of Rheology* **2003**, 47(2), 337-348.

Yeow, Y.L.; Choon, B.; Karniawan, L.; Santoso, L., Obtaining the shear rate function and the slip velocity function from Couette viscometry data. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* **2004**, 124(1-3), 43-49.  
348.

Yeow, Y.L.; Leong, Y.K.; Khan, A., Slow steady viscous flow of newtonian fluids in parallel-disk viscometer with wall slip. *Journal of Applied Mechanics-Transactions of the Asme* **2008**, 75(4).

## 2006 - AWS viskozimetrie.

Večeř, M., Experimentální studium zdánlivého skluzu při stěně. **2004**. Dizertační práce, VŠCHT, Praha.

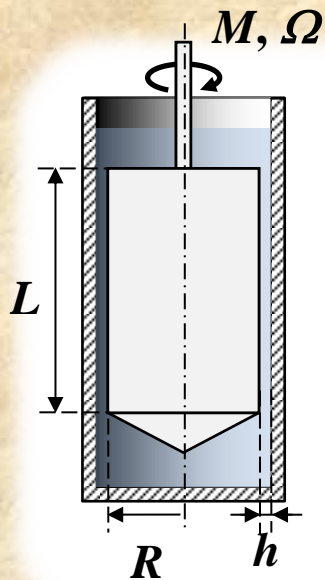
Wein, O.; Vecer, M.; Tovcigrecko, V.V., AWS rotational viscometry of polysaccharide solutions using a novel KK sensor. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* **2006**, 139(1-2), 135-152.

Wein, O.; Tovcigrecko, V.V.; Sobolik, V.; Vecer, M., Diagnostics of Apparent Wall Slip in Aqueous Polymer Solutions. *Novel Trends in Rheology Iii* **2009**, 1152, 139-151.

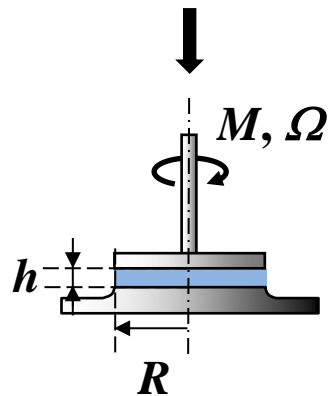
Wein, O.; Vecer, M.; Tihon, J.; Penkavova, V., AWS Viscometry - Principles and Applications. *Novel Trends in Rheology Iv* **2011**, 1375.

# AWS viskozimetrie

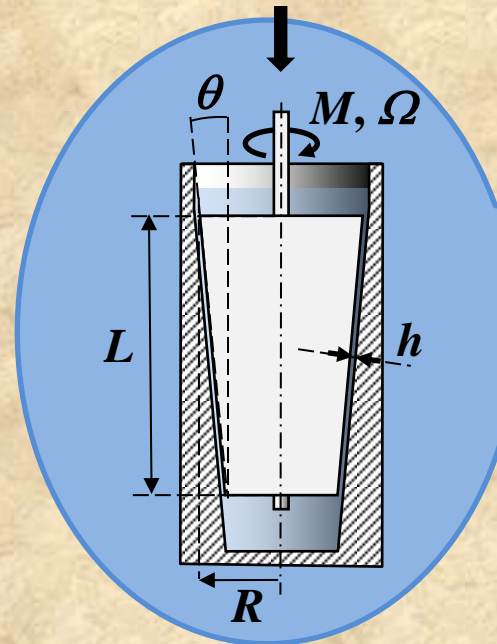
souosé  
válce



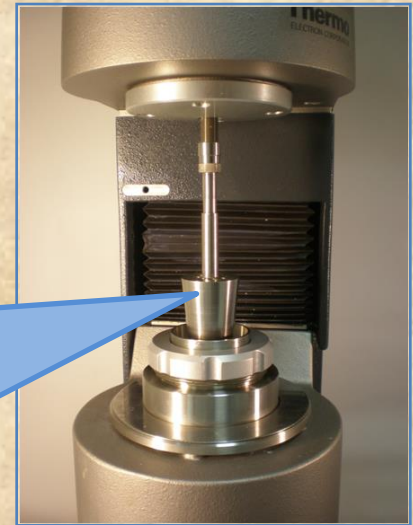
souosé  
desky



souosé  
kužely



reometr  
Haake RS600



$$\cot \theta = 10$$

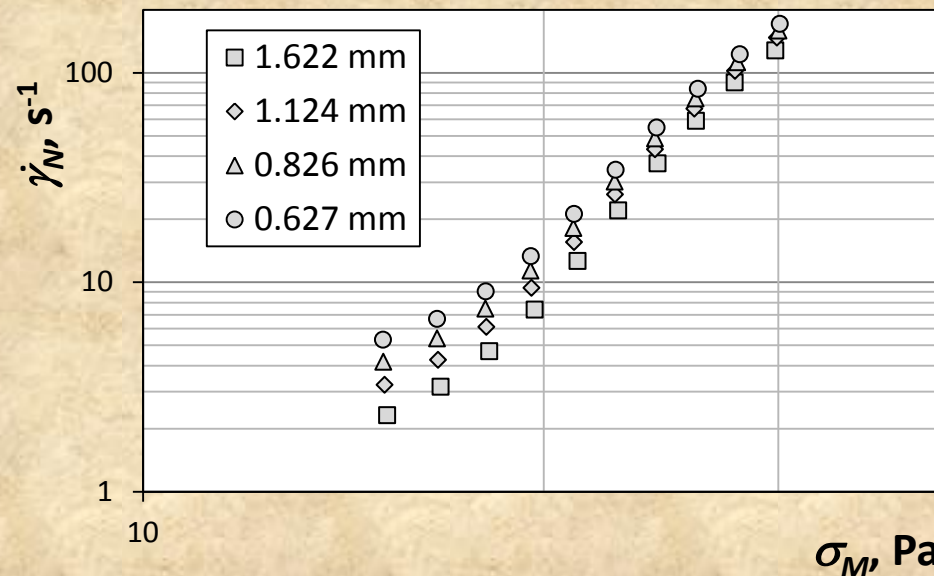
$$h = h_0 + \Delta z \sin \theta$$

# AWS viskozimetrie

## Primární data zkorigovaná na koncové efekty

počet geometrií:  $i = 1 \dots N$

počet bodů na tokové křivce:  $j = 1 \dots M$



$\sigma_M, Pa$  střední  
smykové napětí  
na povrchu rotoru

$\dot{\gamma}_N, s^{-1}$  smyková rychlost  
počítaná jako  
pro Newtonskou  
kapalinu bez skluzu



# AWS viskozimetrie

## Lokální filtrace dat

počet geometrií:  $i = 1 \dots N$

počet bodů na tokové křivce:  $j = 1 \dots M$

$$G(\sigma, h) = \frac{\Omega R}{h} = F(\varphi[\sigma]) + S(\chi[\sigma], h)$$

$$G^*(\sigma, h) = F^*(\varphi^*[\sigma]) + S^*(\chi^*[\sigma], h)$$

$$S(\chi[\sigma], h) = G(\sigma, h) - F^*(\varphi^*[\sigma])$$

$$F(\varphi[\sigma]) = G(\sigma, h) - S^*(\chi^*[\sigma], h)$$

primární data

# AWS viskozimetrie

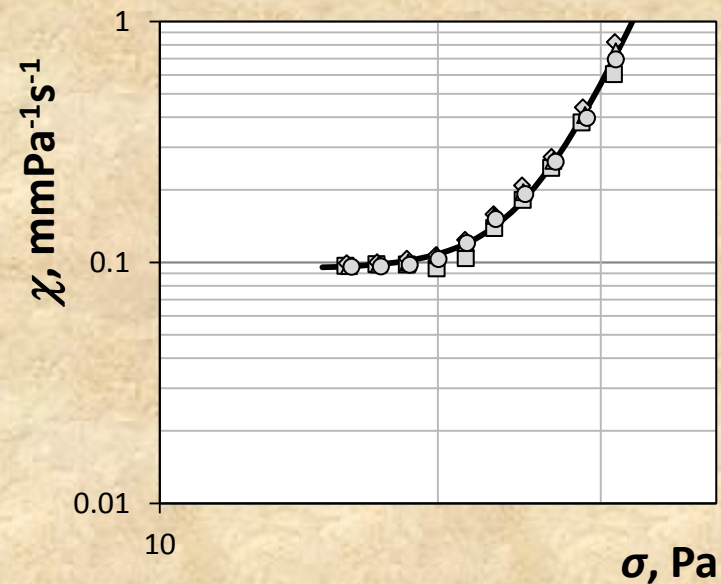
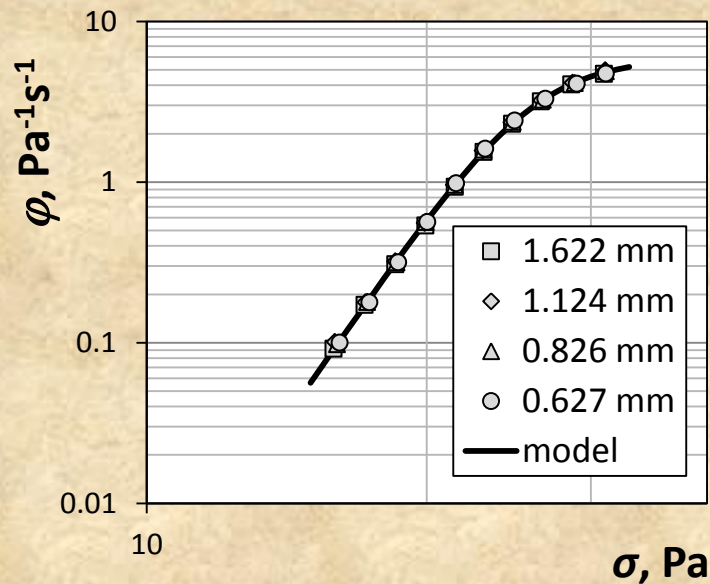
## Vyhodnocená fluiditní a skluzová funkce

počet geometrií:

$$i = 1 \dots N$$

počet bodů na tokové křivce:

$$j = 1 \dots M$$

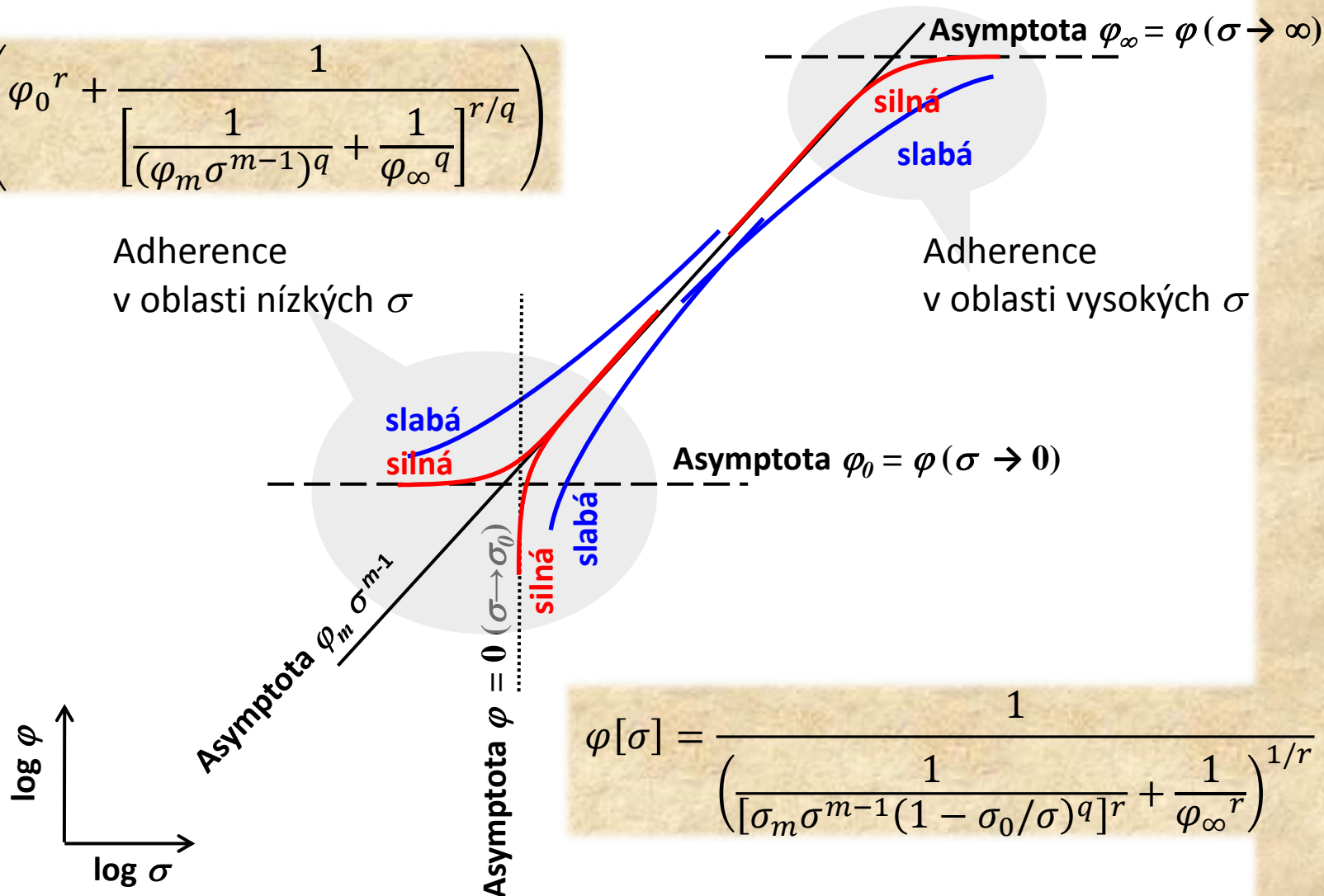


# AWS viskozimetrie

$$\varphi[\sigma] = \left( \varphi_0^r + \frac{1}{\left[ \frac{1}{(\varphi_m \sigma^{m-1})^q} + \frac{1}{\varphi_\infty^q} \right]^{r/q}} \right)$$

Adherence  
v oblasti nízkých  $\sigma$

Adherence  
v oblasti vysokých  $\sigma$

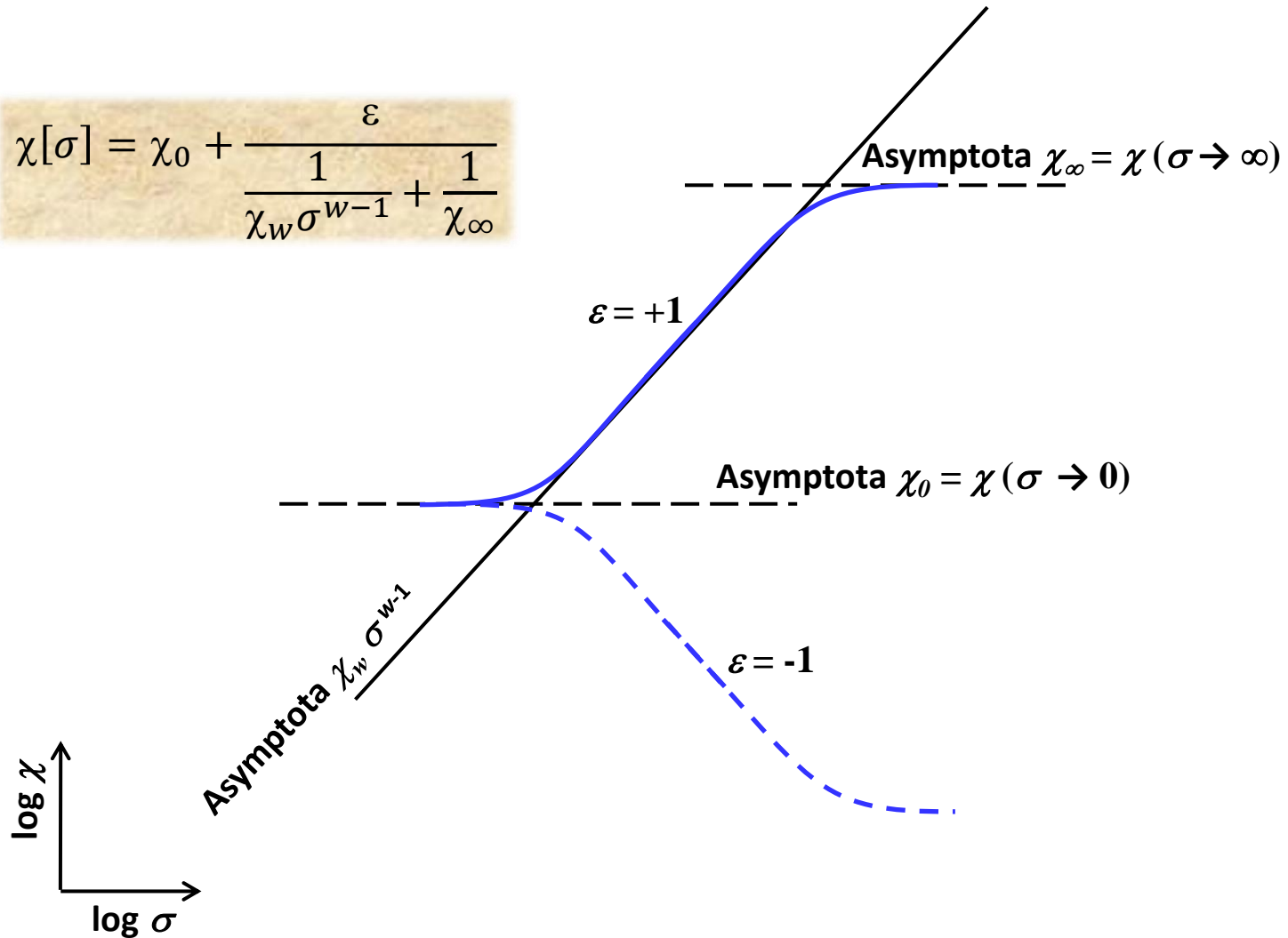


$$\varphi[\sigma] = \frac{1}{\left( \frac{1}{[\sigma_m \sigma^{m-1} (1 - \sigma_0/\sigma)^q]^r} + \frac{1}{\varphi_\infty^r} \right)^{1/r}}$$



# AWS viskozimetrie

$$\chi[\sigma] = \chi_0 + \frac{\varepsilon}{\frac{1}{\chi_w \sigma^{w-1}} + \frac{1}{\chi_\infty}}$$



# Ukázky výsledků

## Vodné kaolinové suspenze

Průmysl: keramický, papírenský, barvářský

Výzkum: modelová kapalina, koloidní disperze

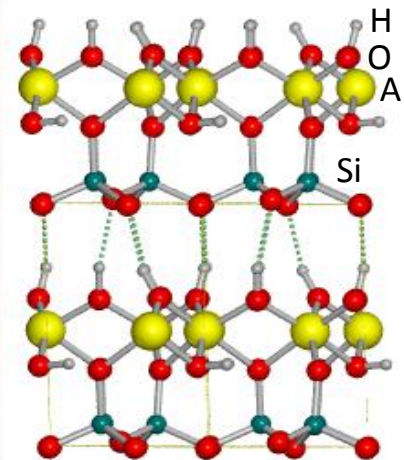
(tixotropie, viskoplasticita, zdánlivý přístěnný skluz)

Kaolin „Sedlec Ia“ (>90% kaolinitu:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

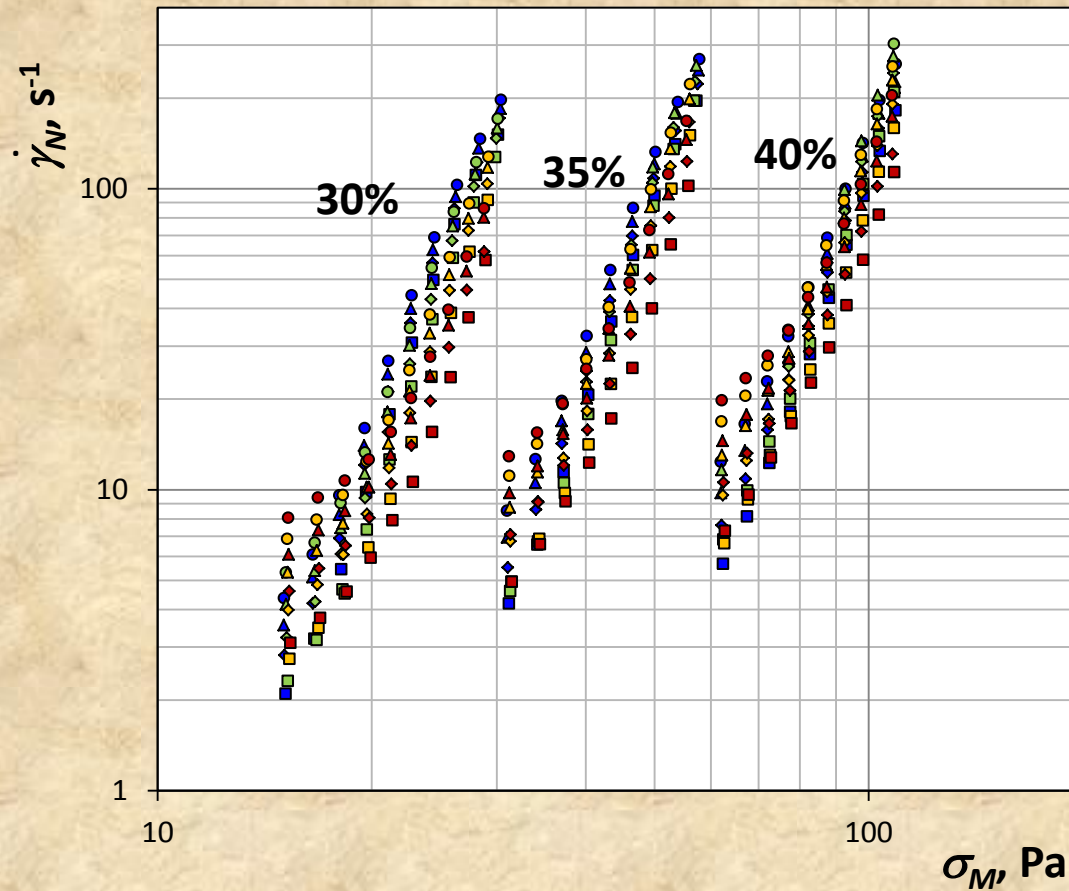
30%, 35% a 40%hm  
vodné suspenze

Ztekucovadla:

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaOH, SHMP,  
NaCMC (90 000 g/mol)



# Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

$h$ , mm:

1.622 □

1.124 ◇

0.826 △

0.627 ○

Teplota:

10°C

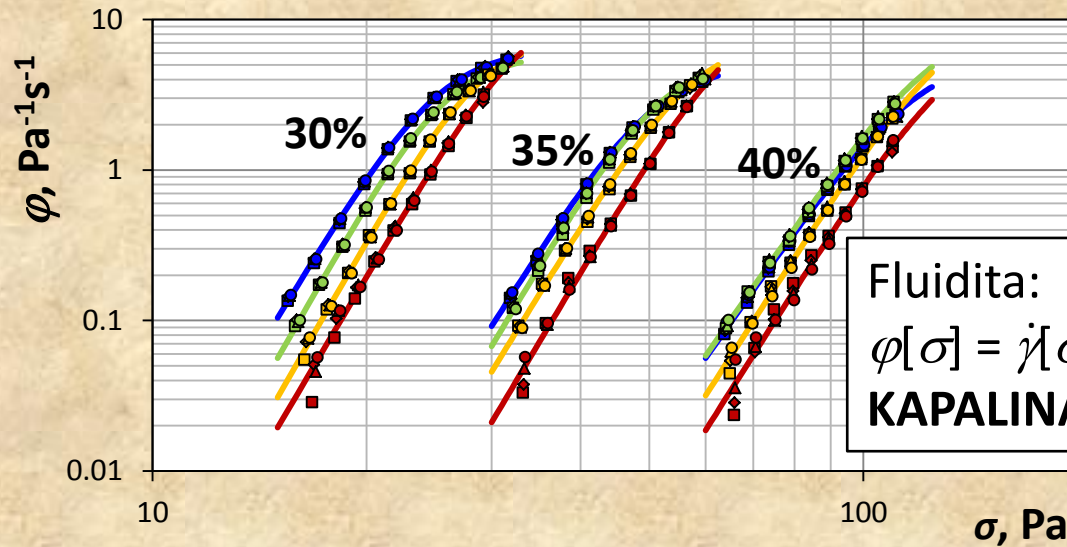
20°C

30°C

40°C



# Ukázky výsledků



Fluidita:  
 $\phi[\sigma] = \dot{\gamma}[\sigma] / \sigma$   
**KAPALINA**

kaolinové suspenze

$h, \text{mm}$ :

1.622 □

1.124 ◇

0.826 △

0.627 ○

Teplota:

10°C

20°C

30°C

40°C

30%

35%

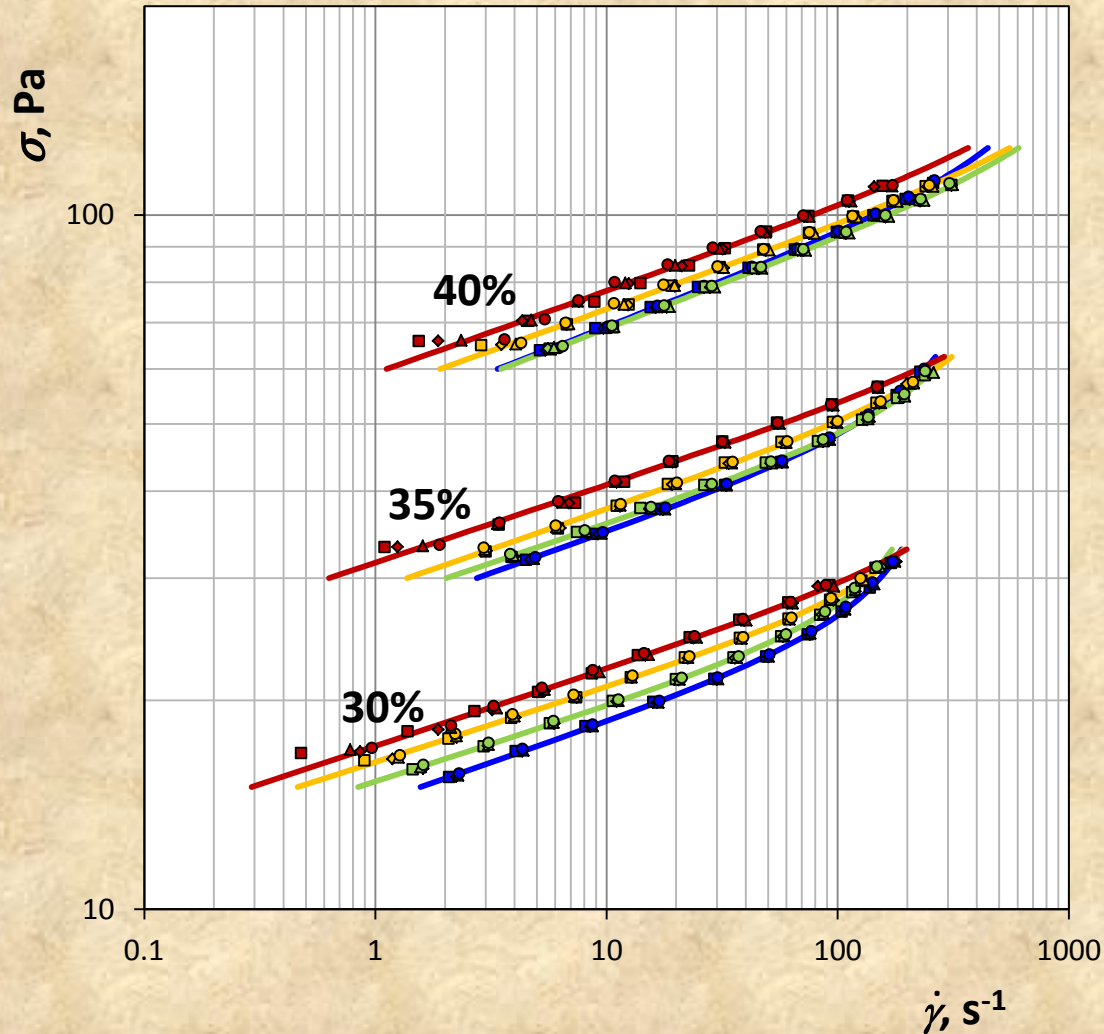
40%

Skluzový koeficient:

$$\chi[\sigma] = u[\sigma] / \sigma$$

**MEZIFÁZÍ**

# Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

$h, \text{mm}$ :

1.622  $\square$

1.124  $\diamond$

0.826  $\triangle$

0.627  $\circ$

Teplota:

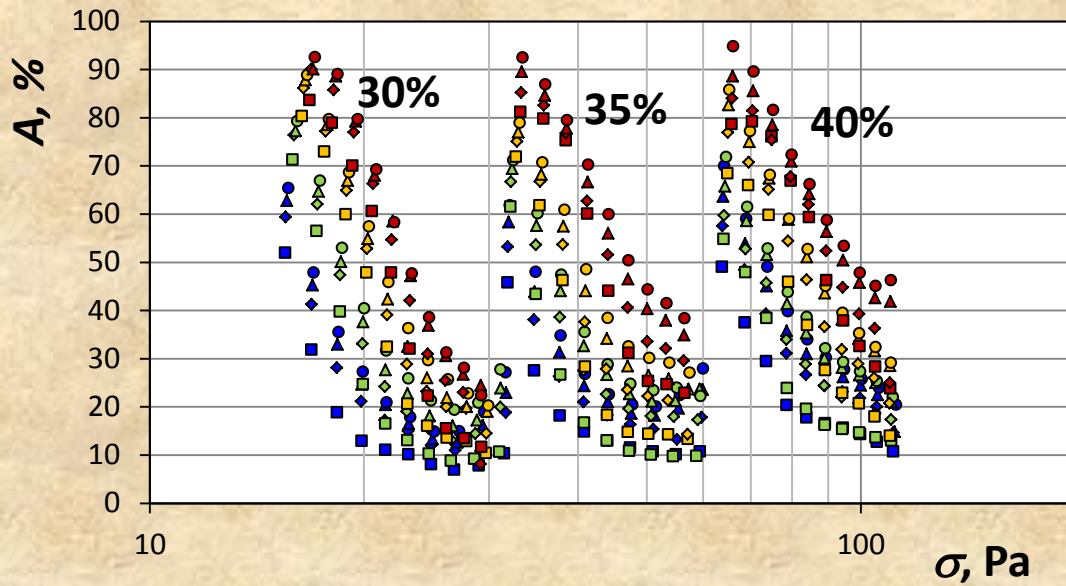
10°C

20°C

30°C

40°C

# Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

$h$ , mm:

1.622  $\square$

1.124  $\diamond$

0.826  $\triangle$

0.627  $\circ$

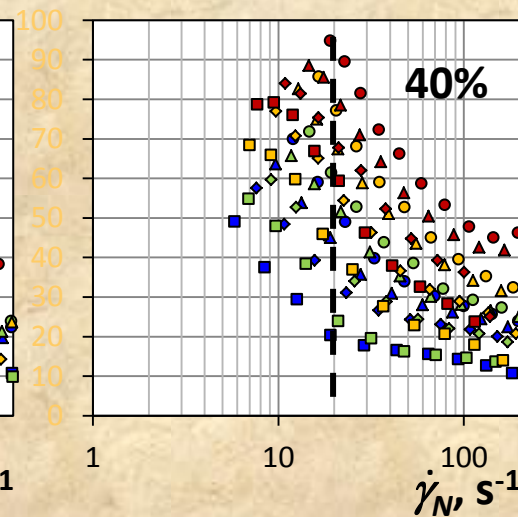
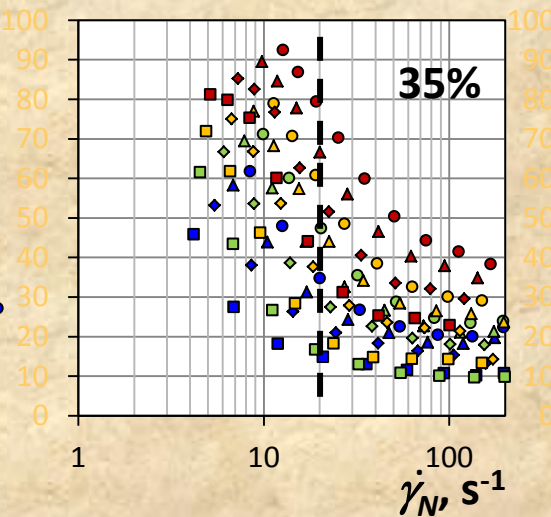
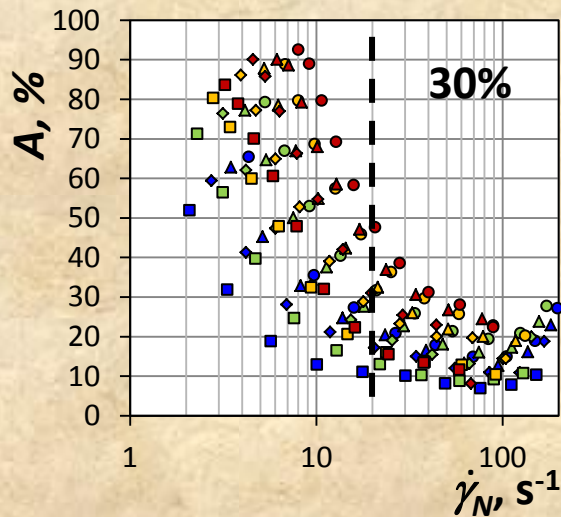
Teplota:

10°C

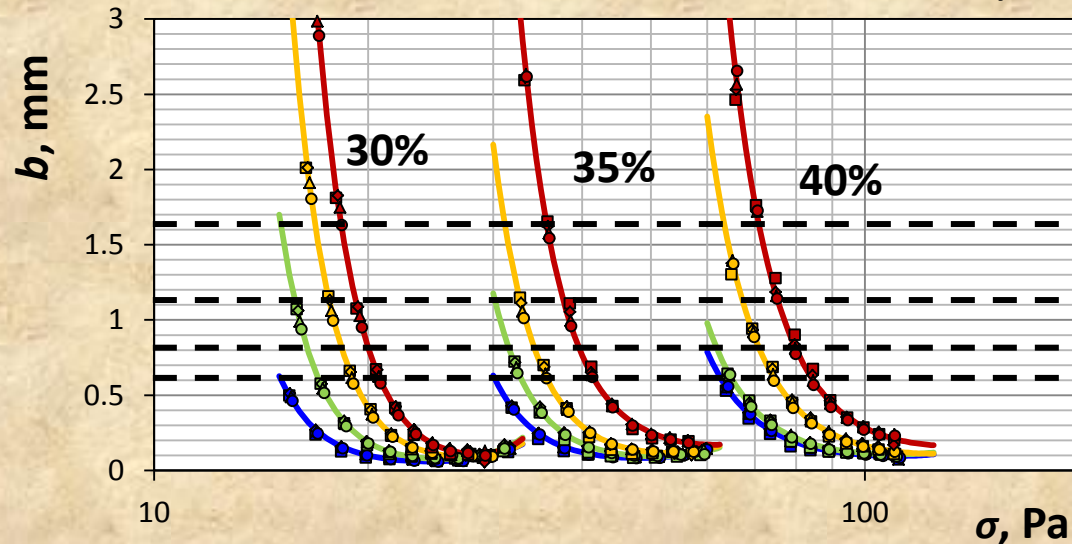
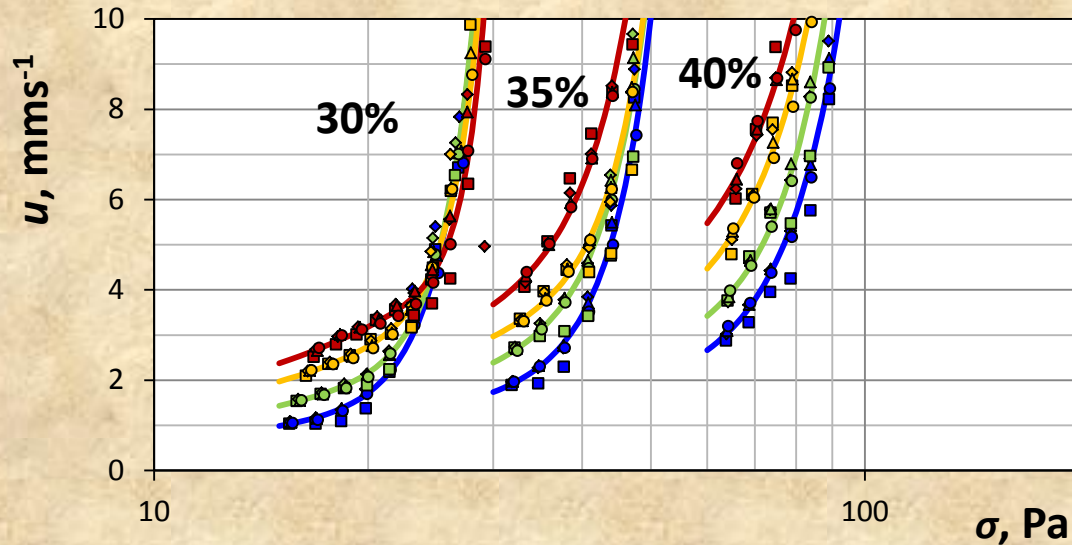
20°C

30°C

40°C



# Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

$h$ , mm:

1.622 □

1.124 ◇

0.826 △

0.627 ○

Teplota:

10°C

20°C

30°C

40°C

extrapolovaná

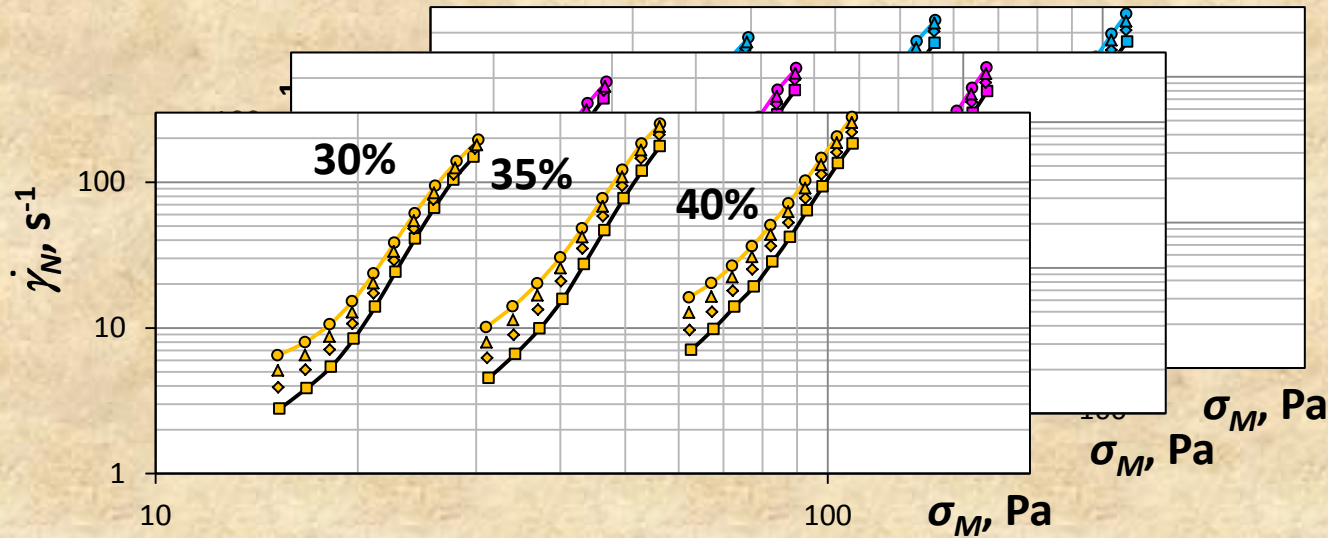
skluzová délka,

$$b = u[\sigma] / \dot{\gamma}[\sigma]$$

$$= \chi[\sigma] / \phi[\sigma]$$



# Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

25°C

$\Delta z$ , mm:

15 □

10 ◇

7 △

5 ○

Senzor:

KK01 - nerez

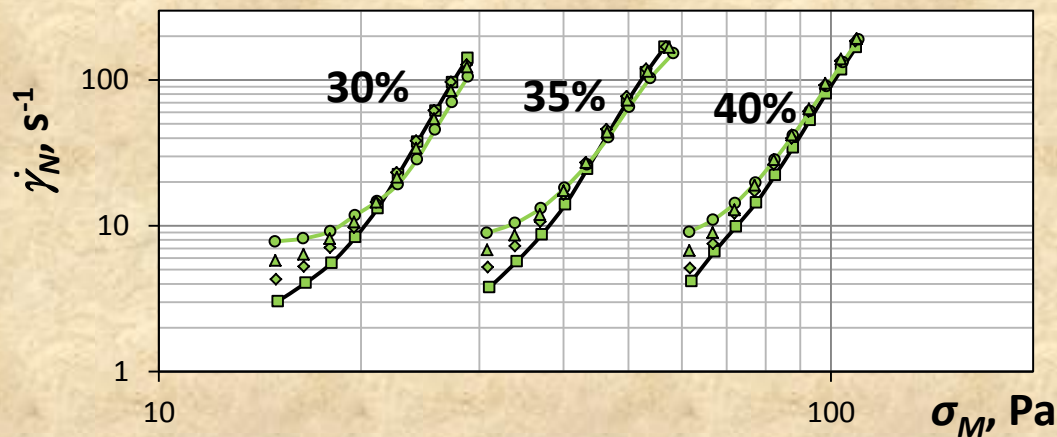
hladká

KK02 - titan

KK03 - dural

KK04 - nerez

pískovaná



# Ukázky výsledků

kaolinové suspenze

25°C

$\Delta z$ , mm:

15  $\square$

10  $\diamond$

7  $\triangle$

5  $\circ$

Senzor:

KK01 - nerez

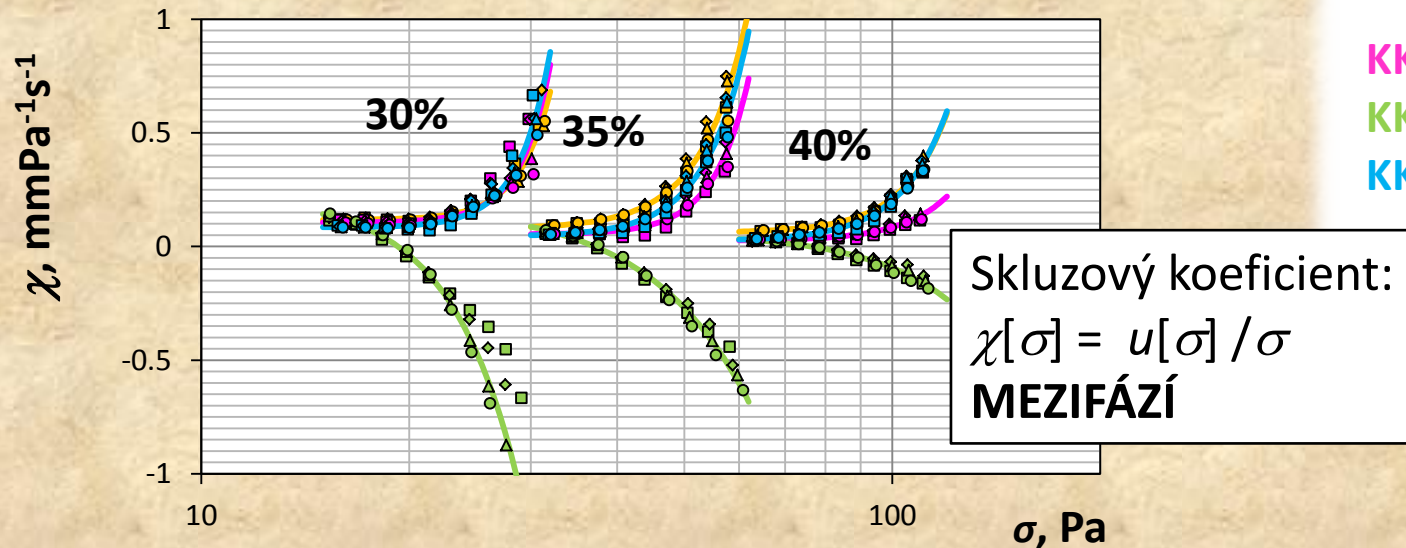
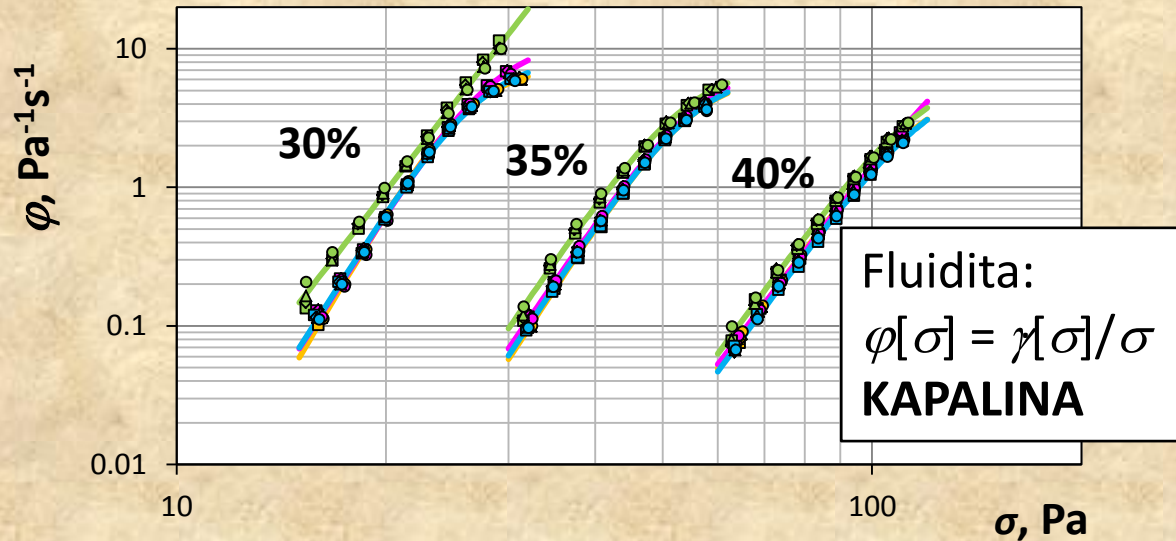
hladká

KK02 - titan

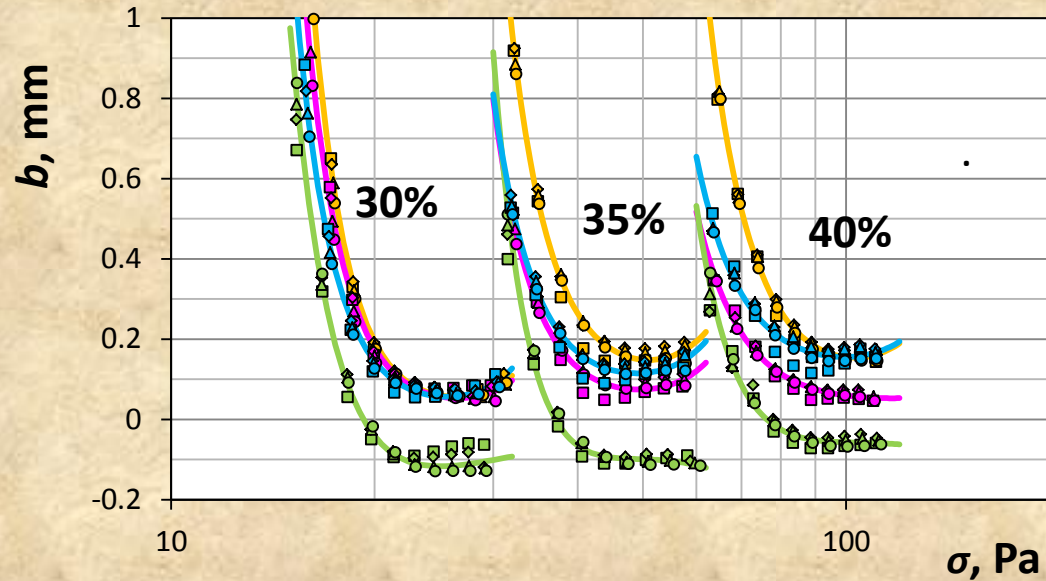
KK03 - dural

KK04 - nerez

pískovaná



# Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

25°C

$\Delta z$ , mm:

15 □

10 ◇

7 Δ

5 ○

Senzor:

KK01 - nerez

hladká

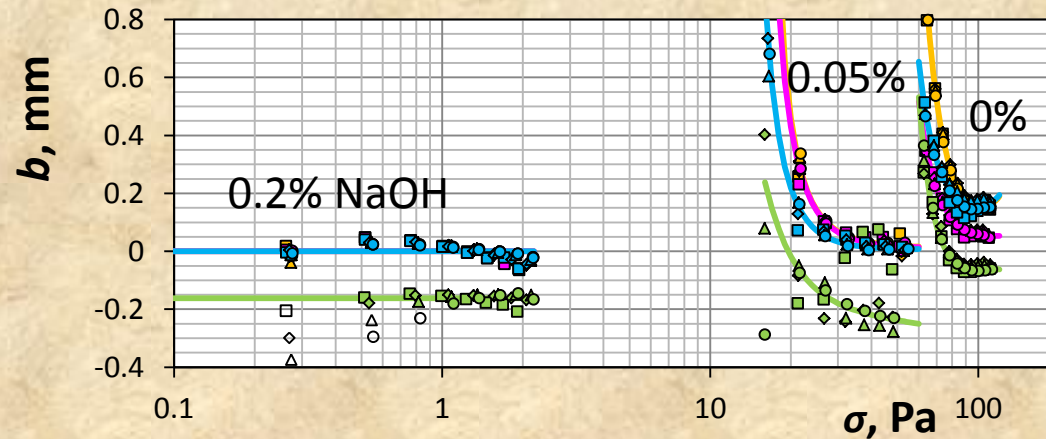
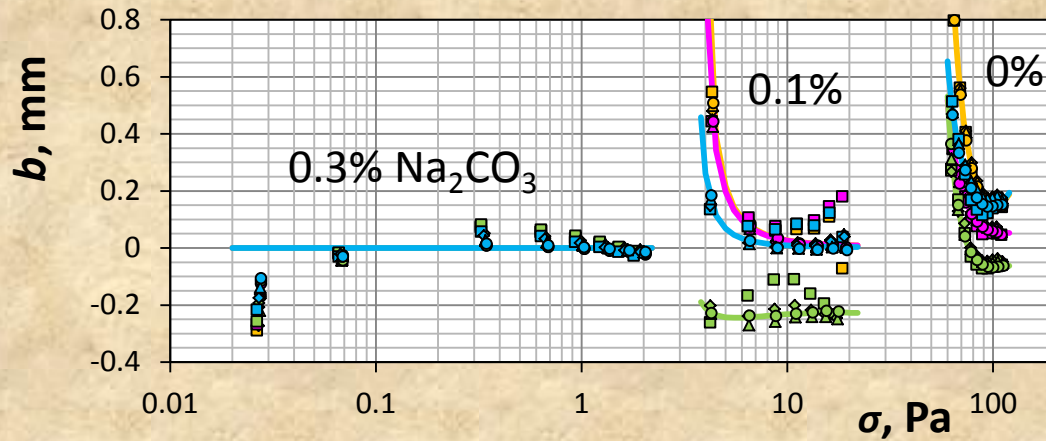
KK02 - titan

KK03 - dural

KK04 - nerez

pískovaná

# Ukázky výsledků



kaolinové  
40% suspenze

25°C

$\Delta z$ , mm:

15 □

10 ◇

7 △

5 ○

Senzor:

KK01 - nerez

hladká

KK02 - titan

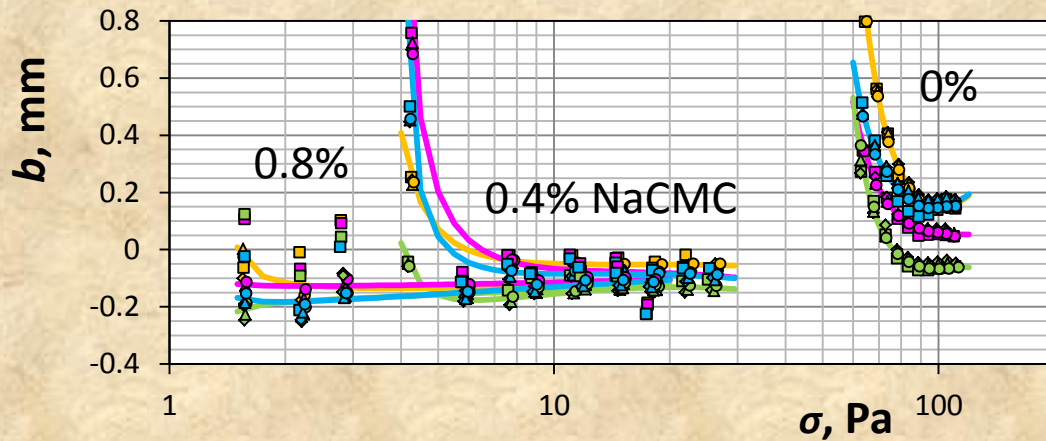
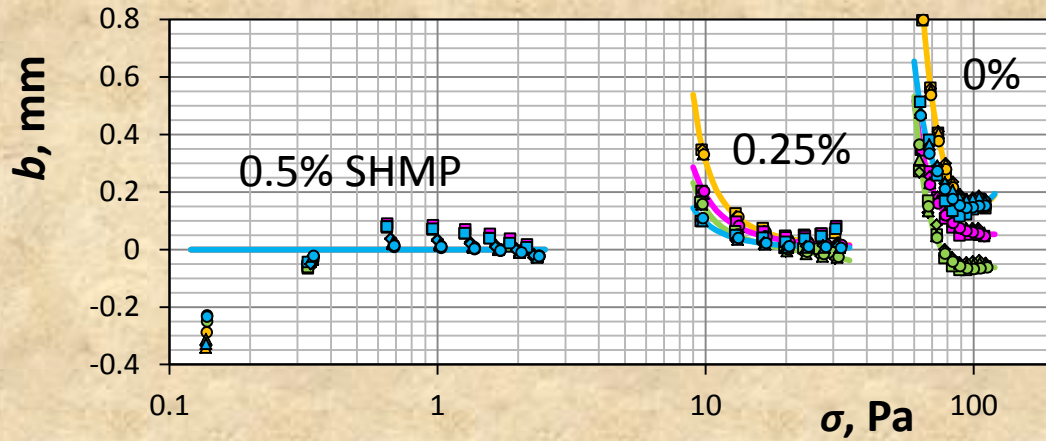
KK03 - dural

KK04 - nerez

pískovaná



# Ukázky výsledků



kaolinové  
40% suspenze  
25°C

$\Delta z, \text{ mm}$ :

15 □

10 ◇

7 Δ

5 ○

Senzor:

KK01 - nerez  
hladká

KK02 - titan

KK03 - dural

KK04 - nerez  
pískovaná

# Shrnutí

---

- ✓ AWS viskometrie umožňuje detekci přístěnných efektů.
- ✓ Měření musí být prováděna ve stejném rozsahu smykových napětí na několika různých tloušťkách štěrbin.
- ✓ Přístěnné efekty mohou být charakterizovány, jak kladnou, tak zápornou skluzovou rychlostí.



A close-up photograph of a metal drill bit, showing its sharp cutting edges and the central flute. The drill bit is positioned vertically, and the background is dark and out of focus. Overlaid on the image is the text "Děkuji Vám za pozornost." in a blue, sans-serif font. Below this text is a horizontal blue line.

**Děkuji Vám za pozornost.**

**Děkujeme Grantové agentuře České republiky za finanční podporu v rámci projektů 15-04790S a 15-05534S.**