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: 16.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Detekce zdánlivého přístěnného skluzu v mikrodisperzních kapalinách

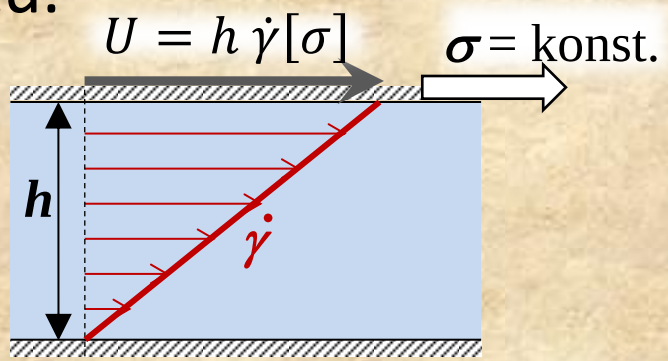
Pěnkavová V., Tihon J., Wein O.

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

Přístěnný skluz

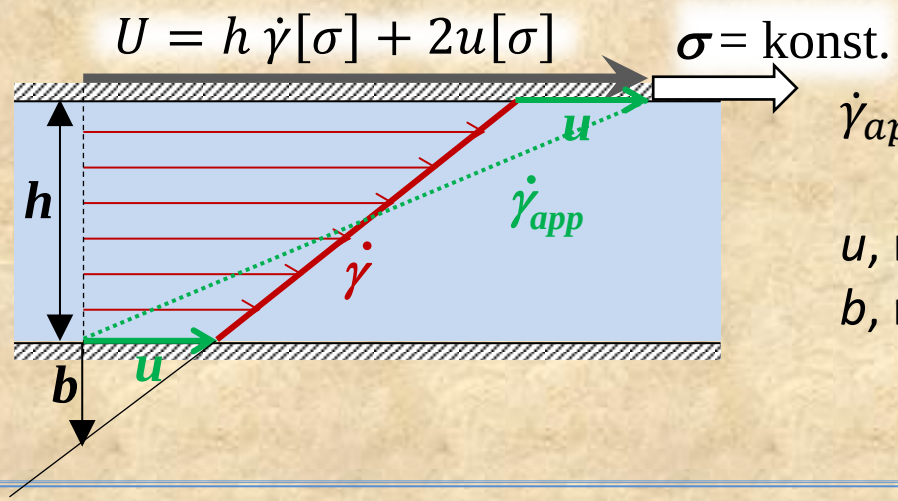
Prostý smykový tok:

a) Bez skluzu.



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

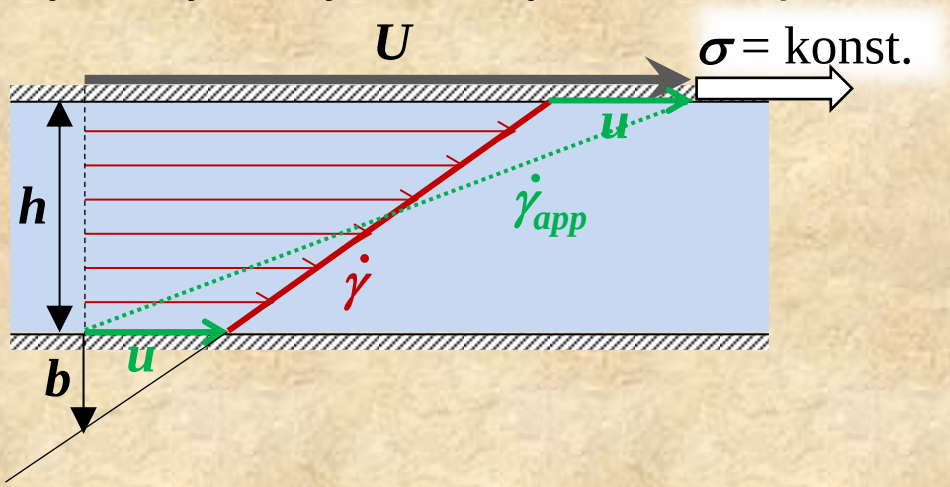
b) Přístěnný skluz.



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

Přístěnný skluz

Prostý smykový tok - přístěnný skluz.



U, ms^{-1}	rychlost
σ, Pa	smykové napětí
$\dot{\gamma}$, s^{-1}	smyková rychlost
h,m	tloušťka štěrbiny
$\dot{\gamma}_{app}$, s^{-1}	zdánlivá smyková rychlost
u, ms^{-1}	skluzová rychlost
b, 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

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

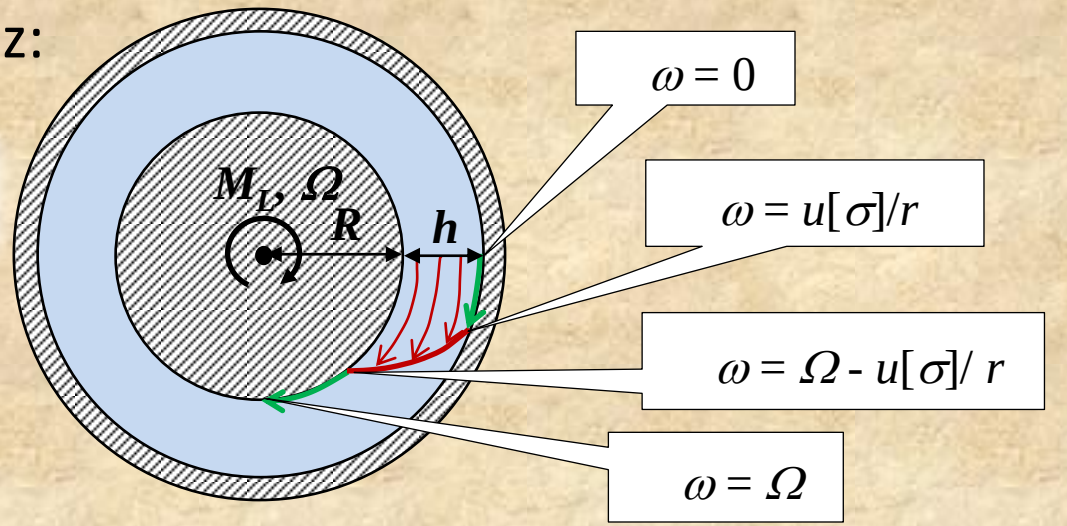
Přístěnný skluz

Couettův tok - přístěnný skluz:

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

h,m	tloušťka štěrbiny
R, m	poloměr rotoru
L, m	délka rotoru
M_L, Nm	moment
ω, rads^{-1}	úhlová rychlost
Ω, rads^{-1}	úhlová rychlost rotoru
σ_R, Pa	smykové napětí na povrchu rotoru
$\dot{\gamma}$, s^{-1}	smyková rychlost
u, ms^{-1}	skluzová rychlost

$\kappa = R/(R+h)$



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

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*:

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

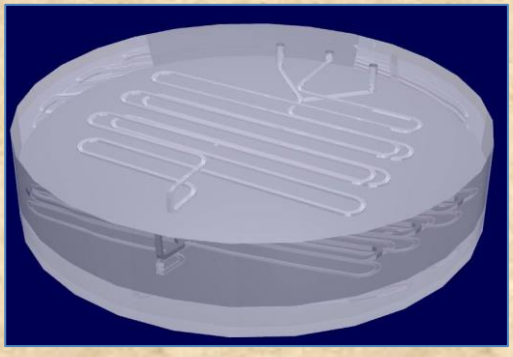
Přístěnný skluz

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.

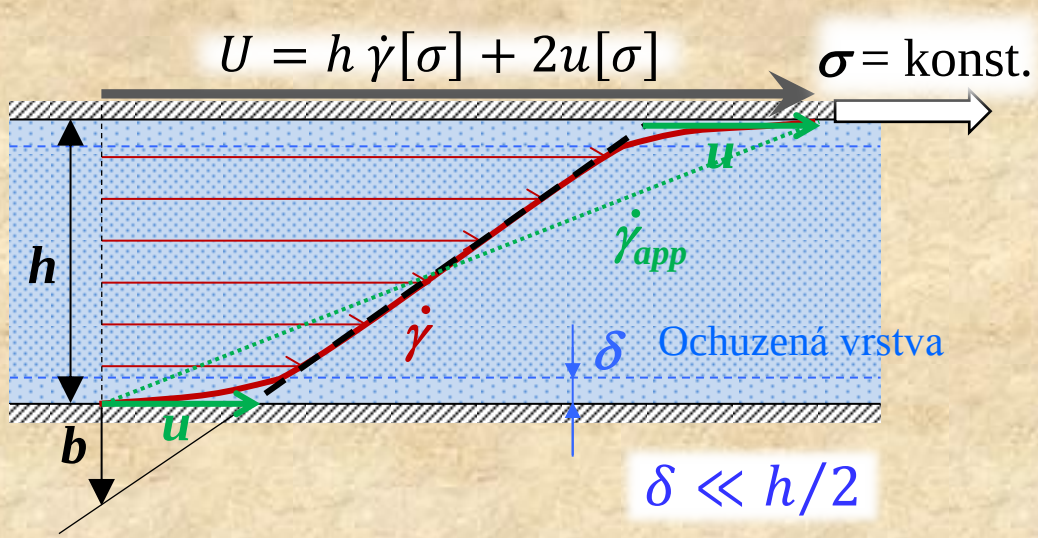


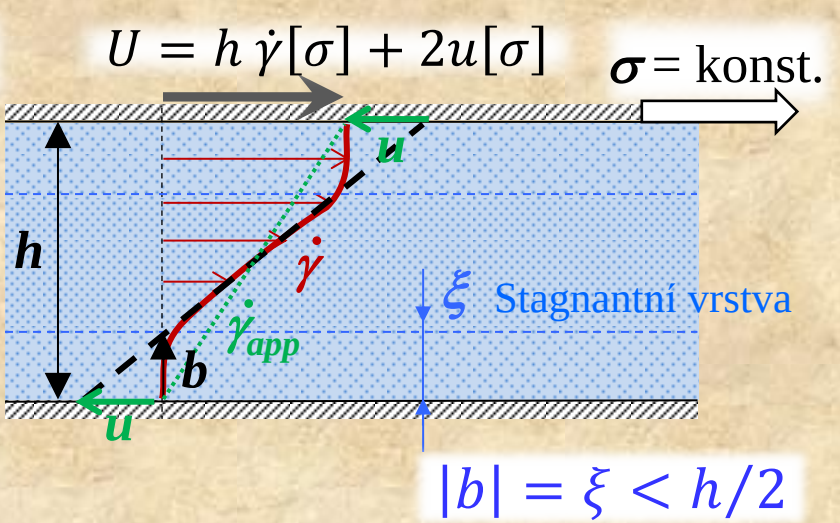
Zdánlivý přístěnný skluz (AWS)

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. <u>potlačení skluzových efektů</u>
   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. <u>kvantitativní stanovení skluzových efektů</u>
   (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.

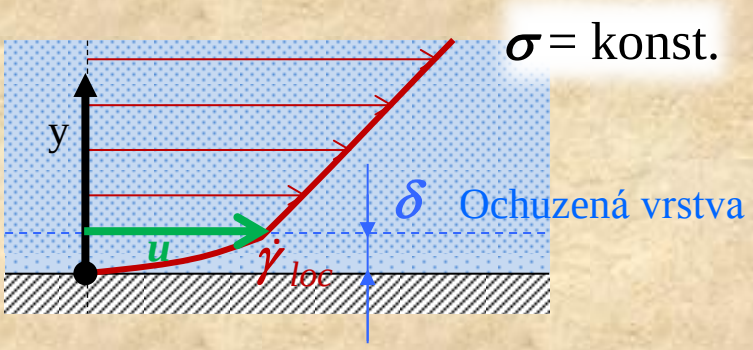
1931 - Vyhodnocení fluiditní a skluzové funkce.

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*.

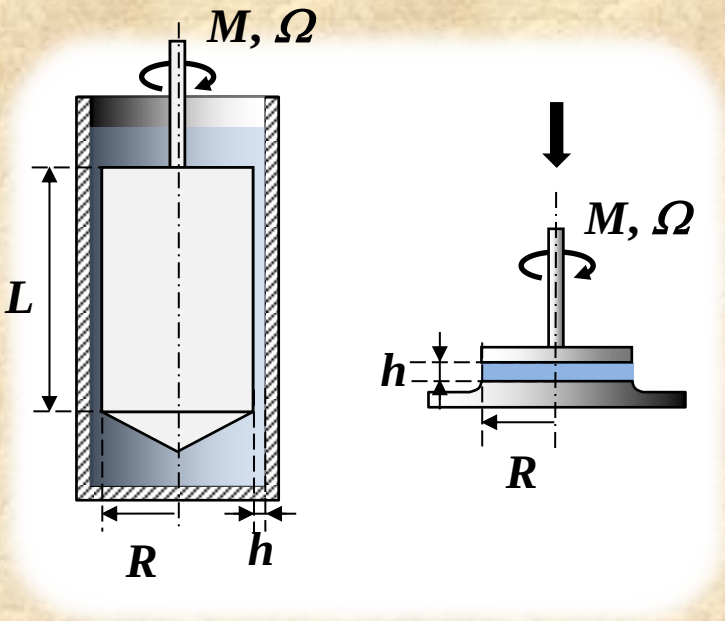
AWS viskozimetrie

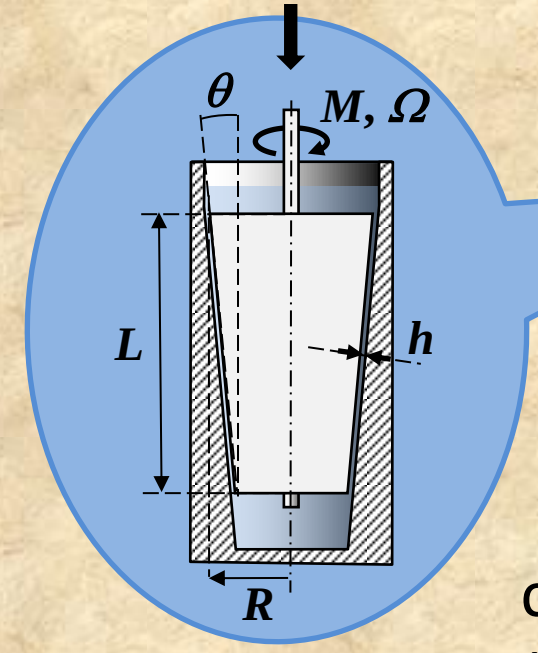
souosé válce

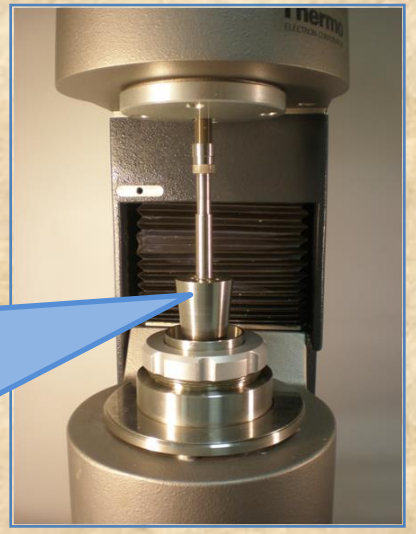
souosé desky

souosé kužely

reometr Haake RS600







$\cot \theta = 10$

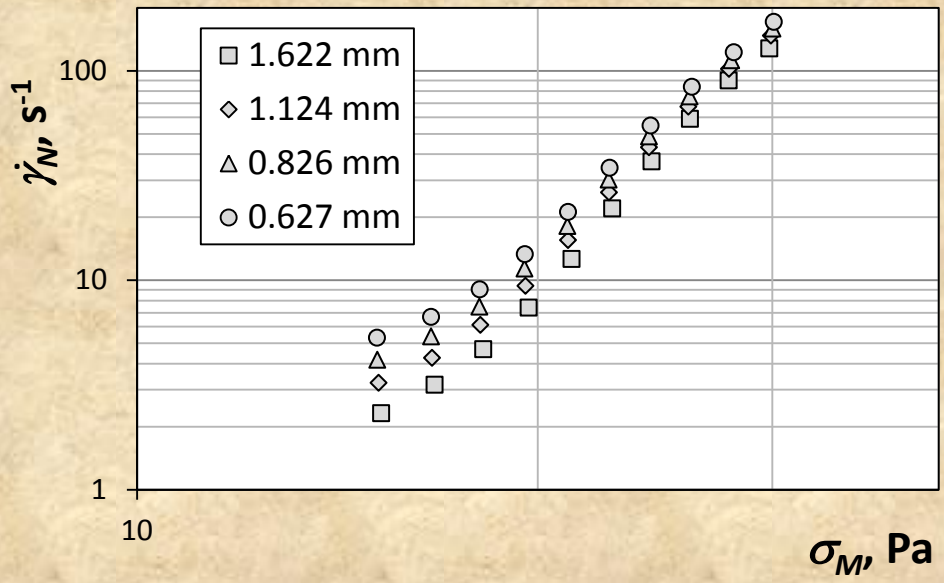
$h = h_0 + \Delta z \sin \theta$

AWS viskozimetrie

Primární data zkorigovaná na koncové efekty

počet geometrií: $i = 1 \ldots N$

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



σ_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: $i = 1 \ldots N$

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

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

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

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

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

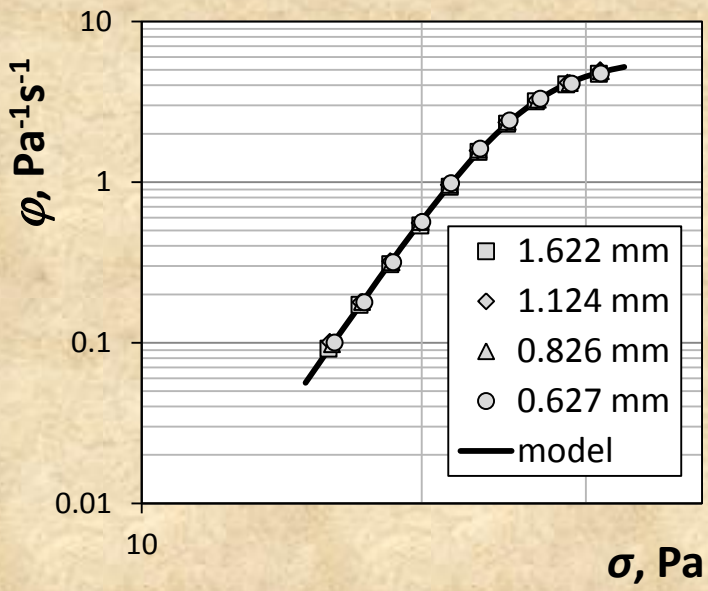
primární data

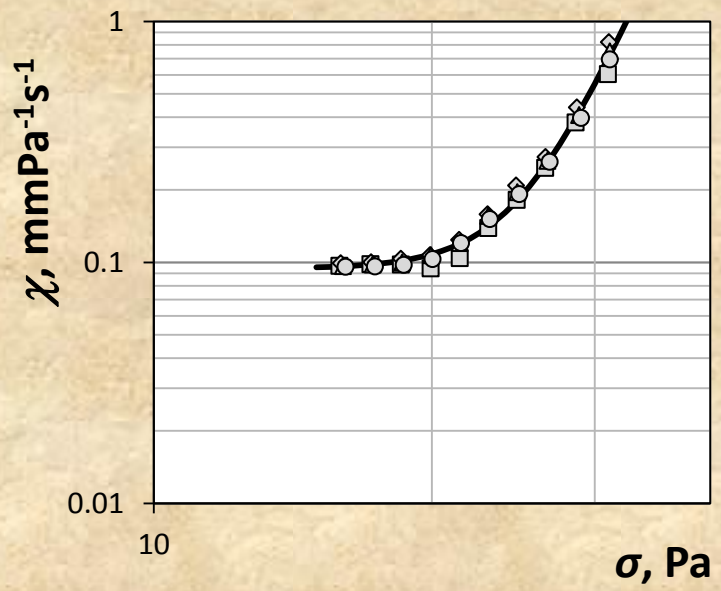
AWS viskozimetrie

Vyhodnocená fluiditní a skluzová funkce

počet geometrií: $i = 1 \ldots N$

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



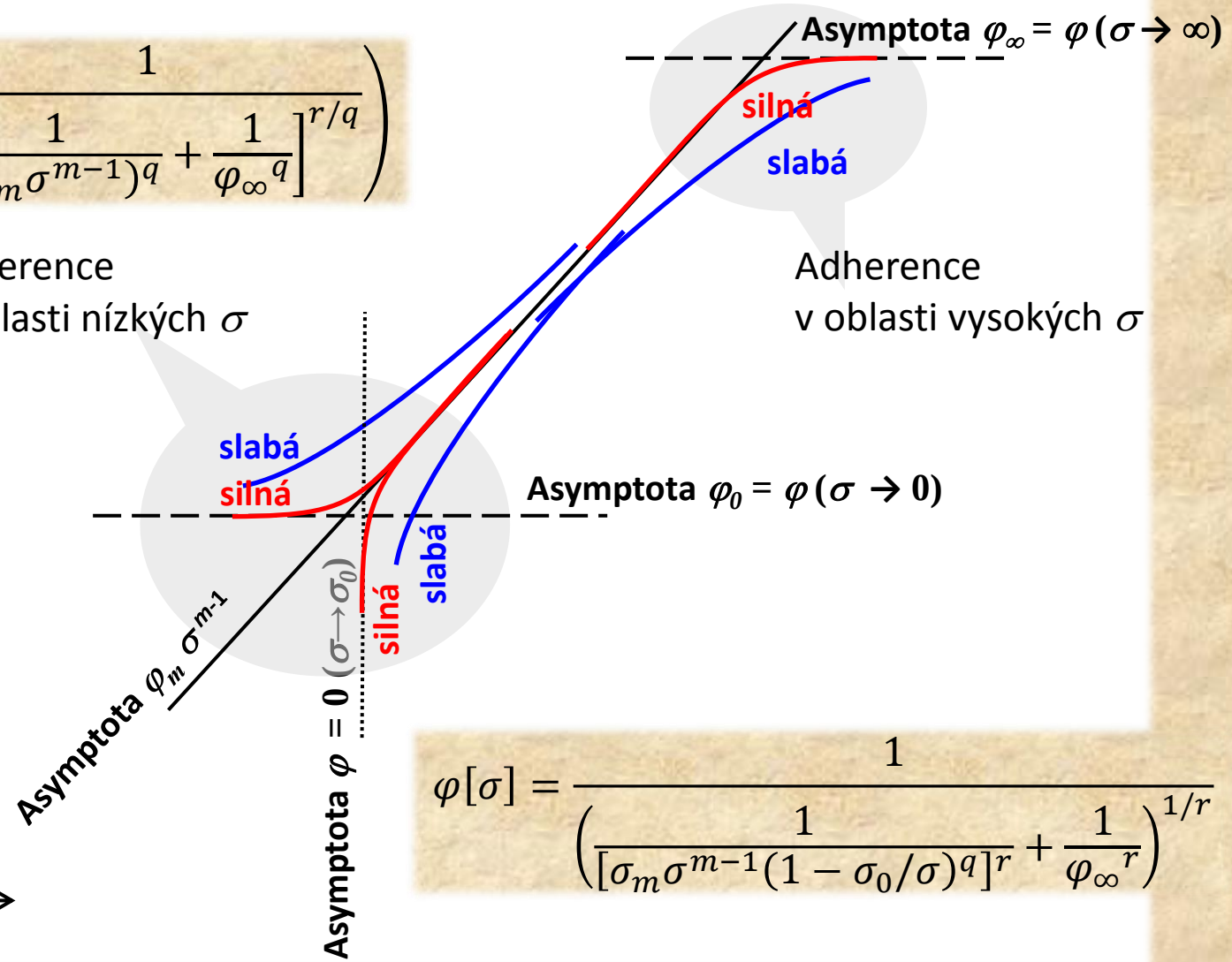


AWS viskozimetrie

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

Adherence
v oblasti nízkých σ

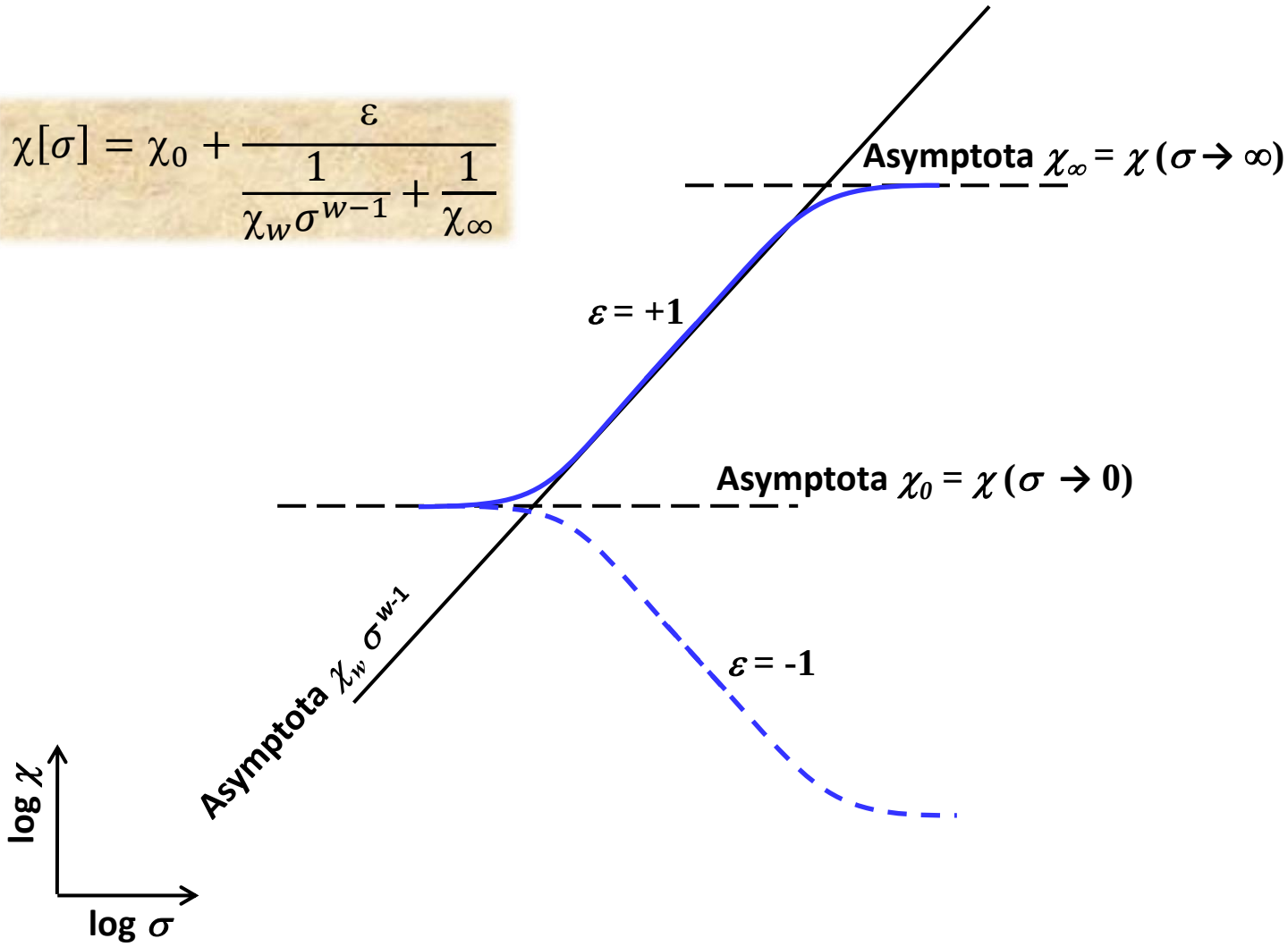
Adherence
v oblasti vysokých σ



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

AWS viskozimetrie

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



Ukázky výsledků

<u>Vodné kaolinové suspenze</u>

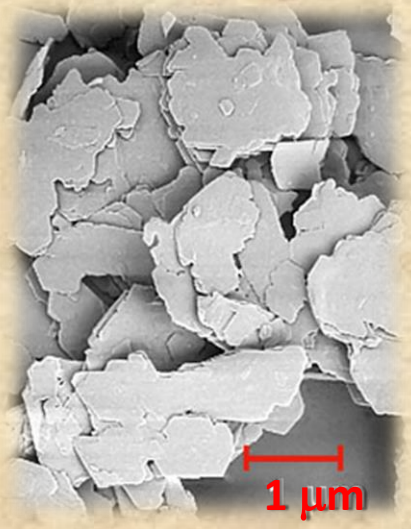
Průmysl: keramický, papírenský, barvářský

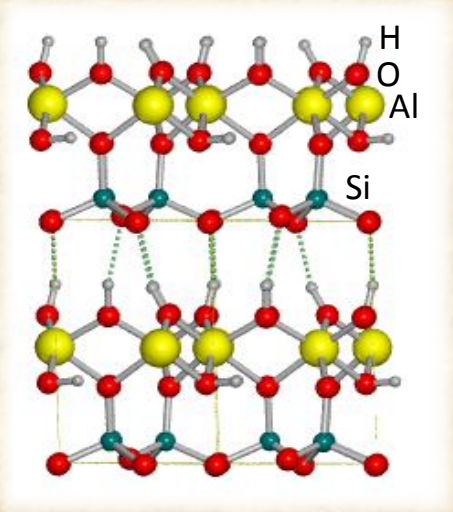
Výzkum: modelová kapalina, koloidní disperze
(tixotropie, viskoplasticita, zdánlivý přístěnný skluz)

Kaolin „Sedlec Ia“ (>90% kaolinitu: $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$)

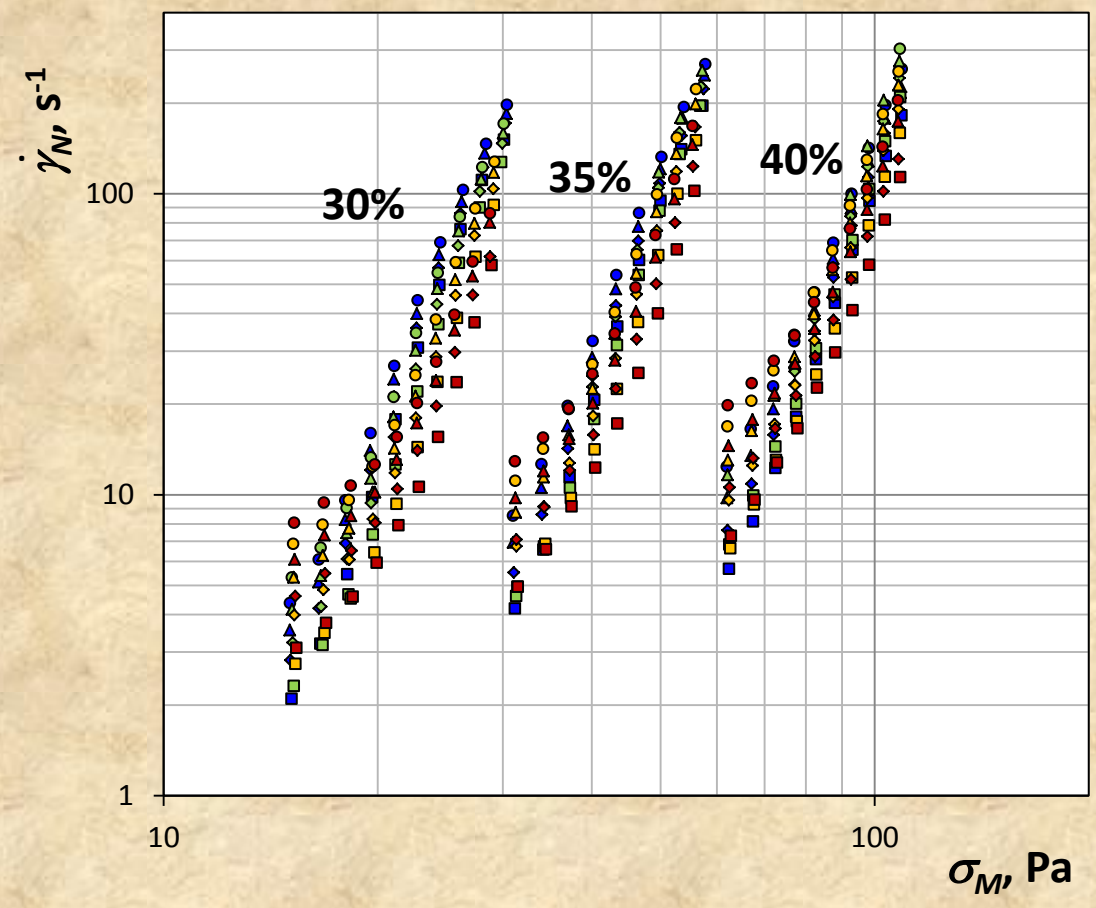
30%, 35% a 40%hm
vodné suspenze

Ztekucovadla:
Na_2CO_3, NaOH, SHMP,
NaCMC (90 000 g/mol)





Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

***h*, mm:**

1.622 □

1.124 ◊

0.826 Δ

0.627 ○

Teplota:

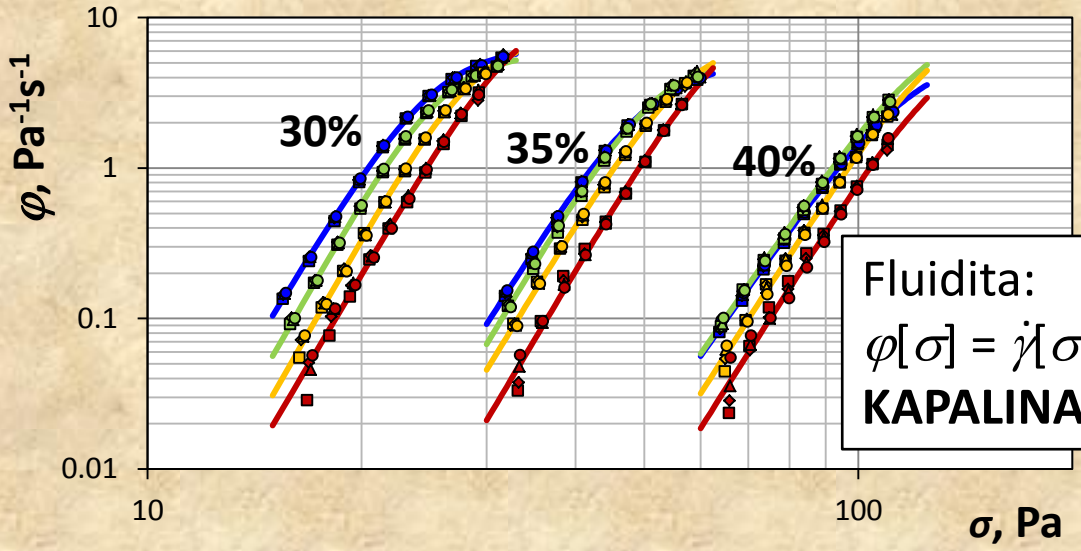
10°C

20°C

30°C

40°C

Ukázky výsledků



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

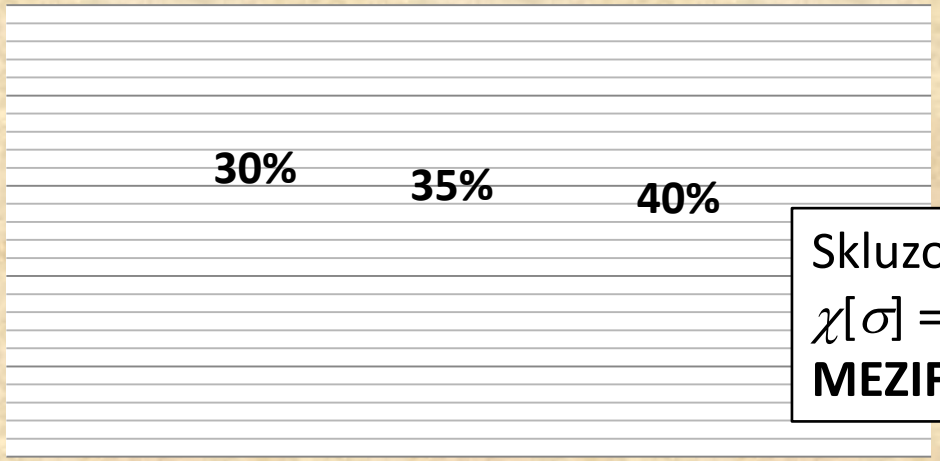
kaolinové suspenze

***h*, mm:**

1.622 □
1.124 ◊
0.826 Δ
0.627 ○

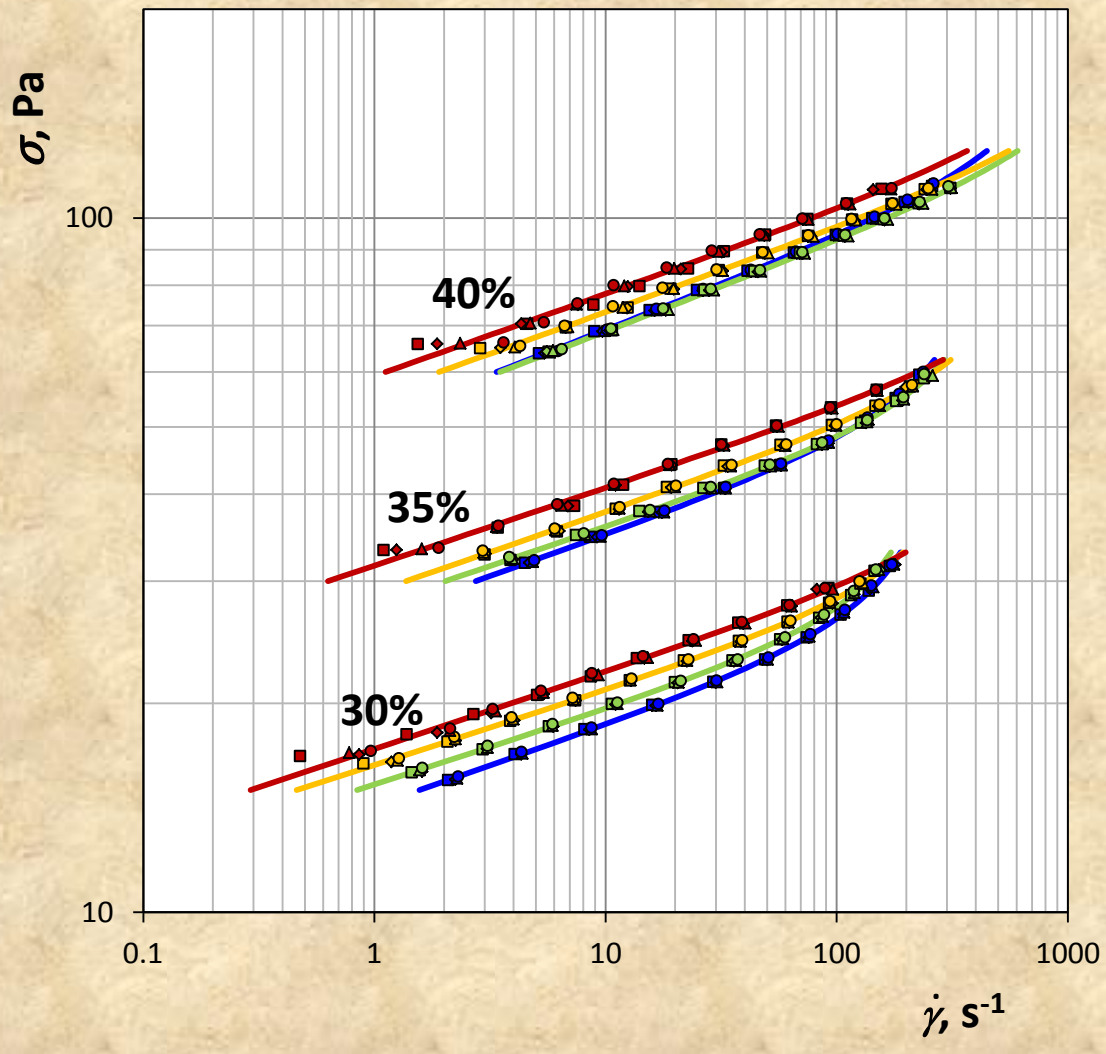
Teplota:

10°C
20°C
30°C
40°C



Skluzový koeficient:
$\chi[\sigma] = u[\sigma]/\sigma$
MEZIFÁZÍ

Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

***h*, mm:**

1.622 □

1.124 ◊

0.826 Δ

0.627 ○

Teplota:

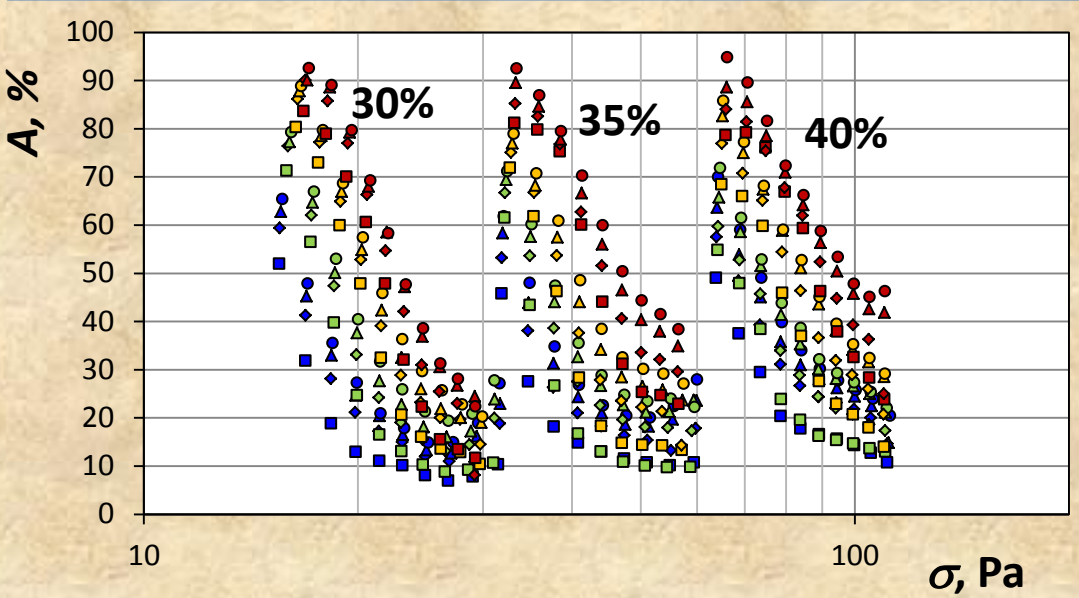
10°C

20°C

30°C

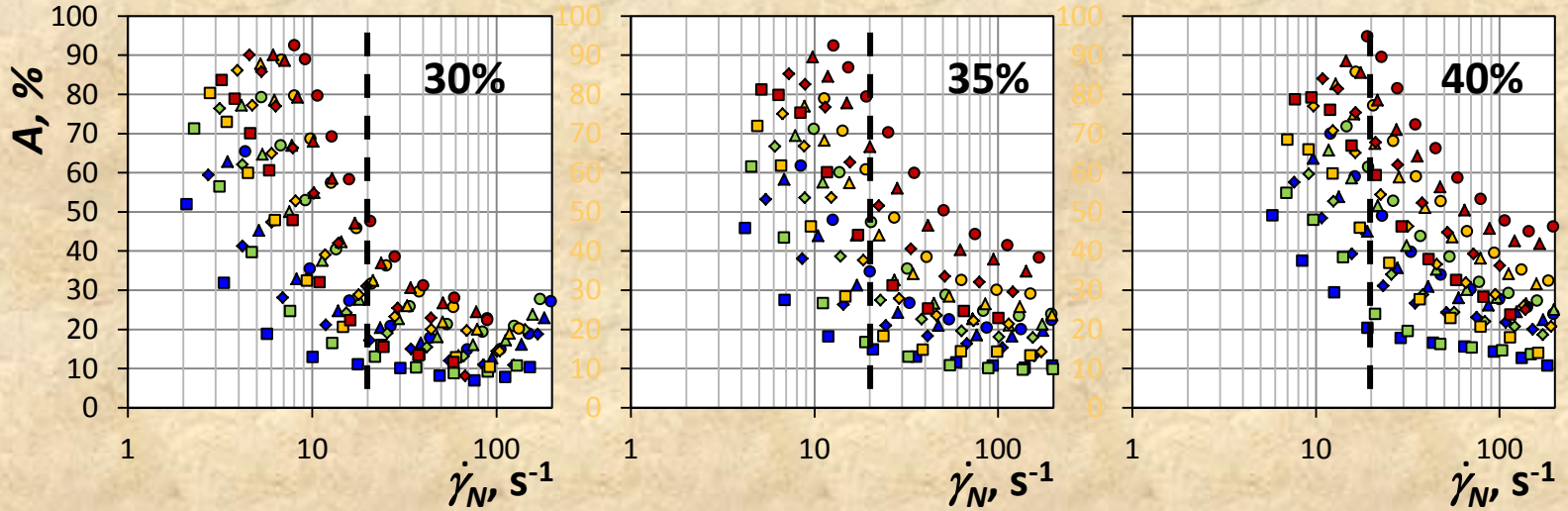
40°C

Ukázky výsledků

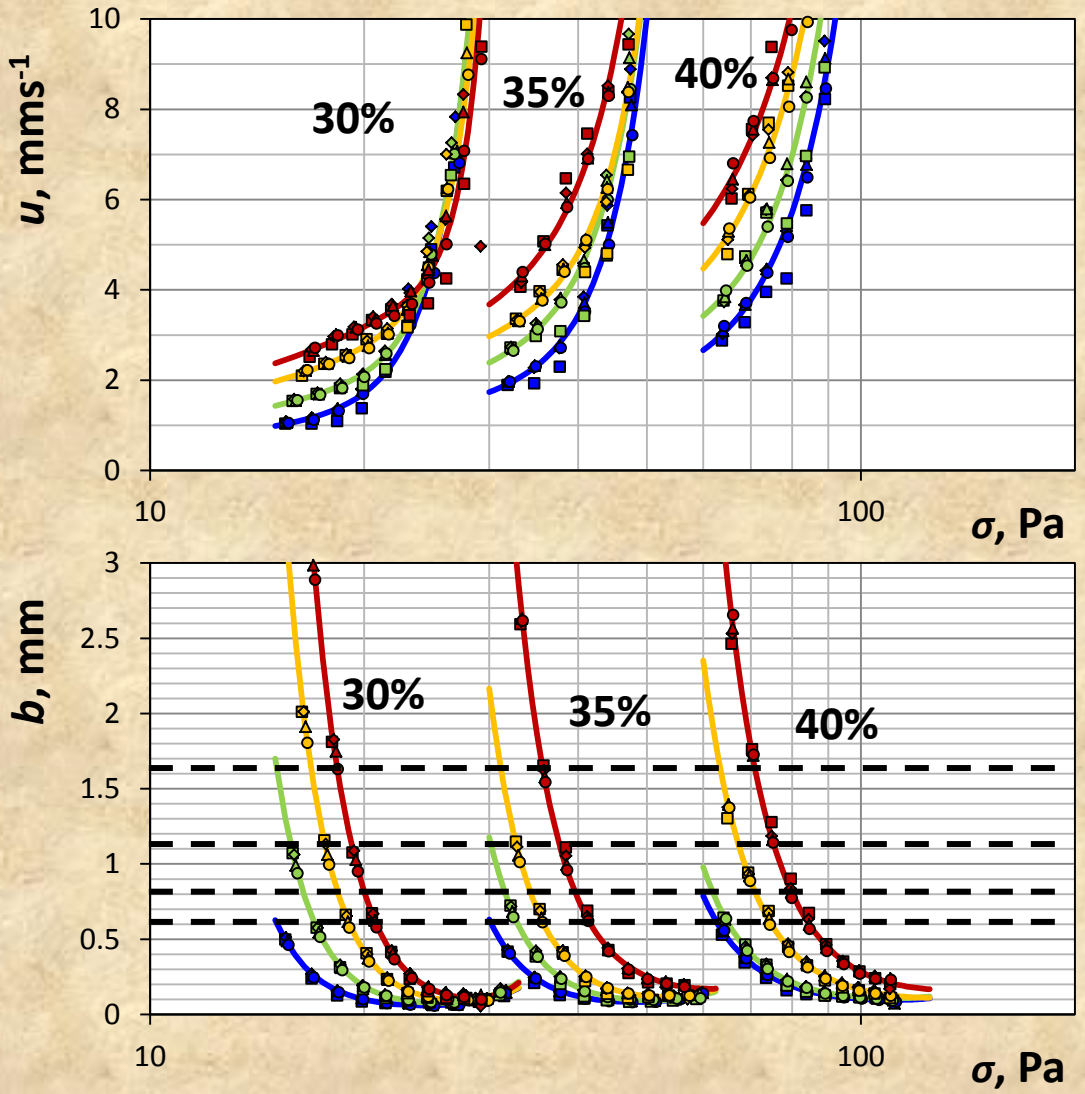


kaolinové suspenze

h, mm:		Teplota:
1.622	□	10°C
1.124	◊	20°C
0.826	Δ	30°C
0.627	○	40°C



Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

***h*, mm:**

1.622 □

1.124 ◊

0.826 Δ

0.627 ○

Teplota:

10°C

20°C

30°C

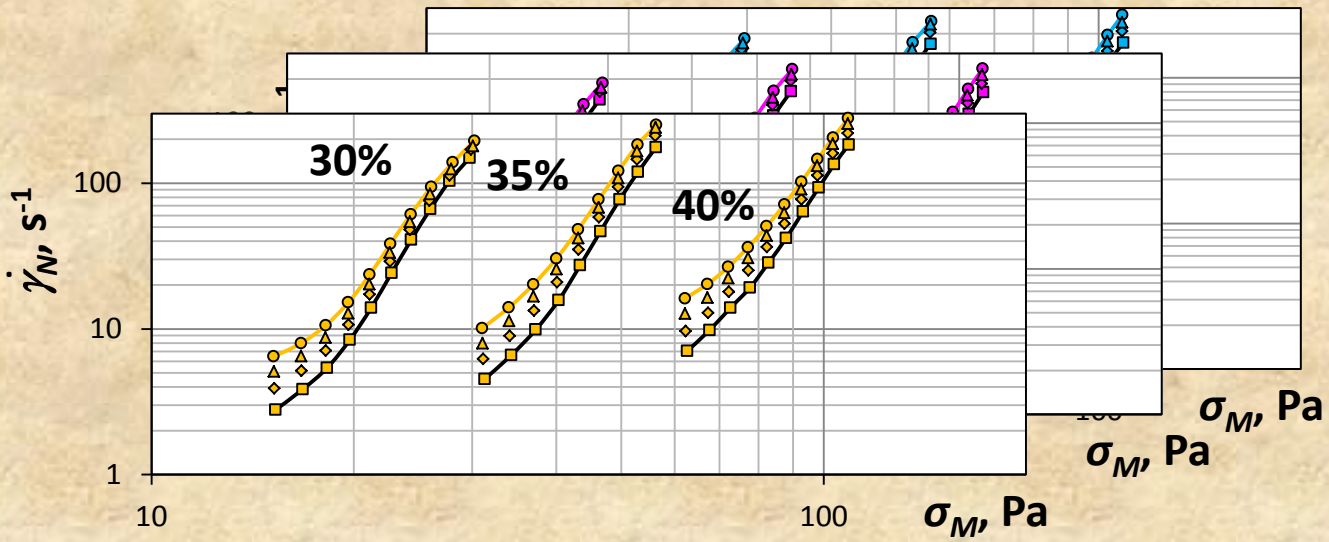
40°C

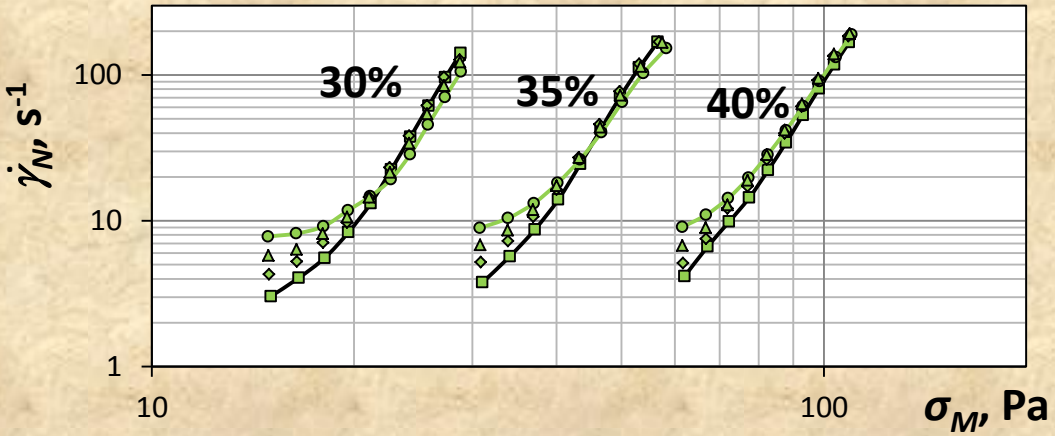
extrapolovaná skluzová délka,

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

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

Ukázky výsledků





kaolinové suspenze

25°C

Δz, mm:

15 □

10 ◊

7 Δ

5 ○

Senzor:

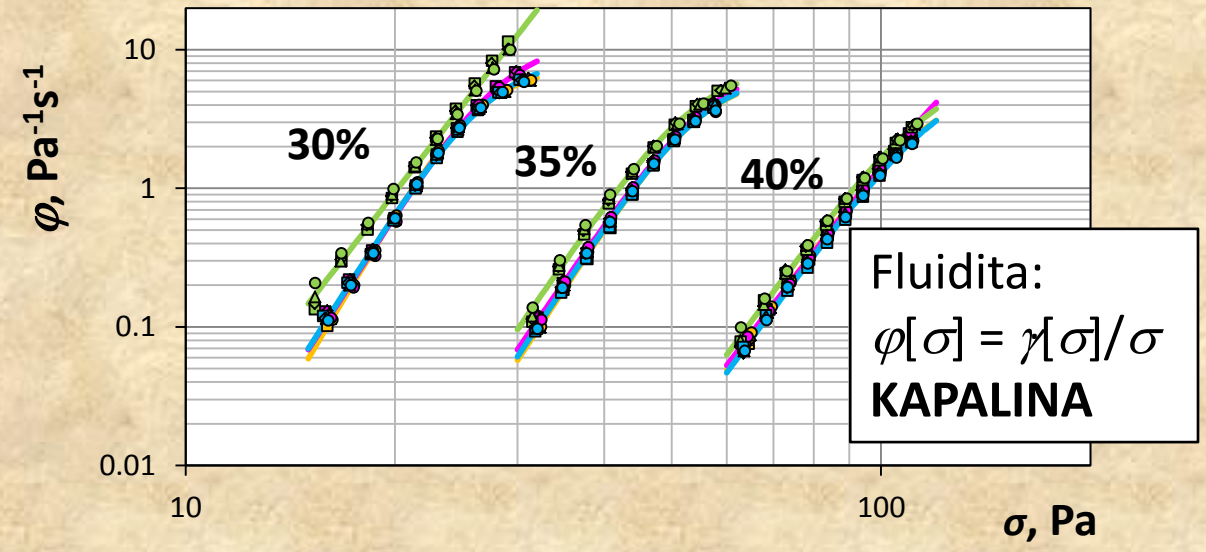
KK01 - nerez hladká

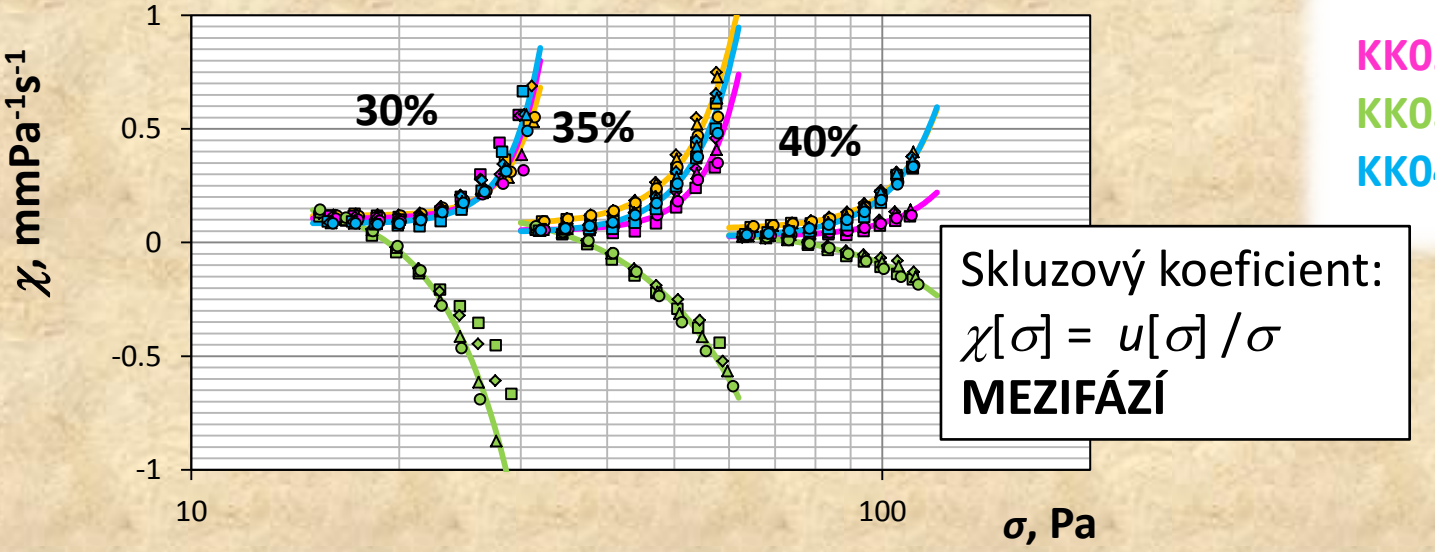
KK02 - titan

KK03 - dural

KK04 - nerez pískovaná

Ukázky výsledků





kaolinové suspenze

25°C

***Δz*, mm:**

15 □

10 ◊

7 Δ

5 ○

Senzor:

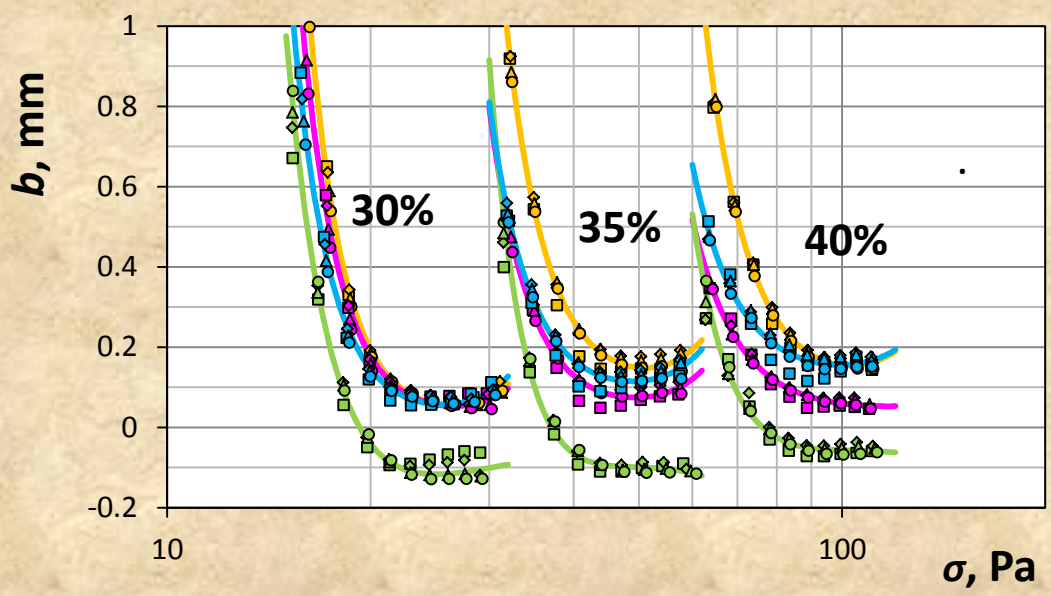
KK01 - nerez hladká

KK02 - titan

KK03 - dural

KK04 - nerez pískovaná

Ukázky výsledků



kaolinové suspenze

25°C

Δz, mm:

15 □

10 ◊

7 Δ

5 ○

Senzor:

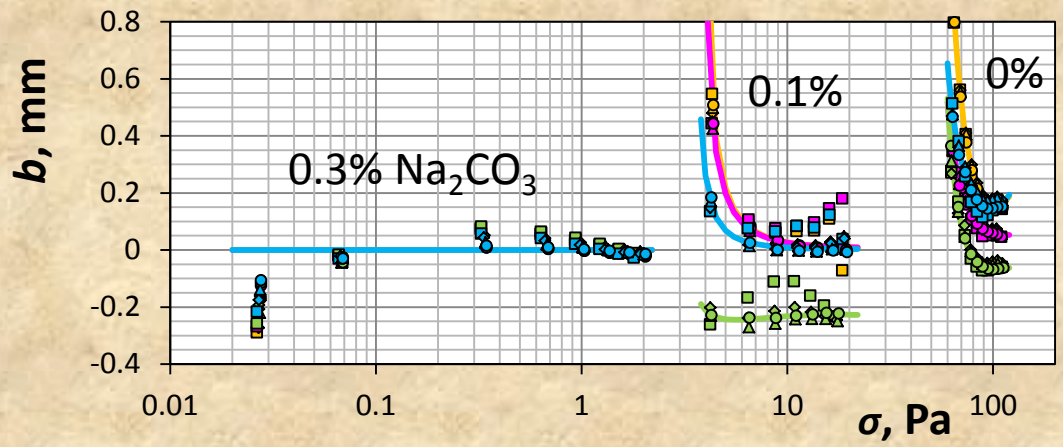
KK01 - nerez hladká

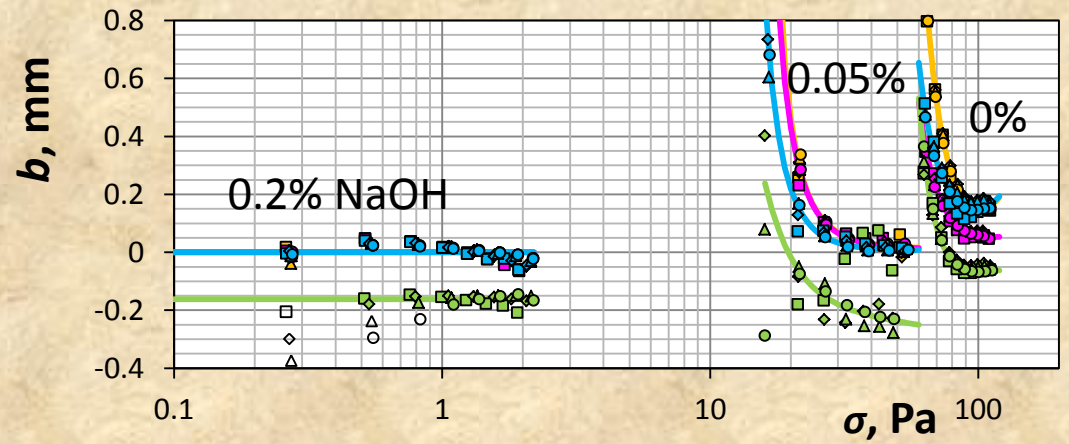
KK02 - titan

KK03 - dural

KK04 - nerez pískovaná

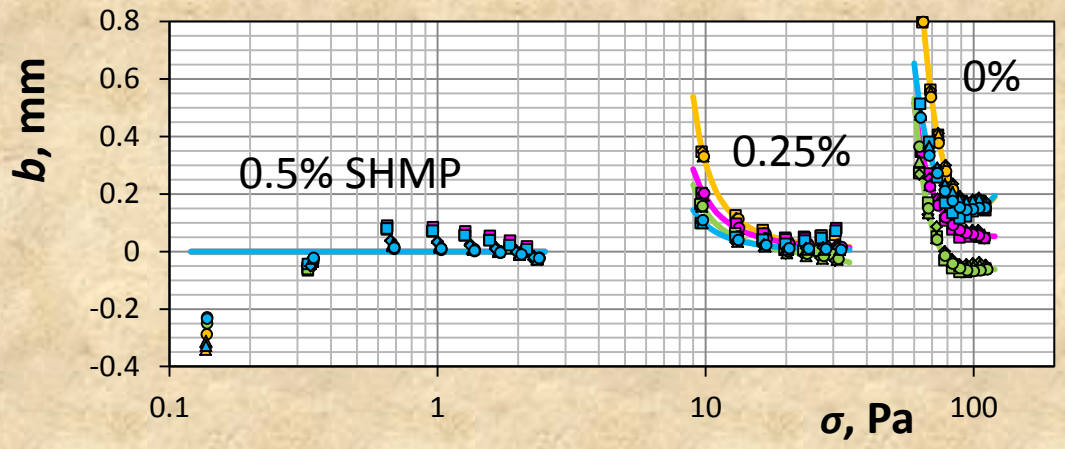
Ukázky výsledků

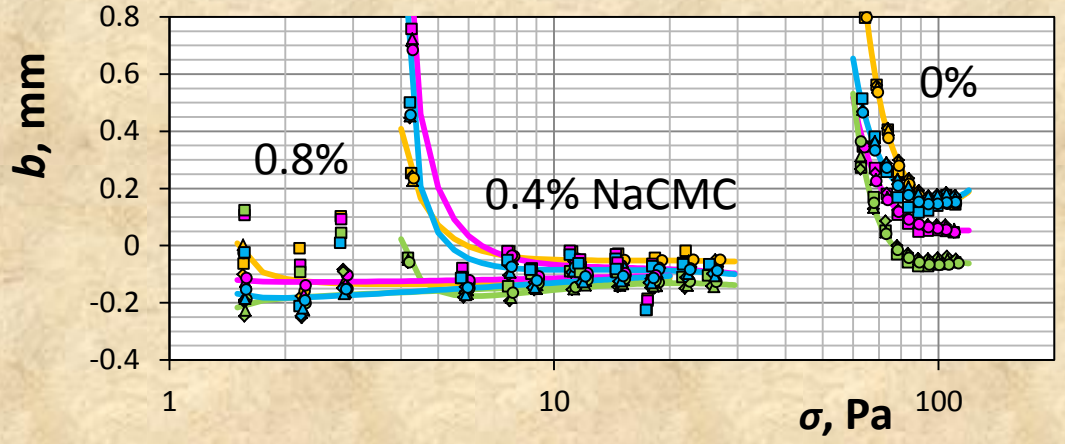




kaolinové
40% suspenze
25°C
***Δz*, mm:**
15 □
10 ◊
7 Δ
5 ○
Senzor:
KK01 - nerez hladká
KK02 - titan
KK03 - dural
KK04 - nerez pískovaná

Ukázky výsledků





kaolinové
40% suspenze
25°C
Δz, 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 štěrbiny.
- ✓ Přístěnné efekty mohou být charakterizovány, jak kladnou, tak zápornou skluzovou rychlostí.

Děkuji Vám za pozornost.

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