

# SEMINÁŘ REOLOGIE

pragollab

## REOLOGIE

- 1928 – E. C. Bingham a M. Reiner
- 1929 – založení American Society of Rheology
- **rheology** – study of the **deformation** and **flow** of matter
- Herakleitos – 'Panta Rhei' 'vše plyne'

## REOLOGIE

- reologie kapalin a pevných látek
- elementární reologie, reometrie, inženýrská reologie, chemoreologie, bioreologie, psychoreologie...

## REOLOGIE

- nauka o deformaci a toku materiálu
- studuje souvislosti mezi různými druhy deformace hmoty a zkoumá příčiny a projevy deformací
- vztahy mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí
- hranici mezi kapalinou a pevnou látkou nepokládá za ostrou
- reologické modely

# VISKOZITA - DEFINICE

## VISKOZITA

### VISKOZITU NELZE MĚŘIT

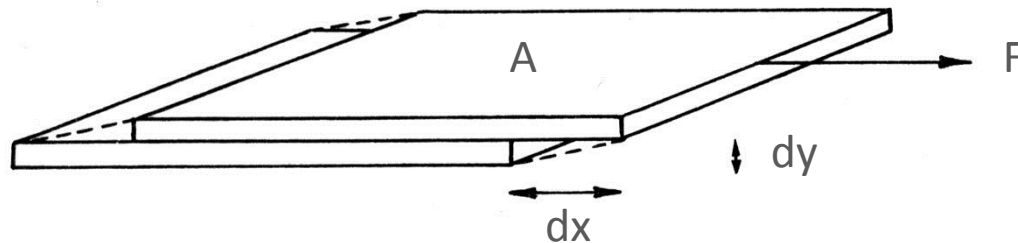
- viskozita (dynamická)  $\eta$
  - smykové napětí  $\tau$
  - deformace  $\gamma$
  - smyková rychlost  $\dot{\gamma}$
- 
- pozn.  $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}$

## VISKOZITA

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Isaac Newton

- $\tau = F / A = \text{síla} / \text{plocha}$  [Pa]
- $\gamma = dx / dy$
- $\dot{\gamma} = dv / dy = d\gamma / dt$  [s<sup>-1</sup>]



# DEFINICE VISKOZITY

## VISKOZITA

torze Md – faktor A

viskozita  $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$

smykové napětí

smyková rychlost

RPM – faktor M

- **absolutní** měření – faktory A a M lze spočítat pro senzor
- **relativní** měření – faktory A a M **nelze** spočítat pro senzor



# VISKOZITA TEKUTIN

LÁTKA	VISKOZITA mPas (20 °C)
voda	1
mléko	5 – 10
olivový olej	100
motorový olej	1000
med	10 000 = $10^4$
bitumen	100 000 000 = $10^8$

## VISKOZITA

- míra vnitřního odporu vůči toku
- jednotka Pa.s
- dynamická VS kinematická

### dynamická viskozita

- $1 \text{ mPas} = 1 \text{ cP}$  (centi Poise)

### kinematická viskozita

- $1 \text{ mm}^2\text{s}^{-1} = 1 \text{ cSt}$  (centi Stokes)

# SMYKOVÁ RYCHLOST

APLIKACE	SMYKOVÁ RYCHLOST $s^{-1}$
sedimentace	$10^{-6} - 10^{-4}$
fázová separace	$10^{-6} - 10^{-4}$
tok, vyrovnávání	$10^{-1} - 10^1$
extruze	$10^0 - 10^2$
natírání	$10^1 - 10^2$
žvýkání	$10^1 - 10^2$
míchání	$10^1 - 10^3$
sprejování	$10^3 - 10^4$

- viskozita není konstantní

## ZÁVISLOST VISKOZITY

- fyzikálně-chemická struktura
  - historie
  - teplota
  - tlak
  - smyková rychlost
  - čas
  - jiné (magnetické nebo elektrické pole)
- 
- $\eta = 1,4 \text{ Pas}$  (20 °C, 100 s<sup>-1</sup>, atm. tlak, definice vzorku)

- viskozita není konstantní

## NEWTONSKÉ KAPALINY

- nezávisí na smykové rychlosti
- NEWTONŮV ZÁKON

## NE-NEWTONSKÉ KAPALINY

- závisí na smykové rychlosti

## ZÁVISLOST VISKOZITY NA HISTORII VZORKU

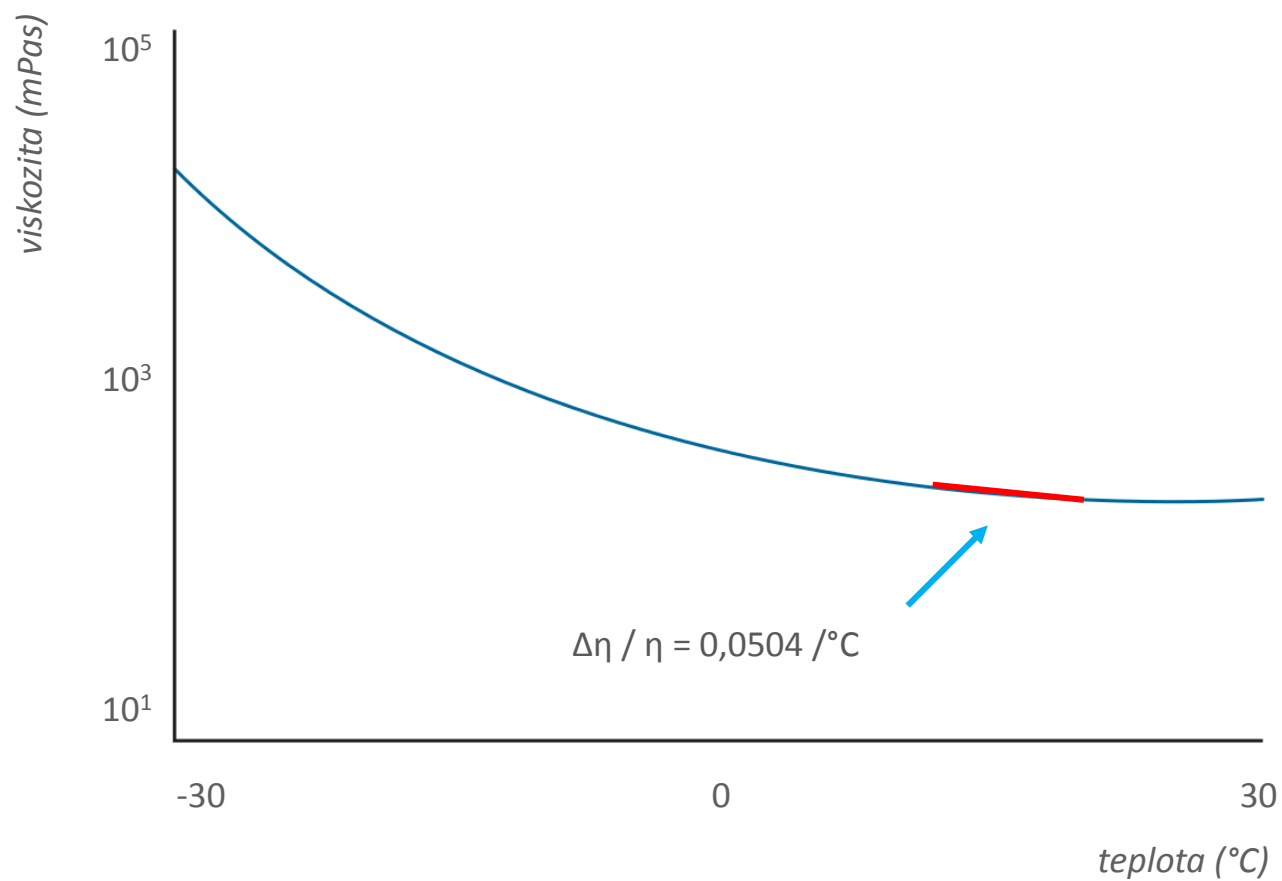
### míchání

- v nádobě před testem
- během transportu
- během aplikace vzorku

### deformace

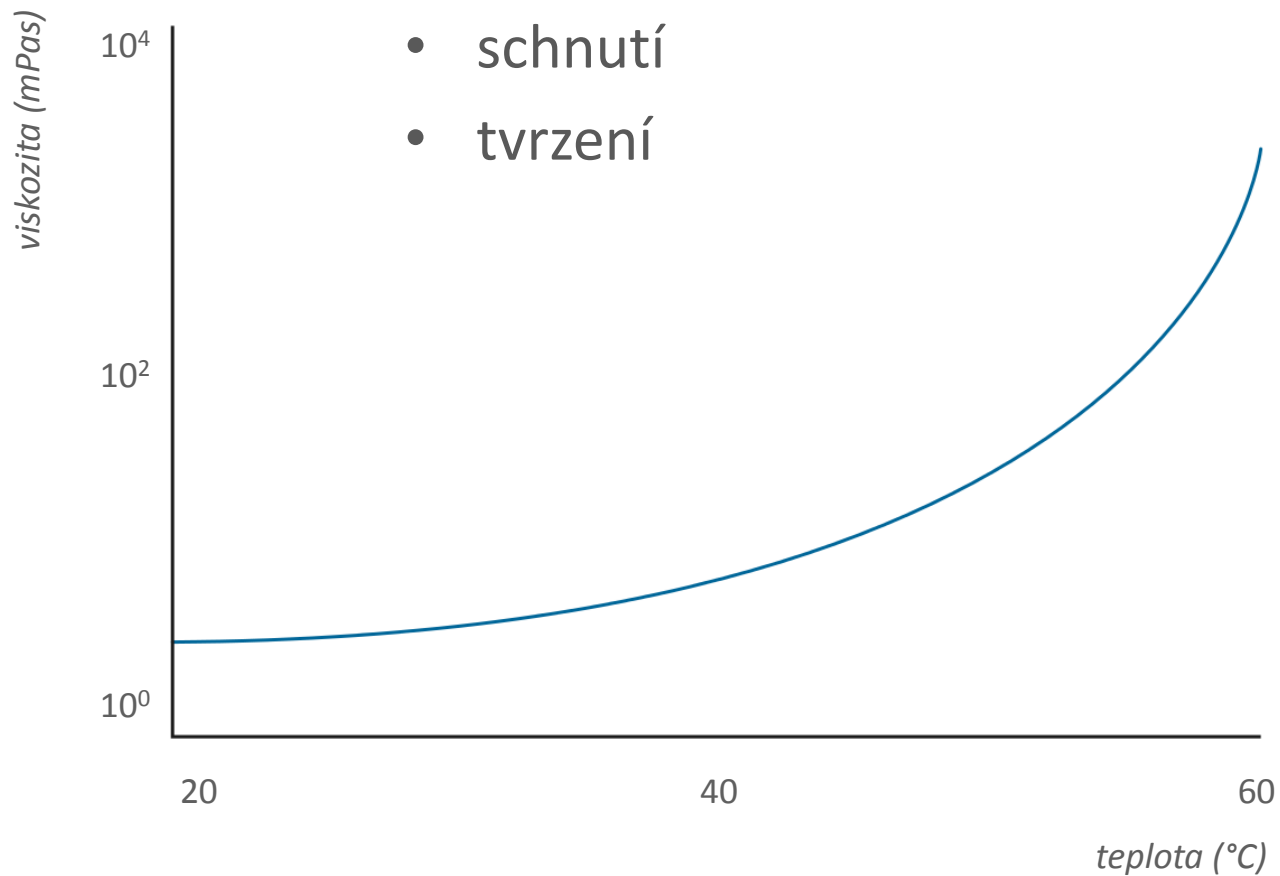
- během aplikace vzorku
- nastavením měřící geometrie

## ZÁVISLOST VISKOZITY NA TEPLOTĚ – MINERÁLNÍ OLEJ



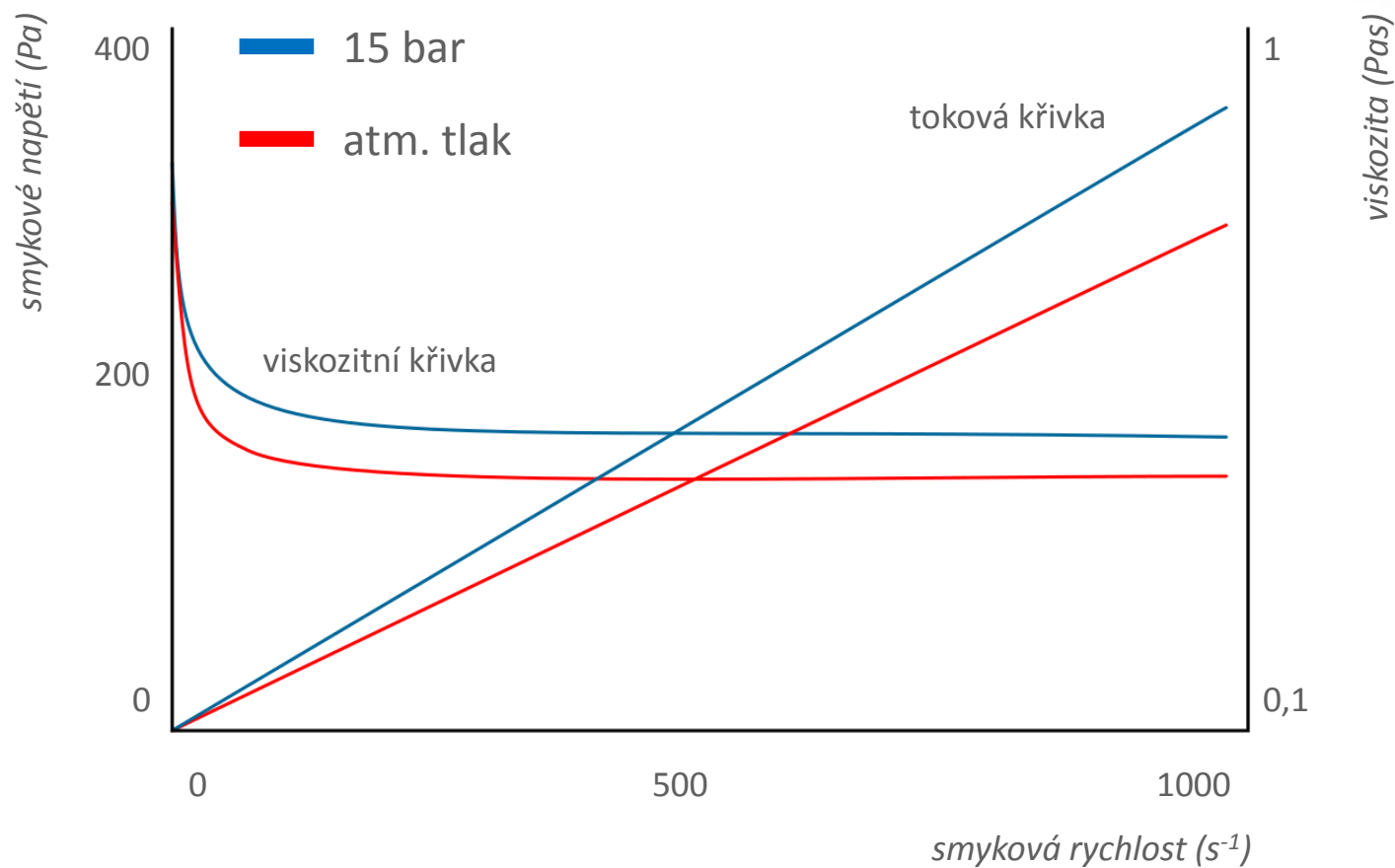
## ZÁVISLOST VISKOZITY NA TEPLOTĚ (VÝJIMKA)

- vliv materiálu
- schnutí
- tvrzení

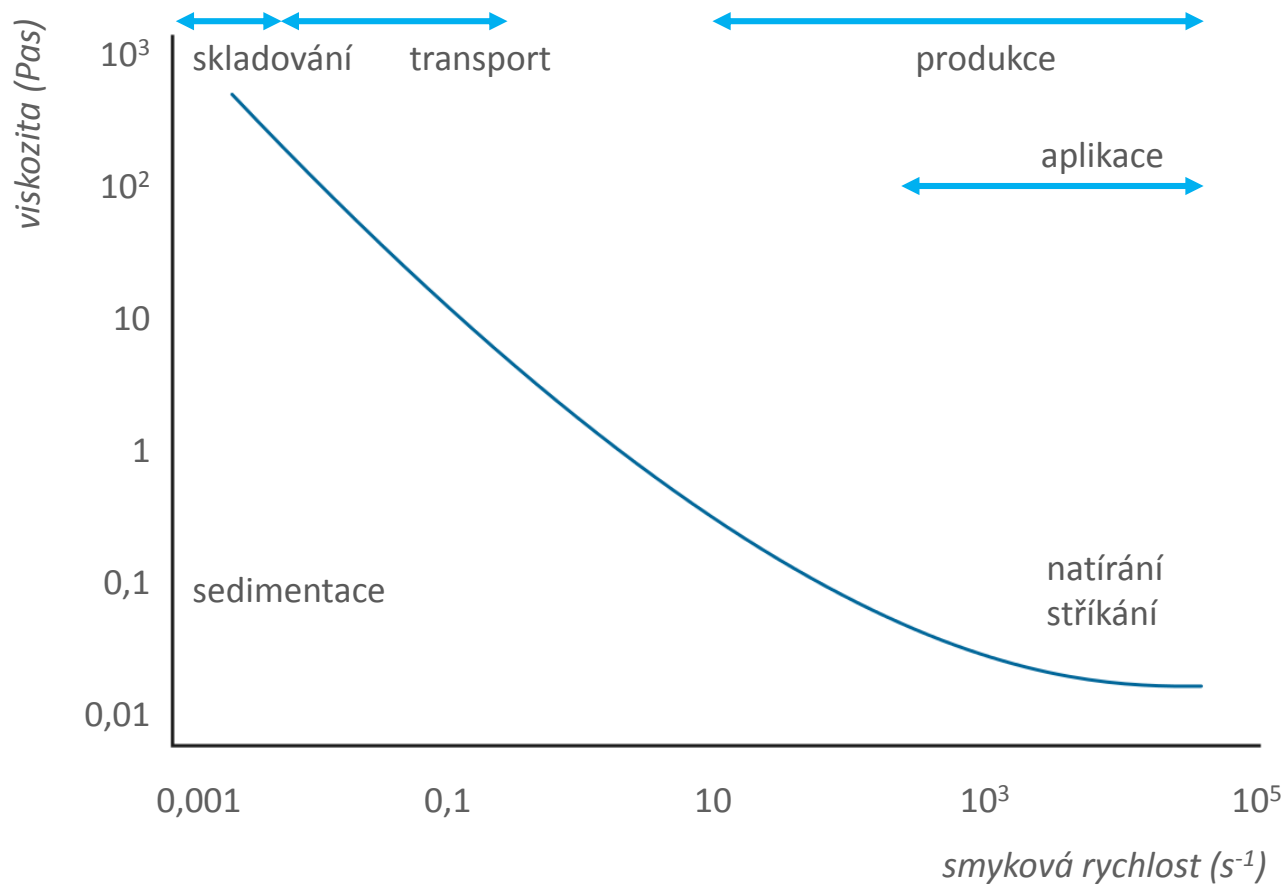




## ZÁVISLOST VISKOZITY NA TLAKU – ROPA



## ZÁVISLOST VISKOZITY NA SMYKOVÉ RYCHLOSTI

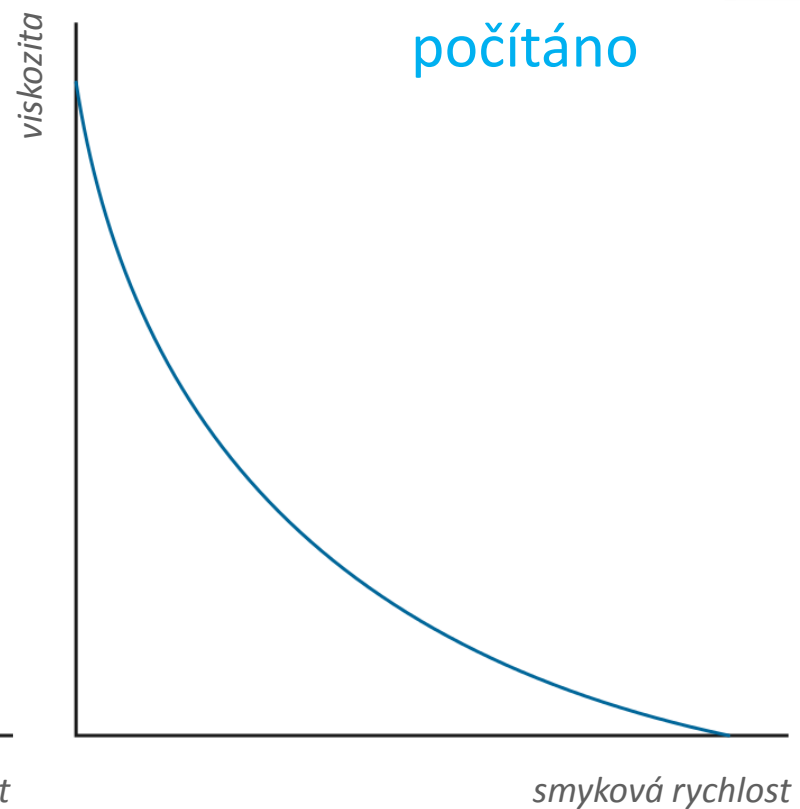
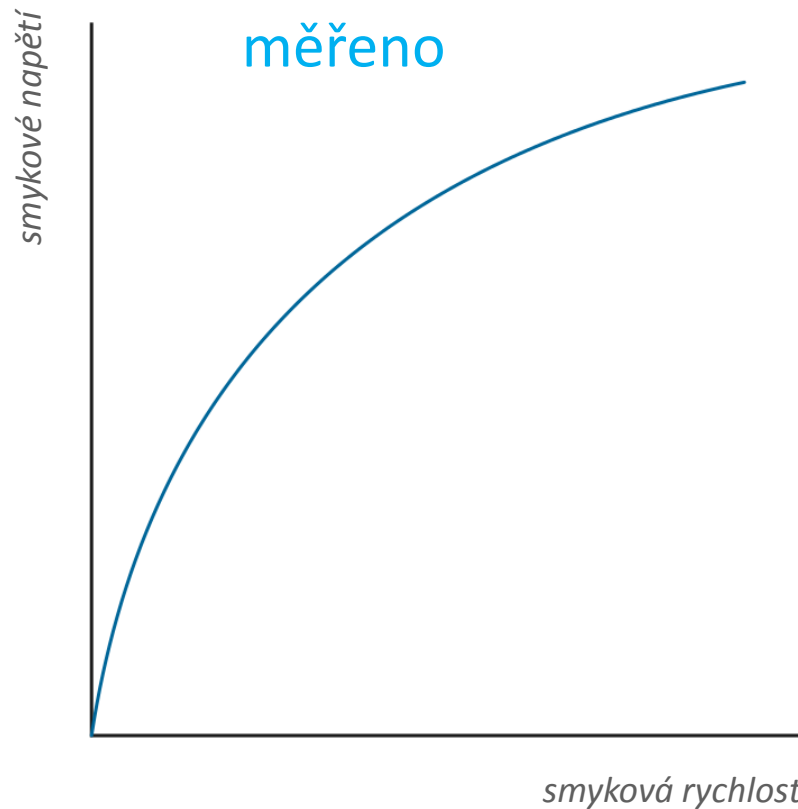


## TOKOVÁ KŘIVKA vs VISKOZITNÍ KŘIVKA

toková křivka  $\tau = f(\dot{\gamma})$

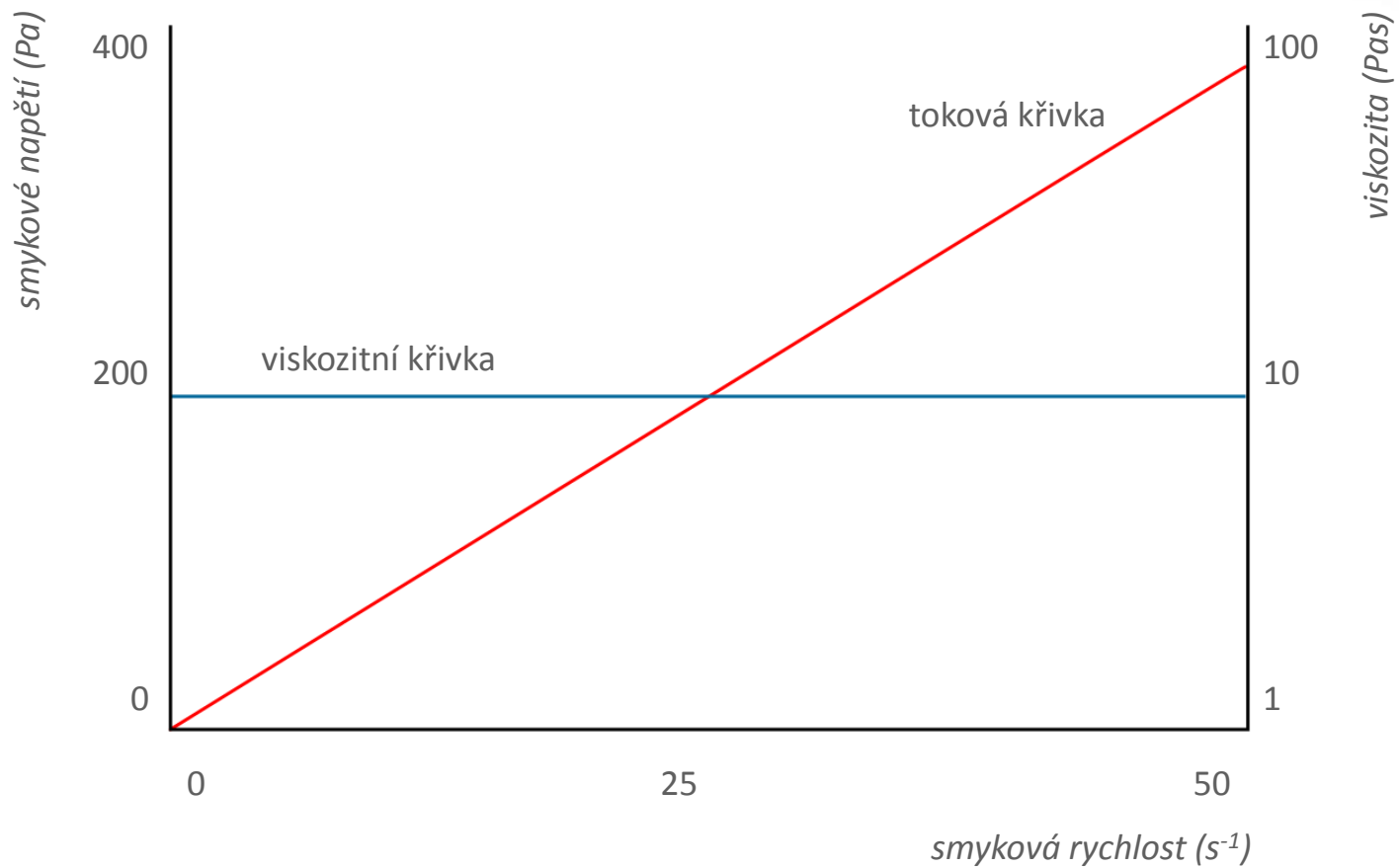
VS

viskozitní křivka  $\eta = f(\dot{\gamma})$



# NEWTONSKÉ CHOVÁNÍ

## PŘÍKLAD: OLEJ



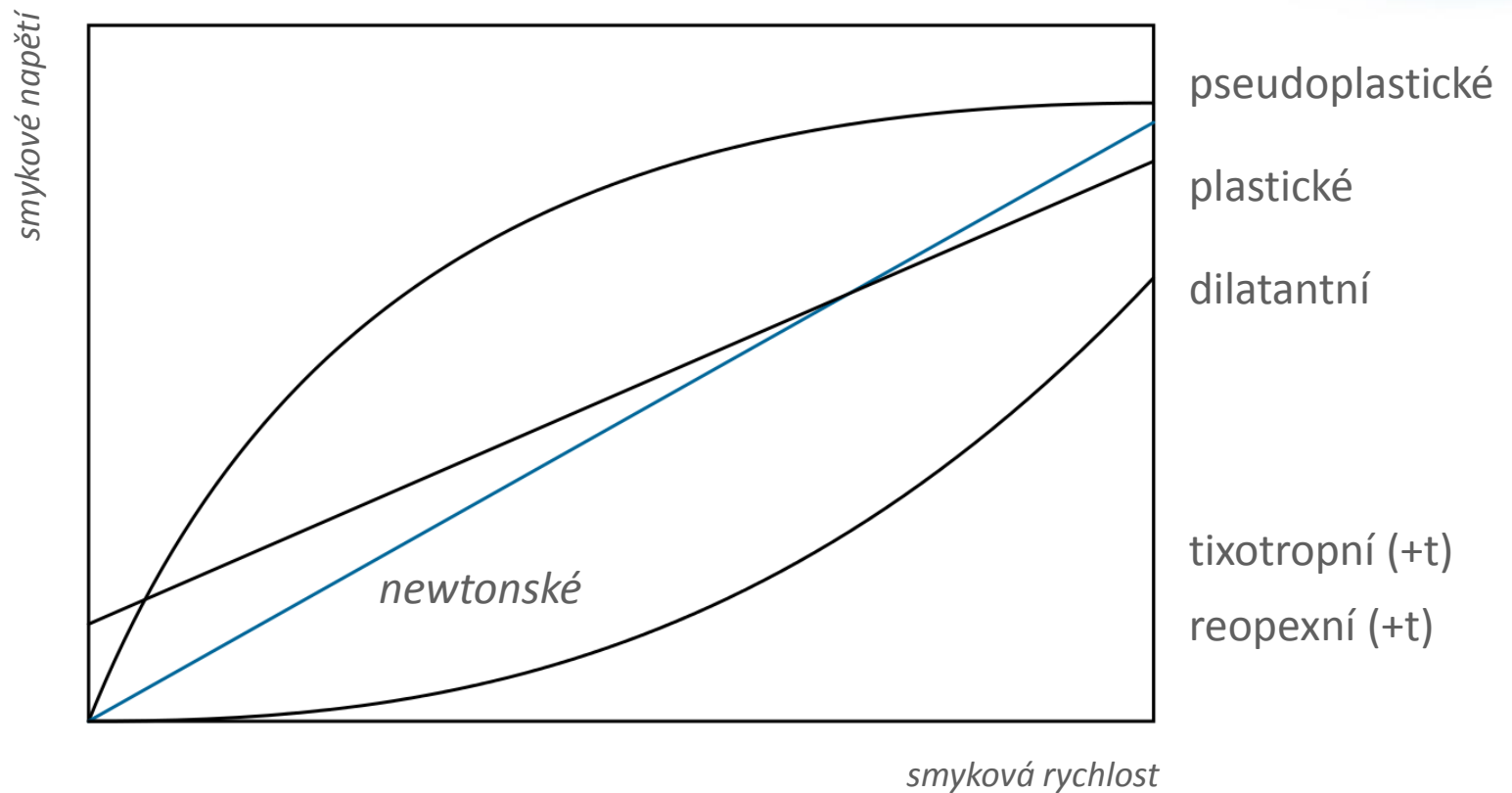
# NENEWTONSKÉ CHOVÁNÍ

## NENEWTONSKÉ CHOVÁNÍ

- pseudoplastické (shear thinning)
- dilatantní (shear thickening)
- tixotropní
- reopexní

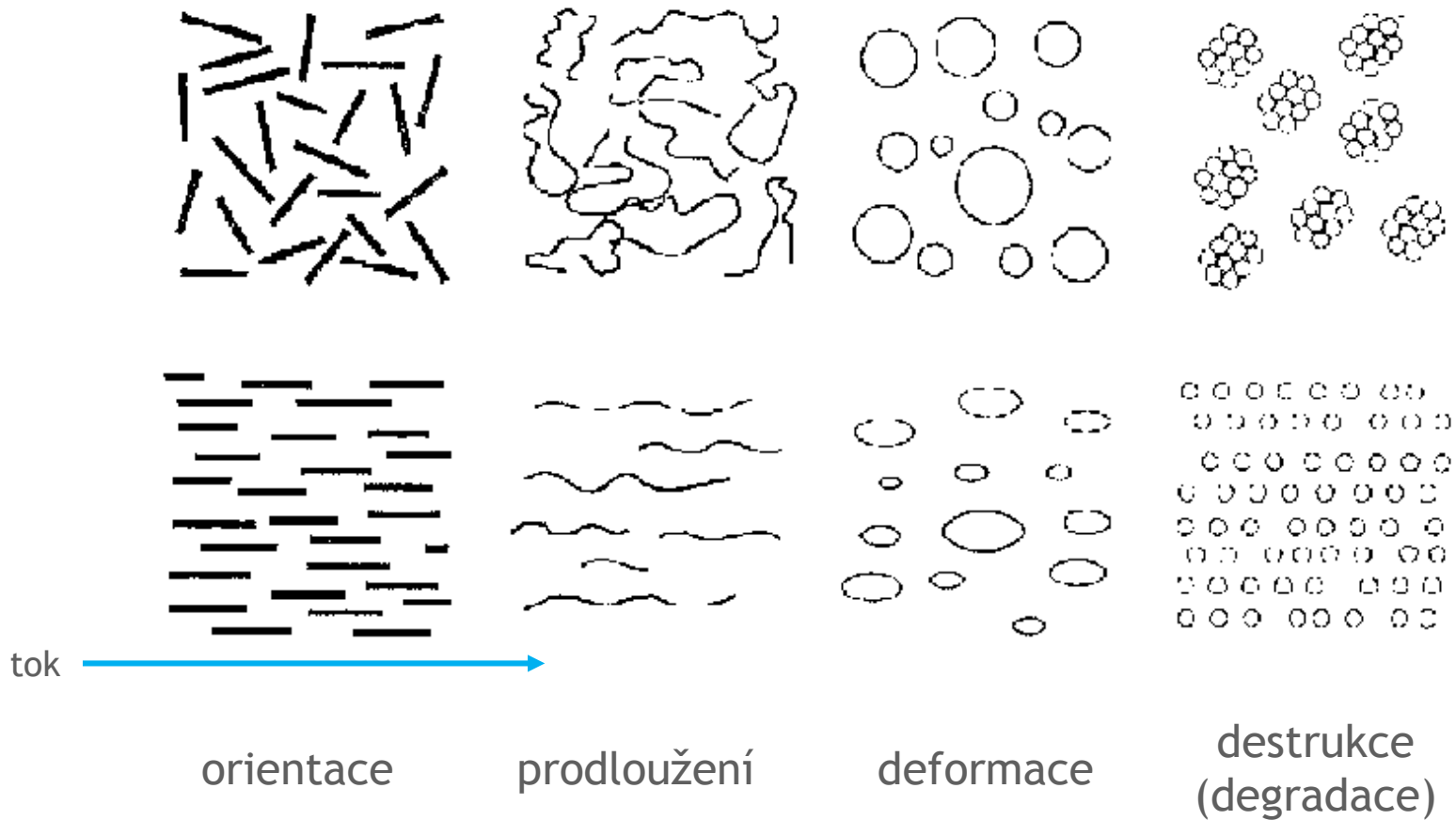
# NENEWTONSKÉ CHOVÁNÍ

## NENEWTONSKÉ CHOVÁNÍ



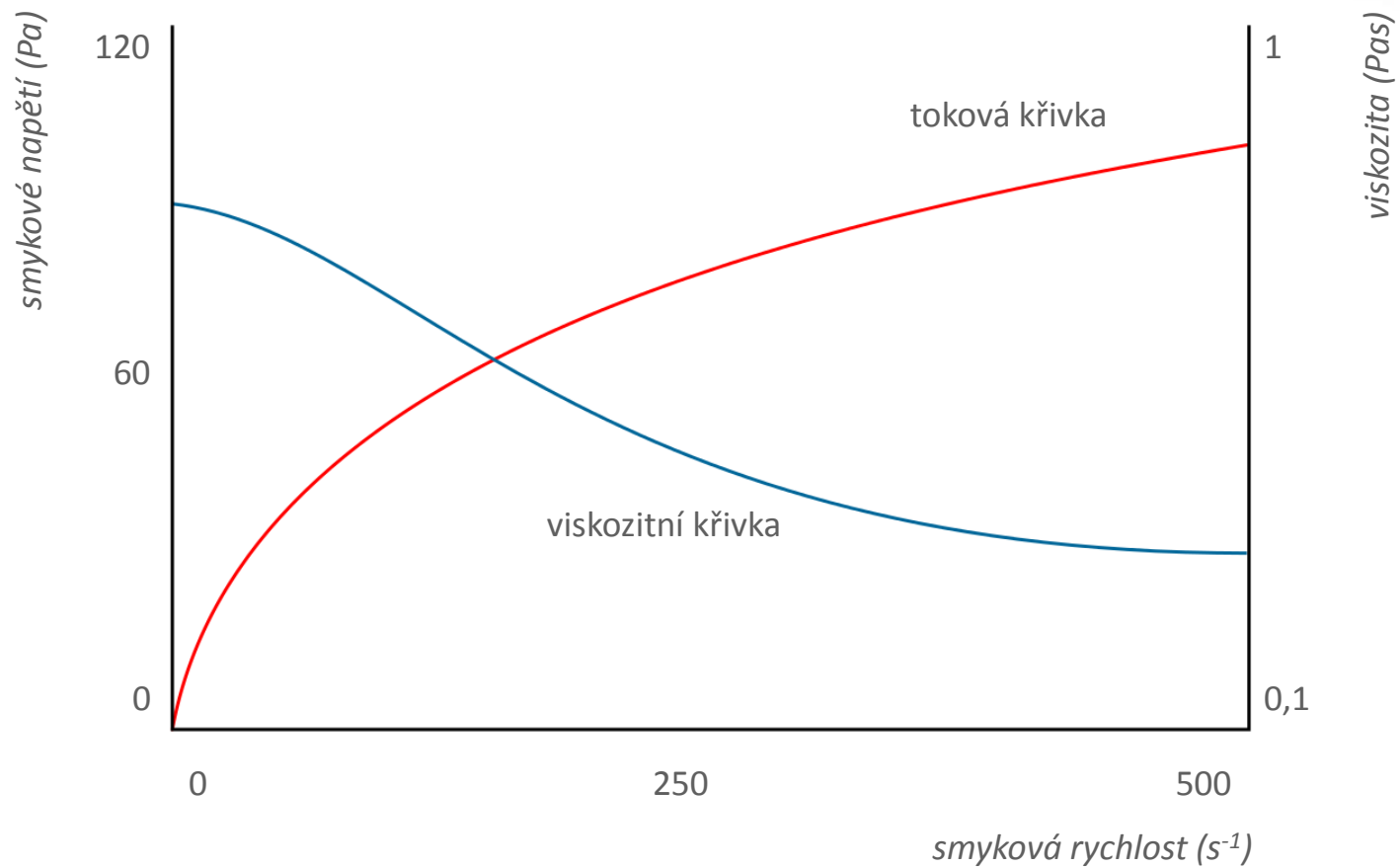
# PSEUDOPLASTICKÉ CHOVÁNÍ

## STRUKTURNÍ DŮVODY



# PSEUDOPLASTICKÉ CHOVÁNÍ

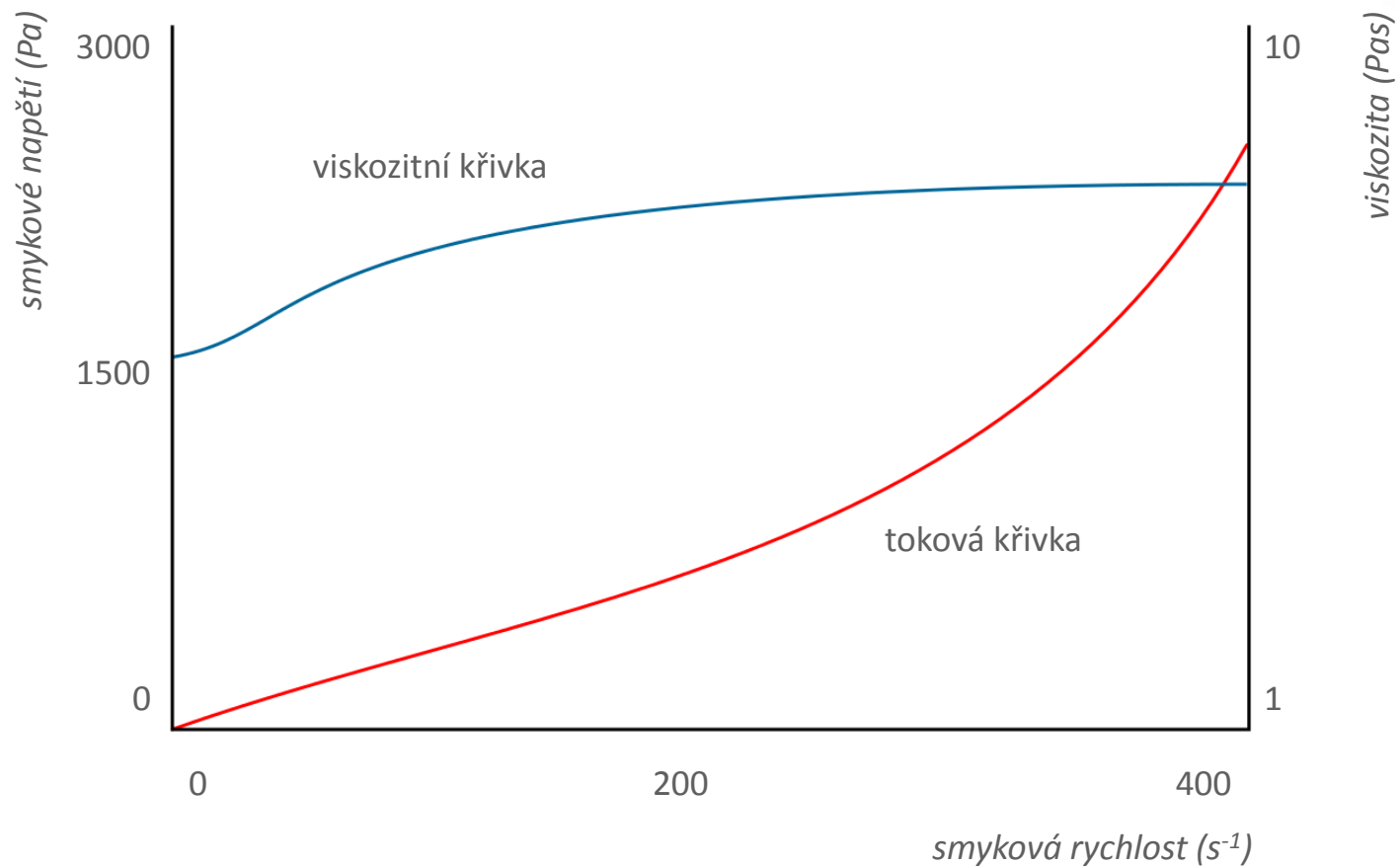
**PŘÍKLAD: barva**





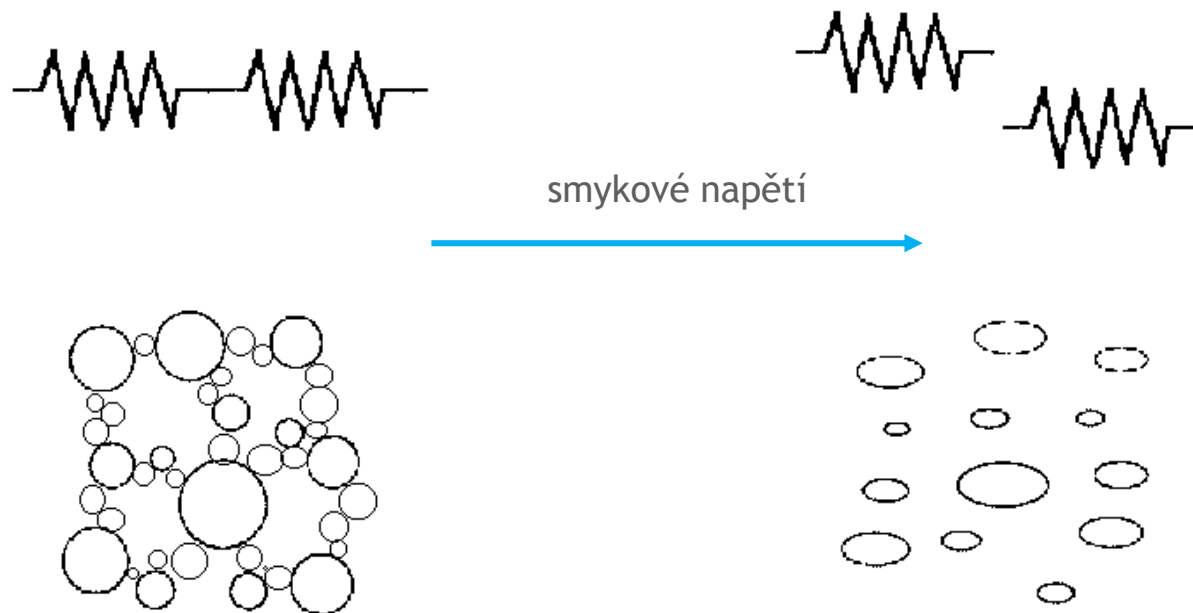
# DILATANTNÍ CHOVÁNÍ

**PŘÍKLAD: PVC plastizol, disperze jílu, bentonit**



## MEZ TOKU (YIELD STRESS)

- smykové napětí k překonání elastického chování a dosažení tokového chování
- $\tau_0$



# MATEMATICKÉ MODELY

newton

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

bingham

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}$$

pseudoplastický

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

$$n < 1$$

Ostwald de Waele  
(mocninový)

plastický

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$$

Herschel-Bulkley

dilatantní

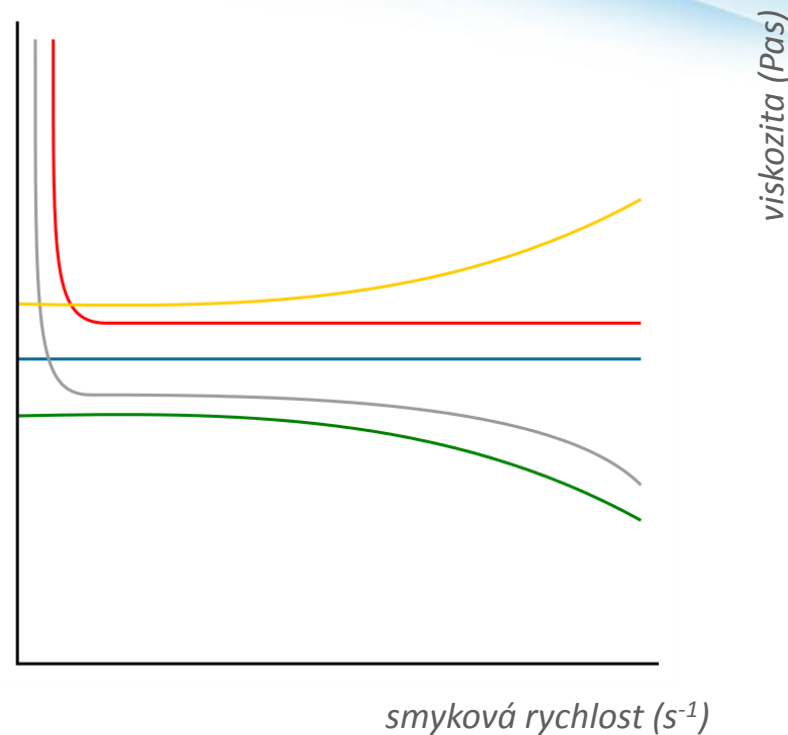
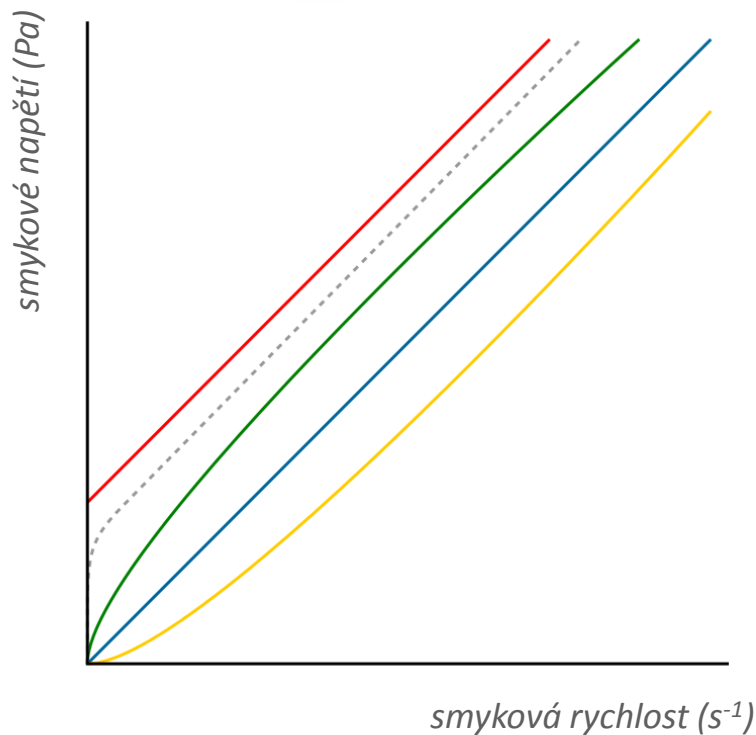
$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

$$n > 1$$

Ostwald de Waele

- $\eta$  **zdánlivá viskozita**: poměr okamžité hodnoty smykového napětí a smykové rychlosti

## MATEMATICKÉ MODELY TOKU



newton

pseudoplastický

plastický

bingham

dilatantní

## MATEMATICKÉ MODELY TOKU

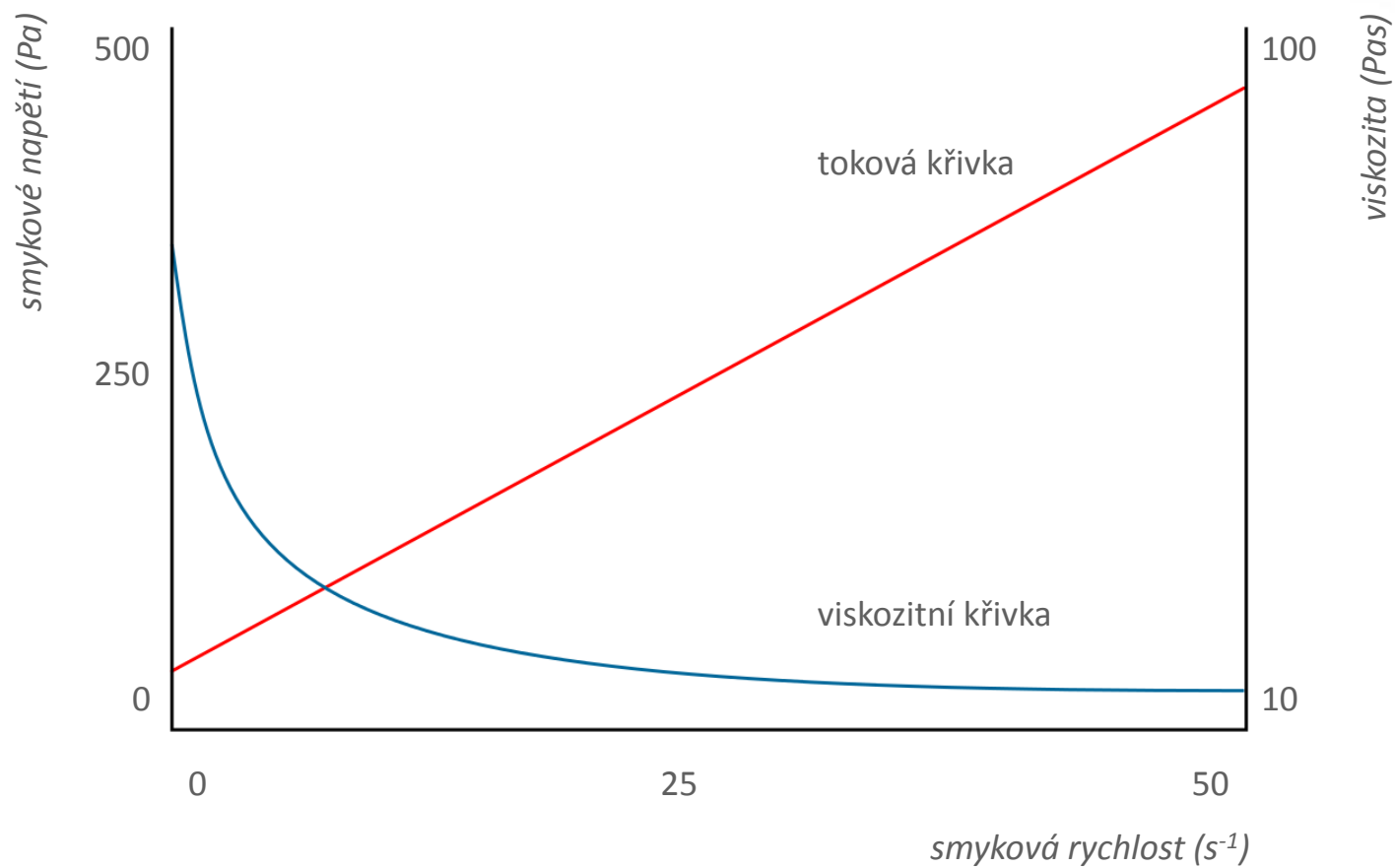
### **výhody**

- snadné zpracování dat
- využití hotových rovnic pro popis reologického chování

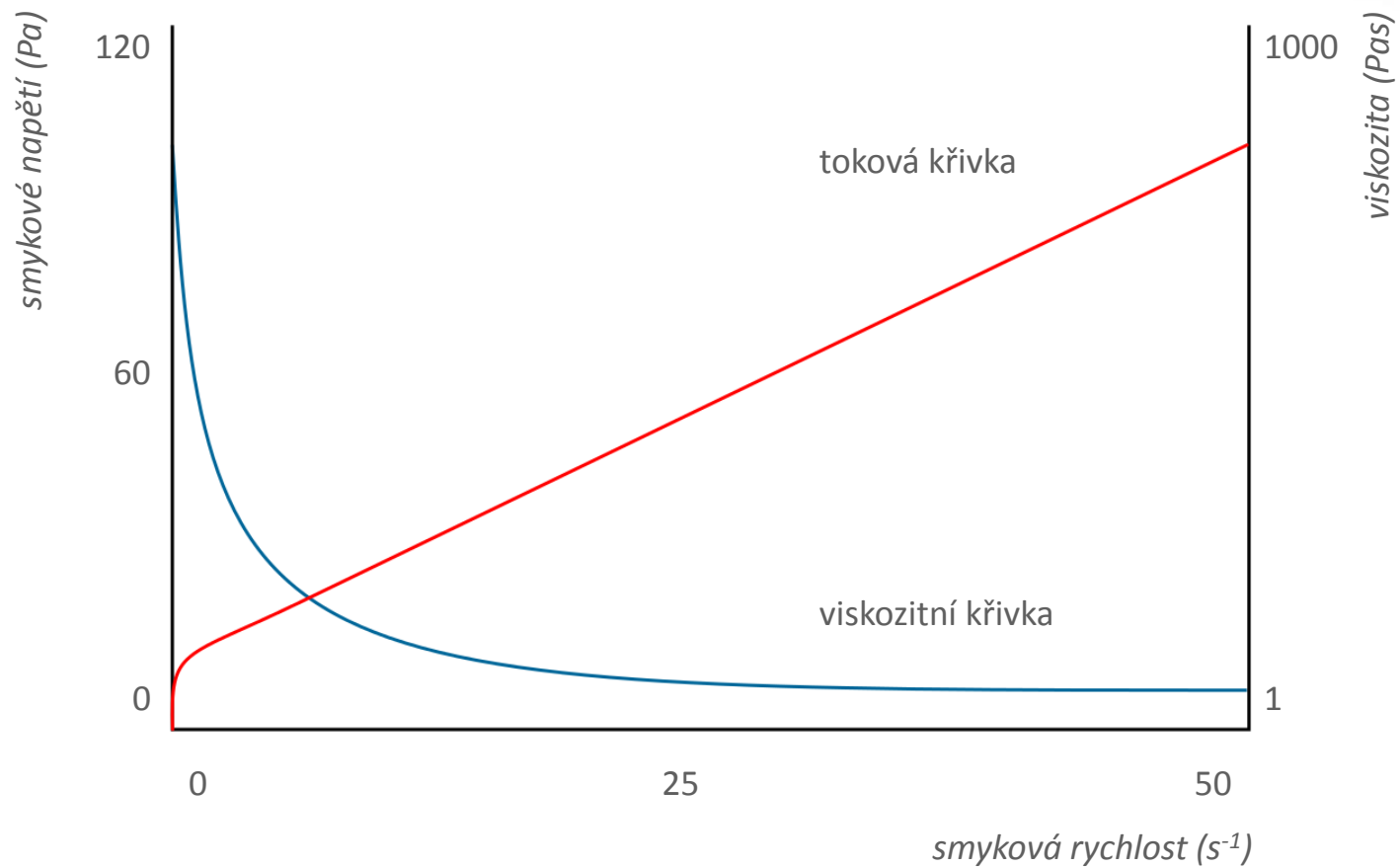
### **nevýhody**

- extrapolace mimo rozsah měření
- přeceňování fyzikálního významu parametrů
- $\dot{\gamma} \rightarrow 0$       brownův pohyb, mikrovibrace viskozimetru
- $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$       turbulence

## PŘÍKLAD: zubní pasta



## PŘÍKLAD: čokoláda



# NE-NEWTONSKÉ CHOVÁNÍ

- **pseudoplasticita** – technologicky výhodná; snižuje energetickou náročnost při míchání, toku kapalin potrubím apod. (roztoky a taveniny polymerů, roztoky mýdel a detergentů)
- **dilatance** – technologicky nevýhodná; komplikuje technologické procesy, zvyšuje energetickou náročnost (některé vysoce koncentrované suspenze)





# VISKOZIMETRY, REOMETRY MĚŘÍCÍ SYSTÉMY

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

- základní přístroje
- kapilární viskozimetry
- viskozimetry s padající kuličkou
- rotační viskozimetry
- rotační reometry
- senzory - geometrie
- extenzní reometry
- vytlačovací reometry

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

PRINCIP	ZAŘÍZENÍ	MĚŘENÁ VELIČINA
biosenzor	prst	odpor (síla, tlak)
objemový průtok	fordova nálevka	čas
	kapilární viskozimetr	čas (tlak, dislokace)
padající kulička	Höpplerův viskozimetr	čas
komprese	kompresní viskozimetr	síla, dislokace
rotace	rotační viskozimetr, reometr	síla, dislokace

## RELATIVNÍ vs ABSOLUTNÍ

## PRST

- levné
- jednoduché
- rychlé
- snadno čistitelné
- relativní měření
- nereprodukovatelné
- 'nebezpečné'



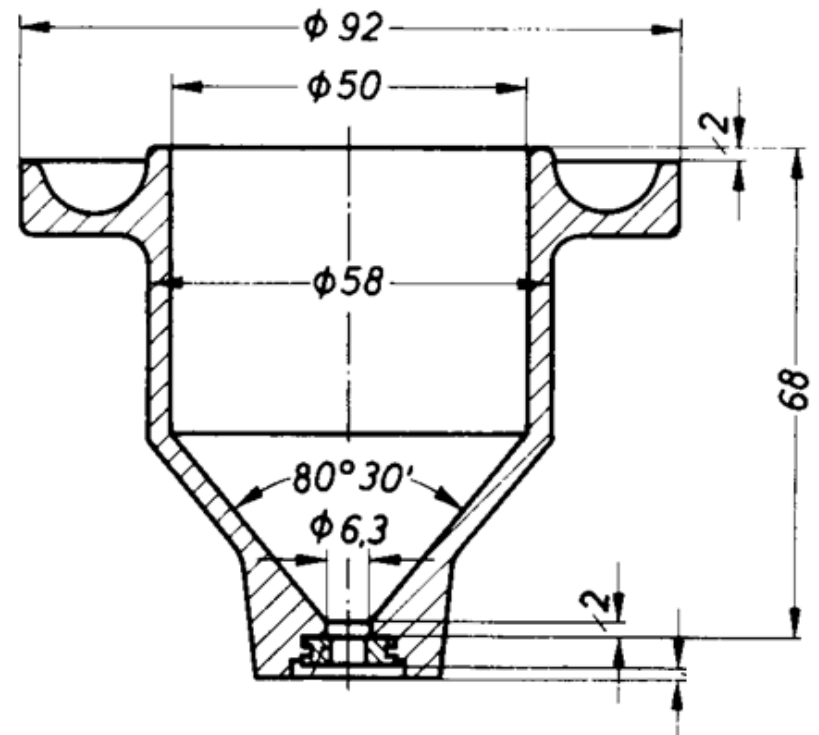
## FORDŮV POHÁREK (FORD CUP)

### princip

- měření času definovaného objemu potřebného k průtoku skrz trysku
- 240 s DIN cup 4

### aplikace

- regulace viskozity laků a barev ve stříkací komoře



## FORDŮV POHÁREK

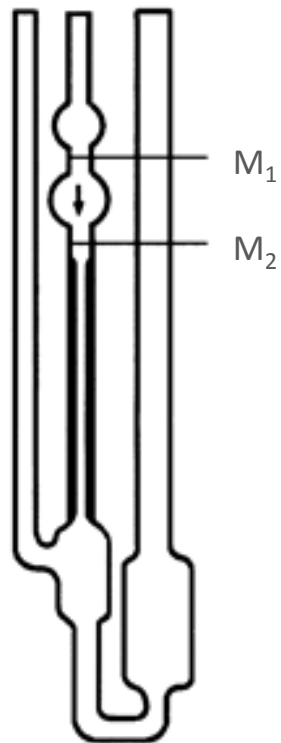
### **výhody**

- levné
- jednoduché
- rychlé

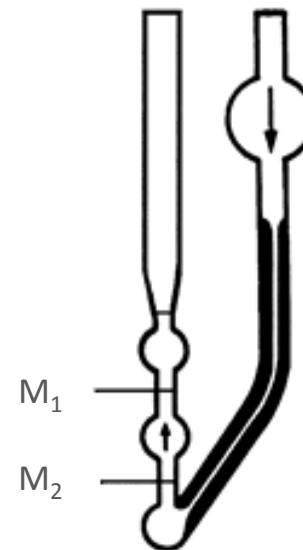
### **nevýhody**

- kontrola teploty
- nepoužitelné pro nenevtonské tekutiny
- nepoužitelné pro materiály s mezí toku

## KAPILÁRNÍ VIZKOZIMETR



Ubbelohdeho typ



Cannon-Fenske typ

## KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR

### princip

- měření času protečení kapaliny mezi dvěma ryskami
- $v = C_4 \cdot (t_2 - t_1)$
- $C_4$  – kapilární konstanta, musí být určena kalibrací
- hnací silou je gravitace

### aplikace

- nízko viskózní kapaliny



## KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR

### výhody

- relativně levné
- velmi přesné pro nízko a středně viskózní kapaliny
- možnost kalibrace
- absolutní měření pro newtonské kapaliny

## KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR

### nevýhody

- velmi dlouhé měření
- nesnadno čistitelné
- relativní měření pro neneutonské kapaliny
- omezená teplota

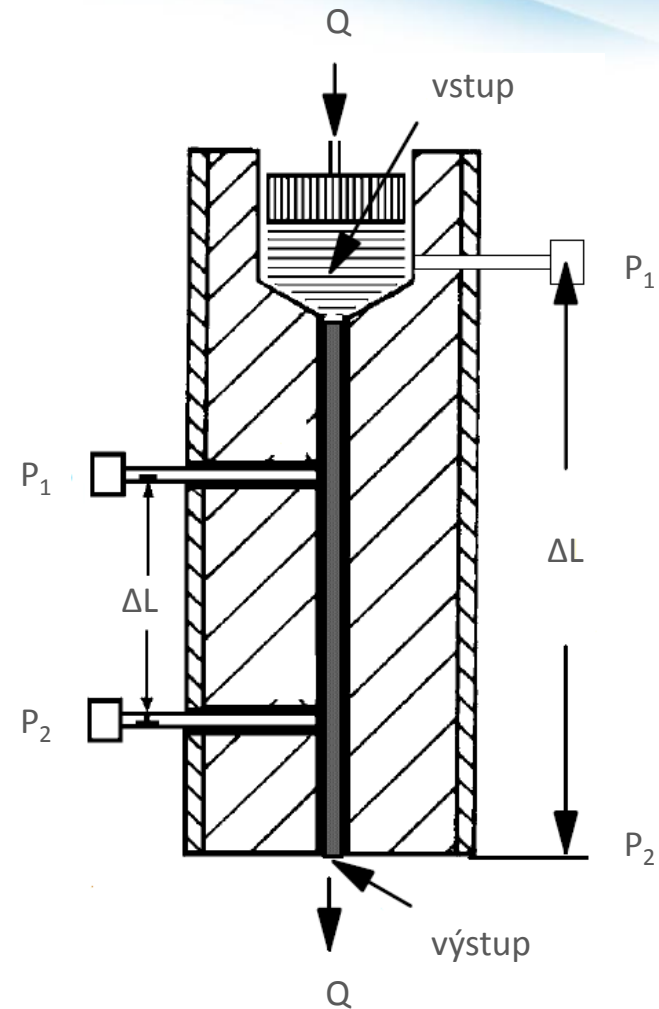
## VYSOKOTLAKÝ KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR

### princip

- vzorek tlačěn pístem kapilárou
- měření rozdílu tlaků a protlačený objem
- $\eta = (\pi R^4 \cdot \Delta p) / (8L \cdot Q)$

### aplikace

- polymer, tiskařské inkousty



## VYSOKOTLAKÝ KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR

### **výhody**

- vysoké hodnoty smykových rychlostí
- možnost kalibrace
- absolutní měření

### **nevýhody**

- vysoká cena, velké zařízení
- není vhodné pro nízko viskózní kapaliny
- nesnadno čistitelné

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## VISKOZIMETR S PADAJÍCÍ KULIČKOU (FALLING BALL)

- Höpplerův viskozimetr



## VISKOZIMETR S PADAJÍCÍ KULIČKOU (FALLING BALL)

### princip

- měření času pádu kuličky mezi dvěma ryskami v temperované trubici se sklonem  $10^\circ$
- $\eta = K \cdot (\rho_k - \rho_{Fl}) \cdot \Delta t$
- působící síly: gravitace, vztlaková, odpor prostředí

### aplikace

- newtonské kapaliny
- rozpouštědla

## VISKOZIMETR S PADAJÍCÍ KULIČKOU (FALLING BALL)

### **výhody**

- přesné měření absolutních viskozit newtonských kapalin
- široký rozsah viskozit,  $0,5 - 10^5$  mPas

### **nevýhody**

- relativní měření pro neneutonské kapaliny
- jen transparentní vzorky známé hustoty
- nesnadno čistitelné

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR

### princip

- měření kroutícího točivého momentu při dané smykové rychlosti
- senzorový systém – přepočet na reologické veličiny

### aplikace

- newtonské i nenewtonské kapaliny
- různé teploty

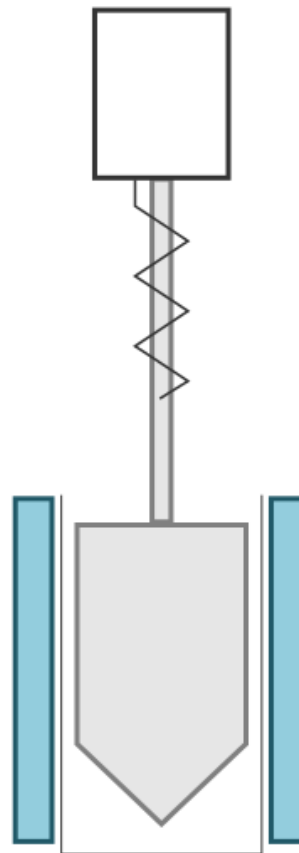


## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – KONSTRUKCE

motor s kontrolou rychlosti

měření kroučícího momentu

kontrola teploty  
(kapalinou, elektricky, Peltier)



systém senzorů  
(koaxiální válce, deska-deska,  
kužel-deska)

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester 1, 2 Plus



## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester 1, 2 Plus

- absolutní měření: newtonské kapaliny
- relativní měření: nenewtonské kapaliny
- měření odporu při konstantní smykové rychlosti
- bez kontroly teploty
- časová křivka
- rychlé srovnávací měření - použití stejného rotoru
- VT 1 Plus: 1,5 – 300 mPas
- VT 2 Plus: 30 – 400 000 mPas
- spolehlivost 95 %

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester C, D, E



## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester C, D, E

- absolutní měření: newtonské kapaliny
- relativní měření: nenewtonské kapaliny
- měření odporu při definované smykové rychlosti ( $0,01 \text{ min}^{-1}$  –  $200 \text{ min}^{-1}$ )
- objem vzorku: min. 400 ml
- teplotní senzor
- časová křivka
- toková křivka
- ISO 2555 (Brookfield metoda)

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester C, D, E

- R-Version: 100 – 13 000 000 mPas (40 000 000)\*
- L-Version: 15 – 2 000 000 mPas (6 000 000)\*
- USB interface
- spolehlivost 99 %

# MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester 550



## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester 550

- absolutní měření
- měřící geometrie: koaxiální válce, deska-deska, kužel-deska
- teplotní senzor + kontrola teploty
- široký rozsah viskozit
- časová křivka
- toková křivka
- tixotropie
- stanovení meze toku
- vysoká přesnost (ISO, DIN)



# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – Viscotester iQ



# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – RotoVisco 1



## ROTAČNÍ VISKOZIMETR – RotoVisco 1

- absolutní měření
- měřící geometrie: koaxiální válce, deska-deska, kužel-deska
- teplotní senzor + kontrola teploty
- široký rozsah viskozit
- časová křivka
- toková křivka
- tixotropie
- stanovení meze toku
- vysoká přesnost (ISO, DIN)

## ROTAČNÍ REOMETR

### princip

- měření kroutícího momentu při dané smykové rychlosti (**CR** mód) *nebo*
- měření smykové rychlosti při dané torzi (**CS** mód) *nebo*
- torze aplikována jako sin při různých frekvencích (**OSC** mód)
- senzorový systém – přepoččet na reologické veličiny

### aplikace

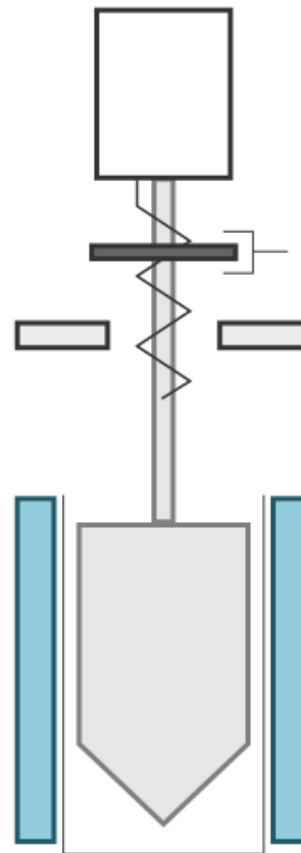
- viskoelastické látky
- podmínky odlišné od okolí

## ROTAČNÍ REOMETR – KONSTRUKCE

motor s kontrolou rychlosti

měření kroučícího momentu  
nebo rychlosti

kontrola teploty  
(kapalinou, elektricky, Peltier)



ložisko (vzduchové, magnetické)  
s vysokou tuhostí

systém senzorů  
(koaxiální válce, deska-deska,  
kužel-deska)

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ REOMETR – RheoStress 1



## ROTAČNÍ REOMETR – RheoStress 1

- absolutní měření
- měřící geometrie: koaxiální válce, deska-deska, kužel-deska
- teplotní senzor + kontrola teploty
- rotační testy (CR, CS)
- oscilační testy (CS)
- torze: 0,001 – 100 mNm
- otáčky: 0,025 – 1200  $\text{m}^{-1}$
- frekvence: 0,001 – 100 Hz

# MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ REOMETR – RheoStress 6000



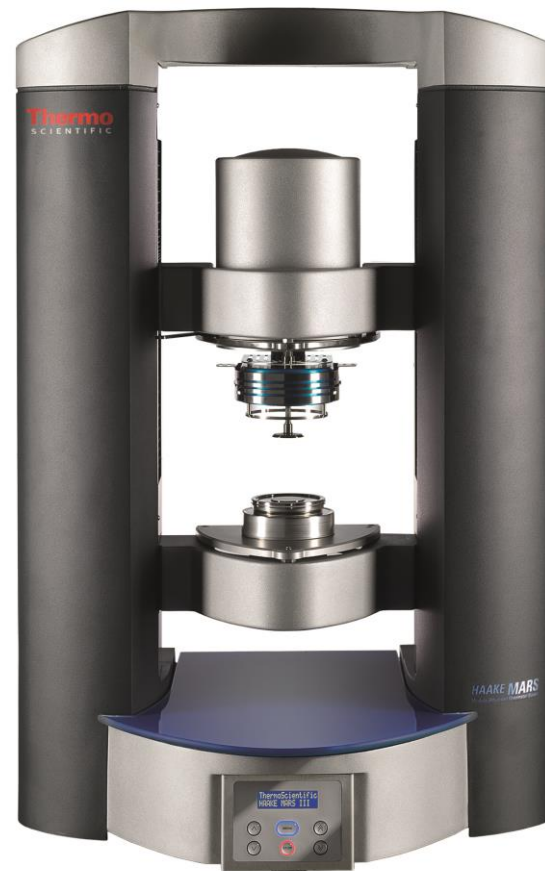


## ROTAČNÍ REOMETR – RheoStress 6000

- absolutní měření
- měřící geometrie: koaxiální válce, deska-deska, kužel-deska
- teplotní senzor + kontrola teploty
- rotační testy (CR, CS)
- oscilační testy (CS, CD)
- torze: 0,0005 – 200 mNm
- otáčky: 0,025 – 1500  $\text{m}^{-1}$
- frekvence: 0,0001 – 100 Hz

# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

## ROTAČNÍ REOMETR – MARS III



modular  
advanced  
rheometer  
system

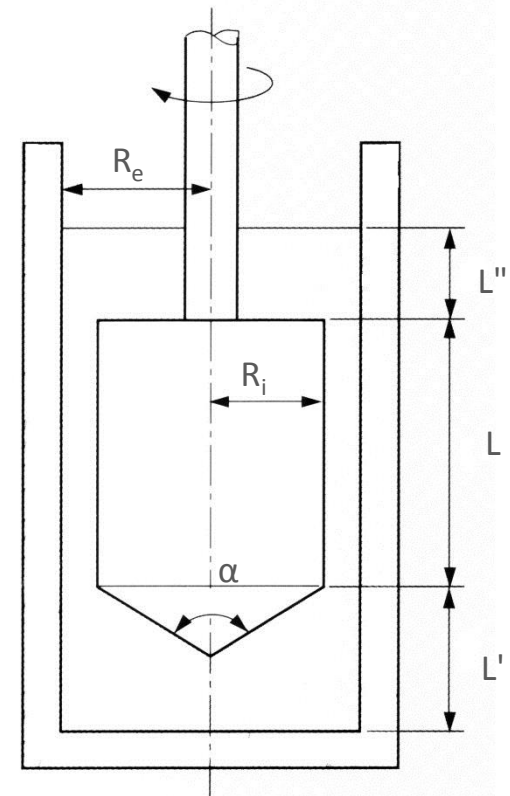
# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

SENZOR	COUNTER SENZOR	VÝHODA
disk, válec – Brookfield	nádoba	cena
lopatkové rotory	nádoba	sedimentace
válec	válec	cena
kužel	deska	cena
deska	deska	oscilace

## ROTAČNÍ REOMETR – SENZOR

### koaxiální válce (válec-válec)

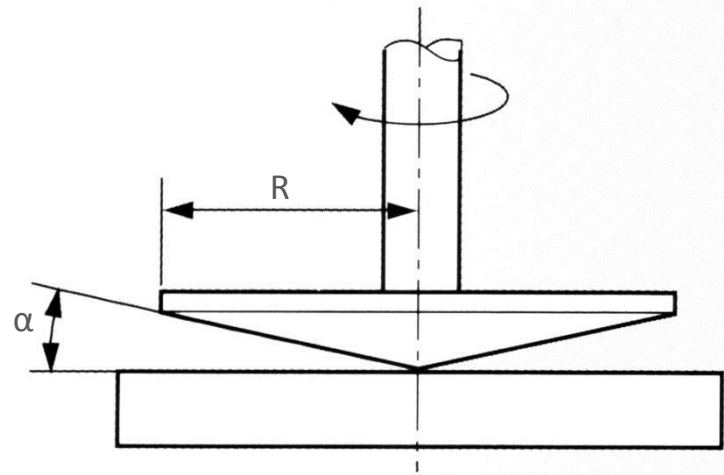
- nízkoviskózní tekutiny (velký povrch rotoru)
- plněné systémy (štěrbina mezi senzory – různá geometrie)



## ROTAČNÍ REOMETR – SENZOR

### kužel-deska

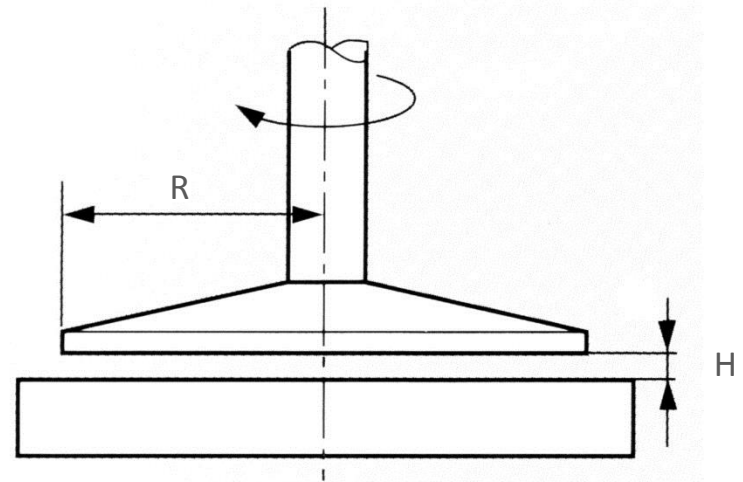
- viskózní tekutiny
- homogenní materiály
- vysoké smykové rychlosti
- snadno čistitelné
- malé množství vzorku



## ROTAČNÍ REOMETR – SENZOR

### deska-deska

- dynamické měření (oscilace)
- nehomogenní materiály (částičky, vlákna)



## rotační reometr – faktor A a M

$$\tau = \eta \cdot \gamma$$

- $A = \tau / M_d$
- $M = \gamma / \Omega$

$$\eta = (A \cdot M_d) / (M \cdot \Omega)$$

- $M_d$  točivý moment
- $\Omega$  úhlová rychlost

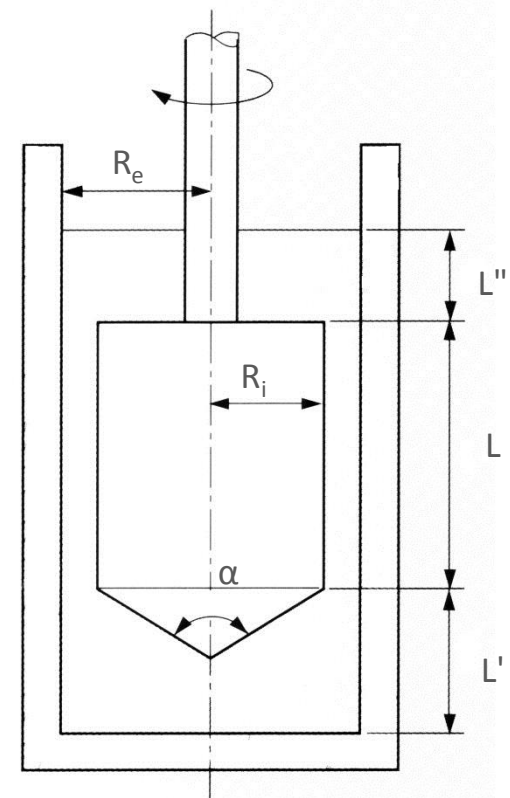
## SENZOR VÁLEC-VÁLEC

### výhody

- plnění vzorku
- rozměry (štěrbina, povrch)

### nevýhody

- čištění
- setrvačnost





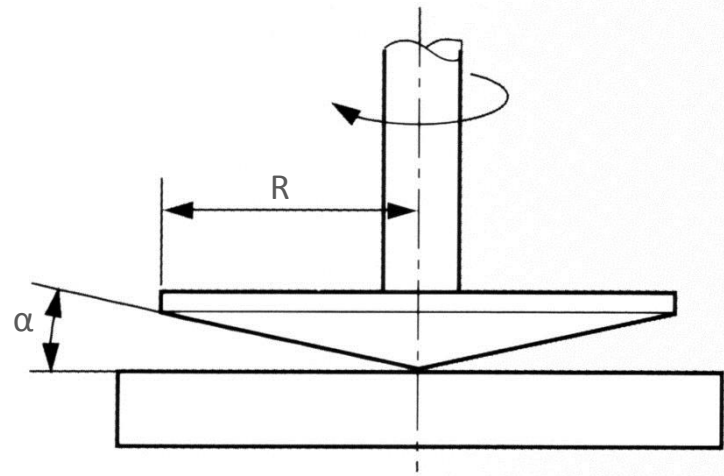
## senzor kužel-deska

### výhody

- malý objem vzorku
- konstantní smyková rychlost
- čistění

### nevýhody

- přesnost plnění
- nastavení štěrbin
- velikost částic



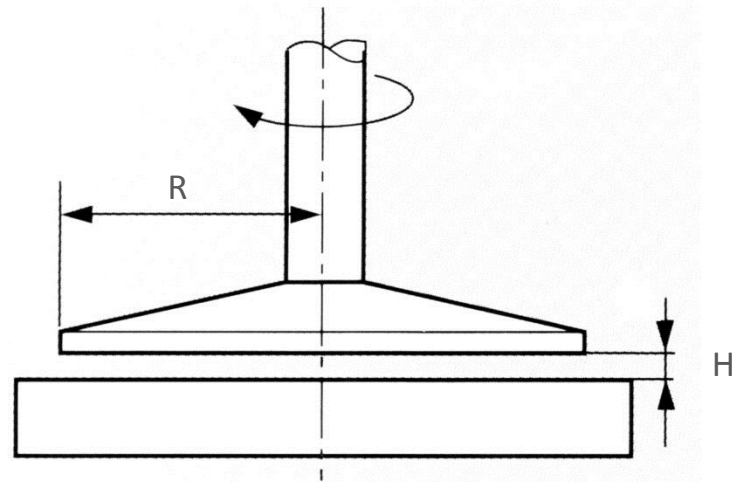
## senzor deska-deska

### výhody

- nastavení štěrbiny
- velikost částic
- malý objem vzorku
- čištění

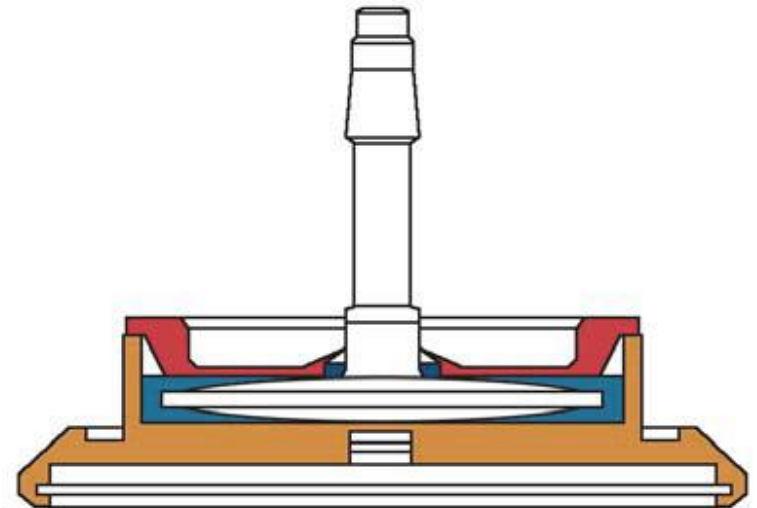
### nevýhody

- přesnost plnění
- smyková rychlost

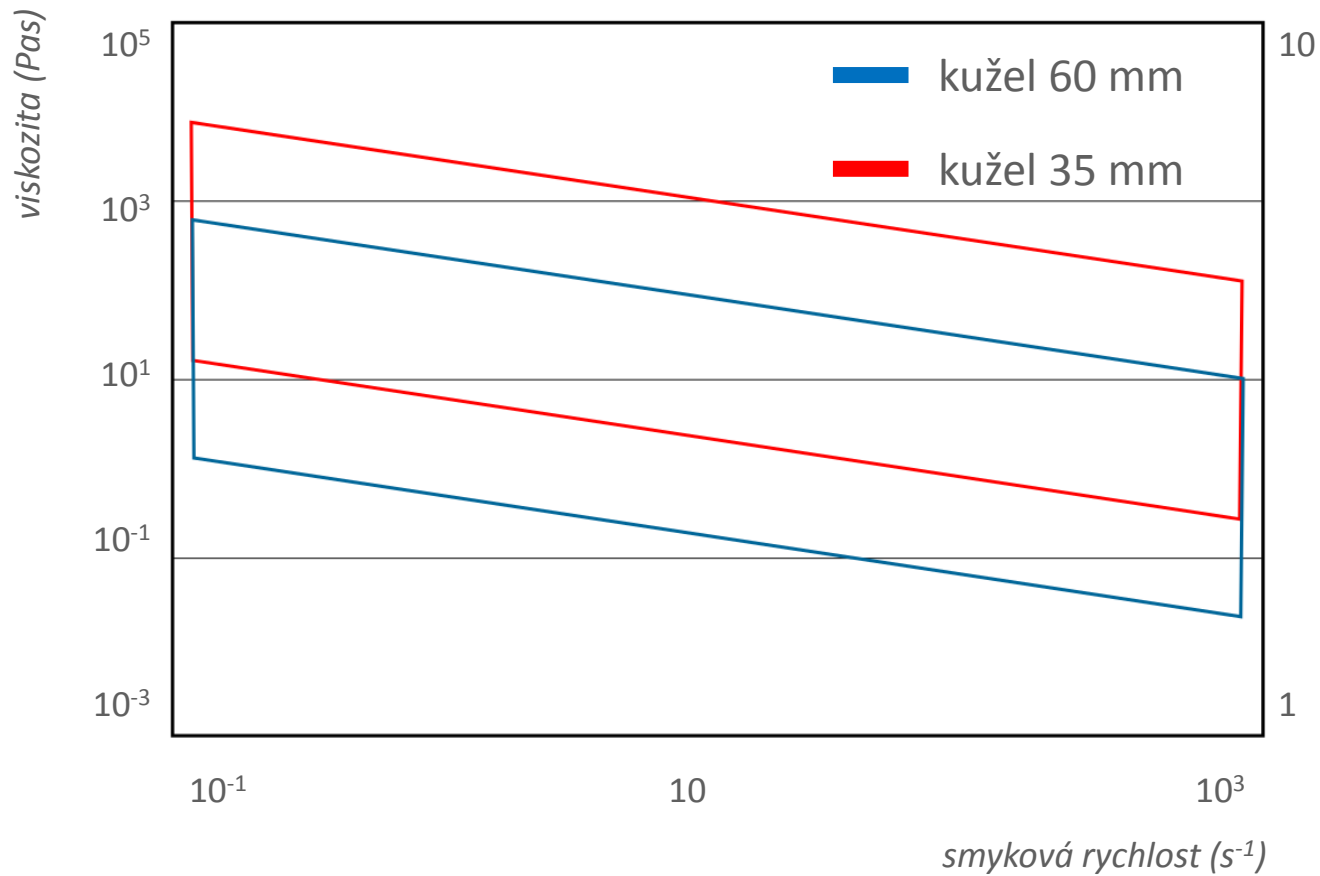


## senzory – speciální

- dvojitý kužel s horním krytem (evaporace)
- jednorázové desky (tvrditelné, těžko čistitelné)
- povrchově zdrsňené (skluz na stěně)
- lopatkové rotory (sedimentace, velké částice)



## měřící rozsahy



# MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

subjektivní dojem ze vzorku

nízká, střední viskozita  
snadné čištění

vysoká viskozita, pasty  
těžké čištění

velké částičky  
sedimentace, separace

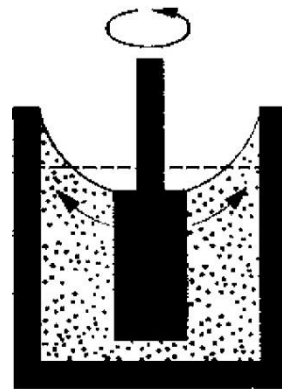
**koaxiální válce**

**kužel-deska**  
(bez částiček)  
**deska-deska**  
(s částičkami)

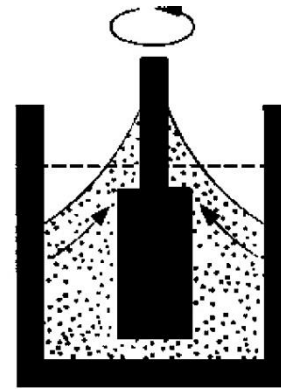
**speciální senzory**  
lopatkové  
vroubkované  
šroubovitě rýhované

# CHYBY PŘI STANOVENÍ VIZKOZITY

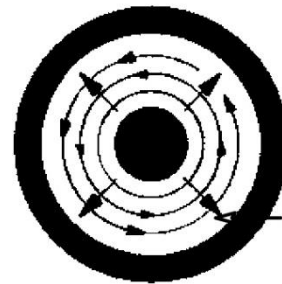
## WEISSENBERGŮV EFEKT



viskózní tekutina

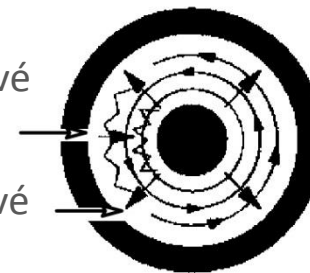


viskoelastická tekutina



normálové  
síly

odstředivé  
síly



## ZDROJ CHYB

- zařízení
- manipulace
- vzorek



## ZDROJ CHYB

### zařízení

- měření torze (točivého momentu)
- měření otáček
- faktory senzoru (A, M)
- geometrie

## ZDROJ CHYB – ZAŘÍZENÍ – DIN 53018

**torze**  $\pm 1 \%$  FSD nebo  $\pm 0,5 \%$  ABS

**otáčky**  $\pm 0,5 \%$  ABS

- přesné měření pomocí digitálních kodérů
- větší přesnost pomocí krokových motorů

**geometrie**  $\pm 0,5 \%$  ABS

- tolerance k rozměrům (průměr, délka, úhel)
- tolerance k poloze (vystředění, sklon, vzdálenost)

## ZDROJ CHYB

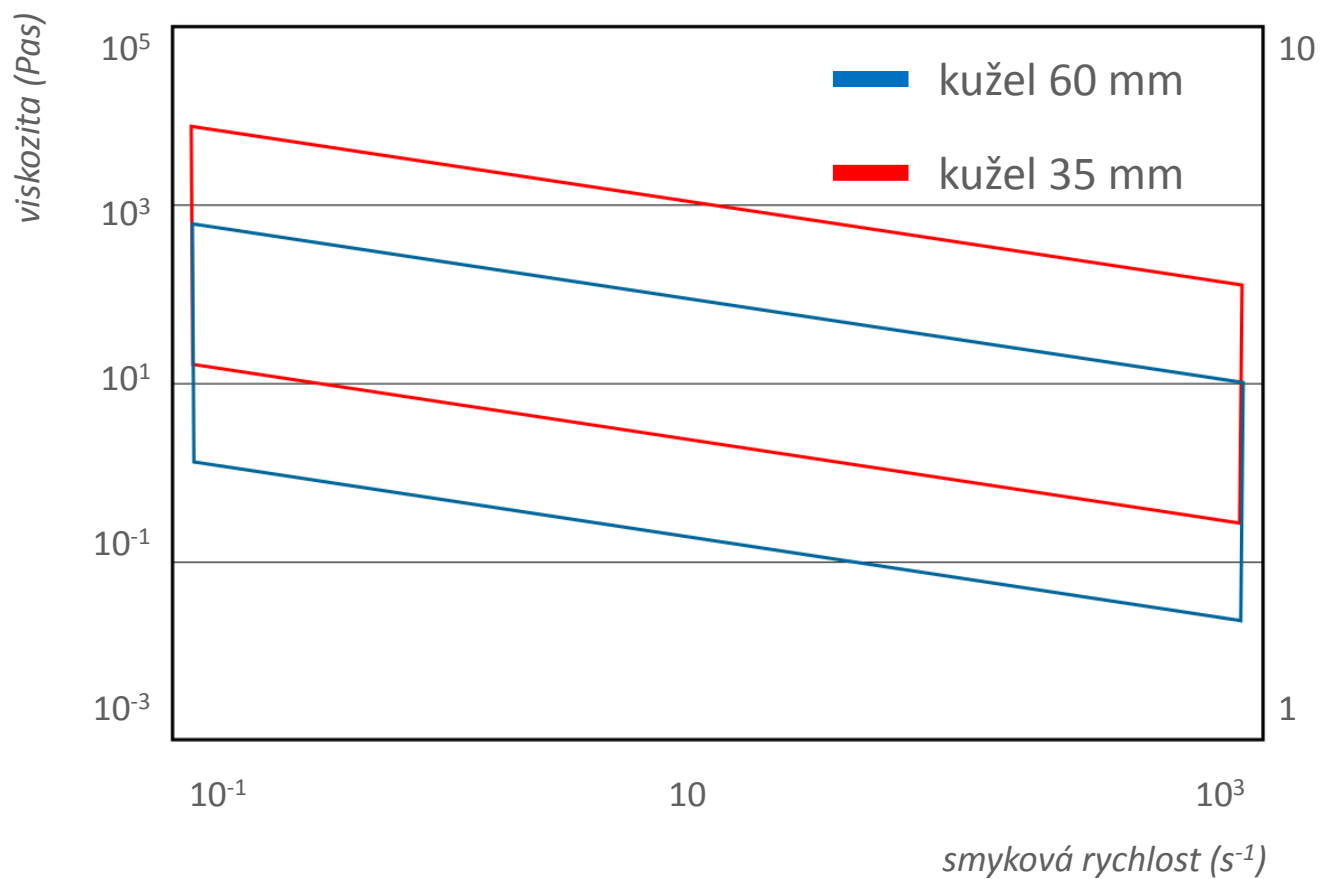
### manipulace

- výběr senzoru
- definice měření, testu
- historie vzorku
- dávkování vzorku

### *důsledek*

- nastavení štěrbin
- kontrola teploty
- ohřev vzorku v důsledku smykového namáhání

## ZDROJ CHYB – VÝBĚR SENZORU



## ZDROJ CHYB

### **vzorek**

- částice, zachycený vzduch
- ztráta rozpouštědla
- chemická reakce
- botnání VS smršťování

### *důsledek*

- skluz na stěnách měřících tělísek
- elasticita, pružnost
- Taylorovy víry; sedimentace

## SPECIÁLNÍ ZDROJE CHYB

### vzduchové ložisko

- ložiskové tření + viskozita vzduchu

### tuhost měřicí osy

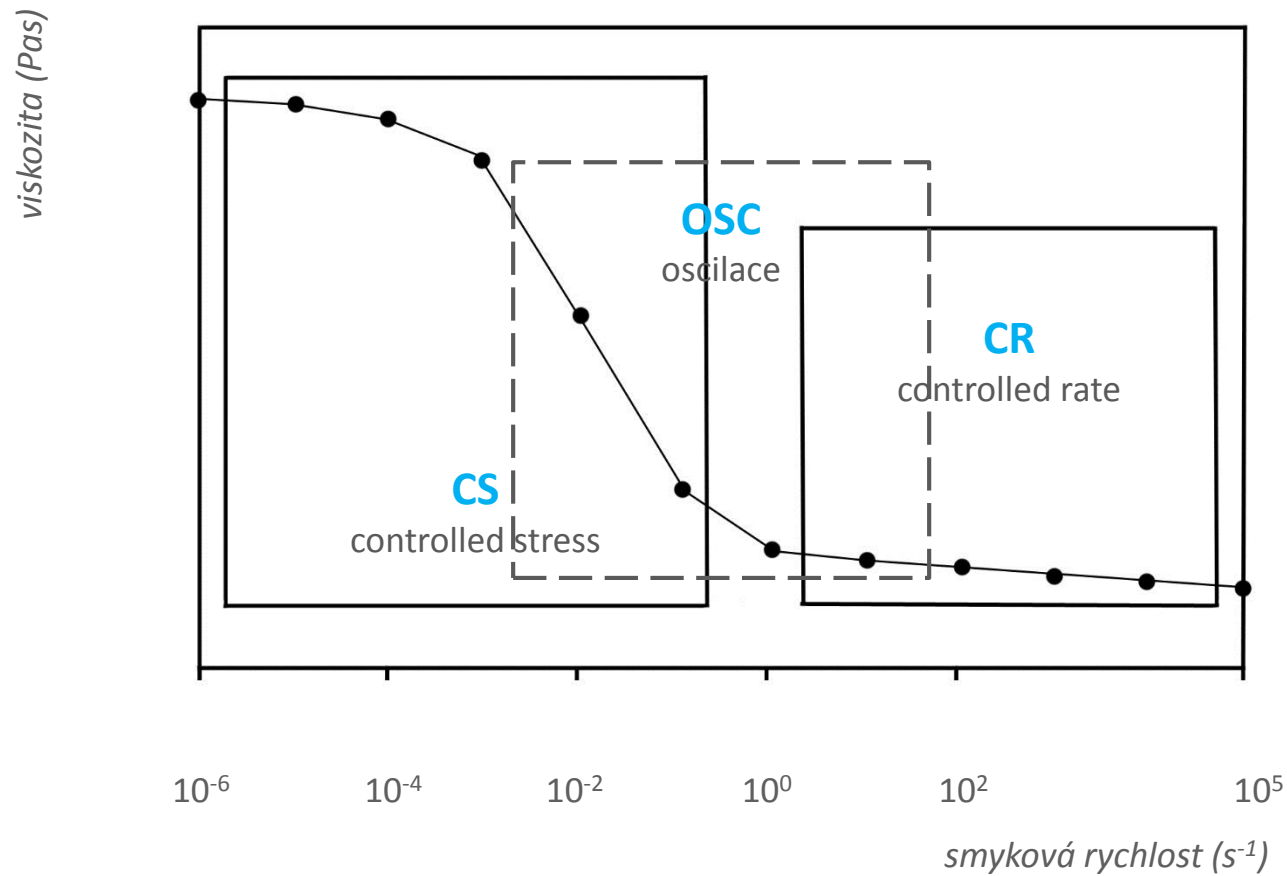
- vysoce viskózní pasty

### vysoké zrychlení

- setrvačnost
- rampy pod 20 s, oscilace nad 20 Hz

# VISKOZITA - MĚŘENÍ

## PARAMETRY – MÓD MĚŘENÍ





## PARAMETRY – ROZSAH

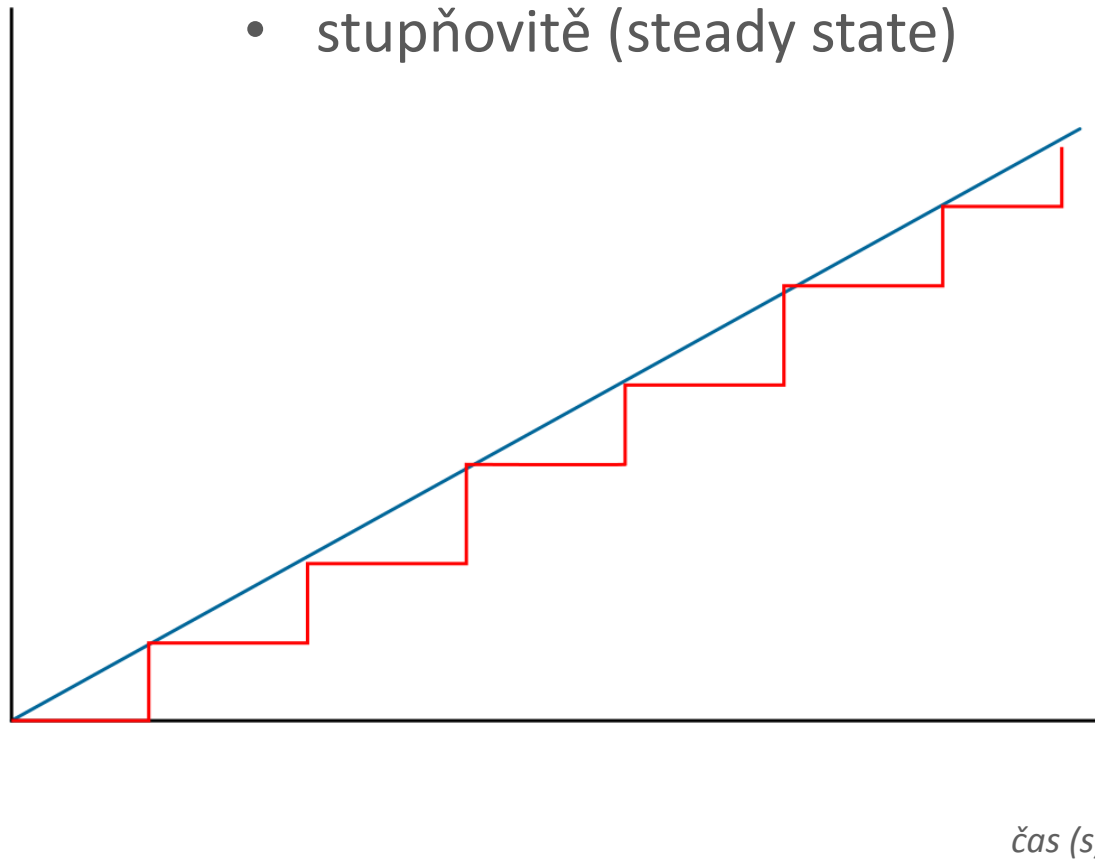
- typicky 0 – 100 s<sup>-1</sup>
- horní hranice dle stability materiálu, otáček
- dolní hranice dle citlivosti

## PARAMETRY – ČAS

- typicky 0,5 – 5 min

## PARAMETRY – TYP MĚŘENÍ

- plynule (shear ramp)
- stupňovitě (steady state)



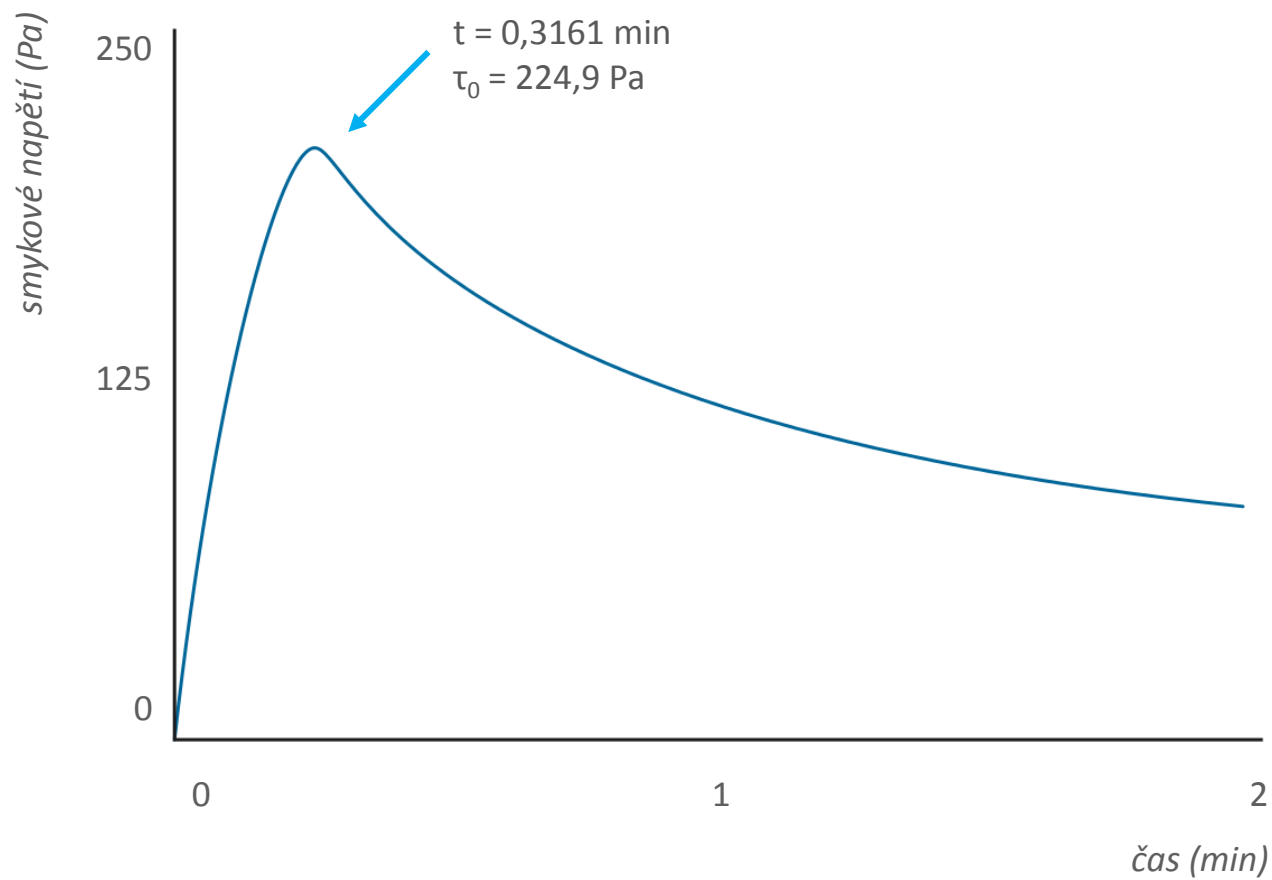
## STANOVENÍ MEZE TOKU

- controlled deformation **CD** – pomocí definované deformace
- $\tau_0$  - max. křivky smykové napětí VS čas
  
- controlled rate **CR** ramp – pomocí definované smykové rychlosti
- $\tau_0$  - extrapolace tokové křivky k smykové rychlosti  $\dot{\gamma} = 0$
  
- controlled stress **CS** ramp – pomocí definovaného smykového napětí
- $\tau_0$  - průnik tečen změn sklonu křivky log deformace VS log smykové napětí

## MEZ TOKU - CD

- **vstup:** deformace (konstantní)
- **měření:** smykové napětí  $\tau$
- **výsledek:** smykové napětí  $\tau = f$  (čas  $t$ )
- **hodnocení:** určení maxima křivky

## MEZ TOKU CD

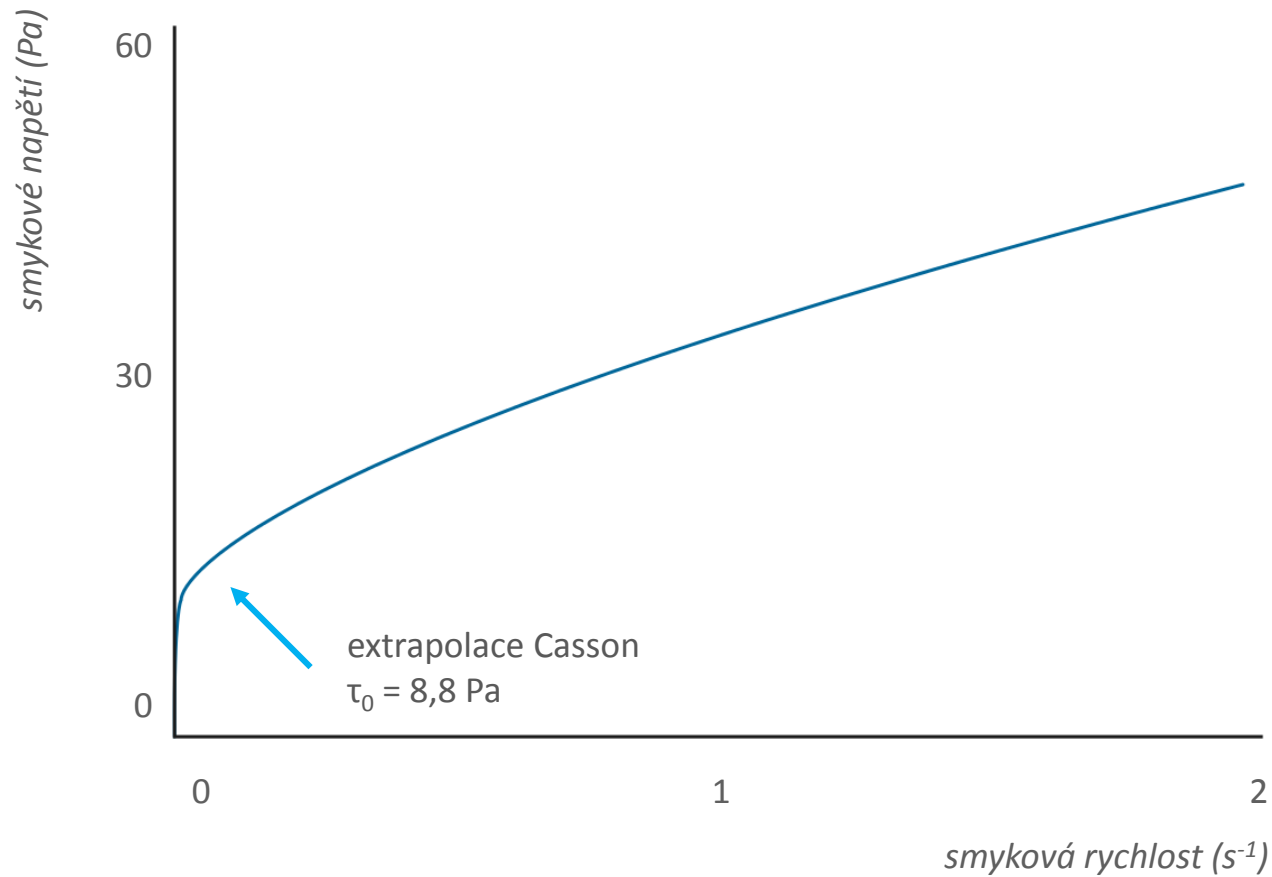


## MEZ TOKU - CR

- **vstup:** smyková rychlost  $\dot{\gamma}$  (nárůst)
- **měření:** smykové napětí  $\tau$
- **výsledek:** smykové napětí  $\tau = f$  (smyková rychlost  $\dot{\gamma}$ )
- **hodnocení:** extrapolace k smykové rychlosti  $\dot{\gamma} = 0$

# MEZ TOKU - CR

## MEZ TOKU CR

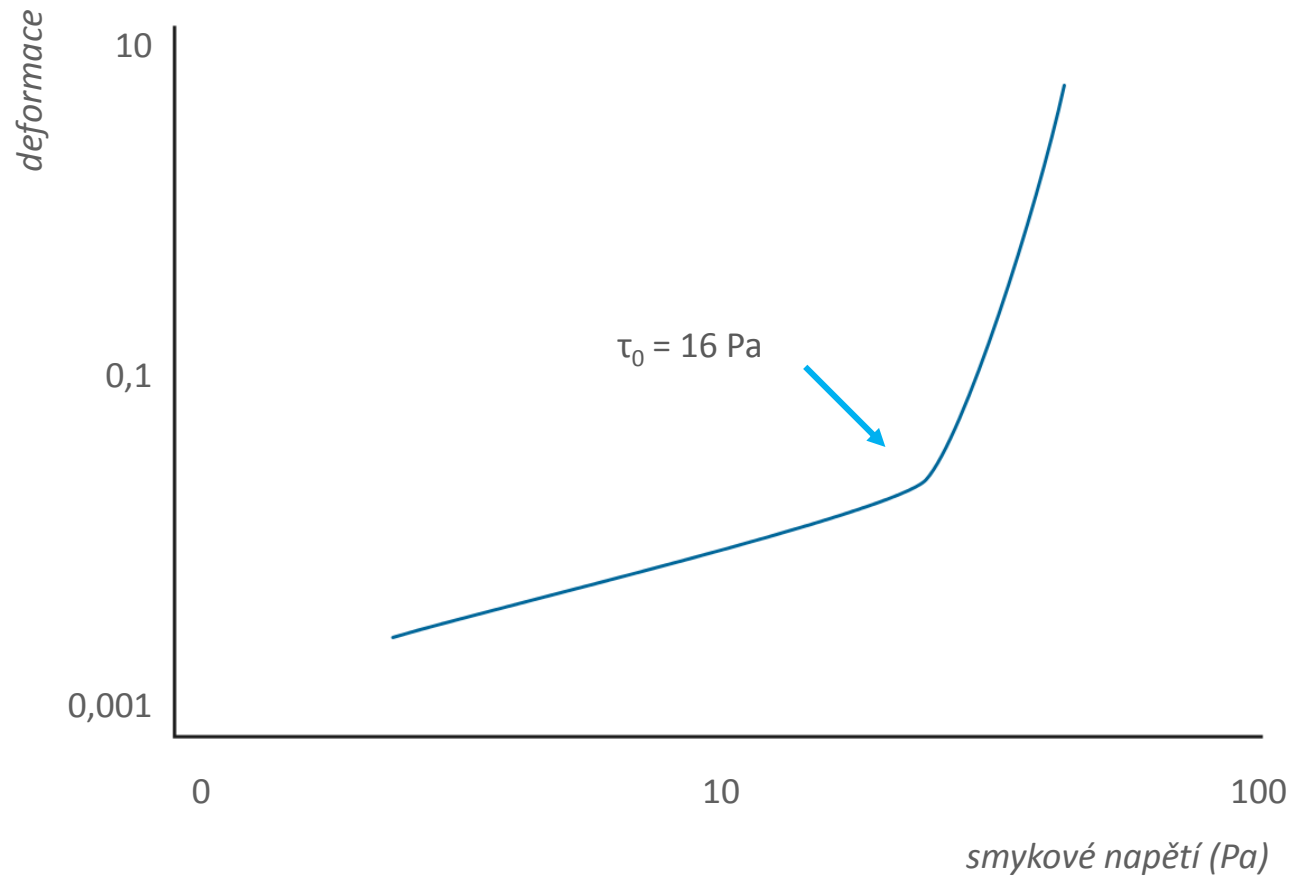


- **vstup:** smykové napětí  $\tau$  (nárůst logaritmicky)
- **měření:** deformace  $\gamma$
- **výsledek:**  $\log$  deformace  $\gamma = f$  (smykové napětí  $\tau$ )
- **hodnocení:** přechod mezi lineárními částmi



# MEZ TOKU - CS

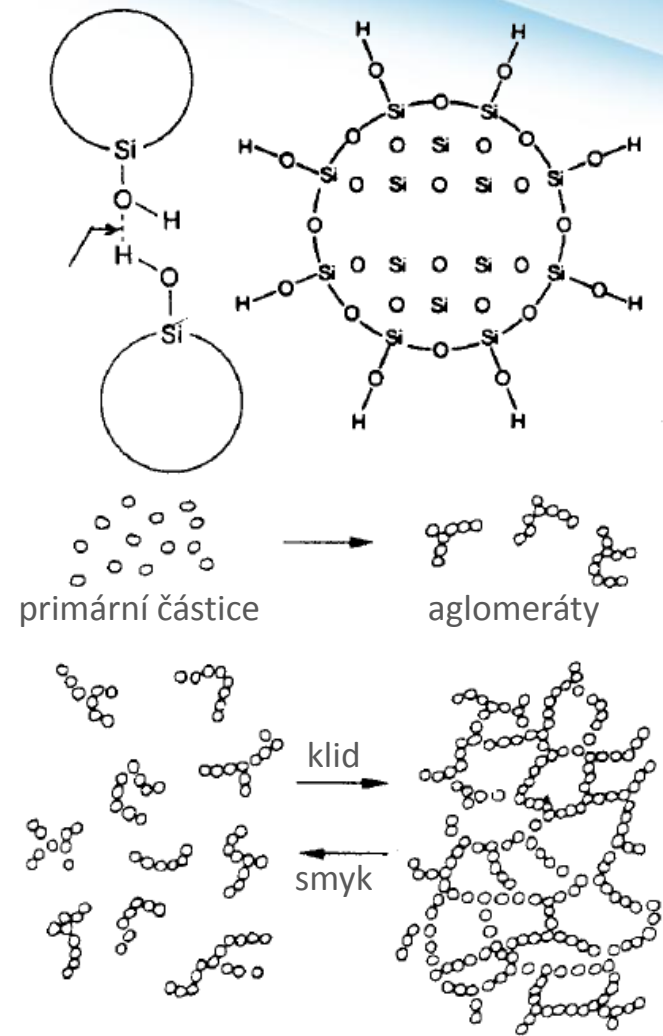
## MEZ TOKU CS



# VLIV DOBY PŮSOBENÍ SMYKOVÉHO NAMÁHÁNÍ

## ČASOVĚ ZÁVISLÉ CHOVÁNÍ

- tixotropie
- reopexie
- souvislost se strukturou
- primární částice – aglomeráty – síť
- orientace částic ve směru toku



## DEFINICE

- pokles viskozity v závislosti na čase při namáhání (řídnutí)
- kompletní obnova struktury v závislosti na čase bez namáhání

## URČENÍ TIXOTROPIE

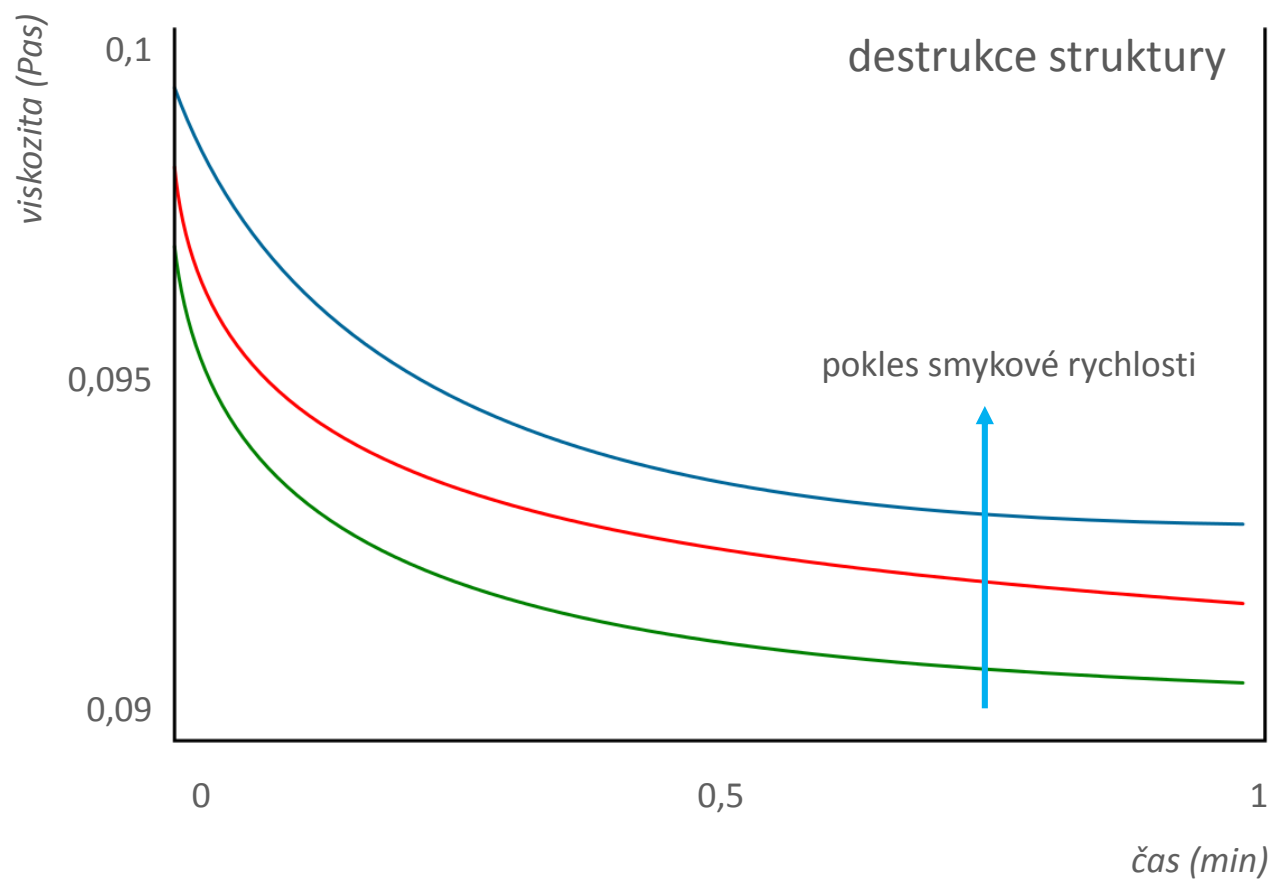
### časová křivka

- deformace při konstantní smykové rychlosti
- oscilace
- časová křivka při různých časech regenerace

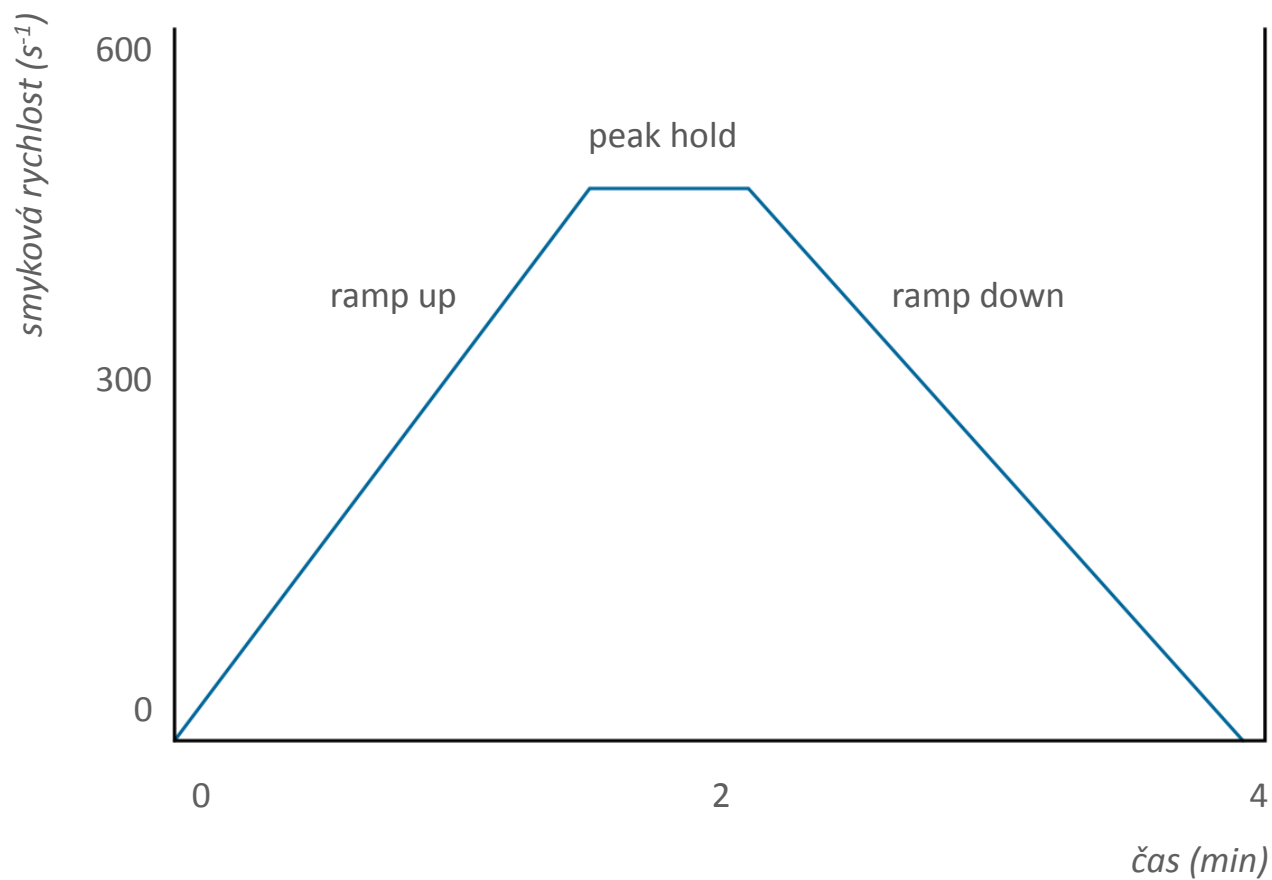
### toková křivka

- hysterézní křivka při různých teplotách

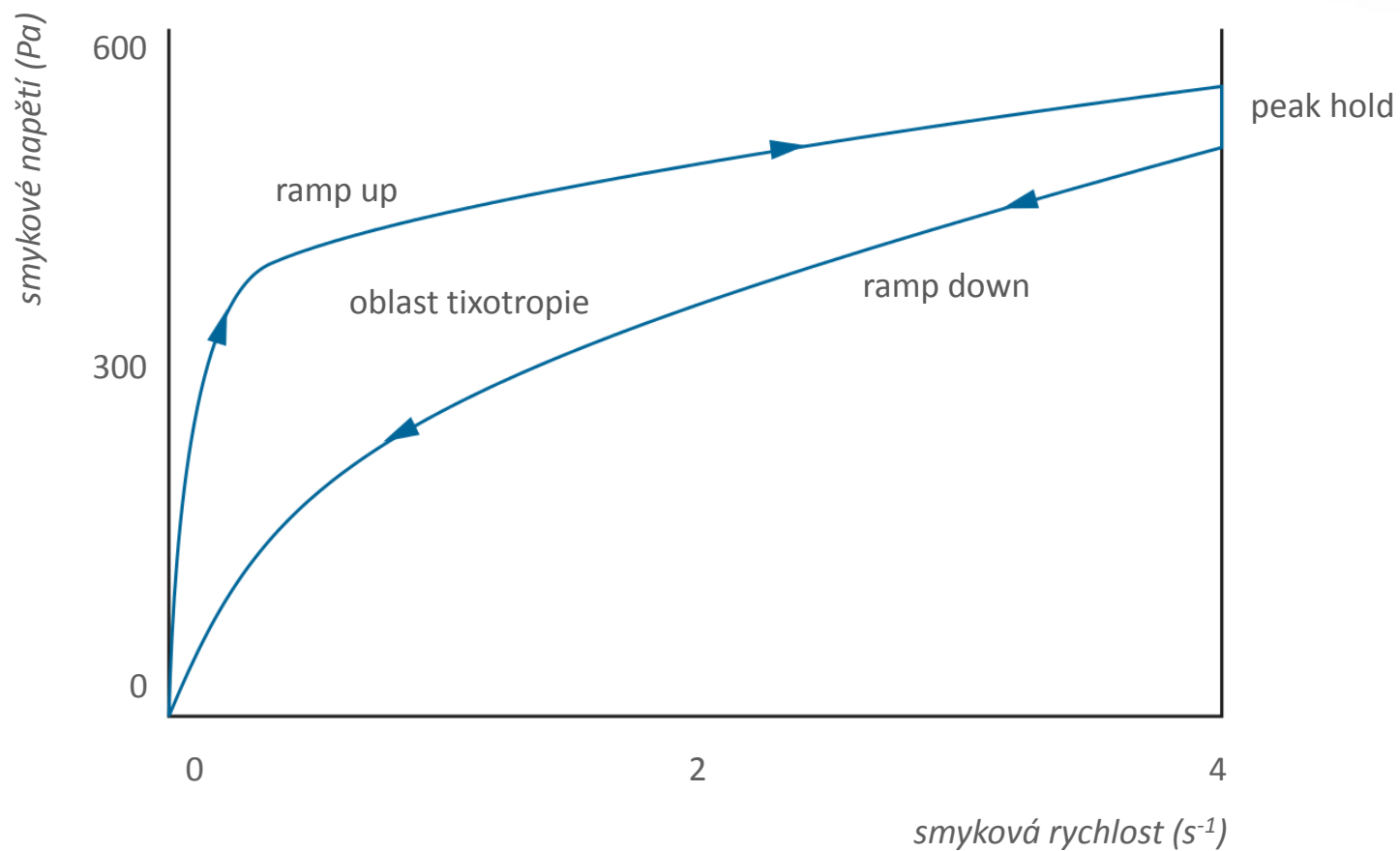
## ČASOVÁ KŘIVKA



## TOKOVÁ KŘIVKA



## TOKOVÁ KŘIVKA

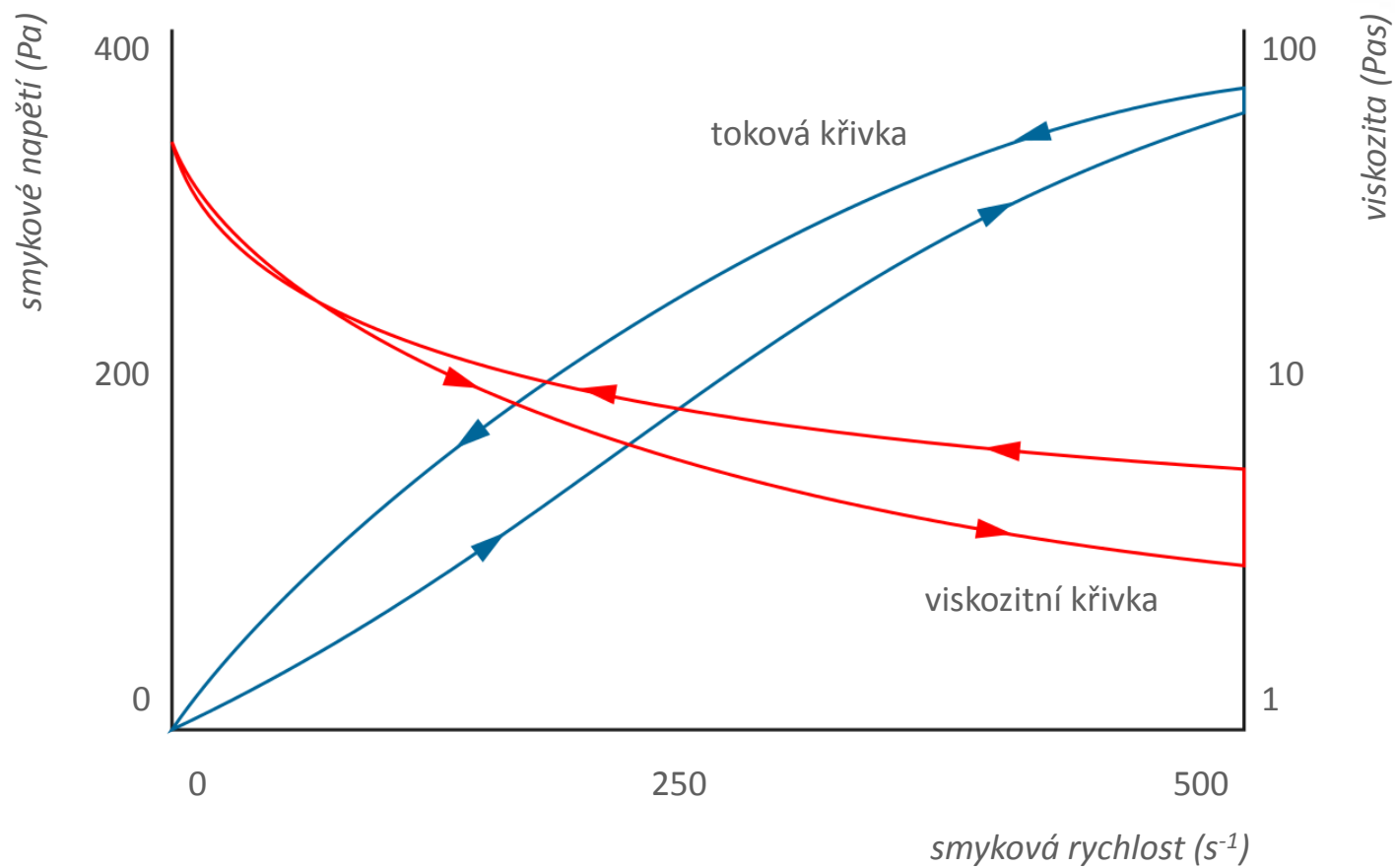


## DEFINICE

- nárůst viskozity v závislosti na čase při namáhání (houstnutí)



## TOKOVÉ CHOVÁNÍ



# REOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY

# CHARAKTERISTIKA

- vizuální test
- časová křivka (konst. smyková rychlost)
- CR toková křivka (rychlostní rampa)
- CS toková křivka (napěťová rampa)
- OSC stress sweep
- OSC frequency sweep
- creep + recovery
- speciální testy (teplotní závislost, tlaková závislost...)