

## REOLÓGIA

### DEFINÍCIA:

*Reológia* je vedný odbor, ktorý študuje vzťahy medzi napätiami a deformáciami látok. Je to teda špeciálna oblasť mechaniky, zahrňujúca klasické vedné disciplíny ako je elasticita a Newtonská fluidná mechanika a aplikuje ich pre materiály, ktoré nie je možné opísať teóriami klasických vedných disciplín.

Spája sa aj s odhadom predpokladaného správania sa látok na základe mikro alebo nano štruktúry, t.j. na základe veľkosti a tvaru molekúl polymérov v roztokoch alebo na základe rozloženia veľkosti častíc v suspenziách.

Tabuľka 1. Zaradenie reológie medzi vedné odbory.

Mechanika kotínua	Mechanika tuhých telies	Elasticita	REOLÓGIA
		Plasticita	
	Fluidná mechanika	Nenewtonské tekutiny	
		Newtonské tekutiny	

Reológia spája zdanlivo nesúvisiace oblasti plasticity a Nenewtonských kvapalín na základe zistenia, že oba typy materiálov sa pod vplyvom šmykových napätí trvalo deformujú. V tomto zmysle sú plastické telesá tekutiny. Ďalšie odvetvie reológie je reológia zrnitých materiálov, ktorá skúma prúdenie takýchto materiálov z hľadiska mechaniky kontínua.

Jedným z hlavných cieľov reológie je empiricky stanoviť vzťah medzi deformáciami a napätiami, respektíve ich odvodenie na základe odpovedajúcich meraní. Tieto výsledky potom formuluje do matematických vzťahov.

*Viskozita* je miera odporu kvapalín voči deformácii pod vplyvom šmykových síl. Opisuje vnútorný odpor tekutín a môže byť považovaná za mieru vnútorného trenia v tekutinách. Z molekulárneho pohľadu viskozita podáva informáciu o vzájomnej interakcii molekúl v systéme.

Viskozita plynov principiálne vyplýva z molekulárnej difúzie, ktoré prenáša hybnosť medzi hladinami v prúde. Viskozita plynov nezávisí na tlaku a vzrastá s narastajúcou teplotou.

Tabuľka 2. Dynamická viskozita niektorých plynov.

	Viskozita [Pa.s] (pri 0°C)
Vodík	$8,4 \times 10^{-6}$
Vzduch	$17,4 \times 10^{-6}$

Na viskozitu kvapalín majú výrazný vplyv medzimolekulárne sily. Viskozita je nezávislá na tlaku (okrem veľmi vysokých tlakov) a klesá ak narastá teplota kvapaliny.

Tabuľka 3. Dynamická viskozita niektorých kvapalín.

	Viskozita [Pa.s] (pri 25°C)
Etanol	$1,074 \times 10^{-3}$
Glycerol	$934 \times 10^{-3}$
Olivový olej	$81 \times 10^{-3}$
Smola	$2,3 \times 10^8$

*Reologické vlastnosti látok* sú vlastnosti látok, ktoré majú vplyv na zmenu tvaru a tok látok. Nazývajú sa tiež tokové vlastnosti.

*Reogram* je grafické znázornenie závislosti medzi šmykovými napätiami a rýchlosťou deformácie. Umožňuje určiť viskozitu danej tekutiny.

*Reometer* je experimentálne zariadenie umožňujúce merať reologické vlastnosti materiálov, teda kvantitatívne a kvalitatívne vzťahy medzi deformáciami a napätiami.

## VÝSKYT V PRÍRODE

V knihách základnej fyziky sú rozdelené všetky materiály do dvoch kategórií [3]. Prvé sú tuhé telesá, ktoré sú charakteristické tým, že si zachovávajú svoj tvar, pokiaľ na ne nepôsobia vonkajšie účinky, napr. sila alebo tlak.

Druhú skupinu tvoria látky tekuté, ktoré v sebe zahrňujú kvapaliny, plyny a pary. Sú charakteristické tým, že získajú tvar nádoby v ktorej sa nachádzajú, napr. kubická alebo valcová nádoba, alebo potrubie a pod.

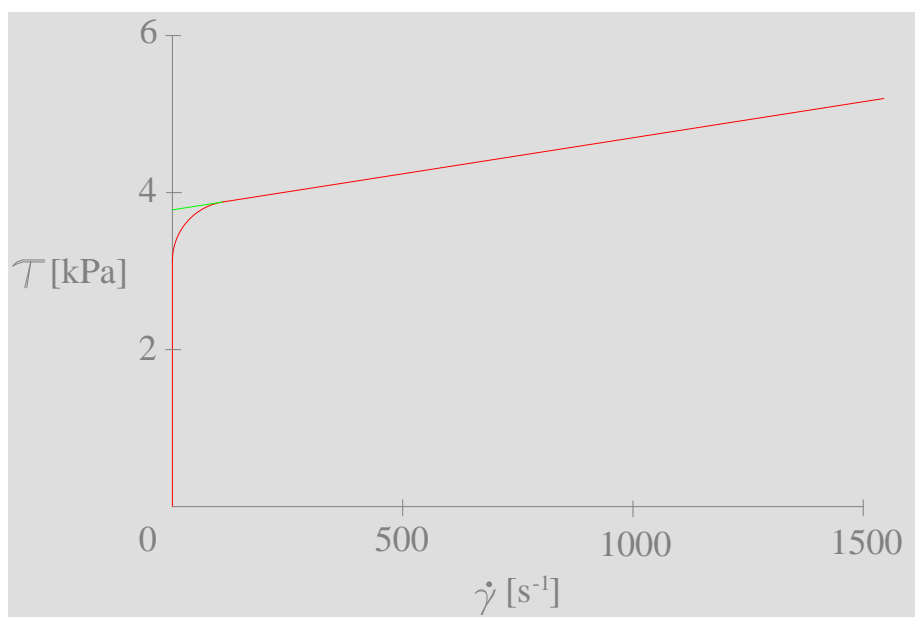
Tieto potom boli rozdelené do dvoch podskupín. Prvá obsahuje kvapaliny, ktorých hlavnou črtou je, že hoci boli bez tvaru, ich vnútorná kohezivita medzi štrukturálnymi prvkami bola dostatočná na to, aby udržala ich objem konštantný. Skupina plynov a pár je zasa typická tým, spontánne expanduje a zaberá objem akejkoľvek nádoby.

Je však evidentné, že je množstvo látok, ktoré nie je možné jednoznačne zaradiť ani do jednej z týchto skupín a majú vlastnosti spadajúce do oboch skupín.

*Plastické materiály* Je skupina materiálov, ktoré si udržiujú svoj tvar a správajú sa ako tuhé telesá napr. pod vplyvom ich vlastnej tiaže, ale sa ľahko deformujú pod vplyvom vonkajších síl.

*Viskoelastické materiály* Majú vlastnosti tuhých telies aj kvapalín. Zaujímavou látkou z tejto skupiny je tuk [3]. Môže to byť maslo, bravčová masť a pod. Tuky majú široký rozsah teploty topenia, približne 100°C. Pozostávajú zo zmesi samotných tukov a malého množstva aditív, zlepšujúcich ich využitie pre varenie. V prípade masla sú v tuku rozptýlené kvapky vody, o priemere niekoľko mikrometrov. Obyčajne je objem vody v masle do 15%. Maslo ďalej obsahuje malé množstvo (do 1 %) proteínov, povrchovo aktívne látky, ktoré zabezpečujú stabilizáciu emulzie.

Na reograme masla je veľmi dobre vidieť bod (medzu klzu), kedy maslo začína tiecť. Rozotieranie masla závisí na veľkosti šmykového pomeru, ale hlavne závisí na medzi klzu. Avšak je tu ďalšia dôležitá skutočnosť a to teplota, pri ktorej sa maslo rozotiera. Táto teplota má však väčší vplyv na medzu klzu ako na viskózný tok.

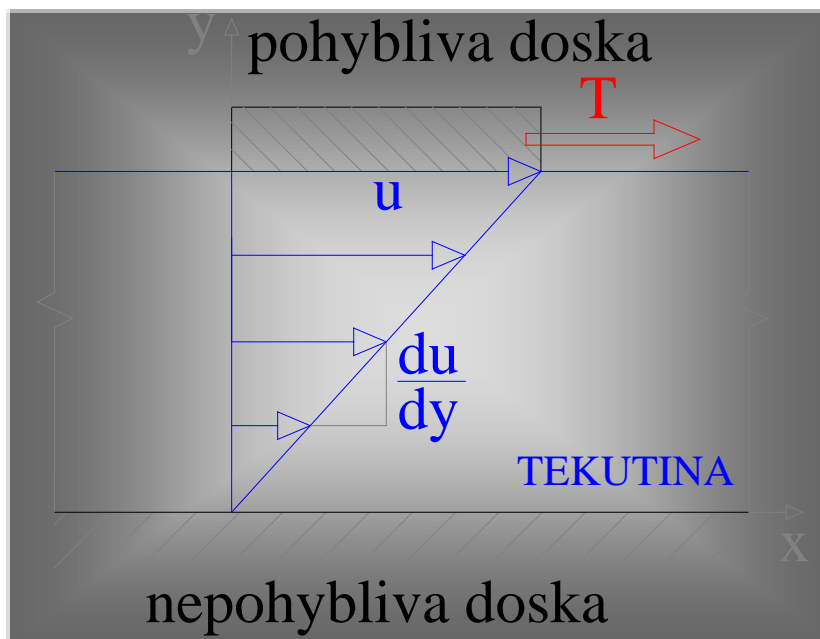


Obr. 1 Toková krivka pre maslo.

Do tejto skupiny patrí aj čokoláda. Môže sa nachádzať v tuhom aj tekutom stave a to v závislosti od jej teploty, pričom teplota jej topenia je ovplyvnená množstvom tuku v nej obsiahnutej. Tento tuk, kakaové maslo, je nezvyčajný tuk v tom zmysle, že sa topí rýchlo pri teplote okolo 32°C. Väčšina prírodných tukov má totiž určitý rozsah teploty topenia, ktorý predstavuje niekoľko stupňov. Čokoláda je pod teplotou topenia tuhá látka, nad teplotou topenia je tekutina. Vlastnosti čokolády sú ovplyvnené jej štruktúrou. V tekutom stave podobá kalu, teda obsahuje veľké množstvo tuhých častíc v suspenzii, pričom kvapalnú fázu tvorí tuk, ktorý je nad teplotou jeho topenia. Čokoláda pozostáva z troch hlavných zložiek a jej vlastnosti sa menia v závislosti od pomeru jednotlivých zložiek. Prvá zložka je kvapalný tuk, ktorý tvorí asi 30% objemových. Zbytok, 70% objemových, pozostáva z tuhých častíc cukru a kakaá. Tuhé častice kakaá sú vytvorené mletím kakaových zŕn. Okrem toho obsahuje malé množstvo aromatických a chuťových prísad, ako sušené mlieko, a prísady zlepšujúce jej vlastnosti, ako sú povrchovo aktívne látky, plastifikátory a pod.

### PRINCÍP PROCESU

Nech sa na vodorovnej doske nachádza tekutina a na nej je položená vodorovná doska. Ak sa vrchná doska bude ťahať po kvapaline rýchlosťou  $u$ , nameria sa sila  $T$  ktorá je potrebná na to aby sa doska uviedla do pohybu. Kvapalina pod tou doskou bude mať rýchlostný profil taký ako je zobrazené na nasledujúcom obrázku.



Obr. 2 Laminárny šmyk medzi dvomi rovinnými doskami.

Vrchné vrstvy kvapaliny sa budú pohybovať rýchlosťou takou istou rýchlosťou  $u$ , akou sa pohybuje doska. Šmyková sila medzi doskou o ploche  $S$  na povrchu kvapaliny a kvapalinou bude potom:

$$\tau = \frac{T}{S} \quad (1)$$

Vrstva kvapaliny, ktorá je v kontakte so spodnou, nepohyblivou doskou, bude mať nulovú rýchlosť a napätie medzi touto doskou a povrchom kvapaliny bude rovnaké ako je to v mieste kontaktu vrchnej dosky.

### Newtonov viskozitný zákon

Akákoľvek vrstva kvapaliny, nachádzajúca sa medzi týmito dvomi bude mať rýchlosť odpovedajúcu jej polohe medzi doskami a zároveň bude závisieť od dôležitej reologickej vlastnosti kvapaliny, ktorá sa nazýva viskozita.

Isaac Newton vytvoril postulát, ktorý hovorí, že pre priamy, paralelný a rovnomerný tok je šmykové napätie  $\tau$  medzi hladinami proporciálne rýchlostnému gradientu  $du/dy$ , v smere kolmom k hladinám, inými slovami k smeru relatívneho pohybu hladín.

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2)$$

Tento zápis hovorí, šmykové napätie v ľubovoľnej vrstve prúdiacej tekutiny, ktorá je od spodnej dosky vo vzdialenosti  $y$  je šmykové napätie nepriamo úmerne tejto vzdialenosti  $y$ , avšak priamo úmerné rýchlosti pohybu vrchnej dosky  $u$  a dynamickej viskozite  $\mu$ .

Vzťah je možné zapísať aj v tvare:

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (3)$$

Pričom nasledujúci výraz sa nazýva rýchlosť deformácie a označuje sa:

$$\dot{\gamma} \equiv \frac{du}{dy} \quad (4)$$

V tomto vzťahu(2) a (3) je viskozita  $\mu$  konštanta. Veľa tekutín spĺňa kritéria tejto rovnice a tieto sa nazývajú Newtonské tekutiny. Okrem nich existuje veľká skupina tekutín, ktoré nemajú viskozitu konštantnú a tieto tekutiny sa nazývajú Neneewtonské a pre vzťah medzi šmykovými napätiami a rýchlosťou deformácie nie je lineárny.

### Viskozita

Viskozita je látkovou vlastnosťou, závisí od teploty a od rýchlosti deformácie. Určuje sa experimentálne, s pomocou reometrov.

Vzhľadom na zložitosť správania sa rôznych tekutín, je zavedených niekoľko pojmov, týkajúcich sa viskozity

#### Dynamická viskozita $\mu$ [Pa.s]

Je to konštanta a charakterizuje Newtonské kvapaliny. Závisí od teploty tekutiny.

#### Kinematická viskozita $\nu$ [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>]

Je iným vyjadrením dynamickej viskozity. Vzťah medzi kinematickou a dynamickou viskozitou je prepojený cez hustotu tekutiny.

$$\mu = \rho \nu \quad (5)$$

#### Zdanlivá viskozita $\eta_z$ [Pa.s]

Vzťahuje sa na neneewtonské tekutiny, ktoré nemajú viskozitu konštantnú. Mení sa v závislosti od rýchlosti deformácie tekutiny, pričom teplota tekutiny je však konštantná. V reograme sa zakresluje priamkou, ktorá spája počiatok reogramu s príslušným bodom na krivke, odpovedajúcim danej rýchlosti deformácie (obr. 4). Jej hodnota potom odpovedá smernici uhla medzi osou  $x$  a danou priamkou.

$$\tau = \eta_z \frac{du}{dy} \quad (8)$$

$$\tau = \eta_z \dot{\gamma} \quad (9)$$

Zdanlivá viskozita možno určiť ako smernicu priamky spájajúcej daný bod reogramu so začiatkom (obr.4). Pre binghamské a pseudoplastické látky zdanlivá viskozita klesá s rastúcou rýchlosťou deformácie. Tieto látky sú teda pri vyšších rýchlostiach deformácie tekutejšie. zakresliť do reogramu

#### Plastická viskozita $\eta_p$ [Pa.s]

Je parameter, ktorý platí pre Binghamské látky. Jej hodnota konštantná ale platí len pre tekutinu, ktorej v ktorej šmykové napätia sú za medzou klzu  $\tau_0$  (obr. 4).

#### Koeficient konzistencie $K$ [Pa.s<sup>m</sup>]

Je parameter ktorý charakterizuje reologické vlastnosti tekutín, ktoré majú mocninový reologický model. Nie je konštanta, ale závisí od rýchlosti deformácie (obr. 4).

**ROZDELENIE**

Z pohľadu reológie sa kvapaliny rozdeľujú:

***NEWTONSKÉ***

Sú to tekutiny, v ktorých šmykové napätia sú lineárne úmerné rýchlosti deformácie v smere kolmom na rovinu šmyku. Ich viskozita je konštantná. Typickou tekutinou je voda.

***NENEWTONSKÉ***

Sú to tekutiny, ktorých viskozita sa mení s rýchlosťou deformácie. Preto nie je možné zdefinovať ich viskozitu ako konštantu, ale je to funkcia rýchlosti deformácie. Ich tokové vlastnosti opisuje reogram.

Delia sa na:

***Čisto viskózne kvapaliny***

Ich správanie možno opísať rovnicou \* Pri nulovej rýchlosti deformácie vykazujú vždy nulové napätie.

***Viskoplastické***

Sú to materiály, ktoré sa pri malom napätí správajú ako tuhé látky, ak vzrastie hodnota napätia na hodnotu, ktorá sa nazýva začiatočné napätie, potom sa takýto materiál správa ako kvapalina.

***Viskoelastické***

Sú to kvapaliny, ktoré majú pri prúde niektoré vlastnosti charakteristické pre viskózne a pre elastické materiály. Napätie v takýchto kvapalinách závisí od predchádzajúcej histórie ich namáhania. Pri náhlom skončení toku nenadobudne napätie okamžite nulovú hodnotu ako pri čiste viskóznej kvapaline, ani si nezachová svoju poslednú hodnotu ako pri čisto elastických materiáloch, ale bude sa postupne blížiť k nule ( nastane relaxácia napätia). Pri náhlom ukončení pôsobenia napätia (odľahčenie) nedôjde k okamžitému zastaveniu toku ako pri čisto viskózných kvapalinách, ani nepríde k úplnému návratu do pôvodného tvaru, ako je to pri čisto elastických látkach, ale dôjde iba k čiastočnému navráteniu deformácie (nastane retardácia deformácie).

***ČASOVO ZÁVISLÉ A NEZÁVISLÉ KVAPALINY***

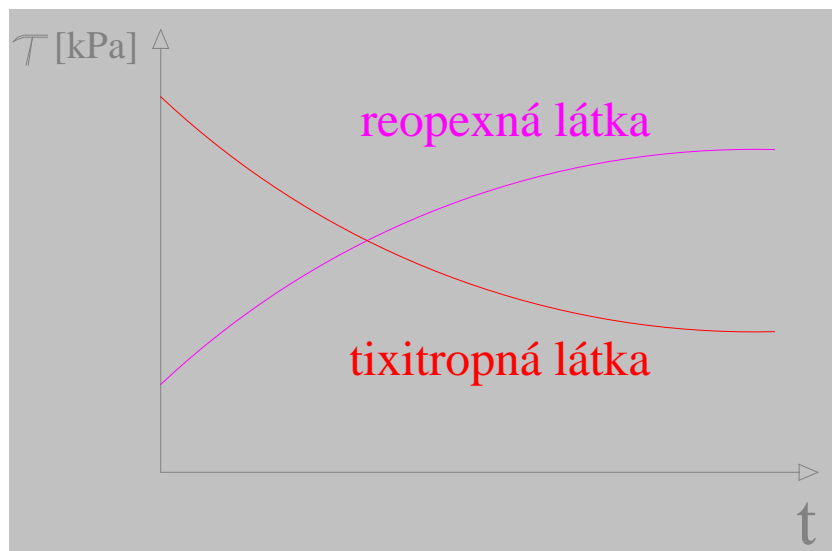
Medzi časovo nezávislé kvapaliny patria newtonské kvapaliny. Nenevtonské kvapaliny môžu byť aj časovo závislé aj nezávislé Viskozita časovo závislých kvapalín závisí nie len od rýchlosti deformácie, ale aj od času trvania deformácie.

***Tixotropné***

Ich zdanlivá viskozita klesá s rastúcim časom pôsobenia napätia (náterové látky, plastické omietky, Po určitom čase sa hodnota šmykového napätia ustáli.

***Reopexné***

Vykazujú rast zdanlivej viskozity s rastúcim časom pôsobenia šmykového napätia. Vyskytujú sa veľmi zriedkavo.



Obr. 3 Závislosť zmeny šmykového napätia od času pre časovo závislé tekutiny.

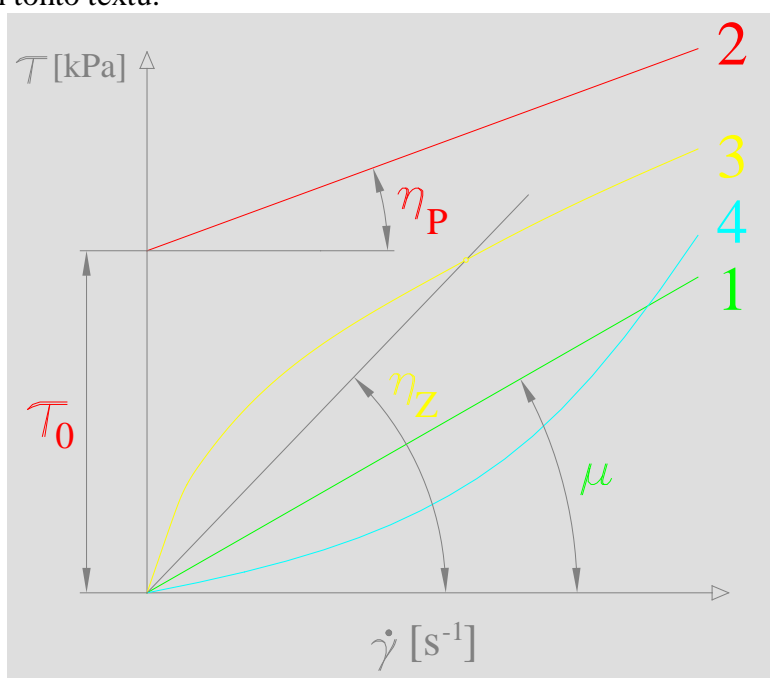
Tabuľka 4. Rozdelenie tekutín podľa reologických vlastností.

Typ tekutiny	Vlastnosti	Charakteristika	Príklady
PLASTICKÉ TUHÉ LÁTKY	Dokonale plastické	Trvalé deformácie bez vnútorných zbytkových vnútorných napätí	kovy ako zlato, meď, hliník
	Binghamské	Lineárna závislosť medzi šmykovými napätiami a rýchlosťou deformácie za hranicou šmykovej medze klzu.	blato, niektoré koloidné roztoky, pasty
	Pseudoplastické s medzou klzu	Pseudoplastické za hranicou šmykovej medze klzu	
	Dilatantné s medzou klzu	Dilatantné za hranicou šmykovej medze klzu	
MOCNINOVÉ TEKUTINY	Pseudoplastické	Zdanlivá viskozita klesá so zvyšujúcou sa rýchlosťou defromácie	koloidy, ily, mlieko, želatina, krv...
	Dilatantné	Zdanlivá viskozita narastá so zvyšujúcou sa rýchlosťou defromácie	koncentrované roztoky cukru vo vode, roztoky škrobu
VISKOELASTICKÉ	Maxwellov materiál	paralelná lineárna kombinácia elastických a viskózných javov	kovy, kompozitné materiály
	Oldroyd-B tekutina	Lineárna kombinácia Maxwellových a Newtonských vlastností	
	Kevinov materiál	Sériová lineárna kombinácia elastických a viskózných javov	bitumén, cesto, nylon, plastelína
	Neelastické	Materiál ostáva v novom tvare	

ČASOVO ZÁVISLÉ	Reopexné	Zdanlivá viskozita klesá s dobou, počas ktorej pôsobí napätie	niektoré mazadlá
	Tixotropné	Zdanlivá viskozita narastá s dobou, počas ktorej pôsobí napätie	niektoré farby, rajčinový kečup, med

### PRINCÍP VÝPOČTU

Reogramy sa využívajú pre určenie viskozity jednotlivých tekutín. Tieto hodnoty sa potom používajú vo vzťahoch pre výpočet hľadanej veličiny. Napr. tlak v potrubí potrebný pre nízkoviskóznou kvapalinu (voda) bude omnoho menší, ako tlak pre dopravu viskózne kvapaliny (napr. olej). Aplikácia reologických modelov alebo viskozity pre výpočet rôznych procesových parametrov nie je jednoduchá, práve naopak. Jedná sa o pomerne zložité výpočty, kde sa využívajú väčšinou emperické, alebo poloemperické vzťahy. Tieto postupy presahujú rozsah tohto textu.



Obr. 4 Reogram.

#### Konštitutívna rovnica pre newtonské nestlačiteľné kvapaliny

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2)$$

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (3)$$

$\mu$  newtonská dynamická viskozita, pri konštatnej teplote je to látková konštanta.

#### Konštitutívna rovnica pre neneutronské nestlačiteľné kvapaliny

##### Pseudoplastické a dilatantné tekutiny

Pre opis reologického správania sa pseudoplastických a dilatantných neneutronských tekutín sa používa mocninový model



$$\tau = K \dot{\gamma}^m \quad (6)$$

Kde  $K$  (Pa.s<sup>m</sup>) je koeficient konzistencie a  $m$  je bezrozmerný index toku

Pre zdanlivú viskozitu platí

$$\eta = K \dot{\gamma}^{m-1} \quad (7)$$

Ak  $m < 1$  zdanlivá viskozita s rastúcou šmykovou rýchlosťou klesá a mocninový model opisuje pseudoplastické vlastnosti tekutiny. Ak  $m > 1$  zdanlivá viskozita narastá a model opisuje vlastnosti dilatantých tekutín.

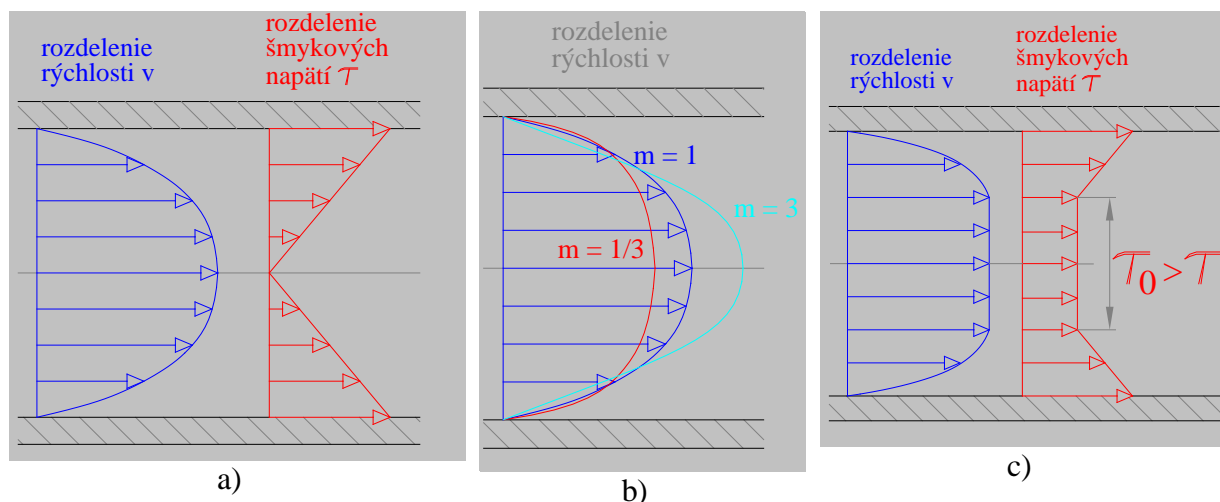
### Binghamské látky

Je to skupina materiálov, ktoré sa pri napätí nižšom ako je počiatkové správajú ako tuhý materiál a nad touto hodnotou zasa ako tekutina.

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (8)$$

Ak je teda  $\tau < \tau_0$  potom sa materiál správa ako tuhé teleso a je možné na neho aplikovať zákony platné v oblasti mechaniky tuhých telies. Ak je však splnená podmienka  $\tau > \tau_0$ , potom pre materiál platí rovnica (8), pričom  $\eta_p$  je plastická viskozita.

Pomocou reogramov je možné vypočítať rýchlostné profily prúdiacich tekutín, napr. v potrubíach, alebo po rovinných stenách, respektíve okolo telies rôzneho tvaru. Najjednoduchšie prípady sa týkajú prúdenia tekutín v kruhových potrubíach (obr. 5).



Obr.5 Rýchlostný profil laminárne prúdiacej a) newtonskej tekutiny , b) binghamskej tekutiny a c) tekutiny s mocninovým modelom v potrubí kruhového prierezu.

Rozdelenie šmykových napätí v priereze kruhového potrubia pri prúdení newtonskej tekutiny opisuje rovnica (2), alebo (3). Pri stene, vplyvom zmáčania povrchu rúrky samotnou kvapalinou, je rýchlosť jej prúdenia nulová. Preto je tu najväčší odpor a teda aj šmykové napätia dosahujú maximálne hodnoty. Keďže smerom k osi rúrky odpor klesá, klesajú aj šmykové napätia a narastá rýchlosť prúdenia. Maximálne hodnoty dosahuje v osi rúrky, kde

sú šmykové napätia nulové. Rýchlostný profil newtonskej tekutiny prúdiacej v smere osi rúrky má parabolický priebeh. Podobný tvar rýchlostných profilov je pri prúde nenenewtonských tekutín, ktorých reologické vlastnosti opisuje mocninový model (6). V závislosti od hodnoty indexu toku sa však mení tvar rýchlostného profilu. Čím je jeho hodnota vyššia tým je rýchlostný profil viac rozvinutý a rozdiel medzi rýchlosťou pri stene a v jadre väčší. Zložitejšia situácia nastane pri prúde binghamských tekutín. Z ich modelu (8), vyplýva, že takáto látka začne tiecť, ako náhle sa dosiahne jej medza klzu. Keďže šmykové napätie je najväčšie pri stene a od nej sa šíri smerom k osi rúrky a to tak že sa znižuje, môže pri prúde binghamských tekutín nastať jav, kedy v jadre prúdu sa vytvorí zóna, kde šmykové napätia budú menšie ako napätie na medzi klzu, teda  $\tau_0 > \tau$ . Vtedy rýchlostný profil získa tvar, aký je na obr. 5c. Smerom od steny bude narastať rýchlosť prúdenia tekutiny a šmykové napätia budú klesať až na hodnotu  $\tau_0$ . Za touto hodnotou sa už nebude meniť ani rýchlostný profil a ani rozloženie šmykových napätí.

Vplyv rýchlostných profilov na prúde tekutín, hlavne na tlakovú stratu, sa prejaví hlavne v tých miestach potrubí, kde sú ohyby, zúženia alebo iné prvky (ako ventil, a pod.): vplyvom zmeny smeru prúdenia alebo veľkosti prierezu sa musí zmeniť aj rozloženie rýchlosti v danom priereze. V takom prípade budú ľahšie tiecť tekutiny newtonské a nenenewtonské s mocninovým modelom. Problematické budú látky binghamské, kde oblasť tekutiny s  $\tau_0 > \tau$  bude ťažko prekonávať lokálne zmeny prierezu a bude potrebný väčší rozdiel tlakov medzi vstupným a výstupným prierezom potrubia na to, aby takáto látka tiekla.

## APARÁTY

Reometer slúži na štúdium toku a deformácií materiálov. Vzorka materiálu môže byť podrobená rôznym silám, deformáciám a tlakom. Väčšinou sa používajú priemyselne vyrábané reometre. Ich konštrukcia môže byť rôzna, pričom využívajú rôzne princípy šmykového namáhania látok. Môžu byť vyhrievané, čo umožňuje sledovať reologické vlastnosti látok v závislosti od teploty.



Obr. 6 Reometer firmy TA Instrument AR 1000.

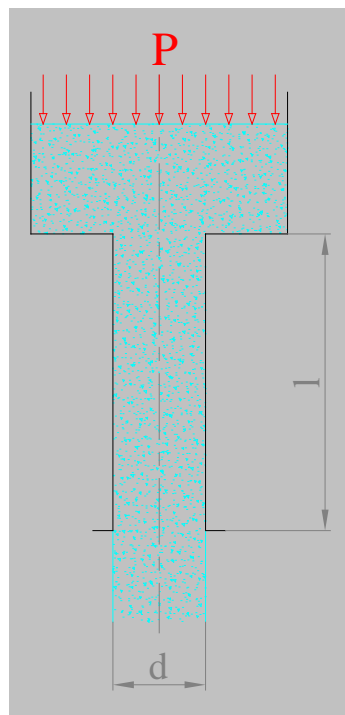


Obr. 7 Reometer firmy TA Instrument AR-G2.

Reometer TA Instruments AR-G2 využíva technológiu magnetických ložísk, ktorá zabezpečuje minimálne trenie, takže je možné merať veľmi malé krútiace momenty.

### *Kapilárny reometer*

Lapilárne reometre pozostávajú z vyhrievaného valca a piestu. Piest tlačí materiál cez dýzu, ktorej rozmery sa môžu meniť podľa reologických vlastností tekutiny. Používajú sa meranie viskozity kvapalín, tavenín polymérov, keramiky, farbív, potravín a pod.



*Obr. 8 Kapilárny reometer.*

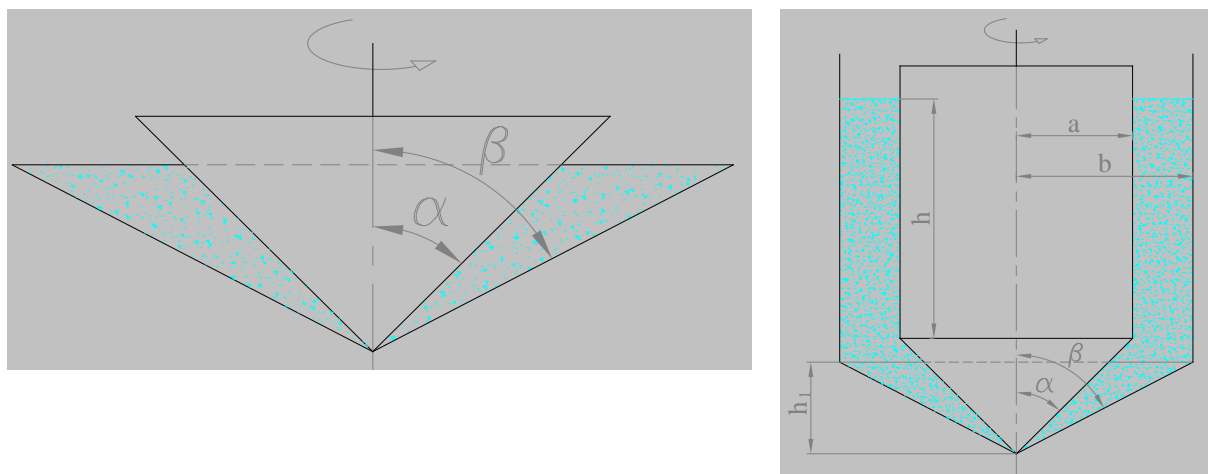
Reogram sa potom zostavuje na základe výpočtu z nameranej tlakovej straty v dýze s priemerom  $\phi d$  a dĺžkou  $l$ .

### *Reometre merajúce krútiaci moment*

Majú špeciálne motory, ktoré umožňujú merať krútiaci moment, potrebný na pohom rotačného člena viskozimetra (valec, kužel, ...) Okrem toho sa pre nameranie potrebných parametrov sledujú otáčky rotačného člena, teplota, tlak.

### *Kužel'ový*

Reometre majú jeden alebo obidva členy kužel'ového tvaru, pričom jeden je pevný a druhý sa otáča.

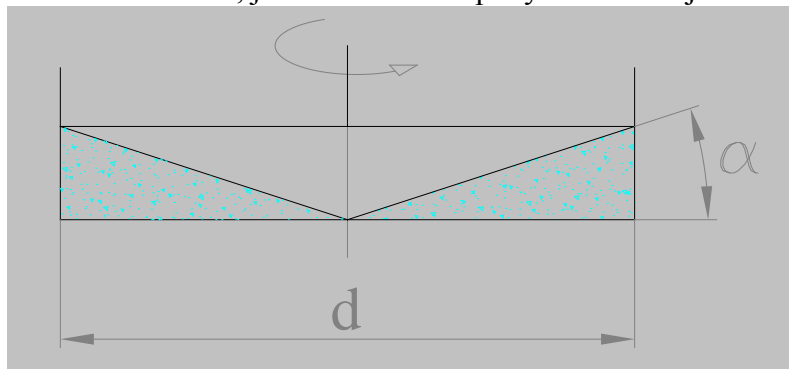


a)

b)

Obr. 9 Kuželový reometer. a) dvojkuželový reometer, b) kuželovo valcový reometer.

V prípade reometra doska – kužel, je rovná doska nepohyblivá a rotuje kužel.

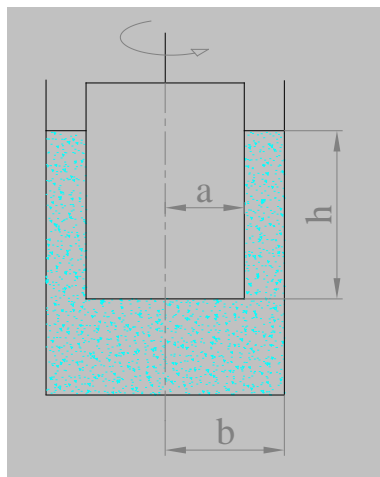


Obr. 10 Reometer kužel – rovná doska.

Reometer má motor ktorý poháňa kužel. Meria sa rýchlosť otáčania kužela a krútiaci moment potrebný na pohon kužela. Z týchto parametrov a geometrie kuželov sa určuje reogram.

### Valcový

Princíp činnosti je podobný ako pri kuželovom reometry. Miesto kuželov sa tekutina nachádza medzi dvomi valcami, z ktorých sa jeden otáča a meria sa krútiaci moment potrebný na pohon rotujúceho valca.



Obr. 11 Koaxiálny valcový reometer.

### PRIEMYSLÉNÉ APLIKÁCIE

Reológia má dôležité miesto v rôznych odvetviach bežného života. Napr. v medicíne má významné miesto reológia krvi. V geológii sa študuje dlhodobé tečenie pozemských materiálov.

V priemysle plastov má dôležité miesto pri vstrekaní roztavených plastov do foriem. Viskozita roztaveného palstu musí byť taká, aby pri danom vstrekovacom tlaku palst vyplnil všetky miesta, často veľmi komplikovaných tvarov foriem.

Významné miesto má pri návehu dopravných ciest – potrubí – pre doravu tekutín napr. v potravinárstve, kde sa práve vyskytuje široký sortiment tekutín s rozdielnymi viskozitami. Je zrejme, že iný tlak bude potrebný pre dopravu vody (ktorej viskozita je malá) a omnoho vyšší tlak bude potrebný napr. na dopravu horčice alebo džemu.

### ZOZNAM SYMBOLOV

$m$	- index toku	[-]
$t$	- čas	[s]
$u$	- rýchlosť	[m.s <sup>-1</sup> ]
$K$	- koeficient konzistencie	[Pa.s <sup>n</sup> ]
$S$	- plocha	[m <sup>2</sup> ]
$T$	- šmyková sila	[N]
$\dot{\gamma}$	- rýchlosť deformácie	[s <sup>-1</sup> ]
$\eta_P$	- plastická viskozita	[Pa.s]
$\eta_Z$	- Zdanlivá viskozita	[Pa.s]
$\mu$	- viskozita	[Pa.s]
$\nu$	- Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\rho$	- Hustota	[kg.m <sup>3</sup> ]
$\tau$	- šmykové napätie	[Pa]
$\tau_0$	- šmykové napätie na medzi klzu	[Pa]

LITERATÚRA

- [1] Vavro K., Peciar M.: Procesné strojnictvo I, STU v Bratislave, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 1998, ISBN 80-227-1030-X
- [2] Vavro K., Novák V., Rieger F.: Hydraulické pochody, SVŠT v Bratislave, Edičné stredisko SVŠT, Bratislava, 1983
- [3] Prentice J. H.: Measurements in the Rheology of Foodstuffs, Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 1984, ISBN 0-85334-248-2
- [4] Eirich F. R.: Rheology Theory and Applications, Academic Press, New York and London, 1960

PRÍKLADY

OTÁZKY NA SKÚŠKU

- 1. Definícia reológie, viskozity, rozdelenie tekutín z hľadiska reológie.
  - Viskozita, rýchlosť defomácie, šmykové napätia a ich vzájomný vzťah v reograme.
  - Laminárny šmyk medzi dvomi rovinnými doskami.
  - Konštitutívna rovnica pre newtonské nestlačiteľné kvapaliny
  - Konštitutívna rovnica pre nenewtonské nestlačiteľné kvapaliny
  - Princíp činnosti reometrov.