



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1**

Šablona: Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

Název: Kontrola a měření strojních zařízení

Téma: **Zkoušky technických kapalin – měření viskozity**

Autor: Ing. Smolek Jan

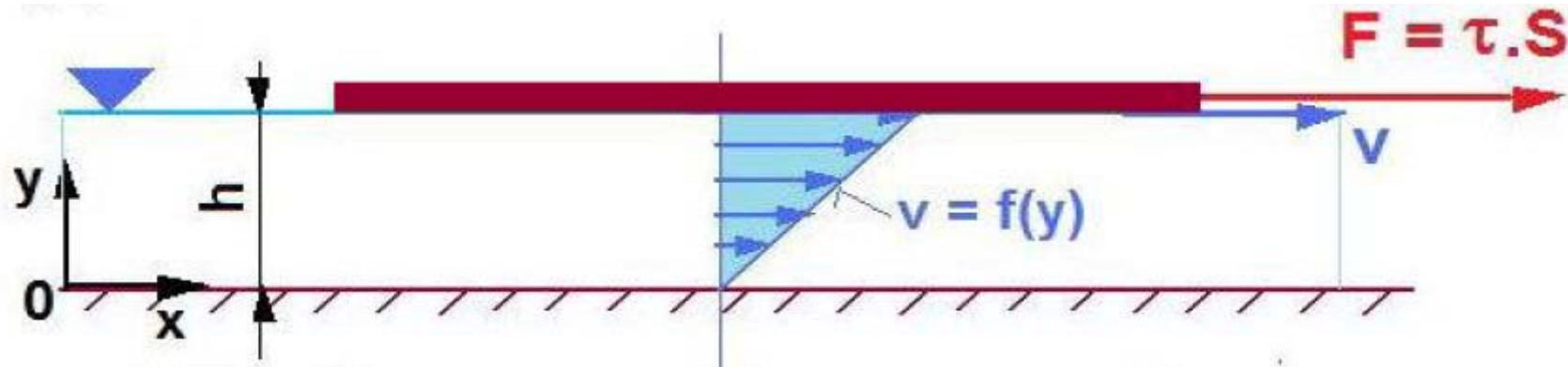
Číslo: VY\_32\_INOVACE\_24-02

Anotace: Prezentace slouží jako podpora k výkladu o podstatě a způsobech zjišťování viskozity kapalin v technické praxi.

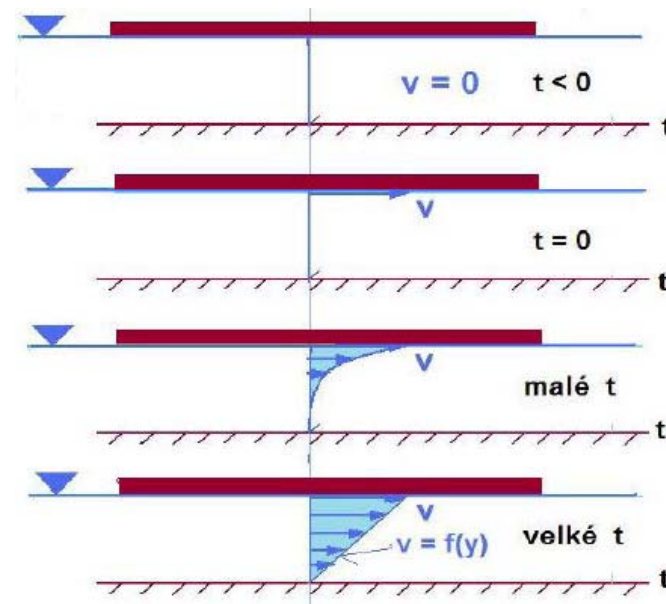
DUM je určen především pro čtvrté ročníky všech oborů středních průmyslových škol strojnických.

Materiál byl vytvořen v září 2012

# Vnitřní tření – Viskozita – Vazkost:



**Vznik smykového  
napětí v tekutině podle  
Newtona:**



## Viskozita dynamická $\eta$ :

- Viskozita laminárně proudící kapaliny, v níž gradientu rychlosti  $1 \text{ s}^{-1}$  napříč proudě odpovídá tečné napětí  $1 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$  (1Pa).

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

$$F = \tau \cdot S = \eta \frac{v}{h} S$$

$$\tau = \eta \frac{v}{h}$$

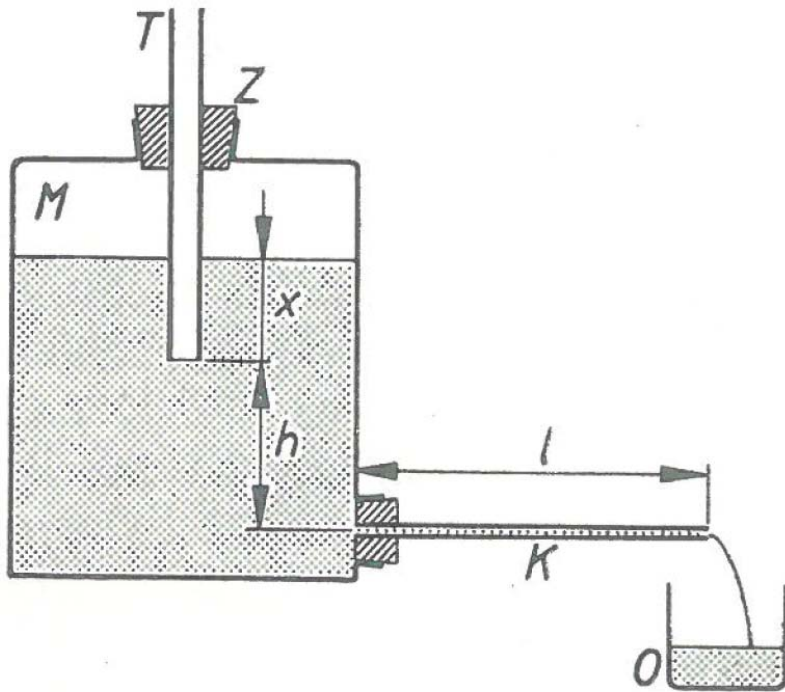
$$\Rightarrow \eta \text{ [N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$$

Násobte hodnotu z tabulky při převádění na tyto jednotky→  Veličina udaná v těchto jednotkách	$\text{g.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}$  <b>Poise</b>	$\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  <b>Pa.s</b>	$\text{lb}_m.\text{ft}^{-1}.\text{s}^{-1}$	$\text{lb}_f.\text{sec}.\text{ft}^{-2}$	centipoise	$\text{lb}_m.\text{ft}^{-1}.\text{hr}^{-1}$
$\text{g.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}$ <b>Poise</b>	1	$10^{-1}$	$6,7197.10^{-2}$	$2,0886.10^{-3}$	$10^2$	$2,4191.10^2$
$\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ <b>Pa.s</b>	10	10	$106,7197.10^{-1}$	$2,0886.10^{-2}$	$10^3$	$2,4171.10^3$
$\text{lb}_m.\text{ft}^{-1}.\text{s}^{-1}$	$1,4882.10$	1,4882	1	$3,1081.10^{-2}$	$1,4882.10^3$	3600
$\text{lb}_f.\text{sec}.\text{ft}^{-2}$	$4,788.10^2$	$4,788.10^1$	32,174	1	$4,788.10^4$	$1,1583.10^5$
centipoise	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$6,7197.10^{-4}$	$2,0886.10^{-5}$	1	2,4191
$\text{lb}_m.\text{ft}^{-1}.\text{hr}^{-1}$	$4,1338.10^{-3}$	$4,1338.10^{-4}$	$2,7778.10^{-4}$	$8,6336.10^{-6}$	$4,1338.10^{-1}$	1

## Jednotky dyn. Viskozity:

$760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 0,101325 \text{ MPa} = 14,69595 \text{ PSI}$   
 $1 \text{ cS} = 0,01 \text{ Stokes} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^{-6}$   
 $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$  ;  $1 \text{ atm} = 0,101325 \text{ MPa}$  ;  
 $1 \text{ atm} = 14,69595 \text{ PSI}$  ;  $1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$  sloupce

## Viskozita kinematická $\nu$ :



$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

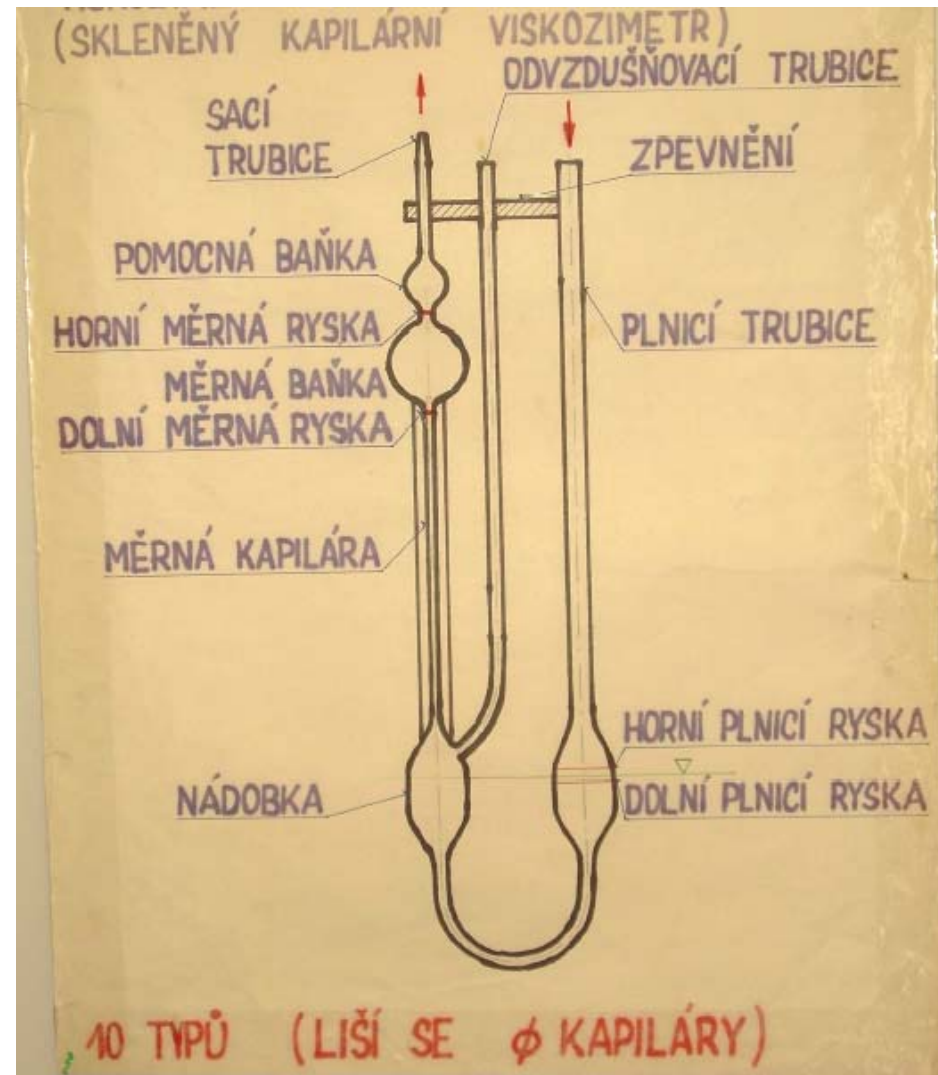
[?]

(Marioettova láhev s připojenou kapilárou):

## Měření viskozity:

- **Kapilární a výtokové viskozimetry:**
  - Ubbelohde
  - Englerův
- **Tělískové (bublínkové) viskozimetry:**
  - Höpplerův
  - Steinerův
  - Porovnávací
- **Nenewtonské kapaliny:**
  - Rotační viskozimetry
  - Vibrační viskozimetry
  - Relativní viskozita (konzistence) rozlivem;
- **Odhad viskozity plynů;**

# Viskozimetr Ubbelohde:



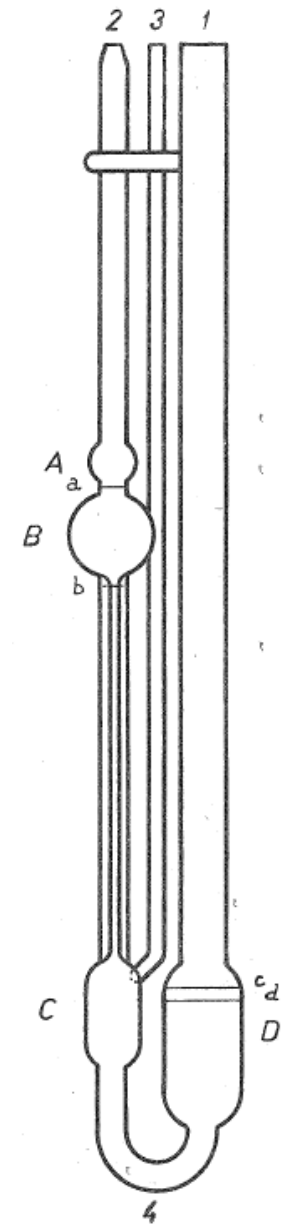
# Viskozimetr Ubbelohde:

$$\nu = A \cdot t - \frac{B}{t} \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

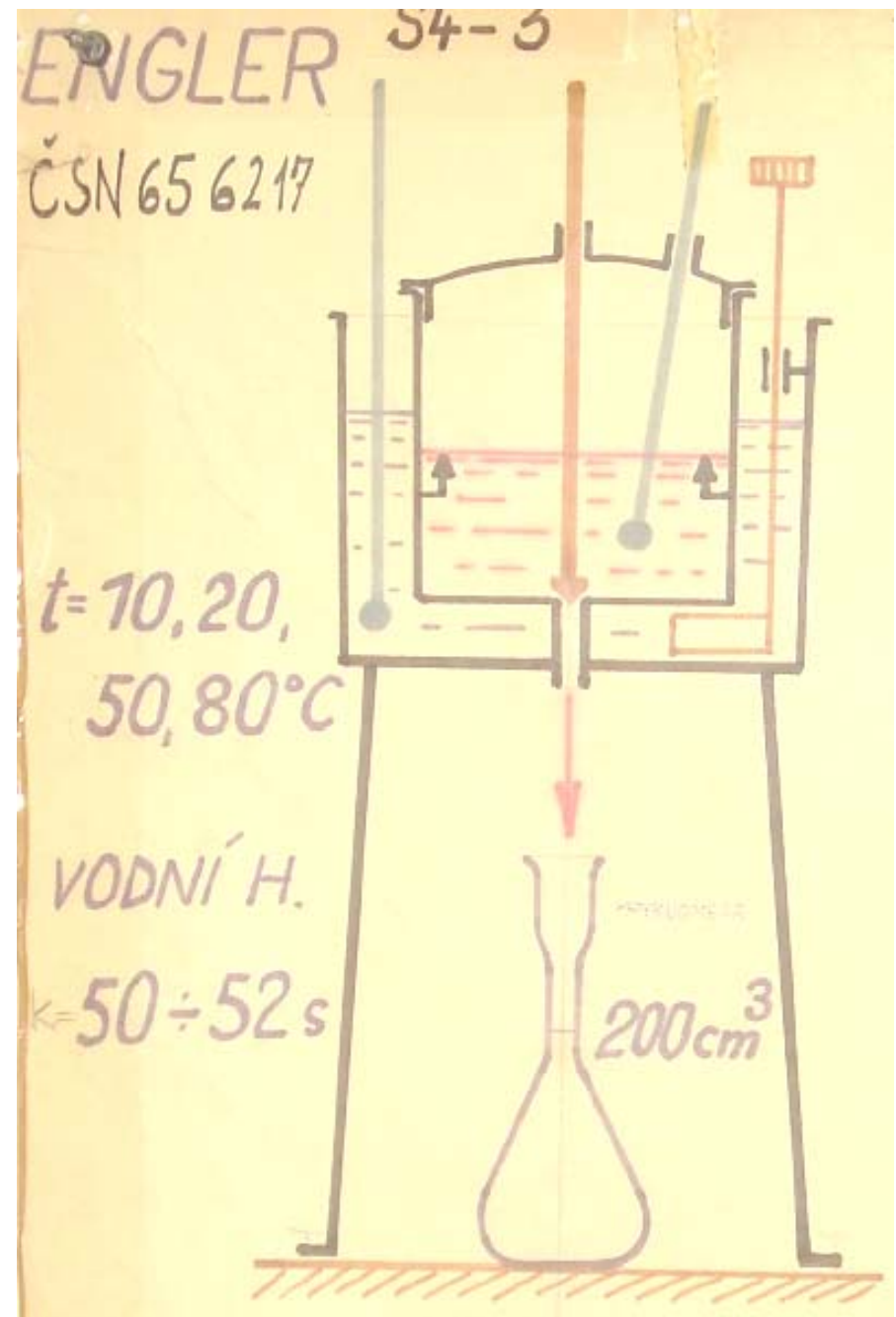
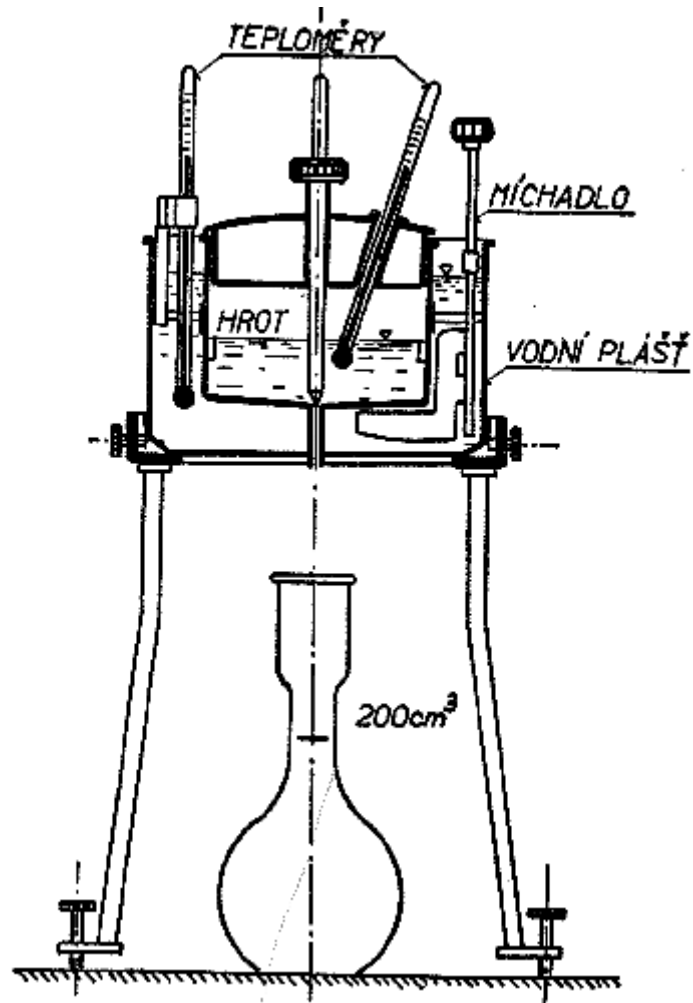
A - konstanta přístroje  
t - aritmetický průměr výtokových dob  
B - korekce na kinetickou energii

<b>ZKUŠEBNÍ LIST</b>	
pro viskozimetr UBBELOHDE, označený TS č. 70305	
Typové číslo přístroje:	U IIIa
Konstanta A stanovená při teplotě 20° C:	3,000 cSt/s $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
Průměr kapiláry:	2,645 mm
Přibližný rozsah měření:	600 - 3000 cSt $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Povolená minimální doba průtoku:	90 s
Konstanta B ke korekci na kinetickou energii určená z rozměrů přístroje:	2,8 cSt.s $\text{mm}^2$
Konstanta viskozimetru A byla stanovena podle ČSN č. 25 7910 ověřenou kalibrační kapalinou	
Druh normálu:	M 22
Kinematická viskozita normálu při 20° C:	1 572,08 cSt $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Aritmetický průměr změřených průtokových dob:	524,10 s

- Zkontrolujeme, zda v trubici 1 nádobce D byla hladina oleje mezi značkami plnění c - d.
- Ucpeme prstem trubici 3 a hadicí na konci trubky 2 nasajeme olej bez vzduchových bublin nad značku a, nejvýše však do poloviny baňky A.
- Potom uvolníme otvory trubice 2 a 3, olej necháme volně vytékat a změříme dobu průtoku, tj. dobu přechodu mezi značkami a - b.



# Viskozimetr Englerův:



# Englerův viskozimetr:

- Naplníme viskozimetr olejem (při uzavřeném výtokovém otvoru) do výšky hrotů.
- Postavíme pod výtokovou trysku otevřený pyknometr (200 ccm).
- Stopkami měříme čas  $t''$  (s) potřebný k výtoku 200 cm<sup>3</sup> oleje.
- Zapišeme teplotu, při které byla viskozita měřena.
- Vypočítáme viskozitu zkoušeného oleje ve °E ze vztahu

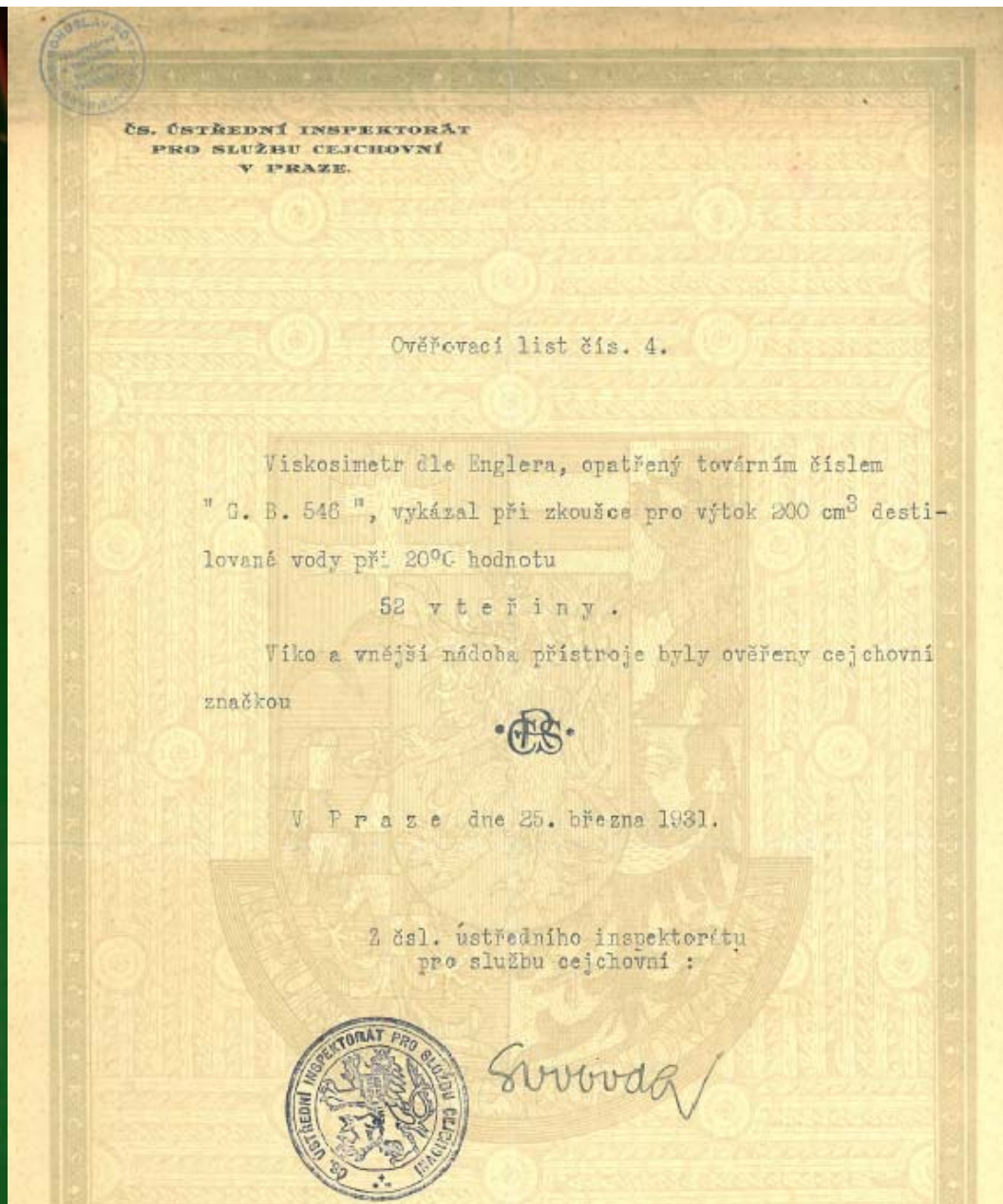
$$\nu = \frac{t''}{K} \quad [^{\circ}\text{E} / t^{\circ}\text{C}]$$

K = vodní hodnota viskozimetru [ 50,8 s ]

$t''$  = čas potřebný k výtoku oleje

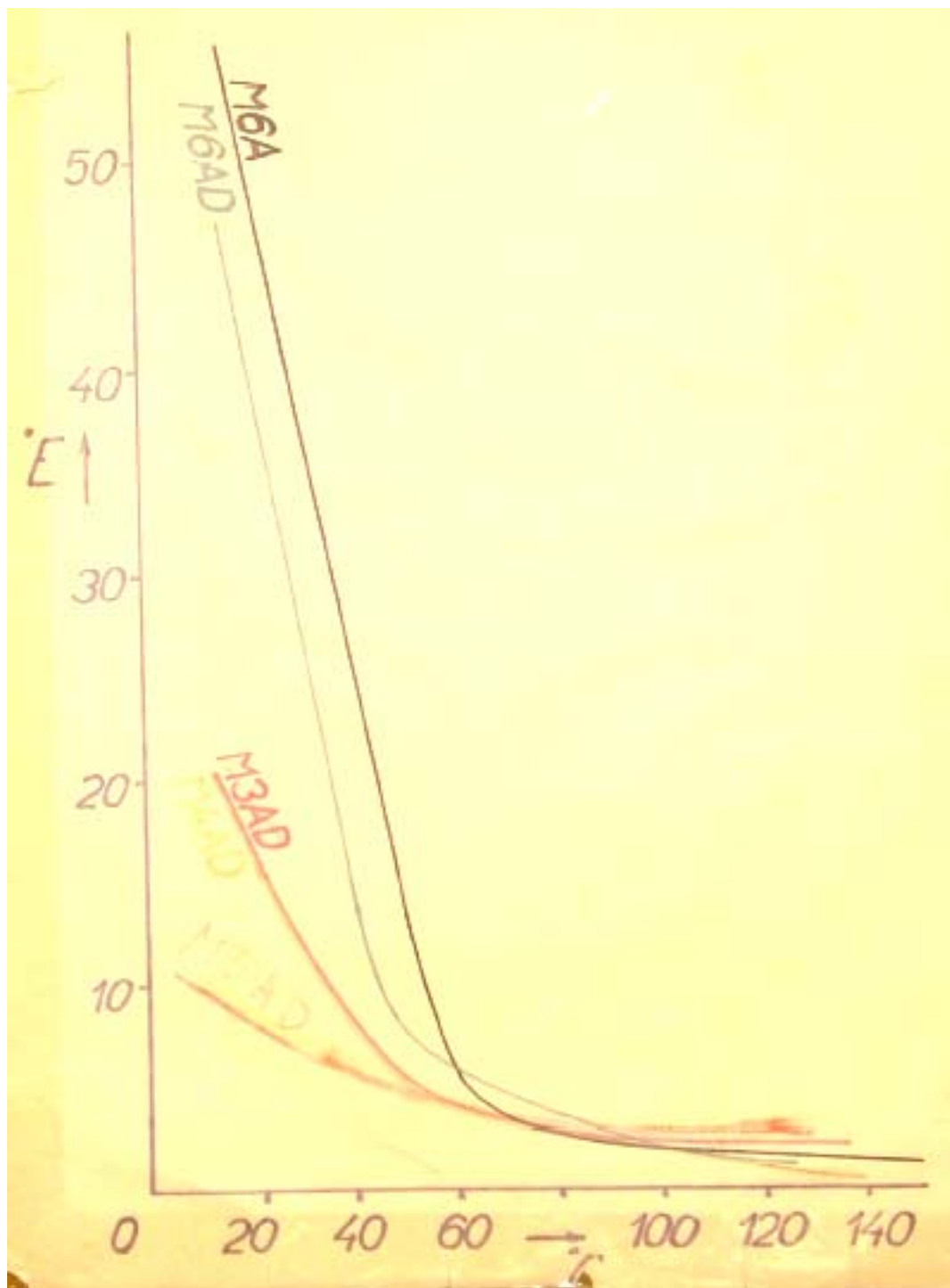
$t^{\circ}\text{C}$  = teplota oleje





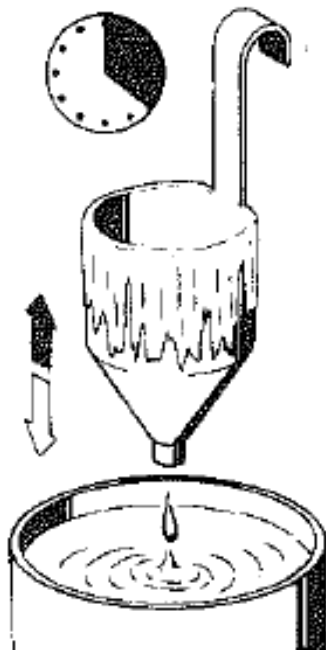
**Historický viskozimetr podle Englera s ověřovacím listem:**

## Závislost viskozity motorového oleje na teplotě:

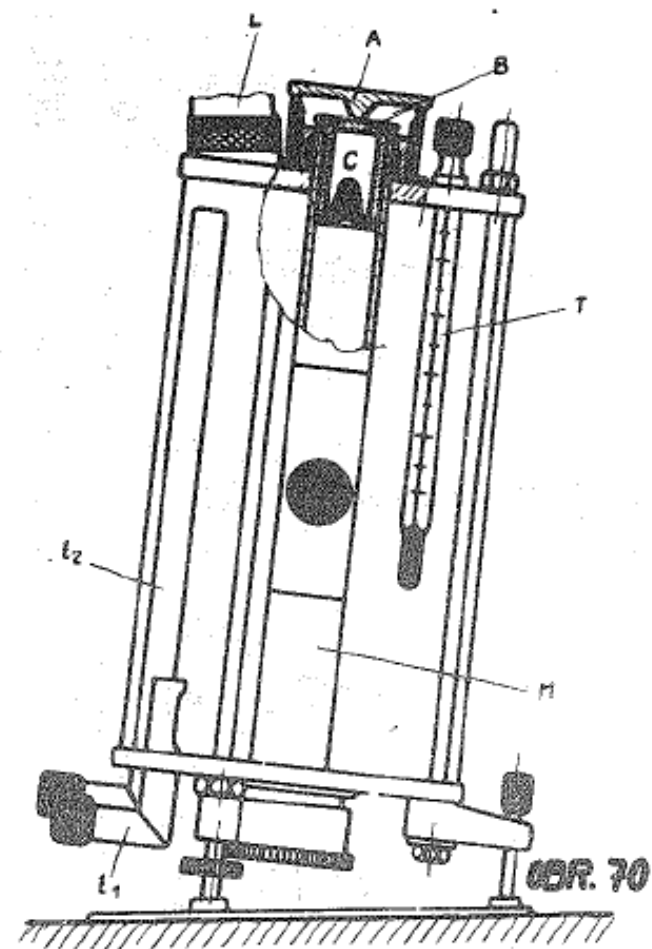
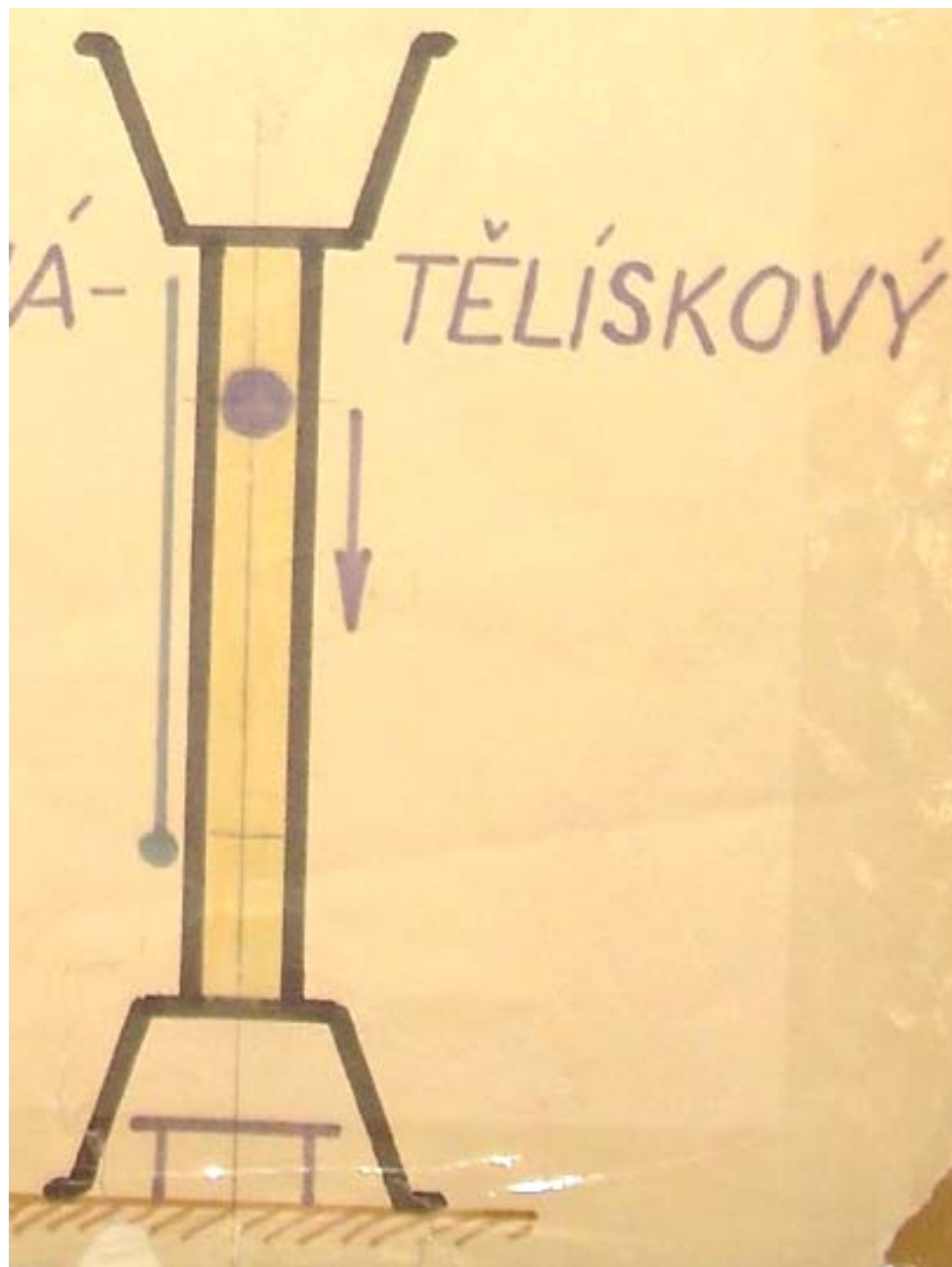


## Viskoměrný pohárek pro stříkací pistole:

Material	Viscosity DIN-s	Viscosity DIN-s	Viscosity DIN-s
Resin primers	20 – 30	20 – 30	15 – 20
Resin lacquers	20 – 30	20 – 30	15 – 25
Acrylic lacquers	20 – undiluted	max. 60	20 – 25
Radiator paints	25 – 35	25 – 35	—
Timber impregnating agents	undiluted	undiluted	undiluted
Hammer finish paints	25 – 35	25 – 35	—
Aluminium paints	20 – 30	20 – 30	15 – 25
Underbody protection (wax and bitumen base)	max. 80 – 100	—	—
Cavity sealing fluid	undiluted	undiluted	—
Automobile paints	18 – 22	18 – 22	—
Plastic emulsions	not measurable approx. 10 – 20 % dilution	—	—
Latex paints	not measurable approx. 5 – 20 % dilution	—	—



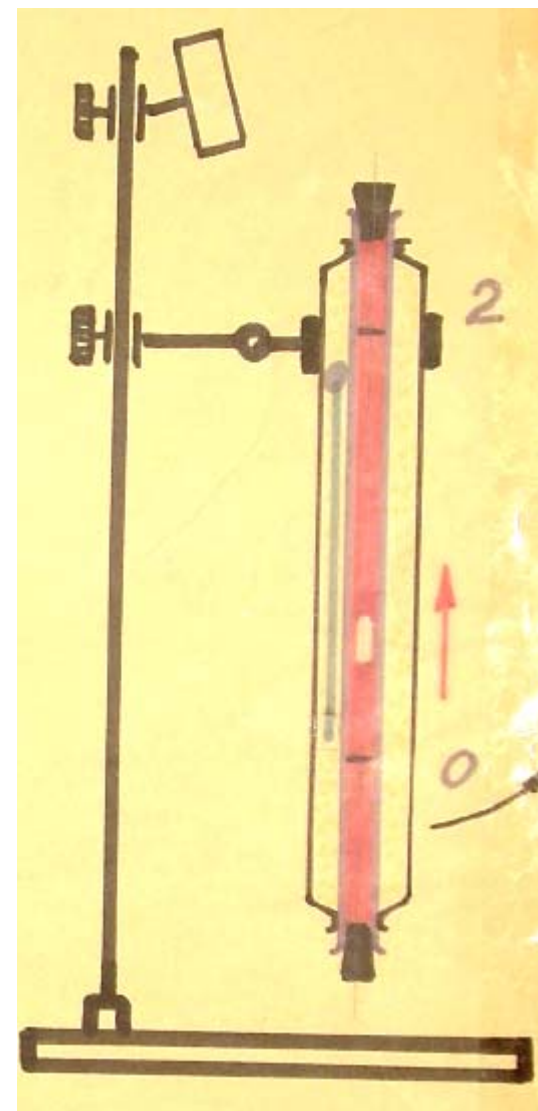
## Viskozimetr tělískový:

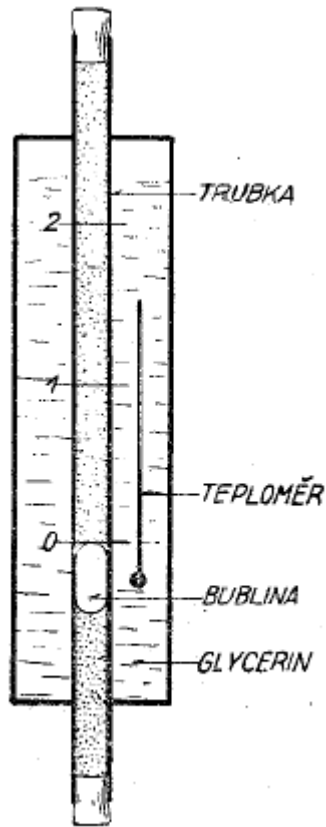


# Höplerův tělískový viskozimetr:



## Steinerův viskozimetr:





Pro časy nad 100 sekund se odečte z naměřeného času 100, zbytek se vynásobí číslem 0,630 a připočítá se k 64,6.

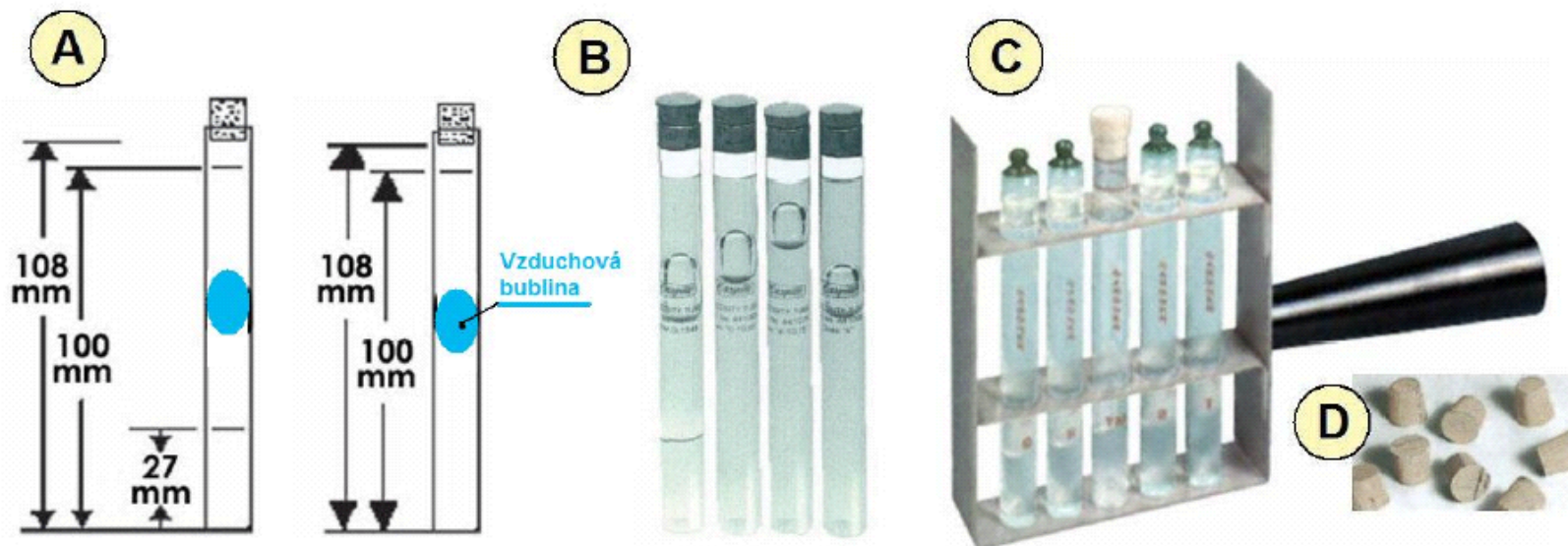
Příklad:

$$\begin{aligned}
 &176,2 \text{ s (naměřený čas)} \\
 &176,2 - 100 = 76,2 \\
 &76,2 \times 0,630 = 48,0 \\
 &48,0 + 64,6 = 112,6 \text{ } ^\circ\text{E}
 \end{aligned}$$

t''	°E	t''	°E	t''	°E	t''	°E	t''	°E
3,0	1,78	11,6	8,10	20,2	13,89	34,5	23,09	63,0	41,3
3,2	1,94	11,8	8,24	20,4	14,02	35,0	23,42	64,0	41,9
3,4	2,11	12,0	8,37	20,6	14,15	35,5	23,74	65,0	42,5
3,6	2,27	12,2	8,50	20,8	14,28	36,0	24,07	66,0	43,1
3,8	2,43	12,4	8,64	21,0	14,41	36,5	24,38	67,0	43,8
4,0	2,59	12,6	7,77	21,2	14,53	37,0	24,71	68,0	44,4
4,2	2,75	12,8	8,91	21,4	14,66	37,5	25,03	69,0	45,0
4,4	2,91	13,0	9,04	21,6	14,79	38,0	25,36	70,0	45,7
4,6	3,07	13,2	9,17	21,8	14,92	38,5	25,67	71,0	46,3
4,8	3,23	13,4	9,31	22,0	15,05	39,0	26,00	72,0	46,9
5,0	3,40	13,6	9,44	22,2	15,18	39,5	26,32	73,0	47,6
5,2	3,55	13,8	9,58	22,4	15,31	40,0	26,60	74,0	48,2
5,4	3,70	14,0	9,71	22,6	15,44	40,5	26,95	75,0	48,8
5,6	3,85	14,2	9,84	22,8	15,56	41,0	27,30	76,0	49,4
5,8	4,00	14,4	9,98	23,0	15,69	41,5	27,5	77,0	50,1
6,0	4,15	14,6	10,11	23,2	15,82	42,0	27,9	78,0	50,7
6,2	4,30	14,8	10,25	23,4	15,95	42,5	28,2	79,0	51,3
6,4	4,45	15,0	10,38	23,6	16,08	43,0	28,6	80,0	52,0
6,6	4,60	15,2	10,51	23,8	16,21	43,5	28,8	81,0	52,6
6,8	4,75	15,4	10,65	24,0	16,34	44,0	29,3	82,0	53,2
7,0	4,90	15,6	10,78	24,2	16,47	44,5	29,5	83,0	53,9
7,2	5,05	15,8	10,92	24,4	16,60	45,0	29,9	84,0	54,5
7,4	5,20	16,0	11,05	24,6	16,73	45,5	30,1	85,0	55,1
7,6	5,34	16,2	11,18	24,8	16,85	46,0	30,5	86,0	55,7
7,8	5,49	16,4	11,32	25,0	16,98	46,5	30,8	87,0	56,4
8,0	5,64	16,6	11,45	25,5	17,31	47,0	31,2	88,0	57,0
8,2	5,78	16,8	11,59	26,0	17,63	47,5	31,4	89,0	57,6
8,4	5,92	17,0	11,72	26,5	17,95	48,0	31,8	90,0	58,3
8,6	6,05	17,2	11,85	27,0	18,27	48,5	32,1	91,0	58,9
8,8	6,19	17,4	11,99	27,5	18,60	49,0	32,5	92,0	59,5
9,0	6,34	17,6	12,12	28,0	18,92	50,0	33,1	93,0	60,2
9,2	6,48	17,8	12,26	28,5	19,24	51,0	33,7	94,0	60,8
9,4	6,62	18,0	12,39	29,0	19,57	52,0	34,3	95,0	61,4
9,6	6,75	18,2	12,52	29,5	19,89	53,0	34,9	96,0	62,0
9,8	6,89	18,4	12,66	30,0	20,20	54,0	35,6	97,0	62,7
10,0	7,03	18,6	12,79	30,5	20,51	55,0	36,2	98,0	63,3
10,2	7,16	18,8	12,93	31,0	20,84	56,0	36,8	99,0	63,9
10,4	7,30	19,0	13,06	31,5	21,16	57,0	37,5	100,0	64,6
10,6	7,43	19,2	13,19	32,0	21,49	58,0	38,1		
10,8	7,57	19,4	13,33	32,5	21,80	59,0	38,7		
11,0	7,70	19,6	13,46	33,0	22,13	60,0	39,4		
11,2	7,83	19,8	13,60	33,5	22,45	61,0	40,0		
11,4	7,97	20,0	13,76	34,0	22,78	62,0	40,6		

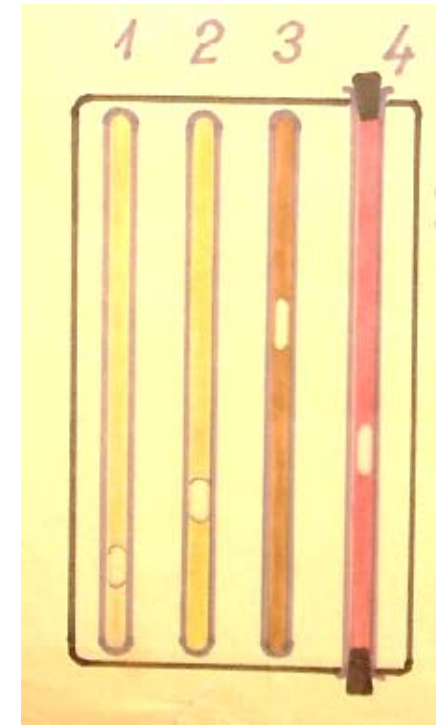
## Viskozimetr Steinerův - tab.:

## Viskozimetry porovnávací bublinkové:





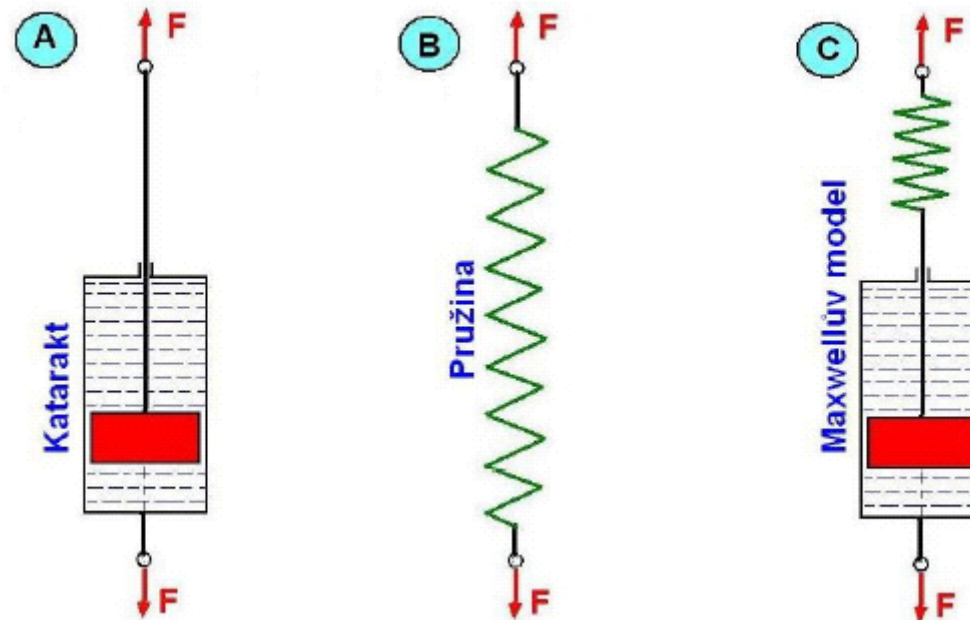
## Bublínkový porovnávací viskozimetr na motorový olej:



- a) Nepoužitý olej - bublina se pohybuje pomaleji, nebo stejně rychle jako v trubici 1 .
- b) Použitý olej - (nižší viskozita) bublina se pohybuje pomaleji nebo stejně rychle jako v trubici 2 .
- c) Vysloužilý olej - (vyjetý) velmi nízká viskozita. Bublina se pohybuje o něco pomaleji nebo stejně rychle jako v trubici 3 . Olej nutno v nejbližší době vyměnit.
- e) Byla zmeškána výměna oleje - zvýšené opotřebení!! Bublina se pohybuje rychleji, než v trubici 3 .

Bublínky necháme vystoupat nahoru, potom otočíme a porovnáваме rychlost bublinek směrem vzhůru. Nejlepší olej má nejmenší rychlost bublinek,

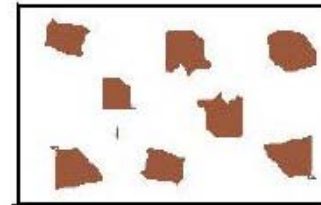
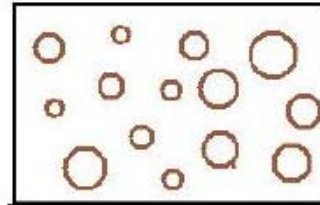
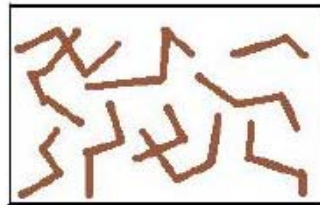
**Studiem vztahů mezi smykovým napětím,  
deformací nebo rychlostí deformace se  
zabývá tzv. Reologie.**



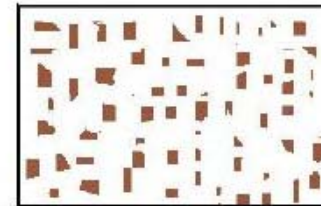
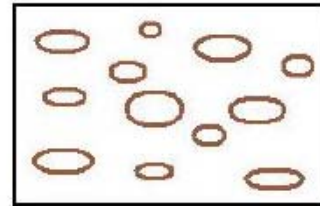
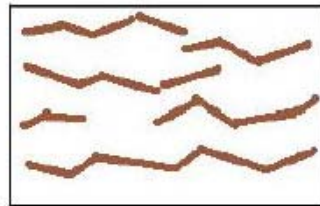
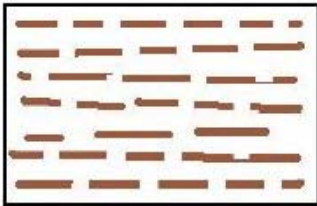
- A) čistě viskozní kapalina,
- B) elastická látka,
- C) viskoelestická látka-Maxwellův model

## Nenewtonské kapaliny:

### Kapalina v klidu



### Kapalina v pohybu



orientace

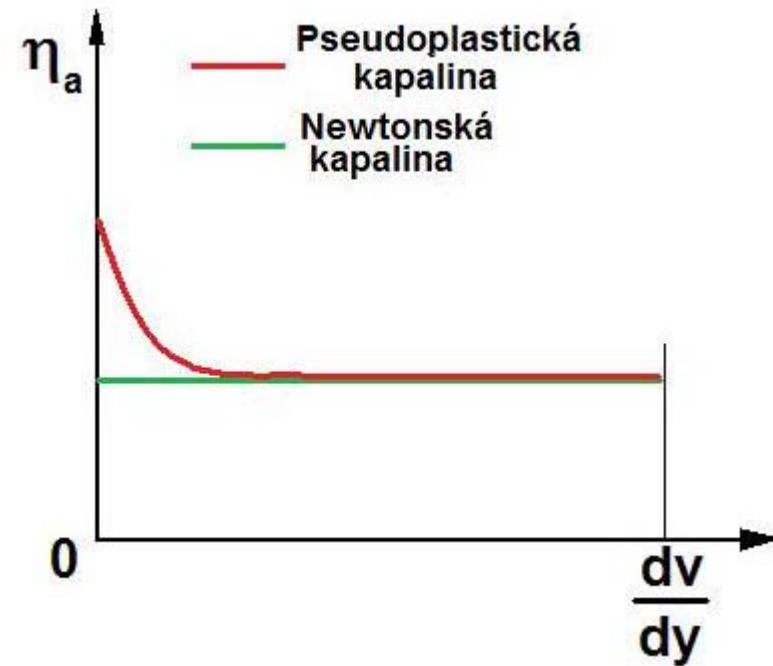
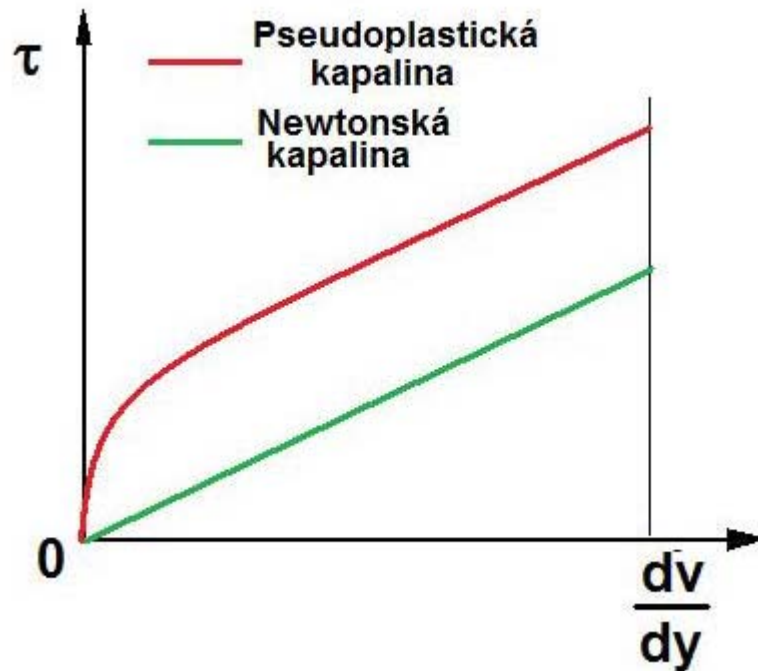
napřímení

deformace

rozmělnění

- Tzv. zdánlivá viskozita  $\eta_a$  nenewtonských kapalin není látkovým parametrem, ale je veličinou proměnnou (mění se s napětím  $\tau$ );

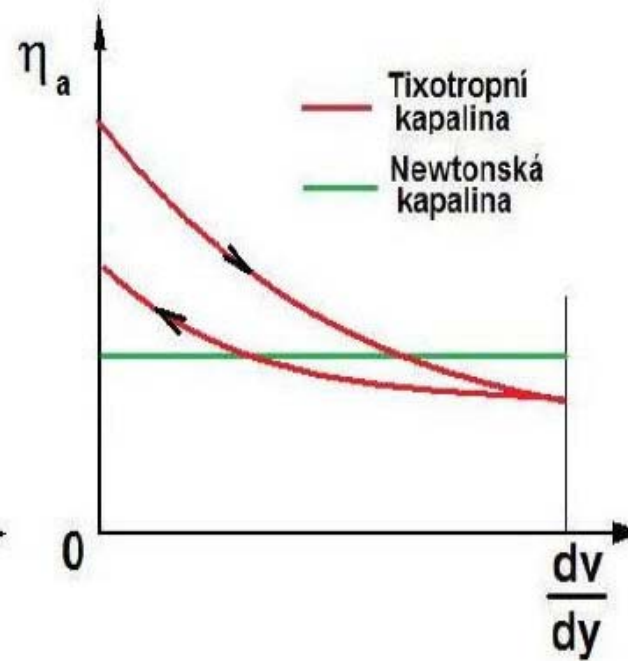
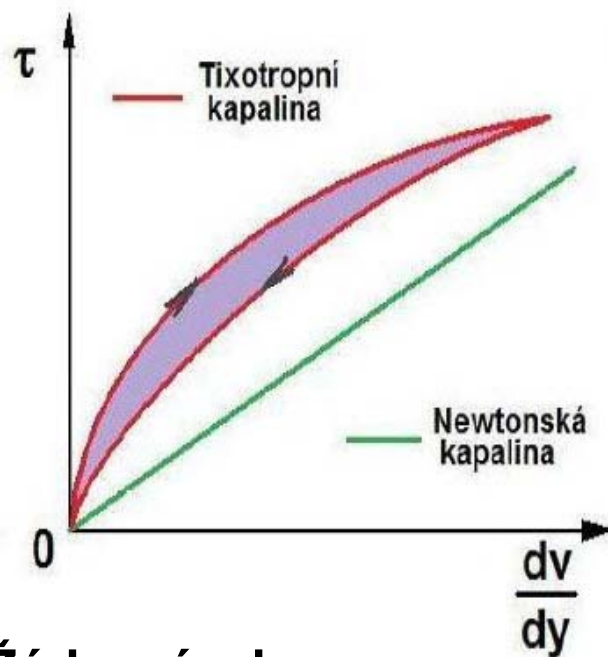
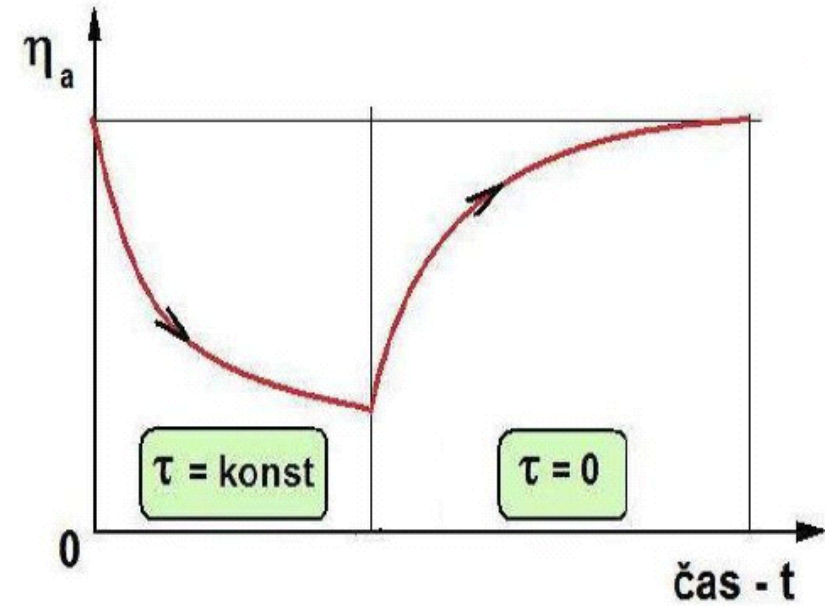
## Pseudoplastické (řidnoucí) kapaliny:



- suspenze nesouměrných částic, některé koloidní roztoky, kaly, pasty, taveniny a roztoky polymerů, celulózové deriváty, kaučuky, latexy, barvy, mazadla, suspenze papíru apod.

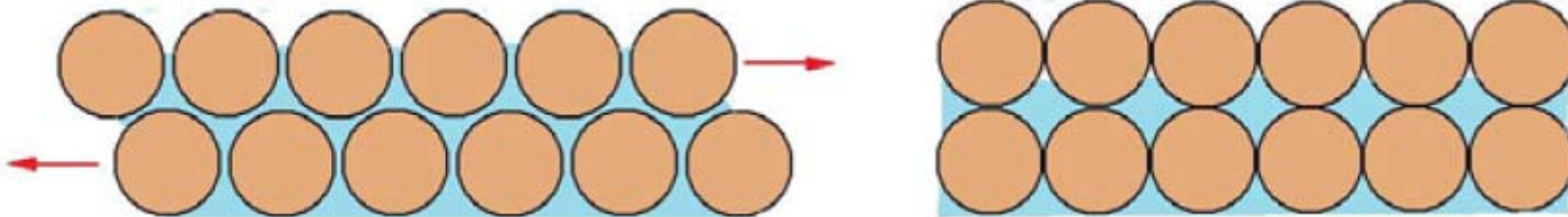
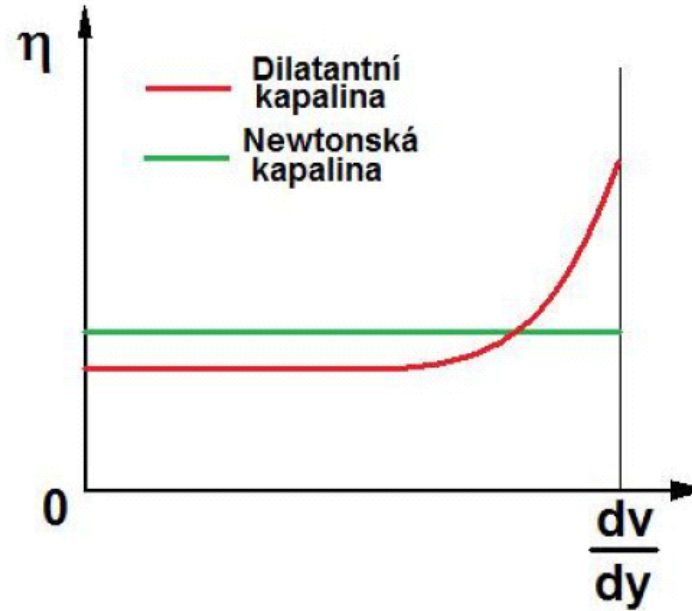
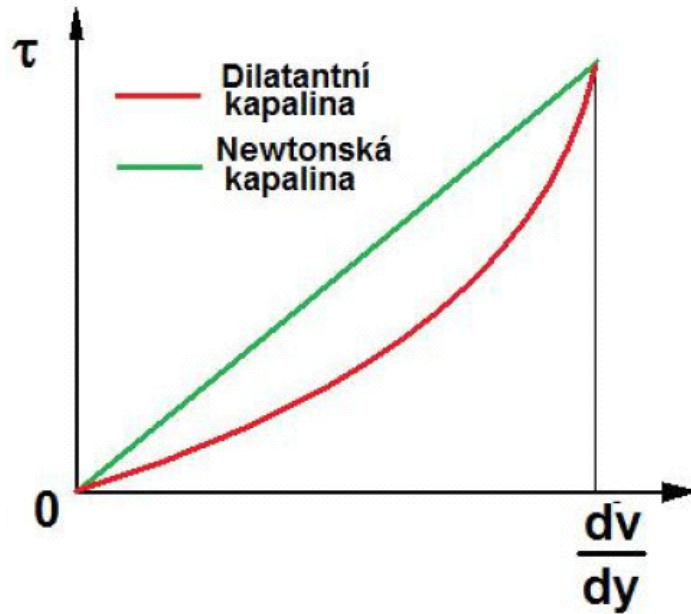
# Tixotropní kapalina:

(postupně řidnoucí  
(mícháním třepáním...))



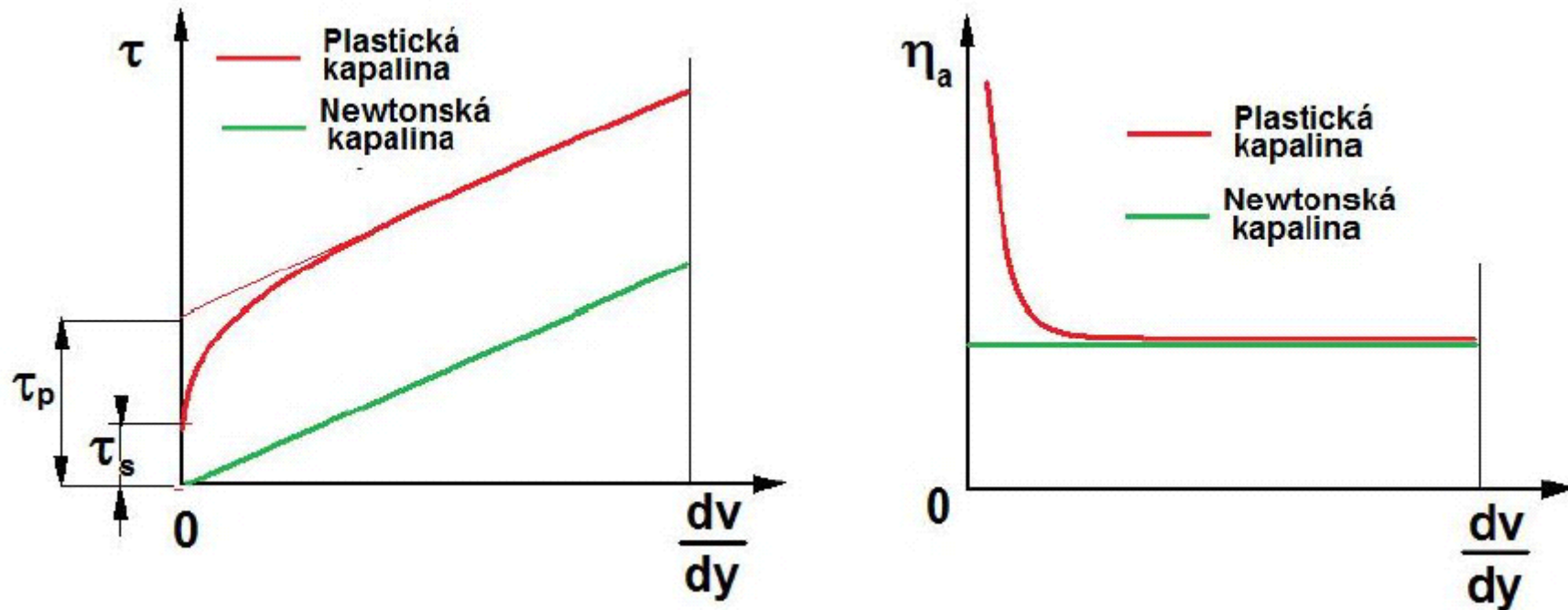
Žádoucí u barev.

# Dilatantní kapalina: („houstnoucí“ kapaliny)



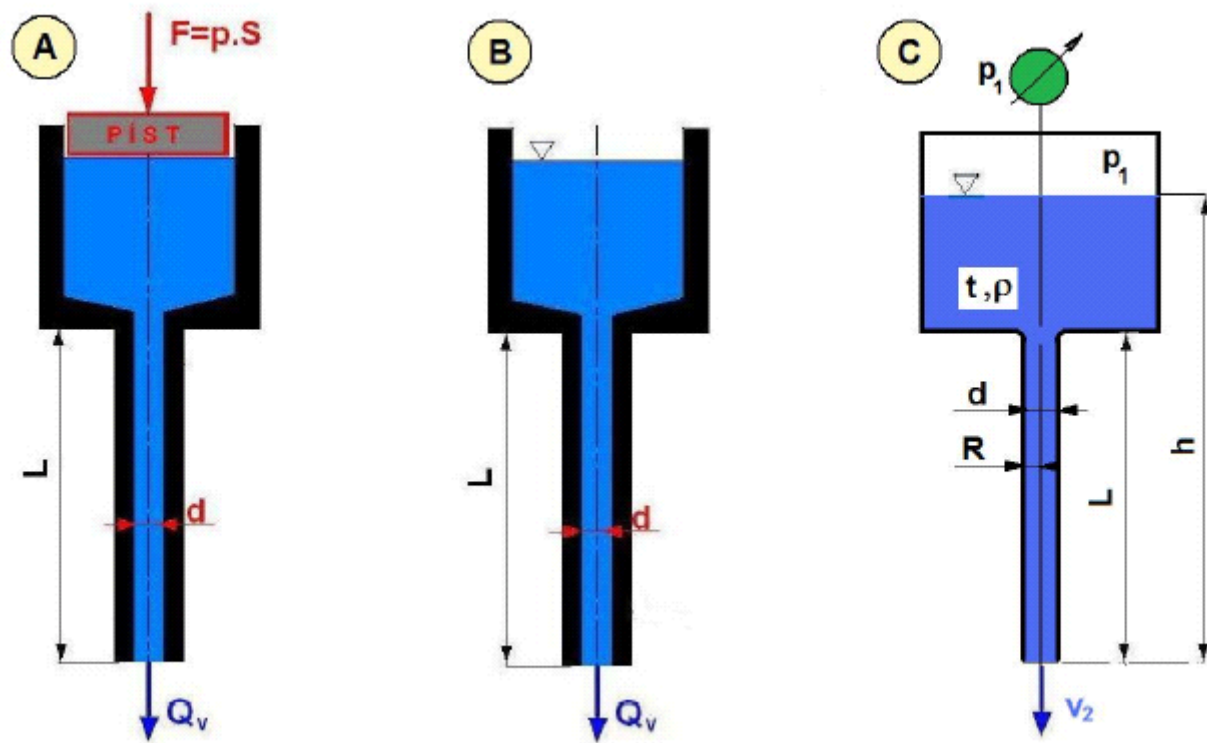
např.: vodní suspenze železité červeně, oxidu zinečnatého, kobaltové modři, škrobové mazy, beton, arabská guma a některé polymerové roztoky, med aj.

## Plastická kapalina:

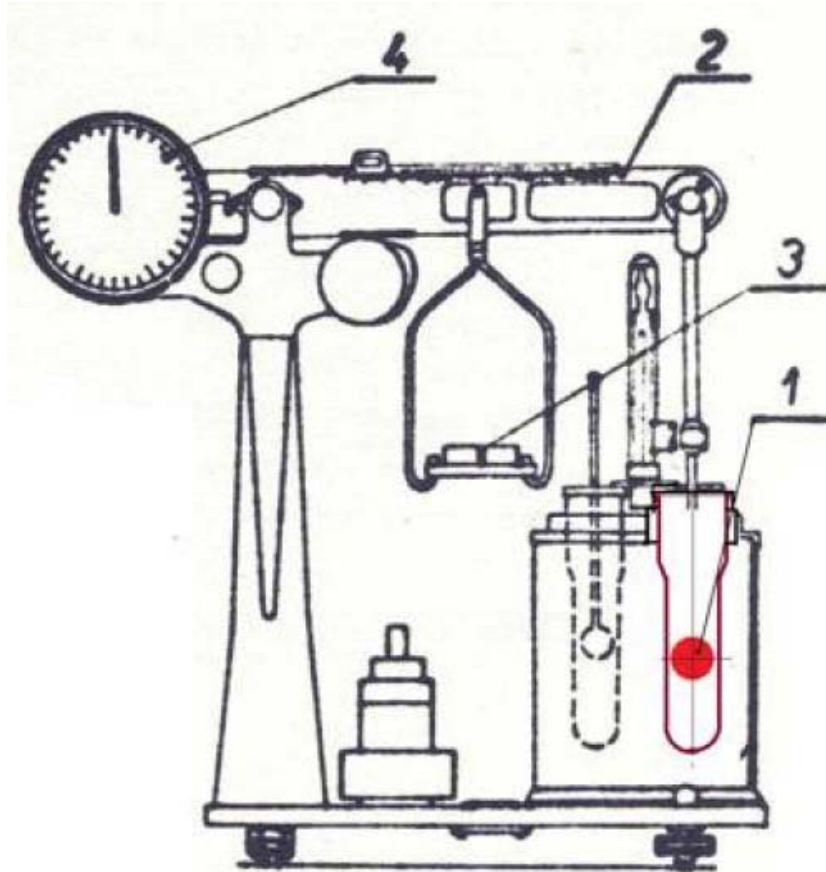


např.: koncentrované kašovitě a zrnité suspenze, průmyslové, odpadní, vrtné a stokové kaly, bahno, řídké kaše, pasty, plastické gely, olejové barvy, některá mazadla apod.

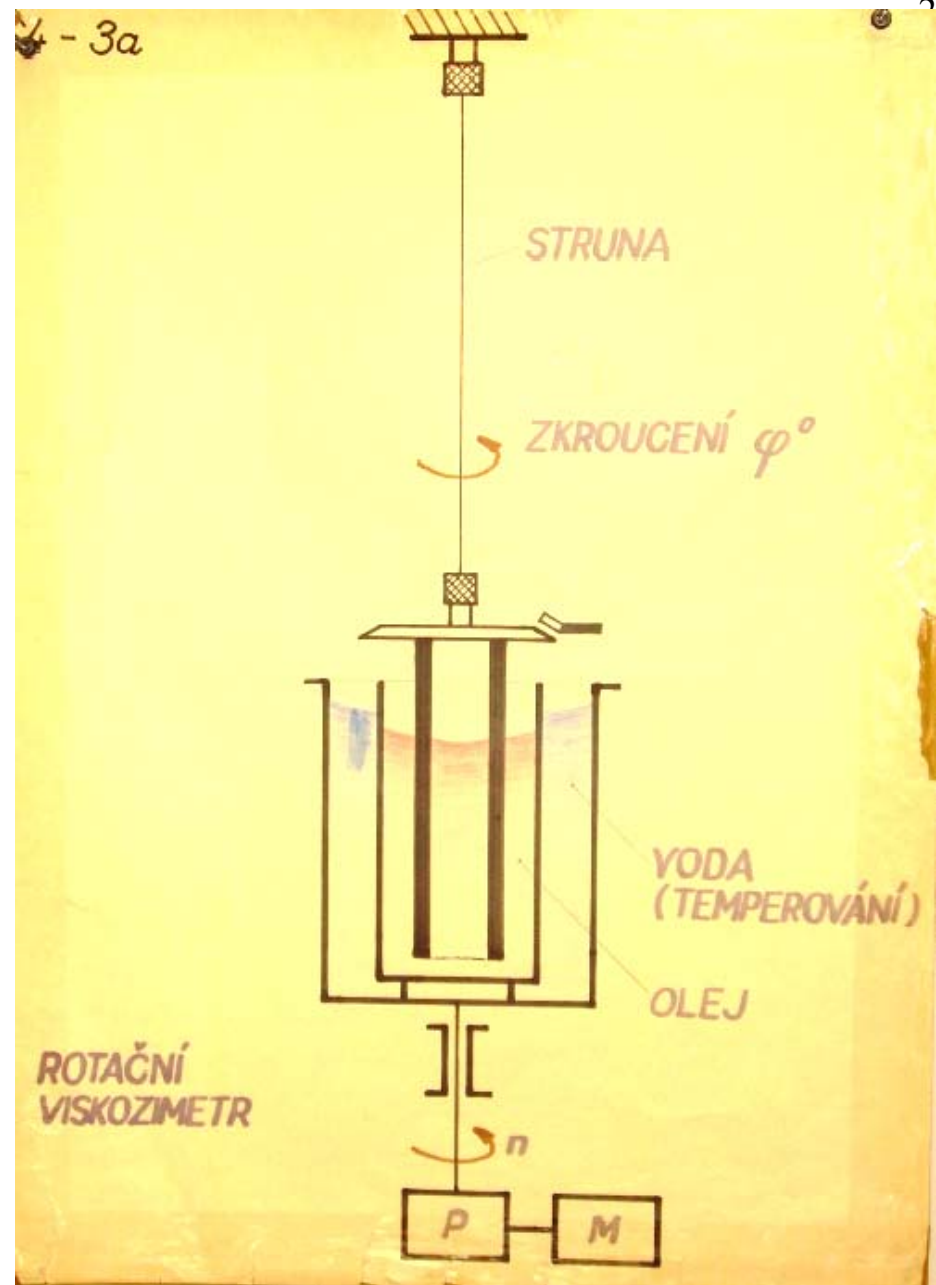
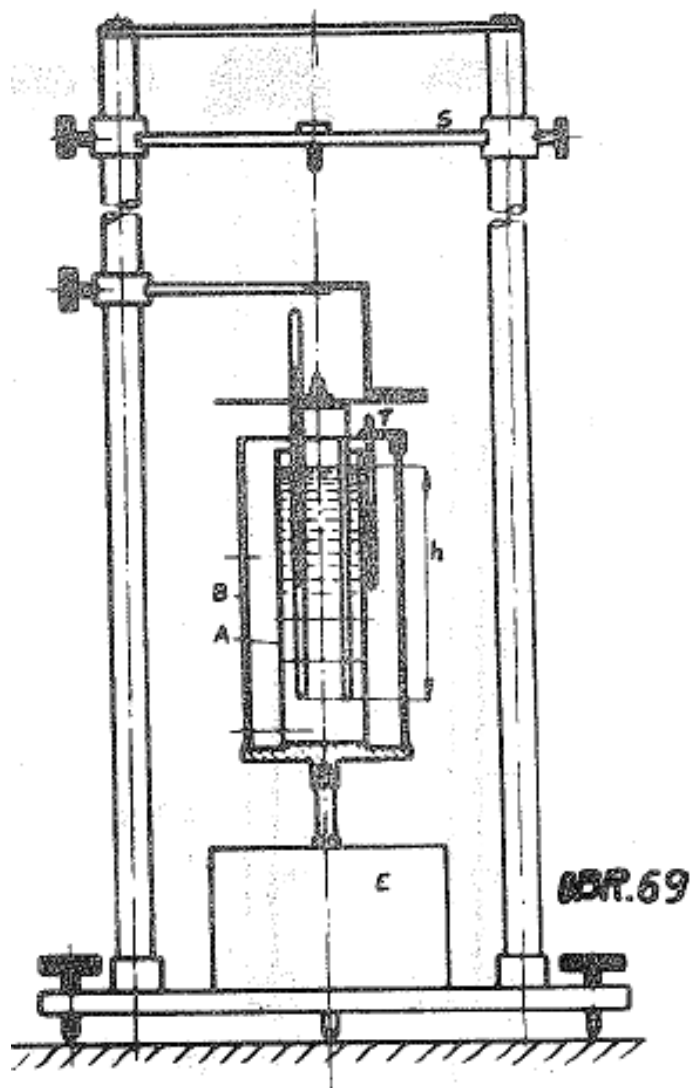
## Schéματα kapilárních viskozimetrů:



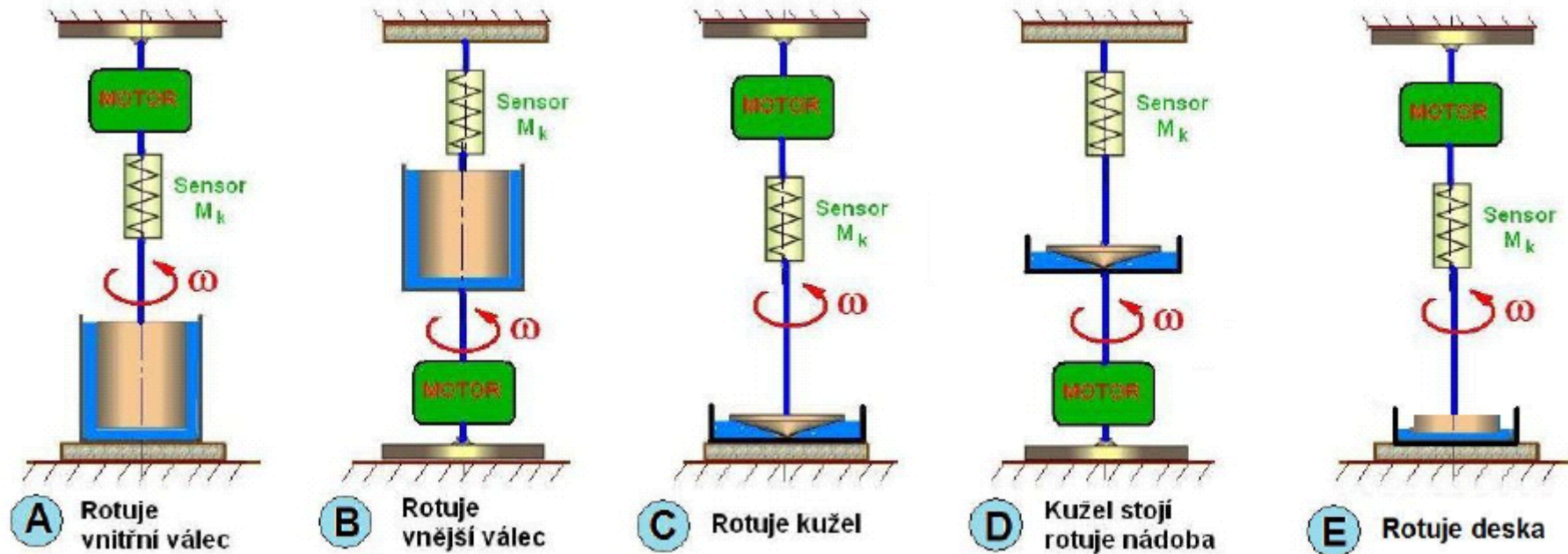
## Reoviskozimetr s tlačnou kuličkou:



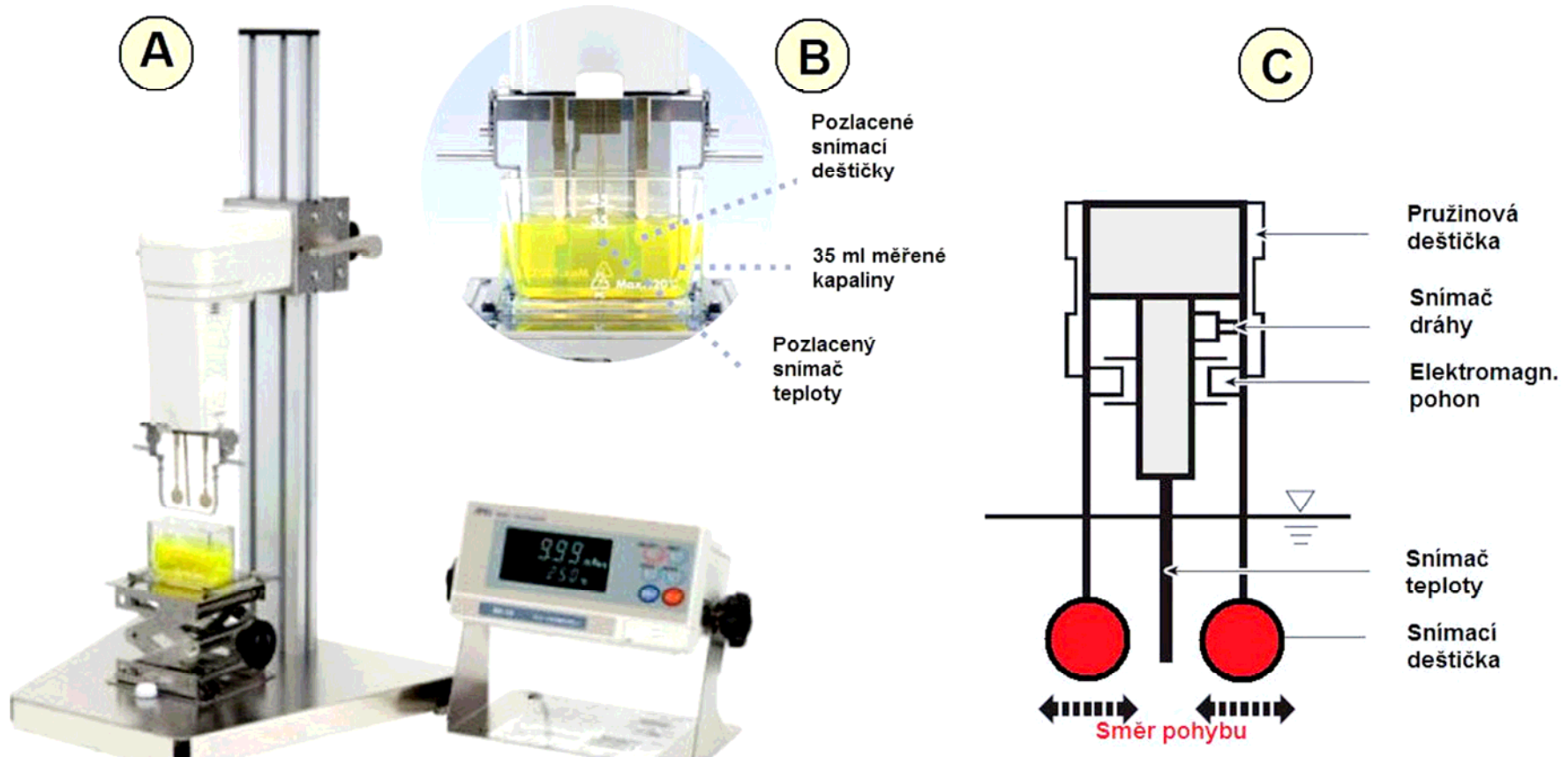
# Viskozimetr rotační (Horákův):



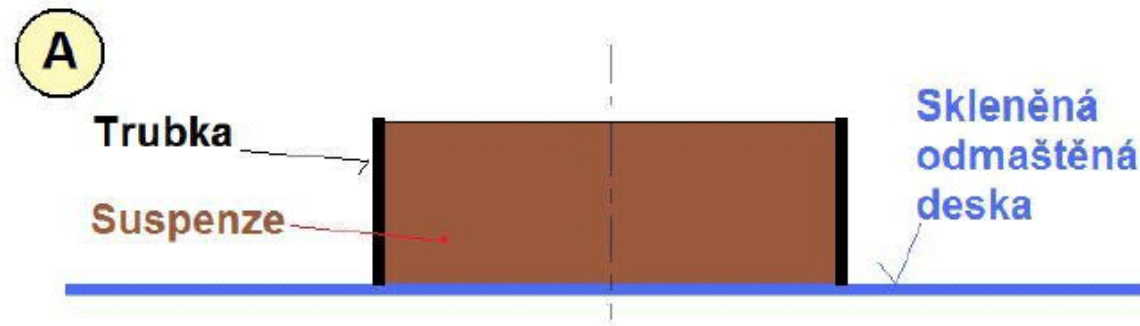
## Rotační viskozimetry:



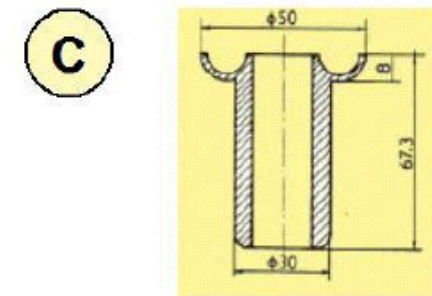
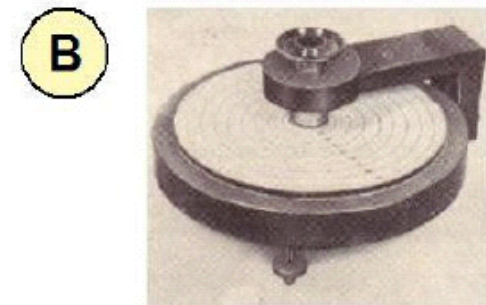
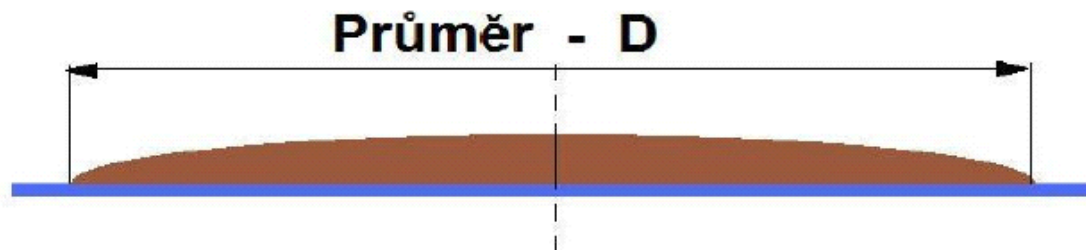
# Vibrační viskozimetry:



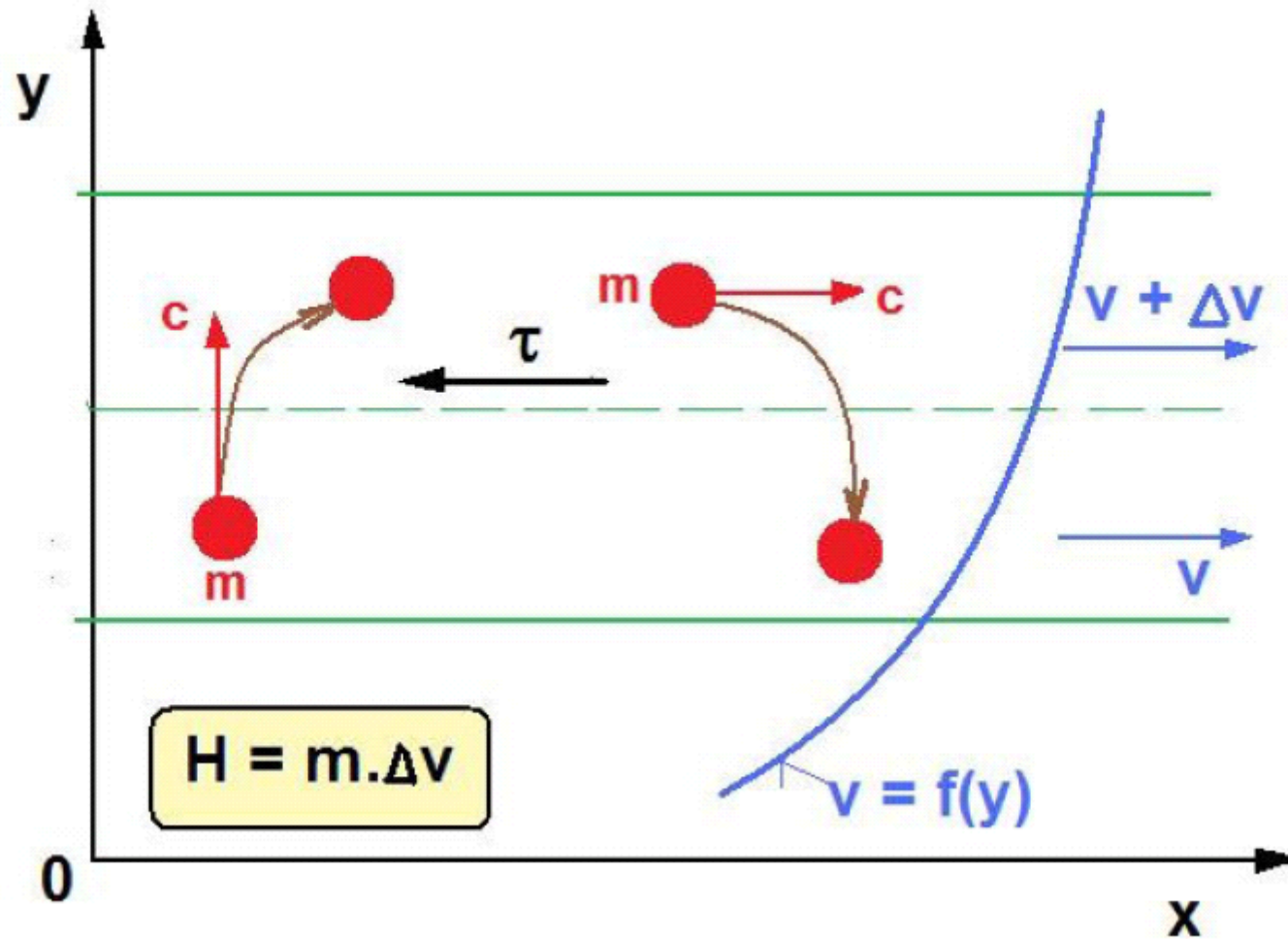
# Relativní viskozita (konzistence) rozlivem: (suspenzí A, barev B)



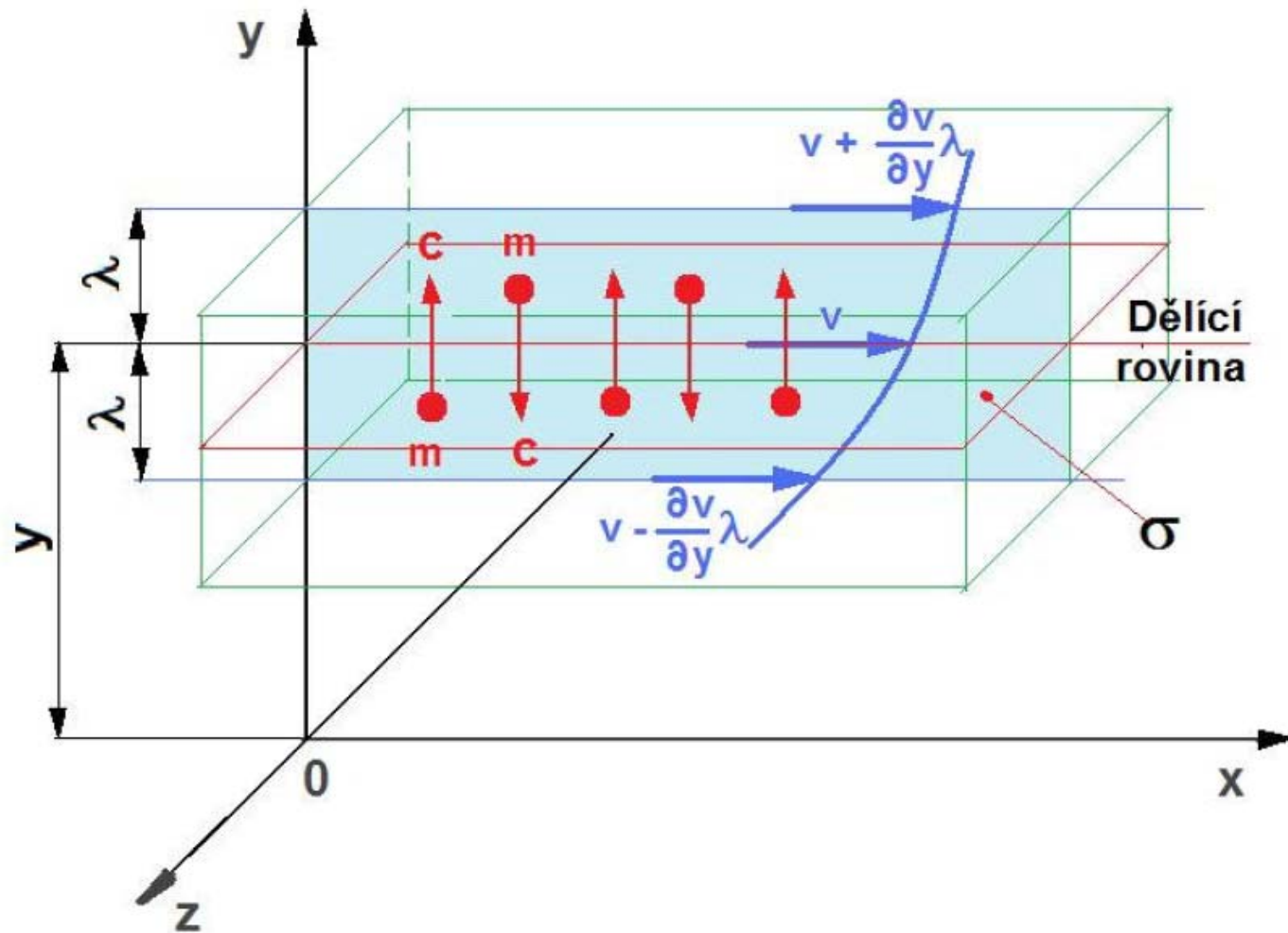
Po zvednutí trubky se suspenze rozlije na skleněné desce - měří se průměr rozlivu  $D$



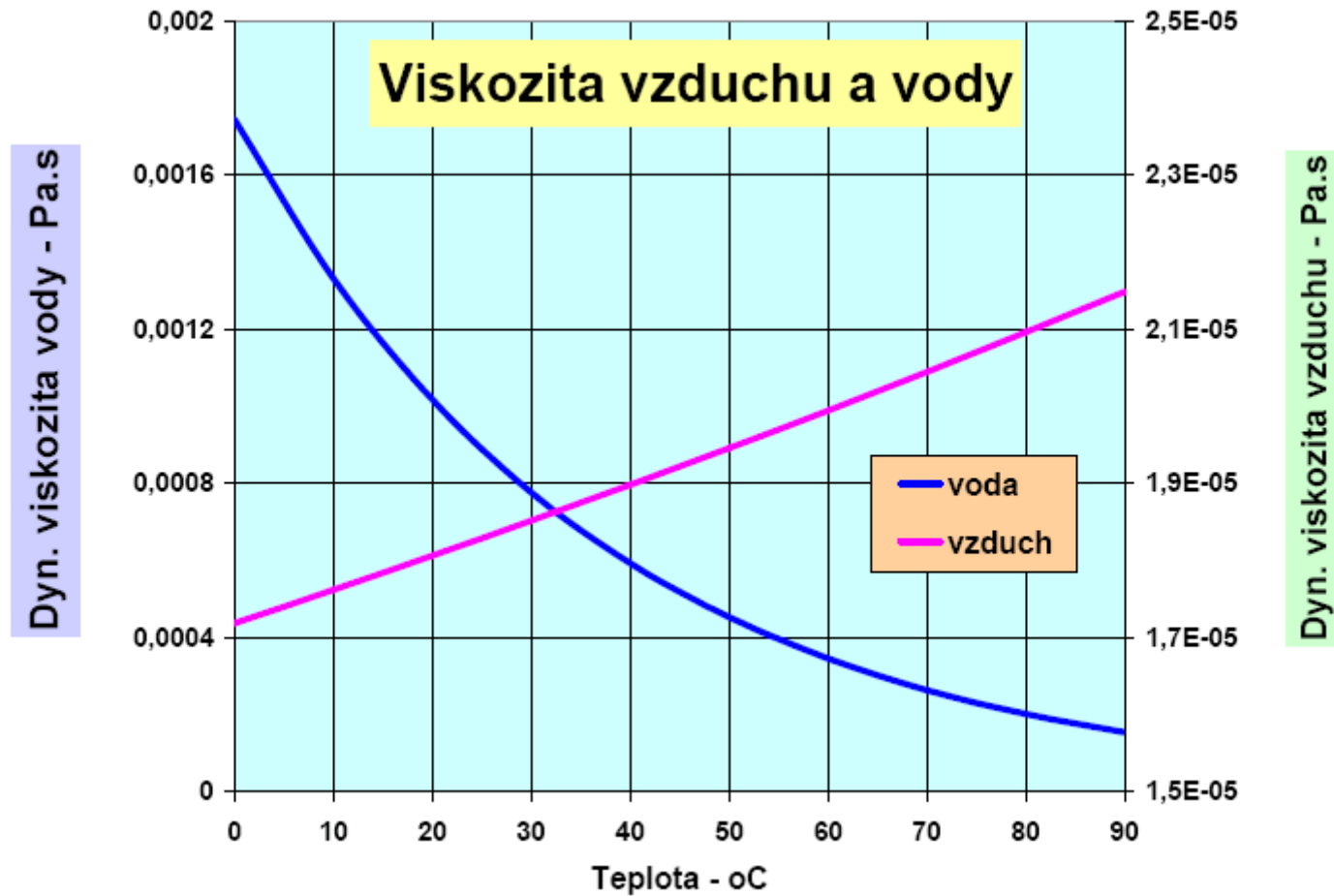
# Viskozita plynů - Vznik smykového napětí v proudícím plynu:



# Pronikání molekul plynu z jedné vrstvy do druhé dělicí rovinou „ $\sigma$ “



## Závislost viskozity vody (kapaliny) a vzduchu (plynu) na teplotě:



## **„Interaktivní prvky“:**

- **Překreslete si vyučujícím určená schémata atp.;**
- **V průběhu výkladu si poznamenávejte klíčové informace;**
- **Popište vlastními slovy jednotlivé snímky (vysvětlete funkci, atp.);**
- **Pokuste se nalézt v právě probrané prezentaci nepřesnosti, pro svůj názor formulujte argumenty;**

## Použitá literatura:

- **ANONYMUS. *Plakáty pro výuku předmětu Kontrola a měření.* SPŠS Sokolská 1. Brno nedatováno.**
- **CHOCHOLA K., SLACH J., ŠULC J. *Laboratorní cvičení.* Praha: STNL 1961.**
- **JANDALÍK J. *Viskozita tekutin a její měření.* Ostrava VŠB TU 2010.**
- **MARTINÁK, M. *Kontrola a měření.* Praha: STNL 1989.**
- **MIKULČÁK J. et al. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky.* Praha: SPN, 1970.**
- **ŠULC, J. *Technologická a strojnická měření.* Praha: STNL 1982.**
- **ŠULC, J., VYSLOUŽIL, Z. *Laboratorní cvičení technologická a strojní.* Praha: STNL 1970.**
- **VÁCLAVOVIČ A., *Měření a kontrola ve strojírenství.* Praha: SNTL, 1967.**
- **VYSLOUŽIL Z., ZELKO J. *Meranie v strojárstve.* Bratislava: SVTL 1962.**
- **VYSLOUŽIL Z., KOVAL J. *Technologické a strojnické merania.* Bratislava: Alfa, 1978.**