

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra zušlechtování textilií

Studijní program: Textil

Obor: 3107 R001 Chemická technologie zušlechtování

**VZTAH MEZI VISKOZITOU A
POVRCHOVÝM NAPĚTÍM KAPALIN**

The relation between viscosity and surface tension of liquids

Lucie Štěpánová

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, DrSc.

Konzultant: Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Počet stran: 79

Počet tabulek: 27

Počet obrázků: 42

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146072601

V Liberci dne: 17. května 2004

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra textilního zušlechtování

Školní rok: 2003/2004

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Lucii ŠTĚPÁNOVOU**

48

obor 3107 R001 Chemická technologie zušlechtování

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a ve smyslu studijních předpisů pro bakalářské studium určuje toto zadání bakalářské práce:

Název tématu: **Vztah mezi viskozitou a povrchovým napětím kapalin**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši k tématu s použitím tuzemské a zahraniční literatury.
2. Zvládněte experimentální metodiku měření povrchového napětí Wilhelmyho destičkou a měření viskozity na rotačním viskozimetru.
3. K testování použijte kapaliny o různém povrchovém napětí.
4. K nastavení viskozity testovaných kapalin použijte látky, které při minimální koncentraci výrazně zvyšují viskozitu kapalin.
5. Podrobně prostudujte zejména oblast, kdy kapalina přechází v polotuhou a tuhou fázi.
6. Zobecněte vztahy mezi viskozitou a povrchovým napětím kapalin.

KZU/CHTŽ

Rozsah grafických prací: -
Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran
Seznam odborné literatury: tuzemské a zahraniční časopisy a monografie

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, DrSc.
Konzultant: Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Zadání bakalářské práce: 31.10. 2003
Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5. 2004



Vedoucí katedry

Handwritten signature of Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Děkan

Handwritten signature of Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

V Liberci

dne 31.10. 2003

ANOTACE:

V bakalářské práci je řešena problematika vztahů mezi viskozitou a povrchovým napětím velmi viskózních disperzních soustav zejména na mezifázovém přechodu kapaliny v gel. Cílem práce je stanovení povrchového napětí a viskozity a určení možné závislosti mezi těmito veličinami. Studie byly prováděny v oblasti kritické micelární koncentrace tenzidů a postupně se zvyšujících koncentrací záhustek.

ANNOTATION:

In bachelor work there are solved problems concerning with the relations between viscosity and surface tension of very viscous dispersion systems, especially on the interfacial of transformation from liquid to gel. The main aim of this work is determination of surface tension and viscosity and to specify potential dependence between these quantities. These studies took place in the critical frame of micelar concentration of tenside and gradually increasing concentrations of thickener agent.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 17. května 2004

Lucie Štěpánová
L. Štěpánová

Poděkování

Na úvod bakalářské práce bych chtěla poděkovat Doc. Ing. J. Odvárkovi, DrSc. za odborné vedení bakalářské práce. Dále Ing. S. Torres a Ing. J. Jirmannovi za ochotu a spolupráci při měření na zařízeních KRÜSS a Viscotester VT 550.

OBSAH:

1 ÚVOD A CÍL.....	9
2 REŠERŠNÍ ČÁST.....	10
2.1 POVRCHOVÉ JEVY.....	10
2.1.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ KAPALIN.....	10
2.1.2 METODY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ.....	12
2.1.2.1 Statické metody.....	12
2.1.2.1.1 Metoda kapilární elevace.....	12
2.1.2.1.2 Metoda kapilární deprese.....	13
2.1.2.1.3 Metody založené na sledování kapek a bublin v gravitačním poli.....	13
2.1.2.1.4 Metoda rotující kapky.....	14
2.1.2.1.5 Metoda vyvažovací destičky (Wilhelmyho metoda).....	15
2.1.2.2 Semistatické metody.....	16
2.1.2.2.1 Metoda nejvyššího tlaku.....	17
2.1.2.2.2 Metoda odtrhávání prstence (kruhová metoda).....	17
2.1.2.2.3 Stalagmometrická metoda.....	18
2.1.2.3 Dynamické metody.....	19
2.2 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI A VSKOZITA.....	20
2.2.1 NEWTONSKÉ KAPALINY.....	22
2.2.2 NENEWTONSKÉ KAPALINY.....	23
2.2.2.1 Plastický tok Binghamův.....	23
2.2.2.2 Thixotropický tok.....	24
2.2.2.3 Pseudoplastický tok.....	25
2.2.2.4 Dilatační tok.....	26
2.2.2.5 Viskoelastický (viskoplastický) tok.....	26
2.2.3 MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	27
2.2.3.1 Průtokové viskozimetry.....	27
2.2.3.2 Viskozimetry rotační a vibrační.....	29
2.2.3.3 Tělíkové viskozimetry.....	31
2.2.4 MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A VSKOZITY KAPALIN	31
2.2.4.1 Metoda oscilující kapky.....	31

2.3 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUBSTANCÍ.....	34
2.3.1 ZÁHUSTKY.....	34
2.3.1.1 Druhy zahušťovadel.....	35
2.3.1.1.1 Přírodní zahušťovadla.....	35
2.3.1.1.2 Emulzní záhustky.....	37
2.3.1.1.3 Syntetická zahušťovadla.....	38
2.3.2 TENZIDY.....	38
2.3.2.1 Vlastnosti tenzidů.....	38
2.3.2.2 Rozdělení tenzidů.....	40
2.3.2.3 Tvorba micel a kritická micelární koncentrace.....	41
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	42
3.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH TENZIDŮ.....	42
3.2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH ZAHUŠŤOVADEL.....	44
3.3 MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ.....	46
3.3.1 STALAGNOMETRICKÁ METODA.....	46
3.3.2 WILHELMYHO DESTIČKOVÁ METODA.....	48
3.4 MĚŘENÍ VIZKOZITY.....	50
3.5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	53
3.5.1 VÝSLEDKY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A OBLASTI KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE TENZIDŮ.....	53
3.5.2 VÝSLEDKY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A VIZKOZITY SAMOTNÝCH ZÁHUSTEK A PO PŘÍDAVKU TENZIDU V OBLASTI KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE.....	56
3.6 DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	72
3.6.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VIZKOZITA TENZIDŮ.....	72
3.6.2 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VIZKOZITA SAMOTNÝCH ZÁHUSTEK.....	73
3.6.3 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VIZKOZITA ZÁHUSTEK PO PŘÍDAVKU TENZIDŮ V OBLASTI KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE.....	73
3.7 ZÁVĚR.....	76
4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	78

1 ÚVOD A CÍL

V textilním průmyslu se s pojmy povrchové napětí a viskozita setkáváme velmi často. Povrchové jevy se vyskytují v řadě technologických operací: barvení, potiskování a finální úpravy. Povrchové napětí znesnadňuje průnik textilních prostředků a barviva do mezivláknenných prostorů. A proto je důležité povrchové napětí snižovat působením vhodných textilních přípravků. Povrchové jevy tedy ovlivňují vlastnosti disperzních soustav a tím i charakteristické vlastnosti tiskacích past.

S pojmem viskozita se nejčastěji setkáváme v oblasti potiskování textilií. O tiskařských vlastnostech a zejména o konečném výsledku tisku rozhodují reologické vlastnosti tiskacích past, tedy jejich viskozita. Použití záhustek s různými reologickými parametry přináší s sebou také rozdílné výsledky tisku, jako je ostrost, egalita, protisk a výsledná intenzita tisku. Nelze použít prosté vodné roztoky barviv, protože by došlo k značnému rozpíjení tisknutých obrazců. Barvivo je nutné aplikovat z prostředí se značně vysokou viskozitou a to z prostředí tiskací pasty. Viskozita tiskacích past je proto jednou z nejdůležitějších vlastností a ovlivňuje ostrost a rovnoměrný vzhled tisknutých obrazců.

Charakter tiskacích past je tedy závislý na viskozitě, ale dosud však neexistují studie zabývající se vlivem povrchového napětí na viskozitu, a tudíž i na vlastnosti tiskacích past. Povrchové napětí, jako jev na rozhraní dvou různých prostředí, nebylo prozkoumáno při aplikaci tiskací pasty na textilií. I když je známo, že povrchové napětí kapalin ve styku s textilií významně ovlivňuje intenzitu vzlínání kapaliny (lázně tiskací pasty) do textilie.

Cílem této práce je stanovit povrchové napětí a viskozitu vybraných záhustek a tenzidů. Dále sledovat změnu povrchového napětí a viskozity po přidání tenzidů v oblasti kritické micelární koncentrace do záhustek o různých koncentracích. Koncentrace záhustek jsou voleny tak, aby jejich viskozita postupně stoupala k nejvyšším hodnotám, které je ještě možno změřit na dostupných měřících zařízeních. Hlavním úkolem je z výsledků měření určit možnou závislost mezi povrchovým napětím a viskozitou připravených vysokoviskózních soustav.

2 REŠERŠNÍ ČÁST

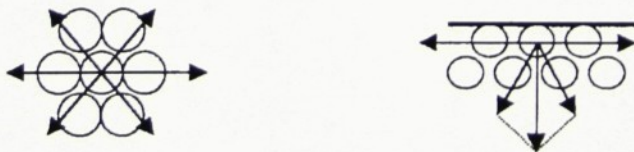
2.1 POVRCHOVÉ JEVY

Celá řada povrchových jevů se odehrává na fázovém rozhraní dvou odlišných prostředí. V technické praxi mají povrchové jevy rozhodující úlohu v určitých technologických procesech, jako jsou: adsorpce, vytváření disperzí, suspenze, emulze, pěny, smáčení, filtrace, praní, solubilizace a mnohé další.[1]

2.1.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ KAPALIN

Charakteristickým znakem kapalin je jejich povrchové napětí, které souvisí se soudržností molekul. Kapaliny se chovají jakoby jejich povrch byl pokryt tenkou pružnou vrstvou, která se snaží stáhnout povrch kapaliny tak, aby měl co nejmenší plochu.[2]

Kapaliny se skládají z částic, mezi kterými působí přitažlivé síly. Pokud je částice uvnitř kapaliny, je silové působení okolních molekul navzájem vyrovnáno. V případě částic, které jsou v blízkosti povrchu kapaliny, tomu tak není. Výslednice přitažlivých sil blízkých molekul má směr dovnitř kapaliny a je kolmá k volnému povrchu kapaliny.[3] Tyto molekuly jsou vtahovány dovnitř kapaliny. Kapalina je tím stlačována po celém povrchu značnými silami, které působí tak, aby počet molekul v povrchu byl co nejmenší a které je třeba překonávat, chceme-li povrch zvětšit.[4]



Obr.1: Znáznornění vzájemného působení molekul v kapalině – molekula uvnitř kapaliny (vlevo), molekula na povrchu kapaliny (vpravo).

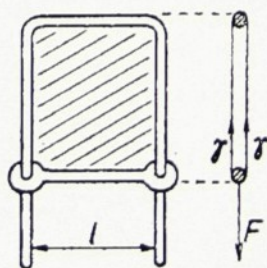
Jev je tedy způsoben rozdílným výsledkem vzájemného působení sil mezi molekulami uvnitř kapaliny a mezi molekulami v povrchové vrstvě. Vzniklá vrstva na povrchu kapaliny se nazývá povrchová vrstva kapalin a chová se jako napjatá pružná blána.[5]

Síly, které brání zvětšování povrchu kapaliny, se nazývají povrchové napětí. Povrchové napětí, označované symbolem γ , je definováno silou F [N], která působí kolmo k jednotce délky l [m] povrchu kapaliny. Tato síla je stejně velká ve všech směrech povrchu.

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (1)$$

Povrchové napětí závisí na druhu kapaliny a na prostředí nad povrchovou vrstvou. Obvykle se udává v jednotkách 10^{-3} N.m^{-1} a s rostoucí teplotou klesá. Povrchové napětí lze snížit přidáním povrchově aktivní látky.

Souvislost povrchového napětí s povrchovou energií lze nejlépe znázornit Maxwellovým pokusem. Drátěný rámeček s posuvnou příčkou o délce l je ponořen do kapaliny (mýdlový roztok). Vlivem povrchového napětí se na něm po vytažení vytvoří tenká kapalinová blána s povrchovými vrstvami na obou stranách. Utvořený kapalinový film v ohraničeném rámečku má tendenci pohybovat se ve směru zmenšování povrchu. Aby se příčka nepohybovala, je třeba vynaložit určitou sílu F v opačném směru. Velikost této síly závisí na délce příčky. Platí $F = 2\gamma l$, kde γ je povrchové napětí kapaliny. Kapalinový film má dva povrchy, proto činitel 2.[6]



Obr.2: Maxwellův experiment

2.1.2 METODY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Povrchové napětí může být poměrně snadno a s velkou přesností stanoveno pro snadno pohyblivá fázová rozhraní, kapalina-plyn a kapalina-kapalina. Existuje velký počet detailně vypracovaných metod pro stanovení povrchového napětí.

Metody pro měření povrchového napětí lze rozdělit:

- Statické
- Semistatické
- Dynamické

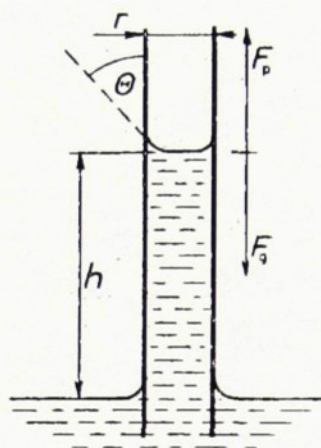
2.1.2.1 Statické metody

Tyto metody jsou založeny na sledování ustáleného rovnovážného stavu, ke kterému samovolně směřuje studovaná soustava.[7]

2.1.2.1.1 Metoda kapilární elevace

Metoda je založena na kapilárním jevu, který vykazují kapaliny, je-li do nich ponořena kapilární trubice kolmo k jejich povrchu. Při kapilární elevaci kapalina lne ke stěnám trubice kapiláry a působením adhezních sil k pevnému povrchu stoupají molekuly kapaliny vzhůru po stěně kapiláry. Vlivem povrchového napětí je kapalina vtahována kapilární trubicí do výšky h , kde vytváří konkávní povrch. Proti povrchovým silám působí síla gravitační, tj. váha sloupce kapaliny. Povrchové napětí je definováno úhlem smáčení θ mezi povrchem kapaliny a stěnou trubice.[4]

Používají se tenké kapiláry, které se dobře smáčejí kapalinou ($\theta=0^\circ$), což umožňuje vyloučit obtížné stanovení úhlu smáčení.[7]



Obr.3: Znáznornění jevu kapilární elevace

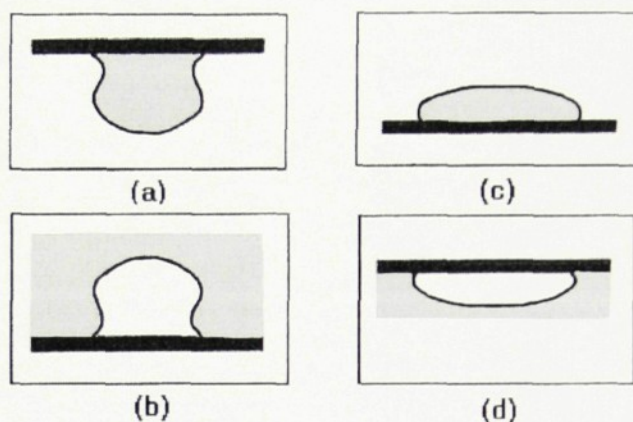
2.1.2.1.2 Metoda kapilární deprese

Metoda je založena na jevu tzv. kapilární deprese. Kapaliny, které nesmáčejí stěny skla (rtuť) jsou naopak vytlačovány z kapilární trubice. Povrch kapaliny v kapiláře je položen níže než okolní volný povrch a jeví konvexní zakřivení.

2.1.2.1.3 Metody založené na sledování kapek a bublin v gravitačním poli

Při měření povrchového napětí se využívá změny tvaru kapek a bublin od tvaru kulového v důsledku gravitačního působení. Povrchové napětí je charakterizováno geometrickými parametry, které vyjadřují stupeň odchylky od kulového tvaru. Při výpočtech se využívá Laplaceovy rovnice. Srovnáním výsledků s tabelovanými hodnotami těchto parametrů, které byly získány numerickou integrací Laplaceovy rovnice, se nalezne hodnota sledovaného povrchového napětí.

Tato skupina metod je zvláště cenná pro stanovení povrchového napětí kapalin při vysokých teplotách.[7]



Obr.4: Tvary přisednutých a zavěšených kapek a bublin:

- (a) zavěšená kapka
- (b) přisednutá kapka
- (c) zavěšená bublina
- (d) přisednutá bublina [8]

2.1.2.1.4 Metoda rotující kapky

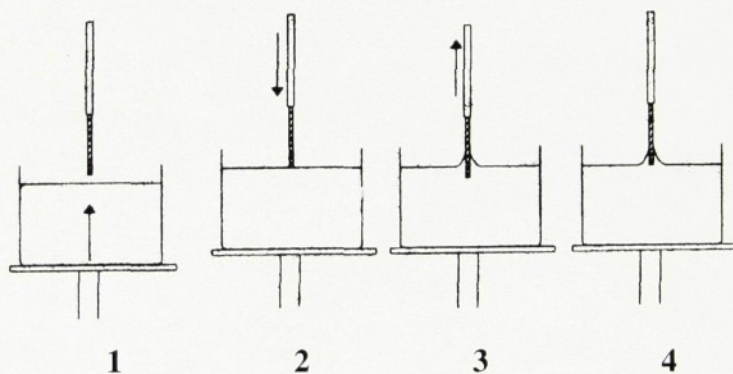
Tato metoda je rozpracovanější variantou metody přisedlé kapky a je ideální pro měření velmi nízkých hodnot mezifázového napětí. Kapka o nižší hustotě (většinou olej) je vnesena do kapiláry, která je naplněna tekutinou o vyšší hustotě. Kapilára rotuje kolem své osy definovanou rychlostí otáčení.[9] Následkem působení odstředivých sil se méně hustá kapalina snaží rozprostřít kolem osy rotace, přičemž se roztáhne do tenkého sloupce, aniž by se dotýkala stěn. Změřením rozměrů sloupce je možné při známém rozdílu hustot kapalin a rychlosti rotace stanovit povrchové napětí mezifázového povrchu.[7]

2.1.2.1.5 Metoda vyvažovací destičky (Wilhelmyho metoda)

Tato metoda stanovení povrchového napětí je poněkud zvláštní mezi ostatními statickými metodami, ale výhodou je její přesné stanovení.

Tenká platinová destička definovaných rozměrů se upevní na vahadlo vah a kolmo se ponoří do kapaliny. Kapalina smáčí povrch destičky a Wilhelmyho síla vtáhne okraje destičky do kapaliny. Měří se síla F , která je nutná vynaložit pro vytažení destičky do výchozí polohy. Tato síla je rovna Wilhelmyho síle.

Důležitý je úhel smáčení mezi kapalinou a destičkou, který by měl být roven nule. Měření je tedy vhodné pro dokonalé smáčení. Tuto podmínku však většina kapalin splňuje a řádně vyčištěnou platinovou destičku se zdrsňeným povrchem smáčí dokonale.



Obr.5: Fáze měření povrchového napětí pomocí Wilhelmyho metody:

- 1) přiblížení destičky k okraji kapaliny
- 2) destička se pohybuje dolů, došlo ke kontaktu destičky s povrchem kapaliny
- 3) destička se pohybuje směrem nahoru, poté co byla vtažena do kapaliny
- 4) vyzvednutí destičky do výchozí polohy

Měření lze možno opakovat, neboť destička může zůstat ve výchozí poloze libovolně dlouhou dobu. Povrchové napětí γ se vypočítá podle následujícího vztahu:

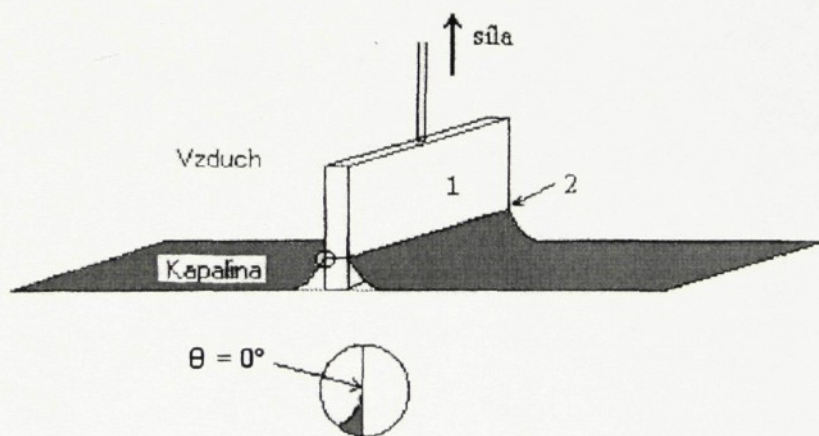
$$\gamma = \frac{P_w}{l_w \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

Kde P_wnaměřená Wilhelmyho síla [N]

l_wsmočená délka [m]

θúhel, který svírá tečna smáčecí linie s povrchem destičky

Vztah lze použít pro dokonalé smáčení ($\cos \theta = 1$, $\theta = 0^\circ$).



Obr.6: Princip měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou:

(1) platinová destička

(2) obvod smáčené plochy

2.1.2.2 Semistatické metody

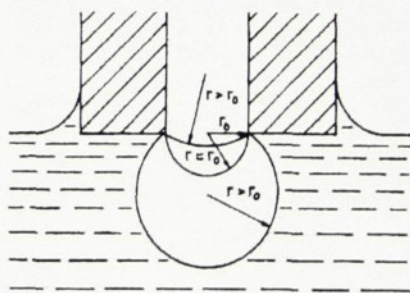
Semistatické metody jsou stejně jako statické metody založeny na dosažení určitého rovnovážného stavu dané soustavy, ale v tomto případě je tato

rovnováha nestabilní. Povrchové napětí stanovíme určením podmínek, při kterých soustava porušuje svoji rovnováhu.

2.1.2.2.1 Metoda nejvyššího tlaku

Působením přetlaku Δp vyvolaného z vnějšku se vhání kalibrovanou kapilárou do objemu kapaliny bublina plynu nebo kapka jiné kapaliny. S růstem bubliny se zmenšuje poloměr zakřivení r jejího povrchu. Dalším zvětšováním objemu bubliny vzrůstá poloměr zakřivení jejího povrchu. Dochází ke snížení rozdílu tlaků v kapiláře a okolní kapalině, což umožňuje zjistit maximální velikost poklesu tlaku. Tato hodnota se potom používá ke stanovení povrchového napětí γ [7]:

$$\gamma = \frac{1}{2} \Delta p_{\max} r_0 \quad (3)$$



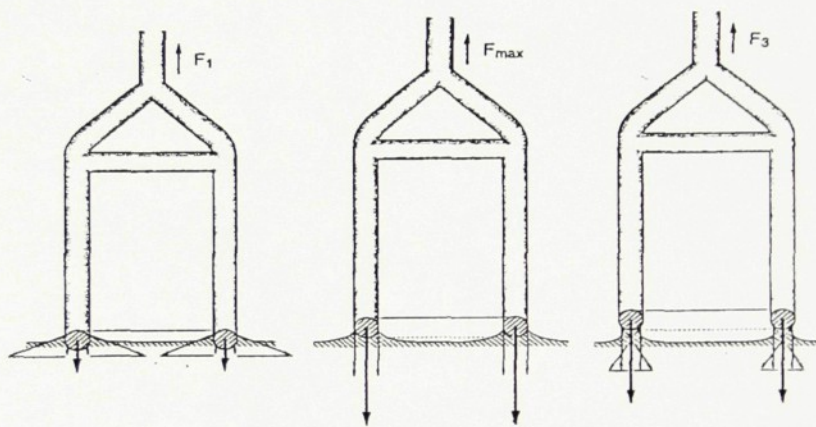
Obr.7: Metoda nejvyššího tlaku – změna poloměru zakřivení povrchu bubliny

2.1.2.2.2 Metoda odtrhávání prstence (kruhová metoda)

Měření povrchového napětí se provádí pomocí horizontálně zavěšeného platinového kruhu, který se ponoří do kapaliny. Platinový kruh má přesně určenou geometrii – poloměr kruhu, poloměr platinového drátu, ze kterého je kruh vyroben. Měří se maximální síla F [N] potřebná k odtržení tenkého prstence od hladiny kapaliny.

Stejně jako u Wilhelmyho destičkové metody je zapotřebí dbát na úhel smáčení, který by měl být roven nule.

Metoda se také nazývá Du Noüyho metoda a používá se pro stanovení povrchového nebo mezifázového napětí kapalin.[9]



Obr.8: Jednotlivé fáze měření povrchového napětí pomocí platinového kruhu

2.1.2.2.3 Stalagmetrická metoda

Stalagmetrická metoda měření povrchového napětí spočívá ve stanovení počtu kapek, které se vytvoří při výtoku určitého objemu kapaliny kapilárou stalagmetru. Pro poměr povrchového napětí neznámé (γ_x) a známé (γ_l) kapaliny platí výraz:

$$\frac{\gamma_l}{\gamma_x} = \frac{m_l}{m_x} \quad (4)$$

Kde m_l [kg] a m_x [kg] jsou příslušné hmotnosti kapek. Vyteče-li z kapiláry objem kapaliny V [m³], pak hmotnost jedné kapky bude:

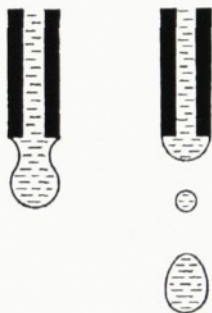
$$m_l = \rho_l \frac{V}{n_l} \quad (5)$$

$$m_x = \rho_x \frac{V}{n_x} \quad (6)$$

Kde n_l a n_x jsou příslušné počty kapek známé (n_l) a zkoumané (n_x) a ρ_l a ρ_x jsou příslušné hustoty v kg.m^{-3} . Dosazením do rovnice (4) získáme vztah pro výpočet povrchového napětí:

$$\gamma_x = \gamma_l \frac{m_x}{m_l} = \gamma_l \frac{\rho_x}{\rho_l} \frac{n_l}{n_x} \quad (7)$$

V našem případě byla použita jako srovnávací (referenční) kapalina destilovaná voda, jejíž povrchové napětí je $72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-3}$ při teplotě 20°C . Hustota destilované vody ρ_l a zředěných roztoků povrchově aktivních látek ρ_x byla s menší nepřesností považována za rovnou jedné.[10]



Obr.9: Odtrhávání kapky od zabroušeného ústí kapiláry

2.1.2.3 Dynamické metody

Tyto metody se využívají u výrazně nerovnovážných stavů povrchových vrstev kapalin. Patří mezi ně metoda oscilujícího paprsku, metoda nulového tečení, metoda štěpení.

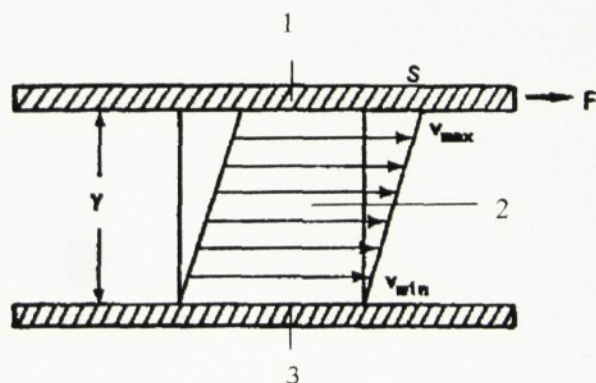
2.2 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI A VISKOZITA

Nejtypičtější obecnou vlastností tiskacích past je jejich reologické chování tedy tokové vlastnosti a viskozita. Tyto vlastnosti závisí na smykovém napětí, koncentraci záhustek, délce a tvaru řetězce, chemické struktury, přítomnosti a koncentraci dalších chemikálií.

Označení *reologie* s vymezením působnosti *na studium deformace a toku materiálů* bylo zavedeno americkým fyzikem E.C.Binghamem.[11]

Reologické vlastnosti tiskacích past rozhodují o tiskařských vlastnostech past, o tom, jak se budou přenášet na textilie, zda se nebudou v textilií rozpíjet. Viskozita tiskacích past ovlivňuje rovnoměrný vzhled tisknutých obrazců, ostrost jejich okrajů a sílu protisku textilie.[12]

Viskozita je označována jako odpor k toku, který se projevuje při pohybu kapalin. V důsledku existence kohezních sil mezi částicemi kladou kapaliny podstatně větší odpor při pohybu než plyny. Mírou tohoto odporu je koeficient viskozity dané kapaliny.[6]



Obr.10: Destičkový model pro odvození vztahu viskozity

- 1 Pohybující se deska
- 2 Kapalina
- 3 Pevná deska

Podle Newtona je definována tangenciální smyková síla $F [N]$ potřebná k překonání vnitřního tření. Tato síla mezi rovnoběžnými vrstvami kapaliny o stykové ploše $S [m^2]$, které se posouvají ve stejném směru a jsou od sebe vzdáleny o $dy [m]$, udržuje rozdíl rychlostí $dv [m.s^{-1}]$. [4]

$$F = \eta A \frac{dv}{dy} \quad (8)$$

Kde ηkoeficient dynamické viskozity [Pa.s]

dv/dygradient rychlosti [s^{-1}]

Splocha [m^2], na kterou působí síla $F [N]$

$$\frac{dv}{dy} = D \quad (9)$$

Kde D gradient rychlosti nebo-li smyková rychlost [s^{-1}]

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Kde τsmykové napětí [Pa]

Z rovnic (8), (9), (10) plyne konečný vztah pro stanovení viskozity. Viskozita je definována smykovým napětím τ a gradientem rychlosti D .

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (11)$$

Viskozita kapalin se s teplotou značně mění. Molekuly kapalin při nižších teplotách jeví tendenci ke shlukování, která se uplatňuje i mezi pohybujícími

se vrstvami kapaliny a zvyšuje se tak vnitřní tření. Zvyšováním teploty této tendence ubývá, a proto viskozita kapalin klesá.[4]

Tuto závislost vyjádřil Arrhenius empirickým vztahem:

$$\eta = A \exp (E/RT) \quad (12)$$

Kde A a E jsou pro danou kapalinu konstanty[6]

Podle toho, zda se kapaliny chovají podle Newtonova zákona či nikoli, je rozdělujeme na:

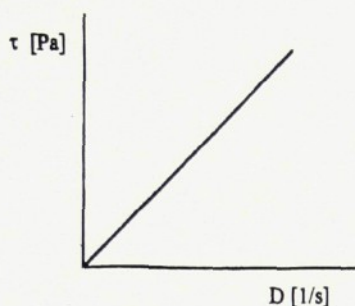
- Newtonské
- Neneutonské

2.2.1 NEWTONSKÉ KAPALINY

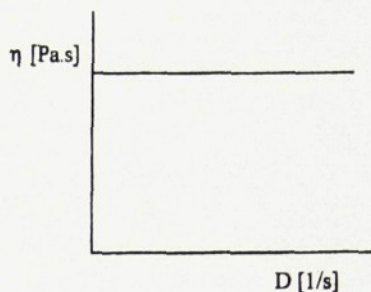
Newtonská kapalina je taková kapalina, jejíž dynamická viskozita η je nezávislá na rychlosti smyku vrstev. Závislost smykového napětí τ na gradientu rychlosti D je přímková – lineární. Tato přímka prochází počátkem systému souřadnic a její strmost vyjadřuje koeficient viskozity.

Viskozita je základní, neměnná materiálová konstanta, charakterizující kapalinu jedinou číselnou hodnotou. Tato hodnota je teplotně závislá.[13]

Mezi záhustky, které se svými vlastnostmi blíží newtonským kapalinám, se řadí řidší roztoky klasických nízkoviskózních zahušťovadel.



Obr.11: Toková křivka newtonských kapalin



Obr.12: Závislost viskozity na gradientu rychlosti

2.2.2 NENEWTONSKÉ KAPALINY

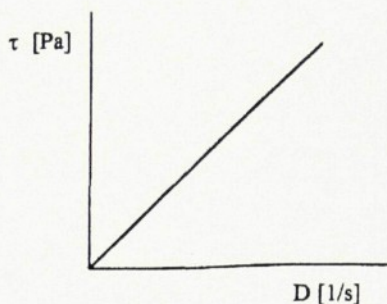
Charakter toku těchto kapalin se označuje jako anomální a stejně se označují i kapaliny tohoto druhu. Viskozita anomálních kapalin se zvětšujícím se smykovým napětím klesá nebo naopak stoupá. Tyto jevy jsou způsobeny rozdílnou strukturou kapalin.[14]

Viskozita takových kapalin se nazývá zdánlivou a označuje se η^* . Při popisování jejich tokových vlastností nestačí jeden údaj jako je tomu u kapalin newtonských. Viskozitu je nutno vyjádřit jako spojitou funkci smykové rychlosti nebo smykového napětí a charakterizuje se tzv. tokovou křivkou vyjadřující závislost D na τ .

2.2.2.1 Plastický tok Binghamův

Kapaliny s plastickým tokem v podstatě představují disperzní systém, ve kterém se disperzní částčky brání toku disperzního prostředí. Jeví se jako látky tuhé, neboť při narůstajícím poměru disperzních částic k disperznímu podílu může dojít k agregaci částic a vytvoření spojitě struktury. Taková látka nemůže téci, dokud smykové napětí není větší než síly, kterými částčky lnou k sobě.

Smykové napětí, při kterém začíná plastický tok, se označuje τ_0 [Pa], nazývá se také mezí tečení.[15] Závislost smykového napětí na gradientu rychlosti je lineární. Takto se chovají např. kaše, pasty.

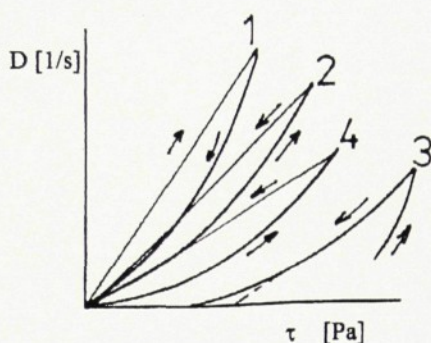


Obr.13: Toková křivka látek s plastickým tokem

2.2.2.2 Thixotropický tok

Thixotropie je vratná časově závislá ztráta viskozity způsobená zvýšením smykového napětí. Účinkem smykového napětí a s rostoucím časem se struktura thixotropické tekutiny rozrušuje určitou rychlostí. Viskozita klesá, až dojde k rovnováze mezi vnitřními silami, které mají snahu obnovit strukturu a smykové napětí. Viskozita je funkcí smykové rychlosti i času, přičemž s rostoucími proměnnými klesá.

Mechanismus thixotropie se vysvětluje tím, že se smykovým napětím porušují slabé chemické vazby, které se snaží udělit gelové struktuře tuhost.[15] Tento tok je charakteristický pro kaše, těsta.



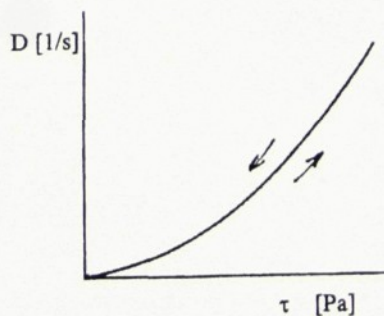
Obr.14: Tokové křivky thixotropických látek:

- 1 Newtonský tok
- 2 Pseudoplastický tok
- 3 Plastický tok
- 4 Rheopexní tok

2.2.2.3 Pseudoplastický tok

U pseudoplastického toku roste smyková rychlost rychleji než smykové napětí. Viskozita kapalin se snižuje s mechanickým namáháním. Tokové křivky jsou nelineární a začátek tečení se projevuje až po určité době namáhání, tedy za mezí tečení.

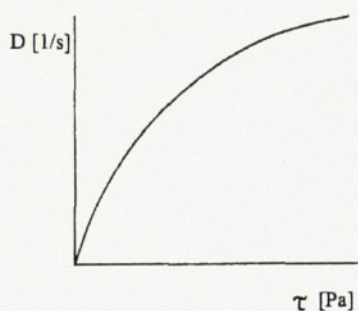
Tento tok je charakteristický pro většinu tiskacích past, škrobové mazy, deriváty celulózy.



Obr.15: Toková křivka pseudoplastické látky

2.2.2.4 Dilatační tok

Tento tok se vyskytuje u suspenzí s vysokým obsahem pevných částic. Pokud je soustava v klidu, pevné částice jsou blízko vedle sebe a kapalina vyplňuje prostor mezi částicemi. Po určitém namáhání (zamíchání) se částice oddálí a kapalina není schopna vyplňovat prostor mezi částicemi. Tím nastává zvýšení odporu k toku. Viskozita tedy roste se zvyšujícím se smykovým napětím. Tento tok je charakteristický pro tekutý písek

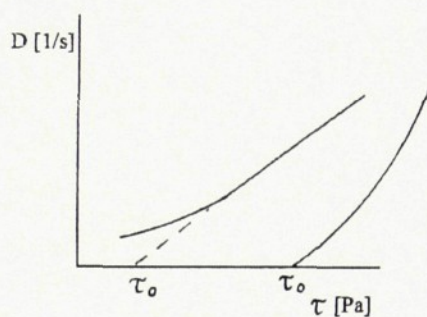


Obr.16: Toková křivka s dilatačním tokem

2.2.2.5 Viskoelastický (viskoplastický) tok

U kapalin tohoto typu se kromě smykového napětí uplatňuje i pružnost. Viskoelastické látky vykazující mez tečení mají pod touto mezí elastické chování. Působením tečných tlaků $\tau_0 [Pa]$ dochází k reverzibilní deformaci, která zmizí po skončení namáhání. Pro tyto reverzibilní deformace platí Hookův zákon pro namáhání v tahu a ve střihu.[15]

U kapalin s viskoelastickým tokem je elasticita doprovázena viskózním tokem a obě formy se prolínají.



Obr.17: Tokové křivky viskoelastických látek

2.2.3 MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

Ke stanovení viskozity se používají viskozimetry různých konstrukcí a pracující na základě různých principů:

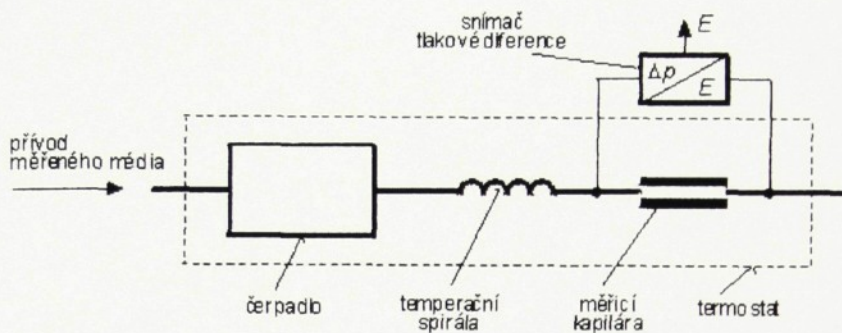
- Průtokové (kapilární) viskozimetry
- Rotační a vibrační viskozimetry
- Tělískové viskozimetry

2.2.3.1 Průtokové viskozimetry

Průtokové viskozimetry jsou založeny na měření:

- objemu, který proteče za určitý čas standardní kapilárou při známém přetlaku
- doby průtoku kapaliny kapilárou
- tlakové ztráty kapaliny proudící v kapiláře

Dále měření předpokládá laminární proudění kapaliny a je založeno na Poiseuilleově zákonu. [16]



Obr.18: Schéma kapilárního viskozimetru pracující na základě rozdílu tlaků

K správnému zjištění viskozity je potřeba konstantní průtok, který zajišťuje čerpadlo, a konstantní teplota udržovaná termostatem. Snímač tlakové difference poskytuje na výstupu elektrický signál.[17]

Mezi viskozimetry založené na měření doby průtoku kapaliny kapilárou patří Ubbelohdeho (s visící hladinou) a Ostwaldův viskozimetr.

Ostwaldův viskozimetr

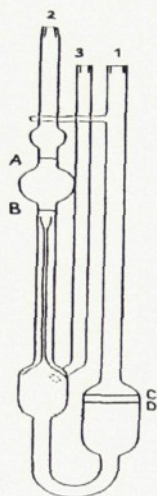
Přesně odpipetovaný objem kapaliny se nalije do širšího ramene trubice. Pak se nasaje kapalina do kapilárního ramene nad značku A a změří se čas, za který proteče kapalina od značky A ke značce B.[4]

Ubbelohdeho viskozimetr

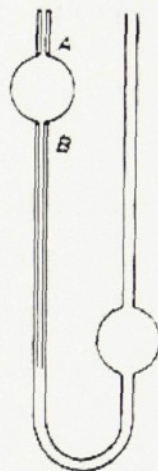
Do svisle zavěšeného viskozimetru nalijeme trubicí 1 tolik vzorku, aby hladina byla mezi značkami C-D. Na konec trubice 2 nasadíme čistou hadici, trubicí 3 ucpeme prstem a kapalinu nasajeme nad značku A. Pak uvolníme otvory trubic 2 a 3 a měříme dobu průtoku menisku mezi značkami A-B.

Ubbelohdeho viskozimetr se nejčastěji používá ke stanovení střední molekulové hmotnosti nebo průměrného polymeračního stupně.

Oba viskozimetry umožňují měřit viskozitu velmi zředěných roztoků.



Obr.19: Ubbelohdeho viskozimetr



Obr.20: Ostwaldův viskozimetr

2.2.3.2 Viskozimetry rotační a vibrační

Při stanovení viskozity se využívá měření odporu, který klade měřené prostředí otáčivému nebo kmitavému pohybu vhodných těles. Měřící rozsah se pohybuje od 10^{-4} do 10^{11} Pa.s. Přístroje k měření viskozity se skládají ze dvou soustředných válců, mezi nimiž je úzká mezera (definovaného rozměru) naplněná měřenou kapalinou.

Existují dva typy těchto viskozimetrů:

1. Definovaná smyková síla je vložena na vnitřní (nebo vnější) válec užitím definovaného točivého momentu. Druhý válec je v klidu. Odpor látky k toku (viskozita) se stanoví na základě změřeného smykového napětí nebo charakteristické rychlosti.
2. Působením smykového napětí, vnitřní (nebo vnější) válec rotuje definovanou rychlostí, se definuje smyková síla. Viskozita látky působící na stěny

vnitřního válce je charakterizována naměřenou smykovou silou. Většina viskozimetrů pracuje na tomto principu, který lze ještě dále rozdělit:

- Searle systém
- Couette systém

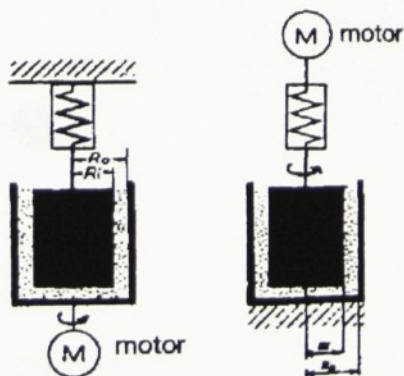
Searle systém

Vnitřní válec se otáčí konstantní nebo různou rychlostí. Vnější válec je v klidu. Látka se dostává do pohybu díky rotujícímu válci a zároveň vykazuje jistý odpor k toku. Viskozita je závislá na otáčivém momentu nebo na efektivním smykovém napětí. Měřicí element pro otáčivý moment je zdeformován ocelovou pružinou umístěnou mezi hnacím motorem a nosnou hřídelí vnitřního válce. Deformací pružiny se přímo měří viskozita testované látky.

Tato metoda je více používána ve výrobě.

Couette systém

Vnější válec se otáčí, což způsobuje tok kapaliny. Vnitřním třením kapaliny se přenáší smykové napětí i na vnitřní válec. Otáčivý moment na vnitřním válci je měřen potenciometricky a určuje sílu zabraňující rotaci. Otáčivý moment přenesený kapalinou je úměrný úhlové rychlosti vnějšího válce a viskozitě kapalin.[16]



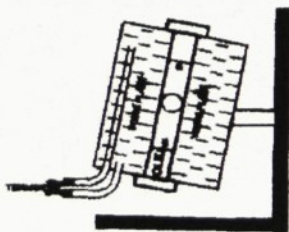
Obr.21: Couette systém Obr.22: Searle systém

Vibrační viskozimetry jsou založeny na podobném principu jako rotační. Měří se např. amplituda vibrující tyčinky ponořené do kapaliny.

2.2.3.3 Tělískové viskozimetry

Tělískové viskozimetry jsou založeny na měření času padající kuličky nebo pístu či stoupající bubliny ve svislé nebo šikmé trubici. Doba pádu tělesa danou trubicí je úměrná viskozitě kapaliny.

Mezi tyto viskozimetry patří Höpplerův viskozimetr. Měříme dobu pádu skleněné koule trubicí odchýlenou asi o 5° od svislého směru, která je naplněná zkoumanou kapalinou.[16] Lze měřit s přesností pod 1%. Používají se kuličky o různém průměru, což umožňuje měřit viskozitu různých kapalin.



Obr.23: Höpplerův viskozimetr

2.2.4 MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A VIKOZITY KAPALIN

2.2.4.1 Metoda oscilující kapky

Je již dlouho známo, že frekvence oscilující a volně padající kapky je velmi citlivým a neinvazním parametrem studií povrchových vlastností. Princip metody spočívá ve stanovení změny tvaru oscilující kapky.[18]

Metoda oscilující kapky umožňuje měřit povrchové napětí a viskozitu kapalin bez působení vnějších sil za mikrogravitačních podmínek. Termofyzikální vlastnosti kapalin lze stanovit bez chyby znečištěním (vzorek nepříjde do styku

s kádinkami nebo jinými substráty) a za širšího teplotního rozsahu. Další výhodou této metody je v použití velmi malého množství zkoumané kapaliny a přesné stanovení hledaných povrchových vlastností.

Tato metoda byla založena Rayleighem a Lambem a byly odvozeny tyto vztahy pro výpočet povrchového napětí:

$$\gamma = \frac{3\pi M v^2}{n(n-1)(n+2)} \quad (13)$$

Kde γpovrchové napětí

Mhmotnost kapky

noznačení oscilačního módu

vfrekvence oscilace

Pro výpočet viskozity:

$$\eta = \frac{3M}{20\pi\tau R} \quad (14)$$

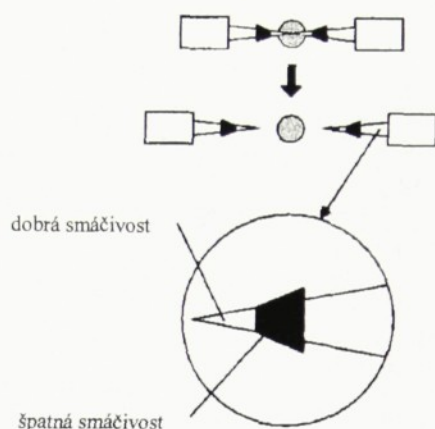
Kde ηviskozita

τjednotka útlumu

Rpoloměr kapky ve stabilním stavu

Utváření kapky

Kapka je umístěná mezi dvě jehly, které jsou naproti sobě. Potom se jehly velmi rychle začnou pohybovat od sebe. Pro zjištění malé oscilace kapky je nutná nižší počáteční rychlost kapky (kapka se významně zvětší). Při příliš velké počáteční rychlosti kapky, by se kapka dostala velmi rychle vně pozorovací oblast a měření by bylo neefektivní.



Obr.24: Schématický diagram utváření kapky

Geometrie jehly

Geometrie jehly je jeden z nejdůležitějších faktorů. Špička jehly je zabroušena do tvaru kruhového kužele, což zajišťuje postupné snižování mezipovrchové volné energie mezi jehlou a kapkou. Kapka má menší sílu a dochází k snadnějšímu vytažení jehly z kapky.

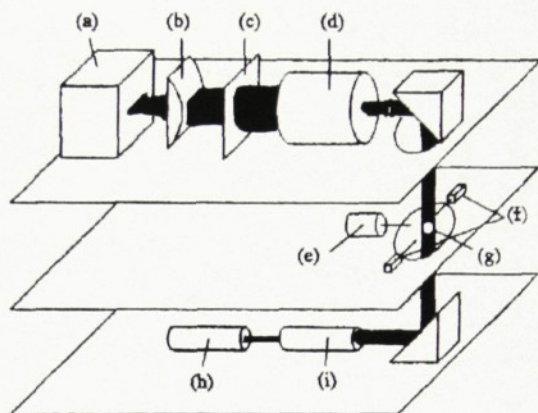
Smáčivost kapky

Dalším důležitým faktorem pro stabilní vnášení kapky je smáčivost jehly. Používají se dobře smáčivé jehly částečně pokryté málo smáčivým filmem, které zajišťují kontrolu počáteční rychlosti téměř od nuly.

Obr.25 znázorňuje schématický diagram experimentálního přístroje vyvinutého v Japonsku. Byly odstraněny všechny síly působící na kapku, navíc i síla elektromagnetická, elektrostatická a akustická.

K zaznamenávání rychlých a malých oscilací slouží paprskový senzor, který je schopný zaznamenat 7200 paprsků za sekundu s rozlišením 2048 pixelů.

Laser zajišťuje prosvětlení systému a snižuje tak problémy se zaměřením oscilující kapky. Dále je použit mechanismus autozaměrování nebo čočky se širokou tloušťkou zorného pole.[19]



Obr.25: Schématický diagram měřícího systému:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| (a) Paprskový senzor | (f) Jehly |
| (b) Cylindrická čočka | (g) Vznášející se kapka |
| (c) Čtvercová štěrba | (h) Laser |
| (d) Rozpínka paprsku | (i) Paprsková rozpínka |
| (e) Zásobník kapaliny | |

2.3 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUBSTANCÍ

2.3.1 ZÁHUSTKY

Záhustky jsou nejdůležitější součástí tiskacích past a určují svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi jejich vlastnosti. Záhustka je nosným prostředím pro barviva, chemikálie, pomocné prostředky a rozpouštědla, které se jejím prostřednictvím dostávají do vzájemného kontaktu a do kontaktu s vlákny.[15]

Záhustky se připravují ze zahušťovadel, což jsou obvykle přírodní nebo různě modifikované vysokomolekulární látky koloidní povahy. Rozpuštěním zahušťovadel za studena nebo za horka se získají koloidní roztoky zvané záhustky.

Funkce zahušťovadel v textilních pastách je mnohostranná.[20] Hlavní úloha zahušťky je překonání kapilárních sil potiskovaných textilních materiálů, čímž zabráníme rozpětí barviv a tisk bude dokonale ostrý.

2.3.1.1 Druhy zahušťovadel

Zahušťovadla v textilním průmyslu lze rozdělit:

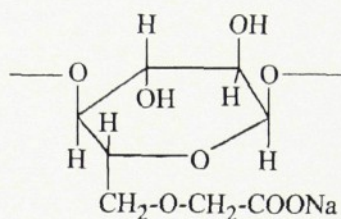
- Přírodní
- Emulzní
- Syntetická

2.3.1.1.1 Přírodní zahušťovadla

Škroby a jejich deriváty

Jsou to polysacharidy ze zrn, plodů a hlíz. K zahuštění tiskacích past se nejvíce používá kukuřičný a pšeničný škrob, jehož tokové vlastnosti nevykazují anomálie jako je tomu u bramborového škrobu. Přesto je používání škrobových zahuštěk dnes málo obvyklé, neboť při potisku větších ploch dochází k nerovnoměrnostem. Další nevýhodou je jejich špatná vypratelnost po zafixování barviva.

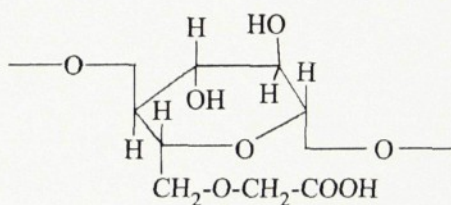
Častěji se dnes používají deriváty škrobu např. karboxymethylether škrobu, který se vyrábí z nativních nebo odbouraných škrobů působením kyseliny monochloroctové za přítomnosti alkálie. Karboxymethylether škrobu je snadno vypratelný po zafixování barviva a zvyšuje difúzi barviv do vlákna.



karboxymethylether škrobu

Deriváty celulózy

Mezi deriváty celulózy patří karboxymethylether celulóza, která se používá jen ve formě rozpustné ve studené vodě. Její nevýhodou jsou její tokové vlastnosti a vysoká lepivost.



karboxymethylether celulózy

Jádrové moučky a jejich deriváty

Karubin a guaran jsou smíšené polysacharidy tzv. galaktomany mající velice podobné chemické složení.

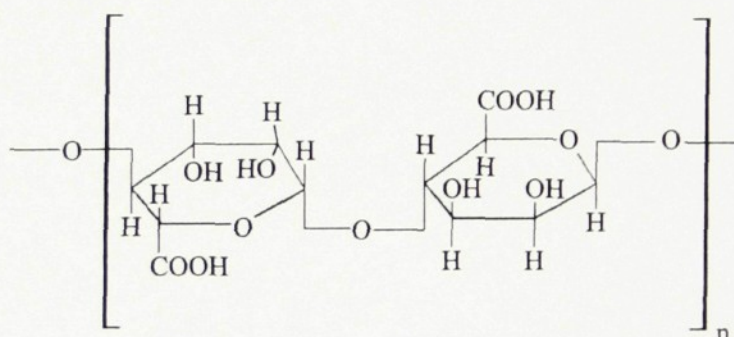
Karubin je výtažkem moučky ze semen svatojánského chleba a je rozpustný v horké vodě. Guarán je moučka z guarových bobů a je rozpustný ve studené vodě. Nevýhodou těchto zahuštěk je jejich sklon k řídnutí v alkalickém prostředí.

Algináty

Zahušťovadlo alginát sodný se získává z hnědých mořských řas (*Laminaria Digitata*) a používá se ve formě sodných, amonných nebo hořečnatých solí

kyseliny alginové.[20] Rozpouští se ve studené i teplé vodě za postupného vsypávání a současného intenzivního míchání. Se stoupající teplotou klesá jeho viskozita, při následném ochlazení viskozita opět stoupá. Alginátové zahušťovadla lze mísit se všemi ostatními zahušťovadly.

V textilním tisku mají alginátové zahušťovadla velký význam, neboť nereagují s reaktivními barvivy. Je to způsobeno tím, že na rozdíl od jiných zahušťovadel, neobsahují ve své molekule reaktivní primární alkoholové skupiny.



kyselina alginová

2.3.1.1.2 Emulzní zahušťovadla

Emulzní zahušťovadla jsou vysokoviskózní disperzní soustavy složené ze souvislé vnější fáze a nesouvislé vnitřní fáze. Používané emulze mohou být typu „olej ve vodě“ nebo „voda v oleji“. Jako olejová ve vodě nerozpustná fáze se používá lakový benzín, frakce 140 až 210 °C.

U emulzí typu „olej ve vodě“ tvoří lakový benzín vnitřní fázi a je rozptýlen v podobě drobných kapiček o průměru asi 10^{-3} až 10^{-4} cm ve vodě, která tvoří vnější kontinuální fázi. Tento disperzní stav je zajištěn přítomností emulgátoru, který se hromadí na rozhraní obou fází a stabilizuje emulzi.

Emulze typu „voda v oleji“ mají stejnou strukturu s tím rozdílem, že vnitřní fázi tvoří voda a vnější lakový benzín. Charakter disperze je závislý na vlastnostech emulgátoru a na vlastnostech vnější fáze.[15]

Z ekologických a bezpečnostních důvodů se čisté emulzní zahušťky v současné době používají jen výjimečně.

2.3.1.1.3 Syntetická zahušťovadla

Syntetická zahušťovadla jsou makromolekulární látky – ve vodě rozpustné soli syntetických polymerů. Zahušťovací účinek je úměrný stupni disociace polymerů. V nedisociovaném stavu je viskozita roztoku nízká, naopak v disociovaném stavu je viskozita vyšší.

Tyto zahušťky slouží jako náhrada emulzních zahuštěk, neboť vykazují obdobné vlastnosti. Z celé řady výrobků je možné uvést: deriváty kyseliny maleinové, deriváty kyseliny akrylové, kopolymery styrenu a derivátů kyseliny akrylové a další.

2.3.2 TENZIDY

2.3.2.1 Vlastnosti tenzidů

Tenzidy jsou povrchově aktivní látky (PAL), které mají pro zušlechťování textilií velký význam. Tyto látky působí jako prací, čistící, avivážní a dezinfekční prostředky. Dále umožňují a zrychlují průběh zušlechťovacích operací jako smáčedla, dispergátory, emulgátory, egalizační prostředky atd.

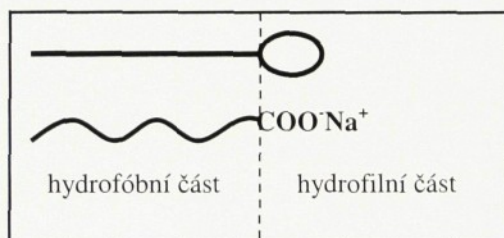
Tenzidy jako PAL jsou schopny už při nízkých koncentracích ve velké míře měnit podmínky na fázovém rozhraní, což znamená, že tenzidy jsou schopny snižovat povrchové napětí. Jsou to takové látky, které při nízké koncentraci, např. 0,01% sníží povrchové napětí vody ze $72 \cdot 10^{-3}$ na $30 \cdot 10^{-3}$ N.m⁻¹. Tyto vlastnosti jsou způsobené chemickou a fyzikální strukturou molekul tenzidů, které mají asymetrický dipolární charakter s výrazným dipólovým momentem. Molekuly těchto látek se skládají z polární a nepolární části.

Polární část (hydrofilní) – je ta část molekuly, která je příbuzná k vodě (k polární části) a ovlivňuje rozpustnost tenzidu. Je to např. ionogenní skupina -COO^- , -SO_3^- , -OSO_3^- nebo neionogenní skupina -CONH^- , $\text{-SO}_3\text{NH}^-$.

Nepolární část (hydrofóbní) – je ta část molekuly, která je příbuzná k oleji (k nepochopitelné fázi) a je příčinou povrchové aktivity tenzidu. Tvoří ji dlouhý uhlíkatý řetězec z alifatických řetězců alkanů a alkenů, nebo zbytky aromatických sloučenin. Tato hydrofóbní skupina je dále označována jako R.

Molekula tenzidu má tedy amfipatickou molekulu, což způsobuje právě polární a nepolární část tenzidu.

stearan sodný $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$



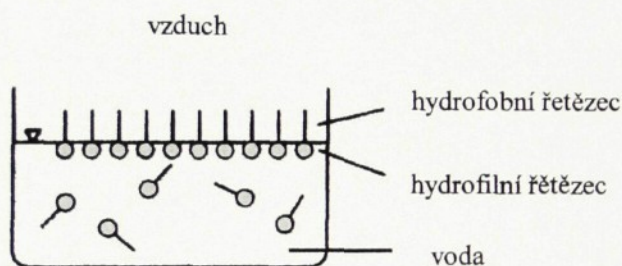
Obr.26: Znáznornění amfipatické struktury molekul povrchově aktivních látek

Pro povrchově aktivní látky je typická orientovaná adsorpce, která se projevuje na rozhraní dvou fází a snižuje mezipovrchové napětí mezi oběma fázemi. Dochází k vzájemné interakci vanderwaalsovského charakteru mezi molekulami tenzidu, ale i mezi jednotlivými částmi molekul tenzidu a molekulami vody. Voda má zvýšenou afinitu k hydrofilní části a odpuzuje hydrofóbní úsek molekuly tenzidu.

Molekuly tenzidu difundují na povrch kapaliny, adsorbují se na fázovém rozhraní a vytvářejí monomolekulární orientovanou vrstvu povrchového filmu. Nepolární část molekuly je příčinou její povrchové aktivity, polární část způsobuje její rozpustnost.[21]

Současně má hydrofóbní část molekuly lipofilní charakter (přitažlivost k mastným – nepolárním látkám) a hydrofilní část má lipofóbní charakter (nepolární látky odpuzuje).

Při zušlechťování textilií dochází k orientované adsorpci tenzidů, např. mezi částicemi nečistoty a prací lázni, textilním vláknem a lázní, částicemi barviva a barvicí lázni apod. Tento děj je proto nesmírně důležitý a umožňuje a urychluje procesy praní, smáčení, dispergaci, emulgaci atd.



Obr.27: Orientovaná adsorpce povrchově aktivní látky na povrchu vody

2.3.2.2 Rozdělení tenzidů

Podle iontového charakteru dělíme povrchově aktivní látky na:

- ☐ ionické-anionické
- kationické
- ☐ neionické
- ☐ amfolytické

Ionicitu rozlišujeme podle elektrického náboje, který zůstane na organické části molekuly tenzidu po její disociaci ve vodě.

2.3.2.3 Tvorba micel a kritická micelární koncentrace

Rozpouštění tensidů ve vodě vyžaduje k překonání odporu, který kladou nepolární části molekuly tensidu, určitou minimální volnou energii. Ta je dána nejmenší možnou styčnou plochou mezi molekulami vody a nepolární částí molekuly tensidu. V roztoku se realizuje agregací molekul tensidu do útvaru zvaných micely.

Tvorba micel se projeví při určité koncentraci tensidu a dochází ke změně vlastností tensidu, jako právě snížení povrchového napětí a s touto změnou selepší i prací schopnosti. Tuto koncentraci nazýváme kritickou micelární koncentrací – KMK.

Tenzidy tedy tvoří ve vhodném rozpouštědle a při velkém zředění pravé roztoky, ale s rostoucí koncentrací se jednotlivé molekuly spojují a vytvářejí micely.[21]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH TENZIDŮ

ABESON INA

Složení: vodný roztok sodné soli lineární alkylbenzensulfonové kyseliny (LABS) s přidavkem ztekucovadel

Vlastnosti:

- barva při 25°C: hnědožlutá viskózní kapalina
- vzhled vodného roztoku: čirý
- hustota při 20°C: 1,1 g.cm⁻³
- pH 1 % roztoku: 6,5 – 8,0
- aktivní látky: 47,4 %
- obsah: Na₂SO₄: 1,5 %

Ionogenita: anionický

Hlavní oblast použití: základní složka pracích, čistících, odmašťovacích a smáčecích přípravků, případně pro tyto účely po naředění i samostatně

Hygiena a ochrana zdraví při manipulaci s výrobkem: Abeson INA není jedem ani žíravinou ve smyslu platných předpisů. Má však v koncentrovaných roztocích silné odmašťující účinky a může u citlivých osob vyvolat podráždění pokožky a sliznic.[22]

ALFONAL KD

Složení: diethanolamid kokosové kyseliny (1:1), vyráběný z kokosového
tuku

Vlastnosti:

- vzhled při 20°C: čirá nažloutlá viskózní kapalina
- hustota při 20°C: 1,01 g.cm⁻³
- dynamická viskozita při 20°C: 1,15 Pa.s
- volné mastné kyseliny: 0,8 %
- volný glycerol: 9 %
- pH 1 % vodného roztoku: 9,0 – 10,5

Ionogenita: prakticky neionogenní

Hlavní oblast použití: V tenzorových formulacích jako smáčedlo, zesilovač pění a stabilizátor pěny, jako změkčující a antistatická přísada, dotučňovadlo, jako fixativ parfémů a solubilizační agens pro komponenty obtížně mísitelné s vodou, i jako účinný dispergátor a V/O i O/V emulgátor umožňující detergenční schopnost přípravku. Schopnost alkanolamidu zvyšovat viskozitu tenzorových roztoků je využívána pro zahušťování přípravků, pokud není přípravek anorganických solí žádoucí, a nebo pokud je pro tento účel nelze použít.

Hygiena a ochrana zdraví při manipulaci s výrobkem: Alfonal KD je prakticky nejedovatý. V koncentrovaném množství však může při dlouhodobém nebo opakovaném kontaktu vyvolat podráždění pokožky, očí a sliznic.[23]

FLAVOL LDA

Složení: amfoterní tenzid na bázi N-laurylamidopropyl-N,N-dimethyl-N-karboxymethyl-amonium betainu (CTFA: Lauramidopropyl Betaine) ve formě vodného roztoku:



Vlastnosti:

- vzhled při 20°C: čirá nepatrně nažloutlá lehce viskózní kapalina
- aktivní látky: 29,3 %

- chloridy (jako NaCl): 4,5 – 6,0 %
- pH 3 % vodného roztoku: 5,5

Ionogenita: amfoterní

Hlavní oblast použití: Jako složka tenzorových směsí, hlavně přípravků osobní hygieny a kosmetických. K jeho typickým vlastnostem patří výborná pěnivost a stabilita pěny i ve tvrdé vodě, velmi dobrá snášenlivost s pokožkou a sliznicemi a schopnost příznivě ovlivnit i dermatologické účinky finálních receptur, kondicionační efekt vůči vlasu a pokožce, kompatibilita s ostatními typy povrchově aktivních látek a posléze schopnost zvyšovat viskozitu aplikačních formulací.

Hygiena a ochrana zdraví při manipulaci s výrobkem: Výrobek má v koncentrovaných roztocích odmašťující účinky u citlivých osob nelze zcela vyloučit podráždění pokožky a sliznic. Výrobek není hořlavou kapalinou ve smyslu ČSN. Výrobek není jedem ani žíravinou ve smyslu obecně vzatých předpisů.[24]

3.2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH ZAHUŠŤOVADEL

LUTEXAL HIT (firma BASF)

Chemické složení: vysokopolymerní syntetické zahušťovadlo na bázi akrylátu pro pigmentový tisk

Vlastnosti:

- hustota: 1,0 g.cm⁻³ (20°C)
- teplota varu: 100°C
- teplota tuhnutí: < 0°C
- pH: 7-9

Vzhled: dodává se ve formě nízkoviskózní lehce tekoucí bílé suspenze

Příprava: postupným vmícháváním studené vody do zahušťovadla až do nabobtnání zahušťovadla cca 8-10 minut

Výrobce **doporučována koncentrace** **z obchodního produktu**
pro textilní tisk: 26g.kg^{-1}

Charakteristika:

- Syntetická záhustka určená pro potiskování pigmentovými barvivy
- Záhustka pro bezbenzínový a benzín obsahující tisk
- Při tisku neobsahující benzín lze zaručit požadovaný výsledek se zřetelem na sytost vybarvení, ostrost tisku a protisk
- Vhodný také pro použití v pigmentovém leptovém tisku neobsahující benzín a u pigmentového rezervového tisku reaktivními barvivy
- Mísitelná s vodou v každém poměru
- Rychle bobtná ve vodě
- Silně houstne
- Jednoduchý způsob výroby tiskařské barvy
- Brilantní tisk a ostré obrysy
- Tiskací pasty mají výborné zpracovatelské vlastnosti a nepatrný vliv na omak potištěného zboží[25]

Skladování:

Lutexal HIT je možné skladovat v originální, uzavřené nádobě při teplotě 0°C – 40°C nejméně 12 měsíců. Při delším skladování pod bodem mrazu může Lutexal HIT zhoustnout. Po zahřátí a za současného intenzivního míchání se z Lutexalu HIT stane opět nízkoviskózní látka bez změny svých vlastností.

Po delším skladování má Lutexal HIT sklony k sedimentaci. Před použitím je tedy potřeba Lutexal HIT promíchat.[26]

PRINTEX S 500 (FIRMA LAMBERTO LAMBERTINO)

Chemické složení: vysokoviskózní zahušťovadlo na bázi alginátu

Vlastnosti:

- Anionická látka
- Odolný vůči elektrolytům a alkáliím

Příprava: postupným vmícháváním zahušťovadla do studené vody za současného intenzivního míchání

Výrobce doporučovaná koncentrace z obchodního produktu pro textilní tisk: záhustka se připravuje v 3% - 4% koncentraci, 45g.kg^{-1} [27]

3.3 MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Kritická micelární koncentrace použitých tenzidů byla stanovena měřením povrchového napětí na stalagnometru. Pro stanovení povrchového napětí záhustek a soustav záhustka –tenzid byla použita Wilhelmyho destičková metoda.

3.3.1 STALAGNOMETRICKÁ METODA

Stalagmetrická metoda spočívá ve stanovení počtu kapek, které se vytvoří při výtoku určitého objemu kapaliny na konci tlustostěnné kapiláry stalagnometru. Stalagnometr je v podstatě pipeta zakončená tlustostěnnou kapilárou. Před zahájením měření musí být stalagnometr dobře vyčištěn, nejlépe opakovaným propláchnutím čistou destilovanou vodou 40°C teplou.

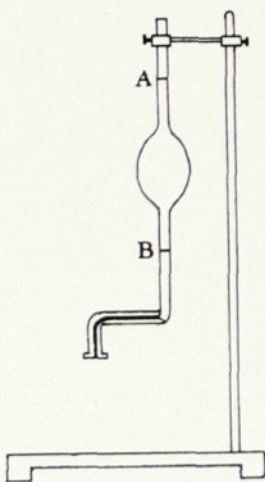
Měření provádíme tak, že se zkoumaná kapalina nasaje do stalagnometru a její hladina se nastaví na horní rysku *A*. Potom se nechá kapalina vytéci až po dolní rysku *B* a počítá se počet kapek, které se vytvoří z objemu mezi horní a dolní ryskou.

Z naměřených hodnot se vypočítá povrchové napětí tenzidu za použití rovnic (4,5,6) a (7) uvedených v řešeršní části. V našem případě byla použita jako srovnávací (referenční) kapalina destilovaná voda, jejíž povrchové napětí je $72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-3}$ při teplotě 20°C . Hustota destilované vody ρ_1 a zředěných roztoků povrchově aktivních látek ρ_x byla s menší nepřesností považována za rovnu jedné. Do rovnice (7) dosadíme za $\rho_x = \rho_1$; $\gamma_1 = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$:

$$\gamma_x = 72,75 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (15)$$

Zjednodušená rovnice (15) platí pouze za předpokladu, že počítáme množství kapek vytvořených při výtoku, stejného objemu referenční i měřené kapaliny.

Experimentálně bylo stanoveno povrchové napětí v závislosti na koncentraci tenzidu a určena oblast kritické micelární koncentrace. Měření bylo opakováno dvakrát a byla stanovena průměrná hodnota.



Obr.28: Stalagnometr

3.3.2 WILHELMYHO DESTIČKOVÁ METODA

Měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou bylo provedeno na zařízení KRÜSS na Katedře netkaných textilií.

Čištění před měřením

Před samotným měřením je nutné pokaždé vyčistit platinovou destičku, neboť přístroj je velmi citlivý. Destička se nejprve opláchne pod proudem teplé vody a poté v roztoku acetonu. Následně se vyvaří v destilované vodě po dobu dvou minut a pak se vyžihá nad plamenem dokud nedojde k zčervenání – žhání je u konce. Destička se musí nechat vychladnout, neboť povrchové napětí je citlivé na změnu teploty a pokud by se destička nenechala po určitou dobu vychladnout, mohlo by dojít ke zkreslení výsledků měření.

Stejným způsobem je nutné vyčistit i skleněnou kádinku používanou pro měřenou kapalinu.

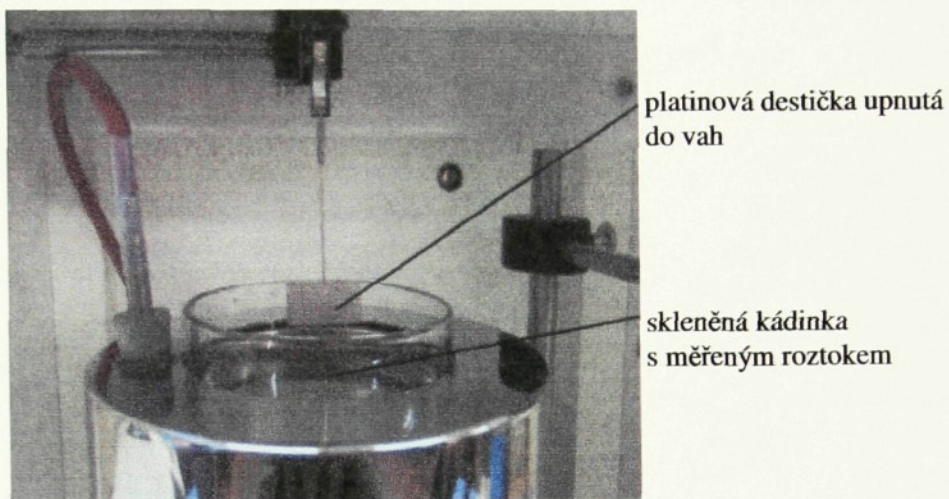
Samotné měření

Následuje samotné měření. Do skleněné nádoby se nalije měřený roztok a vloží na příslušné místo. Platinová destička definovaných rozměrů se upne do vah a přístroj se odaretuje. Po spuštění měření se pomalu zvedá úroveň hladiny kapaliny, až se dotkne visící destičky zavěšené do vah. Zaznamenává se přírůstek na váze destičky. Kapalina smáčí povrch destičky, která je ponořena do definované výšky. Po naměření příslušného počtu hodnot povrchového napětí dle nastavení uživatele, klesá kapalina zpět do výchozí polohy.

Základní údaje platinové destičky:

- Šířka destičky: 19,900 mm
- Tloušťka destičky: 0,2 mm
- Hloubka ponoru destičky do kapaliny: 2 mm
- Citlivost vah: 0,01 g

- Časový interval mezi zaznamenáváním hodnot povrchového napětí: 2s
 - Maximální možný počet naměřených hodnot povrchového napětí: 100
- [28]



Obr.29: Měřící element zařízení KRÜSS



Obr.30: Zařízení KRÜSS pro měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou

3.4 MĚŘENÍ VISKOZITY

Pro stanovení viskozity byl použit viskozimetr Viscotester VT 550 firmy HAAKE. Tento laboratorní přístroj se používá ke stanovení reologických parametrů kapalných nebo polotuhých látek.

Přístroj se skládá z následujících částí:

- ❑ Viskozimetr VT 550 a jeho zdroj energie
- ❑ Temperovací nádobka se senzorovým systémem
- ❑ Teplotní čidlo Pt100
- ❑ Stojan

Princip funkce

Měřená kapalina se umístí do prostoru mezi rotorem a pevnou částí senzorového systému. Rotor se otáčí předvolenou rychlostí. Měřená kapalina projevuje odpor vůči tomuto rotačnímu pohybu (v důsledku své viskozity), který se jeví jako (brzdný) kroutící moment na měřicím systému VT 550.

Vestavěný počítač vypočítá odpovídající hodnoty viskozity η , smykové rychlosti D a smykového napětí τ podle rychlosti otáčení, kroutícího momentu a geometrie senzorového systému (systémového faktoru).

Teplota T je rovněž vyhodnocena ve $^{\circ}\text{C}$, je-li připojeno teplotní čidlo.

Přístroj je ovládán přímo z počítače pomocí tzv. aplikačního softwaru tak, že automaticky měří a vyhodnocuje výsledky.

Senzorové systémy

Viskozimetr VT 550 může být používán s různými druhy senzorových systémů. Každý senzorový systém se skládá ze statoru a rotoru a má dané určité rozpětí pro měření viskozity, které je dáno vlastnostmi měřené kapaliny.

K měření viskozity kapalin o střední viskozitě se používá senzorový systém MV. Je to kaotický válcový systém s MV statorem a třemi různými rotory pro rozšíření rozpětí měření. Vzorek kapaliny musí dosahovat ke značkám uvnitř nádoby statoru. Horní hladina kapaliny má přetékat hranu horního vybrání rotoru.

Pro měření kapalin o vysoké viskozitě se používá senzorový systém SV. Je to opět kaotický válcový systém s SV statorem a dvěma různými rotory pro rozšíření rozpětí měření. Pro měření platí stejné podmínky jako u senzorového systému MV.

Čištění

Po každém měření je nutné senzorový systém rozšroubovat a vyčistit pod proudem tekoucí vody.

Před samotným měřením je nutné nastavit rychlost otáčení, použitý senzorový systém a dobu, po které bude měření prováděno. Při měření se zaznamenává toková křivka určující závislost smykového napětí na gradientu rychlosti, čímž se charakterizují reologické vlastnosti zkoumané látky.

V našem případě bylo měření provedeno senzorovým systémem MV pro stanovení viskozity roztoků tenzidů a senzorovým systémem SV pro stanovení viskozity záhustek a soustav záhustka – tenzid. Rychlost otáčení byla nastavena na konstantní; 500 otáček za minutu pro tenzidy a 100 otáček za minutu pro záhustky a soustavy záhustka – tenzid. Doba měření všech vzorků byla nastavena na 60 sekund při teplotě $23,5 \pm 1^\circ\text{C}$.



Obr.31: Viscotester VT 550 firmy HAAKE [13]

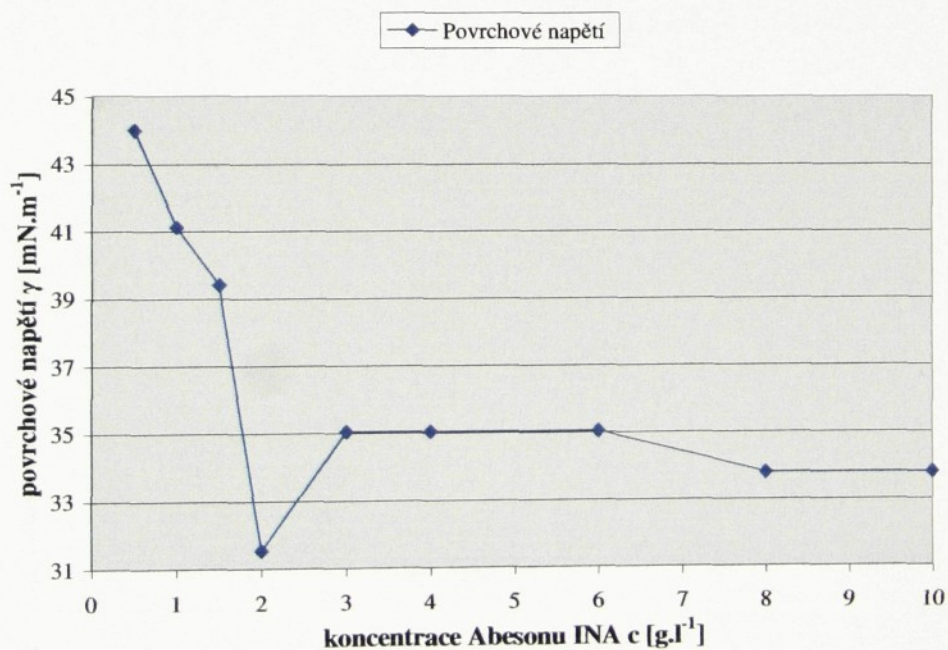
3.5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

3.5.1 VÝSLEDKY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A OBLASTI KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE TENZIDŮ

ABESON INA

Tab.1: Naměřené hodnoty povrchového napětí Abesonu INA

Koncentrace Abeson INA c [g.l ⁻¹]	Počet kapek	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]
0,5	43	43,988
1	46	41,12
1,5	48	39,406
2	60	31,525
3	54	35,028
4	54	35,028
6	55	35,027
8	56	33,777
10	56	33,777

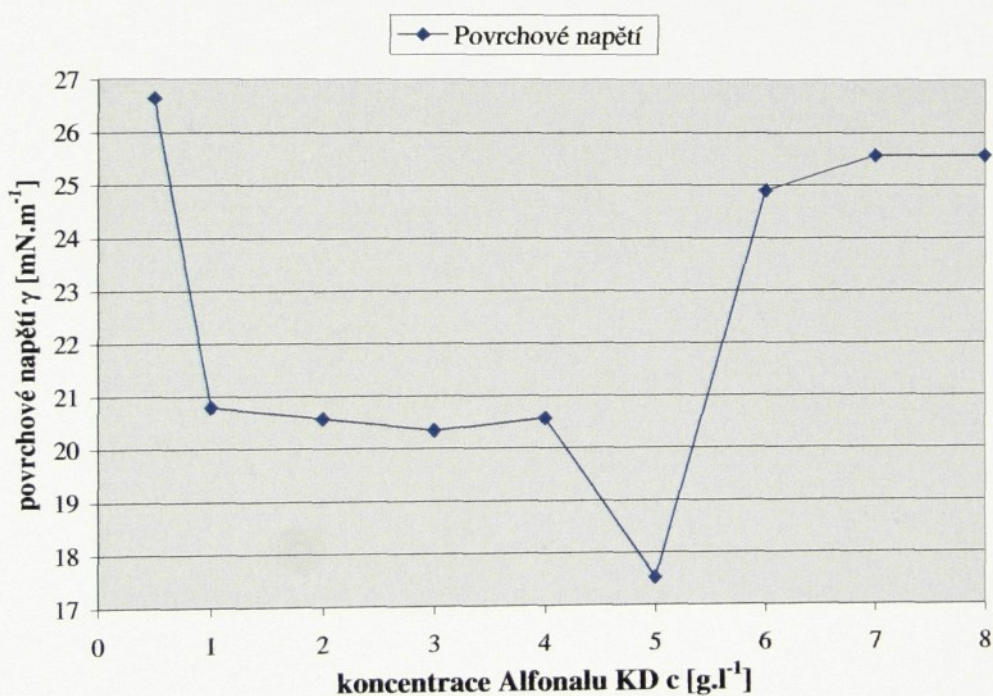


Obr.32: Závislost povrchového napětí na koncentraci Abesonu INA

ALFONAL KD

Tab.2: Naměřené hodnoty povrchového napětí Alfonalu KD

Koncentrace Alfonal KD $c \text{ [g.l}^{-1}\text{]}$	Počet kapek	Povrchové napětí $\gamma \text{ [mN.m}^{-1}\text{]}$
0,5	71	26,641
1	91	20,786
2	92	20,56
3	93	20,339
4	92	20,56
5	108	17,514
6	76	24,888
7	74	25,561
8	74	25,561

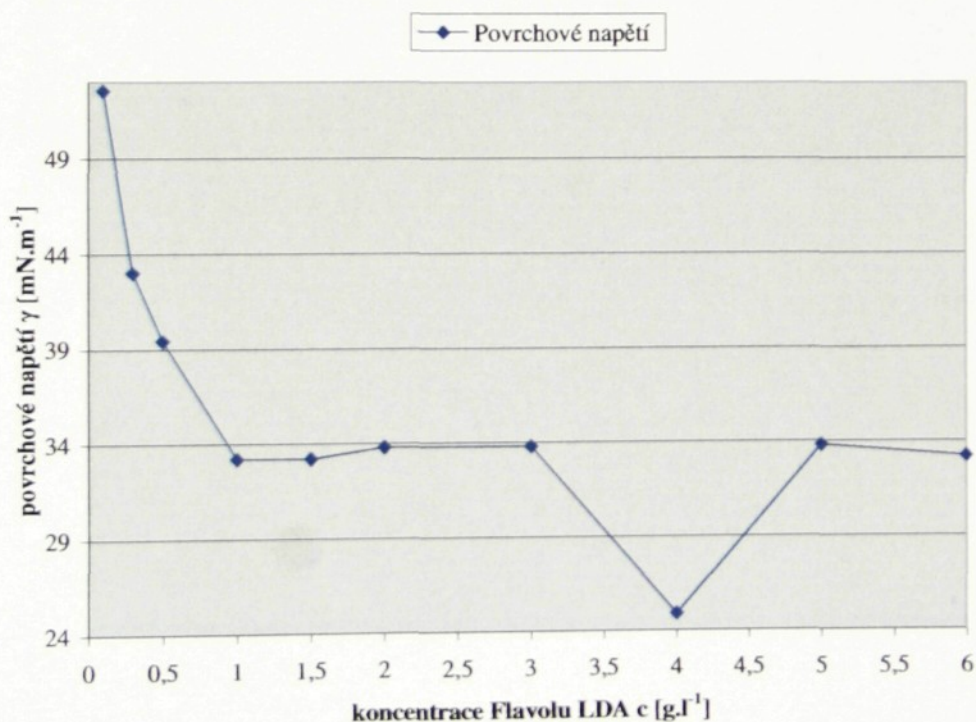


Obr.33: Závislost povrchového napětí na koncentraci Alfonalu KD

FLAVOL LDA

Tab.3: Naměřené hodnoty povrchového napětí Flavolu LDA

Koncentrace Flavol LDA c [g.l ⁻¹]	Počet kapek	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]
0,1	36	52,547
0,3	44	42,989
0,5	48	39,406
1	57	33,184
1,5	57	33,184
2	56	33,777
3	56	33,777
4	76	24,888
5	56	33,777
6	57	33,184



Obr.34: Závislost povrchového napětí na koncentraci Flavolu LDA

**3.5.2 VÝSLEDKY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A
VISKOZITY SAMOTNÝCH ZÁHUSTEK A PO PŘÍDAVKU
TENZIDU V OBLASTI KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE**

Lutexal HIT

Tab.4: Naměřené hodnoty povrchového napětí Lutexalu HIT

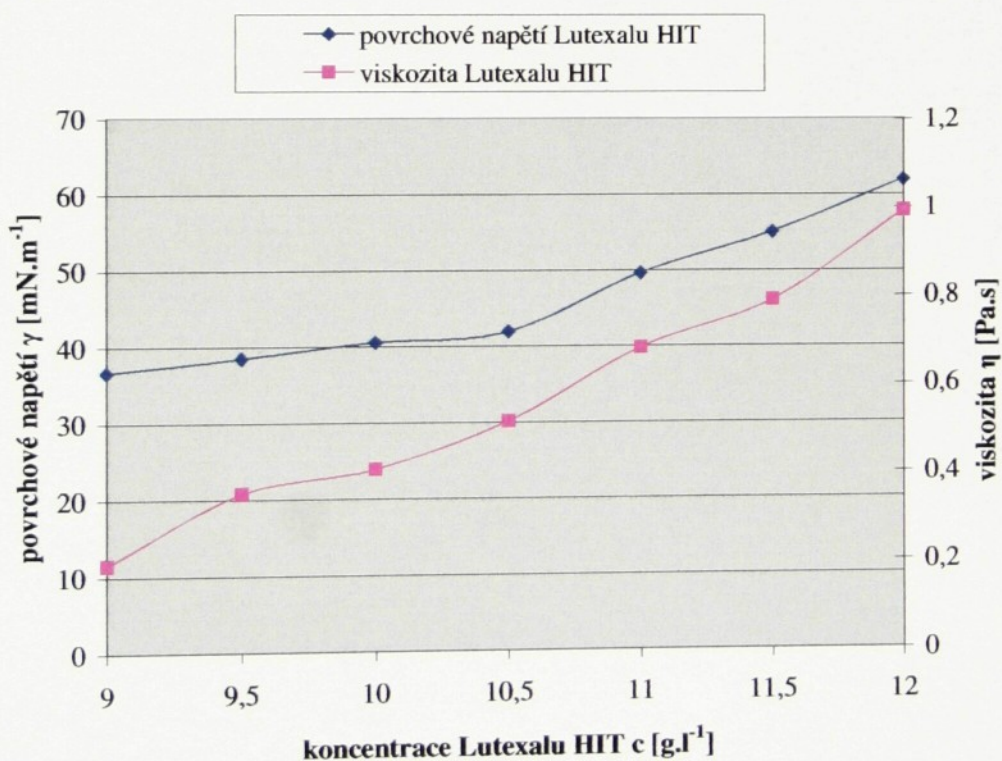
Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
měření 1	36,67	38,52	40,57	42,01	49,67	55,23	62,08
měření 2	36,64	38,52	40,54	41,98	49,64	55,18	62,06
měření 3	36,64	38,49	40,52	41,96	49,62	55,13	62,01
měření 4	36,62	38,47	40,52	41,93	49,59	55,08	61,99
měření 5	36,62	38,47	40,5	41,91	49,57	55,06	61,96
měření 6	36,59	38,45	40,47	41,89	49,57	55,01	61,94
měření 7	36,59	38,42	40,47	41,86	49,55	54,96	61,91
měření 8	36,59	38,42	40,45	41,84	49,52	54,91	61,89
měření 9	36,57	38,4	40,42	41,81	49,5	54,86	61,86
měření 10	36,57	38,37	40,4	41,79	49,47	54,84	61,84
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	36,61	38,45	40,49	41,9	49,57	55,03	61,95
Směrodatná odchylka	0,032	0,048	0,051	0,07	0,06	0,127	0,077

Tab.5: Naměřené hodnoty viskozity Lutexalu HIT při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η[Pa.s]
9	89,18	17,46	0,196
9,5	89,18	31,62	0,355
10	89,18	36,43	0,409
10,5	89,18	46,05	0,516
11	89,18	60,72	0,681
11,5	89,18	70,33	0,789
12	89,18	88,35	0,991

Tab.6: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Lutexalu HIT

Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
9	36,61	0,196
9,5	38,45	0,355
10	40,49	0,409
10,5	41,9	0,516
11	49,57	0,681
11,5	55,03	0,789
12	61,95	0,991



Obr.35: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Lutexalu HIT

Lutexal HIT s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Tab.7: Naměřené hodnoty povrchového napětí Lutexalu HIT s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

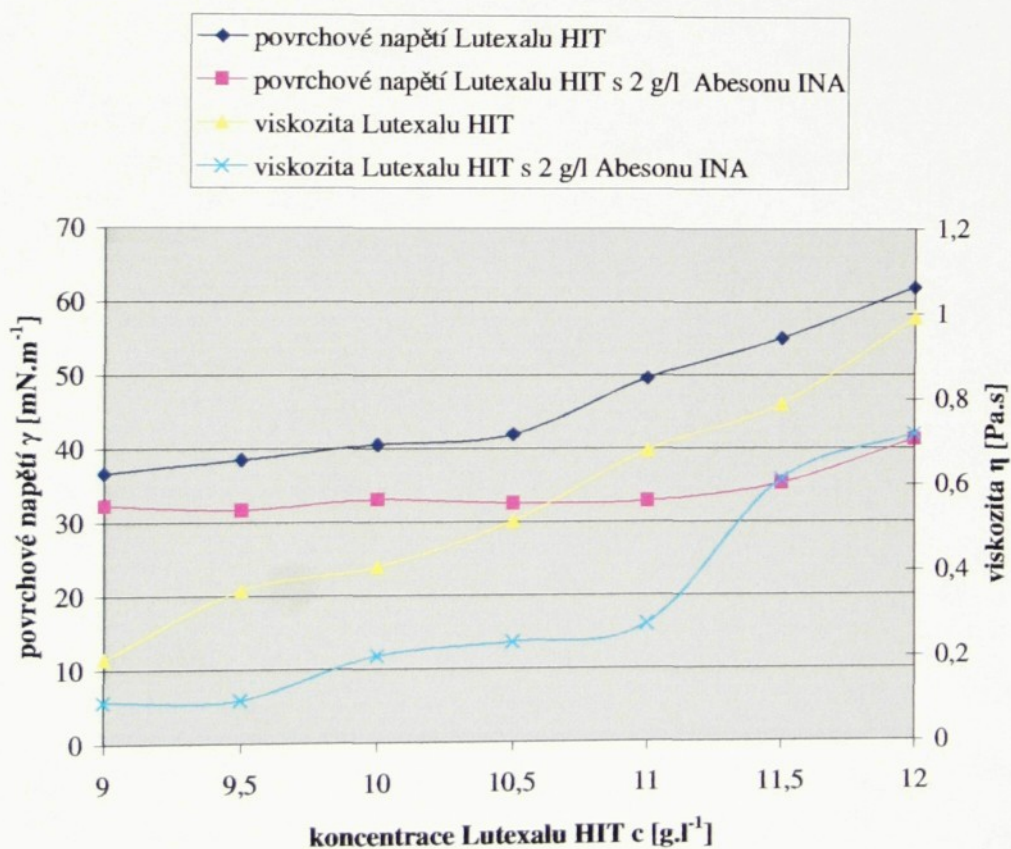
Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
měření 1	32,25	31,64	33,05	32,52	32,84	35,32	41,28
měření 2	32,25	31,64	33,03	32,52	32,84	35,3	41,25
měření 3	32,25	31,64	33,03	32,52	32,81	35,27	41,23
měření 4	32,25	31,64	33,03	32,49	32,81	35,27	41,2
měření 5	32,23	31,64	33,03	32,49	32,81	35,25	41,18
měření 6	32,23	31,64	33,03	32,49	32,81	35,25	41,15
měření 7	32,23	31,62	33,01	32,49	32,79	35,23	41,13
měření 8	32,23	31,62	33,01	32,49	32,79	35,2	41,11
měření 9	32,2	31,62	33,01	32,49	32,79	35,2	41,08
měření 10	32,2	31,62	32,98	32,47	32,79	35,18	41,06
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	32,23	31,63	33,02	32,5	32,81	35,25	41,17
Směrodatná odchylka	0,018	0,01	0,018	0,016	0,018	0,043	0,07

Tab.8: Naměřené hodnoty viskozity Lutexalu HIT s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η[Pa.s]
9	89,18	8,6	0,096
9,5	89,18	8,86	0,099
10	89,18	17,96	0,201
10,5	89,18	20,75	0,233
11	89,18	24,54	0,275
11,5	89,18	54,65	0,613
12	89,18	64,01	0,718

Tab.9: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Lutexalu HIT s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Koncentrace Lutexalu HIT c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
9	32,23	0,096
9,5	31,63	0,099
10	33,02	0,201
10,5	32,5	0,233
11	32,81	0,275
11,5	35,25	0,613
12	41,17	0,718



Obr.36: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Lutexalu HIT s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Lutexal HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Tab.10: Naměřené hodnoty povrchového napětí Lutexalu HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

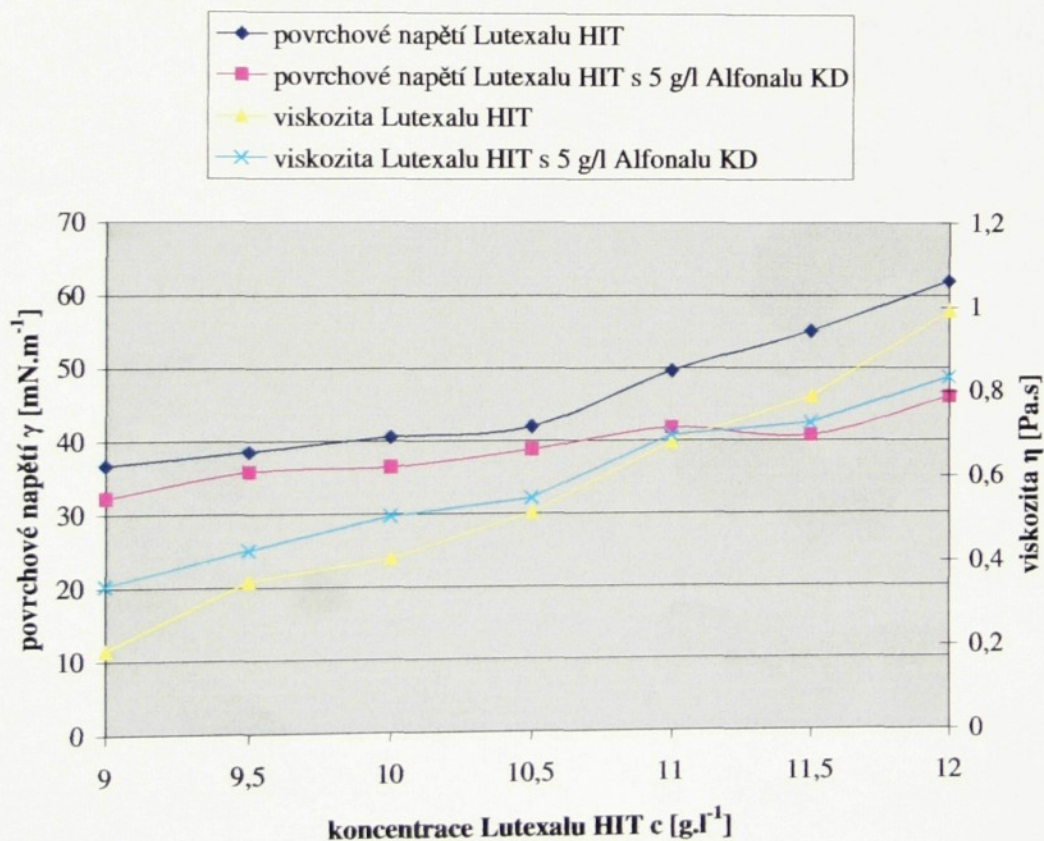
Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
měření 1	32,2	35,74	36,47	38,79	41,79	40,71	46,01
měření 2	32,2	35,74	36,45	38,76	41,76	40,69	46,01
měření 3	32,18	35,71	36,42	38,76	41,76	40,69	45,98
měření 4	32,18	35,71	36,4	38,74	41,74	40,67	45,96
měření 5	32,15	35,71	36,4	38,74	41,71	40,67	45,94
měření 6	32,15	35,71	36,37	38,71	41,71	40,64	45,94
měření 7	32,15	35,69	36,37	38,71	41,69	40,64	45,91
měření 8	32,13	35,69	36,35	38,69	41,69	40,62	45,89
měření 9	32,13	35,67	36,35	38,69	41,67	40,62	45,86
měření 10	32,13	35,67	36,32	38,69	41,64	40,59	45,84
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	32,16	35,7	36,39	38,73	41,72	40,65	45,93
Směrodatná odchylka	0,026	0,023	0,045	0,033	0,044	0,036	0,056

Tab.11: Naměřené hodnoty viskozity Lutexalu HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η [Pa.s]
9	89,18	30,87	0,346
9,5	89,18	38,2	0,428
10	89,18	45,29	0,508
10,5	89,18	49,08	0,55
11	89,18	62,24	0,698
11,5	89,18	64,77	0,726
12	89,18	74,38	0,834

Tab.12: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Lutexalu HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Koncentrace Lutexalu HIT c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
9	32,16	0,346
9,5	35,7	0,428
10	36,39	0,508
10,5	38,73	0,55
11	41,72	0,698
11,5	40,65	0,726
12	45,93	0,834



Obr.37: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Lutexalu HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Lutexal HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

Tab.13: Naměřené hodnoty povrchového napětí Lutexalu HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

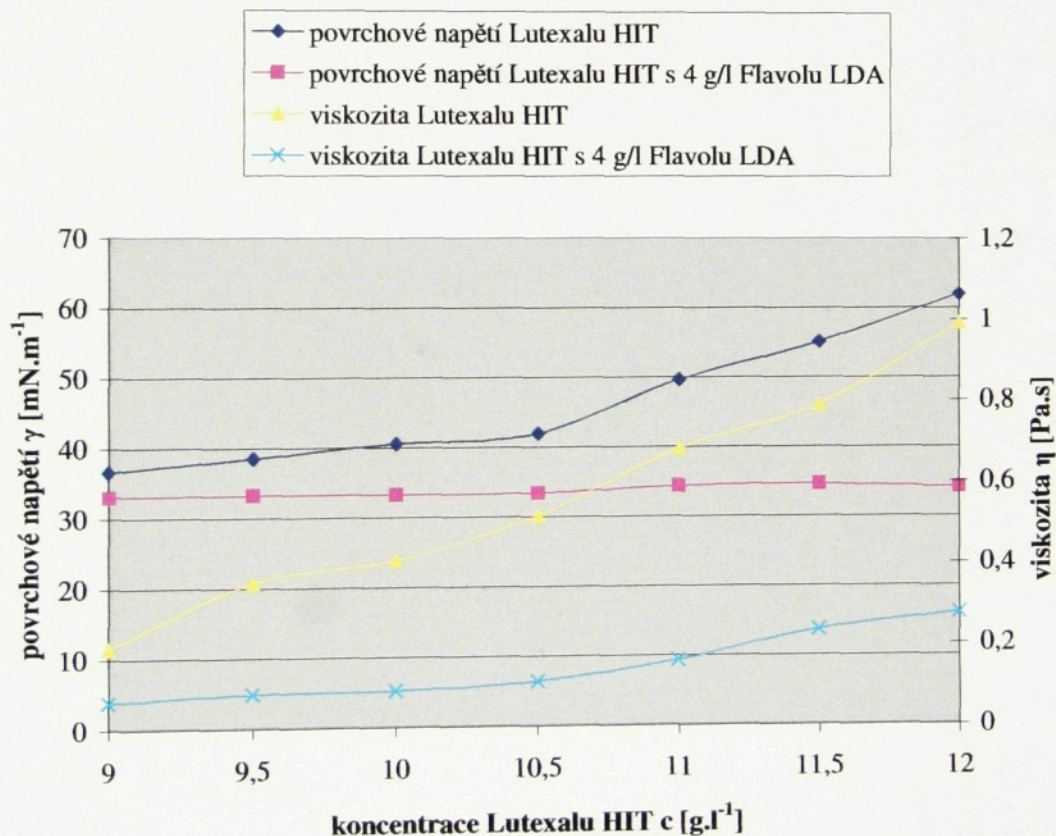
Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
měření 1	33,01	33,23	33,2	33,32	34,3	34,59	34,1
měření 2	33,01	33,2	33,2	33,32	34,3	34,59	34,08
měření 3	33,01	33,2	33,2	33,32	34,3	34,59	34,08
měření 4	33,01	33,18	33,2	33,32	34,3	34,59	34,08
měření 5	33,01	33,18	33,2	33,32	34,3	34,59	34,08
měření 6	33,01	33,18	33,18	33,3	34,3	34,57	34,08
měření 7	33,01	33,18	33,18	33,3	34,27	34,57	34,08
měření 8	32,98	33,18	33,18	33,3	34,27	34,54	34,05
měření 9	32,98	33,18	33,18	33,3	34,27	34,54	34,05
měření 10	32,98	33,18	33,18	33,3	34,27	34,54	34,05
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	33	33,19	33,19	33,31	34,29	34,57	34,07
Směrodatná odchylka	0,014	0,016	0,01	0,01	0,015	0,022	0,016

Tab.14: Naměřené hodnoty viskozity Lutexalu HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η [Pa.s]
9	89,18	5,82	0,065
9,5	89,18	7,34	0,082
10	89,18	7,84	0,088
10,5	89,18	9,61	0,108
11	89,18	14,17	0,159
11,5	89,18	20,75	0,233
12	89,18	24,54	0,275

Tab.15: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Lutexalu HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

Koncentrace Lutexal HIT c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
9	33	0,065
9,5	33,19	0,082
10	33,19	0,088
10,5	33,31	0,108
11	34,29	0,159
11,5	34,57	0,233
12	34,07	0,275



Obr.38: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Lutexalu HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

Printex S 500

Tab.16: Naměřené hodnoty povrchového napětí Printexu S 500

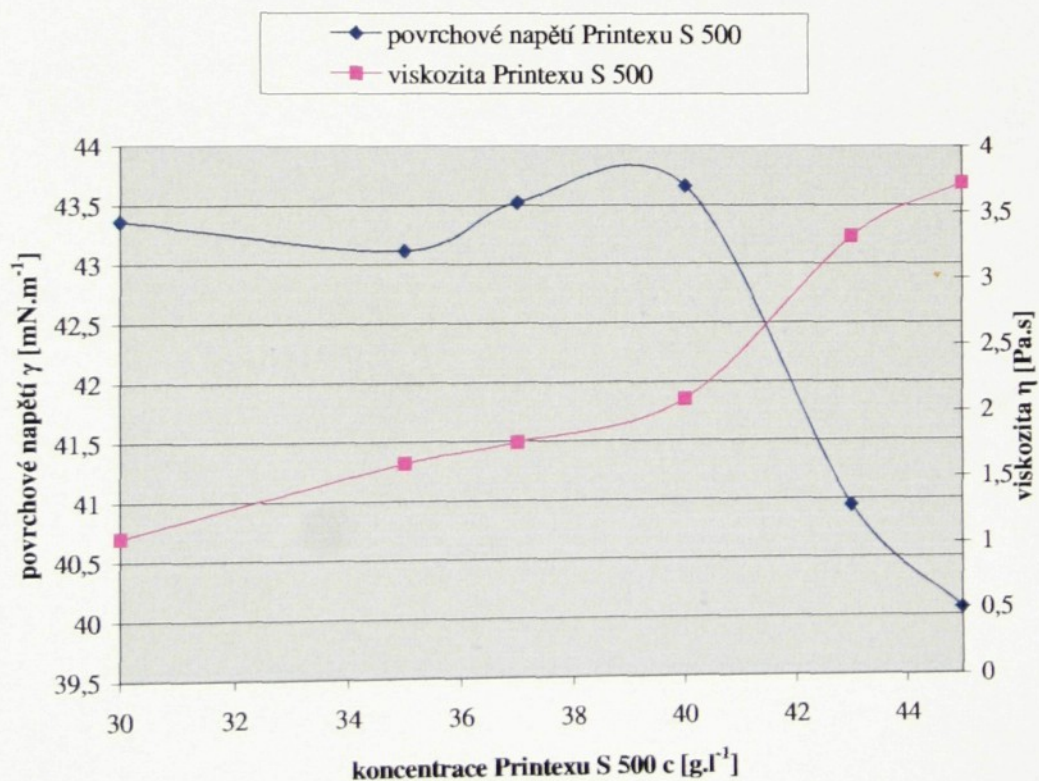
Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	30	35	37	40	43	45
měření 1	43,42	43,15	43,57	43,72	40,98	40,1
měření 2	43,42	43,15	43,57	43,72	40,98	40,08
měření 3	43,4	43,15	43,54	43,69	40,96	40,08
měření 4	43,37	43,13	43,54	43,67	40,96	40,08
měření 5	43,37	43,1	43,52	43,67	40,96	40,06
měření 6	43,35	43,11	43,52	43,67	40,93	40,06
měření 7	43,35	43,11	43,5	43,64	40,93	40,06
měření 8	43,32	43,08	43,5	43,62	40,91	40,03
měření 9	43,32	43,08	43,47	43,62	40,91	40,03
měření 10	43,3	43,06	43,47	43,62	40,91	40,03
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	43,36	43,11	43,52	43,66	40,94	40,06
Směrodatná odchylka	0,04	0,031	0,034	0,037	0,027	0,023

Tab.17: Naměřené hodnoty viskozity Printexu S 500 při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η [Pa.s]
30	89,18	94,97	1,065
35	89,18	143,7	1,611
37	89,18	157,52	1,766
40	89,18	186,17	2,087
43	89,18	295,28	3,311
45	89,18	331,82	3,721

Tab.18: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Printexu S 500

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
30	43,36	1,065
35	43,11	1,611
37	43,52	1,766
40	43,66	2,087
43	40,94	3,311
45	40,06	3,721



Obr.39: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Printexu S 500

Printex S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Tab.19: Naměřené hodnoty povrchového napětí Printexu S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

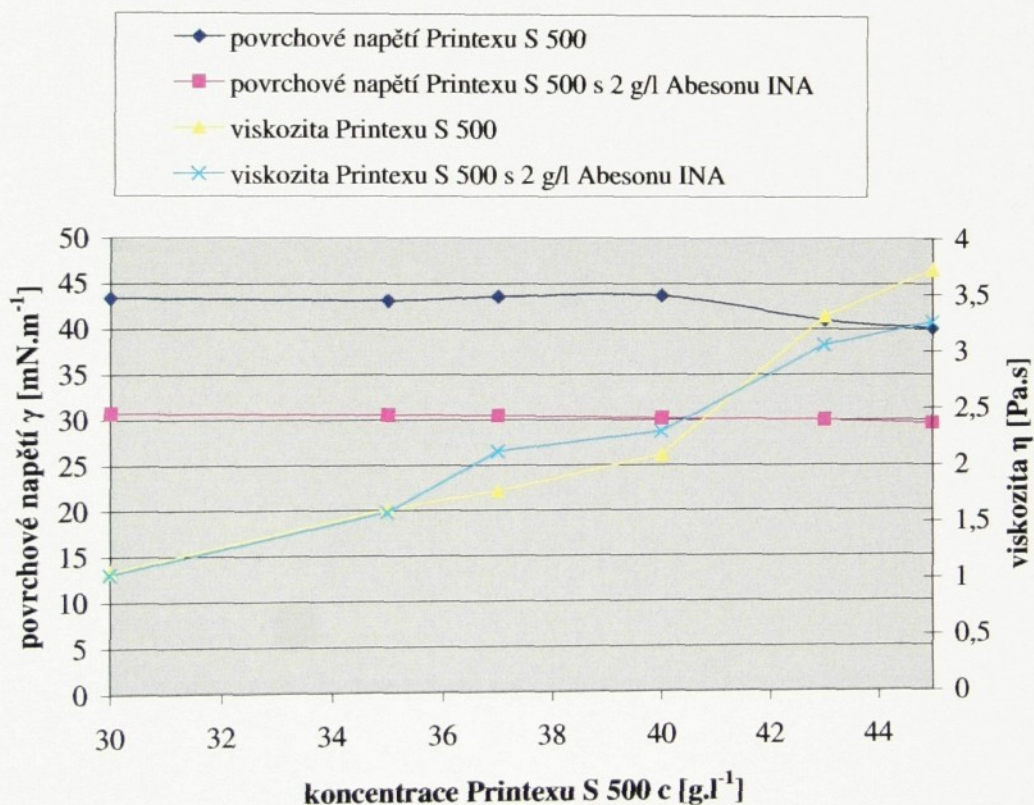
Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	30	35	37	40	43	45
měření 1	30,71	30,52	30,4	30,13	29,93	29,54
měření 2	30,71	30,52	30,4	30,13	29,93	29,54
měření 3	30,69	30,52	30,4	30,13	29,91	29,54
měření 4	30,69	30,49	30,37	30,1	29,91	29,52
měření 5	30,66	30,49	30,37	30,1	29,91	29,52
měření 6	30,66	30,47	30,37	30,1	29,91	29,52
měření 7	30,66	30,47	30,37	30,08	29,91	29,52
měření 8	30,66	30,47	30,35	30,08	29,91	29,52
měření 9	30,64	30,44	30,35	30,05	29,88	29,52
měření 10	30,64	30,44	30,35	30,05	29,88	29,52
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	30,67	30,48	30,37	30,1	29,91	29,53
Směrodatná odchylka	0,025	0,029	0,02	0,029	0,016	0,009

Tab.20: Naměřené hodnoty viskozity Printexu S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η[Pa.s]
30	89,18	92,65	1,039
35	89,18	140,7	1,577
37	89,18	188,29	2,112
40	89,18	204,12	2,289
43	89,18	272,25	3,053
45	89,18	290,63	3,259

Tab.21: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Printexu S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
30	30,67	1,039
35	30,48	1,577
37	30,37	2,112
40	30,1	2,289
43	29,91	3,053
45	29,53	3,259



Obr.40: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Printexu S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Printex S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Tab.22: Naměřené hodnoty povrchového napětí Printexu S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

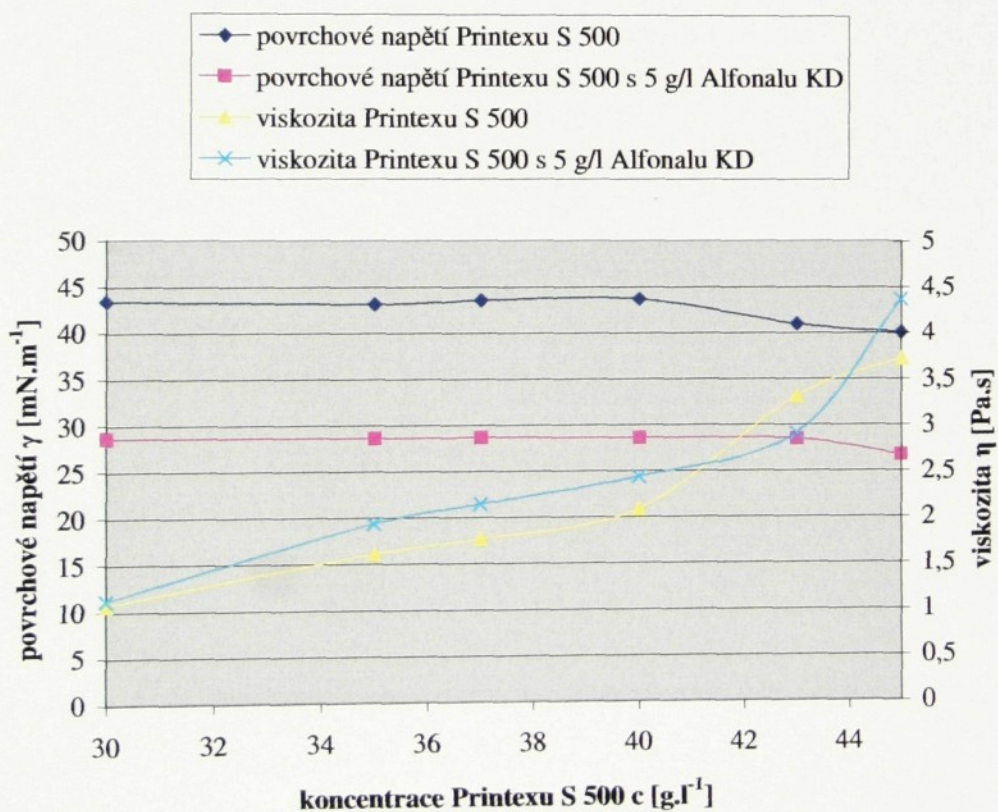
Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	30	35	37	40	43	45
měření 1	28,59	28,59	28,64	28,57	28,44	26,74
měření 2	28,59	28,59	28,64	28,57	28,44	26,71
měření 3	28,59	28,57	28,64	28,54	28,44	26,71
měření 4	28,57	28,57	28,61	28,54	28,42	26,71
měření 5	28,57	28,57	28,61	28,54	28,42	26,71
měření 6	28,57	28,54	28,61	28,54	28,42	26,71
měření 7	28,57	28,54	28,59	28,52	28,42	26,71
měření 8	28,54	28,54	28,59	28,52	28,42	26,71
měření 9	28,54	28,52	28,57	28,52	28,4	26,71
měření 10	28,54	28,52	28,57	28,49	28,4	26,71
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	28,57	28,56	28,61	28,54	28,42	26,71
Směrodatná odchylka	0,02	0,025	0,026	0,023	0,014	0,009

Tab.23: Naměřené hodnoty viskozity Printexu S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace při 100 ot.min⁻¹

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η [Pa.s]
30	89,18	99,18	1,112
35	89,18	172,5	1,935
37	89,18	191	2,142
40	89,18	217,3	2,437
43	89,18	258,8	2,902
45	89,18	389,1	4,363

Tab.24: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Printexu S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
30	28,57	1,112
35	28,56	1,935
37	28,61	2,142
40	28,54	2,437
43	28,42	2,902
45	26,71	4,363



Obr.41: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Printexu S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

**Printex S 500 s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární
koncentrace**

*Tab.25: Naměřené hodnoty povrchového napětí Printexu S 500 s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA
v oblasti kritické micelární koncentrace*

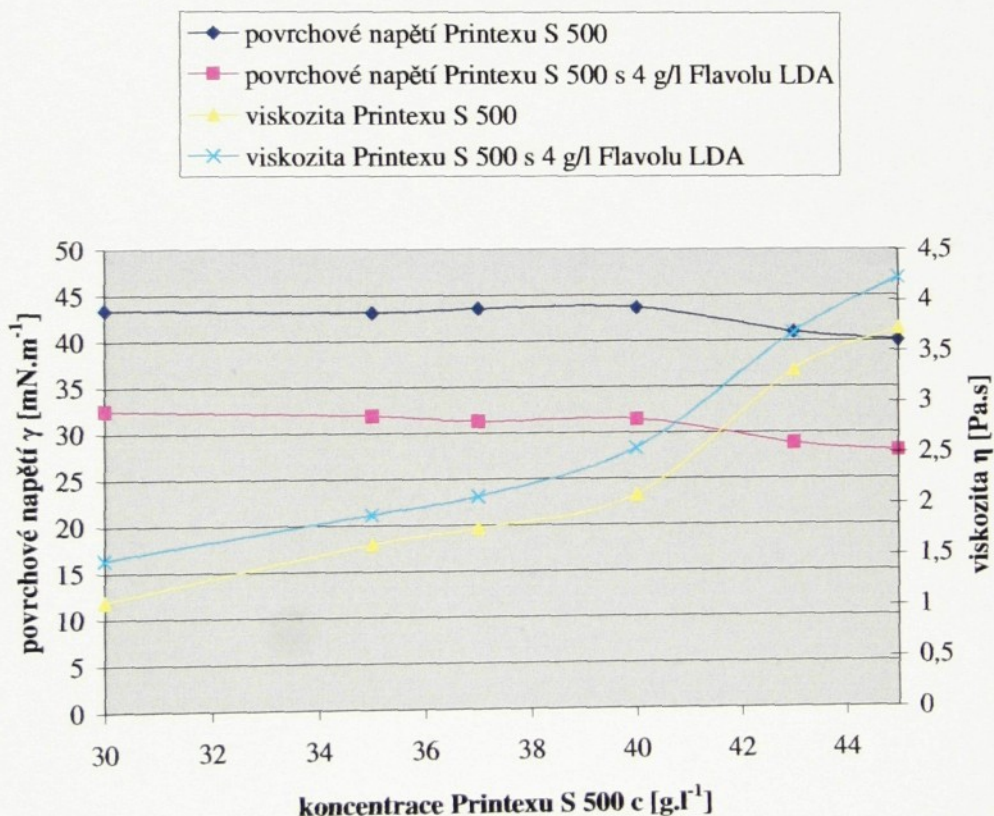
Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	30	35	37	40	43	45
měření 1	32,42	31,86	31,2	31,44	28,79	27,96
měření 2	32,42	31,86	31,2	31,44	28,76	27,96
měření 3	32,42	31,84	31,2	31,44	28,76	27,96
měření 4	32,42	31,84	31,18	31,44	28,76	27,96
měření 5	32,42	31,81	31,18	31,44	28,76	27,96
měření 6	32,4	31,81	31,18	31,44	28,76	27,96
měření 7	32,4	31,81	31,18	31,42	28,76	27,96
měření 8	32,4	31,81	31,18	31,42	28,76	27,96
měření 9	32,4	31,81	31,18	31,42	28,76	27,96
měření 10	32,4	31,79	31,18	31,42	28,76	27,96
Průměrná hodnota γ [mN.m⁻¹]	32,41	31,82	31,19	31,43	28,76	27,96
Směrodatná odchylka	0,01	0,023	0,009	0,01	0,009	0

*Tab.26: Naměřené hodnoty viskozity Printexu S 500 s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti
kritické micelární koncentrace při 100 ot.min⁻¹*

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	D [s ⁻¹]	τ [Pa]	η[Pa.s]
30	89,18	130,68	1,466
35	89,18	169,39	1,899
37	89,18	185,03	2,075
40	89,18	227,01	2,546
43	89,18	327,87	3,676
45	89,18	376,24	4,219

Tab.27: Hodnoty povrchového napětí a viskozity Printexu S 500 s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

Koncentrace Printex S 500 c [g.l ⁻¹]	Povrchové napětí γ [mN.m ⁻¹]	Viskozita η [Pa.s]
30	32,41	1,466
35	31,82	1,899
37	31,19	2,075
40	31,43	2,546
43	28,76	3,676
45	27,96	4,219



Obr.42: Závislost povrchového napětí a viskozity na koncentraci Printexu S 500 s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

3.6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

3.6.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VIZKOZITA TENZIDŮ

Abeson INA

Při koncentraci $0,5 \text{ g.l}^{-1}$ Abesonu INA je povrchové napětí rovno $43,988 \text{ mN.m}^{-1}$. Následným zvyšováním koncentrace se povrchové napětí snižuje. Při koncentraci 2 g.l^{-1} Abesonu INA povrchové napětí výrazně poklesne na hodnotu $31,525 \text{ mN.m}^{-1}$. Od koncentrace 3 g.l^{-1} začne povrchové napětí opět stoupat. Lze tedy hodnotu 2 g.l^{-1} označit jako námi hledanou oblast kritické micelární koncentrace.

Viskozita Abesonu INA se zvyšující koncentrací prakticky nemění a její průměrná hodnota je $0,0033 \text{ Pa.s}$.

Alfonal KD

Při koncentraci $0,5 \text{ g.l}^{-1}$ Alfonalu KD je povrchové napětí rovno $26,641 \text{ mN.m}^{-1}$. Následným zvyšováním koncentrace se povrchové napětí snižuje. Při koncentraci 5 g.l^{-1} povrchové napětí výrazně poklesne na hodnotu $17,514 \text{ mN.m}^{-1}$. Od koncentrace 6 g.l^{-1} začne povrchové napětí opět stoupat. Lze tedy hodnotu 5 g.l^{-1} označit jako námi hledanou oblast kritické micelární koncentrace.

Viskozita Alfonalu KD se zvyšující koncentrací prakticky nemění a její průměrná hodnota je $0,0033 \text{ Pa.s}$.

Flavol LDA

Při koncentraci $0,1 \text{ g.l}^{-1}$ Flavolu LDA je povrchové napětí rovno $52,547 \text{ mN.m}^{-1}$. Následným zvyšováním koncentrace se povrchové napětí snižuje. Při koncentraci 4 g.l^{-1} povrchové napětí výrazně poklesne na hodnotu $24,888 \text{ mN.m}^{-1}$. Od koncentrace 5 g.l^{-1} začne povrchové napětí opět stoupat. Lze tedy hodnotu 4 g.l^{-1} označit jako námi hledanou oblast kritické micelární koncentrace.

Viskozita Flavolu LDA se zvyšující koncentrací prakticky nemění a její průměrná hodnota je $0,0033 \text{ Pa.s}$.

3.6.2 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VSKOZITA SAMOTNÝCH ZÁHUSTEK

Lutexal HIT

Při koncentraci 9 g.l^{-1} Lutexalu HIT je povrchové napětí rovno $36,61 \text{ mN.m}^{-1}$. Zvyšováním koncentrace záhustky se povrchové napětí zvyšuje až na hodnotu $61,95 \text{ mN.m}^{-1}$ při koncentraci 12 g.l^{-1} .

Viskozita Lutexalu HIT se zvyšující koncentrací postupně narůstá z hodnoty $0,196 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 9 g.l^{-1} až na hodnotu $0,991 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 12 g.l^{-1} .

Printex S 500

Při koncentraci 30 g.l^{-1} Printexu S 500 je povrchové napětí rovno $43,36 \text{ mN.m}^{-1}$. Zvyšováním koncentrace záhustky povrchové napětí stoupá z hodnoty $43,11 \text{ mN.m}^{-1}$ až k hodnotě $43,66 \text{ mN.m}^{-1}$ při koncentraci 40 g.l^{-1} . Od hodnoty 43 g.l^{-1} povrchové napětí klesá až na hodnotu $40,06 \text{ mN.m}^{-1}$ při koncentraci 45 g.l^{-1} .

Viskozita Printexu S 500 se zvyšující koncentrací postupně narůstá z hodnoty $1,065 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 30 g.l^{-1} až na hodnotu $3,721 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 45 g.l^{-1} .

3.6.3 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VSKOZITA ZÁHUSTEK PO PŘÍDAVKU TENZIDU V OBLASTI KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE

Lutexal HIT s 2 g.l^{-1} Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Při koncentraci 9 g.l^{-1} Lutexalu HIT s 2 g.l^{-1} Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace je povrchové napětí rovno $32,23 \text{ mN.m}^{-1}$. Zvyšováním koncentrace záhustky povrchové napětí stoupá na hodnotu $41,17 \text{ mN.m}^{-1}$ při koncentraci 12 g.l^{-1} .

Viskozita Lutexalu HIT s 2 g.l^{-1} Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace se zvyšující koncentrací záhustky roste od hodnoty $0,096 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 9 g.l^{-1} až po hodnotu $0,718 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 12 g.l^{-1} .

Lutexal HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Při koncentraci 9 g.l⁻¹ Lutexalu HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace je povrchové napětí rovno 32,16 mN.m⁻¹. Zvyšováním koncentrace zähustky povrchové napětí stoupá na hodnotu 45,93 mN.m⁻¹ při koncentraci 12 g.l⁻¹.

Viskozita Lutexalu HIT s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace se zvyšující koncentrací zähustky roste od hodnoty 0,346 Pa.s při koncentraci 9 g.l⁻¹ až po hodnotu 0,834 Pa.s při koncentraci 12 g.l⁻¹.

Lutexal HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

Při koncentraci 9 g.l⁻¹ Lutexalu HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace je povrchové napětí rovno 33 mN.m⁻¹. Zvyšováním koncentrace zähustky povrchové napětí stoupá až na hodnotu 34,07 mN.m⁻¹ při koncentraci 12 g.l⁻¹.

Viskozita Lutexalu HIT s 4 g.l⁻¹ Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace se zvyšující koncentrací zähustky roste od hodnoty 0,065 Pa.s při koncentraci 9 g.l⁻¹ až po hodnotu 0,275 Pa.s při koncentraci 12 g.l⁻¹.

Printex S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace

Při koncentraci 30 g.l⁻¹ Printexu S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace je povrchové napětí rovno 30,67 mN.m⁻¹. Zvyšováním koncentrace zähustky povrchové napětí klesá na hodnotu 29,53 mN.m⁻¹ při koncentraci 45 g.l⁻¹.

Viskozita Printexu S 500 s 2 g.l⁻¹ Abesonu INA v oblasti kritické micelární koncentrace se zvyšující koncentrací zähustky roste od hodnoty 1,039 Pa.s při koncentraci 30 g.l⁻¹ až po hodnotu 3,259 Pa.s při koncentraci 45 g.l⁻¹.

Printex S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace

Při koncentraci 30 g.l⁻¹ Printexu S 500 s 5 g.l⁻¹ Alfonalu KD v oblasti kritické micelární koncentrace je povrchové napětí rovno 28,57 mN.m⁻¹. Zvyšováním

koncentrace záhustky povrchové napětí klesá na hodnotu $26,71 \text{ mN.m}^{-1}$ při koncentraci 45 g.l^{-1} .

Viskozita Printexu S 500 s 5 g.l^{-1} Alfonal KD v oblasti kritické micelární koncentrace se zvyšující koncentrací záhustky roste od hodnoty $1,112 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 30 g.l^{-1} až po hodnotu $4,363 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 45 g.l^{-1} .

Printex S 500 s 4 g.l^{-1} Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace

Při koncentraci 30 g.l^{-1} Printexu S 500 s 4 g.l^{-1} Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace je povrchové napětí rovno $32,41 \text{ mN.m}^{-1}$. Zvyšováním koncentrace záhustky povrchové napětí klesá na hodnotu $27,96 \text{ mN.m}^{-1}$ při koncentraci 45 g.l^{-1} .

Viskozita Printexu S 500 s 4 g.l^{-1} Flavolu LDA v oblasti kritické micelární koncentrace se zvyšující koncentrací záhustky roste od hodnoty $1,466 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 30 g.l^{-1} až po hodnotu $4,219 \text{ Pa.s}$ při koncentraci 45 g.l^{-1} .

3.7 ZÁVĚR

Bakalářská práce na téma „Vztah mezi viskozitou a povrchovým napětím kapalin“ se podrobněji zabývá studiem povrchového napětí a viskozity vysokoviskózních soustav, kdy kapalina již přechází ve velmi viskózní gel. Právě na tomto rozhraní kapalina – gel je sledovaná látka velmi viskózní a roztoky jsou hodně koncentrované, což má za následek zajímavé anomální chování těchto sledovaných soustav.

Studie vlivu viskozity na povrchové napětí nebyla dosud podrobně prostudována, přestože tato závislost by mohla ovlivňovat chod důležitých technologických operací viskózních kapalin. Např. pro textilní tisk by bylo jistě zajímavé znát nejen viskozitu tiskací pasty, ale i její povrchové napětí. Je totiž pravděpodobné, že tiskací pasta o stejné viskozitě, ale o nižším povrchovém napětí bude snáze pronikat do struktury textilie. Mimo textilní obor se problematika povrchového napětí sleduje u kapalin mazacích olejů, kde optimální parametry povrchového napětí mazacího oleje umožňují jeho průnik (navzlínání) i do těžko přístupných míst.

Cílem této bakalářské práce bylo stanovit možnou závislost povrchového napětí na viskozitě jak samotných záhustek, tak po přidávku tenzidu v oblasti kritické micelární koncentrace. Studie byly prováděny v oblasti velmi koncentrovaných roztoků záhustek.

Práce rovněž poskytuje přehled metod měření povrchového napětí a viskozity kapalin. Dále se zabývá měřením povrchového napětí na stalagmetru. Podrobněji je rozvedena Wilhelmyho destičková metoda pro stanovení povrchového napětí a princip měření viskozity na rotačním viskozimetru VT 550.

Důležité bylo zvolit vhodnou metodu pro stanovení povrchového napětí a viskozity, neboť zkoumané roztoky byly vysoké koncentrace a mohlo by dojít k problémům při měření a zkrslování výsledků. Předem byla vyloučena metoda stalagmetrická, protože viskózní kapaliny by ulpívaly na stěně kapiláry. Pro stanovení povrchového napětí byla po konzultaci s odborníky zvolena Wilhelmyho metoda. Při měření Wilhelmyho destičkou byla totiž vhodnost této metody na pokraji

jejich možností, protože u viskózních soustav hrozilo nebezpečí poškození přístroje. Pro měření viskozity byl zvolen viskozimetr VT 550, který použitím různých senzorových systémů umožňoval proměřit i velmi viskózní roztoky.

Obecně bylo zjištěno, jak u čistých soustav záhustek, tak u soustav záhustka – tenzid v oblasti kritické micelární koncentrace, že zvyšující se koncentrací stoupá i viskozita. Povrchové napětí však vykazuje jisté anomálie. V případě Lutexalu HIT povrchové napětí stoupá. Avšak u Printexu S 500 povrchové napětí klesá.

Domnívám se, že v pokračování tohoto úkolu by bylo vhodné aplikovat pro měření povrchového napětí velmi viskózních soustav metodu měření tlaku v bublině, která je rovněž popsána v této bakalářské práci, ale nebyla na TUL k dispozici.

Při pokračování tohoto jistě zajímavého a pro praxi potřebného úkolu doporučuji, jak jsem již uvedla, testovat povrchové napětí i jinými metodami. Rovněž by bylo vhodné u těchto viskózních soustav ověřit vliv povrchového napětí při dané viskozitě, například průnikem tiskací pasty do navrstvené textilie nebo zjišťováním protisku za definovaných podmínek.

4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] Blažej, A.: Tenzidy, Alfa, Bratislava 1977
- [2] Horák, Z. – Krupka, F.: Fyzika – Příručka pro školy technického směru, SNTL/ALFA, Praha 1976
- [3] Lepil, O. – Bendnařík, M. – Hýblová, J.: Fyzika pro střední školy, Prometheus, Praha 1994
- [4] Brdička, R. – Dvořák, J.: Základy fyzikální chemie, Academia, Praha 1977
- [5] Lank, V. – Vondra, M.: Fyzika v kostce, Fragment, Havlíčkův Brod 2002
- [6] Fischer, O. a kol.: Fyzikální chemie, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1984
- [7] Ščukin, E.D. – Percov, A.V. – Amelinová, E.A.: Koloidní chemie, Academia, Praha 1990
- [8] Adamson, A.W. – Gast, A.P.: Physical chemistry of surfaces, J. Wiley and Sons 1997
- [9] KRÜSS – Seminar, Methods to Determine Surface and Interfacial Tension of Liquids and Solids, TU of Wroclaw, 1997
- [10] Prášil, M. a kol.: Textilní chemie, Skripta VŠST, Liberec 1994
- [11] Wein, O.: Úvod do reologie, Vysoké učení technické v Brně, Brno 1996
- [12] Prášil, M. – Kvapil, M. – Hofman, J.: Stroje a mechanická technologie zušlechťování, Skripta VŠST, Liberec 1985
- [13] Návod k obsluze viskozimetru Viscotester VT 550
- [14] Tockstein, A.: Základy fyzikální chemie, VŠ Chemicko-technologická v Pardubicích, Pardubice 1980
- [15] Bella, J. – Pivec, V. – Štěpánek, O.: Potiskování textilií ze syntetických vláken, SNTL/ALFA, Praha 1981
- [16] Pouchlý, J.: Koloidní chemie, VŠ Chemicko – technologická Praha, SNTL, 1973
- [17] <http://uprt.vscht.cz/kminek/mrt/F4/F4k46-sloz.htm#k4612>
- [18] Meier, W. – Greune, G. – Meyboom, A. – Hofmann, K.P.: Surface tension and viscosity of surfactant from the resonance of an oscillation drop, Eur Biophys J, Volume 29, 2000

- [19] Matsumoto, T. and col.: Precise measurement of liquid viscosity and surface tension with an improved oscillating drop method, Physical Review E, Volume 65, 2002
- [20] Kolektiv autorů: Příručka pro textilní barvíře a tiskaře, Sdružení pro odbyt dehtových barviv, Rapid, Praha 1976
- [21] Kryštůfek, J. – Machaňová, D. – Odvárka, J. – Prášil, M.: Technologie zušlechťování, Skripta TU Liberec 2002
- [22] Informační list Abesonu INA, Enaspol a.s. 2003
- [23] Informační list Alfonalu KD, Enaspol a.s. 2003
- [24] Informační list Flavolu LDA, Enaspol a.s. 2003
- [25] <http://www.basf.com/businesses/coatcolor/textilechemicals/pdfs/Lutexal%20HIT.pdf>
- [26] Viková, J.: Modelování reologických vlastností tiskacích past, DP, 1999
- [27] Věšíňová, I.: Možnosti řízení reologického chování tiskacích past, DP, 1997
- [28] KRÜSS, K 121 Contact Angle – and Adsorption Measuring System, Users Manual, KRÜSS GmbH, Hamburg 1999
- [29] Švagerka, T. – Ševčíková, G.: Reading book for The Faculty Of Textile Engineering, TUL, Liberec 2003
- [30] Sillinger, P. a kol.: Textilní terminologie, Sdružení pro odbyt dehtových barviv, Pardubice