

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2004

Jana Holubová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA NETKANÝCH TEXTILÍ

Obor: 3106 – T – 004 - Netkané textilie

Nanovlákná z kyseliny polyakrylové

Nanofibers from polyacrylic acid

Jana Holubová

KNT

Vedoucí diplomové práce: Prof. RNDr. Oldřich JIRSÁK, CSc.
Konzultant: Ing. Jana Růžičková

Rozsah práce a příloh:	94
Počet stran textu:	65
Počet obrázků:	7
Počet tabulek:	38
Počet grafů:	19
Počet příloh:	2

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146072253

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra netkaných textilií

Školní rok 2003 - 2004

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro **Janu HOLUBOVOU**
obor: 3106 - T - 004 Netkané textilie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Nanovlákná z kyseliny polyakrylové**

Zásady pro vypracování :

1. Proveďte orientační pokusy zvláknitelnosti roztoků kyselin polyakrylových různých molekulových hmotností procesem elektrostatického zvláknění s ohledem na koncentraci, povrchové napětí a elektrickou vodivost roztoků.
2. Studujte možnosti sítování nanovláken pomocí vícemocného kovu a pomocí polyvinylalkoholu.
3. Vyhodnoťte vlastnosti připravených vrstev v závislosti na koncentraci sítujícího prostředku.

KN7/NT
65.1.1.197a
ob., tat., graf.

154/047

Rozsah: 40 – 60 stran

Literatura:

- 1) Grafe T. – Graham K.: Polymeric Nanofibers and Nanofiber Webs: A New Class of Nonwovens, Presented at *INTC 2002: International Nonwovens Technical Conference (Joint INDIA – TAPPI Conference)*, Atlanta, Georgia, September 24-26, 2002. © 2002 Donaldson Company Inc.
- 2) Graham K. – Ouyang M. – Raether T. – Grafe T. – McDonald B. – Knauf P.: Polymeric Nanofibers in Air Filtration Applications, Presented at the *Fifteenth Annual Technical Conference & Expo of the American Filtration & Separations Society*, Galveston, Texas, April 9-12, 2002. © 2002 Donaldson Company Inc.
- 3) Hagewood J. – Wilkie A.: Production of Sub-micron Fibers in Non-Woven Fabrics, <http://www.hillsinc.net/submicron%20.shtml>
- 4) Yoshimoto H. – Shin Y.M. – Terai H. – Vacanti J.P.: A biodegradable nanofiber scaffold by electrospinning and its potential for bone tissue engineering, Received 3 July 2002; accepted 13 December 2002 *Biomaterials* 24 (2003) 2077–2082

Vedoucí diplomové práce: Prof. RNDr. Oldřich JIRSÁK, CSc.
Konzultant: Ing. Jana Růžicková

Zadání diplomové práce: 20. 8. 2003
Termín odevzdání diplomové práce: 17. 5. 2004



Vedoucí katedry:

Prof. RNDr. David LUKÁŠ, CSc.

Děkan

Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

V Liberci dne 15. 4. 2004

Anotace:

Cílem diplomové práce je najít způsob výroby nanovláken z kyseliny polyakrylové procesem elektrostatického zvlákňování.

V teoretické části této práce je vysvětlen princip elektrostatického zvlákňování a jsou zde popsána jednotlivá měřicí zařízení, jenž byla pro tuto práci použita.

V experimentální části je popsán postup výroby nanovláken z kyseliny polyakrylové.

Annotation:

The aim of this diploma work is to find a way of production of nanofibers from polyacrylic acid by the electrostatic spinning.

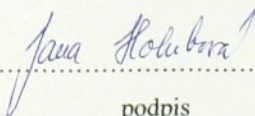
The theoretical part of this work is aimed at explanation of principle of electrostatic spinning and description of particular measuring equipment, which was used for this work.

The experimental part deals with the processing procedure of nanofibers from polyacrylic acid.

Místopřísežné prohlášení:

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.“

Datum: 10.5.2004


.....
podpis

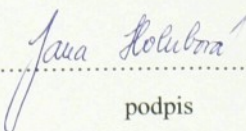
PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb.o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo), § 35 (o nevýdělečném využití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne vyžadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 10.5.2004


.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala mé rodině, která mi umožnila studium na této škole a po celou dobu studia mě materiálně i psychicky podporovala.

Mé poděkování patří také vedoucímu mé diplomové práce panu Prof. RNDr. Oldřichu Jirsákovi, CSc., za jeho zájem, rady, připomínky a trpělivost při vzniku této práce. Současně bych chtěla poděkovat i mé konzultantce Ing. Janě Růžičkové a také všem, kteří mi jakkoli pomohli při řešení této práce.

Obsah:

1	Úvod.....	11
2	Teoretická část.....	13
2.2	Metody přípravy nanovláken.....	13
2.3	Historie přípravy nanovláken elektrostaticky.....	13
2.4	Elektrostatické zvlákňování (elektrospinning).....	14
2.4.1	Způsoby výroby nanovláken elektrostaticky.....	15
2.5	Použité látky.....	18
2.6	Rozpouštění a rozpustnost.....	22
2.7	Disociace.....	22
2.8	Neutralizace.....	23
2.9	pH.....	23
2.10	Povrchové napětí.....	25
2.11	Viskozita.....	28
2.12	Sít'ování.....	30
2.13	Hodnocení výsledných vlastností vyrobených nanovrstev.....	32
3	Experiment.....	34
3.1	Plán experimentu.....	34
3.2	Experimenty.....	34
3.2.1	Možnosti zvlákňování PAA.....	34
3.2.2	Úprava povrchového napětí pomocí tenzidů.....	35
3.2.3	Zjištění a ovlivnění rozpustnosti.....	37
3.2.4	Vliv koncentrace PAA na zvlákňování.....	39
3.2.5	Neutralizace.....	40
3.2.6	Úprava pH.....	42
3.2.7	Měření povrchového napětí.....	45
3.2.8	Měření dynamické viskozity.....	47
3.2.9	Sít'ování.....	48
3.2.10	Vlastnosti vyrobených nanovrstev.....	51
3.3	Výsledky.....	57
3.3.1	Možnosti zvlákňování PAA.....	57
3.3.2	Úprava povrchového napětí pomocí tenzidů.....	57
3.3.3	Zjištění a ovlivnění rozpustnosti.....	58
3.3.4	Vliv koncentrace PAA na zvlákňování.....	58
3.3.5	Neutralizace.....	58
3.3.6	Úprava pH.....	59
3.3.7	Měření povrchového napětí.....	59
3.3.8	Měření dynamické viskozity.....	59
3.3.9	Sít'ování.....	59
3.3.10	Tepelná fixace zesít'ovaných vzorků.....	60
3.3.11	Hodnocení vlastností vyrobených nanovrstev.....	60
3.4	Diskuse výsledků.....	61
4	Závěr.....	63
5	Literatura.....	64

Seznam použitých veličin

A [N.m]	práce
a_j .	a jiné
$AlCl_3$	chlorid hlinitý
A_r [-]	relativní atomová hmotnost
C [-]	konstanta
$CaCl_2$	chlorid vápenatý
c [%]	koncentrace
D_r [s^{-1}]	rychlost smykové deformace
dx [m]	vzdálenost vrstev
dv [ms^{-1}]	rozdíl rychlostí vrstev
E [N.m ²]	Youngův modul pružnosti
E_A [-]	aktivační energie
F [N]	síla
F_w [N]	Wilhelmyho síla
g [m/s^2]	tíhové zrychlení
HCl	kyselina chlorovodíková
H_3PO_4	kyselina fosforečná (kys. trihydrogen- tetraoxofosforečná)
KNT	Katedra netkaných textilií
l [m]	délka
l_0 [m]	původní délka
Δl [m]	protažení
m [kg]	hmotnost
m [g ve 100g rozp.]	rozpuštěnost látky v uvedeném rozpouštědle
M [-]	molekulová hmotnost
M_M [-]	mokrý modul
M_S [-]	suchý modul
M_r [$g\ mol^{-1}$]	molární hmotnost
$např.$	například
$NaOH$	hydroxid sodný
PAA	kyselina polyakrylová

PVA	polyvinylalkohol
R [$J.mol^{-1}.K^{-1}$]	universální plynová konstanta
s [-]	směrodatná odchylka
SM [-]	smluvní modul
T [K]	absolutní teplota
T [°C]	teplota
TUL	Technická univerzita Liberec
tz.n.	to znamená
tzv.	tak zvaný
U [V]	napětí
v [%]	variační koeficient
W [$J=m^2.kg.s$]	energie
z [$dyn.cm^{-2}.Sk^{-1}$]	válcová konstanta
a [Sk]	konstanta měřicího přístroje
γ [$N.m^{-1}$]	povrchové napětí
ε [%]	relativní protažení
τ_r [$dyn.cm^{-2}$]	smykové napětí
f [s]	výpočtový faktor
σ [-]	rozptyl
σ [$N.m^{-2}$]	napětí
σ [$N.tex^{-1}$]	zatížení
η [$Pa.s^{-1}$]	viskozita kapaliny
η [$cP=Ns.m^{-2}$]	dynamická viskozita

1 Úvod

Tématem této diplomové práce je výroba nanovláken z kyseliny polyakrylové procesem elektrostatického zvlákňování.

Nastávající 21. století bývá označováno jako století nanotechnologií. Nanotechnologie je dnes velmi žádaná věda stojící ve středu zájmu světových vědců. Cílem této technologie je získávání a aplikace nových materiálů, tzv. *nanomateriálů*, které mají díky svému složení a stavbě takové vlastnosti, kterých nelze získat u materiálů vyrobených běžnými konvenčními metodami. Nanomateriály se dnes uplatňují především v medicíně. Díky svým vlastnostem se začínají rozšiřovat i do oblastí textilního a strojního průmyslu. Dá se tedy předpokládat významný rozvoj a využití těchto materiálů.

Jedním z produktů nanotechnologie jsou textilní nanovlákná. Textilní nanovlákná se vyznačují průměry o jeden až dva řády menšími než běžně používaná vlákna.

Textilní nanovlákná mohou se vyrábět z polymerního roztoku nebo taveniny. Vlákná o průměrech 50 – 500 nm, jsou označována jako nanovlákná, která se ve fázi výroby formují do vláknenné spleti a v této formě se používají jako velmi tenké membrány. Pokud jsou nanovlákná připravována z roztoku, zbytkové rozpouštědlo umožňuje spojení jednotlivých vláken ve spleti kohezními vazbami tj. souborem sil, které navzájem poutají částice téže látky. Struktura je pak dostatečně pevná, umožňuje snadný transport vlhkosti při vysoké propustnosti pro vzduch a ochranu proti aerosolům. Nanovlákná dnes úspěšně konkurují mikropórezním membránám z polytetrafluoretylénu (Goretex) [1, 2, 3].

Nánosem nanovláken na podkladovou textilií dochází např. při filtraci k výraznému zvýšení efektivity při minimálním rozdílu plošné hmotnosti. Některé firmy vyrábí nanovláknenná filtrační média využívající se při nových aplikacích pro jejich sub-mikronové vláknenné průměry, vysokou filtrační efektivitu, vysoký měrný povrch a další specifické vlastnosti. Nanovláknenná filtrační média se využívají pro filtraci plynů, ale i jako vzduchové filtry pro těžkou dlouhodobou filtraci motorů. [4]

Technologie elektrostatického zvlákňování je odlišná od ostatních zvlákňovacích technik, kterými se vyrábějí polymerní vlákna s průměrem v řádech mikrometrů, a to tím, že tvoří vlákna o řád nižší, tzv. *nanovlákná* (průměry řádově $10^{-9}m$). V technologii elektrostatického zvlákňování jsou využity elektrostatické síly v adici k mechanickým silám a napomáhají řízení zvlákňovacího procesu.

Výsledkem elektrostaticky zvlákněných materiálů může být neobvykle vysoká porozita, velký měrný povrch a velmi malé póry. Přestože některé základní znaky elektrostatického zvlákňování jsou postupem času objasňovány, je zde mnoho fascinujících aspektů jako je např. přirozená nestabilita elektrického pole, která vede k ultrajemným průměrům vláken, které jsou stále charakterizovány pouze kvalitativně.

Cílem diplomové práce je najít efektivní způsob výroby textilních nanovláken metodou elektrostatického zvlákňování kyseliny polyakrylové. V práci je hodnocen vliv jednotlivých přísadových složek na vlastnosti zvlákňované kyseliny polyakrylové, např. viskozitu, povrchové napětí, koncentraci, vodivost aj.

2 Teoretická část

2.2 Metody přípravy nanovláken

Nanovlákná lze vyrobit několika postupy.

Dloužení (drawing) [5] je proces podobný zvlákňování za sucha ve vláknařském průmyslu, který produkuje velmi dlouhá jednotlivá nanovlákná.

Podložková syntéza (templare synthesis) [6] je metoda, která využívá membránu s nanorozměrnými póry pro tvorbu nanovláken a nanotrubiček a to z různých materiálů, např. elektricky vodivých polymerů, kovů, polovodičů a uhlíku. Tato metoda však není schopna produkovat jednotlivá nanovlákná.

Fázová separace (phase separation) [7] zahrnuje rozpouštění, želatinaci, extrakci použitím různých rozpouštědel, mrazení a sušení, z čehož následně vznikne nanorozměrná pórovitá pěna. Tento proces je časově náročný pro převod pevného polymeru do nanoporézní pěny.

Samo-organizování (self assembly) [8] je proces, při kterém se jednotlivé, preexistující složky organizují do požadovaných vzorců a funkcí. Stejně jako proces fázové separace jde o časově náročné zpracování kontinuálních polymerních nanovláken.

Elektrostatické zvlákňování (electrospinning) [9] je proces, který se jako jediný zdá být vhodný pro masovou výrobu jednotlivých kontinuálních nanovláken různých polymerů a tedy nejlépe komerčně využitelným.

2.3 Historie přípravy nanovláken elektrostaticky

V letech 1934 – 1944 publikoval Formhals sérii patentů [10, 11, 12, 13, 14], které popisují experimentální zařízení pro produkci polymerních vláken s použitím elektrostatické síly. Formhals použil polymerní roztok, konkrétně acetát celulózy a ten uvedlo elektrického pole. Mezi dvěma elektrodami opačné polarity tak pomoci

zvlákňovacích trysek poprvé zvláknil polymerní roztok v jemné filamenty, které zachycoval na uzemněném kolektoru.

V roce 1952, Vonngut a Neubauer vynalezli přístroj pro elektrostatické rozprašování (electrospraying), díky kterému vyráběli proudy vysoce elektrizovaných jednotných kapiček o průměru přibližně 0,1 mm. [15]

V roce 1955, zkoumal Drozin rozptýl řady kapalin do aerosolů pod vysokými elektrickými potenciály. [16] Podobně jako jeho předchůdci Vonnegut a Neubauer používal skleněnou trubičku ukončenou jemnou kapilárou, ze které vycházela kapalina jako vysoce rozptýlený aerosol skládající se z kapiček s úzkou distribucí průměru částic.

V roce 1966, Simons patentoval zařízení elektrostatického zvlákňování pro výrobu ultra tenkých a velmi jemných netkaných textilií. [17] Kladná elektroda byla ponořena přímo do polymerního roztoku a záporná elektroda byla připojena ke sběrnému roštu. Podle Simonse byla vlákna z nízkoviskózních roztoků kratší a jemnější zatímco vlákna z viskóznějších roztoků byla relativně kontinuální.

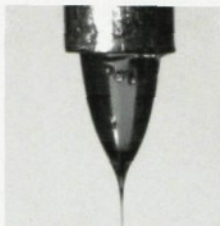
V roce 1971 sestrojil Baumgarten zařízení pro elektrostatické zvlákňování akrylových vláken s průměry v rozsahu 0,05 – 1,1 mikronů [18]. Zvlákňovaná kapka konstantní velikosti, která byla regulována rychlostí podávání infúzním čerpadlem, visela z nerezocelové kapiláry. Ke kapilární trubičce byl připojen vysokonapěťový stejnosměrný (DC) proud a na uzemněné kovové stěně byla snímána vlákna.

Během 90.ých let 20. století dokázali Reneker a Chun oživit zájem o tuto technologii zpracováním širokého rozsahu polymerních roztoků. V oblasti polymerních tavenin provedli podobnou práci Larrondo a Manley. [19, 20]

2.4 Elektrostatické zvlákňování (elektrospinning)

Metoda výroby nanovláken je popsána v [21] a patentech [22]. Elektrospinning využívá silného elektrostatického pole (až 40 kV) k formování polymerního roztoku nebo taveniny ve vlákna. Elektroda s vysokým napětím je spojena přímo s polymerem. Roztok je spřádán skrze kapiláru (zvlákňovací trysku). Vlivem vysokého napětí se na povrchu polymerního roztoku tvoří tzv. Taylorovy kužely, z nichž se táhnou sub-mikronová vlákna, která jsou tažena směrem ke sběrnému roštu, kde jsou taktéž vlivem pole ukládána na podkladový, nejčastěji textilní, materiál, který se pohybuje po povrchu

protielektrody. Taylorův kužel je následkem relaxace indukovaného náboje na volném povrchu kapaliny na výstupu ze zvlákňovací trysky. Vlákná ztuhnou poté, co se vypaří rozpouštědlo a vytvoří vláknennou vrstvu na povrchu kolektoru.



Obrázek č. 1: Taylorův kužel.

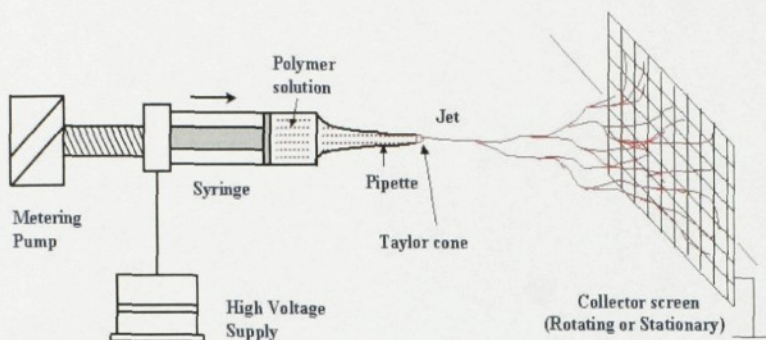
U kapalin nízké molekulární hmotnosti má počátek nestability za následek spršku malých, nabitých kapiček. Tento proces je znám jako elektrostatické rozprašování. Polymerní kapaliny jsou viskóznější, viskoelastické síly stabilizují proud, což dovozuje formování nabitých vláken malého průměru, které se uloží a ztuhnou na kolektoru ve formě netkané textilie.

V procesu vznikají velmi jemná vlákna. Jejich průměr závisí na rozdílu potenciálů mezi elektrodami, na povrchovém napětí, viskozitě polymeru a mnoha dalších parametrech. Volbou vhodného polymeru mohou být vyrobeny vlákna o průměru 50 – 500 nm.

2.4.1 Způsoby výroby nanovláken elektrostaticky

1. Zvlákňování polymeru zvlákňování tryskou:

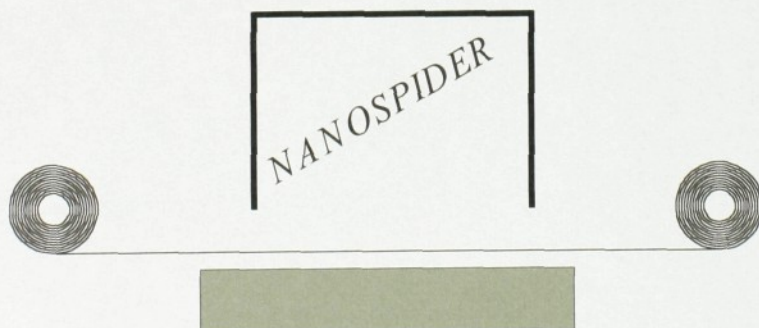
Tryska obsahující polymer je spojena s elektrodou, sběrný rošt je spojen s protielektrodou. Vlákná jsou formována elektrickým polem na sběrný rošt, který je umístěn ve vertikální poloze (viz obrázek č. 2). Tato metoda může mít několik variant, např. kapilára umístěná svisle a pod ní umístěný kolektor, nakloněná kapilára v definovaném úhlu, kapilára umístěná horizontálně, kolektorem může být rovná deska (s podkladovou textilií či bez), mřížka, válec apod.



Obrázek č.2: Schéma principu elektrostatického zvlákňování horizontální kapilárou [149].

2. Metoda zvaná Nanospider:

Je to nová metoda výroby nanovláken, jenž byla vyvinuta na katedře Netkaných textilií v Liberci. Tato metoda je založena na vzniku Taylorových kónusů na povrchu tenkého filmu polymerního roztoku, eliminuje použití zvlákňovacích kapilár a podává vysoké výnosy při výrobě nanovláknenných vrstev. Podobně jako u předešlého způsobu výroby nanovláken, je polymer spojen s elektrodou a sběrný rošt je spojen s protielektrodou. Tato metoda umožňuje hlavně kontinuální výrobu nanovláknenných vrstev, což je její velkou předností.

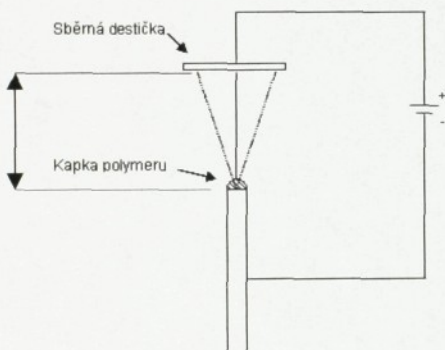


Obrázek č. 3: Schéma zařízení pro výrobu nanovláken.

V této práci byly jednotlivé experimenty prováděny dvěma způsoby, a to zvlákňováním z povrchu tyčinky a zvlákňováním z povrchu válce. Tato zařízení mohou být zjednodušeně popsána takto:

1) Zvlákňování z tyčinky

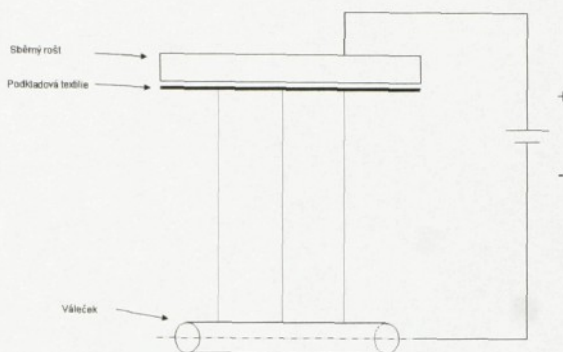
Kapka polymeru je nanесena na kovovou tyčinku kruhového průřezu, jenž je spojena s elektrodou, nad touto tyčinkou je ve vzdálenosti l umístěna sběrná destička, taktéž kruhového průřezu spojená s protielektrodou. Po iniciaci elektrickým proudem se na povrchu kapky tvoří Taylorovy kónusy, vlákna jsou ukládána na sběrnou destičku (viz obrázek č.4).



Obrázek č. 4: Zvlákňování z tyčinky. Konstanta l značí vzdálenost kapky polymeru od sběrné destičky.

2) Zvlákňování z povrchu válce

V nádobě s polymerem spojené s elektrodou se smáčí válec otáčející se konstantní rychlostí. Na povrchu válce se tvoří tenký polymerní film, na kterém se díky elektrickému poli tvoří Taylorovy kónusy. Vlákna jsou zachycována na podkladovou textilií umístěnou na sběrném roštu spojeném s protielektrodou (viz obrázek č.5).



Obrázek č. 5: Zvlákňování z povrchu válce.

Výhodou první zmíněné metody je potřeba menšího množství polymeru, proto je tato metoda vhodná zejména pro laboratorní podmínky.

Při druhé metodě je potřeba konstantní množství polymeru a to podle velikosti nádoby s válcem. Díky ní je dosahováno výborných výsledků, vlákna jsou rovnoměrně rozložena na povrchu podkladové textilie. Je to metoda, jenž by se dala s úspěchem aplikovat v kontinuální výrobě.

2.5 Použité látky

Elektrostatické zvlákňování je vhodné pro široký okruh polymerů stejný jako pro konvenční zvlákňování. Mnohem častěji bývají zvlákňovány polymerní roztoky. A to hlavně protože taveniny mají vyšší viskozitu, která nedovoluje formování tak jemných vláken. Ale i použití polymerních roztoků často přináší řadu nevýhod. Polymery musí být rozpuštěny v rozpouštědlech, která často bývají toxická a zdraví škodlivá. Možným řešením je použití vodných roztoků, které ale vyžaduje následné začlenění procesu síťování pro zamezení rozpustnosti vláken ve vlhkém prostředí.

Velký vliv na proces zvlákňování má povrchové napětí. Vlivem povrchového napětí mají kapaliny snahu zaujímat co nejmenší povrch. To by mohlo mít při

zvláknování za následek rozpad tvořícího se vlákna na menší útvary dříve než se vlákno vytvoří. Povrchové napětí je závislé na viskozitě, koncentraci, molekulové hmotnosti dané látky, ale také na její rozpustnosti a elektrické vodivosti. Toto jsou faktory, které byly v průběhu experimentování sledovány a ovlivňovány pomocí různých chemických látek. Příměsi byly voleny na základě známých poznatků, např. pH ovlivníme přidáním kyseliny či zásady do směsi, povrchové napětí tensidy apod.

Kyselina polyakrylová – PAA

Polyakryláty vedle kaučukových polymerů patří mezi nejpoužívanější pojiva pro netkané textilie. Mezi polyakryláty patří estery kyseliny polyakrylové nebo polymetakrylové, ale zahrnují se mezi ně i pojiva na bázi akrylových sloučenin.

K jejich výrobě slouží kolem 30 různých monomerů polymerovaných a kopolymerovaných za různých podmínek a v různých poměrech, takže jich existuje velmi mnoho variací se stejně četnými variacemi vlastností a to od rozpustných ve vodě až po nerozpustné, od velmi tvrdých až po extrémně měkké.

Polyakryláty se vyrábějí dvěma postupy:

- emulzní polymerací, při které vzniká disperze s částicemi o velikosti 0,1 – 1 μm . Tímto způsobem se vyrábí většina polyakrylátů.
- suspenzní polymerací, používaná hlavně pro účely naplavování (papírenský způsob výroby netkaných textilií).

Polyakryláty mají odolávat chemickému čištění, musí být schopny zesítnění. Se stupněm zesítnění roste tvrdost a pevnost a snižuje se jeho tažnost. Mechanismus zesítnění je podobný jako u kaučukových polymerů.

Polyakryláty mají taktéž široké použití pro některé specifické vlastnosti, které jiné polymery nemají, nebo jich dosahují jen obtížně. Je to tedy hlavně výborná stálost na světle a vzduchu, hygienická nezávadnost, odolnost vůči vodě a rozpouštědlům, měkký omak aj. Odolnost vůči stárnutí je daná tím, že v makromolekule nejsou mezi uhlíky dvojné vazby a polymer neabsorbuje světelné ani UV záření. Polymery odolávají teplotě asi do 150°C. Mají dobrou pružnost, i když zdaleka nedosahují hodnot kaučukovitých polymerů. Tvrdost polymeru je ovlivněna délkou zbytků alkoholových radikálů v esteru. S délkou klesá tvrdost a roste lepivost. Polymery mohou být měkké,

lepivé až tvrdé. Požadovaných vlastností je možno dosáhnout jejich kopolymerací. Jednotlivé řetězce je možno i zesílit. Viskozita kyseliny polyakrylové roste s růstem koncentrace.

Kyselina polyakrylová a polymetakrylová patří mezi slabé kyseliny, často se používají při výzkumu polyelektrolytů, ke studiu osmotického tlaku, rozptylu světla, vodivosti, povrchového napětí aj.

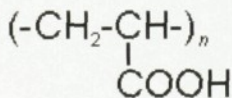
Jedním z prvních využití kyseliny polyakrylové bylo její použití jako zahušťovadla. Tato kyselina a její kopolymery jsou vhodné k zahušťování přírodních i syntetických kaučuků, usnadňují jejich smáčení a povrstvování. Akrylové elastomery se vyznačují vysokou olejovzdorností.

Používají se pro výrobu pojených textilií pro hygienické účely, výrobky na jedno použití, v medicíně, při výrobě kosmetiky, vysoce účinné vložky do prádla a oděvů, různé technické účely, úpravu vpichovaných podlahovin, aj. [23, 24]

K přípravě nanovláken byla k dispozici kyselina polyakrylová a třech molekulových hmotnostech, a to: $M_1 = 72\,843$, $M_2 = 103\,590$ a $M_3 = 143\,530$.

Molekulová hmotnost strukturní jednotky kyseliny polyakrylové je 72 064.

Vzorec kyseliny polyakrylové:



Polyvinylalkohol – PVA

Monomerní polyvinylalkohol není znám. Polyvinylalkohol se získává zmýdlením nebo přeesterifikací polyvinylacetátu. Jako polyvinylalkohol se označují produkty, které obsahují tolik volných hydroxylových skupin, že jsou rozpustné i ve studené vodě.

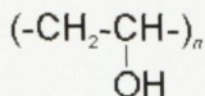
Polyvinylalkohol je použitelný v rozmezí -50 až 130°C . Je málo termoplastický a nad 200°C se rozkládá. Odolává účinku organických kyselin, neodolává však vodným roztokům anorganických kyselin a alkalických hydroxidů. Lze jej převést v produkty víceviskózní až nerozpustné ve vodě zahřátím nad 160°C a to působením nepatrného množství kyseliny borité a jejích solí, kyseliny fosforečné, dvojchromanů, diisokyanátů.

Polyvinylalkohol se v mnohém chová jako želatina, udržuje stabilitu disperzí. Je ve vodě rozpustný a má vysokou viskozitu vodných roztoků.

Polyvinylalkohol je také znám pod názvem Sloviol. Pro tuhle práci byl používán Sloviol R o koncentraci 12 %. [23]

Molekulová hmotnost strukturní jednotky polyvinylalkoholu je 44 053.

Vzorec polyvinylalkoholu:



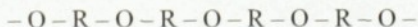
Chlorid hlinitý - AlCl_3

Rozpustnost chloridu hlinitého při 20 °C je 31,3 %, tzn. ve 100 g vody se rozpustí 45,6g chloridu hlinitého. (rozpustnost je udávána při 20 °C). [25]

Zde byl použit k síťování kyseliny polyakrylové.

Povrchově aktivní látky – PAL

Tenzidy neboli povrchově aktivní látky jsou jak známo látky, které snižují povrchové napětí na rozhraní dvou vzájemně se nemísících složek. Tenzidy, které se využívají ve vodných systémech mají molekuly složené ze dvou částí – hydrofilní, rozpustné ve vodě a hydrofobní, ve vodě téměř nerozpustnou. Hydrofilní (O) a hydrofobní (R) skupiny neionogenních tenzorů se v jejich molekulovém řetězci pravidelně střídají.



Tenzidy se dělí na neionogenní, nedisociující ve vodě, a ionogenní, ve vodě disociující. Díky rozdílné afinitě svých skupin k oběma nemísitelným složkám disperze se tenzory koncentrují na fázovém rozhraní těchto složek a snižují tak jejich vzájemné povrchové napětí. [26]

Při tomto experimentování bylo použito anionaktivního tenzidu Spolionu 8 a neionogenního tenzidu Slovasol 909.

2.6 Rozpouštění a rozpustnost

Při rozpouštění dochází k dokonalému rozptýlení (disperzi) jednotlivých částic rozpuštěné látky mezi molekuly daného rozpouštědla. Rozpustnost je děj samovolný, je proto provázen za konstantního tlaku a teploty snižováním volné entalpie soustavy. [27]

Pojmem rozpustnost označujeme údaj o složení nasyceného roztoku při určité teplotě, udává se nejčastěji v gramech rozpuštěné látky ve 100g rozpouštědla nebo ve 100g roztoku, ve druhém případě se rozpustnost vyjadřuje v hmotnostních procentech (hm%).

Na rozpustnost má vliv:

- molekulová hmotnost – s jejím růstem rozpustnost klesá
- stupeň krystalinity – s jejím růstem rozpustnost klesá
- stupeň zesílení – s jeho růstem rozpustnost klesá
- teplota – většinou s růstem teploty roste i rozpustnost.

2.7 Disociace

Koncem 19. století zjistil S. Arrhenius, při studiu rovnováh v roztocích, anomální chování skupiny roztoků. Šlo o roztoky, které vznikly rozpouštěním látek s vazbou iontovou nebo látek s polární kovalentní vazbou. Tyto látky můžeme rozdělit do dvou skupin:

- 1) Slabé elektrolyty, které disociují jen částečně. Jejich stupeň disociace se stoupající koncentrací klesá. Do této skupiny patří hlavně organické kyseliny (např. kyselina octová a benzoová) a organické báze (anilin atd.), z organických kyselin kyselina fosforečná a sulfan, z anorganických bází amoniak a malá skupina solí.
- 2) Silné elektrolyty, které jsou prakticky zcela disociovány i při vyšších koncentracích. Mezi silné elektrolyty můžeme zařadit anorganické kyseliny (HCl , HNO_3 , HClO_4) a váze (KOH , NaOH , Ca(OH)_2) a především velkou skupinu solí.

Slabé elektrolyty se podle Arrheniovy teorie elektrolytické disociace v roztoku částečně rozpadají na elektricky nabitě ionty, které jsou v rovnováze s nedisociovanými molekulami.

Elektrolyty jsou látky, které se při interakci s molekulami polárního rozpouštědla štěpí (disociují) na ionty. Tento děj se nazývá elektrolytická disociace. Elektrolyty jsou buď látky, které jsou již v pevné fázi ve formě iontových krystalů (např. NaCl, KOH), nebo látky, v jejichž molekulách existují silně polární kovalentní vazby. Elektrolytická disociace je dějem zvrátným vedoucím k ustavení rovnováhy. [28]

Voda patří mezi amfiprotní rozpouštědla, tzn. že její molekuly mohou protony přijímat, ale i poskytovat. Měřením elektrické vodivosti bylo zjištěno, že i čistá voda vede elektrický proud. Z toho vyplývá, že ve vodě (a jiných silně polárních rozpouštědlech) dochází k ionizaci, část molekul se chová jako kyselina, část jako zásada.

2.8 Neutralizace

Neutralizace je reakce mezi kyselinami a hydroxidy za vzniku solí a vody. Při neutralizaci se vždy uvolňuje teplo, je to tedy reakce exotermická. Neutralizaci v běžném životě využíváme všude tam, kde chceme odstranit kyselost nebo zásaditost prostředí. Neutrální znamená doslova *žádný z obou*, tedy ani kyselý ani zásaditý.

Při úplné neutralizaci dochází téměř ke 100% navázání koncových $-OH$ skupin na řetězec kyseliny. Při částečné neutralizaci dochází k navázání polovičního množství koncových skupin.

2.9 pH

Kyseliny jsou definovány jako látky, které v roztoku odštěpují vodíkové ionty, zásady jako látky, které v roztoku odštěpují hydroxidové ionty. Kyselost nebo zásaditost prostředí je pak dána koncentrací vodíkových případně hydroxidových iontů. Uvedené definice je však možné použít pouze pro vodné roztoky. Aby bylo možné určit chemickou povahu uvažovaných látek i v nevodném prostředí, musela by být definice obecnější. 912793

Výpočet pH

Ve vodných roztocích silných kyselin resp. silných zásad předpokládáme prakticky jejich úplnou disociaci. Z koncentrace silné kyseliny můžeme pH přímo vypočítat:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+], \quad (1)$$

u roztoků silných zásad vypočteme ze známé koncentrace nejprve pOH a následně pH ze vztahu:

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}. \quad (2)$$

Měření pH

1) rychlé orientační

Hodnoty pH se měří pomocí acidobazických indikátorů (např. pH papírků), tj. látek, které v závislosti na koncentraci $[\text{H}_3\text{O}^+]$ mění např. své zabarvení.

Acidobazické indikátory jsou teorie slabé organické kyseliny nebo zásady, u nichž nedisociované molekuly mají jinou barvu než disociací vzniklé ionty.

2) přesné potenciometrické

pH se měří na základě rovnovážného napětí elektrochemického článku složeného z indikační a referentní elektrody. Jako indikační elektroda se používá nejčastěji skleněná iontově selektivní elektroda (tenkostěnná skleněná baníčka citlivá na ionty H_3O^+ v širokém rozmezí pH), jako referentní elektroda se obvykle používá elektroda kalomelová (rtuť pokrytá sraženinou Hg_2Cl_2 , převrstvená vodným roztokem KCl). [31]

2.10 Povrchové napětí

Povrchové napětí je síla v povrchu kapaliny působící kolmo na jednotku délky. Na element délky dl v povrchu kapaliny působí z obou stran kolmo element síly dF a pro povrchové napětí obdržíme:

$$\sigma = dF / dl. \quad (3)$$

Jednotka povrchového napětí je tedy $[\sigma] = 1 \text{ N} / \text{m}$. Povrchové napětí a kapilární jevy jsou vysvětlovány vzájemným působením přitažlivých kohézních sil molekul. [29]

Povrchové napětí se dá měřit metodou odtrhávací (destičkovou), metodou kapilárního vzestupu či metodou kapkovou.

Z těchto metod je nejdokonalejší odtrhávací metoda, kterou můžeme při přesném provedení měřit povrchové napětí s chybou menší než 3%. Princip této metody spočívá v tom, že měříme sílu potřebnou k vytažení drátku ve tvaru obdélníčku z kapaliny. Je-li drátek tak tenký, že je možno jej zdvihnout celý nad hladinu kapaliny, aniž by se protrhla povrchová blanka kapaliny, pak pro sílu F , která drátek drží, platí:

$$2 F = 2 \sigma L, \quad (4)$$

kde L je délka části drátu rovnoběžné s hladinou kapaliny.

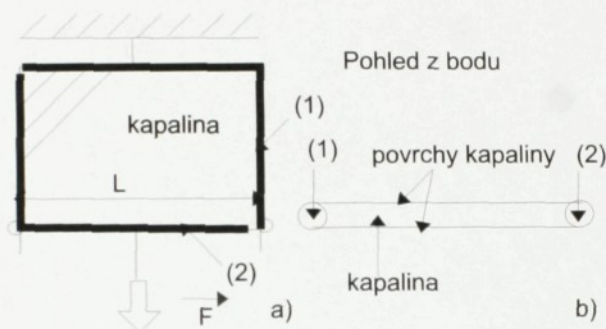
Povrchové napětí σ tedy lze vypočítat ze vztahu:

$$\sigma = Fz / 2 L, \quad (5)$$

kde $Fz = 2F$ je síla, kterou působíme na drátek v okamžiku odtržení.

Povrchové napětí a povrchová energie

Povrchové napětí kapalin $\vec{\gamma}$ je důležitým pojmem a současně prostředkem pro popis adhezni vazby mezi kapalinou a pevnou látkou. Fyzikální význam $\vec{\gamma}$ vysvětlíme pomocí Maxwellova pokusu. [1]



Obrázek č.6: Maxwellův pokus: (1) pevný kovový rámeček, (2) pohyblivé raménko na které působí síla F . Délka pohyblivého raménka je L .

Představme si pevný drátěný rámeček s pohyblivým raménkem znázorněným na obr. č. 6. Do tohoto rámečku se umístí tenká vrstva kapaliny, kterou je nutno udržovat v rovnováze působením síly $\vec{F}$ na pohyblivé raménko délky L . Síla působící na jednotkovou délku raménka dělená dvěma je rovna povrchovému napětí

$$\vec{\gamma} = \frac{-\vec{F}}{2L}. \quad (6)$$

Povrchové napětí působí tečně k povrchu kapaliny. Koeficient 2 je ve vztahu (6) obsažen proto, že vrstva kapaliny napnutá v rámečku má dva povrchy, na které je působení povrchové napětí kapaliny vázáno, viz obr. č. 5. Tuto skutečnost vysvětlíme dále při zavedení pojmu sféra molekulárního působení.

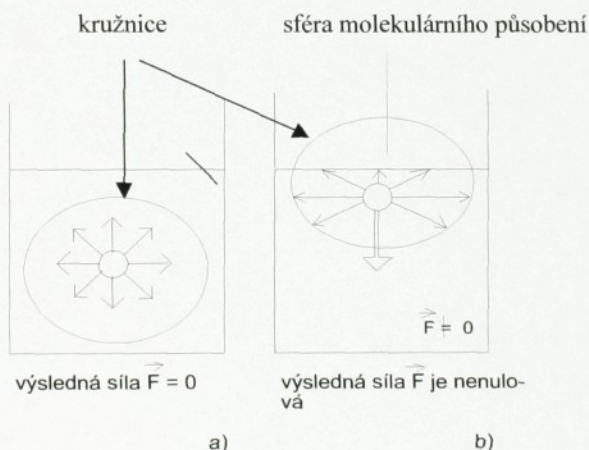
Povrchové napětí $\vec{\gamma}$ je vektorová veličina, jejíž velikost je číselně rovna povrchové energii W . Pojem povrchové energie W objasníme při sledování práce A dodané k posunutí pohyblivého raménka o malou vzdálenost ds ve směru působící síly $\vec{F}$. Z (6) plyne vztah:

$$A = Fds = 2\gamma Lds. \quad (7)$$

Dodaná práce A se přemění na energii vázanou na povrchu kapaliny. Velikost nově vytvořeného povrchu kapaliny je $2L ds$. Odtud plyne, že pro energii W připadající na jednotkový povrch platí

$$W = \gamma. \quad (8)$$

Povrchové napětí a energie jsou vázány na vrstvu kapaliny v blízkém okolí povrchu kapaliny díky krátkému dosahu sekundárních (molekulárních) sil, které jsou podstatou těchto jevů. Představme si molekulu kapaliny, která je obklopena ostatními molekulami téže látky.



Obr.č.7.: *Sféra molekulárního působení je kulovitá oblast, v jejímž středu leží vybraná molekula kapaliny a jejíž poloměr je roven dosahu sekundární sil mezi molekulami této kapaliny.*

Sledovaná molekula je vystavena silovému působení z jejího okolí. Toto silové působení vzniká v důsledku sekundárních neboli molekulárních sil. **Sféra molekulárního působení** je pak sférická oblast o poloměru rovném dosahu sekundárních sil. Z hlediska vzájemné polohy sledované molekuly a povrchu kapaliny mohou nastat dva případy.

V prvním z nich je molekula od nejbližší oblasti povrchu kapaliny vzdálena více než je poloměr sféry molekulárního působení. Potom můžeme předpokládat, že rozmístění okolních molekul je v prostoru rovnoměrně náhodné a výsledná působící síla na molekulu ve středu sféry je nulová, viz obr. č. 6 a.

Druhý případ je naznačen na obr. č. 6 b. Je na něm znázorněna molekula v blízkosti povrchu kapaliny. Nesouměrné rozmístění okolních molekul pak vyvolá výslednou sílu ve směru kolmém k povrchu kapaliny.

Předcházející kvalitativní rozbor chování molekul blízkých k povrchům tekutin umožňuje pochopit existenci povrchové energie a napětí. Při tvorbě nového povrchu kapaliny, například deformováním tvaru kapky, musíme silově působit na ty molekuly, jejichž sféry molekulárního působení přesouváme do blízkosti povrchu kapaliny. Při těchto posunech se mění práce vnějších sil na povrchovou energii.

Jev povrchové energie a napětí je vázán na tenké vrstvy povrchu kapaliny. Charakteristická tloušťka těchto vrstev se odhaduje z dosahu sekundárních sil a činí několik nm. [1]

2.11 Viskozita

Při průtoku kapaliny trubicí se pohybují nejpomaleji částice u stěny trubice, nejrychleji v jejím středu. Vrstvičky kapaliny pohybující se rychleji jsou bržděny těmi, jež se pohybují pomaleji. Toto vzájemné ovlivňování proudících vrstviček se projevuje jako vnitřní tření v kapalině a nazývá se viskozita kapaliny.

Veličiny charakterizující vnitřní tření kapaliny jsou :

- 1) dynamická viskozita (koeficient viskozity) η
- 2) kinematická viskozita ($\nu = \eta/\rho$, kde ρ je hustota kapaliny).

Viskozita kapalin je závislá zejména na teplotě. S růstem teploty se její hodnota snižuje. Viskozita kapalin se měří především viskozimetry kapilárními (na základě doby potřebné k výtoku daného objemu kapaliny kapilárou přístroje) nebo kuličkovými (na základě rovnoměrné rychlosti pádu kuličkového tělíska ve studované kapalině).

Viskozita vyjadřuje míru odporu kapaliny vůči toku a definuje se rovnicí :

$$\sigma = \eta \frac{dv}{dx}, \quad (9)$$

kde σ je tečné napětí působící na jednotkovou plochu při vzájemném posunu dvou paralelních vrstev kapaliny [Pa], dv rozdíl rychlostí vrstev [ms^{-1}], dx vzdálenost vrstev [m]. [27]

Reologické chování látek

Chování viskózní tekutiny lze popsat závislostí mezi smykovým napětím τ_r a rychlostí smykové deformace D_r . Funkční závislost mezi τ_r a D_r se nazývá rovnicí toku.

$$\tau_r = f(D_r). \quad (10)$$

Pokud tekutina splňuje viskózní zákon, tj. závislost mezi τ_r a D_r je lineární,

$$\tau_r = \eta D_r, \quad (11)$$

nazýváme takovou látku *newtonovskou tekutinou*. Dynamická tekutina viskozity η je pro newtonovskou tekutinu závislá na deformační rychlosti a můžeme ji určit z grafu závislosti $\tau_r(D_r)$.

Kapalinám, pro které přímá úměrnost mezi napětím a rychlostí deformace (11) není splněna říkáme *neneutronovské*. Kapalína je *neneutronovská* tehdy, je-li viskozita vypočítaná podle vztahu (11) pro různé rychlosti deformace D_r různá.

Viskozita patří mezi transportní jevy. Jde v podstatě o přenos hybnosti mezi dvěma sousedními vrstvami kapaliny realizovaný prostřednictvím molekul. Tento proces je procesem tepelně aktivovaným. Změnu viskozity s teplotou můžeme charakterizovat vztahem:

$$\eta(T) = C \cdot \exp\left(\frac{E_A}{k \cdot T}\right), \quad (12)$$

kde ε_A je aktivační energie a C je konstanta.

Pro měření viskózních vlastností reologicky složitějších látek jsou vhodné rotační viskozimetry s proměnnou rychlostí otáčení a výměnným tvarem měrného prostoru. To umožňuje studium funkčních závislostí mezi smykovým napětím τ_r a rychlostí smykové deformace D_r . K určení této závislosti používáme přístroj Rheotest.

Tento rotační viskozimetr může pracovat s měrným prostorem v úpravě dvou sousých válců nebo v úpravě kužel a deska. U obou typů je možno zvolit několik rozměrů válce nebo kužele. Otáčí se vždy vnitřní válec nebo kužel. Jejich spojení s hnací osou je provedeno mechanickou spojkou, která umožňuje rychlou výměnu prvků. Pohonnou jednotkou je elektromotor, jehož otáčky, synchronní s frekvencí sítě, je možno nastavit na dvě hodnoty (1500 a 750 ot./s, na přístroji značeno a a b). Další volba rotační rychlosti se provádí přepínáním převodovky, která má dvanáct stupňů. Celkově lze tedy nastavit 24 různých rotačních rychlostí, při nichž lze měřit viskozitu.

V případě sousých válců se dynamická viskozita η určí ze vztahu

$$\eta = \frac{\tau_r}{D_r}, \quad (13)$$

kde τ_r je napětí a D_r je rychlost deformace u vnitřního válce o poloměru r .

2.12 Sít'ování

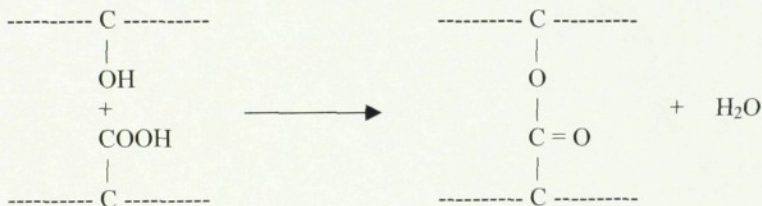
Cílem sít'ování je příprava polymerů s trojrozměrnou strukturou. Sít'ování zvyšuje tvrdost, adhezi pojiva k vláknům, odolnost vůči teplu, praní, rozpouštědlům a povětrnostním vlivům, omezuje plastické chování a lepivost a stabilizuje výrobky. Sít'ování je operace zařazovaná za sušení a realizuje se ohřevem výrobku, teplota a čas tepelné fixace jsou dány typem sít'ování. Z chemického hlediska lze sít'ování uskutečnit celou řadou postupů. Míra změny vlastností polymeru sít'ováním závisí na koncentraci

vytvořených příčných kovalentních vazeb. Obvykle se vytváří 1 příčná vazba na 50 - 200 strukturních jednotek v řetězci makromolekuly.

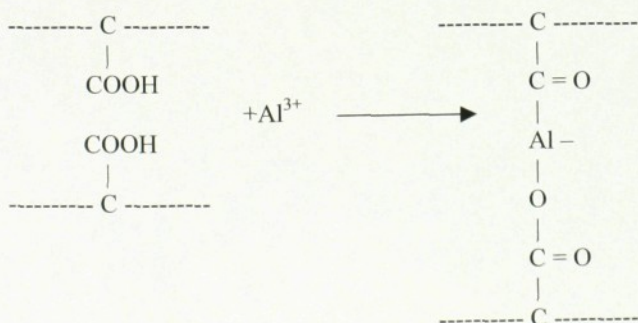
Při síťujících reakcích se spojují jednotlivé molekulární řetězce navzájem do „nekonečně velké makromolekuly a polymer přechází na síťovaný až trojrozměrný útvar. Přechod lineárních polymerů v prostorové je provázen rychlým zvětšením molekulové hmotnosti, ztrátou rozpustnosti a také změnou všech fyzikálně-mechanických vlastností. [26, 29]

Síťování lze docílit několika způsoby, v této práci bylo provedeno síťování:

- esterifikační reakci



- vytvoření nedisociovatelných solí karboxylové kyseliny s ionty vícemocných kovů.



2.13 Hodnocení výsledných vlastností vyrobených nanovrstev

Na vyrobených vzorcích je měřeno prodloužení při daném zatížení v suchém a mokřém stavu vzorků, dle (14) se vypočítá poměrné prodloužení ε a jednotlivé hodnoty se vynášejí do grafu závislosti *napětí na relativním prodloužení* – ε . K posouzení výsledných vlastností se zavádí tzv. *smluvní modul SM*. Modul je tangenta úhlu spojnic počátku s jednotlivými hodnotami v grafu. Smluvní modul SM získáme jako rozdíl mezi suchým (M_s) a mokřým modulem (M_M), tzn. rozdílem mezi tangentami spojnic hodnot v suchém a mokřém stavu. Sestrojí se graf závislosti smluvního modulu na koncentraci síťovadla $SM - c$.

Hodnoty poměrného prodloužení vypočteme dle vztahu:

$$\varepsilon [\%] = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100, \quad (14)$$

kde ε je relativní prodloužení vzorku, Δl je protažení, l_0 je původní (měřená) délka vzorku. Velikost napětí se počítá dle vztahu:

$$\sigma [N / tex] = \frac{F [N]}{T [tex]}, \quad (15)$$

kde F je tíhová síla, T je jemnost vzorku.

Jemnost textilie určíme dle vztahu:

$$T [tex] = \frac{m [g]}{l [km]}, \quad (16)$$

kde m je hmotnost a l je délka vzorku.

Tíhovou sílu určíme dle vztahu:

$$F [N] = m [kg] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right], \quad (17)$$

kde m je hmotnost závaží a g tíhové zrychlení ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

Pro mechanické chování platí ve skelném stavu při malých deformacích Hookův zákon:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (18)$$

kde $E [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}]$ je konstanta úměrnosti (Youngův modul) mezi napětím a deformací ε . Napětí $\sigma [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}]$ je přímo úměrné relativnímu prodloužení.

Smluvní modul je roven podílu napětí a deformace

$$SM = M_S - M_M, \quad (19)$$

kde SM značí smluvní modul, M_S suchý modul a M_M mokřý modul.

Suchý modul určíme:

$$M_S = \cot g \alpha_S = \frac{\sigma_S}{\varepsilon}, \quad (20)$$

kde M_S značí suchý modul, α_S úhel spojnic počátku s jednotlivými hodnotami v grafu pro protažení za sucha, σ_S značí zatížení vzorků za sucha.

Mokřý modul určíme obdobně:

$$M_M = \cot g \alpha_M = \frac{\sigma_M}{\varepsilon}, \quad (21)$$

kde M_M značí mokřý modul, α_M úhel spojnic počátku s jednotlivými hodnotami v grafu pro protažení za mokra, σ_M značí zatížení vzorků za mokra.

3 Experiment

3.1 Plán experimentu

Najít vhodné příměsi, které umožní a napomohou zvláknování kyseliny polyakrylové, stanovit nejvhodnější koncentraci, sledovat vliv povrchového napětí, elektrické vodivosti, naleznout vhodný způsob síťování a vyhodnotit vlastnosti připravených vláknenných vrstev v závislosti na koncentraci síťujícího prostředku.

3.2 Experimenty

3.2.1 Možnosti zvláknování PAA

Studovány byly možnosti zvláknování kyseliny polyakrylové (PAA) o třech molekulových hmotnostech a to: $M_1 = 72\,843$, $M_2 = 103\,590$ a $M_3 = 143\,530$. Vzorky samotné kyseliny zvláknovat nešlo. Proto bylo snahou ovlivnit povrchové napětí pomocí tenzidů, viskozitu snižováním koncentrace kyselin. Po těchto provedených pokusech o zvláknování bylo zřejmé, že vzorky kyselin o molekulové hmotnosti 72 843 a 103 590 zvláknit nelze, pouze při zvláknování vzorku o nejvyšší molekulové se podařilo vyrobit několik vláken tvořících malé shluky na povrchu sběrného roštu. Při dalších experimentech byla studována pouze tato kyselina. Bylo nutno naleznout vhodné příměsi, které ovlivní vlastnosti zvláknované kyseliny a napomohou samotnému procesu zvláknování.

To, že vzorky o nižší molekulové hmotnosti nešlo zvláknit by mohlo být vysvětleno tím, že tyto vzorky mají příliš krátké řetězce, které se při zvláknování nedokážou ani vlivem sekundárních mezimolekulových sil udržet u sebe a tudíž se nemohou zformovat ve vlákna.

Při provedených experimentech byla vždy sledována hodnota minimálního napětí, při kterém se započaly tvořit Taylorovy kónusy.

3.2.2 Úprava povrchového napětí pomocí tenzidů

Experimentálně bylo zjišťováno množství povrchově aktivní látky potřebné ke zvlákňování. Testován byl anionaktivní tenzid Spolion 8 a neionogenní tenzid Slovasol 909. Do vzorků kyseliny polyakrylové byl postupně po kapkách přidáván tenzid a sledováno bylo, zda se budou tyto směsi zvlákňovat.

Do vzorku kyseliny polyakrylové byl přidáván nejprve neionogenního tenzidu Slovasol 909 a to 0,4 , 1,2, 2, 2,8 hm%. Vyšší koncentrace tenzidu ve směsi měla za následek mírné snížení minimální hodnoty napětí, při které se začínají tvořit vlákna, viz tabulka č. 1. Minimální množství tenzidu jež dostatečně ovlivnilo zvlákňování činí 2% z hmotnosti vzorku samotné kyseliny. Toto množství tenzidu bude používáno i při dalších experimentech.

Tab. č. 1: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909.

tenzid	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	19	1 T.K., slabé pokrytí
0,4	15	1 T.K. , slabé pokrytí
1,2	15	3 T.K. , slabé pokrytí
2	13	1 T.K., pokrývá velkou plochu
2,8	12	1 T.K., pokrývá rovnoměrně velkou plochu, dostatečně snížené povrchové napětí

Povrchové napětí druhého vzorku bylo upraveno anionaktivní tenzidem Spolionem 8, který byl přidáván do kyseliny stejně jako v předešlém případě v koncentracích 0,4, 1,2, 2, 2,8 hm%, minimální hodnota napětí byla taktéž snížena, vyrobená nanovlákná pokrývaly povrch sběrné destičky méně rovnoměrně v porovnání s předchozím pokusem při použití neionogenního tenzidu, viz tabulka č.2..

Tab. č. 2: Směs PAA (30%) + anionaktivní tenzid Spolion 8.

tenzid	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	15,5	1 T.k., slabé pokrytí
0,4	12	1 T.k., málo rovnoměrné pokrytí
1,2	10	tvoří se 1 T.k., rovnoměrné pokrytí, narušené
2	11,5	Tvoří se 1 T.k., po chvíli 4 T.k., velké pokrytí, ale narušená místa
2,8	12	2 T.k., pokrývají velkou plochu, na sběrném roštu viditelná vrstva, která se po chvíli vytratila (rozpustila)

Další experimenty budou prováděny převážně jenom s neionogenním tenzidem.

Přidáváním anionaktivního tenzidu bylo ovlivněno minimální napětí, při kterém se začínají tvořit kónusy, ale při zvlákňování nebylo dosaženo rovnoměrného pokrytí povrch zvlákňované plochy. Během několika vteřin se vlákenná vrstva začala „vytrácet“, začala se pravděpodobně rozpouštět dříve než mohla ztuhnout.

Tab. č. 3: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909. Zvlákňování z povrchu válce.

Slovasol 909	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	38	3 T.k., tvoří se malé obláčky
0,1	35,5	3 T.k., tvoří se malé obláčky
0,3	36	1 T.k.
0,5	37	1 T.k.
1	42	2 T.k.

Při srovnání hodnot v tabulce č.1 a 3 je možno vidět rozdíly v hodnotách minimálního napětí potřebných k iniciaci procesu zvlákňování z tyčinky a z povrchu válce pro směs kyseliny polyakrylové a neionogenního tenzidu o koncentraci 0 – 1 hm%.

3.2.3 Zjištění a ovlivnění rozpustnosti

Rozpustnost zvlákněvané směsi kyseliny polyakrylové a tenzidu byla ovlivňována přidáváním 28,5% roztoku chloridu sodného NaCl a 28,5% roztoku chloridu vápenatého CaCl₂.

Tyto pokusy byly provedeny s použitím obou druhů tenzidů. Připraveny byly čtyři vzorky PAA, do dvou z nich byla přidána 2 hm% tenzidu anionaktivního, do dalších dvou vzorků byla přidána 2 hm% tenzidu neionogenního. Do prvních vzorků s různými tenzidy byl přidáván chlorid sodný NaCl v množství: 7.4, 10.7, 13.8, 16.7 hm%, viz tabulka č. 4 a 6, do zbylých dvou vzorků s různými tenzidy byl přidáván chlorid sodný CaCl₂ v množství 3.8, 7.4, 10.7, 13.8, 16.7 hm%, viz tabulka č. 5 a 7.

Tab. č. 4: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + NaCl.

NaCl	napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
7,4	18	1 T.k.
10,7	15	1 T.k.
13,8	15	1 T.k., malé pokrytí v jednom bodě
16,7	14	1 T.Kk pokrytí v ojednocených místech, velmi slabé

V této směsi došlo ke snížení minimální hodnoty napětí.

Tab. č. 5: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + CaCl₂ (c = 28,5 %).

CaCl ₂	napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
3,8	14	1 T.k.
7,4	14	1 T.k. zaniká
10,7	14	1 - 2 T.k., slabé pokrytí
13,8	14,3	1 - 2 T.k., slabé pokrytí
16,7	15	2 - 3 T.k., malé, velmi slabé pokrytí, tvoří se "pavučinky"

Přidáváním CaCl₂ se mírně zvýšilo min. napětí, samotné zvláknění ovlivněno negativně.

Tab. č. 6: Směs PAA (30%) + anionaktivní tenzid Spolion 8 + NaCl (28,5 %).

NaCl	napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
7,4	18	1 T.K.
10,7	15	1 T.K.
13,8	15	1 T.K., malé pokrytí v jednom bodě
16,7	14	1 T.K. pokrytí v ojednocených místech, velmi slabé

Pomocí NaCl jsme sice snížili minimální napětí, při které se začínají tvořit kónusy, ale opět samotný proces zvlákňování byl ovlivňován negativně – při vyšším množství NaCl byla vyrobená vlákenná vrstva slabší.

Tab. č. 7: Směs PAA (30%) + anionaktivní tenzid Spolion 8 + CaCl₂ (28,5 %).

CaCl ₂	napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
3,8	14	1 T.K.
7,4	14	1 T.K, zaniká
10,7	14	1 - 2 T.K., slabé pokrytí
13,8	14,3	1 - 2 T.K., slabé pokrytí
16,7	15	2 - 3 T.K.malé, velmi slabé pokrytí, tvoří se "pavučinky"

V této směsi hodnoty minimálního napětí mírně kolisaly. Tvořící se vlákna velmi málo pokrývala povrch sběrné destičky.

U těchto experimentů bylo patrné, že přidáváním jednotlivých látek nebylo zvlákňování ovlivněno k dosažení lepších výsledků.

Při dalším experimentu byl do směsi PAA + anionaktivní tenzid + CaCl₂ (16.7 hm%) přidán líh. Minimální hodnota napětí se mírně zvýšila. Vlákna, která při tomto pokusu vznikala byla velmi jemná, výsledné pokrytí sběrné destičky bylo slabé, téměř neznatelné. Výsledky viz tabulka č. 8.

Tab. č. 8: Směs PAA (30%) + anionaktivní tenzid Spolion 8 + CaCl_2 (28,5 %) + lih.

lih	napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
3,8	13	1 T.k., pokrytí téměř neznatelné
13,8	12,5	3 T.k., velmi slabé, ale rovnoměrné pokrytí

3.2.4 Vliv koncentrace PAA na zvlákňování

Původní hodnota koncentrace PAA byla 30%. Do směsi PAA a PAL., která obsahovala 98 hm% PAA a 2 hm% neionogenního tenzidu byla přidávána destilovaná voda v rozsahu 0 – 50 hm%. Koncentrace kyseliny byla snížena až na 15%.

Jednotlivé vzorky byly zvlákňovány z tyčinky, vzdálenost sběrné destičky od kapky vzorku byla 2l. Výsledky zvlákňování a taktéž získané koncentrace kyseliny ve směsi jsou uvedeny v tabulce č. 9. Z výsledků je patrné, že nejvhodnější koncentrace kyseliny pro samotné zvlákňování je 23,2%.

Tab. č. 9: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda.

voda	Koncentrac e PAA	napětí	pozn.
[hm%]	[%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	30	14	2 T.k., relativně rovnoměrná vrstva
9,1	27,2	14	1 T.k, rovnoměrné pokrytí
16,7	25	14,5	1 T.k, rovnoměrné pokrytí
23	23,2	14,5	1 T.k, rovnoměrné pokrytí **
28,6	21,4	15	1 T.k, rovnoměrné pokrytí, ale méně než předchozí *
33,3	20	15	1 T.k., tenká vrstva, rovnoměrná, pokryt celý povrch destičky *
37,5	18,8	14,5	1 T.k., rovnoměrné pokrytí *
41,2	17,6	14,5	1 T.k., pokrytí rovnoměrné, ale ne po celé ploše
44,4	16,7	14,5	1 T.k., pokrytí rovnoměrné, ale ne po celé ploše
47,4	15,8	14	1 T.k., pokrytí rovnoměrné, ale ne po celé ploše
50	15	14	1 T.k., pokrytí rovnoměrné, ale ne po celé ploše

Pozn.: Položky označené hvězdičkou značí složení vhodné ke zvlákňování.

Z tohoto experimentu vyplývá, že ovlivněním koncentrace PAA bylo dosaženo lepších výsledků při zvlákňování. Vhodné koncentrace pro zvlákňování jsou v rozmezí 18 – 23 %, nejvhodnější koncentrace kyseliny polyakrylové pro zvlákňování je 23,2%.

3.2.5 Neutralizace

Vzorky 30% PAA a PAL (98 hm% + 2 hm%) byly neutralizovány přidavkem hydroxidu sodného NaOH, jeden vzorek byl neutralizován přidáním 100% NaOH (14 hm%), druhý byl neutralizován pouze částečně a to přidáním 50% NaOH (25 hm%).

Každý z obou vzorků byl zvlákňován při vzdálenosti sběrné destičky od zvlákňovaného vzorku 1 a následně pak při vzdálenosti 2l.

U kyseliny polyakrylové bylo naměřeno $\text{pH} = 2 - 3$. Při částečné neutralizaci byla hodnota $\text{pH} = 4$, při neutralizaci úplné byla naměřena hodnota $\text{pH} = 8$.

Pokusy zvlákňování z tyčinky

Neutralizace částečná

Vzdálenost destičky od konce tyčinky 1.

Kónusy se začínají tvořit při napětí 20 kV. Vlákna, která vznikají, se nepřichytila na destičku, zachycena jsou pouze jedním koncem k destičce a „visí dolů“.

Vzdálenost destičky od konce tyčinky 2l.

Kónusy se začínají tvořit při napětí 18 kV. Vznikající vlákna lépe přilnuly k povrchu destičky, ale nepřichytily se zcela a konce opět visí dolů.

Neutralizace úplná

Vzdálenost destičky od konce tyčinky 1.

Kónusy se začínají tvořit při napětí 16 kV. Tvoří se dva kónusy, ve chvíli, kdy jeden zanikne, vznikne jiný, nový kónus. Na povrchu destičky nejsou vidět žádná vlákna.

Vzdálenost destičky od konce tyčinky 2l.

Kónusy se začínají tvořit při napětí 20 kV. Na povrchu destičky ovšem nejsou žádná viditelná vlákna.

Pokusy zvlákňování neutralizované směsi PAA z povrchu válce.

Neutralizace částečná

Postup stejný jako při zvlákňování na tyčince. Do směsi PAA (30%) + PAL + NaOH (14 hm%) byla přidávána destilovaná voda v rozmezí 0 – 37.5 hm%. Výsledky zvlákňování jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Při vyšší koncentraci NaOH se minimální napětí pro zvlákňování zvýšilo až na 21 kV. Při obsahu 37,5 hm% destilované vody již byla zvlákňovaná směs málo viskózní a i když se kónusy tvořily, vlákna se z nich neformovala.

Tab. č. 10: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + NaOH + destilovaná voda.

destil. voda	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	10	1 T.k.
7,9	10,5	1 T.k.
14,6	15	1 T.k.
20,5	14	1 T.k., nejsouvislejší pokrytí
25,5	14	1 T.k.
30	16	1 T.k.
34	19	1 T.k.
37,5	21	1 T.k.

Neutralizace úplná

Postup opět stejný jako při zvlákňování na tyčince. Do směsi PAA + PAL + 50% NaOH (25 hm%) byla přidávána destilovaná voda v rozmezí 0 – 27.3 hm%. Výsledky zvlákňování jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tab. č. 11: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + NaOH (50%) + destilovaná voda.

destil. voda	min. napětí	Poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	15	1 T.k., vlákna ojediněle, netvoří souvislou plochu
7	15	2 T.k., vlákna ojediněle, netvoří souvislou plochu
13	15	2 T.k., vlákna ojediněle, netvoří souvislou plochu
18,4	14	2 T.k., na destičce ojediněle zachycená vlákna
23,1	14	1 T.k., vlákna se tvoří, ale na destičce nejsou vidět
27,3	15	1 T.k., kónusy se tvoří, vlákna ne

U všech těchto pokusů majících neutralizovat zvlákněvanou směs bylo možno pozorovat tvorbu kónusů, ovšem vznikající vlákna se patrně rozpouštěla dříve než se usadila na sběrném roštu a dříve než se mohla vzájemnými mezimolekulovými silami propojit a vytvořit souvislou plochu na povrchu roštu.

3.2.6 Úprava pH

Pokusy zvláknění z tyčinky

Do směsi PAA (30%) + neionogenní tenzid + 23 hm% destilované vody byla přidávána kyselina chlorovodíková HCl a to 0,15, 0,3, 0,45, 0,6 hm%. Výsledky zvláknění jsou uvedeny v tabulce č. 12. Při vyšším obsahu HCl ve směsi byla vyrobená vlákenná vrstva méně souvislá a slabší v porovnání s vrstvami vyrobenými ze stejné směsi, která ovšem HCl neobsahovala.

Tab. č. 12: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda + HCl.

HCl	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	16	2 T.k.
0,15	15	1 T.k., zvlákněje, ale pokrytí není souvislé
0,3	15,5	1 T.k., pokrytí není souvislé
0,45	15	1 T.k., pokrytí málo souvislé
0,6	16	1 T.k., pokrytí velmi málo souvislé

Do stejné výchozí směsi, PAA (30%) + neionogenní tenzid + 23 hm% destilované vody, byla přidávána kyselina trihydrogenfosforečná H_3PO_4 a to 0.15 – 1.5 hm% (viz tabulka č.13). Minimální napětí pro zvlákňování bylo konstantních 15 kV. Bylo možno pozorovat, že přidávání této kyseliny do směsi negativně ovlivňovalo tvorbu kónusů, takto vyrobené vlákenné vrstvy byly méně souvislé než vzorky ze stejné směsi neobsahující H_3PO_4 .

Tab. č. 13: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda + H_3PO_4 .

H_3PO_4	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	15	1 T.k.
0,15	15	1 T.k., relativně rovnoměrné pokrytí, ale není zcela souvislé
0,3	15	1 T.k., rovnoměrné, ale nesouvislé pokrytí
0,45	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
0,6	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
0,75	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
0,9	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
1,05	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
1,2	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
1,35	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí
1,5	15	1 T.k., rovnoměrné, nesouvislé pokrytí

Tytéž pokusy byly provedeny ještě jednou, přidávané kyseliny byly naředěny s vodou v poměru 1:1 a poté byly přidávány do stejné výchozí směsi, PAA + neionogenní tenzid + destilovaná voda, a to 0.15 – 0.6 hm%. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách č. 14 a 15. Výsledek je podobný jako v předchozích případech, přidáváním těchto naředěných kyselin bylo dosaženo horších výsledků při zvlákňování.

Tab. č. 14: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda + HCl.

[HCl : H ₂ O]	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	15	1 T.k., velmi málo pokrytý povrch destičky
0,15	15	1 T.k., velmi málo pokrytý povrch destičky
0,3	15	1 T.k., velmi málo pokrytý povrch destičky
0,45	15	1 T.k., velmi málo pokrytý povrch destičky
0,6	15	1 T.k., na povrchu destičky se tvoří malé shluky vláken

Tab. č. 15: Směs PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda + H₃PO₄.

[H ₃ PO ₄ : H ₂ O]	min. napětí	poznámky
[hm%]	[kV]	(tvorba kónusů při min. napětí)
0	15	2 T.k., rovnoměrné pokrytí, ne po celé ploše
0,15	15	1 T.k., rovnoměrné pokrytí, ne po celé ploše
0,3	15	1 T.k., rovnoměrné pokrytí, ne po celé ploše
0,45	14	1 T.k., rovnoměrné pokrytí, ne po celé ploše
0,6	15	1 T.k., malé pokrytí

Pokusy zvlákňování z povrchu válce

Z předchozích výsledků bylo vybráno složení směsi PAA + tenzid + destilovaná voda + H₃PO₄ a tato konkrétní kombinace byla ještě jednou zkoušena zvlákňováním z povrchu válce. Provedeny byly pokusy s anionaktivním i neionogenním tenzidem a do těchto směsí bylo přidáno 0.45 hm% H₃PO₄.

Směs PAA + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda

Pozorován byl vznik velkého množství kónusů na povrchu polymerního filmu na povrchu válečku. Vyrobeno bylo několik nanovlákných vrstev, které byly použity pro síťování pomocí vodného roztoku chloridu hlinitého viz 3.10.

Směs PAA + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda + H₃PO₄

Kónusy hůř vznikaly, bylo jich hodně, ale měli tendenci sprayovat. Vlákná ve vyrobených vlákných vrstvách nebyla rovnoměrně rozmístěna.

Směs PAA + anoinaktivní tensid Spolion 8 + destilovaná voda

Kónusy vznikaly snadno a rychle. Vyrobené vláknenné vrstvy v porovnání s vrstvami vyrobenými ze stejné směsi, ovšem obsahující neionogenní tensid, nebyly tolik rovnoměrné a souvislé.

Směs PAA + anoinaktivní tensid Spolion + destilovaná voda + H_3PO_4

Kónusy vznikaly velmi neochotně a bylo jich velmi málo. Vznikající vlákna netvořila souvislou plochu na sběrném roštu.

3.2.7 Měření povrchového napětí

Povrchové napětí testované kapaliny se zjišťuje pomocí Wilhelmyho metody uvedené v kapitole 2.9. K této metodě se pro měření používá měřicí zařízení KRÜSS jehož součástí je vertikálně zavěšená platinová destička se zdrsňeným povrchem, její rozměry jsou pevně dány (šířka 19,9 mm, tloušťka 0,2 mm). Před samotným měřením je nutno destičku dokonale vyčistit, a to opláchnout v destilované vodě a vyžít nad plynovým hořákem modrým plamenem.

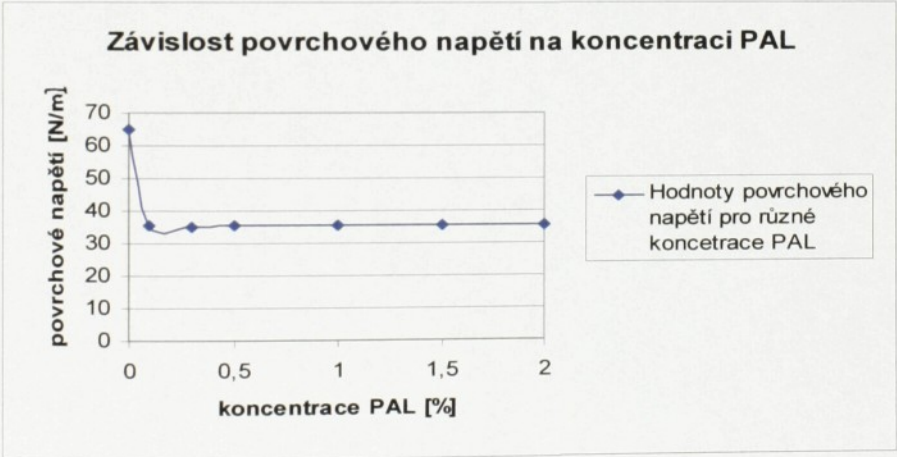
Po odaretování a spuštění volby START je k této destičce přiblížena nádoba s testovanou kapalinou o objemu 50 až 70ml. Jakmile se destička dotkne kapaliny, přístroj začne měřit a díky tomu, že je přístroj propojen s počítačem, jsou data ihned zaznamenávána. Přístroj odečítá hodnoty povrchového napětí po 2s, celkem se tak získá 100 hodnot. Výsledné hodnoty byly zprůměrnovány a zaznamenány jsou v tabulkách č. 17 až 23 v příloze č. 1.

Povrchové napětí samotné kyseliny polyakrylové je rovno $65,22 \pm 0,94 \text{ N.m}^{-1}$, hodnoty povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující povrchově aktivní látku, neionogenní tensid Slovasol 909, jsou v rozmezí 34 až $34,4 \text{ N.m}^{-1}$. Všechny hodnoty povrchového napětí pro jednotlivé koncentrace PAL jsou opět uvedeny v příloze č. 1 v tabulkách č.17 až 23, v tabulce č. 16 jsou uvedeny průměrné hodnoty jednotlivých měření povrchového napětí, které jsou vyneseny v grafu č.1., který se zkonstruován na základě průměrných hodnot z předchozích měření povrchového napětí pro jednotlivé koncentrace tensidu (viz tabulka č. 16, graf č. 1). Jak je patrné z grafu č. 1, povrchové

napětí bylo ovlivněno přidáním tenzidu, jak se předpokládalo, ovšem hodnoty povrchového napětí nebyly koncentrací tenzidu příliš ovlivněny.

Tab. č. 16: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909.

měření č.	neionogenní tenzid Slovasol 909	Průměrné hodnoty povrchového napětí $\bar{\gamma}$	s	σ	V
	[hm%]	$\bar{\gamma}$ [N.m ⁻¹]	[N.m ⁻¹]	[N.m ⁻¹]	[%]
1	0	65,2210	0,8767	0,9363	1,4356
2	0,1	35,3031	0,7179	0,8473	2,4001
3	0,3	35,0632	0,5409	0,7355	2,0975
4	0,5	35,3688	0,5355	0,7318	2,0689
5	1	35,3764	0,4802	0,6930	1,9588
6	1,5	35,4192	0,4852	0,6966	1,9667
7	2	35,4179	0,4630	0,6804	1,9211

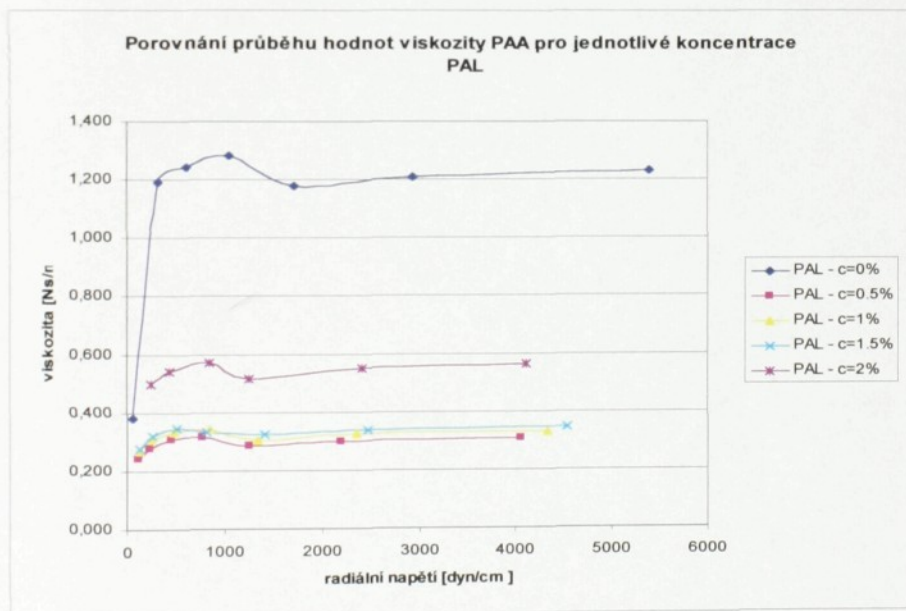


Graf č.1: Závislost povrchového napětí(průměrné hodnoty) na koncentraci neionogenního tenzidu.

3.2.8 Měření dynamické viskozity

Dynamická viskozita byla měřena na rotačním viskozimetru Rheotest. Do válcové měřicí nádoby byla nalita zkoušená kapalina o objemu daném vnitřním objemem měřicího válce. Měřeno bylo za konstantní teploty vzorků 20°C.

Viskozita byla měřena pro směs PAA, destilované vody a sledována byla závislost viskozity na obsahu povrchově aktivní látky ve směsi, kterou byl neionogenní tenzid Slovasol 909, koncentrace tenzidu byly 0,5, 1, 1,5, 2%. Připravené směsi byly postupně měřeny pomocí rotačního viskozimetru. Mezi jednotlivými měřeními bylo nutno měřicí válec vždy důkladně vyčistit. Výsledky jsou zaznamenány v příloze č. 1 v tabulkách č. 25 až 29 a grafech č.15 až 19, srovnání hodnot viskozity je uvedeno v tabulce č. 24. Z výsledků vyplývá, že viskozita je ovlivněna pouze přítomností PAL ve směsi, množství PAL není rozhodující pro ovlivnění viskozity.



Graf č. 2: Srovnání hodnot viskozity pro směs kyseliny polyakrylové v závislosti na koncentraci neionogenního tenzidu pro měřenou řadu a.

Tab. č. 24: Srovnání hodnot viskozity. Směs PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909.

Motor	Ořádky	koncentrace PAL [%]									
		0		0.5		1		1.5		2	
		τ_r	η	τ_r	η	τ_r	η	τ_r	η	τ_r	η
		$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$	$\left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}}\right]$	$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$	$\left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}}\right]$	$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$	$\left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}}\right]$	$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$	$\left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}}\right]$	$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$	$\left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}}\right]$
a	1										
a	2										
a	3										
a	4	62,15	0,384								
a	5	322,1	1,193								
a	6	604,6	1,244	118,6	0,244	129,9	0,267	135,6	0,279	243	0,500
a	7	1040	1,283	226	0,279	248,6	0,307	259,9	0,321	440,7	0,544
a	8	1721	1,180	446,4	0,306	485,9	0,333	502,9	0,345	836,2	0,574
a	9	2942	1,210	774,1	0,319	836,2	0,344	813,6	0,335	1244	0,514
a	10	5384	1,231	1248,8	0,286	1332	0,305	1415,3	0,324	2414	0,552
a	11			2192,6	0,301	2359	0,324	2469,8	0,339	4107	0,564
a	12			4051,5	0,309	4329	0,330	4539,9	0,346		
b	1										
b	2										
b	3										
b	4										
b	5	129,9	0,963								
b	6	271,2	1,116								
b	7	480,3	0,119							203,4	0,502
b	8	898,4	1,233	203,4	0,279	220,4	0,302	231,6	0,318	406,8	0,558
b	9	1332	1,096	367,25	0,302	395,5	0,326	418,1	0,344	711,9	0,586
b	10	2553	1,167	694,95	0,318	745,8	0,341	791	0,362	1110	0,508
b	11	4329	1,188	999	0,274	1083	0,297	1165,5	0,320	1998	0,548
b	12			1970,3	0,300	2137	0,326	2220	0,338	3719	0,567

3.2.9 Sítování

I když se podařilo vyrobit nanovlákná z kyseliny polyakrylové, tyto vlákenné vrstvy podléhají vlhkosti, proto je nutno najít způsob zesítování, aby bylo zabráněno rozpouštění těchto vláken.

3.2.9.1 Síťování smáčením ve vodném roztoku chloridu hlinitého

Chlorid hlinitý je třímocný kov, díky němuž dojde při síťování k vytvoření nedisociovatelných solí kyseliny polyakrylové.

Připraveny byly vodné roztoky chloridu hlinitého o koncentracích: 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 %. Síťování chloridem sodným bylo sledováno na vzorku o složení PAA (30%) + 2hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909 + 23hm% destilované vody. Ke smáčení bylo použito vodného roztoku chloridu hlinitého v rozsahu koncentrací 0 – 30%. Následně po smočení bylo zkoušeno, zda se síťovaný vzorek rozpouští ve vodě. Nejprve byla na vzorek nanесena pouze kapka vody, aby bylo možno stanovit, zda se rozpouští či ne. Poté u vzorků, které se nerozpustily, a byly tedy dostatečně zesíťované, byla provedena zkouška propíráním ve vodě. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 31.

Tab. č. 31: Vyrobené vzorky ze směsi - PAA (30%) + neionogenní tenzid Slovasol 909 + destilovaná voda – smáčené v roztoku chloridu hlinitého.

Číslo měření	Koncentrace chloridu hlinitého	Smočení vzorku kapkou vody	Oplachování vzorku ve vodě
	[%]		
1	1	Velmi rychle se rozpouští	-
2	2	Rozpouští se	-
3	3	Nerozpouští se	Při praní se poškodil
4	4	Nerozpouští se	Při praní se poškodil
5	5	Nerozpouští se	Při praní se poškodil
6	8	Nerozpouští se	Při praní se poškodil
7	10	Nerozpouští se	Při praní se poškodil
8	15	Nerozpouští se	Po praní soudržná vrstva
9	20	Nerozpouští se	Po praní se poškodil
10	25	Nerozpouští se	Po praní se poškodil
11	30	Nerozpouští se	Po praní se poškodil

3.2.9.2 Síťování přídavkem PVA do zvláknované směsi

Při síťování kyseliny polyakrylové pomocí polyvinylalkoholu probíhá esterifikační reakce. Tato reakce běžně probíhá při 150°C. Tato teplota musela být snížena kvůli přítomnosti vody ve směsi. Snížíme-li teplotu, měla by být úměrně prodloužen čas síťování.

Do směsi PAA (30%) + PAL + 23 hm% destilované vody byl přidáván polyvinylalkohol a to v rozsahu koncentrací 3.4, 6.2, 24.7, 30.6 a 37.1 mol%. Vyrobené vláknenné vrstvy byly následně fixovány v tepelné komoře při teplotě 120°C po dobu 3 hodin. Vlastnosti těchto vzorků pak byly vyhodnoceny a mají poskytnout informace o vhodné koncentraci PVA jako síťovala a ukázat variabilitu vlastností jednotlivých vzorků viz 3.2.10.

Teplota a čas pro tepelnou fixaci vzorků síťovaných polyvinylalkoholem byla stanovena podle provedených pokusů. Vzorky byly fixovány při teplotě 110 – 140°C. Po 30, 60, 90 minutách fixace byla u jednotlivých vzorků zkoušena jejich rozpustnost ve vodě za účelem stanovení míry zesíťování. U vzorků fixovaných při 140°C došlo k jejich degradaci. Tato teplota byla příliš vysoká. Při degradaci polymerů dochází k částečnému odbourávání polymeru či zkrácení délky řetězce (ale při zachování podstaty polymeru) působením chemických či fyzikálních vlivů.

Jako nejvhodnější byla stanovena teplota 120°C. Vzorky síťované polyvinylalkoholem, u kterých byly sledovány výsledné vlastnosti, byly fixovány právě při této teplotě, tj. při 120°C. U tepelně fixovaných vzorků bylo možno sledovat rozměrovou deformaci v závislosti na čase a teplotě fixace, při delším působení tepla a při vyšší teplotě se vzorky srážely více, viz tabulka č. 32.

Tabulka č. 32: Průběh tepelné fixace síťovaných vzorků.

t [°C]	t [min]	Rozpouštění	Srážení [%]
110	30	úplné	5
	60	úplné	10
	90	úplné	15
120	30	téměř úplné	40
	60	částečné	50
	90	malé	50
130	30	malé	55
	60	malé	60
	90	velmi malé	60
140	30	nesledováno	60

Pozn.: Hodnoty srážení a rozpouštění jsou pouze přibližné.

3.2.10 Vlastnosti vyrobených nanovrstev

Hodnocení vyrobených nanovláknenných vrstev ze směsi PAA (30%) + 23 hm% destilované vody + neionogenní tenzid Slovasol 909 v závislosti na koncentraci PVA v rozsahu koncentrace 3.4, 6.2, 24.7, 30.6 a 37.1 mol%. Vzorky zesíťované polyvinylalkoholem o koncentraci 3,4 mol% byly zesíťované málo, při namočení ve vodě se zcela rozpustily. U ostatních vzorků byly hodnoceny moduly jak je uvedeno v 2.12.

3.2.10.1 Protažení

Vzorky o konstantní jemnosti 300 tex byly zatěžovány pomocí závaží o hmotnostech 2.47, 5, 10 a 15g. Dle (15) byly tyto hodnoty přepočteny na zatížení. Sledováno bylo protažení vzorků za sucha a za mokra, dále byl z těchto hodnot určen suchý a mokrá modul podle (20, 21). Dle vztahu (19) byl určen smluvní modul SM.

Protažení za sucha

Protažení za sucha bylo měřeno na připravených vzorcích o původní délce 0.1m a jemnosti 300tex. Jednotlivé vzorky byly postupně upínány do připraveného měřicího zařízení a to: horní konec vzorku byl upnut do čelistí měřicího zařízení, vzorek visel volně dolů, na druhý konec bylo zavěšeno závaží o hmotnosti 15g, což dle vztahu (15) představuje zatížení 0,0004905 N/tex. Změřeno bylo protažení jednotlivých vzorků, naměřené hodnoty protažení za sucha byly v rozmezí 0.0008 – 0.001m, tj. dle (14) protažení 0.8 – 1%. Hodnoty protažení jednotlivých vzorků jsou zaznamenány v tabulkách č. 32 - 36 a vyneseny v grafu č. 3, všechny hodnoty protažení za sucha jsou téměř shodné, proto v grafu splývají do jednoho bodu.

Protažení za mokra

Vzorek, u kterého již bylo sledováno protažení za sucha, taktéž upnutý do horních čelistí, byl smočen vodou a byla postupně zavěšována závaží o hmotnostech 2.47, 5, 10 a 15g, tyto hodnoty odpovídají zatížení: 0.000081, 0.000164, 0.000327, 0.000491 N/tex. Naměřené hodnoty, zaznamenané v tabulkách č. 33 - 37, vynesené v grafu č. 3, nám ukazují rozměrovou deformaci po smočení vzorku, tedy vliv vlhkosti na protažení jednotlivých vzorků a zároveň odolnost či neodolnost vzorků proti vlhkosti, protože při některých zatížení došlo k přetržení měřených vzorků.

Tab. č. 33: Měření protažení. Vzorek: PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 + 3,4 mol% PVA.

protážení	zatížení [N/tex]	1	2	3	4	5	$\bar{x}$ [cm]	σ [cm]	s[cm]	v[%]	ε [%]
za sucha	4.9E-04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	1
za mokra	8.1E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Vzorky se po smočení vodou poškodily, nebyly dostatečně zesíťované.

Tab. č. 34: Měření protažení. Vzorek: PAA + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 + 11,5 mol% PVA.

protážení	zatížení [N/tex]	1	2	3	4	5	$\bar{x}$ [cm]	σ [cm]	s[cm]	v[%]	ε [%]
za sucha	4.9E-04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	1
za mokra	8.1E-05	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,07	0,27	-	6
	1.6E-04	1,3	1,5	1,2	1,3	1,6	1,38	0,16	0,41	29,38	13,8
	3.3E-04	3,1	3,3	3,1	3,1	3,6	3,24	0,22	0,47	14,45	32,4
	4.9E-04	4,2	4,3	4,1	4,1	4,6	4,26	0,21	0,46	10,69	42,6

Tab. č. 35: Měření protažení. Vzorek: PAA + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 + 24,7 mol% PVA.

protažení	zatižení [N/tex]	1	2	3	4	5	$\bar{x}$ [cm]	σ [cm]	s[cm]	v[%]	ε [%]
za sucha	4.9E-04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	1
za mokra	8.1E-05	3,7	3,4	3,4	3,4	3,4	3,46	0,13	0,37	10,59	34,6
	1.6E-04	4,5	4,6	4,3	4,2	4,3	4,38	0,16	0,41	9,25	43,8
	3.3E-04	-	5,5	-	-	-	5,5	-	-	-	55
	4.9E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Vzorky neunesly vyšší zatižení.

Tab. č. 36: Měření protažení. Vzorek: PAA + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 + 30,6 mol% PVA.

protažení	zatižení [N/tex]	1	2	3	4	5	$\bar{x}$ [cm]	σ [cm]	s[cm]	v[%]	ε [%]
za sucha	4.9E-04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	1
za mokra	8.1E-05	2,4	2,6	3,1	2,4	2,8	2,66	0,30	0,54	20,48	26,6
	1.6E-04	3	3,1	3,6	3,1	3,5	3,26	0,27	0,52	15,94	32,6
	3.3E-04	3,8	4	4,3	4	4,4	4,1	0,24	0,49	12,07	41
	4.9E-04	4,4	4,6	4,9	4,4	5,1	4,68	0,31	0,56	11,92	46,8

Tab. č. 37: Měření protažení. Vzorek: PAA + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 + 37,1 mol% PVA.

protažení	zatižení [N/tex]	1	2	3	4	5	$\bar{x}$ [cm]	σ [cm]	s[cm]	v[%]	ε [%]
za sucha	4.9E-04	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,08	0,03	0,17	206,86	0,8
za mokra	8.1E-05	3	2,9	3	2,8	2,5	2,84	0,21	0,46	16,03	28,4
	1.6E-04	3,5	3,4	3,4	3,3	3,1	3,34	0,15	0,39	11,66	33,4
	3.3E-04	4,3	4,1	4,1	4,1	3,8	4,08	0,18	0,42	10,37	40,8
	4.9E-04	4,8	4,6	4,7	4,7	4,4	4,64	0,15	0,39	8,39	46,4

Pozn.: Nejtěžší použité závaží (15g) představovalo při hmotnosti vzorku 0,03g 500ti násobek samotné hmotnosti vzorku.

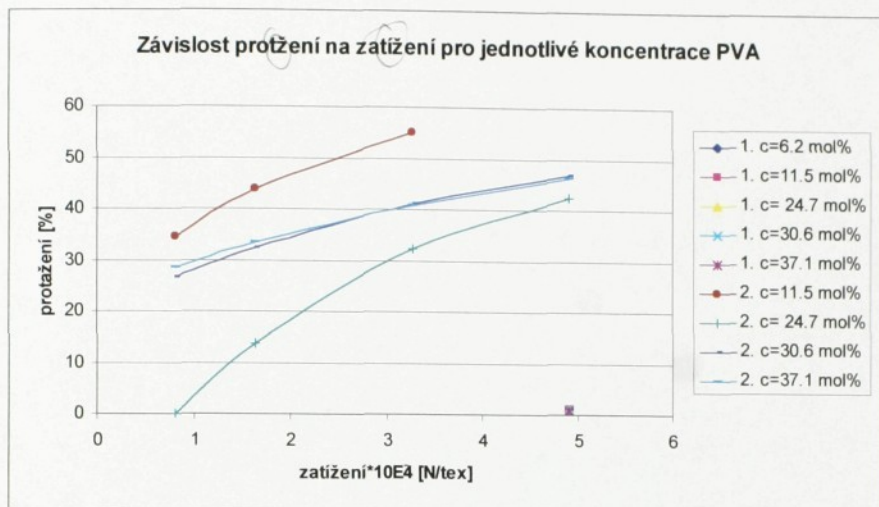
Stanovení smluvního modulu

Hodnoty protažení, viz 3.2.9.1, jsou vyneseny v grafech č. 3 až 5 v závislosti na zatižení, kterým byly zkoušené vzorky namáhány. Dle vztahů (20), (21) byly vyjádřeny hodnoty suchého a mokrého modulu, dle vztahu (19) byly vypočteny hodnoty smluvního modulu, které jsou vyneseny v grafu č. 5 v závislosti na koncentraci PVA

jako síťovadla. Z tohoto grafu bude možno určit vhodné koncentrace PVA pro dosažení požadovaných vlastností.

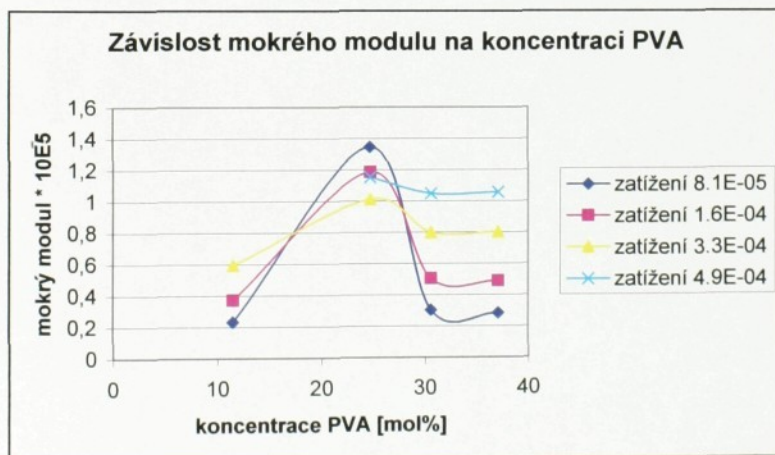
Tabulka č. 38: Hodnoty suchého a mokrého modulu, hodnoty smluvního modulu.

	zatižení*10E4 [N/tex]	koncentrace PVA [mol%]	protažení [%]	moduly*10 E4	SM*10E4
za sucha	4,9050	3,4	1	4,91	-
	4,9050	11,5	1	4,91	-
	4,9050	24,7	1	4,91	-
	4,9050	30,6	1	4,91	-
	4,9050	37,1	0,8	6,13	-
za mokra	0,8077	3,4	-	-	-
	0,8077	11,5	34,6	0,02	4,8817
	0,8077	24,7	6,0	0,13	4,7704
	0,8077	30,6	26,6	0,03	4,8746
	0,8077	37,1	28,4	0,03	6,1028
	1,6350	3,4	-	-	-
	1,6350	11,5	43,8	0,04	4,8677
	1,6350	24,7	13,8	0,12	4,7865
	1,6350	30,6	32,4	0,05	4,8545
	1,6350	37,1	33,4	0,05	6,0823
	3,2700	3,4	-	-	-
	3,2700	11,5	55,0	0,06	4,8455
	3,2700	24,7	32,4	0,10	4,8041
	3,2700	30,6	41,0	0,8	4,8252
	3,2700	37,1	40,8	0,08	6,0511
	4,9050	3,4	-	-	-
	4,9050	11,5	-	-	-
	4,9050	24,7	42,6	0,12	4,7899
	4,9050	30,6	46,8	0,10	4,8002
	4,9050	37,1	46,4	0,11	6,0255

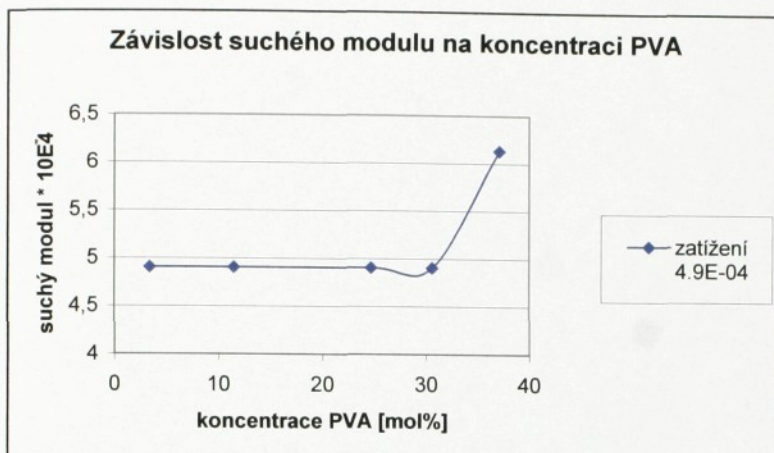


Graf č. 3: Závislost protažení vzorků na napětí pro vzorky o různých koncentracích PVA. V legendě jsou číslem jedna značeny suché moduly pro jednotlivé koncentrace PVA (splývají do jednoho bodu) a číslem dva jsou značeny mokré moduly.

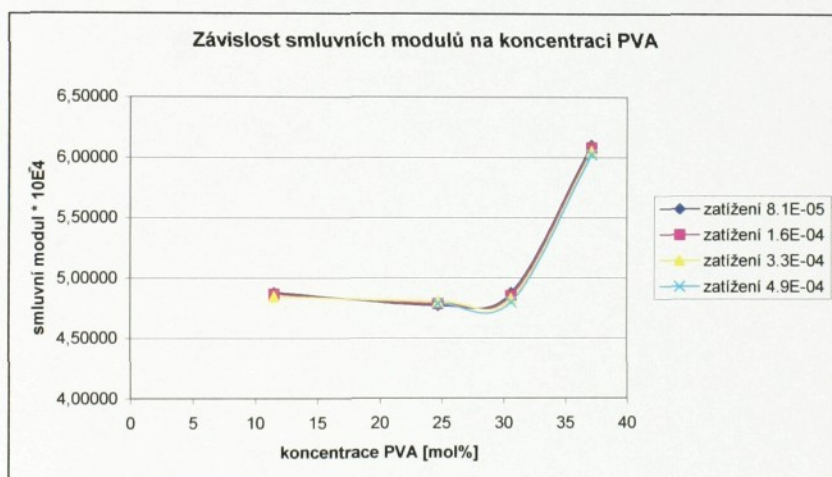
Z hodnot vynesných v grafu č. 3 - závislost napětí na protažení byly určeny hodnoty úhlů (tangenty jednotlivých úhlů), které vynesné v grafu č. 4 ukazují závislost vlastností na koncentraci síťujícího prostředku.



Graf č. 4: Závislost mokrého modulu na koncentraci PVA pro různé hodnoty zatižení.



Graf č. 5: Závislost suchého modulu na koncentraci PVA pro zatížení 4.9E-04.



Graf č. 6: Závislost smluvního modulu na koncentraci PVA pro různé hodnoty zatížení.

Z grafu č. 4 je patrné, že při koncentraci PVA v rozsahu 15 – 25 mol% jsou výsledné vlastnosti, resp. pevnost v tahu vyrobených vzorků přibližně stejné, přičemž nejlepších výsledků je dosaženo při koncentraci 24.7 mol% (hodnoceno dle smluvního modulu).

3.3 Výsledky

Provedené experimenty mohou být rozděleny do dvou skupin a to: první, pokusy prováděné zvlákňováním z tyčinky, druhé, pokusy prováděné zvlákňováním z povrchu válce. Obecně lze říci, že při prvním způsobu zvlákňování, tj. zvlákňování z tyčinky, byly minimální hodnoty napětí pro zvlákňování nižší než u druhého způsobu, zvlákňování z povrchu válce. Výsledky u druhého způsobu zvlákňování byly mnohem lepší, to bylo ovlivněno vhodnějšími kombinacemi přidávaných látek k výchozí kyselině polyakrylové. Počáteční experimenty byly orientační a měly poskytnout představu o vhodném složení směsi kyseliny polyakrylové, díky kterému bude dosaženo uspokojivých výsledků při výrobě nanovláknenných vrstev z této kyseliny.

3.3.1 Možnosti zvlákňování PAA

Z provedených pokusů o zvláknění kyseliny polyakrylové o třech molekulových hmotnostech, tj. 72 843, 103 590, 143 530, to byl pouze vzorek o molekulové hmotnosti nejvyšší, 143 530, který se podařil zvláknit. Tvořila se vlákna, jenž ale nepokryla zcela povrch sběrné destičky.

Nemožnost zformovat dané kyseliny ve vlákna by mohla být dána délkou jejich řetězců, na které vláknotvornost závisí. Při zvlákňování dochází v podstatě ke dloužení vláken, jednotlivé řetězce po sobě mohou klouzat, nejsou-li jejich mezimolekulární síly dostatečně silné, aby tomu zabránily vytvořením sekundárních vazeb. Vláknotvornost také závisí např. na povrchovém napětí zvlákňované směsi, viskozitě, rozpustnosti aj.

3.3.2 Úprava povrchového napětí pomocí tenzidů

Výsledný efekt zvlákňování byl ovlivňován přidáváním povrchově aktivní látky v rozsahu 0 – 2,8 hm%, zkoušen byl anionaktivní tenzid Spolion 8 a neionogenní tenzid Slovasol 909. S druhým z jmenovaných tenzidů bylo dosaženo lepších výsledků, proto

byl použit ve většině zbývajících pokusů. Nejlépe ovlivnil průběh zvlákňování tento tenzid při koncentraci 2 hm%.

3.3.3 Zjištění a ovlivnění rozpustnosti

Za účelem ovlivnění rozpustnosti byly použity soli NaCl v koncentraci 0 – 0.6 hm% a CaCl₂ v koncentraci 0 – 1.5 hm%. Byly přidány do směsi PAA spolu s anionaktivním a v dalším pokuse neionogenním tenzidem. Z těchto experimentů je zřejmé, že zvyšováním obsahu soli ve zvlákňované směsi bylo dosaženo méně rovnoměrného pokrytí povrchu sběrné destičky. Není to vhodná příměs. Přídavek solí utlumil zvlákňování.

3.3.4 Vliv koncentrace PAA na zvlákňování

Snížením koncentrace kyseliny vodou byla ovlivněna i její viskozita. Koncentrace kyseliny polyakrylové byla z původních 30% snížena až na 15%. Z provedených pokusů se jeví jako nejvhodnější koncentrace PAA pro zvlákňování 23%.

3.3.5 Neutralizace

Zvlákňovaná směs byla neutralizována přidáváním hydroxidu sodného o koncentraci 50 a 100%. Do směsi PAA + PAL + destilovaná voda bylo přidáno 25 hm% 50% hydroxidu sodného, při dalším pokusu bylo do stejné výchozí směsi přidáno 14 hm% 100% hydroxidu sodného. Přidáním 100% NaOH proběhne úplná neutralizace, přidáním 50% NaOH se neutralizuje směs částečně. Obě tyto směsi byly zvlákněny, ovšem tvořící se vlákna byla příliš slabá a patrně se rozpustila dříve než mohla zaschnout. Neutralizování kyseliny polyakrylové nenapomohlo zvláknitelnosti.

3.3.6 Úprava pH

Kyselina polyakrylová má hodnotu $\text{pH} = 2 - 3$. Při částečné neutralizaci byla hodnota $\text{pH} = 4$, při neutralizaci úplné byla naměřena hodnota $\text{pH} = 8$.

3.3.7 Měření povrchového napětí

Povrchové napětí kyseliny polyakrylové je rovno $65,22 \pm 0,94 \text{ N.m}^{-1}$, ovlivňováno bylo přidáváním neionogenního tensidu v koncentraci $0,1 - 2 \text{ hm\%}$, všechny naměřené hodnoty směsi kyseliny polyakrylové a tensidu se pohybovaly v rozmezí $34,06 - 35,42 \text{ N.m}^{-1}$. Povrchové napětí je ovlivněno už samotnou přítomností tensidu, jeho koncentrace není rozhodující (viz graf č.1)

3.3.8 Měření dynamické viskozity

Hodnoty dynamické viskozity byly měřeny u vzorku samotné kyseliny a dále pak byla sledována závislost viskozity na koncentraci povrchově aktivní látky pro směs kyseliny a destilované vody. Z naměřených hodnot je vidět, že u směsí obsahujících povrchově aktivní látku došlo k výraznému snížení viskozity.

3.3.9 Sít'ování

3.3.9.1 Sít'ování vodným roztokem chloridu hlinitého o konc. $0 - 30 \text{ \%}$.

Vzorky, které byly smáčeny ve vodném roztoku chloridu hlinitého, byly po zesít'ování velmi křehké a náchylné k mechanickému poškození. Z provedených zkoušek smáčením vodou zesít'ovaných vzorků je patrné, že chlorid hlinitý není vhodným prostředkem k sít'ování. Vzorky se ve vodě velmi rychle rozpouštěly. Chlorid hlinitý jako sít'ovalo byl neúčinný.

3.3.9.2 Síťování PVA

Síťování polyvinylalkoholem bylo účinné, už při koncentraci přibližně 5ti% PVA ve směsi bylo dosaženo zesíťování, které bylo hodnoceno na základě rozpustnosti ve vodě, protože s vyšším stupněm zesíťování rozpustnost klesá.

3.3.10 Tepelná fixace zesíťovaných vzorků

Vyrobené vlákenné vrstvy, jenž byly tepelně fixovány při 110 – 140°C byly rozměrově deformované a to téměř až na polovinu původních rozměrů. S nižší koncentrací síťovadla se vzorek srazil více. Při teplotě 140°C došlo až degradaci vzorku. Z provedených pokusů rozpustnosti byla stanovena jako nejvhodnější teplota k tepelné fixaci zesíťování 120°C.

3.3.11 Hodnocení vlastností vyrobených nanovrstev

Za sucha nebylo možno pozorovat téměř žádnou rozměrovou deformaci. U mokrých vzorků bylo protažení velké, dosahovalo hodnot až 50%. Nejtěžší použité závaží (15g) představovalo při hmotnosti vzorku 0,03g 500ti násobek samotné hmotnosti vzorku.

Hodnoceny byly vlastnosti nanovláknenných vrstev vyrobených ze směsi PAA (30%) + PAL + 23 hm%, do této směsi byl přidáván PVA o koncentraci 3,4, 11,5, 24,7, 30,6, 37,1 hm%. Z těchto vzorků byly připraveny vzorky o délce 10cm a konstantní jemnosti 300 tex. Jednotlivé vzorky byly postupně zatěžovány (hodnoty zatížení jsou uvedeny v 3.2.9.1) a sledováno bylo jejich protažení. Za sucha se vzorky téměř neprotáhly, za mokra bylo možno pozorovat protažení až kolem 50%, viz tab. č. 33 až 37. Hodnoty protažení vzorků byly vyneseny do grafu závislosti protažení na zatížení a dále z nich byly stanoveny hodnoty suchého a mokrého modulu. Rozdilem suchého a mokrého modulu byly vypočteny hodnoty smluvního modulu. Z grafu závislosti smluvního modulu na koncentraci PVA je možno určit vhodné koncentrace pro dosažení požadovaných vlastností vyrobených nanovláknenných vrstev. Vhodná koncentrace PVA je v rozmezí 15 až 25 hm%.

3.4 Diskuse výsledků

Cílem této práce bylo vyrobit nanovlákná z kyseliny polyakrylové. Problematika výroby nanovláken z kyseliny polyakrylové byla řešena v našich podmínkách poprvé a proto je nutné i takto nahlížet na výsledky obsažené v této diplomové práci.

Výchozí surovinou byla 30% kyselina polyakrylová o třech molekulových hmotnostech (72 843, 103 590, 143 530). Studována byla možnost zvláknitelnosti této kyseliny o všech molekulových hmotnostech, vzorky samotné kyseliny se zvláknit nepovedlo, proto k nim byly přidávány povrchově aktivní látky za účelem snížení povrchového napětí a voda kvůli snížení viskozity. Při těchto pokusech se nepodařilo u vzorků kyseliny o nižších molekulových hmotnostech dosáhnout zvláknování těchto směsí, pouze vzorek kyseliny o nejvyšší molekulové hmotnosti, tj. 143 530, se zdařilo zvláknit. Bylo vyrobeno pouze několik vláken, která se shlukla do jednoho místa na povrchu sběrného roštu. Od zvláknování kyseliny o nižších molekulových hmotnostech bylo proto upuštěno a práce se dále zabývala zvláknováním kyseliny polyakrylové pouze o molekulové hmotnosti 143 530.

Nejprve byl sledován vliv povrchově aktivních látek na zvláknitelnost PAA. K dispozici byl anionaktivní a neionogenní tenzid, které byly v různém množství přidávány ke zkoumané kyselině. Podle provedených pokusů bylo jednoznačně stanoveno, že lepší vliv na zvláknitelnost má neionogenní tenzid.

Další sledovanou vlastností byla viskozita. Ta byla ovlivňována přidáváním destilované vody do směsi PAA a tenzidu. Při snižování viskozity byla současně snižována i koncentrace kyseliny polyakrylové. Snížením koncentrace kyseliny z původních 30% na 18 – 23% bylo opět dosaženo zlepšení její zvláknitelnosti. Nejlepších výsledků zvláknování bylo dosaženo ze směsi 23% PAA a 2 hm% neionogenního tenzidu. Vyrobené nanovláknenné vrstvy z této směsi byly rovnoměrné a souměrné, ale také náchylné k poškození vlivem vlhkosti. Tudíž bylo nutno ovlivnit její rozpustnost.

U následujících pokusů o ovlivnění rozpustnosti vlivem vápenatých a sodných solí a neutralizaci kyseliny polyakrylové působením hydroxidu sodného (50%, 100%) a ovlivňováním pH pomocí kyseliny chlorovodíkové a fosforečné nebylo dosaženo zlepšení při zvláknitelnosti ani zamezení rozpustnosti vyrobených nanovrstev.

Studovány byly možnosti síťování nanovláken pomocí vícemocného kovu, kterým byl chlorid hlinitý a dále pak pomocí polyvinylalkoholu. Při síťování chloridem hlinitým se nepodařilo zamezit rozpouštění vyrobených nanovláken. Pomocí polyvinylalkoholu, který byl přidávám už do zvlákňované směsi, na rozdíl od předchozího chloridu hlinitého, jehož vodnými roztoky byly vyrobené nanovlákná smáčeny, bylo dosaženo vhodného zesíťování a to při obsahu 15 až 25 hm% PVA ve směsi. Síťování polyvinylalkoholem bylo sledováno v závislosti na koncentraci polyvinylalkoholu ve zvlákňované směsi, teplota fixace vzorků byla stanovena na 120°C po dobu 2 až 3 hodin.

K hodnocení vyrobených nanovláknenných vrstev byl zaveden smluvní modul, viz kapitola 3.2.10. Pomocí tohoto modulu bylo vyhodnoceno protažení vzorků z vyrobených nanovláknenných vrstev. Právě protažení vzorků za mokra dosahovalo vysokých hodnot a to až 50 % proti původní délce měřených vzorků.

Při vyhodnocování měření byl zvolen následující postup, resp. stanovena metodika vyhodnocení. Z naměřených hodnot protažení byl sestrojen graf závislosti protažení – zatížení, ze kterého byly stanovovány hodnoty suchého a mokrého modulu, které jsou dány poměrem zatížení k protažení. Z rozdílů těchto hodnot byly vypočítány hodnoty smluvních modulů v závislosti na koncentraci (viz tabulka č. 38) a také zpracovány graficky. Tato grafická závislost by měla poskytnout informace o optimálních koncentracích polyvinylalkoholu, který byl použit k síťování kyseliny polyakrylové, při kterých by smluvní moduly dosahovaly nejnižších hodnot, které korespondují naopak s vyššími hodnotami v grafu závislosti mokrého modulu na koncentraci. Tyto hodnoty, jak smluvního, tak mokrého modulu vypovídají o mechanických vlastnostech, především o pevnosti v tahu.

4 Závěr

Z provedených experimentů bylo stanoveno, že nanovlákná z kyseliny polyakrylové vyrobíme nejlépe ze směsi PAA, 2 hm% neionogenního tenzidu a 23 hm% destilované vody. Z této směsi je možno vyrobit rovnoměrnou, souvislou nanovláknennou vrstvu. Přidáním polyvinylalkoholu do této směsi bylo dosaženo dostatečného zesíťování čímž se zamezilo rozpouštění vláken vlivem vzdušné vlhkosti či vody.

Při opakovaném zvlákňování stejného vzorku nebylo vždy dosaženo stejných výsledků a to i při dodržení stejných podmínek procesu zvlákňování. Během výroby jednotlivých vzorků byly patrné rozdíly v tvorbě kónusů a vláken a tudíž se ne vždy podařilo vyrobit vláknenné vrstvy stejných parametrů. Základní otázkou zůstává co tento proces ovlivňuje. Je možné, že technologii elektrostatického zvlákňování ovlivňuje relativní vlhkost vzduchu. Vezme-li se v úvahu, rozpustnost vzorků před zesíťováním je to pravděpodobné. Může však vlhkost vzduchu skutečně ovlivnit vlastní průběh zvlákňování natolik, abychom dosahovali různých výsledků? V tuto chvíli neznáme na danou otázku uspokojivou odpověď, a proto ji přenecháme jako námět k zamyšlení těm, kteří se možná v budoucnu budou také zabývat zvlákňováním kyseliny polyakrylové. V této práci je možno nalézt způsob výroby polyakrylových nanovláken, ale je nutno dále studovat, jak ovlivnit proces zvlákňování a určit vhodné podmínky pro výrobu.

5 Literatura

- [1] Lukáš, D.: Teorie netkaných textilií, skriptum, Katedra netkaných textilií, Liberec 7/2001.
- [2] Militký, J.: Technické textilie. 1. vydání. Liberec: TUL, 2002.
- [3] Co jsou to vlastně nanotechnologie: Rozsáhlý "manuál" o historii i budoucnosti. [Cit. 2004-2-2].
< <http://www.revprirody.cz/data/0102/nanotechnologie.htm>. >
- [4] Global Resources for Filtration Solution. [Cit. 2004-2-4].
< <http://www.donaldson.com>. >
- [5] Ondarcuhu, T. – Joachim, C.: Drawing a single nanofibre over hundreds of microns. *Europhys Lett.* **42** 2 (1998), pp. 215-220.
- [6] Martin, C. R.: Membrane-based synthesis of nanomaterials. *Chem. Mater.* **8** (1996), pp. 1739-1746.
- [7] Ma, P. X. – Zhang, R.: Synthetic nano-scale fibrous extracellular matrix. *J. Biomed Mat Res.* **46** (1999), pp. 60-72.
- [8] Liu, G. J. – Ding, J. F. – Qiao, L. J. – Guo, A. – Dymov, B. P. – Gleeson, J. T. a kol.: Polystyrene-block-poly (2-cinnamoyl ethyl methacrylate) nanofibers-Preparation, characterization, and crystalline properties. *Chem.-A European J.* **5** (1999), pp. 2740-2749.
- [9] Deitzel, J. M. – Kleinmeyer, J. – Hirvonen, J. K. – Beck, T. N. C.: Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers. *Polymer* **42** (2001), pp. 8163-8170.
- [10] Formhals, A.: US patent 1,975,504, 1934,
- [11] Formhals, A.: US patent 2,160,962, 1939.
- [12] Formhals, A.: US patent 2,187,306, 1940.
- [13] Formhals, A.: US patent 2,323,025, 1943.
- [14] Formhals, A.: US patent 2,349,950, 1944.
- [15] Vonnegut, B. – Neubauer, R. L.: *Journal of Colloid Science* **7** (1952), p. 616.
- [16] Drozin, V. G.: *Journal of Colloid Science* **10** (1955), p. 158.
- [17] Simons, H. L.: US patent 3,280,229, 1966.
- [18] Baumgarten, P. K.: Electrostatic spinning of acrylic microfibers. *Journal of Colloid and Interface Science* **36** (1971), pp. 71-79.

- 19] Reneker, D. H. – Chun, I.: Nanometre diameter fibres of polymer produced by electrospinning. *Nanotechnology* **7** (1996), pp. 216-223.
- 20] Larrondo, L. – St.John Manley, R.: *Journal of Polymer Science, Polymer Physics Edition* **19** (1981), pp 933-940.
- 21] Tsai, P. P., Schrender – Gibbon, H., Gibbon, P.: Different electrostatic methods for making electret filters. *Journal of Electrostatics, Volume 54*, 2002.
- 22] Formhals, A.: Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads, *US Patent*, 975, 504, October 2, 1934.
- 23] Krčma, R.: Teorie netkaných textilií, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, březen 1986.
- 24] Herman, F. M. – Norman, G. G.: Encyklopedia of polymer science and technology, John Wiley & Sons, New York 1972.
- 25] Mikulčák, J. a spol.: Matematické, fyzikální a chemické tabulky , SPN, Praha 1990.
- 26] Jirsák, O. – Macková, I.: Netkané textilie, TUL, Liberec 9/2001.
- 27] Toušková, A.: Chemie a fyzikální chemie, VUT, Brno, březen 1985.
- 28] Fischer, O. - Kišová, L. - Miadoková, M. - Mollin, J.: Fyzikální chemie (Termodynamika, elektrochemie, kinetika, koloidní soustavy), SPN, Praha 1984.
- 29] Měření povrchového napětí kapalin. [Cit. 2004-2-2].
< <http://club.webs.cz/pl.htm>. >
- 30] Krebsová, M.: Nauka o polymerech, VŠST, Liberec, 1978.

Přílohy:

Příloha číslo 1: Tabulky naměřených hodnot

Příloha číslo 2: Grafy

Příloha číslo 1: Tabulky naměřených hodnot

Tab. č. 17: Směs PAA (30%) + destilovaná voda.

Pořadí měření	Čas t	Hodnoty povrchového napětí				Průměrné hodnoty
		Číslo měření				
	1	2	3	4		
1	0,4	69,87	69,96	70,04	70,6	70,1175
2	2,4	68,28	68,18	68,35	68,82	68,4075
3	4,4	67,57	67,5	67,67	68,57	67,8275
4	6,4	67,18	67,06	67,28	68,33	67,4625
5	8,3	66,87	66,74	66,99	67,96	67,14
6	10,3	66,65	66,52	66,74	67,74	66,9125
7	12,3	66,45	66,3	66,52	67,55	66,705
8	14,3	66,28	66,13	66,35	67,3	66,515
9	16,3	66,13	65,99	66,21	67,21	66,385
10	18,2	66,01	65,87	66,09	67,01	66,245
11	20,2	65,91	65,77	65,96	66,84	66,12
12	22,2	65,82	65,67	65,87	66,72	66,02
13	24,2	65,74	65,69	65,79	66,57	65,9475
14	26,1	65,67	65,5	65,69	66,55	65,8525
15	28,1	65,6	65,45	65,62	66,45	65,78
16	30,1	65,55	65,38	65,57	66,38	65,72
17	32,1	65,5	65,33	65,5	66,28	65,6525
18	34,1	65,45	65,28	65,45	66,3	65,62
19	36	65,4	65,23	65,35	66,3	65,57
20	38	65,35	65,21	65,38	66,18	65,53
21	40	65,33	65,16	65,33	66,11	65,4825
22	42	65,28	65,11	65,28	66,01	65,42
23	43,9	65,26	65,08	65,26	66,06	65,415
24	45,9	65,23	65,06	65,21	66,11	65,4025
25	47,9	65,18	65,01	65,18	65,94	65,3275
26	49,9	65,16	64,99	65,16	65,89	65,3
27	51,8	65,13	64,96	65,13	65,99	65,3025
28	53,8	65,11	64,94	65,08	65,99	65,28
29	55,8	65,08	64,91	65,06	65,94	65,2475
30	57,8	65,06	64,89	65,04	65,94	65,2325
31	59,8	65,04	64,87	65,01	65,91	65,2075
32	61,7	65,04	64,84	65,01	65,84	65,1825
33	63,7	65,01	64,82	64,96	65,79	65,145
34	65,7	64,99	64,79	64,96	65,77	65,1275
35	67,7	64,96	64,79	64,94	65,74	65,1075
36	69,6	64,94	64,77	64,91	65,74	65,09
37	71,6	64,94	64,74	64,89	65,69	65,065
38	73,6	64,91	64,74	64,87	65,67	65,0475
39	75,6	64,89	64,72	64,87	65,69	65,0425
40	77,6	64,89	64,69	64,84	65,79	65,0525
41	79,5	64,87	64,69	64,82	65,69	65,0175
42	81,5	64,84	64,67	64,79	65,6	64,975
43	83,5	64,84	64,65	64,79	65,6	64,97
44	85,5	64,82	64,65	64,77	65,74	64,995
45	87,5	64,82	64,62	64,77	65,87	65,02
46	89,5	64,79	64,6	64,74	65,74	64,9675
47	91,5	64,79	64,6	64,74	65,74	64,9675
48	93,4	64,77	64,57	64,72	65,69	64,9375
49	95,4	64,77	64,57	64,69	65,69	64,93
50	97,4	64,74	64,55	64,69	65,87	64,9625
51	99,4	64,74	64,55	64,67	65,89	64,9625
52	101,3	64,72	64,55	64,67	65,84	64,945

53	103,3	64,72	64,52	64,65	65,72	64,9025
54	105,3	64,69	64,5	64,65	65,77	64,9025
55	107,3	64,69	64,5	64,62	65,67	64,87
56	109,2	64,67	64,5	64,62	65,57	64,84
57	111,2	64,67	64,48	64,6	65,65	64,85
58	113,2	64,67	64,48	64,6	65,67	64,855
59	115,2	64,65	64,45	64,57	65,62	64,8225
60	117,2	64,65	64,45	64,57	65,65	64,83
61	119,1	64,62	64,43	64,57	65,72	64,835
62	121,1	64,62	64,43	64,55	65,57	64,7925
63	123,1	64,62	64,4	64,55	65,5	64,7675
64	125,1	64,6	64,4	64,52	65,45	64,7425
65	127	64,6	64,4	64,52	65,4	64,73
66	129	64,57	64,38	64,52	65,48	64,7375
67	131	64,57	64,38	64,5	65,6	64,7625
68	133	64,57	64,38	64,5	65,6	64,7625
69	135	64,57	64,35	64,48	65,69	64,7725
70	136,9	64,55	64,35	64,48	65,69	64,7675
71	138,9	64,55	64,33	64,48	65,65	64,7525
72	140,9	64,55	64,33	64,45	65,5	64,7075
73	142,9	64,55	64,33	64,45	65,55	64,72
74	144,9	64,52	64,33	64,45	65,57	64,7175
75	146,9	64,52	64,3	64,43	65,52	64,6925
76	148,9	64,52	64,3	64,43	65,5	64,6875
77	150,9	64,5	64,3	64,43	65,52	64,6875
78	152,9	64,5	64,28	64,4	65,67	64,7125
79	154,9	64,5	64,28	64,4	65,55	64,6825
80	156,9	64,48	64,26	64,4	65,57	64,6775
81	158,9	64,48	64,26	64,38	65,57	64,6725
82	160,9	64,48	64,26	64,38	65,6	64,68
83	162,9	64,45	64,23	64,38	65,21	64,5675
84	164,8	64,45	64,23	64,38	65,33	64,5975
85	166,8	64,45	64,23	64,35	65,33	64,59
86	168,8	64,43	64,21	64,35	65,33	64,58
87	170,8	64,43	64,21	64,35	65,3	64,5725
88	172,7	64,43	64,21	64,35	65,48	64,6175
89	174,7	64,43	64,21	64,33	65,52	64,6225
90	176,7	64,43	64,18	64,33	65,33	64,5675
91	178,7	64,4	64,18	64,33	65,35	64,565
92	180,6	64,4	64,18	64,3	65,4	64,57
93	182,6	64,4	64,18	64,3	65,4	64,57
94	184,6	64,38	64,16	64,3	65,33	64,5425
95	186,6	64,38	64,16	64,28	65,26	64,52
96	188,6	64,38	64,16	64,26	66,57	64,8425
97	190,6	64,38	64,13	64,26	66,38	64,7875
98	192,6	64,38	64,13	64,26	66,3	64,7675
99	194,7	64,35	64,13	64,26	66,3	64,76
100	196,6	64,35	64,13	64,23	66,77	64,87
γ [N/m]	-	65,03	64,85	64,99	66,02	65,2210
s [-]	-	0,87	0,91	0,92	0,84	0,8767
σ [-]	-	0,93	0,95	0,96	0,92	0,9363
v [%]	-	1,43	1,47	1,48	1,39	1,4356

Tab. č. 18: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + 0,1 hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909.

Pořadí měření	čas t [sec]	Hodnoty povrchového napětí					
		Měření číslo					Průměrné hodnoty
		1	2	3	4	5	
1	0,4	39,28	39,62	40,01	39,57	39,76	39,648
2	2,4	37,71	37,96	38,23	38,01	38,03	37,988
3	4,4	37,18	37,32	37,52	37,32	37,28	37,324
4	6,4	36,86	36,96	37,13	36,98	36,91	36,968
5	8,3	36,64	36,71	36,86	36,71	36,62	36,708
6	10,3	36,47	36,52	36,67	36,52	36,42	36,52
7	12,3	36,35	36,37	36,49	36,37	36,27	36,37
8	14,3	36,25	36,25	36,37	36,25	36,15	36,254
9	16,3	36,18	36,15	36,25	36,13	36,03	36,148
10	18,3	36,08	36,06	36,15	36,03	35,93	36,05
11	20,4	36,03	35,98	36,06	35,96	35,86	35,978
12	22,4	35,98	35,93	36,01	35,88	35,79	35,918
13	24,3	35,93	35,86	35,93	35,84	35,71	35,854
14	26,4	35,88	35,81	35,88	35,76	35,66	35,798
15	28,3	35,84	35,76	35,81	35,71	35,59	35,742
16	30,3	35,81	35,74	35,76	35,66	35,54	35,702
17	32,3	35,79	35,69	35,74	35,64	35,52	35,676
18	34,3	35,74	35,66	35,69	35,59	35,47	35,63
19	36,3	35,71	35,62	35,64	35,54	35,45	35,592
20	38,2	35,69	35,59	35,62	35,52	35,4	35,564
21	40,2	35,66	35,57	35,59	35,49	35,37	35,536
22	42,2	35,64	35,54	35,54	35,47	35,35	35,508
23	44,2	35,62	35,52	35,52	35,42	35,32	35,48
24	46,1	35,59	35,49	35,49	35,4	35,3	35,454
25	48,2	35,57	35,47	35,47	35,37	35,27	35,43
26	50,1	35,57	35,45	35,45	35,35	35,25	35,414
27	52,1	35,54	35,42	35,42	35,32	35,23	35,386
28	54,1	35,52	35,4	35,42	35,3	35,2	35,368
29	56,1	35,52	35,4	35,37	35,27	35,18	35,348
30	58,1	35,49	35,37	35,37	35,25	35,15	35,326
31	60	35,49	35,35	35,35	35,25	35,15	35,318
32	62	35,47	35,35	35,32	35,23	35,13	35,3
33	64	35,45	35,32	35,3	35,23	35,1	35,28
34	66	35,45	35,3	35,3	35,2	35,1	35,27
35	67,9	35,42	35,3	35,27	35,18	35,08	35,25
36	69,9	35,42	35,27	35,27	35,15	35,06	35,234
37	71,9	35,4	35,27	35,25	35,15	35,06	35,226
38	73,9	35,4	35,25	35,25	35,13	35,03	35,212
39	75,9	35,4	35,25	35,23	35,13	35,03	35,208
40	77,8	35,37	35,23	35,2	35,1	35,01	35,182
41	79,8	35,37	35,23	35,2	35,1	35,01	35,182
42	81,8	35,35	35,2	35,18	35,08	34,98	35,158
43	83,8	35,35	35,2	35,18	35,06	34,96	35,15
44	85,7	35,35	35,2	35,18	35,06	34,96	35,128
45	87,7	35,32	35,18	35,15	35,03	34,93	35,116
46	89,7	35,32	35,15	35,15	35,03	34,93	35,108
47	91,7	35,3	35,15	35,13	35,03	34,91	35,094
48	93,6	35,3	35,15	35,1	35,01	34,91	35,09
49	95,6	35,3	35,13	35,1	34,98	34,88	35,072
50	97,6	35,27	35,13	35,1	34,98	34,88	35,068
51	99,6	35,27	35,13	35,08	34,98	34,88	35,058
52	101,7	35,27	35,1	35,08	34,96	34,88	35,058

53	103,6	35,27	35,1	35,08	34,96	34,86	35,054
54	105,7	35,25	35,1	35,06	34,96	34,86	35,046
55	107,7	35,25	35,08	35,06	34,93	34,86	35,036
56	109,7	35,25	35,08	35,06	34,93	34,84	35,032
57	111,7	35,23	35,06	35,03	34,93	34,84	35,018
58	113,7	35,23	35,06	35,03	34,91	34,84	35,014
59	115,7	35,23	35,06	35,01	34,91	34,81	35,004
60	117,7	35,2	35,06	35,01	34,91	34,81	34,998
61	119,7	35,2	35,03	35,01	34,88	34,81	34,986
62	121,8	35,2	35,03	35,01	34,88	34,79	34,982
63	123,7	35,2	35,01	34,98	34,88	34,79	34,972
64	125,7	35,18	35,01	34,98	34,86	34,79	34,964
65	127,7	35,18	35,01	34,98	34,86	34,79	34,964
66	129,7	35,18	34,98	34,96	34,86	34,76	34,948
67	131,7	35,18	34,98	34,96	34,84	34,76	34,944
68	133,6	35,15	34,98	34,96	34,84	34,76	34,938
69	135,6	35,15	34,98	34,96	34,84	34,74	34,934
70	137,6	35,15	34,96	34,93	34,81	34,74	34,918
71	139,6	35,15	34,96	34,93	34,81	34,74	34,918
72	141,6	35,13	34,96	34,93	34,81	34,71	34,908
73	143,6	35,13	34,96	34,91	34,81	34,71	34,904
74	145,6	35,13	34,93	34,91	34,79	34,71	34,894
75	147,5	35,13	34,93	34,91	34,79	34,69	34,89
76	149,5	35,13	34,93	34,91	34,79	34,66	34,884
77	151,5	35,13	34,91	34,88	34,76	34,69	34,874
78	153,5	35,1	34,91	34,88	34,76	34,69	34,868
79	155,4	35,1	34,91	34,88	34,76	34,69	34,868
80	157,5	35,1	34,91	34,88	34,74	34,69	34,864
81	159,4	35,1	34,91	34,88	34,74	34,66	34,858
82	161,4	35,1	34,88	34,86	34,74	34,66	34,848
83	163,4	35,1	34,88	34,86	34,74	34,66	34,848
84	165,4	35,08	34,88	34,86	34,71	34,66	34,838
85	167,4	35,08	34,88	34,84	34,71	34,66	34,834
86	169,4	35,08	34,86	34,84	34,71	34,66	34,83
87	171,4	35,08	34,86	34,84	34,71	34,64	34,826
88	173,3	35,08	34,86	34,84	34,71	34,64	34,826
89	175,3	35,08	34,86	34,81	34,69	34,64	34,816
90	177,3	35,06	34,84	34,81	34,69	34,64	34,808
91	179,3	35,06	34,84	34,81	34,69	34,64	34,808
92	181,3	35,06	34,84	34,81	34,66	34,62	34,798
93	183,2	35,06	34,84	34,81	34,66	34,62	34,798
94	185,2	35,06	34,81	34,79	34,66	34,62	34,788
95	187,2	35,03	34,81	34,79	34,66	34,62	34,782
96	189,2	35,03	34,81	34,79	34,66	34,59	34,776
97	191,1	35,03	34,81	34,79	34,66	34,59	34,77
98	193,1	35,03	34,81	34,76	34,66	34,59	34,762
99	195,2	35,03	34,79	34,76	34,64	34,59	34,762
100	197,2	35,03	34,79	34,76	34,64	34,59	34,762
γ [N/m]	-	35,47	35,34	35,34	35,22	35,14	35,3031
s [-]	-	0,61	0,70	0,77	0,75	0,76	0,7179
σ [-]	-	0,78	0,84	0,88	0,86	0,87	0,8473
v [%]	-	2,20	2,37	2,48	2,45	2,48	2,4001

Tab. č. 19: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + 0,3 hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909.

Pořadí měření	Čas t	Hodnoty povrchového napětí				
		Měření číslo				Průměrné hodnoty
	[sec]	1	2	3	4	
1	0,4	38,81	37,81	38,81	38,74	38,5425
2	2,4	37,25	36,54	37,4	37,25	37,11
3	4,4	36,64	36,06	36,79	36,69	36,545
4	6,4	36,35	35,79	36,49	36,52	36,2875
5	8,3	36,15	35,62	36,3	36,15	36,055
6	10,3	36,03	35,49	36,13	36,03	35,92
7	12,3	35,91	35,4	36,03	35,98	35,83
8	14,3	35,81	35,32	35,91	35,79	35,7075
9	16,3	35,71	35,27	35,84	35,71	35,6325
10	18,3	35,64	35,2	35,76	35,69	35,5725
11	20,3	35,64	35,15	35,71	35,62	35,53
12	22,2	35,57	35,13	35,64	35,57	35,4775
13	24,2	35,52	35,08	35,62	35,45	35,4175
14	26,2	35,49	35,06	35,57	35,45	35,3925
15	28,2	35,47	35,03	35,52	35,47	35,3725
16	30,2	35,47	35,01	35,49	35,42	35,3475
17	32,1	35,47	34,98	35,47	35,37	35,3225
18	34,1	35,96	34,98	35,42	35,27	35,4075
19	36,1	35,35	35,06	35,4	35,25	35,265
20	38,1	35,35	34,74	35,37	35,27	35,1825
21	40	35,32	34,84	35,37	35,3	35,2075
22	42	35,32	34,88	35,35	35,25	35,2
23	44	35,3	34,91	35,3	35,25	35,19
24	46	35,27	34,84	35,08	35,1	35,0725
25	47,9	35,27	34,84	35,27	35,15	35,1325
26	49,9	35,25	34,84	35,25	35,13	35,1175
27	51,9	35,25	34,84	35,23	35,13	35,1125
28	53,9	35,23	34,81	35,2	35,13	35,0925
29	55,9	35,23	34,81	35,2	35,15	35,0975
30	57,8	35,2	34,81	35,23	35,06	35,075
31	59,8	35,2	34,79	35,18	35,08	35,0625
32	61,8	35,18	34,79	35,15	35,06	35,045
33	63,8	35,18	34,79	35,13	35,08	35,045
34	65,8	35,15	34,76	35,13	35,03	35,0175
35	67,8	35,15	34,76	35,13	34,88	34,98
36	69,8	35,15	34,76	35,15	35,03	35,0225
37	71,7	35,13	34,74	35,08	35,01	34,99
38	73,7	35,13	34,74	35,08	34,96	34,9775
39	75,7	35,1	34,74	35,1	35,08	35,005
40	77,7	35,1	34,71	35,06	35,06	34,9825
41	79,6	35,1	34,71	35,06	34,96	34,9575
42	81,6	35,08	34,71	35,06	34,96	34,9525
43	83,6	35,08	34,71	35,06	34,96	34,9525
44	85,6	35,08	34,71	35,06	34,93	34,945
45	87,6	35,06	34,71	35,03	34,93	34,9325
46	89,5	35,06	34,69	35,03	34,91	34,9225
47	91,5	35,06	34,69	35,03	34,91	34,9225
48	93,5	35,03	34,69	35,01	34,91	34,91
49	95,5	35,03	34,69	35,01	34,88	34,9025
50	97,4	35,03	34,69	35,01	34,88	34,9025

51	99,4	35,01	34,69	35,01	34,88	34,8975
52	101,4	35,01	34,66	35,01	34,66	34,835
53	103,4	35,01	34,66	34,98	34,93	34,895
54	105,3	34,98	34,66	34,98	34,74	34,84
55	107,3	34,98	34,66	34,96	34,81	34,8525
56	109,3	34,98	34,64	34,86	34,84	34,83
57	111,3	34,98	34,64	34,91	34,88	34,8525
58	113,3	34,98	34,64	34,96	34,81	34,8475
59	115,2	34,96	34,64	34,96	34,86	34,855
60	117,2	34,96	34,64	34,93	34,84	34,8425
61	119,2	34,96	34,64	34,93	34,76	34,8225
62	121,2	34,96	34,62	34,93	34,71	34,805
63	123,2	34,93	34,62	34,93	34,76	34,81
64	125,2	34,93	34,62	34,93	34,81	34,8225
65	127,2	34,93	34,62	34,93	34,71	34,7975
66	129,2	34,93	34,62	34,93	34,79	34,8175
67	131,2	34,91	34,62	34,93	34,74	34,8
68	133,1	34,91	34,62	34,91	34,76	34,8
69	135,1	34,86	34,62	34,91	34,76	34,7875
70	137,1	34,91	34,62	34,91	34,64	34,77
71	139,1	34,91	34,62	34,88	34,71	34,78
72	141,1	34,91	34,62	34,88	34,74	34,7875
73	143,1	34,88	34,62	34,88	34,74	34,78
74	145,1	34,88	34,59	34,88	34,76	34,7775
75	147,1	34,86	34,59	34,88	34,79	34,78
76	149,1	34,88	34,59	34,88	34,71	34,765
77	151,1	34,88	34,59	34,88	34,74	34,7725
78	153,1	34,86	34,59	34,88	34,69	34,755
79	155,1	34,86	34,59	34,86	34,79	34,775
80	157,1	34,84	34,59	34,86	34,62	34,7275
81	159,1	34,91	34,59	34,86	34,71	34,7675
82	161,1	34,86	34,57	34,88	34,64	34,7375
83	163,1	34,86	34,57	34,79	34,69	34,7275
84	165,1	34,79	34,57	34,86	34,74	34,74
85	167,1	34,84	34,57	34,84	34,64	34,7225
86	169,1	34,84	34,57	34,84	34,69	34,735
87	171	34,84	34,57	34,84	34,69	34,735
88	173	34,84	34,57	34,84	34,69	34,735
89	175	34,84	34,57	34,91	34,66	34,745
90	177	34,84	34,57	34,76	34,62	34,6975
91	178,9	34,81	34,57	34,81	34,64	34,7075
92	180,9	34,81	34,57	34,81	34,64	34,7075
93	182,9	34,81	34,57	34,81	34,66	34,7125
94	184,9	34,81	34,57	34,84	34,66	34,72
95	186,9	34,81	34,57	34,81	34,62	34,7025
96	188,8	34,79	34,57	34,81	34,71	34,72
97	190,9	34,79	34,57	34,81	34,62	34,6975
98	192,8	34,79	34,57	34,81	34,59	34,69
99	194,8	34,79	34,57	34,81	34,62	34,6975
100	196,8	34,79	34,57	34,81	34,62	34,6975
γ [N/m]	-	35,19	34,82	35,19	35,06	35,0632
s [-]	-	0,55	0,44	0,58	0,60	0,5409
σ [-]	-	0,74	0,67	0,76	0,77	0,7355
v [%]	-	2,11	1,91	2,16	2,20	2,0975

ob. č. 20: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + 0,5 hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909.

Pořadí měření	Čas t	Hodnoty povrchového napětí					
		Měření číslo					Průměrné hodnoty
	[sec]	1	2	3	4	5	
1	0,4	38,74	38,81	38,76	39,06	38,86	38,846
2	2,4	37,3	37,37	37,35	37,57	37,47	37,412
3	4,4	36,71	36,79	36,81	36,98	36,91	36,84
4	6,4	36,45	36,47	36,54	36,71	36,62	36,558
5	8,3	36,25	36,27	36,35	36,49	36,42	36,356
6	10,3	36,1	36,13	36,2	36,35	36,27	36,21
7	12,3	36,01	36,03	36,1	36,25	36,18	36,114
8	14,3	35,91	35,93	36,01	36,15	36,08	36,016
9	16,3	35,84	35,86	35,93	36,08	36,01	35,944
10	18,2	35,79	35,79	35,88	36,01	35,93	35,88
11	20,2	35,71	35,74	35,81	35,96	35,88	35,82
12	22,2	35,66	35,69	35,79	35,91	35,81	35,772
13	24,2	35,62	35,64	35,74	35,88	35,79	35,734
14	26,2	35,59	35,62	35,69	35,84	35,74	35,696
15	28,2	35,57	35,59	35,66	35,79	35,71	35,664
16	30,2	35,52	35,54	35,64	35,76	35,66	35,624
17	32,2	35,49	35,52	35,62	35,74	35,64	35,602
18	34,2	35,47	35,49	35,59	35,71	35,62	35,576
19	36,2	35,45	35,47	35,57	35,69	35,57	35,55
20	38,2	35,42	35,45	35,54	35,66	35,54	35,522
21	40,2	35,42	35,42	35,52	35,64	35,52	35,504
22	42,1	35,4	35,4	35,49	35,62	35,52	35,486
23	44,1	35,37	35,4	35,49	35,62	35,49	35,474
24	46,1	35,37	35,37	35,47	35,59	35,47	35,454
25	48,1	35,35	35,37	35,45	35,57	35,45	35,438
26	50,1	35,32	35,35	35,45	35,57	35,45	35,428
27	52,1	35,32	35,32	35,42	35,54	35,42	35,404
28	54,1	35,3	35,32	35,42	35,54	35,4	35,396
29	56,1	35,3	35,3	35,4	35,52	35,4	35,384
30	58,1	35,27	35,3	35,37	35,49	35,37	35,36
31	60,1	35,27	35,27	35,37	35,49	35,37	35,354
32	62,1	35,25	35,27	35,35	35,49	35,35	35,342
33	64,1	35,25	35,25	35,35	35,47	35,35	35,334
34	66,1	35,23	35,25	35,35	35,47	35,32	35,324
35	68,1	35,23	35,25	35,32	35,47	35,3	35,314
36	70,1	35,23	35,23	35,32	35,45	35,3	35,306
37	72,1	35,2	35,23	35,32	35,45	35,27	35,294
38	74,1	35,2	35,2	35,3	35,42	35,27	35,278
39	76,1	35,2	35,2	35,3	35,42	35,27	35,278
40	78	35,18	35,2	35,3	35,42	35,25	35,27
41	80	35,18	35,18	35,27	35,4	35,25	35,256
42	82	35,18	35,18	35,27	35,4	35,23	35,252
43	84	35,18	35,18	35,25	35,37	35,23	35,23
44	86,1	35,15	35,15	35,25	35,37	35,23	35,23
45	88	35,15	35,15	35,25	35,37	35,23	35,23
46	90	35,15	35,15	35,25	35,37	35,2	35,224
47	92	35,15	35,15	35,25	35,35	35,2	35,216
48	94	35,15	35,13	35,23	35,35	35,2	35,208
49	96	35,13	35,13	35,23	35,35	35,18	35,204
50	97,9	35,13	35,13	35,23	35,35	35,18	35,204
51	100	35,13	35,13	35,23	35,35	35,18	35,186
52	101,9	35,13	35,1	35,2	35,32	35,18	

53	103,9	35,1	35,1	35,2	35,32	35,15	35,174
54	105,9	35,1	35,1	35,2	35,32	35,15	35,174
55	107,9	35,1	35,1	35,2	35,32	35,15	35,174
56	109,9	35,08	35,1	35,2	35,3	35,15	35,166
57	111,9	35,08	35,08	35,18	35,3	35,13	35,154
58	113,9	35,08	35,08	35,18	35,3	35,13	35,154
59	115,8	35,08	35,08	35,18	35,3	35,13	35,154
60	117,8	35,08	35,08	35,18	35,3	35,13	35,154
61	119,8	35,08	35,06	35,18	35,3	35,13	35,15
62	121,8	35,06	35,06	35,15	35,3	35,13	35,14
63	123,7	35,06	35,06	35,15	35,27	35,1	35,128
64	125,7	35,06	35,06	35,15	35,27	35,1	35,128
65	127,7	35,06	35,03	35,15	35,27	35,1	35,122
66	129,7	35,06	35,03	35,15	35,27	35,1	35,122
67	131,7	35,06	35,03	35,15	35,27	35,08	35,118
68	133,6	35,06	35,03	35,13	35,25	35,08	35,11
69	135,6	35,06	35,01	35,13	35,25	35,08	35,106
70	137,6	35,03	35,01	35,13	35,25	35,08	35,1
71	139,6	35,03	35,01	35,13	35,25	35,08	35,1
72	141,5	35,03	35,01	35,13	35,25	35,08	35,1
73	143,5	35,03	35,01	35,1	35,25	35,06	35,09
74	145,5	35,03	35,01	35,1	35,25	35,06	35,09
75	147,5	35,03	34,98	35,1	35,25	35,06	35,084
76	149,5	35,01	34,98	35,1	35,23	35,06	35,076
77	151,5	35,01	34,98	35,1	35,23	35,06	35,076
78	153,5	35,01	34,98	35,1	35,23	35,03	35,07
79	155,5	35,01	34,98	35,1	35,23	35,03	35,07
80	157,5	35,01	34,98	35,1	35,23	35,03	35,07
81	159,4	35,01	34,98	35,1	35,23	35,03	35,07
82	161,4	34,98	34,98	35,08	35,23	35,03	35,06
83	163,4	34,98	34,98	35,08	35,2	35,03	35,054
84	165,4	34,98	34,96	35,08	35,2	35,01	35,046
85	167,4	34,98	34,96	35,08	35,2	35,01	35,046
86	169,3	34,98	34,96	35,08	35,2	35,01	35,046
87	171,3	34,98	34,96	35,08	35,2	35,01	35,046
88	173,3	34,98	34,96	35,06	35,2	34,98	35,036
89	175,3	34,98	34,96	35,06	35,2	34,98	35,036
90	177,4	34,98	34,96	35,06	35,2	34,98	35,032
91	179,3	34,96	34,96	35,06	35,2	34,98	35,026
92	181,3	34,96	34,93	35,06	35,2	34,98	35,026
93	183,3	34,96	34,93	35,06	35,2	34,98	35,026
94	185,3	34,96	34,93	35,06	35,2	34,98	35,026
95	187,4	34,96	34,93	35,06	35,2	34,98	35,026
96	189,3	34,96	34,93	35,06	35,2	34,98	35,012
97	191,4	34,96	34,93	35,03	35,18	34,96	35,012
98	193,3	34,96	34,93	35,03	35,18	34,96	35,008
99	195,3	34,96	34,91	35,03	35,18	34,96	35,002
100	197,3	34,93	34,91	35,03	35,18	34,96	35,002
γ [N/m]	-	35,29	35,29	35,39	35,52	35,36	35,3688
s [-]	-	0,52	0,54	0,52	0,54	0,56	0,5355
σ [-]	-	0,72	0,74	0,72	0,73	0,75	0,7318
v [%]	-	2,05	2,08	2,03	2,06	2,12	2,0689

Tab. č. 21: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + 1 hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909.

Pořadí měření	Čas t [sec]	Hodnoty povrchového napětí					
		Měření číslo					Průměrné hodnoty
		1	2	3	4	5	
1	0,4	38,15	38,84	38,47	38,89	38,76	38,622
2	2,4	36,84	37,37	37,15	37,37	37,28	37,202
3	4,4	36,42	36,76	36,67	36,86	36,74	36,69
4	6,4	36,18	36,47	36,4	36,57	36,47	36,418
5	8,3	36,03	36,27	36,23	36,37	36,27	36,234
6	10,3	35,93	36,13	36,08	36,23	36,15	36,104
7	12,3	35,86	36,03	35,98	36,13	36,06	36,012
8	14,3	35,79	35,93	35,91	36,03	35,96	35,924
9	16,3	35,74	35,86	35,84	35,96	35,91	35,862
10	18,2	35,69	35,79	35,79	35,91	35,84	35,804
11	20,2	35,66	35,74	35,74	35,84	35,79	35,754
12	22,2	35,64	35,69	35,69	35,81	35,76	35,718
13	24,2	35,62	35,66	35,64	35,76	35,71	35,678
14	26,1	35,59	35,62	35,62	35,71	35,69	35,646
15	28,1	35,57	35,59	35,59	35,69	35,64	35,616
16	30,1	35,57	35,57	35,57	35,66	35,62	35,598
17	32,1	35,54	35,52	35,54	35,64	35,59	35,566
18	34,1	35,52	35,49	35,52	35,62	35,57	35,544
19	36	35,49	35,49	35,49	35,59	35,57	35,526
20	38	35,47	35,47	35,47	35,57	35,54	35,504
21	40	35,45	35,45	35,45	35,54	35,52	35,482
22	42	35,45	35,42	35,42	35,52	35,52	35,466
23	44	35,42	35,4	35,42	35,49	35,49	35,444
24	46	35,42	35,4	35,4	35,49	35,47	35,436
25	47,9	35,4	35,37	35,37	35,47	35,47	35,416
26	49,9	35,4	35,37	35,37	35,45	35,45	35,408
27	52	35,37	35,35	35,35	35,45	35,45	35,394
28	53,9	35,37	35,35	35,35	35,42	35,42	35,382
29	56	35,35	35,32	35,32	35,42	35,42	35,366
30	57,9	35,35	35,32	35,32	35,4	35,4	35,358
31	59,9	35,32	35,32	35,3	35,4	35,4	35,348
32	61,9	35,32	35,3	35,3	35,37	35,4	35,338
33	63,9	35,32	35,3	35,27	35,37	35,37	35,326
34	65,9	35,3	35,27	35,27	35,35	35,37	35,312
35	67,8	35,3	35,27	35,27	35,35	35,37	35,312
36	69,8	35,3	35,27	35,25	35,35	35,37	35,308
37	71,8	35,3	35,25	35,25	35,32	35,35	35,294
38	73,8	35,27	35,25	35,25	35,32	35,35	35,288
39	75,8	35,27	35,25	35,23	35,3	35,35	35,28
40	77,8	35,27	35,25	35,23	35,3	35,32	35,274
41	79,8	35,27	35,23	35,23	35,3	35,32	35,27
42	81,7	35,25	35,23	35,2	35,27	35,32	35,254
43	83,7	35,25	35,23	35,2	35,27	35,32	35,254
44	85,7	35,25	35,23	35,2	35,27	35,32	35,254
45	87,7	35,25	35,23	35,18	35,27	35,3	35,246
46	89,6	35,25	35,2	35,18	35,25	35,3	35,236
47	91,6	35,23	35,2	35,18	35,25	35,3	35,232
48	93,6	35,23	35,2	35,18	35,25	35,3	35,232
49	95,6	35,23	35,2	35,18	35,25	35,3	35,232
50	97,6	35,2	35,2	35,15	35,25	35,27	35,214
51	99,6	35,2	35,18	35,15	35,23	35,27	35,206

52	101,6	35,2	35,18	35,15	35,23	35,27	35,206
53	103,5	35,18	35,18	35,13	35,23	35,27	35,198
54	105,5	35,18	35,18	35,13	35,23	35,27	35,198
55	107,5	35,18	35,18	35,13	35,2	35,27	35,192
56	109,5	35,18	35,18	35,13	35,2	35,25	35,188
57	111,4	35,15	35,18	35,13	35,2	35,25	35,182
58	113,4	35,15	35,18	35,13	35,2	35,25	35,182
59	115,4	35,15	35,18	35,1	35,2	35,25	35,176
60	117,4	35,15	35,18	35,1	35,18	35,25	35,172
61	119,4	35,15	35,18	35,1	35,18	35,25	35,172
62	121,3	35,15	35,15	35,1	35,18	35,25	35,166
63	123,3	35,15	35,15	35,1	35,18	35,25	35,166
64	125,3	35,15	35,15	35,08	35,18	35,23	35,158
65	127,3	35,15	35,15	35,08	35,15	35,23	35,152
66	129,2	35,15	35,15	35,08	35,15	35,23	35,152
67	131,2	35,15	35,15	35,08	35,15	35,23	35,152
68	133,2	35,15	35,15	35,08	35,15	35,23	35,152
69	135,2	35,15	35,15	35,08	35,15	35,23	35,152
70	137,2	35,13	35,15	35,08	35,15	35,23	35,148
71	139,2	35,13	35,15	35,06	35,15	35,23	35,144
72	141,2	35,13	35,15	35,06	35,13	35,23	35,14
73	143,2	35,13	35,13	35,06	35,13	35,23	35,136
74	145,2	35,13	35,13	35,06	35,13	35,23	35,136
75	147,2	35,13	35,13	35,06	35,13	35,2	35,13
76	149,2	35,13	35,13	35,06	35,13	35,2	35,13
77	151,2	35,13	35,13	35,06	35,13	35,2	35,13
78	153,1	35,13	35,13	35,06	35,13	35,2	35,13
79	155,1	35,13	35,13	35,03	35,13	35,2	35,124
80	157,1	35,13	35,13	35,03	35,13	35,2	35,124
81	159,1	35,13	35,13	35,03	35,13	35,2	35,124
82	161	35,13	35,13	35,03	35,1	35,2	35,118
83	163,1	35,13	35,13	35,03	35,1	35,2	35,118
84	165,1	35,13	35,13	35,03	35,1	35,2	35,118
85	167,1	35,13	35,13	35,03	35,1	35,2	35,118
86	169,1	35,13	35,13	35,03	35,1	35,2	35,118
87	171	35,1	35,13	35,03	35,1	35,2	35,112
88	173,1	35,1	35,13	35,01	35,1	35,2	35,108
89	175	35,1	35,13	35,01	35,1	35,2	35,108
90	177	35,1	35,13	35,01	35,1	35,2	35,108
91	179	35,1	35,13	35,01	35,1	35,2	35,108
92	181	35,1	35,13	35,01	35,1	35,2	35,108
93	183	35,1	35,13	35,01	35,1	35,2	35,108
94	185	35,1	35,13	35,01	35,1	35,18	35,104
95	187	35,1	35,13	35,01	35,1	35,18	35,104
96	188,9	35,1	35,13	34,98	35,1	35,18	35,098
97	190,9	35,1	35,13	34,98	35,1	35,18	35,098
98	192,9	35,1	35,13	34,98	35,1	35,18	35,098
99	194,9	35,1	35,13	34,98	35,08	35,18	35,094
100	196,9	35,1	35,13	34,98	35,08	35,18	35,094
$\bar{\gamma}$ [N/m]	-	35,34	35,37	35,32	35,41	35,44	35,3764
s [-]	-	0,41	0,50	0,49	0,53	0,48	0,4802
σ [-]	-	0,64	0,71	0,70	0,72	0,69	0,6930
v [%]	-	1,81	2,01	1,98	2,05	1,95	1,9588

Tab. č. 22: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + 1,5 hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909.

Pořadí měření	Čas t	Hodnoty povrchového napětí					Průměrné hodnoty
		Měření číslo					
	[sec]	1	2	3	4	5	
1	0,4	38,96	39,08	38,74	38,84	38,15	38,754
2	2,4	37,47	37,57	37,32	37,28	36,86	37,30
3	4,4	36,86	37,01	36,76	36,74	36,4	36,754
4	6,4	36,54	36,71	36,47	36,45	36,15	36,464
5	8,3	36,35	36,52	36,27	36,25	36,01	36,28
6	10,3	36,18	36,37	36,15	36,13	35,88	36,142
7	12,4	36,06	36,27	36,03	36,03	35,79	36,036
8	14,3	35,98	36,18	35,96	35,93	35,71	35,952
9	16,3	35,91	36,1	35,88	35,86	35,64	35,878
10	18,3	35,84	36,06	35,84	35,81	35,62	35,834
11	20,3	35,79	36,01	35,79	35,76	35,57	35,784
12	22,2	35,76	35,96	35,74	35,71	35,52	35,738
13	24,2	35,71	35,91	35,71	35,69	35,49	35,702
14	26,2	35,69	35,88	35,66	35,64	35,47	35,668
15	28,2	35,66	35,86	35,64	35,62	35,45	35,646
16	30,2	35,62	35,84	35,62	35,59	35,4	35,614
17	32,2	35,59	35,81	35,59	35,57	35,4	35,592
18	34,2	35,57	35,79	35,57	35,54	35,37	35,568
19	36,2	35,54	35,76	35,54	35,52	35,35	35,542
20	38,2	35,52	35,74	35,54	35,49	35,32	35,522
21	40,2	35,52	35,71	35,52	35,47	35,27	35,498
22	42,2	35,49	35,69	35,49	35,47	35,27	35,482
23	44,2	35,47	35,66	35,49	35,45	35,27	35,468
24	46,1	35,47	35,66	35,47	35,42	35,25	35,454
25	48,1	35,45	35,64	35,47	35,42	35,25	35,446
26	50,1	35,45	35,64	35,45	35,4	35,27	35,442
27	52,1	35,42	35,62	35,45	35,4	35,25	35,428
28	54,1	35,42	35,62	35,42	35,37	35,2	35,406
29	56,1	35,4	35,59	35,42	35,37	35,27	35,41
30	58,2	35,37	35,59	35,4	35,35	35,23	35,388
31	60,1	35,37	35,59	35,4	35,35	35,2	35,382
32	62,1	35,37	35,57	35,4	35,32	35,2	35,372
33	64,1	35,35	35,57	35,37	35,32	35,2	35,362
34	66,1	35,35	35,57	35,37	35,3	35,25	35,368
35	68,1	35,35	35,54	35,35	35,3	35,15	35,338
36	70	35,32	35,54	35,35	35,27	35,15	35,326
37	72,1	35,32	35,54	35,32	35,27	35,15	35,32
38	74,1	35,32	35,52	35,32	35,27	35,15	35,316
39	76,1	35,3	35,52	35,32	35,25	35,15	35,308
40	78	35,3	35,52	35,32	35,25	35,15	35,308
41	80	35,3	35,52	35,32	35,25	35,15	35,308
42	82	35,27	35,52	35,32	35,25	35,13	35,298
43	84	35,27	35,49	35,32	35,23	35,13	35,288
44	86	35,27	35,49	35,3	35,23	35,13	35,284
45	88	35,25	35,49	35,3	35,23	35,13	35,28
46	90	35,25	35,49	35,3	35,23	35,1	35,274
47	91,9	35,25	35,49	35,3	35,2	35,1	35,268
48	93,9	35,25	35,47	35,3	35,2	35,1	35,264
49	95,9	35,23	35,47	35,3	35,2	35,1	35,26
49	95,9	35,23	35,47	35,27	35,2	35,08	35,25
50	97,9	35,23	35,47	35,27	35,2	35,08	35,25
51	99,9	35,23	35,47	35,27	35,2	35,08	35,25
52	101,9	35,2	35,47	35,27	35,18	35,08	35,24

53	103,9	35,2	35,47	35,27	35,18	35,08	35,24
54	105,8	35,2	35,45	35,27	35,18	35,08	35,236
55	107,8	35,18	35,45	35,27	35,18	35,08	35,232
56	109,8	35,18	35,45	35,27	35,18	35,08	35,232
57	111,8	35,18	35,45	35,27	35,15	35,06	35,222
58	113,8	35,18	35,45	35,27	35,15	35,06	35,222
59	115,7	35,18	35,45	35,27	35,15	35,06	35,222
60	117,7	35,18	35,45	35,25	35,15	35,06	35,218
61	119,7	35,15	35,45	35,25	35,15	35,06	35,212
62	121,7	35,15	35,45	35,25	35,15	35,06	35,212
63	123,7	35,15	35,45	35,25	35,15	35,06	35,212
64	125,7	35,15	35,45	35,25	35,13	35,06	35,208
65	127,8	35,15	35,45	35,25	35,13	35,06	35,208
66	129,7	35,15	35,45	35,25	35,13	35,03	35,202
67	131,8	35,13	35,45	35,25	35,13	35,03	35,198
68	133,8	35,13	35,45	35,25	35,13	35,03	35,198
69	135,8	35,13	35,45	35,25	35,13	35,03	35,198
70	137,8	35,13	35,42	35,25	35,13	35,03	35,192
71	139,7	35,13	35,42	35,25	35,13	35,03	35,192
72	141,7	35,13	35,42	35,25	35,1	35,03	35,186
73	143,7	35,13	35,42	35,25	35,1	35,03	35,186
74	145,7	35,13	35,42	35,25	35,1	35,03	35,186
75	147,6	35,1	35,42	35,25	35,1	35,03	35,18
76	149,6	35,1	35,42	35,25	35,1	35,03	35,18
77	151,6	35,1	35,42	35,25	35,1	35,03	35,18
78	153,6	35,1	35,42	35,25	35,1	35,03	35,18
79	155,5	35,1	35,42	35,25	35,1	35,03	35,18
80	157,6	35,1	35,42	35,25	35,1	35,01	35,176
81	159,6	35,1	35,42	35,25	35,1	35,01	35,176
82	161,6	35,1	35,42	35,25	35,08	35,01	35,172
83	163,6	35,1	35,42	35,25	35,08	35,01	35,172
84	165,6	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
85	167,6	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
86	169,6	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
87	171,5	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
88	173,5	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
89	175,5	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
90	177,5	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
91	179,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
92	181,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
93	183,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
94	185,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
95	187,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
96	189,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
97	191,4	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
98	193,3	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
99	195,3	35,08	35,42	35,25	35,08	35,01	35,168
100	197,3	35,06	35,42	35,25	35,08	35,01	35,164
γ [N/m]	-	35,39	35,65	35,46	35,36	35,24	35,4192
s [-]	-	0,53	0,49	0,47	0,51	0,43	0,4852
σ [-]	-	0,73	0,70	0,69	0,71	0,65	0,6966
ν [%]	-	2,06	1,97	1,93	2,02	1,85	1,9667

Tab. č. 23: Směs PAA (30%) + destilovaná voda + 2 hm% neionogenního tenzidu Slovasol 909.

Pořadí měření	Čas t	Hodnoty povrchového napětí					
		Měření číslo					Průměrné hodnoty
	[sec]	1	2	3	4	5	
1	0,4	38,49	38,67	38,37	38,96	38,42	38,582
2	2,4	37,15	37,13	37,2	37,4	37,08	37,192
3	4,4	36,64	36,62	36,69	36,84	36,59	36,676
4	6,4	36,4	36,35	36,47	36,57	36,35	36,428
5	8,3	36,23	36,2	36,3	36,37	36,18	36,256
6	10,3	36,1	36,06	36,15	36,23	36,06	36,12
7	12,4	36,01	35,96	36,06	36,13	35,96	36,024
8	14,3	35,93	35,88	35,98	36,06	35,88	35,946
9	16,3	35,86	35,84	35,91	35,98	35,81	35,88
10	18,3	35,81	35,76	35,86	35,93	35,76	35,824
11	20,3	35,76	35,71	35,81	35,86	35,71	35,77
12	22,2	35,71	35,69	35,76	35,81	35,69	35,732
13	24,3	35,69	35,64	35,74	35,79	35,64	35,7
14	26,3	35,64	35,62	35,69	35,76	35,62	35,666
15	28,3	35,62	35,59	35,66	35,71	35,59	35,634
16	30,3	35,59	35,57	35,62	35,69	35,54	35,602
17	32,2	35,57	35,54	35,62	35,66	35,54	35,586
18	34,2	35,54	35,52	35,59	35,64	35,52	35,562
19	36,2	35,52	35,49	35,57	35,62	35,49	35,538
20	38,2	35,52	35,49	35,54	35,59	35,47	35,522
21	40,2	35,49	35,47	35,52	35,57	35,45	35,5
22	42,1	35,47	35,45	35,52	35,57	35,45	35,492
23	44,2	35,47	35,45	35,49	35,54	35,42	35,474
24	46,1	35,45	35,42	35,47	35,52	35,4	35,452
25	48,1	35,45	35,42	35,47	35,52	35,4	35,452
26	50,1	35,42	35,42	35,45	35,49	35,37	35,43
27	52,1	35,42	35,4	35,45	35,49	35,37	35,426
28	54	35,4	35,4	35,42	35,47	35,35	35,408
29	56	35,4	35,37	35,4	35,47	35,35	35,398
30	58,1	35,4	35,37	35,4	35,45	35,32	35,388
31	60	35,37	35,37	35,4	35,45	35,32	35,382
32	62	35,37	35,37	35,37	35,42	35,3	35,366
33	64	35,37	35,35	35,37	35,42	35,3	35,362
34	66	35,35	35,35	35,35	35,4	35,3	35,35
35	68	35,35	35,35	35,35	35,4	35,27	35,344
36	70	35,35	35,32	35,35	35,4	35,27	35,338
37	72	35,35	35,32	35,32	35,37	35,25	35,326
38	74	35,32	35,32	35,32	35,37	35,25	35,316
39	76	35,32	35,32	35,32	35,35	35,25	35,312
40	78	35,32	35,3	35,32	35,35	35,25	35,308
41	80	35,32	35,3	35,3	35,35	35,25	35,304
42	81,9	35,32	35,3	35,3	35,35	35,23	35,3
43	83,9	35,3	35,3	35,3	35,32	35,23	35,29
44	86	35,3	35,3	35,27	35,32	35,23	35,284
45	87,9	35,3	35,3	35,27	35,32	35,23	35,28
46	89,9	35,3	35,3	35,27	35,3	35,2	35,268
47	91,9	35,3	35,27	35,25	35,3	35,2	35,264
48	93,9	35,3	35,27	35,25	35,3	35,2	35,264
49	95,8	35,3	35,27	35,25	35,3	35,2	35,264
50	97,8	35,3	35,27	35,25	35,3	35,18	35,26
51	99,8	35,3	35,27	35,25	35,3	35,18	35,26

52	101,8	35,27	35,27	35,23	35,27	35,18	35,244
53	103,8	35,27	35,27	35,23	35,27	35,18	35,244
54	105,7	35,27	35,27	35,23	35,27	35,18	35,244
55	107,8	35,27	35,25	35,23	35,27	35,18	35,24
56	109,7	35,27	35,25	35,23	35,27	35,15	35,234
57	111,7	35,27	35,25	35,23	35,27	35,15	35,234
58	113,7	35,27	35,25	35,23	35,25	35,15	35,23
59	115,7	35,27	35,25	35,2	35,25	35,15	35,224
60	117,7	35,27	35,25	35,2	35,25	35,15	35,224
61	119,7	35,27	35,25	35,2	35,25	35,15	35,224
62	121,7	35,27	35,25	35,2	35,25	35,15	35,224
63	123,7	35,25	35,25	35,2	35,25	35,15	35,22
64	125,7	35,25	35,25	35,2	35,25	35,15	35,22
65	127,6	35,25	35,25	35,18	35,23	35,13	35,208
66	129,6	35,25	35,25	35,18	35,23	35,13	35,208
67	131,6	35,25	35,25	35,18	35,23	35,13	35,208
68	133,6	35,25	35,25	35,18	35,23	35,13	35,208
69	135,6	35,25	35,25	35,18	35,2	35,13	35,202
70	137,6	35,25	35,25	35,18	35,2	35,13	35,202
71	139,6	35,25	35,25	35,18	35,2	35,13	35,202
72	141,5	35,25	35,25	35,18	35,2	35,13	35,202
73	143,5	35,25	35,25	35,18	35,2	35,13	35,202
74	145,5	35,25	35,25	35,15	35,2	35,1	35,19
75	147,5	35,25	35,25	35,15	35,2	35,1	35,19
76	149,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
77	151,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
78	153,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
79	155,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
80	157,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
81	159,4	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
82	161,4	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
83	163,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
84	165,5	35,25	35,25	35,15	35,18	35,1	35,186
85	167,5	35,25	35,25	35,13	35,18	35,1	35,182
86	169,4	35,25	35,25	35,13	35,18	35,1	35,182
87	171,4	35,25	35,25	35,13	35,15	35,1	35,176
88	173,4	35,25	35,25	35,13	35,15	35,1	35,176
89	175,4	35,25	35,25	35,13	35,15	34,91	35,138
90	177,4	35,25	35,25	35,13	35,15	35,06	35,168
91	179,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,1	35,176
92	181,4	35,25	35,25	35,13	35,15	35,1	35,176
93	183,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,08	35,172
94	185,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,08	35,172
95	187,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,1	35,176
96	189,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,08	35,172
97	191,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,08	35,172
98	193,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,08	35,172
99	195,3	35,25	35,25	35,13	35,15	35,1	35,176
100	197,2	35,25	35,25	35,13	35,13	35,1	35,172
$\bar{\gamma}$ [N/m]	-	35,44	35,43	35,41	35,46	35,35	35,4179
s [-]	-	0,44	0,44	0,46	0,52	0,46	0,4630
σ [-]	-	0,66	0,67	0,68	0,72	0,68	0,6804
v [%]	-	1,86	1,88	1,92	2,03	1,92	1,9211

Tab. č. 25: Naměřené hodnoty viskozity pro PAA (30%).

Motor	Otáčky	f	Rozsah stupnice	Z [dyn/cm ² *Skt]	alfa [Skt]	rad. napětí [dyn/cm ²]	viskozita [cP]	viskozita [Ns/m]
a	1	33,33						
a	2	18,52						
a	3	11,11						
a	4	6,17	I	11,3	5,5	62,15	383,4655	0,3835
a	5	3,704	I	11,3	28,5	322,05	1192,873	1,1929
a	6	2,058	I	11,3	53,5	604,55	1244,164	1,2442
a	7	1,234	I	11,3	92	1039,6	1282,866	1,2829
a	8	0,686	II	55,5	31	1720,5	1180,263	1,1803
a	9	0,4115	II	55,5	53	2941,5	1210,427	1,2104
a	10	0,2286	II	55,5	97	5383,5	1230,668	1,2307
a	11	0,1372						
a	12	0,0762						
b	1	66,7						
b	2	34,07						
b	3	22,22						
b	4	12,34						
b	5	7,41	I	11,3	11,5	129,95	962,9295	0,9629
b	6	4,115	I	11,3	24	271,2	1115,988	1,116
b	7	2,469	I	11,3	42,5	480,25	119,1293	0,1191
b	8	1,372	I	11,3	79,5	898,35	1232,536	1,2325
b	9	0,823	II	55,5	24	1332	1096,236	1,0962
b	10	0,4572	II	55,5	46	2553	1167,232	1,1672
b	11	0,2743	II	55,5	78	4329	1187,445	1,1875
b	12	0,1524						

Tab. č. 26: Naměřené hodnoty viskozity pro směs PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 (0,5 hm%).

Motor	Otáčky	f	Rozsah stupnice	Z [dyn/cm ² *Skt]	alfa [Skt]	rad. napětí [dyn/cm ²]	viskozita [cP]	viskozita [Ns/m]
a	1	33,33						
a	2	18,52						
a	3	11,11						
a	4	6,17						
a	5	3,704						
a	6	2,058	I	11,3	10,5	118,65	244,1817	0,2442
a	7	1,234	I	11,3	20	226	278,884	0,2789
a	8	0,686	I	11,3	39,5	446,35	306,1961	0,3062
a	9	0,4115	I	11,3	68,5	774,05	318,5215	0,3185
a	10	0,2286	II	55,5	22,5	1248,75	285,4643	0,2855
a	11	0,1372	II	55,5	39,5	2192,25	300,7767	0,3008
a	12	0,0762	II	55,5	73	4051,5	308,7243	0,3087
b	1	66,7						
b	2	34,07						
b	3	22,22						
b	4	12,34						
b	5	7,41						
b	6	4,115						
b	7	2,469						
b	8	1,372	I	11,3	18	203,4	279,0648	0,2791
b	9	0,823	I	11,3	32,5	367,25	302,2468	0,3022
b	10	0,4572	I	11,3	61,5	694,95	317,7311	0,3177
b	11	0,2743	II	55,5	18	999	274,0257	0,274
b	12	0,1524	II	55,5	35,5	1970,25	300,2661	0,3003

Tab. č. 27: Naměřené hodnoty viskozity pro směs PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 (1 hm%).

Motor	Otáčky	f	Rozsah	Z	alfa	rad. napětí	viskozita	viskozita
			stupnice	[dyn/cm ² *Skt]	[Skt]	[dyn/cm ²]	[cP]	[Ns/m]
a	1	33,33						
a	2	18,52						
a	3	11,11						
a	4	6,17						
a	5	3,704						
a	6	2,058	I	11,3	11,5	129,95	267,4371	0,2674
a	7	1,234	I	11,3	22	248,6	306,7724	0,3068
a	8	0,686	I	11,3	43	485,9	333,3274	0,3333
a	9	0,4115	I	11,3	74	836,2	344,0963	0,3441
a	10	0,2286	II	55,5	24	1332	304,4952	0,3045
a	11	0,1372	II	55,5	42,5	2358,75	323,6205	0,3236
a	12	0,0762	II	55,5	78	4329	329,8698	0,3299
b	1	66,7						
b	2	34,07						
b	3	22,22						
b	4	12,34						
b	5	7,41						
b	6	4,115						
b	7	2,469						
b	8	1,372	I	11,3	19,5	220,35	302,3202	0,3023
b	9	0,823	I	11,3	35	395,5	325,4965	0,3255
b	10	0,4572	I	11,3	66	745,8	340,9798	0,341
b	11	0,2743	II	55,5	19,5	1082,25	296,8612	0,2967
b	12	0,1524	II	55,5	38,5	2136,75	325,6407	0,3256

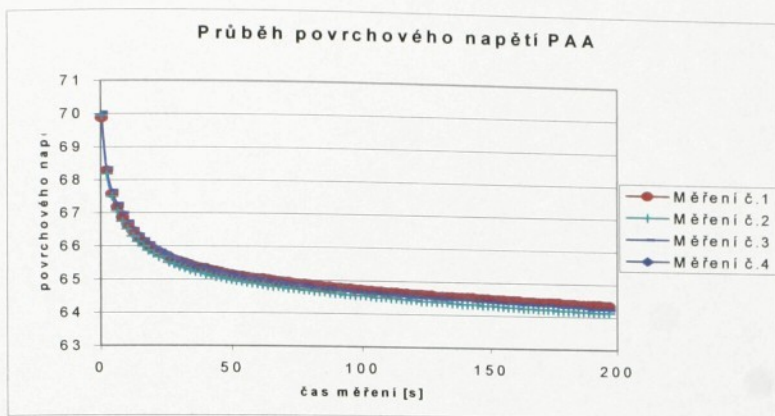
Tab. č. 28: Naměřené hodnoty viskozity pro směs PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tensid Slovasol 909 (1.5 hm%).

Motor	Otáčky	f	Rozsah stupnice	Z [dyn/cm ² *Skt]	alfa [Skt]	rad. napětí [dyn/cm ²]	viskozita [cP]	viskozita [Ns/m]
a	1	33,33						
a	2	18,52						
a	3	11,11						
a	4	6,17						
a	5	3,704						
a	6	2,058	I	11,3	12	135,6	279,0648	0,2791
a	7	1,234	I	11,3	23	259,9	320,7166	0,3207
a	8	0,686	I	11,3	44,5	502,85	344,9551	0,345
a	9	0,4115	I	11,3	72	813,6	334,7964	0,3348
a	10	0,2286	II	55,5	25,5	1415,25	323,5262	0,3235
a	11	0,1372	II	55,5	44,5	2469,75	338,8497	0,3388
a	12	0,0762	II	55,5	81,8	4539,9	345,9404	0,3459
b	1	66,7						
b	2	34,07						
b	3	22,22						
b	4	12,34						
b	5	7,41						
b	6	4,115						
b	7	2,469						
b	8	1,372	I	11,3	20,5	231,65	317,8238	0,3178
b	9	0,823	I	11,3	37	418,1	344,0963	0,3441
b	10	0,4572	I	11,3	70	791	361,6452	0,3617
b	11	0,2743	II	55,5	21	1165,5	319,6967	0,3197
b	12	0,1524	II	55,5	40	2220	338,328	0,3383

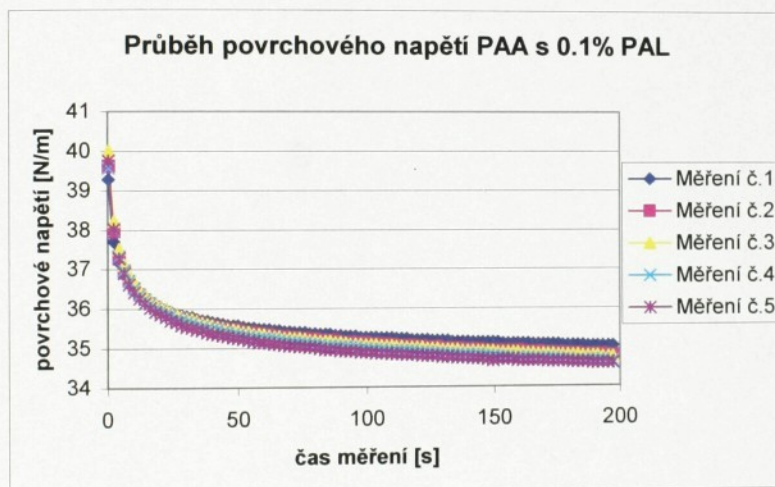
Tab. č. 29: Naměřené hodnoty viskozity pro směs PAA (30%) + destilovaná voda + neionogenní tenzid Slovasol 909 (2 hm%).

Motor	Otáčky	f	Rozsah stupnice	Z [dyn/cm ² *Skt]	alfa [Skt]	rad. napětí [dyn/cm ²]	viskozita [cP]	viskozita [Ns/m]
a	1	33,33						
a	2	18,52						
a	3	11,11						
a	4	6,17						
a	5	3,704						
a	6	2,058	I	11,3	21,5	242,95	499,9911	0,4999
a	7	1,234	I	11,3	39	440,7	543,8238	0,5438
a	8	0,686	II	11,3	74	836,2	573,6332	0,5736
a	9	0,4115	II	55,5	22,5	1248,75	513,8606	0,5139
a	10	0,2286	II	55,5	43,5	2414,25	551,8976	0,5519
a	11	0,1372	II	55,5	74	4107	563,4804	0,5635
a	12	0,0762						
b	1	66,7						
b	2	34,07						
b	3	22,22						
b	4	12,34						
b	5	7,41						
b	6	4,115						
b	7	2,469	I	11,3	18	203,4	502,1946	0,5022
b	8	1,372	I	11,3	36	406,8	558,1296	0,5581
b	9	0,823	I	11,3	63	711,9	585,8937	0,5859
b	10	0,4572	II	55,5	20	1110	507,492	0,5075
b	11	0,2743	II	55,5	36	1998	548,0514	0,5481
b	12	0,1524	II	55,5	67	3718,5	566,6994	0,5667

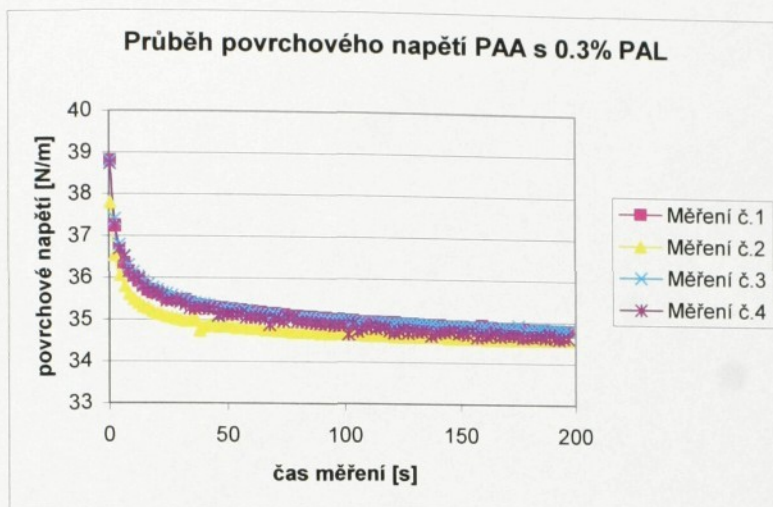
Příloha číslo 2: Grafy



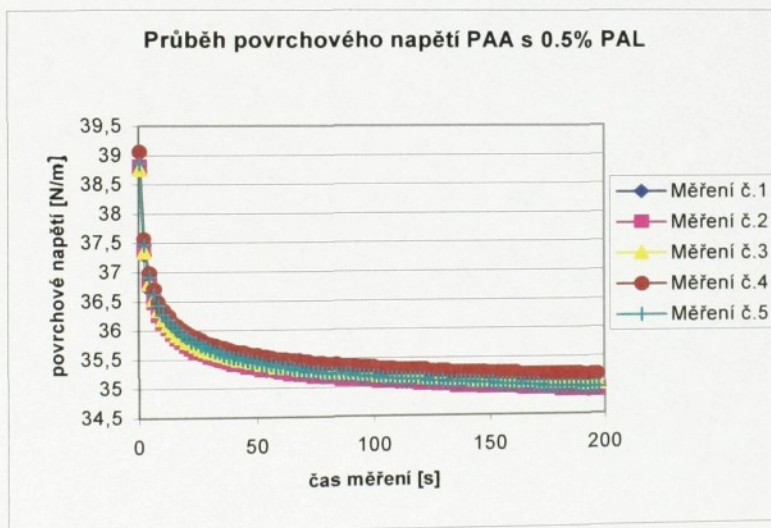
Graf č. 7: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové.



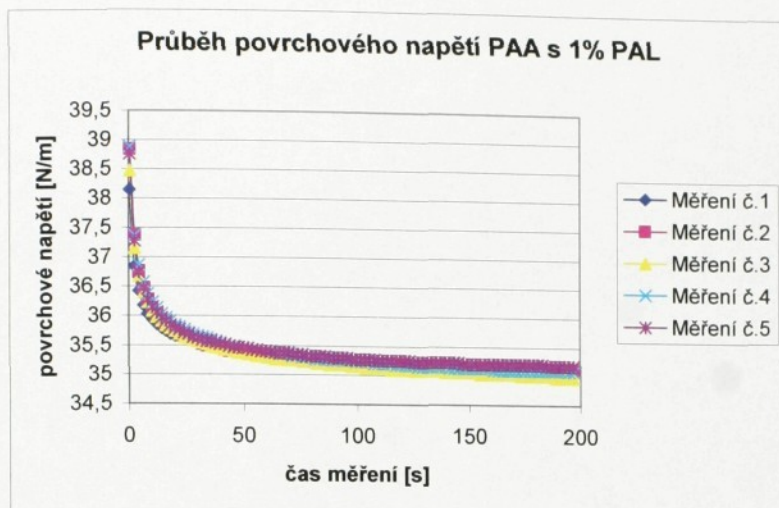
Graf č. 8: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující 0,1% PAL.



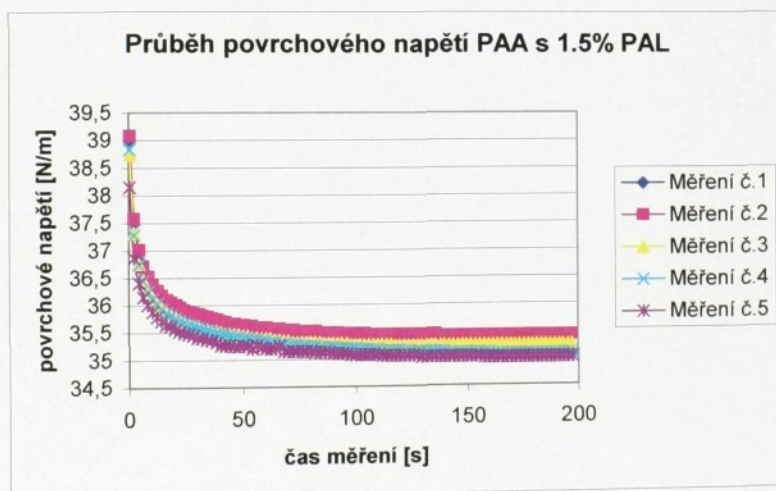
Graf č. 9: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující 0,3% PAL.



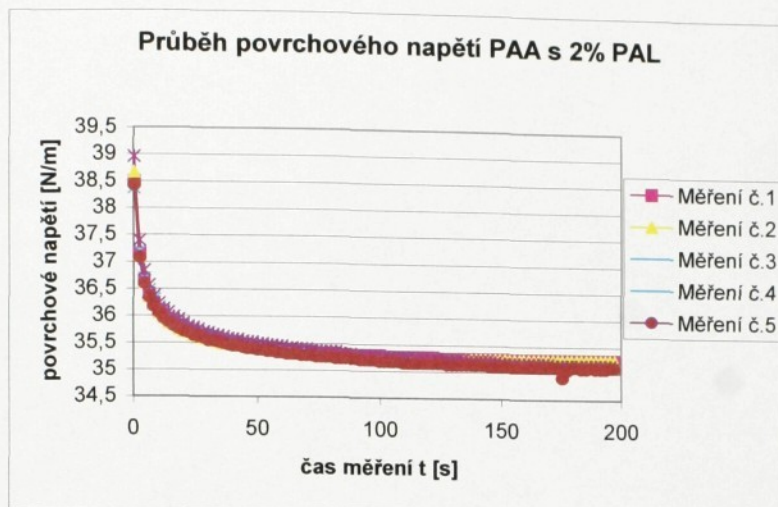
Graf č. 10: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující 0,5% PAL.



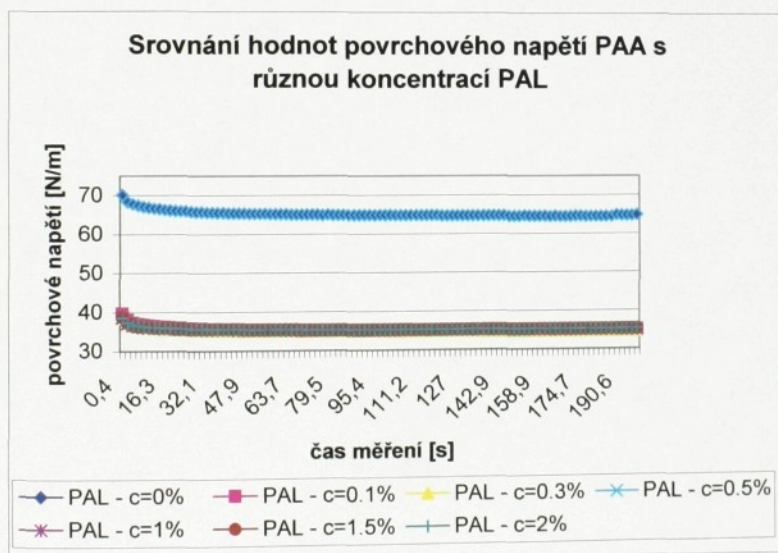
Graf č. 11: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující 1% PAL.



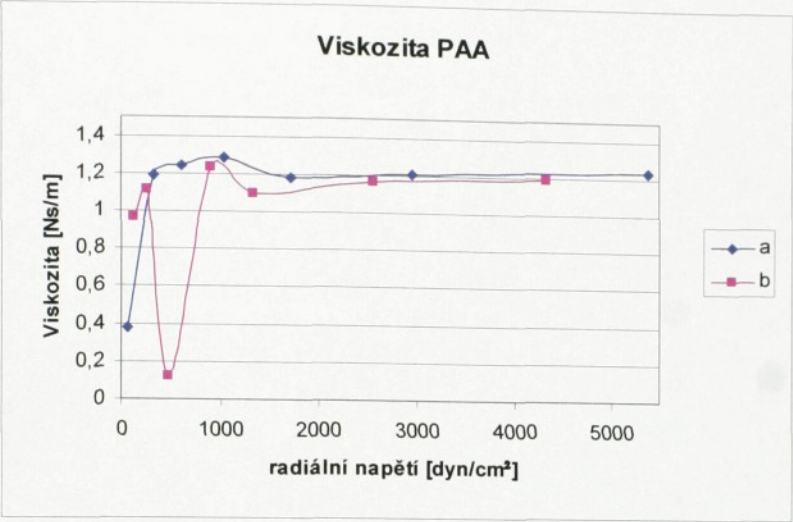
Graf č. 12: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující 1,5% PAL



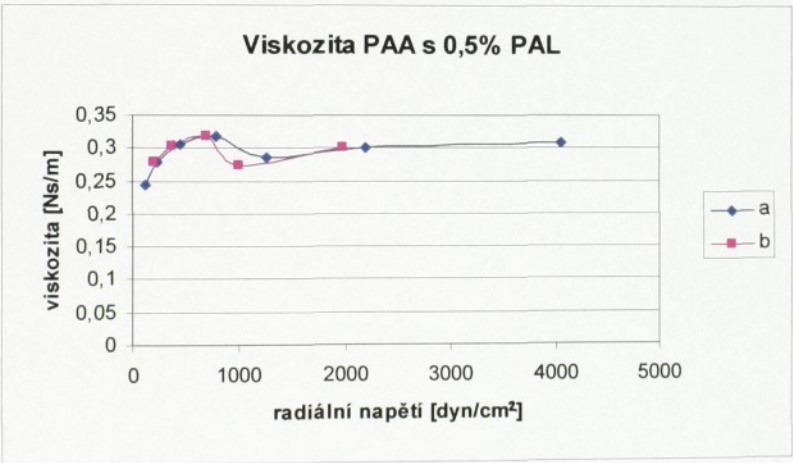
Graf č. 13: Průběh povrchového napětí kyseliny polyakrylové obsahující 2% PAL



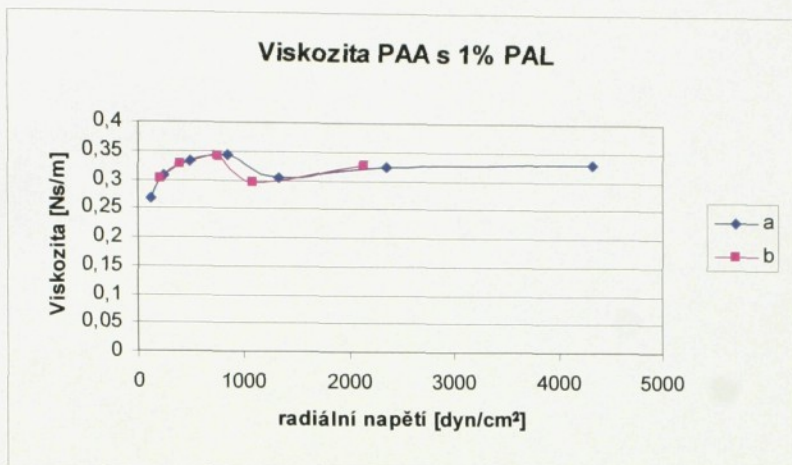
Graf č. 14: Srovnání hodnot povrchového napětí kyseliny polyakrylové PAA s různou koncentrací neionogenního tenzidu Slovasol 909



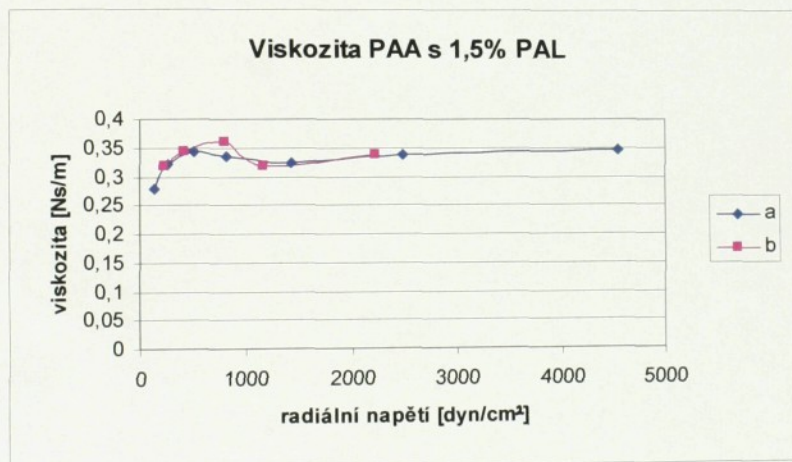
Graf č. 15: Hodnoty dynamické viskozit kyseliny polyakrylové. A,b – měřicí rozsah přístroje.



Graf č. 16: Hodnoty dynamické viskozity kyseliny polyakrylové a 0,5 hm% neionogenního tenzidu. A,b – měřicí rozsah přístroje.

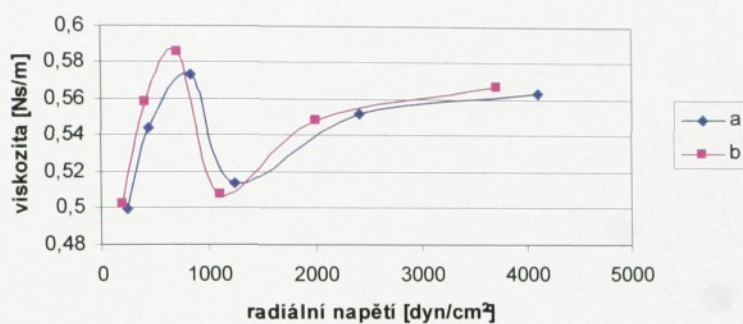


Graf č. 17: Hodnoty dynamické viskozity kyseliny polyakrylové a 1hm% neionogenního tenzidu. A, b – měřicí rozsah přístroje.



Graf č. 18: Hodnoty dynamické viskozity kyseliny polyakrylové a 1,5 hm% neionogenního tenzidu. A, b – měřicí rozsah přístroje.

Viskozita PAA s 2% PAL



Graf č. 19: Hodnoty dynamické viskozity kyseliny polyakrylové a 2 hm% neionogenního tenzidu. A, b – měřicí rozsah přístroje.