

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka Řádu práce

Fakulta textilní

Katedra netkaných textilií

Ing. Mohamed Bachir Saleh J A W I C H

PODMÍNKY POJENÍ BAVLNY VYUŽITÍM JEJÍ BOTNAVOSTI

2, 3 - technické vědy a nauky

vědní obor 39 - 13 - 9

nauka o nekovových materiálech

a stavebních hmotách

Kandidátská dizertační práce

Školitel : Prof. Ing. Dr techn. Radko Krčma, DrSc.

Liberec 1984

Dovoluji si tímto způsobem poděkovat svému školiteli Prof. Ing. Dr. techn. Radko Krčmovi, DrSc, za metodické vedení a vytvoření podmínek ke vzniku této práce. Zároveň děkuji Bohuslavu Charvátovi, prom. chemikovi za cenné rady a konzultace, které mi poskytl. Dík patří též všem zaměstnancům katedry, kteří mi vytvořili příjemné a přátelské prostředí. Velmi důležité pro dokončení mé práce bylo pochopení a pomoc mé ženy a rodiny.

*Bachir Janič*

| OBSAH :                                                                                   | str. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 ÚVOD                                                                                    | 1    |
| 1.1 Obecný úvod                                                                           | 1    |
| 1.2 Využití botnavosti vláken k pojení                                                    | 3    |
| 1.3 Použití bavlněných vláken k výrobě<br>netkaných textilií                              | 4    |
| 2 TEORETICKÁ ČÁST                                                                         | 7    |
| 2.1 Základní vlastnosti bavlny                                                            | 7    |
| 2.1.1 Složení bavlny                                                                      | 7    |
| 2.1.2 Morfologie bavlněného vlákna                                                        | 11   |
| 2.1.3 Sorpční vlastnosti                                                                  | 12   |
| 2.1.4 Chemické vlastnosti                                                                 | 16   |
| 2.1.4.1 Účinek NaOH na celulózu                                                           | 17   |
| 2.1.4.2 Pronikání NaOH do bavlněného vlákna                                               | 19   |
| 2.1.4.3 Modifikace struktury celulózy vlivem<br>působení NaOH                             | 21   |
| 2.1.4.4 Botnění celulózy působením NaOH                                                   | 25   |
| 2.1.4.5 Botnění bavlněných vláken                                                         | 26   |
| 2.1.4.6 Rozpouštědla celulózy a účinek silných<br>roztoků solí způsobujících její botnění | 29   |
| 2.2 Problematika využití adhezních<br>a kohezních sil                                     | 31   |
| 2.2.1 Vznik adhezních a kohezních spojů                                                   | 31   |
| 2.2.2 Základní pojmy o adhezi a kohezi                                                    | 33   |
| 3 PRACOVNÍ HYPOTÉZA                                                                       | 37   |
| 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST                                                                     | 38   |

|       |                                                                           |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Použitý materiál                                                          | 38 |
| 4.2   | Použité zařízení                                                          | 40 |
| 4.3   | Zkušební metody                                                           | 41 |
| 4.4   | Příprava roztoků botnadel                                                 | 43 |
| 4.5   | Pracovní postup                                                           | 46 |
| 4.6   | Výsledky měření a jejich zhodnocení                                       | 48 |
| 4.6.1 | Měření pevnosti spojů v závislosti<br>na koncentraci hydroxidu sodného    | 50 |
| 4.6.2 | Měření pevnosti spojů v závislosti<br>na koncentraci chloridu zinečnatého | 50 |
| 4.6.3 | Vliv přitlačné síly na pevnost spojů                                      | 53 |
| 4.6.4 | Vliv doby působení botnadla na pevnost spojů                              | 54 |
| 4.6.5 | Měření závislosti pevnosti spojů na teplotě<br>botnadla                   | 54 |
| 4.6.6 | Měření mechanických vlastností botnáním<br>pojených textilií              | 55 |
| 4.6.7 | Zhodnocení výsledků měření                                                | 61 |
| 4.7   | Souhrn výsledků a diskuse                                                 | 70 |
| 5.    | ZÁVĚR                                                                     | 74 |
|       | Použitá literatura                                                        | 75 |
|       | Seznam obrázků                                                            | 79 |
|       | Příloha - tabulky měření                                                  |    |



## 1 ÚVOD

### 1.1 Obecný úvod

K nejstarším a nejvíce používaným textilním materiálům patří vlna, len, bavlna a přírodní hedvábí, které tvoří tzv. klasické materiály pro výrobu textilií. Ve světě je v poslední době o tento materiál zvýšený zájem. Syrská arabská republika věnuje pozornost bavlně, jejíž pěstování pokrývá asi 22 % celkové zemědělské produkce /1/. Zvyšování výnosu rozšiřováním další osevní plochy není možné vzhledem k potřebě půdy pro osazování potravinářskými typy plodin. Většina bavlny se zpracovává klasickými způsoby, kterými není možno zpracovat všechny druhy bavlněných vláken (t.j. vláken kratších délek a vláken odpadových). Naskýtá se zde možnost využít k tomu některou z technologií pro přípravu netkaných textilií. Výroba netkaných textilií je vysoce progresivním odvětvím textilního průmyslu a trvale se v celém světě rozvíjí. Vyznačuje se zejména značnými technickými i ekonomickými výhodami oproti klasickým technologiím. Přednosti spočívají především ve :

- zkrácení technologického cyklu výroby
- vysoké pracovní rychlosti a produktivity agregátů
- možnosti využití surovin, které nejsou jinak v textilním průmyslu zpracovatelné (krátká vlákna, odpady)
- rozšíření sortimentu výrobků se specifickými vlastnostmi
- snížení počtu obsluhujícího personálu
- vysoké produktivity práce
- nízkých výrobních nákladech

Například z hlediska produktivity práce došlo v bavlnářských přádelnách u mykacích strojů ke zvýšení z původní produkce 3 kg/h na 15 kg/h. U vlnářských mykacích strojů ze 20 kg/h na 50 - 80 kg/h a u speciálních pneumatických strojů a hydroformerů i na několik set kg/h. Dle statistiky porovnávající produktivitu je u výroby tkanin uváděna relativní produkce 1, u výroby netkaných textilií suchým způsobem 100 a u výroby netkaných textilií papírenským (mokrým) způsobem 10 000 /2/. Výsledky hledání nových vysoce produktivních způsobů výroby netkaných textilií jsou úspěšné zejména využitím poznatků chemie a fyziky hlavně v oblasti syntézy polymerů a jejich derivátů. Objevení termoplastických syntetických vláken a nových druhů syntetických pojiv otevřelo široký prostor pro rozvoj výroby pojených netkaných textilií /3/ a umožnilo efektivní využívání některých prvků klasických procesů předení (výroba rouna, mykání) i procesů tvoření oček na pletacích a šicích strojích vyvinout technologii mechanicky vázaných t.j. proplétaných a vpichovaných netkaných textilií. Nejrychlejší růst a vývoj zaznamenává výroba netkaných textilií přímo z polymeru pod tryskou (Spunbonded). Kromě syntetických polymerů daří se v poslední době vyrábět netkané textilie přímo z polymeru na celulózové bázi, t.j. nikoli spřádáním z taveniny (v suchém stavu) ale i z roztoků. Významným se ukázal pokrok ve vývoji vpichování využitím tryskového vpichování paprsků vody nebo vzduchu /4/. Zajímavá je výroba, při níž se využívá botnavosti vláken k pojení. Výzkum autohezního pojení textilií zasluhuje větší pozornost, než mu byl dosud



věnován, neboť jsou zde nabízeny možnosti regulovatelné distribuce vazných míst bez zanášení dalšího pojiva. Studium botnění celulóзовých vláken v alkalických roztocích a roztocích solí kovů chce přispět k poznání a využití autohezních vlastností bavlny k výrobě netkaných textilií.

## 1.2 Využití botnavosti vláken k pojení

Polymery v určitém stavu zbotnění mají autohezní vlastnosti, kterých je možno využít pro výrobu netkaných textilií. Příkladem je botnění celulóзовých vláken a vláken z regenerované celulózy ve vodě, roztocích alkálií a roztocích některých solí zejména dvojmocných a trojmocných kovů, dále esterů celulózy v parách organických rozpouštědel a polyamidů v roztocích některých solí /4/. Je chráněna /5/ výroba textilií z vláken nerozpustných ve vodě, které jsou pokryty částicemi polymeru, který se po navlhčení stává adhezivním. Částice některých polymerů ve vodě nabotnají a vytvoří gel obsahující velké množství vody. Takto se dá zpracovat například celulóзовý materiál působením alkalického křemičitanu (vodního skla). Pojený materiál /6/ je vyráběn například z vláken derivátů celulózy botnajících ve vodě. Technologie "EISENHUT" používá vlákna z regenerované celulózy, ze kterých se připraví lehká rouna o hmotnosti asi  $0,030 - 0,050 \text{ kg/m}^2$ , tato se zpracují v roztoku asi 7 % hydroxidu sodného a ihned se dále přivádějí do zředěného roztoku kyseliny sírové, kde nastává autohezní spojení vláken a neutralizace /9/. Příměsí 5-50 % botnavých celulóзовých vláken z esterifikované celulózy, zvláště hydroxietylcelulózy /10/ se dosahuje zpevnění vláken-

ného pramene nebo pásku. Vlákno se mísí buď se základními nepojivými vlákny, nebo se vrství. Propojení se dosahuje vlivem vody nebo páry za určitého tlaku. Starší způsob výroby pojených textilií /11/ chrání postup, kdy se rouno vede mezi dvojicí válců, z nichž jeden je opatřen razíci výčnělkou, kterými se přenáší rozpouštědlo na rouno a zároveň elisuje tlakem. Tím se zamezuje migraci rozpustidla a vytváří propojení ve vzoru. Výhodné je, aby druhý hladký válec byl vyhříván na teplotu  $90^{\circ}\text{C}$ . Pro výrobu netkaných textilií se doporučuje několik typů pojivých vláken na bázi celulózy, která jsou schopna vytvářet mezi molekulami vodíkové můstky /12/.

S využitím botnavosti souvisí i údaje pojednávající o rychlé mercerizaci alkaliceululózy /7/. Alkaliceululóza se mercerizuje při vystavení radiofrekvenčnímu působení po dobu, která vyvolá depolymerace na potřebný stupeň t.j. asi ze 700 - 1000 na 300 - 400. Zbotnění je možné vyvolat u celulóзовých vláken nejen alkalickými hydroxidy, ale též amoniakem /8/.

### 1.3 Použití bavlněných vláken k výrobě netkaných textilií

Vláknou vrstvu (pavučinu, rouno) lze z bavlněných vláken připravit mechanicky, pneumaticky a hydrodynamicky. Získané rouno se zpevňuje jednak mechanicky t.j. proplétáním soustavou nití nebo vlastním vláknem /13/. Technologie vpichování není pro zpevňování bavlněných vláken vhodná. Kromě mechanických způsobů zpevňování se používá chemických způsobů, které využívají adheziva (pojiva). Nanesení adheziva se



provádí zejména těmito způsoby :

- impregnací rovinou disperzemi a roztoky pojiv, případně zpěněným pojivem
- stříkáním pojiva
- vzorovým nanášením pojiva
- mokrým způsobem t.j. že pojivo je aplikováno do zředěné suspenze vláken před naplavováním (papír. způsob)
- pojením termoplastickými pojivy v tuhé formě (t.j. práškovými polymery, vlákny, nitěmi, foliemi, mřížkami) lisováním za tepla
- pojením při němž se využívá autohezních vlastností vláken po jejich nabotnění ve vhodném rozpouštědle nebo roztoku. Pro vlákna celulózová nebo pro vlákna z regenerované celulózy se používají roztoky alkálií zejména NaOH a soli (například  $ZnCl_2$ ).

Sortiment netkaných textilií z bavlněných vláken zpevnovaných mechanicky je vyráběn zejména na strojích Arachne nebo Mali. Získané proplety jsou zařazovány převážně do technických textilií jako například vložkové materiály do pryžové a kožené obuvi, jako obaloviny apod. Postupně je sortiment rozšiřován na výrobky jako ručníky, teplá prostěradla (flanely), ubrusy, žinky, plážové oblečení. Bavlněné textilie pojené adhezně jsou používány jako mezipodšívky do kožené obuvi a dále jako výrobky pro jednorázové použití /14/ t.j. jako textilie k aplikaci pro hygienické účely a ve zdravotnictví. Tento typ pojených textilií zaujímá čelné místo ve světové spotřebě. Patří sem obalové textilie, plenkoviny různých druhů a konstrukcí, dámské hygienické vložky a tam-

pony. Další skupinu tvoří lůžkoviny pro jedno použití, příkrývky, prádlo, utěrky, ubrousky, dále ochranné pracovní obleky. Ve zdravotnictví mají pojené textilie z hydrofilních vláken důležité místo jak z hlediska ekonomického tak i funkčního. Vedle různých druhů obvazových materiálů jsou to rozličné druhy tamponů a obkladů. Dále textilie pro obleky, čepičky, roušky, zástěry a pláště k jednomu použití na operačních sálech, septických odděleních i oděvů pro pacienty, sterilní povlaky a příkrývky. Výrobky obsahující bavlněná vlákna jsou měkké, mají dobrou splývavost, jsou jemné, lehce přijímají vlhkost a po navlhčení neztrácejí pevnost. I když jsou známy tyto přednosti, podíl bavlněných vláken z celkového objemu vyráběných pojených textilií klesá. Je to dáno tím, že používané technologie založené na impregnaci rouna disperzemi pojiv dávají poměrně tuhé plošné textilie s horšími deformačními vlastnostmi. Uplatnění samotné bavlny je omezoвано i tím, že v poslední době jsou využívána modifikovaná celulózová vlákna, jejichž sorpční vlastnosti převyšují sorpční vlastnosti bavlny. Využitím technologie, kdy se do soustavy vlákenného rouna nezavádí další druh pojiva, vede k výrobkům se zlepšenými deformačními vlastnostmi. Proto je stále nutné hledat vhodné možnosti využití bavlněných vláken pro přípravu pojených textilií.

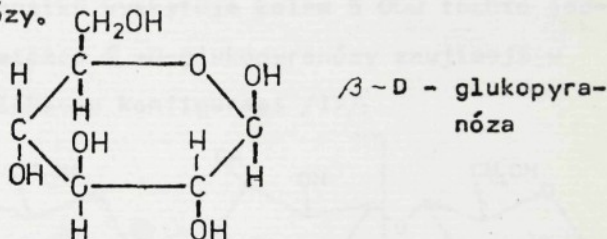


## 2 TEORETICKÁ ČÁST

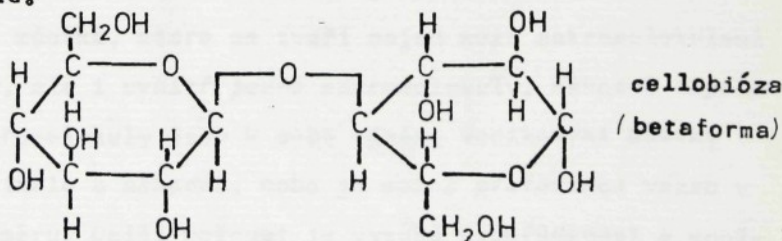
### 2.1 Základní vlastnosti bavlny

#### 2.1.1 Složení bavlny

Bavlna vzhledem k jejím vhodným mechanickým vlastnostem, odolnosti proti zředěným chemickým činidlům a příjemným fyziologickým projevům patří k nejvýznamnějším textilním vláknům. Základní jednotkou bavlny je polysacharid celulóza, kterého obsahuje více než 90 %. Celulóza je tvořena lineárními molekulami polysacharidu. Jde o buněčnou stěnu, která je tvořena fermentativním působením enzymů. Ty postupně navazují molekuly  $\beta$ -D-glukopyranózy za rostoucí makromolekulu celulózy.



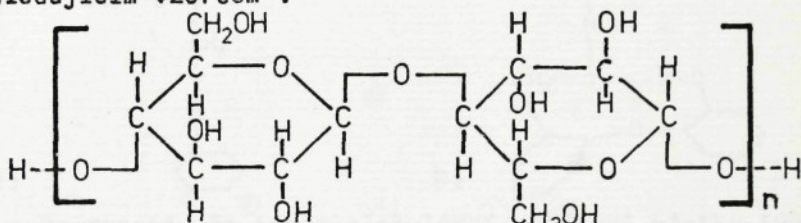
Spojováním  $\beta$ -D-glukopyranózových jednotek vzniká nejprve disacharid (cellobióza), dále trisacharid, tetrasacharid atd.



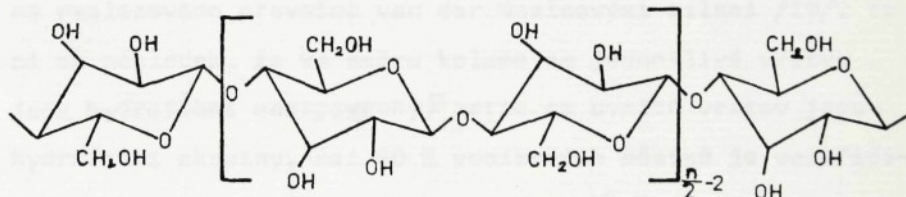
Navázáním několika tisíc  $\beta$ -D-glukopyranózových jednotek vzniká makromolekula celulózy. Délka makromolekuly se vyja-



dřuje pomocí polymeračního stupně a dosahuje hodnoty u lnu až 36 000, bavlny 10 800, sulf. celulózy 2 000 - 3 000 a u viskózy 460 /15/. Při sledování postupné hydrolýzy metylované celulózy v chloroformovém roztoku HBr, bylo stanoveno, že základní jednotkou celulózy je cellobiůza /16/ kondenzační produkt  $\beta$ -D-glukopyranózy. Struktura řetězce celulózy (resp. jeden cellobiůzový zbytek) je schematicky znázorněna následujícím vzorcem :



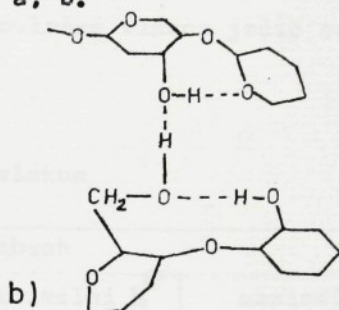
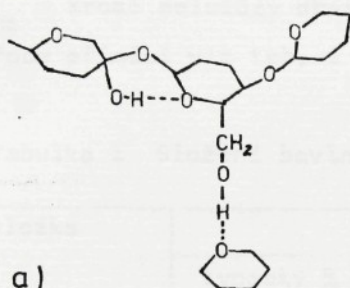
Periodita identity cellobiůzy je 1,03 nm a v jednom řetězci se dle nových poznatků vyskytuje kolem 5 000 těchto jednotek. Jednotlivé řetězce  $\beta$ -D-glukopyranózy zaujímají v celulóze pouze židličkovou konfiguraci /17/:



Tvorba shluků makromolekul je podmíněna existencí vodíkových můstků, které se tvoří nejen mezi makromolekulami celulózy, ale i uvnitř jedné makromolekuly. Náhodně uspořádané makromolekuly jsou k sobě vázány vodíkovými můstky buď ojediněle a náhodně, nebo je možná preference vazeb v jednom směru. Další možnost je vysoká uspořádanost a množství vodíkových můstků po celé délce makromolekuly. Tak se tvoří vysoce orientované, uspořádané (krystal.) oblasti i

oblasti amorfni a samozřejmě i oblasti na rozhraní těchto mezních možností. Hydroxylové skupiny mohou tvořit sítí různých intra- a intermolekulárních vodíkových můstků, které mohou být zprostředkovány i molekulou vody /18/.

Možné typy vazeb vodíkovými můstky jsou schematicky znázorněny strukturními vzorci a, b.



Je patrné, že intermolekulární vodíkové můstky tvoří především primární hydroxylové skupiny. To vede ke vzniku plošné struktury (vrstvy) propojené vodíkovými můstky. Tyto vrstvy jsou kladeny na sebe a jejich spojení je pravděpodobně realizováno převážně van der Waalsovými silami /19/. To má za následek, že ve směru kolmém na jednotlivé vrstvy jsou hydrofóbní mezipovrchy, zatím co uvnitř vrstev jsou hydrofilní skupiny. Asi 60 % vodíkových můstků je uspořádáno v oblastech nepřístupných pro  $H_2O$ . Zbýlých 40 % je v méně uspořádaných oblastech snadno přístupných pro  $H_2O$ . Polovina z těchto vodíkových můstků však připadá na hydroxylové skupiny umístěné na povrchu fibril /20/. Inter- a intramolekulární mezifibrilární vodíkové můstky je možno porušit například v kapalném čpavku, který tvoří s OH skupinami celulóзовých řetězců vodíkové můstky typu  $-OH---N$ , které jsou pevnější než původní vodíkové můstky typu  $-OH---O$  /21/.

Porušování všech typů vodíkových vazeb se děje též při rozpouštění celulózy v klasických rozpouštědlech (Cuoxam) respektive v novějších rozpouštědlech (Cooxam, Zinkoxam, Nio-xam, Cadoxam tj. komplexy kovů s etyléndiaminem, které jsou rozpustné ve vodě).

Kromě celulózy obsahuje bavlněné vlákno ještě celou řadu příměsí viz tab. 1 /15/.

Tabulka 1 Složení bavlněného vlákna

| složka             | obsah     |             |             |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|
|                    | typický % | minimální % | maximální % |
| celulóza           | 94,0      | 88,0        | 96,0        |
| proteiny           | 1,3       | 1,1         | 1,9         |
| pektiny            | 0,9       | 0,7         | 1,2         |
| vosky              | 0,6       | 0,3         | 1,0         |
| organ.<br>kyseliny | 0,8       | 0,5         | 1,0         |
| minerální<br>soli  | 1,2       | 0,7         | 1,6         |
| cukry              | 0,3       | -           | -           |
| ostatní            | 0,9       | -           | -           |

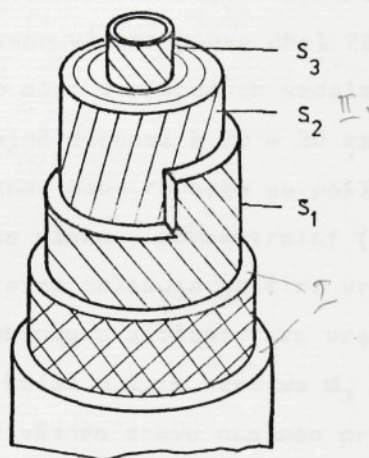
Po vyvábce a bělení obsahuje bavlněné vlákno až 99 % celulózy. Nižší obsah celulózy ve vláknech ukazuje, že jsou přítomna nezralá, případně mrtvá vlákna z čehož lze usoudit, že bavlna byla napadena některou z chorob.



### 2.1.2 Morfologie bavlněného vlákna

Zralé bavlněné vlákno má v tobolce před prvním usuše-  
ním tvar válce skládajícího se z několika vrstev viz obr.

1.



Obr. 1 Struktura bavlněného vlákna

Na povrchu vláken je kutikula, která se skládá z vos-  
ků, pektinů a proteinů. Pod ní je tzv. primární stěna,  
která obsahuje křížem umístěné fibrily tvořící fibrilární  
svazky, které svírají s osou vlákna téměř pravý úhel /22/.  
Tloušťka primární stěny je kolem  $0,1 - 0,2 \mu m$ . Kutikula  
tvoří spolu s primární stěnou vnější membránu bavlněného  
vlákna. Sekundární stěna nacházející se pod primární stě-  
nou tvoří základní část (asi 95 % celého vlákna). Tato stě-  
na se skládá ze 3 základních částí. Těsně pod primární  
stěnou je tenká ( $0,1 \mu m$ ) první vrstva  $S_1$ , která je tvoře-  
na spirálami ze svazku fibril (o šíři asi 40 nm). /23/  
svírajících s osou vlákna úhel kolem  $35^\circ$ . Vrstva  $S_1$  je mé-

ně uspořádaná než centrální vrstva  $S_2$  o tloušťce asi  $14\mu\text{m}$ . Vrstva  $S_2$  je tvořena mnoha koncentrickými fibrilárními mezivrstvami /19/ vznikajícími v důsledku kolísání denních a nočních teplot. Makrofibrily (o průměru kolem 100 nm) v jednotlivých mezivrstvách jsou opět spirálovitě uloženy, ale svírají s osou vlákna pouze úhel  $23^\circ$  /19/. Směr spirál ve vrstvě  $S_2$  se mění v náhodných vzdálenostech (tzv. bodech reverze). Obvykle dochází k 20 - 30 změnám směru spirál na 1 cm délky vlákna. Body reverze se pokládají za nejslabší místa bavlněného vlákna. Od centrální ( $S_2$ ) vrstvy sekundární stěny se výrazně odlišuje vnitřní vrstva  $S_3$ . Ta má zřejmě stejnou strukturu a složení jako vrstva  $S_1$ . Její tloušťka se pohybuje kolem  $0,1\mu\text{m}$ . Vrstva  $S_3$  ohraničuje lumen, který je v nevysušeném stavu naplněn protoplazmou a celulárním roztokem /24/. Elektronovým mikroskopem bylo zjištěno, že se sekundární stěna skládá nejméně ze 7 strukturních jednotek - lamel, svazků fibril, neznámé mezivrstvy, základních fibril, dermatosonů, krystalických micel a makromolekul /25/.

### 2.1.3 Sorpční vlastnosti

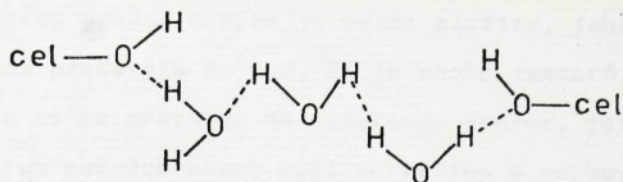
Za určitých podmínek jsou vlákna schopna sorbovat určité množství různých látek, par, kapalin i roztoků. Základním předpokladem uskutečnění sorpce je existence sorpčních center ve vláknech, která jsou schopna vázat dané látky. Podstatou existence center jsou atomy s dostatečně velkou volnou energií, které se vyskytují nejčastěji na vnitřním a venkovním povrchu vláken. Velmi často sorpční centra tvo-



ří funkční skupiny přítomné ve vláknech, schopné interakce s různými látkami. Především jde o sorpci vodní páry, která se v praxi označuje jako vlhkost vláken. Kromě sledování vlhkosti vláken je důležité pozorovat též sorpci vody z kapalného prostředí. Vyjadřuje se nejčastěji jako schopnost zadržovat vodu. Obvykle při ní vznikají vedlejší reakce. Vzhledem k čistícím procesům je významná sorpce organických rozpouštědel, zředěných alkálií a detergentů. Vliv existence funkčních skupin interakce se sorbovanými látkami, stejně jako jejich nepřítomnost ve vláknech je možno relativně dobře interpretovat na sorpci vody nebo vodních par vláken. Vlákná, která mají hydrofilní skupiny sorbují vodu v podstatě větší míře než vlákna ve kterých se tyto skupiny nevyskytují /26/. Celulózová vlákna jejichž molekula celulózy obsahuje tři hydroxilové skupiny, připadající na každou glukózovou jednotku, mohou vodíkovými vazbami vázat na každé hydroxilové skupině molekulu vody.

Ne všechny hydroxilové skupiny však mají dostatečně velkou volnou energii, aby vázaly vodu. Obvykle ty OH skupiny, které tvoří vodíkové vazby navzájem mezi jednotlivými řetězci, zejména v krystalických oblastech celulózy, nebo v amorfních oblastech, kde jednotlivé fáze mohou tvořit vzájemným propletením síť, jsou vzhledem k sorpci vlhkosti inaktivní. V případě sorpce vody z kapalného prostředí je sorpce vyšší. To je možné za předpokladu, že na jedno aktivní centrum se může sorbovat větší počet molekul vody, ale celulóza se ve vodě nerozpouští.





Obr. 2 Molekuly vody vázané vodíkovými můstky přímo na OH skupiny a další molekuly vody vázané na vodu z první vrstvy

Vlhkost jednotlivých vláken, stejně jako schopnost zadržovat vodu, která se označuje jako nabotnění je uvedena v tabulce 2 /15/.

Tabulka 2 Vlhkost a nabotnění vláken

| Vlákno                  | A       | B     | C      |
|-------------------------|---------|-------|--------|
| Bavlna                  | 7       | 24-27 | 45     |
| Vlna                    | 9       | 22    | 42     |
| Přír. hedvábí           | 9       | 20    | -      |
| Viskozové hedvábí       | 13      | -     | 95-120 |
| 2,5 Acetátové           | 6,5     | 14    | 20- 25 |
| Polyamidové 6           | 4-4,5   | 8-8,5 | -      |
| Polyetyltetereftalátové | 0,3-0,4 | 0,5   | 3-5    |
| Polypropylenové         | -       | <0,01 | -      |
| Polyakrylonitrilové     | ~1      | -     | 4,5-6  |
| Polyvinylalkoholové     | 3,4     | -     | 25     |
| Polyvinylchloridové     | 0,1     | <1    | -      |

A - vlhkost vláken při 65% relativní vlhkosti a 20°C v %

B - vlhkost vláken při 95% relativní vlhkosti a 25°C v %

C - nabotnění vláken v %

Samotný proces sorpce je velmi složitý, jeho složitost se zakládá především na tom, že je mnoho faktorů, které mají vliv a to se zřetelím na existenci center, jejich dostupnost, druh možných vazeb mezi sorbentem a sorbovanou látkou, vedlejší reakce, které se uskutečňují při sorpci, stejně jako podmínky při kterých se sorpce uskutečňuje. Počet přímo  $C_a$  a nepřímo  $C_b$  sorbovaných molekul vody, které připadají na jedno absorpční místo, možno určit ze vztahu:

$$C_a = 1 - e^{-C_c} \quad C_b = C_c - 1 + e^{-C_c}$$

kde  $C_c$  je celkový počet molekul vody připadající na absorpční místo. Pro závislost mezi relativní vlhkostí a absorpcí vlhkosti možno odvodit vztah /15/:

$$1 - \frac{p}{p_0} = 1 - KC_a / e^{-BC_b}$$

kde K a B jsou konstanty

p - tlak par

$p_0$  - tlak nasycených par

Experimentálně získané výsledky při zkoumání sorpce vody bavlnou se dobře shodují s uvedenou teorií.

Doprovodným jevem sorpce je botnání vláken. Ve většině případů je přímoúměrná množství sorbované vody, čehož se někdy využívá ke zkoumání kinetiky sorpce. Botnáním se nejčastěji označují změny rozměrů vláken vlivem sorpce nebo jiných látek. Stupeň botnání S se všeobecně vyjadřuje poměrem změny určité rozměrové veličiny k původní veličině:

$$S = \frac{\Delta x}{x}$$

kde x může být průměr d, plocha průřezu A, když jde o botnání

v příčném směru ( $S_d$ ,  $S_a$ ) délka  $l$  pro botnání v podélném směru  $S_1$ , objem  $V$  pro objemové botnání  $S_v$ .

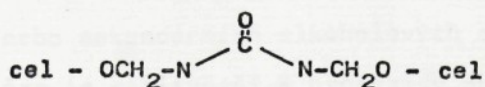
Jinou kvantitativní mírou botnání může být poměr botnání v příčném a podélném směru  $K = S_d/S_1$ , čím lze vyjádřit anizotropii botnání. Ta je závislá na orientaci makromolekul, která se může ve vláknech měnit.

#### 2.1.4 Chemické vlastnosti

Z chemického hlediska je u celulózy nejdůležitější přítomnost dvou sekundárních a jedné primární hydroxylové skupiny v jednom  $\beta$ -D-glukopyranózovém zbytku. Tyto skupiny umožňují tvorbu značného počtu chemických reakcí například zesíťení, esterifikaci, éterifikaci apod. Na podkladě chemické reaktivity bylo zjištěno, že nejvíce přístupná je hydroxilová skupina na uhlíku  $C_2$  /27/ avšak měřením pomocí NMR metod bylo nalezeno, že reaktivita -OH skupin u jednotlivých uhlíků následuje v tomto pořadí  $C_6 \gg C_2 > C_3$  /18/. Při vlastních chemických reakcích záleží však do značné míry na typu reaktanta (např. při metylaci jsou reaktivnější sekundární -OH skupiny /28/. Síťování vyžaduje vazbu síťovacího prostředku s -OH skupinami celulózy, ať už se jedná o kovalentní vazbu, nebo jiný typ vazby. Tvorbu kovalentních vazeb síťovacích prostředků s celulózou dokázal Wagner a Pascu metylolací celulózy upravené formaldehydem /29/. Běžné síťovací prostředky jsou adiční sloučeniny derivátů močoviny, cyklických močovín, karbamátů, amidů kyselin aj. s formaldehydem. Představují poliacetaly, jejichž vazba N-C má nižší pevnost než je tomu u stejné vazby v al-



kylaminech. Ve vodných roztocích dochází k zpětné disociaci síťovacího prostředku na výchozí složky, proto probíhají vedle žádoucího zesítnění

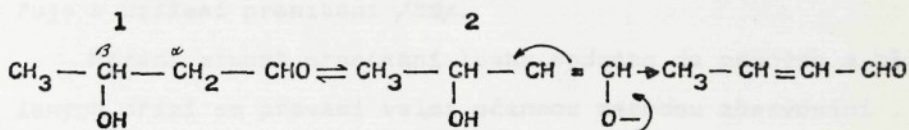


ještě další reakce, především zesítnění celulózy formaldehydem a tvorba pryskyřičných polymerů. Závisí to na konstituci, reaktivitě, hydrolytické stabilitě, rovnovážné konstantě, koncentraci síťovacích prostředků, teplotě lázně, množství a druhu použitého katalyzátoru a na kondenzačních podmínkách. Uvedenými vztahy se podrobněji zabýval Petersen /30, 31, 32/. Kinetiku reakce etylenmočovinyových derivátů s bavlněnou celulózou studoval Gonzales /33, 34/. Dle výsledků elektronové mikroskopie /35, 36/ a roentgenogramů /37/ k síťování dochází v méně uspořádaných oblastech mezi krystalitami a na jejich povrchu. Za nejúčinnější příčnou vazbu je považována metylenová skupina síťování formaldehydem /38/

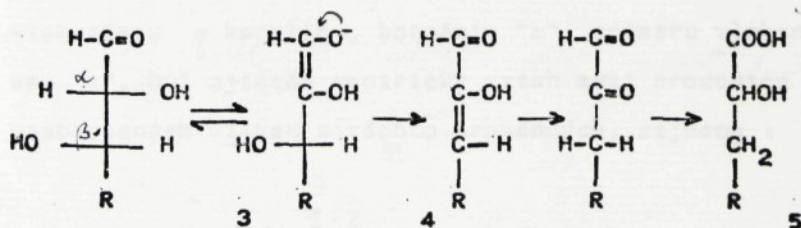
#### 2.1.4.1 Účinek NaOH na celulózu

Alkalická degradace celulózy a modifikovaná celulóza jsou důležité na textilním poli, např. zrání celulózy sodou nebo rozvlákňování horkým hydroxidem sodným /39/. Celulóza je horkým hydroxidem sodným napadána pomalu a vznikající ztráta na hmotnosti je závislá na počtu přítomných aldehydických skupin. To napovídá, že rozrušování nastává postupně z redukovaného konce řetězce celulózy. Stabilita vůči hydroxidu Na může být dosažena oxidací aldehydových skupin.

karboxylem, redukcí alkoholem nebo blokováním vytvářením metylglykosidu. Na druhé straně chemické rozrušování vedoucí k zvyšování počtu karboxylových skupin (oxidace primárních nebo sekundárních alkoholových skupin) je příčinou, že celulóza je citlivější k hydroxidu sodnému. Studování rozrušování hydrocelulózy, oxixelulózy, modelových sloučenin jodistanem oxidované celulózy prokázaly, že mimo mnoha složitých možností, má reakce vyvíjející eliminaci alkoxylové skupiny určující úlohu. Způsob provedení může být demonstrován s odvoláním na konverzi aldolu na krotynyl aldehyd. Aldol je  $\beta$  hydroxyaldehyd, který se v přítomnosti hydroxidu sodného přeměňuje na krotinaldehyd. První krok vyvolává vytvoření endiolu, který je pravděpodobně v ionizované podobě v přítomnosti hydroxidu sodného, tzn. :



Iont je příčinou náboje akumulovaného na  $\beta$  atomu, jak je naznačeno šípkami.  $\beta$  hydroxylová skupina je z tohoto důvodu nestálá a ruší se. Když toto nastane, dvojná vazba se posune k  $\alpha$  a  $\beta$  atomům uhlíku, které dávají krotinaldehyd.





Sloučenina -3 se potom přemění na diketon -4. Tento diketon je schopen podstoupit znovuospořádání kyselinou benzilovou (difenylylglykolovou) na kyselinu metasacharinovou -5. Metasacharinová kyselina byla identifikována v hydrolytických produktech hydrocelulóz, původně zpracovávaných v zásaditém prostředí, pokud nenastala další reakce /39/.

#### 2.1.4.2 Pronikání hydroxidu sodného do bavlněného vlákna

Dosažení dokonalé mercerace vyžaduje dobré pronikání. Teoretický rozbor rychlosti mercerace je obtížný vzhledem ke komplexní geometrii vláken a výrobků, dále vzhledem k tomu, že botnání vnějších vláken (nebo povrchových vláken), které jsou v bezprostředním styku s louhovou kapalinou směřuje k ztížení pronikání /39/.

Měření stupně pronikání louhu sodného do praných a bělených přízí se provádí velmi účinnou metodou zbarvování jednotlivých vláken jódovými přípravky a počítáním zbarvených a nezbarvených vláken. Při těchto pokusech jsou zbarvená vlákna mercerovaná. Pronikání probíhá snadněji u přízí, které nejsou pod tahem v průběhu mercerace. Jestliže jsou příze zpracovávány za tahu (napětí), který přesahuje určitý rozsah koncentrace a času, je pronikání ovlivněno viskozitou  $\eta$  kapaliny, botnáním "z", průměru vláken a časem "t". Byl zjištěn empirický vztah mezi procentem "p" nezbarvených vláken a těchto proměnných, zejména :

$$p \sim \frac{\eta \cdot z}{t - 1}$$

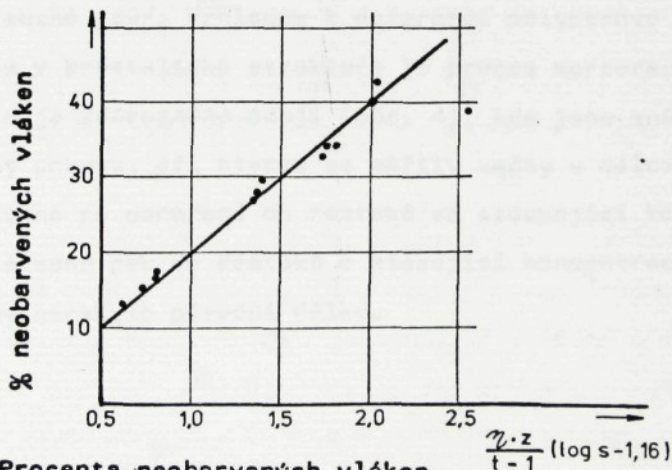


Mercerace byla také studována jako funkce napětí v tahu, když bylo zjištěno, že "p" se mění lineárně s logaritmem napětí (vyjádřeného v gramech na nit). Tento výsledek byl zkombinován s předchozí rovnicí pomocí rozsahu koncentrace kapaliny větší než 15 %, ale menší než 24 % hydroxidu sodného (W/W) do této rovnice : /39/

$$p \sim 20 \frac{\eta \cdot z^2}{t-1} / \log s - 1,16/$$

Rovnice je zajímavá proto, že vyjadřuje závislost pronikání na viskozitě  $\eta$  a botnání "z", přičemž oboje klesá s teplotou. Mercerace bude tedy rychlejší se vzrůstající teplotou /39/.

Tento rozbor má určitý přínos pro praktický poznatek, že mercerace tvrdě skaných přizí a kordů je obvykle nepraktická vzhledem k nedostatečnému pronikání hydroxidu sodného a jeho následné obtížné odstraňování mytím. Pro zlepšení pronikání v praxi lze doporučit umožnění určité srážlivosti na počátku mercerace a použití vyšší koncentrace hydroxidů při poněkud vyšších teplotách.

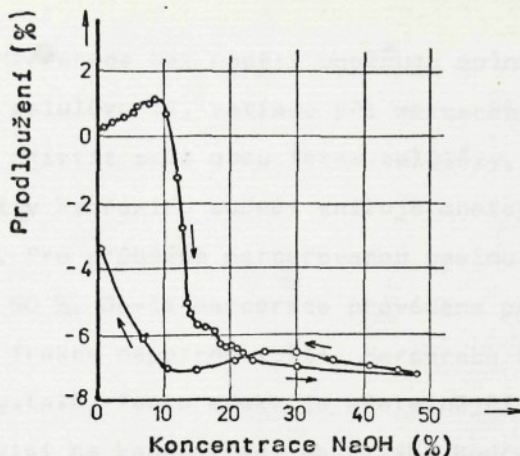


Obr. 3 Procenta neobarvených vláken

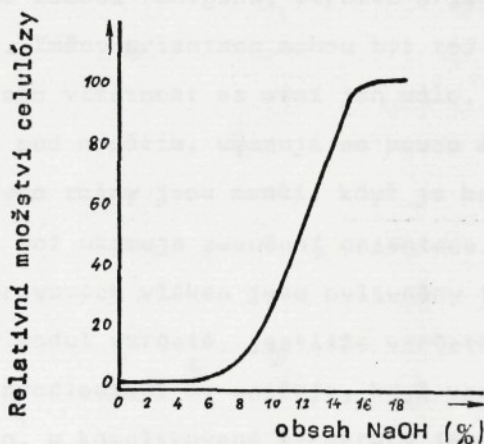
K úspěšnému průniku musí být vlákno rychle a rovnoměrně smočeno roztokem hydroxidu sodného. Pronikání hydroxidu může být někdy obtížné. K překonání tohoto nedostatku je k dispozici celá řada smáčedel, která mohou být přidána do mercerační kapaliny. Požadované množství smáčedla se pohybuje v rozmezí 0,5 - 1 %. Smáčedla jsou starostlivě vybírána, protože musí být rozpustná a stálá v silném roztoku hydroxidu. Jako uspokojivé a levné se ukázaly krezoly, mohou být však také použity určité organické fosfáty. V ČSSR se pro urychlení smáčení roztoky NaOH při mercerizaci používají SPOLMERCIT S na podkladě krezolu a SPOLMERCIT BP na podkladě sulfátovaného alkoholu a organických rozpouštědel.

#### 2.1.4.3 Modifikace struktury celulózy vlivem působení NaOH

Vzhledem k vysoké afinitě je hydroxid sodný schopen proniknout nejen do amorfních oblastí, ale i do krystalických oblastí. Během tohoto procesu mezifetězcové síly slábnou a pevnost materiálu klesá, ale to se objeví až když je vlákno suché /39/. Vzhledem k deformaci polymerové sítě a změnám v krystalické struktuře je proces mercerace nevratný. Toto je zdůrazněno údaji (obr. 4), kde jsou znázorněny výsledky pokusu, při kterém se měřily změny v délce bavlněného vlákna po ponoření do roztoků se stoupající koncentrací a následně pak do roztoků o klesající koncentraci. Vlákno nikdy nenabýlo původní délku.



Obr. 4 Změny v délce bavlněných vláken při zpracování v serii roztoků hydroxidu sodného



Obr. 5 Změny v množství celulózy II vytvořené v bavlněném odpadu, vyjádřené jako funkce koncentrace hydroxidu sodného

Zkouškou paprsky X přírodní a mercerované bavlny bylo zjištěno, že změny v krystalické struktuře nastávají, přičemž původní celulóza I se mění na celulózu II v úplně mercerovaném vlákně. Pro bavlněné tobolky je pro představu rozsah tohoto jevu znázorněn jako funkce koncentrace na obr. 5. Rozsah, ve kterém se tvoří celulóza II je závislý na napětí v průběhu



mercerace. Mercerace bez napětí umožňuje úplnou konverzi celulózy I na celulózu II, zatímco při merceraci s napětím (tahem) lze zjistit směs obou forem celulózy.

Botnání v hydroxidu sodném snižuje množství krystalického podílu. Pro průběžně mercerovanou bavlnu je velká změna od 70 do 50 %. Je-li mercerace prováděna pod napětím, je krystalické frakce nepatrně vyšší. Mercerace také ovlivňuje velikost krystalů. Tento efekt je zřetelnější u dřevěné buničiny a závisí na koncentraci použitého hydroxidu.

Orientace krystalických oblastí se botnáním mění. Jak je stanoveno pomocí rentgenu, vzrůstá orientační faktor s napínáním. Změny orientace mohou být též vyjádřeny měřením dvojlomu. Tato vlastnost se mění jen málo. Když je bavlna mercerována pod napětím, ukazují se pouze malé změny v orientaci, ale tyto změny jsou menší, když je bavlna mercerována bez napětí, což ukazuje zmenšení orientace. Fyzikální vlastnosti mercerovaných vláken jsou ovlivněny faktorem orientace. Youngův modul vzrůstá, jestliže vzrůstá orientace. Naproti tomu prodloužení se snižuje, když vzrůstá orientace /39/. Přesto, u komplikované struktury jako je bavlna vlastnosti zbotnaného materiálu nejsou závislé výlučně na změnách krystalizace a orientace. Mercerace, a to jak volná tak pod napětím zvyšuje stejnoměrnost pevnosti po délce vlákna. Toto je přičítáno zvýšení pevnosti v nejslabším bodě vlákna. Větší stejnoměrnost je odvozena ze snížení koeficientu změn pevnosti a průtahu jednotlivých vláken. Mercerace zvyšuje pevnost v tahu u vláken vyloučením slabých míst /39/.

Již bylo uvedeno, že mechanické vlastnosti bavlny mají do jisté míry původ ve "spirálovité" struktuře. Jestliže je bavlna subjektem zatížení, dovoluje vinutí fibril prodloužení vláknů podobně jako u vinuté pružiny. V takové struktuře jako má bavlna, umožňuje určité rozkroucení, tj. obrácení směru ve spirálách. Navíc vlhká vlákna lze rozkroutit ve větším rozsahu než suchá vlákna, což přispívá k většímu prodloužení a jelikož jsou fibrily více seřazeny, je pevnost mokrých vláken větší. Je možné, že vlhkost působí jako "mazadlo" na povrchu fibril ve vzrůstových vrstvách. Fibrily se pak mohou relativně snadněji pohybovat jedna k druhé. Tento závěr je potvrzen skutečností, že prodloužení je největší a pevnost nejnižší u bavln s vysokým (strmým) úhlem zakroucení. sk. V a V S

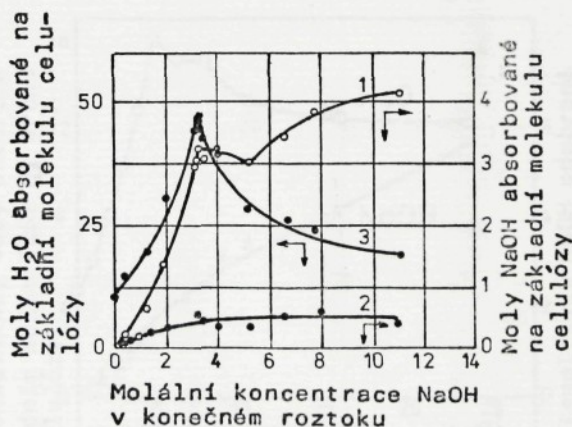
V mercerované celulóze lze očekávat dezorganizaci krystalické orientace v lokálním směru fibril. Redukce krystalického seřazení zejména v úhlu zakroucení je evidentní a musí být důsledkem určitého rozkroucení. Volná mercerace rovněž snižuje orientaci, jak je dokázáno pomocí dvojlohu /39/.

Vlákna (všeobecně) včetně bavlny jsou silnější, tužší a méně roztažitelná, čím více orientované jsou molekuly, přestože samotná orientace není příčinou rozdílů v pevnosti a roztažitelnosti jednotlivých druhů bavln. Tažné vlastnosti jsou ovlivněny např. počtem slabých článků, které mohou být u různých bavln různé.



#### 2.1.4.4 Botnání celulózy působením NaOH

Ponoříme-li celulózu do roztoku hydroxidu sodného, voda a hydroxid vniknou dovnitř a materiál botná. Přednostně je adsorbován hydroxid. Při měření příjmu vody a hydroxidu sodného deskami z celulózy, mohou být stanoveny křivky přijímání. Výsledky těchto pokusů jsou znázorněny na obr. 6. Z těchto údajů lze vidět, že množství adsorbovaného hydroxidu sodného (křivka 1) je mnohem větší než výsledek velmi rozsáhlého botnání a adsorbce vody v celulóze. Nejprůtažlivější teorií a jejíž pomocí lze vysvětlit botnání celulózy je zjištění, že hydroxylové skupiny v anhydridu glukózy se chovají jako slabé kyseliny a štěpí se nezávisle jedna na druhé. V alkalickém médiu budou štěpeny v rozsahu závislém na koncentraci hydroxidu sodného. Přítomností iontů v celu-



- Obr. 6, NaOH a H<sub>2</sub>O nasáklé deskou celulózy při 25°C  
(Nealova data, přepočítaná Bancroftem a Calkinem)  
1 - celkově nasáklý hydroxid sodný  
2 - přednostně nasáklý hydroxid sodný  
3 - nasáklá voda

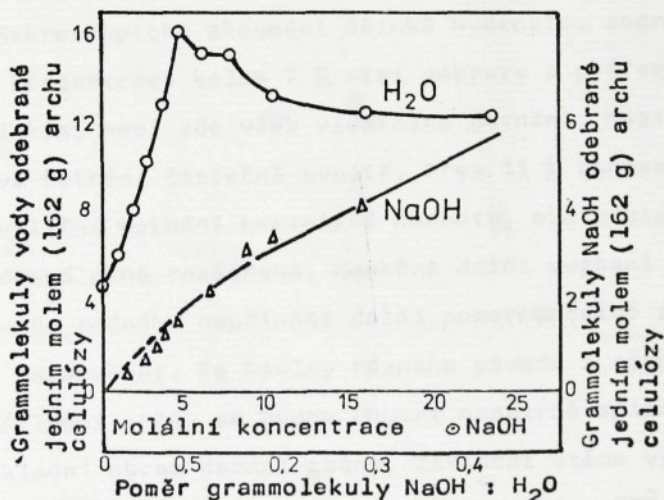


lůže dochází k osmotickému tlaku, který umožňuje vstup vodě, dokud není vyvážen elastickými silami nabíjených polymerů.

Jestliže je roztok hydroxidu nahražen vodou, neroztěpené hydroxylové skupiny se znovu zformují. Osmotické tlaky z tohoto důvodu odpadnou a zanechávají celulózu v původním chemickém stavu. Jestliže osmotický tlak byl dostatečně vysoký, zůstanou polymery trvale deformované.

#### 2.1.4.5 Botnání bavlněných vláken

Pro svoji vláknennou strukturu, která brání přesným měřením, není možný tak přesný postup jako u desky celulózy protože odebraná kapalina je obtížně odstranitelná. Chování je kvalitativně podobné, ale k maximu křivky botnání dochází při vyšší koncentraci hydroxidu sodného (obr. 7), /39/.



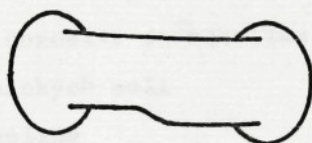
Obr. 7 Absorpce vody a NaOH bavlnou

Kromě toho je situace komplikovaná skutečností, že bavlna botná dovnitř a vyplňuje vnitřní část průřezu vláken, přičemž se průřez mění z tvaru bobu na eliptický dříve, než dojde k viditelnému zvětšení tloušťky. Jakákoli komplexní teorie o bavlně musí mít na zřeteli její botanickou strukturu a komplexní reakce na aplikované síly.

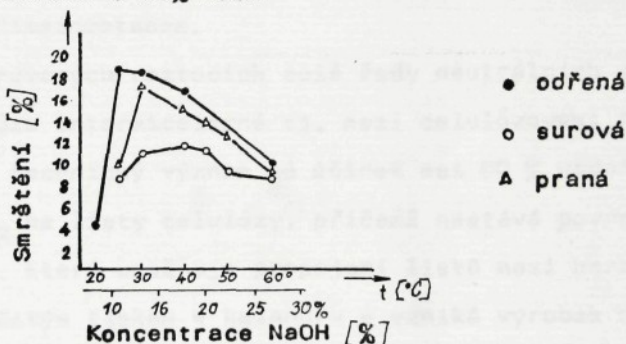
Botnání bavlněných vláken může být snadno pozorováno pod mikroskopem. Při ponoření do roztoku hydroxidu sodného se ploché, stužkovité vlákno kroutí a svíjí. Vnitřní část průřezu vlákna mizí spolu se závity a průřez se mění z tvaru bobu nebo ucha do kulatého tvaru s vnitřní částí, objevující se navíc jako úzká štěrbinu. Povrch vlákna se stává hladší a jednodušší, pouze při silném zvětšení mohou být vidět příčné vrásky a záhyby. Je-li botnání prováděno za nappětí, vlákno bude mít kruhový průřez, bude více podobné tyčince a bude mít hladší a lesklejší povrch.

Mikroskopické zkoumání účinků hydroxidu sodného ukazuje, že od koncentrace kolem 7 % mizí zákruty a průřez se stává eliptickým, není zde však viditelné botnání. Mezi 7 až 11 % nastává botnání částečně uvnitř. Přes 11 % koncentrace dosahuje vnitřní botnání maximální hodnoty, ale základní stěna není dosud plně rozšířena. Konečně další zvýšení koncentrace hydroxidu sodného nepřináší další pozorovatelné změny. Je nutné poznamenat, že bavlny různého původu s různou tloušťkou základní stěny se budou chovat nepatrně odlišně, aniž by základní obraz doznal změny. Základní stěna vláken se svými fibrilami, tvořícími spirálu pod úhlem  $70^{\circ}$  tvoří přecházku botnání. Zpracování bavlněných vláken hydroxidem sodným

neodstraňuje ani nezpůsobuje poškození základní stěny, pokud vlákna nebyla předem poškozena. Restrikce základní stěny může být demonstrována při zkoušce botnání ustřiženého kousku vlákna, kdy celulóza bude vyvěrat z obou konců. Toto je graficky znázorněno na obr. 8. Jestliže základní stěna je modifikována nebo zničena jakýmkoli způsobem, např. mechanickým oděrem smirkovým papírem nebo praním, srážlivost vláken vzrůstá, jak je vidět z obr. 9.



Obr. 8 Vyvěrávání celulózy z konců vlasového fragmentu, smočeného v 30% NaOH



Obr. 9 Volná srážlivost odřených, surových a praných vláken



#### 2.1.4.6 Rozpouštědla celulózy a účinek silných roztoků solí způsobujících její botnění

Rozpouštědlem celulózy je kapalina, která rozrušuje vodíkové vazby a nadmolekulovou strukturu celulózy a solvuje celulóзовou makromolekulu, případně se na uvolněné hydroxilové skupiny sama váže a tím vznikají molekulové sloučeniny. Celulóza při působení rozpouštědel nejprve nabotná a později vznikají koloidní roztoky. Celulóza se rozpouští v omezeném množství rozpouštědel, které dle chemického charakteru můžeme rozdělit do několika skupin :

- roztoky anorganických solí
- anorganické kyseliny
- organické amoniové zásady
- komplexní amoniové soli anorgan. hydroxidů a jejich analogy s 1,2-diaminoetanem.

V koncentrovaných roztocích celé řady neutrálních solí botná celulóza intermicelárně tj. mezi celulóзовými řetězci. Například technický význam má účinek asi 60 % vodného roztoku  $\text{ZnCl}_2$  na listy celulózy, přičemž nastává povrchová peptizace, která umožňuje propojení listů mezi horkými válci pod určitým tlakem v kalandru a vzniká výrobek nazývaný "vulkanfibr" /40/. Dochází ke snížení polymeračního stupně makromolekuly celulózy, což je způsobeno kyselou hydrolyzou vzniklých komplexních sloučenin zinku, které vytvořil  $\text{ZnCl}_2$  reakcí s vodou jako např.  $\text{ZnCl}_2 \cdot \text{OH} \cdot \text{H}$  nebo  $\text{ZnCl}_2 / \text{OH} / 2 \text{H}_2$  a též působením uvolňující se  $\text{HCl}$ . Podobně jako  $\text{ZnCl}_2$  působí na celulózu  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{TiCl}_4$ . Byl sledován účinek roztoků i dalších solí a byla zjištěna rozpustnost při zvý-

šené teplotě /41, 42/. Botnání celulózy se snižuje pro kationty v tomto pořadí :  $\text{Li} > \text{Na} > \text{K} > \text{Rb} > \text{Cs} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Sr} > \text{Ba}$ . Zvláště silně botnají tyto soli :  $\text{LiCNS}$ ,  $\text{LiJ}$ ,  $\text{KCNS}$ ,  $\text{KHgJ}_3$ ,  $\text{NaCNS}$ ,  $\text{K}_2\text{HgJ}_4$ . Pro anionty se snižuje botnání v pořadí :  $\text{CNS} > \text{J} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{F}$ . R.O. Herzog a F. Beck zjistili, že schopnost solí dispergovat celulózu závisí na hydrataci iontů soli a to na součtu hydratací obou iontů /43/. Celulóza s vysokým polymeračním stupněm (bavlněná celulóza) v uvedených rozpouštědlech nabotnává ale nerozpustí se. Celulóza je rozpustná v 70 až 100 % kyselině sírové, v kyselině chlorovodíkové o vyšší konc. než 42 % při zvýšeném tlaku a v 85 až 100 % kyselině fosforečné /44/. K této skupině rozpouštědel můžeme zařadit kysličník siřičitý /45/ a 50 až 60 % roztok  $\text{N}_2\text{O}_4$  v organických rozpouštědlech (nitroparafiny, estery) /46/. Byla zjištěna dobrá rozpustnost celulózy v N, N-dimetylformamidu a N,N-dimetylacetamidu s přidavkem  $\text{N}_2\text{O}_4$  a nitrosylchloridu /47/. Kapalný amoniak se při  $-35^\circ\text{C}$  chová podobně jako roztoky hydroxidu sodného a vytváří amóniumcelulózu /48/. Některé organické analogy amoniaku jako například tetraalkylamoniumhydroxidy  $[\text{R}_4\text{N}^+\text{HO}^-]$  celulózu nabotnávají a postupně rozpouští. Z komplexních amonných sloučenin je nejdůležitějším rozpouštědlem celulózy amohydroxid měďnatý  $[\text{Cu}/\text{NH}_3]_n/\text{OH}/_2$  nazývaný "Schweizerovým činidlem" nebo zkráceně "kuoxam", který vzniká účinkem amoniaku na hydroxid měďnatý, přičemž v roztoku se nachází většinou ve formě tetřakomplexu ( $n=4$ ). Zásada je stálá pouze v přebytku amoniaku  $[\text{Cu}/\text{NH}_3]_4/\text{OH}/_2 \rightleftharpoons \text{Cu}/\text{OH}/_2 + 4 \text{NH}_3$ .

Rozpouštěcí síla kuoxamu se silně mění s jeho složením.



Rozpouštěcí účinek souvisí s obsahem mědi v činidle. Koncen-  
trace vznikajícího roztoku celulózy v kuoxamu závisí též na  
druhu a předchozí úpravě celulózy, na jejím odbourání atmo-  
sférickým kyslíkem a na poměru rozpouštěné celulózy k činid-  
lu /49/. Byla připravena obdobná činidla při použití hydro-  
xidů niklu, kadmia nazvaná nioxam, cadoxam. Záměnou amonia-  
ku 1,2-diaminoetanem byl připraven organický analog cuoxámu  
- cuoxén /50/. Z rozpouštědel menšího významu možno uvést  
železito-sodný komplex kyseliny vinné /51/ a měďbiuretový  
komplex /52/.

## 2.2 Problematika využití adhezních a kohezních sil

### 2.2.1 Vznik adhezních a kohezních spojů

K výrobě pojených textilií se používá vlákenný materiál  
a pojivo. Za určitých podmínek může sám vlákenný materiál  
působit jako adhezivum. Využívá se například termoplastici-  
ty vláken, botnavosti vláken, případně rozpouštění vlastních  
vláken za různých podmínek. Základním předpokladem, aby po-  
jivo působilo jako vazný materiál je, aby s vlákenným mate-  
riálem vytvořilo chemickou nebo fyzikální vazbu, která musí  
být dostatečná pevná. Síly vyvolávající přilnavost adheziva  
a pojeného materiálu (adherendu) označujeme jako adhezi.  
Má-li pojivo a spojovaný materiál stejné složení, jde o au-  
tohezi. Pro pevnost spoje má význam nejen adheze pojiva k po-  
jenému materiálu, ale i soudržnost filmu pojiva po ztuhnutí  
nebo vytvrzení. Jde o tzv. kohezi, jejíž hodnoty závisí na  
složení filmu pojiva v konečné fázi pojení. Aby bylo pojivo



schopno vytvořit adhezni spoje, musí vykazovat vůči základnímu materiálu (substrátu) přilnavost a musí substrát dobře smáčet.

Mechanismus adheze je dosud předmětem studia a názor na tento problém není dosud sjednocen /53/. Dle dnešních hledisek se jedná o spoje vytvořené buď chemickými vazbami, nebo v případě mechanické adheze se jedná o spoje vytvořené fyzikálními vazbami mezi nerovnými povrchy dvou substrátů vykazujících většinou pórovitý povrch /54/. Je zřejmé, že některé případy adheze lze vysvětlit nikoli jedinou teorií, ale třeba jednotlivé teorie sladit. Pro případ netkané textilie získané pojením je výklad adheze poměrně obtížný. Celý problém je nutno řešit komplexně, jednak z hlediska dějů přicházejících v úvahu při vzniku spoje, jednak z hlediska požadavků kladených na vlastní spoj. Děje přicházející v úvahu při tvorbě spoje : Ke vzniku spoje je nutno, aby se substrát (vlákno) a adhezivum (pojivo) smáčely. Další krok, tj. vzájemné působení pojivo-vlákno je ovládáno faktory, jejichž působení tkví v chemickém složení vlákna, reakci schopných skupin a ve fyzikálních vlastnostech povrchu vláken. V případě pojiva je to otázka chemického složení (reaktivní pojiva) nebo fyzikálních vlastností (termoplastická pojiva). Konečně při styku vlákno-pojivo může dojít pouze k adsorpčním jevům, případně k difuzi pojiva do vlákna. Základní požadavek pro vytvoření pevné vazby mezi vlákenným materiálem je, aby se vytvořil soulad mezi oběma typy vazebních sil, tj. adhezních působících na rozhraní styčné plochy a kohezních působících v pojivé vrstvě. Pokud jsou spojovány drsné plo-

chy a adheze závisí na době styku s adhezivem, je třeba přihlížet též k reologickým vlastnostem pojiva a časové závislosti mezi napětími a deformací. Důležité je i geometrické uspořádání vázných míst. Optimální využití adhezních a kohezních sil při tvorbě spojených textilií je jedním z hlavních cílů u všech technologií.

### 2.2.2 Základní pojmy o adhezi a kohezi

Mají-li k sobě dvě látky přilnout, musí se jejich mezní plochy dotýkat. Lze předpokládat, že ideální styk povrchu tuhé látky s jinou fází by uskutečnila fáze, jejíž molekuly by byly pohyblivé a nasýtily by silové pole povrchu tuhé látky. Takovou fází je kapalina, nebo fáze ve více nebo méně tekutém nebo alespoň plastickém stavu. Při styku takové látky s povrchem tuhé látky dochází ke smáčení. Při smáčení tuhé látky mizí silové pole povrchu a dochází ke změně systému. Aby k této změně mohlo dojít, je nutným předpokladem, aby došlo k úbytku volné entalpie  $G$  případně k úbytku volné energie  $F$  v souladu s rovnicemi /56/

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

$$\Delta F = \Delta U - T \Delta S$$

kde  $U$  - vnitřní energie

$H$  - entalpie

$T$  - teplota ( $^{\circ}\text{K}$ )

$S$  - entropie

Rovnice pro volnou energii ( $\Delta F$ ) platí pro děj při konstantní teplotě ( $T = k$ ) a konstantním objemu ( $V = k$ ). Při smáče-



ní dochází ke změně vnitřní energie systému, protože při styku molekuly tuhé látky s molekulou kapalné fáze, koheze  $W_k$  je větší než přitažlivost těchto molekul vůči molekulám tuhé látky, adheze  $W_a$ , je změna vnitřní energie  $\Delta U$  kladná, tj. vnitřní energie vzrůstá a rovněž vzrůstá volná energie ( $\Delta F > 0$ ) a ke smáčení nedochází. Smáčení lze v tomto případě podpořit zvýšením entropického faktoru  $T\Delta S$  tj. zvýšením teploty. Je-li naopak přitažlivost molekul kapalné fáze k molekulám tuhé látky vyšší než je jejich vzájemná přitažlivost  $W_a > W_k$ , pak při nasycování silového pole povrchu tuhé látky se povrch zmenšuje a uvolňuje teplo na úkor vnitřní energie a změna vnitřní energie je záporná a zápornou hodnotu má i změna volné energie ( $\Delta F < 0$ ) a dochází ke smáčení. Z uvedeného vyplývá, že jak entropický tak i energetický faktor lze využít k ovlivňování smáčení tuhé látky. V první fázi pojení, tj. při styku pojiva se substrátem, povrch tuhého tělesa a pojiva vytvářejí mezní plochu, která vzniká jako důsledek vymizení povrchů tuhého tělesa a kapaliny následkem změny povrchové energie systému /55/. Z termodynamického hlediska je vznik mezní vrstvy dán rovnováhou mezi smáčecím teplem  $U_a$  a povrchovými energiemi /56/

$$U_a = \sigma s_g + \sigma l_g - \sigma s_l$$

kde  $\sigma$  = povrchová energie

$g$  = index pro plyn

$s$  = index pro tuhou látku

$l$  = index pro kapalinu

$s_l$  = index pro mezifázi tuhá látka-kapalina



Při smáčení dochází ke vzniku fázového rozhraní pevná látka kapalina  $s_1$  na místo předcházejícího počátečního fázového rozhraní pevná látka-plyn  $s_g$ . Při prakticky prováděných smáčecích pochodech se současně mění i fázové rozhraní kapalina - plyn  $l_g$ , v důsledku změny hodnoty povrchu kapaliny, jedná se o sekundární pochod, neovlivňující vlastní smáčení /57/. Experimentálně použitelná metoda pro hodnocení smáčecích vlastností je založena na vytlačování kapaliny do pórů substrátu. Předpokládejme, že póry jsou úzké štěrby velmi dlouhé, uložené mezi dvěma stěnami. Pojivo uvažujeme jako newtonskou kapalinu řídící se vztahem

$$\sigma = \frac{dv}{dx} \eta$$

kde  $\frac{dv}{dx}$  = rychlostní gradient

$\eta$  = viskozita pro newtonovské kapaliny

$\sigma$  = napětí

Je pravděpodobné, že výška proniknutí pojiva do pórů  $h$  bude tím menší, čím silnější bude vlákno a čím vyšší bude mít hustotu. Při vyšší hustotě bude patrně průměr  $r$  rovněž menší, takže je obtížné předvídat, zda pouze v důsledku vyšší hustoty bude doba tvorby spoje  $t$  delší či kratší. Rozdíl mezi povrchovým napětím nebude patrně pro různá běžně užívaná pojiva příliš velký a rovněž vliv teploty na povrchové napětí v důsledku různých hodnot Van der Waalsových sil a s tím související bod tání pojiva nebude velký. Při dodržení podmínky  $0 < \theta_A \leq 90^\circ$  vliv úhlu dotyku bude nepatrný, takže tvorba spoje bude pouze funkcí visko-

zity  $\tau \approx f(\eta)$ , tj. reologických vlastností pojiva. Nutno připomenout, že při malém úhlu dotyku  $\theta_A$  bude substrát v pojivu botnat a bude se zmenšovat průměr pórů  $r$ .

Z uvedeného vyplývá, že čím nižší viskozita, tím kratší bude doba vytvoření spoje /58/. Při použití pojiva ve formě roztoku, musí být poskytnuta potřebná doba, aby k odpaření rozpouštědla došlo dříve, než dojde ke styku dvou ploch, které jsou spojovány. Použije-li se roztoku pojiva, dojde ke značnému snížení viskozity a rovněž dochází ke snížení úhlu dotyku a povrchového napětí. Při použití rozpouštědla není třeba pracovat za vyšších tlaků, neboť rozpouštědla umožní proniknout pojivu do pórů adherentu-substrátu. Zajistí-li se, aby viskozita roztoku pojiva nebyla příliš nízká (tj., aby byla vyšší koncentrace pojiva v roztoku), dojde ke značnějšímu počtu proniknutí pojiva do pórů a k lepší tvorbě spojů. V průmyslové praxi se využívá pojiv ve formě taveniny či neředěné kapaliny (gelu) a v důsledku jejich vysoké viskozity nedojde k dokonalému smáčení pórů substrátu. Při úhlu dotyku  $\theta > 60^\circ$  stupeň pronikání pojiva bude především záviset na použitém tlaku /59/, protože vlastní kapilární působení bude malé. Vzdálenost proniknutí pojiva kapilárním působením  $h_0$  je dána vztahem

$$h_0 = \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

kde  $\rho$  = měrná hmotnost  
 $g$  = gravitační zrychlení  
 $\gamma$  = povrchové napětí  
 $r$  = poloměr kapiláry



Čas potřebný k proniknutí pojiva do vzdálenosti rovnající se poloměru póru substrátu  $r$  je dán vztahem

$$\tau = \frac{4 \eta}{P r}$$

$\eta$  - viskozita  
 $r$  - poloměr kapiláry  
 $P$  - tlak

ze kterého vyplývá, že zvýšením tlaku v určitých bezpečných mezích lze zkrátit jednak čas pronikání pojiva do pórů, jednak zvýšit počet dotykových ploch pojených materiálů. Viskozita pojiva, nebo jeho roztoku bude ovlivňovat jednak rychlost a hloubku pronikání pojiva do pórů, jednak ovlivní velikost skutečné styčné plochy mezi pojivem a substrátem a tím i pevnost konečného spoje.

### 3 PRACOVNÍ HYPOTÉZA

Záměrem mé dizertační práce je zjistit možnosti a podmínky využití pořadnějších druhů bavlny k výrobě pojených textilií.

Vzhledem k tomu, že z mechanických způsobů výroby netkaných textilií je technologie vpichování pro zpracování bavlny nepoužitelná a technologie proplétání z ekonomického hlediska proti ostatním principům výroby netkaných textilií málo výhodná, je účelné se zaměřit na podmínky pojení tvorbou adhezních nebo kohezních spojů.

Z možností výroby pojených textilií se pro zpracování bavlněné celulózy nabízí možnost botnění bavlny v prostředí alkalických hydroxidů, nebo roztoků některých solí.

Dá se předpokládat, že při určitém stupni zbotnění vláken může dojít působením vhodného tlaku k autohezi a po od-



stranění média k vytvoření kohezni vazby, případně i využití vazby vlivem vzniku vodíkových můstků.

K tomu je nutno :

- nalézt vhodné činidlo (tj. NaOH nebo soli kovů), zjistit jejich potřebnou koncentraci a teplotu nutné ke zbotnění vláken a jejich uvedení do autohezního spoje,
- vypracovat metodu ke znišťování adheze po zbotnění a propojení bavlněných vláken.

#### 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

##### 4.1 Použitý materiál

K experimentálním účelům byl použit následující materiál :

Příze T = 50 tex xl, 100 % bavlna (SSSR)

A I rezná, prstencová

Z = 450/m (ČSN 80 0701)

CV= 22,5 %

vady : slabá místa 184/ 1000 m

silná místa 1280/ 1000 m

nopky 1060/ 1000 m

zjišťováno přístrojem Uster-Zellweger

model B (ČSN 80 0706)

pevnost 5,28 N (ČSN 80 0700)

, tažnost 4,7 %

Rouno hmotnost 0,050; 0,100; 0,150 kg.m<sup>-2</sup>  
rouno je vyrobeno z vláken podřadnějšího druhu  
syrské bavlny typu ALEP 4  
délka vláken 25,4 mm (Fibrograph Degetal = 1.")  
jemnost vláken 0,169 tex (Micronaire = 4,3 M)  
pevnost 78 - 85 (Pressley strength tester)  
obsah vad a nečistot 2,5 % (analyzátor Shirley)  
zralost 2,75  
uzanční vlhkost 8,5 %

Údaje o fyzikálních vlastnostech vláken byly dodány  
společně se vzorkem výzkumným ústavem bavlnářským v Alep,  
Syrie /1/.

#### Použité chemikálie

K provádění laboratorních zkoušek byly použity tyto  
chemikálie :

| Název chemikálie                                                   | Mol. hmotnost |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| formaldehyd, CH <sub>2</sub> O p.a. 36 - 38 %                      | 30,03         |
| hydroxid sodný, NaOH p.a. (pecičky)                                | 40,00         |
| chlorid zinečnatý, ZnCl <sub>2</sub> bezvodý p.a.                  | 136,28        |
| kyselina chlorovodíková, HCL p.a. 38 %                             | 36,46         |
| kyselina octová, CH <sub>3</sub> COOH p.a.                         | 60,05         |
| kyselina sírová, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> p.a. 98 %          | 98,08         |
| síran amonný, /NH <sub>4</sub> / <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> p.a. | 132,15        |
| močovina, CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O p.a.                    | 60,055        |
| thiomočovina CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> S p.a.                 | 76,12         |
| uhličitan sodný, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> p.a.              | 60,05         |

Spolmercit S (tenzid na podkladě krezolu)

## 2 Použité laboratorní zařízení

laboratorní mykací stroj s drátkovými potahy  
pracovní šíře 300 mm

výrobce : fy Josephy, Bialitz

deskový lis typ P 11-E

výrobce : Blanické strojírny, Vlašim

sušárna horkovzdušná - laboratorní typ KC - 65

výrobce : záv. Premed, PLR

sušárna se síťovým pásovým dopravníkem

výrobce : Vývojové dílny VŠST

infrazářič typ ETA 518 02 220 V / 600 W

výrobce : Elektropraga, n.p. Hlinsko v Čechách

trhací přístroj vláknový WPM

výrobce : VEB Thüringer Industriewerk Rauenstein, NDR

trhací přístroj Instron typ TM - M/1970

zařízení pro regulovatelný přitlak na přízi v místě spoje

výrobce : dílna KNT VŠST

mikroskop B 36 B1,

výrobce : Meopta Přerov

topné hnízdo elektrické IK 3,

výrobce : Kavalier n.p. Votice

termostat U7c

výrobce : VEB MLW Prüfgeräte, Werh Medingen, NDR

fotomisky novodurové

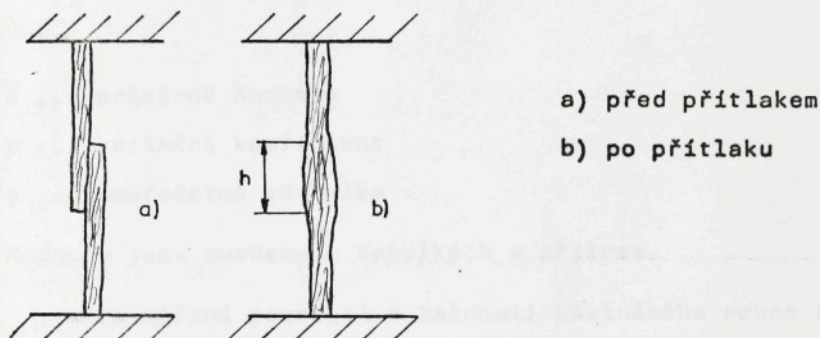
síto polyamidové mlynářské - velikost ok 1 x 1 mm

mikroskopická skla podložní, zkumavky, pipety



### 4.3 Zkušební metody

Zjišťování autohezního spoje po nabotnění bavlněných vláken bylo provedeno na přízi a rounu. Systém vlákno - vlákno nezaručuje pro tento případ dostatečně přesné a re-produkovatelné výsledky z důvodu nepatrné stykové plochy a tím nízké pevnosti spoje mezi vlákny. Pro měření byl zvolen systém příze - příze, který zabezpečuje větší stykovou plochu a tím i větší autohezní síly. Schéma systému příze - příze si můžeme představit takto :



Obr. 10 Schéma systému příze - příze

Dle obrázku vidíme, že příze je spojena pojivem po délce  $h$  a vzdálenost mezi přízemi je vlastně nulová. Při nabotnění a zalisování tlakem dochází k průniku vláken z jedné příze do druhé a případně vzniklá gelovitá část je prostoupena v přízi.

K vyjádření síly adhezního spoje byla zvolena zkouška pevnosti v tahu. Propojené příze (autohezním způsobem) byly upevněny do držáčků vláknové trhačky tak, aby spoj byl uprostřed upínací délky, která byla zvolena maximální tj. 50 mm.

Příze byly namáhány do přetrhu spoje. Pevnost spoje byla ve všech případech daleko nižší než je pevnost příze. Hodnota pevnosti byla spočítána z průměru hodnot 10 měření.

Dále byly počítány

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$\bar{x}$  ... průměrná hodnota

$v$  ... variační koeficient

$s$  ... směrodatná odchylka

Hodnoty jsou uvedeny v tabulkách v příloze.

Pro měření pevnosti a tažnosti bavlněného rouna a bavlněného rouna po autohezním propojení byl použit trhací přístroj Instron typ TM - M/1970. Měření bylo provedeno podle ČSN ST SEV 2675-80. Rozměr vzorků 50 x 300 mm, upínací délka 200 mm. Rychlost posuvu příčnicku 200 mm/min. rychlost posuvu papíru 200 mm/min.

Zkouška elastického zotavení byla provedena tak, že bylo připraveno 5 vzorků ve směru podélném o rozměrech 50 x 300 mm. Pracovní vzorek byl upnut do čelistí trhacího přístroje INSTRON. Upínací délka 100 mm. Přístroj byl uveden do provozu a vzorek byl protahován konstantní rychlostí 200 mm/min. až do dosažení 60 % pevnosti vzorku, poté byl obrácen směr pohybu příčnicku a zkoušený vzorek byl odlehčo-

ván až do dosažení hranice zatížení 0 N. Tímto je vzorku umožněno zotavovat při stejné rychlosti jakou byl protahován. Tento postup byl u každého vzorku opakován 10 x za sebou, přičemž první a poslední cyklus zatížení a odlehčení byl zaznamenán na registračním zařízení.

#### 4.4 Příprava roztoků botnadel

Byly vytypovány dva druhy botnadel

- 1) roztoky alkalických hydroxidů o koncentraci, kdy dochází k vhodnému stupni nabotnění
- 2) roztoky solí dvojmocných prvků.

Pro roztoky alkalických hydroxidů je v tab. 3 podán přehled koncentrací potřebných k docílení maxima botnění při teplotě 20°C.

Tabulka 3 Přehled koncentrací

| Druh hydroxidu | Koncentrace<br>v % | Přírůstek tloušťky nabotnělého vlákna oproti původnímu v % |
|----------------|--------------------|------------------------------------------------------------|
| LiOH           | 9,5                | 97                                                         |
| NaOH           | 16 - 18            | 78                                                         |
| KOH            | 32,0               | 64                                                         |

Z hlediska potřebné koncentrace hydroxidu a tomu odpovídajícímu stupni nabotnění by bylo výhodné používat LiOH. Vzhledem k jeho menší dostupnosti a vyšší ceně byl vybrán NaOH, který se účinkem nejvíce přibližuje LiOH a cenově je dostupný.



Roztoky byly připraveny takto :

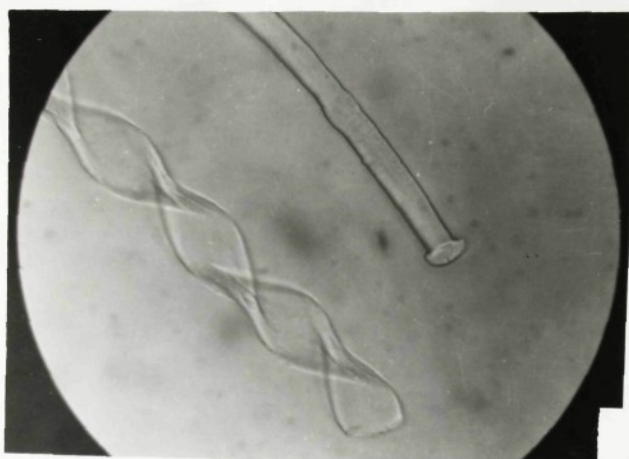
Navážka NaOH dle tab. 4 byla rozpuštěna v 80 ml destilované vody a po ochlazení studenou vodou na teplotu 20°C byl roztok převeden do 100 ml odměrné banky, která byla doplněna po značku destilovanou vodou.

Tabulka 4 Navážka a koncentrace NaOH

| kg/100 ml | %    | molarita |
|-----------|------|----------|
| 0,014     | 14,0 | 3,5      |
| 0,016     | 16,0 | 4,0      |
| 0,018     | 18,0 | 4,5      |
| 0,020     | 20,0 | 5,0      |
| 0,022     | 22,0 | 5,5      |
| 0,024     | 24,0 | 6,0      |

Roztoky NaOH po přidavku 0,5 % tenzidu byly použity k botnání přize a ke srovnávacímu stanovení pevnosti spoje po jejím nabotnění.

Dále byly připraveny roztoky NaOH o stejné koncentraci jako je uvedena v tab. 4 s tím, že ke každé koncentraci bylo přidáno zesilovadlo botnání (močovina). K roztokům NaOH s močovinou bylo přidáno 0,5 % tenzidu (Spolmercit S), který je stálý v silně koncentrovaném roztoku NaOH, způsobuje zlepšení smáčivosti vláken a tím umožňuje rychlé proniknutí roztoku botnadla do zkoušené přize nebo rouna. Informativně bylo sledováno botnání ba vláken. Na obr. 11 vidíme, že vlivem vnitřních sil vlákno nabývá spirálovitého tvaru.



Obr. 11    Botnání bavlněného vlákna v roztoku NaOH

Roztok  $\text{ZnCl}_2$  byl připraven v koncentracích dle tab. 5.

Tabulka 5    Navážka a koncentrace  $\text{ZnCl}_2$

| kg/100 ml | %    | molarita |
|-----------|------|----------|
| 0,010     | 10,0 | 0,74     |
| 0,020     | 20,0 | 1,47     |
| 0,030     | 30,0 | 2,20     |
| 0,040     | 40,0 | 2,93     |
| 0,050     | 50,0 | 3,67     |
| 0,060     | 60,0 | 4,40     |
| 0,070     | 70,0 | 5,14     |

K roztokům byl přidán tenzid jako v případě NaOH (0,5%). Navážky pro objem 100 ml byly voleny z důvodu nižší spotřeby NaOH a  $\text{ZnCl}_2$ . Menší objem roztoku zabezpečoval, že nebude

dlouho uskladňován, a tím nepoklesne jeho aktivní schopnost  
botnání celulóзовých vláken.

#### 4.5 Pracovní postup

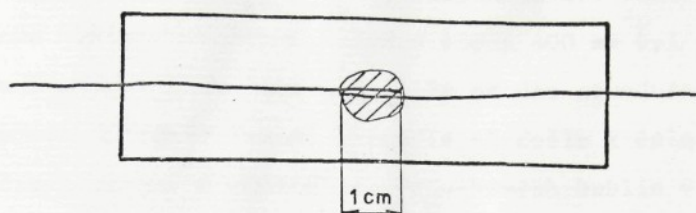
Úprava základního materiálu alkalickou vyvářkou

Bavlněná příze (50 tex) byla předem upravena v lázni pro vyvářku obsahující jako základní složku NaOH (17 g/l) a 0,1 % neionogenního tenzidu. Vyvářka byla prováděna po dobu 6 hodin v zabroušené baňce o obsahu 500 cm<sup>3</sup> na které byl nasazen zpětný chladič, aby odpařovaná voda mohla stékat zpět do baňky a nedocházelo k zahušťování lázně. Po vyvářce byla příze propírána teplou vodou po dobu 10 minut, kdy nevykazovala alkalickou reakci na pH papírek. Během celého procesu vyvářky byla příze u dna baňky navinutá na skleněnou tyčinku, aby nedocházelo k vyplavání na povrch a tím k možné oxidaci vzdušným kyslíkem na oxixelulózu. Sušení bylo provedeno při laboratorní teplotě. Účelem vyvářky bylo zmýdelnit voskové látky, odstranit popeloviny, rozložit pektinové a bílkovinné látky v rozpustné produkty a vhodně dispergovat degradované příměsi.

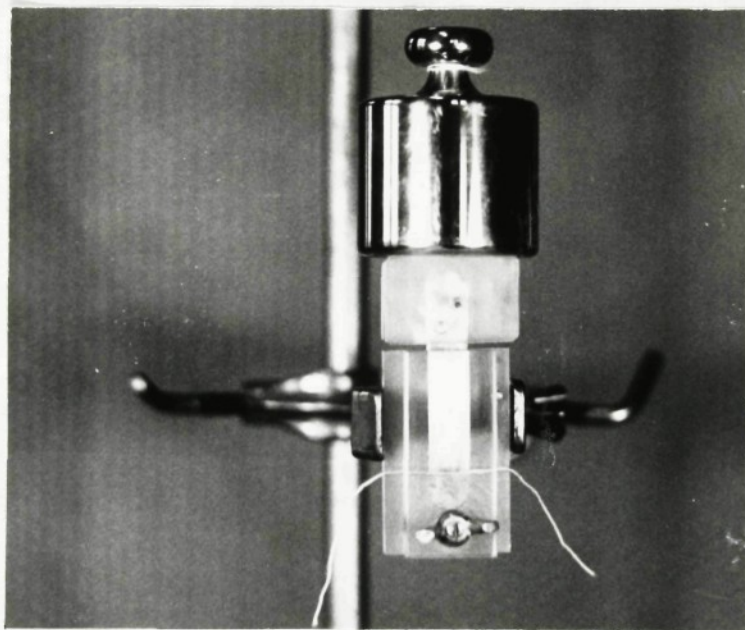
Upravená příze byla nastříhána na kousky o délce 8 cm. Dva kusy byly dány na podložní mikroskopické sklo, aby se jejich konce v podélném směru 1 cm překrývaly. Uložení přízí je znázorněno na obrázku 12.

Po urovnání konců přízí vedle sebe byl přidán mikropipetou roztok botnadla a po stanovené časové expozici jeho působení byla příze opláchnuta vodou do neutrální reakce a vložena do zařízení pro regulovatelný přítlak obr.13.





Obr. 12 Uložení přizí na podložním mikroskopickém skle



Obr. 13 Zařízení pro regulovatelný přítlak

Zde byla ponechána stanovenou dobu pod tlakem, potom byla vysušena v laboratorní sušárně při teplotě  $90^{\circ}\text{C}$ . Tím byl připraven vzorek k ověřování spoje mezi přizemi pomocí vláknové trhačky.

Příprava bavlněného rouna pojeného botnáním byla provedena takto : vzorek o rozměru 650 x 400 mm byl vnesen mezi dvě polyamidová síta a umístěn na dno novodurové misky. Dále byl přiléván roztok botnadla až došlo k úplnému převrstvení rouna. K odstranění vzduchových bublin v rounu byl použit váleček pro odmačkávání fotografií. Po vyjmutí sít s rounem z misky bylo botnadlo odždímáno mezi dvěma válci ruční ždímáčky a v další novodurové misce bylo propíráno tekoucí vodou do neutrální reakce. Po odždímání přebytku vody v lise bylo sušeno v sušárně se síťovým pásovým dopravníkem při teplotě 110°C. Ze suchého rouna byly nastříhány vzorky o rozměrech 50 x 300 mm k provedení fyzikálních zkoušek.

#### 4.6 Výsledky měření a jejich zhodnocení

V technologické části práce byly zhotoveny vzorky za různých podmínek, ve snaze najít optimální podmínky pojení textilií botnáním. Byly zkoušeny různé koncentrace dvou botnadel, a to hydroxidu sodného a chloridu zinečnatého za přídavků tenzidu a močoviny. Účelem přídavku tenzidu bylo dosáhnout lepší penetrace botnadla mezi vlákna zlepšením smáčivosti. Přídavkem močoviny se mělo dosáhnout lepšího, intenzivnějšího a rychlejšího botnání vláken a tak i snadnějšího kontaktu mezi nimi k dosahování spojů. Vzorky spojené bavlněné příze a rouna za nejrozumnějších technologických podmínek byly podrobeny zkouškám podle platných norem i měřením, které měly přinést alespoň empirické zákonitosti tak složité problematiky, jakou je pojení vláken a vláken-

ných soustav bavlny botnáním.

Ze vzorků připravených za různých technologických podmínek byla provedena tato měření :

- 1) měření pevnosti spojů v závislosti na koncentraci hydroxidu sodného (NaOH) pro přídavky močoviny do hydroxidu sodného odstupňované po 0,5 % v intervalu 0 až 2 %,
- 2) měření pevnosti spojů bavlněné příze v závislosti na koncentraci chloridu zinečnatého pro různé teploty, mezi pokojovou a 90°C, realizovanou působením infračerveného záření,
- 3) měření pevnosti v závislosti na přitlačné síle zbotnalého vlákenného materiálu pro koncentrace hydroxidu sodného jako botnadla v optimálním intervalu 18 až 22 %,
- 4) měření pevnosti v závislosti na době působení hydroxidu sodného působícího za pokojové teploty při přitlačné síle 10,2 N,
- 5) měření pevnosti spojů pojené bavlněné příze v závislosti na teplotě pro různé koncentrace hydroxidu sodného za přídavku optimální koncentrace močoviny.

Kromě výše uvedených měření, které měly ověřit optimální podmínky spojů bavlněných vláken v závislosti na různých podmínkách, byla prováděna měření (zkoušky) mechanických vlastností botnáním pojených textilií, a to lineárních bavlněných přízí a pojené textilie z bavlněného rouna. Mechanické vlastnosti byly kvantifikovány měřením pracovního diagramu, popisujícího komplexní mechanické chování pojené textilie, měření pevnosti a tažnosti botnáním pojených soustav vláken bavlny.

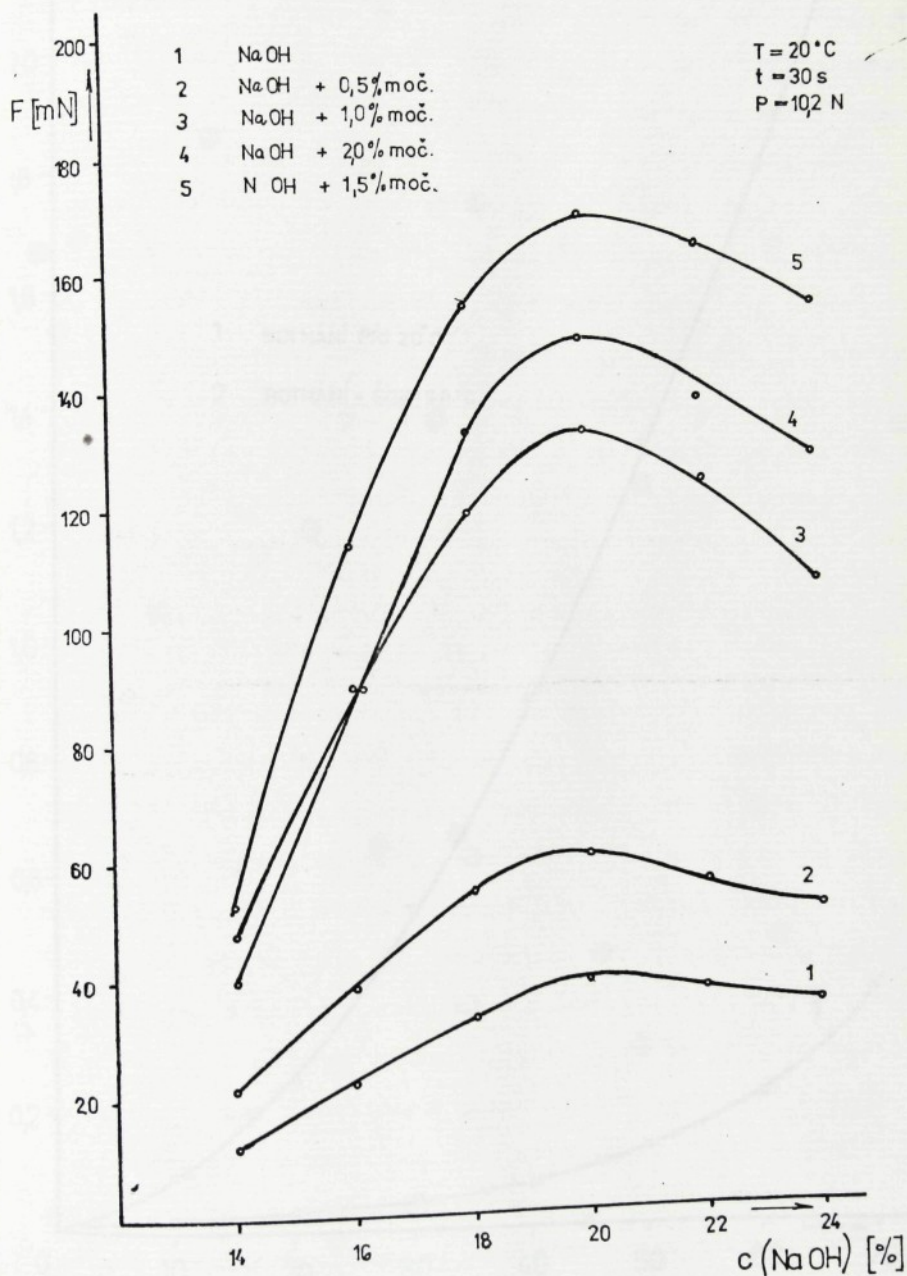


#### 4.6.1 Měření pevnosti spojů v závislosti na koncentraci NaOH

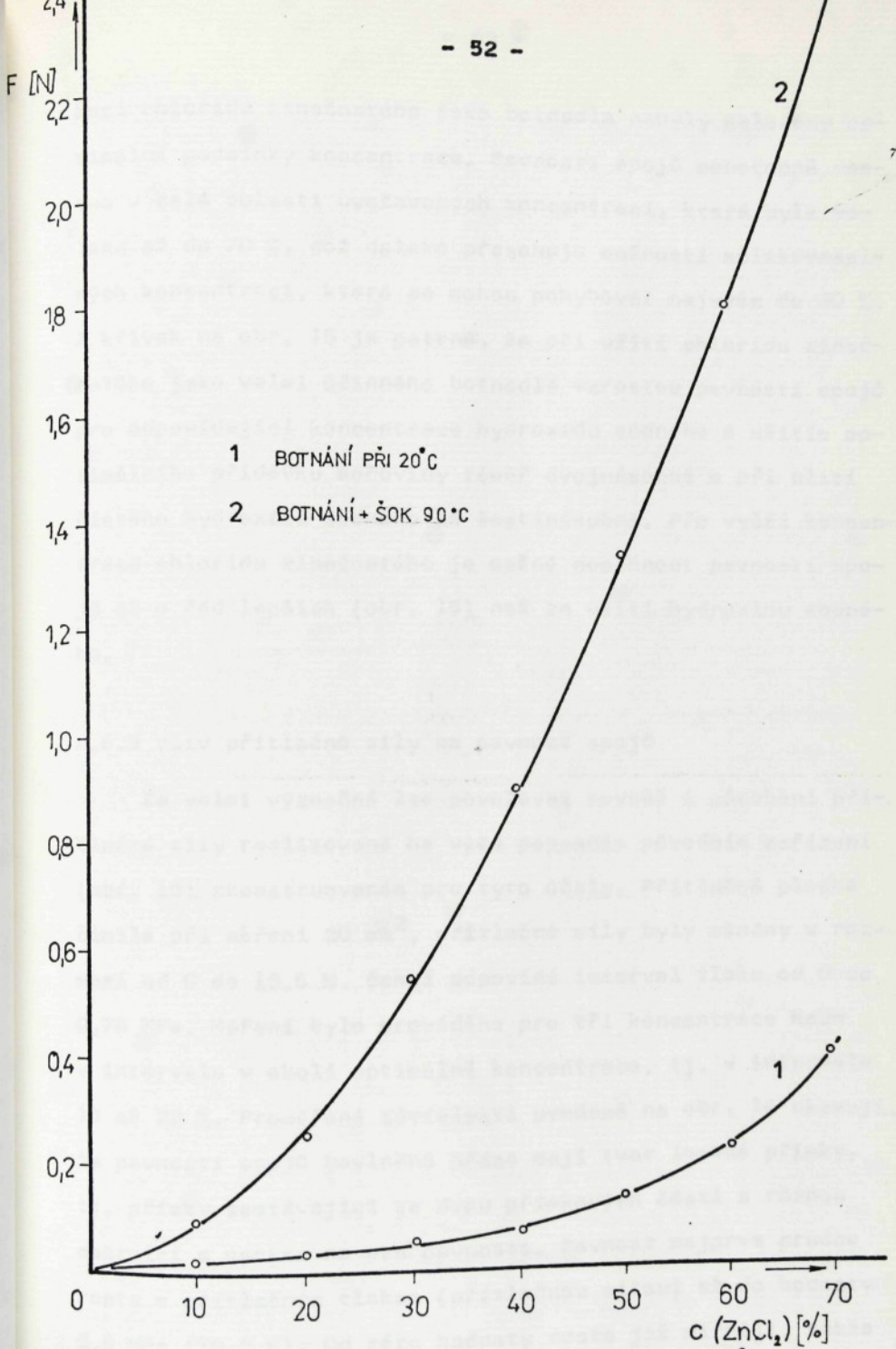
Měření pevnosti spojů vytvořených na přiložené bavlněné přízi v závislosti na koncentraci hydroxidu sodného pro koncentrace 12 až 24 % byla provedena za přídavků močoviny v rozsahu 0 až 2 %. Měla za účel zjistit optimální podmínky pro koncentraci NaOH a přídavku močoviny. Provedená měření ukázala, že pro hydroxid sodný a přídavek močoviny skutečně existuje optimální koncentrace hydroxidu sodného, která je 20 % a 1,5 % pro přídavek močoviny. Maximálních pevností bylo dosaženo vždy pro stejné koncentrace močoviny. Výsledky měření jsou uvedeny na obr. 14. Z něho je patrné, že křivky pro nízké koncentrace močoviny se asymptoticky přibližují přímkám rovnoběžným s osou koncentrace NaOH. Pro vyšší koncentrace není však již asymptotické přibližování v uvedeném rozsahu koncentrací NaOH tak zřejmé a lze je jen předpokládat.

#### 4.6.2 Měření pevnosti spojů v závislosti na koncentraci $\text{ZnCl}_2$

Kromě hydroxidu sodného, kterého se běžně užívá při zpracování bavlny, byl zkoušen vliv koncentrace chloridu zinečnatého ( $\text{ZnCl}_2$ ) na pevnost spojů bavlněné příze. Měření pevnosti spojů bavlněné příze botnalé v chloridu zinečnatém bylo provedeno v závislosti na koncentraci chloridu zinečnatého pro teploty tohoto botnadla mezi pokojovou teplotou a teplotou 90°C dosažené krátkodobým ohřevem infračervenou lampou. Z měření uvedeném na obr. 15 je zřejmé, že při apli-



Obr. 14 Vliv koncentrace na pevnost spojů



Obr. 15 Vliv koncentrace ZnCl<sub>2</sub> na pevnost spoje



kací chloridu zinečnatého jako botnadla nebyly nalezeny optimální podmínky koncentrace. Pevnosti spojů monotonně rostou v celé oblasti uvažovaných koncentrací, která byla volena až do 70 %, což daleko přesahuje možnosti aplikovatelných koncentrací, které se mohou pohybovat nejvýše do 30 %. Z křivek na obr. 15 je patrné, že při užití chloridu zinečnatého, jako velmi účinného botnadla, vzrostou pevnosti spojů pro odpovídající koncentrace hydroxidu sodného s užitím optimálního přídavku močoviny téměř dvojnásobně a při užití čistého hydroxidu sodného až šestinásobně. Pro vyšší koncentrace chloridu zinečnatého je možné dosáhnout pevnosti spojů až o řád lepších (obr. 15), než za užití hydroxidu sodného.

#### 4.6.3 Vliv přitlačné síly na pevnost spojů

Za velmi význačné lze považovat rovněž i působení přitlačné síly realizované na výše popsaném původním zařízení (obr. 13), zkonstruovaném pro tyto účely. Přitlačná plocha činila při měření  $20 \text{ mm}^2$ , přitlačné síly byly měněny v rozmezí od 0 do 15,6 N, čemuž odpovídá interval tlaku od 0 do 0,76 MPa. Měření bylo prováděno pro tři koncentrace NaOH v intervalu v okolí optimální koncentrace, tj. v intervalu 18 až 22 %. Proměřené závislosti uvedené na obr. 16 ukazují, že pevnosti spojů bavlněné příze mají tvar lomené přímky, tj. přímky sestávající ze dvou přímkových částí s různou směrnici a úsekem na ose pevnosti. Pevnost nejprve prudce roste s přitlačným tlakem (pritlačnou silou) až do hodnoty 0,5 MPa (10,2 N). Od této hodnoty roste již mírněji, takže

směrnice této části přímky je mnohem menší než předchozí.

#### 4.6.4 Vliv doby působení botnadla na pevnost spojů

Pro technologii přípravy vzorků, zvláště pak pro technologii eventuální výroby botnáním pojených bavlněných vlákných soustav je důležitý vliv doby botnání na pevnost spojů. Měření bylo prováděno opět na vzorcích botnáním pojené bavlněné příze. Interval botnacích koncentrací byl volen v rozsahu optimálních koncentrací tj. v oblasti 18 až 22 %. Pevnost spojů z počátku roste stejně pro všechny měřené koncentrace. Od 15 s se začaly již všechny tři křivky oddělovat. Křivka pro koncentraci botnadla 18 % nabývá nejnižšího maxima, křivka pro 20 % koncentraci dále monotonně roste, i když mnohem pozvolněji a křivka pro koncentraci 22 % nabývá podobně jako křivka pro 18 % maxima pro 30 sekund a klesá ke křivce 18 %. Jeví se tedy působení 30 s při koncentraci botnadla 20 % jako optimální. Závislost pevnosti na době působení botnadla je uvedena na obr. 17.

#### 4.6.5 Měření závislosti pevnosti spojů na teplotě botnadla

Kromě výše uvedených měření byl měřen i vliv teploty botnadla na pevnost spojů pojené bavlněné příze. Rozsahy teplot byly voleny od 0 do 25°C. Koncentrace užitého botnadla se měnila od 14 % do 22 % NaOH s optimálním 1,5 % přídavkem močoviny. Výsledky měření závislosti pevnosti spojů na teplotě botnadla jsou na obr. 18. Z něho je vidět klesající charakter závislosti. Pevnost tedy s rostoucí teplotou pro koncentrace botnadla mimo oblast optimální koncentrace prud-



ce klesá. V okolí optimální koncentrace, tj. pro koncentrace v rozmezí 18 až 22 % klesá již pevnost s teplotou pozvolněji. V rozsahu měřených teplot poklesla pevnost s rostoucí teplotou mimo oblast optimální koncentrace až čtyřnásobně, v oblasti optimálních koncentrací jen 1,5 krát (obr. 18).

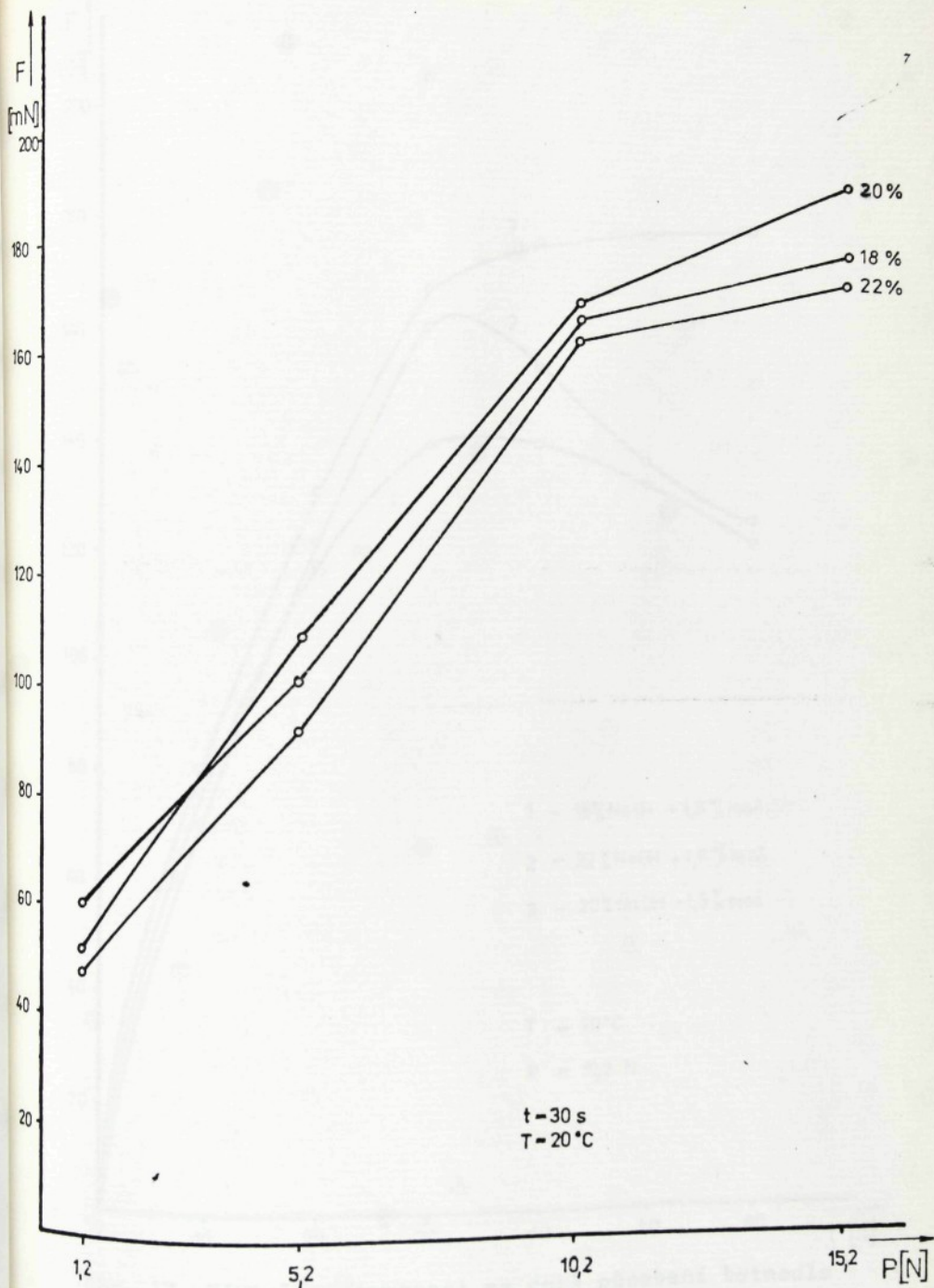
#### 4.6.6 Měření mechanických vlastností botnáním pojených textilií

Mechanické vlastnosti reprezentované pracovním diagramem byly měřeny jak pro spoje na přízích, tak i na nabotnaném pojeném bavlněném rounu. Zkoušky (měření) byly prováděny na vláknovém trhacím přístroji a na trhacím přístroji pro plošné textilie.

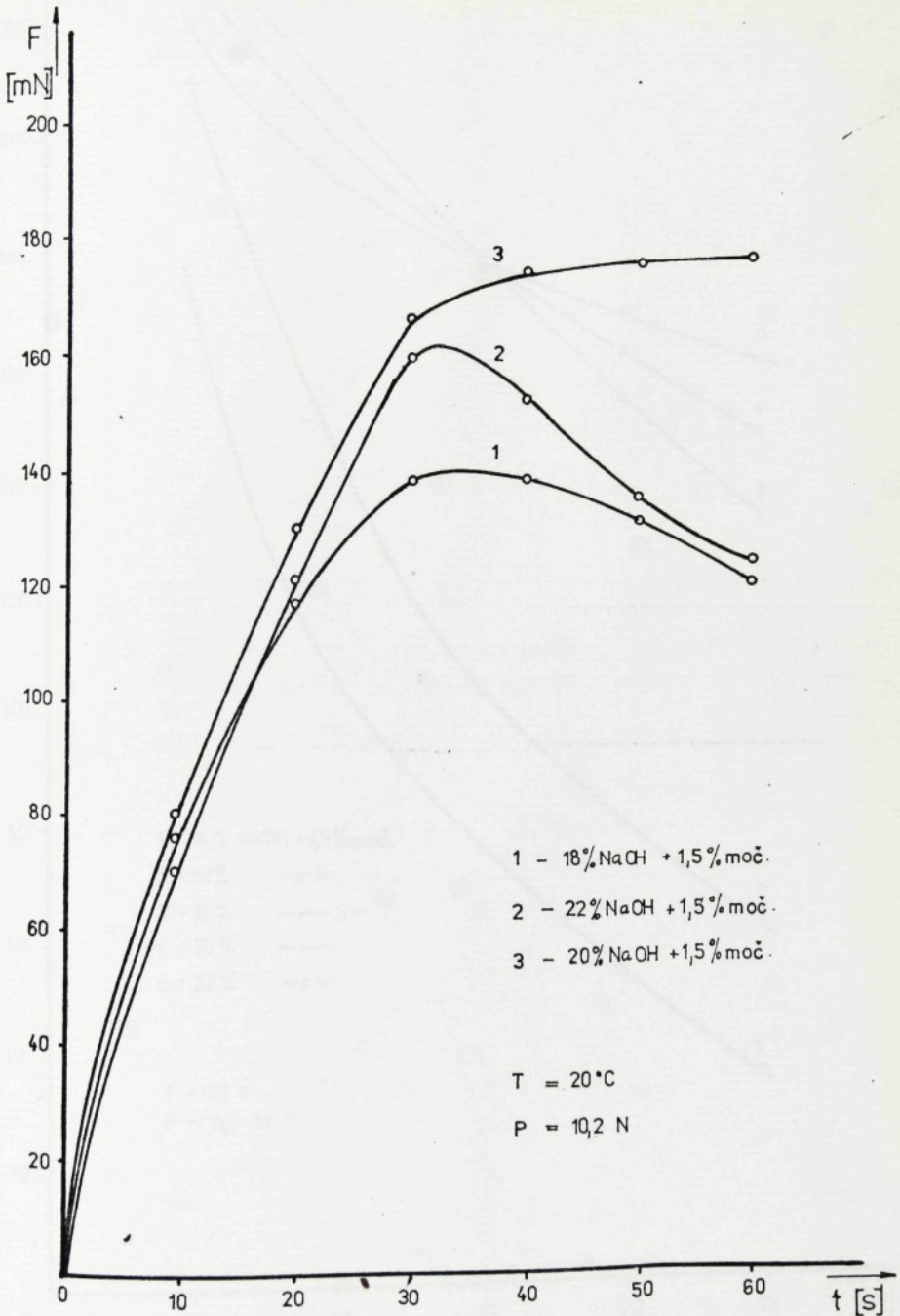
Měření pevnosti spojů vzniklých botnáním na bavlněné přízi

Měření pracovních diagramů, tj. závislosti síly namáhání  $F$  na deformaci  $\Delta L$ ,  $F = F(\Delta L)$  byla prováděna vzorky připravené o různých koncentracích botnadla pro hydroxidová botnadla s příměsí močoviny. Výsledky měření jsou uvedeny pro koncentrace hydroxidu sodného 16 %, 18 %, 20 % a 22 % na obr. 19 a 20. Z nich je patrné, že zatímco elastické moduly se s podmínkami koncentrace při botnání mění jen velmi málo, jsou pevnost a tažnost pojené textilie (spojů) mnohem citlivější na podmínky botnání vyjádřené změnou koncentrace botnadla. Číselné hodnoty modulů, pevností, tažnosti a trhací práce pro různé koncentrace botnadla jsou uvedeny v tab. 6.

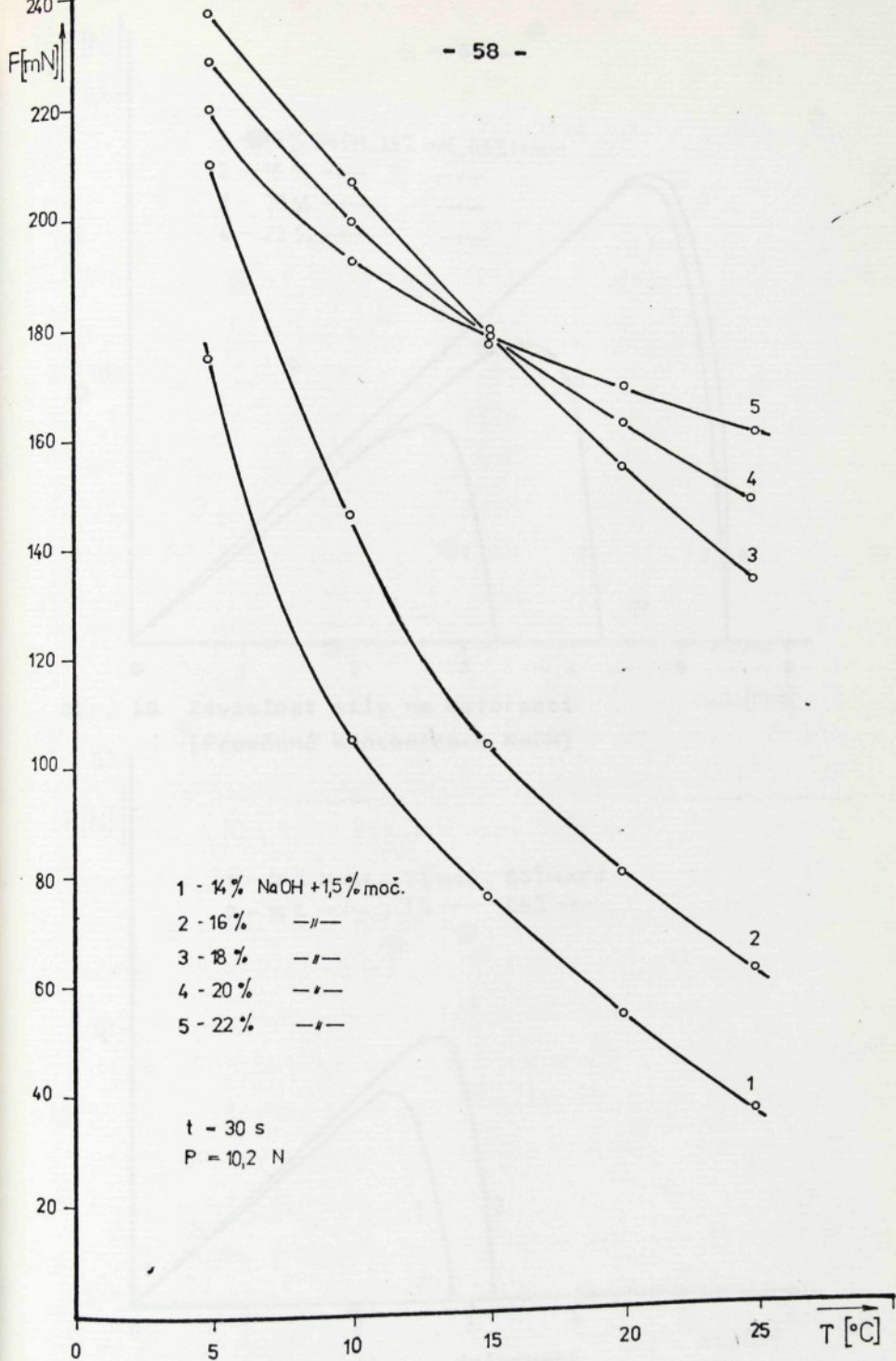




Obr. 16 Vliv přitlačné síly na pevnost spojů

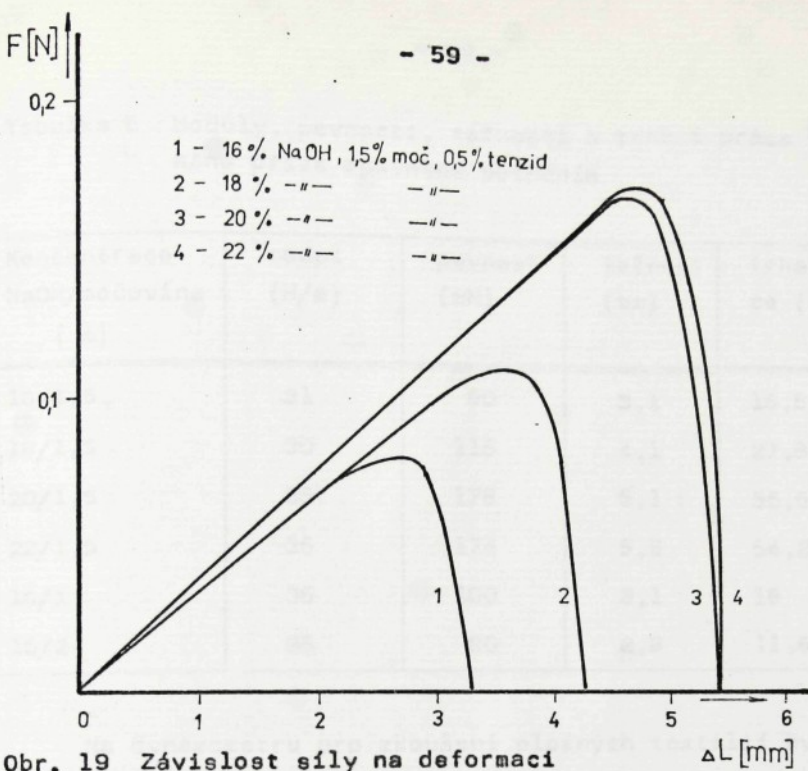


Obr. 17 Závislost pevnosti na době působení botnadla  
(NaOH+1,5 % moč)

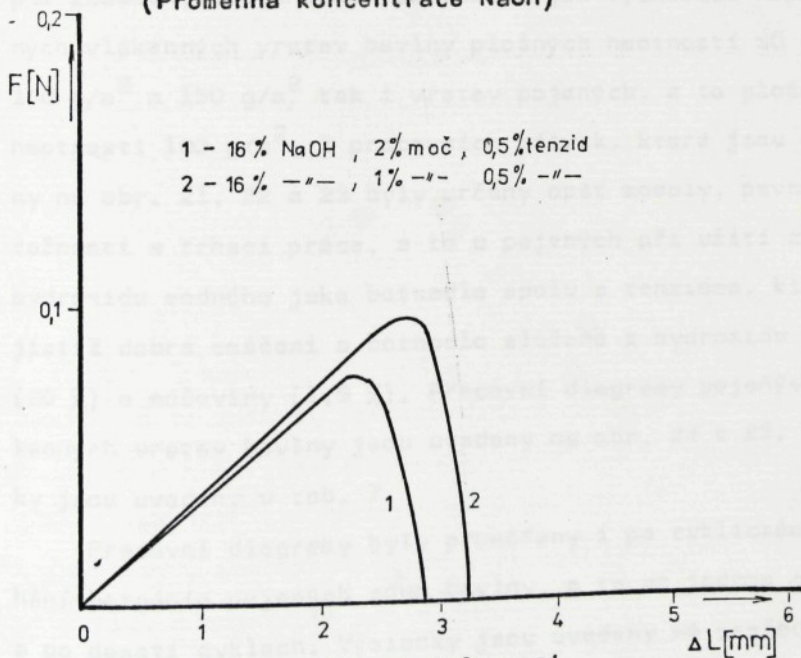


Obr. 18 Vliv teploty botnadla na pevnost spojů





Obr. 19 Závislost síly na deformaci  
(Proměnná koncentrace NaOH)



Obr. 20 Závislost síly na deformaci  
(Proměnná koncentrace močoviny)

Tabulka 6 Moduly, pevnosti, tažnosti a trhací práce bavlněné příze zpevněné botnáním

| Koncentrace NaOH/močovina ( % ) | modul (N/m) | pevnost (mN) | tažnost (mm) | trhací práce ( $10^{-5} \text{J}$ ) |
|---------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------------------------------|
| 16/1,5                          | 31          | 80           | 3,1          | $16,8 \pm 0,2$                      |
| 18/1,5                          | 30          | 116          | 4,1          | $27,8 \pm 0,7$                      |
| 20/1,5                          | 36          | 178          | 5,1          | $55,6 \pm 0,4$                      |
| 22/1,5                          | 36          | 174          | 5,5          | $54,2 \pm 1$                        |
| 16/1                            | 36          | 100          | 3,1          | $18 \pm 1$                          |
| 16/2                            | 36          | 80           | 2,8          | $11,6 \pm 0,6$                      |

Na dynamometru pro zkoušení plošných textilií byly pak zkoušeny mechanické vlastnosti jak výchozích nepojených vlákných vrstev bavlny plošných hmotností  $50 \text{ g/m}^2$ ,  $100 \text{ g/m}^2$  a  $150 \text{ g/m}^2$ , tak i vrstev pojených, a to plošné hmotnosti  $100 \text{ g/m}^2$ . Z pracovních křivek, které jsou uvedeny na obr. 21, 22 a 23 byly určeny opět moduly, pevnosti, tažnosti a trhací práce, a to u pojených při užití 20 % hydroxidu sodného jako botnadla spolu s tenzidem, který zajišťoval dobré smáčení a botnadlo složené z hydroxidu sodného (20 %) a močoviny (1,5 %). Pracovní diagramy pojených vlákných vrstev bavlny jsou uvedeny na obr. 24 a 25. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.

Pracovní diagramy byly proměřeny i po cyklickém namáhání botnáním pojených roun bavlny, a to po jednom cyklu a po deseti cyklech. Výsledky jsou uvedeny na grafech obr. 26. Práce vykonané při uzavření jednoho a deseti cyklů pro

Tabulka 7 Moduly, pevnosti, tažnosti a trhací práce nepojených a pojených vláknenných vrstev bavlny

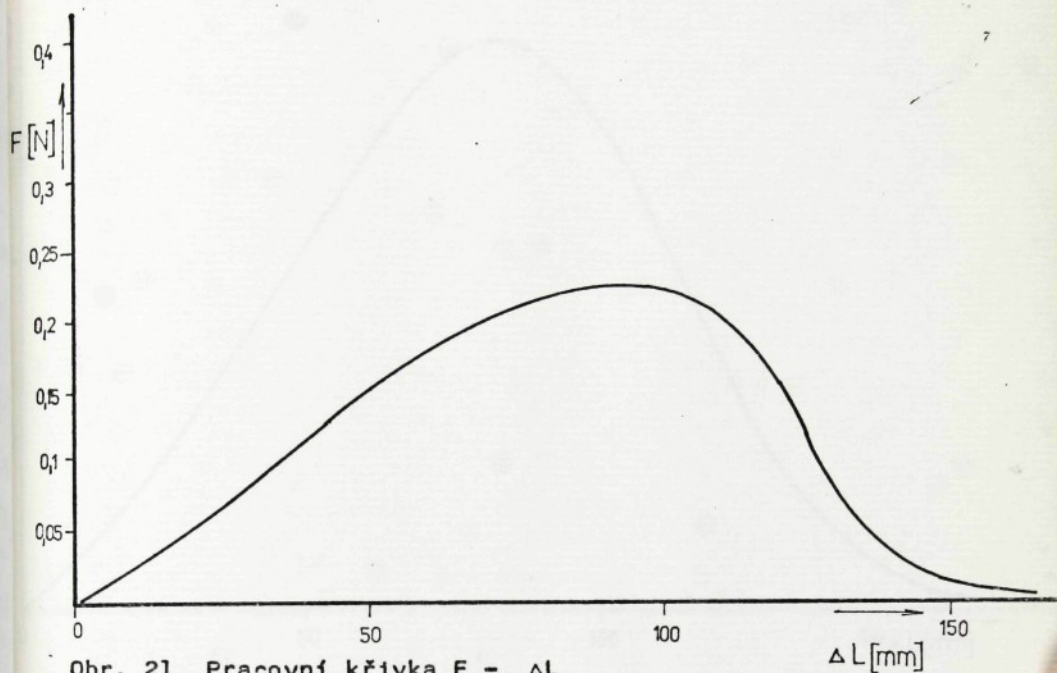
| Vláknenná vrstva                         | modul<br>(N/m) | pevnost<br>( N ) | tažnost<br>(mm) | trhací práce<br>( $10^{-2}$ J) |
|------------------------------------------|----------------|------------------|-----------------|--------------------------------|
| nepojená                                 |                |                  |                 |                                |
| 0,050 kg.m <sup>-2</sup>                 | 3,09           | 0,21             | 170             | 1,83                           |
| 0,100 kg.m <sup>-2</sup>                 | 5,25           | 0,37             | 200             | 3,44                           |
| 0,150 kg.m <sup>-2</sup>                 | 10,15          | 0,78             | 180             | 16,6                           |
| pojená                                   |                |                  |                 |                                |
| 20% NaOH+0,5%<br>tenzid                  | 30             | 0,96             | 120             | 15,76                          |
| 20% NaOH+1,5%<br>močovina+0,5%<br>tenzid | 38             | 1,68             | 115             | 10,8                           |

vzorek botnaný v 20 % NaOH činila  $7,6 \cdot 10^{-3}$  a  $2,8 \cdot 10^{-3}$  J a pro vzorky pojené 20 % NaOH s 1,5 % močoviny 5,4 a  $1,76 \cdot 10^{-3}$  J.

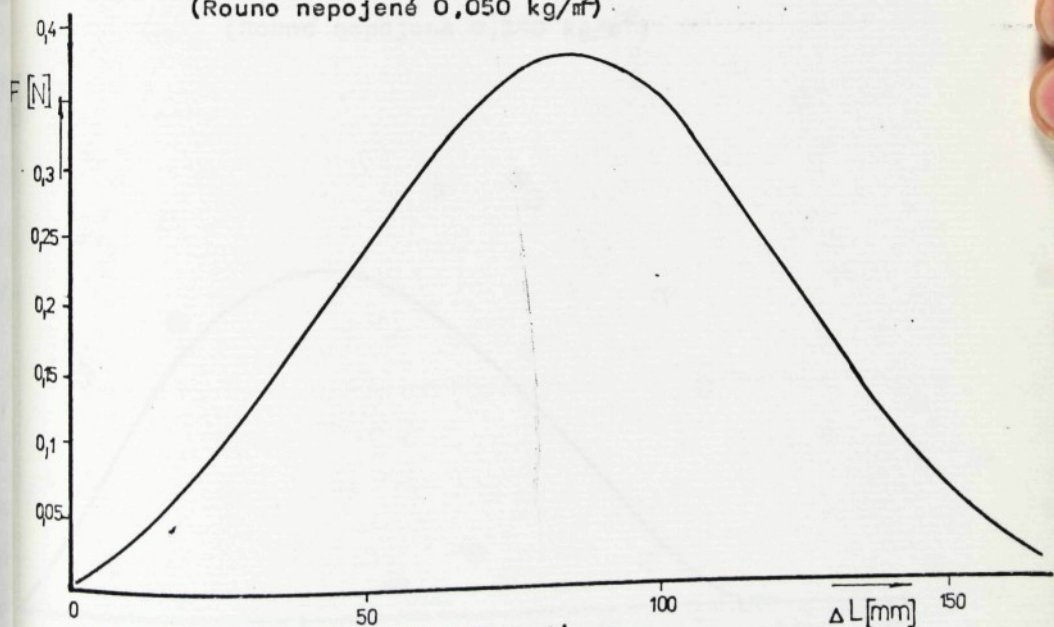
#### 4.7 Zhodnocení výsledků měření

Výsledky měření na vzorcích pojené přize uvedené na obr. 14 a 18 ukázaly, že zpevnění vláknenných soustav bavlny botnáním v hydroxidu sodném je složitý proces, který závisí jak na vnějších, tak na vnitřních parametrech soustavy. Mezi vnější vlivy počítáme koncentraci hydroxidu sodného, jehož optimální koncentrace pro pevnost spojů se pohybuje mezi 18 až 22 %. Přidání močoviny kolem 1,5 % je optimální. Závislost pevnosti spojů  $F$ , na koncentraci NaOH tvoří sousta-

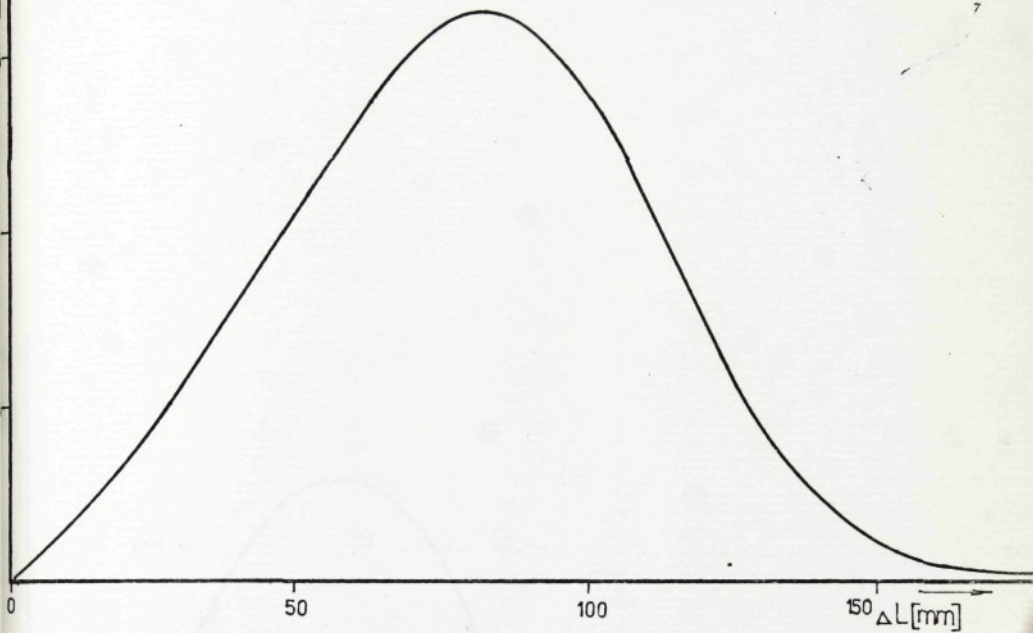




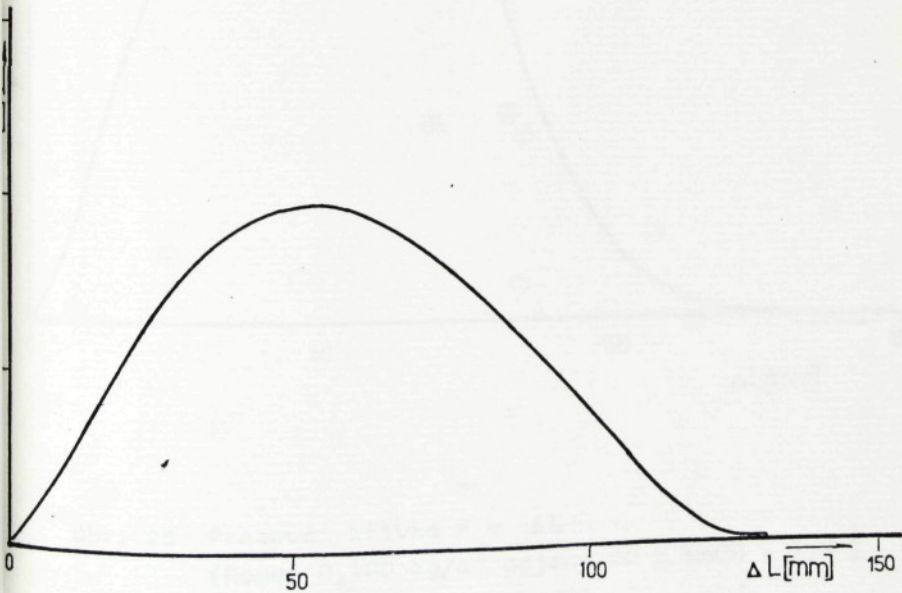
Obr. 21 Pracovní křivka  $F - \Delta L$   
(Rouno nepojené 0,050 kg/m<sup>3</sup>)



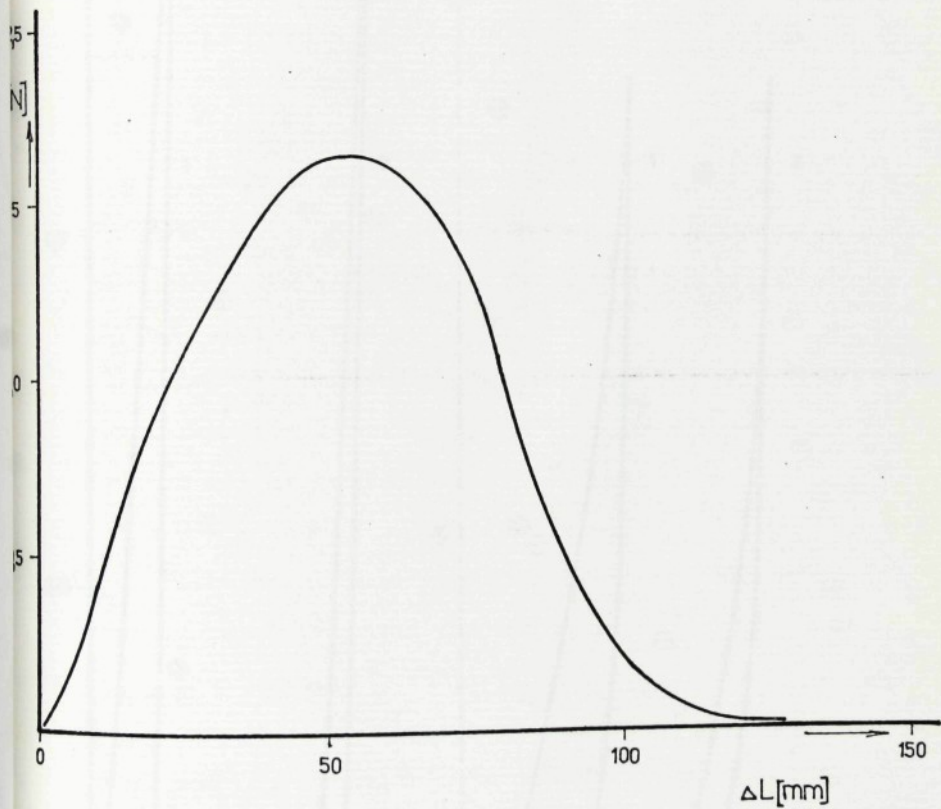
Obr. 22 Pracovní křivka  $F - \Delta L$   
(Rouno nepojené 0,100 kg/m<sup>3</sup>)



Obr. 23 Pracovní křivka  $F - \Delta L$   
(Rouno nepojené  $0,150 \text{ kg/m}^2$ )

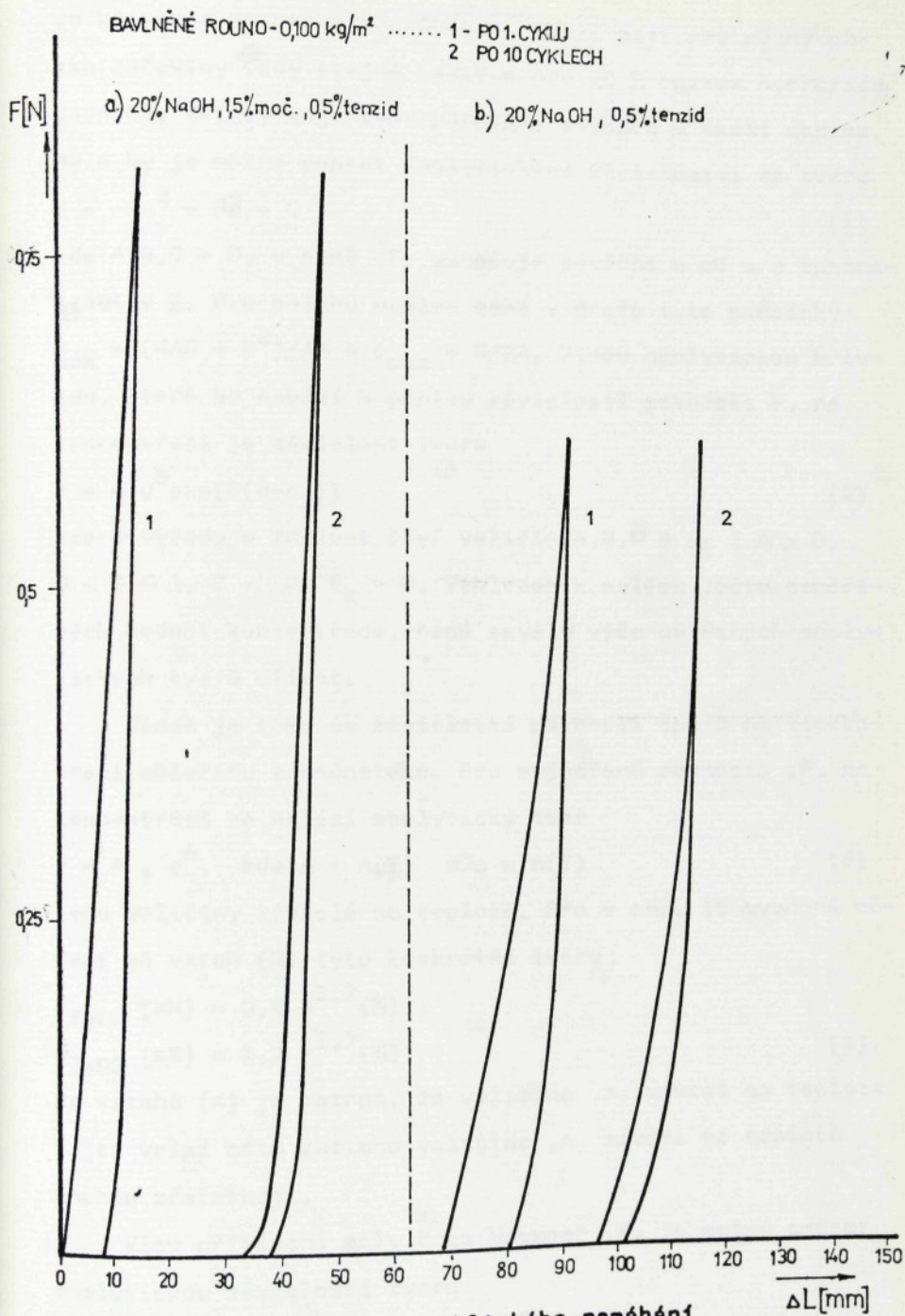


Obr. 24 Pracovní křivka  $F - \Delta L$   
(Rouno  $0,100 \text{ kg/m}^2$  pojené 20 % NaOH + 0,5 % tenzid)



Obr. 25 Pracovní křivka  $F - \Delta L$   
(Rouno  $0,100 \text{ kg/m}^2$  pojené 20 % NaOH + 1,5 %  
močoviny a 0,5 % tenzidu)





Obr. 26 Pracovní diagram cyklického namáhání

vu křivek s nemotonním průběhem, které mají pro různý obsah močoviny vždy stejné maximum pro 20 % roztok hydroxidu sodného. Křivky mají tvar paraboly alespoň v okolí maxima.

Bylo by je možné popsat analytickými závislostmi ve tvaru

$$F = -Ac^2 + Bc + C \quad (1)$$

kde  $A, B, C > 0$ , v němž  $F$ , označuje pevnost v mN a  $c$  koncentraci v %. Pro polohu maxima máme v grafu tyto podmínky

$F_{\max} = (4AC + B^2)/4A$  a  $c_{\max} = B/2A$ . Jinou analytickou křivkou, která se nabízí k popisu závislosti pevnosti  $F$ , na koncentraci je závislost tvaru

$$F = A c^B \exp(C(c-c_k)) \quad (2)$$

která vyžaduje znalost čtyř veličin  $A, B, C$  a  $c_k$  :  $A > 0$ ,  $0 < B < 1$ ,  $C < 0$ ,  $c_k > 0$ . Vzhledem k malému počtu naměřených hodnot koncentrace, nemá smyslu výše uvedených analytických tvarů užívat.

Jinak je tomu se závislostí pevnosti spojů na koncentraci chloridu zinečnatého. Pro vyjádření pevnosti  $F$ , na koncentraci se nabízí analytický tvar

$$F = A \cdot c^n, \text{ kde } A = A(T) \text{ a } n = n(T) \quad (3)$$

jsou veličiny závislé na teplotě. Pro v obr. 15 uvedená měření má vztah (3) tyto konkrétní tvary:

$$\begin{aligned} F_{T=20} \text{ (mN)} &= 0,2 c^{1,7} (\%), \\ F_{T=90} \text{ (mN)} &= 1,7 c^{1,7} (\%) \end{aligned} \quad (4)$$

Ze vztahů (4) je patrné, že veličina  $n$ , závisí na teplotě  $T$  jen velmi málo zatímco veličina  $A$ , závisí na teplotě mnohem zřetelněji.

Vliv přitlačné síly  $P$  na pevnost  $F$ , je možné popsat analytickou závislostí tvaru

$$F + F_0 = A \operatorname{arcsinh} (BP) \quad (5)$$

v němž  $F_0$ ,  $A$  a  $B$  jsou veličiny, které je třeba určit z měření. Veličina  $F_0$  se snadno odečte z grafu na obr. 16 a činí 35 mN. Výhodnější a fyzikálně lépe interpretovatelné je popsat průběh závislosti  $F = F(P)$  lomenou přímkou. Obě části pak popíšeme vztahem tvaru

$$F + F_0 = AP, \quad F + F_1 = A'P \quad (6)$$

což po odečtení z grafu na obr. 16 dává:

$$F \text{ (mN)} = 13,3 P \text{ (N)} - 35, \quad F \text{ (mN)} = 2,85 P \text{ (N)} - 138 \quad (7)$$

První vztah platí pro přítlačnou sílu do 10 N a druhý vztah pro přítlačnou sílu nad 10 N. Z průběhu je patrné, že přítlačná síla má z počátku velký vliv na pevnost spojů, a to do 10 N, pak její vliv ubývá a dochází k nasycení, a to v případě, kdy již všechna vazebná místa jsou vyčerpána.

Rovněž i vliv doby působení botnadla na pevnost nabývá optimální hodnoty, a to opět pro koncentraci hydroxidu sodného 20 % a dobu působení 30 sekund. Analytický průběh této závislosti lze popsat podobně jako tomu bylo pro vliv koncentrace hydroxidu sodného na pevnost spojů v obr. 14. Rovněž i v tomto případě vystačí experimentální průběh křivky.

Pevnost s rostoucí teplotou botnadla klesá. Průběhy křivek na obr. 18 mají tento analytický charakter

$$F = A T^{-n} \quad (8)$$

v němž veličiny  $A$  a  $n$  nezávisí na teplotě. Pro křivky uvedené na obr. 18 dostaneme závislosti (8) v těchto tvarech:

$$F_{14} \text{ (mN)} = 1080 T^{-1} (^{\circ}\text{C}), \quad F_{16} \text{ (mN)} = 870 T^{-0,8} (^{\circ}\text{C}),$$

$$F_{18,20,22} \text{ (mN)} = 350 T^{-0,25} (^{\circ}\text{C}) \quad (9)$$



Z těchto závislostí je patrné, že veličiny  $A = A(c)$  a  $n = n(c)$  jsou klesajícími funkcemi koncentrace.

Je třeba připomenout, že analytické vyjádření závislosti pevnosti na různých vlivech je výhodné znát pro automatizaci procesů zpevňování botnáním, a to až již byly získány z teoretických úvah nebo experimentálně. Jak ukázaly výše uvedené vztahy je třeba je vždy určit pro každou technologii odděleně. To ovšem platí i při změně kvality bavlny.

Zatímco předchozí úvahy sloužily pro zvládnutí technologie procesů zpevňování vlákných materiálů z bavlny, budou další úvahy orientovány na vlastnosti získaných vzorků a jejich výklad. Proto nyní obrátíme pozornost na grafy obr. 19 až 25 a na tabulky 6 a 7.

Nejprve věnujme pozornost botnáním zpevňovaných přízí, jejichž příprava byla již popsána v odst. 4.5. Spoj vznikne přitlakem dvou částí přízí a působením botnadla, přitlaku a doby. Z pracovních diagramů na obr. 19 získané mechanické charakteristiky shrnuje tab. 6. Z ní je vidět, že s rostoucí koncentrací botnadla za stálého přídávku močoviny se postupně zvyšuje mechanický modul, který je určen převážně hustotou tuhých vazeb mezi vlákny. Pevnost, která je citlivá i na další charakteristiky vazeb, jako je jejich rozložení a j. roste s koncentrací botnadla mnohem rychleji a je pro koncentraci 20 % NaOH a 1,5 % močoviny optimální. Vliv močoviny na pevnost spojů pro 16 % hydroxid sodný již není tak výrazný. S rostoucí koncentrací užitého botnadla roste poněkud i tažnost spojů. To je v souladu s mechanismem botnání. S rostoucím botnáním roste i podíl fibril, vy-

tvářejících gel, které po vyschnutí jsou odděleny od kompaktního vlákna a způsobují tak vyšší tažnost textilie. Tento výklad potvrzuje i snímek z rastrovacího mikroskopu na obr. 27. Trhací práce, která je integrální charakteristikou a zahrnuje v sobě veličiny předchozí, rovněž potvrzuje skutečnost, že koncentrace botnadia 20 % hydroxidu sodného a 1,5 % močoviny jsou pro dosažení nejlepší pevnosti veličinami optimálními.

Podobných výsledků bylo dosaženo i při zkoumání mechanických vlastností při zpevňování plošných útvarů z vláken bavlny. Výchozí surovinou byly v tomto případě nepojená



Obr. 27 Botnění zpevněných vláken-vznik gelu  
(zvětšeno 1500 x)



a pojená rouna. Výsledky odpovídající obr. 21 až 25, jsou opět shrnuty v tab. 7. Jak je vidět z tab. 7, nepojená rouna jsou charakteristická nízkým mechanickým modulem a vysokou tažností. To, co odlišuje nejvíce pojené a nepojené vláknenné vrstvy bavlny je mechanický modul, kterému odpovídá tuhost textilie v tahu. Jsou tedy pojené (zpevněné) vláknenné vrstvy botnáním troj-, až čtyřnásobně tužší než odpovídající rouno. Při optimálních pojicích podmínkách vzroste pevnost textilie proti nepojenému rounu odpovídající plošné hmotnosti více než dvojnásobně. Zpevněním se dosahuje podstatně nižší tažnosti textilie. Rovněž i trhací práce se zpevněním téměř zdvojnásobí. Porovnáváme-li rouno plošné hmotnosti  $150 \text{ g/m}^2$  s pojenou textilií plošné hmotnosti  $100 \text{ g/m}^2$  zjistíme, že jeho pevnost je srovnatelná s pevností zpevněné textilie hydroxidem sodným s tenzidem bez přísavku močoviny. Stejně je tomu i s trhací prací. Oba typy textilií se však liší v modulech a tažnosti, takže jde v podstatě o textilie zcela odlišné,  $150 \text{ g/m}^2$  stejně pevné rouno je mnohem méně tuhé než textilie pojená. To odpovídá zvýšenému počtu vazeb a spojů mezi vlákny pojené vláknenné vrstvy.

Výsledky získané z měření mechanických vlastností plně potvrdily výsledky měření technologických a jsou s nimi v naprostém souladu.

#### 4.6.8 Souhrn výsledků a diskuse

Měření provedená na spojích přízí a na vrstevných vláknenných textiliích se základní surovinou zpevněnou botnáním bavlněných vláken umožnila nalézt optimální podmínky pro



složení botnadla používaného ke zpevnění rouna z vláken bavlny. Měření prokázala, že optimální složení botnadla je 20 % NaOH za přidání 1,5 % močoviny. Přídavek tenzidů zajišťuje dobrou smáčivost vláken botnadlem. Při užití chloridu zinečnatého jako botnadla je průběh pevnosti na koncentraci monotonní. Účinnost tohoto botnadla na botnání a pevnost spojů mnohonásobně převyšuje účinnost hydroxidu sodného. Zkoušení mechanických vlastností botnáním pojených vláknenných soustav bavlny prokázalo, že dochází k měřitelnému zpevnění vláknenné vrstvy. Hlavní veličinou, která popisuje zpevnění vláknenné vrstvy je mechanický modul související s tuhostí v tahu. Botnáním zpevněné vláknenné vrstvy bavlny mají několikanásobně dvoj- až čtyřnásobně vyšší moduly, dvojnásobně vyšší pevnost, menší tažnost, než jim odpovídající rouno. Je tedy z obecně teoretického hlediska jasné, že dochází ke spojmům mezi vlákny. Mechanismus zpevňování spočívá v několika fázích. V první fázi dochází k zbotnání vláken bavlny. Botnání závisí na původu a kvalitě bavlny. I když bavlna obsahuje více než 90 % celulózové složky, dochází vlivem dalších složek k retardaci botnání proti regenerované vláknenné celulóze. Na poměrně snadném botnání celulózy je založena technologie Eisenhut, která užívá snadné botnatelnosti čistých celulózových vláken ve směsi s bavlnou a pro botnání užívá 7 % hydroxid sodný jako botnadlo optimální koncentrace. Při zpevňování čisté bavlny je proto třeba, ve shodě s výsledky Eisenhut technologie, užít radikálnějšího botnadla, jak bylo ukázáno na měření vlastností zpevněných vláknových vrstev připravených z bavlenných vláken. Velmi účinným botnadlem se ukázal roztok chloridu

žinečnatého. Botnání odděluje fibrily z celulózových vláken a vytváří s vodou gelovou strukturu. Uvolněné fibrily makromolekul celulózových vláken se mohou snadněji dostat do kontaktu a molekulárními silami působícími na krátké vzdálenosti a vodíkovými můstky vytvořit adhezní, autohezní či kohezní spoje. Po odpaření vody se zvýší vazba mezi fibrilami. Čím větší část objemu vláken zbotnalo, tím tažnější je textilie ve shodě se získanými výsledky. Přítlakem se zvyšuje pravděpodobnost kontaktu fibril a tedy i počet a hustota míst spojů, textilie se stává tužší, má větší mechanický modul. Rovněž i čas botnání zvyšuje pravděpodobnost kontaktu a po vysušení i pevnost vazby. Zvýšením teploty dochází k snížení pravděpodobnosti kontaktu fibril a tedy i k snížení pevnosti spojené textilie vlivem působení teplotního pohybu, což je v souladu s dosaženými výsledky.

I když byla během výzkumu pojení bavlněných vláken jejich botnáním v hydroxidu sodném s přidavkem močoviny nalezena optimální koncentrace močoviny, nebyl diskutován její molekulární význam na pojení botnáním. Jak vyplývá z tab. 6 a 7, ovlivňuje přidavek močoviny příznivě tuhost, pevnost a tažnost výsledných textilií. Jak je uvedeno na obr. 26 byla prováděna rovněž mechanická měření při cyklickém namáhání vzorků a to jedním cyklem a deseti cykly užitím zatěžovací síly rovné 60 % pevnosti. Měření ukázala, že při namáhání vzniká hystereze. Hodnoty hysterézní práce určené z křivky na obr. 26 činily pro vzorek zpevněný botnáním při užití 20 % roztoku NaOH s přidavkem 0,5 % tenzidu  $7,6 \cdot 10^{-3}$  J pro jeden cykl a  $2,8 \cdot 10^{-3}$  J pro deset cyklů.



pro vlákněné vrstvy zpevněné botnáním ve 20 % NaOH za pří-  
davku 1,5 % močoviny a 0,5 % tenzidu nabývala hysterézní  
práce hodnoty  $5,4 \cdot 10^{-3}$  J pro jeden cykl a  $1,76 \cdot 10^{-3}$  J  
pro deset cyklů. Z uvedených hodnot vyplývá, že v prvním pří-  
padě se cyklickým namáháním vzorků snížila hysterézní práce  
2,7 krát a ve druhém případě 3,1 krát. Pro vzorek zpevněný  
botnáním v NaOH za přidavku močoviny klesla hysterézní prá-  
ce proti vzorku zpevněnému při botnání pouze v hydroxidu.  
Ze všech uvedených skutečností vyplývá, že močovina má  
schopnost bavlněná vlákna zpevňovat, zatím co úloha hydro-  
xidu sodného je vlákna nabotnávat. Snížení velikosti hyste-  
rézních ploch pro NaOH s přidavkem močoviny lze vyložit  
stabilizujícím účinkem močoviny. Rovněž i cyklické namáhá-  
ní má význam stabilizace vazeb vláken celulózy. Vznik vět-  
šího počtu, nebo silnějších vazeb působením močoviny lze  
vyložit její molekulární a izomérní strukturou. Karbonylo-  
vá forma močoviny může s kyslíky, případně hydroxylovými  
skupinami celulózy vytvářet vodíkové můstky a tím i zesi-  
lit spoje mezi molekulami nabotnalých fibril. Strukturní  
izoforma močoviny pak může vytvořit s kyslíkem celulózy,  
případně s hydroxilovou skupinou iontové vazby, které jsou  
mnohem silnější než vazby molekulární. Přídavek močoviny  
se projevuje jako stabilizující faktor pro zvýšení celko-  
vé vazby mezi molekulami celulózy, jak bylo potvrzeno ex-  
perimentálně v této práci.



## 5 ZÁVĚR

Tato práce vedla ke zjištění základních podmínek, za kterých je možné vytvořit potřebné autohezní spoje ve vláknenné vrstvě z bavlny. Tyto podmínky je možné aplikovat jak při technologických procesech založených na impregnaci rouna, tak i při využití nových metod založených na řízeném vnášení pojiva (botnadla) do vláknenné vrstvy /60, 61/. Využití získaných výsledků k těmto technologickým aplikacím si vyžádá samostatné ověření.

## POUŽITÁ LITERATURA

1. JAWICH, M.B.S. : Práce ke zkoušce z textilních materiálů v rámci aspirantského minima, VŠST Liberec 1982
2. ALBRECHT, W. : Trendy vývoje a uplatnění netkaných textilií, Vlnářský informativní přehled č. 5, VÚV Brno 1982
3. PIKOVSKIJ, G.J. : Textil budoucnosti, SNTL Praha 1977
4. KRČMA, R. : Stroje a chemická technologie netkaných textilií, skripta, VŠST Liberec 1983
5. Br.Pat.131 964
6. Br.Pat.1 424 311
7. US.Pat.4 275 195
8. Br.Pat.1 506 293
9. LÜNENSCHLOSS, J.; ALBRECHT, W. : Vliesstoffe, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1952
10. STOVER, H. : Vlákenná páska zpevněná celulózovými vlákny, Derw. Pladac 1981, A<sub>3</sub> - A<sub>4</sub>
11. 643-BRD DOS 2 814 452
12. SCHAPPEL, J.W.; HOCK, M. : Cellulosische Bindefasern Chemiefasern, 1973 č. 8, s.740-746
13. KRČMA, R.; CHRPOVÁ, E. : Stroje a mechanická technologie netkaných textilií, skripta, VŠST Liberec 1983
14. WINCH, A.R. : Cotton one of the oldest and newest fibres for nonwoven applications, Inda tech. sym. nonwoven technol. (kissimmer, F.L.) 8, s.224-253, (March 19-21, 1980)
15. BLAŽEJ, A.; ŠUTÁ, Š. : Vlastnosti textilních vláken, ALFA, Bratislava 1982

16. WARD, K.Ed. : Chemistry and chemical Technology of Cotton, Interscience, London 1955
17. Mc KELVEY, J.B. : Text.Res.J.,34,s.368,1964
18. BIKALES, N.M.; SEGAL, L.Eds. : Cellulose and Cellulose derivatives, parts IV-V Viley, Interscience, New York 1971
19. HEARLE, J.W.S.; MILES, L.W.C. : The Setting of Fibres and Fabrics, Marrow, England 1971
20. JEFFRIES, R. a kol.: Cell. Chem. Technol. 3,s.255,1969
21. ROWLAND, S.P. a kol. : Text.Res.J.46,s.194,1976
22. SADOV, F.J. a kol. : Chemičeskaja technologija voloknistič materialov, Chimija, Moskva 1968
23. DOMETSCH, H.H.; DOLMETSCH, H. : Text.Res.J.39,s.568 1969
24. ROLLINS, W.L. a kol. : Amer. Dyestuff.Rept. 52,P 479, 1963
25. KAVÁLEK, J. : Bavlina, klasifikace, hodnocení, přejímka, Hradec Králové 1978
26. REICHSTÄDTER, B. : Studium vzniku ojetnění u tkanin s obsahem polyesterových vláken, Kandidátská disertační práce, VÚV, Brno 1967
27. ROWLAND, S.P. a kol. : Text. Res.J. 42, s.122, 1972
28. SADOV, F.J. a kol. : Chemičeskaja technologija voloknistič materialov, Chimija, Moskva 1968
29. WAGNER, R.E.; PASH, E. : Text.Res.J. 22, s.12, 1952
30. PETERSEN, H. : Melliand Textilber., s.54, s. 415, 529, 669, 1973
31. PETERSEN, H. : Text.Res.J., 40, s.335, 1970



32. PETERSEN, H. : Textilveredlung, 8, s. 412, 1973
33. GONZALES, E.J. a kol. : Text. Res. J., 36, s. 571, 1966
34. GONZALES, E.J. a kol. : Text. Res. J., s. 726, 1967
35. ENDERS, H. : Melliand Textilber., 38, s. 547, 1957
36. MARSCH, J.T. : Textile Mfr., 85, s. 35, 1959
37. OLLAGNIER, M. : Chemie and Industrie, 79, s. 770, 1958
38. TOLEY, H. : Text. Res. J., 31, s. 185, 1961
39. PETERS, R. : Textile chemistry, volume I, Elsevier publ. comp., Amsterdam, London, New York, 1963
40. BLAŽEJ, A. a kol. : Chémia dreva, ALFA, Bratislava 1975
41. ROGOVIN, Z.A.; ŠORYGINA, N.N. : Chimija cellulozy i je-  
jo sputnikov, 1. izd., Moskva 1953
42. BARTHEL, P.; PHILLIP, B. : Faserforschung und Textil-  
technik, 17, s. 186, 1966
43. HERZOG, R.O.; BECK, F. : Z. physiol. chem., 111, s. 287, 1920
44. VEJMARN, P.P. : Koll. Z., 11, s. 41, 1912
45. HATA, K.; YOKATA, K. : J. Soc. Fiber. Sci. Technol., 26, s. 571, Japan 1970
46. FOWER, W.F. a kol. : J. Am. Chem. Soc., 69, s. 19636, 1947
47. SCHWEIGER, R.G. : Chem and Ind., s. 296, 1969
48. HESS, K.; TROGUS, C. : Ber., 68, s. 1986, 1935
49. DANILOV, S.N.; KOZAKOVIČ, A.Ž. : Prihl. chim., 13, s. 1667, 1940
50. TRAUBE, W. : Ber., 44, s. 2319, 1911
51. FRANKE, W. : Ann., 486, s. 242, 1931

52. JAYME, G.; LANG, F. : Koll.Z., 144, s.75, 1955
53. HOUVINK, A.; SALAMON, G. : Adhesion and Adhesives, Vol. I Adhesives, Elsevier, Amsterdam 1965
54. KOLÍNSKÝ, O. : Přehled o lepidlech či adhezivech Chemie, s.2-4, 1951
55. WEBER, K. : Pojené textilie, Mezinárodní konference o netkaných textiliích, Dům techniky, Brno 1968
56. KREJČÍ, F. : Adheze a pojení v textilním průmyslu, Zborník přednášek z VII. celostátní konference textilných chemikov, II. časť, Žilina 21. 23.4.1971
57. LANGE, H. : Koll.Z.s.136, 1954
58. ELEY, D.D. : Adhesion, Oxford University Press, Oxford 1961
59. PARKER, R.S.R.; TAYLOR, P. : Adhesion and Adhesives, Pergamon Press, Oxford 1966
60. KRČMA, R.; JAWICH, M.B.S. : Způsob výroby vpichovaných textilií z bavlny, PV 8056 - 83
61. KRČMA, R.; JAWICH, M.B.S. : Způsob výroby pojených textilií z bavlny, PV 585 - 84

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1    Struktura bavlněného vlákna
- Obr. 2    Molekuly vody vázané vodíkovými můstky přímo na OH skupiny a další, molekuly vody vázané na vodu z první vrstvy
- Obr. 3    Procenta neobarvených vláken
- Obr. 4    Změny v délce bavlněných vláken při zpracování v sérii roztoků hydroxidu sodného
- Obr. 5    Změny v množství celulózy II vytvořené v bavlněném odpadu, vyjádřené jako funkce koncentrace hydroxidu sodného
- Obr. 6    NaOH a  $H_2O$  nasáklé deskou celulózy při  $25^{\circ}C$
- Obr. 7    Absorpce vody a NaOH bavlnou
- Obr. 8    Vyvěrání celulózy z konců vlasového fragmentu, smočeného v 30 % NaOH
- Obr. 9    Volná srážlivost odřených surových a praných vláken
- Obr.10    Schema systému příze - příze
- Obr.11    Botnutí bavlněného vlákna v roztoku NaOH
- Obr.12    Uložení přizí na podložním mikroskopickém skle
- Obr.13    Zařízení pro regulovatelný přítlak
- Obr.14    Vliv koncentrace na pevnost spojů
- Obr.15    Vliv koncentrace  $ZnCl_2$  na pevnost spojů
- Obr.16    Vliv přítlačné síly na pevnost spojů
- Obr.17    Závislost pevnosti na době působení botnadla
- Obr.18    Vliv teploty botnadla na pevnost spojů
- Obr.19    Závislost síly na deformaci (proměnná koncentrace NaOH)
- Obr.20    Závislost síly na deformaci (proměnná koncentrace močoviny)



- Obr.21 Pracovní křivka  $F - L$   
- rouno nepojené o hmotnosti  $0,050 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Obr.22 Pracovní křivka  $F - L$   
- rouno nepojené o hmotnosti  $0,100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Obr.23 Pracovní křivka  $F - L$   
- rouno nepojené o hmotnosti  $0,150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Obr.24 Pracovní křivka  $F - L$   
- rouno o hmotnosti  $0,100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  pojené 20 %  
NaOH + 0,5 % tenzidu
- Obr.25 Pracovní křivka  $F - L$   
- rouno o hmotnosti  $0,100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  pojené 20 %  
NaOH + 1,5 % močoviny + 0,5 % tenzidu
- Obr.26 Pracovní diagram cyklického namáhání
- Obr.27 Botnání zpevněných vláken -vznik gelu

# **Příloha - tabulky měření**

| číslo | čas  | čas  |
|-------|------|------|
| 1     | 23,5 | 23,5 |
| 2     | 23,5 | 23,5 |
| 3     | 23,5 | 23,5 |
| 4     | 23,5 | 23,5 |
| 5     | 23,5 | 23,5 |
| 6     | 23,5 | 23,5 |
| 7     | 23,5 | 23,5 |
| 8     | 23,5 | 23,5 |
| 9     | 23,5 | 23,5 |
| 10    | 23,5 | 23,5 |

| číslo | čas  | čas  |
|-------|------|------|
| 1     | 23,5 | 23,5 |
| 2     | 23,5 | 23,5 |
| 3     | 23,5 | 23,5 |
| 4     | 23,5 | 23,5 |
| 5     | 23,5 | 23,5 |
| 6     | 23,5 | 23,5 |
| 7     | 23,5 | 23,5 |
| 8     | 23,5 | 23,5 |
| 9     | 23,5 | 23,5 |
| 10    | 23,5 | 23,5 |

## Příloha 1

Tab.7a Vliv koncentrace NaOH na sílu spoje /mN/

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v% |       |       |       |       |       |
|-----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 14                  | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    |
| 1               | 12,4                | 20,5  | 35,4  | 38,6  | 30,5  | 28,0  |
| 2               | 10,6                | 24,3  | 32,8  | 40,0  | 38,8  | 35,6  |
| 3               | 14,2                | 19,7  | 29,5  | 38,0  | 37,6  | 32,0  |
| 4               | 12,8                | 22,0  | 36,4  | 45,1  | 42,1  | 40,2  |
| 5               | 11,5                | 26,5  | 30,6  | 40,2  | 37,5  | 38,4  |
| 6               | 13,0                | 21,0  | 34,2  | 37,4  | 33,6  | 30,6  |
| 7               | 10,9                | 19,8  | 28,0  | 41,5  | 36,0  | 29,8  |
| 8               | 15,8                | 22,6  | 33,7  | 37,0  | 29,7  | 41,5  |
| 9               | 9,0                 | 19,0  | 26,5  | 48,2  | 43,5  | 39,0  |
| 10              | 12,0                | 24,0  | 35,7  | 41,5  | 40,3  | 36,4  |
| $\sum x$        | 122,2               | 219,4 | 322,8 | 407,5 | 369,6 | 351,2 |
| $\bar{x}$       | 12,22               | 21,94 | 32,28 | 40,75 | 36,96 | 35,12 |
| s               | 1,817               | 2,285 | 3,265 | 3,374 | 4,371 | 4,509 |
| v/%/            | 14,8                | 10,4  | 10,1  | 8,2   | 11,8  | 12,8  |

Tab.8 Vliv koncentrace NaOH s přidavkem 0,5% močoviny na sílu spoje /mN/

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH s přidavkem 0,5% močoviny |       |        |       |       |       |
|-----------------|--------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                 | 14                                         | 16    | 18     | 20    | 22    | 24    |
| 1               | 22,5                                       | 37,0  | 43,0   | 58,6  | 48,5  | 50,6  |
| 2               | 20,8                                       | 39,5  | 32,8   | 47,0  | 50,3  | 58,2  |
| 3               | 19,6                                       | 43,2  | 54,6   | 65,3  | 60,7  | 49,6  |
| 4               | 24,5                                       | 30,0  | 58,2   | 56,2  | 56,0  | 52,1  |
| 5               | 22,7                                       | 29,0  | 49,5   | 72,1  | 59,8  | 55,6  |
| 6               | 27,5                                       | 40,5  | 60,8   | 56,5  | 60,5  | 58,4  |
| 7               | 35,4                                       | 46,0  | 58,0   | 64,8  | 47,6  | 42,5  |
| 8               | 24,0                                       | 34,2  | 65,4   | 70,5  | 55,2  | 50,7  |
| 9               | 15,6                                       | 41,8  | 61,2   | 68,0  | 64,6  | 68,5  |
| 10              | 29,0                                       | 40,6  | 69,8   | 54,8  | 50,7  | 45,0  |
| $\sum x$        | 241,6                                      | 381,8 | 553,3  | 613,8 | 553,9 | 531,2 |
| $\bar{x}$       | 24,16                                      | 38,18 | 55,33  | 61,38 | 55,39 | 53,12 |
| s               | 5,208                                      | 5,299 | 10,414 | 7,598 | 5,612 | 7,076 |
| v/%/            | 21,5                                       | 13,8  | 18,8   | 12,4  | 10,1  | 13,3  |



Tab.9 Vliv koncentrace NaOH s přidavkem 1,0% močoviny na sílu spoje/mN/

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH s přidavkem 1,0% močoviny |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 14                                         | 16     | 18     | 20     | 22     | 24     |
| 1               | 46,2                                       | 86,9   | 110,0  | 135,5  | 130,0  | 98,6   |
| 2               | 39,4                                       | 80,5   | 130,7  | 150,6  | 140,1  | 102,5  |
| 3               | 45,6                                       | 105,2  | 128,0  | 130,0  | 110,6  | 114,8  |
| 4               | 28,0                                       | 98,6   | 90,6   | 112,5  | 136,2  | 97,6   |
| 5               | 39,6                                       | 86,0   | 142,5  | 150,4  | 150,0  | 109,0  |
| 6               | 60,2                                       | 72,5   | 115,3  | 122,8  | 115,6  | 108,0  |
| 7               | 54,5                                       | 85,4   | 105,8  | 140,0  | 158,2  | 140,0  |
| 8               | 58,1                                       | 115,6  | 130,2  | 105,6  | 110,0  | 115,7  |
| 9               | 40,0                                       | 90,0   | 100,1  | 156,0  | 98,7   | 89,3   |
| 10              | 53,5                                       | 75,4   | 118,6  | 128,7  | 107,0  | 112,6  |
| $\sum x$        | 465,1                                      | 896,1  | 1171,8 | 1332,1 | 1256,4 | 1088,2 |
| $\bar{x}$       | 46,51                                      | 89,61  | 117,18 | 133,21 | 125,64 | 108,82 |
| s               | 9,584                                      | 12,709 | 15,150 | 15,807 | 19,073 | 13,124 |
| v%/             | 20,6                                       | 14,2   | 12,9   | 11,8   | 15,2   | 12,1   |

Tab.10 Vliv koncentrace NaOH s přidavkem 1,5% močoviny na sílu spoje /mN/

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH s přidavkem 1,5% močoviny |       |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 14                                         | 16    | 18     | 20     | 22     | 24     |
| 1               | 52,4                                       | 76,2  | 153,1  | 168,0  | 173,0  | 155,1  |
| 2               | 47,6                                       | 68,4  | 170,6  | 155,1  | 160,3  | 160,5  |
| 3               | 58,5                                       | 84,0  | 165,0  | 185,6  | 144,9  | 150,2  |
| 4               | 60,1                                       | 67,5  | 148,3  | 172,0  | 184,0  | 140,5  |
| 5               | 65,3                                       | 89,3  | 173,0  | 166,2  | 160,5  | 172,0  |
| 6               | 54,0                                       | 91,2  | 165,0  | 172,5  | 155,4  | 163,1  |
| 7               | 62,0                                       | 100,5 | 140,2  | 156,3  | 184,2  | 172,3  |
| 8               | 70,6                                       | 84,8  | 177,5  | 178,0  | 168,0  | 138,4  |
| 9               | 58,4                                       | 78,6  | 138,6  | 181,4  | 171,0  | 142,6  |
| 10              | 45,6                                       | 83,0  | 159,0  | 170,0  | 156,4  | 159,6  |
| $\sum x$        | 574,5                                      | 823,5 | 1590,3 | 1705,1 | 1657,7 | 1554,3 |
| $\bar{x}$       | 57,45                                      | 82,35 | 159,03 | 170,51 | 165,77 | 155,43 |
| s               | 7,342                                      | 9,655 | 12,898 | 9,344  | 12,021 | 11,687 |
| v%/             | 12,7                                       | 11,7  | 8,1    | 5,4    | 7,2    | 7,5    |

Tab.11 Vliv koncentrace NaOH s přidavkem 2,0 % močoviny na sílu spoje /mN/

| Číslo vzorku | Koncentrace NaOH v% s přidavkem 2,0 % močoviny |        |        |        |        |        |
|--------------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | 14                                             | 16     | 18     | 20     | 22     | 24     |
| 1            | 49,8                                           | 72,0   | 110,0  | 140,0  | 126,0  | 116,0  |
| 2            | 52,6                                           | 80,4   | 145,2  | 152,6  | 135,0  | 138,0  |
| 3            | 38,2                                           | 65,8   | 155,1  | 160,4  | 150,4  | 145,6  |
| 4            | 45,8                                           | 84,5   | 168,4  | 170,3  | 158,6  | 168,0  |
| 5            | 55,6                                           | 75,2   | 132,6  | 151,3  | 160,0  | 138,6  |
| 6            | 40,1                                           | 86,1   | 115,2  | 143,0  | 124,6  | 112,0  |
| 7            | 59,5                                           | 82,6   | 120,4  | 128,6  | 161,3  | 128,4  |
| 8            | 48,0                                           | 89,5   | 106,0  | 169,5  | 115,8  | 105,0  |
| 9            | 32,6                                           | 61,4   | 148,6  | 148,3  | 142,0  | 127,6  |
| 10           | 65,0                                           | 58,6   | 151,3  | 170,0  | 113,6  | 132,4  |
| $\sum x$     | 487,2                                          | 755,3  | 1352,8 | 1534,0 | 1387,3 | 1313,0 |
| $\bar{x}$    | 48,72                                          | 75,53  | 135,28 | 153,40 | 138,73 | 131,30 |
| s            | 9,480                                          | 10,314 | 20,373 | 13,428 | 17,420 | 17,451 |
| V/%/         | 19,4                                           | 13,6   | 15,0   | 8,7    | 12,5   | 11,0   |

tab.12 Vliv koncentrace  $ZnCl_2$  na sílu spoje/mN/ teplota 20°C, tlak 10,2N

| Číslo vzorku | Koncentrace $ZnCl_2$ v % |        |       |        |        |        |        |
|--------------|--------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|              | 10                       | 20     | 30    | 40     | 50     | 60     | 70     |
| 1            | 26,3                     | 45,7   | 73,9  | 96,8   | 133,1  | 230,0  | 405,0  |
| 2            | 35,4                     | 48,9   | 85,3  | 105,6  | 148,1  | 252,7  | 420,8  |
| 3            | 22,6                     | 60,2   | 77,6  | 122,0  | 156,7  | 216,4  | 400,0  |
| 4            | 40,2                     | 29,3   | 90,3  | 99,6   | 108,6  | 245,0  | 438,7  |
| 5            | 20,3                     | 53,6   | 65,4  | 80,4   | 127,2  | 198,6  | 452,3  |
| 6            | 38,8                     | 44,8   | 72,9  | 91,3   | 139,6  | 263,2  | 390,7  |
| 7            | 20,1                     | 71,3   | 56,8  | 78,6   | 146,7  | 238,0  | 381,2  |
| 8            | 18,0                     | 40,8   | 75,6  | 89,0   | 160,3  | 224,3  | 415,6  |
| 9            | 45,3                     | 37,6   | 81,4  | 112,4  | 120,6  | 205,8  | 398,0  |
| 10           | 30,8                     | 22,7   | 78,1  | 113,6  | 118,0  | 258,0  | 418,6  |
| $\sum x$     | 297,8                    | 454,9  | 757,3 | 989,3  | 1358,9 | 2332,0 | 4120,9 |
| $\bar{x}$    | 29,78                    | 45,49  | 75,73 | 98,93  | 135,89 | 233,20 | 412,09 |
| s            | 9,216                    | 13,513 | 9,064 | 13,754 | 16,387 | 20,921 | 20,645 |
| v/%/         | 30,0                     | 29,7   | 11,9  | 13,9   | 12,0   | 9,0    | 5,0    |



Tab.13 Vliv koncentrace  $\text{ZnCl}_2$  na sílu spoje /mN/,  
tepelný šok 90°C, doba šoku 30 s, přítlak 10,2 N

| číslo<br>vzorku | Koncentrace $\text{ZnCl}_2$ v % |        |        |        |         |         |
|-----------------|---------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                 | 10                              | 20     | 30     | 40     | 50      | 60      |
| 1               | 84,6                            | 180,6  | 540,2  | 895,0  | 1306,0  | 1886,0  |
| 2               | 90,2                            | 201,4  | 510,6  | 915,8  | 1320,7  | 1902,3  |
| 3               | 76,8                            | 160,3  | 575,2  | 874,0  | 1284,5  | 1864,3  |
| 4               | 86,5                            | 168,7  | 538,6  | 856,8  | 1334,0  | 1900,8  |
| 5               | 74,1                            | 195,4  | 556,3  | 920,3  | 1296,0  | 1875,0  |
| 6               | 88,7                            | 215,0  | 495,8  | 916,0  | 1288,7  | 1880,4  |
| 7               | 97,6                            | 170,3  | 529,4  | 872,0  | 1300,0  | 1874,0  |
| 8               | 108,2                           | 170,1  | 560,2  | 865,4  | 1290,4  | 1860,3  |
| 9               | 70,1                            | 224,3  | 570,3  | 882,6  | 1322,7  | 1891,7  |
| 10              | 80,0                            | 200,7  | 530,0  | 900,7  | 1316,5  | 1934,0  |
| $\sum x$        | 856,8                           | 1886,8 | 5406,6 | 8898,6 | 13059,5 | 18869,3 |
| $\bar{x}$       | 85,68                           | 188,68 | 540,66 | 889,86 | 1305,95 | 1886,9  |
| s               | 10,810                          | 20,654 | 24,205 | 21,736 | 15,906  | 20,565  |
| v/%/            | 12,6                            | 10,9   | 4,4    | 2,5    | 1,2     | 1,1     |

Tab.14 Vliv přítlaku na sílu spoje /mN/,  
přítlak 1,2 N

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v % |       |       | Koncentrace NaOH v %<br>s přídavkem 1,5% moč. |       |        |
|-----------------|----------------------|-------|-------|-----------------------------------------------|-------|--------|
|                 | 18                   | 20    | 22    | 18                                            | 20    | 22     |
| 1               | 17,4                 | 22,8  | 28,0  | 42,8                                          | 61,3  | 49,5   |
| 2               | 18,5                 | 28,6  | 22,6  | 55,6                                          | 56,4  | 52,6   |
| 3               | 12,8                 | 26,2  | 19,5  | 40,8                                          | 48,6  | 38,4   |
| 4               | 18,0                 | 21,7  | 17,6  | 61,2                                          | 70,9  | 60,0   |
| 5               | 24,3                 | 35,4  | 33,4  | 58,4                                          | 65,3  | 70,3   |
| 6               | 22,0                 | 30,2  | 29,6  | 48,6                                          | 41,3  | 40,7   |
| 7               | 29,6                 | 28,6  | 32,1  | 69,4                                          | 52,6  | 36,5   |
| 8               | 30,9                 | 20,8  | 16,5  | 55,0                                          | 50,8  | 39,0   |
| 9               | 26,3                 | 29,5  | 21,0  | 47,9                                          | 67,4  | 45,6   |
| 10              | 20,0                 | 34,6  | 25,0  | 65,3                                          | 71,8  | 51,5   |
| $\sum x$        | 220,0                | 275,7 | 253,3 | 545,0                                         | 589,4 | 484,1  |
| $\bar{x}$       | 22,00                | 27,54 | 25,33 | 54,50                                         | 58,44 | 48,41  |
| s               | 5,494                | 4,808 | 5,736 | 8,962                                         | 9,274 | 10,197 |
| v/%/            | 24,9                 | 17,4  | 22,6  | 16,4                                          | 15,8  | 21,0   |



Tab.15 Vliv přitlaku na sílu spoje /mN/

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v % s přidavkem 1,5% močoviny |        |       |                |        |        |
|-----------------|------------------------------------------------|--------|-------|----------------|--------|--------|
|                 | Přítlak 5,2 N                                  |        |       | Přítlak 10,2 N |        |        |
|                 | 18                                             | 20     | 22    | 18             | 20     | 22     |
| 1               | 81,7                                           | 92,6   | 89,7  | 153,1          | 168,0  | 173,0  |
| 2               | 95,6                                           | 105,2  | 88,6  | 170,6          | 155,1  | 160,3  |
| 3               | 88,0                                           | 98,0   | 105,0 | 165,0          | 185,6  | 144,9  |
| 4               | 101,3                                          | 115,6  | 100,3 | 148,3          | 172,0  | 184,0  |
| 5               | 83,0                                           | 97,0   | 92,6  | 173,0          | 166,2  | 160,5  |
| 6               | 115,0                                          | 85,3   | 79,5  | 165,0          | 172,5  | 155,4  |
| 7               | 99,7                                           | 87,9   | 82,0  | 140,2          | 156,3  | 184,2  |
| 8               | 80,4                                           | 110,6  | 97,5  | 177,5          | 178,0  | 168,0  |
| 9               | 91,0                                           | 87,5   | 90,0  | 138,6          | 181,4  | 171,0  |
| 10              | 102,8                                          | 108,4  | 80,6  | 159,0          | 170,0  | 156,4  |
| $\sum x$        | 938,5                                          | 987,5  | 905,8 | 1590,3         | 1705,1 | 1657,7 |
| $\bar{x}$       | 93,85                                          | 98,75  | 90,58 | 159,03         | 170,51 | 165,77 |
| s               | 10,529                                         | 10,029 | 8,095 | 12,898         | 9,344  | 12,021 |
| v%/             | 11,2                                           | 10,1   | 8,9   | 8,1            | 5,4    | 7,2    |

Tab.16 Vliv přitlaku na sílu spoje /mN/

| číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v % s přidavkem 1,5% močoviny |        |        |                |        |        |
|-----------------|------------------------------------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
|                 | Přítlak 15,2 N                                 |        |        | Přítlak 20,2 N |        |        |
|                 | 18                                             | 20     | 22     | 18             | 20     | 22     |
| 1               | 182,4                                          | 178,6  | 165,4  | 203,9          | 226,3  | 205,2  |
| 2               | 205,6                                          | 194,2  | 155,2  | 210,3          | 206,8  | 184,3  |
| 3               | 168,7                                          | 205,4  | 187,6  | 197,6          | 234,5  | 229,5  |
| 4               | 170,3                                          | 186,3  | 160,8  | 186,0          | 248,2  | 206,4  |
| 5               | 180,6                                          | 192,0  | 188,6  | 221,0          | 215,6  | 176,3  |
| 6               | 149,0                                          | 168,3  | 172,0  | 193,0          | 194,2  | 184,5  |
| 7               | 178,0                                          | 198,4  | 200,0  | 179,5          | 186,1  | 215,7  |
| 8               | 189,5                                          | 185,9  | 148,5  | 217,0          | 228,0  | 186,6  |
| 9               | 190,0                                          | 214,3  | 166,0  | 224,3          | 210,5  | 206,5  |
| 10              | 158,6                                          | 206,8  | 192,4  | 209,8          | 217,4  | 203,0  |
| $\sum x$        | 1772,7                                         | 1930,2 | 1736,5 | 2042,4         | 2167,7 | 1998,0 |
| $\bar{x}$       | 177,27                                         | 193,02 | 173,65 | 204,20         | 216,77 | 199,80 |
| s               | 15,562                                         | 13,199 | 16,526 | 14,244         | 17,635 | 15,695 |
| v%/             | 8,7                                            | 6,8    | 9,5    | 6,9            | 8,1    | 7,8    |

Tab.17 Vliv doby působení botnadla na sílu spoje /mN/  
 Přítlak 10,2 N, teplota botnadla 20°C

| Číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v%<br>Působení 10 s. |        |       | Koncentrace NaOH v%<br>Působení 15 s. |        |       |
|-----------------|---------------------------------------|--------|-------|---------------------------------------|--------|-------|
|                 | 18                                    | 20     | 22    | 18                                    | 20     | 22    |
| 1               | 96,2                                  | 87,6   | 70,8  | 117,3                                 | 112,5  | 105,1 |
| 2               | 81,4                                  | 82,6   | 65,4  | 86,4                                  | 94,3   | 77,6  |
| 3               | 69,2                                  | 76,3   | 60,2  | 91,5                                  | 87,6   | 82,4  |
| 4               | 75,3                                  | 89,0   | 90,6  | 102,1                                 | 121,4  | 98,3  |
| 5               | 88,6                                  | 68,4   | 70,4  | 114,6                                 | 105,6  | 101,4 |
| 6               | 90,4                                  | 91,5   | 80,1  | 97,3                                  | 123,3  | 93,5  |
| 7               | 78,1                                  | 96,8   | 78,3  | 76,4                                  | 90,7   | 84,5  |
| 8               | 56,4                                  | 85,2   | 65,7  | 105,3                                 | 86,5   | 108,2 |
| 9               | 69,3                                  | 100,7  | 84,1  | 99,6                                  | 115,1  | 97,7  |
| 10              | 80,0                                  | 70,3   | 59,8  | 115,2                                 | 80,4   | 103,5 |
| $\sum x$        | 784,9                                 | 848,4  | 725,1 | 1005,7                                | 1017,4 | 951,8 |
| $\bar{x}$       | 78,49                                 | 84,84  | 72,51 | 100,57                                | 101,74 | 95,18 |
| s               | 11,124                                | 10,105 | 9,870 | 12,626                                | 14,917 | 9,899 |
| v%              | 14,1                                  | 11,9   | 13,6  | 12,5                                  | 14,7   | 10,3  |

Tab.18 Vliv doby působení botnadla na sílu spoje /mN/  
 Přítlak 10,2 N, teplota botnadla 20°C

| Číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v %<br>Působení 30 s. |        |        | Koncentrace NaOH v %<br>Působení 45 s. |        |        |
|-----------------|----------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------|--------|--------|
|                 | 18                                     | 20     | 22     | 18                                     | 20     | 22     |
| 1               | 153,1                                  | 168,0  | 173,0  | 139,6                                  | 138,8  | 102,4  |
| 2               | 170,6                                  | 155,1  | 160,3  | 153,4                                  | 142,7  | 161,5  |
| 3               | 165,0                                  | 185,6  | 144,9  | 112,3                                  | 178,6  | 140,3  |
| 4               | 148,3                                  | 172,0  | 184,0  | 108,6                                  | 155,4  | 129,6  |
| 5               | 173,0                                  | 166,2  | 160,5  | 161,2                                  | 171,5  | 168,0  |
| 6               | 165,0                                  | 172,5  | 155,4  | 122,7                                  | 140,2  | 135,2  |
| 7               | 140,2                                  | 156,3  | 184,2  | 148,6                                  | 161,3  | 151,6  |
| 8               | 177,5                                  | 178,0  | 168,0  | 130,9                                  | 177,0  | 147,2  |
| 9               | 138,6                                  | 181,4  | 171,0  | 128,4                                  | 164,2  | 139,7  |
| 10              | 159,0                                  | 170,0  | 156,4  | 133,7                                  | 138,6  | 140,0  |
| $\sum x$        | 1590,3                                 | 1705,1 | 1657,7 | 1339,4                                 | 1568,3 | 1415,5 |
| $\bar{x}$       | 159,03                                 | 170,51 | 165,77 | 133,94                                 | 156,83 | 141,55 |
| s               | 12,898                                 | 9,344  | 12,021 | 16,265                                 | 15,190 | 17,186 |
| v%              | 8,1                                    | 5,4    | 7,2    | 12,1                                   | 9,6    | 12,2   |



Tab.19 Vliv doby působení botnadla na sílu spoje /mN/  
 Přítlak 10,2N, teplota botnadla 20°C, 1,5% močoviny

| Číslo<br>vzorku | Koncentrace NaOH v %<br>Působení 60 s |        |        | Koncentrace NaOH v %<br>Působení 120 s |        |        |
|-----------------|---------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------|--------|--------|
|                 | 18                                    | 20     | 22     | 18                                     | 20     | 22     |
| 1               | 128,6                                 | 152,7  | 138,9  | 154,3                                  | 138,6  | 141,5  |
| 2               | 109,7                                 | 140,3  | 115,6  | 105,8                                  | 129,5  | 137,4  |
| 3               | 162,7                                 | 131,8  | 142,6  | 123,0                                  | 112,9  | 105,6  |
| 4               | 98,5                                  | 122,6  | 118,2  | 112,6                                  | 142,1  | 88,9   |
| 5               | 112,4                                 | 135,2  | 154,3  | 140,5                                  | 105,8  | 98,7   |
| 6               | 122,3                                 | 160,4  | 106,7  | 111,0                                  | 115,0  | 100,3  |
| 7               | 137,6                                 | 112,0  | 89,7   | 99,4                                   | 98,6   | 114,0  |
| 8               | 118,0                                 | 95,6   | 108,6  | 89,2                                   | 115,7  | 90,6   |
| 9               | 99,2                                  | 160,3  | 132,1  | 112,6                                  | 152,5  | 105,4  |
| 10              | 130,8                                 | 125,0  | 116,4  | 90,5                                   | 135,2  | 129,7  |
| $\sum x$        | 1219,8                                | 1835,9 | 1223,1 | 1138,9                                 | 1245,9 | 1112,1 |
| $\bar{x}$       | 121,98                                | 183,59 | 122,31 | 113,89                                 | 124,59 | 111,21 |
| s               | 18,309                                | 19,880 | 18,433 | 19,666                                 | 16,597 | 17,934 |
| v/%             | 15,0                                  | 14,8   | 15,2   | 17,2                                   | 13,3   | 16,1   |

Tab.20 Vliv teploty botnadla na sílu spoje/mN/  
 Přítlak 10,2N, doba působení 30s, 1,5 močoviny

| Číslo<br>vzorku | Teplota 5°C<br>Koncentrace NaOH v % |        |        |        |        |
|-----------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 14                                  | 16     | 18     | 20     | 22     |
| 1               | 172,0                               | 210,0  | 240,0  | 210,6  | 218,0  |
| 2               | 180,6                               | 195,4  | 200,5  | 257,0  | 235,4  |
| 3               | 168,4                               | 186,3  | 262,8  | 230,7  | 197,5  |
| 4               | 160,2                               | 224,3  | 256,4  | 245,3  | 220,6  |
| 5               | 185,6                               | 195,8  | 238,5  | 205,6  | 186,4  |
| 6               | 169,0                               | 190,8  | 251,7  | 258,2  | 239,2  |
| 7               | 191,6                               | 215,6  | 265,4  | 260,6  | 258,0  |
| 8               | 167,8                               | 205,8  | 198,6  | 228,6  | 210,0  |
| 9               | 155,8                               | 242,0  | 238,7  | 190,2  | 185,6  |
| 10              | 145,6                               | 198,6  | 227,6  | 245,0  | 228,0  |
| $\sum x$        | 1696,6                              | 2064,0 | 2380,2 | 2331,8 | 2178,4 |
| $\bar{x}$       | 169,66                              | 206,40 | 238,02 | 233,18 | 217,84 |
| s               | 13,139                              | 16,238 | 22,279 | 23,182 | 22,341 |
| v/%             | 7,7                                 | 7,8    | 9,3    | 9,9    | 10,2   |



Tab.21 Vliv teploty botnadla na sílu spoje/mN/  
 Přítlak 10,2 N, doba působení 30s ,1,5% močoviny

| číslo<br>vzorku | Teplota 10°C<br>Koncentrace NaOH v % |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 14                                   | 16     | 18     | 20     | 22     |
| 1               | 110,0                                | 145,3  | 205,9  | 195,0  | 200,7  |
| 2               | 97,6                                 | 156,7  | 187,0  | 184,0  | 215,6  |
| 3               | 121,8                                | 132,5  | 203,0  | 220,1  | 178,4  |
| 4               | 132,5                                | 148,9  | 192,5  | 205,4  | 232,5  |
| 5               | 90,4                                 | 120,5  | 212,4  | 176,2  | 204,6  |
| 6               | 115,6                                | 162,1  | 177,4  | 190,3  | 210,0  |
| 7               | 125,8                                | 135,7  | 220,0  | 205,4  | 189,2  |
| 8               | 130,0                                | 115,2  | 215,7  | 212,0  | 186,4  |
| 9               | 109,7                                | 155,6  | 188,6  | 189,7  | 230,6  |
| 10              | 128,5                                | 140,2  | 210,8  | 225,0  | 207,0  |
| $\sum x$        | 1161,9                               | 1412,7 | 2013,3 | 2003,1 | 2055,0 |
| $\bar{x}$       | 116,90                               | 141,27 | 201,33 | 200,31 | 205,50 |
| s               | 13,504                               | 14,737 | 13,449 | 15,093 | 16,948 |
| v%/             | 11,5                                 | 10,4   | 6,7    | 7,5    | 8,2    |

Tab.22 Vliv teploty botnadla na sílu spoje /mN/  
 Přítlak 10,2 N, doba působení 30s,1,5% močoviny

| číslo<br>vzorku | Teplota 15°C<br>Koncentrace NaOH v % |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 14                                   | 16     | 18     | 20     | 22     |
| 1               | 78,6                                 | 100,5  | 178,4  | 181,2  | 175,6  |
| 2               | 82,4                                 | 115,6  | 170,2  | 185,4  | 163,0  |
| 3               | 70,2                                 | 90,4   | 186,5  | 194,3  | 184,6  |
| 4               | 86,5                                 | 121,5  | 167,7  | 205,8  | 180,2  |
| 5               | 94,1                                 | 85,6   | 190,5  | 174,2  | 158,6  |
| 6               | 70,3                                 | 90,4   | 170,0  | 178,6  | 179,0  |
| 7               | 88,0                                 | 104,2  | 165,2  | 165,9  | 190,0  |
| 8               | 72,5                                 | 98,6   | 180,3  | 193,6  | 165,1  |
| 9               | 80,7                                 | 112,4  | 173,5  | 180,0  | 185,6  |
| 10              | 69,5                                 | 96,0   | 180,1  | 192,7  | 170,0  |
| $\sum x$        | 792,8                                | 1015,2 | 1762,4 | 1851,7 | 1751,7 |
| $\bar{x}$       | 79,28                                | 101,50 | 176,24 | 185,17 | 175,17 |
| s               | 8,153                                | 11,241 | 7,889  | 11,018 | 10,043 |
| v%/             | 10,2                                 | 11,0   | 4,5    | 5,0    | 5,7    |

Tab.23 Vliv teploty botnadla na sílu spoje/mN/  
 Přítlak 10,2N, doba působení 30s, 1,5% močoviny

| Číslo<br>vzorku | Teplota 20°C<br>Koncentrace NaOH v % |       |        |        |        |
|-----------------|--------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
|                 | 14                                   | 16    | 18     | 20     | 22     |
| 1               | 52,4                                 | 76,2  | 153,1  | 168,0  | 173,0  |
| 2               | 47,6                                 | 68,4  | 170,6  | 155,1  | 160,3  |
| 3               | 58,5                                 | 84,0  | 165,0  | 185,6  | 144,9  |
| 4               | 60,1                                 | 67,5  | 148,3  | 172,0  | 184,0  |
| 5               | 65,3                                 | 89,3  | 173,0  | 166,2  | 160,5  |
| 6               | 54,0                                 | 91,2  | 165,0  | 172,5  | 155,4  |
| 7               | 62,0                                 | 100,5 | 140,2  | 156,3  | 184,2  |
| 8               | 70,6                                 | 84,8  | 177,5  | 178,0  | 168,0  |
| 9               | 58,4                                 | 78,6  | 138,6  | 181,4  | 171,0  |
| 10              | 45,6                                 | 83,0  | 159,0  | 170,0  | 156,4  |
| $\sum x$        | 574,5                                | 823,5 | 1590,3 | 1705,1 | 1657,7 |
| $\bar{x}$       | 57,45                                | 82,35 | 159,03 | 170,51 | 165,77 |
| s               | 7,342                                | 9,655 | 12,898 | 9,344  | 12,021 |
| v/%             | 12,7                                 | 11,7  | 8,1    | 5,4    | 7,2    |