

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Studijní program: B3107 – TEXTIL

Studijní obor: Technologie a řízení oděvní výroby

Katedra oděvnictví

## **Studie problematiky tvarovatelnosti plošných textilií**

### **Forming problem's study of the area textiles**

Bakalářská práce

KOD/2009/02/2/BS

Autor: Michal Nevařil  
Vedoucí práce: Ing. Katarína Zelová

Počet stran textu: 61

Počet obrázků: 20

Počet tabulek: 1

Počet grafů: 18

Počet příloh: 12

## Zadání

1. Proveďte rešerši zaměřenou na tvarovatelnost plošných textilií. Zaměřte se na stanovení tvarovatelnost plošných textilií metodou úhlu zotavení.
2. Charakterizujte tvarovatelnost plošných textilií, faktory ji ovlivňující, deformace vzniklé při tvarování a reologické modely vhodné pro charakteristiku viskoelastického materiálu.
3. Navrhněte experiment pro studii tvarovatelnost tkaniny s ohledem na parametry tvarování
4. Na základě teoretických znalostí navrhněte reologický model aproximující experimentální křivku zotavení textilie po tvarování.
5. Zhodnoťte výsledky a formulujte závěry týkající se tvarovatelnost plošných textilií.

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (*bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

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

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

V Liberci, dne

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především Ing. Kataríně Zelové za cenné připomínky a kvalifikované rady při realizaci mé bakalářské práce. Také děkuji své rodině za podporu během studia.

## **Anotace**

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši na tvarovatelnost plošné textilie se zaměřením na stanovení tvarovatelnosti metodou zjišťování úhlu zotavení a charakteristika reologických modelů vyjadřujících viskoelastické chování plošné textilie.

V teoretické části je popsána tvarovatelnost plošných textilií, tvarovací proces a základní reologické modely vyjadřující deformace textilií. Tvarovatelnost plošné textilie byla zjišťována metodou úhlu zotavení. Na základě získaných teoretických znalostí byl stanoven experiment na měření úhlu zotavení pro materiál z vlny a z polyesteru. Vyhodnocené výsledky měření byly dále použity ke zjištění, kterým reologickým modelem je možno nejpřesněji aproximovat experimentální hodnoty úhlů zotavení.

## **Klíčová slova**

tvarovatelnost textilie; měření úhlu zotavení; plošná textilie; deformace; teplota tvarování; reologický model

## **Annotation**

The point of the bachelor's work was to make a recherche on formability of area textile with focusing on formability determination by crease-recovery angle method and characteristic of reological models, which express the viscoelastic behavior of area textile.

In theoretical part is described area textile's formability, forming process and basic reological models, which express the textile deformation. Area textile's formability was evaluated by crease-recovery angle method. The crease-recovery angle for woolen and polyester material experiment, based on gained theoretical knowledge's, was determined. Evaluated measuring results were further used for finding of reological model, which is most exactly possible use for experimental crease-recovery angle approach.

## **Keywords**

Textile formability; Crease-recovery angle measurement; Area textile; Deformation; Temperature of formability; Reological model

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Rešeršní část .....	10
2.1	Studium vlivu plošné hmotnosti na tvarovatelnosti textilie .....	10
2.2	Zkoumání odporu k přehýbání tkanin .....	11
2.3	Vztah mezi úhlem zmačkání a úhlem tvarování .....	12
2.4	Studie tvarovatelnosti .....	14
3	Tvarovatelnost plošných textilií .....	15
3.1	Tvarovací proces .....	16
3.2	Tvarování .....	17
3.3	Mechanicko-fyzikální vlastnosti .....	18
3.3.1	Teplo .....	18
3.3.2	Tepelná vodivost .....	18
3.3.3	Tepelný odpor .....	19
3.3.4	Tepelná kapacita .....	19
3.3.5	Tuhost v ohybu .....	19
3.4	Konstrukce textilie a její geometrické parametry .....	20
3.5	Vliv klimatických podmínek .....	21
3.6	Materiálové vlastnosti ovlivňující tvarovatelnost .....	21
3.6.1	Vazba textilie .....	21
3.6.2	Tloušťka textilie .....	22
3.6.3	Dostava textilie .....	22
3.6.4	Plošná měrná hmotnost textilie .....	22
3.7	Způsoby stanovení tvarovatelnosti textilií .....	22
3.7.1	Metoda měření úhlu zotavení .....	23
3.8	Charakteristika polyesterových a vlněných materiálů .....	25
3.8.1	Polyester .....	25
3.8.2	Vlna .....	27
3.9	Reologické modely vhodné pro charakteristiku viskoelastického materiálu .....	30
3.9.1	Základní reologické elementy .....	30
3.9.2	Reologické modely vystihující viskoelastické vlastnosti textilie .....	32
3.9.2.1	Maxwellův model .....	32
3.9.2.2	Kelvinův model .....	34
3.9.2.3	Tuckettův model .....	35
4	Experimentální část .....	36
4.1	Charakteristika zkoumaného materiálu .....	37
4.2	Charakteristika použitého zařízení .....	37
4.2.1	Snímání úhlu zotavení pomocí digitálního fotoaparátu .....	38
4.2.1.1	Postup měření .....	38
4.2.2	Měření úhlu zotavení pomocí programu NIS Elements .....	40
4.2.3	Sestavení reologického modelu .....	41
4.3	Vliv teploty na úhel zotavení .....	45
4.4	Vyhodnocení úhlu zotavení jako funkce deformace .....	47
4.5	Vliv času na úhel zotavení .....	48
4.6	Aproximace experimentálních hodnot úhlu zotavení pomocí mechanických reologických modelů .....	51

5 Závěr .....	55
Literatura.....	57
Seznam obrázků .....	59
Seznam grafů .....	59
Seznam tabulek .....	60
Seznam příloh .....	60

## Seznam zkratk a symbolů

Zkratka/symbol	Význam zkratky/symbolu	Jednotka
$e_c$	Celková deformace	[%]
$e_E$	Elastická deformace	[%]
$e_P$	Plastická deformace	[%]
$e_Z$	Zotavená deformace	[%]
$\lambda$	Tepelná vodivost	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
$Q$	Množství tepla	[J]
$t$	Čas	[s]
$T_1$	Vstupní teplota	[K]
$T_2$	Výstupní teplota	[K]
$h$	Tloušťka látky	[mm]
$R$	Plošný tepelný odpor	$[\text{KJ}^{-1}]$
$\Delta T$	Rozdíl teplot	[K]
$c$	Měrná tepelná kapacita	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
$m$	Hmotnost	[kg]
$D_o$	Dostava osnovy	[počet nití]
$D_u$	Dostava útku	[počet nití]
$e$	Deformace	[%]
$\bar{\alpha}$	Úhel zotavení	[rad]
$p$	Pí	[-]
$\alpha$	Úhel zotavení	[°]
$F$	Síla	[N]
$t_z$	Doba zatížení	[s]
$e_{E0}$	Deformace elastická okamžitá	[%]
$e_{EZ}$	Deformace elastická zotavená	[%]
$a_0$	Úhel okamžitého zotavení	[°]
$a_5$	Úhel zotavení po 5 minutách	[°]
$a_{60}$	Úhel zotavení po 60 minutách	[°]
$s$	Napětí	[N/m]
$E$	Yongův modul pružnosti	[Pa]
$h$	Viskozita	$[\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}]$
$k$	Tuhost pružiny	$[\text{N}\cdot\text{m}^{-1}]$
$t$	Relaxační doba	[s]
$g$	Gravitační zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
$S$	Plocha	$[\text{m}^2]$



# 1 Úvod

V dnešní době je v oděvním průmyslu velká konkurence, proto je potřeba při výrobě nových materiálů dbát na zajištění co nejlepších uživatelských vlastností materiálu. Mezi ně patří především tvarovatelnost. Tvarovací proces nás provází po celou dobu výrobního procesu oděvu. Proto musí být dopředu známé, jak se materiál ze kterého bude daný oděv vyroben, bude chovat po dobu tvarování. Při působení tepla a tlaku po určitou dobu na plošnou textilii se mění její vzhled a i struktura. Na tvarovatelnosti se podílí velmi mnoho faktorů, které spolu souvisí už od výroby vláken ze kterých bude tvarovaná textilie vyrobena. Tvarovatelnost je ovlivněna především vazbou, dostavou, ohybovou tuhostí a plošnou hmotností textilie. Vlivem působení teploty a doby tvarování se velikost deformace v ohybu plošné textilie mění.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout experiment pro stanovení tvarovatelnosti plošné textilie metodou snímání úhlu zotavení. Po vyhodnocení nasnímaných úhlů zotavení, bylo třeba stanovit vliv teploty na tvarovatelnost a navrhnout reologický model kterým je možno nejpřesněji aproximovat experimentální hodnoty úhlů zotavení.

## 2 Rešeršní část

Následující část práce obsahuje rešerši prací zabývajících se tvarovatelností plošných textilií. Vědci se zabývali studiem vlivu plošné hmotnosti na tvarovatelnost textilie, odporem k přehýbání tkanin, dále zkoumali vztah mezi úhlem zmačkání a úhlem tvarování, byla také provedena studie tvarovatelnosti.

### 2.1 Studium vlivu plošné hmotnosti na tvarovatelnosti textilie

Studováním vlivu plošné hmotnosti na ohybovou deformaci plošné textilie při tvarování se zabývali vědci Xia Dong, Jianchun Zhang, Yan Zhang a Mu Yao na universitě Dog Hua v Shanghai v Číně [1]. Jestliže je textilní materiál v záhybu stlačen nebo zahřát a nebo zahřát i stlačen, dojde u něj k deformaci.

Definovali, že tato deformace má tři fáze: pružná deformace, viskoelastická deformace, trvalá deformace. Pružná a viskoelastická deformace jsou vratné a trvalá deformace je nevratná. Byly použity vzorky z papíru u kterých tyto deformace byly studovány experimentálně i teoreticky. Bylo vybráno šest vzorků. Vzorek číslo 1 a 2 byla vlněná textilie, 3 a 4 směs vlna/polyester (45/55) a 5 a 6 byla polyesterová textilie. Tyto vzorky byly upraveny za stejných podmínek dekatování technikou. Vzorky měly obdélníkový tvar a velikosti 60x50 mm. Při experimentu byl tento vzorek přeložen a stlačen, nejprve byl zahřát na teplotu 100°C po dobu tří minut, pak ochlazen na 0°C po dobu tří minut. Potom byla odstraněna zátěž a vzorek byl udržován v prostředí s 65% vlhkostí a 20°C teplotou. Postupně byl měřen úhel zotavení vzorku v průběhu relaxační doby.

Vzhledem k vlastnostem textilie bylo analyzováno chování relaxačního úhlu zotavení s viskoelastickou teorií. Byly zde použity často používané modely pro mechanickou analýzu textilních materiálů. Nejjednodušší model je Maxwellův model. Složitější modely jsou potom Kelvinův model a Tuckettův model. Výslednou analýzou bylo zjištěno, že nejvhodnější je použití Tuckettova modelu. Dále zjistili, že hodnota úhlu zotavení je ve skutečnosti závislá na druhu textilie.

Výslednou analýzou byl důkaz, že Tuckettův model se blíží skutečnému stavu vzorků, s přesností větší jak 90%. Proto je Tuckettův model použitelný pro textilní materiály. Také zjistili, že vlněné materiály mají větší úhel zotavení, u materiálů ze směsi vlna/polyester a u polyesterových materiálů jsou úhly zotavení mnohem menší. Je to dáno tím, že textilie z polyesteru se mnohem lépe tvarují než textilie z vlny. Ze závěru vyplývá, že úhel zotavení může být vypočítán relaxační rovnicí Tuckettova modelu. Závěrem zjistili, že použití Tuckettova modelu je úspěšné pro simulaci relaxačního chování úhlu zotavení. Vzájemné vztahy mezi zotavením zmačkání a tvarovatelností tkanin

## 2.2 Zkoumání odporu k přehýbání tkanin

Odpor k přehýbání soukenických tkanin zkoumali vědci T.V. Mihailovic, M.D. Nikolic a Lj.M. Simovic na universitě v Bělehradě v Srbsku [10]. Studování chování tkanin během jejich používání se stává důležité hlavně u tkanin používaných na výrobu oděvů. Některé oděvy, ačkoli nejsou vystaveny podmínkám mechanických sil, přesto vyžadují studování pod vlivem takovýchto sil, nejen kvůli trvanlivosti, ale také kvůli jejich rozměrové stálosti. V současné době se sleduje série mechanických charakteristických rysů, jako odpor proti mačkání, rozměrová stálost, sráživost, pružnost, protože přispívá k perfektnímu vzhledu látky. Kombinované působení ohybu a tlaku které vede k mačkání materiálů, je jedním z nejběžnějších mechanických namáhání oděvů. Odolnost proti mačkání může být pozorována během měření úhlu zotavení ohybu. Taková měření jsou také velmi důležitá pro porovnání tkanin. V tomto měření bylo provedeno měření úhlu zotavení s cílem stanovení relaxační rychlosti po skončení silové akce. Pro měřené vzorky použili devět komerčně vyráběných vlněných tkanin ve třech variantách vazeb.

Metoda byla založena na principu měření úhlu zotavení na přeloženém vzorku tkaniny, kde velikost přeložení závisí na plošné hmotnosti textilie. Zátěž byla 9,81 N a doba zatížení 60 min. Jestliže je úhel zotavení větší, látka má menší tendenci k mačkání. Úhel objevující se hned po odlehčení je těžké změřit, proto jej vypočítali z rovnice:

$$\log a_0 = \log a_{60} - 3,5 \log \frac{a_{60}}{a_5} \text{ kde } a_5 \text{ je úhel zotavení měřený po pěti minutách a } a_{60} \text{ úhel}$$

zotavení měřený po šedesáti minutách. Úhly měřili ve stanovených časových intervalech po dobu 24 hodin.

Z výsledků měření bylo vidět, že hodnoty úhlu zotavení jsou větší se stoupající relaxační dobou, jak ve směru osnovy tak ve směru útku. Velikost pružné deformace byla stanovena na základě vypočítaných hodnot hned po odlehčení. Velikost plastické deformace byla potom stanovena na základě měření úhlu zotavení po 24 hodinách. Rozsah mezi plastickou a pružnou deformací byl odhadnut jako viskoelastická deformace.

Výsledky také ukazují, že relaxační rychlost všech tkanin po 100 minutách je přibližně stejná. Provedená měření, zaměřená na měření odporu k mačkání, je možné shrnout tak, že rozdíly velikostí úhlu zotavení mezi tkaninami různých konstrukčních řešení jsou menší se stoupající relaxační dobou. Všechny tkaniny po nějakém časovém intervalu, zhruba 100 minut, vykazují přibližně stejnou relaxační rychlost. Může být uvedeno, že poměr z deformační součásti má vliv na začínající fázi zotavení, ale další zotavení látky nastane s přibližně stejnou relaxační rychlostí. Ze získaných výsledků plyne, že chování celé skupiny tkanin je zhruba stejné, navzdory rozdílům mezi jejich konstrukcí.

### **2.3 Vztah mezi úhlem zmačkání a úhlem tvarování**

Vzájemné vztahy mezi zotavením zmačkání a tvarovatelností tkanin zjišťoval na polytechnické universitě v Hong-Kongu vědec J. Fan [21]. Zmačkání jsou značky, které byly vytvořené a zanechané na látce během opotřebování oděvu. Tvarování je proces k tomu, aby vyrovnal oděvní plochy a zостřil okraje oděvu a záhyby. Pro tento účel, by bylo nejlepší, kdyby se látka po stlačení vrátila do původního tvaru bez vytvoření záhybu. Zatímco dobré tvarování znamená, že složený okraj zůstává ostrý po stlačení. Dobré zotavení záhybu a dobré tvarování se vzájemně vylučuje. Nicméně, záhyby jsou tvořeny v průběhu používání oděvu a tvarování je uskutečněné používáním tvarovacího vybavení, jako žehličky, tvarovací stroje, atp. Podmínky, to jsou teplota a vlhkost za kterých jsou záhyby na oděvu vytvořené a tvarování jsou velmi rozdílné. Při tvarování je mnohem vyšší teplota, tlak a vlhkost.

Tento experiment ukázal, že jsou pouze slabé vztahy mezi zotavením záhybů a tvarovacím procesem. Vzhled oděvu je velmi důležitý pro dnešní spotřebitele. Požadují

volný oděv bez zmačkání a vytváření vrásek během nošení a trvajících ostré okraje vytvořené tvarováním. Zde je patrný protikladný požadavek na tkaninu, očekává se její snadná tvarovatelnost během tvarovacího procesu, ale obtížné zmačkání během běžného nošení. Z toho plyne, že vlastně požadujeme tkaniny které by měly velmi rozdílné chování při formování záhybů při dvou rozdílných podmínkách. Pro experiment bylo použito deset vzorků z vlny, bavlny a polyesteru. Každá kategorie tkanin obsahuje vzorky a různé hmotnosti, obarvené a neobarvené, atp. Vzorky byly před použitím klimatizovány nejméně 24 hodin ve standardní atmosféře. Testování bylo uskutečněno při 20°C. Vzorky byly přeloženy a zatíženy hmotností 500g po dobu jedné minuty. Po odlehčení byl sledován úhel zotavení v období pěti minut. Dále byl proveden tlakový test s použitím speciálního přístroje. Vzorky byly složeny rubem k sobě a stlačeny v hermeticky uzavřeném přípravku, který byl umístěn ve vařící vodě po dobu 3,5 minut a potom ve studené vodě stejný čas. Úhel tvarování byl měřen po stlačení.

Vyhodnocení výsledků přineslo následující zjištění. Ve směru osnovy bylo dobré zotavení a horší tvarovatelnost. Největší záhyby byly patrné ve směru útku. Pro výrobky z vlny je velmi malá závislost mezi zotavením a tvarováním. Jinak řečeno, je možné mít tkaniny mající vysoké zotavení záhybu a malý tvarovací odpor. Mezi vzorky se jako nevhodné ukázaly vzorky, které byly obarvené. Výzkumníci, jako nejvíce nevhodnou, určili tkaninu z obarvené vlny v keprové vazbě.

Výsledky ukazují, že obarvené tkaniny mají vyšší sklon k mačkání. Z výsledků je také patrné, že není prakticky žádný vztah mezi úhlem zotavení záhybu a tvarovacím úhlem. To znamená, že zotavení záhybů a tvarování jsou navzájem nezávislé. Nebo jinými slovy, můžeme produkovat bavlnu a tkaniny polyesteru s dobrým ohybovým zotavením a dobrou tvarovatelností.

Přínosem výzkumu je zjištění, že je jen velmi malý vztah mezi úhlem zotavení a tvarovatelností látky. Proto je možné konstruovat tkaniny k tomu, aby měly vysoký zotavovací úhel ohybu (dobrou nemačkavost) a malý tvarovací úhel (dobrou tvarovatelnost), jakmile chápeme vlastnosti vlákna jak stavba látky a výrobní procesy ovlivní nemačkavost a tvarovatelnost. Zúžený rozbor v této studii ukázal, že zvýšení relaxačního zvrásnění látky může zlepšit tvarovatelnost látky. V této oblasti je však potřeba ještě dalších výzkumů.

## 2.4 Studie tvarovatelnosti

Studii tvarovatelnosti vlny o malé plošné hmotnosti a vlny míchané s jinou přízí provedla skupina čtyř odborníků, G. Wang, R. Postle, D.G. Philips, W. Zhang, z textilních institutů Číny a Austrálie [3]. Vzhled oděvu je velmi důležitý z hlediska výrobce oděvu, kteří mají s lepším vzhledem větší prodejnost. Důležitý je ale především z hlediska konečného spotřebitele. Dokonalý vzhled je všeobecně žádaný a pochází z kombinace stylu, volby vhodné látky, správné konstrukce a povedeného žehlení.

Parní žehlení je důležitá procedura opakovaně užívaná v oděvním průmyslu. Žehlení představuje konečnou možnost k dodání žádoucího vzhledu oděvu, to je správný tvar, plochost, puky a jiné. V minulosti bylo provedeno mnoho výzkumů žehlících podmínek aby přizpůsobily páru k žehlení. V praxi je ale žehlící teplota omezena jen v poměrně úzkém rozsahu.

Velikost přítlaku na vlněnou tkaninu a na směsnou tkaninu vlna/polyester byl zkoumán za pomoci teplotně nastavitelné ruční napařovací žehličky, domácího žehlícího prkna a termočládkového digitálního ukazatele teploty. Ukázalo se, že pro stlačení trvajících 10 sekund, se úhel zotavení přehybu snižuje se stoupajícím tlakem a teplotou. Nejostřejší snížení úhlu zotavení zjistili v teplotní řadě 80-120°C pro všechny testované tkaniny. Při 100°C se úhel zotavení snižoval se stoupajícím tlakem působícím na tkaninu, až do 20 sekund pro vlněnou tkaninu a až do 30 sekund pro vlněnou tkaninu s polyesterem. Počáteční vlhkost, nebo-li relativní vlhkost vzduchu v okolí má důležitý vliv na přítlak.

Dále zjistili, že zotavení zmačkání bylo větší když byla i okolní relativní vlhkost větší. Vlhkost tkaniny se velmi snížila během prvních 10 sekund přítlaku, dále se velmi pomalu snižovala až do 80 sekund přítlaku. Vlhkost v horní vrstvě vzorku byla vždy nižší než ve spodní vrstvě. Z měření vyplynulo, že pro dosažení co nejlepšího vyžehlení je potřeba, aby látka měla co nejmenší úhel zotavení záhybu.

Pro výzkum bylo používáno ruční žehlení na žehlícím prkně z důvodu, že tento způsob tvarování je nejpoužívanějším způsobem tvarování hlavně v domácích podmínkách. Jeho velkou výhodou je také flexibilní žehlící výkon ve smyslu vícenásobných voleb žehlících teplot. V experimentu byla použita klasická parní žehlička s teplotní regulací. Pro tvarování se používalo pouze suché teplo, tzn. že nebyla používána pára. Pro tento výzkum použili osm komerčně dostupných vlněných látek a látek s kombinací vlny polyesteru.

Vzorky byly testovány pouze v směru útku. Před žehlením byly vzorky přehnuty podél osnovy a bylo uskutečněno samotné žehlení umístěním žehličky na látku.

Po skončení žehlení změřili úhel zotavení přehybu. Úhel se měřil poprvé hodinu a půl poté co byl vzorek přežehlen, znovu se měřil 24 hodin po přežehlení. V experimentu byla žehlící doba 10 sekund s použitím různých žehlících teplot. Z výsledků je vidět, že žehlení se stává efektivnější s nastavením vyšší žehlící teploty. Úhel ohybu se snižuje velmi pomalu s nastavenými teplotami v rozmezí 40 až 80°C. Úhel ohybu se snižuje velmi rychle s nastavením teplot v rozmezí 80 až 120°C. Snížení úhlu je opět relativně velmi pomalé s nastavením teplot nad 120°C.

Výsledky jsou vědci vysvětleny v rámci úsekové pohyblivosti molekul vlákna a teploty skelného přechodu pro vlnu a polyesterová vlákna. Se stoupající teplotou vlákna absorbují větší teplo ze žehličky. Proto se úsekový pohyb molekul stane snazší a má za následek snížení tuhosti vlákna. Proto největší snížení úhlu zotavení v oblasti teplot 80-120°C může souviset se skelným přechodem vlny a polyesterových vláken vyskytující se v této oblasti teplot. Experiment ukázal, že když tvarování trvalo déle než 20 sekund při 180°C žehlící teplotě, byl cítit zápach při tvarování tkaniny vlna/polyester. To signalizuje, že teplota 180°C je příliš vysoká a dochází k degradaci vláken způsobené teplem. Dále se ukázalo, že teplota skelného přechodu vlněného vlákna se snižuje se stoupajícím obsahem vlhkosti ve vláknech. Dalším zjištěním je, že délka trvání tvarování má významný vliv na tvarování testovaných tkanin. Zvláště pro tvarování při 100°C. Okolní relativní vlhkost také nápadně ovlivňuje tvarovatelnost. Vědci porovnali mezi sebou výsledky změn vlhkosti látky pozorované při tvarování při 100°C v jejich práci s výsledky z práce provedené jinými vědci pro parní tvarování při 104°C a zjistili, že žehlící tlak způsobuje mnohem větší snížení vlhkosti látky než parní tvarování. [12]

### **3 Tvarovatelnost plošných textilií**

Tvarovatelnost textilie dle [5] „*je schopnost textilie změnit za určitých podmínek tvar na námi požadovaný a tento si udržet*“.

Tvarovatelnost plošných textilií závisí na:

- Ø tepelně - fyzikálních a mechanických vlastnostech materiálu,
- Ø podmínkách tvarování (teplotě, času, působící síle a vlhkosti),
- Ø potřebě uchování dosaženého tvaru (dnes řešeno převážně podlepováním).

Tvarovatelnost dle [15] dále souvisí s celkovou pružností textilie a zároveň i s jemností příze, konstrukcí příze, plošnou hmotností textilie a dostava. Každá vzniklá deformace je součtem elastických a trvalých (plastických) deformací a popř. jejich zotavení podle vztahu:

$$e_C = e_E + e_P + e_Z [\%] \quad (3.1)$$

kde:

$e_C$  - je celková deformace [%],

$e_E$  - je elastická deformace [%], závisí na velikosti působící síly, času zatížení a na fyzikálních podmínkách při tvarování,

$e_P$  - je plastická deformace [%], závisí na množství vazeb ve vláknech, které byly trvale deformované,

$e_Z$  - je zotavená deformace [%], způsobuje ji zotavovací schopnost textilie. [8]

Pružnost vláken je schopnost se ve větší či menší míře vrátit po deformaci do původního stavu. Ve vláknech po cyklickém zatěžování a odlehčování zůstává určitá trvalá deformace. Dokonale pružné vlákno by se vracelo zpět stejnou cestou do původního stavu.

### 3.1 Tvarovací proces

Tvarování představuje dle [5] tepelné a vlhkotepelné procesy, jejichž úkolem je dodat oděvnímu výrobku maximální tvarovou stálost a zlepšit jeho konečný estetický vzhled. Tvarovací proces doprovází oděvní výrobek v průběhu celého výrobního procesu.

Tvarovací proces zahrnuje tyto způsoby tvarování: dekatování, speciální tvarování, plisování, žehlení.



## **Dekatování**

Jde o působení [5] tepla a páry na oděvní materiál a jeho mechanicko-fyzikální vlastnosti. Pro zajištění jak tvarové tak rozměrové stálosti.

## **Speciální tvarování**

Se používá [5] zejména při zpracovávání textilních (i některých netextilních – kůže) materiálů. V oděvním průmyslu do této skupiny zařazujeme plisování. Mezi speciální tvarování může být zařazeno také tvarování svršků obuvi, výroba plstěných klobouků, vyražení kožených etiket, atd.

## **Plisování**

U oděvních výrobků znamená [5] vytváření skladů materiálu, tedy skládání materiálu na hranu. Plisování oděvních výrobků a jejich částí je výhradně módní záležitost, používaná převážně na dámské a dětské oděvy. Plisuje se před nebo na konci oddělovacího procesu.

## **Žehlení**

Je dle [5] tepelné nebo vlhkotepelné zpracování oděvního výrobku za účelem zlepšení jeho vzhledu a zachování jeho tvaru dosaženého stříhem a zpracováním. Žehlení umožňuje, aby si výrobek dočasně udržel požadovaný tvar a vzhled, jde tedy o vratný proces. Rozlišuje se žehlení mezioperační (ve spojovacím procesu) a žehlení konečné (v konečném tvarovacím procesu).

## **3.2 Tvarování**

Tvarováním se dle [4] rozumí technologický, fyzikálně - chemický nebo fyzikálně - mechanický proces, který napomáhá k vytvoření požadovaného rovinného nebo prostorového útvaru. Síla působící na materiál (deformace) musí být větší než síly uvnitř materiálu, musí působit určitou velikostí, v určitém čase a za určitých podmínek.

Schopnost tkanin zotavovat se po tvarování je vlastnost závislá na druhu materiálu a je výsledkem působení nejrůznějších činitelů. Uplatňují se zde především *mechanicko-fyzikální vlastnosti*, konstrukce textilie, její geometrické parametry a klimatické podmínky ve kterých se textilie nachází.

Zotavení textilie dále ovlivňuje doba tvarování, tlak, teplota a v případě vlhkotepelného tvarování také vlhkost.

### 3.3 Mechanicko-fyzikální vlastnosti

Mezi mechanicko-fyzikální vlastnosti které ovlivňují tvarovatelonost plošné textilie patří teplo, tepelná vodivost, tepelný odpor a tepelná kapacita.

#### 3.3.1 Teplo

Při tvarování je působení tepla velmi důležité. Působením tepla [15] na tvarovanou textilií dosáhneme lepšího tvarování textilie. Teplo je část vnitřní energie, kterou při teplené výměně odevzdáme chladnějšímu tělesu. Vyjadřuje se jako fyzikální veličina  $Q$ . Mimo počátečního a konečného stavu tělesa závisí na způsobu tvarovacího procesu.

Stejně jako teplo je důležitá i teplota nastavená teplota na tvarovacím zařízení při které dochází ke tvarování textilie. S rostoucí teplotou roste podíl trvalých deformací a tedy klesá pevnost a roste tažnost.

#### 3.3.2 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost  $\lambda$  je dle [17] schopnost látky vést teplo a představuje rychlost s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté části látky do jiných, chladnějších, částí. Je charakterizovaná součinitelem tepelné vodivosti:

$$\frac{Q}{t} = -I \cdot A_0 \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{h} \quad (3.2)$$

to znamená, že množství tepla  $Q$ , které projde za určitý čas  $t$  látkou, je přímo úměrné od plochy  $A_0$ . Rychlost toku tepla je také úměrná rozdílu teplot na vstupu  $T_1$  a na výstupu  $T_2$  z látky o tloušťce  $h$ .

### 3.3.3 Tepelný odpor

Tepelný odpor [6] je odpor materiálu proti průchodu tepla. Plošný tepelný odpor  $R$  ( $\text{KJ}^{-1}$ ) vyjadřuje hodnotu množství tepla, které projde za určitý čas celou vrstvou materiálu, přičemž teplotní spád je jednotkový. Vypočítá se ze vztahu:

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{h}{l} \quad (3.3)$$

Tepelný odpor závisí na tloušťce materiálu  $h$ , a tepelné vodivosti  $\lambda$  materiálu. Je tu přímá úměra růstu hodnoty tepelného odporu a izolační schopnosti textilie.

### 3.3.4 Tepelná kapacita

Jde o teplo [6], které je nutné předat do 1kg textilie, aby se ohřála o  $1^\circ\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita  $c$  především závisí na druhu látky a na teplotě. Vztah pro měrné teplo je:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \left( \frac{dQ}{dt} \right) \quad (3.4)$$

kde  $c$  je měrná tepelná kapacita [ $\text{J} / \text{Kg} \cdot \text{K}$ ]. Hmotnost textilie  $m$  [kg], byla ohřána o teplotu  $dt$  [K] a textilii bylo dodané teplo  $dQ$  [J].

### 3.3.5 Tuhost v ohybu

Tuhost v ohybu je dle [22] fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformaci (ohýbání) vnějším zatížením. Toto vnější zatížení je vyvozováno buď osamělou silou nebo spojitým obtížením vyvolaným plošnou měrnou hmotností. Vzniklý odpor je součtem třecích a soudržných sil, které při ohybu vznikají mezi vlákny a nitěmi ve vazných bodech. Z toho plyne, že tkaniny s vyšší dostavou dosahují vyšší tuhosti.

Kromě mechanicko-fyzikálních vlastností ovlivňuje tvarovatelnost také *konstrukce textilie, její geometrické parametry*, klimatické podmínky ve kterých se textilie nachází.

### 3.4 Konstrukce textilie a její geometrické parametry

Konstrukčními parametry plošných textilií rozumíme [22]

- Ø vazbu, dostavu a další parametry u tkanin,
- Ø vazbu, hustotu sloupků, hustotu řádků, délku oka a další parametry u pletenin.

Tkaniny jsou vytvořeny ze dvou soustav nití provázaných navzájem vazbou. Vazné body jsou tvořeny překřížením nití v pravém úhlu (u klasických tkanin). Styk nití (interakce) je víceméně bodový. Konstrukce textilie je ovlivňována činností pracovních orgánů, které vytvářejí soudržné síly mezi částmi struktury textilie. Základním prvkem konstrukce plošné textilie je vazný bod. Vlastnosti plošných textilií jsou závislé jednak na vlastnostech délkových textilií (vláken, přízí, nití), ze kterých jsou plošné textilie konstruovány, jednak na konstrukci plošné textilie a rovněž na konečné úpravě.

Do geometrických vlastností se řadí vlastnosti jako jemnost vláken, povrch vláken, příčný řez, délka vláken.

Jemnost nebo tloušťka [18] je důležitou geometrickou vlastností vláken. Ovlivňuje řadu vlastností vláken, jako je velikost povrchu, způsob použití, technologii zpracování.

Vlákna se také liší tvarem povrchu, který je výrazně ovlivněn příčným řezem vlákna. Všechny vlákna zdaleka nemusí mít tvar válce, ale mohou vykazovat různé profily s tím, že se tento příčný řez vlákna může v různých místech měnit. To platí zvláště o vláknech přírodních. U syntetických vláken ovlivňuje tvar povrchu především proces tvarování. Tvar povrchu ovlivňuje zvláště mechanické procesy zpracování vláken.

Tvar příčného [20] řezu vláken ovlivní lesk, omak, objemnost, sorpční vlastnosti, tuhost, tepelně izolační vlastnosti atd.

Délka vláken rozhoduje [18], [20] o zpracovatelnosti a využití pevnosti vláken v pevnosti příze. Při použití vláken v kompozitních strukturách se definuje tzv. kritická délka vláken. S ohledem na spřadatelnost a využití pevnosti vláken je kritická délka kolem 10 mm. Pro vlákna delší než 10mm dojde spíše k jejich přetrhu a je tedy optimálně využita

jejich pevnost. Krátká vlákna v přízi tedy budou spíše prokluzovat a nepřenášet napětí, což povede ke snížení pevnosti příze.

Kromě mechanicko-fyzikálních vlastností ovlivňuje tvarovatelnost také konstrukce textilie, její geometrické parametry, *klimatické podmínky* ve kterých se textilie nachází.

### **3.5 Vliv klimatických podmínek**

Aby při měření parametrů plošné textilie bylo měření objektivní, musíme brát do úvahy vliv klimatických podmínek, které na textílii při měření působí. Zvýšení teploty a vlhkosti má za vliv na změnu pevnosti, pružnosti a ohybové tuhosti textilie. Při zvýšení vlhkosti nebo teploty klesá pevnost a zvyšuje se tažnost. Proto má i teplota a vlhkost neodmyslitelný vliv při tvarování textilie.

### **3.6 Materiálové vlastnosti ovlivňující tvarovatelnost**

Při tvarování na materiál působí mnoho aspektů, které ovlivňují tvarovatelnost textilie. Teplota, tlak, vlhkost a doba tvarování jsou hlavní podmínky pro tvarování.

Mezi vlastnosti plošné textilie ovlivňující tvarovatelnost plošné textilie patří vazba textilie, tloušťka textilie, dostava textilie, plošná měrná hmotnost textilie.

#### **3.6.1 Vazba textilie**

Vazba tkaniny [19] je způsob překřížení dvou soustav nití, navzájem na sebe kolmých, osnovy a útku. Místu překřížení těchto soustav se říká vazný bod a podle toho, která soustava je v tomto bodě na vrchu, rozlišujeme vazný bod osnovní a vazný bod útkový. Provázání nití po osnově i po útku, které se ve tkanině pravidelně opakuje a vytvoří určitou vazbu, se říká střída vazby. Tkaniny s rozdílnou vazbou ze stejného materiálu mají rozdílné vlastnosti při tvarování.

### 3.6.2 Tloušťka textilie

Tloušťku plošné textilie [5] můžeme definovat jako kolmou vzdálenost mezi lícem a rubem textilie. Je však rozdíl, budeme-li tloušťku textilie měřit jen volně, bez přítlaku, nebo jestli ji změříme ve stlačení mezi čelistmi. Protože je textilie materiál snadno neformovatelný (stlačitelný), je měření tloušťky textilie normou předepsáno za přesně stanoveného přítlaku čelistí. Se zvyšující se tloušťkou textilie se snižuje tvarovatelnost, protože jsou na výrobu použity nitě o větším průměru a mají větší ohybovou tuhost, jdou tedy obtížněji tvarovat. Zvyšuje se tím hmotnost plošné textilie.

### 3.6.3 Dostava textilie

Dostava tkaniny [5] je vyjádřením počtu nití připadajících na jednotku délky (centimetr nebo palec). Podle směru, ve kterém je dostava tkaniny měřena, rozeznáváme dostavu osnovy ( $D_o$ ) a dostavu útku ( $D_u$ ). Pro tvarovatelnost platí, že čím je dostava tkaniny vyšší, tím se tuhost a tvarovatelnost snižuje. Vyšší dostava znamená větší počet nití použitých při výrobě textilie, nitě jsou ale jemnější a tím dochází ke snížení tuhosti. Musíme ale tvarovat více nití a tím se snižuje tvarovatelnost textilie.

### 3.6.4 Plošná měrná hmotnost textilie

Je hmotnost  $1\text{m}^2$  textilie v  $[\text{g}/\text{m}^2]$ . Při měrné hmotnosti platí, že materiál s větší plošnou hmotností je těžší než materiál s menší plošnou hmotností. Textilie s menší plošnou hmotností jsou lépe tvarovatelné, protože většinou mají menší tloušťku a jemnější nitě.

## 3.7 Způsoby stanovení tvarovatelnosti textilií

Pro zjišťování tvarovatelnosti textilie můžeme použít metody, které vycházejí z principů zjišťování a měření mačkavosti textilií. Mačkavost lze měřit různými způsoby. Nejrozšířenější způsob je založen na měření úhlu zotavení  $\alpha$  proužku textilie. Další metody jsou, metoda skládaného proužku textilie a metoda AKU. Pro různé druhy textilií jsou

stanoveny různé parametry výše uvedené metody. Dále se zaměřím a podrobněji popíši pouze metodu měření úhlu zotavení.

Tvarovatelnost plošné textilie stanovenou na základě úhlu zotavení lze vyjádřit prostřednictvím deformace jako funkci  $e = f(\bar{\alpha})$ . Při definování nové veličiny vycházíme z průměrné hodnoty úhlu zotavení.

Obecně průměrnou hodnotu vypočítáme dle Taylora:

$$\bar{y} = f(\bar{x}) - \frac{n-1}{2n} f''(\bar{x}) \cdot s_{\bar{x}}^2 \quad (3.5)$$

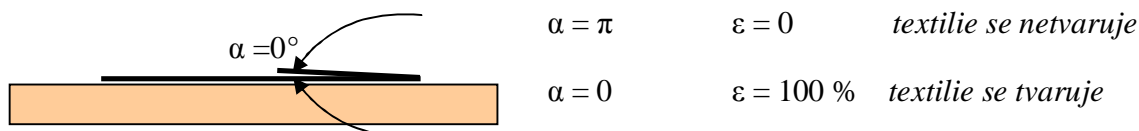
V našem případě to znamená:

$$\bar{e} = f(\bar{\alpha}) - \frac{n-1}{2n} f''(\bar{\alpha}) \cdot s_{\bar{\alpha}}^2 \quad (3.6)$$

Když  $f''(\bar{\alpha}) = 0$  můžeme vyjádřit deformaci, jako funkci průměrného úhlu zotavení

$$e = 1 - \frac{\bar{\alpha}}{\rho} [\%] \quad (3.7)$$

Čím je hodnota deformace  $\varepsilon$  větší, tím je lepší tvarovatelnost plošné textilie.

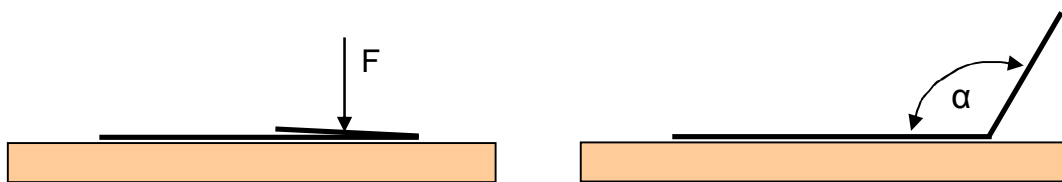


Obrázek 3.1 - Schematické znázornění experimentu

### 3.7.1 Metoda měření úhlu zotavení

Zatímco u jiných vlastností (tuhost v ohybu a splývavost) jsme textilii podrobili silám vyvozeným gravitačním zrychlením, tyto deformace jsou velmi malé a obvykle elastické (vratné), u metod zjišťujících mačkavost textilii podrobujeme větším silám. Tyto síly vyvozují v textilii plastické (nevratné) deformace – záhyby, zmačkání. [12], [15]

Zmačkání, resp. simulaci deformací při ohybu můžeme znázornit ohybem proužku textilie:



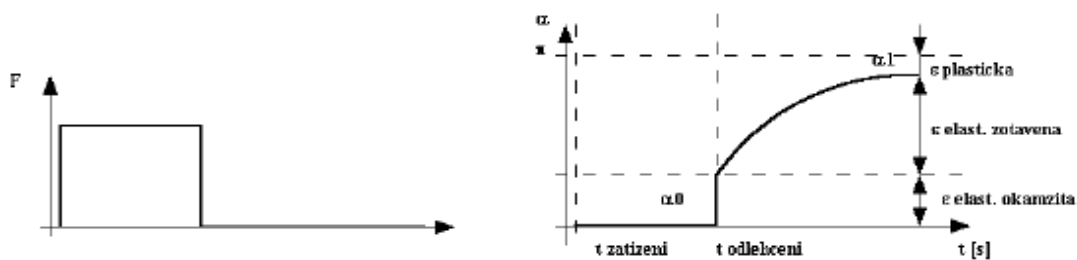
Obrázek 3.2 – Schematické znázornění způsobu tvarování textilie

Proužek textilie ohneme a zatížíme závažím o hmotnosti  $m$ , které vytvoří zatížení silou  $F$ . Zatížení ponecháme po dobu  $t_z$ . Po této době proužek odlehčíme. Tento okamžik označíme jako čas  $t_0$  a od něj začneme pozorovat, jak se proužek narovná. V čase  $t_0$  se proužek narovná o určitý úhel  $\alpha_0$ , který je obrazem okamžité elastické deformace. [12], [15]

Jestliže by byla textilie absolutně mačkavá (jako plastelína), nenarovnal by se proužek vůbec a  $\alpha$  by se rovnalo 0. Jestliže by byla textilie absolutně nemačkavá (jako pryž), narovnal by se proužek opět do roviny o úhel  $\alpha = 180^\circ$ .

Jestliže bychom pozorovali postupné narovnávaní proužku textilie (zotavování se z původní deformace), dospějeme po delším čase ke stavu, kdy se již dále proužek nenarovná. V tomto okamžiku můžeme odečíst úhel  $\alpha_1$ , který je ekvivalentem konečné (celkové) deformace, která se skládá z plastické deformace a ze zotavené elastické deformace. [12], [15]

Na obrázku 3.3 je znázorněna křivka průběhu deformace (úhlu zotavení) proužku textilie, na kterém vidíme, že mezní úhel zotavení je roven  $\pi$ , což je v radiánech  $180^\circ$ .



Obrázek 3.3 – Křivka průběhu deformace proužku textilie

Podle různých norem se úhel zotavení odečítá po stanoveném čase, např. po 1 hodině. Důležitá a normou stanovená je velikost proužku a délka přehnutí proužku  $l_p$  [mm] která je dána plošnou hmotností textilie.



Po odlehčení vyskočí přehnutá část proužku na hodnotu okamžitého úhlu  $a_0$  - tj. deformace elastická okamžitá  $e_{E0}$ . Další průběh zotavení, tj. nárůst úhlu  $a$  v časové závislosti reprezentuje deformaci elastickou zotavenou  $e_{EZ}$ . [16]

Po dosažení rovnovážného stavu, tj. kdy křivka zotavení nevykazuje nárůst, odečítáme zbytkovou, tj. plastickou deformaci. Z průběhu zotavení je v některých případech odečítaná pouze hodnota po čase  $t = 1$  hodina.

### 3.8 Charakteristika polyesterových a vlněných materiálů

Tato práce byla zaměřena na měření úhlu zotavení materiálů ze 100% polyesteru a 100% vlny. Proto v následující části je jejich charakteristika

#### 3.8.1 Polyester

Polyestery jsou dle [14] skupina polymerů, které obsahují esterovou funkční skupinu. Přírodní polyester je znám asi od roku 1830, první syntetický polyester se používal v 1. světové válce jako impregnační materiál. Vlákno ze syntetického polyesteru bylo vynalezeno v Anglii v roce 1941.

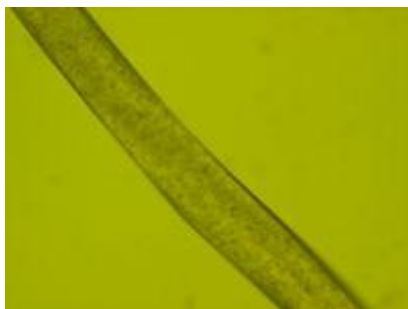
S vyrobenými cca. 25 miliony tun v roce 2005 je to v současné době ve světě (po bavlně) druhé nejpoužívanější textilní vlákno. Výroba polyesterových vláken v tzv. vyspělých zemích se však v posledních 30 letech postupně snižuje, k největším producentům dnes patří Čína a Indie.

Polyesterové vlákno [14] je dle chemického složení lineární makromolekula (rozsáhlá molekula s velkou molární hmotností), jejíž hlavní řetězec  $[-CO-O-]$  sestává nejméně z 85 % z esteru (organické sloučeniny, ve kterých je vodík v  $-OH$  skupině kyslíkaté kyseliny nahrazen organickým zbytkem) vyrobeného polykondenzací.

Základní surovinou pro výrobu polyesteru je ropa, ze které se získává dimethyltereftalát a glykol. Polykondenzací obou sloučenin pak vzniká polyethyltereftalát (termoplast ze skupiny polyesterů, známý pod zkratkou PETP).

Polyethyltereftalát se přímo zvlákňuje (kontinuální postup) nebo se zpracovává diskontinuálně: granulát – sušení – tavení – zvlákňování

Konečný výrobek [14] je znám ve 3 formách: hedvábí, kabílek a stříž. Hedvábí (filament) se vyrábí v jednoduché, hladké podobě nebo modifikované. Polyesterové vlákno je svým chemickým složením velmi vhodné k modifikaci, tedy úpravám příměsí chemických sloučenin a k zušlechtění mechanickým nebo pneumatickým tvarováním. Kabílek z polyesterových filamentů je surovina pro přádelny vlny, resp. přádelny dlouhých vláken. Zde se hedvábí řeže na konvertoru na stapl (průměrná délka všech vláken z jednoho vzorku textilních surovin), který se délkou i tvarem může přizpůsobit staplu vlny. Stříže se dodávají v délce a ostatních vlastnostech přizpůsobených vláknům, se kterými se smíchávají při předení.



*Obrázek 3.4 - Polyesterové vlákno 400x zvětšené*

Mechanické vlastnosti jsou závislé na přípravě vláken a obecně jsou velmi dobré.

- Ø Vysoký modul pružnosti:  $E_p = 1300 \text{ cN/tex}$  (tuhý omak),
- Ø Pevnost: 3.8 -7.2 cN/dtex,
- Ø Tažnost: 50 -70% ,
- Ø Elastické zotavení: 85 -90%,
- Ø PES má rychlé zotavení. [11]

Termické vlastnosti:

- Ø Nízká tepelná vodivost a specifické teplo,
- Ø Hořlavost  $LOI = 0.206$ ,
- Ø 120 –130°C: pevnost beze změny,
- Ø 180°C: pevnost klesá na 50% (za několik dní),
- Ø Teplota tání: 258°C,

- Ø Je nutno dát pozor na současné dlouhodobé působení tepla a vlhka, dochází k částečné hydrolyze.

Žehlicí teplota:

- Ø 120°C

Teplota měknutí:

- Ø 230°C

Teplota tavení:

- Ø 255-260°C

Navlhavost:

- Ø 0.3 -0.4% (velmi malá, menší, než u PA).

Vliv světla:

- Ø fotodegradace v UV záření ( kolem 300 nm). [11]

Vliv chemikálií:

- Ø zředěné kyseliny: dobrá odolnost,
- Ø koncentrovaná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> působí rozklad,
- Ø alkálie: hydrolyza,
- Ø rozpustnost v nitrobenzenu (za tepla), fenolech. [11]

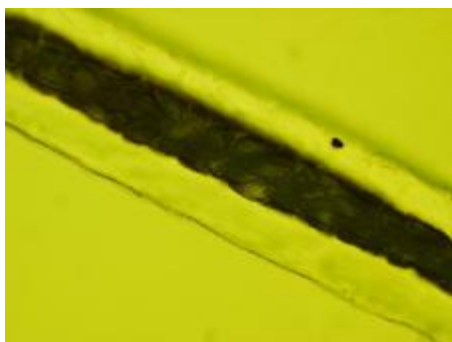
Nízký koeficient tření ( $T= 0,174$ ). Dobrý elektrický izolant, silně náchylný k tvorbě elektrostatického náboje. Žehlit se mohou tyto výrobky jen přes mokrý hadr při teplotách do 160°C. U tkanin např. polyester/vlna smí teplota prací lázně jít jen do 30°C a u žehličky nesmí přesáhnout 150°C. [11], [14]

### 3.8.2 Vlna

Vlna je dle [13] přírodní vlákno které se získává z ovčího rouna. Surová, potní vlna, obsahuje v průměru jen méně než polovinu váhového množství spřadatelných vláken, 10–45 % je tuk a pot, 5–20 % jsou nečistoty, mimo toho mohou vlákna pojmout až 25 % vlhkosti. Tuk a pot se odstraňuje praním (získaný lanolín se dá použít v kosmetice) a rostlinné příměsi se karbonizují (karbonace) kyselinou sírovou (zuhelnatí).

Čisté vlákno [13] sestává z keratinu, pigmentu a chemicky vázané vlhkosti. Z chemických prvků je 50% zastoupen uhlík, s dalšími 40 % kyslík a dusík. Povrch vlákna je

šupinovitý. Zvláštní struktura řetězcové molekuly dává vláknu vynikající pružnost a ohebnost. Vlna je proto téměř nemačková, ale tím také méně pevná než jiná textilní vlákna a za mokra ztrácí dalších 10–20 % pevnosti. Barvení dvou partií vlny na úplně stejný odstín je sotva možné. Výrobky z vlny se musí chránit proti molům. Vlna je podstatně dražší než běžná textilní vlákna. Ponechává si výborné izolační vlastnosti i přes vysokou schopnost přijímat vlhkost. Nevýhodou vlny je však nízká pevnost a odolnost vůči oděni, navíc má tendenci filcovatět.



Obrázek 3.5 - Vlákno hrubé vlny 300x zvětšené

Vliv teploty na vlnu:

Ohřev ve vakuu:

- Ø Do 100°C – odstranění H<sub>2</sub>O – H – můstky – slabé vazby,
- Ø 150°C – nevratné odstranění H<sub>2</sub>O uvnitř fibril,
- Ø 160°C – vznik anodických vazeb,
- Ø 210 - 215°C – parciální tání (praskání S – S vazeb),
- Ø 230 - 250°C – odstranění všech S – S můstků,
- Ø Nad 250°C – pyrolýza. [11]

Ohřev na vzduchu:

- Ø 100°C delší dobu – ztráta pružnosti, lámavost,
- Ø 115°C za vlhka – nevratné změny,
- Ø 120°C za vlhka – žloutne, hnědne. [11]

Žehlící teplota:

- Ø 110°C

Teplota měknutí:

- Ø 130°C (poškozuje se)

Názvy vlny se z části odvozují od plemen ovcí ze kterých je vlna získána, rozdělují do 3 nebo 4 skupin.

Merino [13] je velmi jemná vlna (cca. 14–25 mikronů), stapl 50–150 mm, silně zkadeřená, měkká, poměrně málo lesklá. Plemeno bylo vyvinuto ve Španělsku kolem roku 1700, v posledních více než 100 letech však zaujímá Austrálie (spolu s Novým Zélandem) u tohoto druhu dominantní postavení. Australská Saxon Merino dává ročně 3,5–6 kg a Peppin Merino až 18 kg potní vlny. Průměrná výtěžnost (podíl čistého vlákna na celkové stříži) přesahuje 50 %.

Cheviot nebo hladké vlny (v češtině také: anglické ovce) mají vlákna o délce 170–400 mm a tloušťce 40–44  $\mu\text{m}$ , mírně zkadeřená, se zvláštním leskem. Průměrný stříh přináší 3–7 kg potní vlny, výtěžnost je nižší než 40 %. U tzv. nížinných ovcí (Čína, Rusko, střední Evropa) jsou účelem chovu, délka a tloušťka vlákna podobné jako u cheviotu.

Kříženecké (crossbred) vlny vznikly křížením různých plemen a v závislosti na regionu, ve kterém se chovají ovce, je vlákno podobnější merinu nebo cheviotu. Produkované množství těchto vln přesahuje obě předchozí skupiny. Délka 100–200 mm, jemnost 27–40  $\mu\text{m}$ , průměrná výtěžnost 39 %.

Světová produkce vlny dosáhla v roce 2005 asi 1,9 milionů tun. Tři největší producenti (Austrálie, Čína a Nový Zéland) dodali k textilnímu zpracování více než polovinu. Ke spřádání se ovšem dostane (po odstranění tuků a nečistot) cca. o 40 % méně vláken.

Prakticky celá produkce merinové vlny [13] jde do přádelen česané příze. Jen menší část se vypřádá jako čistě vlněné příze, většina přízí se vyrábí ze směsí s umělými vlákny, méně se srstí jiných zvířat (angorská a kašmírská koza, velbloud atd.) a s zcela ojediněle ze směsi vlna/bavlna. Vlákna se dají vypřádat až do jemnosti 10 tex, z příze se vyrábí především lehké tkané a pletené svrchní oděvy. V posledních letech se tato vlákna, stejně jako vlny od nížinných ovcí, používají hlavně na výrobu kobercových přízí a také na výplň prošíváných přikrývek a polštářů. Vlákna kříženecké vlny (většinou ve směsích se syntetickými materiály) se nachází v široké paletě výrobků, zejména ve tkaninách a pleteninách na svrchní ošacení, přikrývkách a přízích na ruční pletení.

### 3.9 Reologické modely vhodné pro charakteristiku viskoelastického materiálu

Reologie je dle [5] věda zabývající se zkoumáním reologických vlastností látek. V literatuře jsou definovány jako časově závislé deformační a tokové děje, probíhající v kapalinách i v pevných látkách. Pro modelování procesu tvarování plošných textilií byly použity reologické modely, které popisují poměrně přesně základní druhy např. žehlení, tvarování.

Podle literatury [9] je reologie v širokém slova smyslu věda, která studuje tvarové změny látek při působení vnějších sil. V užším slova smyslu se reologií rozumí nauka o toku látek.

Při malých deformacích se tělesa chovají podle Hookeova zákona. Při smyku je rovnováha mezi napětím a deformací vyjádřena vztahem:

$$s = E \cdot e \quad (3.8)$$

Jednoduché kapaliny při působení konstantního smykového napětí tečou, jejich smyková deformace lineárně roste. Při ustáleném toku je podle Newtonova zákona smyková rychlost  $\dot{\epsilon}$  úměrná smykovému napětí  $s$ , s viskozitou jako konstantou úměrnosti:

$$s = h\dot{\epsilon} \quad (3.9)$$

Hookeovská elasticita a Newtonský tok jsou dva mezní případy reologického chování. Polymery se k jednomu či druhému extrému mohou podle vnějších podmínek více nebo méně přiblížit. Obecně je však jejich odezva na působení vnějších sil kombinací elastických a viskózních projevů. Takové chování se nazývá viskoelastické. Základními prvky reologických modelů jsou ocelová pružina, která je symbolem Hookeovské elasticity a píst, symbol Newtonského toku.

#### 3.9.1 Základní reologické elementy


Jednotlivé (deformační) vlastnosti jsou vyjádřeny reologickými modely základních látek. Pružnou hmotu můžeme např. znázornit dokonale pružnou pružinou, viskózní látku

viskózním prvkem, atd. Některé základní látky se ve skutečnosti vyskytují zřídka. Jsou spíše abstrakcemi, které vyjadřují jednotlivé podstatné reologické vlastnosti. Skládáním reologických modelů základních látek dostáváme složitější reologické modely, kterými se můžeme libovolně přiblížit k vyjádření reologických vlastností skutečných hmot. [7]


Reologický model vytvořený paralelním spojením obou prvků se nazývá Kelvinův, sériové spojení je model Maxwellův, sériové spojení prvků Kevinova a Maxwellova modelu je model Tuckettův. Čím větší je počet prvků v modelu, tím lépe vystihuje reologické chování reálného systému.

K základním reologickým elementům patří:

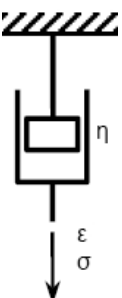
a) Pružná hmota – Hookeův element: deformuje se současně se zatížením (nezávisle na čase). Je představována modelem dokonale pružné pružiny, která vyjadřuje Hookeův zákon:  $s = E \cdot e$ , kde  $E$  je Yongův modul pružnosti (konstanta úměrnosti). Zaměníme-li deformaci posuvem a napětí silou, konstanta  $E = k$ , pak dostaneme rovnici  $F = k \cdot s$ , kde  $\sigma$  je prodloužení pružiny,  $k$  je tuhost pružiny. Energie vynaložená při deformaci je vratná. [7]



b) Tvárná (plastická) látka – třecí element. Působí při menším napětí než odpovídá napětí mezi tvárností (plasticky).  $\sigma_t$  jako dokonale tuhá hmota a pak se deformuje zcela neomezeně. Reologickým modelem plastické látky jsou dvě destičky, mezi nimiž působí tření. Tření odpovídá meznímu napětí  $\sigma_t$ . Pokud není překonáno je reologický model v klidu. Při dosažení mezní hodnoty se destičky nebo těleso posouvá se stálým třecím odporem. Lze také psát  $\sigma = \text{konstantě}$ , je-li  $\sigma > \sigma_t$ . Vložená energie je nevratná (přeměňuje se na tepelnou). [7]



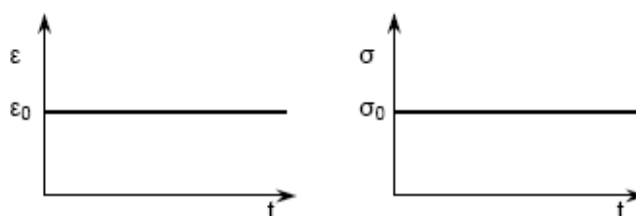
c) Dokonale viskózní element: viskózní člen s parametrem  $\eta$  (modulem dynamické viskozity), konstantou úměrnosti ve vztahu  $s = h \cdot e = h \cdot \frac{de}{dt}$ . Modeluje časově závislou neelastickou složku deformace (tj. jednu z forem plastické deformace). Vložená mechanická energie se přeměňuje na tepelnou (je nevratná). [7]



### 3.9.2 Reologické modely vystihující viskoelastické vlastnosti textilie

Reologické modely jsou náhradní mechanické modely, složené z mechanických prvků, které modelují, tzn. přibližně popisují, chování reálných materiálů. Reologické modely lze vytvářet z reologických elementů dvojitým způsobem, sériovým nebo paralelním spojováním. Při sériovém spojení jsou napětí na jednotlivých elementech stejná, sčítají se deformace a jejich rychlosti. Jsou-li elementy spojeny paralelně, pak jsou na jednotlivých elementech stejné deformace a rychlosti deformace, sčítají se napětí. U jednotlivých reologických modelů se uvádí příslušná diferenciální rovnice a její aplikace na časový průběh nezávisle proměnné. [5]

Při popisu relaxace napětí i krípu je tvar časového průběhu působení nezávislé veličiny v experimentu, podnětu, považován za ideální skok:



Obrázek 3.6 - Ideální skok deformace a napětí

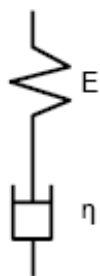
#### 3.9.2.1 Maxwellův model

U Maxwellova modelu jde o sériové spojení pružného a vazkého prvku, kde  $E$  je modul pružnosti a  $\eta$  viskozita materiálu. Maxwellův model [9] znázorněný na obrázku (3.7) popisuje tok komplikovaný elastickou deformací nebo naopak elasticitu, která odeznívá tokem. Při sériovém spojení prvků je celková deformace rovna součtu deformací prvků, kdežto napětí je v obou prvcích a v celém modelu stejné:

$$S_{pruž} = S_{píst} = S \quad (3.10)$$

$$e_{pruž} + e_{píst} = e \quad (3.11)$$





jelikož

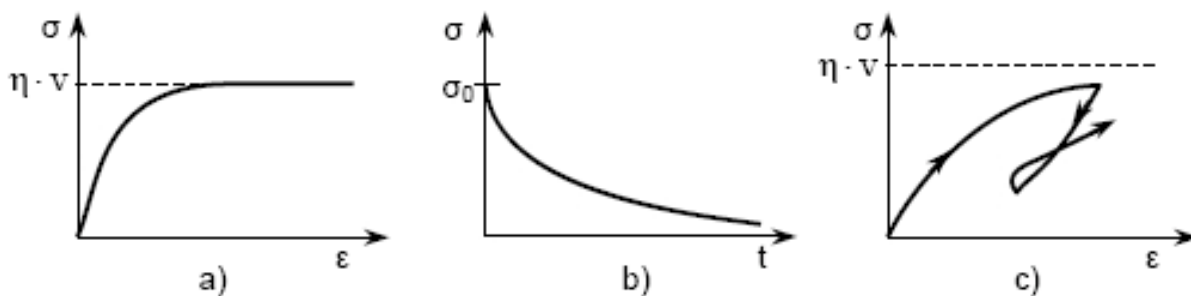
$$\frac{de_{pruž}}{dt} + \frac{de_{píst}}{dt} = \frac{de}{dt} \quad (3.12)$$

Obrázek 3.7 – Maxwellův model

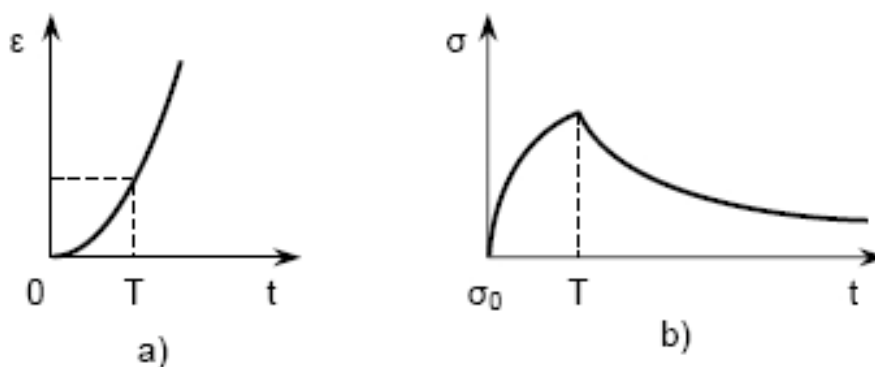
dostaneme po dosazení z rovnic (3.9) a (3.10) diferenciální rovnici Maxwellova modelu v tomto tvaru:

$$\frac{ds}{dt} + \frac{s}{t} = \frac{de}{dt} E \quad (3.13)$$

Veličina  $t = \frac{h}{E}$  se nazývá relaxační doba.



Obrázek 3.8 - a) deformace prostá, b) relaxace, c) deformace opakovaná

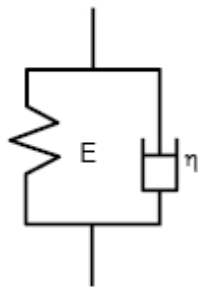


Obrázek 3.9 - a) deformační odezva v křívovém experimentu, b) napěťová odezva Maxwellova modelu v experimentu relaxace napětí.

Dle literatury [5], [7] při konstantním napětí deformace s časem roste a dosahuje libovolné hodnoty. Maxwellův model tudíž nepopisuje odpovídajícím způsobem průběh deformace v kríčovém experimentu. Naopak tento model popisuje vyhovujícím způsobem relaxaci napětí u lineárních polymerů (po dostatečně dlouhé době klesne napětí při konstantní deformaci na nulu).

### 3.9.2.2 Kelvinův model

Jedná se o paralelní zapojení pružného a vazkého prvku. Kelvinův model [9] je znázorněn na obrázku (3.10). Při paralelním spojení pružiny s pístem je přechod pružiny z jednoho deformačního stavu do druhého brzděn – zpoždován viskózním prvkem. Kelvinův model se tedy deformuje vratně, ale jeho elasticita není okamžitá, nýbrž časově závislá. Je to elasticita brzděná, zpožděná. Diferenciální rovnice Kelvinova modelu plyne z podmínky, že deformace obou prvků jsou stejné a že napětí obou prvků přispívají aditivně k napětí celkovému:



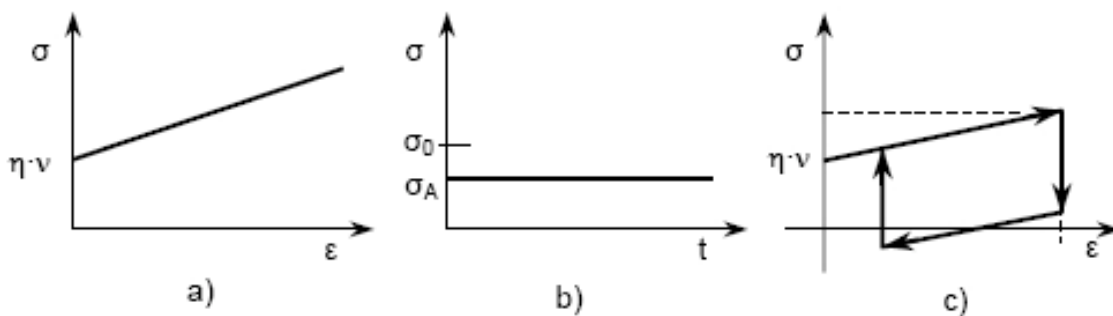
$$e_{pruž} = e_{píst} = e \quad (3.14)$$

$$s_{pruž} + s_{píst} = s \quad (3.15)$$

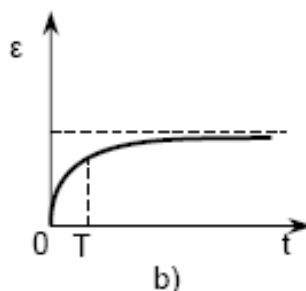
Obrázek 3.10 – Kelvinův model

kde  $s$  je celkové napětí modelu,  $e$  je jeho deformace. Do druhého vztahu dosadíme z rovnic (3.9) a (3.10) a dostaneme diferenciální rovnice Kelvinova modelu:

$$E \cdot e + h \frac{de}{dt} = s \quad (3.16)$$



Obrázek 3.11 - a) prostá deformace, b) relaxace, c) deformace opakovaná



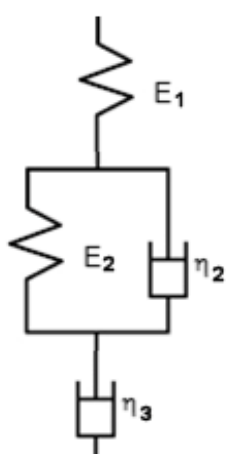
Obrázek 3.12 - Deformační odezva Kelvinova modelu

Kelvinův model adekvátně popisuje průběh deformace v krípvém experimentu, jeho aplikace pro modelování relaxace napětí obecného viskoelastického chování ale není vhodná. [5], [7]

### 3.9.2.3 Tuckettův model

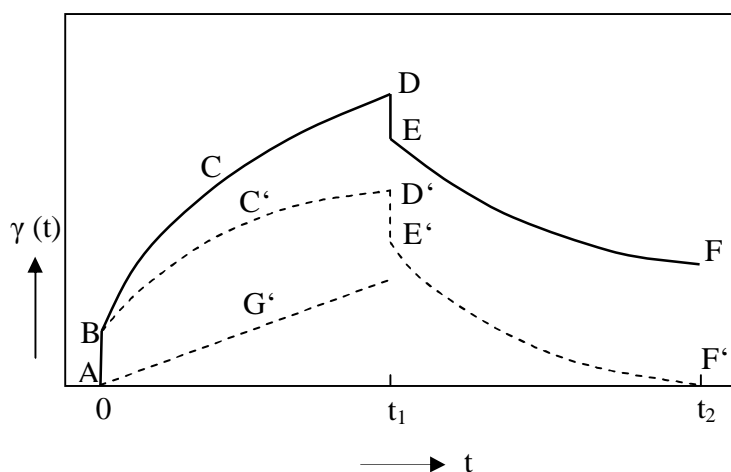
Deformace lineárního amorfního polymeru je určována třemi základními molekulárními mechanismy: ideálně elastickou okamžitou deformací valenčních úhlů, vazeb a mezimolekulových vzdáleností, zpožděně elastickou deformací polymerních klubek a nevratnými přesuny klubek – tokem. Tuckettův model [9] znázorněn na obrázku (3.13) je sériové spojení pružiny s modulem  $E_1$ , Kelvinova modelu s modulem  $E_2$  a viskozitou  $h_2$  a tokového prvku s viskozitou  $h_3$ . Je tedy schopen kvalitativně předpovědět viskoelastické chování lineárního amorfního polymeru, jestliže přisoudíme jeho čtyřem parametrům přiměřené hodnoty.

Deformace všech tří složek Tuckettova modelu jsou aditivní a model se tedy při krípu řídí rovnicí:



$$e(t) = s_0 \left[ \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \frac{1}{h_3} t \right] \quad (3.17)$$

Obrázek 3.13 –  
Tuckettův model



ABCD – kříp; AB – okamžitá deformace; DEF – zpětný kříp; DE – okamžitá retrakce při zpětném křípu; ABC'D' – vratná část deformace při křípu; AG' – část nevratná; D'E'F' – vratná část zpětného křípu; E'F' – nevratná deformace dosažená při křípu za dobu  $t_1$

Obrázek 3.14 – Schéma vlastností Tuckettova modelu

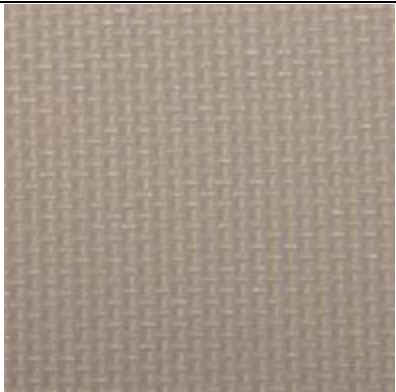

## 4 Experimentální část

Cílem experimentální části této bakalářské práce bylo navrhnout a provést experiment odpovídající tvarování materiálů a to: polyesteru a vlny. Výsledky měření vyhodnotit, porovnat jednotlivé materiály z hlediska tvarování a na základě experimentu navrhnout reologický model, kterým je možno nejpřesněji aproximovat experimentální hodnoty úhlů zotavení.

## 4.1 Charakteristika zkoumaného materiálu

Pro zkoumané vzorky byl použitý materiál ze 100% polyesteru v plátňové vazbě a materiál ze 100% vlny v plátňové vazbě. Charakteristiky materiálů jsou uvedeny v tabulce (4.1).

Tab 4.1 – Charakteristiky zkoumaného materiálu

<b>materiál</b>	<b>100% Polyester</b>		<b>100% Vlna</b>	
<b>vazba</b>	plátno		plátno	
	osnova	útek	osnova	útek
<b>dostava</b>	550 nití/10cm	195 nití/10cm	253 nití/10cm	191 nití/10cm
<b>složení</b>	100% polyester	100% polyester	100% vlna	100% vlna
<b>plošná hmotnost</b>	180 g/m <sup>2</sup>		222 g/m <sup>2</sup>	
<b>vzorek materiálu</b>				

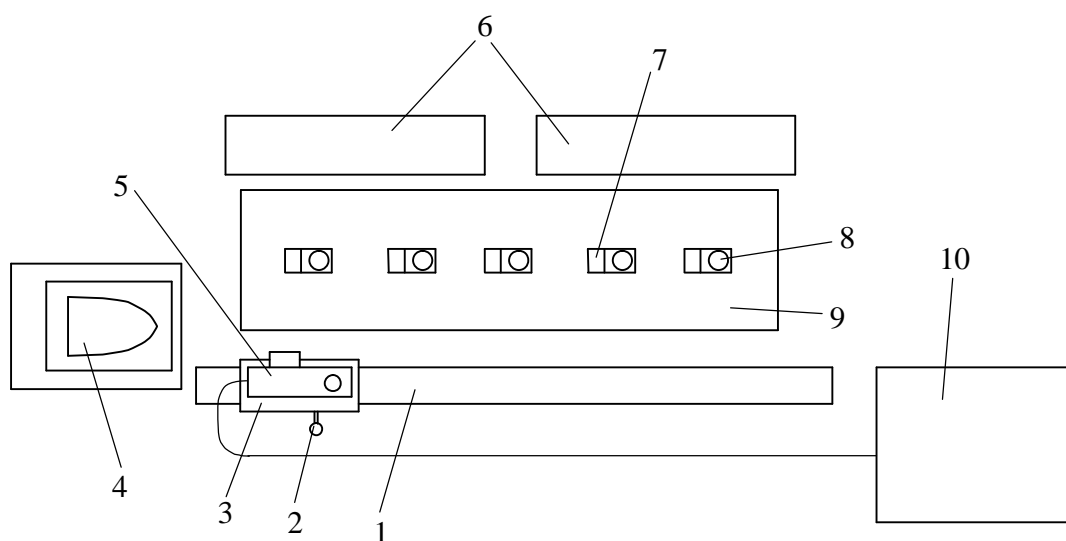
## 4.2 Charakteristika použitého zařízení

Snímání úhlu zotavení bylo prováděno pomocí digitálního fotoaparátu OLYMPUS C 760 UltraZoom s rozlišením 4 megapixely. Nasnímané fotografie byly přeneseny z fotoaparátu do počítače pomocí programu Cam2Com. Měřené vzorky byly upnuty v přípravku na speciálním měřicím stole který byl pro toto měření určený, součástí stolu byla i vodící lišta na které byl připevněný fotoaparát a umožňovala mu pohyb v jedné ose. Díky tomu bylo možné měřit více vzorků najednou a vždy se vrátit do určeného místa pro snímání každého vzorku. Pro tvarování byla použita elektricky vyhřívaná žehlička a digitálním nastavováním

teplotního rozsahu. Pro ověření nastavené teploty byl použit digitální teploměr ALMEMO 2290-8.

#### 4.2.1 Snímání úhlu zotavení pomocí digitálního fotoaparátu

Použité vzorky textilie tvořily proužky o rozměru 5x2 cm, byly stříhány ve směru útku pro oba materiály. Schematicky znázorněné měřicí pracoviště je na obrázku 4.2.

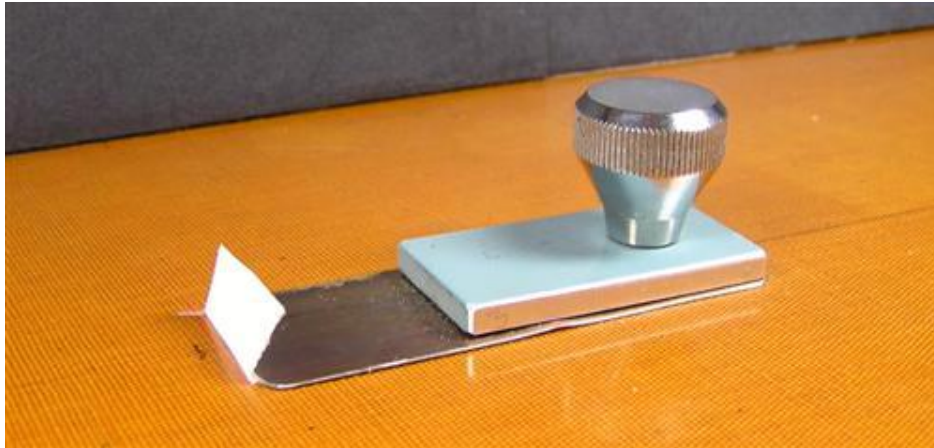


1. vodící lišta fotoaparátu; 2. aretační páčka; 3. posuvná deska fotoaparátu; 4. žehlící element; 5. fotoaparát; 6. osvětlení; 7. přitlačný plech; 8. přitlačný šroub; 9. stůl na upínání vzorků; 10. přenosný počítač

Obrázek 4.1 – Schéma měřicího pracoviště

##### 4.2.1.1 Postup měření

1. Umístit vzorky pod přitlačné plechy a zajistit přitlačným šroubem, jak je znázorněno na obrázku (4.2). Velikost vyčnívající části byla podle plošné hmotnosti měřených textilií stanovena na 1 cm.



Obrázek 4.2 – Umístěný vzorek pod přitlačným plechem

2. Ohnout vzorek podle obrázku (4.3) a působit na vzorek zvolenou teplotou, časem a tlakem který vyvine žehličí element, v tomto případě žehlička. Plocha žehličky působí tlakem, který vypočítáme podle vztahu:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} \quad (4.1)$$

Kde  $F [N]$  je síla,  $S [m^2]$  je plocha žehličky kterou je namáhán vzorek,  $m [kg]$  je hmotnost žehličky,  $g [m \cdot s^{-2}]$  je gravitační zrychlení.



Obrázek 4.3 – Naznačení způsobu tvarování vzorku

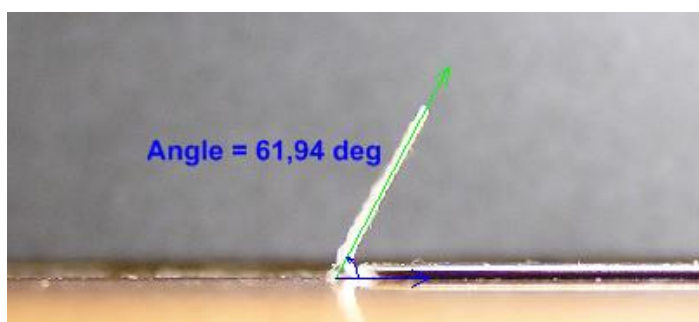
3. Odstranit žehličí element ze vzorku kolmo nahoru.

4. Začít snímat vzorek digitálním fotoaparátem ve stanovených časových intervalech.

Snímání digitálních fotografií v době relaxace vzorku probíhalo po dobu 60 minut. V časových intervalech v první minutě po 5 vteřinách, se stoupajícím časem se intervaly postupně zvyšovaly po pěti a později po deseti minutách. Časové intervaly měření byly tedy 1 (snímání po 5 vteřinách) , 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 a 60 minut.

#### 4.2.2 Měření úhlu zotavení pomocí programu NIS Elements

Nasnímaná relaxace vzorku digitálními fotografiemi byla vyhodnocena pomocí programu Lucie Software, NIS Elements. Tento program umožňuje dostatečně přesně a poměrně jednoduše z nasnímaných fotografií odměřit úhel zotavení. Protože byl vzorek umístěn na vodorovné základně, která se v průběhu měření neměnila, nebylo nutné měnit základnu úhlu a odvěsna byla u všech vzorků nanášena stejným způsobem, podle obrázku 4.5. Naměřené hodnoty úhlů z nasnímaných fotografií se ukládaly do programu a po odměření všech úhlů se tyto hodnoty vložily do programu Microsoft Excel pro další vyhodnocování.

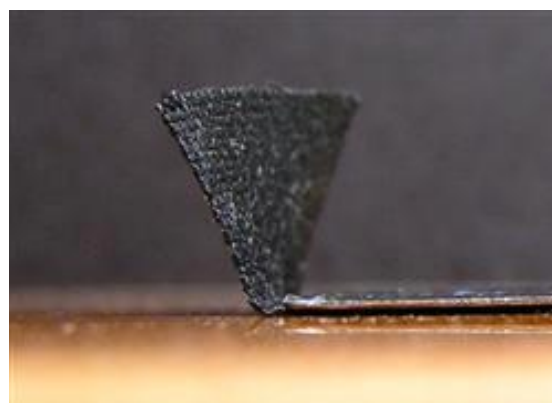


Obrázek 4.4 – Nasnímaný úhel zotavení a odměřený úhel v programu Lucie

U některých vzorků došlo při tvarování ke zkroucení jak je vidět na obrázku (4.5) a (4.6). Při odečítání hodnot úhlů zotavení v programu Lucie bylo proto nutné měřit úhel dvakrát. Jednou v popředí a podruhé v pozadí. Z těchto dvou hodnot se spočítal průměr a byl získán celkový úhel zotavení pro konkrétní vzorek.



Obrázek 4.5 – Nasnímaný úhel zotavení u polyesteru



Obrázek 4.6 – Nasnímaný úhel zotavení u vlny



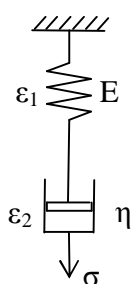
### 4.2.3 Sestavení reologického modelu

Na základě konzultací byly pro aproximaci experimentálních hodnot úhlů zotavení zvoleny dva reologické modely. Jako první Maxwellův reologický model, který je složený z pružného a viskózního elementu. Jako druhý byl zvolen Tuckettův reologický model, který se skládá z pružného, Kelvinova a viskózního elementu. Tyto modely by měly být schopné kvalitativně předpovědět viskoelastické chování zkoumaných textilií. Dle ing. Zelové [23] a dle literatury [24] je možné ze základních rovnic těchto reologických modelů vyjádřit všechny proměnné jak je uvedeno dále.

Příklad výpočtu celkové deformace byl znázorněn v prvním měřeném bodě, to je po pěti vteřinách po odstranění zatížení, pro tkaninu z polyesteru, teplota tvarování 110°C a doba tvarování 20 vteřin. Ostatní vypočítané hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 4 pro Maxwellův model a příloze č. 5 pro Tuckettův model.

#### Maxwellův model

U Maxwellova modelu jde o sériové spojení pružného a vazkého elementu, kde  $E$  je modul pružnosti a  $\eta$  viskozita materiálu. Maxwellův model popisuje tok komplikovaný elastickou deformací nebo naopak elasticitu, která odeznívá tokem. Při sériovém spojení prvků je celková deformace rovna součtu deformací prvků, kdežto napětí je v obou prvcích a v celém modelu stejné.



Ø Vyjádření Yongova modulu pružnosti z rovnice napětí pružného elementu

$$s_1 = E \cdot e \Rightarrow E = \frac{s}{e} = \left| \frac{P}{e} \right| [\text{Pa}] \quad (4.2)$$

Ø Vyjádření viskozity z rovnice napětí vazkého elementu

$$s_2 = h \cdot \frac{de}{dt} = h \cdot \frac{e}{t} \Rightarrow h = \frac{s \cdot t}{e} = \frac{P \cdot t}{e} [\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.3)$$

[23]

Ø Výpočet celková deformace, součet deformace pružného a vazkého elementu

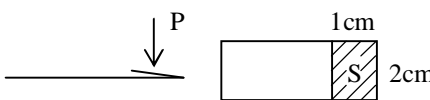
$$e_c = e_1 + e_2 \quad (4.4)$$

dosazeno do rovnice (4.4) z rovnic (4.2) a (4.3)

$$e_c = \frac{P}{E} + \frac{P}{h} \cdot t \quad (4.5)$$

[23]

Ø Výpočet tvarovacího tlaku (dosazeno do vztahu (4.1) )



$$P = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{1 \cdot 9,81}{0,01 \cdot 0,02} = 49500 [Pa]$$

kde  $m$  je hmotnost tvarovacího tělesa v [kg], v tomto případě žehličky,  $g$  je gravitační zrychlení v [m·s] a  $S$  je plocha vzorku v [m<sup>2</sup>].

Ø Ze vztahu (4.2) dostaneme Yongův modul pružnosti  $E$  :

$$E = \frac{49500}{0,505272} = 97966,99 [Pa]$$

Ø Ze vztahu (4.3) dostaneme viskozitu  $h$  :

$$h = \frac{49500 \cdot 5}{0,505272} = 489834,96 [N \cdot s \cdot m^{-2}]$$

$e_1$  je deformace vzorku v čase  $t = 5$  vteřin vypočítaná dle vztahu (3.7) z odměřeného úhlu zotavení  $\alpha$  který zde byl 89,05° převedeného na radiány:

$$e_1 = 1 - \frac{\bar{\alpha}}{p} = 1 - \frac{1,554}{3,1415} = 0,505272$$

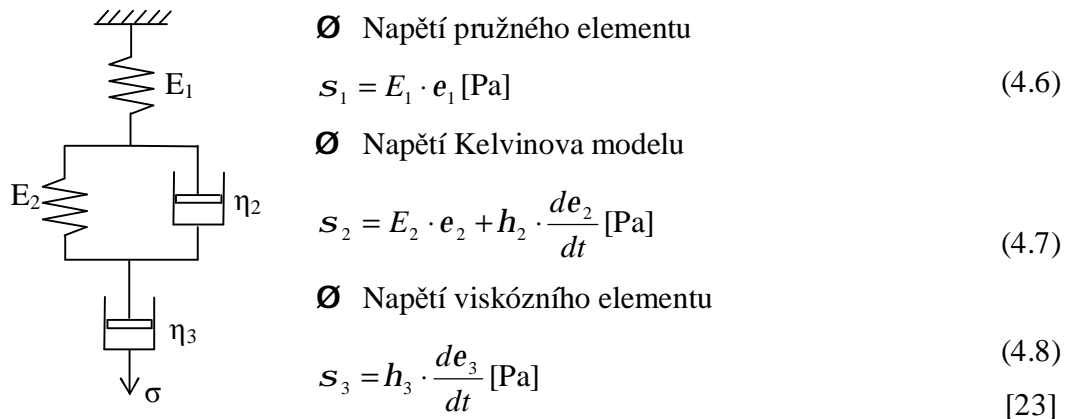
Ø Ze vztahu (4.5) dostaneme velikost celkové deformace  $e_c$  :

$$e_c = \frac{49500}{97966,99} + \frac{49500}{489834,96} \cdot 5 = \underline{\underline{1,010544 [-]}}$$

### Tuckettův model

Deformace je v tomto případě určena třemi základními mechanismy: ideálně elastickou okamžitou deformací, zpožděně elastickou deformací a plastickou deformací – tokem.

Tuckettův model je sériové spojení pružiny s modulem  $E_1$ , Kelvinova modelu s modulem  $E_2$ , viskozitou  $h_2$  a tokového prvku s viskozitou  $h_3$ . Je tedy schopen kvalitativně předpovědět viskoelastické chování, jestliže přisoudíme jeho čtyřem parametrům přiměřené hodnoty.



$\emptyset$  Celková deformace Tuckettova modelu je dána vztahem

$$e_c = s \cdot \left[ \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{E_2}{h_2} t} \right) + \frac{1}{h_3} \cdot t \right] \quad (4.9)$$

$\emptyset$  Vyjádření Yongova modulu pružnosti  $E_1$  z deformace pružného elementu

$$e_1 = \frac{P}{E_1} \Rightarrow E_1 = \left| \frac{P}{e_1} \right| \quad (4.10)$$

[23]

$\emptyset$  Vztahy pro výpočet Yongova modulu pružnosti  $E_2$  a viskozity  $h_2$  Kelvinova modelu

$$E_2 = \frac{P}{v_0} \cdot (1 - e^{-X \cdot t_1}) \quad (4.11)$$

[23]

$$h_2 = \frac{E_2}{X} \quad (4.12)$$

[23]

$\emptyset$  pomocné hodnoty  $v_0$  a  $X$

$$v_0 = tgj = \left. \frac{de}{dt} \right|_{t=t_1} \quad (4.13)$$

[23]

kde  $v_0$  je rychlost odlehčení;  $tgj$  je úhel tečny ke křivce zotavení ve zvoleném bodě

$$-X \cdot (t_2 - t_3) = \ln \frac{e(t_2) - e_p}{e(t_3) - e_p} \quad (4.14)$$

[23]

kde  $e$  je deformace v čase, zde  $t_2$  a  $t_3$ ;  $e_p$  je plastická deformace, lze ji odečíst z grafu zotavení.

Ø Vztah pro výpočet viskozity vazkého prvku  $h_3$

$$h_3 = \frac{e(t_1) - \frac{v_0}{(-X)}}{P \cdot t_1} \quad (4.15)$$

[23]

Ø Ze vztahu (4.10) dostaneme Yongův modul pružnosti  $E_1$ :

$$E_1 = \left| \frac{49500}{0,505272} \right| = 97966,99 [Pa]$$

Ø Ze vztahu (4.13) dostaneme rychlost odlehčení  $v_0$ :

$$v_0 = \frac{0,505272}{5} = 0,101054$$

Ø Ze vztahu (4.14) dostaneme pomocnou hodnotu  $X$ :

$$\begin{aligned} -X \cdot (10 - 15) &= \ln \frac{0,501883 - 0,470261}{0,50045 - 0,470261} \\ 5X &= 0,101805 \\ X &= 0,020361 \end{aligned}$$

Ø Ze vztahu (4.11) dostaneme Yongův modul pružnosti  $E_2$ :

$$E_2 = \frac{49500}{0,101054} \cdot (1 - e^{-0,020361 \cdot 5}) = 47413,41 [Pa]$$

Ø Ze vztahu (4.12) dostaneme viskozitu  $h_2$ :

$$h_2 = \frac{47413,41447}{0,020361} = 2328630 [N \cdot s \cdot m^{-2}]$$

Ø Ze vztahu (4.15) dostaneme viskozitu  $h_3$ :

$$h_3 = \frac{0,505272 - \frac{0,101054}{0,020361}}{49500 \cdot 5} = 0,2209 \cdot 10^{-6} [N \cdot s \cdot m^{-2}]$$

Ø Ze vztahu (4.9) dostaneme hodnotu celkové deformace  $e_c$  :

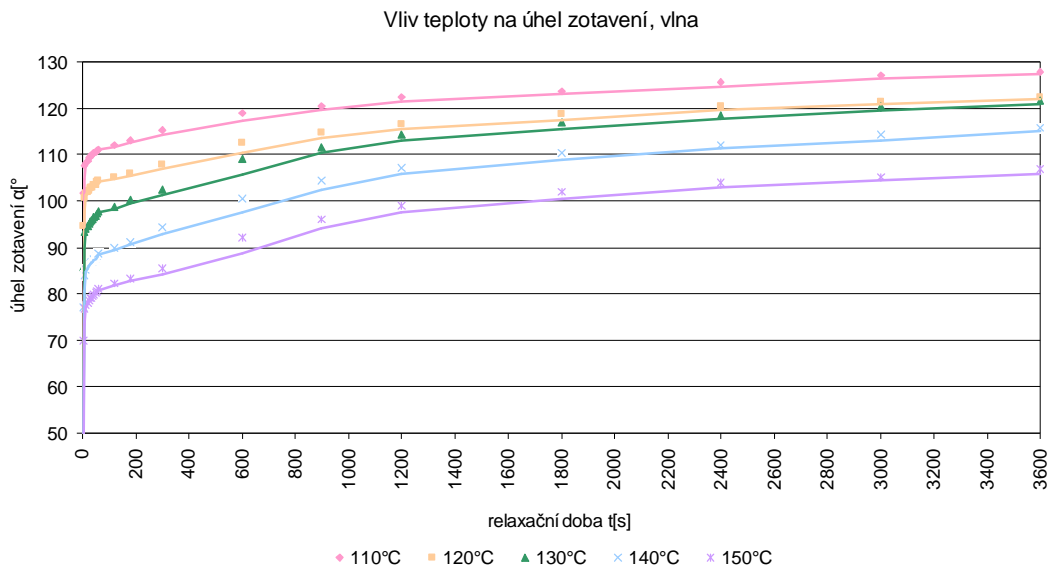
$$e_c = 49500 \cdot \left[ \frac{1}{97966,99} + \frac{1}{47413,41} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{5 \cdot 47413,41}{2328630}} \right) + \frac{1}{0,2209 \cdot 10^{-6}} \cdot 5 \right] = \underline{\underline{0,6063[-]}}$$

### 4.3 Vliv teploty na úhel zotavení

Na základě teoretického objasnění měření úhlu zotavení (kapitola 3.7.1) byl proveden experiment měření úhlu zotavení u materiálu ze 100% vlny v plátňové vazbě a ze 100% polyesteru v plátňové vazbě. Tvarovací teploty byly zvoleny podle použitých materiálů, v rozmezí 110 až 150°C. Naměřené hodnoty úhlů zotavení pro jednotlivé teploty jsou uvedeny v příloze č.1. Průměrné hodnoty úhlů zotavení pro jednotlivé tvarovací teploty jsou uvedeny v příloze č.2. Podle literatury [11] je optimální tvarovací teplota pro vlnu 110°C a 120°C pro polyester. S ohledem na to byla doba tvarování stanovena na 20 vteřin, při delším působení tvarovací teploty by mohlo dojít k poškození tvarovaného materiálu, hlavně vlny. Měření by tím pádem nemuselo být objektivní.

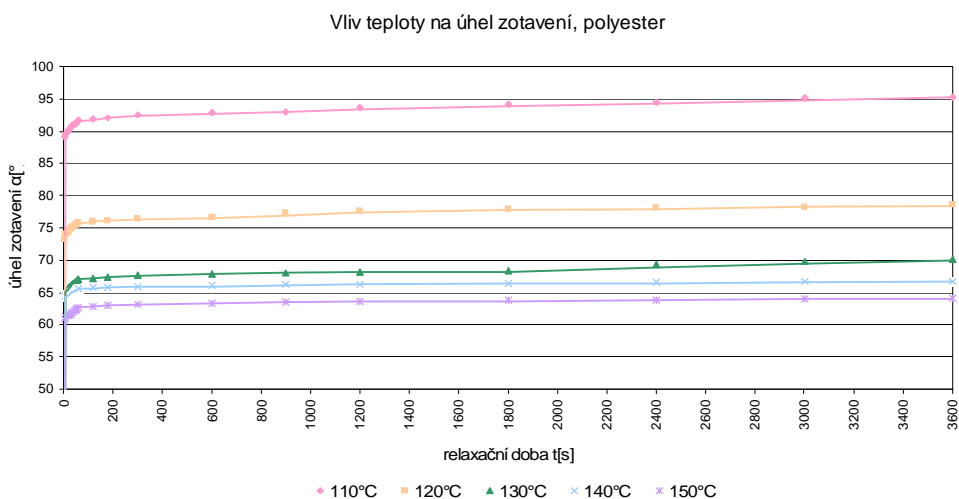
Průměrné výsledky měření jsou znázorněny v grafech (4.1) pro vlnu a (4.2) pro polyester. Je zde vidět, že s rostoucí teplotou tvarování dochází k lepšímu tvarování plošné textilie. Hodnoty úhlů zotavení pro jednotlivá měření teplot tvarování, ze kterých byly následně spočítány průměrné hodnoty, jsou graficky znázorněny v příloze č.6 pro vlnu a příloze č.7 pro polyester.

U vlny úhel zotavení relaxuje poměrně pravidelně se zvýšením teploty po celou dobu měření. Během snímání úhlů v jednotlivých časových intervalech docházelo od začátku do konce měření k nárůstu úhlu zhruba o 20°. Jen u teploty 130°C se zhruba od páté minuty začal pomalu přibližovat hodnotám, které odpovídají teplotě 120°C. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při nastavené teplotě tvarování na 150°C, tato teplota je pro vlnu příliš vysoká a při delším působení na tvarovaný materiál by patrně došlo k jeho poškození.



Graf 4.1 – Porovnání vlivu teploty na úhel zotavení u vlněné tkaniny

U polyesteru úhel zotavení už nerelaxoval tak pravidelně jako u vlny. Ale zůstává pravidlem, že s vyšší tvarovací teplotou úhel zotavení klesá. V průběhu měření se úhel zvýšil přibližně o 6° pro teploty 100 až 130°C, u teploty 140°C byl nárůst jen necelé 3° a u teploty 150°C necelé 4°. Z těchto výsledků by se jako optimální tvarovací teplota jevila teplota 140°C. Materiál držel požadovaný tvar i po delší době a neprojevovala se u něj snaha tento tvar měnit, tvarová stálost byla téměř okamžitá.



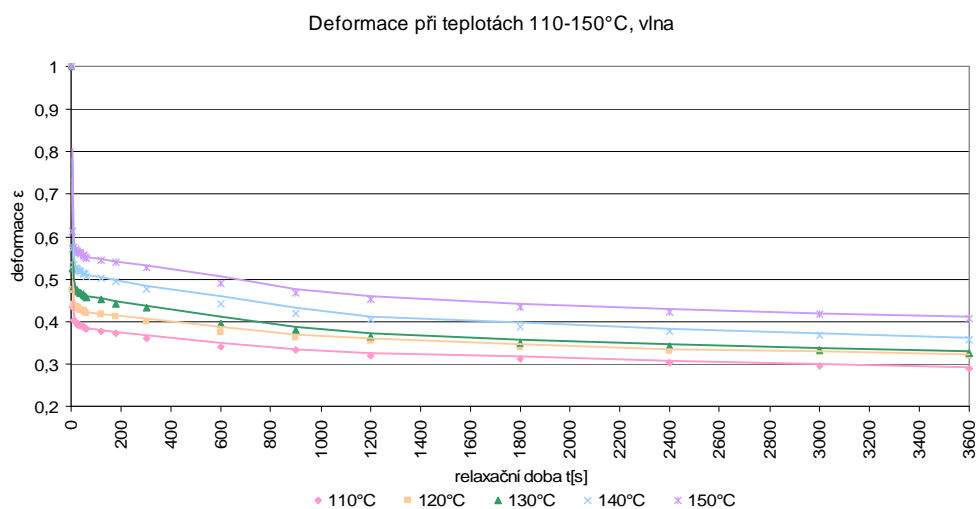
Graf 4.2 – Porovnání vlivu teploty na úhel zotavení u polyesterové tkaniny

Měřením bylo zjištěno, že materiál z polyesteru držel požadovaný tvar i po delší době a neprojevovala se u něj snaha tento tvar měnit, tvarová stálost byla téměř okamžitá, jak může být vidět na grafu (4.2). U materiálu z vlny docházelo k relaxaci po celou dobu měření. U obou materiálů platilo, že se zvýšením teploty tvarování došlo ke snížení úhlu zotavení, tedy k lepšímu tvarování.

#### 4.4 Vyhodnocení úhlu zotavení jako funkce deformace

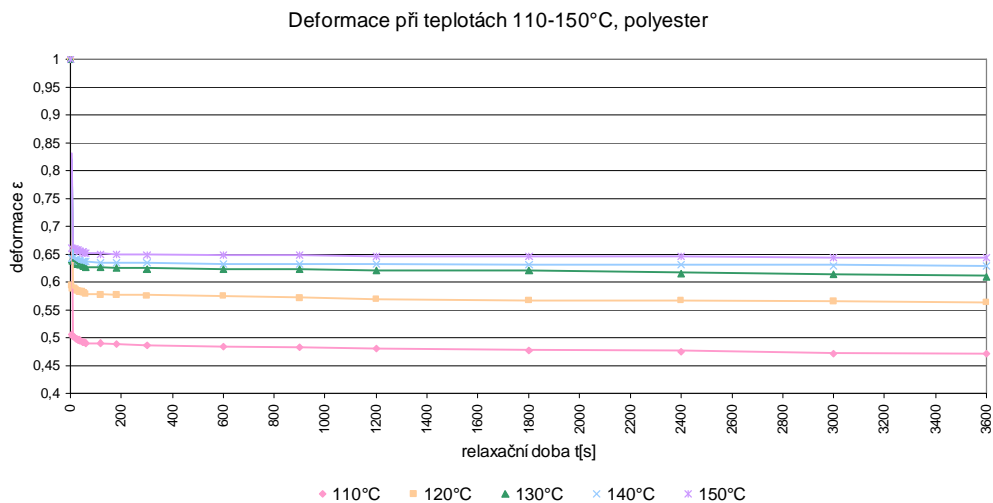
Pro vyjádření úhlu zotavení jako funkce deformace byl použit vzorec (3.7). Vypočítané hodnoty deformací pro jednotlivé teploty tvarování jsou uvedeny v příloze č.3. Platí zde pravidlo, že čím je hodnota deformace větší, tím je lepší tvarovatelnost plošné textilie.

Závislost deformace na teplotě u vlněné tkaniny je znázorněna na grafu (4.3). Je zde vidět, že se deformace poměrně pravidelně zvyšuje se zvýšením teploty. Ale v průběhu relaxace vzorku docházelo k jejímu pozvolnému snižování.



Graf 4.3 – Porovnání deformace pro různé teploty u vlněné tkaniny

Závislost deformace na teplotě pro tkaninu z polyesteru je znázorněna na grafu (4.4). U polyesteru dosahovala deformace nejmenších hodnot pro teplotu 110°C, se zvýšením teploty na 120°C se výrazně zvýšila, k dalšímu zvýšení došlo ještě u teploty 130°C. Mezi teplotou 140 a 150°C už byl rozdíl jen velmi malý. V průběhu relaxace vorku deformace klesala jen velmi málo a od třicáté minuty se už téměř neměnila.



Graf 4.4 – Porovnání deformace pro různé teploty u polyesterové tkaniny

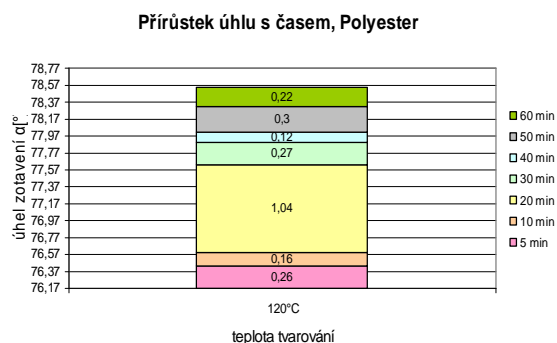
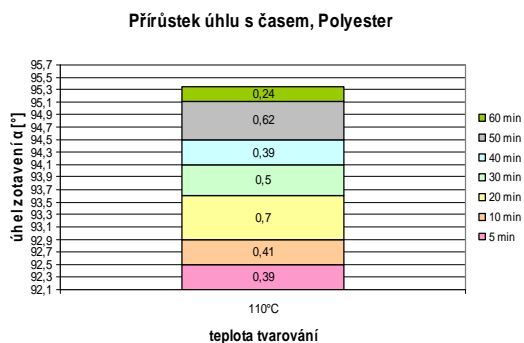
Se zvýšením tvarovací teploty docházelo u vzorků k nárůstu deformací a tím i k lepšímu tvarování. Z výsledků vyplývá, že se mnohem lépe tvarovaly vzorky z polyesteru. To je také dáno tím, že polyester se lépe tvaruje pouze tepelným tvarováním, na vlnu je lepší působit vlhkotepelným tvarováním.

#### 4.5 Vliv času na úhel zotavení

Dalším cílem bakalářské práce bylo vyjádření vlivu času na relaxaci úhlu zotavení. Cílem bylo zjistit velikost přírůstků úhlů zotavení v jednotlivých časových intervalech a jak se přírůstky úhlu mění se zvyšující se teplotou. Vzorky ze 100% polyesteru a 100% vlny byly tvarovány po dobu 20 sekund teplotami 110 až 150°C.

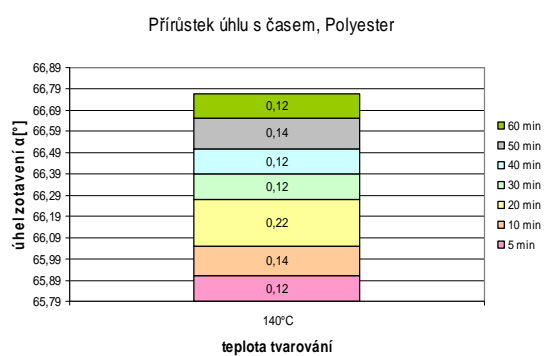
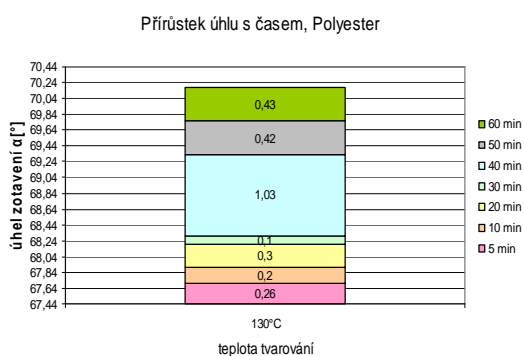
U polyesterového materiálu se největší přírůstek úhlu zotavení projevil zhruba do 5ti minut, pro všechny tvarovací teploty, kdy se úhel průměrně zvětšil zhruba o 3°, s výjimkou teploty 140°C kde byl přírůstek necelé 2°. V časovém intervalu 10-60 minut byl přírůstek úhlu zhruba 2° pro teploty 110, 120 a 130°C. U teplot 140 a 150°C byl přírůstek úhlu zhruba 1°. Jak se úhel postupně zvětšoval v jednotlivých časových intervalech je znázorněno v grafech (4.5) až (4.9).





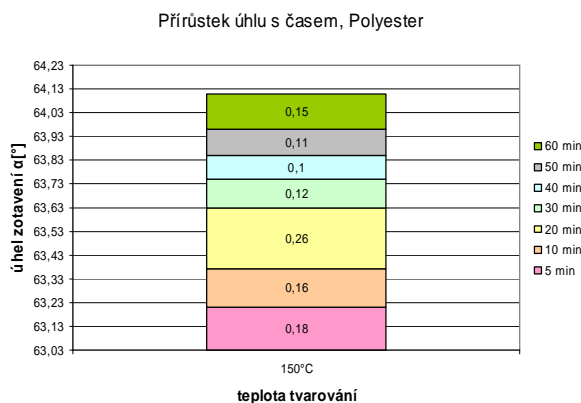
*Graf 4.5 – Přírůstek úhlu u teploty 110°C*

*Graf 4.6 – Přírůstek úhlu u teploty 120°C*



*Graf 4.7 – Přírůstek úhlu u teploty 130°C*

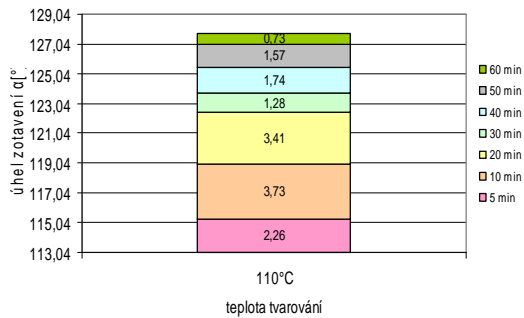
*Graf 4.8 – Přírůstek úhlu u teploty 140°C*



*Graf 4.9 – Přírůstek úhlu u teploty 150°C*

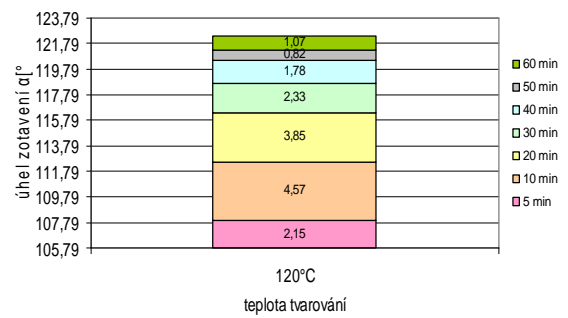
U tkaniny z vlny byl přírůstek úhlu zotavení do 5ti minut zhruba 14° u teplot 110 a 120°C, pro teploty 130 až 150°C byl přírůstek úhlu zhruba 17°. V časovém intervalu 10-60 minut byl přírůstek úhlu zhruba 2° pro teploty 110 až 140°C. U teploty 150°C byl přírůstek úhlu zhruba 3°. Jak se úhel postupně zvětšoval v jednotlivých časových intervalech je znázorněno v grafech (4.10) až (4.14).

Přírůstek úhlu s časem, Vlna



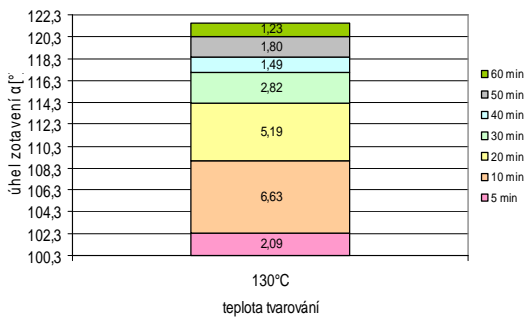
Graf 4.10 – Přírůstek úhlu u teploty 110°C

Přírůstek úhlu s časem, Vlna



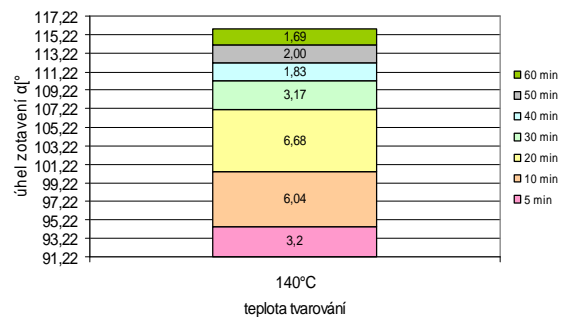
Graf 4.11 – Přírůstek úhlu u teploty 120°C

Přírůstek úhlu s časem, Vlna



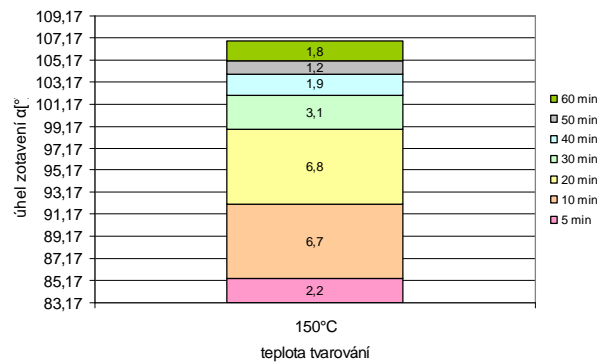
Graf 4.12 – Přírůstek úhlu u teploty 130°C

Přírůstek úhlu s časem, Vlna



Graf 4.13 – Přírůstek úhlu u teploty 140°C

Přírůstek úhlu s časem, Vlna



Graf 4.14 – Přírůstek úhlu u teploty 150°C

Z výsledků vyplývá, že se mnohem lépe tvarovaly vzorky z polyesteru. Tyto vzorky si držely požadovaný tvar i po delší době a relaxace u nich byla pouze minimální. Tvarová stálost tady byla téměř okamžitá. U materiálu z vlny docházelo k relaxaci úhlu zotavení po celou dobu měření a přírůstky úhlů byly v jednotlivých časech měření několikrát větší než

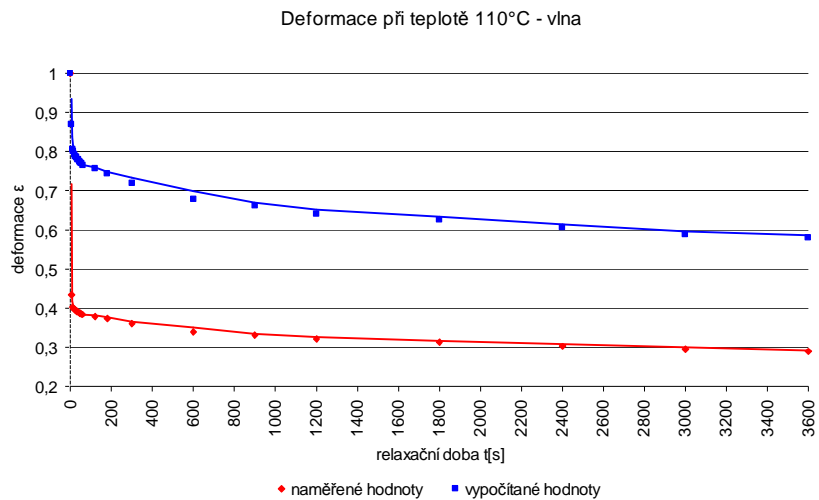
u polyesteru. To bylo pravděpodobně způsobeno tím, že vlna byla objemnější a mnohem lépe se tvaruje pomocí vlhkotepelného tvarování, zde byla tvarována pouze tepelně.

#### **4.6 Aproximace experimentálních hodnot úhlu zotavení pomocí mechanických reologických modelů**

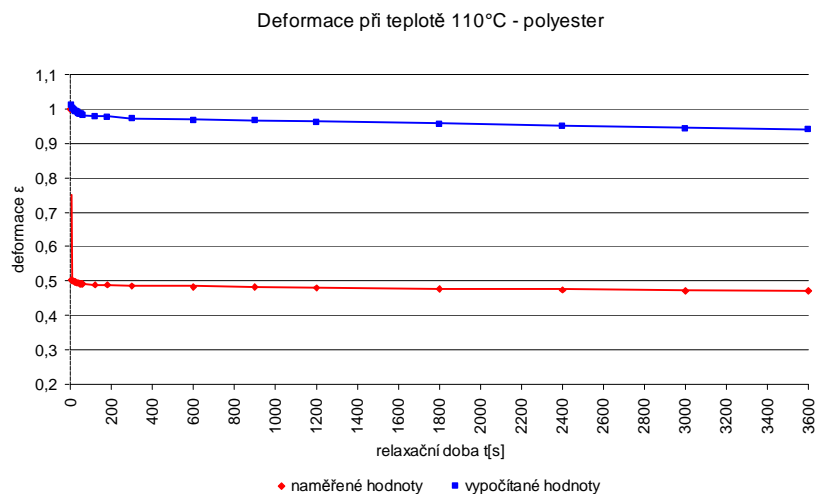
Pro aproximaci experimentálních hodnot úhlů zotavení byly použity reologické modely Maxwellův a Tuckettův. V této kapitole jsou znázorněny grafy těchto modelů s porovnáním hodnot, které byly získány měřením úhlu zotavení. Jsou zde uvedeny pouze grafy pro teplotu tvarování 110°C pro vlněnou a polyesterovou tkaninu. Ostatní grafy jsou v příloze č.8. a č.9 pro Tuckettův Model a v příloze č.10 a č.11 pro Maxwellův model. Hodnoty reologických modelů pro vykreslení křivky průběhu deformace jsou uvedeny v příloze č.4 pro Maxwellův model a příloze č.5 pro Tuckettův model, byly vypočítány podle postupu uvedeném v kapitole (4.2.3).

##### **Maxwellův model**

Průběh deformace získaný výpočtem pomocí Maxwellova modelu je znázorněn na grafu (4.15) pro vlněnou tkaninu a (4.16) pro polyesterovou tkaninu. Jsou zde porovnány vypočítané a naměřené hodnoty. Průběhy deformací jsou pro oba materiály poměrně shodné, jen se liší hodnoty deformací v jednotlivých časových intervalech. Z grafů je dobře vidět, že vypočítané a naměřené hodnoty vykreslených křivek deformací se od sebe výrazně liší. Je to dáno tím, že tento model není vhodný pro vyjádření deformací zkoumaných textilií. To je pravděpodobně způsobeno jeho složením, sériové spojení pružného a vazkého prvku díky kterému není možno přesně vypočítat deformaci v jednotlivých časech.



Graf 4.15 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Maxwellova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, vlněná tkanina.



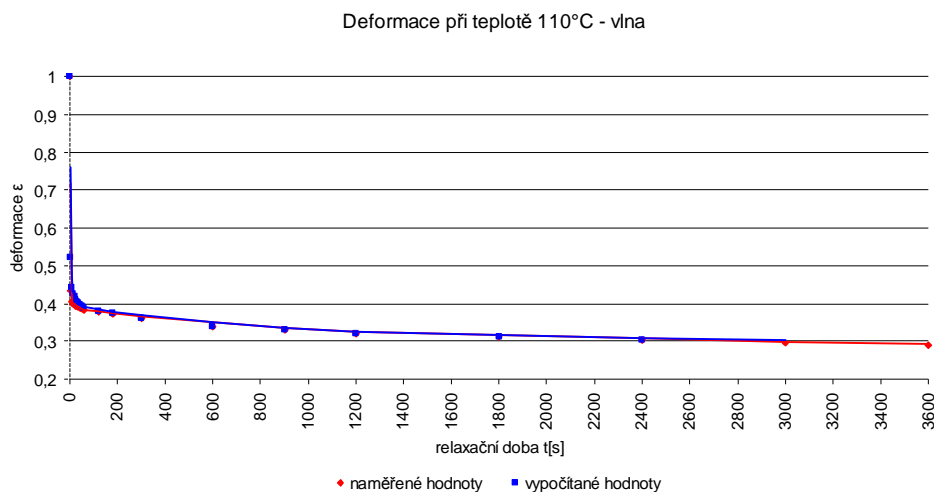
Graf 4.16 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Maxwellova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, polyesterová tkanina.

Maxwellův model v sobě nezahrnuje viskoelastické vlastnosti, pouze pružné a trvalé. Tudíž nepopisuje odpovídajícím způsobem průběh deformace v relaxačním experimentu. Proto aproximace hodnot úhlů zotavení a vyjádření viskoelastického stavu textilních materiálů tímto modelem není vhodná.

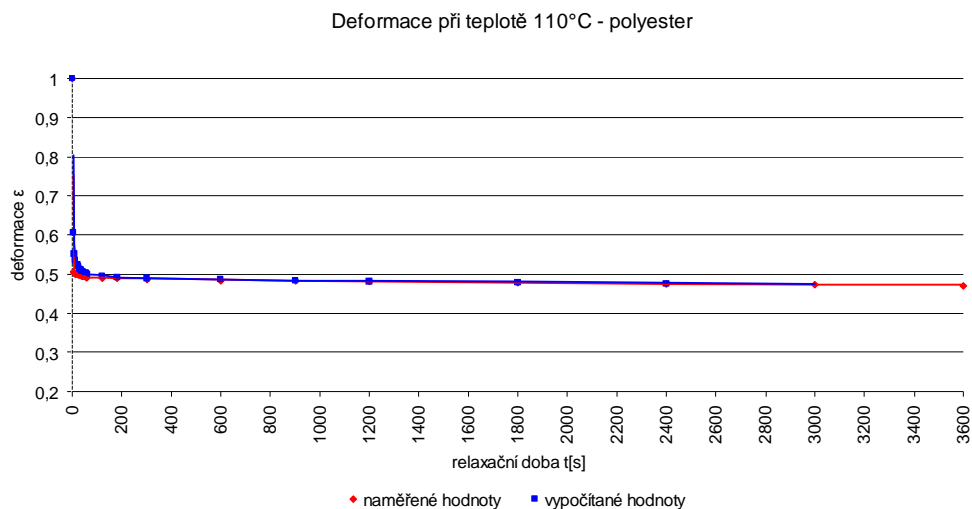
## Tuckettův model

Dalším modelem, kromě Maxwellova, kterým byla aproximována experimentální křivka zotavení byl Tuckettův mechanický reologický model. Průběh deformace získaný výpočtem pomocí Tuckettova modelu je znázorněn na grafu (4.17) pro vlněnou tkaninu a (4.18) pro polyesterovou tkaninu. Jsou zde porovnány vypočítané a naměřené hodnoty.

Deformace u vlněné tkaniny dosahuje nižších hodnot než u polyesterové tkaniny. Je to dáno lepší tvarovatelností polyesteru. Jak je z vykreslených křivek deformací vidět, naměřené a vypočítané hodnoty jsou téměř shodné. Jen v prvních pěti minutách měření jsou velmi malé rozdíly. V dalších časových intervalech je shoda už téměř 100%.



Graf 4.17 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Tuckettova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, vlněná tkanina.



*Graf 4.18 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Tuckettova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, polyesterová tkanina.*

Výsledkem aproximace experimentální křivky tímto reologickým modelem, je důkaz, že Tuckettův model se blíží skutečnému stavu vzorků.

Je to dáno tím, že tento model v sobě, mimo jiné, obsahuje Kelvinovu složku, která je kombinací pružného a vazkého prvku. Tím pádem v Tuckettově modelu představuje viskoelastický člen. Proto je Tuckettův model použitelný pro vyjádření viskoelastického chování textilních materiálů.

## 5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši zaměřenou na tvarovatelnost plošných textilií a analýza mechanických reologických modelů, které je možno použít pro vyjádření viskoelastického chování textilních materiálů. Na základě teoretických znalostí stanovit experiment pro objasnění tvarovatelnosti plošné textilie měřením úhlu zotavení po tepelném tvarování a objasnit vliv teploty na velikost úhlu zotavení. Poté navrhnout mechanický reologický model, kterým by bylo možné nejlépe aproximovat experimentální hodnoty úhlů zotavení.

Pro zkoumání tepelného tvarování byl použit materiál ze 100% vlny a ze 100% polyesteru, který byl utkaný v plátňové vazbě. Tvarovací teploty byly stanoveny na 110, 120, 130, 140 a 150°C protože cílem bylo stanovit průběh deformací v této teplotní oblasti. Doba tvarování pro ohybovou deformaci plošné textilie byla stanovena na 20 sekund. Snímání úhlu zotavení probíhalo pomocí digitálního fotoaparátu po dobu 60ti minut pro každý vzorek. Nasnímané úhly zotavení byly vyhodnoceny obrazovou analýzou v programu Lucie Software, NIS Elements.

Na základě experimentálních výsledků byl vyhodnocen vliv teploty na úhel zotavení plošné textilie. U vlny úhel zotavení relaxoval poměrně pravidelně po celou dobu měření. Jen u teploty 130°C se přibližně od páté minuty měření začínal pomalu přibližovat hodnotám úhlu zotavení které odpovídají teplotě 120°C. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při nastavené teplotě na 150°C, ale při delším působení takto vysoké teploty na vlněnou tkaninu by pravděpodobně došlo k jejímu poškození. U polyesteru úhel zotavení už nerelaxuje tak pravidelně jako u vlny. Ale zůstává pravidlem, že úhel zotavení klesá se zvýšením tvarovací teploty. Je to dáno tím, že vlněné materiály mají větší úhel zotavení, u polyesterových materiálů jsou úhly zotavení mnohem menší. Tím je dáno i to, že textilie z polyesteru se mnohem lépe tvarují než textilie z vlny. Relaxace úhlu zotavení byla následně vyjádřena jako funkce deformace. Takto vyjádřený průběh deformace byl znázorněn graficky pomocí exponenciální křivky. Z výsledků vyplynulo, že u vlněné tkaniny se deformace poměrně pravidelně zvyšuje se zvýšením teploty. V průběhu měření však docházelo k jejímu pozvolnému snižování. U polyesterové tkaniny deformace klesala jen velmi pomalu a od třicáté minuty měření se už téměř neměnila.

Dalším cílem bylo vyjádření vlivu času na úhel zotavení. U polyesterového materiálu se největší přírůstek úhlu zotavení projevil zhruba do 5ti minut, pro všechny tvarovací teploty, kdy byl přírůstek zhruba 3°. Kromě teploty 140°C, tam byl necelé 2°. V časovém intervalu 10-60 minut byl přírůstek pro teploty 110, 120 a 130°C zhruba 2°. U teplot 140 a 150°C byl zhruba 1°. U vlněné tkaniny byl přírůstek úhlu do 5ti minut zhruba 14° pro teploty 110 a 120°C. U teplot 130 až 150°C byl zhruba 17°. V časovém intervalu 10-60 minut byl pro teploty 110 až 140°C přírůstek zhruba 2°. Pro teplotu 150°C byl přírůstek úhlu zhruba 3°. Z výsledků vyplynulo, že vlněné materiály mají větší úhel zotavení a u polyesterových materiálů jsou úhly zotavení mnohem menší. Tedy že se mnohem lépe tvarovaly vzorky z polyesteru než vzorky z vlny.

Dalším bodem byla aproximace experimentálních hodnot úhlů zotavení pomocí mechanických reologických modelů. Pro aproximaci byly použity reologické modely Maxwellův a Tuckettův.

Na průběhu deformace získané Maxwellovým modelem, jak pro vlnu tak pro polyester bylo patrné že vypočítané a naměřené hodnoty deformací se od sebe výrazně liší. To bylo způsobeno tím, že Maxwellův model není vhodný pro vyjádření deformací zkoumaných textilií. Protože v sobě nezahnuje viskoelastickou složku, pouze pružnou a trvalou, díky tomu není možno přesně vypočítat deformaci v jednotlivých časech. Proto nepopisuje odpovídajícím způsobem průběh deformace v relaxačním experimentu.

Porovnáním naměřených a vypočítaných hodnot pomocí Tuckettova modelu bylo vidět, že naměřené a vypočítané hodnoty jsou téměř shodné. Jen v prvních pěti minutách jsou mezi vypočítanými a naměřenými hodnotami velmi malé rozdíly. V dalších časových intervalech je už shoda téměř 100%. Deformace vlněné tkaniny byla nižší než u polyesterové, to je dáno tím, že se polyester tvaruje mnohem lépe. Z výsledků aproximace experimentálních hodnot vyplynulo, že pro vyjádření viskoelastického chování textilních materiálů je vhodné použít Tuckettův mechanický reologický model, protože se velmi blíží skutečnému stavu vzorků.



## Literatura

- [1] DONG X., ZHANG J. and ZHANG Y., YAO M. *A study on the relaxation behavior of fabric's crease recovery angle*. International Journal of Clothing Science and Technology, 1995
- [2] *Dostava (tkanina)* [online]. [cit.2008-07-13]. URL: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Dostava\\_\(tkanina\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Dostava_(tkanina))>
- [3] FAN J., *The interrelationship between fabric crease recovery and pressing performance*. International Journal of Clothing Science and Technology, 2001
- [4] HALASOVÁ A. *Konfekční tvarování (cvičení)* [online]. [cit.2008-10-23]. URL: <[https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list\\_aut.cgi?aut=8&skr=116&pro=>](https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_aut.cgi?aut=8&skr=116&pro=>)>
- [5] HAVELKA A., HALASOVÁ A. *Technologie konfekčního tvarování*, KOD v Liberci
- [6] HORÁK K., KRUPKA F. *Fyzika*, Praha, SNTL, 1976
- [7] KEHÁROVÁ I. *Diferenciální rovnice v reologických modelech*, Diplomová práce TUL, 2005
- [8] KOŠKOVÁ B. *Struktura a vlastnosti vláken*, VŠST v Liberci, 1989
- [9] MEISSNER B., ZILVAR V. *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vydání. Praha, SNTL, 1987
- [10] MIHAILOVIC T.V., NIKOLIC M.D., SIMOVIC Lj.M. *Resistance to creasing of clothing wool fabrics*. International Journal of Clothing Science and Technology, 1995
- [11] MILITKÝ J. *Přednášky – Textilní vlákna, speciální vlákna*, 2005
- [12] *Obecné vlastnosti pletenin* [online]. [cit.2008-08-05]. URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/akreditace/data/2005-01-21/15-11-17.pdf>>
- [13] *Ovčí vlna* [online]. [cit.2008-07-13]. URL: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ov%C4%8D%C3%AD\\_vlna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ov%C4%8D%C3%AD_vlna)>
- [14] *Polyesterová vlákna* [online]. [cit.2008-07-13]. URL: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyesterov%C3%A1\\_vl%C3%A1kna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyesterov%C3%A1_vl%C3%A1kna)>
- [15] *Stálosti a odolnosti plošných textilií* [online]. [cit.2008-07-26]. URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2006-03-22/12-38-08.pdf>>
- [16] STANĚK J., KUBÍČKOVÁ M. *Oděvní materiály*. 1. vydání, VŠST v Liberci, 1986

- [17] ŠIMEK I. *Fyzika polymerů 1*. přepracované vydání, Slovenská vysoká škola technická v Bratislavě, 1978
- [18] *Textilní zkušebnictví II*. [online]. [cit.2008-08-06]. URL: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT2dil.pdf>>
- [19] *Vazby tkanin* [online]. [cit.2008-07-13]. URL: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Vazby\\_tkanin](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vazby_tkanin)>
- [20] *Textilní vlákna* [online]. [cit.2008-07-13]. URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list.cgi?skr=18&pro=>>
- [21] WANG G., POSTLE R., PHILIPS D.G., ZHANG W. *Pressing performance of light-weight wool and wool blend fabrics*. International Journal of Clothing Science and Technology, 2002
- [22] *Základy oděvní výroby* [online]. [cit.2008-08-11]. URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2006-03-22/10-16-07.pdf>>
- [23] ZELOVÁ K. *Postup pro vyjádření veličin z rovnic reologických modelů*. Ústní a písemné podklady, 2008
- [24] PŘÍVRATSKÁ J., JIRSÁK O a BHARAKITHARAN R *Kelvin model for highleft materials*, březen 2008

## Seznam obrázků

Obrázek 3.1 - Schematické znázornění experimentu.....	22
Obrázek 3.2 - Schematické znázornění způsobu tvarování textilie.....	23
Obrázek 3.3 - Křivka průběhu deformace proužku textilie.....	23
Obrázek 3.4 - Polyesterové vlákno 400x zvětšené.....	25
Obrázek 3.5 - Vlákno hrubé vlny 300x zvětšené.....	27
Obrázek 3.6 - Ideální skok deformace a napětí.....	31
Obrázek 3.7 – Maxwellův model.....	32
Obrázek 3.8 - a) deformace prostá, b) relaxace, c) deformace opakovaná.....	32
Obrázek 3.9 - a) deformační odezva v kríčovém experimentu, b) napěťová odezva.....	33
Obrázek 3.10 - Kelvinův model.....	33
Obrázek 3.11 - a) prostá deformace, b) relaxace, c) deformace opakovaná.....	34
Obrázek 3.12 - Deformační odezva Kelvinova modelu.....	34
Obrázek 3.13 - Tuckettův model.....	35
Obrázek 3.14 - Schéma vlastností Tuckettova modelu.....	36
Obrázek 4.1 - Schéma měřicího pracoviště .....	37
Obrázek 4.2 - Umístěný vzorek pod přitlačným plechem .....	38
Obrázek 4.3 - Naznačení způsobu tvarování vzorku.....	38
Obrázek 4.4 - Nasnímaný úhel zotavení a odměřený úhel v programu Lucie.....	39
Obrázek 4.5 - Nasnímaný úhel zotavení u polyesteru.....	39
Obrázek 4.6 - Nasnímaný úhel zotavení u vlny.....	39

## Seznam grafů

Graf 4.1 – Porovnání vlivu teploty na úhel zotavení u vlněné tkaniny.....	43
Graf 4.2 – Porovnání vlivu teploty na úhel zotavení u polyesterové tkaniny.....	44
Graf 4.3 – Porovnání deformace pro různé teploty u vlněné tkaniny.....	45
Graf 4.4 – Porovnání deformace pro různé teploty u polyesterové tkaniny.....	46
Graf 4.5 – Přírůstek úhlu u teploty 110°C.....	46
Graf 4.6 – Přírůstek úhlu u teploty 120°C.....	46
Graf 4.7 – Přírůstek úhlu u teploty 130°C.....	46

<i>Graf 4.8 – Přírůstek úhlu u teploty 140°C.....</i>	<i>46</i>
<i>Graf 4.9 – Přírůstek úhlu u teploty 150°C.....</i>	<i>46</i>
<i>Graf 4.10 – Přírůstek úhlu u teploty 110°C.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 4.11 – Přírůstek úhlu u teploty 120°C.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 4.12 – Přírůstek úhlu u teploty 130°C.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 4.13 – Přírůstek úhlu u teploty 140°C.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 4.14 – Přírůstek úhlu u teploty 150°C.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 4.15 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Maxwellova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, vlněná tkanina.....</i>	<i>49</i>
<i>Graf 4.16 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Maxwellova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, polyesterová tkanina.....</i>	<i>49</i>
<i>Graf 4.17 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Tuckettova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, vlněná tkanina.....</i>	<i>50</i>
<i>Graf 4.18 – Porovnání naměřené a vypočítané deformace pomocí Tuckettova reologického modelu pro teplotu tvarování 110°C, polyesterová tkanina.....</i>	<i>51</i>

## **Seznam tabulek**

<i>Tab 4.1 – Charakteristiky zkoumaného materiálu.....</i>	<i>36</i>
--	-----------

## **Seznam příloh**

Příloha č.1 - Tabulky naměřených hodnot úhlů zotavení
Příloha č.2 - Tabulky průměrných hodnot úhlů zotavení pro jednotlivé tvarovací teploty
Příloha č.3 - Tabulky hodnot deformací vypočítaných z úhlů zotavení
Příloha č.4 - Vypočítané hodnoty deformací pomocí Maxwellova modelu
Příloha č.5 - Vypočítané hodnoty deformací pomocí Tuckettova modelu
Příloha č.6 - Grafické znázornění úhlů zotavení v závislosti na čase pro jednotlivá měření u vlny
Příloha č.7 - Grafické znázornění úhlů zotavení v závislosti na čase pro jednotlivá měření u polyesteru

- Příloha č.8 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Tuckettova modelu pro polyester
- Příloha č.9 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Tuckettova modelu pro vlnu
- Příloha č.10 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Maxwelllova modelu pro polyester
- Příloha č.11 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Maxwelllova modelu pro vlnu
- Příloha č.12 - CD

## **Přílohy**

## Příloha č.1 – Tabulky naměřených hodnot úhlů zotavení

Tab. 1 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 110°C u vlny

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 110°C										
1. měření		2. měření		3. měření		4. měření		5. měření		čas
1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
122,32	79,02	125,88	86,19	116,57	77,63	119,88	81,15	125,23	84,19	5
130,54	86,30	130,38	88,81	123,66	82,18	129,10	85,68	130,01	88,43	10
131,61	86,44	130,61	88,86	123,89	82,75	129,43	87,82	130,11	89,03	15
131,61	86,52	131,56	90,00	125,14	83,01	130,06	87,82	130,21	89,63	20
133,77	86,61	131,94	90,78	125,28	83,17	130,75	88,12	131,66	90,31	25
134,01	86,75	132,90	90,82	125,47	83,50	130,76	88,40	131,93	90,07	30
134,22	87,27	133,17	90,79	124,97	83,66	131,43	88,92	132,72	90,33	35
134,28	87,34	133,31	90,77	125,22	83,75	132,69	88,32	133,15	90,62	40
134,31	88,33	133,32	91,95	125,71	83,94	132,97	88,36	133,83	91,17	45
134,59	88,29	133,84	91,77	125,91	84,22	133,11	88,32	133,92	91,38	50
134,60	88,67	133,94	91,97	126,07	84,72	133,36	89,16	134,04	92,25	55
134,80	89,02	134,08	92,04	126,47	85,70	133,55	89,19	134,16	92,33	60
135,40	91,68	134,30	92,69	126,72	87,15	134,15	90,82	134,64	93,13	120
136,62	92,78	135,49	94,01	126,81	87,74	135,62	91,92	135,25	94,11	180
138,01	94,32	138,34	98,78	129,27	91,12	137,69	94,18	135,93	95,34	300
140,73	99,52	141,34	103,02	132,10	94,43	140,23	99,60	139,51	99,80	600
143,47	101,50	143,33	103,66	133,88	96,67	140,75	99,33	140,37	100,83	900
145,36	104,71	144,46	106,11	134,78	99,83	143,39	101,59	141,55	102,59	1200
145,92	104,83	145,84	106,26	138,39	101,31	145,46	101,75	143,08	104,35	1800
147,57	106,04	147,05	108,92	138,78	103,31	145,96	105,75	145,56	105,64	2400
150,46	109,17	148,17	109,38	139,09	104,49	146,61	106,31	148,52	108,10	3000
150,05	109,72	149,38	110,16	140,73	105,89	147,85	107,10	148,43	108,27	3600

Tab. 2 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 120°C u vlny

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 120°C										
1. měření		2. měření		3. měření		4. měření		5. měření		čas
1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
112,81	73,44	112,11	73,36	111,04	67,66	115,64	72,36	122,57	84,20	5
121,15	80,39	121,52	78,42	118,21	70,09	121,49	77,40	129,17	89,40	10
121,74	80,69	123,79	79,56	118,43	70,47	125,32	78,56	129,72	89,86	15
121,89	80,84	122,35	79,89	118,67	70,84	125,61	79,88	130,22	90,02	20
122,09	81,03	122,89	80,44	118,91	71,18	125,93	77,44	130,75	90,19	25
122,32	81,21	122,57	80,73	119,15	71,45	126,22	81,13	131,11	90,31	30
122,85	82,00	124,34	80,97	119,26	72,20	126,38	79,75	131,24	90,57	35
123,06	82,50	122,07	81,19	119,45	72,75	126,73	79,99	131,69	90,90	40
123,11	82,43	123,23	81,27	119,84	73,11	127,15	79,70	131,89	91,23	45
123,42	82,50	122,39	81,52	120,09	74,06	127,94	79,02	132,16	91,52	50
123,67	82,84	123,31	81,72	120,31	74,33	128,66	81,20	132,82	91,81	55
123,83	82,04	123,88	81,96	120,91	74,67	128,90	81,96	133,13	92,08	60
123,95	83,87	123,24	83,48	121,49	76,06	130,45	83,59	133,57	92,22	120
124,07	86,63	124,62	83,62	121,62	76,26	130,78	83,48	133,76	93,01	180
125,10	87,67	127,00	84,88	123,16	80,86	132,16	84,81	135,20	98,47	300
130,05	93,49	131,55	90,64	125,91	85,73	135,52	91,64	138,32	102,20	600
133,55	96,93	134,32	93,27	127,07	87,92	136,56	93,47	140,34	103,15	900
135,26	98,33	135,00	94,19	129,06	92,11	139,51	94,29	141,64	104,11	1200
137,44	100,38	138,94	95,32	133,15	94,83	142,21	95,19	144,14	105,20	1800
139,27	103,04	140,02	97,39	133,98	95,31	145,01	97,29	145,10	108,15	2400
140,54	102,33	140,60	98,98	135,95	95,88	145,53	98,88	145,78	108,25	3000
141,45	104,30	143,34	99,83	136,33	97,91	145,95	99,93	145,96	108,43	3600

Tab. 3 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 130°C u vlny

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 130°C										
1. měření		2. měření		3. měření		4. měření		5. měření		čas
1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
101,04	58,89	106,48	68,96	111,04	67,66	110,45	72,50	107,05	63,90	5
108,76	64,65	113,76	74,39	118,21	70,09	122,92	79,27	118,48	74,28	10
108,98	64,80	115,20	74,97	118,43	70,47	123,38	82,13	119,71	74,29	15
110,25	65,26	115,35	75,12	118,67	70,84	123,44	82,39	119,78	74,74	20
110,58	65,67	116,27	75,51	118,91	71,18	124,41	83,29	119,88	75,13	25
110,87	65,98	116,57	75,77	119,15	71,45	124,49	83,99	120,26	76,37	30
111,13	66,29	116,71	76,26	119,26	72,20	125,02	84,20	120,47	77,12	35
111,36	66,89	116,83	76,32	119,45	72,75	125,34	84,35	121,01	77,29	40
111,85	67,10	117,02	76,61	119,84	73,11	126,03	85,36	121,40	77,66	45
112,13	67,52	117,16	77,18	120,09	74,06	126,22	85,56	121,43	77,72	50
112,60	67,89	117,47	77,59	120,31	74,33	126,60	86,69	122,06	77,86	55
112,84	68,24	118,07	78,19	120,91	74,67	127,79	86,92	122,42	77,97	60
115,70	70,25	118,23	78,84	121,49	76,06	128,00	87,14	122,73	82,50	120
116,33	70,48	119,15	82,09	121,62	76,26	128,29	88,52	122,87	83,25	180
117,91	74,62	119,45	84,29	123,16	80,86	128,44	94,86	124,08	84,32	300
123,85	83,01	124,63	90,75	125,91	85,73	135,62	102,91	129,46	88,95	600
126,48	84,86	125,93	92,78	127,07	87,92	139,94	105,46	131,88	95,13	900
129,70	87,14	129,31	93,39	129,06	92,11	142,05	106,49	134,61	95,61	1200
132,49	91,13	132,21	96,78	133,15	94,83	145,12	109,09	136,19	97,80	1800
133,28	94,19	135,00	97,22	133,98	95,31	146,53	110,70	137,23	98,37	2400
135,21	94,42	135,47	100,64	135,95	95,88	147,84	112,40	139,84	100,62	3000
136,40	94,83	136,20	101,77	136,33	97,91	148,02	113,70	141,56	103,63	3600

Tab. 4 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 140°C u vlny

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 140°C										
1. měření		2. měření		3. měření		4. měření		5. měření		čas
1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
93,27	49,24	106,05	58,16	101,79	61,70	95,44	33,19	105,38	65,51	5
98,33	49,90	116,00	67,29	110,16	65,83	99,83	55,01	109,77	68,20	10
98,53	50,40	117,25	69,08	110,92	67,32	100,16	57,65	111,24	69,27	15
98,75	50,62	119,20	69,67	111,17	67,53	100,48	59,72	111,35	70,04	20
99,79	51,34	119,39	69,67	111,50	67,68	100,58	60,10	111,35	70,14	25
100,18	51,44	119,62	69,96	111,61	67,83	100,94	60,69	112,00	70,35	30
100,60	51,75	119,87	70,20	111,88	67,94	101,42	60,88	112,01	70,91	35
100,77	52,10	119,88	70,45	112,02	68,55	101,39	61,25	112,10	70,99	40
100,85	52,25	120,27	70,45	113,20	69,68	101,59	61,34	112,11	71,47	45
101,09	53,07	120,29	71,37	113,36	69,95	101,92	61,57	112,27	72,15	50
101,31	54,50	120,33	72,36	113,47	70,08	102,28	61,76	112,83	72,55	55
102,15	54,88	120,76	72,55	114,39	71,81	102,44	62,02	113,16	73,51	60
102,46	55,98	120,92	76,42	115,33	72,18	102,68	63,58	113,79	74,54	120
103,89	58,29	122,53	77,40	115,60	75,20	103,55	64,40	114,78	76,55	180
107,99	63,57	125,32	82,39	118,66	77,12	104,70	70,28	115,94	78,21	300
112,62	72,55	130,42	87,81	121,97	84,67	111,06	77,33	119,85	86,33	600
119,17	77,25	133,32	90,63	126,25	89,29	114,52	80,91	124,59	89,09	900
120,91	80,64	134,49	94,69	127,77	90,00	118,06	84,39	127,78	92,64	1200
124,18	85,21	137,98	97,28	131,21	94,03	120,27	87,31	129,09	96,54	1800
127,46	87,87	140,29	99,62	133,29	95,53	120,74	87,44	132,41	96,71	2400
128,39	88,36	143,33	101,62	134,58	95,71	124,78	90,95	133,84	99,75	3000
129,33	90,24	144,23	103,65	136,06	98,19	126,36	92,19	135,80	102,15	3600



Tab. 5 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 150°C u vlny

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 150°C										
1. měření		2. měření		3. měření		4. měření		5. měření		čas
1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
96,83	53,87	91,29	47,86	89,09	50,07	90,54	49,33	87,27	42,91	5
104,87	61,61	100,83	55,96	95,06	53,33	98,85	55,36	94,96	48,12	10
107,35	62,35	101,02	56,43	95,41	53,53	99,37	56,22	95,01	49,17	15
107,99	62,67	101,19	57,34	96,27	53,73	99,55	56,23	95,57	50,25	20
108,12	64,05	102,07	57,71	96,83	54,30	99,78	57,23	95,63	50,65	25
108,31	64,54	102,25	58,39	96,84	55,15	99,93	57,34	95,74	50,77	30
108,43	64,87	102,33	58,74	97,34	55,26	99,98	57,46	95,89	50,93	35
109,12	65,50	102,46	59,04	98,22	55,28	100,19	57,66	96,22	51,43	40
109,77	65,70	102,53	59,34	98,41	56,12	100,48	57,99	96,31	51,61	45
109,89	67,94	102,66	59,83	98,87	56,67	100,68	58,78	96,34	51,71	50
110,11	68,49	102,99	60,09	99,03	57,30	100,86	58,82	96,37	51,79	55
110,81	69,20	103,22	60,82	99,46	57,61	101,04	59,04	96,57	53,01	60
111,16	72,00	103,39	63,24	100,48	59,04	101,75	61,22	96,79	53,32	120
113,82	73,63	103,44	65,45	100,64	59,38	102,11	61,46	97,23	54,50	180
117,71	76,71	104,42	67,78	100,91	62,84	103,44	65,97	97,59	56,39	300
122,44	85,02	108,62	75,65	109,67	73,61	106,09	72,43	101,86	65,43	600
125,93	91,59	112,29	77,29	113,03	74,74	110,50	75,89	106,42	71,66	900
129,59	93,18	112,83	82,25	115,19	79,82	111,85	80,19	109,20	74,92	1200
133,05	97,37	116,23	85,11	118,91	81,73	114,72	82,00	112,06	78,38	1800
134,78	97,72	117,87	85,27	120,03	85,89	116,92	84,17	115,53	80,79	2400
136,08	99,31	118,39	85,43	121,76	86,63	118,22	87,14	115,80	82,04	3000
136,75	101,62	120,24	87,19	123,60	89,34	119,84	88,72	118,17	83,36	3600

Tab. 6 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 110°C u polyesteru

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 110°C							
1. měření	2. měření		3. měření	4. měření		5. měření	čas
	1. strana	2. strana		1. strana	2. strana		
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
83,29	86,63	96,15	80,25	97,88	84,45	99,16	5
83,85	86,74	99,40	80,36	98,03	84,68	99,67	10
83,96	87,02	99,46	80,68	98,34	85,13	99,98	15
84,29	87,31	100,68	80,72	98,51	85,82	100,22	20
84,33	87,36	101,31	80,88	98,65	86,36	100,42	25
84,39	87,60	101,42	80,95	98,78	86,63	100,59	30
84,46	88,32	101,57	81,06	98,94	86,87	100,76	35
84,53	88,46	101,77	81,21	99,16	87,12	100,93	40
85,02	88,54	101,83	81,38	99,33	87,57	101,14	45
85,07	87,63	101,84	81,49	99,39	87,86	101,28	50
85,10	88,69	101,99	81,66	99,45	88,19	101,39	55
85,23	88,71	102,24	81,82	99,56	88,71	101,62	60
85,38	88,73	102,61	81,97	99,68	88,83	102,02	120
85,56	88,82	102,87	82,33	99,83	88,98	102,35	180
86,52	89,25	103,02	82,60	99,97	89,26	102,59	300
87,08	89,73	104,44	82,61	100,16	89,62	102,82	600
87,18	89,75	104,53	82,76	100,21	89,90	103,10	900
87,51	91,21	104,54	83,93	100,45	90,25	103,31	1200
89,27	91,23	104,74	84,08	100,77	90,59	103,48	1800
89,53	92,21	105,72	84,44	100,98	90,84	103,62	2400
91,89	92,29	105,92	84,62	101,21	91,12	103,79	3000
91,93	92,38	106,82	84,75	101,43	91,58	103,98	3600

Tab. 7 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 120°C u polyesteru

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 120°C						
1. měření	2. měření		3. měření	4. měření	5. měření	čas
	1. strana	2. strana				
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
65,99	77,01	95,87	80,25	71,04	62,14	5
69,27	77,44	96,14	80,36	71,19	62,26	10
69,85	77,55	96,25	80,68	71,28	62,35	15
71,08	77,63	96,36	80,72	71,36	62,53	20
71,21	77,68	97,26	80,88	71,45	62,67	25
71,32	77,74	97,46	80,95	71,57	62,83	30
71,45	77,80	97,58	81,06	71,69	62,95	35
71,55	77,88	97,72	81,21	71,76	63,27	40
71,67	77,95	97,84	81,38	71,88	63,44	45
71,88	78,22	97,94	81,49	71,97	63,62	50
72,10	78,36	98,27	81,66	72,13	63,78	55
72,45	78,53	98,33	81,82	72,30	63,91	60
72,56	78,73	98,78	81,97	72,58	64,18	120
72,66	78,81	98,95	82,33	72,67	64,31	180
73,07	78,89	99,26	82,60	72,84	64,54	300
73,32	78,95	99,45	82,61	72,95	64,85	600
75,22	80,15	99,76	82,76	73,12	64,97	900
75,47	80,33	100,23	83,93	73,32	65,16	1200
75,59	80,58	101,36	84,08	73,55	65,33	1800
75,82	80,65	100,52	84,44	73,74	65,52	2400
76,12	80,91	101,76	84,62	73,83	65,71	3000
76,38	81,42	101,87	84,75	73,95	65,98	3600

Tab. 8 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 130°C u polyesteru

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 130°C					
1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	čas
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
63,43	57,44	65,36	75,04	63,14	5
64,56	57,60	65,55	75,16	63,30	10
65,36	57,69	65,62	75,27	63,59	15
65,98	57,88	65,70	75,45	63,81	20
66,24	57,93	65,82	75,69	64,07	25
66,37	57,99	65,90	75,88	64,21	30
66,56	58,18	66,11	76,09	64,36	35
66,75	58,27	66,31	76,38	64,55	40
66,89	58,41	66,50	76,49	64,72	45
66,97	58,62	66,61	76,71	64,93	50
67,25	58,73	66,74	76,96	65,11	55
67,37	58,74	66,91	77,08	65,32	60
67,52	58,88	67,16	77,32	65,53	120
67,73	58,96	67,24	77,51	65,77	180
68,27	59,15	67,43	77,72	65,94	300
68,63	59,20	67,77	77,82	66,10	600
68,72	59,23	67,96	77,94	66,21	900
68,86	59,36	68,22	78,20	66,35	1200
68,94	59,45	68,31	78,34	66,48	1800
73,27	59,60	68,55	78,46	66,79	2400
74,65	59,72	68,70	78,61	67,07	3000
75,76	59,87	68,96	78,78	67,53	3600

Tab. 9 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 140°C u polyesteru

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 140°C								
1. měření	2. měření	3. měření		4. měření		5. měření		čas
		1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
60,48	72,17	56,78	66,18	60,94	65,76	57,89	69,57	5
60,56	72,47	56,96	66,85	60,48	65,91	57,78	69,72	10
60,71	73,16	57,15	67,46	59,96	66,17	57,63	69,86	15
60,89	73,32	57,33	67,50	59,82	66,45	57,52	70,25	20
61,06	73,47	57,57	67,64	59,49	66,66	57,43	70,57	25
61,27	73,72	57,70	67,75	59,21	66,83	57,31	70,89	30
61,45	74,02	57,83	67,96	58,86	67,09	57,19	71,15	35
61,59	74,20	57,97	68,13	58,71	67,26	57,01	71,48	40
61,72	74,33	58,07	68,21	58,52	67,43	56,88	71,63	45
61,87	74,55	58,19	68,39	58,34	67,67	56,63	71,94	50
61,99	74,78	58,33	68,64	58,22	67,89	56,54	72,10	55
62,15	74,88	58,45	68,71	58,10	68,03	56,32	72,23	60
62,33	75,02	58,67	68,85	57,88	68,23	56,15	72,35	120
62,45	75,29	58,73	69,01	57,72	68,37	55,95	72,62	180
62,60	75,49	58,88	69,19	57,52	68,58	55,86	72,85	300
62,74	75,86	59,01	69,32	57,37	68,81	55,77	73,04	600
62,86	76,13	59,23	69,45	57,15	68,95	55,51	73,32	900
62,99	76,39	59,39	69,61	56,94	69,14	55,32	73,58	1200
63,26	76,56	59,51	69,74	56,79	69,39	55,14	73,73	1800
63,34	76,89	59,73	69,99	56,62	69,54	54,85	73,94	2400
63,54	77,09	59,95	70,13	56,55	69,71	54,63	74,24	3000
63,73	77,28	60,05	70,36	56,41	69,86	54,51	74,47	3600

Tab. 10 – Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 150°C u polyesteru

Nasnímané hodnoty úhlů zotavení pro teplotu 150°C							
1. měření	2. měření		3. měření	4. měření	5. měření		čas
	1. strana	2. strana			1. strana	2. strana	
úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	úhel [°]	[s]
64,37	60,44	70,27	64,86	58,37	58,74	44,46	5
64,45	60,35	72,59	64,95	58,66	58,62	44,65	10
64,52	60,32	72,88	65,08	58,83	58,41	44,83	15
64,61	60,23	73,05	65,24	59,11	58,23	45,13	20
64,75	60,11	73,31	65,39	59,31	57,93	45,32	25
64,87	60,24	73,59	65,60	59,67	57,74	45,62	30
64,96	60,40	73,83	65,88	59,82	57,41	45,87	35
65,08	60,49	74,04	66,03	60,03	57,19	46,11	40
65,27	60,66	74,25	66,18	60,26	56,86	46,31	45
65,44	60,74	74,37	66,34	60,46	56,72	46,67	50
65,67	60,91	74,79	66,60	60,83	56,45	46,88	55
65,93	61,05	74,98	66,89	61,02	56,34	47,18	60
66,10	61,23	75,12	66,94	61,21	56,22	47,35	120
66,48	61,46	75,27	67,09	61,46	55,91	47,62	180
66,87	61,72	75,49	67,23	61,60	55,66	47,86	300
67,12	61,89	75,63	67,31	61,88	55,41	48,14	600
67,26	62,01	75,85	67,50	62,05	55,27	48,37	900
67,34	62,21	76,03	67,63	62,23	54,95	48,69	1200
67,52	62,34	76,26	67,72	62,38	54,71	48,93	1800
67,69	62,45	76,43	67,81	62,52	54,42	49,16	2400
67,91	62,53	76,59	67,89	62,68	54,13	49,39	3000
68,14	62,73	76,77	68,04	62,87	53,87	49,62	3600

## Příloha č.2 – Tabulky průměrných hodnot úhlů zotavení pro jednotlivé tvarovací teploty

Tab. 11 – Průměrné hodnoty úhlu zotavení, polyester

Průměrné hodnoty úhlů zotavení					Čas [s]
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	
89,05	73,17	64,88	64,24	60,91	5
89,66	73,97	65,23	64,38	61,23	10
89,92	74,21	65,51	64,60	61,33	15
90,28	74,54	65,76	64,73	61,46	20
90,49	74,74	65,95	64,84	61,56	25
90,63	74,85	66,07	64,97	61,75	30
90,83	74,97	66,26	65,10	61,88	35
90,99	75,12	66,45	65,21	62,01	40
91,24	75,25	66,60	65,28	62,15	45
91,24	75,41	66,77	65,40	62,30	50
91,46	75,60	66,96	65,53	62,52	55
91,66	75,78	67,08	65,59	62,72	60
91,86	76,01	67,28	65,68	62,84	120
92,10	76,17	67,44	65,79	63,03	180
92,49	76,43	67,70	65,91	63,21	300
92,90	76,59	67,90	66,05	63,37	600
93,05	77,21	68,01	66,16	63,51	900
93,60	77,63	68,20	66,27	63,63	1200
94,10	77,90	68,30	66,39	63,75	1800
94,49	78,02	69,33	66,51	63,85	2400
95,11	78,32	69,75	66,65	63,96	3000
95,35	78,54	70,18	66,77	64,11	3600

Tab. 12 – Průměrné hodnoty úhlu zotavení, vlna

Průměrné hodnoty úhlů zotavení					Čas [s]
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	
101,81	94,52	85,8	76,97	69,91	5
107,51	100,72	93,3	84,03	76,90	10
108,06	101,81	94,2	85,18	77,59	15
108,56	102,02	94,5	85,85	78,08	20
109,24	102,09	95,0	86,15	78,64	25
109,46	102,62	95,5	86,46	78,93	30
109,75	102,96	95,8	86,75	79,12	35
109,95	103,03	96,1	86,95	79,51	40
110,39	103,30	96,5	87,32	79,83	45
110,54	103,46	96,8	87,70	80,34	50
110,88	104,07	97,2	88,15	80,59	55
111,13	104,34	97,6	88,77	81,08	60
112,07	105,19	98,7	89,79	82,24	120
113,04	105,79	100,3	91,22	83,17	180
115,30	107,93	102,4	94,42	85,38	300
119,03	112,51	109,0	100,46	92,08	600
120,38	114,66	111,6	104,50	95,93	900
122,44	116,35	114,2	107,14	98,90	1200
123,72	118,68	117,0	110,31	101,96	1800
125,46	120,46	118,5	112,14	103,90	2400
127,03	121,27	120,3	114,13	105,08	3000
127,76	122,34	121,5	115,82	106,88	3600

## Příloha č.3 – Tabulky hodnot deformací vypočítaných z úhlů zotavení

Tab. 13 – Vypočítané deformace  $\varepsilon$  z nasnímaných úhlů zotavení, polyester

Vypočítané deformace $\varepsilon$ z úhlů zotavení					Čas [s]
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	
0,5053	0,5935	0,6395	0,6431	0,6616	5
0,5019	0,5890	0,6376	0,6424	0,6598	10
0,5005	0,5877	0,6361	0,6411	0,6593	15
0,4985	0,5859	0,6346	0,6404	0,6586	20
0,4973	0,5848	0,6336	0,6398	0,6580	25
0,4965	0,5841	0,6329	0,6391	0,6570	30
0,4954	0,5835	0,6319	0,6383	0,6562	35
0,4945	0,5827	0,6308	0,6377	0,6555	40
0,4931	0,5819	0,6300	0,6373	0,6547	45
0,4931	0,5811	0,6291	0,6367	0,6539	50
0,4919	0,5800	0,6280	0,6360	0,6527	55
0,4908	0,5790	0,6273	0,6356	0,6515	60
0,4897	0,5777	0,6262	0,6351	0,6509	120
0,4883	0,5768	0,6253	0,6345	0,6498	180
0,4862	0,5754	0,6239	0,6339	0,6488	300
0,4839	0,5745	0,6228	0,6330	0,6480	600
0,4831	0,5711	0,6222	0,6325	0,6472	900
0,4800	0,5687	0,6211	0,6318	0,6465	1200
0,4772	0,5672	0,6205	0,6311	0,6458	1800
0,4750	0,5666	0,6148	0,6305	0,6453	2400
0,4716	0,5649	0,6125	0,6297	0,6447	3000
0,4703	0,5637	0,6101	0,6291	0,6438	3600

Tab. 14 – Vypočítané deformace  $\varepsilon$  z nasnímaných úhlů zotavení, vlna

Vypočítané deformace $\varepsilon$ z úhlů zotavení					Čas [s]
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	
0,4344	0,4749	0,5234	0,5724	0,6116	5
0,4027	0,4404	0,4815	0,5332	0,5728	10
0,3997	0,4344	0,4768	0,5268	0,5690	15
0,3969	0,4332	0,4749	0,5230	0,5662	20
0,3931	0,4329	0,4720	0,5214	0,5631	25
0,3919	0,4299	0,4696	0,5197	0,5615	30
0,3903	0,4280	0,4677	0,5181	0,5604	35
0,3892	0,4276	0,4664	0,5169	0,5583	40
0,3867	0,4261	0,4640	0,5149	0,5565	45
0,3859	0,4252	0,4623	0,5128	0,5537	50
0,3840	0,4219	0,4599	0,5103	0,5523	55
0,3826	0,4204	0,4575	0,5069	0,5496	60
0,3774	0,4156	0,4514	0,5012	0,5431	120
0,3720	0,4123	0,4430	0,4932	0,5380	180
0,3595	0,4004	0,4314	0,4755	0,5257	300
0,3387	0,3750	0,3946	0,4419	0,4884	600
0,3312	0,3630	0,3799	0,4194	0,4670	900
0,3198	0,3536	0,3657	0,4048	0,4505	1200
0,3127	0,3407	0,3500	0,3872	0,4336	1800
0,3030	0,3308	0,3418	0,3770	0,4228	2400
0,2943	0,3263	0,3318	0,3659	0,4162	3000
0,2902	0,3203	0,3249	0,3566	0,4062	3600

#### Příloha č.4 – Vypočítané hodnoty deformací pomocí Maxwellova modelu

Tab. 15 – Vypočítané deformace  $\epsilon$  pro polyester, Maxwellův model

Vypočítané deformace $\epsilon$ - Maxwellův model					Čas
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	[s]
1,0106	1,1870	1,2791	1,2862	1,3232	5
1,0038	1,1781	1,2752	1,2847	1,3197	10
1,0009	1,1754	1,2721	1,2822	1,3186	15
0,9969	1,1718	1,2693	1,2808	1,3171	20
0,9946	1,1696	1,2672	1,2796	1,3160	25
0,9930	1,1683	1,2659	1,2781	1,3139	30
0,9908	1,1670	1,2638	1,2767	1,3124	35
0,9890	1,1653	1,2617	1,2754	1,3110	40
0,9862	1,1639	1,2600	1,2747	1,3094	45
0,9862	1,1621	1,2581	1,2733	1,3078	50
0,9838	1,1600	1,2560	1,2719	1,3053	55
0,9816	1,1580	1,2547	1,2712	1,3031	60
0,9793	1,1554	1,2524	1,2702	1,3018	120
0,9767	1,1537	1,2507	1,2690	1,2997	180
0,9723	1,1508	1,2478	1,2677	1,2977	300
0,9678	1,1490	1,2456	1,2661	1,2959	600
0,9661	1,1421	1,2443	1,2649	1,2943	900
0,9600	1,1374	1,2422	1,2637	1,2930	1200
0,9544	1,1344	1,2411	1,2623	1,2917	1800
0,9501	1,1331	1,2297	1,2610	1,2906	2400
0,9432	1,1298	1,2250	1,2594	1,2893	3000
0,9406	1,1273	1,2202	1,2581	1,2877	3600

Tab. 16 – Vypočítané deformace  $\epsilon$  pro vlnu, Maxwellův model

Vypočítané deformace $\epsilon$ - Maxwellův model					Čas
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	[s]
0,8688	0,9498	1,0468	1,1447	1,2233	5
0,8055	0,8808	0,9630	1,0663	1,1456	10
0,7994	0,8687	0,9536	1,0535	1,1379	15
0,7938	0,8664	0,9498	1,0461	1,1325	20
0,7862	0,8657	0,9440	1,0427	1,1263	25
0,7838	0,8598	0,9392	1,0393	1,1230	30
0,7806	0,8560	0,9354	1,0362	1,1209	35
0,7784	0,8552	0,9327	1,0339	1,1165	40
0,7735	0,8523	0,9280	1,0298	1,1130	45
0,7718	0,8504	0,9247	1,0255	1,1074	50
0,7680	0,8437	0,9199	1,0206	1,1046	55
0,7652	0,8407	0,9151	1,0137	1,0991	60
0,7548	0,8312	0,9028	1,0024	1,0862	120
0,7441	0,8246	0,8859	0,9865	1,0759	180
0,7189	0,8008	0,8627	0,9509	1,0514	300
0,6775	0,7499	0,7891	0,8838	0,9769	600
0,6625	0,7260	0,7598	0,8389	0,9341	900
0,6396	0,7072	0,7314	0,8096	0,9011	1200
0,6253	0,6813	0,7001	0,7743	0,8672	1800
0,6060	0,6616	0,6835	0,7540	0,8456	2400
0,5886	0,6525	0,6635	0,7319	0,8324	3000
0,5805	0,6406	0,6499	0,7131	0,8124	3600

#### Příloha č.5 – vypočítané hodnoty deformací pomocí Tuckettova modelu

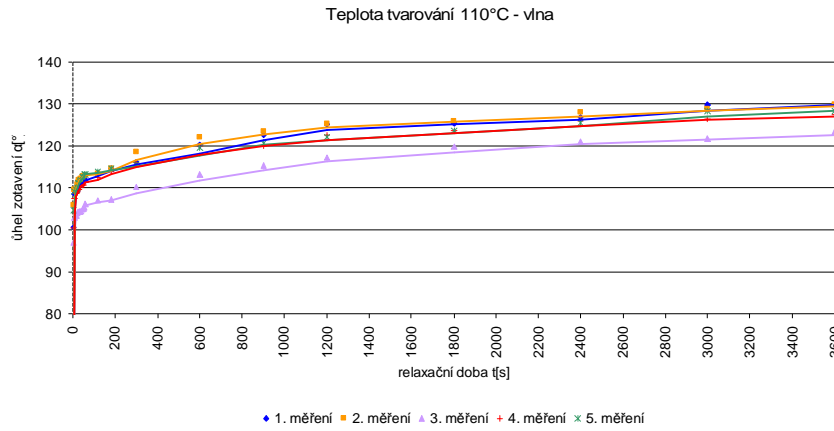
Tab. 17 – Vypočítané deformace  $\epsilon$  pro polyester, Tuckettův model

Vypočítané deformace $\epsilon$ - Tuckettův model					Čas
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	[s]
0,6063	0,7122	0,7675	0,7717	0,7939	5
0,5521	0,6479	0,7013	0,7066	0,7258	10
0,5338	0,6269	0,6785	0,6839	0,7032	15
0,5234	0,6152	0,6664	0,6724	0,6915	20
0,5171	0,6082	0,6590	0,6654	0,6843	25
0,5131	0,6036	0,6540	0,6604	0,6789	30
0,5096	0,6002	0,6499	0,6566	0,6750	35
0,5069	0,5972	0,6466	0,6536	0,6719	40
0,5041	0,5949	0,6440	0,6515	0,6693	45
0,5030	0,5927	0,6416	0,6494	0,6670	50
0,5008	0,5906	0,6394	0,6475	0,6645	55
0,4990	0,5886	0,6378	0,6462	0,6624	60
0,4938	0,5825	0,6314	0,6404	0,6563	120
0,4911	0,5800	0,6288	0,6380	0,6534	180
0,4878	0,5773	0,6260	0,6360	0,6510	300
0,4847	0,5755	0,6238	0,6341	0,6490	600
0,4836	0,5717	0,6228	0,6332	0,6479	900
0,4804	0,5692	0,6216	0,6323	0,6470	1200
0,4775	0,5675	0,6209	0,6315	0,6462	1800
0,4752	0,5668	0,6151	0,6307	0,6455	2400
					3000
					3600

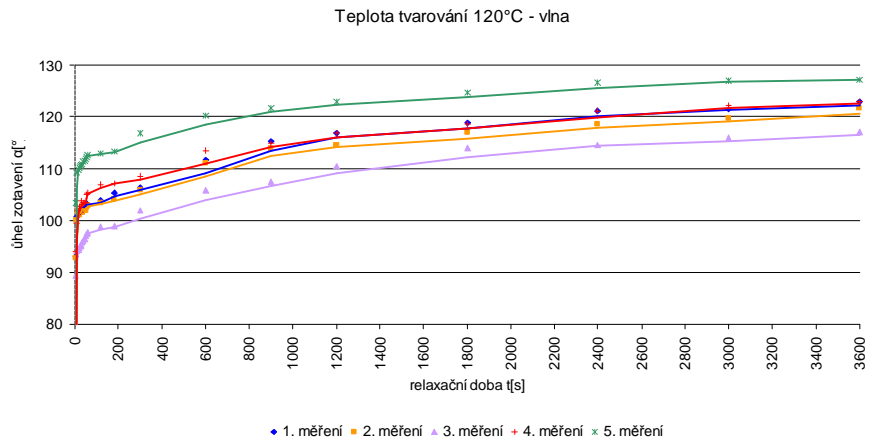
Tab. 18 – Vypočítané deformace  $\epsilon$  pro vlnu, Tuckettův model

Vypočítané deformace $\epsilon$ - Tuckettův model					Čas
110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	[s]
0,5213	0,5699	0,6281	0,6868	0,7340	5
0,4430	0,4845	0,5297	0,5865	0,6301	10
0,4263	0,4633	0,5086	0,5619	0,6069	15
0,4168	0,4549	0,4987	0,5492	0,5945	20
0,4088	0,4502	0,4909	0,5422	0,5857	25
0,4049	0,4442	0,4853	0,5370	0,5802	30
0,4014	0,4403	0,4811	0,5329	0,5764	35
0,3989	0,4383	0,4780	0,5299	0,5722	40
0,3953	0,4356	0,4743	0,5263	0,5689	45
0,3936	0,4337	0,4716	0,5230	0,5648	50
0,3910	0,4295	0,4683	0,5196	0,5623	55
0,3890	0,4274	0,4652	0,5153	0,5587	60
0,3805	0,4191	0,4552	0,5054	0,5476	120
0,3741	0,4146	0,4454	0,4960	0,5410	180
0,3607	0,4017	0,4328	0,4770	0,5274	300
0,3393	0,3756	0,3952	0,4426	0,4892	600
0,3316	0,3634	0,3803	0,4199	0,4676	900
0,3201	0,3539	0,3660	0,4051	0,4509	1200
0,3128	0,3409	0,3502	0,3874	0,4338	1800
0,3031	0,3309	0,3419	0,3772	0,4230	2400
					3000
					3600

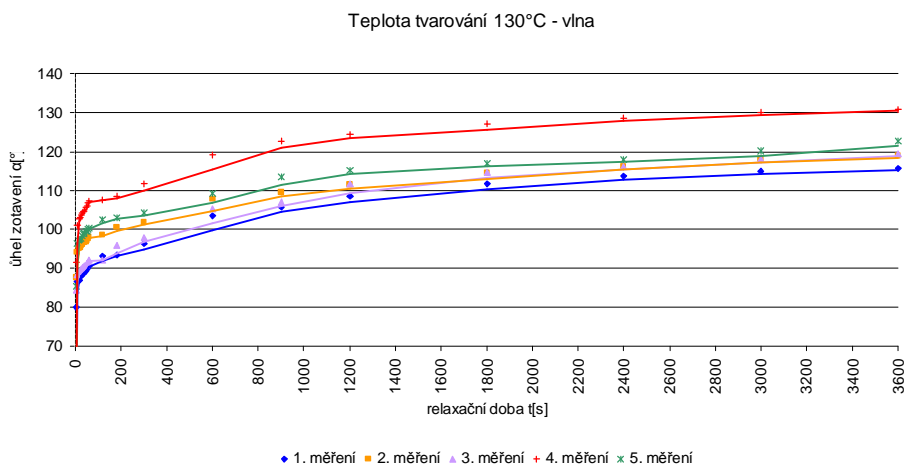
**Příloha č.6 - Grafické znázornění úhlů zotavení v závislosti na čase pro jednotlivá měření u vlny**



*Graf 1 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 110°C u vlny*

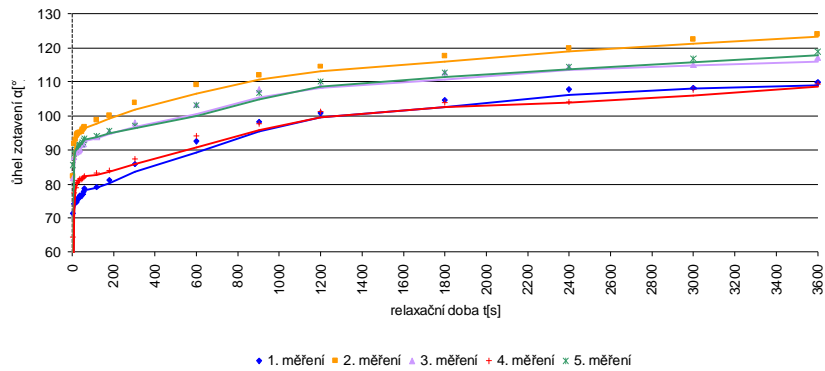


*Graf 2 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 120°C u vlny*



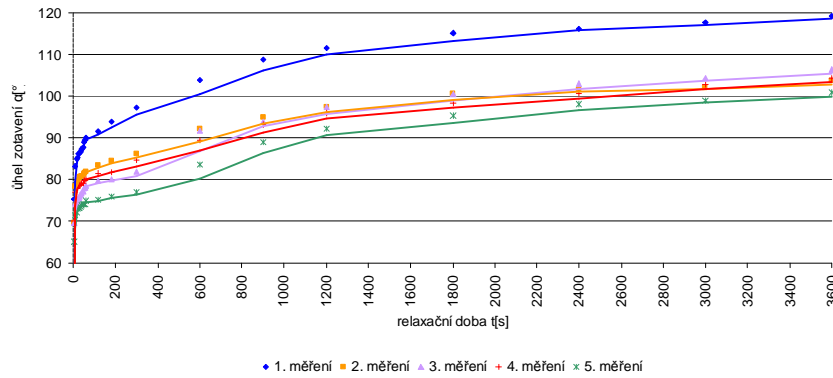
*Graf 3 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 130°C u vlny*

Teplota tvarování 140°C - vlna



Graf 4 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 140°C u vlny

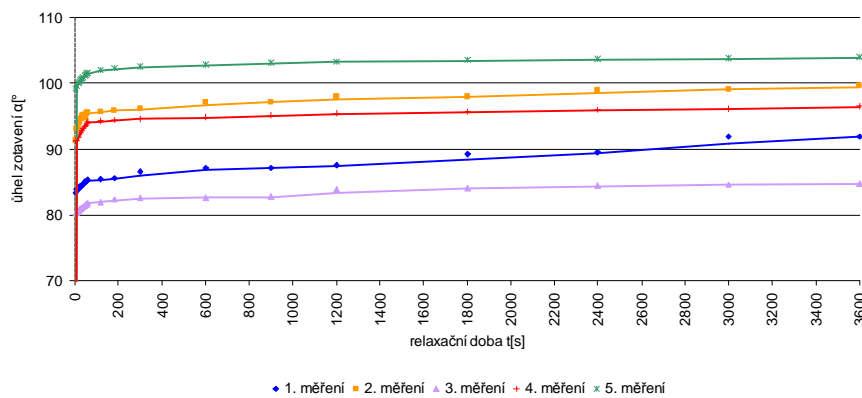
Teplota tvarování 150°C - vlna



Graf 5 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 150°C u vlny

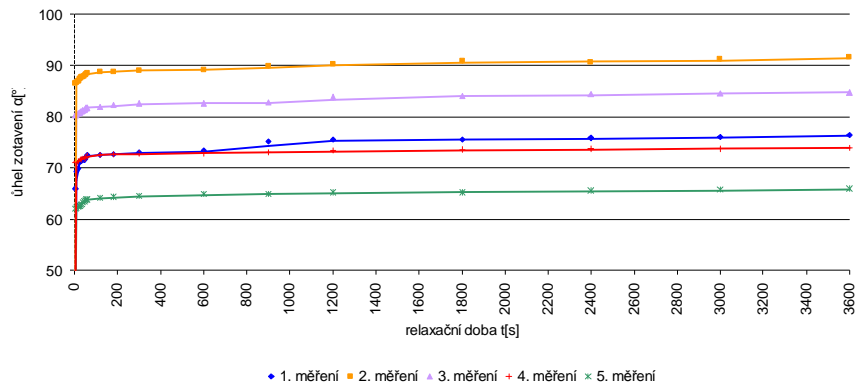
**Příloha č.7 - Grafické znázornění úhlů zotavení v závislosti na čase pro jednotlivá měření u polyesteru**

Teplota tvarování 110°C - polyester



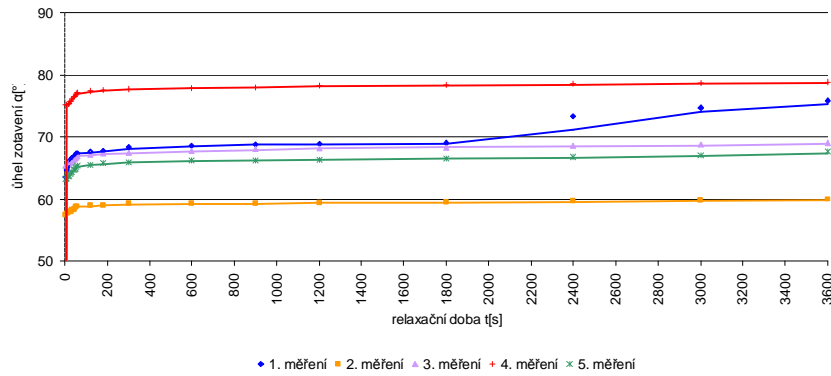
Graf 6 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 110°C u polyesteru

Teplota tvarování 120°C - polyester



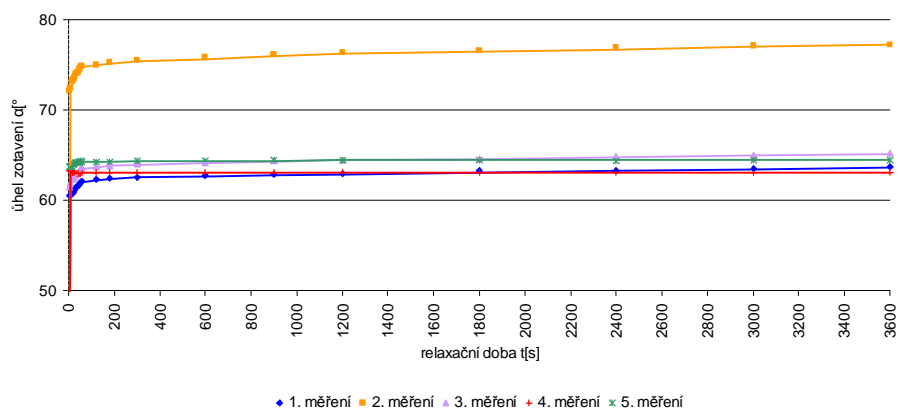
Graf 7 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 120°C u polyesteru

Teplota tvarování 130°C - polyester



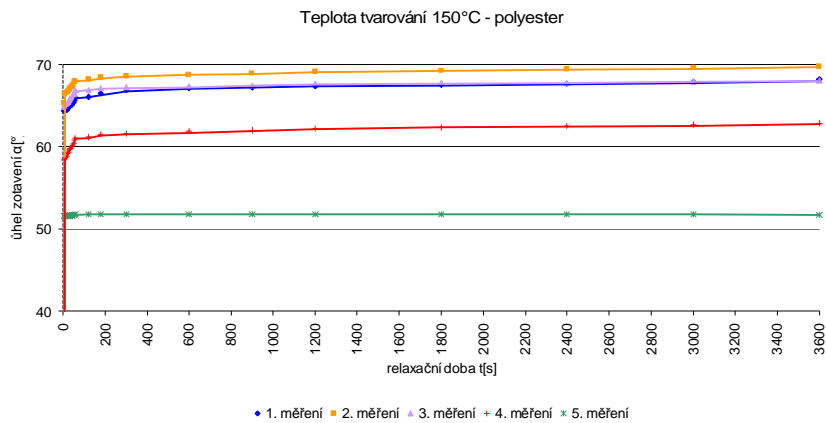
Graf 8 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 130°C u polyesteru

Teplota tvarování 140°C - polyester



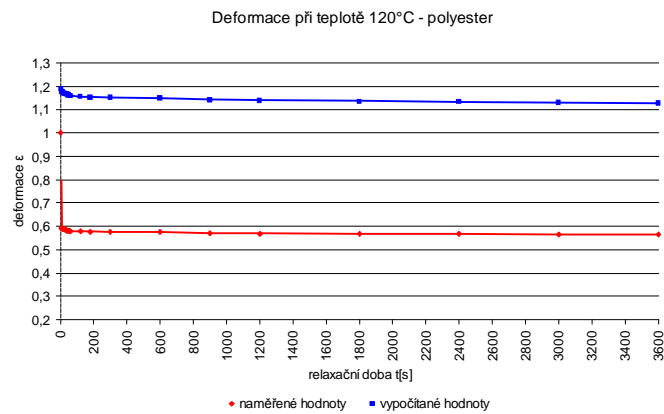
Graf 9 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 140°C u polyesteru



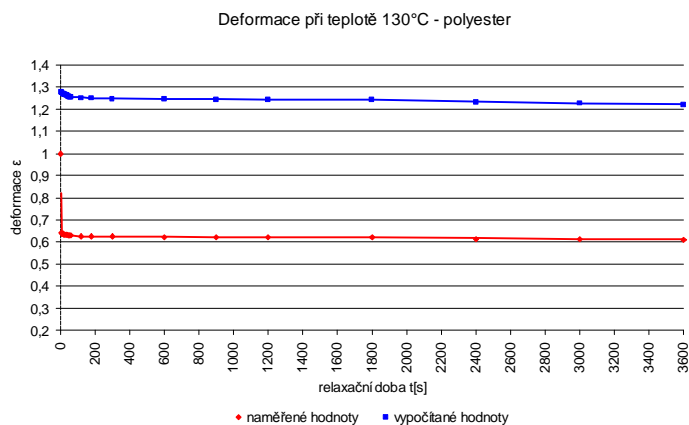


Graf 10 – jednotlivá měření úhlů zotavení pro teplotu 150°C u polyesteru

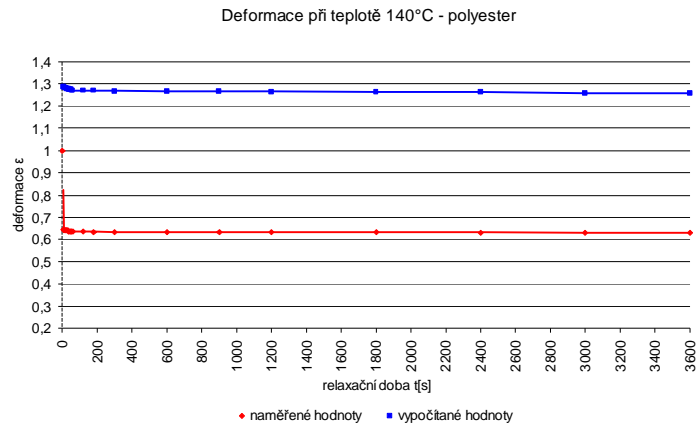
**Příloha č.10 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Maxwellova modelu pro polyester**



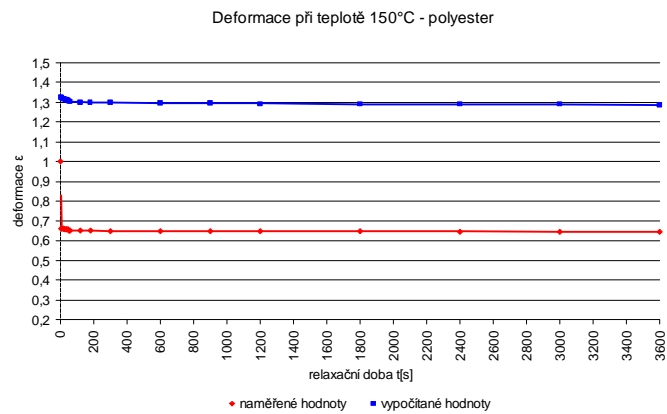
Graf 19 – grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 120°C u polyesteru



Graf 20 – grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 130°C u polyesteru

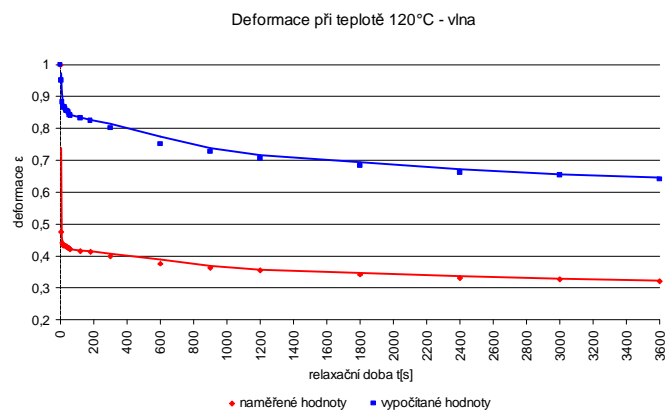


Graf 21– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 140°C u polyesteru

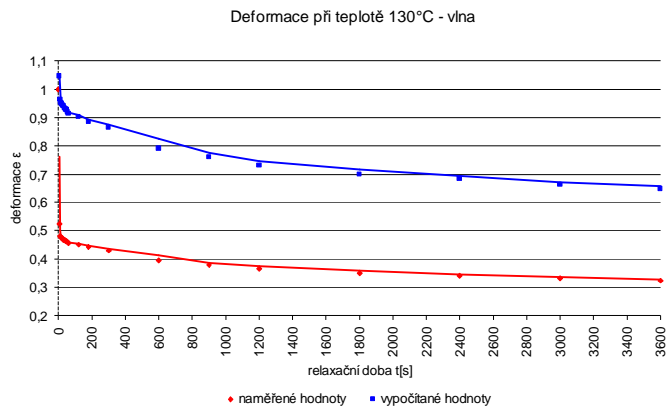


Graf 22– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 150°C u polyesteru

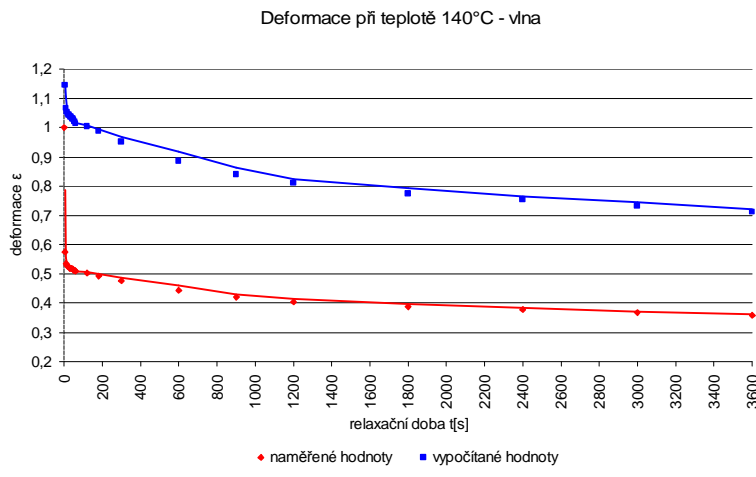
**Příloha č.11 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Maxwellova modelu pro vlnu**



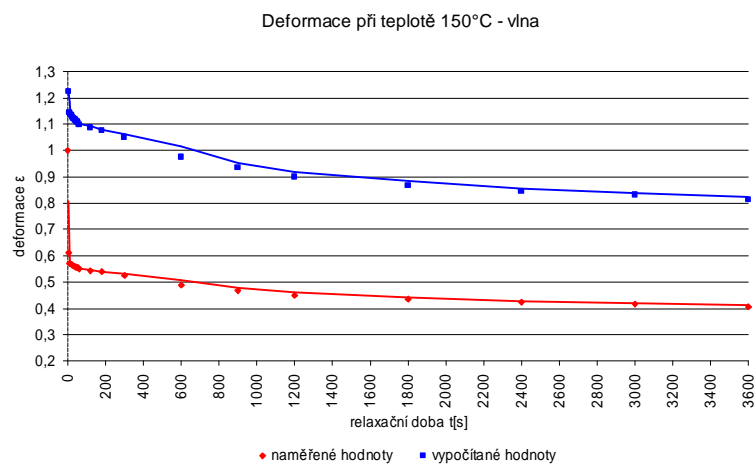
Graf 23– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 120°C u vlny



Graf 24– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 130°C u vlny



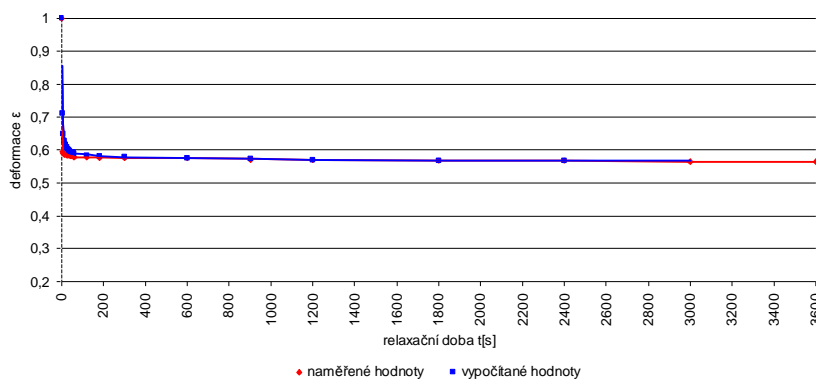
Graf 25– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 140°C u vlny



Graf 26– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 150°C u vlny

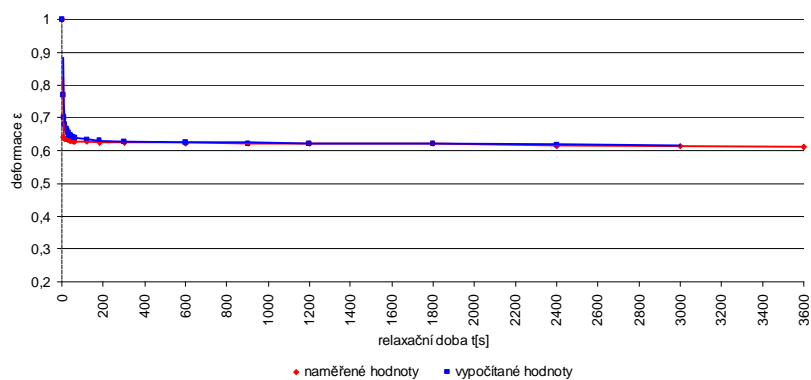
## Příloha č.8 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Tucketta modelu pro polyester

Deformace při teplotě 120°C - polyester



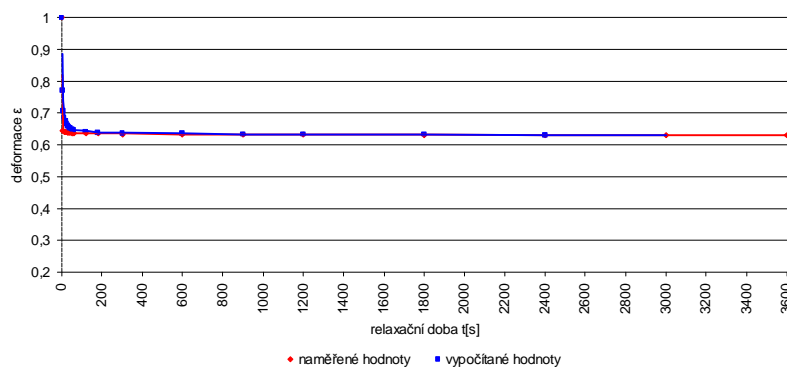
Graf 11 – grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 120°C u polyesteru

Deformace při teplotě 130°C - polyester

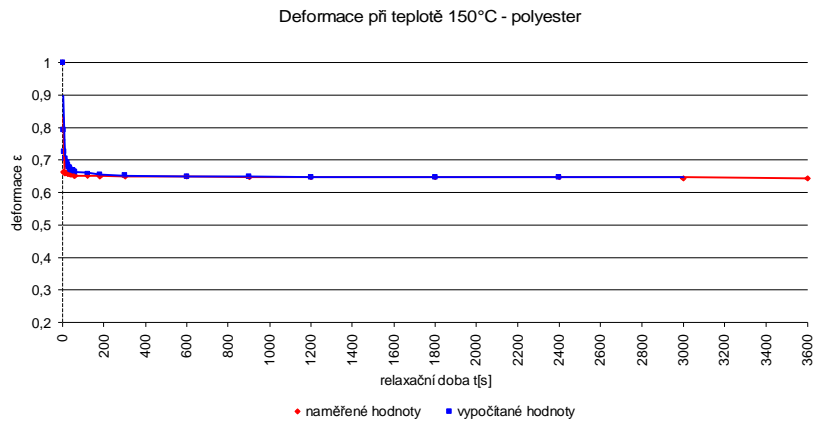


Graf 12 – grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 130°C u polyesteru

Deformace při teplotě 140°C - polyester

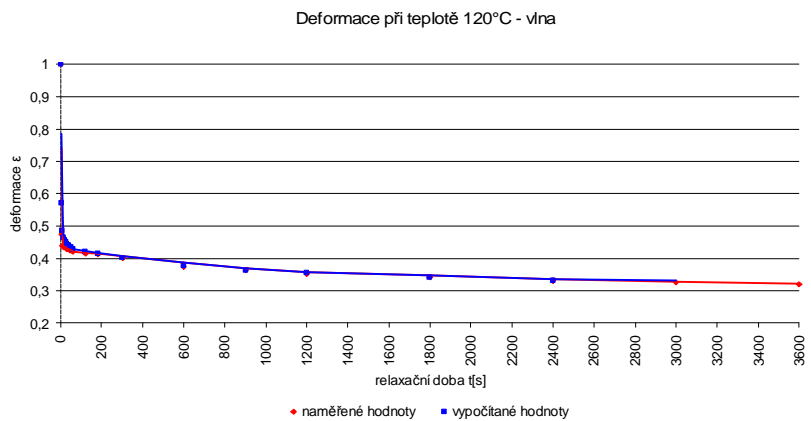


Graf 13 – grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 140°C u polyesteru

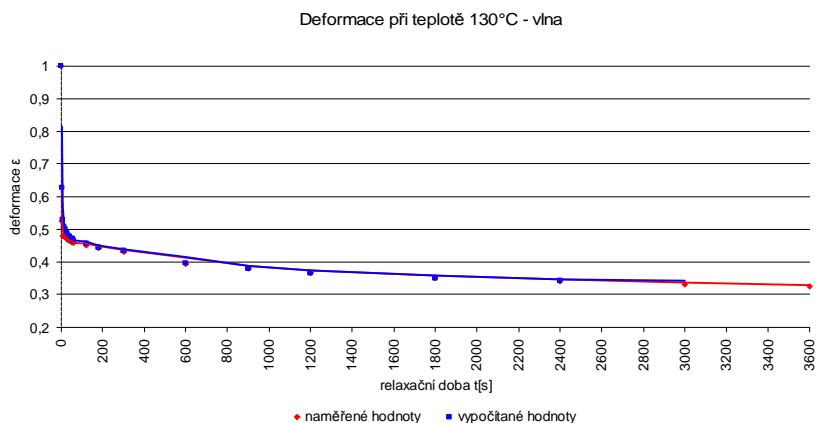


Graf 14 – grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 150°C u polyesteru

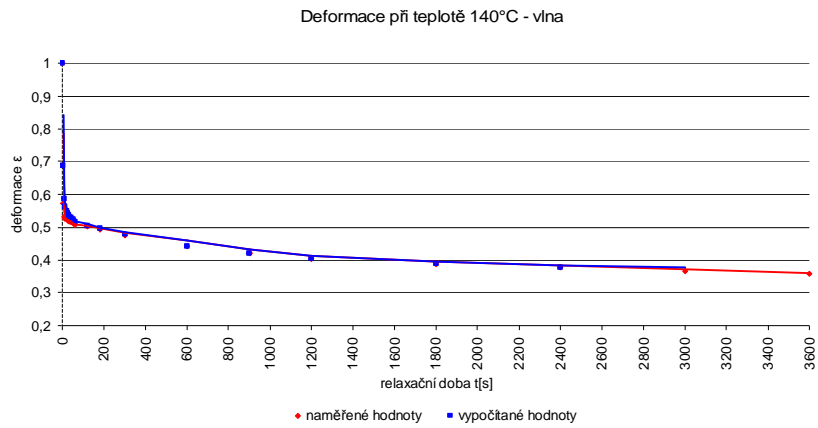
**Příloha č.9 - Grafy porovnávající deformace vypočítané z naměřených úhlů zotavení a deformace vypočítané pomocí Tuckettova modelu pro vlnu**



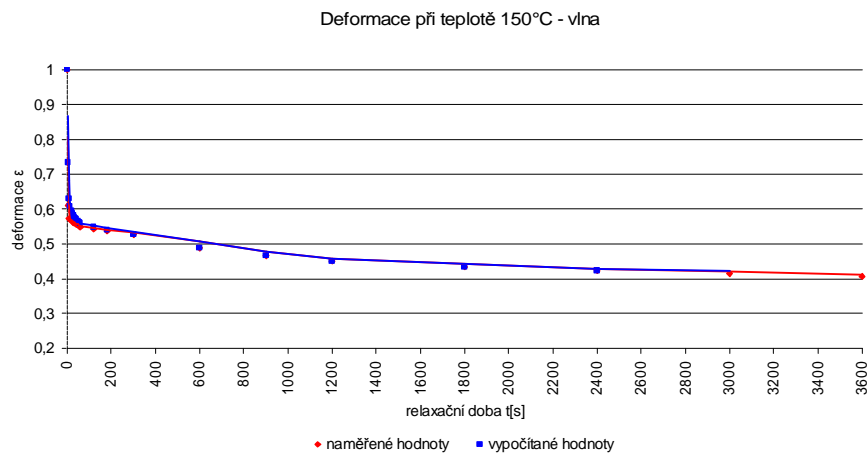
Graf 15– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 120°C u vlny



Graf 16– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 130°C u vlny



Graf 17– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 140°C u vlny



Graf 18– grafické znázornění průběhu deformace pro teplotu 150°C u vlny

**Příloha č.12 - CD**