

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



DISERTAČNÍ PRÁCE

2013

Ing. Katarína Zelová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní technika

Mačkavost plošných textilií

Creasing of woven fabrics

Autor: Ing. Katarína Zelová

Školitel: Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D

Počet

stran	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
123	78	20	83	8

V Liberci dne: 18.7 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma **Mačkavost plošných textilií** vypracovala pod vedením školitele samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále prohlašuji, že tato disertační práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Datum: 18. 7. 2013

podpis.....

Motto: V životě každého člověka někdy vyhasne vnitřní oheň. A pak se znovu rozhoří setkáním s jiným člověkem. Měli bychom být vděční za ty, kteří tento oheň dokáží znovu zažehnout.

Albert Schweitzer

Poděkování

Za cenné rady, připomínky ke koncepci disertační práce, ochotu a vstřícný přístup během zpracování a bezpočet inspirativních rozhovorů děkuji své školitelce Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. Za pomoc a rady při sestavování reologických modelů děkuji prof. RNDr. Janě Přívratské, Ph.D. CSc. Za důležité rady během kurzu statistického zpracování dat děkuji prof. RNDr. Milanu Melounovi, DrSc a prof. Ing. Jiřímu Militkému, CSc.

Děkuji současným i bývalým kolegům Ing. Blaženě Musilové PhD, Ing. Viere Glombíkové, PhD., Ing. Zuzaně Fléglové za pomoc, za projevený zájem a podporu, kterou mi v souvislosti s mojí prací poskytly. Kolegům Ing. Marii Koldinské, Ing. Rudolfovi Třešňákovi děkuji za pomoc při měření v laboratoři.

Děkuji své nejlepší kamarádce Ing. Zdeňce Luxové za důvěru, bez jejíž podpory a povzbuzení by tato práce nevznikla.

Na závěr děkuji své nejbližší rodině konkrétně Lubomíru Zelovi, Janke Zelové, Lence Zelové, Rudolfu Makarovi a Anně Makarové za jejich pochopení a trpělivost.

Anotace

V disertační práci byl řečen návrh inovované metodiky hodnocení mačkavosti pro studii anizotropie úhlu zotavení a analýzu viskoelastického chování plošných textilií po zmačkání. V práci je diskutován vliv konstrukčních parametrů textilií, úpravy i materiálového složení na anizotropii i hodnotu okamžitého, viskoelastického zotavení i celkové mačkavosti. Inovovaná metodika hodnocení je srovnávána s klasickou metodou úhlu zotavení a metodou nošení. Pro stanovení predikčního modelu jsou využity metody statistické analýzy vícerozměrných dat. Navržený lineární regresní model pro predikci mačkavosti textilií vycházel z analýzy mechanických vlastností textilií měřených systémem KES. Získaný experimentální průběh zotavení textilie je modelován pomocí složených reologických modelů. Jako vhodné jsou doporučeny takové kombinace základních reologických prvků a modelů, které jsou schopny modelovat elastické, viskoelastické i plastické deformace.

Bylo prokázáno, že mačkavost je anizotropní vlastnost, navrhované kroky byly opodstatněné a přispěly ke kvalitnějšímu popisu reálného zmačkání textilií.

Klíčová slova: mačkavost, úhel zotavení, anizotropie, lineární regrese, reologie

Annotation

The dissertation thesis is dealing with the design of an innovative methodics of creasing for the study of the anisotropy of angle recovery. It also deals with the analysis of viscoelastic behaviour of textiles after creasing. The work is also discussing about the influence of structural parameters of textiles, finishes and material composition on the anisotropy and on the value of the immediate viscoelastic recovery, and even on the total creasing. The innovative method of evaluation is compared with classic methods of evaluation of creasing and with the method of wearing. For stating the predictive model, the statistic analysis of multidimensional data, is used. The designed linear regression model for the prediction of creasing of textiles came out of the analysis of mechanical properties of textiles measured by the system of KES. The obtained experimental process of recovery of the textile is modeled by means of composite rheological models. Of the basic rheological elements and models, such combinations are recommended as suitable, which are able to model elastic, viscoelastic and even plastic deformations. It has been proved that creasing is an anisotropic property and the proposed steps were justified and they contributed to a higher quality description of the real creasing of textiles.

Keywords: creasing, angle of recovery, anisotropy, linear regression, rheology

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol, zkratka	Název	Jednotka
θ	úhel střížení vzorku	[°]
t_z	doba zatížení vzorku	[s]
t_1	čas zotavení v první sekundě po odlehčení	[s]
t_{300}	čas zotavení ve 300 sekundě po odlehčení, konec zotavení	[s]
α	úhel zotavení	[°]
α_1	úhel zotavení v první sekundě, okamžitý (skokový), zjištěný experimentálně	[°]
α_0, α_{0VYP}	skokový úhel zotavení zjištěný výpočtem	[°]
α_{300}	úhel zotavení ve 300 sekundě, konečný úhel zotavení	[°]
α_5	úhel zotavení v pěti minutách relaxace	[°]
α_{3600}	úhel zotavení po hodinové relaxaci	[°]
α^{har}	harmonický průměr úhlu zotavení	[°]
v	rychlost zotavení	[°/min], [rad/min]
ε	deformace	[-], [%]
ε_1	deformace v první sekundě zotavení	[-], [%]
ε_{300}	deformace ve 300s zotavení	[-], [%]
ε_e	elastická deformace	[-], [%]
ε_v	viskoelastická deformace	[-], [%]
ε_p	trvalá (plastická) deformace	[-], [%]
σ	napětí	[Pa]
E	modul pružnosti	[Pa]
η	koeficient viskozity	[Pa.s]
To	jemnost osnovních nití	[tex]
$Tú$	jemnost útkových nití	[tex]
Do	dostava osnovy	[n/10cm]
$Dú$	dostava útku	[n/10cm]
Mp	plošná hmotnost	[g/m ²]
h	tloušťka textilie	[mm]
K	kvalitní číslo pro výpočet mačkavosti	[-, %]
M	koeficient mačkavosti	[-, %]
B	tuhost v ohybu tkaniny na jednotku délky	[x 10 ⁻⁴ Nm ² /m]

2HB	moment hystereze ohybu na jednotku délky	[x 10 ⁻² Nm/m]
G	tuhost ve smyku	[N/m.deg]
2HG	hystereze při úhlu smyku 0,5°	[N/m]
2HG5	hystereze při úhlu smyku 5°	[N/m]
R ²	koeficient determinace	
R _p	predikovaný korelační koeficient	
p	hladina významnosti	
LL	přeložení materiálu líc - líc	
RR	přeložení materiálu rub - rub	
PC1, PC2	hlavní komponenty PCA analýzy	
MEP	střední kvadratické predikce	
AIC	Akaikeho informační kritérium	
Abs	absolutní člen v regresní rovnici	
M-K model	složený reologický model Maxwell-Kelvin	
T-K-V model	složený reologický model Thompson-Kelvin-viskózní tlumič	
X	koeficient v reologickém modelu	

Obsah

ÚVOD.....	11
1 PŘEDMĚT A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	13
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	14
2.1 SOUČASNÉ METODY HODNOCENÍ MAČKAVOSTI TEXTILÍ	14
2.1.1 Metoda dutého válce	15
2.1.2 Úhlové metody hodnocení mačkavosti.....	15
2.2 DALŠÍ POZNATKY Z VÝZKUMU MAČKAVOSTI TEXTILÍ.....	16
3 POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ.....	28
3.1 INOVOVANÁ METODA HODNOCENÍ MAČKAVOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ	28
3.1.1 Návrh úpravy tvaru zkušební vzorku.....	28
3.1.2 Inovace měřicího systému hodnocení mačkavosti textilií.....	30
3.2 REOLOGICKÁ ANALÝZA – SESTAVENÍ REOLOGICKÉHO MODELU	32
3.2.1 Model 1 - Maxwellův reologický model	35
3.2.2 Model 2 - Kelvinův reologický model.....	37
3.2.3 Model 3 - složený Maxwell - Kelvinův reologický model.....	39
3.2.4 Model 4 - složený reologický model Kelvin - Kelvin - viskózní tlumič	41
3.2.5 Model 5 - složený reologický model Thompson-Kelvin-viskózní tlumič..	41
4 ANALÝZA MAČKAVOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ.....	44
4.1 ANIZOTROPIE MAČKAVOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ.....	45
4.2 ANALÝZA KŘIVKY ZOTAVENÍ PLOŠNÝCH TEXTILÍ	62
4.3 POROVNÁNÍ METOD HODNOCENÍ MAČKAVOSTI S PRAKTICKÝM NOŠENÍM ODĚVU	71
4.4 ZHODNOCENÍ DÍLČÍCH VÝSLEDKŮ.....	77
5 PREDIKCE MAČKAVOSTI	79
5.1 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ MAČKAVOST TEXTILÍ.....	79
5.2 VÍCEROZMĚRNÁ STATISTICKÁ ANALÝZA MAČKAVOSTI TEXTILÍ.....	82
5.3 SESTAVENÍ PREDIKČNÍ ROVNICE PRO VÝPOČET ÚHLU ZOTAVENÍ	91
6 NÁVRH REOLOGICKÝCH MODELŮ ZOTAVENÍ TEXTILÍ, IDENTIFIKACE A VÝPOČET PARAMETRŮ	96
6.1 ZHODNOCENÍ A OVĚŘENÍ REOLOGICKÝCH MODELŮ	102

7	DISKUSE VÝSLEDKŮ	104
8	MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	108
9	ZÁVĚR	109
	POUŽITÁ LITERATURA	111
	SEZNAM OBRÁZKŮ	118
	SEZNAM TABULEK	121
	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	122
	CURRICULUM VITAE	124
	PŘÍLOHY	125
	PŘÍLOHA 1: CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	126
	PŘÍLOHA 2: HODNOTY ÚHLU ZOTAVENÍ V PRŮBĚHU RELAXACE, KŘIVKA ZOTAVENÍ, RYCHLOST ZOTAVENÍ TEXTILÍ	133
	PŘÍLOHA 3: PROCENTUÁLNÍ ZOTAVENÍ TEXTILÍ	154
	PŘÍLOHA 4: VÝLEDNÉ FOTOGRAFIE EXPERIMENTU NOŠENÍ	158
	PŘÍLOHA 5: ZÁKLADNÍ STATISTICKÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT ÚHLU ZOTAVENÍ	161
	PŘÍLOHA 6: OHYBOVÉ A SMYKOVÉ CHARAKTERISTIKY POUŽITÝCH MATERIÁLŮ ZMĚŘENÝCH SYSTÉMEM KES	165
	PŘÍLOHA 7: NÁVRH REGRESNÍHO MODELU	171
	PŘÍLOHA 8: MODELOVÁNÍ POMOCÍ REOLOGICKÝCH MODELŮ, OVĚŘENÍ REOLOGICKÝCH MODELŮ	181

Úvod

Podle požadavků kladených na oděvy dělíme užité vlastnosti textilií do několika základních skupin. Jednu skupinu tvoří estetické vlastnosti, jako je např. stálobarevnost, lesk, mat, splývavost, mačkavost. Jmenované vlastnosti charakterizují vzhled oděvu, a tím i jeho reprezentační funkci. Subjektivní vnímání těchto vlastností se může lišit dle účelu použití např. tím, že se jedná o oděv sportovní, pracovní či společenský. U sportovních oděvů můžeme mačkavost tolerovat, ale již méně ji lze tolerovat u oděvů s funkcí reprezentační, tj. u oděvů společenských či profesních. O tom, že reprezentační úroveň oděvu, především jeho nízká mačkavost, představuje významný požadavek současného spotřebitele, svědčí například i průmyslové aplikace nemačkových, nežehlivých úprav na bavlněné textilie.

V časopise Textil žurnál a na webových stránkách Textilního zkušebního ústavu Brno se objevují dotazy spotřebitelů, zda lze mačkavost reklamovat. Zákazníci se ptají, proč se mačkají některé kvalitní obleky z vlněného materiálu a jak je lze reklamovat či vrátit. Jsou kladeny dotazy, zda by neměl být zákazník informován také o mačkavosti oděvu.

Jednou z možností, jak předejít reklamacím, je výběr textilií, jejichž mačkavost byla hodnocena kvalitní metodou, která co nejpřesněji simuluje reálný proces zmačkání během nošení. Z toho důvodu byla v této práci navržena inovovaná metoda hodnocení mačkavosti pomocí úhlu zotavení. Tak se podařilo odstranit nedostatky současných klasických úhlových metod.

V první kapitole disertační práce je předložen přehled současného stavu problematiky mačkavosti plošných textilií ve výzkumné oblasti. V další kapitole je představená inovovaná metoda hodnocení mačkavosti pomocí úhlu zotavení. Jsou zde popsány reologické modely, které byly brány v úvahu pro popis procesu zotavení textilií. Zde byla navržena metodika určení reologických parametrů na základě křivky zotavení, resp. průběhu deformace vybraných reologických modelů. Metoda hodnocení mačkavosti i metodika identifikace koeficientů reologických modelů pro popis zotavení byly publikovány na mezinárodních konferencích, v časopisech s impakt faktorem nebo v recenzovaných časopisech.

Stěžejní část čtvrté kapitoly je věnována experimentální analýze vlivu konstrukčních parametrů textilie, materiálového složení a základních finálních úprav na

anizotropii mačkovosti, rychlost zotavení i výslednou hodnotu mačkovosti. Nový tvar zkušební vzorku, tzv. půlkruhový tvar, přispěl k jednodušší a přesnější přípravě experimentálních vzorků střižených ve více směrech pootočení od směru osnovy. Současně bylo odstraněno nežádoucí kroucení vzorku textilie během procesu zotavení. Byly porovnávány metody hodnocení mačkovosti měřením úhlu zotavení pomocí přístroje UMAK s inovovanou metodou hodnocení úhlu zotavení a experimentem nošením. Studie a provedený experiment nošením prokázaly, že mačkovost je anizotropní vlastnost a navrhované řešení a hodnocení mačkovosti ve více směrech je opodstatněné.

Identifikace nejdůležitějších parametrů ovlivňujících mačkovost je jednou z klíčových úloh páté kapitoly zaměřené na predikci mačkovosti textilií. K nalezení nejdůležitějších proměnných do predikčního modelu byla použita také celá řada testů: jako např. PCA analýza, shluková analýza, ... Smyslem lineární regrese bylo vytvořit co možná nejjednodušší model, který s dostatečnou přesností predikuje mačkovost textilií.

Na základě experimentálního měření úhlu zotavení byly v šesté kapitole hledány takové kombinace základních reologických modelů, které umožnily popsat elastické, viskoelastické i plastické chování textilií při zotavení po zmačkání. Pro modelování průběhu zotavení textilií se jako nejvhodnější jevíly reologické modely založené na kombinaci pružiny a viskózního tlumiče. V práci byla navržena nová klasifikace textilních materiálů dle reologického chování.

Každá kapitola je zakončena dílčím závěrem, který stručně shrnuje dosažené výsledky. Hlavní idea disertační práce a celkové shrnutí všech dosažených výsledků jsou zhodnoceny v kapitolách s názvem diskuze výsledků, možnosti dalšího výzkumu a závěr.

1 Předmět a cíle disertační práce

Na základě provedené literární rešerše a dosažených výsledků různých autorů v oblasti mačkavosti plošných textilií lze konstatovat důležitost rychlých a přesných metod hodnocení mačkavosti. Metody, které umožňují především simulaci reálného chování textilií, jsou ve světě pořád žádané a autoři jim věnují velké úsilí. Důležitost a aktuálnost řešení této problematiky potvrzuje také článek Sima Asvadi [1]. Podobně jako v této disertační práci se autor snaží inovovat metodu měření úhlu zotavení, kterou pak používá pro vyhodnocení vlivu nových nemačkových úprav bavlněných textilií.

Studie výzkumů ukazují, že mačkavost je anizotropní vlastnost a její řešení si zaslouží ještě hlubší analýzu a další studie. Většina prací proměřuje pouze vybrané směry a navržené metodiky hodnocení neporovnává s reálným zmačkáním při nošení. Nejen volba směru, ale také vhodná metoda, i tvar vzorku může ovlivnit výsledné hodnoty posouzení mačkavosti. Jen málo studií se věnuje relaxačním vlastnostem textilií, především rychlosti zotavení. Chybí metody, které by pomohly vyšetřit hodnotu okamžitého zotavení textilií. Získali bychom z měření reálnou hodnotu, která by nahradila přibližnou hodnotu doposud získávanou výpočtem.

Základním cílem této práce je zkoumat anizotropii mačkavosti a analyzovat viskoelastické chování plošných textilií po zmačkání. V předložené disertační práci si proto dále klademe za cíl:

- navrhnout inovativní řešení v oblasti měření mačkavosti pomocí úhlu zotavení, experimentálně ověřit anizotropii mačkavosti a schopnost zotavení textilií;
- statisticky posoudit vliv konstrukčních parametrů a mechanických vlastností textilií na jejich mačkavost;
- na základě statistické analýzy stanovit model pro predikci úhlu zotavení, resp. pro predikci mačkavosti vybrané skupiny materiálů;
- posoudit vliv konstrukčních parametrů textilií na viskoelastické vlastnosti plošných textilií a ověřit možnost jejich modelování pomocí reologických modelů;
- doporučit vhodný reologický model pro modelování zotavení textilií.

2 Přehled současného stavu problematiky

Mačkavost je jedna z důležitějších vlastností pro hodnocení vzhledu tkanin. Tato vlastnost je závislá na užití technologii výroby, materiálovém složení, struktuře textilie, směru přehybu textilie, ale také na teplotě a vlhkosti, která vzniká při aktivitě nositele. Většina tkanin je pravidelně hodnocena subjektivní vizuální metodou na základě etalonů. Nicméně kvůli nedostatkům vizuálního hodnocení zmačkaného povrchu a její časové náročnosti je vyvinuto několik objektivních metod pro hodnocení zmačkaného povrchu. V mezinárodním měřítku se výzkumem mačkavosti textilií zabývali výzkumníci již v 50. letech minulého století. Provedené výzkumy směřují k hodnocení vlivu technologie výroby, druhu vlákna, příze, vazby, finálních úprav na mačkavost textilií. Jsou navrhované alternativní metody hodnocení, které směřují k co nejobjektivnějšímu popisu a simulaci reálného procesu zmačkání.

2.1 Současné metody hodnocení mačkavosti textilií

Bylo navrženo vícero experimentálních metod pro hodnocení mačkavosti textilií. Sochor [2] je rozděluje na metody vizuální, metody měření vzdálenosti krajů, úhlové metody a speciální metody. Jsou to metody hodnocení, které například vycházejí ze zmačkání textilií v ruce, nebo z měření úhlů či vzdálenosti zotavených krajů. Setkáváme se i s metodou nošením, jak je patrné z práce Saltera [3]. Metoda ručního zmačkání je pro praxi sice rychlá, ale její subjektivní hodnocení může být ovlivněno například barvením nebo vzorem samotné textilie, které pak následně zvětšují chybu subjektivního hodnocení mačkavosti pomocí etalonů. Lze předpokládat, že při vizuálním hodnocení tkanin např. s různým barevným odstínem, nebo vzorem se bude subjektivní hodnocení pozorovatelů lišit. Druhy vytvořených záhybů, lomů a tzv. kresba lomů na textiliích ovlivní vnímání každého subjektu.

Z mezinárodních metod pro zkoušení mačkavosti jsou nejčastěji používané dvě normované metody. Metoda dutého válce Wrinkle recovery tester AATCC 128 nebo standard ISO 9867 [4] a metoda úhlu zotavení Crease recovery AATCC 66 – 2008 nebo standard ISO 2313 [5]. V roce 1961 byla normována metoda hodnocení mačkavosti textilií pomocí úhlu zotavení ČSN 800819 měřenou na přístroji UMAK, která byla nahrazena normou EN 22313 (ISO 2313) [6].

2.1.1 Metoda dutého válce

Jedná se o metodu měření mačkovosti, jež vytváří zmačkaný povrch plochy textilie dle AATCC 128. Vychází ze subjektivního hodnocení mačkovosti prostřednictvím fotografií nebo 3D etalonů. V době rozvoje výpočetní techniky se objevují metody umožňující objektivní hodnocení zmačkaného povrchu textilií. Nereprodukovatelnost a nemožnost číselného vyjádření subjektivního hodnocení zmačkaného povrchu nahrazují metody, které umožní matematicky charakterizovat mačkovost textilií. Objektivní metodu hodnocení zmačkaného povrchu prostřednictvím laserových a optických zařízení popisují ve svých studiích Kim [7] a Shinohara [8]. Digitálním zpracováním obrazu se zabývá Na [9]. 3D simulace deformace povrchu využitelná při 3D animaci oděvů popisuje například Decaudim [10]. Analýzou obrazu založenou na využití neuronových sítí se zabývají Kang [11] [12] a Mori [13]. Hu [14] ve své práci navrhuje objektivní metodu hodnocení zmačkaného povrchu textilie založenou na fotometrické stereometodě a obrazové analýze a porovnává ji se subjektivní časově náročnou vizuální metodou. Tato metoda umožnila eliminovat vliv barvy a struktury textilie při hodnocení mačkovosti. Yu [15] pro snímání zmačkaného povrchu textilie využívá systém pro rekonstrukci 3D povrchu textilie pomocí dvou digitálních fotoaparátů a pro hodnocení zmačkaného povrchu textilie využívá metodu konečných prvků.

Další objektivní kroky Shaikhzadeh Najar a kol. [16] vedly k úpravě a automatizaci samotného principu měření. Vědci sestrojili zkušební metodu umožňující zkoumání kroutícího a kompresního napětí a síly vznikající při deformaci vzorku dutým válcem.

2.1.2 Úhlové metody hodnocení mačkovosti

Obě úhlové metody jsou založeny na principu přeložení a zatížení vzorku textilie. Na přístroji UMAK se jedná o zatížení vzorku na tom samém místě, kde pak následně po odstranění zatížení vzorek relaxuje. Měření úhlu zotavení se provádí ručně odečtením úhlu mezi vodorovnou základnou a volným ramenem pomocí pojízdné měřicí hlavy s úhloměrem. První měření pro zjištění okamžité deformace se provádí 5 minut po odlehčení vzorku. Měření pro zjištění trvalé deformace pak po 60 minutách relaxace vzorku. Novinkou tohoto principu měření je přístroj pro měření mačkovosti YG541E [17]. Jedná se o plně automatizovaný systém, kdy po uplynutí doby zatížení je závaží automaticky zvednuto a úhel zotavení je změřen pomocí laseru.

Druhá metoda hodnotí schopnost zotavení horizontálně složeného vzorku měřením úhlu zotavení na přístroji Crease recovery tester. Zde dochází k zatížení vzorku mimo oblast jeho následné relaxace. Vzorek musí být po odlehčení přenesen na přístroj, kde dojde k ručnímu odečtení hodnoty úhlu zotavení. Přenášení vzorku může při nesprávné manipulaci ovlivnit hodnotu výsledného úhlu zotavení.

2.2 Další poznatky z výzkumu mačkavosti textilií

Setkáváme se s výzkumy, které hodnotí mačkavost textilií bez úprav, s úpravami (bělení, tisk, nemačkové úpravy), vliv údržby na mačkavost (praní, čištění).

Přestože metoda úhlu zotavení patří mezi tradiční metody hodnocení textilií, plnohodnotně nepopisuje mačkavost textilií. Nacházíme studie, ve kterých se autoři snaží eliminovat vzniklé nedostatky této metody. Autoři se zaměřují na zkoumání např. delších relaxačních časů, rychlosti zotavení, zkoumání anizotropie, vlivu konstrukčních parametrů textilií a mechanických vlastností na mačkavost.

Mechanické a estetické vlastnosti jako jsou tuhost, pružnost, rozměrová stálost a splývavost, které nejvíce přispívají k dokonalému vzhledu oděvu, ve své práci analyzuje Mihailovič [18]. Vlivem mechanického působení ohybu a tlaku na plošnou textilií dochází k pomačkání materiálu i celého oděvu. To vede ke změně povrchu textilie a tím dojde ke snížení estetického vzhledu oděvu v průběhu nošení. Jelikož nemačkavost závisí především na elastických vlastnostech textilie, posuzuje ji prostřednictvím měření úhlu zotavení. Ve své studii hodnotí mačkavost pomocí úhlu zotavení, který je měřený v 5. minutě, 60. minutě a po 24 hodinách zotavení. Okamžitý úhel zotavení počítá dle vztahu Sommera [19]. Tvarová stálost textilie a její schopnost udržet si estetický nezmačkaný vzhled závisí především na elastických vlastnostech a hraje důležitou roli při výběru oděvních textilií. Mihailovič ukazuje, že relaxační rychlost textilie může sloužit jako jeden z dalších ukazatelů schopnosti zotavení. V případě jeho experimentu hodnocení mačkavosti vlněných textilií byla relaxační rychlost zotavení konstantní po sté minutě. Rychlost byla ustálená pro všechny zkoumané textilie bez ohledu na jejich konstrukční parametry a podíl elastické, viskoelastické a plastické deformace. Relaxační rychlost tkanin po 24 hodinách zotavení dosahovala ve směru osnovy hodnoty 0,00059 rad/min (0,033 °/min) a ve směru útku rychlosti 0,00049 rad/min (0,028 °/min). Lze tedy konstatovat, že zotavení po 100 min je zanedbatelné.

Textilní materiály vykazují viskoelastické vlastnosti. Viskoelastické chování textilních materiálů, jak uvádí Geršak [20], [21] je způsobené anizotropním uspořádáním molekul, na které působí makroskopická mechanická síla. Působící síla může vyvolat změny v makromolekulárním uspořádání, zatímco chemické složení zůstane stejné.

Většina norem a metod pro měření vybraných vlastností textilií hodnotí vlastnosti pouze ve směru osnova a útku. Normy upozorňují na důležitost odebrání vzorků s co nejvíce různými osnovními a útkovými nitěmi, nebo upozorňují na nutnost odebrat vzorky nejméně deset centimetrů od okrajů tkaniny. Nicméně, ani tento způsob výběru vzorku nezohlední nehomogenitu textilie.

Pro simulaci reálného zmačkání textilie je proto důležité mačkavost sledovat i v různém pootočení textilie, resp. sledovat velikost úhlu zotavení v různých směrech, jak uvádí Nikolič [22]. Ve své práci se pokouší o vyjádření mačkavosti ne jenom ve směru osnova a útku, jak uvádí norma, ale i v dalších směrech pootočení vzorku, a to 0° (osnova), 30° , 45° , 60° , 90° (útek). Zotavení vlněných textilií v dalším pootočení pokládá za symetrické. Z jeho výsledků lze pozorovat, že víceméně všechny zkoumané textilie dosahují většího zotavení ve směru 90° nežli ve směru 0° . Zotavení ve směru diagonálním 45° se více blíží zotavení ve směru 60° a méně již směru 30° . Dalo by se předpokládat, že zotavení bude v tomto úhlu nabývat maximálních hodnot, ale tak tomu není. Je otázka, zda je potřebné, v tomto diagonálním úhlu pootočení 45° mačkavost zjišťovat.

Studiem anizotropie zotavení textilie a mačkavosti se také ve své práci zabývala Perepelkin [23]. Zkoumala mačkavost tkanin plátňové vazby z polyesteru, směsi polyester-len a lnu, ve standardních podmínkách a v maximálním vlhkém prostředí, ve směrech 0° (osnova) 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , a 90° (útek). Mačkavost polyesterové tkaniny byla skoro izotropní, ale mačkavost polyester-len a len ukazovala anizotropní chování úhlu zotavení. Přítomnost vlhkosti ve tkanině v porovnání se standardními podmínkami zvyšovala mačkavost textilie. Přítomnost vlhkosti byla bezvýznamná pro polyesterové textilie, avšak velmi významná pro lněnou a směsovou textilií. Ve své studii prokazuje, že mačkavost je záležitostí také materiálového složení. Mezi vlákna s nízkou mačkavostí zařadil polyesterová vlákna a mezi vlákna s vysokou mačkavostí pak vlákna lněná. Anizotropie textilie ve všech zkoumaných směrech se zvýšeným obsahem polyesterových vláken vzhledem k téměř stejným hodnotám úhlu zotavení vymizela.

Opačný pohled je pak u lněných textilií, kde byla prokázána největší mačkavost ve směru osnovy a útku, ale taktéž i ve směru 45° a v jejich přílehlých úhlech. U směsových textilií s obsahem 50 % nebo 30 % lněných vláken s polyesterovými vlákny byla prokázána nejvyšší anizotropie mačkavosti ve směru osnovy a útku.

Stupeň vzájemného působení v bodech křížení osnovy a útku se ve své práci snažil objasnit Shinohara [8] [24]. Jeho studie byla zaměřena na určení anizotropie úhlu zotavení a ukazuje na vliv směru zmačkání textilie. Autor popsal čtyři obrazce anizotropního chování úhlu zotavení zakreslené v polárních diagramech:

- obrazec 1 – maximální zotavení je v diagonálním směru a minimální zotavení je ve směru osnovy a útku,
- obrazec 2 – polární diagram vykazuje tvar kruhu (izotropní chování) nebo tvar elipsoidu (anizotropní chování)
- obrazec 3 – maximální hodnoty úhlu zotavení jsou ve směru osnovy a útku a relativně nízké hodnoty úhlu zotavení jsou v diagonálním směru (hvězdicový tvar)
- obrazec 4 – tvar je podobný jako tvar obrazce 1, ale zotavení je extrémně nesouměrné.

Případy anizotropie zotavení typu 3 jsou poměrně vzácné, většinou se vyskytují typy anizotropie úhlu zotavení 1, 2 nebo 4.

Vliv směru anizotropního chování mačkavosti a ohybu studuje také Steele [25]. Anizotropní chování textilií připisuje kroučicímu efektu a zákrutu u jednotlivých přízí ve tkanině. U jeho zkoumaných tkanin z celulókových vláken byl prokázán silný směrový účinek způsobený vlivem vazby. Tento efekt by dle Steela mohl kvalitativně souviset se zákrutem přízí. U vláken s větší pružností, jako je vlna, polyamid, nebo acetát, bude mačkové chování v podstatě izotropní. Přístupu Steela využili a dále podrobněji analyzovali Aliakbar a Hadi [26]. Analyzovali vliv počtu a směru zákrutů, vliv směru přehýbání L-L a R-R na schopnost zotavení textilie pro tkaniny plátňové vazby. Výsledky ukázaly, že nemačkovost se zvyšuje se zvyšováním zákrutů. Anizotropní chování v testovaných směrech od 0° až 90° bylo ovlivněno také různými směry zákrutů přízí.

V publikacích lze nalézt také např. zkoumání anizotropie tření, tahových vlastností, splývavosti nebo také anizotropie struktury textilií. Rozsáhlý výzkum hodnocení anizotropie ohybové tuhosti provádí Fridrichová [27], [28]. Svou studii realizuje pomocí nově navrženého tvaru vzorku (kruh), který umožňuje zkoumání anizotropie ohybové tuhosti ve všech směrech pootočení. Návrh nového přístroje pro měření ohybové tuhosti TH-7 umožňuje měření čtvercových, ale také kruhových zkušebních vzorků.

Zotavení po zmačkání, které reprezentuje mačkavost textilií, jak uvádí Chapman a Hearle [29] [30], Hamburger a kol.[31], Krásný a kol. [32], Looney a Handy [33] závisí také na vlastnostech vláken (zkadeření, průměr vlákna, délka vlákna, tvar průřezu), na vlastnostech příze (zákrut, zvlnění, průměr příze, tvar průřezu), ale i na parametrech vlastní plošné textilie (vazba, dostava, plošná hmotnost, tloušťka,...) a mechanických vlastnostech textilie (ohybová tuhost, smyková tuhost, koeficient tření,...). Dalším neméně důležitým faktorem ovlivňujícím mačkavost je směr, ve kterém je mačkavost testována. Při hodnocení mačkavosti textilií dále nelze zanedbat i vliv okolních klimatických podmínek, resp. vliv tělesné teploty a vlhkosti, která vzniká při zvýšené činnosti nositele a může ovlivnit mačkavost především celulózových vláken.

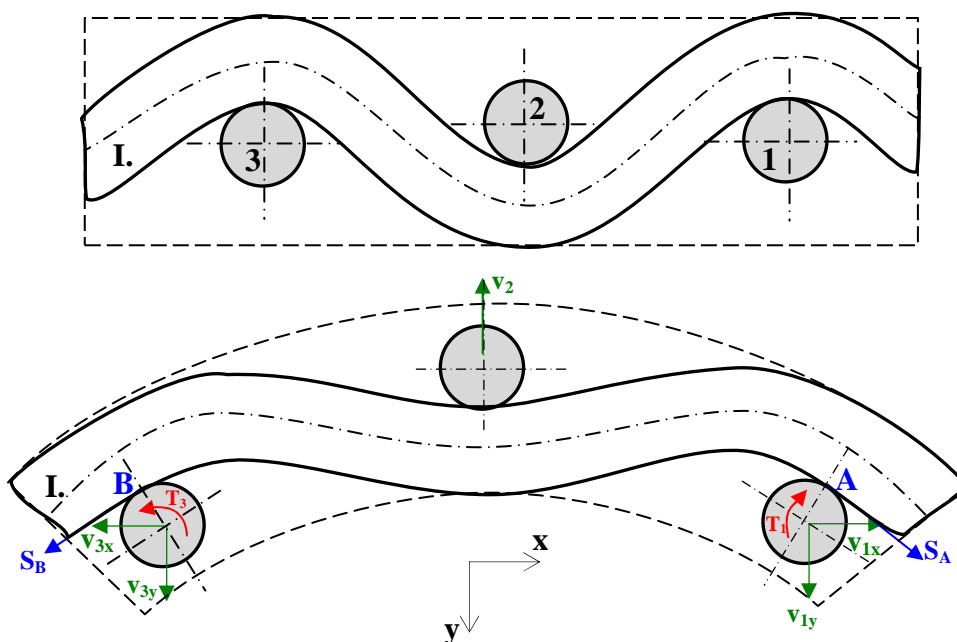
Jak uvádí Sochor [2] „...*nemačkavost textilií je ovlivněna poměrem krystalických a amorfních podílů a jejich vzájemným uspořádáním uvnitř vlákna. Lepší pružnost, ohebnost a nemačkavost vykazují vlákna s povrchovým uspořádáním amorfních podílů a dobrou orientací v jádru vlákna...*“. Vliv na mačkavost má i tvar vlákna. Vlákna s příčným kruhovým průřezem mají menší sklon k mačkání na rozdíl od vláken s eliptickým, ledvinkovým, hvězdicovým nebo laločně nepravidelným průřezem. Vliv tvaru průřezu polyesterového vlákna na ohybovou tuhost, splývavost a schopnost zotavení zkoumal Omeroglu a kol. [34].

Mačkavost je ovlivněna také délkou i počtem plovoucích nití „flotáží“, které jsou dané druhem vazby, která přispívá k pohybu příze, případně vláken ve struktuře textilie. Snadný pohyb přízí v keprové a atlasové vazbě určuje jejich nízkou mačkavost a lepší zotavení, než je tomu u textilie s plátňovou vazbou. Platí, že se zvyšujícím se počtem flotujících nití ve střídě vazby klesá ohybová tuhost tkaniny a textilie má větší schopnost zotavení a tedy klesá její mačkavost. U parametru dostavy naopak platí, že s rostoucí dostavou textilie, roste její ohybová tuhost a roste také mačkavost tkaniny.

Dostava osnovy u tkanin je obvykle větší než dostava útku. Lze tedy předpokládat, že vlivem většího počtu přízí ve směru osnovy bude v tomto směru vyšší ohybová tuhost a tedy i vyšší mačkovost textilie. Dostava, počet nití i vzájemné provázání ovlivňuje tloušťku textilie. Důležitost vlivu tloušťky na mačkovost textilií potvrdil Hunter [35]. Analýzou ohybové deformace a zotavením textilií se dále zabývali např. Olofson [36], Capman [37], Shi a Wang [38] atd.

Pravidelné provázání osnovních a útkových nití řadí tedy vazbu plátňovou mezi vazby nejvíce mačkové. U základní plátňové vazby, jak analyzovala Matsuo [39], lze při ohybu textilie na základě analýzy pohybů přízí pozorovat následující stavy. Při deformaci lze u tkaniny předpokládat 4 druhy pohybů přízí: 1 - ohyb, 2 – skluz přízí, 3 – kroucení a 4 – posun přízí ve tkanině, jak je znázorněno na obr. 1.

1. Ohyb příze I.
2. Skluz příze 1 a 3 ve směru vektorů S_A a S_B .
3. Kroucení přízí 1 a 3 ve směru naznačených šipek T_1 a T_3 .
4. Posun přízí 1, 2, 3 ve směru vektorů v_1 , v_2 , v_3 .

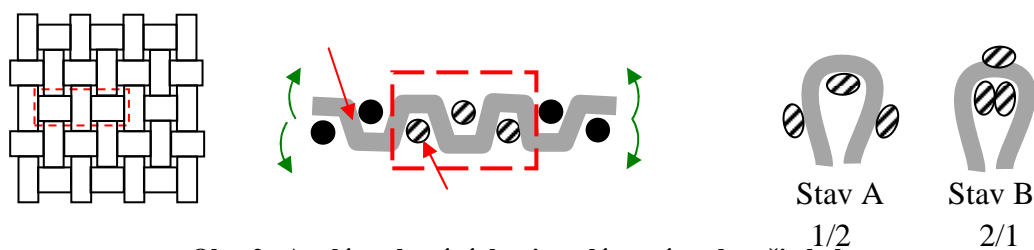


Obr. 1. Model přehýbání textilie a analýza pohybu přízí ve vazné buňce [39]

Současně analyzovala plátňovou vazbu v místě přeložení textilie následovně. Shledala, že v místě ohybu textilií LL a RR ve směru osnovy a útku se střídavě vyskytují dva stavy, tzv. stavy A, B) viz obr. 2. Mezi ohýbanými přízemi textilie

dochází k posuvům přízí. V místě ohybu textilie je příze z vnitřní strany stlačována a z vnější strany je namáhána na tah.

Ve stavu A jsou příze v poměru 1/2 a dochází zde k deformaci příze, kolem které je příze ohýbána. Z vnější strany ohýbané příze se příze posouvají směrem dolů. Na povrchu ohýbané příze je rozprostřen větší počet přízí než uvnitř. Ve stavu B, který je inverzní k případu A, jsou příze v poměru 2/1. Při ohybu se uvnitř stlačují dvě příze, přičemž na povrchu zůstává pouze jedna příze. Vlivem stlačení dochází uvnitř ohýbané příze k deformaci obou průřezů přízí a k akumulaci energie, kterou příze pak následně využijí pro zotavení příze, která je obepínala. V tomto případě (stav B) dvě příze uvnitř neumožní tak velkou deformaci ohýbané příze a naopak napomáhají k její relaxaci.



Obr. 2. Analýza chování tkaniny plátnové vazby při ohybu

Na zjištění nejdůležitějších parametrů, které ovlivňují mačkavost textilií, se zaměřuje ve své studii Zaouli a kol. [40]. Jako vstupní parametry uvádí materiálové složení, počet a zákrut přízí, vazbu, dostavu, plošnou hmotnost, tloušťku, ale také mechanické vlastnosti textilií jako ohybovou tuhost, pevnost a tažnost nebo koeficient splývavosti. Hodnotí úhel zotavení textilií ve směru osnovy, útku a prostřednictvím metody dutého válce stanovuje stupeň zmačkání. Ze závěrů obou zkušebních metod hodnocení mačkavosti textilií vyplývá, že materiálové složení, plošná hmotnost a splývavost mají významný vliv na mačkavost tkanin. Autor poukazuje na zajímavý poznatek vazby. Metoda úhlu zotavení vyloučila vliv vazby na mačkavost textilií, avšak subjektivní hodnocení mačkavosti pomocí metody dutého válce vliv vazby potvrdilo. Tím se ukázaly zásadní nedostatky klasické úhlové metody.

Inovovaná metodika měření mačkavosti pomocí úhlu zotavení předložená v této práci vliv vazby na mačkavost textilií potvrdila. Autoři ve své studii nezahrnuli vliv smykové tuhosti nebo vliv ohybové a smykové hystereze, která odráží velikost energie, kterou textilie ztratila během deformace. U smykového namáhání je velikost této energie závislá na interakci mezi nitěmi ve vazných bodech a poměru tahových/kompresních sil vznikajících v nitích během tohoto způsobu namáhání. A právě

dostava a vazba patří mezi nejvýznamnější parametry textilií, které ovlivňují velikost smykové tuhosti a hystereze. Vlivem větší dostavy roste tření mezi nitěmi ve vazných bodech a s tím roste i smykový odpor textilie, který se projeví velikostí smykové hystereze. Ta se následně projeví sníženou schopností textilie zotavit se po zmačkání. Opačný vliv můžeme pozorovat u textilií s volnější vazbou a malou dostavou, kdy malý smykový odpor umožní textiliím větší zotavení po pomačkání, a ve výsledku tyto textilie dosahují lepšího estetického vzhledu.

Další výzkum se zaměřil na predikci mačkovosti pomocí neuronových sítí. Jako vstupní parametry do neuronových sítí Pei a Zheng [41] zvolili následující parametry: materiálové složení, dostava osnovy a útku, ohybová tuhost, tloušťka a plošná hmotnost. Za výstupní parametr byl považován úhel zotavení. Zmiňované vstupní parametry byly vyhodnoceny za správné pro predikci mačkovosti s cílem poskytnout návod pro postup technologického zpracování designu tkaniny pro kontrolu kvality mačkovosti.

Ve většině uvedených studií, autoři zahrnují některé mechanické vlastnosti textilií do predikčního modelu mačkovosti (ohybovou tuhost), ale nezahrnují ve svých modelech přímo smykovou tuhost nebo hysterezi ohybu a smyku. V některých případech zahrnovali smyk pouze ve formě splývavosti. Již Brenner [42] přitom ve své práci poukazuje na smykové vlastnosti a vliv tření ve vazných bodech na mačkovost textilií.

Doba a hmotnost zatížení jsou další faktory ovlivňující mačkovost textilií. Sochor [2] ve svých studiích poukázal na to, že úhel zotavení se nezmenšuje rovnoměrně se zvětšujícím zatížením. Vliv hmotnosti zatížení na velikost úhlu zotavení byl mnohem nižší, než by se dalo předpokládat. Pro experimentální hodnocení mačkovosti textilií v laboratořích lze používat krátké doby zatížení i zotavení vzorku, které však dle provedených průzkumů nesmí být kratší než tři minuty. Velmi pružná textilie relaxuje v krátké době po uvolnění zatížení. Naopak textilie s menší pružností relaxuje po delší době, změna v delších časech relaxace se však již rapidně neprojevuje.

Dalšími důležitými faktory, které ovlivňují relaxaci textilie a tedy i hodnotu mačkovosti, jsou klimatické podmínky. Činiteli, které nejvíce ovlivňují mačkovost textilie během nošení, jsou teplota, vlhkost okolí a také aktivita nositele, která tyto parametry zvyšuje. Mačkovost textilie se zvyšuje se zvýšením vlhkosti. Tento jev se

projevuje především u vláken, která jsou schopná přijímat vlhkost např. len, bavlna, což je nejspíše způsobeno uchováváním vlhkosti v pórech textilie, které následně vede ke zpoždění zotavení textilie. Mačkavost např. lněné textilie se významně zvyšuje se zvýšením obsahu vlhkosti. Naopak zvýšení vlhkosti nemá významný vliv na mačkavost syntetických textilií. Směšové textilie polyester-len jsou charakteristické nižší mačkavostí než lněné textilie a vyšší mačkavostí než textilie z polyesteru.

V praxi se vyžaduje důkladná, avšak jednoduchá, rychlá a přesná charakteristika mačkavosti. Jednou z možností je vyjádřit mačkavost pomocí velikosti trvalé deformace, které je funkci úhlu zotavení. Tento přístup použili ve svých pracích Staněk [43] nebo Pribulová [44]. Staněk se soustřeďuje na reprezentační vlastnosti textilií v interakci s fyziologickými. Stanovuje vliv teploty a vlhkosti na mačkavost textilií. Současně sleduje změny parametrů stálosti tvaru při různých způsobech deformace. V práci simuluje reálný proces sezení a proces zmačkání textilie za použití různých kvalit židle nebo křesla s různou úpravou povrchu. Zkoumá dřevěný, koženkový a čalouněný povrch židle. Jsou to materiály, které se vyznačují rozdílným způsobem odvodu tělesného tepla a vlhkosti, kterými se může mačkavost textilií zvýšit nebo naopak snížit.

Vznik vrásek na povrchu textilií je výsledkem neúplného zotavení z deformace, a to jak vláken, tak i přízí ve tkanině, které se vyskytují v průběhu nošení nebo údržby oděvu. Dle výzkumů Wilkinsona [45] jsou tkaniny blízko těla člověka vystavené při různých deformačních dobách teplotě 32–35 °C, relativní vlhkosti 60–95 % a tlakům až 13789,51 Pa. Měření teploty a vlhkosti bylo u oděvů provedeno v oblastech, ve kterých běžně dochází k pomačkání. U saka v místech na zádech, na rukávech. U kalhot v roztokové oblasti. U sukně a kalhot pod kolena a v sedové oblasti. Měření byla prováděna před, během a po deformaci textilie. Při měření teploty se teplota pohybovala v rozsahu mezi pokojovou teplotou a teplotou pokožky. Při kontaktu s tělem dosáhla textilie už po pěti minutách teploty pokožky a obecně se teplota textilie pohybovala ve zmiňovaném rozsahu. Po ukončení kontaktu s tělem se po dvou minutách vrátila textilie na svou původní teplotu. Pomocí speciálně zkonstruované židle bylo provedeno měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Sedací plocha židle obsahovala dva výklenky, ve kterých byl umístěn termočlánek a zařízení na měření vlhkosti. Relativní vlhkost vzduchu v okolí textilie závisela na předchozí aktivitě nositele, na délce sezení a na okolních podmínkách. V případě, že byly okolní

podmínky pohodlné a nepodstoupil-li nositel před měřením fyzickou aktivitu, jako je např. chůze, pak byla relativní vlhkost vzduchu v okolí textilie po první minutě sezení 60 %. Po třiceti minutách sezení stoupla relativní vlhkost na 75 %. Pokud nositel před měřením chodil, pak relativní vlhkost po jedné minutě sezení dosáhla 85 % a po třiceti minutách sezení stoupla až na 90 %. V případě, že okolní podmínky nebyly příznivé, např. byly horké letní dny (vysoká teplota a vlhkost), pak se relativní vlhkost na židli blížila k 90–95 %. Pokud nositel před měřením podstoupil i fyzickou aktivitu, pak byla relativní vlhkost ještě vyšší a tím rostla vlhkost textilie. Studie potvrdila nutnost testovat textilie i v extrémních klimatických podmínkách.

Zotavení ze zmačkání některých typických textilií bylo dle Senda Naomi a kol. [46] měřeno podle Monsanto metody ve vodě v 25 °C, 40 °C a 60 °C. Výsledky zmačkání byly srovnávané s výsledky získanými za standardních podmínek 20 °C a 65 % relativní vlhkosti. Výsledky ukazují charakteristické mačkové chování tkanin zhotovených z hydrofilních vláken jako je umělé hedvábí, bavlna, ramie a vlna.

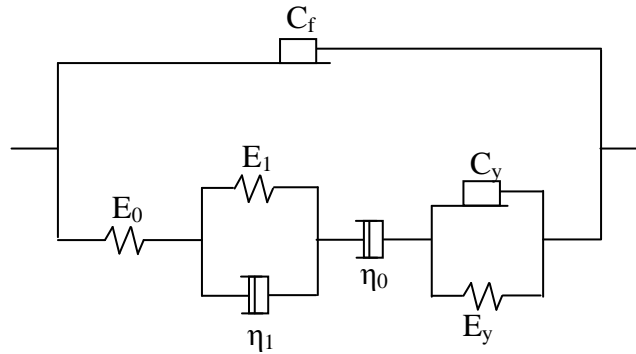
V běžné praxi lze konvenční metodu úhlu zotavení, díky nízkým pořizovacím nákladům a hlavně díky své jednoduchosti a objektivnosti měření, využít nejenom při hodnocení mačkavosti, ale také při hodnocení tvarové stálosti švu, kde je úhel zotavení vnímán jako nutná podmínka pro dokonale rozžehlený šev výrobku. Ve své práci se touto problematikou zabývá Wang [47], který zkoumá tvarovací-žehlicí vlastnosti vlněných a směsových materiálů. Zkoumá schopnost tvarování při teplotách žehlení 80–120 °C, době tvarování, zkoumá vliv okolní 65% a 95% relativní vlhkosti na změny vzniklé po tvarování a na relaxační chování textilie. Vzájemné vztahy mezi klasickým úhlem zotavení vzniklým zmačkáním a tvarovatelností tkanin v průběhu tvarovacího procesu tzv. úhlem tvarování zjišťoval Fan [48]. Tento experiment ukázal slabé vzájemné vztahy mezi zmiňovanými úhly. Z čehož plyne, že je možné mít tkaniny, které mají vysoké hodnoty úhlu zotavení (nemačkové tkaniny) a zároveň kladou malý odpor při samotném tepelném tvarování (dobré rozžehlení švu).

Zkoumáním reologických vlastností, kterými rozumíme časově závislé deformační a tokové děje, které probíhají jak v kapalinách, tak v pevných látkách a rovněž i v textiliích, se zabývá vědní disciplína reologie. Věnuje se zkoumání a modelování deformačních vlastností látek, resp. vztahu mezi deformací a napětím v závislosti na rychlosti deformace. Pro modelování reologických vlastností textilií, které rozhodují o stabilitě (stálosti) tvaru, rozměru textilního materiálu i samotného

výrobku lze využít reologické modely, které jsou založeny na kombinaci pružin (elastických prvků) a tlumičů (viskózních prvků). Vztahy těchto modelů jsou dány rovnicemi, jež dávají do vztahu síly působící na model s jeho deformací. Ze vztahů potom vystupují materiálové koeficienty představující vlastnosti pružin a tlumičů (elastické a viskózní parametry). V odborné literatuře lze nalézt mnoho odborných prací zabývajících se měřením viskoelastických vlastností textilií, zejména se můžeme setkat se studií reologických vlastností textilií při tahové deformaci, nebo stlačitelnosti materiálu, avšak i při zotavení textilií.

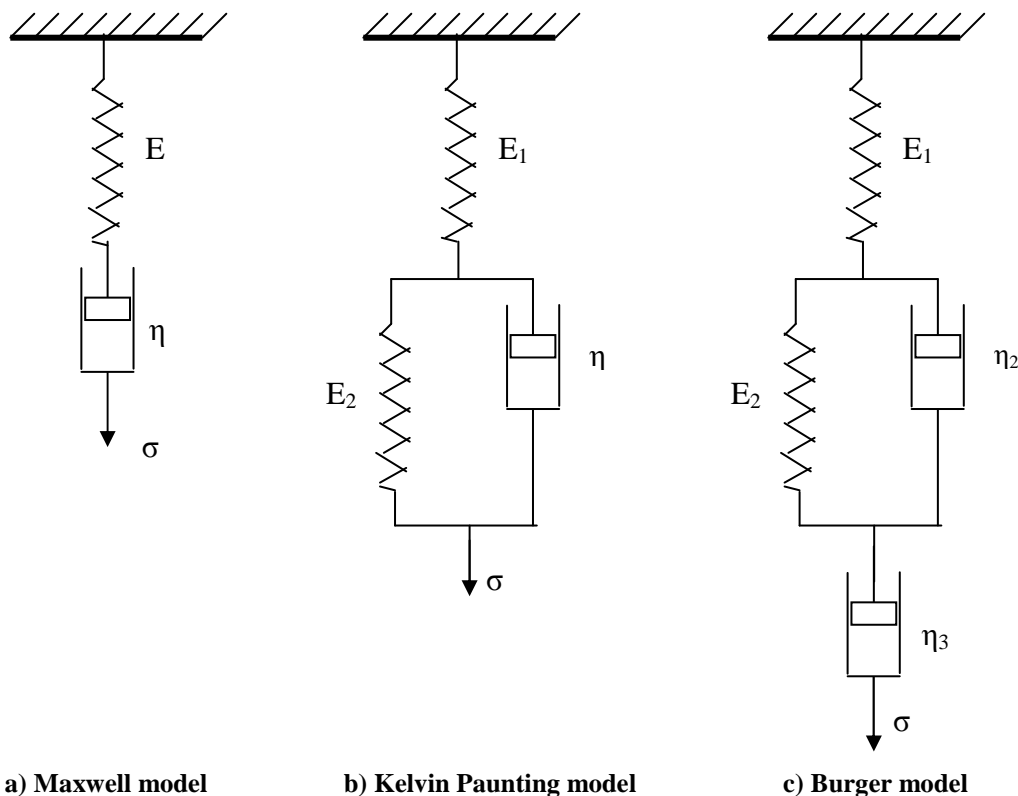
Během zmačkání je textilie vystavena namáhání, které může v textiliích způsobovat nevratné (plastické) deformace a tím dochází ke vzniku záhybu nebo ke zmačkání povrchu textilie. Pro spotřebitele je důležité především chování oděvů (textilií) během celodenního nošení. Zajímají ho pocity v průběhu nošení oděvu, tj. zda mačkavost (vzniklé deformace na oděvu) vymizí. Toto chování je ovlivněno viskoelastickými vlastnostmi textilie. Studii viskoelastického chování vlákna, mechanismus mačkavosti (přehýbání) textilií pomocí reologie publikoval Soube [49], Skelton [50]. Analýzou přehýbání textilií z hlediska energie a pohybu elementů v textiliích a deformaci vazných prvků se zabýval Brenner [42]. Mihailovič [51] teoreticky pomocí vybraných reologických modelů simuluje elastické vlastnosti praných a nepraných konopných tkanin. Sestavil složené reologické modely se sériovým zapojením pružin, Kelvinových modelů a viskózního tlumiče. Shi a Wang [38] při modelování ohybových vlastností tkanin vycházejí z reologického modelu, který navrhl Capman a Hearle [29]. Jedná se o model složený z pružiny a třecího prvku zapojených sériově za sebou. Zabývají se stanovením deformační síly při stlačení (zatížení proužku textilie), ale již neřeší jeho následné zotavení.

Pribulová [44] zabývající se mačkavostí vlněných a směsových textilií, ze základních reologických modelů doporučuje pro modelování křivky zotavení Kelvinův reologický model. Tento model patří sice mezi modely vhodné pro popis viskoelastického chování, avšak nedostatečně popisuje v textiliích plastické složky deformace. V práci se autorka odkazuje na složený reologický model, viz obr. 3. V modelu jsou zahrnuty reologické prvky, tj. viskózní tlumič a třecí prvek v kombinaci s Kelvinovým modelem. Uvedený model, lze považovat za pouze teoretický, jelikož jeho přílišná složitost nedovoluje z experimentálního měření vlastností textilií určit všechny potřebné reologické parametry.



Obr. 3. Model popisující schopnost zotavení textilií po zmačkání [44]

Jak ukazuje studie Dong a kol. [52], není potřeba pro modelování křivky zotavení (resp. průběhu deformace) používat takto složité reologické modely. Pro popis zotavení textilií aplikovali tři reologické modely a to: nejjednodušší Maxwellův model, složitější model Kelvin Pauntingův model a Burgerův model (Poyntingov-Thompsonův model), viz obr. 4 [53]. Z analýzy vyplynulo, že tzv. Burgerův reologický model popisuje skutečné relaxační chování textilií s přesností na 90 %.



Obr. 4. Použité modely dle Dong [52]

Reologické modely lze také využít pro modelování stlačitelnosti výplňkových materiálů, jak uvádí Přívratská [54]. Pro modelování navrhuje složený reologický model. Tento model se skládá z Maxwellova a Kelvinova modelu, které jsou zapojeny

sériově. V článku autorka stanovuje algoritmus pro zjištění vstupních parametrů pro navrhovaný reologický model pouze při stlačení (zatížení) výplňkových materiálů, nikoli při následném zotavení. V publikaci Přívratská a Zelová [KZ3] byl dále stanoven algoritmus pro vyjádření parametrů navrhovaného reologického modelu popisujícího stlačení a současně i zotavení výplňkového materiálu. Tento postup byl dále upraven a aplikován v této práci pro identifikaci parametrů reologických modelů vhodných pro modelování průběhu zotavení textilie, viz kapitola 3.2.

Jak je vidět, hodnocení mačkavosti a hledání objektivnějších metod hodnocení má i v dnešní době velký význam a teoretické výpočty zotavení textilií jsou stále častěji žádány, zejména jako vstupy pro počítačové simulace reálného chování textilií.

3 Použité metody řešení

Mačkavost plošné textilie vznikající tlakem při nošení oděvního výrobku můžeme označit jako proces zotavení plošné textilie po zmačkání. Schopnost vyrovnávat dočasné deformace po zmačkání neboli pružnost, je vlastností jednotlivých druhů textilních materiálů. Inovovaná metoda měření mačkavosti pomocí úhlu zotavení vychází z normy ČSN 80 0819.

3.1 Inovovaná metoda hodnocení mačkavosti plošných textilií

Měření mačkavosti metodou úhlu zotavení dle české normy je realizované na přístroji UMAK. Ruční měření úhlu zotavení bylo nevhodné, proto bylo navrženo snímání úhlu, po odlehčení textilie pomocí web kamery. První měření a první náznaky inovace byly provedené v práci Fridrichové [55], [56], [57], [58]. Další inovační kroky spočívaly ve:

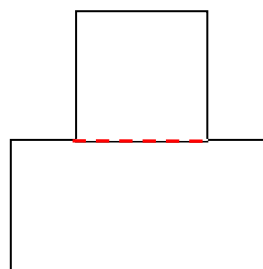
1. změně tvaru zkušební vzorku, která přispěla k rozšíření měření ve více směrech pootočení textilie vzhledem k osnově – zkoumání anizotropie zotavení,
2. objektivním snímáním úhlu zotavení, vytvoření pracovního měřicího systému s příslušným počtem měřících stanic,
3. měření úhlu zotavení pomocí softwaru Nis elements.

3.1.1 Návrh úpravy tvaru zkušební vzorku

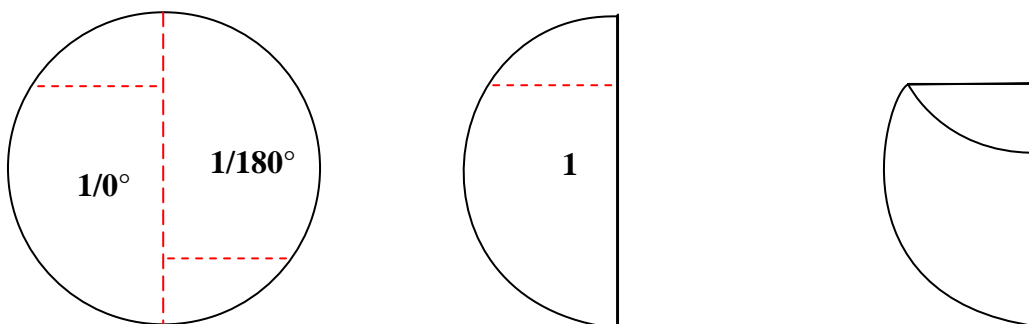
Úhlové metody pro měření mačkavosti se i v současné době velmi často používají ke srovnávacím zkouškám při měření mačkavosti různých tkanin. Je známo více přístrojů a metod pro hodnocení mačkavosti pomocí úhlu zotavení. Popisované metody se liší jak ve způsobu měření, tak i ve tvaru a velikosti zkušebních vzorků. Česká norma pro měření mačkavosti vychází z obdélníkového tvaru vzorku 50x20 mm, 40x15 mm měřeného na přístroji UMAK nebo Crease recovery tester, viz obr. 5. Na podobném principu měření pracuje i maďarský přístroj T.K.I [59], nebo přístroj CMT [60], kde je vzorek textilií upraven dle šablony do speciálního tvaru, viz obr. 6. V průběhu zotavení textilie dochází ke kroucení vzorku. Norma proto doporučuje měřit úhel na přední i zadní straně vzorku. Konečný úhel je pak vypočítán jako průměrný úhel zotavení.



Obr. 5. Tvar vzorku pro Umak

Obr. 6. Tvar vzorku pro maďarský přístroj
T.K.I.

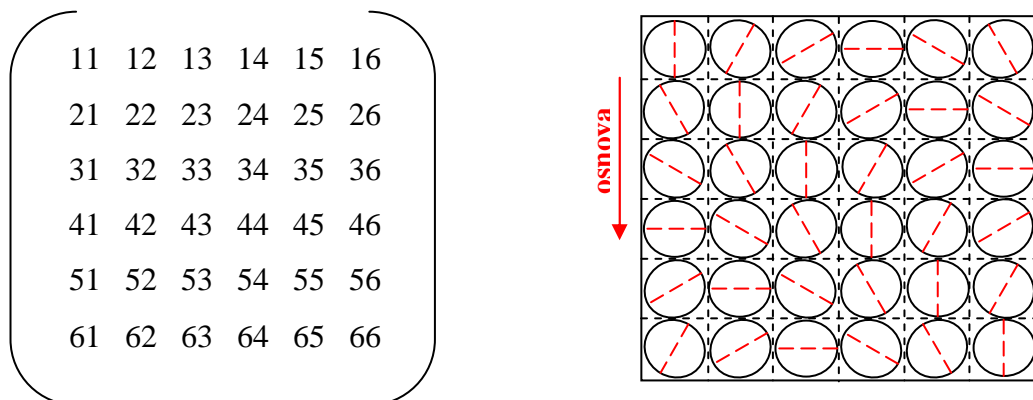
Prvním inovačním krokem bylo proto odstranění nebo eliminace nežádoucího kroutícího efektu vzniklého při relaxaci obdélníkových vzorků. Tento problém byl částečně vyřešen nahrazením obdélníkového tvaru vzorku vzorkem kruhovým, resp. půlkruhovým o průměru 4,5 cm. Velikost přehýbané části vzorku je závislá na plošné hmotnosti textilie. Pokud je plošná hmotnost od 100–500 g/m² je přehyb vzorku textilie 10 mm. Detailní schéma střížení a přehýbání vzorku znázorňuje obr. 7.



Obr. 7. Příprava vzorku pro měření

Pro simulaci reálného zmačkání textilie během nošení je zapotřebí zkoumat mačkavost ve všech směrech pootočení textilie vzhledem k osnově. Dosud dle norem byly proměřeny pouze směry osnovy a útku. Jelikož je textilie nehomogenní a anizotropní materiál, toto proměření je nedostatečné. Jak bylo zmíněné v rešeršní části, výzkumy směrovou závislost pokládají za důležitou. Autoři zmiňovaných studií proměřují úhel zotavení textilie pootočený ke směru osnovy o 0°, 30°, 60°, 90°. Poté poukazují, že zotavení textilie v dalších směrech je ekvivalentní ke zmíněným směrům. Ve skutečnosti tomu tak není. V inovované metodice navrhujeme proměřit zkoumanou vlastnost ve všech pootočeních textilie od 0° až 330° po každých 30°. Způsob označení a střížení pootočeného vzorků je znázorněn na obr. 8. Jedna sada vzorků pro měření

úhlu zotavení obsahuje 76 půlkruhových vzorků střížených a přehýbaných ve všech zmíněných směrech, vytvořily jsme matici o 6 sloupcích a 6 řádcích.

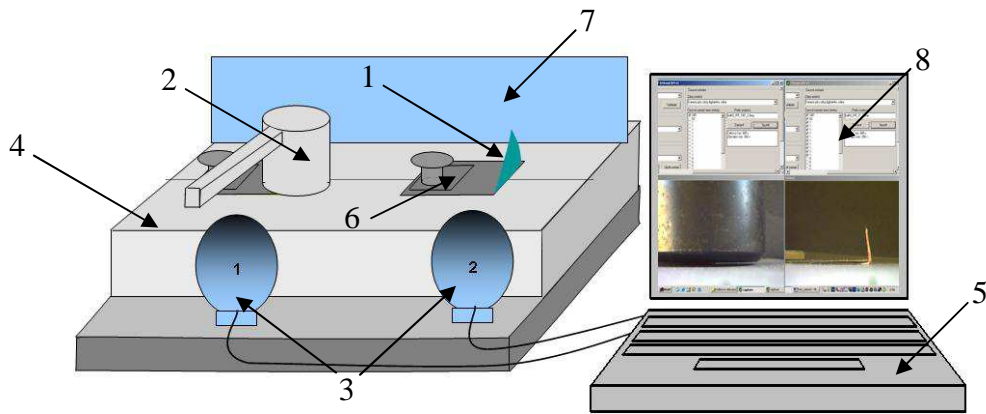


Obr. 8. Vzorky střížené od osnovy ve směru 0(osnova), 30, 60, 90(útek), 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330°

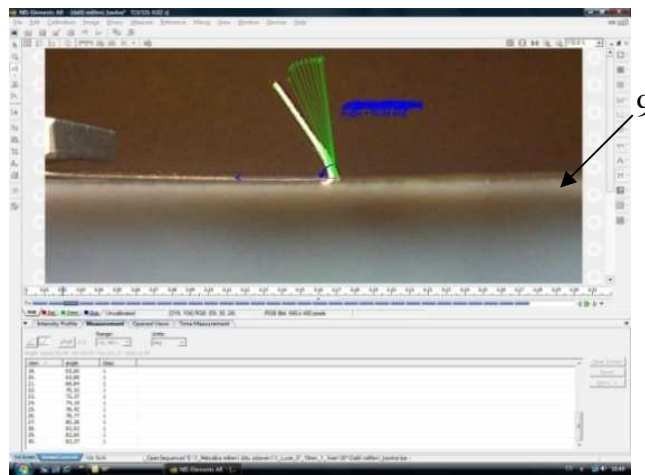
Navrhnutá metodika měření, vycházející z principu měření kruhových vzorků, umožňuje zkoumat mačkavost v různých směrech, respektive zkoumat anizotropii zotavení textilií. Změna tvaru vzorku umožnila až dvojnásobnou úsporu materiálu a času pro přípravu experimentálních vzorků. Výzkum směrové závislosti mačkavosti lze aplikovat i na jiné vlastnosti, např. ohybovou tuhost, více publikace [27], [28].

3.1.2 Inovace měřicího systému hodnocení mačkavosti textilií

Princip měření vychází z měření na přístroji UMAK, kde zatížení i relaxace probíhá na tom samém místě. Inovované měřicí zařízení, viz obr. 9, se skládá z pracovního stolu s příslušným počtem pracovních míst (4), dvě pracovní místa a s příslušným počtem web kamer (3). Pracovní místo je tvořeno z přídržné lamely (6), pod kterou je vložen vzorek textilie (1), který je přehnut a zatížen kilovým závažím (2). V zadní části pracovního stolu je umístěno stínítko (7) pro bezproblémové snímání úhlu zotavení. Web kamery jsou připojeny k PC (5), pomocí kterého je řízen veškerý proces nastavení a snímání úhlu zotavení. Vytvořený software „Angle“ (8) umožňuje nastavit libovolnou frekvenci zaznamenávání úhlu zotavení. Součástí softwaru je také měření úhlu zotavení, které nebylo příliš přesné, a proto byl k měření úhlu zotavení z pořízených digitálních fotografií použit software NIS elements (9). Součástí tohoto softwaru je funkce „measure free Angle“, která umožňuje interaktivní měření úhlů. Využití softwaru NIS pro měření úhlu zotavení textilie, která relaxovala pět minut pomocí této funkce je znázorněno na obr. 10. Navržená objektivní metoda měření mačkavosti pomocí úhlu zotavení byla představena v článku Fridrichová a Zelová [KZ1].

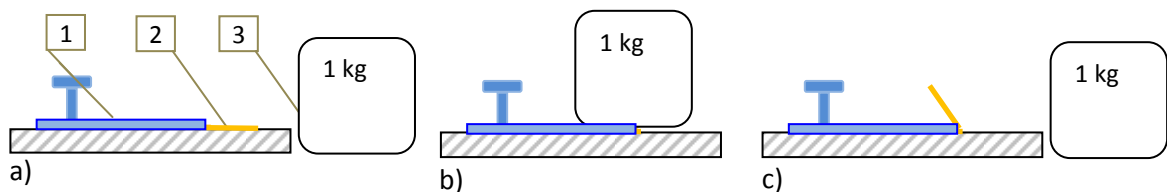


Obr. 9. Navrhnuté měřicí pracoviště pro snímání úhlu zotavení (1 – vzorek textilie, 2 – závaží 1kg, 3 – web kamery, 4 – měřicí stůl s upínacím systémem vzorku textilie, 5 – PC)



Obr. 10. Měření úhlu zotavení Nis elements

Postup metodiky měření úhlu zotavení znázorňuje schéma experimentu na obr. 11, kde a) představuje přípravu vzorku, úhel zotavení $\alpha = 180^\circ$, b) přeložení a zatížení vzorku, úhel zotavení $\alpha = 0^\circ$, c) relaxace vzorku $\alpha(t)$. Vzorek textilie (2) je pomocí pinzety vložen pod přidržovací lamelu (1) tak, aby v naznačené linii místa ohybu vzorku byl příčný okraj lamely. Zkušební vzorek je ohnutý dle naznačené linie přes okraj lamely a zatížen závažím o hmotnosti 1kg (3) po dobu pěti minut. Přiložené závaží musí působit stejnoměrně na celou plochu přeloženého vzorku. Po uplynutí doby zatížení sejmeme závaží a vzorek necháme zotavovat dalších pět minut.



Obr. 11. Metodika měření úhlu zotavení

a) vložení vzorku b) přeložení a zatížení vzorku c) relaxace vzorku

Podle provedených experimentálních zkoušek v době zotavení textilie je rozevírání vzorku zpočátku velmi rychlé, s narůstajícím časem zpomaluje, až ustaluje. Podle našich poznatků z experimentálních měření je pro analýzu mačkavosti doba zotavení pět minut dostatečná. Po tuto dobu zotavení bylo prostřednictvím web kamery pořízeno 24 digitálních fotografií. Časový interval záznamu úhlu zotavení byl následující: (1–10 s) - každou jednu sekundu, (10–60 s) - každých pět sekund, (60–300 s) - každou minutu. Navržený inovovaný princip měření úhlu zotavení má následující klady:

- Nasnímání úhlu zotavení již v první vteřině po odlehčení vzorku – dosud byl tento úhel zjišťován pouze výpočtem.
- Záznam časové závislosti úhlu zotavení pro první vteřiny po odlehčení vzorku, délka záznamu může být libovolná.
- Z analýzy zaznamenaných úhlů zotavení v závislosti na čase vyplynulo, že není nutné používat více než hodinu dlouhé časy pro sledování úhlu zotavení. Nejdůležitější jsou první vteřiny relaxace, ve kterých se projevuje největší procento přírůstku úhlu zotavení, a to až 65 % z celkového zotavení.
- Snímky lze uschovat a kdykoli se k měření vrátit a analyzovat průběh zotavení.
- Pořízené fotografie lze načíst v libovolném programu a úhel v něm změřit.
- Měření je objektivní a číselné vyjádření mačkavosti resp. relaxace tkaniny umožňuje přesně hodnotit relativní rozdíly mačkavosti mezi jednotlivými zkoumanými tkaninami.
- Metodika měření mačkavosti umožnila sledovat reologické vlastnosti textilií, které rozhodují o tvarové stálosti textilie. Pro modelování těchto vlastností byly využity vybrané reologické modely.

3.2 Reologická analýza – sestavení reologického modelu

Cílem této části práce je na základě experimentálního měření úhlu zotavení určit vstupní parametry navržených reologických modelů. Budou ověřeny reologické modely, které již byly dosud pro toto modelování aplikované, ale také bude navrhnout zpřesněný reologický model, který korektnost modelu ještě zvýší.

V důsledku působení vnějších sil při zatížení a deformaci vzorků dochází v textiliích k deformaci vláken, přízí a samotné textilie. Při pomačkání textilie působením tahu, tlaku a ohybu vznikají v textiliích tři druhy deformací: elastická, viskoelastická (zpožděná elastická) a trvalá (plastická) deformace.

Elastická deformace (ϵ_e) je okamžitá, časově nezávislá a dokonale vratná deformace. Objevuje se okamžitě po odlehčení textilie. Textilie se pokouší vrátit do původního nedeformovaného stavu. Tato deformace závisí na napětí σ působícího během zatížení textilie a na čase zatížení t_z . Dále je ovlivněna fyzikálními podmínkami, jako jsou teplota nebo relativní vlhkost vzduchu, během kterých dochází k deformaci textilie.

Viskoelastická deformace (ϵ_v) je časově závislá deformace. Časově navazuje na elastickou deformaci vytvořenou při odlehčení textilie. V průběhu doby zatížení narůstá a po odlehčení postupně v době relaxace mizí. Její velikost závisí na zotavující se schopnosti textilie. Elastická i viskoelastická deformace v průběhu času zanikají.

Trvalá (plastická) deformace (ϵ_p) je časově závislá a dokonale nevratná deformace. Její velikost je ovlivněna časem zatížení textilie. Závisí na množství přetvořených vazeb v průběhu deformace. Po zotavovacím procesu textilie zůstává jako trvalá složka (plastická deformace) v textiliích.

Mačkavost lze vyjádřit jako:

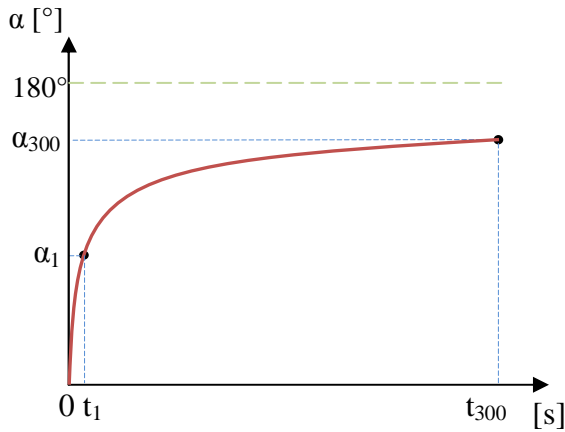
- Schopnost textilie podléhat trvalým deformacím. Čím je hodnota plastické deformace větší, tím je menší reprezentativní hodnota textilie, oděv má nižší kvalitu.
- Schopnost textilie relaxovat, zotavit se. Čím je hodnota elastické deformace větší, tím je větší reprezentativní hodnota textilie, oděv má větší kvalitu.

Průběh deformace $\epsilon(t)$ představuje schopnost textilie zaujmout původní tvar před deformací. Deformaci vzniklou v textiliích lze získat pomocí úhlu zotavení dle vztahu:

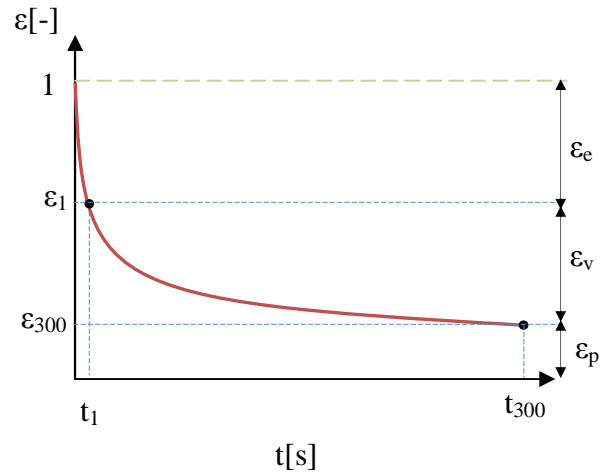
$$\epsilon(t) = 1 - \frac{\bar{\alpha}(t)}{180} \quad [-] \quad (1)$$

Deformace je relativní hodnota, pro kterou platí: $\epsilon = 0$ tzn. textilie je nemačková, $\epsilon = 1$ tzn. textilie je mačková. Čím je deformace menší, tím je lepší reprezentativní

hodnota textilie, oděv má lepší kvalitu, textilie se nemačká. Průběh zotavení textilie v závislosti na čase nazýváme křivkou zotavení, viz obr. 12. Na základě této křivky lze získat průběh trvalé deformace $\varepsilon(t)$ vzniklé v textiliích v době zotavení, je vykreslena jako exponenciální křivka, viz obr. 13.



Obr. 12. Křivka zotavení textilie



Obr. 13. Průběh deformace v době zotavení

Teorie prostorových deformací a jejich zotavení vychází ze simulace zatížení vzorku textilie silou vytvořenou kilovým závažím v čase zatížení $t_z = 5\text{min}$. Po odlehčení v čase t_1 (jedné sekundy) – úhel skokově vyskočí na hodnotu α_1 . Tento skokový úhel se objeví okamžitě po odlehčení a je ekvivalentní elastické deformaci ε_e dle vztahu (2). Následně dochází k procesu zotavení, který je zakončen ve třísté sekundě relaxace, tj. v čase t_{300} . Zde se objevuje viskoelastická deformace ε_v daná vztahem (3). Zbytkový úhel, který zůstává, charakterizuje trvalou (plastickou) deformaci ε_p dle vztahu (4).

$$\varepsilon_e = 1 - \varepsilon_1 \quad (2)$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 - \varepsilon_{300} \quad kde \quad (3)$$

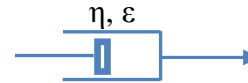
$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{\alpha_1}{180} \quad (3)$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{300} = 1 - \frac{\alpha_{300}}{180} \quad (4)$$

Tento průběh deformace vzniklé v textiliích v průběhu zmačkání lze modelovat pomocí mechanických reologických modelů, které jsou tvořené pomocí základních prvků a to pružiny a viskózního tlumiče, viz obr. 14, 15.



Obr. 14. Elastický reologický prvek - pružina

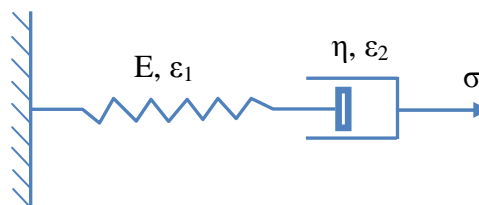


Obr. 15. Viskózní reologický prvek – viskózní tlumič

Sobotka [53] ve své studii uvádí následující reologické modely, které lze použít pro aproximaci experimentální křivky zotavení po zmačkání: Maxwellův model, Kelvinův model, Thompsonův model, Zeyerův model. Poslední tři modely jsou modely, u kterých se po odlehčení v čase $t = \infty$ těleso vrací zpět do původní polohy. Nevzniká zde žádná trvalá deformace. Pro modelaci křivky zotavení je proto vhodné použít modely obsahující viskózní tlumič. Po odlehčení zatížení se poloha viskózního tlumiče nemění, pístit nemá dostatečnou energii na návrat do původní polohy a vzniká trvalá deformace. Další možností je kombinace uvedených reologických modelů. Jako jednou z nejvhodnějších kombinací pro aproximaci experimentální křivky zotavení se jeví Maxwellův model a různé kombinace modelů (Maxwellův - Kelvinův model).

3.2.1 Model 1 - Maxwellův reologický model

Maxwellův reologický model vzniká sériovým spojením pružiny a viskózního tlumiče, viz obr. 16.



Obr. 16. Maxwellův reologický model

Deformace Maxwellova modelu se dělí na čistě elastickou a čistě plastickou složku. Elastickou deformaci lze modelovat pružinou, pro kterou platí vztah:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_1 \quad (5)$$

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{d\sigma}{Edt} \quad (6)$$

Plastickou deformaci modeluje viskózní tlumič. Pro tento prvek platí:

$$\sigma = \eta \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (7)$$

$$\frac{d\varepsilon_2}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} \quad (8)$$

Kde: σ – napětí [Pa], E – modul pružnosti [Pa], ε_1 – deformace pružného prvku [-]. η – koeficient viskozity [Pa.s], ε_2 – deformace viskózního tlumiče [-]

Celková deformace Maxwellova modelu je daná součtem deformací jednotlivých prvků reologického modelu dle vztahu:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (9)$$

a napětí je stejné

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 \quad (10)$$

Základní reologická rovnice vyjadřuje součet rychlostí deformace pružného prvku a viskózního tlumiče.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (11)$$

Je-li napětí stále v čase, lze deformaci vyjádřit vztahem:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{\eta} \cdot t_z \quad (12)$$

První člen rovnice vyjadřuje vratnou elasticou deformaci, která po odlehčení vymizí a druhý člen zabezpečí nevratnou plastickou deformaci, která s časem zatížení roste a po odlehčení zůstává.

Stanovení reologických parametrů Maxwellova modelu

Analýza mačkavosti prostřednictvím křivky zotavení vyžaduje zjištění následujících parametrů E , η . Z experimentální křivky zotavení můžeme získat σ , ε_1 , ε_2 , $\varepsilon_{(t)}$. Parametr E vyjádříme z Hookova zákona:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_e} \quad (13)$$

Koeficient viskozity η vyjádříme z Newtonova zákona:

$$\eta = \frac{\sigma}{\varepsilon_{300}} \cdot t_z \quad (14)$$

kde: E – modul pružnosti [Pa], σ – napětí [Pa], ε_e – elastická deformace [-], η – koeficient viskozity [Pa.s], ε_{300} – deformace ve 300s zotavení [-], t_z – doba zatížení vzorku [s].

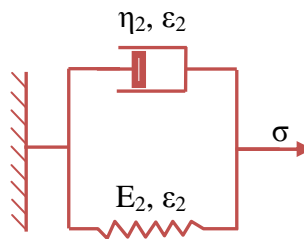
Při zotavení volného ramene vzorku po odlehčení zatížení textilie je napětí $\sigma = 0$ a $d\varepsilon/dt = 0 \rightarrow \varepsilon = \text{konstanta}$. Pro deformaci ε v době zotavení pak platí vztah:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\eta} \cdot t_z \quad (15)$$

Po odlehčení se pružina vrací do původní polohy a zůstává deformace, která je vytvořena v době zatížení u viskózního pístu, který nemá dostatek energie na návrat do původního stavu. Tato deformace je po celou dobu relaxace konstantní.

3.2.2 Model 2 - Kelvinův reologický model

Kelvinův model (Voigtův model) se skládá z pružiny a viskózního tlumiče zapojených paralelně, viz obr. 17.



Obr. 17. Kelvinův reologický model

Vlivem tohoto zapojení je deformace obou prvků modelu stejná a platí:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 \quad (16)$$

Napětí se rovná součtu napětí na jednotlivých větvích modelu a potom platí vztah:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (17)$$

Kde:

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 \quad (18)$$

$$\sigma_2 = \eta \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (19)$$

Pro Kelvinův reologický model platí diferenciální rovnice:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_1 + \eta \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (20)$$

Kde: σ – napětí [Pa], ε_1 – okamžitá deformace [-], η – koeficient viskozity [Pa.s], ε_2 – viskoelastická deformace [-].

Změna deformace s časem při stálém napětí nastává účinkem dočasného spolupůsobení pružiny a viskózního tlumiče. Při zatížení textilie vzniká konstantní napětí, které působí u viskózního prvku v prvním okamžiku jako tuhá hmota a deformace se zvětšuje s časem. Křivka se blíží k hodnotě pružného elementu:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E} \quad (21)$$

Pro deformaci při $t = 0$ je deformace $\varepsilon(0)$ a platí vztah:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} - \frac{\sigma}{E} \cdot \exp\left(-\frac{E}{\eta} \cdot t\right) = \frac{\sigma}{E} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{E}{\eta} \cdot t\right)\right) \quad (22)$$

Deformace Kelvinova modelu je vratná deformace. Ke ztrátě deformace však nedochází okamžitě po odlehčení.

Stanovení reologických parametrů Kelvinova modelu

Analýza mačkovosti prostřednictvím křivky zotavení vyžaduje vyjádření parametrů jako E , η . Z experimentální křivky zotavení můžeme získat σ , ε_1 , ε_2 , $\varepsilon_{(t)}$. Stanovením konstant X lze z experimentální křivky zotavení určit podíl E/η .

$$X = \frac{E}{\eta} = \frac{1}{t_2 - t_{10}} \ln \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{10}} \quad (23)$$

kde: E - modul pružnosti [Pa], η , - koeficient viskozity [Pa.s], t_{10} – čas relaxace 10s, t_2 – čas relaxace ve 2s, ε_{10} – deformace v 10s relaxace [-], ε_2 – deformace ve 2s relaxace [-].

Modul pružnosti E v Kelvinově modelu lze stanovit z následující rovnice:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_v} (1 - \exp(-X \cdot t_z)) \quad (24)$$

kde: ε_v – celková viskoelastická deformace [-], t_z – doba zatížení [s].

Poté lze vyjádřit viskozitu η následovně:

$$\eta = \frac{E}{X} \quad (25)$$

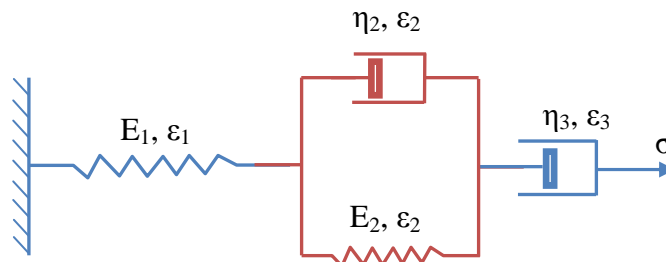
V našem případě při relaxaci odlehčeného vzorku textilie je $\sigma(t) = 0$ pro $t > 0$. Deformace s využitím Kelvinova modelu je daná vztahem:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} \cdot \exp\left(-\frac{E}{\eta} \cdot t\right) \quad (26)$$

kde: σ – napětí [Pa], E – modul pružnosti, η – koeficient viskozity [Pa.s],
 t – čas zotavení [s].

3.2.3 Model 3 - složený Maxwell - Kelvinův reologický model

Složený reologický model se skládá z Maxwelova a Kelvinova modelu sériovým spojením, viz obr. 18. Pružina Maxwelova modelu zabezpečí okamžité zotavení textilie po odlehčení, elastickou deformaci. Viskózní tlumič určuje plastickou (trvalou) deformaci vzniklou v textilii v průběhu zatížení. Kelvinův model zabezpečuje viskoelastickou deformaci závislou na čase zotavení.



Obr. 18. Maxwell – Kelvinův reologický model (M-K)

Pro jednotlivé prvky reologického modelu platí:

Kelvinův model:

$$\sigma = E_2 \cdot \varepsilon_2 + \eta \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (27)$$

Pružina:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_1 \quad (28)$$

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{d\sigma}{Edt} \quad (29)$$

Viskózní tlumič:

$$\sigma = \eta \cdot \frac{d\varepsilon_3}{dt} \quad (30)$$

$$\frac{d\varepsilon_3}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} \quad (31)$$

Celková deformace je daná součtem jednotlivých deformací a to samé platí pro napětí.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (32)$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (33)$$

$$\sigma = E_1 \cdot \varepsilon_1 = E_2 \cdot \varepsilon_2 + \eta_2 \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} = \eta_3 \cdot \frac{d\varepsilon_3}{dt} \quad (34)$$

Kde: E_1, E_2 – moduly pružnosti [Pa], η_2, η_3 – koeficienty viskozity [Pa.s].

Stanovení reologických parametrů Maxwellova - Kelvinova modelu

Analýza mačkovosti prostřednictvím křivky zotavení vyžaduje zjištění následujících parametrů E_1, E_2, η_2, η_3 . Z experimentální křivky zotavení můžeme získat $\sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_{300}, \varepsilon_{(t)}$. Z exponenciální křivky zotavení lze dopočítat $\varepsilon_e, \varepsilon_v, \varepsilon_p$.

Parametr E_1 vyjádříme z Hookůva zákona:

$$E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon_e} \quad [Pa] \quad (35)$$

kde: σ – napětí [Pa], ε_e – okamžitá elastická deformace [-].

Viskozitu η_3 vyjádříme z Newtonova zákona, když $\varepsilon_p = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t)$:

$$\eta_3 = \frac{\sigma}{\varepsilon_p} \cdot t_z \quad [Pa \cdot s] \quad (36)$$

kde: σ – napětí [Pa], ε_p – plastická deformace [-], t_z – doba zatížení [s].

Podíl E_2/η_2 lze stanovit z křivky zotavení pomocí koeficientu X:

$$X = \frac{E_2}{\eta_2} = \frac{1}{t_{20} - t_2} \ln \frac{\varepsilon_{20} - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (37)$$

Kde: E_2 - modul pružnosti [Pa], η_2 - koeficient viskozity [Pa.s], t_{20} – čas zotavení 20s, t_2 – čas zotavení ve 2s, ε_{20} – deformace ve 20s zotavení [-], ε_2 – deformace ve 2s relaxace [-], ε_p – plastická deformace [-], ε_1 – deformace ve 1s zotavení.

Modul pružnosti v Kelvinově modelu E_2 lze stanovit z následující rovnice:

$$E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_v} (1 - \exp(-X \cdot t_z)) \quad [Pa] \quad (38)$$

kde: ε_v – viskoelastická deformace [-], t_z – doba zatížení [s].

Poté lze vyjádřit viskozitu η_2 následovně:

$$\eta_2 = \frac{E_2}{X} \quad [Pa \cdot s] \quad (39)$$

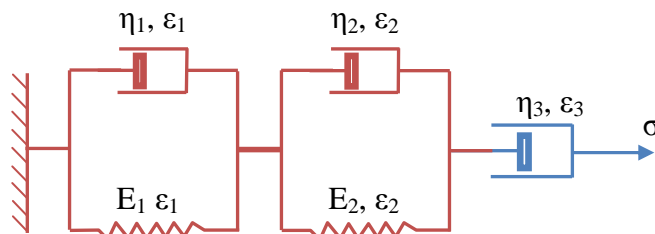
V našem případě při relaxaci volného ramene vzorku je po odlehčení zatížení textilie v době relaxace napětí $\sigma(t) = 0$ pro $t > 0$. Deformaci složeného reologického modelu M-K modelu lze stanovit dle následujícího vztahu:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{\eta_3} \cdot t_z + \frac{\sigma}{E_2} \cdot \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t\right) \quad [-] \quad (40)$$

kde: σ – napětí [Pa], η – koeficient viskozity [Pa.s], t_z – doba zatížení [s].

3.2.4 Model 4 - složený reologický model Kelvin - Kelvin - viskózní tlumič

Další snahou bylo využít Kelvinův reologický model pro náhradu elastického prvku v předchozím modelu, viz obr. 19. Cílem bylo pomocí přidaného modelu lépe popsat okamžité zotavení a zotavení v prvních vteřinách.

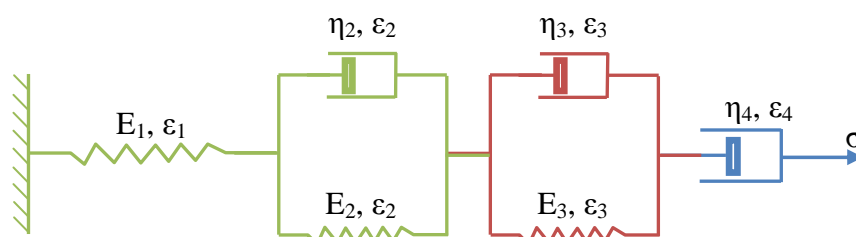


Obr. 19. Složený reologický model Kelvin – Kelvin – viskózní tlumič (K-K-V model)

Tento model neplnohodnotně popisuje zmíněné chování, proto byl vyloučen a již se s ním dál nepracovalo. Model potvrdil předpoklady o skokovém zotavení textilií a ukazuje na nutnosti použít právě elastický prvek (pružinu) pro popis této elastické deformace. Pro vyhlazení průběhu zotavení na začátku a konci relaxace byly v dalším modelu dále použity dva Kelvinovy reologické modely.

3.2.5 Model 5 - složený reologický model Thompson-Kelvin-viskózní tlumič

Složený reologický model byl vytvořený sériovým zapojením standardního Burgerova reologického modelu (Poyntigova-Thompsonova modelu) s Kelvinovým modelem a viskózním tlumičem, viz obr. 20.



Obr. 20. Složený reologický model Thompson-Kelvin-viskózní tlumič (T-K-V model)

Pomocí Thompsonova reologického modelu byly odstraněny nedostatky předcházejících reologických modelů. Sériové spojení pružiny a dvou Kelvinových modelů a viskózního tlumiče vychází z podmínky stejného napětí ve všech částech modelu. Výsledná deformace je dána součtem dílčích deformací ve všech větvích modelu. A to z deformace pružiny ε_1 , deformace Kelvinova modelu 1 ε_2 (určuje ε_{v1}), deformace Kelvinova modelu 2 ε_3 (určuje ε_{v2}) a deformace viskózního tlumiče ε_4 (určuje ε_p). Celková deformace je pak dána:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 \quad (41)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \frac{d\varepsilon_2}{dt} + \frac{d\varepsilon_3}{dt} + \frac{d\varepsilon_4}{dt} \quad (42)$$

a pro napětí platí:

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 \quad (43)$$

$$\sigma = E_1 \cdot \varepsilon_1 = E_2 \cdot \varepsilon_2 + \eta_2 \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} = E_3 \cdot \varepsilon_3 + \eta_3 \cdot \frac{d\varepsilon_3}{dt} = \eta_4 \cdot \frac{d\varepsilon_4}{dt} \quad (44)$$

Kde: E_1, E_2, E_3 – moduly pružnosti [Pa], η_2, η_3, η_4 – koeficienty viskozity [Pa.s].

Modul E_1 jako parametr první pružiny, vyjadřuje elastické vlastnosti nezávislé na čase. Parametry pružin E_2, E_3 popisují viskoelastické vlastnosti. Velikost viskoelastické deformace závisí na rychlosti zotavení. Tato rychlost se v době relaxace zmenšuje. E_2 je modul pružnosti popisující viskoelastické vlastnosti v prvních 20 vteřinách zotavení a modul pružnosti E_3 popisuje viskoelastické vlastnosti po 20 vteřinách relaxace. V prvních vteřinách se vzorek zotavuje mnohem větší rychlostí. Proto byla tato skutečnost brána v úvahu pro modelování křivky zotavení.

Stanovení reologických parametrů modelu Thompson-Kelvin- viskózní tlumič

Analýza mačkovosti prostřednictvím křivky zotavení vyžaduje zjištění následujících parametrů $E_1, E_2, E_3, \eta_2, \eta_3, \eta_4$. Z experimentální křivky zotavení můžeme získat $\sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_{300}, \varepsilon_{(t)}$. Z exponenciální křivky zotavení lze dopočítat $\varepsilon_e, \varepsilon_{v1}, \varepsilon_{v2}, \varepsilon_p$. Viskoelastická deformace ε_{v1} je deformace vymezená časem od 1s do 20s, od 20s do 300s je deformací ε_{v2} .

Parametr E_1 vyjádříme z Hookůva zákona:

$$E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon_e} \quad [Pa] \quad (45)$$

kde: σ – napětí [Pa], ε_e – okamžitá elastická deformace [-].

Koeficient viskozity η_4 vyjádříme z Newtonova zákona, když $\varepsilon_p = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t)$:

$$\eta_4 = \frac{\sigma}{\varepsilon_p} \cdot t_z \quad [Pa \cdot s] \quad (46)$$

kde: σ – napětí [Pa], ε_p – plastická deformace [-], t_z – doba zatížení [s].

Z Kelvinových modelů lze vyjádřit reologické konstanty E_2 , E_3 , η_2 , η_3 . Podíl E_2/η_2 lze stanovit z křivky zotavení pomocí konstanty X . První model Kelvina popisuje viskoelastické vlastnosti v prvních vteřinách dle vztahu:

$$X = \frac{E_2}{\eta_2} = \frac{1}{t_5 - t_2} \ln \frac{\varepsilon_5 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (47)$$

Druhý Kelvinův model popisuje viskoelastické vlastnosti po 20s relaxace vzorku textilie. Konstanta X je daná vztahem:

$$X = \frac{E_3}{\eta_3} = \frac{1}{t_{20} - t_{10}} \ln \frac{\varepsilon_{20} - (\varepsilon_1 + \varepsilon_{V1})}{\varepsilon_{10} - (\varepsilon_1 + \varepsilon_{V1})} \quad (48)$$

Moduly pružnosti E_2 , E_3 lze stanovit z následující rovnice:

$$E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_{V1}} (1 - \exp(-X \cdot t_z)) \quad [Pa] \quad (49)$$

$$E_3 = \frac{\sigma}{\varepsilon_{V2}} (1 - \exp(-X \cdot t_z)) \quad [Pa] \quad (50)$$

kde: ε_v – viskoelastická deformace [-], t_z – doba zatížení [s].

Poté lze vyjádřit koeficienty viskozity η_2 , η_3 následovně:

$$\eta_2 = \frac{E_2}{X} \quad [Pa \cdot s] \quad (51)$$

$$\eta_3 = \frac{E_3}{X} \quad [Pa \cdot s] \quad (52)$$

Deformaci složeného reologického modelu M-K modelu lze stanovit dle následujícího vztahu:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{\eta_4} \cdot t_z + \frac{\sigma}{E_2} \cdot \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t\right) + \frac{\sigma}{E_3} \cdot \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} \cdot t\right) \quad (53)$$

V této kapitole jsou uvedeny teoretické vztahy pro výpočet reologických modelů. Výsledky modelování křivky zotavení pomocí uvedených reologických modelů pro námi zkoumané tkaniny jsou součástí kapitoly 6.

4 Analýza mačkovosti plošných textilií

Pro experimentální měření byly použity tři sady materiálů. První sadu materiálů S1-S5 tvoří rezné textilie ze 100% bavlny. Osnovní a útkové nitě jsou z jednoduchých česaných přízí o jemnosti 29,5 tex, se zákrutem Z. Materiály mají shodnou dostavu osnovy (Do). Dostava útku (Dú) se mění od 100–260 nití/10cm. Druhou sadu materiálů M33–M58 tvoří rezné bavlněné textilie, charakteristika viz tab. 1. Osnovní a útkové nitě jsou dvojmo skané česané bavlněné příze se zákrutem S. Jemnost osnovních nití je 20x2 tex, útkových nití 16,5x2 tex. Sadu vzorků tvoří textilie různých vazeb a čtyř různých dostav útku. Textilie označené (M25–M32) sloužily k ověření predikčních modelů.

Tab. 1. Charakteristika materiálů – rezné textilie

P.č	Mat. složení	vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do [n./10cm]	Dú [n./10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
S1	100%CO	plátno	29,5	29,5	230	100	106	0,56
S2	100%CO	plátno	29,5	29,5	230	150	120	0,48
S3	100%CO	plátno	29,5	29,5	230	190	140	0,47
S4	100%CO	plátno	29,5	29,5	230	240	160	0,45
S5	100%CO	plátno	29,5	29,5	230	260	165	0,49
M33	100%CO	plátno	40	33	240	240	181,9	0,4
M34	100%CO	atlas	40	33	240	240	178,8	0,58
M 35	100%CO	kepr 1/2	40	33	240	240	176,6	0,47
M 36	100%CO	kepr 1/4	40	33	240	240	175,2	0,57
M37	100%CO	plátno	40	33	240	220	171,7	0,41
M38	100%CO	atlas	40	33	240	220	168,6	0,59
M39	100%CO	kepr 1/2	40	33	240	220	169,9	0,47
M40	100%CO	kepr 1/4	40	33	240	220	168,5	0,59
M41	100%CO	plátno	40	33	240	200	166,1	0,43
M42	100%CO	atlas	40	33	240	200	160,7	0,62
M43	100%CO	kepr 1/2	40	33	240	200	163,3	0,47
M44	100%CO	kepr 1/4	40	33	240	200	160,0	0,6
M45	100%CO	plátno	40	33	240	180	158,0	0,44
M46	100%CO	atlas	40	33	240	180	152,8	0,6
M47	100%CO	kepr 1/2	40	33	240	180	156,3	0,49
M48	100%CO	kepr 1/4	40	33	240	180	152,9	0,61
M25	100%CO	plátno	40	40	240	180	175	0,41
M26	100%CO	atlas	40	40	240	180	170	0,58
M27	100%CO	kepr 1/2	40	40	240	180	169,9	0,45
M28	100%CO	kepr 1/4	40	40	240	180	168,7	0,55
M29	100%CO	plátno	40	40	240	160	162	0,40
M30	100%CO	atlas	40	40	240	160	159	0,58
M31	100%CO	kepr 1/2	40	40	240	160	160,9	0,48
M32	100%CO	kepr 1/4	40	40	240	160	156,6	0,56

Třetí sadu zkoumaných materiálů s označením Z1–Z8 tvoří barvené běžné oděvní textilie používané pro výrobu svrchního ošacení, charakteristika viz tab. 2. Textilie s označením U1–U6, viz tab. 3, byly použity pro experiment nošení, kde byl zkoumán vliv úpravy bělení a barvení na mačkovost. Experimentální textilie jsou uvedené v příloze 1.

Tab. 2. Charakteristika materiálů – různé materiálové složení, barvené textilie

P.č	Mat. složení	vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do [n./10cm]	Dú [n./10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
Z1	100% PL	plátno	41	39,1	270	180	178	0,5
Z2	100% CO	plátno	29	29,7	260	250	152,9	0,37
Z3	100% CO	plátno	28,2	29,4	240	210	123,6	0,4
Z4	100% CO	plátno	28,8	30,9	260	190	137,7	0,4
Z5	100% LI	plátno	54	53,6	170	140	194,9	0,44
Z6	100% LI	plátno	26,3	25,6	230	210	110,6	0,34
Z7	100% WO	plátno	24,8	23,6	290	250	140,9	0,25
Z8	90% VI/ 10% CO	plátno	18,9	13,4	390	290	114,7	0,27

Tab. 3. Charakteristika materiálů – s různou úpravou

P.č	Mat. složení	vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do [n./10cm]	Dú [n./10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
U1	100% CO - R	plátno	20	20	285	255	115	0,55
U2	100% CO - B	plátno	20	20	285	255	115	0,63
U3	100% CO - Ba	plátno	20	20	285	255	115	0,44
U4	100% CO - R	plátno	29,5	29,5	255	225	145	0,74
U5	100% CO - B	plátno	29,5	29,5	255	225	145	0,66
U6	100% CO - Ba	plátno	29,5	29,5	255	225	145	0,61

Poznámka: R – režná, B – bělená, Ba – barvená,

4.1 Anizotropie mačkovosti plošných textilií

Většina autorů publikovaných studií na anizotropii mačkovosti plošných textilií např. [18], [24], [23] měří vzorky pouze v prvním kvadrantu, resp. pro směry pootočení 0–90°, poté získané hodnoty kopírují dle symetrie do zbývajících kvadrantů. Autoři předpokládají, že osa symetrie leží v přímce 0° a 180° a zbylé úhly také kopírují dle osové symetrie např. 30° a 330°. Jak je patrné z obr. 22 naše výzkumy potvrzují, že osa symetrie je v přímce 60° a 240° a proto lze doporučit anizotropii kopírovat dle středové souměrnosti. Při hodnocení mačkovosti tedy symetrii vykazují hodnoty úhlu zotavení ve směrech 0° a 180°, 30° a 210°, atd. Hodnocení anizotropie úhlu zotavení lze, v případě porovnávání textilií s blízkými parametry mačkovosti, použít jako charakteristiku, která pomůže odhalit kvalitu zotavení resp. i nemačkovosti textilie. Z vytvořených obrázků

polárních diagramů pro jednotlivé tkaniny vystupují parametry jako velikost úhlu zotavení pro různé směry a parametr symetrie úhlu zotavení, které mohou poukázat na kvalitu hodnocené vlastnosti. Jak chápat anizotropii zotavení textilií vysvětlíme dle následujících obrazců polárních diagramů, viz obr. 21.

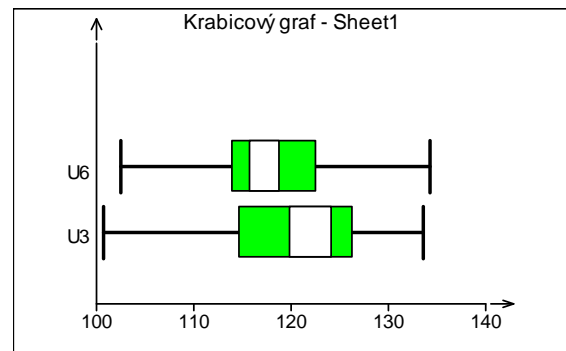
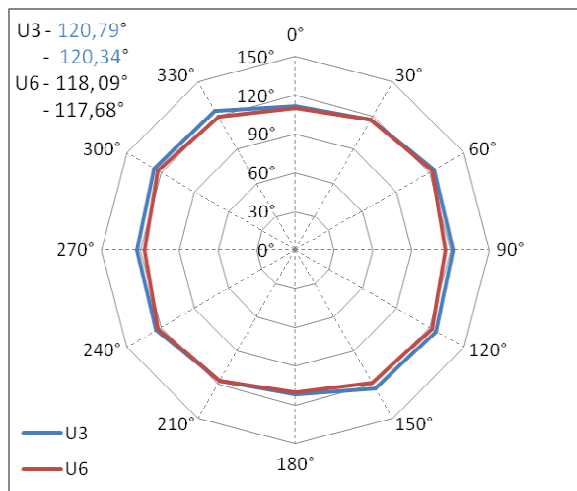
Případ 1: porovnává dvě tkaniny, u kterých lze pozorovat symetrické zotavení (polární diagram obou tkanin má tvar kružnice) a svědčí o identickém zotavení tkanin ve všech směrech. Vzhledem k symetričnosti mačkovosti vykazují obě textilie stejnou kvalitu mačkovosti. Rozhodujícím parametrem kvality mačkovosti textilie bude tedy velikost úhlu zotavení. Vyšších hodnot úhlu zotavení nabývá vzorek textilie U3 (modrá křivka). Z polárního diagramu lze pozorovat vyšší hodnoty u tohoto vzorku ve většině zkoušených směrů. Hodnota celkového průměrného úhlu zotavení ze všech hodnocených směrů je uvedena v levém horním rohu grafu (první hodnota - aritmetický průměr $120,79^\circ$, druhá hodnota - harmonický průměr $120,34^\circ$) určily také nižší mačkovost textilie U3.

Případ 2: porovná dvě textilie, u jedné z nich byl prokázán sklon k anizotropnímu chování k větším hodnotám úhlu zotavení právě v diagonálních směrech a to ve směrech: 120° a 300° , 150° a 330° . Ve zbylých diagonálních směrech a také ve směrech osnovy a útku obě textilie vykazují shodné zotavení. Zde vlivem většího zotavení a odhalení projeveného anizotropního chování lze textili U2 určit za jako méně mačkovou. V případě hodnocení mačkovosti pouze ze směrů osnovy a útku, by toto určení nebylo možné, nebo by bylo složitější, jelikož v těchto směrech obě textilie vykazují podobné hodnoty úhlu zotavení. V tomto případě se projevil prioritní parametr mačkovosti a to velikost úhlu zotavení, který se zvýšil hlavně v diagonálním směru.

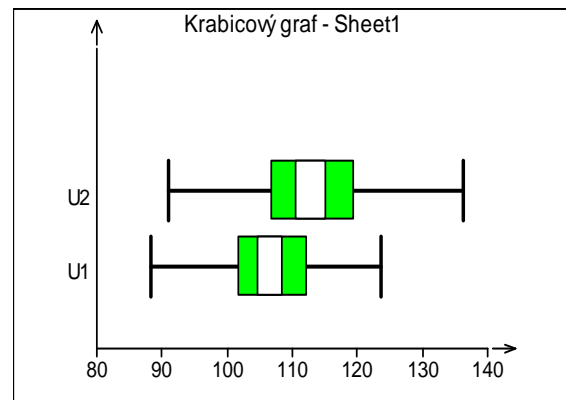
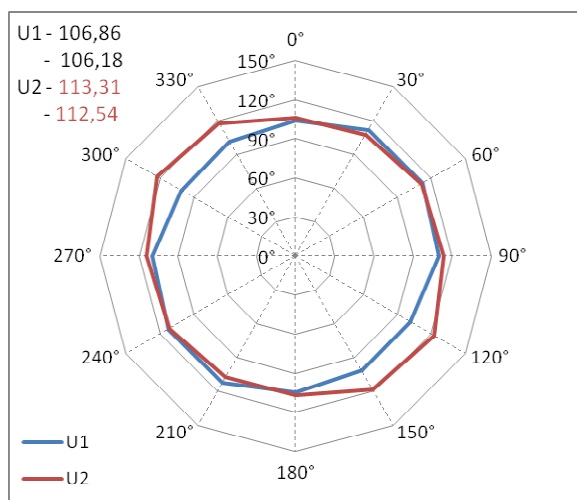
Případ 3: ukazuje na prioritní parametr kvality textilie, tedy na symetričnost hodnocené mačkovosti. Jsou zde porovnávány textilie s velmi blízkými hodnotami zotavení. Textilie B1 (modrá křivka v polárním diagramu) vykazuje symetričtější zotavení, a také vzhledem k menšímu rozptylu úhlu zotavení lze textili označit za méně mačkovou.

Vysvětlené případy jak číst v anizotropním chování úhlu zotavení ukázaly, že nemačkové textilie jsou takové, které mají vyšší úhel zotavení, symetricky rozloženého v polárním diagramu. Textilie vykazuje izotropní chování úhlu zotavení.

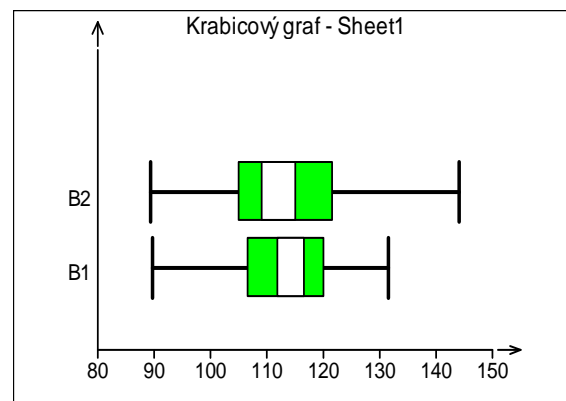
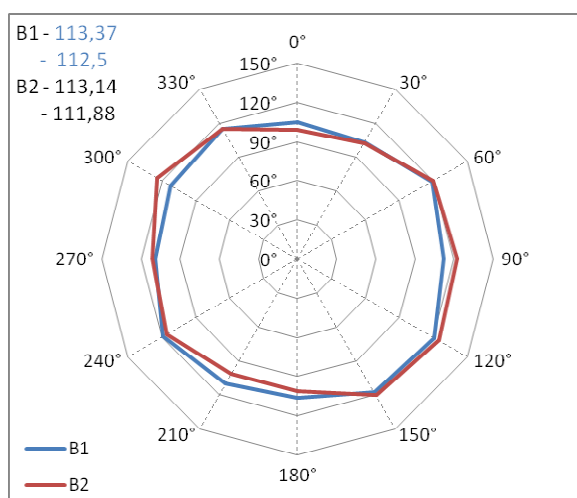
1. Příklad anizotropie



2. Příklad anizotropie



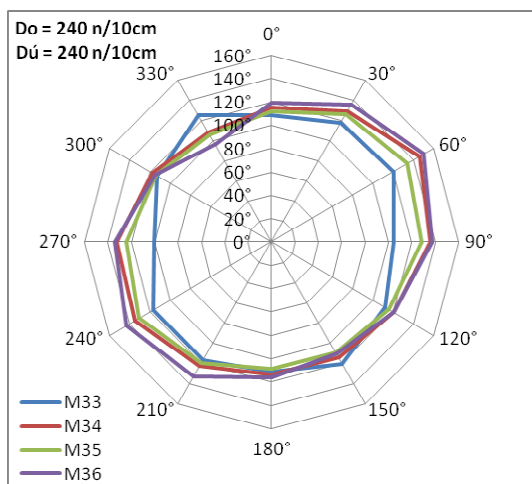
3. Příklad anizotropie



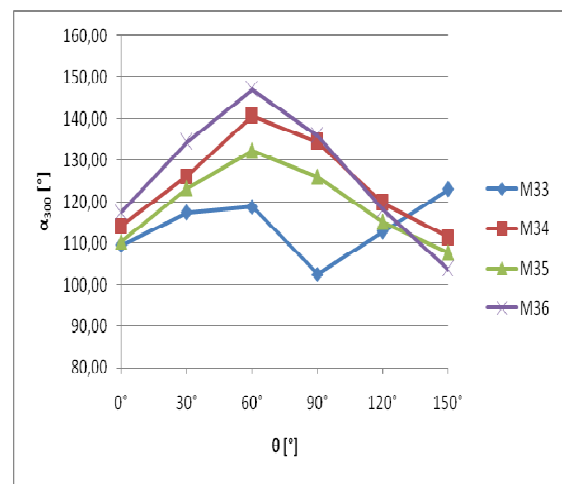
Obr. 21. Případy anizotropního mačkového chování tkanin

Vliv konstrukčních parametrů textilie na anizotropii mačkavosti

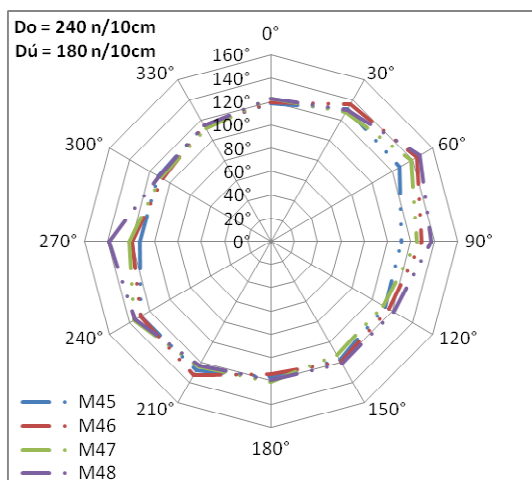
Jak uvádí Kovář [61] „*tkaniny*“ mají výrazně nerovnoměrnou orientaci nití a vláken do různých směrů. Nerovnoměrná charakteristika směrového rozložení nižších struktur ovlivňuje řadu vlastností, které se stávají směrově závislými.“ Jednou z vlastností je i anizotropie mačkavosti tkanin zapříčiněná mimo jiné, i vlivem vazby a dostavy, jak je patrné z obrázků polárního diagramu, viz obr. 22 až obr. 25. Největšího zotavení, a tedy nejmenší mačkavosti, bylo dosaženo bez ohledu na druh použité vazby, v diagonálních směrech, resp. ve směrech střihu 30° a 60° a 210° a 240°. Z obrázků polárního diagramu lze pozorovat značné rozdíly ve tvarech obrázků anizotropního úhlu zotavení mezi vazbou plátňovou (M33) a ostatními vazbami.



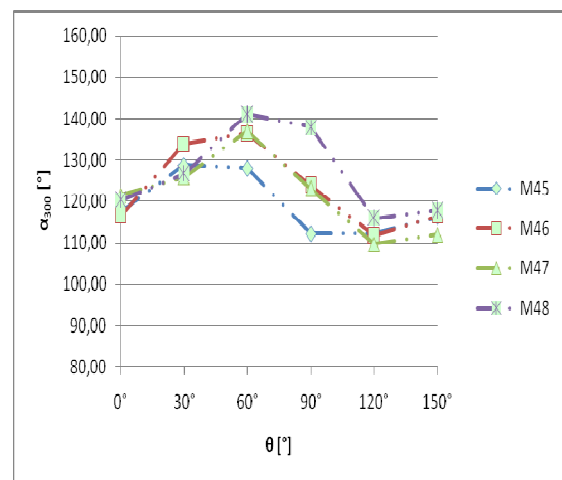
Obr. 22. Polární diagram: plátňo (modrá), atlas (červená), K1/2 (zelená), K1/4 (fialová)



Obr. 23. Vliv vazby na zotavení (Dú = 240 n/10 cm)



Obr. 24. Polární diagram: plátňo (modrá), atlas (červená), K1/2 (zelená), K1/4 (fialová)

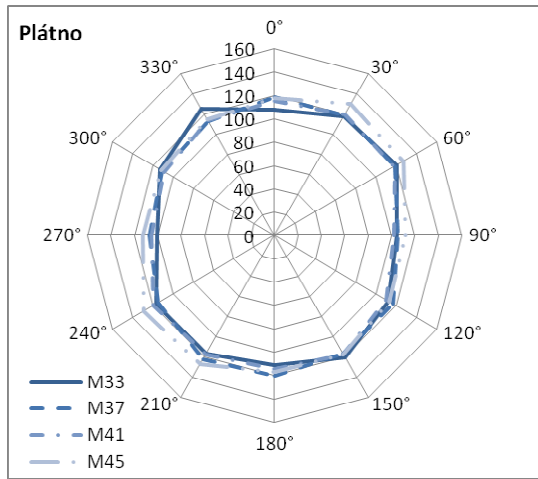


Obr. 25. Vliv vazby na zotavení (Dú = 180 n/10 cm)

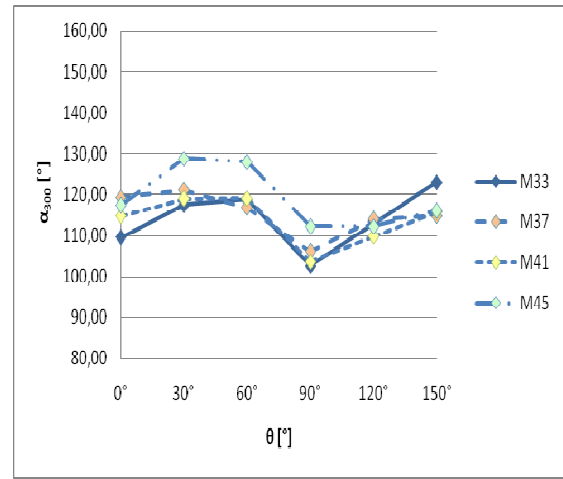
Je patrné, že největší rozdíly úhlu zotavení v závislosti na směru vykazují vazby atlasová a keprové (M34, M35, M36). Největší rozdíly mezi vazbami byly shledané u nejvyšší dostavy útku tedy u dostavy $D_o = 240 \text{ n}/10\text{cm}$ a $D_u = 240 \text{ n}/10\text{cm}$, viz obr. 22. Z obr. 24 je patrné, že u nejnižšího počtu útkových nití, tedy při dostavě $D_o = 240 \text{ n}/10\text{cm}$ a $D_u = 180 \text{ n}/10\text{cm}$ se snížily rozdíly mezi vazbou nejvíce mačkavou (plátnovou vazbou, M45) a vazbou nejméně mačkavou (atlasovou vazbou, M48). Rozdíly mezi vazbami byly patrné především v diagonálních směrech a ve směru 90° (ve směru ohýbání útkových přízí) nežli ve směru 0° (ve směru ohýbání osnovních přízí). Čímž se ukazuje značný vliv provázání osnovních a útkových přízí na mačkavost textilií.

Vyšší zotavení hlavně v diagonálních směrech keprové vazby můžeme přisoudit silnému úhlopříčnému řádkování, ve kterém se vazné body dotýkají, což zabezpečuje v daných směrech větší pružnost. Toto chování je ovlivněno i delšími neprovázanými úseky nití, tzv. flotážemi, které se u keprové vazby nacházejí. U vazby atlasové jsou vazné body pravidelně rozloženy a vzájemně se nedotýkají. Vlivem volnější struktury atlasové vazby než je vazba keprová K1/4, je zotavení textilií v diagonálních směrech u této vazby nepatrně nižší. Zotavení osnovy a útku u obou vazeb zůstává přibližně stejné. S menší dostavou se zotavení obou vazeb ještě více vyrovnává. S nejnižší dostavou útku se keprová vazba K1/4 od vazby atlasové liší v diagonálním úhlu střížení 30° , ve kterém atlas dosahuje většího zotavení. Nejmenší počet útkových nití se u keprové vazby K1/4 nejvíce projevil ve směru útku 90° , kde úhel zotavení roste.

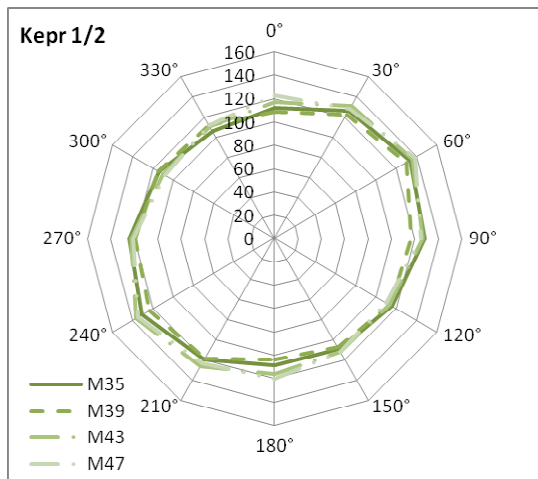
U textilií plátnové vazby pro všechny dostavy útku (M33, M37, M41, M45) je, vlivem pravidelného provázání osnovních a útkových přízí, hodnota úhlu zotavení ve směru osnovy nižší nežli ve směru útku, ale obě hodnoty úhlu zotavení jsou podstatně nižší, nežli zotavení v diagonálních směrech, viz obr. 26, 27. Nejmenší rozdíly mezi zotavením osnovy, útku a diagonálními směry jsou patrné při dostavě útku 200 a 220 n/10cm (textilie M37, M41). U vazby keprové K1/2, jak ukazuje obrazec polárního diagramu obr. 28, 29 je hodnota úhlu zotavení ve směru osnovy nižší nežli ve směru útku, ale obě hodnoty jsou podstatně nižší než v diagonálním směru a to především ve směru 60° . Tento jev byl pozorován jak u vazby atlasové, tak u vazby keprové K1/4, viz obr. 30, 31, 32, 33. Obrazce polárního diagramu jsou ve tvaru elipsy pootočené ve směru diagonály (60°) a jsou symetrické dle osy 60° a 240° .



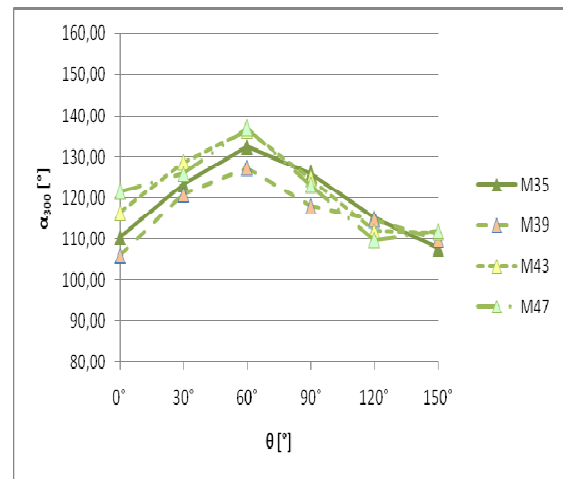
Obr. 26. Polární diagram plátnové vazby



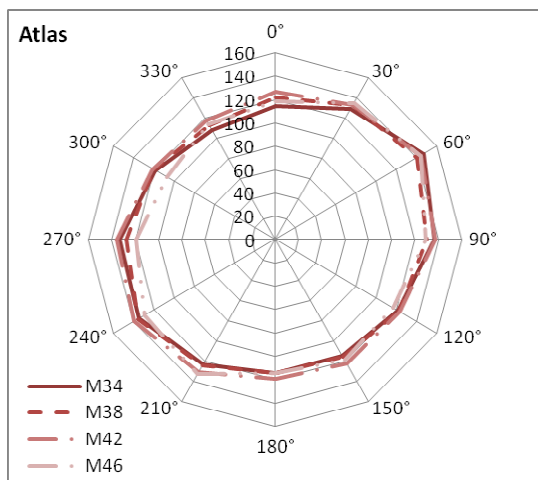
Obr. 27. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba plátno



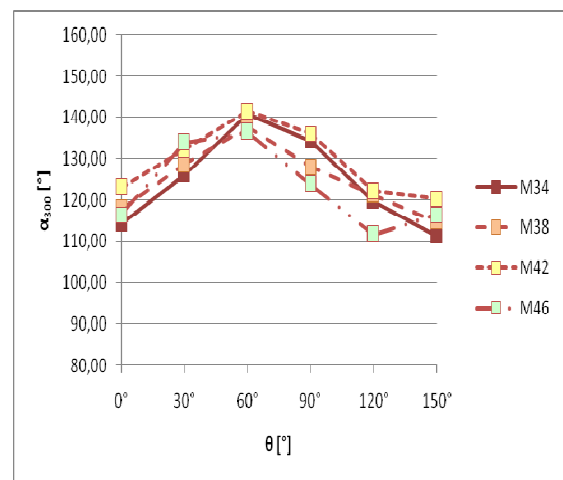
Obr. 28. Polární diagram keprové vazby K1/2



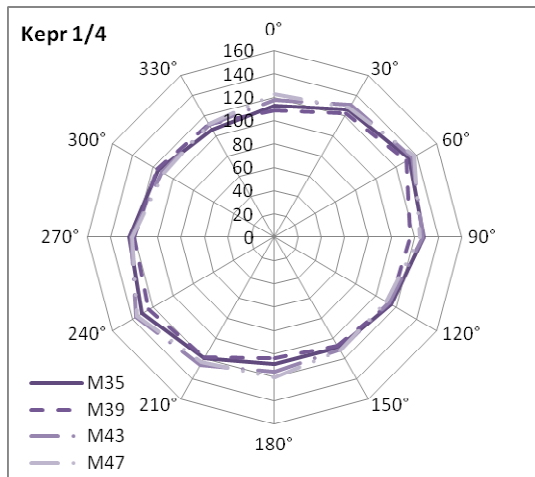
Obr. 29. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba kepr K1/2



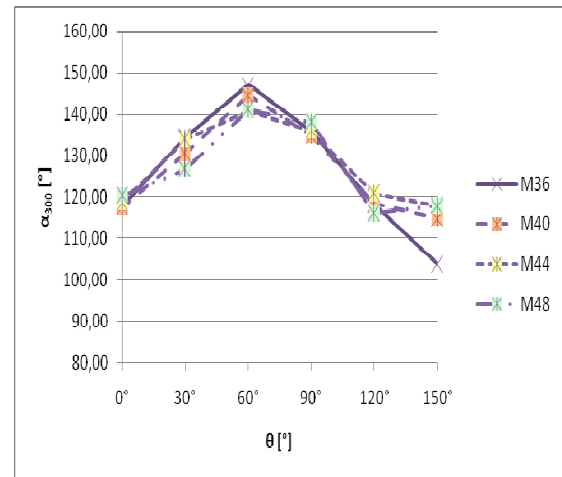
Obr. 30. Polární diagram vazby atlasové



Obr. 31. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba atlas



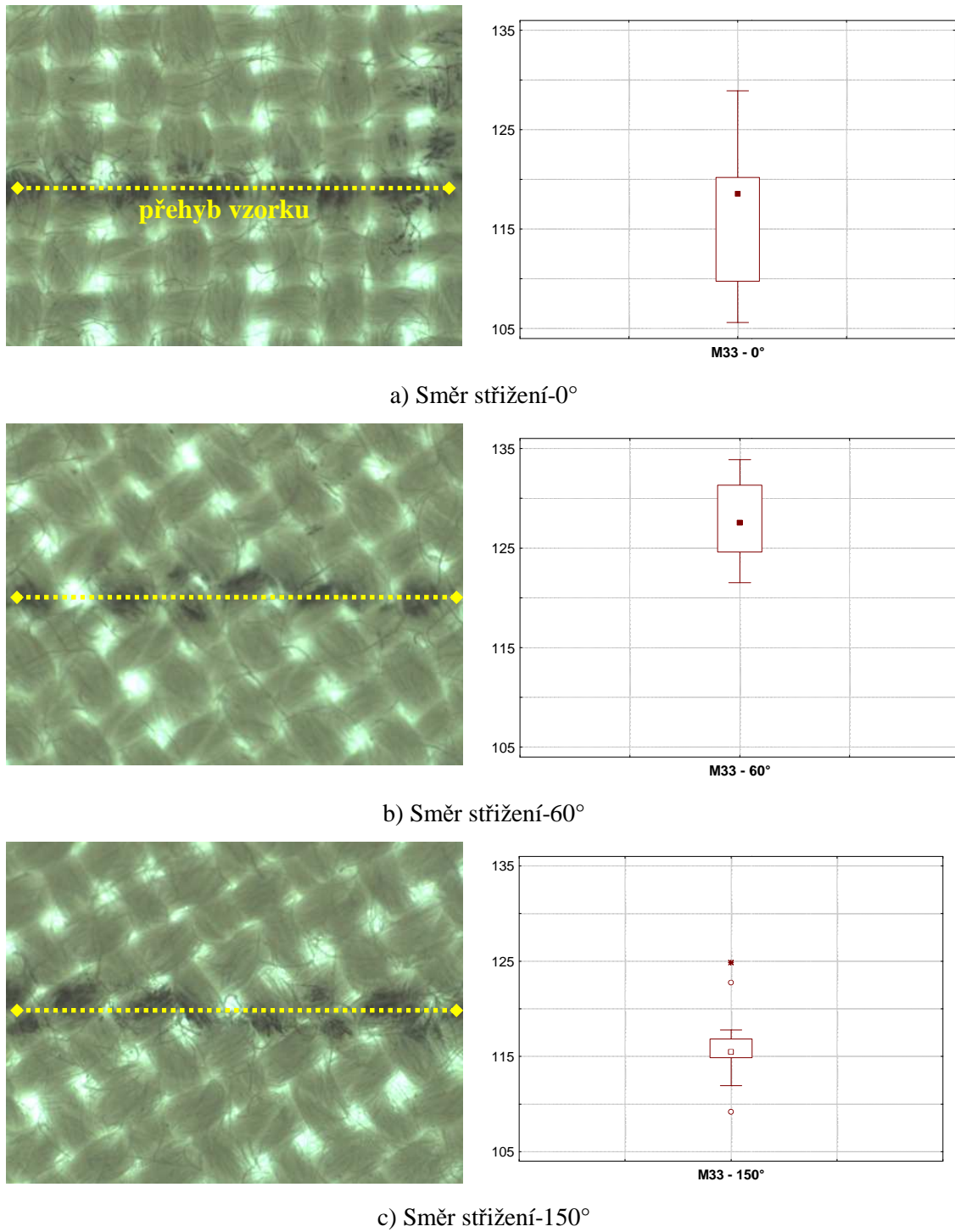
Obr. 32. Polární diagram vazby keprvé K1/4



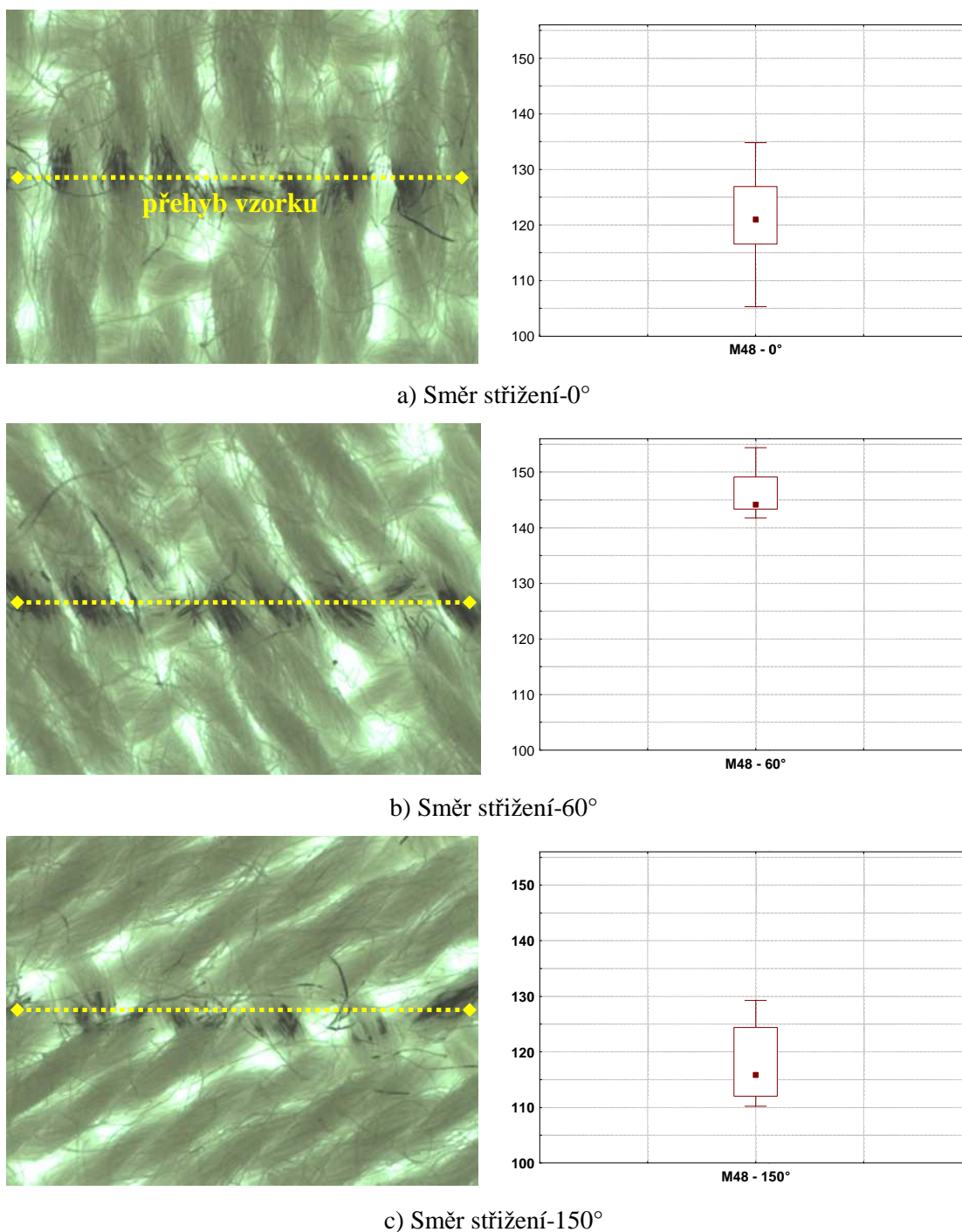
Obr. 33. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba kepr K1/4

Důvodem rozdílného zotavení textilie ve směru osnovy, útku a diagonálním může být rozdílný počet vazných bodů v příslušných směrech, jak je uvedeno na obr. 34, 35. Experimentem bylo zjištěno, že lepší relaxační vlastnosti vykazovala místa neprovázána, respektive v místě přeložení vzorku se vyskytoval nižší počet vazných bodů rozložených kolem linie přehybu, viz plátňová vazba obr. 34 b). Plátňová vazba tedy v důsledku změny uspořádání vazných bodů směrem k linii přehybu vzorku (žlutá linie) snižuje v těchto směrech svoji mačkovost. Naopak při výskytu velkého počtu vazných bodů pravidelně rozmístěných kolem linie přehybu relaxační schopnost textilie klesala, viz plátňová vazba obr. 34 a). Na obr. 35 je sledována linie rozložení vazných bodů vzhledem k linii přehybu u tkaniny s keprovou vazbou nebo směr plovoucích nití směrem k linii přehybu. Jak lze pozorovat z obr. 35 a) pokud linie přehybu textilie s plovoucími nitěmi vzájemně svírají pravý úhel nebo se plovoucí nitě blíží k rovině přehybu, pak tkanina dosáhla nižšího zotavení, než v případě kdy společně svírají malý úhel, viz obr. 35 b). Problematika však vyžaduje hlubší analýzu a bude předmětem dalšího výzkumu.

Jak ukazuje obr. 36, nadměrné snížení počtu útkových nití ohrožuje tvarovou stabilitu textilie. Objevuje se nedostatečné ukotvení jednotlivých přízí, což způsobí posuv jednotlivých nití ve vazných bodech. Tuto skutečnost můžeme pozorovat na textilií S1. Z obrazce polárního diagramu se ukazuje vyšší sklon tkaniny k anizotropnímu chování, tkanina vykazuje vyšší úhly zotavení v diagonálním směru 120° a 300°.



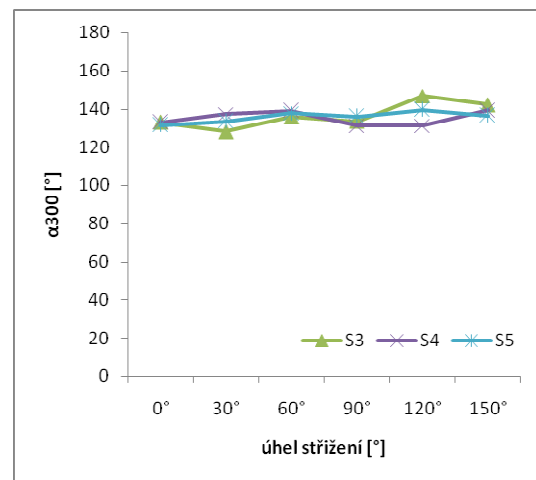
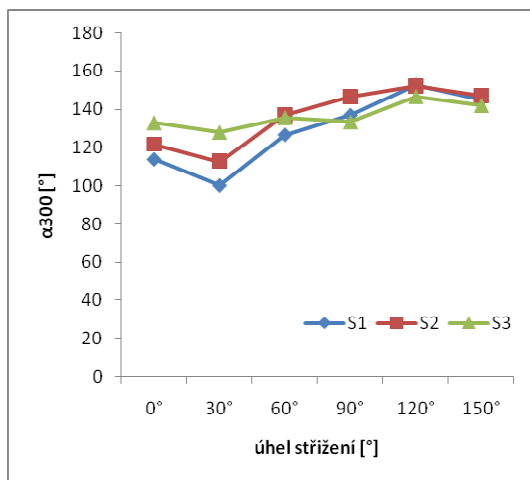
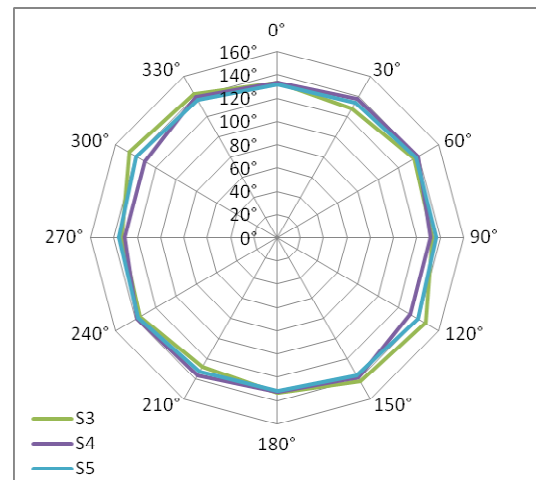
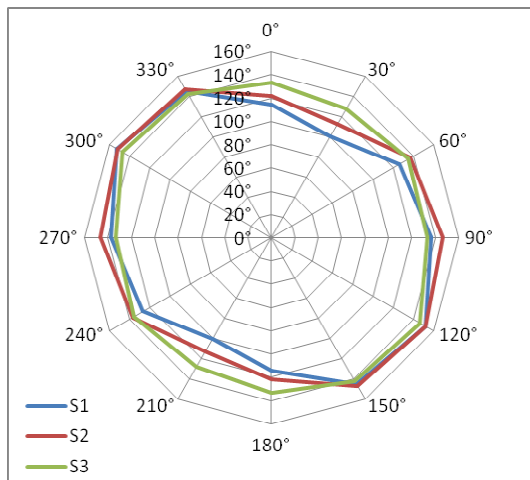
Obr. 34. Přehyb textilie v různých směrech střížení - vazba plátno (M33)



Obr. 35. Přehyb textilie v různých směrech střížení - vazba kepr K1/4 (M48)

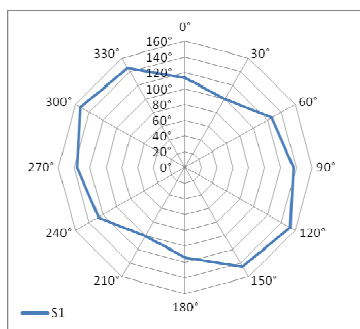
Opačný jev byl pozorován u textilie S5, viz obr. 37, nepatrně vyšší dostava útku než je dostava osnovy způsobila pokles úhlu zotavení v diagonálním směru, což vedlo celkovému zvýšení mačkavosti textilie. Pokud by při použití stejných jemností přízí jako v naší sadě materiálů s označením S (stejná jemnost osnovy i útku) dostava útku začínala převyšovat dostavu osnovy dvojnásobně, nastalo by větší zvlnění útkových nití a menší zvlnění osnovních nití. Což pak může mít velký vliv na relaxační vlastnosti

textilií a také na anizotropii mačkovosti. Z obr. 38 lze vyčíst, že textilie S1, S2 vykazují nejmenší hodnoty úhlu zotavení vzhledem ke zbývajícím tkaninám, dosahují proto nejvyšší hodnotu mačkovosti. I v diagonálních směrech 30° a 210° mají tkaniny S1 a S2 nejnižší úhel zotavení, což opět přispívá k vyšší mačkovosti. Tkanina S3 dosahuje nejvyššího úhlu zotavení a obrazec polárního diagramu se blíží kruhovému tvaru, úhel zotavení vykazuje izotropní chování, a proto lze tkaninu označit jako nejméně mačkovosti z celé sady tkanin s označením S.

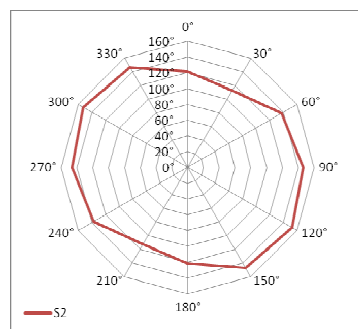


Obr. 36. Porovnání textilií S1, S2, S3

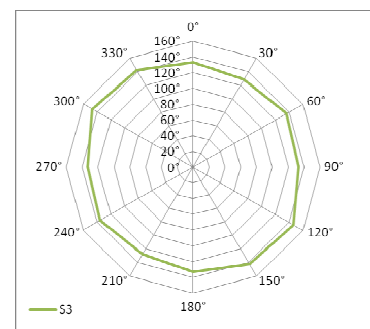
Obr. 37. Porovnání textilií S3, S4, S5



a)



b)



c)

Obr. 38. Velikost úhlu zotavení a symetričnost zotavení jako předpoklad nižší mačkovosti (viz textilie S3)

Dostava je spolu s jemností osnovních a útkových nití určujícím parametrem pro stanovení plošného zakrytí tkaniny. Proto dalším možným parametrem, pomocí kterého lze posoudit mačkavost tkanin, je zakrytí nebo zaplnění textilie. Plošné zakrytí tkaniny vychází z půdorysné plochy přízí ve vazné buňce. Celkové zakrytí tkaniny Z bylo vypočtené ze zakrytí osnovy Z_o a zakrytí útku Z_u , podle obecně platného vzorce (54, 55, 56) na základě průměru příze vypočtení dle vztahu (57) [62].

$$Z = Z_o + Z_u - Z_o \cdot Z_u \quad [-, \%] \quad (54)$$

$$Z_o = D_o \cdot d_o \quad [-, \%] \quad (55)$$

$$Z_u = D_u \cdot d_u \quad [-, \%] \quad (56)$$

$$d = K \cdot A\sqrt{T} \cdot 10^{-3} \quad [m] \quad (57)$$

Kde: d – průměr příze, K – konstanta = $31,623 \cdot 10^{-3}$, A – koeficient proporcionality bavlněné příze $A = 1,25 \text{ g.cm}^{-3}$, T – jemnost příze [tex].

Další možnost výpočtu průměru příze uvádí vztah (58). Koechlinova teorie je založena na geometrické podobnosti, kdy příze vypředené ze stejného materiálu, stejnou technologií a pro stejný účel použití mají analogické vlastnosti a konstantní zaplnění při stejné intenzitě zákrutu [63].

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (58)$$

kde: T – jemnost příze, μ – zaplnění příze, ρ – hustota vláken, pro bavlnu platí $\rho_{CO} = 1520 \text{ kg/m}^3$, empiricky stanovené mezní zaplnění staplové příze je uváděno jako 0,8 nebo 0,7.

Pro odhad limitní hodnoty dostavy tkaniny plošného zakrytí je v některých případech vhodné vyjádřit dle vztahu (59) tzv. substanční průměr příze d_s (bez vzduchových pórů), pro $\mu=1$, který je vždy menší než skutečný průměr příze, je to teoretický nejmenší možný průměr příze.

$$d_s = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}} \quad (59)$$

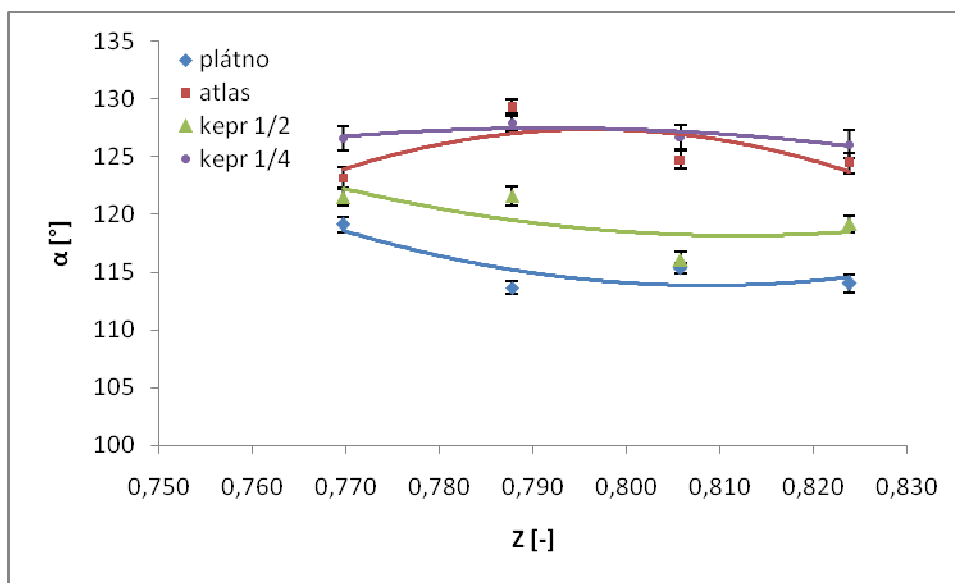
Průměr osnovních a útkových přízí byl vypočten všemi třemi uvedenými způsoby i pro obě uvedené varianty zaplnění přízí (0,7 a 0,8). Střední hodnota plošného zakrytí rezných tkanin M33–M48 s konstantní dostavou osnovy a jemností osnovních

a útkových přízí je uvedena v tab. 4. Z tabulky je patrné, že pro tkaninu s Dú 240 n/10cm střední hodnota plošného zakrytí tkanin byla dle prvního vztahu $Z^1 = 82,5 \%$ a pro nejmenší dostavy útku Dú 180 n/10cm $Z^1 = 77 \%$. V případě stejných jemností použitých přízí a konstantní dostavy osnovy Do 240 n/10cm se vlivem větší dostavy útku zvyšuje také zakrytí textilie, které pak následně ovlivňuje i výsledné zotavení u všech druhů vazeb, viz obr. 39.

Tab. 4. Výpočet celkového plošného zakrytí textilie Z

Dú [n/10cm]	Z^1 [%]	Z^2 [%]	Z^3 [%]	Z^4 [%]
240	82	72	75	66
220	81	70	73	65
200	79	68	71	63
180	77	66	70	61

Poznámka: ¹průměr příze vypočtený bez zaplnění příze, ²zaplnění příze $\mu = 0,8$, ³ zaplnění příze $\mu = 0,7$, ⁴ s využitím substančního průměru příze.



Obr. 39. Závislost úhlu zotavení na zaplnění.

Hodnoty plošného zakrytí vypočtené dle různých výpočtových vztahů se nepatrně liší, ale ve všech případech platí, že lépe se zotavují textilie s nižším zaplněním, respektive vykazují menší mačkavost. Hodnota plošného zakrytí zkoumaných skupin textilií se při nejlepším zotavení pohyboval kolem 78,8 % (vazby keprová, atlasová). Nejvyššího zotavení dosahovala textilie plátnové vazby při plošném zakrytí 77 %. K podobnému závěru jsme došli při analýze mačkavosti v závislosti na dostavě tkaniny. Problematika vlivu zakrytí na mačkavost nebyla hlavním cílem disertační práce, může však být podnětem pro další směr výzkumu.

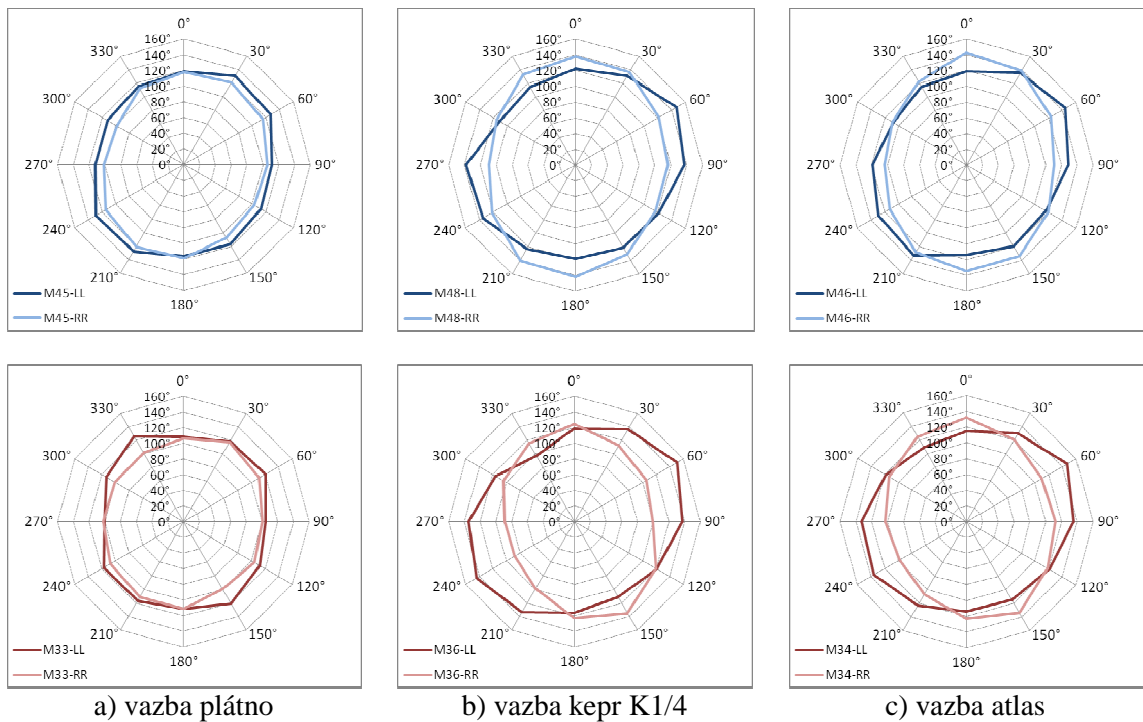
Vliv způsobu přeložení a finální úpravy tkaniny na anizotropii mačkovosti textilií

Mezi další činitele ovlivňující mačkovost textilií, lze zařadit i způsob přeložení vzorku, respektive složení vzorku směrem líc-líc (LL), rub-rub (RR). Na obrázcích anizotropního chování mačkovosti, je patrný rozdíl mezi složením textilie LL a RR pro vazbu plátno obr. 40 a), kepr obr. 40 b), atlas obr. 40 c). U textilií plátnové vazby (M45, M33) byly rozdíly v úhlech zotavení mezi LL a RR nízké. Naopak u tkanin atlasové a keprové vazby (M48, M36) došlo k velkým rozdílům ve tvarech obrazců a v úhlu pootočení obrazců polárního diagramu. V případě různého přeložení se u keprové vazby (M36) změnila osa symetrie, pro LL byla v přímce 60° a 240° a pro složení RR pak v přímce 150° a 330° . Vzniklé rozdíly v hodnotách úhlu zotavení ve zkoumaných směrech mohou být ovlivněny uspořádáním jednotlivých přízí v místě přeložené textilie. Vypočítáme-li průměrnou hodnotu úhlu zotavení v jednotlivých směrech pro přeložení LL a RR např. u keprové vazby, změní se původní eliptický tvar obrazce polárního diagramu obr. 40 b) na téměř symetrický obr. 41 b). Výsledný obrazec polárního diagramu textilie plátnové vazby (M33), tzv. textilie s nejvyšší mačkovostí, zůstává po zprůměrování přeložení LL a RR obdobně nesymetrický, viz obr. 40 a), obr. 41 a).

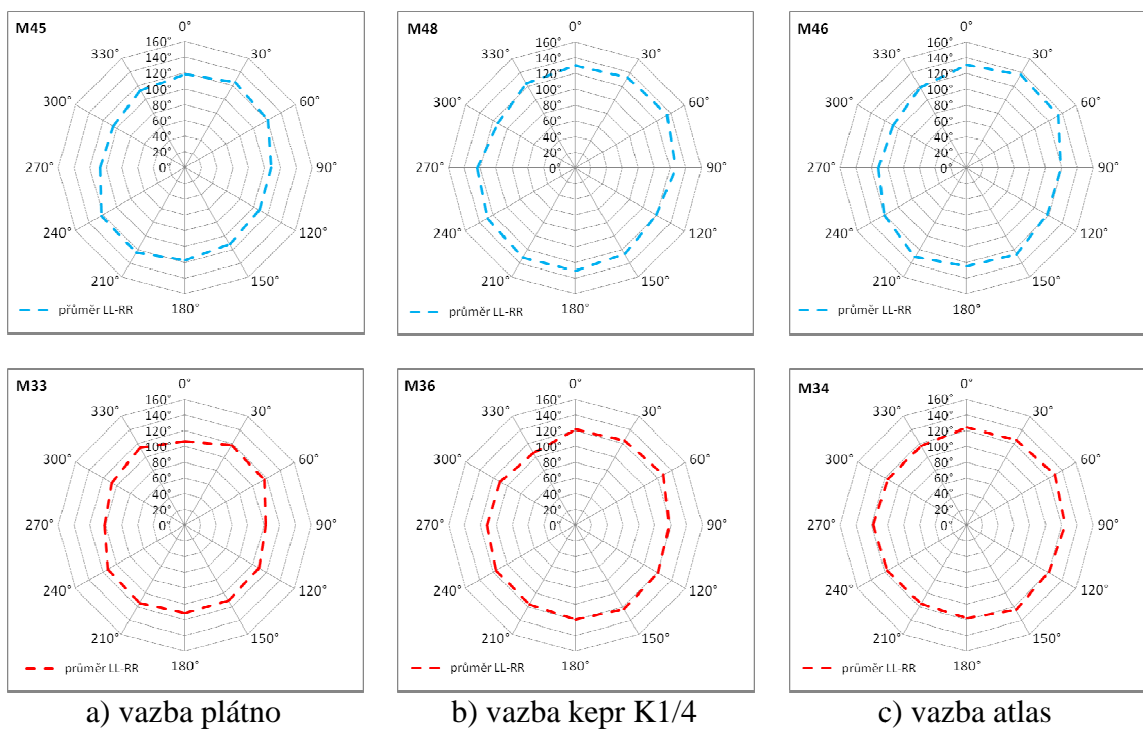
Z výsledků měření prezentovaných v grafech, viz obr. 42, je dále patrné, že největší rozdíly ve způsobu přeložení LL a RR vykazují textilie rezné či bělené obr. 42 a), b) než textilie barvené nebo s potiskem obr. 42 c). Tyto rozdíly byly potvrzeny i statistickými testy a promítly se na celkové hodnotě mačkovosti. Výsledky potvrdily, že zprůměrování úhlu zotavení pro složení vzorku LL a RR může při hodnocení textilií současně ovlivnit i výsledné pořadí textilií, z čehož může vzniknout nesprávné hodnocení reálného chování textilie, jak je patrné z provedených testů běžného nošení (kap 4.3).

Z výsledného tvaru polárního diagramu vytvořeného zprůměrováním úhlu zotavení pro přeložení LL a RR, viz obr. 43, se ukazuje, že bělení (čárkovaná čára) ovlivnilo zotavení především v diagonálních směrech. Na rozdíl od rezné textilie (plná modrá čára) došlo ke snížení úhlu zotavení v diagonálních směrech 30° a 210° a naopak ke zvýšení úhlu zotavení v diagonálních směrech 120° a 300° , 150° a 330° . Ve směrech osnovy (0°) a útku (90°) došlo vlivem bělení pouze k minimální změně a opět můžeme poukázat na skutečnost, že použitím klasických metod by vliv použitých úprav nemohl být v plné míře odhalen.

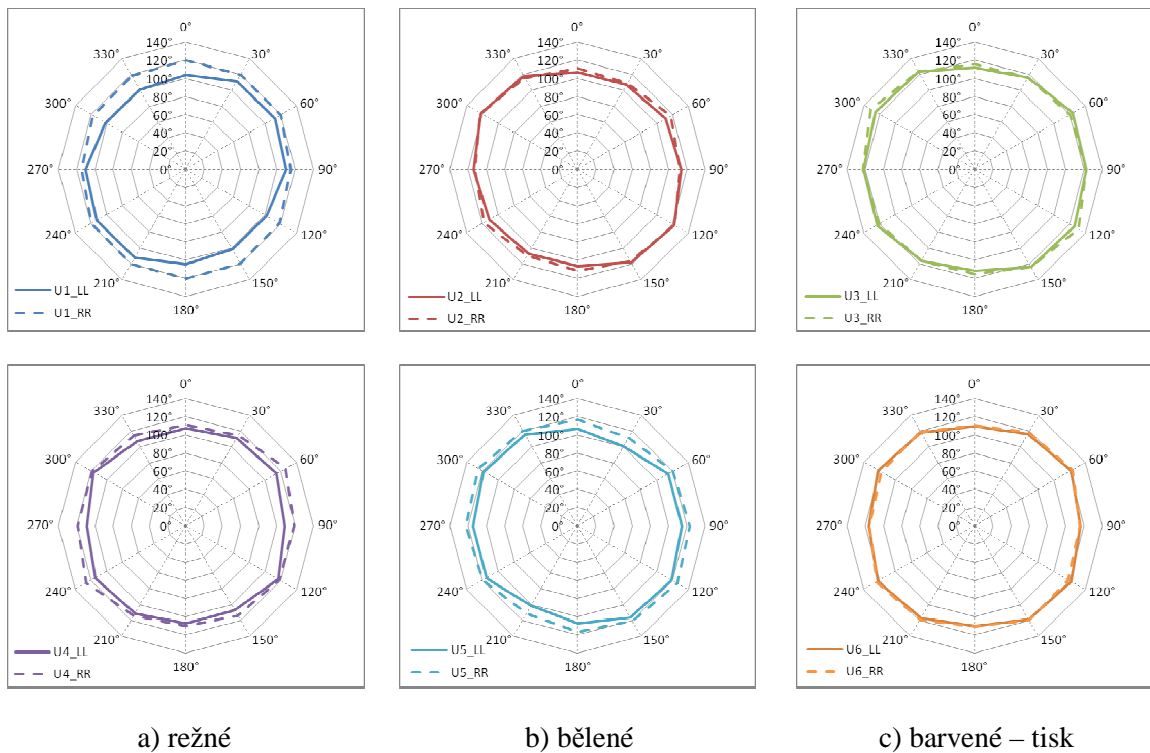
Soudržnost vláken v přízi, ale také technologické zpracování tkaniny a její návin a uskladnění na zbožovém válu mohly přispět u režných i bělených textilií při složení textilií LL a RR k rozdílům v anizotropii zotavení pro složení LL nebo RR.



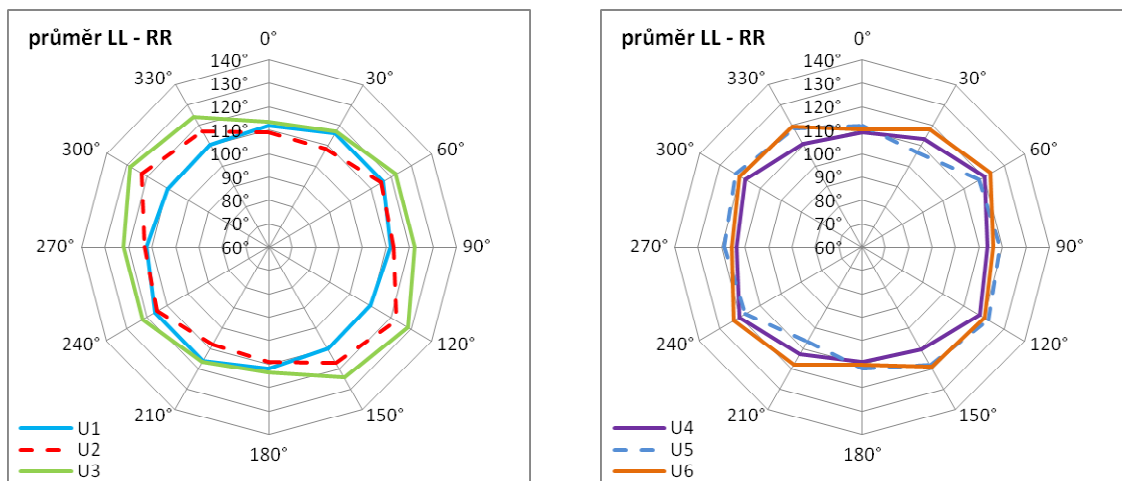
Obr. 40. Anizotropie zotavení textilií přelozněním LL a RR pro dostavy: Dú 180 n/10cm (modré křivky), Dú 240n/10cm (červené křivky)



Obr. 41. Výslední obrazec anizotropie zotavení textilií po průměru LL a RR pro Dú: 180 n/10cm (modré křivky), Dú 240n/10cm (červené křivky)



**Obr. 42. Anizotropie zotavení textilií přeložením LL a RR:
Do/Dů první řádek 285/255 n/10cm, druhý řádek 255/225 n/10cm**



Obr. 43. Výslední obrazec anizotropie zotavení textilií po průměru LL a RR (detail)

Lze předpokládat, že vlivem délky bavlněných vláken a následnými zušlechťovacími procesy odšlichtování, vyvářkou nebo bělením byla ovlivněna soudržnost vláken i přízí, která se projevila horší schopností rezných a bělených textilií vrátit se do původního stavu. Malá soudržnost bavlněných vláken v přízích rezné textilie způsobila, že vlivem uvolněných vláken se textilie po zmačkání hůře zotavovala do původního stavu, což způsobilo rozdíly v zotavení pro přeložení textilie LL a RR

a značné zmačkání povrchu rezné textilie (jak prokázal i experiment nošení, kap 4.3). Předúpravy bavlněnou textilií připravují pro další zušlechťovací operace jako je barvení, potisk. Potvrdilo se, že po barvení i tisku jsou vlákna stabilnější, což se může projevit na shodné anizotropii mačkovosti textilií pro složení textilie LL, RR jak ukázaly symetrické obrazce polárních diagramů obr. 42 c).

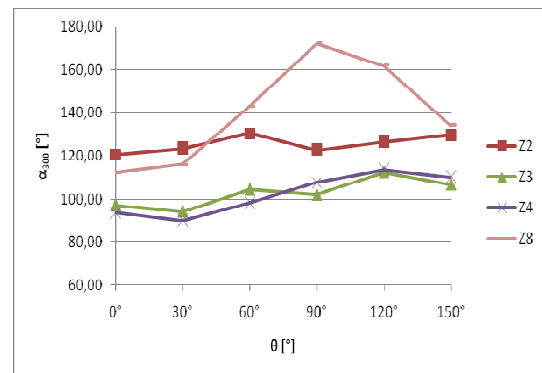
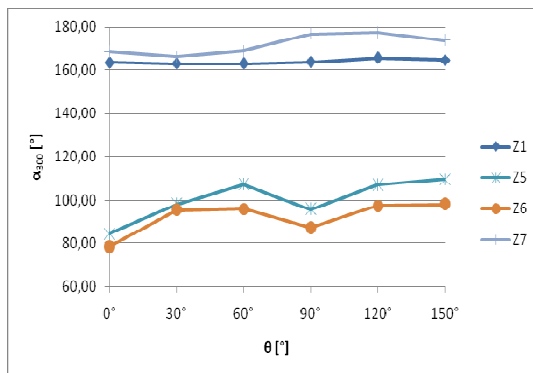
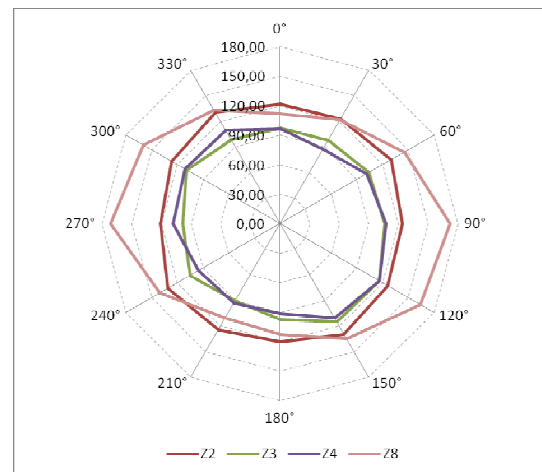
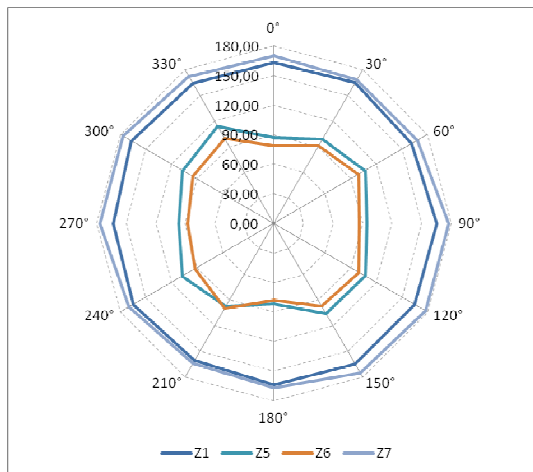
Vliv materiálového složení na anizotropii mačkovosti

Na anizotropní chování i výslednou mačkovost má v neposlední řadě podstatný vliv i materiálové složení. Vlivem zaručené pružnosti vláken syntetických a vlněných, lze pak od těchto textilií očekávat jejich nízkou mačkovost. Naopak vysoká mačkovost je charakteristickým znakem především textilií z celulózových vláken jako např. bavlna, len... Tyto materiály se vlivem materiálového složení liší nejenom výslednou hodnotou úhlu zotavení, jehož velikost řadí textilií mezi více nebo méně mačkové, ale také symetrii úhlu zotavení, resp. anizotropním chováním úhlu zotavení, což potvrzují obrazce polárních diagramů obr. 44, 45. Naše výsledky se shodovaly s výsledky Mihailoviče, které ukázaly, že polyesterová a vlněná textilie vykazuje izotropní mačkovosti (křivky textilií Z1, Z7). Rozdíly mezi materiály jsou patrné jak na anizotropním chování, tak v hodnotě celkového úhlu zotavení vypočteného ze všech pootočení, viz tab. 5, který slouží zároveň jako celková charakteristika mačkovosti dané textilie.

Tab. 5. Výsledky měření celkového úhlu zotavení textilií s různým materiálovým složením ze všech směrů pootočení

Materiál	Průměr α_{300} [°]	95% IS		Min [°]	Max [°]	Rozptyl [°]	Var.koef [%]
		Spodní mez	Horní mez				
Z1	165,1	164,3	165,9	160,5	166,9	10,3	1,9
Z2	125,5	124,0	127,1	119,9	131,0	45,0	5,3
Z3	103,5	101,3	105,7	90,4	115,8	83,4	8,8
Z4	102,2	99,6	104,7	87,3	115,8	119,9	10,7
Z5	100,2	97,7	102,7	81,8	113,8	85,3	9,2
Z6	92,4	90,2	94,5	77,6	99,7	58,6	8,3
Z7	171,9	170,6	173,2	164,2	177,8	31,4	3,3
Z8	139,9	134,5	145,3	110,3	172,3	522,7	16,3

Předmětem další studie bude rozšířit skupinu materiálů o směsové materiály. Cílem je nalézt optimální procento směsování materiálů vzhledem k mačkovosti, ale i ke komfortu nošení.



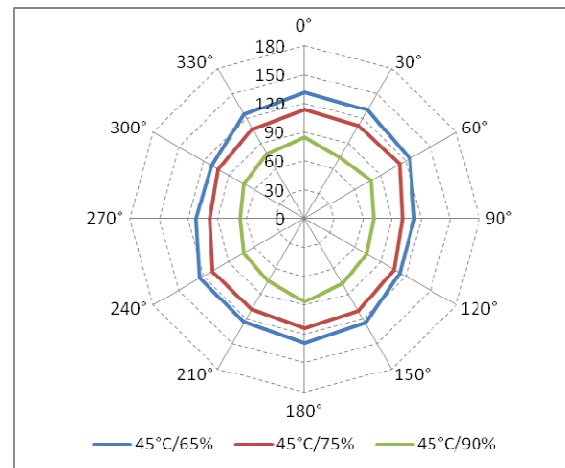
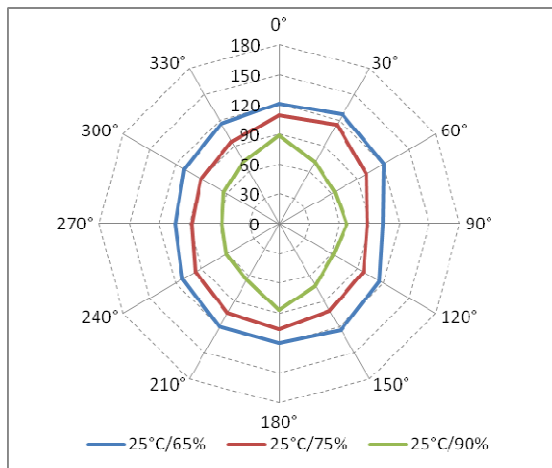
Obr. 44. Anizotropie úhlu zotavení [°]

Obr. 45. Anizotropie úhlu zotavení [°]

Vliv vlhkosti a teploty na mačkavost

V další studii bychom se mohli věnovat výzkumu vlivu vlhkosti a teploty na mačkavost. Provedly jsme prvotní experiment, který naznačuje značný vliv klimatických podmínek také na anizotropní chování úhlu zotavení. Experimentální měření bylo prováděno v klimatické komoře, kde byly vzorky textilie klimatizovány na teplotu 25 °C a 45 °C a vlhkost 65%, 75% a 90 %. Zotavení vzorku textilie, resp. snímání úhlu zotavení pomocí web kamery probíhalo při teplotě 20 °C a vlhkosti 65 %. V klimatické komoře web kamera selhávala. Výsledky prokázaly vliv vlhkosti na mačkavost textilií, nově, také na anizotropii zotavení textilií, viz obr. 46, obr. 47. Navrženou metodikou byly potvrzeny podobné závěry, které ve své práci popisuje Staněk [43].

Při zvýšené fyzické aktivitě nositele dochází ke zvýšení teploty i vlhkosti pod oděvem. Celkově lze konstatovat, že se stoupající vlhkostí roste mačkavost textilií jak ve směru osnovy a útku, tak v úhlopříčných směrech.



Obr. 46. Vliv vlhkosti na anizotropii mačkavosti při teplotě 25 °C

Obr. 47. Vliv vlhkosti na anizotropii mačkavosti při teplotě 45 °C

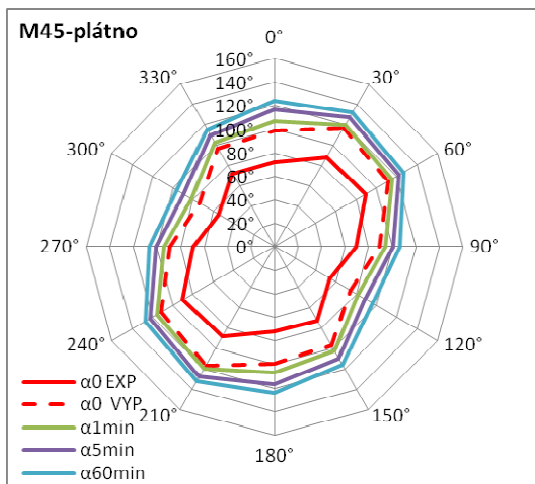
Při větších vlhkostech se projevila anizotropie ve směru osnovy. Do textilie vniká vlhkost, vlivem které dochází především ke snižování elastické složky deformace na úkor zvýšení složky trvalé (plastické). Metodika umožnila odhalit rozdíly i v procesu zotavení při různých vlhkostech. Také proces viskoelastického zotavení má odlišný průběh. Vlivem zvětšující se vlhkosti dochází ke zhoršení relaxačních rychlostí vzorku textilie. Při menších vlhkostech se rychlost procesu zotavení odehrává nejvíce na začátku relaxace po odstranění zatížení, na konci se relaxační rychlost ustaluje. Při větších vlhkostech bylo možné pozorovat pomalou rychlost v počátku relaxace, kdy textilie skokově vyskočí a následně se proces zotavení zpomalí, což zřejmě způsobilo nabobtnání vláken a textilie musí překonávat velké třecí síly, které vznikly mezi povrchem vláken. Tato problematika může být předmětem dalšího výzkumu.

4.2 Analýza křivky zotavení plošných textilií

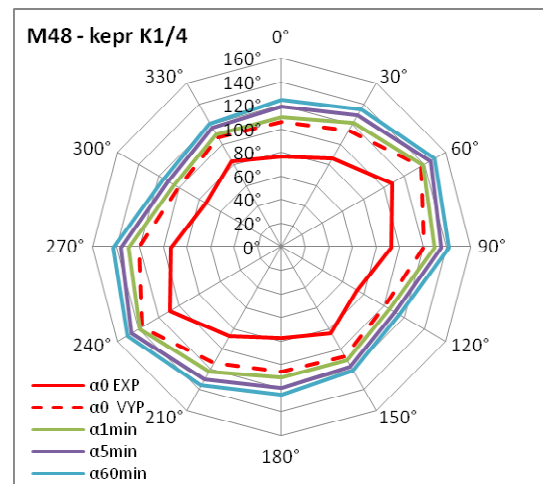
Většina současných metod, které hodnotí mačkavost plošných textilií pomocí úhlu zotavení, neumožňuje zaznamenat okamžitý (skokový) úhel zotavení. Jedná se o úhel, který vznikne na přeložené textilii bezprostředně po odstranění závaží. Jako první se problematikou okamžitého úhlu zotavení zabýval Sommer, který navrhl vztah (60) pro výpočet tohoto úhlu. Námí navržená metodika měření umožnila získat hodnotu úhlu přímo z experimentu. Za okamžitý úhel zotavení jsme považovali úhel zotavení, který byl zaznamenaný již v první sekundě po odlehčení vzorku textilie. Záznam křivky zotavení, viz příloha 2. Tím vznikla možnost porovnat Sommerův teoretický výpočet (60) s daty z experimentu.

$$\alpha_{0VYP} = \log \alpha_{60} - 3,5 \log \frac{\alpha_{60}}{\alpha_5} \quad (60)$$

Rozdíly v hodnotách okamžitého úhlu zotavení vypočteného a experimentálně zjištěného pro vybranou textilií plátňové vazby (M45) a keprové vazby (M48) znázorňuje polární diagram, viz obr. 48, 49. Z jednotlivých obrazců polárního diagramu je patrné, že u obou textilií se vypočtený okamžitý úhel zotavení (červená čerchovaná křivka) přibližuje úhlu zotavení zjištěného experimentálně v první minutě zotavení (zelená křivka). Skutečný okamžitý úhel zotavení zjištěný experimentálně ze všech pootočení byl u textilie plátňové vazby nižší průměrně o 23° tedy o 13 %, a u textilie keprové vazby o 27° tedy o 15 % nižší, data viz příloha 3A).

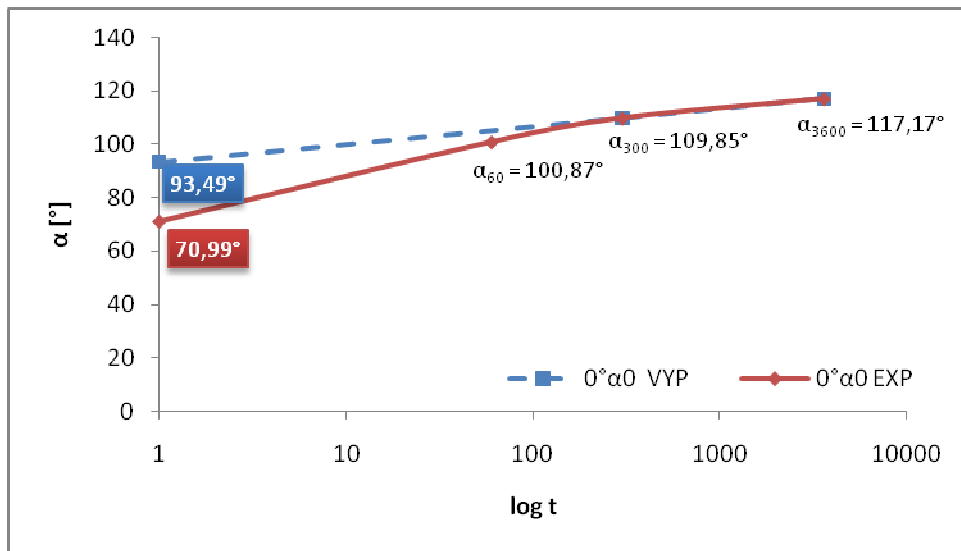


Obr. 48. Hodinová relaxace úhlu zotavení



Obr. 49. Hodinová relaxace úhlu zotavení

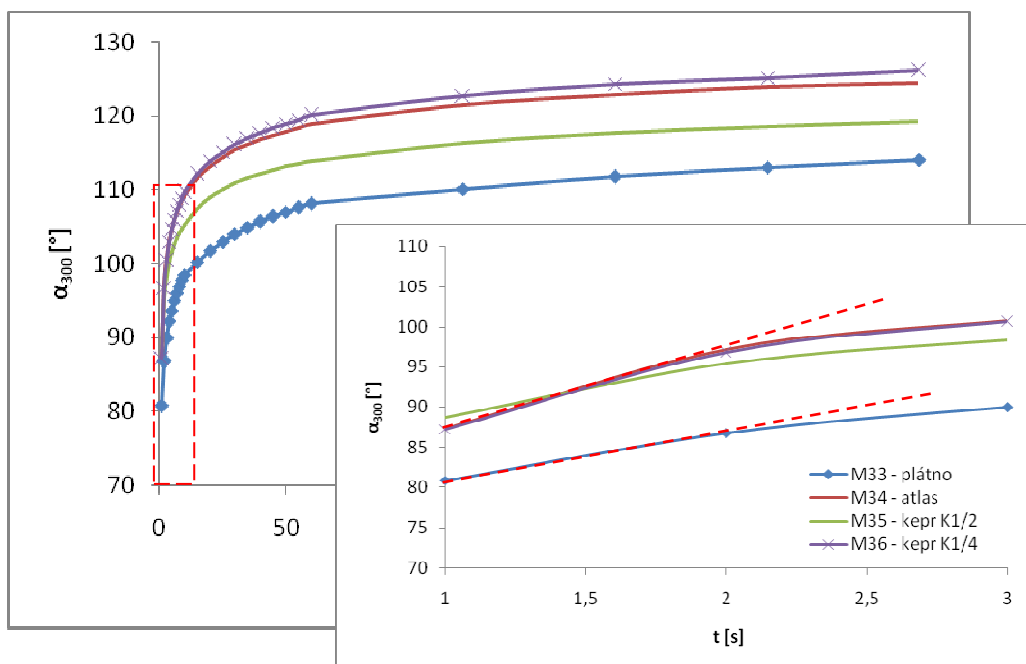
Jak ukazuje experimentální a teoretická křivka zotavení vybraného materiálu, viz obr. 50, úhly zotavení změřené po hodinovém zotavení (α_{3600}) a po páté minutě (α_{300}) použité v tomto výpočtovém vztahu pro výpočet okamžitého úhlu zotavení nejsou optimální. Křivka zotavení získaná experimentálně (červená křivka) proto neodpovídá křivce zotavení získané tímto výpočtem (modrá čerchovaná křivka). Experimentální měření úhlu po dalších šestnácti hodinách zotavení vzorku textilie ukázalo, že po takto dlouhé době relaxace vzorku, se úhel zotavení zvětšil o 5°, tedy jen o 3 %. Tyto výsledky potvrdily, že dlouhé relaxační doby měření nejsou nutné, protože přírůstek úhlu zotavení je již v této době opravdu minimální a nemůže zásadně ovlivnit hodnotu výsledné mačkovosti textilie.



Obr. 50. Porovnání křivek zotavení zjištěných experimentálně a výpočtem (M45, směr 0°)

Vliv konstrukčních parametrů a materiálového složení textilií na křivku zotavení

Z tvaru křivky zotavení jak ukazuje obr. 51, byly odhaleny rozdíly v zotavení textilií způsobené vlivem vazby. Jsou patrné značné rozdíly mezi plátňovou vazbou (modrá křivka) a ostatními vazbami např. kepr K1/4 (fialová křivka). Plátňová vazba nejenom, že vykazuje nejnižší hodnotu okamžitého úhlu zotavení, avšak současně se liší svým tvarem, tj. především nižším sklonem křivky v počátku zotavení, viz detail křivky do třetí sekundy.



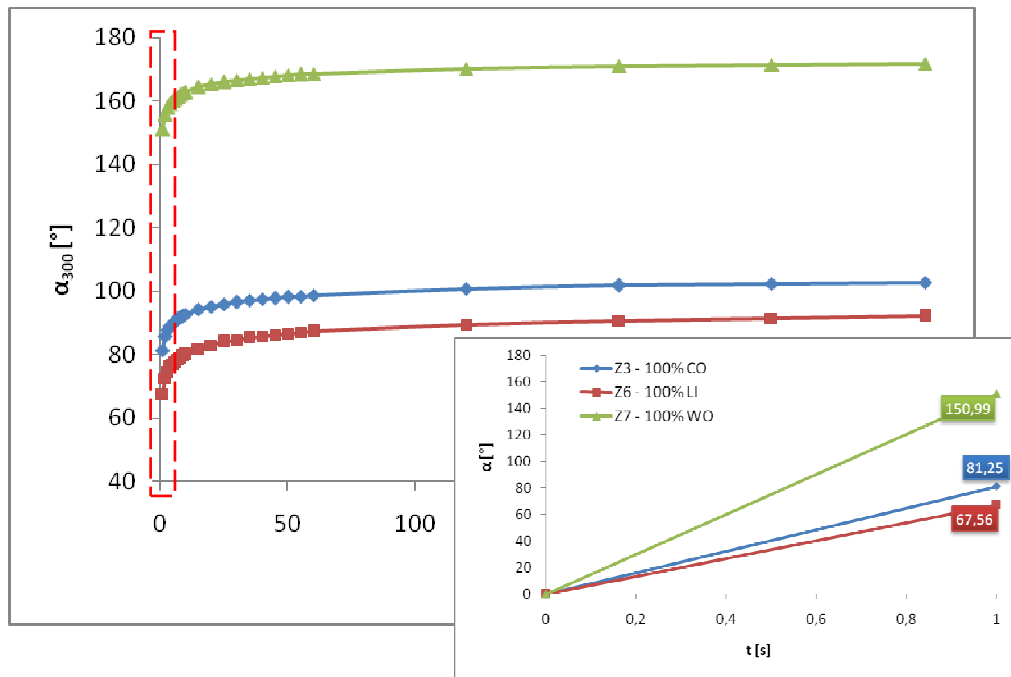
Obr. 51. Tvar křivek zotavení pro textilie různých vazeb se stejnou jemností použitých přízí, stejnou dostavou osnovy a útku (M33, M34, M35, M36)

Tento jev ukazuje na nižší schopnost zotavení plátňové vazby, resp. na její horší viskoelastické vlastnosti v počátku zotavení. Tyto rozdíly v procesu zotavení textilií ukazuje tab. 6. Je vidět, že v grafech se popisovaná skupina materiálů (M33, M34, M35, M36) liší jak v hodnotách okamžitého procenta zotavení, které bylo u plátňové vazby pouze 45 % a u atlasové vazby 48 %, tak i v zotavení v prvních 10 sekundách. V následujících časech zotavení byl procentuální přírůstek zotavení všech materiálů shodný, viz příloha 3B). Vliv vazby a měnící se dostavy útku (další materiály) se nejvíce projevil na okamžitém zotavení a zotavení do 10s. Nejlepší elastické i viskoelastické vlastnosti prokazovala vazba keprová K1/4 a atlasová.

Tab. 6. Procentuální zotavení textilií

Vazba	Materiál	Procentuální zotavení materiálů [%]					
		v 1s	(1s-10s)	(10s-60s)	(60s-300s)	(1s-300s)	(0s-300s)
P	M33	45	10	5	3	18	63
A	M34	48	12	5	3	20	68
K1/2	M35	49	9	5	3	17	66
K1/4	M36	48	12	6	3	21	69
P	M37	46	10	5	3	18	64
A	M38	51	9	5	3	17	68
K1/2	M39	46	10	5	3	18	64
K1/4	M40	53	9	5	3	17	70
P	M41	44	10	5	3	18	62
A	M42	55	9	5	3	17	69
K1/2	M43	51	8	5	3	16	67
K1/4	M44	53	9	5	3	17	70
P	M45	46	11	5	3	19	65
A	M46	48	12	6	3	21	69
K1/2	M47	51	9	5	3	17	68
K1/4	M48	50	12	6	3	21	71

Schopnost textilie zotavit se, je mimo jiné ovlivněna druhem materiálu, ze kterého je textilie vyrobena. Různá rychlost okamžitého zotavení materiálu např. vlna, bavlna, len viz obr. 52, může ovlivnit vizuální vnímání kvality textilie, resp. estetický vzhled celého oděvu. Tvar křivky vlněné textilie (zelená křivka) ukazuje, že tato textilie patří mezi pružné tkaniny, které se budou zotavovat v krátké době po sejmutí závaží. Možný tvar křivky tkaniny s plastickými vlastnosti a se sklonem k vysoké mačkavosti ukazuje křivka zotavení lněné textilie. Zde je patrné značné snížení okamžitého zotavení, což vede k vyšší mačkavosti textilie.



Obr. 52. Tvar křivek zotavení pro textilie s různým materiálovým zotavením, detail v první sekundě

Rozdílné procentuální zotavení rezných textilií M33–M48 i textilií Z1–Z8, viz příloha 3B) ukazuje na rozdílnou okamžitou rychlost zotavení textilií danou vztahem (61), kterou vyjadřujeme jako změnu úhlu zotavení ke změně času zotavení.

$$v = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \cdot 60 \quad [^\circ/\text{min}], [\text{rad}/\text{min}] \quad (61)$$

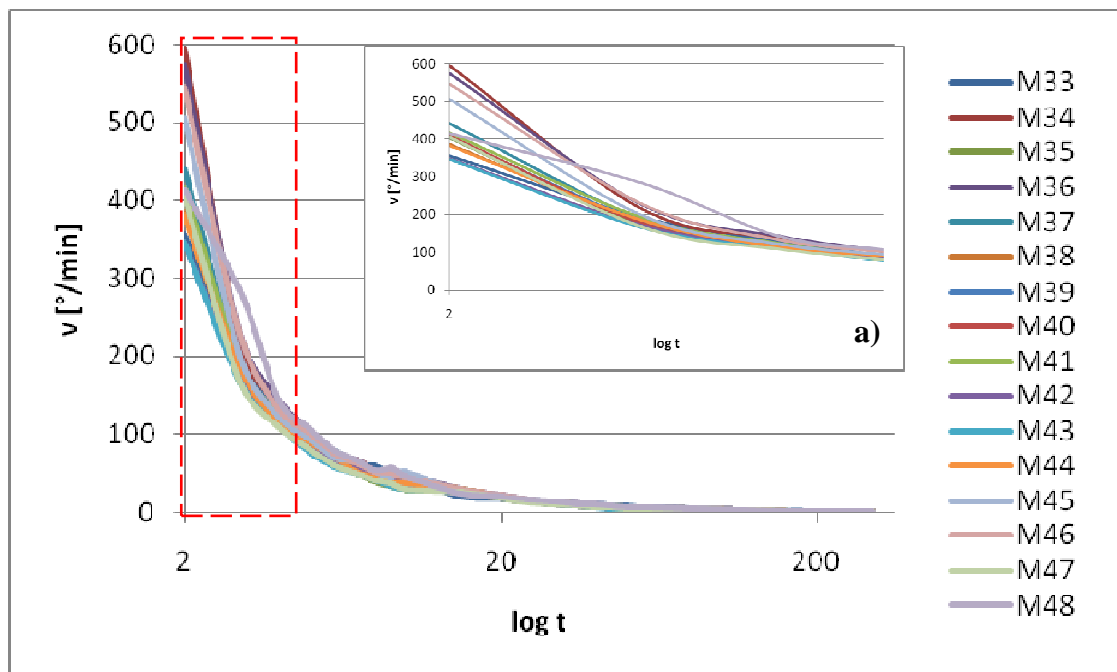
K ustálení rychlosti zotavení textilií různého materiálového složení (Z1–Z8) a rezných bavlněných materiálů (M33–M48), viz tab. 7, 8 docházelo již po dvou minutách relaxace (v čase $t = 120$ s), kdy se rychlost zotavení těchto textilií pohybovala do $2,7$ $^\circ/\text{min}$. U všech hodnocených materiálů se shodně zpomalila rychlost zotavení po pěti minutách (v čase $t = 300$ s) a nabývala hodnot $0,6$ – 1 $^\circ/\text{min}$. Z čehož plyne, jak ukazují obr. 53, 54, že rozdíly v rychlosti zotavení jsou nejvíce patrné na začátku relaxace textilie. Jak ukazuje práce Gonzalese [64], rychlost zotavení může tvořit dobrý základ např. pro identifikaci kvality aplikované finální úpravy na textiliích.

Tab. 7. Rychlost zotavení [$^{\circ}$ /min]textilií plátňové vazby různého materiálového složení

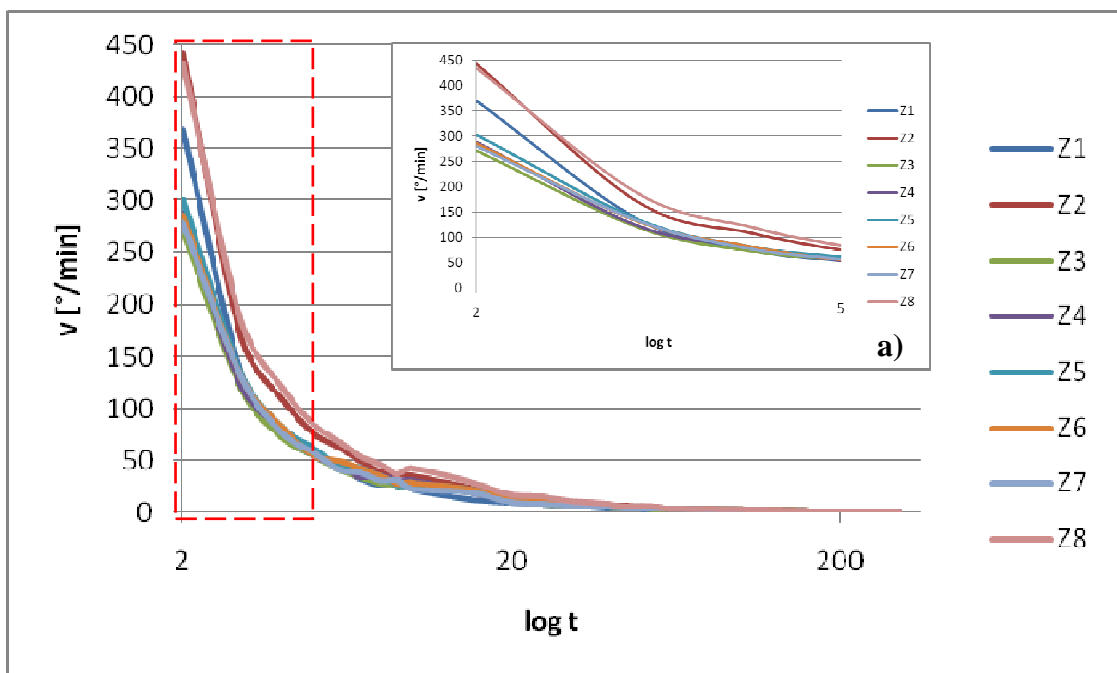
t [s]	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
2	369,2	442,7	271,0	288,6	301,9	285,2	279,3	433,0
3	136,4	170,4	120,0	123,1	135,2	132,1	132,3	186,4
4	74,7	109,5	72,7	81,2	82,1	82,2	77,2	120,1
5	55,0	76,2	55,4	55,3	62,3	55,5	57,6	85,0
6	44,5	62,1	41,3	45,1	44,3	50,1	41,4	67,3
7	31,9	49,2	34,5	34,5	42,9	42,9	37,6	53,6
8	26,5	40,1	28,7	35,4	34,7	35,9	31,2	46,9
9	29,4	37,1	26,1	30,3	26,2	27,6	31,6	37,2
10	21,8	35,6	26,3	30,8	26,7	28,5	23,0	42,7
15	13,2	24,4	19,5	19,3	22,9	23,0	19,3	29,4
20	9,0	15,0	11,8	11,6	14,2	13,9	10,3	17,0
25	7,8	12,3	8,7	10,7	11,0	11,4	8,2	14,8
30	5,7	8,6	7,4	8,3	7,8	8,0	6,5	10,9
35	5,5	7,7	5,9	6,5	7,5	6,5	6,3	9,7
40	4,2	6,4	4,9	6,0	6,5	5,9	5,6	7,7
45	4,1	6,2	4,6	5,5	5,6	5,5	3,9	5,4
50	3,3	5,7	4,6	4,5	4,3	4,7	3,9	6,1
55	3,5	4,9	2,8	3,4	4,4	4,5	3,4	6,0
60	3,2	3,8	3,2	4,3	4,0	3,5	3,4	4,5
120	1,0	2,2	2,1	1,9	2,3	2,4	1,6	2,8
180	0,7	1,0	1,0	0,9	1,2	1,2	0,7	1,2
240	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5	1,0
300	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5

Tab. 8. Rychlost zotavení bavlněných textilií

t [s]	Rychlost zotavení [°/min]															
	P	A	K1/2	K1/4	P	A	K1/2	K1/4	P	A	K1/2	K1/4	P	A	K1/2	K1/4
	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48
2	355,5	594,9	402,4	573,9	441,6	386,9	404,9	409,5	415,9	347,3	347,0	381,5	505,4	545,4	404,4	414,6
3	192,4	214,7	171,5	227,1	189,2	181,8	182,9	177,6	191,5	171,4	165,7	184,8	198,9	227,6	166,8	284,0
4	130,0	137,1	110,7	143,0	124,5	117,2	116,6	114,2	124,6	113,4	111,2	115,4	122,2	132,7	109,5	143,6
5	91,8	100,8	86,9	104,7	90,1	89,0	88,3	85,5	90,7	88,8	77,5	89,2	94,5	100,8	81,2	107,0
6	77,2	68,8	62,1	77,7	78,8	68,6	67,9	66,2	73,5	64,8	58,6	70,6	70,0	75,4	59,7	79,6
7	60,0	66,9	50,2	67,5	58,8	53,9	53,4	52,4	60,3	56,4	49,3	52,8	65,4	63,1	50,3	67,5
8	60,1	53,0	38,2	53,0	50,6	48,6	47,7	43,9	49,8	47,0	40,1	44,9	52,4	52,8	41,1	54,7
9	45,8	43,0	33,9	50,3	41,5	39,1	38,1	38,7	44,5	44,6	33,7	37,8	44,2	50,1	36,0	57,0
10	47,2	38,7	28,9	47,8	35,3	34,9	33,1	34,1	41,2	36,6	29,7	37,3	51,4	45,2	30,0	46,9
15	20,5	28,1	28,0	29,6	26,9	29,1	29,4	28,0	25,8	25,2	28,1	29,2	25,2	29,1	26,4	24,0
20	17,8	18,2	18,3	21,3	18,1	19,3	18,8	17,9	18,5	17,9	18,4	19,4	19,7	21,7	17,8	20,7
25	14,9	15,8	13,7	15,1	14,3	14,8	16,0	13,5	14,7	14,5	13,3	14,6	15,6	16,6	13,1	16,0
30	13,4	11,2	10,5	11,2	12,0	11,9	12,1	11,1	13,0	11,7	9,8	11,9	12,0	11,6	10,3	14,2
35	9,6	9,5	8,0	11,2	9,9	10,0	9,6	8,8	10,5	9,9	7,9	10,3	9,6	9,4	8,6	11,0
40	10,0	9,0	6,6	8,7	8,2	8,4	8,2	7,0	9,0	8,5	6,4	8,1	8,1	9,0	6,9	10,0
45	7,8	5,5	5,6	8,2	6,8	6,8	6,6	6,1	8,4	6,3	5,5	6,6	8,5	7,2	5,9	7,6
50	8,1	6,9	4,9	6,5	5,6	6,0	5,9	5,5	6,4	6,2	4,5	5,9	6,1	5,8	5,3	7,3
55	6,7	5,7	4,6	6,6	5,2	5,6	5,1	5,1	6,2	5,2	4,5	5,2	5,0	5,8	4,6	6,8
60	6,5	5,8	4,1	6,9	4,7	4,9	4,7	4,9	5,8	5,7	3,7	4,9	7,3	4,9	4,0	5,8
120	2,0	2,6	2,4	2,7	2,2	2,7	2,6	2,4	2,6	2,4	2,4	2,7	2,5	2,7	2,5	2,5
180	1,6	1,4	1,4	1,5	1,3	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,5	1,5	1,6	1,3	1,6
240	1,3	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0
300	1,0	0,6	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8	0,7	1,0	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,9

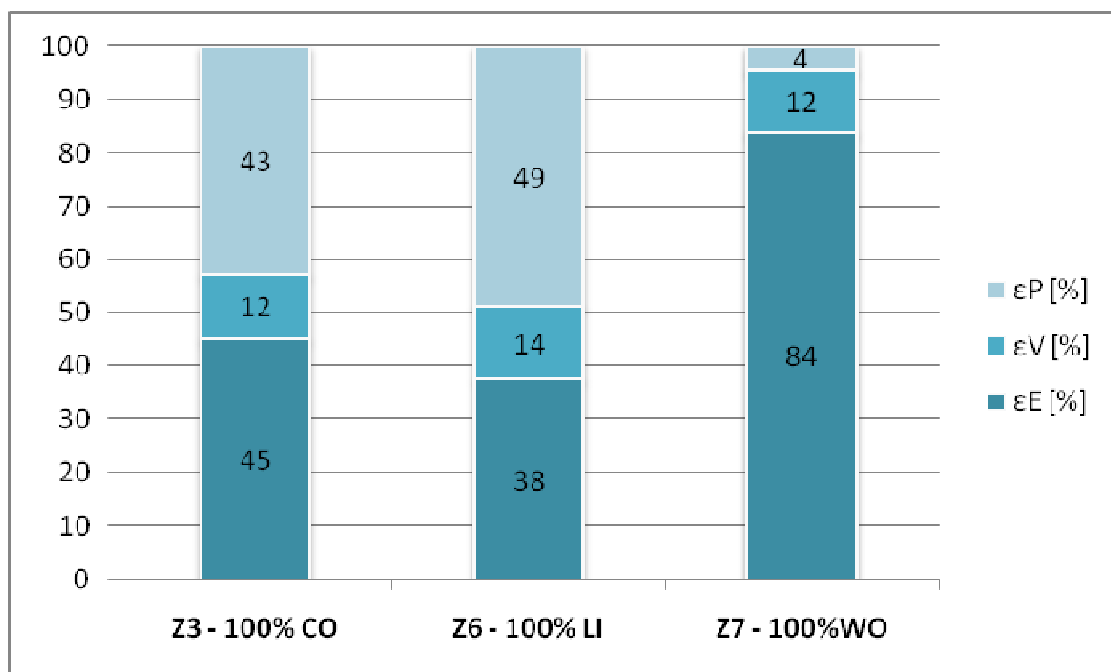


Obr. 53. Rychlost zotavení rezných textilií a) Detail - rychlost zotavení do páté sekundy



Obr. 54. Rychlost zotavení textilií s různým materiálovým složením a) Detail - rychlost zotavení do páté sekundy

Z provedených experimentálních měření, viz obr. 55, vyplývá, že materiál, který v prvních sekundách vykáže nejvyšší úhel zotavení, tedy nejvyšší procento elastické deformace, se chová jako méně mačkový v porovnání s materiálem, který v prvních sekundách nerelaxuje. Hodnota elastické deformace nemačkové textilie (Z7 – 100%WO) činí 84 %, což je skoro dvojnásobek elastické deformace textilie bavlněné nebo lněné (Z3, Z6) se sklonem k mačkavosti. Vysoké hodnoty trvalé deformace u lněné textilie až 49 % poukazují na fakt, že po odlehčení tkaniny, zůstanou na jejím povrchu trvalé zlomy a záhyby.

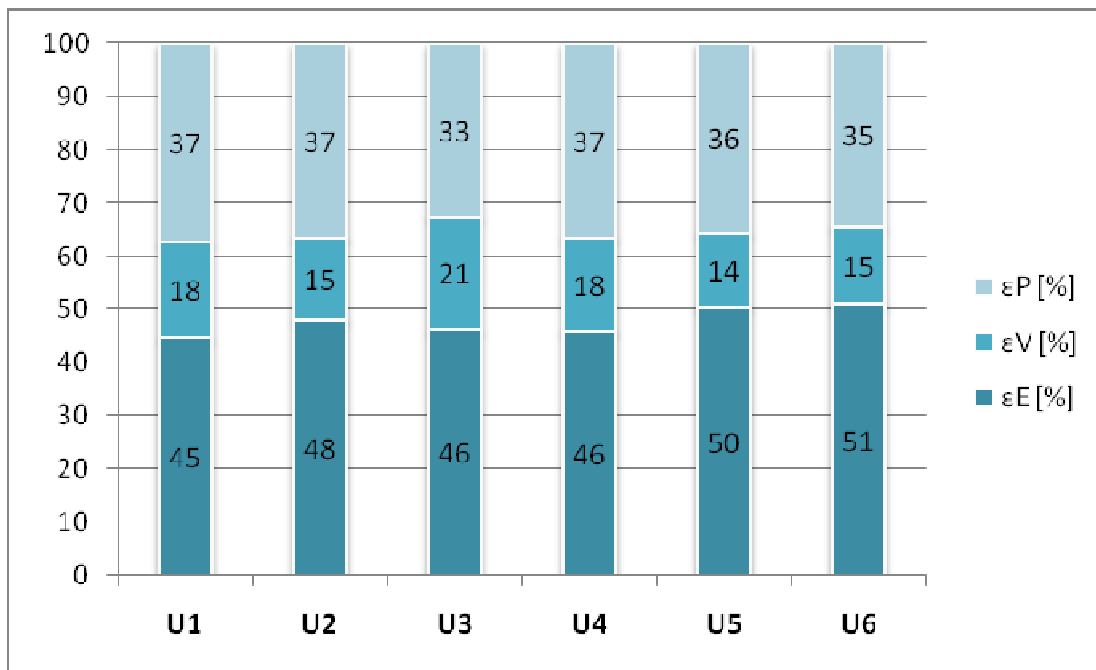


Obr. 55. Procento elastické (ϵ_E), viskoelastické (ϵ_V) a plastické deformace (ϵ_P)

Vliv úpravy na schopnost zotavení

Textilie zušlechťujeme za účelem dosažení požadovaných vlastností, mimo jiné i vizuálních. Kvalitnímu vzhledu textilie napomáhá i její nemačkovost. V následující části předkládáme výsledky experimentálního měření mačkovosti rezných (U1, U4), bělených (U2, U5) a barvených nebo potiskovaných textilií (U3, U6). Z experimentálního měření mačkovosti této skupiny materiálů vyplynulo, že nejvyšší úhel zotavení v první sekundě (α_1), ale také i největší celkový úhel zotavení (α_{300}) měly tkaniny upravené barvením nebo s potiskem (U6, U3). Finální úprava tkanin přispěla ke zvýšení elastické a viskoelastické složky deformace a tím zabezpečila snížení mačkovosti těchto textilií. Z výsledků vyplývá, že barvení nebo potiskování textilií přispělo ke snížení plastické složky deformace (ϵ_P) a tím ke snížení mačkovosti textilií,

viz obr. 56. U textilií s větším sklonem k mačkavosti byly pozorovány rozdíly v hodnotách jednotlivých deformací pro složení LL a RR. Pro plátňovou vazbu, mohou být tyto rozdíly příčinou většího zmačkání, resp. tvorby „ostrých“ záhybů na povrchu textilie.



Obr. 56. Procento elastické (ϵ_E), viskoelastické (ϵ_V) a plastické deformace (ϵ_P)

4.3 Porovnání metod hodnocení mačkavosti s praktickým nošením oděvu

Experimenty v dosud publikovaných pracích potvrdily nedostatky klasických úhlových metodik především v porovnávání s reálnými podmínkami nošením oděvu. V následující části si klademe za cíl ověřit, zda navrhovaná metodika přispěla ke kvalitnějšímu způsobu hodnocení mačkavosti tkanin. Proto byly srovnávány: klasická úhlová metoda na přístroji UMAK, inovovaná metoda úhlu zotavení, experiment nošení.

Experiment reálného nošení pro textilie (U1-U6) byl realizován za pomoci studentky Šefčíkové [ZKP6]. Postupovalo se v souladu s doporučením ČSN 800834: Zjišťování užitečných vlastností textilií používáním. V našem případě jsme jako experimentální výrobek použili dámské kalhoty ve velikosti 40. Pro snadné vizuální hodnocení zmačkaného povrchu byly kalhoty jednoduché, bez tvarového řešení a kapes.

Zmačkání kalhot bylo hodnoceno vizuálně po 8 a 16 hodinách nošení v běžných podmínkách ve vnitřním prostředí.

Hodnocení mačkavosti klasickou úhlovou metodou se řídilo dle normy ČSN 80 0819 a probíhalo na přístroji UMAK. Zde byl vzorek obdélníkového tvaru zatížen kilovým závažím po dobu jedné hodiny. Po odstranění zatížení byl úhel měřen ručně, pomocí pojízdního úhloměru v páté a šedesáté minutě zotavení. Mačkavost byla vyjádřena jako aritmetický průměr úhlu zotavení v šedesáté minutě ve dvou základních směrech (osnova, útek) pro LL a RR.

Měření inovovanou metodou se řídilo dle informací popsaných v kapitole 3.1. Měření bylo realizováno ve 12 směrech pootočení textilie pro LL a RR. Půlkruhový vzorek byl zatížen po dobu pěti minut kilovým závažím. Úhel zotavení byl po odstranění závaží zaznamenáván po dobu pěti minut pomocí web kamery.

Nemačkavost textilie byla vyjádřena pomocí koeficientu M dle vztahu (62) pro inovovanou metodu byl použit také harmonický průměr úhlu zotavení dle vztahu (63), který zahrnuje již zmiňovanou symetrii úhlu zotavení.

$$M = \frac{\alpha}{180} \cdot 100 \quad [\%] \quad (62)$$

$$M_{har} = \frac{\alpha^{har}}{180} \cdot 100 \quad [\%] \quad kde \quad \alpha^{har} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad (63)$$

Kde: α – aritmetický průměr úhlu zotavení [$^{\circ}$], α^{har} – harmonický průměr úhlu zotavení [%].

Harmonický průměr úhlu zotavení lze použít tehdy, pokud jsou hodnoty znaku nerovnoměrně rozděleny kolem průměru, nebo když jsou hodnoty extrémně nízké či vysoké. Předpokládáme, že tento stav se může ve větším rozsahu vyskytovat u textilií se sklonem k anizotropnímu chování, které může být způsobené konstrukcí textilie, nebo rozdílným materiálovým složením. Z předešlé analýzy textilií, jak uvádí Fridrichová a Zelová [KZ1], byly vyzorovány případy, kdy jedna sada materiálů obsahovala hodnoty úhlu zotavení (60° , 60° , 60° , 60°) a druhá sada obsahovala hodnoty úhlu zotavení (80° , 40° , 80° , 40°). Použitím aritmetického průměru získáme úhel zotavení pro obě skupiny stejný. Při použití harmonického průměru získáme výsledné hodnoty pro první soubor 60° , druhý soubor 53° , tím odlišíme nerovnoměrnost měřených dat pomocí jednoho kvantifikátoru.

Z experimentálních výsledků, viz tab. 9 jsou zřejmé rozdílné výsledné hodnoty úhlu zotavení mezi klasickou a inovovanou metodou s čímž souvisí i rozdílné pořadí textilií. Úhel zotavení u klasické metody ve srovnání s inovovanou metodou nabývá nižších průměrných hodnot, které lze přisoudit delší době zatížení vzorku. Avšak pomocí klasické metody úhlu zotavení bychom na základě velikosti úhlu zotavení nebo vypočteného koeficientu mačkovosti M jako nejvíce mačkovou textilii označili textilii U3 nebo U4, pomocí inovované metody je to textilii U1. Toto srovnání je rozporuplné, jelikož dle inovované metodiky úhlu zotavení byla textilie U3 označená naopak jako za nejméně mačkovou a textilie U1 jako za nejvíce mačkovou.

Vzniklé rozdíly pořadí mačkovosti textilií, viz tab. 10 lze přisuzovat právě výše zmiňovanému způsobu měření mačkovosti klasickou úhlovou metodou, tj. měření dvou základních směrů po osnově a po útku. Jak ukazují obrázky z experimentu nošením, ke vzniku zlomu a ohybu textilie dochází ve větší míře právě v diagonálních směrech.

Tab. 9. Výsledné hodnoty úhlu zotavení

Mat.	Inovovaná metoda				Klasická metoda UMAK				
	$\alpha_{300} [^\circ]$	M [%]	$\alpha_{300}^{\text{har}} [^\circ]$	M^{har} [%]	$\alpha_{300} [^\circ]$	M [%]	$\alpha_{3600} [^\circ]$	M [%]	$\Delta\alpha_{3600-300}$ [%]
U1	112,9	62,7	112,5	62,5	101,2	56,2	112,2	62,3	6,1
U2	114,3	63,5	113,7	63,2	97,2	54,0	105,6	58,7	4,7
U3	121,5	67,5	121,1	67,3	92,2	51,2	102,3	56,8	5,6
U4	114,5	63,6	114,1	63,4	91,8	51,0	101,9	56,6	5,6
U5	116,1	64,5	115,5	64,2	93,4	51,9	99,4	55,2	3,3
U6	118	65,6	117,6	65,3	98,4	54,7	106,4	59,1	4,4

Poznámka: pro koeficient mačkovosti M platí – čím nižší tím mačkovější

Doplňující experiment reálného nošení kalhot potvrdil stejné výsledky jako naše inovovaná metoda úhlu zotavení. V experimentu nošením byla jako textilie s největší mačkovostí označena rezná tkanina U1, viz obr. 57. Z obrázku je zřejmé, že na povrchu předního i zadního dílu kalhot se vyskytovaly po 8 hodinách výrazné zlomy, tzv. „ostré“ záhyby. Z tab. 10 je patrné, že číslo 1 označuje nejvíce mačkovou textilii a hodnota 6 pak označuje nejméně mačkovou textilii. Jako nejméně mačková byla ohodnocena experimentem nošení textilie U3, viz obr. 58. Její zmačkaný povrch byl tvořen méně výraznými zlomy, tzv. „oblými“ záhyby, pouze na zadním díle bylo v oblasti sedu vytvořeno menší množství výrazných „ostrých“ záhybů. Při vizuálním hodnocení zmačkaní nezávislými pozorovateli se vzor textilie U3 projevil jako zásadní překážka při subjektivním hodnocení zmačkaného povrchu. Potištění textilie způsobilo, že

některým pozorovatelům se textilie jevila více zmačkaná, což zvýšilo chybu subjektivního hodnocení.

Vytvořené pořadí textilií na základě experimentu nošení, viz tab. 10 po osmi i po šestnácti hodinách nošení, bylo shodné s pořadím vytvořeným dle námi navržené inovované metody při aritmetickém i harmonickém průměru úhlu zotavení (α_{300} , $\alpha_{300}^{\text{har}}$). Výsledky obou metod shodně potvrdily, že úprava snižuje mačkovost textilií.

Tab. 10. Sestavené pořadí textilií pro jednotlivé metody hodnocení mačkovosti

Mat.	Inovovaná metoda		Klasická metoda UMAK		Experiment nošení	
	$\alpha_{300}[\circ]$	$\alpha_{300}^{\text{har}}[\circ]$	$\alpha_{300}[\circ]$	$\alpha_{3600}[\circ]$	8 hod	16hod
U1	1	1	6	6	1	1
U2	2	2	4	4	2	2
U3	6	6	2	3	6	6
U4	3	3	1	2	3	3
U5	4	4	3	1	4	4
U6	5	5	5	5	5	5

Poznámka: Pořadí textilií je sestaveno od nejvíce mačkové textilie (1) po nejméně mačkovou textilií (6)

Experimentem nošení bylo také potvrzeno, že mačkovost je anizotropní vlastnost, viz obr. 57 (tvorba záhybů) a její hodnocení pouze ve dvou směrech je nedostačující, další materiály viz příloha 4. Lze konstatovat, že navrhovaná inovovaná metodika měření úhlu zotavení (proměření všech dvanácti směrů pootočení) vhodně popisuje reálné zmačkání textilií během užívání výrobku.

Výsledky dále prokázaly, že hodnoty úhlu zotavení získané klasickou metodou na přístroji UMAK nekorespondují ani s experimentem dlouhodobého nošení (16 hod). V další části experimentu byly kalhoty intenzivněji zmačkány, tj. během dalších 8 hodin byly vystaveny velkému zatížení v průběhu spánku. Textilie U1 byla dle klasické metody úhlu zotavení, viz tab. 10, označena za nejméně mačkovou, avšak dle testu dlouhodobého nošení a zatížení textilie během spánku, kdy spolupůsobila teplota, vlhkost a hmotnost lidského těla, vykazovala tkanina U1 největší zmačkání, viz obr. 59. Textilie U3 se i po dlouhodobém zatížení jevila jako nejméně zmačkaná, viz obr. 60, což je zřejmé i z výsledků v tab. 10. Ani v tomto případě pořadí textilií zjištěné klasickou metodou UMAK, která vychází z hodinového zatížení vzorku, nebylo shodné s reálným zmačkáním textilie během nošení a zatížení oděvu.



Obr. 57. Zmačkání rezné textilie U1 - po osmi hodinách nošení



Obr. 58. Zmačkání rezné textilie U3 - po osmi hodinách nošení



Obr. 59. Zmačkání textilie U1 po dalších 8 hodinách intenzivního zatížení během spánku



Obr. 60. Zmačkání textilie U3 po dalších 8 hodinách intenzivního zatížení během spánku

4.4 Zhodnocení dílčích výsledků

Cílem práce bylo navrhnout objektivní způsob měření mačkavosti textilií pomocí úhlu zotavení. Nová inovovaná metoda měření úhlu zotavení umožnila studii anizotropie mačkavosti, procesu zotavení a rychlosti zotavení textilií. Přínos navrhované metody a metodiky hodnocení mačkavosti textilií pomocí úhlu zotavení lze shrnout do následujících bodů:

- Ruční měření a odečet úhlu zotavení byly nahrazeny digitálním záznamem pomocí web kamery. Nový software „Angle“ umožnil, že snímání obrazu úhlu zotavení lze provádět v různých časech a s různou četností.
- Díky vhodně nastavené snímací sekvenci úhlu zotavení lze sledovat podrobněji celý proces zotavení a to již od první sekundy. K záznamům se lze kdykoli vrátit.
- Navržená metodika umožnila změřit okamžitý úhel zotavení, tj. úhel zotavení v první sekundě po odlehčení textilie. Tento úhel byl dosud určován pouze výpočtem. Porovnáním teoretického a experimentálně zjištěného okamžitého úhlu zotavení, bylo zjištěno, že experimentální hodnota je průměrně o cca 15 % nižší. Experimentálně zjištěnou hodnotou jsme proto nahradili ne zcela přesný výpočet hodnoty okamžitého úhlu zotavení.
- Z analýzy vyplynula důležitost měření vzorku v prvních sekundách zotavení. Tvar křivky zotavení v prvních sekundách naznačuje tendenci materiálu k mačkavosti. Byly zaznamenány tvary křivek pro tkaniny z vlny, bavlny a lnu.
- Inovovaná metodika měření simuluje reálné mačkání textilií tím, že se měří mačkavost na textiliích v různých směrech, respektive vyšetřuje se anizotropie mačkavosti.
- Navržený kruhový tvar vzorku snížil efekt kroucení okrajů zkušebních vzorků, který byl typický pro obdélníkové vzorky. Úpravou vzorku na kruhový tvar se snížila spotřeba materiálu pro experimentální měření anizotropie.
- Zpřesnili jsme výpočet koeficientu mačkavosti. Hodnota je počítána z úhlu zotavení v různých směrech pootočení.
- Z analýzy získaných dat je patrné, že nadměrné snížení jedné soustavy nití od druhé mělo vliv na anizotropii úhlu zotavení textilií. Textilie s příliš velkým

rozdílem mezi dostavou osnovy a útku byly mačkové více. Zvyšující se počet útkových nití snižuje mačkavost textilie, avšak pouze do doby, než počet nití v útku začne převyšovat počet nití v osnově. V tomto případě se mačkavost začne zvyšovat.

- Při navrhování tkanin plátnové vazby, tj. vazby s pravidelným provázáním osnovních a útkových nití, je vhodné volit textilie s menší dostavou nití. Zvyšujeme-li rovnoměrně počet osnovních a útkových nití, zvyšuje se mačkavost tkaniny.
- Mezi textilie s dobrými relaxačními vlastnostmi a větší nemačkovostí patří textilie s volnější strukturou, např. s keprovou a atlasovou vazbou. Jejich struktura předurčuje textilie k menší mačkovosti.
- Bělení, barvení či potisk textilie snížily výslednou hodnotu mačkovosti textilie v porovnání s reznou textilií. Vliv těchto úprav, se projevil většími hodnotami úhlu zotavení v diagonálních směrech. V případě použití klasické metody úhlu zotavení (měření ve směru osnovy a útku), by vliv těchto úprav nebyl v plné míře odhalen.
- Potvrdily se nedostatky klasické úhlové metodiky, na které upozorňují dosavadní výzkumy v oblasti mačkovosti. Experiment nošení potvrdil, že mačkavost je anizotropní vlastnost a navržená inovovaná metodika velmi dobře simuluje reálné zmačkání textilií.

5 Predikce mačkavosti

Konstrukční parametry a materiálové složení ovlivňují mechanické vlastnosti textilií. Je známo, že ohybové i smykové vlastnosti mají zásadní vliv na tvarovou stálost textilií. Pro predikci mačkavosti plošných textilií je potřeba nalézt a vybrat ty parametry, které nejvíce přispívají k mačkavosti plošných textilií. V případě negativního charakteru pak eventuálně eliminovat jejich vliv natolik, aby nedocházelo ke zvýšení mačkavosti textilií a zhoršení estetického vzhledu textilie a i samotného oděvu.

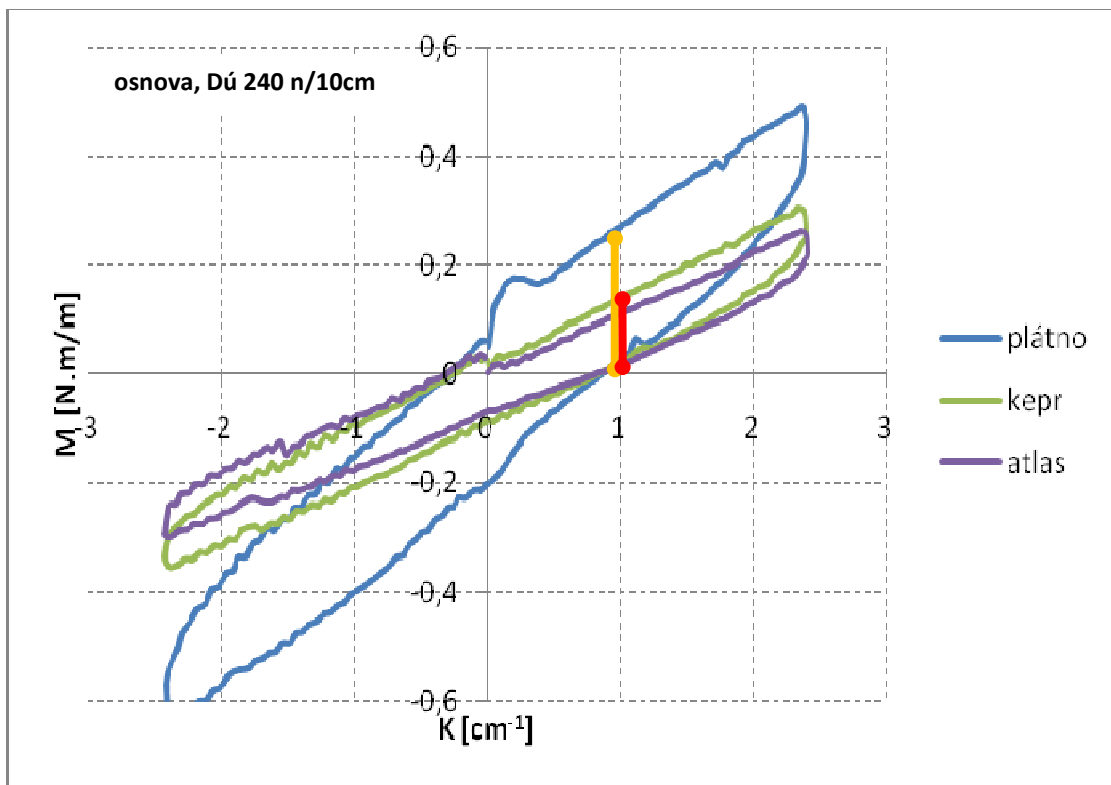
5.1 Parametry ovlivňující mačkavost textilií

Identifikace nejdůležitějších parametrů ovlivňujících mačkavost je jednou z klíčových úloh pro predikci mačkavosti textilií. Jako vstupní konstrukční parametry textilií byly vybrány: jemnost použitých přízí, vazba, dostava, tloušťka, plošná hmotnost. Z mechanických parametrů byly hodnoceny: ohybová tuhost, ohybový moment hystereze, smyková tuhost, smykový moment hystereze. Výstupním parametrem byla hodnota úhlu zotavení ve třísté sekundě zotavení α_{300} . Základní statistická analýza jednorozměrných dat je uvedena v příloze 5.

Jedním z mechanických parametrů ovlivňujících mačkavost a schopnost zotavení je tuhost v ohybu, kterou lze definovat jako odpor textilie proti deformaci ohybáním. Je to reakce textilie na působení vnější ohybové síly. Tuhost v ohybu tkaniny je závislá na ohybové tuhosti příze a způsobu provázání příze ve tkanině, případně na finální úpravě. Pro experimentální hodnocení ohybové tuhosti textilií byl použit systém KES-FB (Kawabata Evaluation System for Fabrics) a to modul KES-FB 2. Výsledkem měření jsou ohybové charakteristiky jako: tuhost v ohybu tkaniny na jednotku délky B [$\times 10^{-4} \text{ Nm}^2/\text{m}$] a moment hystereze na jednotku délky 2HB [$\times 10^{-2} \text{ Nm}/\text{m}$]. Změřené hodnoty ohybových a smykových charakteristik použitých materiálů uvádí příloha 6A).

Zotavení textilie je do jisté míry závislé na ohybové tuhosti textilie, ale také na momentu hystereze. Ze záznamu ohybové deformace lze pozorovat, vlivem zvětšované dostavy útku (a tím i zakrytí textilie) změnu sklonu přímky mezi křivostí $K = 0,5 \text{ cm}^{-1}$ a $K = 1,5 \text{ cm}^{-1}$, ale také změnu momentu hystereze. Grafické záznamy ohybové deformace (záznam jednoho měření pro ohyb ve směru osnovy) ukazují, že dostava i vazba ovlivňují ohybovou tuhost i velikost hystereze. Žluté a červené zvýraznění

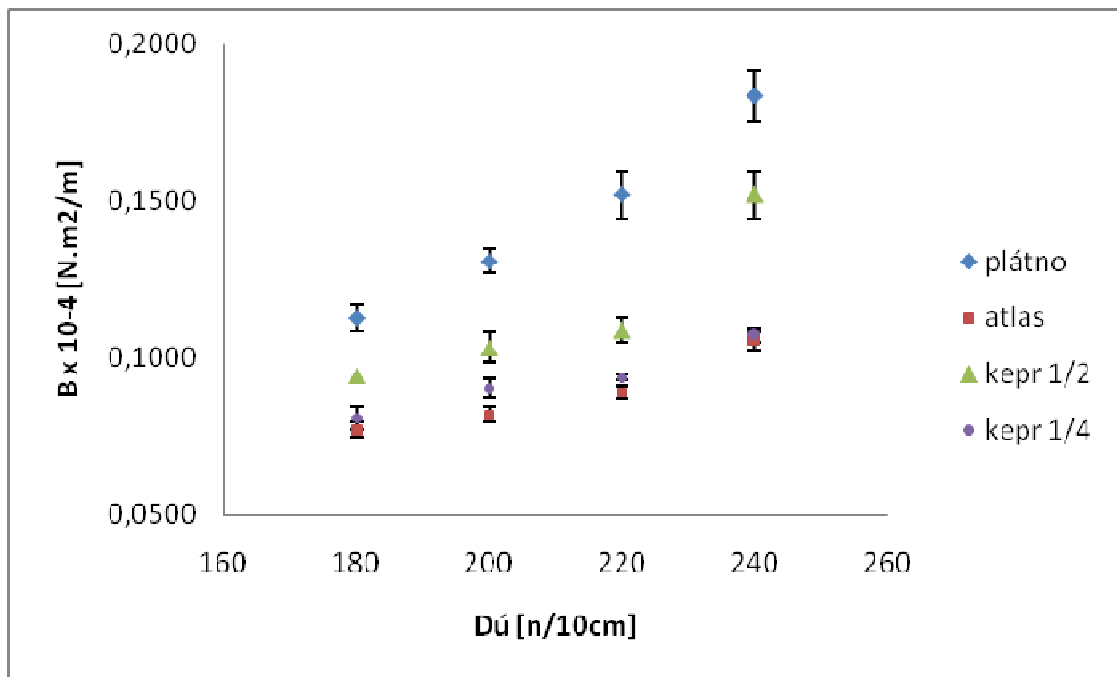
v grafu, viz obr. 61, znázorňuje rozdílnou velikost momentu hystereze mezi plátňovou a keprovou vazbou. Největší velikost hystereze vykazovala plátňová vazba (modrá křivka). Větší hodnota momentu hystereze poukazuje na větší hodnotu disipační energie, respektive proměnu energie na teplo. Energie, transformována na teplo vlivem tření ve vazných bodech, ale i ve vláknech, může zhoršit zotavení textilie po zmačkání, respektive může zvýšit mačkavost textilie. Větší množství přeměněné energie při ohybové deformaci signalizuje větší ztrátu energie potřebné pro zotavení textilie při pomačkání.



Obr. 61. Závislosti ohybového momentu na křivosti pro vazby plátňo, kepr, atlas:

Při ohybu textilie se průřez nití zplošťuje a mění se kvadratický moment průřezu a s ním i ohybová tuhost nitě i ohybová tuhost samotné textilie. Vlivem větších třecích sil vzniklých při zploštění nitě dochází zároveň k jejímu zpevnění. Větším počtem nití nebo pravidelným provázáním osnovních a útkových nití se tak zvyšuje ohybová tuhost textilie, viz obr. 62. Naopak flotáže (plovoucích nitě) nepůsobí při ohybové deformaci tak velké třecí síly jako u vazby plátňové a proto vazba keprová a atlasová vykazují mnohem menší hodnoty ohybové tuhosti. U tkanin plátňové vazby se vlivem větší dostavy útku zvýšila ohybová tuhost o 60 % a u keprové a atlasové vazby pouze o 33 %. Při konstantní dostavě osnovy a konstantní jemnosti přízí se projevily vlivy měnící se dostavy útku a vazby také na hodnotách ohybového momentu hystereze.

Největší hysterze ohybu vykazovala plátňová vazba s dostavou útku 240 nití/10cm. Se zvyšujícím se počtem útkových nití, i zakrytím roste i hodnota ohybového momentu. Vliv vazby atlasové a keprové K1/4 je pro velikost ohybového momentu hysterze zanedbatelný. Jak ohybová tuhost, tak ohybový moment hysterze nabývají u těchto dvou vazeb téměř stejných hodnot, které jsou mnohem nižší než hodnoty pro plátňovou vazbu, viz příloha 6B).

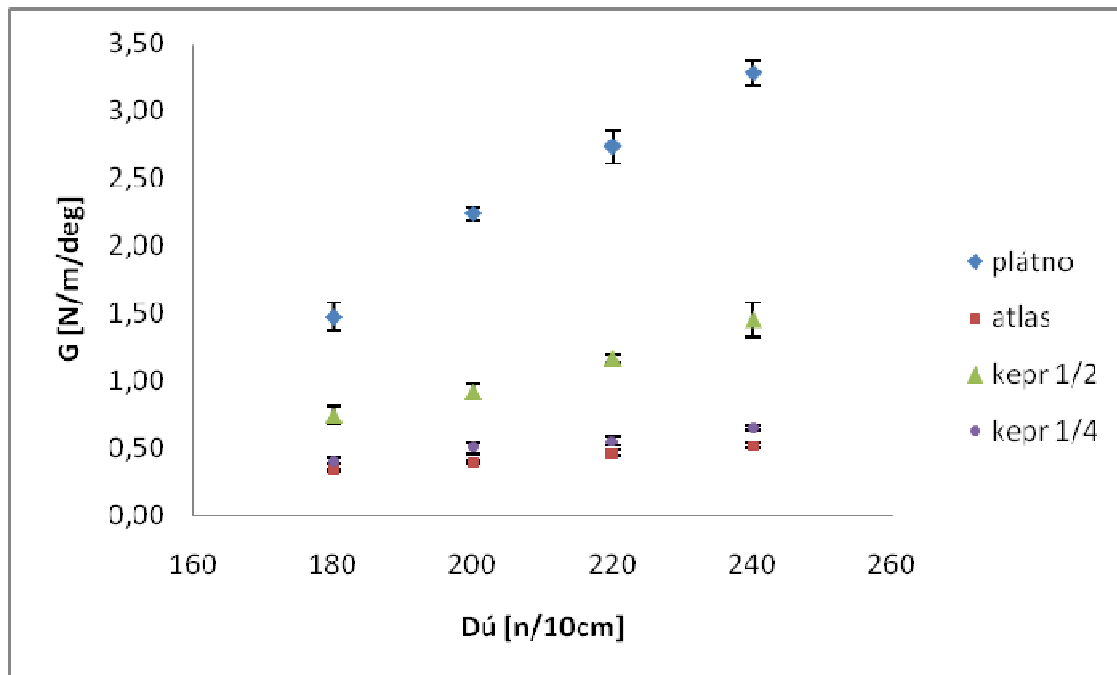


Obr. 62. Vliv vazby a dostavy útku na ohybovou tuhost

Dalšími parametry, které mohou mít významný vliv na mačkavost, jsou tuhost ve smyku G [N/m.deg], hysterze při úhlu smyku $0,5^\circ$ 2HG [N/m], hysterze při úhlu smyku 5° 2HG5 [N/m], které byly měřené na přístroji KES-FB1. Je známo, že velkou hysterze (energií vynaloženou na deformaci) a větší smykovou tuhost vykazují materiály tužší, s vyšší plošnou hmotností, s větší četností provázání, větší dostavou, zatím co materiály s nízkou plošnou hmotností, nižší dostavou, vykazují nižší hysterze a smykovou tuhost.

Z výsledků vyplývá, že menší počet útkových nití ($Dů = 180$ n/10cm), nižší plošné zakrytí tkaniny vedlo k nižší smykové tuhosti, viz obr. 63, i nižší hysterze smyku, viz příloha 6B). Největší smykovou tuhost i hysterze smyku a tedy největší mačkavost vykazovala textilie plátňové vazby (modré body v grafu), a naopak nejnižší hodnotu smykové tuhosti i smykového momentu hysterze měly textilie vazby atlasové a keprové K1/4, které patřily mezi textilie nejméně mačkavé. Z grafu je patrné, že

největší vliv zvyšující se dostavy a tedy i zakrytí textilie na smykové charakteristiky se projevil u vazby plátnové.



Obr. 63. Vliv vazby a dostavy útku na smykovou tuhost

Byly zaznamenány rozdíly mezi mechanickými parametry ve směru osnovy a útku, a to jak u režných tak běžných bavlněných textilií. Jak ukazují grafy v příloze 6C), značný rozdíl je patrný především mezi ohybovými charakteristikami ve směru osnovy a útku. U smykových charakteristik je naopak tento rozdíl minimální. Analýza velikosti zotavení plošné textilie ukazuje, že nejmenší rozdíly mezi ohybovými charakteristikami prokazovala vazba plátnová a zároveň rozdíl v úhlu zotavení mezi osnovou a útkem byl minimální.

Hodnocení vlivu vybraných konstrukčních parametrů a mechanických vlastností plošných textilií na mačkavost bylo analyzováno prostřednictvím vícerozměrné statistické analýzy.

5.2 Vícerozměrná statistická analýza mačkavosti textilií

Pomocí vícerozměrné statistické analýzy (PCA) na zvoleném souboru materiálů jsme chtěli nalézt statisticky významné znaky, které přispívají k rozdílům mezi materiály, tzn. vytipovat materiály, jejichž znaky jsou si i vzhledem k rozdílné struktuře

podobné. Zdrojová matice dat obsahovala v devíti sloupcích kvalitativní znaky a ve dvaceti jedna řádcích sledované objekty (materiály M33–M48, S1–S5).

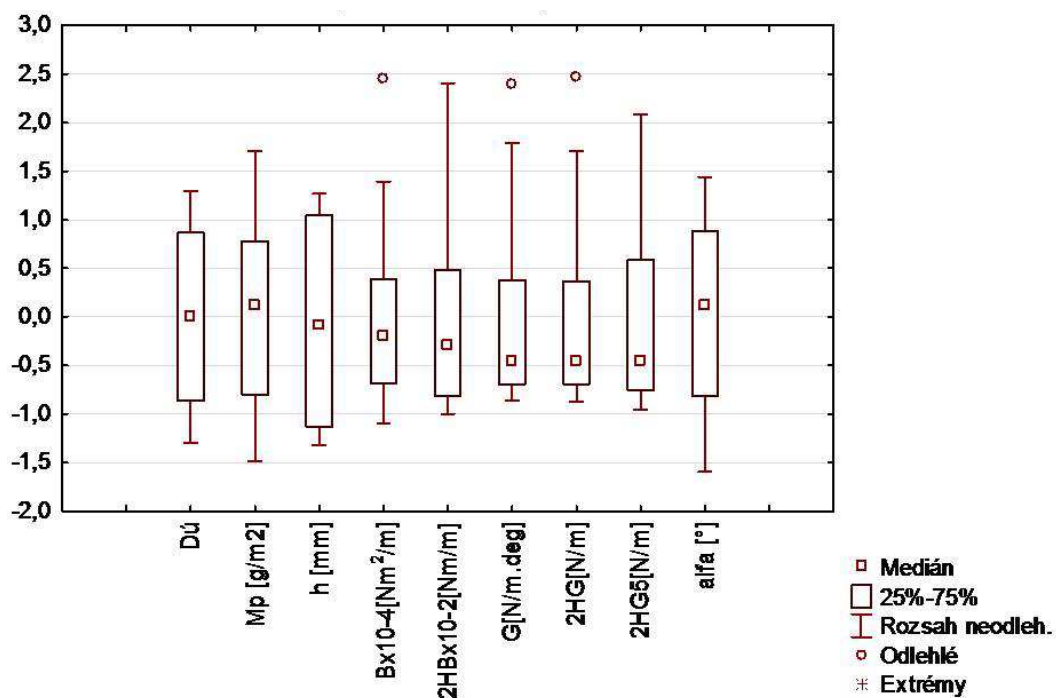
Během zmačkání je textilie vystavena namáhání, které může v textiliích způsobovat nevratné (plastické deformace) a tím dochází ke vzniku záhybu nebo ke zmačkání povrchu textilie. Mačkavost je ovlivněna jak materiálovým složením, tak konstrukčními parametry textilie (vazba, dostava, jemnost přízí, plošná hmotnost, tloušťka). Prvním krokem analýzy bylo, ve vytipovaném souboru parametrů, určit ty znaky, jejichž hodnoty co nejpřesněji definují mačkavost textilií.

Vícerozměrná statistická analýza je metoda založená na latentních proměnných, které jsou lineární kombinací vstupních proměnných. Cílem analýzy dat je nalézt shluk podobných materiálů. Podobnost materiálů je posuzována na základě jistých podobností, respektive vzdáleností v devíti rozměrném prostoru všech znaků. Strukturu a vazby mezi sledovanými znaky hodnotí metody jako: rozptylový diagram skóre zobrazuje objekty rozptýlené v rovině prvních dvou hlavních komponent, graf komponentních vah porovnává vzdálenosti, podobnosti mezi znaky, silnou korelaci určuje krátká vzdálenost. Znaky i objekty lze hierarchicky seskupovat do shluků, výsledkem je pak graf nazývaný dendrogram.

Vzhledem k rozdílnosti zkoumaných souborů materiálů bylo potřeba jednotlivé skupiny materiálů analyzovat samostatně. Při PCA analýze materiálů s označením M, S nebyly hodnoty objektů v rozptylovém diagramu komponentního skóre rozptýlené po celé ploše diagramu. Vzhledem k vybočujícím hodnotám materiálů S1–S5 přestal mít tento diagram vypovídající hodnotu vzhledem k tomu, že ostatní objekty, tj. materiály M33–M48, byly akumulovány do jednoho úzkého shluku. Po odstranění vybočujících objektů tkanin S1–S5 se ostatní objekty rozptýlily po celé ploše diagramu a již lépe zobrazovaly existující shluky. Zdrojová matice o rozměru 21x9 byla změněna na rozměr 16x9, přičemž obsahovala ve sloupcích následující znaky: dostava útku (Dú), plošná hmotnost (Mp), tloušťka materiálu (h), ohybová tuhost (B), ohybový moment hystereze (2HB), smyková tuhost (G), smykový moment hystereze při smyku 0,5 ° a 5 ° (2HG, 2HG5) a úhel zotavení (α_{300}), viz tab. 11. Data použitá pro vícerozměrnou analýzu jsou uvedena v příloze 7A). Ze základních charakteristik znaků zdrojové matice je patrné, že soubor dat pochází z normálního rozdělení. Z krabicového grafu, viz obr. 64, je patrné, že nejvíce vybočující měření vykazuje parametr 2HB, mírné zešíkmení a jedno odlehlé měření vykazuje vlastnosti B a G.

Tab. 11. Základní popisné statistické charakteristiky režných bavlněných materiálů M33-M48

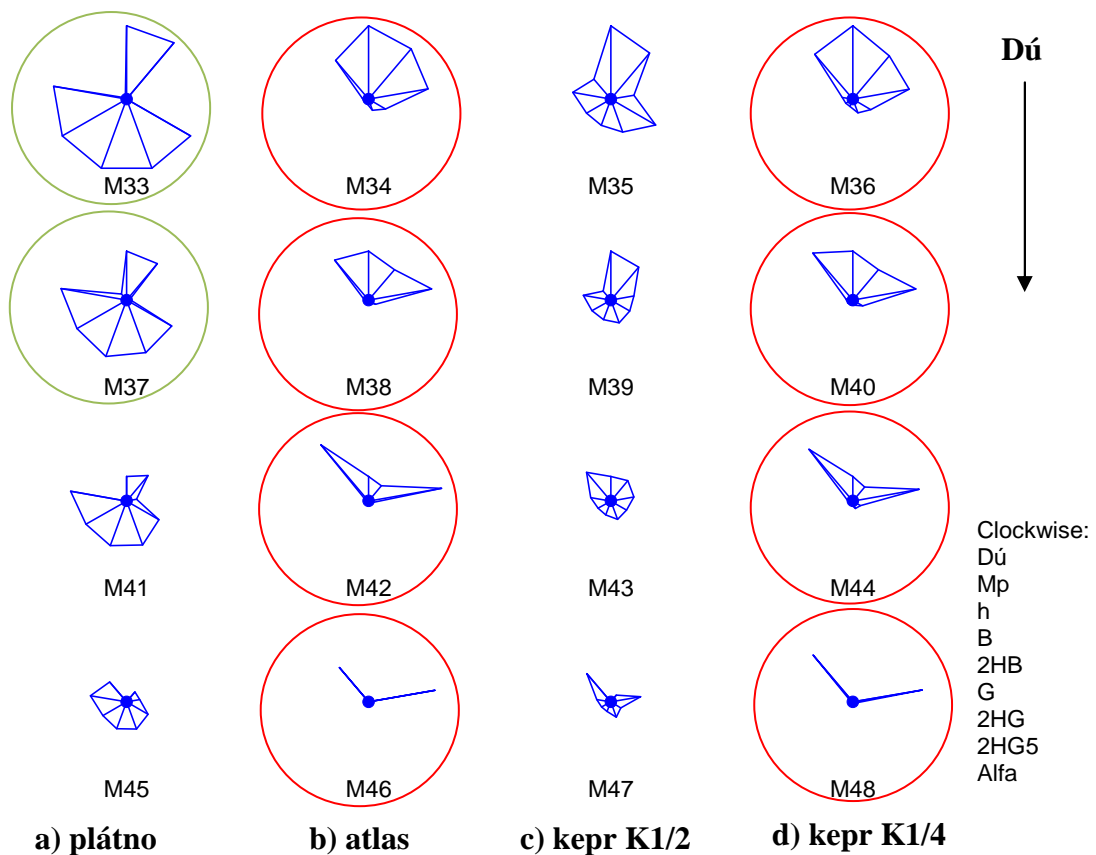
Proměnné Označení proměnných	Dů x ₁	Mp x ₂	h x ₃	B x ₄	2HB x ₅	G x ₆	2HG x ₇	2HG5 x ₈	α_{300} y
Průměr:	210,0	166,3	0,52	0,110	0,109	1,12	2,40	3,04	121,9
Spodní mez:	197,7	161,5	0,48	0,094	0,085	0,63	1,21	1,70	119,1
Horní mez:	222,3	171,2	0,56	0,126	0,133	1,60	3,59	4,39	124,6
Rozptyl:	533,3	83,2	0,01	0,001	0,002	0,82	4,99	6,38	26,2
Směr. odchylka:	23,1	9,1	0,08	0,030	0,046	0,91	2,23	2,53	5,1
Šikmost:	0,0	0,1	-0,17	1,116	1,085	1,27	1,29	0,95	-0,3
Špičatost:	1,6	1,9	1,38	3,345	3,232	3,38	3,53	2,53	1,8
Min	180,0	152,8	0,4	0,077	0,063	0,3	0,4	0,6	113,7
Max	240,0	181,9	0,62	0,184	0,219	3,28	7,89	8,30	129,3



Obr. 64. Krabicový graf více proměnných

Podobnost zkoumaných textilií byla porovnávaná pomocí ikonových (smyslových) grafů, viz obr. 65, ze kterých je patrný vliv vazby a dostavy útku na vybrané vlastnosti textilií. Každý paprsek ikonového grafu reprezentuje relativní hodnoty proměnných (měřená vlastnost) u jednotlivých objektů (textilií), které se liší v daném směru svoji délkou. Krátká délka paprsku ukazuje, že u objektů příslušná proměnná nabývá nejmenších hodnot z celého výběru a naopak. Orientace proměnných v grafech je pravotočivá. Shodné tvary ikonových grafů byly pozorované mezi režnými

bavlněnými textiliemi vazby atlasové a keprové K1/4 při dostavě útku 240, 220, 200, 180 n/10cm resp. mezi textiliemi označenými červeně, dále jako textilie M34 a M36, M38 a M40, M42 a M44, M46 a M48. Z čehož plyne, že tyto tkaniny nabývají podobných hodnot měřených vlastností. U jednotlivých tkanin je patrné, že změna dostavy útku ovlivňuje hodnocené vlastnosti a tedy i tvar ikonových grafů (kratší délka paprsku). Jak ukazují shodné ikonové grafy textilií plátňové vazby, M33 (240 m/10cm) a M37 (220 n/10cm), zelená skupina označených materiálů, vliv dostavy se projevil na nižších hodnotách měřených parametrů v daných směrech (kratší délka paprsku).



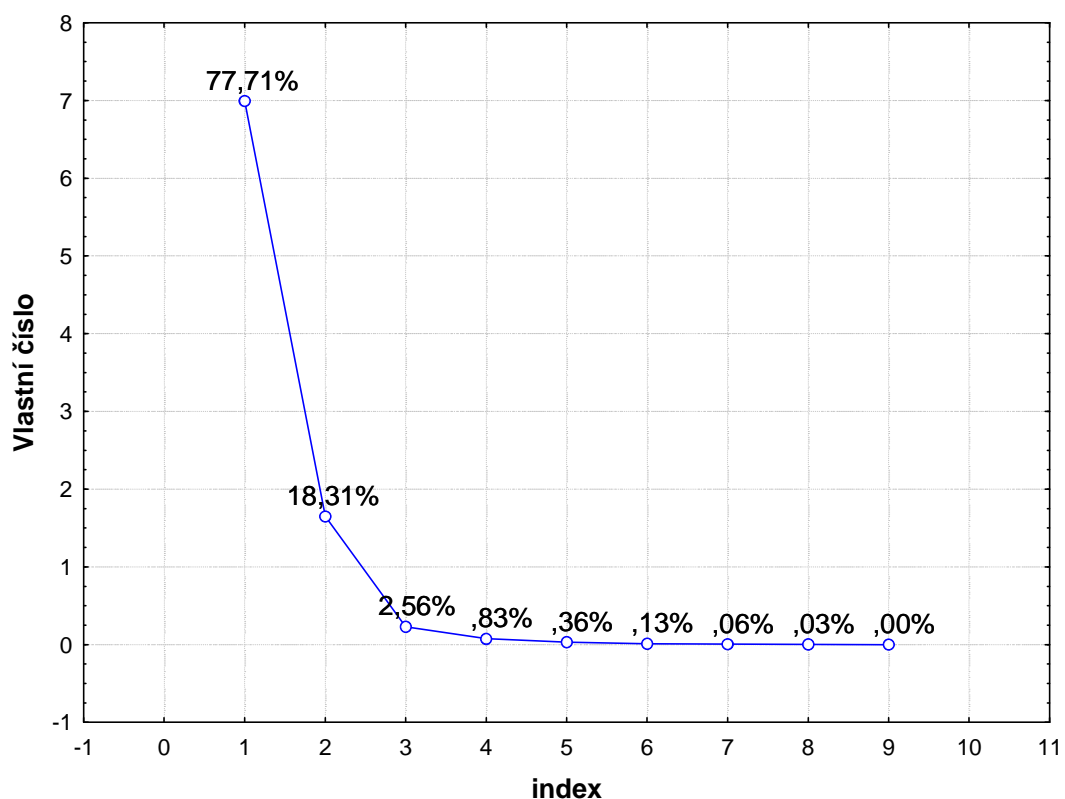
Obr. 65. Ikonový hvězdičkový graf ukazuje na podobné materiály

Vzájemné vazby mezi znaky ukazují také hodnoty korelačních koeficientů v tab. 12, které jsou první informací o vzájemných vazbách mezi znaky. Z tabulky lze vyčíst vliv různých parametrů na mačkavost např., že významnějším faktorem ovlivňujícím mačkavost je tloušťka textilie (h) oproti plošné hmotnosti (Mp), což potvrzuje i graf obr. 68. Silná, ale negativní korelace byla prokázána mezi ohybovými, smykovými charakteristikami a mačkavostí textilie, respektive úhlem zotavení. Větší závislost úhlu zotavení se projevila na hysterizi ohybu či smyku.

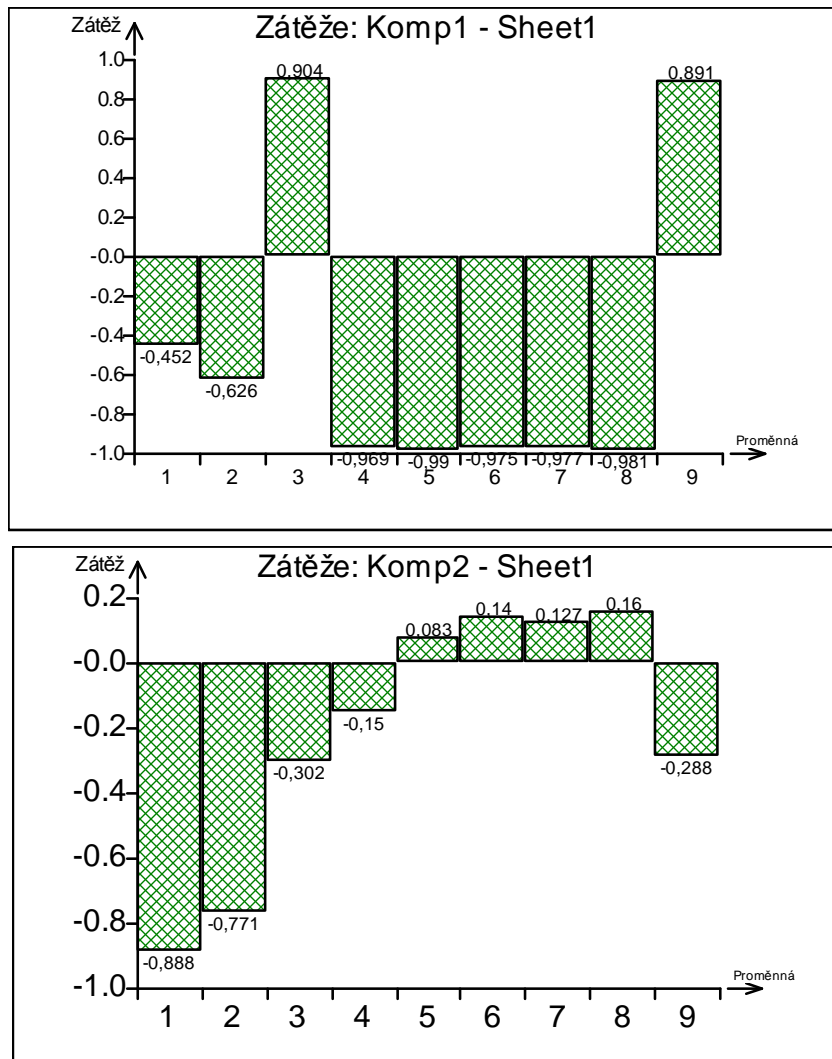
Tab. 12. Korelační matice znaků. Korelace jsou významné na hladině $p < 0,05$

proměnná	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Dú	Mp	h	B	2HB	G	2HG	2HG5	alfa
Dú	1								
Mp	0,969	1							
h	-0,151	-0,353	1						
B	0,564	0,707	-0,817	1					
2HB	0,368	0,549	-0,902	0,957	1				
G	0,309	0,491	-0,879	0,927	0,989	1			
2HG	0,321	0,503	-0,877	0,931	0,991	0,999	1		
2HG5	0,300	0,484	-0,918	0,929	0,988	0,991	0,990	1	
alfa	-0,168	-0,359	0,933	-0,782	-0,874	-0,867	-0,868	-0,899	1

Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel, viz obr. 66, představoval základní pomůcku k určení potřebného počtu hlavních komponent u metody hlavních komponent PCA. Prvním výrazným zlomem tento graf identifikoval, že první dvě hlavní komponenty popisují data dostatečně, tj. z 96 %. Lze proto snížit rozměrnost zdrojové matice dat z původních devíti znaků na dvě latentní proměnné PC1 a PC2, jak uvádí obr. 67. První komponentu PC1 tvoří především mechanické vlastnosti textilií a úhel zotavení. Druhá komponentu PC2 je dána především geometrickými vlastnostmi jako dostava útku a plošná hmotnost textilie. Zátěž jednotlivých komponent pak sledujeme na obr. 67.

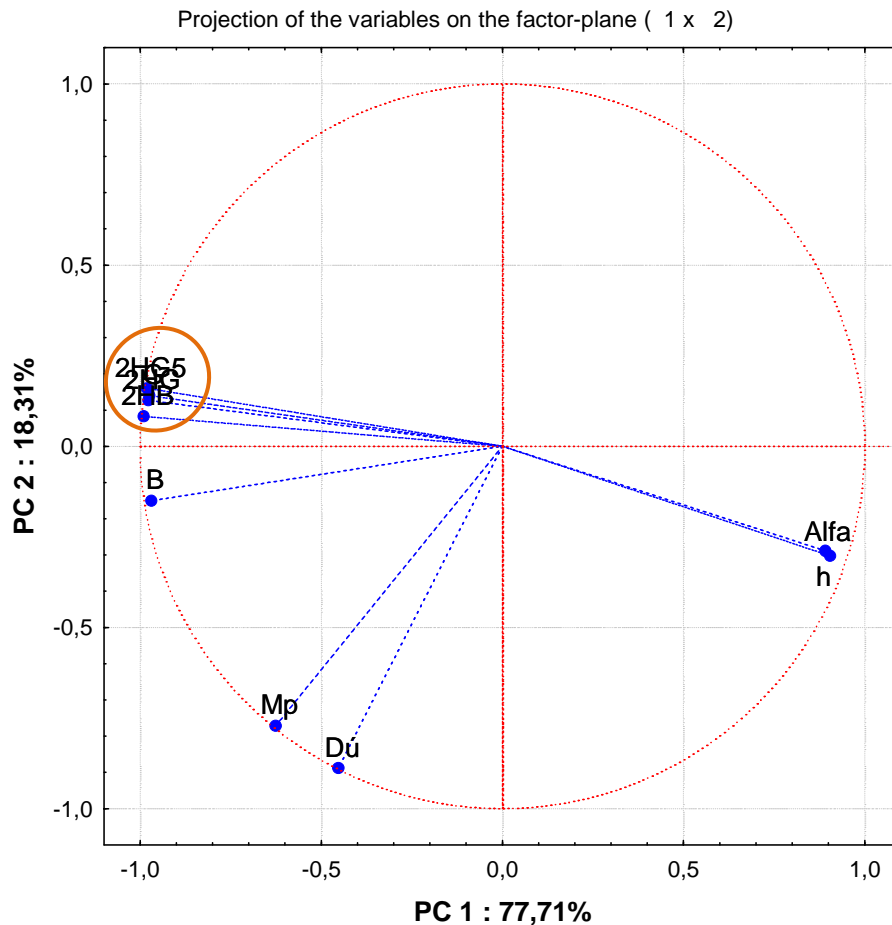


Obr. 66. Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel



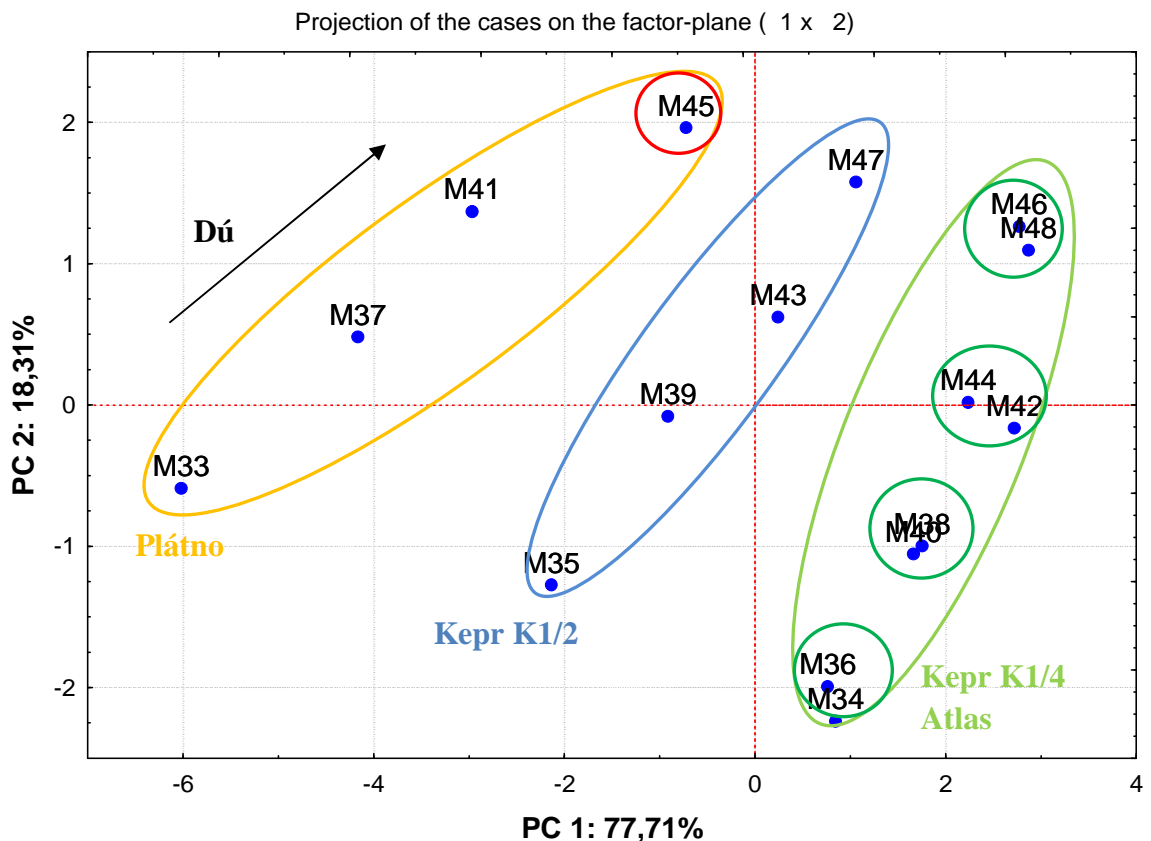
Obr. 67. Zátěž jednotlivých komponent

Graf komponentních vah obr. 68 ukazuje, které vlastnosti textilií jsou si podobné, a tedy spolu korelují. Na základě délky a úhlu sevření průvodiče jednotlivých znaků lze poukázat na jejich závislost a důležitost. Důležité znaky, které leží daleko od počátku soustavy souřadnic, jsou např. ohybová tuhost (B), ohybový moment hystereze (2HB), smyková tuhost (G), smykový moment hystereze (2HG, 2HG5). Jejich průvodiče vzájemně svírají malý úhel, který určuje vysokou pozitivní korelaci mezi těmito znaky a tím ukazuje na jejich podobnou významnost v modelu. Úhel sevření mezi průvodiči např. smykovým momentem hystereze (2HG5) a tloušťkou (h), smykovým momentem hystereze (2HG5) a úhlem zotavení (α) se blíží hodnotě 180° , což poukazuje na silnou negativní korelaci.



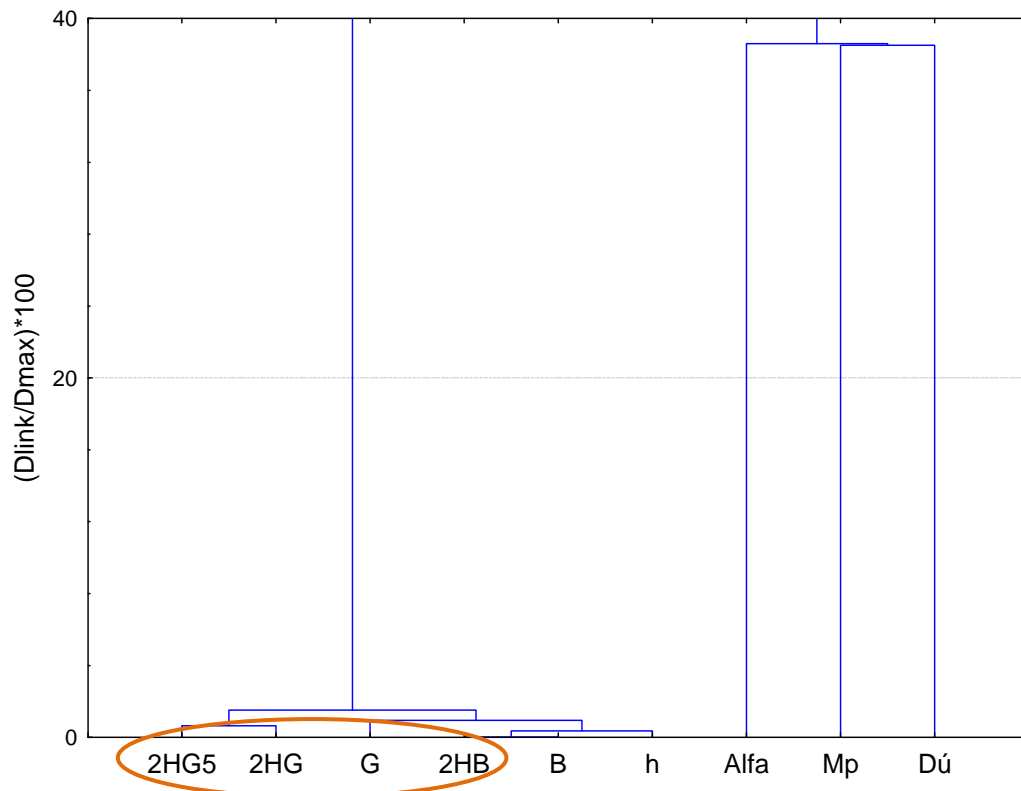
Obr. 68. Graf komponentních vah 1. A 2. hlavní komponenty

Rozptylový diagram komponentního skóre viz obr. 69, roztřídil šestnáct materiálů do třech shluků dle vazby a poukazuje na významnost dostavy nad vazbou. Tento závěr je v souladu s teoretickými předpoklady a do určité míry můžeme upozornit na vliv vazby na mačkavost, ale jsou zde mezní hodnoty, kdy tato závislost neplatí. Např. textilie plátňové vazby M45 s nejmenším počtem útkových nití (180 n/10cm) se přibližuje vlastnostem textilie M47 s keprovou vazbou K1/2 (180 nití/10cm), z čehož plyne, že snížením počtu přízí ve směru útku se plátňová vazba přiblížila vlastnostem keprové vazby a tím se stává i méně mačkovou. V grafu jsou dále patrné shluky (zelená barva), které jsou známkou podobnosti těchto textilií. Ve všech čtyřech zelených shlucích se jedná o materiály vazby atlasové a keprové K1/4. Tyto textilie vykazují podobné vlastnosti u všech dostav útku.

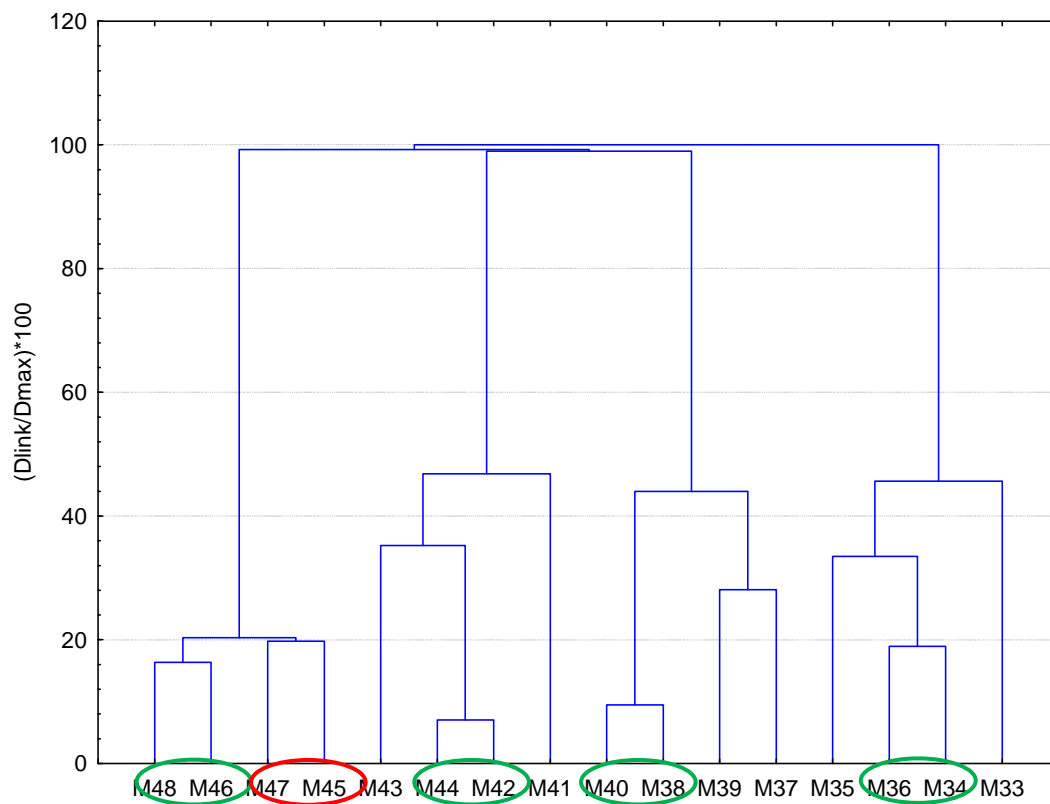


Obr. 69. Rozptylový diagram komponentního skóre ukazuje na shluky podobných materiálů

Byl sestaven dendrogram znaků (vlastností) viz obr. 70, který ukazuje na dva shluky. V prvním shluku je šest znaků vzájemně si blízkých vlastností (2HG5, 2HG, G, 2HB, B, h). Ve druhém shluku jsou tři znaky s vysokou hodnotou euklidovské vzdálenosti (Alfa, Mp, Dú). Dendrogram případů (textilií), viz obr. 71, ukazuje na čtyři shluky. Zleva první shluk Dú = 180 n/10cm, druhý shluk Dú = 200 n/10cm, třetí shluk Dú = 220 n/10cm a čtvrtý shluk Dú = 240 n/10cm. Graf komponentního skóre a dendrogram případů shodně vykazují shluky podobných vazeb atlasové a keprové K1/4 (zakroužkované zeleně) a potvrzují blízkost materiálů M45 a M47 (zakroužkované červeně). Shlukováním se podařilo nalézt dominantní znaky, dle kterých se klasifikují textilie do shluků a tyto výsledky korespondují s výsledky PCA analýzy.



Obr. 70. Dendrogram znaků odhaluje podobné shluky



Obr. 71. Dendrogram 16 případů odhaluje materiály podobné a blízké si charakterem všech sledovaných znaků

5.3 Sestavení predikční rovnice pro výpočet úhlu zotavení

PCA analýza odhalila shluky vzájemně si podobných vstupních parametrů textilií, což lze využít k jejich redukci. Podobné výsledky byly potvrzeny i korelační analýzou. Bylo poukázáno na vhodné parametry do predikčního regresního modelu.

Návrh regresního modelu

Jako predikční modely byly uvažovány:

- lineární regresní funkce ve tvaru:

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ji} \quad (64)$$

- polynomická funkce, Taylorův polynom 2. stupně

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ij} + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m b_{jk} x_{ki} x_{ji} + \sum_{j=1}^m b_{jj} x_{ji}^2 \quad (65)$$

V práci Glombíkové [65] byl proveden přehled modelů užívaných pro predikci splývavosti plošných textilií. Se začleněním mechanických vlastností a parametrů ohybové a smykové hystereze počítá tzv. Niwa model, který zařazuje jako nezávislé proměnné v predikční rovnici následující relace vybraných mechanických parametrů textilií: $(B/Mp)^{1/3}$, $(2HB/Mp)^{1/3}$, $(G/Mp)^{1/3}$, $(2HG/Mp)^{1/3}$. Vzhledem k výše uvedeným poznatkům byla vyslovena hypotéza, že mačkavost může také souviset s mechanickými vlastnostmi, jako jsou ohyb a smyk, které jsou v poměru s plošnou hmotností. Na základě této hypotézy byly navrženy a ověřeny modely (66) a (67).

$$y = b_0 + b_1 \sqrt[3]{B/Mp} + b_2 \sqrt[3]{2HB/Mp} + b_3 \sqrt[3]{G/Mp} + b_4 \sqrt[3]{2HG/Mp} \quad (66)$$

$$y = b_0 + b_1 \sqrt{B/Mp} + b_2 \sqrt{2HB/Mp} + b_3 \sqrt{G/Mp} + b_4 \sqrt{2HG5/Mp} \quad (67)$$

Efektivnost modelů byla hodnocena pomocí koeficientu determinace R^2 , pomocí střední kvadratické predikce (MEP) a Akaikeho informačního kritéria (AIC), které představují rozhodující kritéria při hledání nejlepšího regresního modelu. Za optimální byly považovány modely, u kterých dosahovaly MEP a AIC minimální hodnotu a R^2 maximální hodnotu. První základní regresní model (model A), viz tab. 13 byl sestavený aplikací klasické vícerozměrné lineární regresní funkce a obsahoval všech

sedm proměnných (Mp, h, B, 2HB, G, 2HG, 2HG5). Je zde patrná nevýznamnost jednotlivých parametrů, viz tab. 13.

Tab. 13. Odhady parametrů pro základní lineární regresní model A všech proměnných

Proměnná	Odhad	Směrodatná odchylka	Závěr	Pravděpodobnost	Spodní mez	Horní mez
Abs	97,10	23,28	Významný	0,0031	43,43	150,78
Mp	-0,04	0,12	Nevýznamný	0,7342	-0,31	0,23
h	39,26	28,94	Nevýznamný	0,2119	-27,47	105,99
B	64,37	105,94	Nevýznamný	0,5603	-179,93	308,68
2HB	68,80	170,57	Nevýznamný	0,6972	-324,52	462,13
G	29,56	24,66	Nevýznamný	0,2650	-27,31	86,42
2HG	-11,82	9,33	Nevýznamný	0,2411	-33,34	9,71
2HG5	-2,71	2,79	Nevýznamný	0,3601	-9,15	3,73

Charakteristiky kvality regresního modelu, viz tab. 14 ukazují sice na jeho velmi dobrou predikční schopnost (vysoká hodnota R^2), ale také na nestabilitu, která se projevuje nízkým predikovaným koeficientem korelace R_p . Model zároveň vykazuje multikolinearitu (Hodnota kritéria SC = 0,592), která je častým jevem u vícerozměrných regresních modelů.

Tab. 14. Statistické charakteristiky regrese pro základní model

Vícenásobný korelační koeficient R:	0,954
Koeficient determinace R^2 :	0,911
Predikovaný korelační koeficient R_p :	0,121
Střední kvadratická chyba predikce MEP :	33,026
Akaikeho informační kritérium AIC:	28,530

Multikolinearita byla v navrhovaných regresních modelech indikována z významných hodnot párových korelačních koeficientů mezi jednotlivými ohybovými a smykovými charakteristikami. Současně byla indikována z vysokých hodnot parametru VIF (Variance Inflation Factor). Multikolinearita způsobila problémy ve formě nestability odhadů parametrů regresního modelu (velké rozptyly proměnných), které mohou negativně ovlivnit výslednou predikční schopnost modelu.

Redukce vstupních proměnných byla provedena na základě Stepwise regresní analýzy pomocí softwaru QC Expert 2.5, který využívá metodu „all possible subsets regression“ metodu všech možných regresních funkcí, tj. regresi ze všech možných kombinací vstupních proměnných. K nalezení optimálního modelu bylo využito třech kritérií: F-statistiky (FIS) – největší hodnota nejlepší model, Akaikeho kritéria (AIC) a střední kvadratické chyby (MEP). Metoda Stepwise označila jako nejvhodnější

modely ty, které jsou tučně označené v tab. 15, modely B, C, G, H. Charakteristiky kvality lineárních regresních modelů ukazují na jejich velmi dobrou predikční schopnost (vysoká hodnota $R^2 = 0,88$), ale také na stabilitu u modelů G, H, která se projevuje dobrým predikovaným koeficientem korelace R_p . Dle našich předpokladů, by měla být mačkavost závislá jak na smykových tak i na ohybových parametrech. Proto byly ověřeny i regresní modely s touto kombinací. Jako optimální byly vybrány modely I, J, K.

Tab. 15. Modely dle Stepwise QC Expert 2.5 a charakteristika kvality regrese

Model	Významné kombinace proměnných	R_p	R^2	Fis	AIC	MEP	RMSE
B	h	0,695	0,871	94,28	22,45	4,07	1,90
C	2HG5	0,565	0,808	58,9	28,78	6,08	2,32
D	h, B	0,665	0,872	44,26	24,29	4,53	1,96
E	h, 2HB	0,673	0,876	46,09	23,73	4,39	1,93
F	h, G	0,680	0,880	47,86	23,20	4,28	1,89
G	h, 2HG	0,682	0,881	48,29	23,08	4,26	1,89
H	h, 2HG5	0,684	0,881	48,55	23,00	4,23	1,88
I	B, 2HG5	0,577	0,827	31,26	29,03	5,88	2,27
J	h, B, 2HG5	0,666	0,888	31,63	24,19	4,49	1,92
K	h, 2HB, 2HG5	0,659	0,886	31,10	24,43	4,61	1,92*

* *multikolinearita, RMSE – velikost reziduální směrodatné odchylky*

Na vybrané regresní modely z předešlé tabulky byl dále aplikován model kvadratického Taylorova polynomu 2. stupně, viz vztah (65). Z tab. 16 je patrné, že tato regresní funkce zlepšila těsnost proložení pouze u modelů Cc a modelu Hh. Predikční schopnost modelu Hh se vzhledem k lineárnímu modelu H zvýšila cca o 6 %, ale hodnota predikovaného koeficientu poklesla.

V modelech u kterých byla aplikována regresní funkce Taylorova polynomu 2. stupně byla prokázána nevýznamnost kvadratických členů 2HG5 v modelu Cc a nevýznamnost členů 2HG5 v modelu Hh.

Tab. 16. Aplikace regresní funkce Taylorova polynomu 2. stupně, software QC Expert 2.5

Model	Významné kombinace proměnných	R_p	R^2	AIC	MEP	RMSE
Cc	2HG5, 2HG5 ²	0,591	0,84	27,55	5,63	2,18
Hh	h, 2HG5, h ² , 2HG5 ²	0,667	0,941	17,93	4,49	1,52

Návrh regresní rovnice vycházející z poměru vybraných mechanických vlastností

Použití shodných predikčních rovnic splývavosti také pro predikci mačkavosti se nepotvrdilo v plném rozsahu. Námí vyslovená hypotéza o využití třetí odmocniny z relace všech ohybových a smykových charakteristik s plošnou hmotností textilií neplatí. Pro predikci úhlu zotavení, bylo dosaženo kvalitnějších výsledků s použitím predikčního modelu L7, viz tab. 17. Bylo prokázáno, že základními charakteristikami pro stanovení predikční rovnice mačkavosti pomocí úhlu zotavení jsou pouze ohybová tuhost (B), smykový moment hystereze při úhlu smyku 5° (2HG5) v relaci s tloušťkou textilie (h).

Tab. 17. Návrh predikční rovnice na základě relace proměnných

Model	Relace významných proměnných	Rp	R ²	AIC	MEP	RMSE
L1	$(B/Mp)^{1/3}, (2HB/Mp)^{1/3}, (G/Mp)^{1/3}, (2HG/Mp)^{1/3}$	0,14	0,82	34,18	15,31	2,56
L2	$(B/Mp)^{1/3}, (2HB/Mp)^{1/3}, (G/Mp)^{1/3}, (2HG5/Mp)^{1/3}$	0,455	0,859	29,83	7,98	2,24
L3	$(B/Mp)^{1/2}, (2HB/Mp)^{1/2}, (G/Mp)^{1/2}, (2HG5/Mp)^{1/2}$	0,489	0,851	30,66	7,36	2,3
L4	$(B/h)^{1/3}, (2HB/h)^{1/3}, (G/h)^{1/3}, (2HG5/h)^{1/3}$	0,592	0,873	28,15	5,65	2,13
L5	$B/h)^{1/3}, (2HG5/h)^{1/3}$	0,485	0,796	31,73	7,44	2,47
L6	$(B/h)^{1/2}, (2HB/h)^{1/2}, (G/h)^{1/2}, (2HG5/h)^{1/2}$	0,598	0,861	29,66	5,54	2,22
L7	$(B/h)^{1/2}, (2HG5/h)^{1/2}$	0,625	0,847	27,13	5,14	2,14

Návrhem vzájemné relace uvedených charakteristik v regresním modelu L7 bylo dosaženo shodné predikční schopnosti jako u výše uvedených lineárních regresních modelů. Výsledné tvary optimálních predikčních rovnic, které lze doporučit pro predikci mačkavosti podobných skupin materiálů jsou shrnuty v tab. 18. V příloze 7C) jsou zobrazeny charakteristiky uvedeného modelu a parciální regresní grafy modelů.

Tab. 18. Výslední regresní modely, odhady regresních parametrů

	Model	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
C	$y = b_0 + b_1 2HG5$	127,39	-1,82	-	-
H	$y = b_0 + b_1 h + b_2 2HG5$	100,63	43,88	-0,54	-
J	$y = b_0 + b_1 h + b_2 B + b_3 2HG5$	99,78	40,75	36,07	-1,03
L7	$y = b_0 + b_1 \sqrt{B/h} + b_2 \sqrt{2HG5/h}$	123,17	25,55	-5,52	-

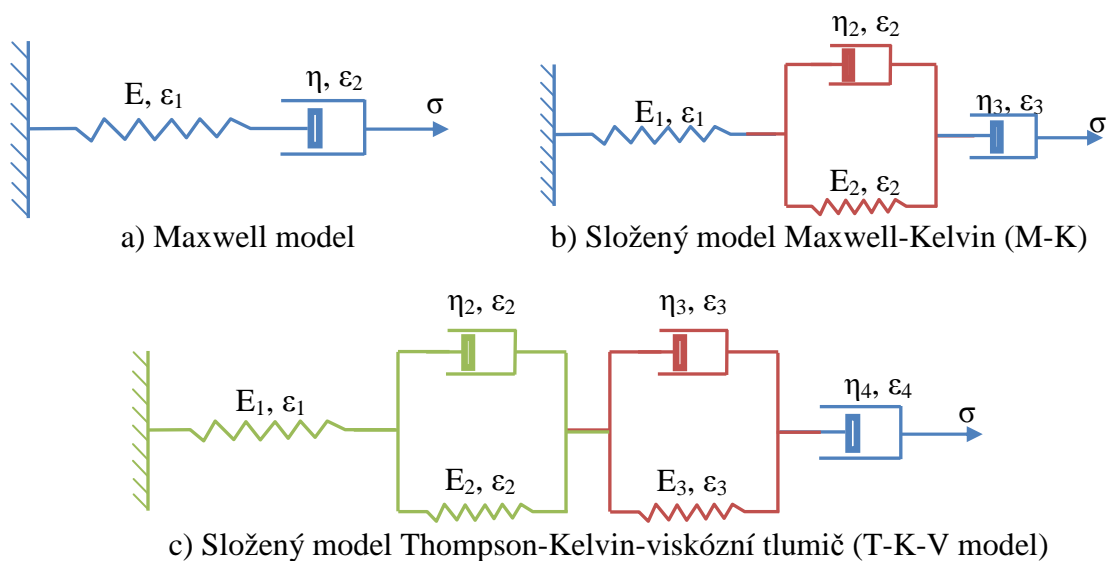
Lze předpokládat, že rezné textilie se od skupiny běžných oděvních materiálů mohou lišit. Materiálové složení, ale také finální úprava oděvních textilií ovlivňují jednotlivé vlastnosti. Na základě křivky zotavení a analýzy jednotlivých složek deformace se ukazuje, že vzhledem k různému procentu zotavení bavlněných, vlněných

a lněných textilií může být vytvoření univerzálního predikčního modelu obtížnější. Pro kvalifikovaný odhad úhlu zotavení by bylo pravděpodobně vhodnější vytvořit predikční modely s příslušným odhadem regresních parametrů pro vybrané skupiny textilií podobného charakteru. Proto lze pro další cíle navrhnout rozdělení tkanin do jednotlivých skupin. Členění podle materiálového složení a způsobu zpracování vláknenné suroviny a to na tkaniny bavlnářské (vyrobené z bavlněných vláken, střižových vláken z přírodních a syntetických polymerů nebo jejich směsí), tkaniny vlnářské (vyrobené z vlněných vláken, ze střižových vláken z přírodních a syntetických polymerů nebo jejich směsí), tkaniny hedvábnické (vyrobené z přírodního nebo syntetického hedvábí), tkaniny lnářské (vyrobené z lněných vláken nebo jejich směsí s vlákny bavlněnými nebo syntetickými). Tato nastíněná problematika mačkavosti plošných textilií bude řešena v rámci dalšího výzkumu.

6 Návrh reologických modelů zotavení textilií, identifikace a výpočet parametrů

Mačkovost je vlastnost textilií ovlivňující vzhled oděvu během nošení. Pro spotřebitele je důležité především chování oděvů (textilií) během celodenního nošení, tj. zda deformace vzniklé na oděvu vymizí. Tato relaxační schopnost respektive nemačkovost je rozhodující měrou ovlivněna viskoelastickým chováním textilií. Měřítko zvýšení nemačkovosti textilie je podmíněno snížením plastických složek deformace textilie. Sledování a modelování tohoto relaxačního chování textilie přispěje k objasnění procesu rychlosti zotavení a vzniku trvalých deformací na plošných textiliích. Z provedené rešerše vyplývá, že dosud neexistuje databáze reologických modelů, které popisují chování textilií. Pouze v jednotlivých studiích nalzáme dílčí výpočty reologického chování textilií [51], [52]. Předložená disertační práce představuje novou metodiku určování parametrů reologických modelů pro jednotlivé tkaniny.

Na základě experimentálního měření úhlu zotavení textilií byly hledány takové kombinace základních modelů, které umožnily popsat elastické, viskoelastické i plastické deformace. Měření úhlu zotavení textilií bylo porovnáváno s výpočtem podle níže uvedených reologických modelů, viz obr. 72. Byl ověřený Maxwellův reologický model a), reologický model doporučený Dong [52], tj. reologický model b) složený model Maxwell-Kelvin i nově navrhnutý reologický model tj. reologickým modelem c) složený model Thompson-Kelvin-viskózní tlumič.



Obr. 72. Použité reologické modely

Jako základ pro vyjádření reologických parametrů modulu pružnosti E a koeficientu viskozity η byla použita křivka zotavení, resp. průběh deformace textilie, popsáno v kapitole 3.2. Odvozené vztahy pro výpočet deformace pro jednotlivé reologické modely uvádí tab. 19.

Tab. 19. Rovnice pro teoretický výpočet deformace vybraných reologických modelů

Model	Vztah deformace
Maxwell model	$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{\eta} \cdot t_z \quad (68)$
M-K model	$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{\eta_3} \cdot t_z + \frac{\sigma}{E_2} \cdot \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t(i)\right) \quad (69)$
T-K-V model	$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{\eta_4} \cdot t_z + \frac{\sigma}{E_2} \cdot \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t(i)\right) + \frac{\sigma}{E_3} \cdot \exp\left(-\frac{E_3}{\eta_3} \cdot t(i)\right) \quad (70)$

Hodnoty zjištěných reologické parametrů E , η pro testovanou skupinu reálných bavlněných materiálů pro tři reologické modely uvádí tab. 20. Vlastnost pružiny v reologickém modelu je určena hodnotou modulu pružnosti E , přičemž s rostoucí hodnotou E klesá úhel zotavení. Největší hodnotu modulu E a nejnižší hodnotu viskozity η vykazoval materiál plátňové vazby s největší dostavou útku (materiál M33), respektive materiál s nejmenším celkovým úhlem zotavení a tedy s největší mačkovostí. Tento materiál vykazoval nejmenší hodnoty elastické deformace ε_e , nízké hodnoty viskoelastické deformace ε_v a největší hodnoty deformace plastické ε_p . Obdobné závěry byly publikované i v práci Hristian [66], kde byl modul E zjišťován klasickou cestou a to prostřednictvím tahové zkoušky. V práci je hodnocen vliv mechanických vlastností vlněných osnovních a útkových nití na schopnost zotavení. Je poukázáno na fakt, že i v případě použití stejných přízí ve tkanině jsou hodnoty modulu pružnosti osnovních a útkových nití E [N/tex] rozdílné a to má vliv na hodnotu zotavení textilií ve směru osnovy a útku.

Vzájemnou závislost mezi moduly pružnosti E , koeficienty viskozity η a úhlem zotavení (T-K-V reologický model) lze pozorovat např. na textiliích M33 (plátno) a M34 (atlas), viz tab. 20. Z výsledků vyplývá, že v počátku zotavení hodnota parametru modul pružnosti E nabývá vyšších hodnot u textilií se sklonem k vyšší mačkovosti jako např. textilie M33 ($\alpha = 114^\circ$, $E_1 = 111$ KPa, $E_2 = 432$ KPa) než u materiálu s nižší

mačkavostí M34 ($\alpha = 124^\circ$, $E_1 = 103$ KPa, $E_2 = 349$ KPa), což ukazuje na horší počáteční zotavení materiálu M33.

Jak uvádí tab. 20 v reologickém modelu T-K-V je shodná hodnota koeficientu viskozity prvního Kelvinova modelu η_2 u všech reálných textilií ($\eta_2 = 2$ MPa.s). To ukazuje, že aktivním prvkem v první době zotavení je pružný člen, tedy pružina. Rozdíly mezi reologickými parametry lze nalézt mezi hodnotami koeficientu viskozity a modulu pružnosti E druhého Kelvinova modelu (η_3 , E_3). Vyšší hodnota koeficientu viskozity η_3 je u materiálu méně mačkávého M34 ($\eta_3 = 92$ MPa), než u materiálu více mačkávého M33 ($\eta_3 = 83$ MPa). Naopak u materiálu M34 je hodnota modulu pružnosti E_3 vyšší ($E_3 = 716$ KPa) než u materiálu M33 ($E_3 = 663$ KPa), z čehož plyne, že v počátku se tyto materiály lišily pouze hodnotou modulu E , ale ke konci zotavení vznikají mezi materiály rozdíly jak v hodnotách modulu pružnosti, tak i v koeficientu viskozity.

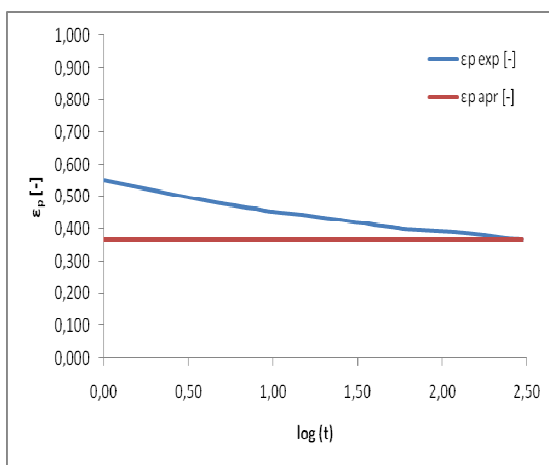
Tab. 20. Podíl jednotlivých složek deformace a přehled hodnot vypočtených reologických parametrů pro rezné materiály

Složky deformace	Dú [n/10cm]	240				220				200				180			
	Vazba	P	A	K1/2	K1/4	P	A	K1/2	K1/4	P	A	K1/2	K1/4	P	A	K1/2	K1/4
	Materiál	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48
ϵ_e [-]		0,45	0,48	0,49	0,48	0,46	0,51	0,46	0,53	0,44	0,55	0,51	0,53	0,46	0,48	0,51	0,50
ϵ_v [-]		0,18	0,21	0,17	0,22	0,18	0,18	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,18	0,20	0,21	0,17	0,21
ϵ_p [-]		0,37	0,31	0,34	0,30	0,36	0,31	0,35	0,30	0,37	0,28	0,32	0,29	0,34	0,32	0,32	0,30
Vypočtené reologické parametry pro modely	M model																
	E [KPa]	111	103	101	103	109	98	108	94	113	92	97	94	108	105	99	101
	η [MPa.s]	41	49	44	50	42	49	42	51	41	53	46	52	44	48	46	51
	M-K model																
	E ₁ [KPa]	111	103	101	103	109	98	108	94	113	92	97	94	108	105	99	101
	E ₂ [KPa]	271	242	296	231	274	274	274	286	263	291	311	276	253	241	298	242
	η_2 [MPa.s]	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2
	η_3 [MPa.s]	41	49	44	50	42	49	42	51	41	53	46	52	44	48	46	51
	T-K-V model																
	E ₁ [KPa]	111	103	101	103	109	98	108	94	113	92	97	94	108	105	99	101
	E ₂ [KPa]	432	349	444	338	404	428	424	431	411	455	472	430	378	349	450	365
	η_2 [MPa.s]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	E ₃ [KPa]	663	716	839	674	785	728	739	802	675	758	878	739	698	715	830	647
	η_3 [MPa.s]	83	92	84	81	89	72	74	83	77	80	82	73	85	84	86	82
η_4 [MPa.s]	41	49	44	50	42	49	42	51	41	53	46	52	44	48	46	51	

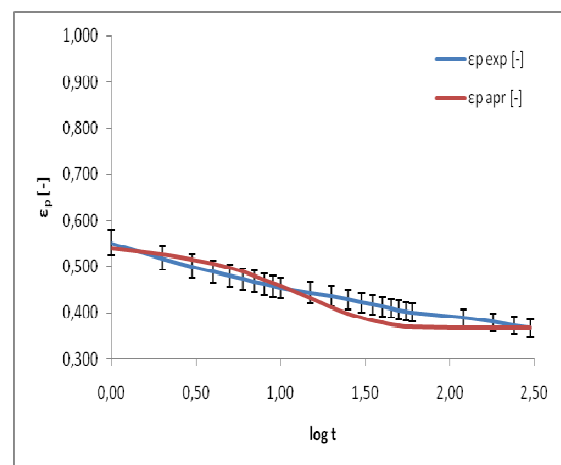
Výsledky modelování pomocí reologických modelů

Výsledná aproximace křivky zotavení prvním Maxwellovým reologickým modelem tvořeným sériovým zapojením pružiny a viskózního tlumiče, viz obr. 73, ukazuje, že deformace vzniklá v textiliích závisí pouze na viskozitě. Pružina setrvává v deformovaném stavu po dobu působení vnější zátěže a po jejím odstranění se pružina skokově vrací do původní polohy. V textiliích zůstane deformace, která se vytvořila v době zatížení ve viskózním tlumiči. Tato deformace je po celou dobu relaxace konstantní, v závislosti na čase se nemění. Z těchto výsledků vyplývá, že uvedený Maxwellův reologický model nepopisuje reálně průběh zotavení textilie. Popisuje reálně pouze výslednou trvalou deformaci textilie.

Složený reologický model M-K reologický model (dle Dong) vznikl sériovým zapojením Maxwellova a Kelvinova modelu. Jak ukazuje obr. 74, tento model představuje přijatelnější variantu pro aproximaci experimentální křivky zotavení. Uvedená kombinace reologických elementů je schopná popsat elastické, viskoelastické i plastické chování textilií. Průběh zotavení vzhledem k rozdílným rychlostem zotavení na začátku a na konci relaxace však nelze reálně popsat s použitím pouze jednoho Kelvinova modelu.



Obr. 73. Porovnání experimentální a teoretické křivky - Maxwellův reologický model

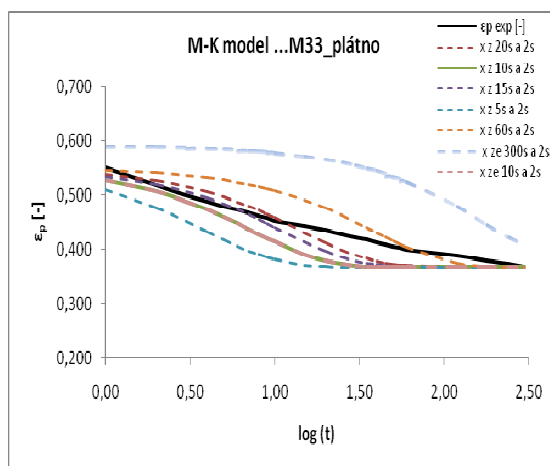


Obr. 74. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K model reologický model

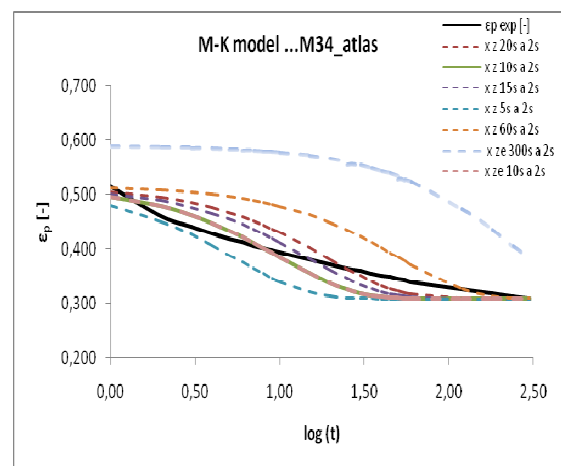
Z provedené analýzy lze vypočítat změnu tvaru, průběhu aproximované křivky vlivem vybraného časového intervalu při výpočtu koeficientu X ($X=E_2/\eta_2$) dle vztahu (37). Jak ukazují obr. 75–77 správná volba vhodného času pro výpočet ovlivní celkový průběh aproximované křivky zotavení. Lze pozorovat, že pokud byla hodnota

X vypočítaná z časů zotavení t_{300} , t_2 a jejich deformací ε_{300} , ε_2 (bledě modrá čárkovaná křivka v grafech), měla aproximována křivka pomalý průběh zotavení a křivka dosahovala odlišného tvaru od křivky experimentální (černá plná čára). Jako optimální se pro tento model jeví vypočítat koeficient X z časů zotavení t_{20} , t_2 a deformací ε_{20} , ε_2 (červená čárkovaná křivka v grafech). Výsledky aproximace ukázaly, že M-K reologický model není schopen plnohodnotně popsat měnící se rychlost zotavení při relaxaci vzorku. V prvních 20s relaxace textilie zaznamenáváme chybu modelu 5 %. V další relaxační době se chyba modelu zvýšila na 13 %, viz příloha 8B).

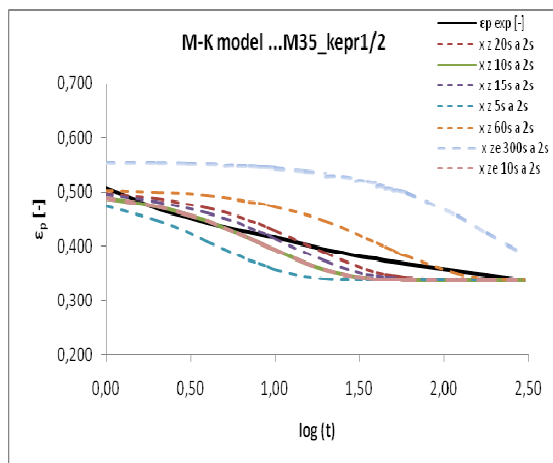
Jako optimální reologický model, který bude vhodný pro naše textilie, se jeví T-K-V reologický model. Je tvořen rozšířením M-K reologického modelu o druhý Kelvinův model. Tento model lépe popisoval průběh zotavení jak na začátku tak konci relaxace textilie, viz obr. 78. Pro stanovený koeficient X byla křivka zotavení rozdělaná na dva úseky. Úsek první, ve kterém dochází k rychlému zotavení, modeloval první Kelvinův model a úsek druhý ve kterém deformace odeznívala, modeloval druhý Kelvinův model. Koeficient X pro oba úseky byl vypočítaný dle rovnic (47, 48). Pro první úsek ε_{v1} – jako rozdíl deformací v časech $t = 5s$ a $t = 2s$, z druhého úseku ε_{v2} – jako rozdíl deformací v časech $t = 20s$, a $t = 10s$. Při porovnání křivek zotavení zjištěných experimentálně a teoretických, je patrné, že teoretická křivka modelována T-K-V modelem velmi dobře simuluje experimentální křivku. Zaznamenaná chyba modelu dosahovala hodnoty 3 %, viz příloha 8A).



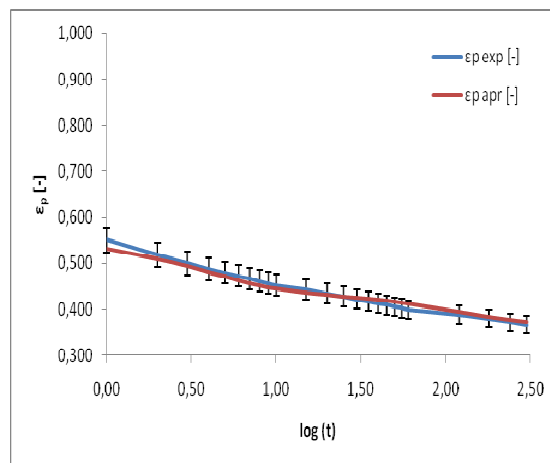
Obr. 75. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K reologický model, varianty modelování – textilie M33



Obr. 76. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K reologický model, varianty modelování – textilie M34



Obr. 77. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K reologický model, varianty modelování – textilie M35



Obr. 78. Porovnání experimentální a teoretické křivky - T-K-V model, nejvhodnější varianta

6.1 Zhodnocení a ověření reologických modelů

Jako primární charakteristika relaxačního chování textilií vykazujících viskoelastické vlastnosti byla pro reologickou analýzu použita křivka zotavení, respektive časový průběh deformace po odstranění zatížení. Pro podrobnější analýzu bylo potřeba nalézt vhodný reologický model a určit jeho parametry. Hlavním přínosem této části práce bylo:

- Odvození rovnic pro modelování průběhu zotavení zkoumaných textilií třemi reologickými modely, tab. 19.
- Bylo prokázáno, že odvozená rovnice pro výpočet deformace, charakterizující mačkavost textilií, je schopna dát dostatečně reprezentativní představu o zotavení textilií. Při modelování průběhu zotavení M-K reologickým modelem postačují čtyři experimentálně změřené úhly zotavení (α_1 , α_2 , α_{20} , α_{300}) a při modelování T-K-V reologickým modelem je potřeba šest úhlu zotavení (α_1 , α_2 , α_5 , α_{10} , α_{20} , α_{300}).
- Za přínos lze považovat zkrácení experimentální doby měření úhlu zotavení pomocí softwaru Nis elements. Pro pozorování relaxačního chování textilií postačuje experimentálně změřit pouze čtyři nebo šest úhlů zotavení místo dosud měřených 24 úhlů.

- Vzhledem k rozdílným rychlostem procesu zotavení vlněných a syntetických materiálů je potřeba výpočet reologických konstant upravit. Relace mezi jednotlivými složkami deformace se u této skupiny liší a nelze je srovnávat s materiály bavlněnými, lněnými. Pro tuto skupinu materiálů je potřeba pro výpočet reologických konstant E , η pozměnit časy deformací sloužících pro výpočet koeficientu X . Tím se potvrdily výsledky ze statistické analýzy o rozdílném chování těchto materiálů.
- V práci byla navržena nová klasifikace textilních materiálů dle reologického chování, která přispěla k přesnější charakteristice textilních materiálů. Platí:
 - čím vyšší je hodnota modulu pružnosti E , tím menší je úhel zotavení a textilie má vyšší mačkavost.
 - čím nižší je hodnota viskozity η , tím se vzorek po odstranění vnější zátěže bude vracet pomaleji a v textiliích zůstane větší trvalá deformace.

7 Diskuse výsledků

Dosažené výsledky předložené disertační práce odpovídají třem stanoveným cílům.

Byla představená inovovaná metodika měření úhlu zotavení, která umožnila získat časový záznam zotavení textilií. Soubor testovaných textilií (režné tkaniny utkané dle požadavků a textilie běžně dostupné na trhu) umožnil stanovit vliv vybraných parametrů textilií (vazba, dostava, materiálové složení, úpravy) na výslednou hodnotu mačkavosti.

Byl navržen predikční regresní model mačkavosti textilií, který vychází z analýzy mechanických vlastností textilií (měřeny pomocí systému KES) a úhlu zotavení měřeného inovovanou metodou.

Byl navržen reologický model reálně popisující zotavení textilií.

1. Inovovaná metodika měření mačkavosti plošných textilií

Prvním cílem byla inovace metody měření mačkavosti pomocí úhlu zotavení. Navržené inovace (úprava tvaru vzorku, princip měření úhlu ve dvanácti směrech pootočení vzhledem k osnově, snímání úhlu zotavení pomocí web kamery) přispěly ke zdokonalení této metody. Byly porovnávány výsledky měření úhlu zotavení inovované metody s klasickou metodou UMAK a s metodou nošení.

Experiment nošení odhalil nedostatky současné klasické metody měření úhlu zotavení na přístroji UMAK, a naopak, poukázal na velmi dobré simulační vlastnosti inovované metody. Potvrdil, že mačkavost je anizotropní vlastnost a její měření pouze pro směry osnovy a útku není dostačující a nepopisuje reálné zmačkání textilií. Proto je použití metody UMAK v některých případech nedostačující.

Dalším přínosem inovované metody je možnost zaznamenat úhel zotavení již v první vteřině po odlehčení, tzv. experimentálně stanovit skokový úhel zotavení, který byl dosud určován pouze výpočtem, který vychází z úhlu zotavení změřeného v páté a šedesáté minutě relaxace vzorku. Bylo potvrzeno, že experimentálně zjištěný okamžitý (skokový) úhel je ve skutečnosti průměrně o 15 % nižší než okamžitý úhel stanovený výpočtem dle Sommerova vztahu. Z toho plyne, že dosavadní výpočty neplnohodnotně popisovaly elastické zotavení a rychlost zotavení v počátku relaxace, což jsou důležité parametry pro hodnocení mačkavosti textilií.

Zkoumání anizotropie a její znázornění pomocí polárního diagramu je dalším výstupem této práce. Anizotropní mačkové chování bylo ovlivněno množstvím vazných bodů v místě ohybu textilie. Získané křivky v polárním diagramu měly tvar buď nesouměrné elipsy, který ukazuje na anizotropii, či tvar kružnice, ukazující na izotropní zotavení textilií. Z výsledků vyplynulo, že při srovnávání problémových textilií s podobným mačkovým chováním respektive úhlu zotavení lze jako nemačkovou označit textilii, která vykazuje symetrii, tedy izotropní chování úhlu zotavení.

Byl potvrzen vliv rozložení vazných bodů na mačkavost. Volnější struktura tkanin např. vlivem vazby keprové či atlasové předurčila textilie k vyšším hodnotám úhlu zotavení a také k anizotropnímu chování. Anizotropní chování úhlu zotavení bylo prokázáno jak pro složení textilií líc-líc tak i rub-rub, avšak tvary polárních obrazců zotavení byly sice pootočený, ale po zprůměrování tvořily symetrický obrazec. Pravidelné provázání osnovních a útkových nití u vazby plátnové určují její velkou mačkavost. V diagonálních směrech byly hodnoty úhlu zotavení větší než ve směru osnovy či útku, čímž se ukázal sklon k anizotropnímu chování u této vazby. Mezi zotavením pro složení textilie líc-líc, nebo rub-rub se objevily pouze mírné difference, avšak křivka v polárním diagramu se zásadně lišila od elipsového tvaru např. keprové vazby.

Na základě experimentálního měření lze konstatovat, že pokud chceme vytvořit textilii s menší mačkavostí, počet osnovních a útkových nití by měl být podobný. Příliš velké rozdíly, nižší či převyšující počet útkových nití dostavu osnovy vede k větší mačkavosti textilie.

Materiálové složení je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících relaxační schopnost i anizotropii zotavení textilií a tím i výslednou mačkavost textilií. Největší rychlosti zotavení dosahují textilie na počátku relaxace (první dvě sekundy). Rozdíly rychlosti zotavení pro jednotlivé materiály jsou malé, ale přesto nejrychlejších časů dosahuje vlna a polyester, jakožto nemačkový materiál. V průběhu zotavení se relaxační rychlost zpomaluje a ustaluje, proto konečnou hodnotu mačkavosti textilií již zásadně neovlivňuje. Materiály s dobrými elastickými vlastnosti (vlněné, polyesterové tkaniny) vykazovaly nejmenší procento viskoelastické deformace a to 11 %, ale součet elastické a viskoelastické deformace patřil mezi největší. Z toho plyne, že nemačkovost textilií je především závislá na okamžitém zotavení, tzn. na elastické deformaci. Vyšší procento této deformace předurčuje textilii k malým trvalým deformacím a tím ke kvalitnějšímu

estetickému vzhledu oděvu. Nemačkové textilie mají hodnotu elastické deformace až kolem 80 % a plastickou deformaci 5 až 10 %. Mačkové textilie dosahují polovičních hodnot elastické deformace, tzv. 40 % avšak 30 % až 50 % plastické deformace. Proto při návrhu tkaniny s nejmenší mačkavostí by bylo optimální maximalizovat procenta obou složek (elastické a viskoelastické) např. vhodnou vazbou či dostavou. Tato textilie se bude lépe vyrovnávat s deformací v průběhu nošení oděvu. V procesu relaxace oděvu, např. na ramínku, se v důsledku většího podílu viskoelastické složky bude textilie lépe a rychleji zotavovat.

2. Statistická analýza vícerozměrných dat a vytvoření regresního modelu pro predikci úhlu zotavení

Druhým cílem práce byla tvorba predikčního modelu mačkavosti. Pomocí vícerozměrné statistické analýzy metodou hlavních komponent byla nalezena vhodná kombinace vlastností textilií, která byla použita v predikci mačkavosti. Z provedené analýzy vyplývá, že devět původních sledovaných znaků lze zredukovat na dvě latentní proměnné, zvané hlavní komponenty PC1 a PC2. Do hodnoty první komponenty se promítají mechanické vlastnosti textilií a druhá komponenta souvisí s geometrickými vlastnostmi textilií. Obě dvě komponenty dohromady vysvětlovaly 96 % korelační matice a pouze 4 % byl šum. Z hlediska analýzy objektů lze pro reprezentovanou sadu bavlněných rezných materiálů konstatovat, že vazba keprová K1/4 a pětivazný atlas vykazují podobné chování. Tyto materiály tvoří shluky jak v grafu komponentního skóre, tak v dendrogramech. Potvrzují to i podobné tvary ikonových grafů. PCA i korelační analýza potvrdily silnou negativní závislost úhlu zotavení na ohybových a smykových charakteristikách, respektive se zvětšující se hodnotou těchto charakteristik se zmenšuje úhel zotavení, což způsobí zvýšení mačkavosti textilie.

Pro predikci mačkavosti pomocí úhlu zotavení lze pro podobnou skupinu testovaných textilií doporučit lineární regresní modely pod označením C vyjádřen rovnicí $y = b_0 + b_1 2HG5$, model H vyjádřen rovnicí $y = b_0 + b_1 h + b_2 2HG5$, model J vyjádřen rovnicí $y = b_0 + b_1 h + b_2 B + b_3 2HG5$. Nebo vlastní lineární regresní model L7, který byl vyjádřen vzájemnou relací ohybové tuhosti a smykového momentu hystereze při smyku 5° s tloušťkou textilie, vyjádřen rovnicí $y = b_0 + b_1 \sqrt{B/h} + b_2 \sqrt{2HG5/h}$. Z porovnání hodnot RMSC, Rp, R^2 , AIC a MEP je zřejmé, že modely představují poměrně kvalitní predikci chování mačkavosti textilie ($R^2 = 0,88$), ale také stabilitu, která se projevuje dobrým predikovaným koeficientem korelace (Rp = 0,68).

Funkčnost modelu (jeho predikční schopnost) byla potvrzena další zkušební sadou režných tkanin označených jako M25–M32. Maximální chyba predikce optimálních regresních modelů C a L7 se pohybovala kolem 8 % a průměrná chyba byla kolem 5 %, viz příloha 7B). Vytvoření univerzálního predikčního modelu vyžaduje další výzkum. Je třeba proměřit další sady materiálů rozdělených např. dle suroviny: na bavlnářské, hedvábnické, lnářské a vlnářské a pro každou skupinu hodnoty regresních koeficientů zpřesnit.

3. Reologická studie procesu zotavení textilií

Třetím cílem bylo modelovat průběh deformace vzniklé v textiliích pomocí vybraných reologických modelů. Využití těchto modelů vedlo ke snaze popsat viskoelastické chování textilií během zotavení po deformaci. Experimentálně získaný průběh deformace vycházející z křivky zotavení textilií byl aproximován pomocí pěti reologických modelů. Popisu chování reálných textilií se lépe přibližovaly složené reologické modely, které vznikly kombinací základních modelů a dalších elementů (viskózní tlumič a pružina). Nejlépe průběh reálného chování textilie modelovaly dva složené reologické modely a to M-K model (Maxwell–Kelvin) a T-K-V model (Thompson–Kelvin–viskózní píst). Potvrdili jsme, že model doporučený Dong, popisuje vhodně zotavení pouze na jeho začátku, ke konci se však chyba tohoto modelu zvyšovala a popis neodpovídal realitě. Potvrdili jsme, že tento model s přesností na 87 % (dle Dong na 90 %) popisuje skutečné relaxační chování textilií. Návrhem reologického modelu T-K-V se nám podařilo snížit chybu modelu v celém průběhu zotavení a predikční schopnost se zvýšila na 97 %. Na základě průběhu deformace (vycházející z křivky zotavení) byly odvozeny vztahy pro výpočet reologických parametrů zmíněných modelů, tj. modul pružnosti E , koeficient viskozity η , které mohou sloužit jako další faktory charakterizující textilií. Platí, čím větší je hodnota modulu E , tím menší je úhel zotavení a tím větší je mačkavost textilie i samotného oděvu.

Znalost vztahů mezi parametry (materiál, struktura, úprava) textilií a jejich reologickými vlastnostmi vede k hlubšímu poznání deformačního chování textilií. Mechanické vlastnosti textilií jsou důležité, avšak k interpretaci viskoelastického chování pomáhají reologické modely. Z hlediska praktické aplikace se tedy jedná o vhodnou aproximaci experimentálních dat konstitutivním vztahem. Získané poznatky mohou přispět k počítačové simulaci procesu zmačkání textilie.

8 Možnosti dalšího výzkumu

Při řešení disertační práce se objevily nové náměty, které mohou být předmětem dalšího výzkumu:

- Použití navrhnuté metodiky měření mačkavosti pro experimenty na textiliích (košiloviny) s aplikovanou nemačkovou úpravou, spolupráce s firmou Mileta.
- Zpřesnění regresních modelů pro predikci mačkavosti textilií s ohledem na příslušnou kategorií oděvního materiálu.
- Vytvoření databáze textilií s příslušnými mechanickými vlastnostmi doplněnými o reologické parametry s možností pro 3D simulaci oděvu.
- Automatizace způsobu měření úhlu zotavení, respektive návrh prototypu jednoúčelového přístroje.
- Dokončení studie o vlivu teploty a vlhkosti na mačkavost textilií.

9 Závěr

Cílem práce byla analýza anizotropie mačkavosti a modelování průběhu zotavení textilií pomocí reologických modelů. V rešeršní části disertační práce jsou shrnuty dosavadní výsledky výzkumných prací z různých univerzit a výzkumných center zaměřených na hodnocení mačkavosti plošných textilií. Rešerše poukazuje na fakt, že téma disertační práce je aktuální. Autoři se stále snaží o kvalitnější modifikaci jak metody měření mačkavosti, tak metodiky hodnocení mačkavosti plošných textilií. Publikace ukazují, že i navzdory dlouhodobému bádání není tato problematika dostatečně řešena, autoři poukazují na nedostatky klasických metod. Vzhledem k rozvoji výpočetní techniky jsou tyto metody a postupy zdokonalovány a komplexněji řešeny. Závěry vyplývající z této disertační práce jsou následující:

- Navržená inovovaná metoda hodnocení mačkavosti pomocí úhlu zotavení vhodně simuluje reálné zmačkání textilií během nošení, což se potvrdilo experimentem nošení.
- Experiment nošení potvrdil předpoklady o anizotropním chování textilií během zmačkání. Tím se ukázala důležitost hodnotit mačkavost ve více směrech pootočení. Výsledkem je obrazec polárního diagramu, který může sloužit pro kvalitativní analýzu velikosti úhlu zotavení a také k identifikaci symetričnosti zotavení u problémových a z hlediska mačkavosti k sobě blízkých textilií.
- Byl potvrzen vliv vazby a dostavy na anizotropii mačkového chování textilií, resp. na změnu úhlu zotavení v závislosti na směru měření. Bylo prokázáno, že délka flotáže pozitivně ovlivňuje úhel zotavení, resp. pro delší flotáže zaznamenáváme nižší mačkavosti textilií.
- Výsledkem disertační práce je nová metodika, která umožnila zjistit, na základě záznamu průběhu zotavení, okamžitý úhel zotavení po odlehčení vzorku textilie tzv. skokové zotavení v první sekundě. Výsledkem je přesnější stanovení podílu elastické, viskoelastické a trvalé deformace vznikající během pomačkání. Toto zjištění umožní např. pro oděvy, na které jsou kladeny vysoké estetické požadavky, vybrat nejvhodnější textilií, která vykazuje velkou rychlost zotavení. Tím bude zaručeno, že tato textilie zaujme co nejdříve po odlehčení původní tvar.

- Podařilo se navrhnout predikční regresní vztahy pro odhad charakteristiky mačkovosti tkanin. Ukazuje se, že pro odhad velikosti úhlu zotavení je optimální využít lineární regresní model s parametry tloušťka (h) a smykový moment hystereze při smyku 5° (2HG5). Také se osvědčil vlastní lineární regresní model vytvořený vzájemnou relací ohybových a smykových charakteristik s tloušťkou textilie a to: $(B/h)^{1/2}$, $(2HG5/h)^{1/2}$. Jeho nezávislé proměnné ohybová tuhost (B) a smykový moment hystereze při smyku 5° (2HG5) byly změřené na přístroji KES. Dobrých predikčních výsledků pomocí uvedených regresních vztahů bude dosaženo za předpokladu, že se predikce bude týkat tkanin kvalitativně srovnatelných s těmi, které byly pro sestavení modelu použity.
- V disertační práci jsme předložili metodiku stanovení reologických parametrů z experimentální křivky zotavení. Doporučujeme pro popis zotavení textilií ze zmačkání reologický model tvořený sériovým zapojením pružiny, dvou Kelvinových modelů a viskózního tlumiče (T-K-V model). Tento model vykazoval s experimentálním měřením vysokou shodu v celém průběhu zotavení, která činila 97 %, čímž jsme zkvalitnili reologický model doporučený Dong (M-K reologický model).

Návrhem nové laboratorní metodiky přispějeme k efektivnímu hodnocení mačkovosti textilií, na něž jsou kladeny vysoké reprezentační nároky. Na základě výsledků disertační práce je možné efektivně hodnotit vliv konstrukčních parametrů textilií, finálních úprav plošných textilií na jejich mačkovost s cílem snížit tuto nežádoucí vlastnost a zvýšit tím kvalitu oděvních výrobků. Předložená disertační práce řešila problém mačkovosti po stránce experimentální i teoretické o čem svědčí i návrh různých modelů. Vytvořené predikční a reologické modely umožňují sledovat a poznat chování plošných textilií během reálného nošení. Modely mohou být zpřesněny dle příslušné kategorie oděvního materiálů a dle použití oděvního výrobku. Bylo by také vhodné informovat kupujícího, např. formou piktogramu o stupni mačkovosti textilie.

Stanovené cíle disertační práce byly v plné míře splněny, získané poznatky byly publikovány v časopisech s impakt faktorem [KZ1] a v recenzovaných časopisech [KZ2], [KZ3], [KZ4]. Dílčí výsledky řešení byly také představeny na mezinárodních vědeckých konferencích v České republice [KZ5], [KZ6], [KZ7], [KZ8], v Thajsku [KZ9] a v Číně [KZ10].

Použitá literatura

- [1] **Sima, A. a další.** Strain dependency in wrinkling performance of butanetetracarboxylic acid and lubricant-treated cotton fabric. *Textile Research Journal*. 2012, Sv. 82, 9, stránky 899–910.
- [2] **Sochor, B.** Mačkavost tkanin a její měření. [autor knihy] J., Danielic. *Nová technika měření a zkoušení v textilním průmyslu*. Praha : SNTL, 1957, stránky 179-203.
- [3] **Salter, C.J. a Rocznio, A.F.** Lightweight wool garment wrinkle performance a wear experiment. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 1998, Sv. 10, stránky 50-63.
- [4] **ČSN EN 22313 - Stanovení mačkavosti pomocí dutého válce.** Praha : Český normalizační institut, 1994.
- [5] **ČSN 80 0871 - Zjišťování mačkavosti - schopnosti zotavení horizontálně složeného vzorku měřením úhlu zotavení.** Praha : Český normalizační institut, 1994. str. 7.
- [6] **ČSN 80 0819 - Zkoušení mačkavosti plošných textilií.** Praha : Český normalizační institut, 1994. str. 5.
- [7] **Kim, E., H.** Objective Evaluation of Wrinkle Recovery. *Textile Research Journal*. 1999, Sv. 69, 11, stránky 860-865.
- [8] **Shinohara, A., Ni, Q., Q., a Takatera, M.** Geometry and Mechanics of the Buckling Wrinkle in Fabrics: Part I: Characteristics of the Buckling Wrinkle. *Textile Research Journal*. 1991, Sv. 61, 2, stránky 94-100.
- [9] **Na, Y. a Pourdeyhimi, B.** Assessing Wrinkling Using Image Analysis and Replicate Standards. *Textile Research Journal*. 1995, Sv. 65, 3, stránky 149-157.
- [10] **Decaudim, P., Thomaszewski, B. a Cani, M., P.** Virtual garments based on geometric features of fabric buckling. *Raport de recherche*. 2005.
- [11] **Kang, T. J., Cho, D., H. a Whang, H., S.** A New Objective Method of Measuring Fabric Wrinkles Using a 3-D Projecting Grid Technique. *Textile Research Journal*. 1999, Sv. 69, 4, stránky 261-268.
- [12] **Kang, T., J. a Lef, J., Y.** Objective Evaluation of Fabric Wrinkles and Seam Puckers Using Fractal Geometry. *Textile Research Journal*. 2000, Sv. 70, 6, stránky 469-475.
- [13] **Mori, T. a Komiyama, J.** Evaluating Wrinkled Fabrics with Image Analysis and Neural Network. *Textile Research Journal*. 2002, Sv. 72, 5, stránky 36-46.

- [14] **Hu, J., Xin, B a Yan, H.** Measuring and Modeling 3D Wrinkles in Fabrics. *Textile Research Journal*. 2002, Sv. 72, 10, stránky 863-869.
- [15] **Yu, , W., Yao, M. a Xu, B.** 3-D Surface Reconstruction and Evaluation of Wrinkled Fabrics by Stereo Vision. *Textile Research Journal*. 2009, Sv. 79, 1, stránky 36-46.
- [16] **Shaikhzadeh Najar, S., a další, a další.** Investigation into wrinkle behavior of woven fabrics in a cylindrical form by measuring their tangential force. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2009, Sv. 21, 1, stránky 7-30.
- [17] Products NBFY, Fabrics and Garments Testing, YG026D Electronic Fabric strength tester . *NINGBO TEXTILE INSTRUMENT FACTORY* . [Online] [Citace: 10. 5 2010.] <http://www.nb-fy.com/en/productsd.php?pid=123&typeid=26>.
- [18] **Mihailovic, T.V., Nikolic, M.D. a Simovic, L.J.M.** Resistance to creasing of clothing wool fabric. *International Journal of Clothing Science and Technododgy*. 1995, Sv. 7, 4, stránky 9- 16.
- [19] **Sommer, H. a Winkler, F.** Volume V: The Testing of Textiles. Berlin: Springer-Verlag. *Die Prüfung der Textilien. Handbook of Materials*. 1960.
- [20] **Geršak, J.** Study relationship between fabric elastic potential and garment appearance quality. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2004, Sv. 16, 1/2, stránky 238-251.
- [21] **Geršak, J., Šajn, D. a Bukošek, V.** A study of the relaxation phenomena in the fabrics containing elastane yard. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2005, Sv. 17, 3/4, stránky 188-199.
- [22] **Nikolić, M.D, Sukovic, L.J.M a Mihailovic, T. V.** Multiaxial determination of the resistance to creasint of clothing wool fabric. *International Journal of clothing Science and Technododgy*. 1999, Sv. 11, 5, stránky 77-286.
- [23] **Perepelkin, K.E., Neklyudova, S. A. a Smirnova, N. A.** Anisotropy of wrinkling of polyester, polyester-linen, and linen fabric. *Fibre Chemistry*. 2000, Sv. 32, 6, stránky 444 - 446.
- [24] **Shinohara, A. a Go, Y.** Anisotropy of crease recovery of textile fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*. 1962.
- [25] **Steele, R.** The Effect of Yarn Twist on Fabric Crease Recovery. *Textile Research Journal*. 1956, Sv. 26, 10, stránky 739-744.
- [26] **Aliakbar, M. a Hadi, P.** Anisotropy in wrinkle properties of woven fabric. *Journal of the Textile Institute*. 2011. First published on: 15 February 2011 (iFirst).

- [27] **Fridrichová, L.** K problematice ohybové tuhosti plošných textilií. Disertační práce.
- [28] **Fridrichová, L.** K problematice ohybové tuhosti plošných textilií. Rukopis habilitační práce.
- [29] **Chapman, B. M. a HEARLE, J. W. S.** The bending and creasing of multicomponent viscoelastic fiber assemblies. *Journal of the Textile Institute*. 1972, Sv. 63, stránky 385-412.
- [30] **Chapman, B. M.** A Model for the Crease Recovery of Fabrics. *Textile Research Journal*. 1974, Sv. 44, 7, stránky 531-538.
- [31] **Hamburger, W.J., Platt, M.M. a Morgan, H.M.** Mechanics of elastic performance of textile materials. Part X: Some aspects of elastic behaviour at low strains. *Textile Research Journal*. 1952, Sv. 22, stránky 695–729.
- [32] **Krasny, J.F., a další, a další.** Crease recovery of fabrics. Part II: Effect of construction on crease recovery of fortisan fabrics. *Textile Research Journal*. 1955, Sv. 25, stránky 499–506.
- [33] **Looney, Jr., F.S. a Handy, C.T.** The effect of construction on the wear wrinkling of dacron/wool suitings. *Textile Research Journal*. 1968, Sv. 38, stránky 989–998.
- [34] **Omeroglu, S., Karaca, E. a BECERIR, B.** Comparison of Bending, Drapability and Crease Recovery Behaviors of Woven Fabrics Produced from Polyester Fibers Having Different Cross-sectional Shapes. *Textile Research Journal*. 2010, Sv. 80, 12, stránky 1180-1190.
- [35] **Hunter, L., Smuts, S. a Kelly, I. W.** The Effect of Fibre Diameter on the Wrinkling and Other Physical Properties of Mohair and Mohair/Wool Woven Fabrics. *Tech. Rep. 446. South African Wool and Textile Research Institute*. 1979.
- [36] **Olofsson, B.** The mechanics of creasing and crease recovery. *Textile Research Journal*. 1968, Sv. 38, 8, stránky 773-783.
- [37] **Chapman, B. M. a Hearle, J.W.S.** The bending and creasing of multi-component viscoelastic fibre assemblies. Part I: General consideration of the problem. *Journal of Textile Institute*. 1972a, Sv. 63, stránky 385–403.
- [38] **Shi, F. a Wang, Y.** Modeling the Creasing Properties of Woven Fabrics. *The Journal of The Textile Institute*. 2009, Sv. 100, 3, stránky 218-222.
- [39] **Matsuo, T.** Crease and Elastic Recovery of Fibers. *Journal of The Textile Machinery Society of Japan*. 1964, Sv. 10, 1, stránky 37-43.

- [40] **Zaouali, R., Msahli, S. a SAKLI, F.** Parameters influencing fabrics wrinkling. *Indian textile journal*. [Online] august 2007. [Citace: 27. březen 2010.] <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=502..>
- [41] **Pei, H. G a Zheng, D. J.** Progress in Textile Science & Technology. Creasing properties prediction for woven fabrics based on neural network. *Tsinghua Tongfang Knowledge Network Technology*. [Online] 2006. [Citace: 2. duben 2012.] http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-SCFK200806026.htm.
- [42] **Brenner, F. C. a Chen, C. S.** The mechanical behavior of fabric, Part I: Wrinkling. *Textile Research Journal*. 1964, Sv. 34, 6, stránky 505-517.
- [43] **Staněk, J.** *Deformace oděvních textilií*. Liberec, 1982. Disertační práce : Fakulta textilního inženýrství Vysoké školy strojní a textilní.
- [44] **Pribulová, E.** *Charakteristika krčivosti tkaniny jako funkcia krivky zotavenia*. Liberec, 1980. Diplomová práce : Fakulta textilního inženýrství Vysoké školy strojní a textilní. Vedoucí diplomové práce Jovan B. Čerlič.
- [45] **Wilkinson, P. R. a Hoffman, R.M.** The effects of wear and Laundering on the wrinkling of fabrics. *Textile Research Journal*. 1959.
- [46] *Crease Recovery of Woven Fabrics Evaluated in Wet State*. **Senda, N., Yamamoto, R. a Fujishige, S.** Bulletin of Tokyo Kasei University : Natural Science, 2001. Sv. 40, stránky 97-101. ISSN:0385-1214.
- [47] **Wang, G. and kol.** Pressing performance of light-weight wool and wool blend fabrics. *Intrnational Journal of Clothing Science and Technology*. 2002, Sv. 14, 2, stránky 119-131.
- [48] **Fan, J.** The interrelationship between fabric crease recovery and pressing performance. *Intrnational Journal of Clothing Science and Technology*. 2001, Sv. 13, 5, stránky 368-375.
- [49] **Soube, H. a Murakami, K.** Rheological Interpretation of the Mechanismus of crease Recovery of Fiber. *Textilie Research Journal*. 1959, stránky 251-259.
- [50] **Skelton, J. a Schoppee, M.** Bending Limits of Some High-Modulus Fibers. *Textile Research Journal*. 1974, Sv. 44, 12, stránky 968-975.
- [51] **Mihailovic, T. V.** Complex estimation of bending elasticity of hemp woven fabric after washing treatment. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2006, Sv. 18, 2, stránky 70-82.

- [52] **Dong, X., a další.** A study on the relaxation behavior of fabric's crease recovery angle. *Intrnational Journal of Clothing Science and Technology*. 2003, Sv. 15, stránky 47-55.
- [53] **Sobotka, Z.** *Reologie hmot a konstrukcí*. Praha : Academia, 1981.
- [54] *Maxwell-Kelvin model for highloft materials.* **Přívratcká, J., Jirsák, O. a Bharanthharan, R.** místo neznámé : In Proceedings of Programs and Algorithms of Numerical Mathematics, 2004. Sv. 12, stránky 47-55. ISBN 80-85823-53-5.
- [55] *The contribution to the problems of the measurement recovery angle textile samples.* **Fridrichová, L.** Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. 4th. Central European Conference. ISBN 80 7083 967 8.
- [56] *New way of measurement and calculation of flexural rigidity of yarn and fabric.* **Fridrichová, L., Mevald, J. a Mertová, I.** Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2004. Indo-Czech Textile Research Conference.
- [57] *The Contribution to Investigation Anisotropy.* **Fridrichová, L. a Tunák, M.** Biella. Italy : Autex, 2008. Of Choice Of Mechanical Property. ISBN 978-88-89280-49-2.
- [58] *A study on the relaxation behaviour of the fabrics.* **Fridrichová, L. a Štočková, H.** Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. 4th. Central European Conference. stránky 203-204. ISBN 80-7083-967-8.
- [59] **Černý, J.** *Laboratorní cvičení z textilních materiálů*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1958.
- [60] **Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д., Пертопавловский Д.Г.** **Практикум по материаловедению швейного производства.** Москва: : Издательский центр "Академия", 2003, str. 416с. (Praktické cvičení z nauky o materiálech pro oděvní výroby).
- [61] *Struktura a vlastnosti plošných textilií.* **Kovář, R.** Liberec : TU Liberec, 2003, Sv. Skripta.
- [62] **Kolektiv autorů.** *Příručka textilního odborníka, 2. část.* Praha : SNTL/ALFA , 1981. 04-825-84.
- [63] **Křemenáková, D.** *Systém projektování textilních struktur, Výzkumná zpráva.* [Dokument] Liberec : Výzkumné centrum Textil, Sekce B, TUL, 2004.
- [64] **Gonzales, E. J. a Rowland, P.** Recovery from Creasing and Musing of Cotton Finished with Experimental and Conventional Durable-Press Reagents. *Textile Research Journal*. 1981, Sv. 51, str. 631.

[65] **Glombíková, V.** Příspěvek k predikci splývavost textilií. *Disertační práce*. Liberec : TU Liberec, 2004.

[66] *Creasing behavior of some woven materials made from combed yard type pool – an experimental investigation.* **Hristian, L., Lupu, I. G. a Cram, O.** Gabrovo : 2010. International Scientific conference 19-20 November .

[67] **Biglia, U., a další.** The prediction of garment appearance from measured fabric properties. *ournal of Clothing Science and Technology*. 1990, Sv. 2, 3, stránky 48 - 55.

Další použitá literatura:

[68] **Staněk, J. a Kubíčková, M.** *Oděvní materiály*. Liberec : VŠST, 1986.

[69] **Staněk, J.** *Nauka o textilních materiálech, díl 1, část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií*. Liberec : VŠST, 1988.

[70] **Blažej, B. a Šutá, Š.** *Vlastnosti textilních vláken*. Bratislava : Alfa, 1982. 60-017-83.

[71] **Košková, B.** *Struktura a vlastnosti vláken*. Liberec : VŠST , 1989.

[72] **Meissner, B. a Zilvar, V.** *Fyzika polymerů. Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. Bratislava : SNTN, Alfa, 1987. 04-634-87.

[73] **Šimek, I.** *Fyzika polymérov*. Bratislava : SVŠT, 1978. 85-344-78.

[74] **Meloun, M. a Militký, J.** *Kompendium statistického zpracování dat*. 2002, 2006 : Academia Praha. str. 970. EAN 9788020013965, ISBN 80-200-1396-2.

[75] **Meloun, M. a Militký, J.** *Statistické zpracování experimentálních dat - Sbíрка úloh*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 1996. ISBN 80-7194-075-5.

[76] **Meloun, M. a Freisleben, J.** Vícerozměrná statistická analýza povodní na řece Sázavě v období 1961-2000. *Milan Meloun 2013*. [Online] prosinec 2007. [Citace: 10. březen 2012.] <http://meloun.upce.cz/docs/publication/213.pdf>.

[77] **Kupka, K.** *Vícerozměrná analýza, regrese a prediktivní metody*. Pardubice : Výzkumné centrum pro jakost a spolehlivost – CQR, 2007. str. 105.

[78] **Meloun, M., Militký, J. a Hill, M.** *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. Praha : Academia, 2005. str. 449. ISBN 80-200-1335-0.

[79] *Handbuch der Werkstoffprüfung zweite auflage, Fünfter Band, Prüfung der Textilien*. Berlin/Göttingen/Heidelberg : Springer – Verlag, 1960.

[80] **Fleissig, J. a Pešová, Z.** Hodnocení mačkavosti textilií. *Textil*. 1975, Sv. 30, 4, stránky 138 - 140.

[81] **Fremelová, M.** Vliv různého počtu přádních a skacích zákrutů bezvřetenové přize na žmolkování a mačkavost tkanin. *Textil*. 1976, Sv. 31, 8, stránky 292 – 294.

[82] **Sengupta, A. K., De, D. a Sarkar, B. P.** Anisotropy in some mechanical properties of woven fabrics. *Textile Research Journal*. Sv. 42, stránky 268–271.

[83] **Tovey, H.** Cotton quality study. Part VI: Wrinkle resistance and recovery from deformation. *Textile Research Journal*. Sv. 31, stránky 185–252.

Diplomové a bakalářské práce obsahující nové výsledky týkající se problematiky disertační, které byly zpracované na základě autorčina zadání a pod jejím přímým vedením.

[ZKP1] **Davídková, B.** *Vliv struktury textilií na tvarovou stálost plošných textilií*. Liberec, 2010. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra oděvnictví. Vedoucí diplomové práce Katarína Zelová.

[ZKP2] **Šálová, I.** *Ověření vzájemného vztahu mezi anizotropií mačkavosti a splyvavosti plošných textilií*. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra oděvnictví. Vedoucí diplomové práce Katarína Zelová.

[ZKP3] **Zoššáková, J.** *Reologické chování plošných textilií v průběhu zotavení po pomačkání*. Liberec, 2011. Diplomová práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra oděvnictví. Vedoucí diplomové práce Katarína Zelová.

[ZKP4] **Hejdová, P.** *Predikce tvarové stálosti plošných textilií*. Liberec, 2012. Diplomová práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra hodnocení. Vedoucí diplomové práce Katarína Zelová.

[ZKP5] **Vyhnálek, M.** *Hodnocení mačkavosti plošných textilií metodou úhlu zotavení*. Liberec, 2012. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra oděvnictví. Vedoucí diplomové práce Katarína Zelová.

[ZKP6] **Šefčíková, J.** *Vliv finální úpravy na anizotropii zotavení bavlněných textilií*. Liberec, 2013. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra oděvnictví. Vedoucí diplomové práce Katarína Zelová.

Seznam obrázků

Obr. 1.	Model přehýbání textilie a analýza pohybu přízí ve vazné buňce	20
Obr. 2.	Analýza chování tkaniny plátňové vazby při ohybu.....	21
Obr. 3.	Model popisující schopnost zotavení textilií po zmačkání [44]	26
Obr. 4.	Použité modely dle Dong [52]	26
Obr. 5.	Tvar vzorku pro Umak.....	29
Obr. 6.	Tvar vzorku pro maďarský přístroj T.K.I.	29
Obr. 7.	Příprava vzorku pro měření	29
Obr. 8.	Vzorky střížené od osnovy	30
Obr. 9.	Navrhnuté měřicí pracoviště pro snímání úhlu zotavení	31
Obr. 10.	Měření úhlu zotavení Nis elements	31
Obr. 11.	Metodika měření úhlu zotavení	31
Obr. 12.	Křivka zotavení textilie.....	34
Obr. 13.	Průběh deformace v době zotavení.....	34
Obr. 14.	Elastický reologický prvek - pružina	35
Obr. 15.	Viskózní reologický prvek – viskózní tlumič	35
Obr. 16.	Maxwellův reologický model	35
Obr. 17.	Kelvinův reologický model	37
Obr. 18.	Maxwell – Kelvinův reologický model (M-K).....	39
Obr. 19.	Složený reologický model Kelvin – Kelvin – viskózní tlumič (K-K-V model).....	41
Obr. 20.	Složený reologický model Thompson-Kelvin-viskózní tlumič (T-K-V model).....	41
Obr. 21.	Případy anizotropního mačkového chování tkanin.....	47
Obr. 22.	Polární diagram: plátno (modrá), atlas (červená), K1/2 (zelená), K1/4 (fialová).....	48
Obr. 23.	Vliv vazby na zotavení ($Dú = 240 \text{ n}/10 \text{ cm}$).....	48
Obr. 24.	Polární diagram: plátno (modrá), atlas (červená), K1/2 (zelená), K1/4 (fialová).....	48
Obr. 25.	Vliv vazby na zotavení ($Dú = 180 \text{ n}/10 \text{ cm}$).....	48
Obr. 26.	Polární diagram plátňové vazby	50
Obr. 27.	Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba plátno	50

Obr. 28. Polární diagram keprové vazby K1/2	50
Obr. 29. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba kepr K1/2	50
Obr. 30. Polární diagram vazby atlasové	50
Obr. 31. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba atlas	50
Obr. 32. Polární diagram vazby keprové K1/4	51
Obr. 33. Vliv dostavy útku na zotavení textilií - vazba kepr K1/4	51
Obr. 34. Přehyb textilie v různých směrech střížení - vazba plátno (M33)	52
Obr. 35. Přehyb textilie v různých směrech střížení - vazba kepr K1/4 (M48)	53
Obr. 36. Porovnání textilií S1, S2, S3	54
Obr. 37. Porovnání textilií S3, S4, S5	54
Obr. 38. Velikost úhlu zotavení a symetričnost zotavení jako předpoklad nižší mačkovosti (viz textilie S3)	54
Obr. 39. Závislost úhlu zotavení na zaplnění	56
Obr. 40. Anizotropie zotavení textilií přeložením LL a RR pro dostavy: Dú 180 n/10cm (modré křivky), Dú 240n/10cm (červené křivky)	58
Obr. 41. Výslední obrazec anizotropie zotavení textilií po průměru LL a RR pro Dú: 180 n/10cm (modré křivky), Dú 240n/10cm (červené křivky)	58
Obr. 42. Anizotropie zotavení textilií přeložením LL a RR: Do/Dú první řádek 285/255 n/10cm, druhý řádek 255/225 n/10cm	59
Obr. 43. Výslední obrazec anizotropie zotavení textilií po průměru LL a RR (detail)	59
Obr. 44. Anizotropie úhlu zotavení [°]	61
Obr. 45. Anizotropie úhlu zotavení [°]	61
Obr. 46. Vliv vlhkosti na anizotropii mačkovosti při teplotě 25 °C	62
Obr. 47. Vliv vlhkosti na anizotropii mačkovosti při teplotě 45 °C	62
Obr. 48. Hodinová relaxace úhlu zotavení	63
Obr. 49. Hodinová relaxace úhlu zotavení	63
Obr. 50. Porovnání křivek zotavení zjištěných experimentálně a výpočtem	64
Obr. 51. Tvar křivek zotavení pro textilie různých vazeb se stejnou jemností použitých přízí, stejnou dostavou osnovy a útku (M33, M34, M35, M36)	64
Obr. 52. Tvar křivek zotavení pro textilie s různým materiálovým zotavením, detail v první sekundě	66
Obr. 53. Rychlost zotavení rezných textilií a) Detail - rychlost zotavení do páté sekundy	69

Obr. 54. Rychlost zotavení textilií s různým materiálovým složením a) Detail - rychlost zotavení do páté sekundy	69
Obr. 55. Procento elastické (ϵ_E), viskoelastické (ϵ_V) a plastické deformace (ϵ_P).....	70
Obr. 56. Procento elastické (ϵ_E), viskoelastické (ϵ_V) a plastické deformace (ϵ_P).....	71
Obr. 57. Zmačkání režné textilie U1 - po osmi hodinách nošení.....	75
Obr. 58. Zmačkání režné textilie U3 - po osmi hodinách nošení.....	75
Obr. 59. Zmačkání textilie U1 po dalších 8 hodinách intenzivního zatížení během spánku.....	76
Obr. 60. Zmačkání textilie U3 po dalších 8 hodinách intenzivního zatížení během spánku.....	76
Obr. 61. Závislosti ohybového momentu na křivosti pro vazby plátno, kepr, atlas:	80
Obr. 62. Vliv vazby a dostavy útku na ohybovou tuhost.....	81
Obr. 63. Vliv vazby a dostavy útku na smykovou tuhost	82
Obr. 64. Krabicový graf více proměnných	84
Obr. 65. Ikonový hvězdičkový graf ukazuje na podobné materiály	85
Obr. 66. Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel.....	86
Obr. 67. Zátěž jednotlivých komponent.....	87
Obr. 68. Graf komponentních vah 1. A 2. hlavní komponenty.....	88
Obr. 69. Rozptylový diagram komponentního skóre ukazuje na shluky podobných materiálů.	89
Obr. 70. Dendrogram znaků odhaluje podobné shluky	90
Obr. 71. Dendrogram 16 případů odhaluje materiály podobné a blízké si charakterem všech sledovaných znaků.....	90
Obr. 72. Použité reologické modely.....	96
Obr. 73. Porovnání experimentální a teoretické křivky - Maxwellův model.....	100
Obr. 74. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K model.....	100
Obr. 75. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K reologický model, varianty modelování – textilie M33.....	101
Obr. 76. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K reologický model, varianty modelování – textilie M34.....	101
Obr. 77. Porovnání experimentální a teoretické křivky - M-K reologický model, varianty modelování – textilie M35.....	102
Obr. 78. Porovnání experimentální a teoretické křivky - T-K-V model, nejvhodnější varianta.....	102

Seznam tabulek

Tab. 1.	Charakteristika materiálů – rezné textilie	44
Tab. 2.	Charakteristika materiálů – různé materiálové složení, barvené textilie	45
Tab. 3.	Charakteristika materiálů – s různou úpravou	45
Tab. 4.	Výpočet celkového plošného zakrytí textilie Z	56
Tab. 5.	Výsledky měření celkového úhlu zotavení textilií s různým materiálovým složením ze všech směrů pootočení	60
Tab. 6.	Procentuální zotavení textilií	65
Tab. 7.	Rychlost zotavení [$^{\circ}$ /min]textilií plátnové vazby různého materiálového složení.....	67
Tab. 8.	Rychlost zotavení bavlněných textilií.....	68
Tab. 9.	Výsledné hodnoty úhlu zotavení.....	73
Tab. 10.	Sestavené pořadí textilií pro jednotlivé metody hodnocení mačkavosti.....	74
Tab. 11.	Základní popisné statistické charakteristiky rezných bavlněných materiálů M33-M48.....	84
Tab. 12.	Korelační matice znaků. Korelace jsou významné na hladině $p < 0,05$	86
Tab. 13.	Odhady parametrů pro základní lineární regresní model A všech proměnných... ..	92
Tab. 14.	Statistické charakteristiky regrese pro základní model.....	92
Tab. 15.	Modely dle Stepwise QC Expert 2.5 a charakteristika kvality regrese	93
Tab. 16.	Aplikace regresní funkce Taylorova polynomu 2. stupně, software QC Expert 2.5.....	93
Tab. 17.	Návrh predikční rovnice na základě relace proměnných.....	94
Tab. 18.	Výslední regresní modely, odhady regresních parametrů	94
Tab. 19.	Rovnice pro teoretický výpočet deformace vybraných reologických modelů	97
Tab. 20.	Podíl jednotlivých složek deformace a přehled hodnot vypočtených reologických parametrů pro rezné materiály	99

Seznam publikací autora

Články v mezinárodních impaktovaných časopisech.

- [KZ 1] **Fridrichová, L., Zelová, K.** Objective evaluation of multidirectional fabric creasing. *The Journal of the Textile Institute*. 2011, Sv. 102, 8, stránky 719-725.

Články v mezinárodních recenzovaných časopisech.

- [KZ 2] **Přívratcká, J., Zelová, K.** Compression behaviour and elastic recovery of highloft materials (Kelvin-Maxwell model). *ACC Journal*. 2011, Sv. 17(A), stránky 89-92. ISSN 1803-9782.
- [KZ 3] **Fridrichová, L., Zelová, K., Knížek, R.** Influence of Structure of Material on Properties of Bending Rigidity and Creasing in Different Directions. *Advanced Science Letters*. 2013, Sv. 19, 2, stránky 384-387(4).
- [KZ 4] **Zelová, K., Fridrichová, L.** Influence of material structure on speed of recovery of textiles. *Advanced Materials Research*. 2013, Sv. 746, stránky 266-270. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.746.266.

Příspěvky či abstrakty v recenzovaných sbornících z konferencí ve světovém jazyce.

- [KZ 5] *A study on the relaxation behavior of fabric's crease recovery angle in the forming process.* **Zelová, K., Havelka, A.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 14th International Conference Strutex. ISBN 978-80-7372-271-5.
- [KZ 6] *Methods of measuring urease recovery angles of textiles.* **Zelová, K., Havelka, A., Nováková, S.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. 15th International Conference Strutex. ISBN 978-80-7372-418-4.
- [KZ 7] *Innovated method of measuring the urease recovery angles of textiles.* **Zelová, K., Fridrichová, L.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 16th International Conference Strutex. ISBN 978-80-7372-542-6.
- [KZ 8] *Modeling recovery curves of the material using a rheological model.* **Zelová, K., Fridrichová, L., Přívratcká, J.** Liberec: Technická univerzita

v Liberci, 2011. 18th International Conference Strutex. ISBN 978-80-7372-786-4.

[KZ 9] *Influence of Structure of Material on Properties of Bending Rigidity and Creasing in Different Directions.* **Fridrichová, L., Zelová, K., Knížek, R.** International conference on advances in materials science and engineering, Bangkok, Thailand, September 27-28, 2012.

[KZ 10] *Influence of material structure on speed of recovery of textiles.* **Zelová, K., Fridrichová, L.** Asian Pacific Conference on Chemical, Material and Metallurgical Engineering (APCCMME 2013), May 22-23, 2013, Beijing, China.

Příspěvky či abstrakty v recenzovaných sbornících z konferencí v českém jazyce.

[KZ 11] *K problematice mačkavosti plošných textilií.* **Zelová, K.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. SVOČ TUL. ISBN 978-80-7372-482-5.

[KZ 12] *Mačkavost textilií.* **Zelová, K.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. Seminář doktorandů.

[KZ 13] *Predikce křivky zotavení pomocí reologického modelu.* **Zelová, K.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. Seminář doktorandů.

[KZ 14] *Studie ohybové tuhosti a mačkavosti plošných textilií.* **Zelová, K., Fridrichová, L.** Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. Workshop pro doktorandy FS a FT TUL. ISBN 978-80-7372-765-9.

Curriculum vitae

Jméno: Ing. Katarína Zelová
Adresa: Pribinova 341, Podolie, 916 22, Slovenská republika
Telefon: +420 485353390
E-mail: katarina.zelova@tul.cz

Pracovní zkušenosti:

2008 - doposud Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Katedra oděvnictví – odborný asistent
2006 - 2008 Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní – asistent
2005 – 2006 doktorand TUL

Vzdělání:

2005 – doposud Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
Program: Doktorský studijní program, Obor: Textilní technika
Téma disertační práce od roku 2008: Mačkovosti plošných textilií
2006 – 2008 Technická univerzita v Liberci, Fakulta pedagogická
Obor: Doplnkové pedagogické studium
2000 – 2005 Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
Program: Textilní inženýrství, Obor: Oděvní technologie
1996 – 2000 Střední průmyslová škola oděvní, Trenčín

Projekty:

OPTIS - CZ.1.07/2.2.00/28.0312 - Člen řešitelského kolektivu
Fyzio-Protech - TA01011253- Člen řešitelského kolektivu
Frvš 2527/2009 – Spoluřešitel. Název: Automatizace spojovacího procesu oděvních materiálů.


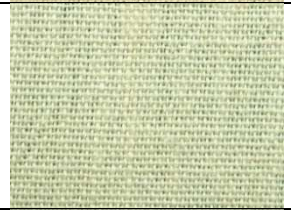






Dovednosti:


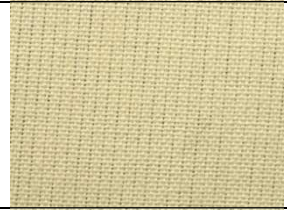






Jazykové znalosti: anglický jazyk – začátečník, německý jazyk – pasivní znalost
Práce s PC MS Office (Word, Excel, PowerPoint), Photoshop, Adobe InDesign CS2
Software: Niselements – obrazová analýza Lucia, Statistica, QCexpert.


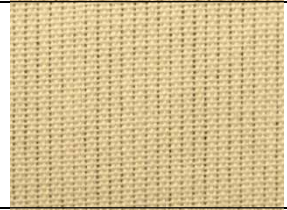






Přílohy






Příloha 1: Charakteristika použitých materiálů

Charakteristika materiálů – rezné textilie


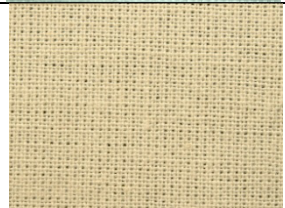

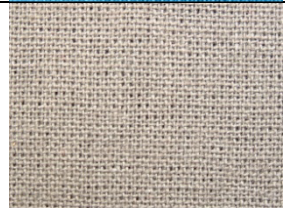
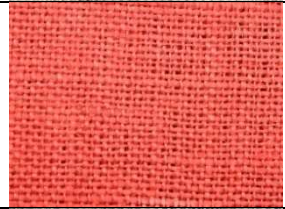
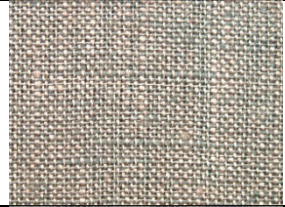


P.č	Materiál	Mat. slož.	Vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do/Dú [n/10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
S1		100% CO	plátno	29,5	29,5	230/100	106	0,56
S2		100% CO	plátno	29,5	29,5	230/150	120	0,48
S3		100% CO	plátno	29,5	29,5	230/190	140	0,47
S4		100% CO	plátno	29,5	29,5	230/240	160	0,45
S5		100% CO	plátno	29,5	29,5	230/260	165	0,49
M33		100% CO	plátno	40	33	240/240	181,9	0,40
M34		100% CO	atlas	40	33	240/240	178,8	0,58
M 35		100% CO	kepr 1/2	40	33	240/240	176,6	0,47

P.č	Materiál	Mat. slož.	Vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do/Dú [n/10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
M 36		100% CO	kepr 1/4	40	33	240/240	175,2	0,57
M37		100% CO	plátno	40	33	240/220	171,7	0,41
M38		100% CO	atlas	40	33	240/220	168,6	0,59
M39		100% CO	kepr 1/2	40	33	240/220	169,9	0,47
M40		100% CO	kepr 1/4	40	33	240/220	168,5	0,59
M41		100% CO	plátno	40	33	240/200	166,1	0,43
M42		100% CO	atlas	40	33	240/200	160,7	0,62
M43		100% CO	kepr 1/2	40	33	240/200	163,3	0,47







P.č	Materiál	Mat. slož.	Vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do/Dú [n/10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
M44		100% CO	kepr 1/4	40	33	240/200	160,0	0,60
M45		100% CO	plátno	40	33	240/200	158,0	0,44
M46		100% CO	atlas	40	33	240/180	152,8	0,60
M47		100% CO	kepr 1/2	40	33	240/180	156,3	0,49
M48		100% CO	kepr 1/4	40	33	240/180	152,9	0,61
M25		100% CO	plátno	40	40	240/180	175	0,41
M26		100% CO	atlas	40	40	240/180	170	0,58
M27		100% CO	kepr 1/2	40	40	240/180	169,9	0,45

P.č	Materiál	Mat. slož.	Vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do/Dú [n/10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
M28		100% CO	kepr 1/4	40	40	240/180	168,7	0,55
M29		100% CO	plátno	40	40	240/160	162	0,4
M30		100% CO	atlas	40	40	240/160	159	0,58
M31		100% CO	kepr 1/2	40	40	240/160	160,9	0,48
M32		100% CO	kepr 1/4	40	40	240/160	156,6	0,56

Charakteristika materiálů – běžné textilie

P.č	Materiál	Mat. slož.	vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do/Dú [n./10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
Z1		100% PL	plátno	41	39,1	270/180	178	0,5
Z2		100% CO	plátno	29	29,7	260/250	152,9	0,37
Z3		100% CO	plátno	28,2	29,4	240/210	123,6	0,4
Z4		100% CO	plátno	28,8	30,9	260/190	137,7	0,4
Z5		100% LI	plátno	54	53,6	170/140	194,9	0,44
Z6		100% LI	plátno	26,3	25,6	230/210	110,6	0,34
Z7		100% WO	plátno	24,8	23,6	290/250	140,9	0,25
Z8		90% VI/ 10% CO	plátno	18,9	13,4	390/290	114,7	0,27

Charakteristika materiálů – rezná, bělená, barvená

P.č	Materiál	Mat. slož.	vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do/Dú[n. /10cm]	Mp [g/m ²]	h [mm]
U1		100% CO - R	plátno	20	20	285/255	115	0,55
U2		100% CO - B	plátno	20	20	285/255	115	0,63
U3		100% CO - Ba	plátno	20	20	285/255	115	0,44
U4		100% CO - R	plátno	29,5	29,5	255/145	145	0,74
U5		100% CO - B	plátno	29,5	29,5	255/145	145	0,66
U6		100% CO - Ba	plátno	29,5	29,5	255/225	145	0,61

Poznámka: R – rezná, B – bělená, Ba - barvená

Příloha 2: Hodnoty úhlu zotavení v průběhu relaxace, křivka zotavení, rychlost zotavení textilií

Záznam zotavení materiálu M33 (plátno)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	74,29	87,37	84,74	68,02	82,86	87,97	77,62	82,04	84,37	64,88	82,42	93,59	80,85
2	74,29	91,42	92,23	76,14	89,81	96,16	77,62	89,70	90,36	72,55	89,28	101,70	86,77
3	78,82	93,87	95,43	79,47	92,13	99,04	81,92	93,03	93,55	75,82	91,99	104,68	89,98
4	81,00	96,16	97,38	81,36	94,18	101,26	84,94	94,99	95,85	77,95	94,21	106,47	92,14
5	82,93	97,60	98,99	83,12	95,46	102,65	87,14	96,59	97,57	79,22	95,49	107,36	93,68
6	84,83	99,02	100,19	84,64	96,45	103,15	88,56	97,75	98,74	80,54	96,93	108,75	94,96
7	85,84	99,78	101,23	85,67	97,29	104,46	89,58	98,74	99,85	81,51	98,01	109,58	95,96
8	86,88	100,35	102,11	86,80	98,05	105,49	91,16	99,43	100,95	82,79	99,04	110,52	96,96
9	87,79	101,01	103,09	87,77	98,83	106,00	92,34	100,20	101,60	83,54	99,63	110,94	97,73
10	88,32	101,92	104,01	88,39	99,38	106,40	92,97	100,93	102,53	84,59	100,51	112,19	98,51
15	90,86	103,62	105,62	89,92	100,42	108,46	94,96	102,86	104,32	86,13	101,40	114,08	100,22
20	92,53	105,02	107,25	91,32	101,45	109,91	96,95	104,31	106,07	87,30	102,72	115,60	101,70
25	94,14	106,22	108,18	92,83	102,63	111,39	97,83	105,84	106,93	88,77	103,85	116,74	102,95
30	95,64	107,31	109,50	94,27	103,53	112,06	99,21	106,85	108,15	89,73	104,99	117,48	104,06
35	96,79	108,06	110,57	95,03	104,32	112,50	100,06	107,60	108,90	90,87	105,51	118,14	104,86
40	97,74	108,93	111,29	95,72	105,03	113,79	100,97	108,32	109,54	91,85	106,31	118,85	105,69
45	98,56	109,59	111,95	96,40	105,50	114,05	101,83	109,01	110,16	92,78	107,11	119,17	106,34
50	99,24	110,30	112,49	96,92	106,32	114,63	102,55	109,92	110,64	93,81	107,59	119,82	107,02
55	99,61	110,85	113,06	97,78	106,83	115,03	103,02	110,34	111,24	94,57	108,32	120,27	107,58
60	100,34	111,35	113,58	98,45	107,36	115,50	103,75	110,87	111,67	95,22	108,65	120,69	108,12
120	103,33	113,60	115,31	100,42	108,79	117,78	105,63	112,78	113,50	96,69	110,14	123,13	110,09
180	105,47	115,51	117,12	101,88	110,17	119,11	107,98	114,38	114,97	98,56	111,51	124,00	111,72
240	106,83	117,12	118,93	103,34	111,44	119,66	109,63	115,69	116,24	99,96	112,66	124,77	113,02
300	108,04	117,99	120,15	104,20	112,16	120,58	111,04	116,94	117,45	100,90	113,55	125,42	114,03

Záznam zotavení materiálu M34 (atlas)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	74,35	93,17	108,11	97,20	89,26	79,53	73,11	84,45	94,78	94,83	83,83	74,70	87,28	
2	85,08	103,18	119,26	107,42	97,60	89,85	84,45	93,03	104,95	104,79	92,45	84,24	97,19	
3	88,60	106,51	123,28	111,04	100,71	93,59	88,06	97,24	108,72	108,05	95,70	87,71	100,77	
4	90,82	108,93	125,56	113,71	102,60	95,64	90,09	99,61	111,02	110,34	98,09	90,22	103,05	
5	92,57	110,27	127,09	115,32	103,70	97,71	91,92	101,39	112,92	112,33	99,77	91,80	104,73	
6	93,48	111,39	128,34	116,38	104,68	98,83	93,44	102,71	114,34	113,20	100,64	93,13	105,88	
7	94,96	112,38	129,32	117,49	105,67	100,06	94,65	104,02	115,34	114,09	101,63	94,30	106,99	
8	95,85	113,17	130,05	118,55	106,39	101,12	95,47	104,74	116,43	115,08	102,39	95,30	107,88	
9	97,13	113,80	130,73	119,13	106,72	101,55	96,12	105,60	117,19	115,76	103,48	95,89	108,59	
10	97,49	114,38	131,48	119,95	107,46	102,22	96,88	106,45	117,81	116,45	104,02	96,28	109,24	
15	99,77	116,30	134,16	122,06	110,37	104,00	99,25	108,97	120,25	118,83	106,97	98,04	111,58	
20	101,79	118,07	135,71	123,50	111,63	105,12	101,18	110,61	122,11	120,52	107,96	98,99	113,10	
25	103,53	119,22	137,07	125,09	112,50	106,50	102,47	112,03	123,58	121,87	109,22	99,96	114,42	
30	104,41	119,98	138,15	126,00	113,28	107,27	103,54	113,18	124,66	122,78	110,09	100,89	115,35	
35	105,35	120,57	138,92	126,93	114,01	107,82	104,54	114,02	125,33	123,60	110,80	101,80	116,14	
40	106,36	121,37	139,62	127,72	114,96	108,73	105,04	114,57	126,30	124,21	111,58	102,18	116,89	
45	106,93	121,91	140,21	128,12	115,05	109,22	105,60	115,37	126,96	124,68	111,75	102,36	117,35	
50	107,41	122,53	140,69	128,70	115,60	109,46	106,45	115,92	127,54	125,14	112,47	103,09	117,92	
55	107,92	122,93	141,30	129,27	115,96	109,96	107,05	116,35	128,01	125,60	113,03	103,36	118,39	
60	108,38	123,46	141,96	129,70	116,39	110,65	107,43	116,96	128,45	126,13	113,24	103,78	118,88	
120	111,59	126,70	144,05	132,63	118,43	112,44	110,13	119,82	131,23	129,13	115,87	105,94	121,50	
180	113,26	127,46	145,14	134,13	119,68	113,43	111,97	121,34	133,09	130,97	116,87	106,93	122,86	
240	114,05	128,58	146,10	135,18	120,60	114,59	113,34	122,49	134,07	131,96	117,93	107,87	123,89	
300	114,67	129,14	146,65	135,97	120,97	114,68	113,90	123,14	134,88	132,83	118,38	108,20	124,45	

Záznam zotavení materiálu M35 (kepr K1/2)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	76,76	96,14	104,02	94,96	88,78	81,51	74,49	91,18	101,40	91,21	87,31	76,89	88,72
2	85,27	102,54	110,56	102,42	93,59	87,29	82,59	96,96	107,72	99,24	93,10	83,85	95,43
3	88,72	105,48	113,45	105,16	95,96	90,22	85,82	99,88	110,48	102,31	95,52	86,44	98,28
4	90,53	107,20	115,36	107,31	97,86	91,85	88,02	101,48	112,34	104,50	97,12	87,99	100,13
5	92,01	108,63	116,83	108,96	99,27	93,26	89,65	102,84	113,95	106,11	98,34	89,09	101,58
6	93,14	109,55	117,78	110,13	100,19	94,24	90,99	103,86	114,99	107,24	99,23	90,02	102,61
7	94,13	110,39	118,55	111,05	101,05	95,00	92,00	104,67	115,80	108,08	99,97	90,70	103,45
8	94,90	111,03	119,06	111,71	101,59	95,75	92,67	105,32	116,38	108,80	100,57	91,27	104,09
9	95,67	111,58	119,50	112,35	102,06	96,33	93,23	105,86	116,96	109,38	101,14	91,75	104,65
10	96,23	112,10	120,00	112,87	102,50	96,84	93,74	106,29	117,40	109,89	101,55	92,16	105,13
15	99,12	114,52	122,43	115,47	104,73	98,69	96,10	108,43	119,73	112,33	103,52	94,50	107,46
20	100,80	116,09	123,82	117,08	106,08	99,99	97,84	109,93	121,27	113,94	104,89	96,09	108,98
25	102,03	117,22	124,74	118,29	107,23	100,99	99,14	111,10	122,56	115,10	105,96	97,14	110,13
30	103,16	118,09	125,49	119,17	108,05	101,76	100,19	111,97	123,43	115,99	106,75	97,92	111,00
35	103,82	118,74	126,12	119,83	108,72	102,39	100,92	112,79	124,03	116,70	107,40	98,53	111,67
40	104,45	119,29	126,57	120,35	109,21	102,91	101,59	113,42	124,55	117,26	107,96	99,05	112,22
45	104,92	119,71	127,05	120,83	109,71	103,34	102,09	113,89	124,97	117,74	108,44	99,48	112,68
50	105,44	120,06	127,45	121,14	110,04	103,76	102,65	114,40	125,38	118,15	108,81	99,82	113,09
55	105,84	120,42	127,88	121,59	110,57	104,13	102,97	114,72	125,73	118,55	109,13	100,12	113,47
60	106,14	120,75	128,21	121,88	110,86	104,54	103,33	115,09	126,09	118,86	109,46	100,53	113,81
120	108,85	123,11	130,83	124,66	113,11	106,49	105,66	117,50	128,40	121,34	111,78	103,18	116,24
180	110,38	124,48	132,25	126,01	114,27	107,73	107,13	118,90	129,64	122,70	113,12	104,53	117,59
240	111,36	125,42	133,15	127,15	115,09	108,83	108,06	119,78	130,46	123,59	114,03	105,34	118,52
300	112,03	126,11	133,75	127,91	115,75	109,51	108,81	120,42	131,03	124,16	114,58	106,00	119,17

Záznam zotavení materiálu M36 (kepr K1/4)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	75,93	98,24	107,76	96,38	90,74	77,16	72,60	89,92	102,96	92,15	79,50	63,12		87,21
2	86,91	107,44	119,52	106,94	97,40	85,06	84,07	100,44	112,40	101,39	89,12	70,56		96,77
3	91,09	110,90	123,64	110,73	100,55	88,78	88,42	104,24	116,53	105,29	92,40	74,10		100,56
4	93,43	113,39	126,30	113,20	102,29	90,80	91,22	107,06	118,92	108,18	94,60	75,90		102,94
5	95,28	114,85	128,26	115,06	103,60	92,16	93,27	108,89	120,75	110,17	96,51	77,43		104,68
6	97,00	116,19	129,56	116,58	104,48	93,57	94,63	110,27	122,12	111,28	97,57	78,50		105,98
7	98,01	117,28	130,69	117,88	105,51	94,52	95,99	111,51	123,23	112,70	98,41	79,53		107,10
8	99,09	117,80	131,72	118,64	106,30	95,40	96,90	112,38	124,21	113,62	99,55	80,24		107,99
9	100,09	118,71	132,53	119,40	107,10	96,40	97,67	113,31	124,91	114,62	100,20	80,98		108,83
10	100,76	119,53	133,31	120,20	107,44	97,39	98,86	114,08	125,99	115,25	100,62	82,04		109,62
15	103,90	122,07	135,92	123,05	109,57	98,94	101,46	116,59	128,65	117,93	103,07	83,88		112,09
20	106,17	123,34	137,74	124,86	111,30	100,59	103,27	118,58	130,59	119,95	104,31	85,61		113,86
25	107,28	124,83	138,96	126,30	111,94	101,67	104,74	119,82	132,00	121,50	105,53	86,78		115,11
30	108,56	125,81	139,84	127,24	112,97	102,52	105,04	121,06	132,87	122,77	106,34	87,58		116,05
35	109,50	126,82	140,91	128,47	113,47	103,49	106,41	121,96	133,70	123,46	107,19	88,42		116,98
40	110,20	127,21	141,55	129,05	114,11	104,26	107,09	122,76	134,44	124,47	108,17	89,21		117,71
45	110,83	128,12	142,25	129,93	114,61	105,12	107,78	123,57	135,38	125,33	108,41	89,39		118,39
50	111,15	128,73	142,78	130,63	115,18	105,24	108,57	124,04	136,08	125,79	109,07	89,98		118,94
55	111,78	129,21	143,66	130,82	115,85	105,78	109,05	124,77	136,61	126,60	109,26	90,44		119,49
60	112,59	129,94	144,12	131,27	116,46	106,47	109,90	125,28	137,29	126,95	109,53	90,93		120,06
120	115,86	132,24	146,86	134,37	118,10	108,53	112,43	128,58	140,41	130,39	112,24	93,14		122,76
180	116,99	134,04	148,30	136,04	119,57	109,52	114,20	130,32	141,97	132,06	113,82	94,57		124,28
240	118,17	134,88	149,64	136,64	120,03	109,93	115,06	131,66	143,19	133,16	114,62	95,39		125,20
300	118,98	135,74	150,28	137,60	120,80	110,94	116,19	132,94	143,95	134,17	115,32	96,37		126,11

Záznam zotavení materiálu M37 (plátno)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	83,19	88,63	86,26	71,98	82,87	82,00	84,12	89,67	84,38	74,50	80,13	81,77	82,46
2	90,32	95,33	94,36	78,51	90,79	91,17	92,54	97,94	90,95	81,21	86,52	88,16	89,82
3	93,40	98,20	97,62	81,53	94,09	94,47	95,94	100,91	94,09	84,60	89,39	91,43	92,97
4	95,68	100,13	99,76	83,60	96,01	96,23	98,40	102,90	96,02	86,85	91,52	93,43	95,04
5	97,28	101,68	101,06	85,10	97,38	97,90	99,94	104,59	97,38	88,33	93,04	94,89	96,55
6	98,81	102,83	102,30	86,61	98,76	99,28	101,31	105,70	98,49	89,74	94,32	96,17	97,86
7	99,95	103,81	103,08	87,67	99,69	100,34	102,41	106,63	99,48	90,66	95,21	97,17	98,84
8	100,79	104,77	103,92	88,61	100,65	101,16	103,32	107,37	100,29	91,42	95,98	97,94	99,68
9	101,48	105,38	104,43	89,40	101,46	101,91	104,10	108,03	100,97	92,16	96,54	98,63	100,37
10	102,30	105,82	104,97	89,87	102,12	102,55	104,75	108,66	101,52	92,75	97,06	99,19	100,96
15	104,76	108,18	107,07	92,31	104,29	104,73	106,93	110,79	103,65	94,96	99,39	101,41	103,21
20	106,50	109,52	108,53	94,09	105,91	106,03	108,79	112,19	104,88	96,57	100,70	102,87	104,71
25	107,73	110,64	109,59	95,20	107,17	107,05	110,31	113,46	106,06	97,74	101,89	103,99	105,90
30	108,92	111,65	110,48	96,28	108,37	108,11	111,06	114,51	107,00	98,62	102,92	104,97	106,91
35	110,00	112,25	111,22	97,00	109,32	109,05	111,93	115,28	107,86	99,37	103,74	105,76	107,73
40	110,93	112,82	111,82	97,68	110,03	109,75	112,58	115,99	108,58	99,95	104,35	106,51	108,42
45	111,70	113,36	112,35	98,19	110,70	110,30	113,11	116,49	109,18	100,49	104,83	107,13	108,99
50	112,17	113,86	112,72	98,62	111,24	110,79	113,49	116,95	109,60	101,02	105,26	107,69	109,45
55	112,70	114,35	113,19	99,00	111,70	111,22	113,95	117,30	110,00	101,41	105,65	108,13	109,88
60	113,12	114,64	113,59	99,45	112,12	111,54	114,38	117,85	110,36	101,76	106,00	108,53	110,28
120	115,38	116,86	115,58	101,99	113,84	113,71	117,08	119,79	112,25	104,27	108,39	110,64	112,48
180	116,74	118,14	116,98	103,31	115,22	114,83	118,32	120,94	113,57	105,49	109,43	111,97	113,74
240	117,97	118,97	117,72	104,19	116,31	115,61	119,32	121,86	114,43	106,39	110,30	112,90	114,66
300	118,75	119,51	118,46	105,00	116,96	116,32	119,93	122,49	115,17	107,14	111,07	113,51	115,36

Záznam zotavení materiálu M38 (atlas)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	83,67	98,59	104,15	93,93	95,14	88,19	77,42	91,62	100,98	92,25	91,63	86,19	91,98
2	91,77	105,85	111,59	100,77	99,85	93,55	84,94	97,87	108,43	98,37	97,38	90,77	98,43
3	95,28	108,78	115,26	103,85	102,60	96,43	88,56	100,55	111,46	101,54	100,04	93,15	101,46
4	97,73	110,89	117,21	105,96	104,39	98,08	90,80	102,40	113,56	103,64	101,70	94,58	103,41
5	99,40	112,37	119,04	107,53	105,54	99,39	92,45	104,04	114,98	105,39	102,91	95,73	104,90
6	100,62	113,63	120,47	108,92	106,34	100,37	93,68	105,05	116,17	106,71	103,79	96,72	106,04
7	101,60	114,65	121,35	109,86	107,19	101,15	94,62	105,80	117,15	107,74	104,68	97,46	106,94
8	102,62	115,45	122,12	110,68	107,91	101,86	95,48	106,59	118,01	108,65	105,43	98,15	107,75
9	103,38	116,08	122,84	111,36	108,45	102,42	96,29	107,24	118,77	109,22	106,00	98,75	108,40
10	104,08	116,70	123,40	111,93	109,00	103,01	96,95	107,82	119,32	109,77	106,55	99,24	108,98
15	106,90	119,27	126,04	114,46	111,01	104,98	99,65	110,14	121,98	112,46	108,35	101,67	111,41
20	108,86	120,77	127,77	115,98	112,49	106,26	101,36	111,93	123,51	114,03	109,91	103,32	113,02
25	110,31	122,15	129,01	117,24	113,49	107,25	102,84	113,16	124,85	115,22	110,94	104,57	114,25
30	111,43	123,19	130,09	118,30	114,41	108,09	103,90	114,16	125,75	116,36	111,78	105,49	115,24
35	112,43	124,10	130,96	119,22	115,05	108,69	104,75	115,05	126,68	117,33	112,53	106,16	116,08
40	113,22	124,86	131,62	119,94	115,66	109,32	105,48	115,72	127,42	118,15	113,21	106,76	116,78
45	113,93	125,42	132,20	120,55	116,20	109,78	106,14	116,30	127,99	118,69	113,72	107,26	117,35
50	114,55	125,97	132,67	121,02	116,63	110,24	106,69	116,81	128,63	119,22	114,12	107,69	117,85
55	115,13	126,45	133,08	121,40	117,04	110,66	107,26	117,26	129,19	119,73	114,51	108,18	118,32
60	115,56	126,80	133,39	121,84	117,42	111,15	107,75	117,69	129,65	120,15	114,88	108,50	118,73
120	118,36	129,62	136,51	125,33	119,83	113,26	110,54	120,65	132,23	123,03	117,16	110,80	121,44
180	119,90	131,19	138,19	127,06	121,10	114,57	112,35	122,12	133,71	124,70	118,51	112,04	122,95
240	120,94	132,24	139,36	128,32	121,85	115,46	113,40	123,38	134,70	126,00	119,39	112,91	124,00
300	121,69	133,09	140,17	129,17	122,43	116,08	114,15	124,19	135,49	126,98	120,19	113,64	124,77

Záznam zotavení materiálu M39 (kepr K1/2)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	69,73	88,23	94,80	81,25	85,83	80,98	67,94	84,80	88,81	85,12	85,70	86,61	83,32
2	77,14	94,67	102,01	89,01	92,03	86,91	74,26	92,37	96,46	92,23	92,54	91,17	90,06
3	81,08	97,58	105,16	92,02	94,64	89,75	77,73	95,56	99,72	95,65	95,20	93,27	93,11
4	83,24	99,83	107,14	94,39	96,40	91,21	79,75	97,60	101,70	97,49	97,02	94,89	95,06
5	85,02	101,37	108,64	95,84	97,74	92,58	81,39	99,28	103,06	98,87	98,44	96,11	96,53
6	86,36	102,63	109,92	96,88	98,68	93,50	82,80	100,38	104,19	100,12	99,42	97,03	97,66
7	87,32	103,54	110,81	97,84	99,41	94,28	83,86	101,23	105,16	101,15	100,20	97,81	98,55
8	88,28	104,41	111,68	98,62	99,99	94,92	84,71	101,92	106,04	102,08	100,92	98,57	99,34
9	88,91	105,09	112,34	99,25	100,49	95,46	85,36	102,54	106,78	102,89	101,48	99,15	99,98
10	89,49	105,59	112,94	99,78	100,94	95,99	86,02	103,05	107,39	103,64	101,97	99,60	100,53
15	92,25	107,99	115,63	102,80	103,27	98,08	88,98	105,49	109,94	105,99	103,84	101,49	102,98
20	94,59	109,99	117,01	104,41	104,59	99,25	90,68	107,10	111,43	107,53	105,14	102,83	104,54
25	96,24	111,33	119,10	105,72	105,68	100,28	91,98	108,37	112,70	108,80	106,47	103,91	105,88
30	97,35	112,46	120,44	106,75	106,49	101,18	92,97	109,39	113,79	109,79	107,38	104,72	106,89
35	98,28	113,26	121,42	107,49	107,19	101,92	93,79	110,12	114,72	110,78	108,07	105,28	107,69
40	99,00	113,96	122,09	108,20	107,78	102,56	94,47	110,80	115,52	111,59	108,75	105,78	108,38
45	99,52	114,59	122,66	108,75	108,23	103,01	95,10	111,43	116,20	112,25	109,15	106,22	108,92
50	100,05	115,13	123,15	109,22	108,70	103,41	95,66	111,95	116,72	112,87	109,54	106,58	109,42
55	100,48	115,55	123,56	109,69	109,02	103,81	96,13	112,35	117,24	113,42	109,92	106,94	109,84
60	100,98	115,88	123,95	110,10	109,35	104,16	96,56	112,80	117,63	113,77	110,33	107,32	110,24
120	103,92	118,92	127,13	112,82	111,14	105,71	99,91	115,84	120,55	116,30	112,63	109,07	112,83
180	105,92	120,65	128,60	114,32	112,40	106,64	101,74	117,40	122,30	117,89	113,89	110,34	114,34
240	107,17	121,64	129,57	115,52	113,28	107,32	102,89	118,49	123,29	119,01	114,85	111,17	115,35
300	108,09	122,49	130,42	116,34	113,90	107,95	103,74	119,28	124,15	119,73	115,48	111,75	116,11

Záznam zotavení materiálu M40 (kepr K1/4)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	81,00	101,36	113,63	102,01	94,47	90,26	85,40	95,60	112,54	97,50	86,61	82,97	95,28
2	89,63	107,55	121,08	110,98	100,65	96,14	90,95	103,14	119,23	104,37	92,30	89,23	102,10
3	93,12	110,95	124,20	114,48	103,24	99,08	93,54	105,81	121,95	107,77	94,90	91,73	105,06
4	95,37	112,67	126,33	116,73	104,96	100,78	95,58	107,51	123,86	109,92	96,50	93,39	106,97
5	96,99	114,12	127,89	118,33	106,40	101,89	97,13	109,04	125,39	111,15	97,80	94,57	108,39
6	98,35	115,35	128,90	119,67	107,45	102,83	98,35	110,13	126,42	112,22	98,75	95,53	109,49
7	99,33	116,30	129,77	120,58	108,21	103,63	99,32	111,22	127,20	113,06	99,56	96,25	110,37
8	100,22	117,10	130,45	121,49	108,83	104,27	100,36	111,78	127,84	113,74	100,23	96,88	111,10
9	100,94	117,78	131,04	122,28	109,36	104,80	101,10	112,41	128,38	114,50	100,94	97,43	111,75
10	101,62	118,37	131,59	122,95	109,77	105,23	101,65	112,98	128,84	115,43	101,43	97,90	112,31
15	104,25	120,32	134,48	125,34	111,91	107,69	104,21	114,95	131,27	118,07	103,40	99,89	114,65
20	105,78	121,82	135,94	126,86	113,25	108,92	105,76	116,74	132,78	119,74	104,78	101,29	116,14
25	107,01	123,24	136,97	128,08	114,28	109,79	106,97	117,96	133,67	120,99	105,75	102,40	117,26
30	108,12	124,19	137,78	129,21	115,08	110,51	107,95	119,07	134,50	121,99	106,60	103,24	118,19
35	108,97	124,88	138,43	129,93	115,66	111,19	108,83	119,76	135,19	122,86	107,27	104,01	118,92
40	109,63	125,38	138,89	130,68	116,18	111,70	109,49	120,37	135,80	123,46	107,78	104,61	119,50
45	110,31	125,85	139,29	131,15	116,64	112,18	110,00	120,94	136,26	123,99	108,31	105,13	120,00
50	110,88	126,22	139,72	131,61	117,04	112,54	110,46	121,44	136,76	124,47	108,85	105,59	120,46
55	111,37	126,55	140,08	132,10	117,43	112,94	110,92	121,83	137,15	124,99	109,21	106,10	120,89
60	111,76	126,86	140,50	132,56	117,79	113,32	111,34	122,34	137,56	125,46	109,60	106,48	121,30
120	114,89	129,38	143,31	135,00	119,75	115,72	113,77	125,00	139,99	128,00	111,39	108,14	123,69
180	116,38	130,78	144,74	136,49	120,97	117,14	115,22	126,42	141,46	129,63	112,54	109,28	125,09
240	117,37	131,75	145,54	137,39	121,84	118,11	116,07	127,52	142,34	130,75	113,39	110,05	126,01
300	118,17	132,50	146,15	138,09	122,50	118,77	116,83	128,47	143,02	131,52	114,07	110,75	126,74

Záznam zotavení materiálu M41 (plátno)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	74,88	84,20	86,01	70,58	79,47	82,93	75,06	82,21	84,78	70,64	80,70	81,28	79,39
2	82,91	91,73	92,85	75,33	86,31	90,62	82,54	89,49	92,55	78,05	85,94	87,57	86,33
3	86,56	95,18	95,73	78,58	89,25	93,66	86,05	92,83	95,85	81,33	88,64	90,55	89,52
4	88,86	97,35	97,65	80,65	90,96	95,62	88,46	94,97	98,17	83,63	90,24	92,58	91,59
5	90,64	98,88	98,97	82,15	92,37	97,31	90,33	96,41	99,66	85,11	91,37	94,08	93,11
6	91,89	100,06	100,12	83,29	93,59	98,49	91,72	97,67	100,84	86,49	92,56	95,24	94,33
7	93,01	101,12	101,02	84,23	94,47	99,57	93,07	98,77	101,83	87,28	93,46	96,21	95,34
8	93,94	101,96	101,86	85,04	95,17	100,46	94,21	99,57	102,66	88,00	94,20	96,93	96,17
9	94,79	102,64	102,54	85,90	95,80	101,21	95,21	100,23	103,40	88,63	94,86	97,69	96,91
10	95,65	103,40	103,17	86,43	96,37	102,05	95,89	100,74	104,12	89,48	95,43	98,40	97,59
15	98,56	105,86	104,76	88,51	98,07	104,05	97,99	102,99	106,44	91,81	97,22	100,63	99,74
20	100,55	107,58	106,52	90,10	99,20	105,29	99,70	104,57	107,82	93,18	98,60	102,30	101,28
25	101,88	108,96	107,54	91,26	100,06	106,49	101,33	105,93	108,97	94,31	99,77	103,63	102,51
30	103,11	110,10	108,68	92,00	100,70	107,59	102,54	107,14	110,43	95,32	100,77	104,72	103,59
35	104,19	111,06	109,35	93,05	101,46	108,44	103,59	107,89	111,17	96,20	101,65	105,54	104,46
40	105,04	111,69	110,09	93,77	102,12	109,14	104,51	108,65	111,90	96,98	102,38	106,30	105,21
45	105,94	112,38	110,72	94,51	102,76	109,88	105,30	109,35	112,71	97,47	102,91	107,04	105,91
50	106,55	112,78	111,28	95,16	103,30	110,41	105,90	109,91	113,06	98,17	103,39	107,47	106,45
55	107,10	113,43	111,82	95,68	103,87	110,97	106,43	110,54	113,60	98,46	103,77	107,94	106,97
60	107,80	114,04	112,11	96,10	104,33	111,68	107,01	110,90	114,03	98,81	104,22	108,38	107,45
120	111,20	116,80	115,00	98,51	106,16	114,20	109,89	113,61	116,40	101,33	106,32	110,79	110,02
180	113,06	118,50	116,47	99,88	107,60	115,63	111,87	115,13	117,83	102,77	107,54	112,08	111,53
240	114,16	119,57	117,36	101,03	108,80	116,73	113,20	116,26	118,97	104,05	108,65	113,30	112,67
300	115,12	120,52	118,25	102,04	109,81	117,47	114,42	117,30	119,98	105,19	109,71	114,15	113,66

Záznam zotavení materiálu M42 (atlas)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	92,82	105,44	113,79	103,88	96,08	91,67	83,29	95,22	108,81	105,12	92,18	91,18		98,29
2	98,76	109,49	118,70	110,12	101,41	98,16	89,47	102,35	114,36	111,36	98,16	96,62		104,08
3	102,20	112,01	121,38	113,32	103,87	101,01	92,86	105,04	117,22	114,27	100,94	99,12		106,94
4	104,18	113,46	123,16	115,27	105,46	103,10	95,17	106,87	119,36	116,36	102,65	100,87		108,83
5	106,13	114,86	124,56	116,92	106,76	104,49	96,94	108,07	120,88	117,93	103,95	102,19		110,31
6	107,39	115,86	125,61	117,83	107,67	105,65	98,06	109,41	121,87	118,94	105,09	103,26		111,39
7	108,58	116,78	126,58	118,68	108,62	106,60	99,04	110,39	122,72	119,74	106,04	104,13		112,33
8	109,28	117,43	127,31	119,70	109,31	107,44	99,99	111,27	123,57	120,44	106,82	104,74		113,11
9	110,27	118,17	127,93	120,60	109,98	108,15	100,94	112,05	124,14	121,16	107,50	105,35		113,85
10	110,82	118,76	128,51	121,20	110,65	108,88	101,64	112,60	124,60	121,67	108,03	106,20		114,46
15	113,46	120,66	130,54	123,63	112,47	110,78	104,00	114,90	126,74	123,98	109,90	107,72		116,56
20	114,89	121,98	132,27	125,08	113,62	112,64	105,69	116,71	128,18	125,34	111,29	109,00		118,06
25	116,37	123,19	133,42	126,43	114,70	113,81	107,22	117,82	129,36	126,51	112,37	109,98		119,26
30	117,46	124,09	134,49	127,36	115,69	114,77	108,36	118,77	130,23	127,51	113,27	110,84		120,24
35	118,42	124,87	135,52	128,21	116,38	115,42	109,44	119,80	130,91	128,31	114,00	111,46		121,06
40	119,16	125,59	136,39	128,98	116,89	116,14	110,13	120,65	131,53	128,93	114,72	112,13		121,77
45	119,75	126,14	136,89	129,49	117,41	116,56	110,67	121,29	131,96	129,41	115,23	112,71		122,29
50	120,35	126,71	137,51	130,10	117,72	117,01	111,27	121,93	132,43	129,77	115,74	113,18		122,81
55	120,72	127,20	137,92	130,52	118,20	117,44	111,87	122,37	132,83	130,14	116,12	113,59		123,24
60	121,13	127,66	138,49	131,07	118,67	117,86	112,39	123,09	133,11	130,76	116,47	113,95		123,72
120	123,83	130,07	140,78	133,25	120,36	119,54	115,43	127,81	135,64	133,08	118,45	115,48		126,14
180	125,35	131,58	142,16	134,52	121,49	120,86	117,09	129,29	137,04	134,30	119,79	116,71		127,51
240	126,39	132,48	143,12	135,77	122,38	121,96	118,09	130,47	138,18	135,06	120,64	117,42		128,49
300	127,25	133,38	144,03	136,66	123,07	122,60	118,88	131,17	139,04	135,58	121,18	118,16		129,25

Záznam zotavení materiálu M43 (kepr K1/2)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	82,93	102,14	109,18	96,88	84,68	83,85	82,76	98,29	110,70	92,54	82,83	85,39		92,68
2	89,78	107,52	114,30	102,08	90,89	90,31	89,22	103,95	115,61	98,86	88,65	90,40		98,46
3	93,05	110,64	116,88	105,10	93,50	92,92	92,33	106,74	118,11	101,40	91,38	92,65		101,22
4	95,44	112,09	118,60	106,87	95,41	94,60	94,44	108,61	119,80	103,43	93,29	94,35		103,08
5	96,96	113,20	119,69	108,28	96,71	95,81	96,13	110,01	121,02	104,72	94,45	95,46		104,37
6	98,14	114,01	120,57	109,46	97,66	96,87	97,20	110,86	121,91	105,74	95,37	96,38		105,35
7	99,08	114,76	121,31	110,41	98,37	97,65	98,20	111,74	122,62	106,55	96,25	97,07		106,17
8	99,87	115,43	121,85	111,08	98,95	98,31	99,04	112,39	123,20	107,25	96,92	97,75		106,84
9	100,53	115,97	122,30	111,67	99,36	98,82	99,68	112,88	123,80	107,89	97,54	98,34		107,40
10	101,13	116,49	122,67	112,05	99,89	99,35	100,31	113,29	124,22	108,44	98,05	98,84		107,89
15	103,90	119,09	124,85	114,34	102,33	101,23	102,92	115,67	126,54	110,99	100,03	100,91		110,23
20	105,55	120,80	126,27	115,95	103,83	102,77	104,68	117,08	127,85	112,51	101,60	102,30		111,77
25	106,78	121,72	127,41	117,30	104,74	103,88	106,01	118,25	128,92	113,54	102,59	103,36		112,88
30	107,62	122,52	128,11	118,33	105,54	104,67	106,94	118,89	129,67	114,43	103,34	104,22		113,69
35	108,46	123,15	128,63	119,03	106,16	105,31	107,64	119,45	130,27	115,22	103,95	104,91		114,35
40	109,10	123,71	129,07	119,52	106,65	105,72	108,20	119,90	130,80	115,84	104,53	105,51		114,88
45	109,66	124,15	129,45	119,97	107,13	106,21	108,73	120,35	131,30	116,29	104,94	105,88		115,34
50	110,15	124,49	129,77	120,30	107,44	106,57	109,21	120,73	131,66	116,68	105,29	106,23		115,71
55	110,59	124,88	130,05	120,68	107,84	107,00	109,56	121,04	131,99	117,06	105,68	106,63		116,08
60	110,99	125,18	130,34	120,97	108,12	107,33	109,92	121,36	132,26	117,33	105,96	106,93		116,39
120	113,64	127,84	132,98	123,68	110,56	109,09	112,48	123,97	134,46	119,80	108,12	108,78		118,78
180	115,31	129,01	134,43	125,19	111,80	110,28	114,02	125,40	135,62	121,08	109,31	109,91		120,11
240	116,34	129,83	135,26	126,14	112,66	111,04	115,12	126,28	136,35	121,98	110,02	110,69		120,98
300	117,01	130,49	135,84	126,75	113,28	112,01	115,91	126,84	136,86	122,53	110,58	111,13		121,60

Záznam zotavení materiálu M44 (kepr K1/4)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	79,77	101,41	108,53	102,61	93,88	88,97	78,34	99,67	107,99	102,77	92,70	88,60		95,44
2	89,65	107,81	116,08	109,49	99,66	96,02	85,39	104,86	113,05	109,84	96,49	93,18		101,79
3	93,52	111,08	119,71	112,55	102,73	98,79	89,39	107,64	115,68	113,13	98,83	95,45		104,87
4	95,96	113,08	121,81	114,37	104,52	100,75	91,38	109,61	117,36	115,10	100,40	97,23		106,80
5	97,76	114,57	123,49	116,00	105,95	102,06	93,06	111,17	118,62	116,64	101,67	98,42		108,28
6	99,35	115,97	124,71	117,10	106,86	103,28	94,42	112,32	119,58	117,77	102,73	99,45		109,46
7	100,48	116,95	125,64	117,95	107,63	104,12	95,36	113,18	120,42	118,65	103,42	100,30		110,34
8	101,42	117,70	126,37	118,64	108,37	104,97	96,48	114,00	121,04	119,32	103,89	100,87		111,09
9	102,25	118,28	126,94	119,33	108,96	105,57	97,27	114,60	121,66	119,85	104,40	101,52		111,72
10	103,01	118,77	127,49	120,13	109,57	106,46	97,92	115,12	122,27	120,38	104,83	102,13		112,34
15	105,95	121,40	129,84	122,66	111,67	108,42	100,56	117,95	125,08	122,93	106,73	104,06		114,77
20	107,76	123,36	131,50	124,29	113,22	109,64	102,40	119,61	126,69	124,42	108,12	105,63		116,39
25	109,29	124,63	132,90	125,45	114,43	110,60	103,81	120,79	127,89	125,66	109,16	106,64		117,60
30	110,43	125,76	133,87	126,44	115,29	111,45	104,95	121,94	128,90	126,69	110,00	107,47		118,60
35	111,47	126,90	134,65	127,34	116,03	112,11	105,87	122,88	129,77	127,49	110,80	108,19		119,46
40	112,29	127,73	135,26	128,07	116,60	112,65	106,66	123,63	130,45	128,16	111,40	108,64		120,13
45	113,01	128,29	135,85	128,57	117,01	113,14	107,36	124,34	131,01	128,67	111,83	109,09		120,68
50	113,70	128,73	136,28	129,06	117,43	113,55	107,87	124,95	131,57	129,09	112,27	109,54		121,17
55	114,24	129,17	136,65	129,51	117,80	114,00	108,39	125,30	132,01	129,55	112,68	109,97		121,60
60	114,68	129,94	137,07	129,86	118,08	114,32	108,80	125,71	132,44	129,88	113,03	110,35		122,01
120	117,57	132,72	139,63	132,41	120,35	116,86	112,39	128,63	135,30	132,65	115,19	112,39		124,67
180	119,02	134,38	141,25	134,00	121,86	118,25	113,97	130,02	136,75	134,02	116,48	113,65		126,14
240	120,25	135,28	142,39	135,17	122,83	119,47	115,12	131,06	137,67	134,89	117,43	114,69		127,19
300	121,29	136,08	143,29	136,08	123,42	120,27	115,99	131,78	138,35	135,70	118,13	115,53		127,99

Záznam zotavení materiálu M45(plátno)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	79,17	93,14	96,82	74,82	79,74	81,55	75,00	89,04	95,20	78,53	75,97	83,64		83,55
2	88,03	101,56	103,79	84,24	86,71	89,90	86,03	98,58	103,81	85,10	85,36	90,58		91,97
3	91,35	104,85	106,58	87,87	89,61	93,11	89,71	101,95	107,53	88,60	88,55	93,73		95,29
4	93,25	107,23	108,45	89,65	91,43	95,37	91,71	104,47	109,33	90,56	90,63	95,81		97,32
5	95,21	108,80	109,99	91,71	92,84	96,62	93,30	106,00	110,71	92,05	92,26	97,32		98,90
6	96,47	109,93	111,04	92,71	94,02	98,00	94,73	107,12	111,94	93,25	93,27	98,33		100,07
7	97,79	111,15	111,86	93,97	95,07	99,10	95,95	108,22	112,77	94,39	94,26	99,36		101,16
8	98,55	111,99	112,68	94,82	95,86	99,79	96,88	109,05	113,75	95,52	95,24	100,23		102,03
9	99,43	112,88	113,17	95,52	96,53	100,67	97,68	109,58	114,44	96,52	95,87	100,90		102,77
10	100,14	113,78	114,36	96,00	97,41	101,83	98,23	110,55	115,27	97,23	96,62	102,07		103,62
15	103,02	115,86	116,16	98,17	99,26	103,83	100,78	112,40	117,22	99,27	98,75	103,96		105,72
20	104,70	117,74	117,37	100,16	100,95	105,60	102,27	114,31	118,55	101,05	100,50	105,17		107,36
25	105,96	119,04	118,45	101,57	102,16	107,12	104,22	115,68	119,82	102,24	101,66	106,08		108,67
30	107,15	120,29	119,35	102,19	103,34	107,76	105,33	116,79	120,78	103,33	102,82	106,89		109,67
35	108,26	121,13	120,06	103,28	104,14	108,29	106,01	117,83	121,49	103,90	103,67	107,59		110,47
40	109,07	121,75	120,39	103,67	104,75	109,42	107,07	118,64	122,05	104,54	104,09	108,26		111,14
45	109,55	122,36	120,86	104,85	105,64	110,09	107,91	119,37	122,55	105,15	105,22	108,70		111,85
50	110,07	122,87	121,69	105,12	106,02	110,85	108,30	119,71	123,05	105,91	105,61	109,12		112,36
55	110,58	123,58	121,76	105,76	106,59	111,12	108,74	120,34	123,27	106,10	105,77	109,74		112,78
60	111,10	124,41	122,39	106,40	107,22	111,59	109,39	120,97	123,77	106,70	106,68	109,99		113,38
120	114,43	127,33	124,44	109,13	109,82	114,19	112,21	123,57	125,88	109,04	108,59	112,50		115,93
180	116,22	128,49	125,80	110,02	111,33	115,90	114,42	125,00	127,27	110,91	110,30	113,80		117,45
240	117,55	129,19	126,46	111,01	112,23	116,37	115,60	126,32	128,10	112,01	111,20	114,36		118,37
300	118,31	130,31	127,02	111,78	112,67	117,36	116,53	127,35	129,00	112,61	111,87	114,95		119,15

Záznam zotavení materiálu M46 (atlas)

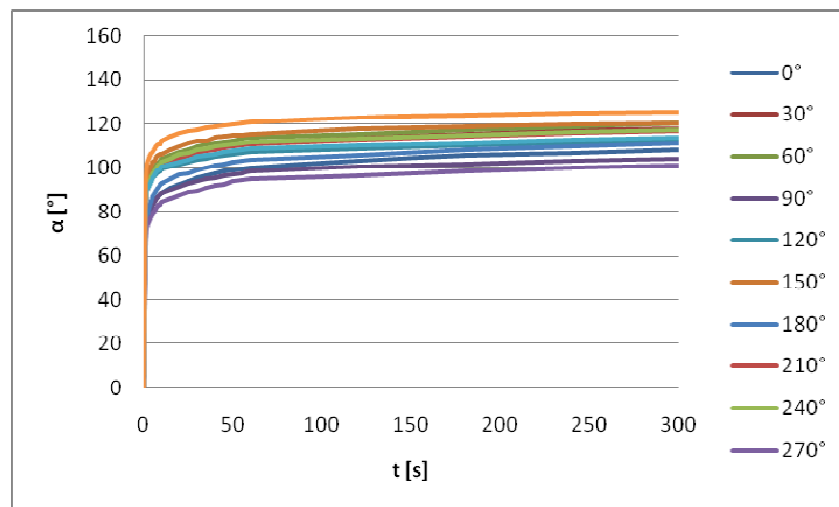
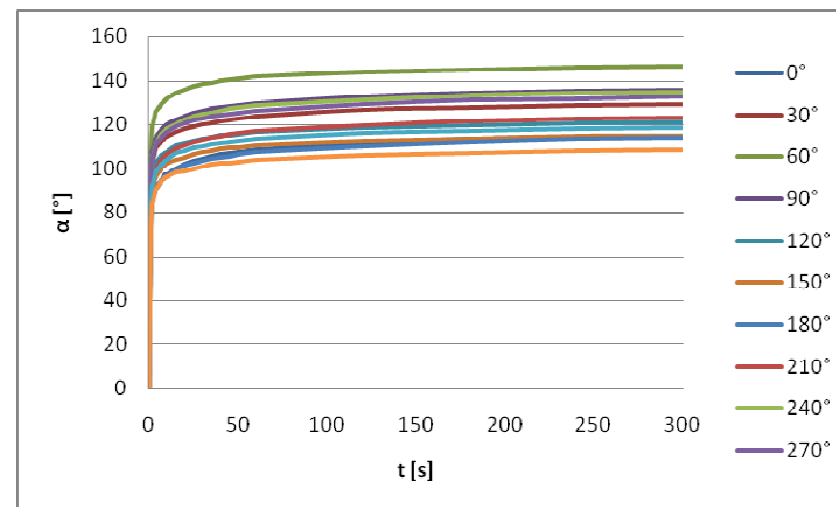
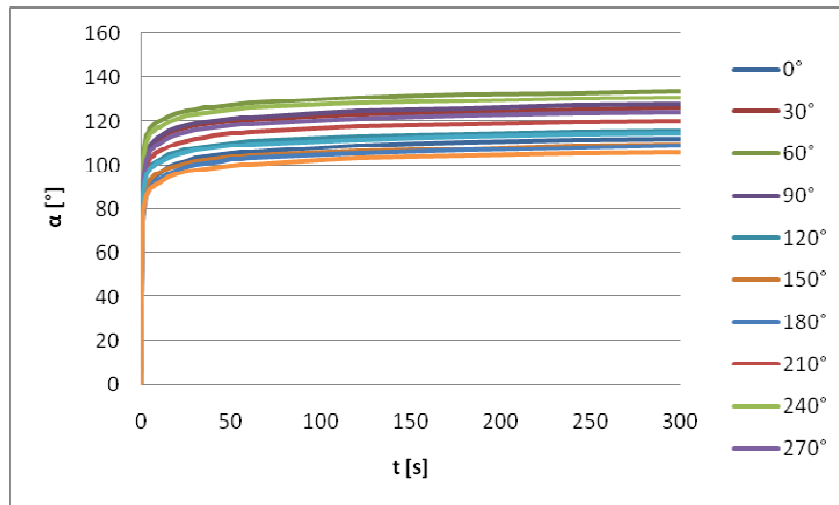
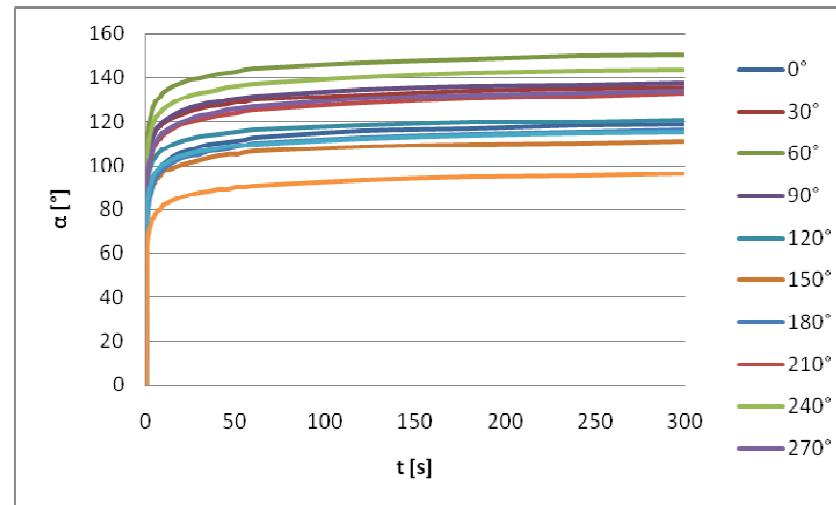
t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	průměr
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	83,70	94,42	105,47	90,93	83,85	83,70	74,79	89,46	90,66	82,06	75,59	74,79	85,78
2	94,23	104,80	114,07	99,34	92,11	94,23	84,33	99,27	100,10	89,88	81,79	84,33	94,87
3	98,12	108,60	118,08	103,01	95,29	98,12	88,21	103,40	103,53	93,25	86,20	88,21	98,67
4	100,06	111,00	120,48	105,38	97,41	100,06	90,57	105,80	105,84	95,31	88,10	90,57	100,88
5	101,65	112,44	122,22	107,28	98,85	101,65	92,33	107,87	107,35	97,00	89,74	92,33	102,56
6	102,81	113,62	123,58	108,21	99,92	102,81	93,94	109,27	108,79	98,31	90,60	93,94	103,82
7	103,93	114,53	124,73	109,34	100,97	103,93	94,99	110,34	109,90	99,31	91,46	94,99	104,87
8	104,57	115,48	125,40	110,23	101,80	104,57	95,78	111,43	111,00	100,32	92,64	95,78	105,75
9	105,59	116,29	126,02	111,24	102,50	105,59	96,74	112,14	111,78	101,17	93,24	96,74	106,58
10	106,49	117,12	126,80	111,93	103,07	106,49	97,56	113,02	112,35	101,92	93,77	97,56	107,34
15	108,01	121,03	129,37	114,67	105,11	108,01	99,99	115,67	115,39	104,41	95,48	99,99	109,76
20	109,49	122,98	131,04	116,60	106,55	109,49	102,12	117,91	116,95	106,42	97,12	102,12	111,57
25	110,47	123,91	132,54	117,73	107,58	110,47	103,48	121,28	118,38	107,59	98,51	103,48	112,95
30	111,27	125,13	133,54	118,64	108,38	111,27	104,44	122,16	119,48	108,74	99,53	104,44	113,92
35	111,60	126,05	134,59	119,74	108,99	111,60	105,15	123,41	120,18	109,79	100,21	105,15	114,70
40	112,48	127,30	135,24	120,39	109,55	112,48	105,99	123,90	120,99	110,16	100,97	105,99	115,45
45	113,05	128,03	136,08	120,82	110,00	113,05	106,77	124,40	121,28	110,98	101,40	106,77	116,05
50	113,48	128,19	136,45	121,43	110,51	113,48	107,28	125,23	121,91	111,38	101,83	107,28	116,54
55	113,79	128,85	137,13	121,79	111,12	113,79	107,84	125,67	122,35	111,78	102,29	107,84	117,02
60	113,76	129,26	137,59	122,19	111,54	113,76	108,47	126,09	122,87	112,61	102,57	108,47	117,43
120	116,51	132,18	140,00	125,44	113,41	116,51	111,13	129,56	125,80	115,52	104,77	111,13	120,16
180	117,96	134,05	142,25	127,05	114,74	117,96	112,53	130,86	127,45	117,33	106,20	112,53	121,74
240	118,26	134,71	143,42	128,09	115,60	118,26	113,68	131,93	128,22	118,43	107,05	113,68	122,61
300	118,78	135,51	144,17	128,76	116,04	118,78	114,22	132,465	128,88	119,04	107,33	114,22	123,18

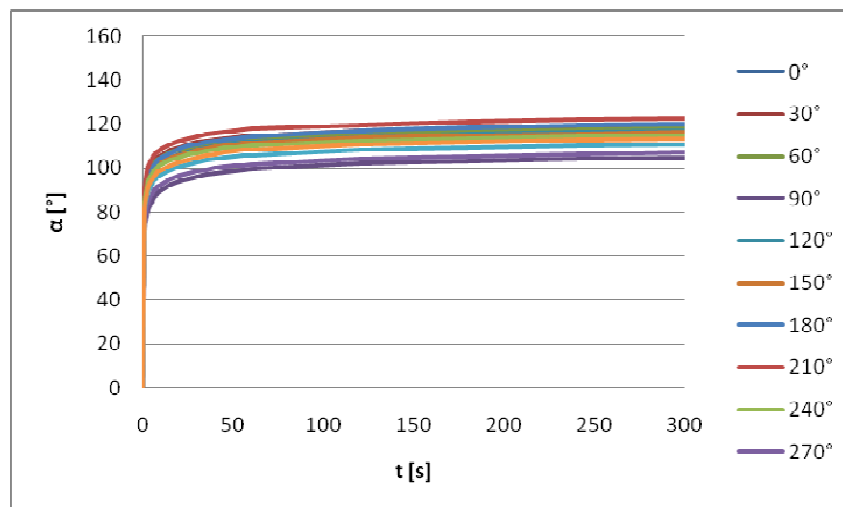
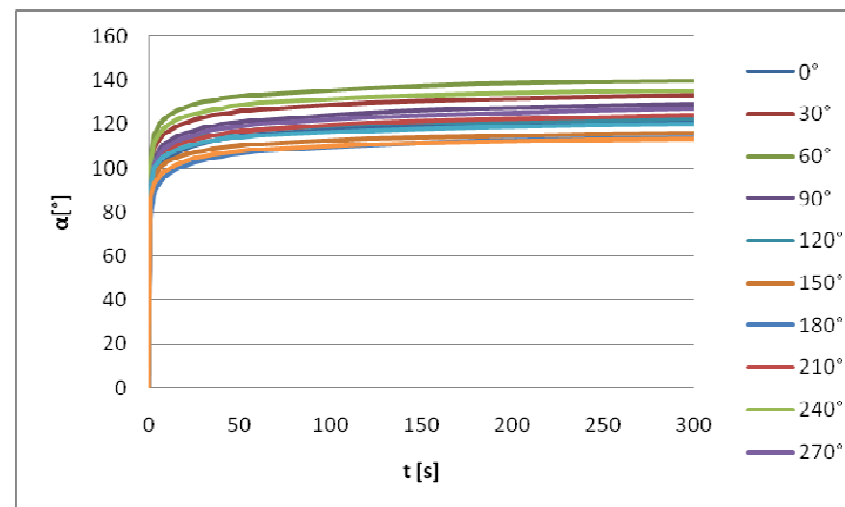
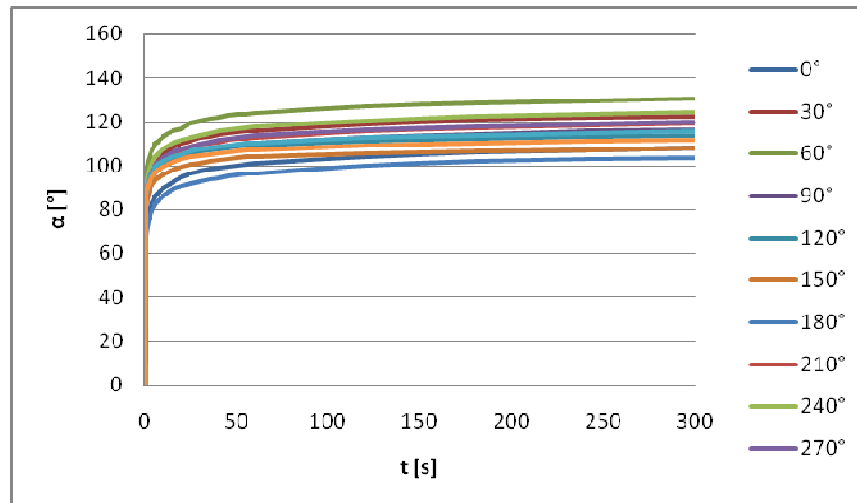
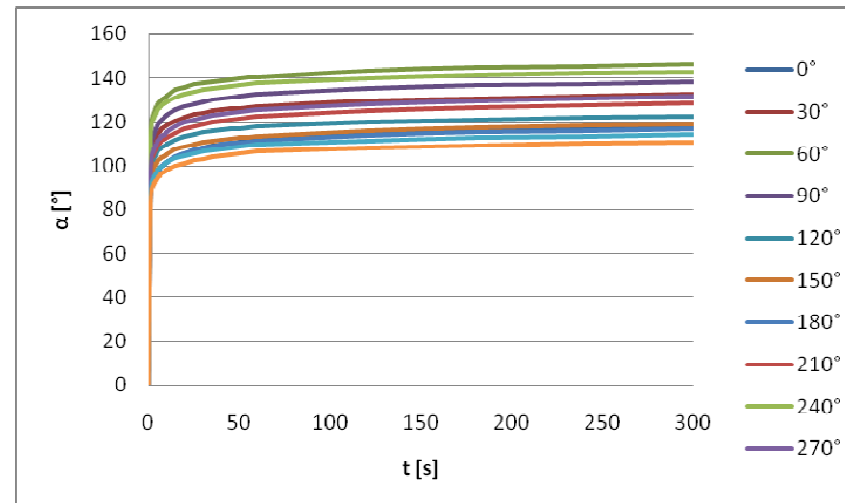
Záznam zotavení materiálu M47 (kepr K1/2)

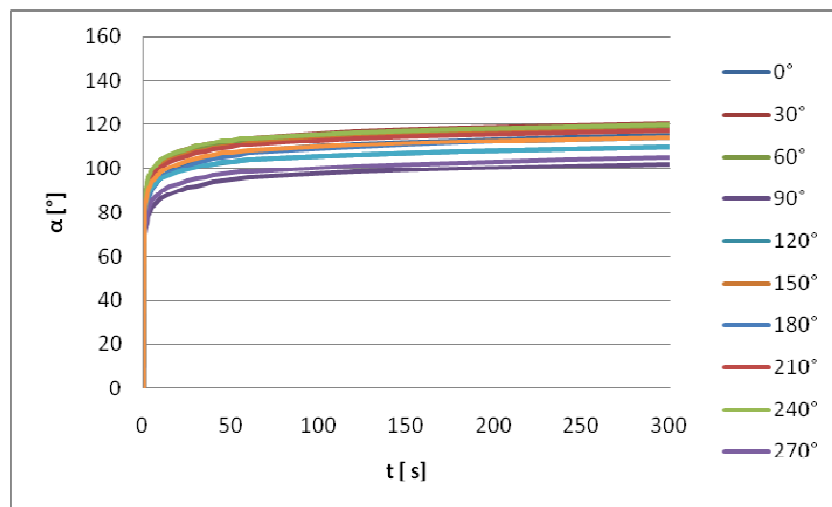
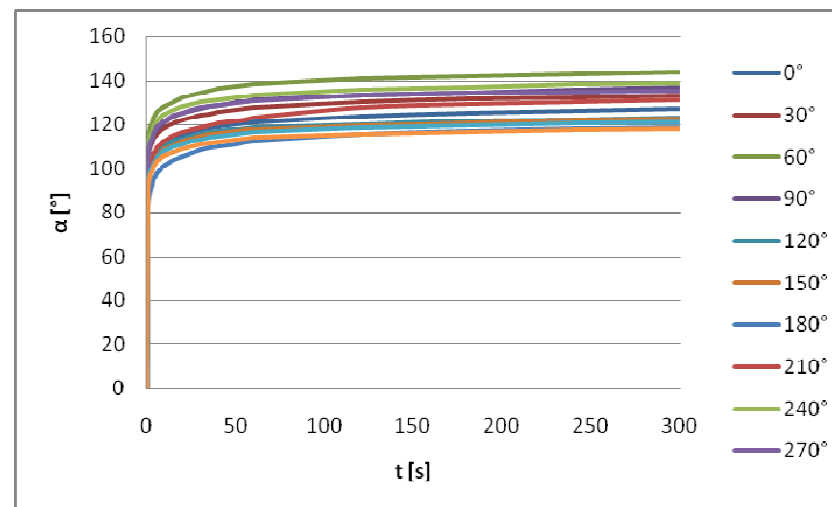
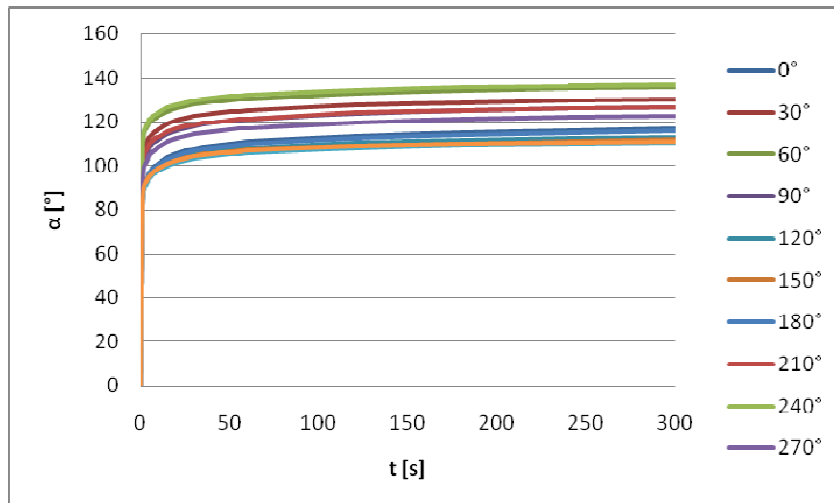
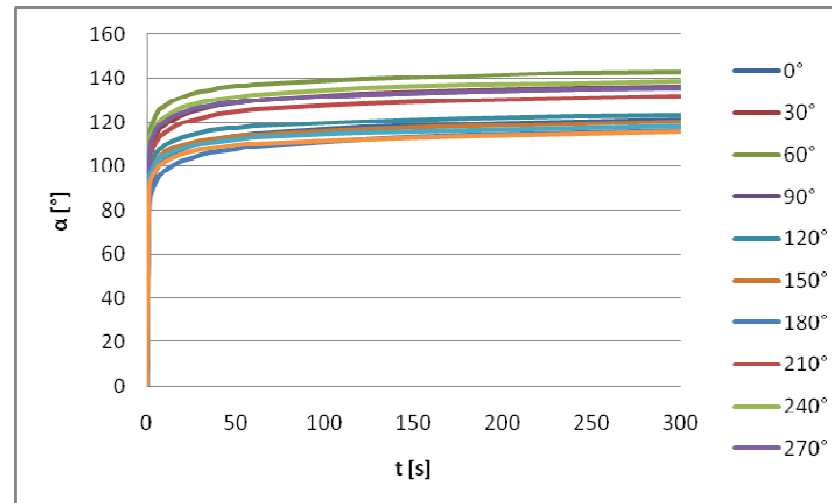
t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	87,17	96,15	109,85	91,88	84,75	84,02	86,29	91,30	103,33	91,77	83,91	85,04	91,29
2	95,43	103,15	116,56	100,13	90,00	90,56	92,61	98,66	110,98	98,43	89,26	90,60	98,03
3	98,80	105,69	119,09	102,95	92,54	93,12	96,18	101,46	113,95	101,18	91,43	93,33	100,81
4	101,15	107,41	120,65	104,98	94,33	94,88	98,39	103,17	115,65	103,01	93,10	94,90	102,63
5	102,85	108,79	121,87	106,33	95,43	96,35	100,04	104,43	116,81	104,56	94,26	96,13	103,99
6	104,06	109,98	122,83	107,47	96,38	97,18	101,10	105,41	117,71	105,43	95,20	97,03	104,98
7	104,96	110,86	123,85	108,51	97,13	97,86	102,07	106,22	118,53	106,15	95,86	97,83	105,82
8	105,73	111,58	124,54	109,29	97,86	98,55	102,81	106,89	119,14	106,80	96,48	98,38	106,50
9	106,42	112,30	125,16	109,94	98,52	99,10	103,43	107,47	119,67	107,36	96,99	98,89	107,10
10	106,99	112,85	125,60	110,49	99,01	99,53	104,04	107,96	120,15	107,87	97,42	99,33	107,60
15	109,47	114,88	127,65	112,80	100,53	101,68	106,87	110,43	122,73	109,89	99,18	101,56	109,80
20	111,07	116,23	129,16	114,32	101,90	103,29	108,62	112,16	124,31	111,15	100,35	102,89	111,29
25	112,33	117,34	130,29	115,64	102,86	104,07	109,73	113,34	125,62	112,22	101,33	103,79	112,38
30	113,33	118,20	131,07	116,50	103,58	104,86	110,79	114,29	126,51	113,10	102,08	104,52	113,24
35	114,16	118,97	131,67	117,29	104,27	105,58	111,60	115,01	127,23	113,84	102,73	105,12	113,96
40	114,76	119,65	132,18	117,83	104,78	106,05	112,39	115,65	127,72	114,52	103,18	105,67	114,53
45	115,38	120,23	132,56	118,34	105,17	106,59	112,94	116,18	128,15	115,03	103,61	106,11	115,02
50	115,83	120,73	132,95	118,79	105,54	107,03	113,51	116,67	128,52	115,45	104,02	106,56	115,47
55	116,31	121,07	133,30	119,18	105,86	107,45	114,01	117,00	128,86	115,84	104,36	106,91	115,85
60	116,68	121,48	133,62	119,51	106,17	107,85	114,38	117,33	129,12	116,17	104,68	107,18	116,18
120	119,28	124,32	136,02	121,80	108,06	109,60	117,09	120,48	132,42	118,84	106,43	109,32	118,64
180	120,68	125,68	137,25	123,18	109,23	110,76	118,59	122,35	133,84	119,99	107,55	110,51	119,97
240	121,74	126,94	138,07	124,07	109,97	111,55	119,77	123,37	134,83	120,87	108,39	111,30	120,91
300	122,34	127,61	138,56	124,73	110,48	112,08	120,60	124,13	135,46	121,54	108,98	111,84	121,53

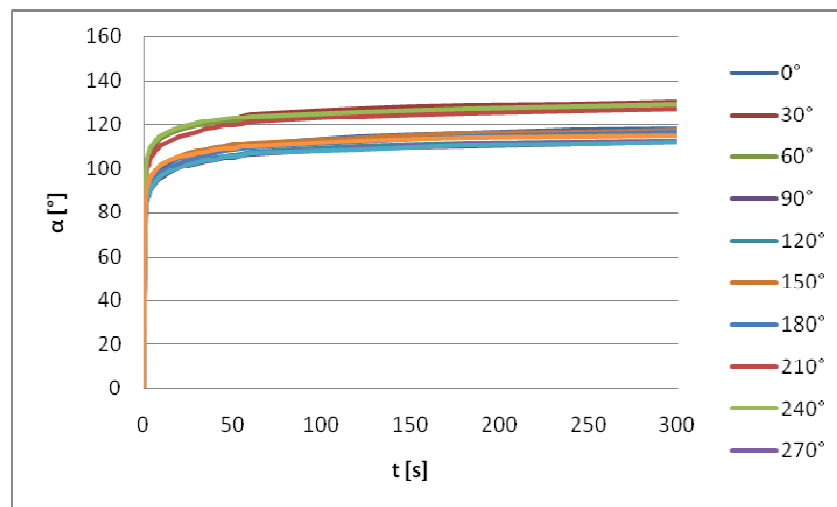
Záznam zotavení materiálu M48 (kepr K1/4)

t [s]	průměrný úhel zotavení α_{300} [°]												průměr	
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	79,24	91,36	111,26	101,40	88,01	84,10	76,27	89,69	92,45	100,13	81,82	76,86	89,38	
2	89,59	100,05	119,26	108,90	96,22	93,75	76,27	93,56	102,69	105,47	86,13	83,61	96,29	
3	93,24	104,03	122,56	112,60	99,44	97,47	87,42	97,67	106,27	111,69	89,90	90,02	101,03	
4	95,56	106,01	124,71	114,71	101,45	99,92	91,18	100,04	108,31	114,30	91,70	93,16	103,42	
5	97,20	107,49	126,63	116,36	102,93	101,95	94,15	101,68	109,57	116,52	92,97	94,99	105,20	
6	98,78	109,16	127,84	117,34	104,21	102,96	95,86	102,68	111,17	118,01	94,05	96,32	106,53	
7	99,74	110,33	128,62	118,64	104,80	104,24	97,59	103,46	112,46	119,44	94,94	97,61	107,65	
8	100,59	111,05	129,31	119,51	105,66	105,49	98,64	104,70	113,52	120,06	95,86	98,41	108,57	
9	101,66	111,69	130,01	120,62	106,37	106,04	100,63	105,29	114,55	121,17	96,77	99,42	109,52	
10	102,50	112,62	130,97	121,28	106,85	106,77	101,35	106,12	115,31	121,96	97,26	100,61	110,30	
15	105,26	114,58	132,74	123,30	108,66	108,67	103,34	108,38	117,54	124,04	98,94	102,17	112,30	
20	107,19	116,42	134,46	124,93	109,74	110,34	105,78	110,47	119,37	125,78	100,01	103,79	114,02	
25	108,78	117,72	136,04	126,15	111,37	111,16	107,08	111,70	120,64	127,26	101,22	105,17	115,36	
30	110,03	119,20	137,20	127,15	112,55	112,56	108,25	112,41	121,62	129,07	102,26	106,19	116,54	
35	110,98	119,87	137,96	128,04	112,92	113,73	109,35	113,47	122,85	130,24	103,02	107,09	117,46	
40	111,92	120,69	138,64	129,23	113,73	114,27	110,08	114,69	123,58	131,10	103,82	107,75	118,29	
45	112,81	121,52	139,19	129,64	114,20	114,85	110,78	115,50	124,46	131,57	104,21	108,37	118,92	
50	113,28	122,41	139,97	130,34	114,80	114,77	111,35	116,21	125,34	132,26	104,88	108,79	119,53	
55	114,19	123,06	140,54	130,59	115,49	115,52	111,94	116,45	126,01	132,76	105,34	109,32	120,10	
60	114,73	123,83	140,92	130,87	115,73	116,24	112,50	116,65	126,37	133,39	105,95	109,88	120,59	
120	117,91	126,51	143,42	133,78	117,98	117,90	114,77	119,79	129,66	135,80	107,85	112,07	123,12	
180	119,90	128,10	145,49	135,28	119,28	119,34	116,61	121,58	131,60	136,84	109,25	113,59	124,74	
240	120,80	129,22	146,20	136,32	120,41	119,94	117,73	122,43	133,04	138,00	110,11	114,09	125,69	
300	122,01	130,08	147,27	137,41	121,23	121,01	118,53	123,24	134,77	138,59	110,72	114,62	126,62	

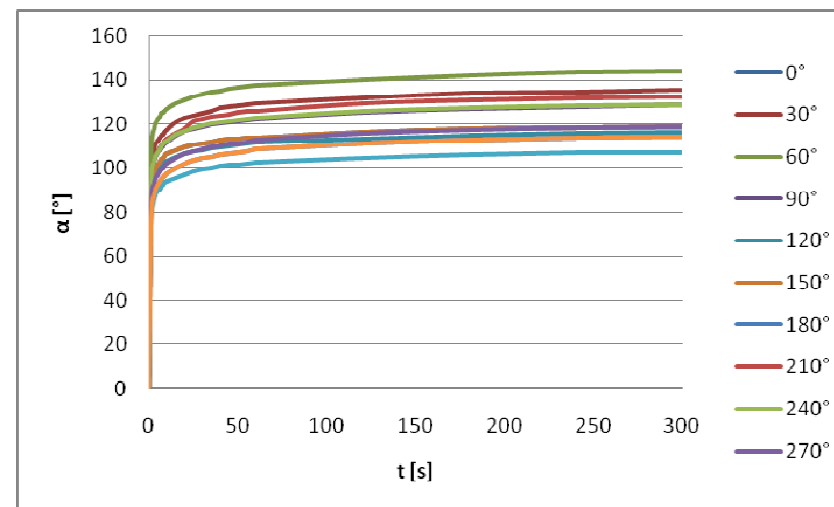
**Obr. 1. Křivka zotavení materiálu M33 - plátno****Obr. 2. Křivka zotavení materiálu M34 - atlas****Obr. 3. Křivka zotavení materiálu M35- kepr K1/2****Obr. 4. Křivka zotavení materiálu M36 - kepr K1/4**

**Obr. 5. Křivka zotavení materiálu M37 - plátno****Obr. 6. Křivka zotavení materiálu M38 - atlas****Obr. 7. Křivka zotavení materiálu M39- kepr K1/2****Obr. 8. Křivka zotavení materiálu M40 – kepr K1/4**

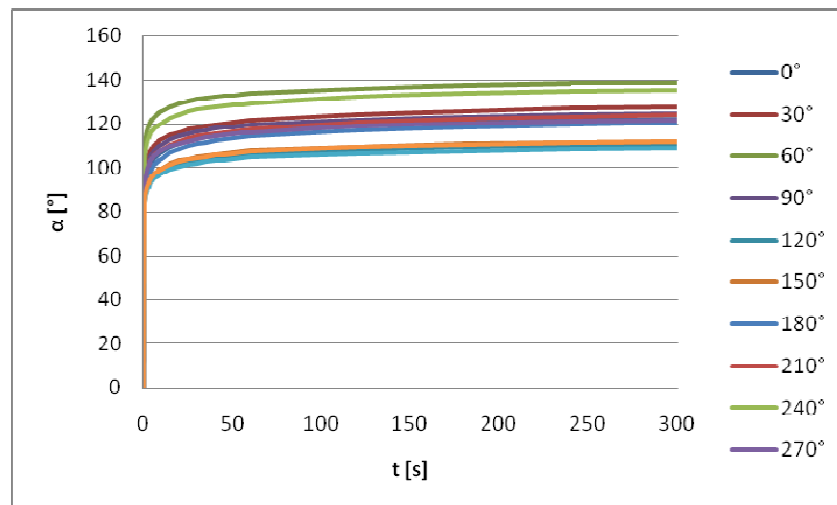
**Obr. 9. Křivka zotavení materiálu M41 - plát****Obr. 10. Křivka zotavení materiálu M42 - atlas****Obr. 11. Křivka zotavení materiálu M43- kepr K1/2****Obr. 12. Křivka zotavení materiálu M44 – kepr K1/4**



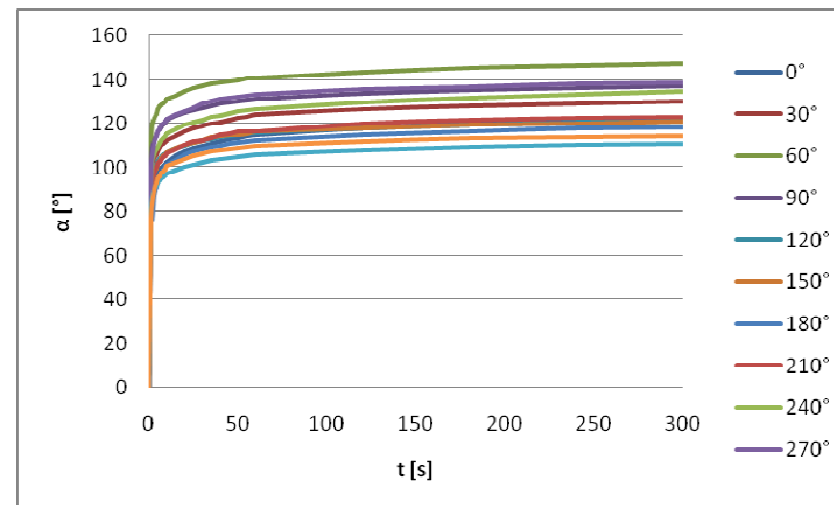
Obr. 13. Křivka zotavení materiálu M45 - plátno



Obr. 14. Křivka zotavení materiálu M46- atlas



Obr. 15. Křivka zotavení materiálu M47- kepr K1/2



Obr. 16. Křivka zotavení materiálu M48 – kepr K1/4

Příloha 3: Procentuální zotavení textilií

3A) Hodinová relaxace vzorku

Tab. 1. Hodinová relaxace vybraných textilií

M45 plátno	$\alpha_{0\text{ EXP}} [^\circ]$	$\alpha_{0\text{ VYP}} [^\circ]$	$\alpha_{1\text{min}} [^\circ]$	$\alpha_{5\text{min}} [^\circ]$	$\alpha_{60\text{min}} [^\circ]$	$\Delta \alpha_{0\text{vyp}} - \alpha_{0\text{exp}}$ [$^\circ$]	$\alpha_{0\text{exp}}$ [%]	$\Delta \alpha_{60\text{min}} - \alpha_{5\text{min}}$ [$^\circ$]	$\alpha_{5\text{min}}$ [%]
0°	71,75	99,01	106,68	116,48	124,30	27,26	15,1	7,82	4,3
30°	88,23	116,46	119,43	127,28	131,90	28,23	15,7	4,62	2,6
60°	89,88	111,23	114,99	121,99	126,58	21,35	11,9	4,59	2,6
90°	69,29	89,03	94,21	100,88	106,05	19,74	11,0	5,18	2,9
120°	54,38	73,72	81,35	88,82	95,69	19,34	10,7	6,87	3,8
150°	72,24	96,24	102,12	109,42	115,19	24,01	13,3	5,77	3,2
180°	71,75	99,01	106,68	116,48	124,30	27,26	15,1	7,82	4,3
210°	88,23	116,46	119,43	127,28	131,90	28,23	15,7	4,62	2,6
240°	89,88	111,23	114,99	121,99	126,58	21,35	11,9	4,59	2,6
270°	69,29	89,03	94,21	100,88	106,05	19,74	11,0	5,18	2,9
300°	54,38	73,72	81,35	88,82	95,69	19,34	10,7	6,87	3,8
330°	72,24	96,24	102,12	109,42	115,19	24,01	13,3	5,77	3,2

M48 K1/4	$\alpha_{0\text{ EXP}} [^\circ]$	$\alpha_{0\text{ VYP}} [^\circ]$	$\alpha_{1\text{min}} [^\circ]$	$\alpha_{5\text{min}} [^\circ]$	$\alpha_{60\text{min}} [^\circ]$	$\Delta \alpha_{0\text{vyp}} - \alpha_{0\text{exp}}$ [$^\circ$]	$\alpha_{0\text{exp}}$ [%]	$\Delta \alpha_{60\text{min}} - \alpha_{5\text{min}}$ [$^\circ$]	$\alpha_{5\text{min}}$ [%]
0°	77,02	105,70	110,17	119,18	125,05	28,68	15,9	5,86	3,3
30°	87,16	113,85	121,88	128,81	135,34	26,69	14,8	6,53	3,6
60°	108,45	136,33	138,46	146,15	150,28	27,88	15,5	4,12	2,3
90°	93,13	120,63	129,40	135,59	142,09	27,50	15,3	6,50	3,6
120°	74,01	100,36	104,95	110,68	115,10	26,35	14,6	4,42	2,5
150°	84,03	106,89	110,14	117,01	121,32	22,87	12,7	4,31	2,4
180°	77,02	105,6976	110,165	119,18	125,045	28,68	15,9	5,86	3,3
210°	87,16	113,8522	121,875	128,81	135,34	26,69	14,8	6,53	3,6
240°	108,45	136,3317	138,455	146,15	150,275	27,88	15,5	4,12	2,3
270°	93,125	120,6294	129,395	135,59	142,09	27,50	15,3	6,50	3,6
300°	74,01	100,3635	104,945	110,68	115,1	26,35	14,6	4,42	2,5
330°	84,025	106,8934	110,135	117,01	121,32	22,87	12,7	4,31	2,4

3B) Analýza zotavení rezných bavlněných textilií**Tab. 2. Procentuální zotavení materiálů [%]**

Vazba t [s]	P M33	A M34	K1/2 M35	K1/4 M36	P M37	A M38	K1/2 M39	K1/4 M40
1	44,9	48,5	49,3	48,4	45,8	51,1	46,3	52,9
2	48,2	54,0	53,0	53,8	49,9	54,7	50,0	56,7
3	50,0	56,0	54,6	55,9	51,7	56,4	51,7	58,4
4	51,2	57,3	55,6	57,2	52,8	57,5	52,8	59,4
5	52,0	58,2	56,4	58,2	53,6	58,3	53,6	60,2
6	52,8	58,8	57,0	58,9	54,4	58,9	54,3	60,8
7	53,3	59,4	57,5	59,5	54,9	59,4	54,7	61,3
8	53,9	59,9	57,8	60,0	55,4	59,9	55,2	61,7
9	54,3	60,3	58,1	60,5	55,8	60,2	55,5	62,1
10	54,7	60,7	58,4	60,9	56,1	60,5	55,9	62,4
15	55,7	62,0	59,7	62,3	57,3	61,9	57,2	63,7
20	56,5	62,8	60,5	63,3	58,2	62,8	58,1	64,5
25	57,2	63,6	61,2	64,0	58,8	63,5	58,8	65,1
30	57,8	64,1	61,7	64,5	59,4	64,0	59,4	65,7
35	58,3	64,5	62,0	65,0	59,8	64,5	59,8	66,1
40	58,7	64,9	62,3	65,4	60,2	64,9	60,2	66,4
50	59,5	65,5	62,8	66,1	60,8	65,5	60,8	66,9
60	60,1	66,0	63,2	66,7	61,3	66,0	61,2	67,4
120	61,2	67,5	64,6	68,2	62,5	67,5	62,7	68,7
180	62,1	68,3	65,3	69,0	63,2	68,3	63,5	69,5
240	62,8	68,8	65,8	69,6	63,7	68,9	64,1	70,0
300	63,4	69,1	66,2	70,1	64,1	69,3	64,5	70,4

Tab. 3. Procentuální zotavení materiálů [%]

Vazba t [s]	P M41	A M42	K1/2 M43	K1/4 M44	P M45	A M46	K1/2 M47	K1/4 M48
1	44,1	54,6	51,5	53,0	46,4	47,7	50,7	49,7
2	48,0	57,8	54,7	56,6	51,1	52,7	54,5	53,5
3	49,7	59,4	56,2	58,3	52,9	54,8	56,0	56,1
4	50,9	60,5	57,3	59,3	54,1	56,0	57,0	57,5
5	51,7	61,3	58,0	60,2	54,9	57,0	57,8	58,4
6	52,4	61,9	58,5	60,8	55,6	57,7	58,3	59,2
7	53,0	62,4	59,0	61,3	56,2	58,3	58,8	59,8
8	53,4	62,8	59,4	61,7	56,7	58,7	59,2	60,3
9	53,8	63,3	59,7	62,1	57,1	59,2	59,5	60,8
10	54,2	63,6	59,9	62,4	57,6	59,6	59,8	61,3
15	55,4	64,8	61,2	63,8	58,7	61,0	61,0	62,4
20	56,3	65,6	62,1	64,7	59,6	62,0	61,8	63,3
25	57,0	66,3	62,7	65,3	60,4	62,8	62,4	64,1
30	57,6	66,8	63,2	65,9	60,9	63,3	62,9	64,7
35	58,0	67,3	63,5	66,4	61,4	63,7	63,3	65,3
40	58,5	67,6	63,8	66,7	61,7	64,1	63,6	65,7
50	59,1	68,2	64,3	67,3	62,4	64,7	64,1	66,4
60	59,7	68,7	64,7	67,8	63,0	65,2	64,5	67,0
120	61,1	70,1	66,0	69,3	64,4	66,8	65,9	68,4
180	62,0	70,8	66,7	70,1	65,3	67,6	66,6	69,3
240	62,6	71,4	67,2	70,7	65,8	68,1	67,2	69,8
300	63,1	71,8	67,6	71,1	66,2	68,4	67,5	70,3

Příloha 4: Výsledné fotografie experimentu nošení

Experiment nošení – textilie před experimentem



U1



U2



U3



U4



U5



U6

Experiment nošení – zvýraznění zmačkání textilií během 8 hodin nošení

a) U1- režná textilie – pořadí 1



c) U3- barvená, potisk – pořadí 6



e) U5 – bělená textilie – pořadí 4



b) U2 – bělená textilie – pořadí 2



d) U4 – režná textilie – pořadí 3



f) U6 – barvená textilie – pořadí 5

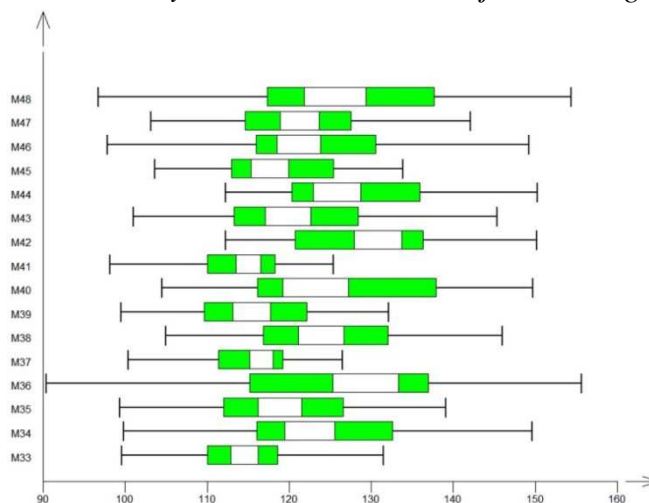
Poznámka: pořadí textilií: 1- nejvíce mačkový, 6 nejméně mačkový

**Příloha 5: Základní statistická analýza jednorozměrných dat
úhlu zotavení**

Tab. 4. Základní analýza jednorozměrných dat – úhel zotavení materiálů M33 – M48

Materiál	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48
Průměr	114,22	124,45	119,17	126,11	115,36	124,77	116,11	126,74	113,91	129,25	121,60	127,99	119,15	123,18	121,53	126,62
Rozptyl	58,19	138,81	94,03	240,60	35,03	91,56	77,30	162,90	44,04	86,56	104,43	102,75	68,90	130,91	99,09	182,90
Směr.odch.	7,63	11,78	9,70	15,51	5,92	9,57	8,79	12,76	6,64	9,30	10,22	10,14	8,30	11,44	9,95	13,52
Šikmost	-0,13	0,23	0,05	-0,20	-0,56	0,14	-0,04	0,11	-0,47	0,06	0,29	0,14	0,25	0,25	0,27	-0,07
Špičatost	2,52	2,28	2,09	2,33	2,70	2,06	2,06	1,64	2,84	1,97	2,38	1,88	1,91	2,69	2,25	2,39
Medián	114,61	122,55	118,92	129,33	116,66	123,94	115,45	123,26	115,04	130,87	119,86	125,89	117,66	121,22	121,29	125,63
Modus	115,36	118,85	118,43	135,60	119,17	122,32	114,15	116,49	117,24	134,01	116,47	121,79	114,77	117,39	120,82	123,69
IS spodní	112,56	118,26	115,16	122,91	114,64	119,92	111,55	115,51	112,27	126,49	115,26	120,17	114,38	118,56	118,29	121,67
IS horní	116,66	126,84	122,68	135,75	118,67	127,96	119,34	131,00	117,81	135,24	124,46	131,60	120,94	123,87	124,29	129,58
Spodní mez	112,33	121,68	116,89	122,46	113,97	122,52	114,04	123,74	112,34	127,06	119,20	125,61	117,20	120,49	119,19	123,44
Horní mez	116,11	127,22	121,45	129,75	116,75	127,02	118,18	129,73	115,48	131,43	124,00	130,37	121,10	125,87	123,87	129,80

Poznámka: Odchylka od 0: Nevýznamná, Odchylka od 3: Nevýznamná, Normalita: Přijata, Homogenita: Přijata

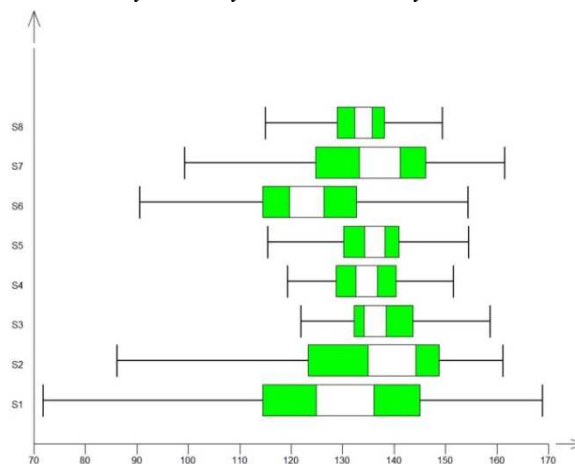


Obr. 17. Krabicový graf – úhel zotavení

Tab. 5. Základní analýza jednorozměrných dat – úhel zotavení materiálů S1-S8

Materiál	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Průměr	129,19	136,02	137,73	135,08	135,74	122,29	136,08	133,81
Rozptyl	452,31	260,93	70,91	56,17	53,78	189,57	181,61	51,26
Směr. odch.	21,27	16,15	8,42	7,49	7,33	13,77	13,48	7,16
Šikmost	-0,33	-0,64	0,47	0,23	-0,18	-0,39	-0,28	-0,23
Špičatost	2,60	2,91	2,84	2,27	2,89	2,48	2,65	3,07
Medián	130,49	139,63	136,36	134,70	136,29	123,04	137,21	134,07
Modus	133,02	146,63	133,70	133,94	137,35	124,49	139,40	134,56
IS spodní	123,53	134,01	133,56	131,79	133,60	119,13	132,60	131,70
IS horní	137,45	145,24	139,16	137,60	138,97	126,95	141,82	136,43
Spodní mez:	124,19	132,23	135,71	133,32	134,02	119,06	132,89	132,08
Horní mez:	134,19	139,82	139,75	136,85	137,46	125,53	139,27	135,54

Poznámka: Odchylka od 0: Nevýznamná, pouze pro materiály S2 – Významná, Odchylka od 3: Nevýznamná, Normalita: Přijata, Homogenita: přijata

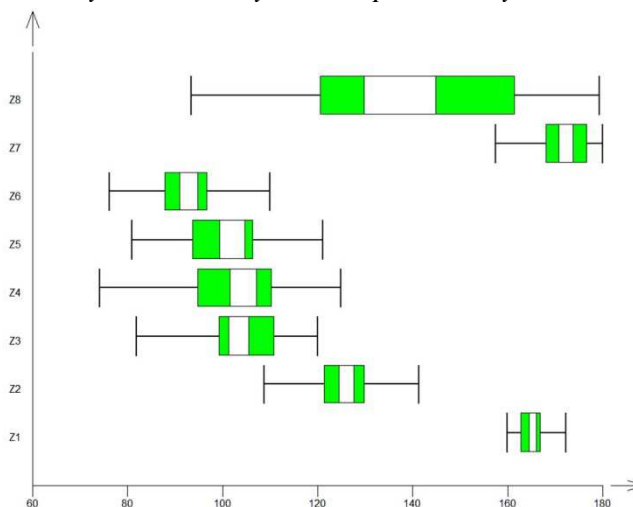


Obr. 18. Krabicový graf – úhel zotavení

Tab. 6. Základní analýza jednorozměrných dat – úhel zotavení materiálů Z1 – Z8

Materiál	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Průměr	165,25	125,54	103,51	102,16	100,18	92,38	171,91	139,92
Rozptyl	9,22	45,02	83,44	119,94	85,29	58,60	31,42	522,66
Směr. odch.	3,04	6,71	9,13	10,95	9,24	7,66	5,61	22,86
Šikmost	0,28	-0,10	-0,42	-0,35	-0,25	-0,06	-0,42	0,02
Špičatost	2,36	2,73	2,77	2,58	2,46	2,76	2,63	1,79
Medián	165,35	126,10	103,39	104,36	102,10	92,89	172,34	137,44
Modus	165,55	127,17	103,15	108,63	105,79	93,86	173,18	132,61
IS spodní	163,95	124,47	100,41	99,58	97,87	89,20	170,48	129,64
IS horní	166,75	127,72	106,37	109,13	106,32	96,58	174,20	145,24
Spodní mez:	164,49	123,97	101,34	99,58	97,66	90,23	170,59	134,55
Horní mez:	166,00	127,12	105,69	104,73	102,70	94,54	173,22	145,29

Poznámky: Odchylka od 0: nevýznamná, Odchylka od 3: nevýznamná, pro Z8 - Významná, Normalita: Přijata, Homogenita: Přijata,



Obr. 19. Krabicový graf – úhel

**Příloha 6: Ohybové a smykové charakteristiky použitých
materiálů změřených systémem KES**

Příloha 6A) – Hodnoty ohybových a smykových charakteristik změřené systémem KES

Tab. 7. Ohybové a smykové charakteristiky – testované textilie

Mat.	Mp [g/m ²]	h [mm]	B [x 10 ⁻⁴ N.m ² /m]		2HB [x 10 ⁻² N.m/m]		G [N/m/deg]		2HG [N/m]		2HG5 [N/m]	
			95%		95%		95%		95%		95%	
			B	IS	2HB	IS	G	IS	2HG	IS	2HG5	IS
M33	181,9	0,4	0,1836	0,0081	0,2189	0,0110	3,28	0,10	7,89	0,11	8,30	0,10
M34	178,8	0,58	0,1053	0,0029	0,0878	0,0060	0,52	0,02	0,95	0,08	1,31	0,06
M35	176,6	0,2	0,1522	0,0076	0,1372	0,0107	1,45	0,13	3,24	0,28	4,63	0,43
M36	175,2	0,58	0,1073	0,0023	0,0941	0,0021	0,65	0,02	1,27	0,05	1,72	0,05
M37	171,7	0,38	0,1522	0,0076	0,1815	0,0129	2,74	0,12	6,20	0,30	7,51	0,38
M38	168,6	0,57	0,0889	0,0023	0,0688	0,0037	0,47	0,02	0,82	0,03	1,09	0,06
M39	169,9	0,21	0,1088	0,0040	0,1144	0,0088	1,16	0,03	2,61	0,11	3,50	0,06
M40	168,5	0,56	0,0939	0,0009	0,0750	0,0012	0,56	0,04	1,03	0,11	1,37	0,11
M41	166,1	0,45	0,1309	0,0039	0,1625	0,0101	2,24	0,05	5,17	0,10	6,52	0,19
M42	160,7	0,63	0,0818	0,0024	0,0669	0,0042	0,40	0,01	0,64	0,05	0,88	0,02
M43	163,3	0,22	0,1032	0,0048	0,1048	0,0062	0,92	0,06	1,92	0,13	2,72	0,17
M44	160	0,64	0,0903	0,0031	0,0798	0,0030	0,50	0,05	0,89	0,05	1,17	0,09
M45	158	0,45	0,1129	0,0043	0,1244	0,0082	1,48	0,10	3,19	0,27	4,41	0,39
M46	152,8	0,6	0,0772	0,0023	0,0633	0,0034	0,34	0,01	0,44	0,03	0,62	0,06
M47	156,3	0,22	0,0942	0,0000	0,0975	0,0083	0,74	0,07	1,49	0,17	2,09	0,26
M48	152,9	0,61	0,0807	0,0034	0,0677	0,0039	0,41	0,02	0,63	0,05	0,82	0,04

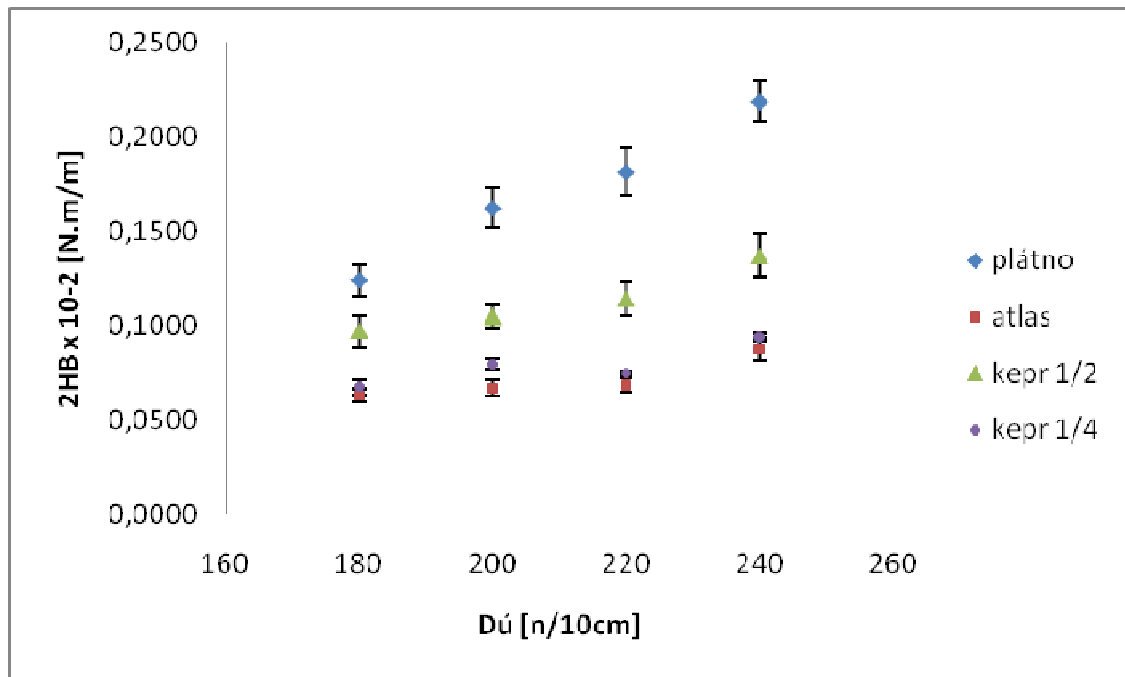
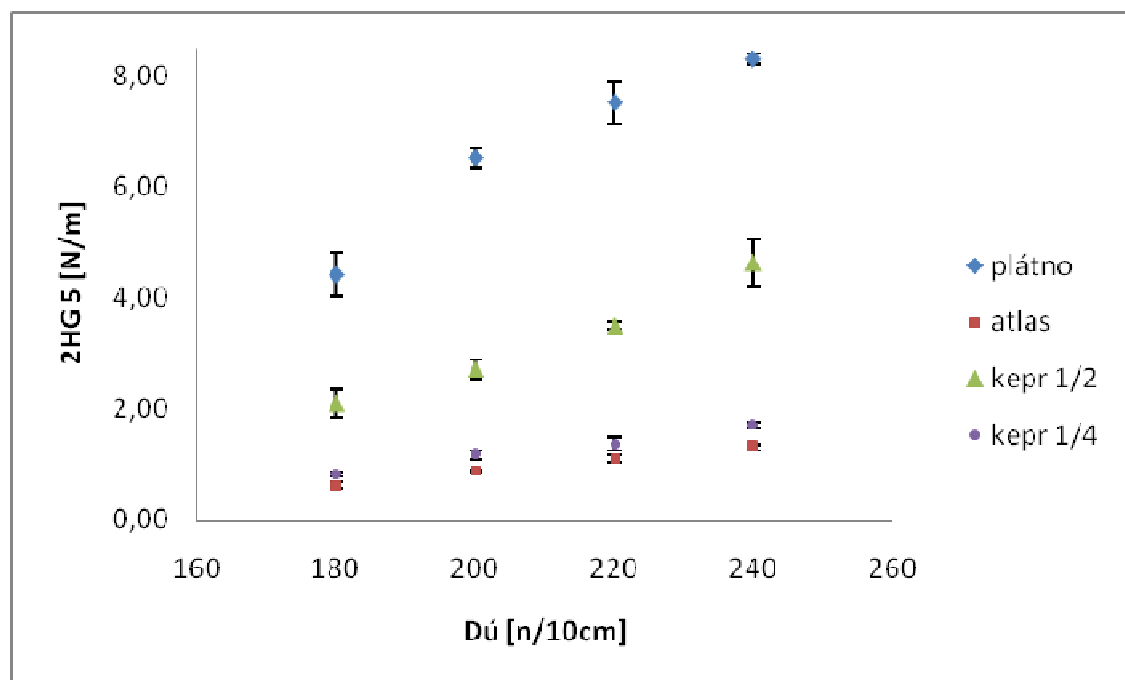
Tab. 8. Ohybové a smykové charakteristiky - ověřovací sada textilií pro regresní i reologický model

Mat.	Mp [g/m ²]	h [mm]	B x 10 ⁻⁴ [N.m ² /m]		2HB x 10 ⁻² [N.m/m]		G [N/m/deg]		[N/m]		[N/m]	
			95%		95%		95%		95%		95%	
			B	IS	2HB	95% IS	G	IS	2HG	IS	2HG5	IS
M25	175	0,41	0,1318	0,0034	0,1589	0,0069	1,95	0,21	4,62	0,43	5,86	0,61
M26	170	0,58	0,0764	0,0025	0,0639	0,0029	0,39	0,01	0,70	0,05	0,88	0,04
M27	169,9	0,45	0,0968	0,0011	0,1072	0,0041	0,92	0,04	2,18	0,19	2,81	0,23
M28	168,7	0,55	0,0862	0,0052	0,0752	0,0073	0,49	0,03	0,94	0,05	1,18	0,05
M29	162	0,4	0,1047	0,0058	0,1219	0,0027	1,29	0,08	3,05	0,19	3,93	0,43
M30	159	0,58	0,0721	0,0014	0,0584	0,0020	0,35	0,03	0,53	0,04	0,67	0,06
M31	160,9	0,48	0,0874	0,0032	0,0932	0,0031	0,66	0,04	1,43	0,10	1,85	0,81
M32	156,6	0,56	0,0760	0,0034	0,0647	0,0027	0,39	0,02	0,65	0,05	0,81	0,08

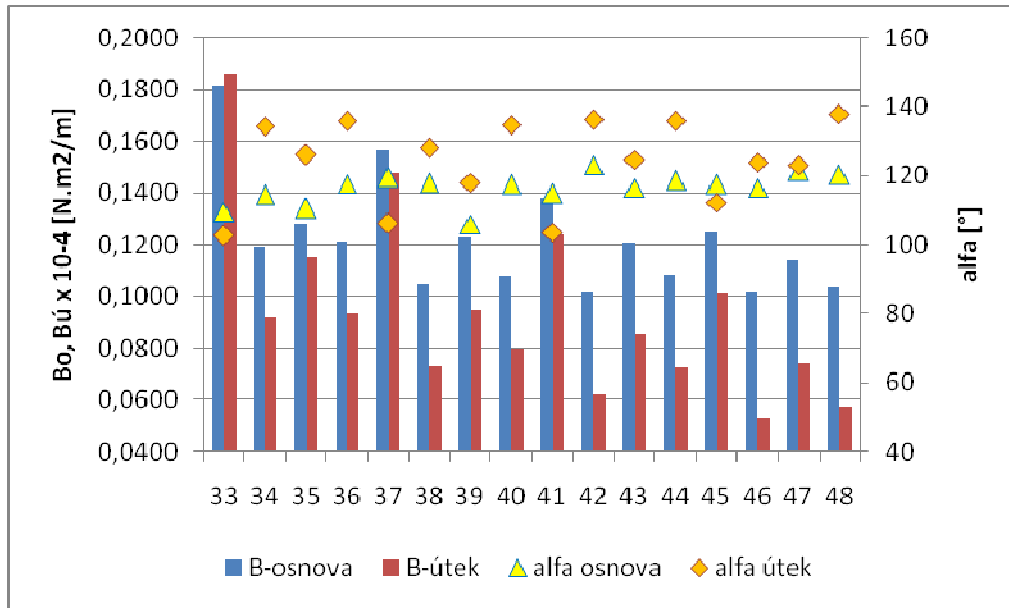
Tab. 9. Ohybové a smykové charakteristiky - pro rezné, bělené a barvené textilie, složení LL, RR

Osnova						
Mat.	B^{-PLUS} [x10 ⁻⁴ N.m ² /m]	B^{-MINUS} [x10 ⁻⁴ N.m ² /m]	B^{-MEAN} [x10 ⁻⁴ N.m ² /m]	2HB^{-PLUS} [x10 ⁻² N.m/m]	2HB^{-MINUS} [x10 ⁻² N.m/m]	2HB^{-MEAN} [x10 ⁻² N.m/m]
U1	0,0346	0,0349	0,0347	0,0307	0,0337	0,0322
U2	0,0523	0,0585	0,0554	0,0503	0,0550	0,0527
U3	0,0993	0,1192	0,1093	0,1847	0,1597	0,1722
U4	0,0829	0,1169	0,0999	0,1768	0,1791	0,1780
U5	0,0623	0,0727	0,0675	0,0968	0,1015	0,0991
U6	0,0675	0,0772	0,0723	0,0699	0,0717	0,0708
Útek						
Mat.	B^{-PLUS} [x10 ⁻⁴ N.m ² /m]	B^{-MINUS} [x10 ⁻⁴ N.m ² /m]	B^{-MEAN} [x10 ⁻⁴ N.m ² /m]	2HB^{-PLUS} [x10 ⁻² N.m/m]	2HB^{-MINUS} [x10 ⁻² N.m/m]	2HB^{-MEAN} [x10 ⁻² N.m/m]
U1	0,0305	0,0302	0,0303	0,0245	0,0283	0,0264
U2	0,0292	0,0301	0,0296	0,0250	0,0291	0,0270
U3	0,0699	0,0781	0,0740	0,1099	0,0965	0,1032
U4	0,0732	0,0845	0,0788	0,1195	0,1228	0,1211
U5	0,0421	0,0473	0,0447	0,0553	0,0585	0,0569
U6	0,0585	0,0621	0,0603	0,0508	0,0519	0,0513

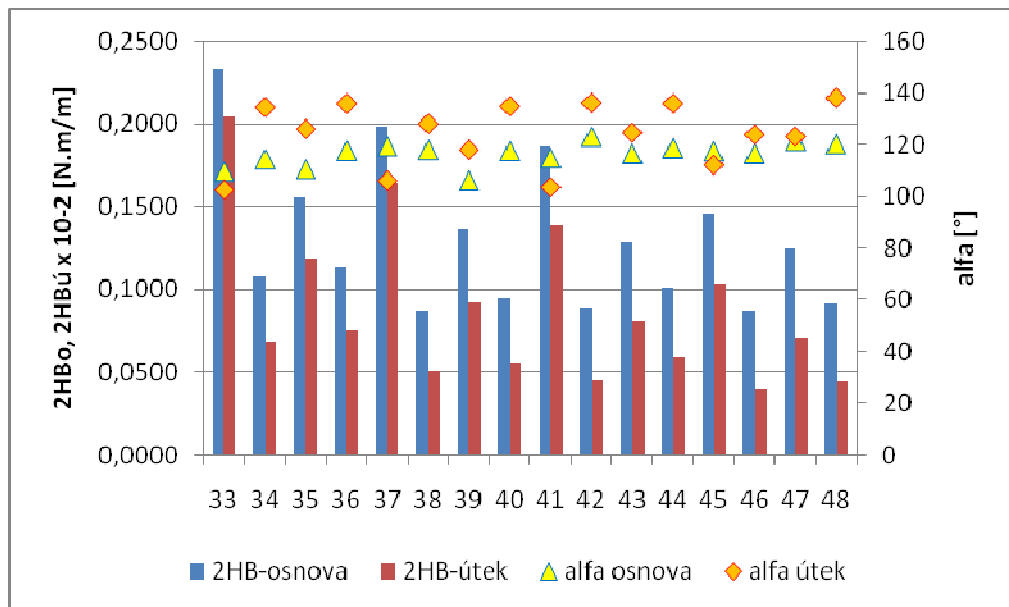
*Poznámky: -PLUS = ohyb RR, -MINUS = ohyb LL

Příloha 6B) Vliv vazby a dostavy na další ohybové a smykové charakteristiky**Obr. 20. Vliv vazby a dostavy útku na ohybový moment hystereze****Obr. 21. Vliv vazby a dostavy útku na smykový moment hystereze**

Příloha 6C) Vliv osnovy a útku na ohybové, smykové charakteristiky, úhel zotavení



Obr. 22. Porovnání ohybové tuhosti a úhlu zotavení ve směru osnovy a útku - rezné bavlněné textilie



Obr. 23. Porovnání hystereze ohybového momentu a úhlu zotavení ve směru osnovy a útku - rezné bavlněné textilie

Poznámka:

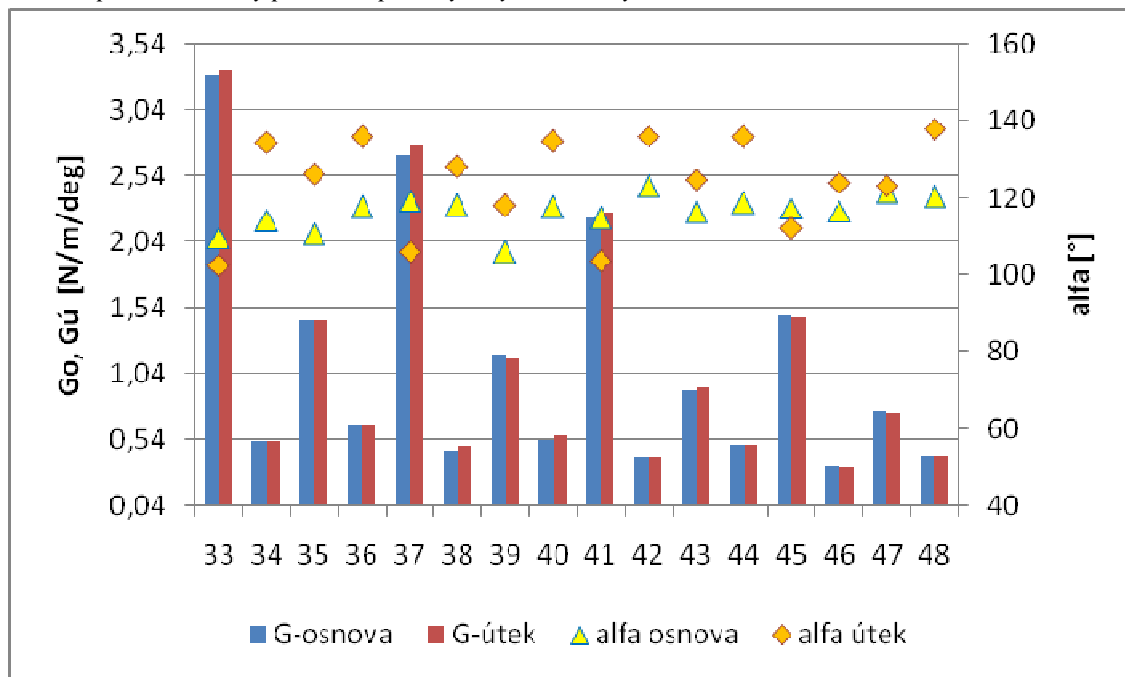
pro textilie vazby plátnové M33, M37, M41, M45 platí:

- větší ohybová tuhost textilie ve směru osnovy než ve směru útku – úhel zotavení ve směru osnovy (ohýbaná osnova) větší než ve směru útku (ohýbaný útek)
- u materiálů s největší dostavou útku (M33) se hodnoty ohybové tuhosti ve směru osnovy a útku shodují, úhly zotavení nabývají také podobných hodnot
- podobné závěry platí také pro ohybový moment hystereze

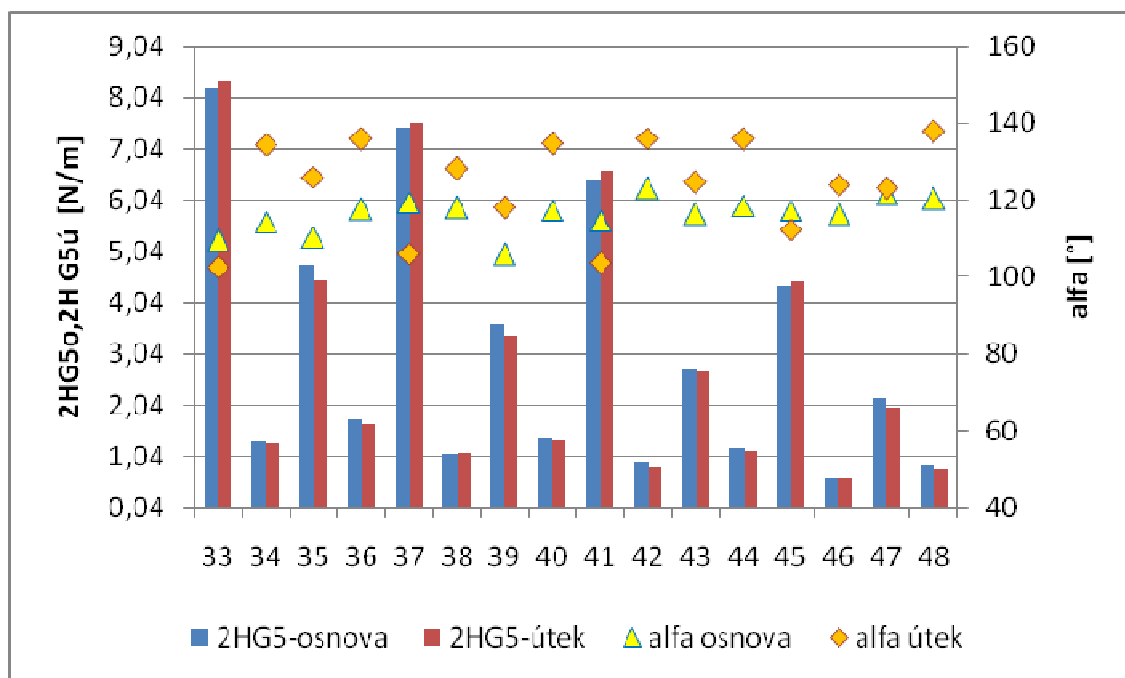
pro textilie vazby atlasové a keprové platí (ostatní textilie):

- větší ohybová tuhost textilie je ve směru osnovy nežli ve směru útku
- úhel zotavení je ve směru osnovy nižší než ve směru útku

- podobné závěry platí také pro ohybový moment hysterese



Obr. 24. Porovnání smykové tuhosti a úhlu zotavení ve směru osnovy a útku - rezné bavlněné textilie



Obr. 25. Porovnání hysterese smykového momentu a úhlu zotavení ve směru osnovy a útku - rezné bavlněné textilie

Příloha 7: Návrh regresního modelu

7A) Vícerozměrná data pro statistickou analýzu

Tab. 10. Data pro vícerozměrnou analýzu

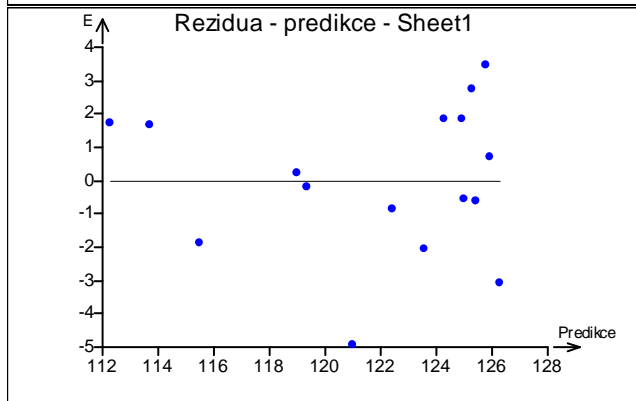
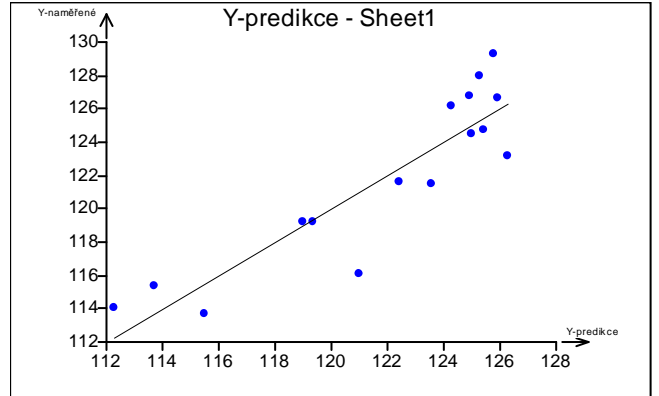
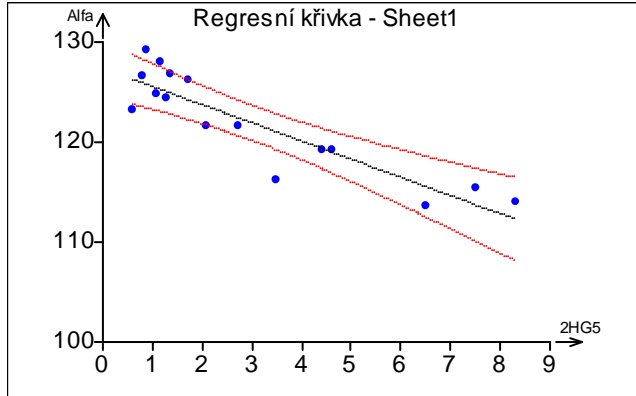
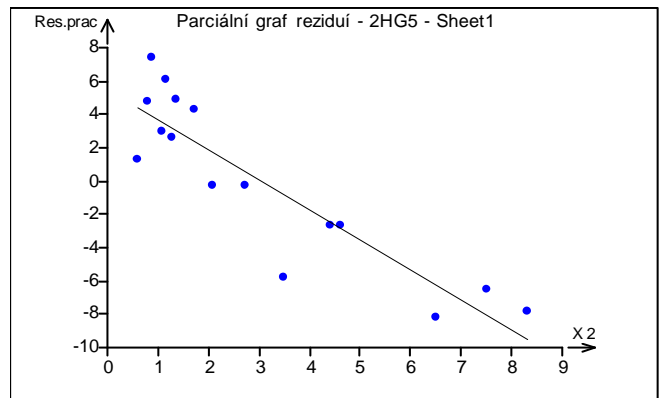
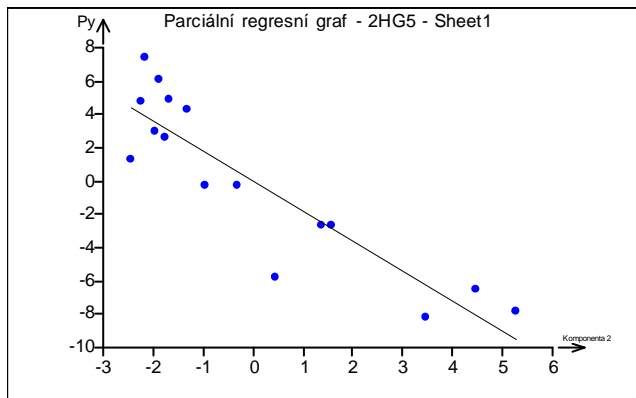
P.č.	vazba	Dů	Mp	h	B	2HB	G	2HG	2HG5	α_{300}
M33	plátno	240	181,9	0,4	0,184	0,219	3,28	7,89	8,30	114,03
M34	atlas	240	178,8	0,58	0,105	0,088	0,52	0,95	1,31	124,45
M35	kepr 1/2	240	176,6	0,47	0,152	0,137	1,45	3,24	4,63	119,17
M36	kepr 1/4	240	175,2	0,57	0,107	0,094	0,65	1,27	1,72	126,11
M37	plátno	220	171,7	0,41	0,152	0,181	2,74	6,20	7,51	115,36
M38	atlas	220	168,6	0,59	0,089	0,069	0,47	0,82	1,09	124,77
M39	kepr 1/2	220	169,9	0,47	0,109	0,114	1,16	2,61	3,50	116,11
M40	kepr 1/4	220	168,5	0,59	0,094	0,075	0,56	1,03	1,37	126,74
M41	plátno	200	166,1	0,43	0,131	0,162	2,24	5,17	6,52	113,66
M42	atlas	200	160,7	0,62	0,082	0,067	0,40	0,64	0,88	129,25
M43	kepr 1/2	200	163,3	0,47	0,103	0,105	0,92	1,92	2,72	121,60
M44	kepr 1/4	200	160	0,6	0,090	0,080	0,50	0,89	1,17	127,99
M45	plátno	180	158	0,44	0,113	0,124	1,48	3,19	4,41	119,15
M46	atlas	180	152,8	0,6	0,077	0,063	0,34	0,44	0,62	123,18
M47	kepr 1/2	180	156,3	0,49	0,094	0,098	0,74	1,49	2,09	121,53
M48	kepr 1/4	180	152,9	0,61	0,081	0,068	0,41	0,63	0,82	126,62

7B) Ověření regresních vztahů na nové sadě materiálů

Tab. 11. Experimentální a vypočtená hodnota úhlu zotavení

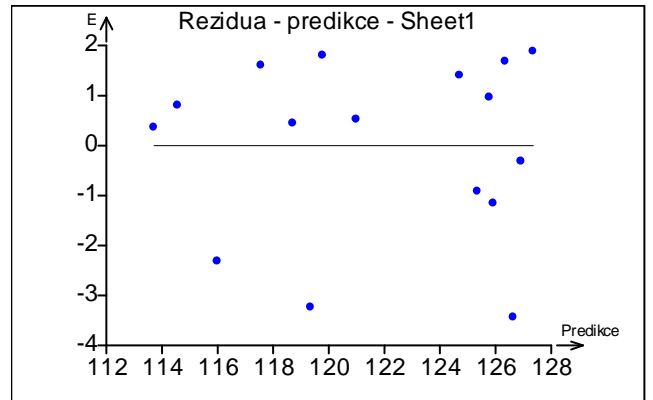
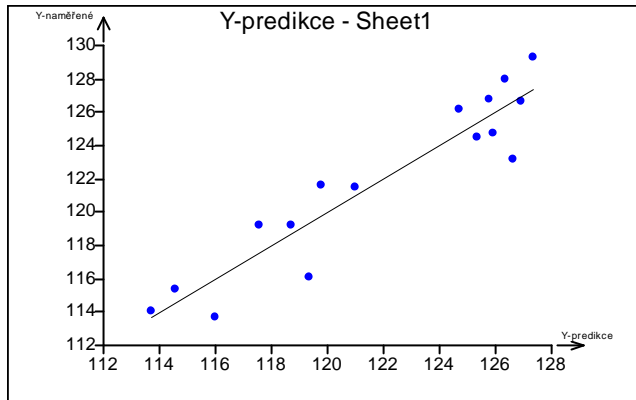
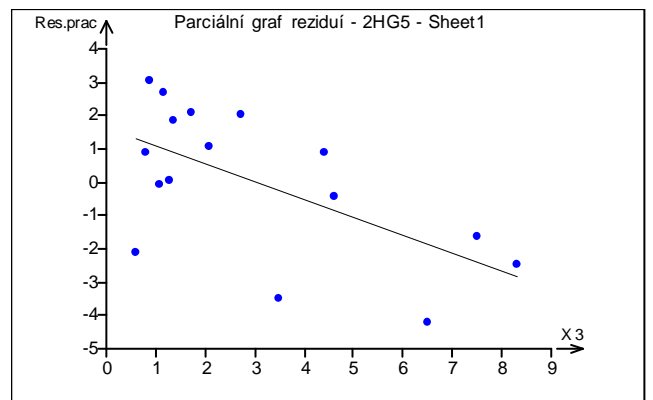
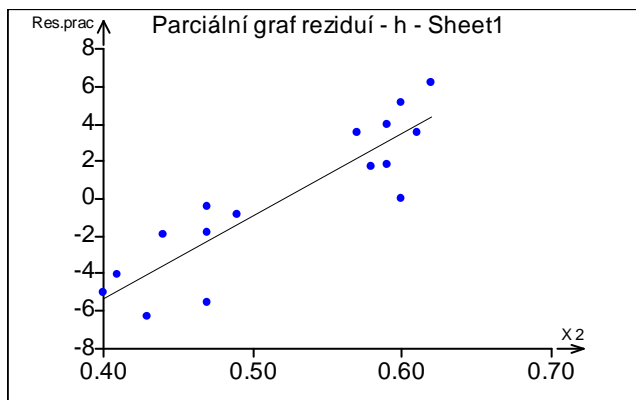
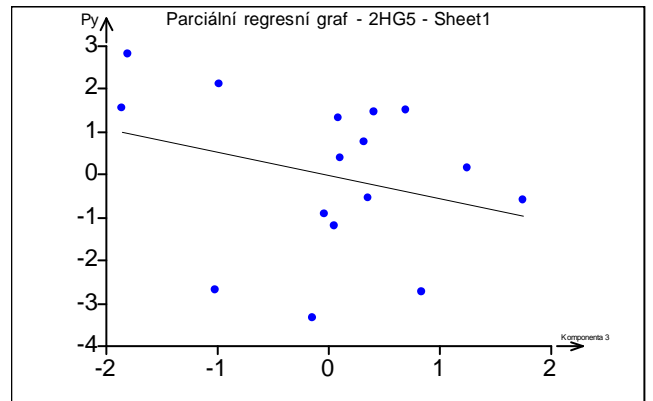
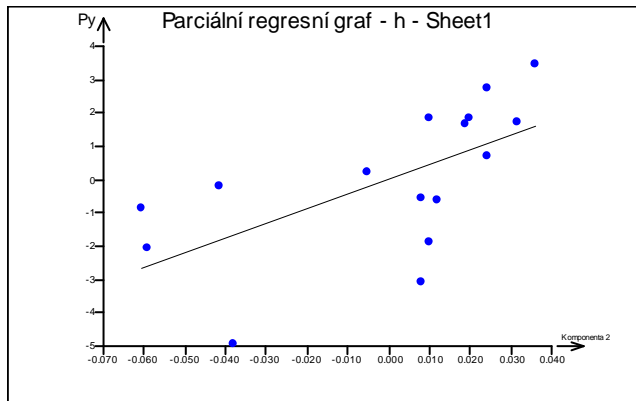
Mat.	Experimentální úhel zotavení		Vypočtený úhel zotavení pomocí modelů				Absolutní chyba modelu [°]				Relativní chyba modelu [%]			
	α_{300} [°]	95% IS	C	H	J	L7	C	H	J	L7	C	H	J	L7
M25	122,0	5,5	116,7	115,5	115,2	116,8	5,3	6,6	6,8	5,2	4,3	5,4	5,6	4,3
M26	126,9	4,4	125,8	125,6	125,3	125,7	1,1	1,3	1,6	1,2	0,9	1,0	1,3	1,0
M27	127,8	5,4	122,3	118,9	118,7	121,2	5,5	8,9	9,0	6,5	4,3	7,0	7,1	5,1
M28	129,5	4,6	125,3	124,1	124,1	125,2	4,2	5,3	5,4	4,3	3,3	4,1	4,2	3,3
M29	130,4	3,2	120,2	116,1	115,8	118,9	10,1	14,3	14,6	11,4	7,8	11,0	11,2	8,8
M30	130,4	1,8	126,2	125,7	125,3	126,3	4,2	4,7	5,1	4,2	3,2	3,6	3,9	3,2
M31	127,1	2,8	124,0	120,7	120,6	123,2	3,1	6,4	6,5	3,9	2,4	5,1	5,2	3,1
M32	127,2	4,7	125,9	124,8	124,5	125,9	1,3	2,4	2,7	1,2	1,0	1,9	2,1	1,0

7C) Charakteristika regresních modelů

Charakteristika regresního modelu C: $y = b_0 + b_1 2HG5$ **Rezidua****Parciální grafy**

Analýza klasických reziduí – modelu C

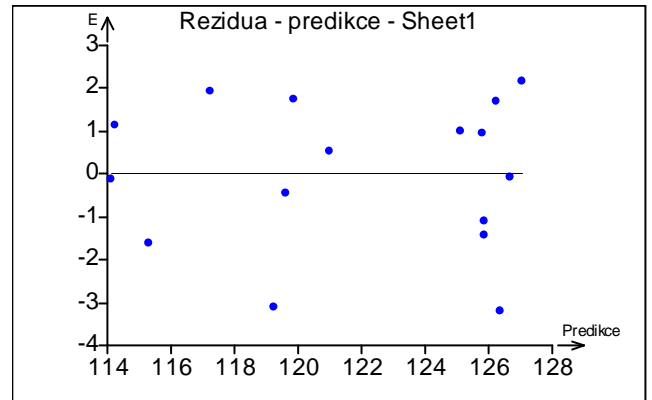
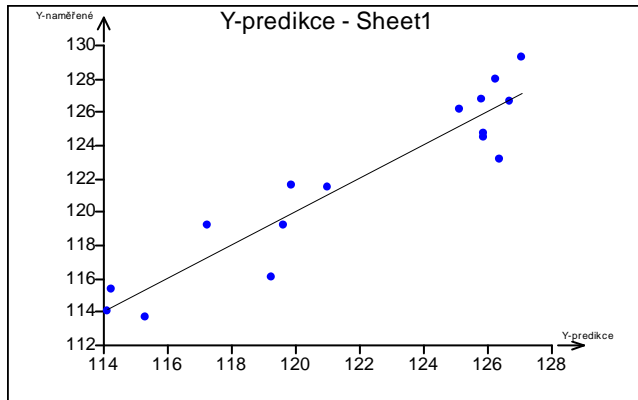
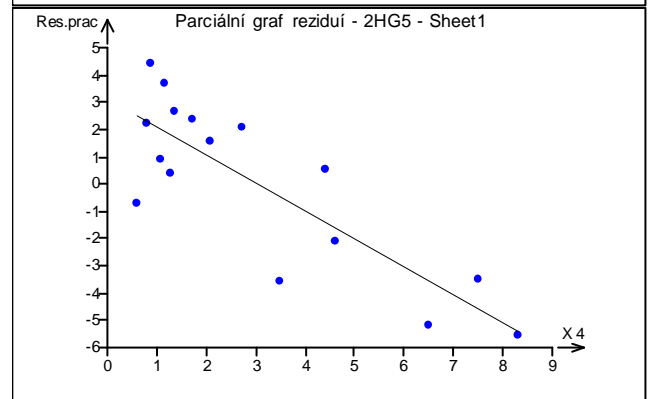
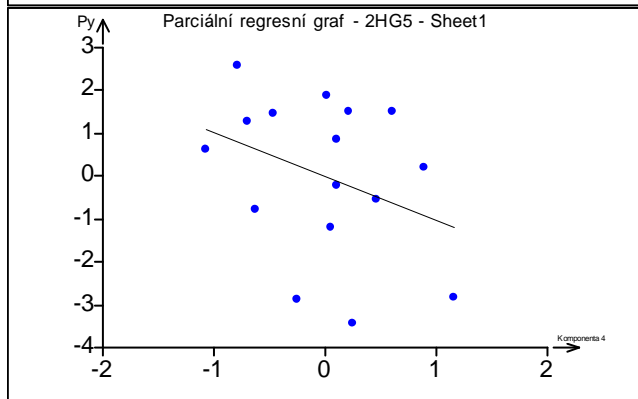
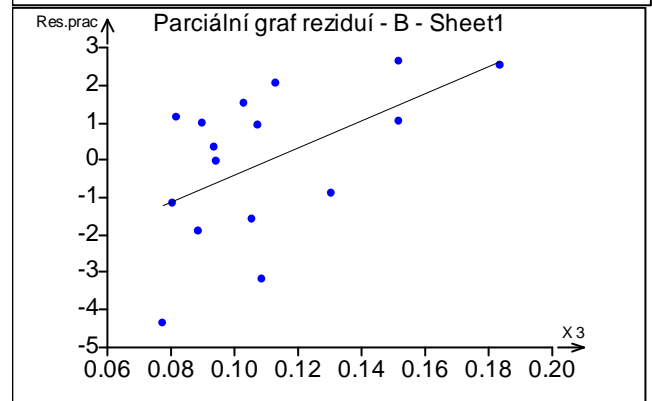
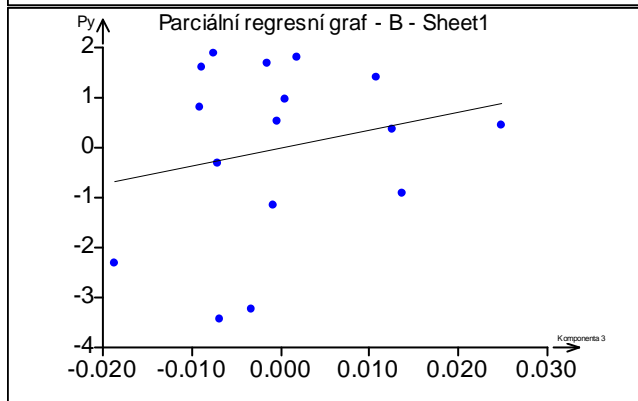
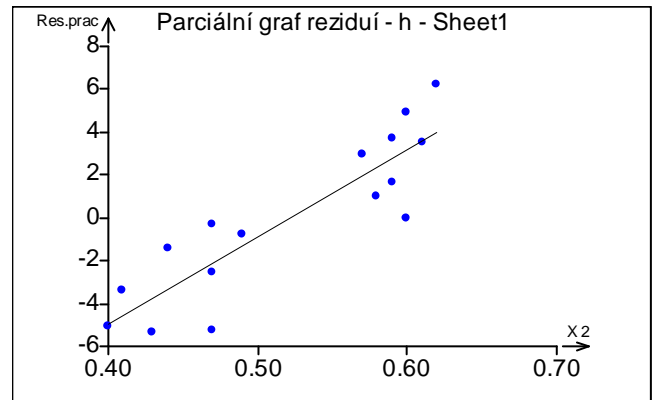
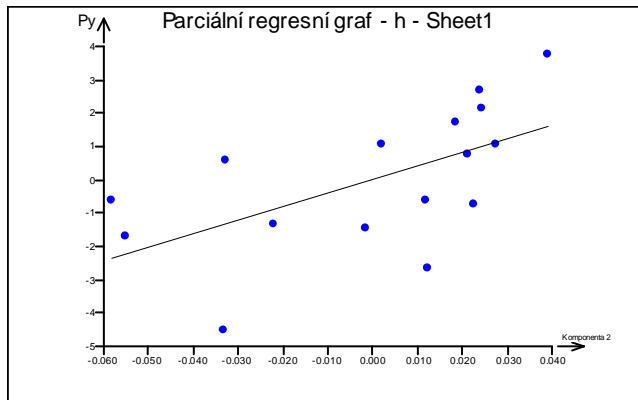
Index	Y naměřené	Y vypočítané	Směr. odch. Y	Reziduum	Reziduum [% Y]
1	114,03	112,28	1,37	1,74	1,53
2	124,45	125,01	0,710	-0,56	-0,45
3	119,17	118,96	0,691	0,20	0,17
4	126,10	124,26	0,659	1,83	1,45
5	115,35	113,72	1,208	1,63	1,42
6	124,77	125,39	0,740	-0,62	-0,50
7	116,10	121,02	0,589	-4,91	-4,23
8	126,73	124,90	0,702	1,83	1,44
9	113,66	115,52	1,008	-1,86	-1,63
10	129,24	125,78	0,773	3,45	2,67
11	121,60	122,44	0,584	-0,84	-0,69
12	127,99	125,26	0,729	2,72	2,13
13	119,14	119,36	0,664	-0,21	-0,18
14	123,18	126,26	0,815	-3,08	-2,50
15	121,53	123,59	0,622	-2,06	-1,69
16	126,62	125,89	0,782	0,72	0,57
Reziduální součet čtverců :	75,27				
Průměr absolutních reziduí :	1,77				
Reziduální směr. odchylka :	2,31				
Reziduální rozptyl :	5,37				
Šikmost reziduí :	0,24				
Špičatost reziduí :	2,65				

Charakteristika regresního modelu H: $y = b_0 + b_1h + b_22HG5$ **Rezidua****Parciální grafy**

Analýza klasických reziduí – model H

Index	Y naměřené	Y vypočítané	Směr. odch. Y	Reziduum	Reziduum [% Y]
1	114,03	113,68	1,22	0,34	0,30
2	124,45	125,37	0,59	-0,92	-0,74
3	119,17	118,74	0,56	0,42	0,35
4	126,10	124,71	0,55	1,39	1,10
5	115,35	114,55	1,02	0,80	0,70
6	124,77	125,92	0,63	-1,15	-0,92
7	116,10	119,36	0,75	-3,25	-2,79
8	126,73	125,78	0,64	0,95	0,75
9	113,66	115,96	0,83	-2,30	-2,02
10	129,24	127,36	0,83	1,88	1,45
11	121,60	119,78	1,04	1,81	1,49
12	127,99	126,32	0,70	1,66	1,30
13	119,14	117,54	0,83	1,59	1,33
14	123,18	126,62	0,67	-3,44	-2,79
15	121,53	121,00	1,03	0,52	0,43
16	126,62	126,95	0,73	-0,33	-0,26

Reziduální součet čtverců :	46,29
Průměr absolutních reziduí :	1,42
Reziduální směr. odchylka :	1,88
Reziduální rozptyl :	3,56
Šikmost reziduí :	0,66
Špičatost reziduí :	2,43

Charakteristika regresního modelu J: $y = b_0 + b_1h + b_2B + b_32HG5$ **Rezidua****Parciální grafy**

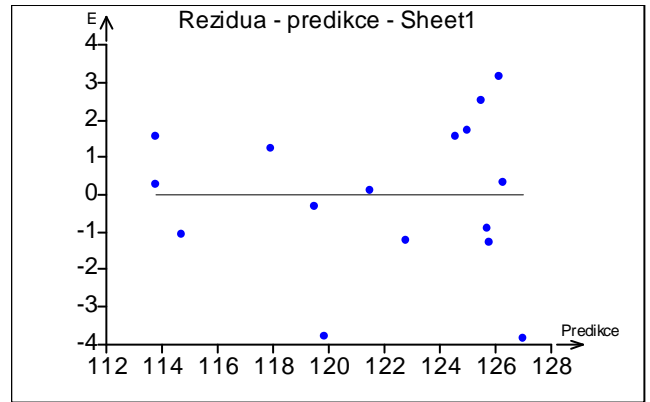
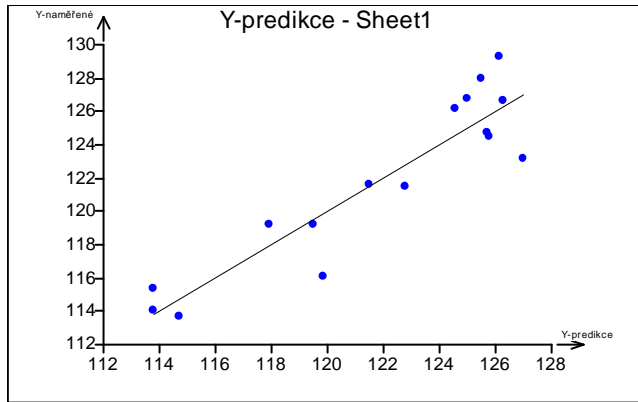
Analýza klasických reziduí - model J

Index	Y naměřené	Y vypočítané	Směr. odch. Y	Reziduu m	Reziduu m [% Y]
1	114,03	114,14	1,36	-0,10	-0,09
2	124,45	125,87	0,86	-1,41	-1,14
3	119,17	119,64	1,27	-0,47	-0,39
4	126,11	125,11	0,75	1,00	0,79
5	115,36	114,22	1,12	1,14	0,99
6	124,77	125,90	0,64	-1,13	-0,90
7	116,11	119,25	0,78	-3,14	-2,70
8	126,74	125,80	0,66	0,94	0,74
9	113,66	115,30	1,20	-1,63	-1,44
10	129,25	127,09	0,92	2,16	1,67
11	121,60	119,85	1,07	1,75	1,44
12	127,99	126,28	0,71	1,71	1,34
13	119,15	117,23	0,94	1,92	1,61
14	123,18	126,38	0,76	-3,19	-2,59
15	121,53	120,99	1,05	0,54	0,45
16	126,62	126,70	0,82	-0,08	-0,06

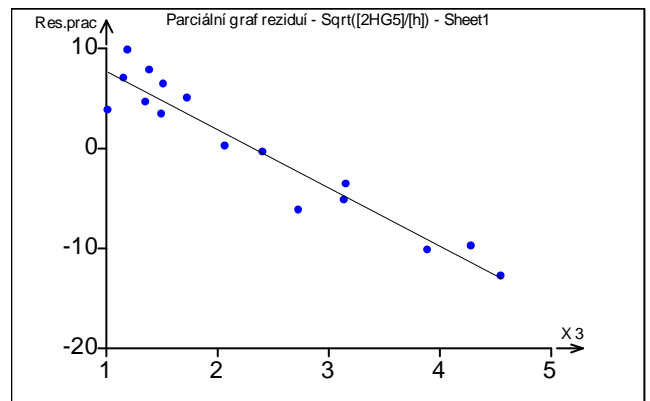
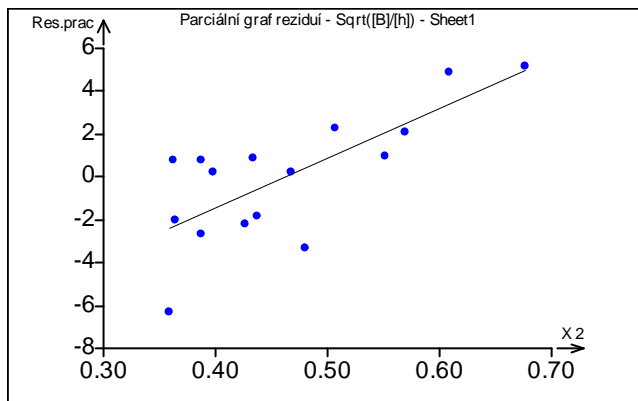
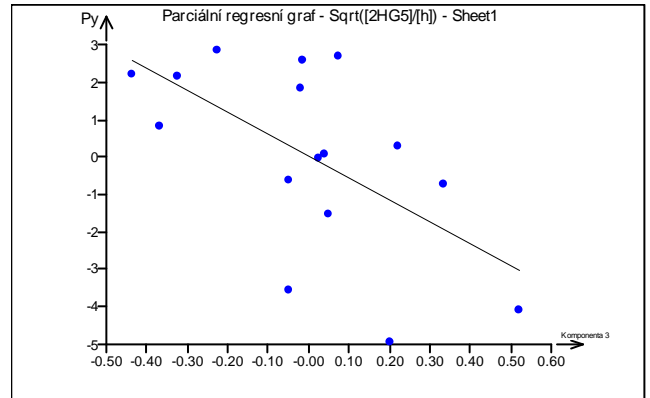
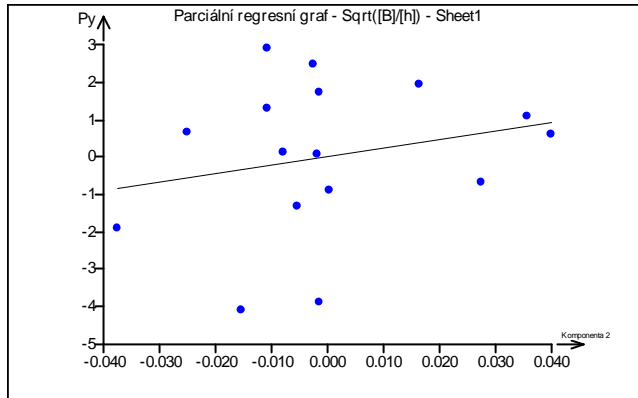
Reziduální součet čtverců :	44,01
Průměr absolutních reziduí :	1,39
Reziduální směr. odchylka :	1,92
Reziduální rozptyl :	3,67
Šikmost reziduí :	0,32
Špičatost reziduí :	2,23

Charakteristika regresního modelu L7: $y = b_0 + b_1\sqrt{B/h} + b_2\sqrt{2HG5/h}$

Rezidua



Parciální grafy



Analýza klasických reziduí – model L7

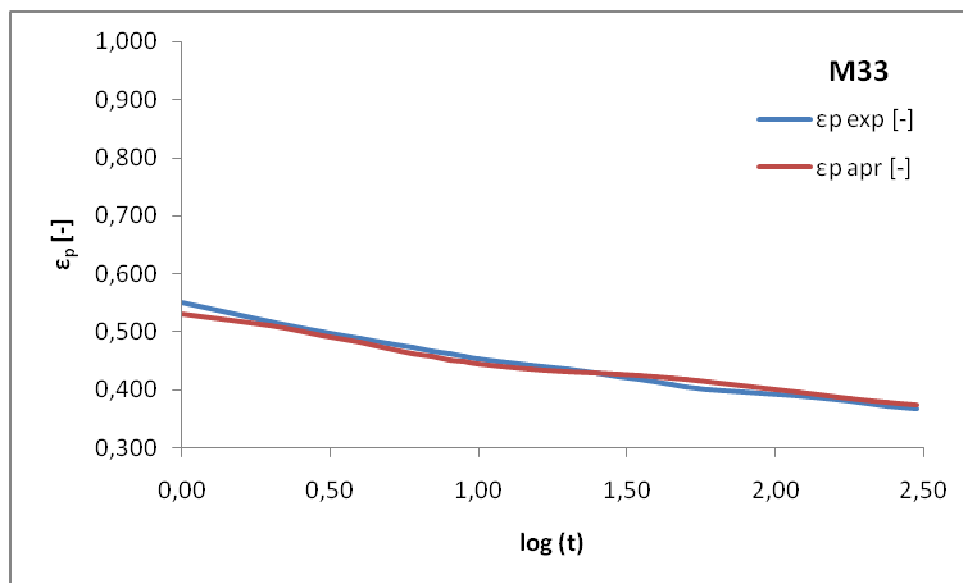
Index	Y naměřené	Y vypočítané	Směr. odch. Y	Reziduum	Reziduum [% Y]
1	114,03	113,77	1,52	0,26	0,23
2	124,45	125,76	0,99	-1,31	-1,05
3	119,17	119,51	1,25	-0,34	-0,29
4	126,11	124,57	0,75	1,54	1,22
5	115,36	113,79	1,11	1,57	1,36
6	124,77	125,68	0,70	-0,91	-0,73
7	116,11	119,87	0,70	-3,76	-3,24
8	126,74	125,00	0,66	1,73	1,37
9	113,66	114,71	1,36	-1,05	-0,93
10	129,25	126,11	0,81	3,14	2,43
11	121,60	121,48	0,54	0,13	0,10
12	127,99	125,48	0,69	2,51	1,96
13	119,15	117,91	0,94	1,24	1,04
14	123,18	127,03	0,82	-3,85	-3,12
15	121,53	122,76	0,57	-1,23	-1,01
16	126,62	126,29	0,80	0,33	0,26

Reziduální součet čtverců :	59,94
Průměr absolutních reziduí :	1,56
Reziduální směr. odchylka :	2,15
Reziduální rozptyl :	4,61
Šikmost reziduí :	0,22
Špičatost reziduí :	2,61

Příloha 8: Modelování pomocí reologických modelů, ověření reologických modelů

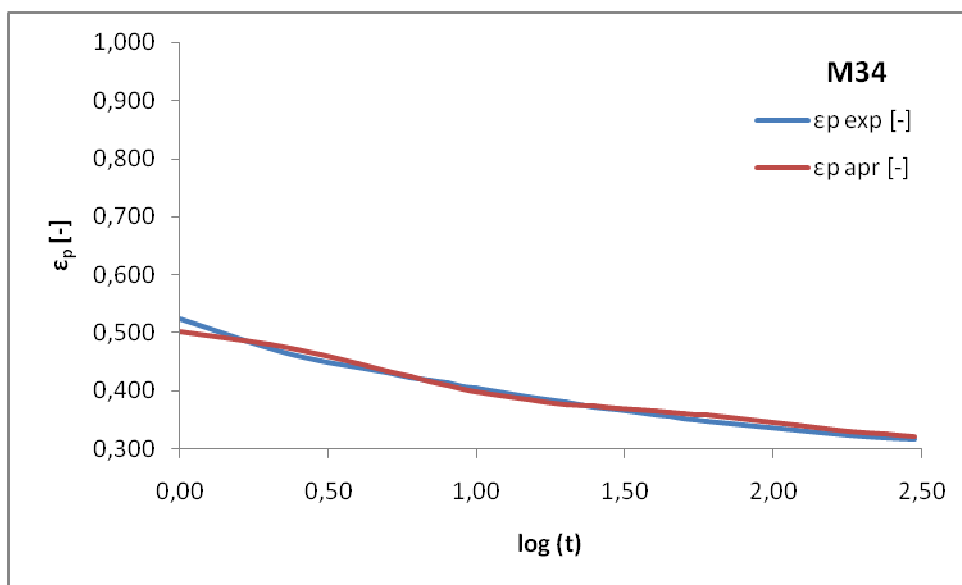
8A) Ukázka modelování pomocí reologického modelu

Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu				
Tkanina - M33				
t [s]	α [°]	ϵ_p exp [-]	ϵ_p apr [-]	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	80,8	0,551	0,531	2,0
2	86,8	0,518	0,510	0,8
3	90,0	0,500	0,494	0,6
4	92,1	0,488	0,481	0,7
5	93,7	0,480	0,471	0,9
6	95,0	0,472	0,463	0,9
7	96,0	0,467	0,457	1,0
8	97,0	0,461	0,452	0,9
9	97,7	0,457	0,448	0,9
10	98,5	0,453	0,445	0,8
15	100,2	0,443	0,436	0,7
20	101,7	0,435	0,431	0,3
25	102,9	0,428	0,428	0,0
30	104,1	0,422	0,426	-0,4
35	104,9	0,417	0,424	-0,6
40	105,7	0,413	0,421	-0,9
45	106,3	0,409	0,419	-1,0
50	107,0	0,405	0,417	-1,2
55	107,6	0,402	0,415	-1,3
60	108,1	0,399	0,413	-1,4
120	110,1	0,388	0,396	-0,7
180	111,7	0,379	0,384	-0,5
240	113,0	0,372	0,378	-0,6
300	114,0	0,366	0,373	-0,7



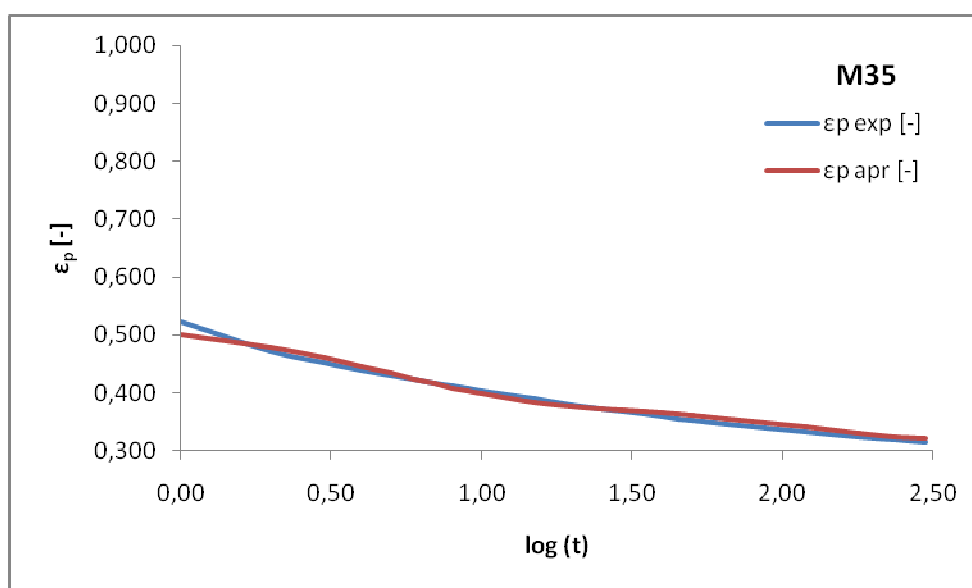
Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu
Tkanina - M34

t [s]	α [°]	ϵ_p exp [-]	ϵ_p apr [-]	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	87,3	0,515	0,497	1,8
2	97,2	0,460	0,476	-1,6
3	100,8	0,440	0,458	-1,8
4	103,1	0,427	0,444	-1,6
5	104,7	0,418	0,432	-1,4
6	105,9	0,412	0,422	-1,0
7	107,0	0,406	0,413	-0,7
8	107,9	0,401	0,406	-0,5
9	108,6	0,397	0,400	-0,3
10	109,2	0,393	0,395	-0,2
15	111,6	0,380	0,379	0,1
20	113,1	0,372	0,372	0,0
25	114,4	0,364	0,367	-0,3
30	115,4	0,359	0,364	-0,5
35	116,1	0,355	0,362	-0,7
40	116,9	0,351	0,360	-0,9
45	117,3	0,348	0,358	-1,0
50	117,9	0,345	0,356	-1,1
55	118,4	0,342	0,354	-1,2
60	118,9	0,340	0,352	-1,3
120	121,5	0,325	0,336	-1,1
180	122,9	0,317	0,326	-0,8
240	123,9	0,312	0,319	-0,8
300	124,5	0,309	0,315	-0,7



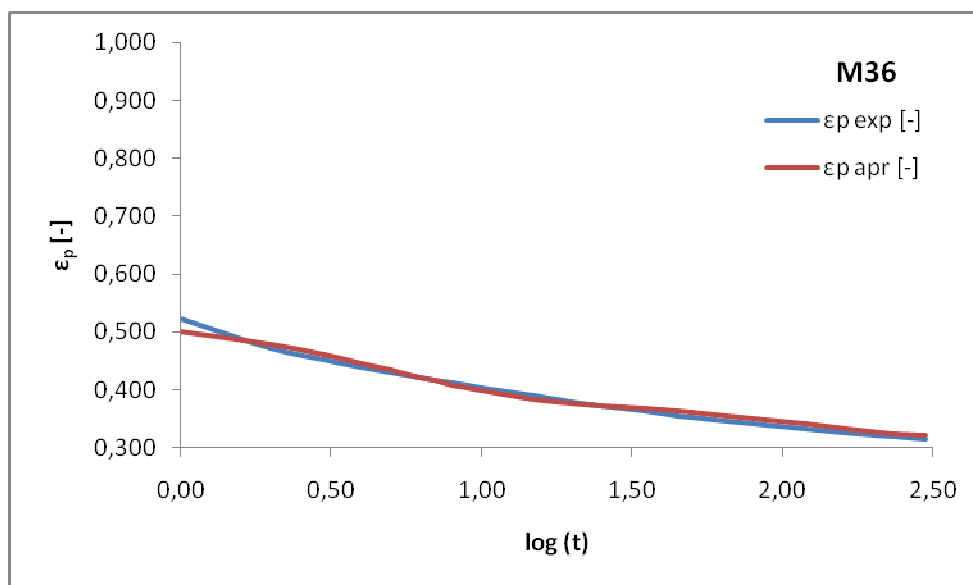
Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu
Tkanina - M35

t [s]	α [°]	$\epsilon_p \text{ exp [-]}$	$\epsilon_p \text{ apr [-]}$	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	88,7	0,507	0,488	2,0
2	95,4	0,470	0,469	0,1
3	98,3	0,454	0,454	-0,1
4	100,1	0,444	0,442	0,1
5	101,6	0,436	0,433	0,3
6	102,6	0,430	0,425	0,5
7	103,4	0,425	0,418	0,7
8	104,1	0,422	0,413	0,9
9	104,7	0,419	0,408	1,0
10	105,1	0,416	0,405	1,1
15	107,5	0,403	0,394	0,9
20	109,0	0,395	0,388	0,6
25	110,1	0,388	0,385	0,3
30	111,0	0,383	0,382	0,1
35	111,7	0,380	0,380	0,0
40	112,2	0,377	0,378	-0,1
45	112,7	0,374	0,376	-0,2
50	113,1	0,372	0,374	-0,2
55	113,5	0,370	0,372	-0,3
60	113,8	0,368	0,371	-0,3
120	116,2	0,354	0,356	-0,2
180	117,6	0,347	0,348	-0,1
240	118,5	0,342	0,343	-0,2
300	119,2	0,338	0,341	-0,3



Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu
Tkanina - M36

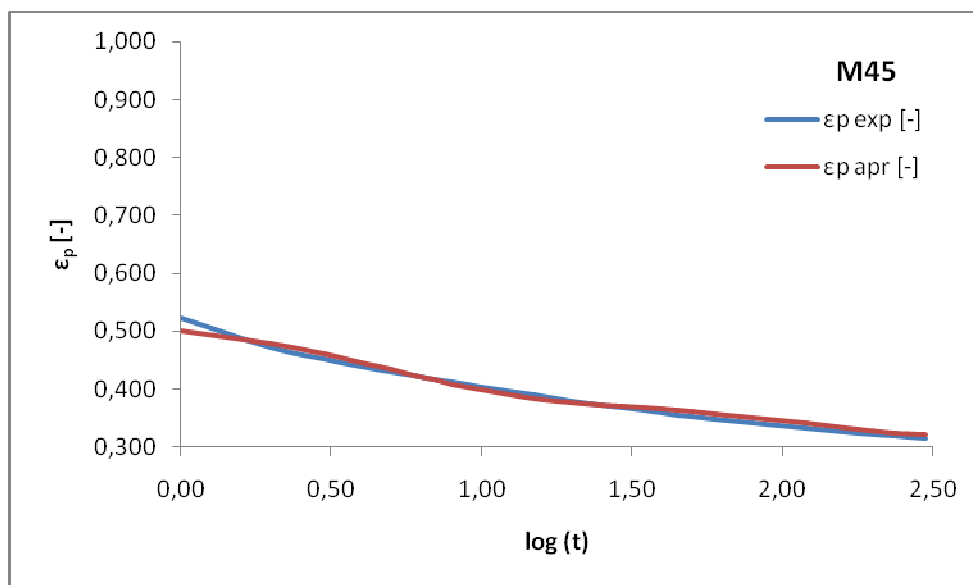
t [s]	α [°]	$\epsilon_p \text{ exp [-]}$	$\epsilon_p \text{ apr [-]}$	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	87,2	0,516	0,494	2,1
2	96,8	0,462	0,471	-0,9
3	100,6	0,441	0,453	-1,1
4	102,9	0,428	0,438	-0,9
5	104,7	0,418	0,425	-0,6
6	106,0	0,411	0,414	-0,3
7	107,1	0,405	0,406	-0,1
8	108,0	0,400	0,399	0,2
9	108,8	0,395	0,393	0,3
10	109,6	0,391	0,388	0,3
15	112,1	0,377	0,372	0,5
20	113,9	0,367	0,365	0,2
25	115,1	0,360	0,361	0,0
30	116,0	0,355	0,358	-0,2
35	117,0	0,350	0,355	-0,5
40	117,7	0,346	0,353	-0,7
45	118,4	0,342	0,351	-0,8
50	118,9	0,339	0,348	-0,9
55	119,5	0,336	0,346	-1,0
60	120,1	0,333	0,345	-1,2
120	122,8	0,318	0,327	-0,9
180	124,3	0,310	0,316	-0,7
240	125,2	0,304	0,310	-0,5
300	126,1	0,299	0,306	-0,6



Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu

Tkanina – M45

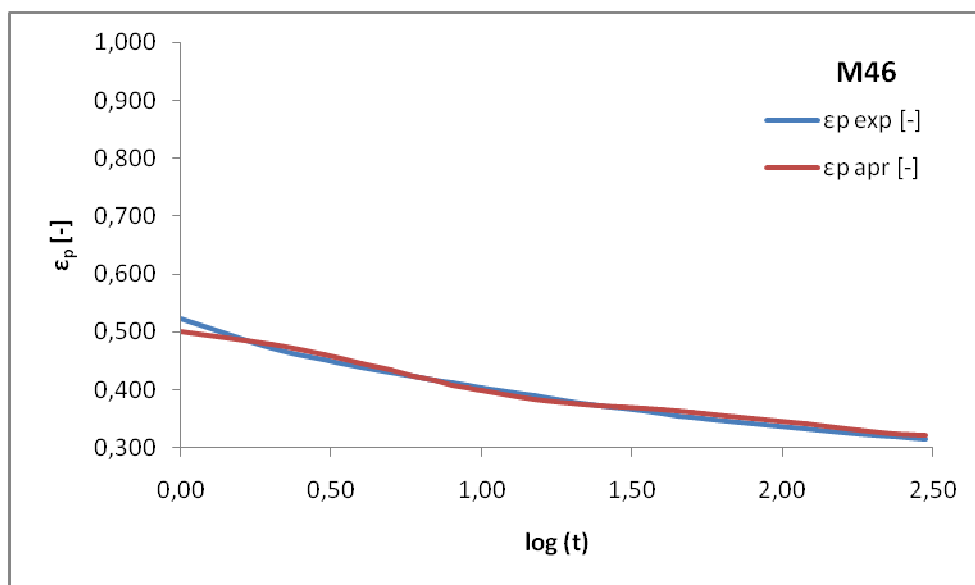
t [s]	α [°]	$\epsilon_p \text{ exp}$ [-]	$\epsilon_p \text{ apr}$ [-]	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	83,6	0,536	0,517	1,8
2	92,0	0,489	0,497	-0,8
3	95,3	0,471	0,481	-1,0
4	97,3	0,459	0,467	-0,8
5	98,9	0,451	0,455	-0,5
6	100,1	0,444	0,446	-0,2
7	101,2	0,438	0,438	0,0
8	102,0	0,433	0,432	0,1
9	102,8	0,429	0,426	0,3
10	103,6	0,424	0,422	0,2
15	105,7	0,413	0,408	0,5
20	107,4	0,404	0,401	0,2
25	108,7	0,396	0,397	-0,1
30	109,7	0,391	0,394	-0,4
35	110,5	0,386	0,392	-0,6
40	111,1	0,383	0,390	-0,7
45	111,9	0,379	0,388	-0,9
50	112,4	0,376	0,386	-1,0
55	112,8	0,373	0,384	-1,0
60	113,4	0,370	0,382	-1,2
120	115,9	0,356	0,365	-0,9
180	117,5	0,347	0,355	-0,7
240	118,4	0,342	0,348	-0,6
300	119,1	0,338	0,344	-0,6



Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu

Tkanina – M46

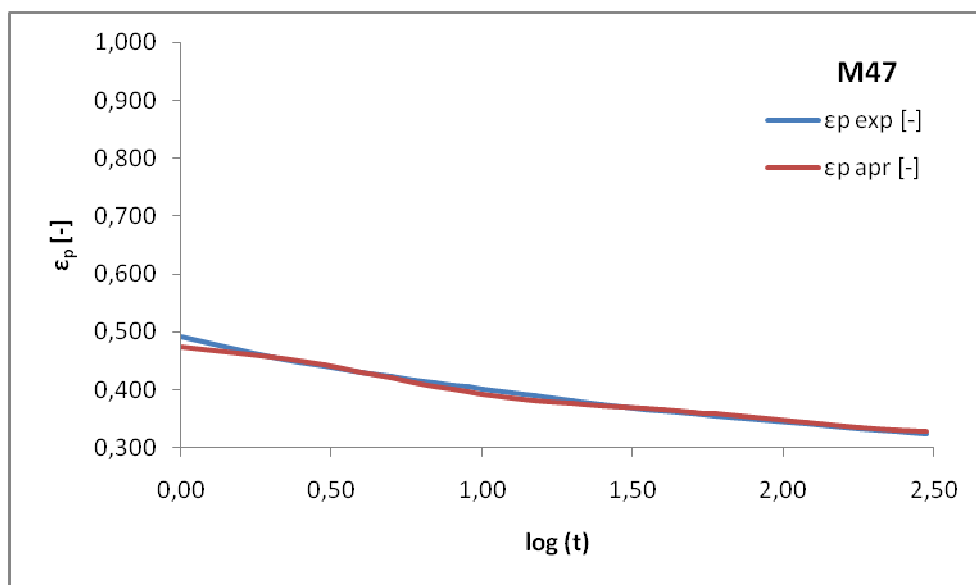
t [s]	α [°]	ϵ_p exp [-]	ϵ_p apr [-]	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	85,8	0,523	0,502	2,2
2	94,9	0,473	0,480	-0,7
3	98,7	0,452	0,461	-1,0
4	100,9	0,440	0,446	-0,7
5	102,6	0,430	0,434	-0,4
6	103,8	0,423	0,424	-0,1
7	104,9	0,417	0,416	0,2
8	105,7	0,413	0,409	0,4
9	106,6	0,408	0,403	0,5
10	107,3	0,404	0,398	0,5
15	109,8	0,390	0,384	0,6
20	111,6	0,380	0,377	0,3
25	113,0	0,372	0,373	0,0
30	113,9	0,367	0,370	-0,3
35	114,7	0,363	0,368	-0,5
40	115,5	0,359	0,365	-0,7
45	116,1	0,355	0,363	-0,8
50	116,5	0,353	0,361	-0,9
55	117,0	0,350	0,359	-0,9
60	117,4	0,348	0,357	-1,0
120	120,2	0,332	0,341	-0,8
180	121,7	0,324	0,331	-0,7
240	122,6	0,319	0,325	-0,6
300	123,2	0,316	0,321	-0,5



Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu

Tkanina – M47

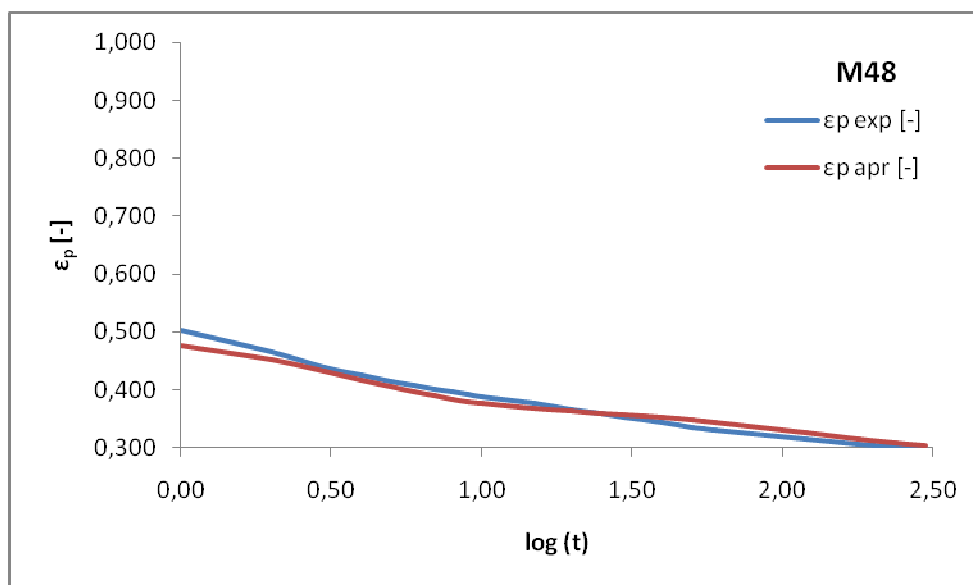
t [s]	α [°]	$\epsilon_p \text{ exp}$ [-]	$\epsilon_p \text{ apr}$ [-]	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	91,3	0,493	0,474	1,8
2	98,0	0,455	0,457	-0,1
3	100,8	0,440	0,442	-0,2
4	102,6	0,430	0,431	-0,1
5	104,0	0,422	0,421	0,1
6	105,0	0,417	0,413	0,4
7	105,8	0,412	0,406	0,6
8	106,5	0,408	0,401	0,7
9	107,1	0,405	0,397	0,8
10	107,6	0,402	0,393	0,9
15	109,8	0,390	0,382	0,8
20	111,3	0,382	0,376	0,6
25	112,4	0,376	0,373	0,3
30	113,2	0,371	0,370	0,1
35	114,0	0,367	0,368	-0,1
40	114,5	0,364	0,366	-0,2
45	115,0	0,361	0,364	-0,3
50	115,5	0,359	0,362	-0,3
55	115,8	0,356	0,360	-0,4
60	116,2	0,355	0,359	-0,4
120	118,6	0,341	0,344	-0,3
180	120,0	0,334	0,335	-0,2
240	120,9	0,328	0,331	-0,2
300	121,5	0,325	0,328	-0,3



Modelování průběhu deformace pomocí T-K-V reologického modelu

Tkanina – M48

t [s]	α [°]	$\epsilon_p \text{ exp [-]}$	$\epsilon_p \text{ apr [-]}$	chyba %
0	0	1,000	1,000	0,0
1	89,4	0,503	0,477	2,6
2	96,3	0,465	0,451	1,4
3	101,0	0,439	0,432	0,7
4	103,4	0,425	0,417	0,9
5	105,2	0,416	0,405	1,0
6	106,5	0,408	0,396	1,2
7	107,7	0,402	0,390	1,2
8	108,6	0,397	0,384	1,3
9	109,5	0,392	0,380	1,2
10	110,3	0,387	0,377	1,1
15	112,3	0,376	0,367	0,9
20	114,0	0,367	0,363	0,3
25	115,4	0,359	0,360	-0,1
30	116,5	0,353	0,358	-0,5
35	117,5	0,347	0,355	-0,8
40	118,3	0,343	0,353	-1,0
45	118,9	0,339	0,351	-1,2
50	119,5	0,336	0,349	-1,3
55	120,1	0,333	0,347	-1,4
60	120,6	0,330	0,345	-1,5
120	123,1	0,316	0,327	-1,1
180	124,7	0,307	0,315	-0,8
240	125,7	0,302	0,308	-0,7
300	126,6	0,297	0,304	-0,7



8B) Ověření reologických modelů

Tab. 12. M-K model pro ověřovací sadu rezných bavlněných materiálů

	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32
ε_e [-]	0,509	0,534	0,541	0,547	0,530	0,549	0,537	0,509
ε_v [-]	0,169	0,171	0,168	0,173	0,194	0,175	0,169	0,198
ε_p [-]	0,322	0,295	0,290	0,281	0,276	0,276	0,294	0,294
Výpočet reologických parametrů								
E_1 [Pa]	98192	93596	92363	91479	94319	91071	93043	98316
E_2 [Pa]	296478	292903	296860	289449	257536	284945	295981	252632
η_2 [Pa.s]	2583237	3044505	2859478	2676604	2590822	2627524	1936771	2530475
η_3 [Pa.s]	46562495	50833337	51683708	53440919	54399839	54445546	51075099	51103617
Výpočet deformace								
ε_1 [-]	0,473	0,450	0,442	0,436	0,452	0,433	0,439	0,473
ε_{10} [-]	0,376	0,360	0,350	0,339	0,348	0,335	0,330	0,366
ε_{20} [-]	0,339	0,320	0,311	0,301	0,302	0,296	0,302	0,320
ε_{60} [-]	0,322	0,296	0,291	0,281	0,276	0,276	0,294	0,294
ε_{300} [-]	0,322	0,295	0,290	0,281	0,276	0,276	0,294	0,294
Relativní chyba modelu								
ε_1 [%]	3,7	3,4	3,6	3,9	3,9	4,0	5,2	3,8
ε_{10} [%]	4,4	2,0	2,5	4,5	0,9	4,1	9,4	2,4
ε_{20} [%]	9,6	8,3	8,3	10,3	8,6	10,6	12,4	9,3
ε_{60} [%]	7,6	8,2	7,3	8,6	8,5	9,7	8,0	9,5

Tab. 13. M-K model pro ověřovací sadu běžných materiálů (různé materiálové složení)

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
ε_e [-]	0,796	0,534	0,451	0,440	0,399	0,360	0,839	0,596
ε_v [-]	0,115	0,164	0,120	0,127	0,135	0,134	0,116	0,181
ε_p [-]	0,089	0,303	0,429	0,432	0,466	0,505	0,045	0,223
Výpočet reologických parametrů								
E_1 [Pa]	62826	93656	110764	113606	125267	138820	59605	83913
E_2 [Pa]	433823	305634	416952	392431	370059	371848	430343	275498
η_2 [Pa.s]	4565999	2919982	3649931	3411987	3228042	3244374	3682962	2430585
η_3 [Pa.s]	168735031	49580303	34991676	34684414	32206978	29681901	333617354	67368374
Výpočet deformace								
ε_1 [-]	0,194	0,450	0,536	0,546	0,586	0,625	0,148	0,385
ε_{10} [-]	0,133	0,360	0,467	0,473	0,509	0,548	0,081	0,281
ε_{20} [-]	0,106	0,323	0,441	0,445	0,479	0,519	0,056	0,241
ε_{60} [-]	0,089	0,303	0,429	0,433	0,466	0,505	0,045	0,223
ε_{300} [-]	0,089	0,303	0,429	0,432	0,466	0,505	0,045	0,223
Relativní chyba modelu								
ε_1 [%]	5,1	3,5	2,4	2,5	2,4	2,3	8,0	4,8
ε_{10} [%]	1,8	3,1	3,9	4,1	4,5	4,0	14,9	7,8
ε_{20} [%]	12,1	8,6	6,5	7,0	7,0	6,3	31,1	14,8
ε_{60} [%]	13,7	7,5	5,1	5,1	5,4	4,8	27,9	12,0

