



Vliv přítlaku na experimentální zjišťování tloušťky tkaniny

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Petra Škárová**
Vedoucí práce: Ing. Iva Mertová





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



Influence of pressure on experimental determination of woven fabric thickness

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering
Author: **Petra Škárová**
Supervisor: Ing. Iva Mertová



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petra Škárová**
Osobní číslo: **T15000012**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Vliv přítlaku na experimentální zjišťování tloušťky tkaniny**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a struktur**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní parametry definující plošnou a prostorovou geometrii tkanin.
2. Rozpracujte problematiku tloušťky tkanin z hlediska experimentálního i teoretického.
3. Na sadě experimentálních tkanin proveďte měření (včetně hodnocení) tloušťky tkanin dostupnými experimentálními metodikami. Metodiky mezi sebou porovnejte. Stanovte vliv přítlaku na hodnotu tloušťky tkanin.
4. Na základě porovnání teoretického modelu a experimentálních hodnot proveďte zhodnocení použitelnosti stávajícího modelu pro predikci tloušťky tkanin.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

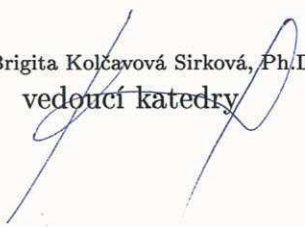
- [1] Nosek, S.: **Struktura a geometrie tkanin, Liberec 1996**
- [2] Behera, B.K., Hari, P.K.: **Woven textile structure, Theory and applications, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-514-9 (book), 2010**
- [3] Kolčavová Sirková, B.: **Systém projektování "příže - tkanina". Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004.**
- [4] Neckář, B.: **Fabric 2 - Models and geometry, textbook, Liberec**
- [5] Kolčavová Sirková, B.: **Vybrané partie ze struktury tkanin, Výukové materiály, FT, TUL 2002**
- [6] Hu, J.: **Structure and mechanics of woven fabrics, Woodhead publishing, England, 2004.**
- [7] Saville, B. P.: **Physical testing of textiles, Woodhead publishing, England, 1999.**
- [8] **Normy.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Iva Mertová**
Katedra technologií a struktur
Konzultant diplomové práce: **Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.**
Katedra technologií a struktur

Datum zadání diplomové práce: **26. dubna 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **5. ledna 2018**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. listopadu 2017

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 4.1.2018

Podpis: 

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce paní Ing. Ivě Mertové za konzultace, odborné vedení práce a cenné rady, které mi poskytla během zpracovávání práce.

Poděkování náleží také mé rodině za trpělivost a podporu po dobu studia.

Anotace

Cílem této diplomové práce bylo na sadě devíti experimentálních tkanin provést měření a hodnocení tloušťky tkanin třemi dostupnými experimentálními metodikami, stanovit vliv přítlaku na hodnotu tloušťky tkanin a metodiky porovnat. Tloušťka byla hodnocena také na základě teoretických modelů. V teoretické části práce jsou uvedeny přístroje pro měření tloušťky tkaniny a popsány základní parametry definující plošnou a prostorovou geometrii tkanin. Práce se věnuje také modelování křivek závislosti tloušťky na přítlaku.

Klíčová slova:

Tkanina, tloušťka tkaniny, tloušťkoměr, přítlak, teoretické modely, obrazová analýza

Annotation

The aim of this diploma thesis was to determine the influence of the pressure on the value of the fabric thickness and to compare the methodology based on the results of the experimental methods. Thickness was also evaluated on the basis of theoretical models. In the theoretical part of the thesis there are devices for measuring the thickness of fabrics and basic parameters defining the surface and spatial geometry of fabrics are described. The thesis also deals with the modeling of curves of thickness dependence on the pressure.

Key words:

Woven fabric, fabric thickness, thickness meter, pressure, theoretical models, image analysis

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	8
Úvod.....	11
1 Struktura tkaniny	12
1.1 Průměr nití.....	12
1.2 Příčná deformace	14
1.3 Vazba tkaniny.....	15
1.4 Dostava	17
1.5 Zvlnění příze ve tkanině.....	17
2 Tloušťka tkaniny	19
2.1 Výpočet tloušťky tkaniny.....	20
2.1.1 Vybrané modely geometrie tkaniny	20
2.1.2 Odhad tloušťky tkaniny.....	22
2.2 Přístroje pro měření tloušťky tkanin	23
2.3 Vliv přítlaku na tloušťku tkaniny	32
3 Literární řešerše	34
4 Zpracování experimentálních dat	39
5 Měření tloušťky tkaniny	42
5.1 Tkaniny pro testování	42
5.2 Měření na tloušťkoměru Mesdan	43
5.3 Měření na KES – FB3.....	46
5.4 Měření z měkkých řezů tkaniny pomocí obrazové analýzy	48
5.5 Diskuse výsledků.....	51
6 Predikce tloušťky tkaniny.....	53
6.1 Výpočet tloušťky tkaniny z parametrů naměřených z řezů.....	53
6.2 Modelování křivek závislosti tloušťky na přítlaku	56
6.2.1 Výpočet na základě hodnot naměřených na KES	57
6.2.2 Výpočet na základě hodnot naměřených na tloušťkoměru Mesdan a v makru ...	58
6.3 Zhodnocení výsledků.....	59
Závěr	62
Seznam použité literatury	65
Seznam příloh.....	69
Seznam tabulek.....	70
Seznam obrázků.....	71

Seznam symbolů a zkratk

a [mm]	šířka nitě
A [N/m]	materiálová konstanta
b [mm]	výška nitě
d [mm]	průměr příze
D [mm]	součet kruhových průměrů nití
D_c [pn/100 mm]	celková dostava
d_o [mm]	průměr osnovní nitě
D_o [pn/100 mm]	dostava osnovy
d_u [mm]	průměr útkové nitě
D_u [pn/100 mm]	dostava útku
d_s [mm]	substanční průměr příze
d_{str} [mm]	střední průměr nití ve tkanině
F [N]	zatěžující síla
h_o [mm]	výška vazné vlny osnovy
h_u [mm]	výška vazné vlny útku
H [-]	hloubka pivotu
K [-]	bezrozměrná konstanta s typickou hodnotou 0,01
n_o [-]	počet osnovních vazných bodů ve střídě
n_u [-]	počet útkových vazných bodů ve střídě
p_m [Pa]	měrný tlak

P [kPa]	přítlak
P_L [-]	pivotová polosuma
q [-]	interkvartilové rozpětí
r [mm]	poloměr příze
R [-]	korelační koeficient
R_L [-]	pivotové rozpětí
S [m ²]	plocha čelisti tloušťkoměru
S_p [mm]	substanční průřez příze
t [mm]	tloušťka tkaniny
t_{\min} [mm]	minimální tloušťka tkaniny
t_{\max} [mm]	maximální tloušťka tkaniny
t_0 [mm]	tloušťka vlákenného materiálu za nulového přítlaku
t' [mm]	limitní hodnota tloušťky za maximálního přítlaku
T [tex]	jemnost příze
T_0 [mm]	tloušťka tkaniny měřená na KES při velmi nízkém přítlaku
T_m [mm]	tloušťka tkaniny měřená na KES při maximálním přítlaku
v [-]	počet osnovních a útkových úseků ve střídě
W [g/m ²]	plošná hmotnost tkaniny
WC [N/m ²]	stlačující energie na jednotku plochy – KES
X_D [-]	dolní pivot
X_H [-]	horní pivot

Y [Pa]	Youngův modul pružnosti pro dané vlákno
z_o [-]	počet zakřížených úseků osnovy
z_u [-]	počet zakřížených úseků útku
κ [-]	koeficient provázání tkaniny
κ_o [-]	koeficient provázání osnovy
κ_u [-]	koeficient provázání útku
α [-]	rozšíření nitě
β [-]	stlačení nitě
ρ [kg.m ⁻³]	měrná hmotnost
μ [-]	zaplnění příze
λ_o [-]	relativní výška vazné vlny osnovy
λ_u [-]	relativní výška vazné vlny útku

Úvod

Hlavním tématem této práce je tloušťka tkaniny. Tloušťka je důležitý parametr, který ovlivňuje jak mechanické, tak užité vlastnosti tkanin, například prodyšnost a tepelně izolační vlastnosti. Tloušťka tkaniny není stabilní parametr, je ovlivněná dalšími parametry příze a tkaniny. Složitě struktura tkaniny se věnuje mnoho vědeckých prací a bylo navrženo několik modelů, které umožňují predikci tloušťky tkaniny a dalších parametrů. Tloušťka tkaniny se měří pomocí tloušťkoměrů, při měření tloušťky je důležitý přítlak mezi čelistmi tloušťkoměru. Vliv přítlaku na hodnotu tloušťky tkaniny je velký.

Teoretická část práce popisuje parametry příze a struktury tkaniny, které ovlivňují tloušťku tkaniny, a také se zabývá přímo definicí tloušťky tkaniny. V další kapitole jsou popsány modely geometrie tkaniny a z nich odvozené možnosti výpočtů tloušťky. Dále teoretická část práce obsahuje výčet různých typů tloušťkoměrů včetně principu jejich měření a v literární rešerši přehled několika dosavadních výzkumů týkajících se tloušťky tkaniny.

Cílem experimentální části práce bylo provést hodnocení tloušťky sady experimentálních tkanin dostupnými metodikami a stanovit vliv přítlaku na hodnotu tloušťky tkanin. Pro hodnocení tloušťky tkaniny byly využity tři metodiky, měření tloušťky pomocí tloušťkoměru Mesdan, měření tloušťky pomocí systému KES a metodika zjišťování tloušťky z řezů tkaniny pomocí obrazové analýzy. Dále se experimentální část věnuje výpočtu tloušťky tkaniny a modelování křivek závislosti tloušťky tkaniny na přítlaku tloušťkoměru.

1 Struktura tkaniny

Tkanina je plošný textilní útvar, který vzniká vzájemným provázáním obvykle dvou soustav nití, osnovní a útkové, které jsou na sebe vzájemně kolmé. Soustava osnovních nití je vedena v podélném směru délky tkaniny, tedy ve směru výroby tkaniny a útková soustava v příčném směru šířky tkaniny, tedy kolmo ke směru výroby tkaniny. Hodnocení struktury tkaniny lze provádět na základě plošné a prostorové geometrie. Plošná geometrie určuje základní parametry tkaniny. Prostorová geometrie se obvykle znázorňuje separátně ve dvou na sebe kolmých řezech. Horní strana tkaniny, tvořící obvykle vnější stranu oděvu, se nazývá líc a spodní strana tkaniny rub.

[1], [2], [7]

V této kapitole jsou definovány vybrané parametry přízí a tkanin, které ovlivňují tloušťku tkanin. Jedná se o materiál a průměry osnovních a útkových nití, dostavy osnovních a útkových nití, vazbu tkaniny a relativní výšky vazné vlny osnovní a útkové příze.

1.1 Průměr nití

Průměr osnovních a útkových nití d_o , d_u je důležitým parametrem, který lze ale obtížně definovat, protože průměr nitě není téměř nikdy kruhový a je také obtížné definovat rozhraní tělo příze – chlupatost.

[4]

Substanční průměr

Tento průměr je teoreticky nejmenší možný průměr příze za předpokladu, že by vlákna příze byla stlačena do homogenního válce o ploše substančního průřezu S , tedy všechen vzduch z příze by byl vytlačen.

[6]

$$d_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}} \quad (1)$$

Průměr příze a zaplnění

Zaplnění $\mu \in \langle 0;1 \rangle$ lze definovat jako podíl objemu vláken k celkovému objemu vláknenného útvaru nebo také jako podíl plochy vláken v příčném řezu příze k celkové ploše příčného řezu.

Zaplnění vyjádřené v závislosti na poloměru příze r se nazývá radiální zaplnění $\mu(r)$. Zaplnění lze také za předpokladu zanedbání hmotnosti vzduchu vyjádřit jako podíl hustoty příze γ k měrné hmotnosti vláken ρ .

Průměr příze d je vždy smluvní hodnotou a bývá nahrazen průměrem válce, v němž je soustředěna převážná část vláken. Mezi průměrem d a substančním průměrem d_s platí tyto vztahy:

$$d_s < d \quad (2)$$

$$\mu = \frac{d_s^2}{d^2} = \frac{4S}{\pi d^2} = \frac{4T}{\pi d^2 \rho}$$

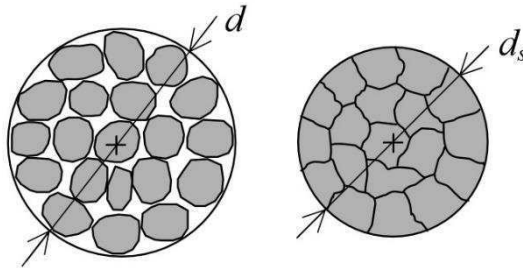
Průměr osnovní nitě nebo útkové nitě [7] je definován dle vztahu:

$$d_{o,u} = \sqrt{\frac{4T_{o,u}}{\pi \rho \mu}} \quad (3)$$

Střední průměr nitě [7] je dán jako:

$$d_{str} = \frac{d_o + d_u}{2} \quad (4)$$

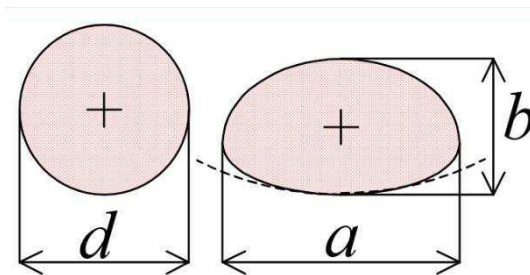
Experimentálně určený průměr příze se označuje jako efektivní průměr příze d_{ef} , lze ho určit jako hodnotu odpovídající průměrnému radiálnímu zaplnění 0,15 podle IN 22-10301/01 nebo hodnotu odpovídající 50 % křivky zčernání podle IN 22-108-01/01. [6]



Obrázek 1: Průměr d a substanční průměr d_s [6]

1.2 Příčná deformace

Ve vazném bodu je výchozí volná nit o průměru d deformována do zploštělého tvaru, který je možné charakterizovat dvěma rozměry, šířkou nitě a a výškou nitě b viz obr. 2. Obvykle platí $a > d$ a $b < d$. Osa zdeformované nitě se nachází v polovině vzdáleností a a b . [3]



Obrázek 2: Výchozí volná nit o průměru d a zdeformovaná nit o rozměrech a , b [3]

Z uvedených hodnot d , a , b je možné vyjádřit:

Rozšíření nitě:

$$\alpha = \frac{a}{d} \quad (5)$$

Stlačení nitě:

$$\beta = \frac{b}{d} \quad (6)$$

[3]

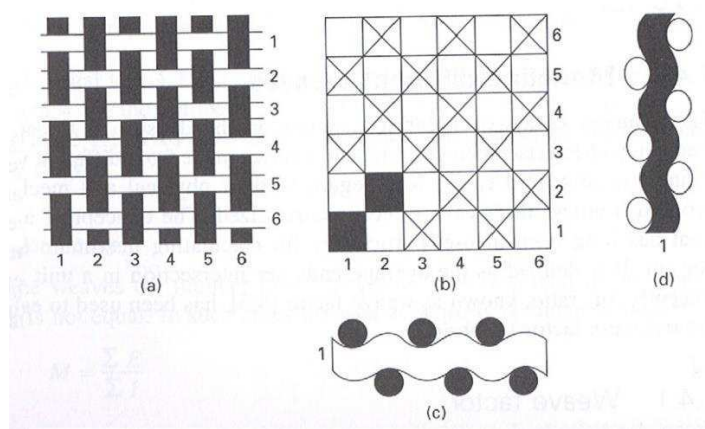
1.3 Vazba tkaniny

Základní jednotkou vazby tkaniny je vazný bod, tedy místo překřížení osnovní a útkové nitě. Vazný bod není bod, ale plocha, která je rovna součinu rozteče osnovní a útkové nitě. U osnovního vazného bodu leží osnovní nit nad útkovou a u útkového vazného bodu leží útková nit nad osnovní. Opakování vazných bodů se nazývá vazba tkaniny.

[1], [2], [4]

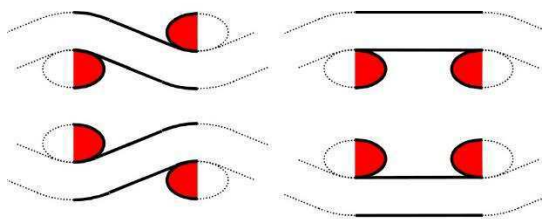
Vazba tkaniny je zaznamenávána v technické vzornici, mimo vazby jsou ve vzornici zaznamenány i další technologické údaje, například návod do paprsku, návod do listového brda, závěs listů, program pro zvedání listů a také vazba v krajích tkaniny. Osnovní vazný bod se v rastru značí jako vyplněné políčko tmavou barvou a políčko útkového bodu zůstává bílé, nevyplněné. Opakující se strukturální jednotka tkaniny se nazývá střída vazby.

[2], [4]



Obrázek 3: (a) plátňová vazba (b) záznam plátňové vazby (c) podélný řez (d) příčný řez[1]

Mezi základní vazby patří vazba plátňová, keprová a atlasová. Tkaniny testované v této diplomové práci jsou všechny pouze v plátňové vazbě. Tato vazba má nejjednodušší opakování provázání, nejhustší provázání, proti každému osnovnímu bodu je ve všech směrech umístěn útkový vazný bod a naopak. Střída vazby je čtvercová s rozměry 2 x 2 vazné body. Plátno patří mezi tzv. symetrické vazby, tyto vazby umožňují jednotný a specifický vzhled tkaniny, lze u nich také lépe odhadnout jejich vlastnosti. [1], [2], [4]



Obrázek 4: Zakřížené a nezakřížené úseky [2]

Část nitě spojující dva vazné body se nazývá úsek nitě. Úseky mohou být zakřížené, spojující jeden osnovní a jeden útkový vazný bod nebo nezakřížené, spojující dva osnovní nebo dva útkové vazné body. Z každého vazného bodu vychází právě jeden osnovní a jeden útkový úsek. Počet všech úseků ve střídě vazby je možné definovat jako:

$$2v = 2n_o n_u \quad (7)$$

$n_o n_u$ - počet vazných bodů ve střídě vazby, v - počet všech úseků ve střídě vazby [2]

Plátňová vazba je složena pouze ze zakřížených úseků. Podíl skutečně zakřížených úseků vůči všem úsekům vyjadřují koeficienty provázanosti κ , které je možné vyjádřit jak zvlášť pro osnovu a útek, tak i pro celou tkaninu.

Koeficient provázanosti osnovy:

$$\kappa_o = \frac{z_o}{v} \leq 1 \quad (8)$$

Koeficient provázanosti útku:

$$\kappa_u = \frac{z_u}{v} \leq 1 \quad (9)$$

Koeficient provázanosti tkaniny:

$$\kappa = \frac{\kappa_o + \kappa_u}{v} \quad (10)$$

z_o, z_u - počet zakřížených úseků osnovy, útku, v - počet osnovních a útkových úseků ve střídě.

Pro plátňovou vazbu platí:

$$\kappa_o = \kappa_u = \kappa = 1 \quad (11)$$

Plátňová vazba má tedy nejvyšší koeficienty provázanosti, u všech dalších vazeb jsou hodnoty koeficientů nižší. [2]

1.4 Dostava

Dostava je hustota osnovních a útkových nití ve tkanině, vyjadřuje se jako počet nití na určitou délku. Dostava tkaniny je definovaná zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkovou soustavu nití s označením např.: D_o [pn/100 mm], D_u [pn/100 mm]. Je možné definovat dostavu celkovou: [2], [4], [5]

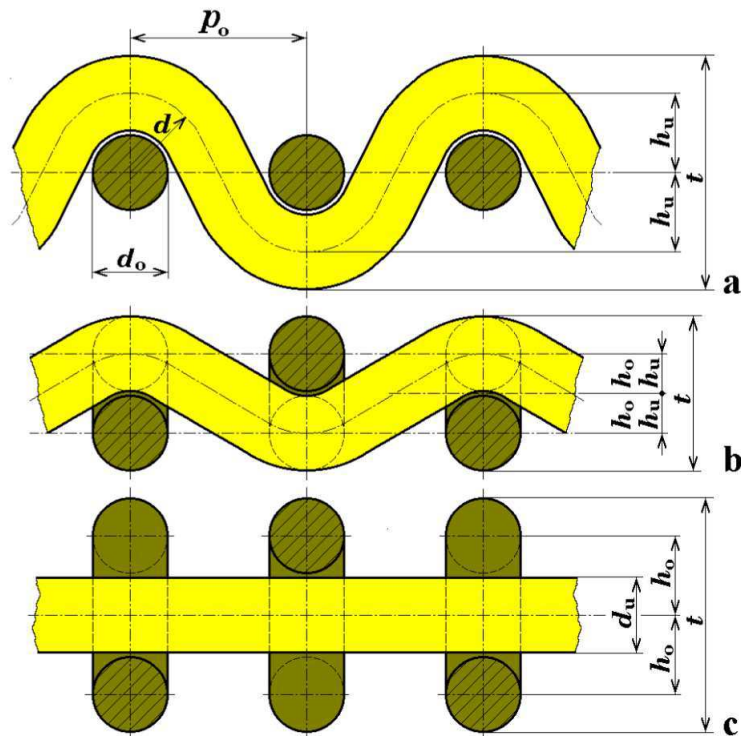
$$D_c = D_o \cdot D_u \quad (12)$$

1.5 Zvlnění příze ve tkanině

Zvlnění lze definovat jako změnu geometrie výchozí „volné“ nitě způsobenou přechodem do tkaniny. Níť, která je původně rovná, přímková, se zvlíní provázáním s ostatními nitěmi. Pro zvlnění je důležitá podmínka vzájemného dotyku nití. Zvlnění osnovní a útkové nitě je ovlivněno různými dostavami, různým materiálem osnovy a útku, mechanickým namáháním tkaniny apod. [3], [4]

Mírou zvlnění nitě je výška vazné vlny osnovy h_o a útku h_u , tedy největší vzdálenost osy nitě od střední roviny tkaniny. Na obrázku č. 5 jsou tři vybrané případy zvlnění:

- a) Maximální zvlnění útku, osnova je přímá, nezvlněná. Pokud je $d_o = d_u$, platí že $h_o = 0$ a $h_u = d$ a tloušťka tkaniny t odpovídá třem průměrům nitě $t = 3d$.
- b) Vyrovnaná tkanina, osnovní a útkové body leží v jedné rovině, tkanina bude mít menší tloušťku $t = 2d$.
- c) Tento případ představuje nezvlněný útek a maximálně zvlněnou osnovu, je to v podstatě kolmý pohled na variantu a), platí stejné vztahy jako u případu a) s vyměněnými indexy (osnova je vyměněna za útek). [3], [4]



Obrázek 5: Zvlnění: a) maximální zvlnění útku, b) vyrovnaná tkanina, c) maximální zvlnění osnovy [4]

Z výšek vazné vlny lze zavést:

Relativní zvlnění osnovy:

$$\lambda_o = \frac{h_o}{h_o + h_u} \quad (13)$$

Relativní zvlnění útku:

$$\lambda_u = \frac{h_u}{h_o + h_u} \quad (14)$$

[3]

Relativní zvlnění v případě situací na obrázku 5:

- a) Relativní zvlnění osnovy $\lambda_o = 0$, relativní zvlnění útku $\lambda_u = 1$
- b) Relativní zvlnění osnovy $\lambda_o = 0,5$, relativní zvlnění útku $\lambda_u = 0,5$
- c) Relativní zvlnění osnovy $\lambda_o = 1$, relativní zvlnění útku $\lambda_u = 0$

2 Tloušťka tkaniny

Definice: tloušťka textilie je kolmá vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami, přičemž na textilií působí přítlak 1 kPa nebo nižší. Tloušťku lze také definovat jako kolmou vzdálenost mezi rubem a lícem tkaniny. [14], [27]

Tloušťka je jeden ze základních parametrů tkaniny, přináší kritický rozměr v mnoha aplikacích a je klíčovou charakteristikou při výběru a použití produktů, speciálně když se jedná o komfort. Ovlivňuje zejména prodyšnost a tepelně izolační vlastnosti. Proto je nutné specifikovat tloušťku při výběru tkanin. [10], [11], [12], [24]

Nicméně tento parametr je těžké změřit. Tloušťka není stabilní parametr, protože na přízi působí různé vlivy během tkaní a finálních úprav. Tloušťka by měla být měřena na základě předem stanoveného tlaku, čím vyšší je tlak vyvíjený na tkaninu, tím menší je tloušťka. Hodnota tloušťky tedy bude jiná, když bude měřená volně, bez přítlaku nebo bude-li měřená mezi čelistmi. Tloušťka materiálu se mění s hodnotou měrného tlaku, použitého v průběhu zkoušky. Z tohoto důvodu by tlak měl být vždy uveden ve výsledcích zpráv a zkušební metoda by měla obsahovat tabulku doporučených tlaků pro různé typy textilií. Měření tloušťky textilií je přesně dáno normou ČSN EN ISO 5084 (800844) Textilie - Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků.

Velikost přitlačných patek a doba, která uplynula před čtením parametrů, mají rovněž vliv na přesnost měření tloušťky. Velikost přitlačné patky, která se používá u většiny textilií je v průměru 25 až 28 mm. [11], [12], [13], [27]

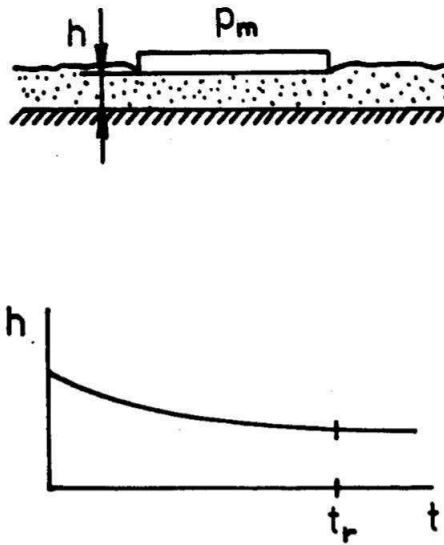
Jak bylo uvedeno výše, důležitým parametrem při měření tloušťky je přítlak mezi čelistmi tloušťkoměru. Je dán plochou měřicí čelisti a silou, kterou čelist na textilií působí. Lze ho definovat jako měrný tlak:

$$p_m = \frac{F}{S} \quad [Pa] \quad (15)$$

kde F je zatěžující síla v N a S je plocha čelisti v m^2 .

Tento přítlak je vyrovnáván vnitřním odporem v textilií. Kdyby byla tloušťka měřena ihned po vložení přítlaku, bylo by dosaženo jiných výsledků než při měření po delším

čase. Princip stanovení tloušťky a průběh závislosti tloušťky h na čase t po vložení přtlaku je patrný z obrázku č. 6.



Obrázek 6: Princip stanovení tloušťky plošné textilie h a závislost tloušťky h na čase t po vložení přtlaku p_m [27]

Normy pro měření tloušťky se liší, podle zahraniční normy ASTM Standard D 1777 by tloušťka většiny tkaných a pletených textilií měla být měřena za tlaku vrchní desky 4, 14 kPa. Přikrývky a vlasové textilie by měly být měřeny za nižšího tlaku (0,7 kPa), protože vyšší zatížení by je mohlo poškodit a nebylo by možné poskytnout informace o jejich skutečné tloušťce. Hodnoty tloušťky jsou uváděny v délkových jednotkách, milimetry nebo tisíciny palce. [13]

V praxi se jako indikátor tloušťky používá plošná hmotnost. [10]

2.1 Výpočet tloušťky tkaniny

Hodnotu tloušťky tkaniny lze vypočítat několika způsoby. Všechny vztahy pro výpočet tloušťky jsou založeny na parametrech vycházejících z geometrických modelů tkaniny. Jedná se zejména o průměr příze a parametry popisující zvlnění příze ve tkanině.

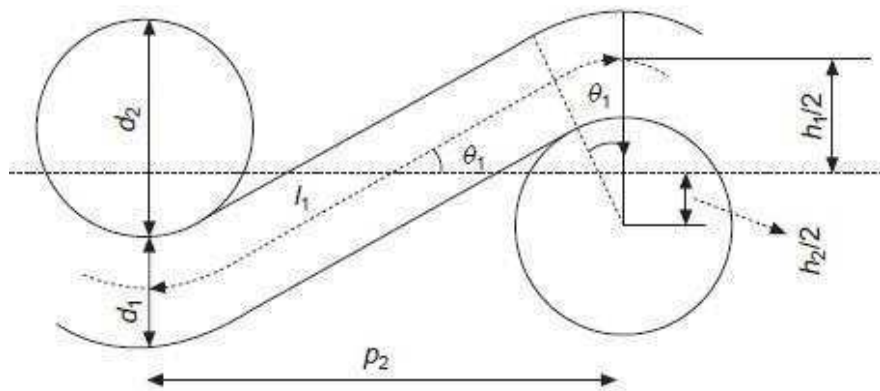
2.1.1 Vybrané modely geometrie tkaniny

Tkaniny nejsou pravidelné struktury a nejsou schopné odpovídat matematickým formám založených na geometrii. Je ale možné idealizovat obecný charakter materiálů do jednoduchých geometrických forem a fyzikálních parametrů, aby se dospělo k

matematickým odpočtům. Pro reprezentaci konfigurace nití ve tkanině byly vytvořeny různé formy geometrie od různých výzkumníků. [1], [9]

Peircův model

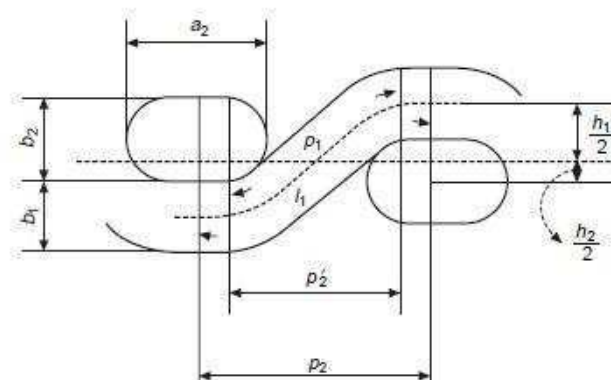
Tento model skládající se z dvojrozměrné buňky tkaniny (nebo jejího opakování) byl vytvořen navrstvením lineárních a kruhových segmentů příze k dosažení požadovaného tvaru. Tento model plátňové vazby by bylo možné získat za předpokladu, že příze mají kruhový průřez a jsou vysoce nestlačitelné, ale zároveň dokonale flexibilní tak, aby každá sada přízí měla rovnoměrné zakřivení způsobené tvarem kruhového průřezu provázání nití.



Obrázek 7: Peirceova geometrie příčného řezu tkaniny v plátňové vazbě [9]

Kempův model

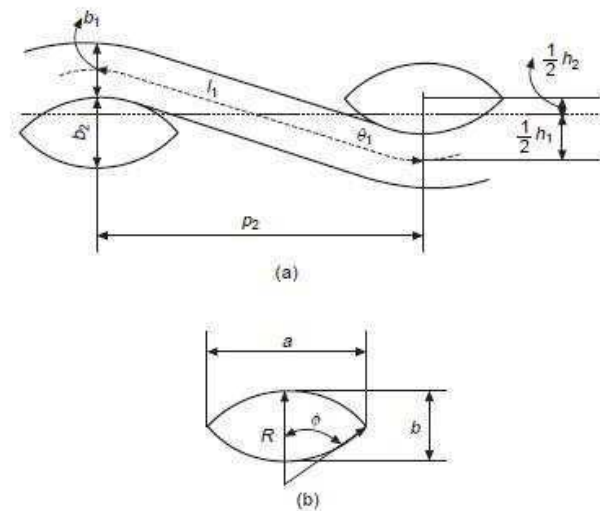
Kemp navrhl geometrii tzv. atletické dráhy vycházející z výše zmíněného Peirceova modelu, modifikoval tvar průřezu, který se skládá z obdélníku ohraničeného dvěma půlkruhy.



Obrázek 8: Kempův model pro plátňovou vazbu [9]

Hearleova geometrie čočky

Geometrie čočky byla poprvé popsána Hearlem a Shanahanem v článku Energetická metoda pro výpočty v mechanice textilií v roce 1978. [9]



Obrázek 9: Hearleova čočkovitá geometrie pro plátňovou vazbu [9]

2.1.2 Odhad tloušťky tkaniny

Tloušťka tkaniny je dána vyšší z hodnot t_o nebo t_u :

$$t_o = h_o + d_o, \quad t_u = h_u + d_u \quad (16)$$

Za předpokladu kruhových průměrů příze:

$$t = \max(t_o, t_u) \quad (17)$$

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.2 ve vazném bodě, dochází ke zploštění příze vlivem příčné deformace. Tloušťku tkaniny lze na základě parametru výšky zploštělé nitě b definovat jako:

$$t_o = h_o + b_o \quad t_u = h_u + b_u \quad (18)$$

Minimální tloušťka t_{min} odpovídá součtu kruhových průměrů příze D :

$$t_{min} = h_o + d_u = h_o + d_u = \frac{(h_o + d_o + h_u + d_u)}{2} = D \quad (19)$$

Tento případ platí pro vyrovnanou tkaninu, viz obr. 5 b.

Parametry:

d_o ; d_u - volný (kruhový) průměr osnovní / útkové nitě

D - suma kruhových průměrů ($d_o + d_u$)

b_o ; b_u - výška zploštělé osnovní / útkové nitě

h_o ; h_u - výška vazné vlny osnovní /útkové nitě [9]

Výpočet tloušťky tkaniny zahrnující příčnou deformaci a zvlnění:

Další vztah pro odhad tloušťky tkaniny zahrnuje příčnou deformaci nití, vliv vazby a zvlnění osnovních nití.

$$t = \left[(d_o + d_u) + \left| \left[\frac{d_o + d_u}{2} \cdot \lambda_o - \frac{d_o + d_u}{2} \cdot (1 - \lambda_o) \right] \right| \right] \cdot f^m \cdot \beta \quad (20)$$

d_o - průměr osnovní příze [mm]

d_u - průměr útkové příze [mm]

β - zploštění příze v průřezu u efektivního průměru

λ_o - zvlnění osnovy

f^m - koeficient provázání [8]

2.2 Přístroje pro měření tloušťky tkanin

K měření tloušťky jsou používány různé typy tloušťkoměrů, principem měření tloušťky je ale vždy změření vzdálenosti mezi dvěma čelistmi, mezi kterými je textilie vložena. Zkušební vzorky by podle normy ČSN EN ISO 5084 (800844) měly být odebírány minimálně ve vzdálenosti 150 mm od kraje tkaniny v diagonálním směru. [27], [28]

Ruční tloušťkoměr

Nejjednodušším a nejmenším typem zařízení pro měření tloušťky textilií je ruční tloušťkoměr na obr. č. 10. Tyto tloušťkoměry mají dotykové čelisti neboli měřicí doteky, které se liší v závislosti na měřeném materiálu. Dotykové čelisti, určené pro textilní materiály, jsou tvořeny dvěma kruhovými plochami, nejčastěji je výrobcí uváděna plocha čelistí 20 cm² a přítlak čelistí 1 kPa.



Obrázek 10: Ruční tloušťkoměr s analogovým displejem [16]

Ruční tloušťkoměry měří tloušťku v různém rozmezí, nejčastější je 0 – 10 mm, 0 – 20 mm nebo 0 – 30 mm, s přesností na 0,01 mm. Přístroje jsou vyráběny s analogovým nebo digitálním displejem. Dalším parametrem ručních tloušťkoměrů je hloubka čelistí, nejčastěji jsou výrobci uváděny hodnoty od 30 do 200 mm. [15], [16]

Tloušťkoměr Mesdan

Tloušťkoměr od výrobce Mesdan, využívaný pro měření tloušťky tkanin v této diplomové práci, je přístroj měřící s velkou přesností a rozlišením. Použití přístroje je snadné. Přístroj umožňuje měření tloušťky v rozsahu mezi 0 až 10 mm s přesností na 0,01 mm. Tloušťka je měřena podle mezinárodních norem DIN, EN, ISO, ASTM atd. [26]



Obrázek 11: Tloušťkoměr Mesdan

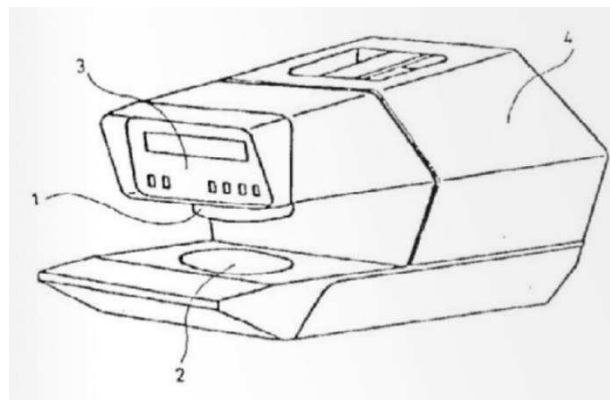
Hlavními rysy přístroje jsou manuálně ovládaná přitlačná patka s pístem, samostatný měřicí blok uzavřený proti vnějším vlivům, pro nejvyšší přesnost a opakovatelnost a tuhé pouzdro rámu. LCD displej přístroje umožňuje přepínat jednotky mezi milimetry a palci. Průměr přitlačné patky je 50,42 mm a plocha patky 20 mm². Tloušťkoměr Mesdan umožňuje standardně měřit tloušťku plošných textilií pod přitlakem 0,1 kPa a 1 kPa.

[26]

Alambeta

Tento přístroj na obr. č. 12 umožňuje měřit termofyzikální parametry textilií. Podstatou funkce přístroje je matematické zpracování časového průběhu tepelných toků od neustáleného až do ustáleného stavu, které v důsledku rozdílných teplot spodního a horního povrchu prochází zkoušenou textilií. Alambeta je poloautomaticky řízena počítačem a umožňuje zároveň s měřením vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů, obsahuje také autodiagnostický program zabraňující chybným měřením. Procedura měření včetně statistického zpracování dat trvá méně než 3 – 5 minut. Tloušťka textilie je také jedním z měřených parametrů, je měřena v mm a značí se *h*. Měřicí hlavice přístroje působí přitlakem 400 Pa.

[17], [18]



Obrázek 12: Alambeta: (1) vyhřívaná měřicí hlavice, (2) měřicí podložka, (3) ovládací panel s displejem (4) vyhodnocovací část – umožňuje pohyb měřicí hlavy a její definovaný přitlak. [17]

Schiefer Compressometer

Schiefer Compressometer je zvláště vhodný pro hodnocení tloušťky, stlačitelnosti a odolnosti většiny materiálů, kde jsou požadována pozorování na více než jednom zatížení tlakem. Mezi materiály, pro které je zvláště vhodný, lze zahrnout všechny textilie, kaučuk, plsti, netkané textilie, papír a podobné materiály. Označuje tloušťku přímo pro

konkrétní použitý tlak. Vynesením tloušťky při určitém zvyšování a snižování tlaku, může být získána křivka závislosti tloušťky na tlaku.

Velké ústí přístroje umožňuje vzít relativně velké vzorky. Přístroj je bezkonkurenční pro jednoduchost použití a vysokou přesnost, může být použit pro velmi široké škály materiálů. Přístroj je k dispozici s analogovým číselníkem nebo digitálním indikátorem.

[19], [20]



Obrázek 13: Schiefer Compressometer [20]

KES (Kawabata Evaluation System)

System KES vynalezený Sueo Kawabatou umožňuje přesné a reprodukovatelné měření nízkonapěťových mechanických vlastností tkaniny. Umožňuje rozsáhlé srovnání experimentálních výzkumů oděvních textilií inženýry a vědci po celém světě a efektivní komunikaci mezi různými výrobními odvětvími, kupujícími a oděvními návrháři.

[9], [21]

Testování systémem KES je velmi komplexní. V jednom systému může být získáno pět grafů a 16 parametrů pro osnovní a útkové směry, které zahrnují téměř všechny aspekty fyzikálních vlastností tkaniny. Testování je velmi podobné tomu, co se děje s textiliemi při zpracovávání, střihání, tavení, šití, nebo tvarování a opotřebování. Vzorky stejné velikosti (20 cm x 20 cm) mohou být testovány prostřednictvím celého systému. Systém je vysoce automatizovaný a výsledky testů mohou být zobrazeny přesně s grafy a vlastnostmi parametrů v připojeném počítači. Systém KES se skládá ze čtyř laboratorních přístrojů měřících tah a smyk, ohýbání, kompresi a povrchové vlastnosti.

Přístroj KES - FB3 je určen pro měření komprese. Tento tester se také využívá pro měření tloušťky tkaniny. Vzorek pro testování má rozměry 2,5 x 2 cm a účinná oblast tlaku je kruhová o ploše 2 cm². Při testování komprese se standardní plocha textilie podrobí zatížení pod známým tlakem ve směru její tloušťky a zatížení se postupně uvolňuje. Zátěž je aplikována pomocí pohyblivého pístu, který se pohybuje nahoru a dolů a stlačuje tkaninu na stacionární plošině. Stlačitelnost tkaniny je možno získat výpočtem procentuálního snížení tloušťky tkaniny, které vyplývá ze zvýšení bočního tlaku (od 50 Pa do 5 kPa). Kromě toho, je vztah mezi stlačující deformací a napětím automaticky zaznamenáván XY rekordérem nebo počítačem spojeným s testerem. Na obrázku 15 je ukázka typické kompresní křivky, získané měřením tloušťky na KES – FB3. [9], [21]



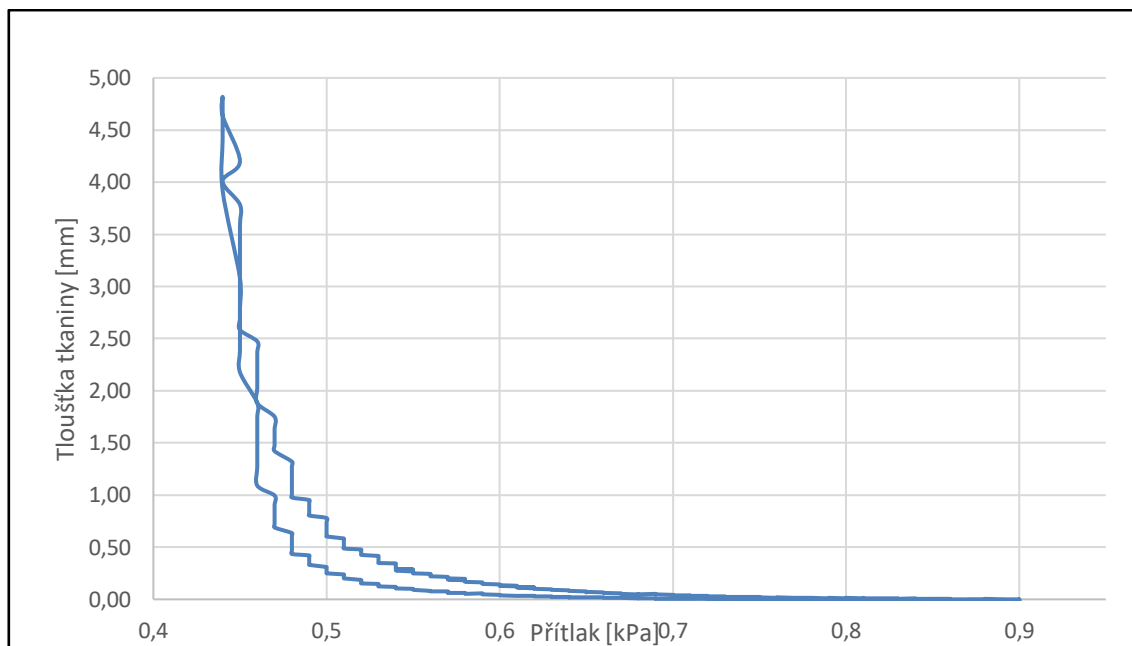
Obrázek 14: Přístroj KES – FB3 [30]

Kompresní parametry:

T₀ - tloušťka tkaniny (mm), při velmi nízkém přitlaku 50 Pa

T_m - tloušťka tkaniny (mm) při maximálním přitlaku 5 kPa

WC - stlačující energie na jednotku plochy [N/m²]



Obrázek 15: Ukázka typické kompresní křivky, získané měřením tloušťky na KES – FB3, zde pro experimentální tkaninu 9/40/15

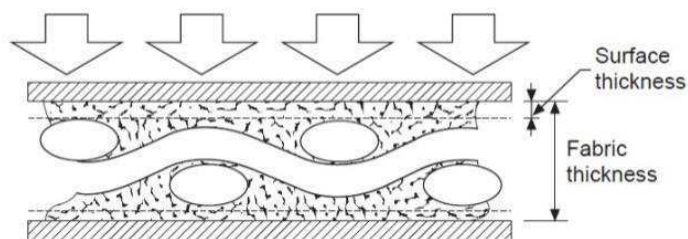
FAST (fabric assurance by simple testing)

FAST je sada nástrojů a zkušebních metod vyvinutá CSIRO Division of Wool Technology (Austrálie) pro měření vlastností, které mají vliv na výkon šití a opotřebení oděvů. Sada FAST se skládá ze tří jednoduchých přístrojů, které umožňují měřit kompresi, ohýbání a rozšíření, dále obsahuje zkušební metody pro testování rozměrové stálosti. Vzorek textilie pro zkušební testy a test rozměrové stálosti musí mít určitou velikost. V praxi je pro provedení celé řady testů dostačující asi půl metru textilie o plné šíři.

FAST byl vyvinut s cílem poskytnout průmyslu jednoduchý, robustní a relativně levný systém pro objektivní měření vlastností tkanin důležitých v oděvní výrobě. K zajištění bezchybných výpočtů je systém připojen k počítači, kde se měření zaznamenávají a přímo se zobrazují na monitoru.

FAST-1

Při zušlechťovacích procesech je tkanina stlačována, stupeň stlačení ovlivňuje tloušťku povrchové vrstvy tkaniny a také její vzhled. FAST-1 na obrázku 17 je měřič komprese, který byl vyvinut pro měření tloušťky tkaniny a kromě toho variability a trvanlivosti tloušťky povrchové vrstvy tkaniny.



Obrázek 16: Princip měření tloušťky tkaniny a povrchové vrstvy přístrojem FAST-1 [9]

Přístroj je schopný měřit s rozlišením na mikrometry na dvou předem stanovených zátěžích, a tím měří i tloušťku vrstvy. Povrchová vrstva je definována jako rozdíl v tloušťce tkaniny na obou předem určených zátěžích 0,2 kPa a 10 kPa. Princip měření je znázorněn na obrázku 16. Tlak, při kterém se měří tloušťka, je řízen přidáváním závaží do odměrky. Pro zjištění odolnosti povrchové vrstvy se měření opakuje poté, co byla tkanina uvolněna parou (v otevřeném lisu po dobu 30 sekund) nebo vodou (20 °C po dobu 30 minut). Zvýšení tloušťky povrchové vrstvy tkaniny dosažené tímto způsobem se podobá zvýšení, ke kterému dochází během procesů v oděvní výrobě. [9], [21], [22]



Obrázek 17: FAST – 1 [29]

FabricEye®

FabricEye® byl vynalezen na Polytechnické univerzitě v Hong Kongu.

Jedná se o inteligentní a komplexní kontrolní systém povrchu tkaniny, který se zaměřuje na řešení nesouladu vytvořeného různým subjektivním hodnocením. Původním cílem bylo vyhodnocení žmolkování.

Princip FabricEye: přístroj se skládá ze světelných zdrojů, mechanismu pro umístění vzorku, mechanismu pro pohyb vzorku, vysokorychlostní CCD kamery, balíčku se

softwarem pro obrazovou analýzu, osobního počítače a speciálně navržené kontrolní jednotky.

FabricEye® umožňuje produkovat trojrozměrné mapy povrchu tkaniny a extrahovat významné digitální funkce a dát kvantitativní popis vzhledu tkaniny. Může provádět známkování, stejně jako zkušený hodnotitel. [9]

Postup měření: prvním krokem je umístění vzorku na pás přístroje, následuje snímání obrazů vzorku a vytvoření obrazové mapy, další krok zahrnuje automatické vyvážení pozadí, automatickou prahovou hodnotu, funkci automatické extrakce a související techniky analýzy obrazu. Vlastnosti povrchu tkaniny jsou přesně měřeny. V posledním kroku jsou automaticky hlášeny statistické výsledky z těchto funkcí a uživatel je může snadno otevřít ve speciální databázi nebo je exportovat do dokumentu.

Jednou z důležitých funkcí poskytovaných FabricEye® je analýza drsnosti povrchu. Měření drsnosti na tkaninách charakterizuje povrch tkaniny z hlediska povahy a vlastností. Analýza zahrnuje následující parametry: průměrná tloušťka, relativní hladkost a drsnost tkaniny. [9]



Obrázek 18: Tloušťkoměr SDL M034A [23]

Digitální tloušťkoměr SDL M034A

Přístroj SDL M034A na obr. 18 je určen pro měření tloušťky textilií, které je stanoveno jako měření kolmé vzdálenosti mezi základní deskou, na které je vzorek umístěn, a paralelním kruhovým přitlačným kotoučem, který vyvíjí specifický přitlak na zkoušenou

plochu textilie. Ke zkoušce nejsou vyžadovány žádné specifické velikosti vzorků, jen musí být větší, než je velikost přitlačné patky (kruh o ploše 20 nebo 100 cm²) a nesmí vykazovat známky poškození. Průběh měření a zpracování výsledků je řízeno pomocí počítačového softwaru, přístroj je vybaven tiskárnou. [23]

Tloušťkoměr DM

Tloušťkoměr na obr. č. 19 od výrobce Schröder Prüftechnik je určený pro účely měření tloušťky mnoha typů povrchových materiálů, například: papír, karton, vlnitá lepenka, folie, textilie, netkané textilie, geotextilie, podlahové krytiny, kůže, umělá kůže a guma. DM odpovídá všem mezinárodním standardům.

Přístroj má dobrou stabilitu díky pevné základové desce. Přitlačná patka je uložena v kuličkových ložiskách. Vestavěný stupňový spínač dosahuje rovnoměrného pohybu přitlačné patky. Tloušťka je měřena v rozsahu 0 - 10 mm s přesností na 0,01 mm. Přítlak, pod kterým je tloušťka měřena, je nastaven na přání zákazníka. Dále výrobce nabízí volitelnou možnost statistické tiskárny a stupnice s přesností na 0,001 mm. [25]



Obrázek 19: Tloušťkoměr DM [25]

Tloušťkoměr FF – 27

Na obr. č. 20 je tloušťkoměr od Maďarského výrobce, který umožňuje měřit tloušťku textilií v rozmezí 0,01 – 50 mm. Plocha přitlačného kotouče je volitelná: 100, 200, 500, 1000, 2500 nebo 5000 mm². Tloušťka je měřena s přesností na 0,01 mm pod přítlakem až 10 000 Pa. Doba zatížení je volitelná. [24]

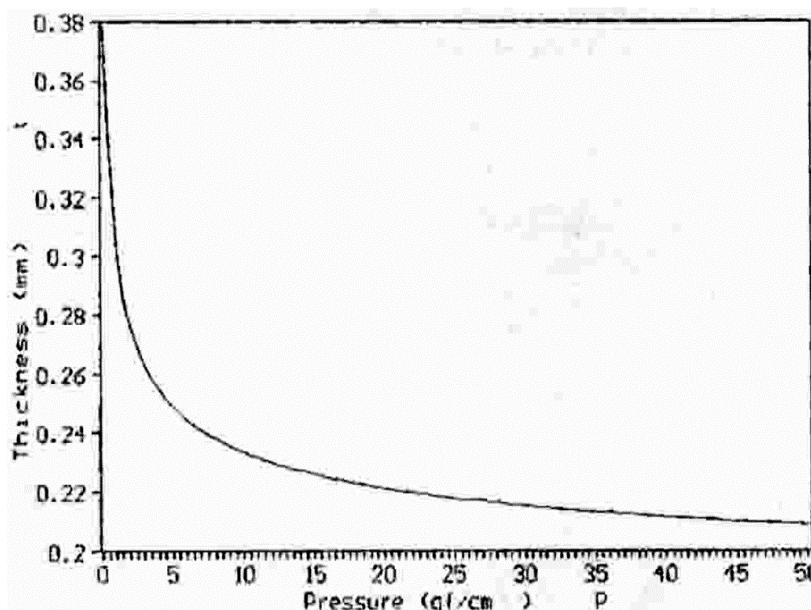


Obrázek 20: Tloušťkoměr FF - 27[24]

2.3 Vliv přítlaku na tloušťku tkaniny

Jak již bylo uvedeno výše, důležitým parametrem při zjišťování tloušťky tkaniny je přítlak mezi čelistmi tloušťkoměru, který je definován podle vzorce 15.

Textilie je snadno deformovatelný, stlačitelný materiál, a proto je tloušťka měřena za přesně stanoveného přítlaku normou. U snadno stlačitelných tkanin, např. vlasových tkanin, je přítlak mezi čelistmi tloušťkoměru velmi důležitý, tloušťka tkaniny je závislá na přítlaku působícím na tkaninu během testu, při vysokých hodnotách přítlaku by došlo k deformacím tkaniny. Některé typy tkanin jsou poměrně nestlačitelné a přítlak působící během měření tak není důležitým faktorem. [27], [32]



Obrázek 21: Křivka závislosti tloušťky tkaniny na přítlaku tloušťkoměru [21]

Hodnota tloušťky tkaniny se mění podle přitlaku použitého během měření. Na základě měření tloušťky pod více hodnotami přitlaků, například na přístroji KES – FB3 (viz kapitola 2.2, obrázek 14), lze sestavit křivku závislosti tloušťky na přitlaku. Na obrázku 21 je znázorněna křivka závislosti tloušťky na přitlaku typická pro mnoho typů tkanin.

[13], [35]

První část této křivky je zřejmě nelineární. Počáteční kompresní oblast má velmi nízký modul a poté následuje rychlý nárůst sklonu. Část velmi nízkého modulu této křivky ukazuje, že textilie jsou snadno stlačitelné za velmi nízkého zatížení. Odolnost tkanin proti stlačení se rychle zvyšuje s nárůstem zatížení. Navíc je zřejmé, že poslední část křivky pod tlakem, který je vyšší než určitá hodnota, obvykle $20 \text{ gf/cm} = 1,96 \text{ kPa}$, je blízká přímce, což znamená, že vztah mezi tlakem a tloušťkou je lineární. Sklon této přímky je extrémně vysoký, což znamená, že textilie jsou extrémně nestlačitelné pod tlakem větším než $1,96 \text{ kPa}$.

[35]

3 Literární rešerše

Téma měření tloušťky a vlivu přítlaku na hodnotu tloušťky tkaniny bylo v minulosti již několikrát zkoumáno. Následující část práce obsahuje vybrané výsledky dosavadních výzkumů.

Článek [31] od S. De Jonga a kol. popisuje experiment založený na Van Wykově zákonu o stlačitelnosti vlákenných soustav. Van Wyk navrhl řešení vztahů seskupení vláken s náhodnou orientací, předpokládal, že při stlačení vlákenné hmoty se zvýší počet kontaktních bodů mezi vlákny a počet ohybů samostatných vláken mezi kontaktními body. Teoreticky ukázal, že materiálová konstanta A je nezávislá na průměru vlákna, ale je závislá na Youngově modulu pružnosti vláken Y , plošné hmotnosti vláken ve vzorku W a měrné hmotnosti vláken ρ .

$$A = K \cdot Y \cdot \left(\frac{W}{\rho}\right)^3 \quad (21)$$

K je bezrozměrná konstanta s typickou hodnotou 0.01.

Van Wyk dále navrhl korekci vztahů pro vlákenné systémy, které byly stlačeny na dostatečně malý (nestlačitelný) objem a pro vlákenné systémy, které jsou nestlačitelné a pro které je tedy objem při nulovém tlaku konečný:

Touto korekcí vznikl vztah pro výpočet závislosti tloušťky na aplikovaném přítlaku:

$$P = A \cdot \left[\left(\frac{1}{(t - t')^3} - \frac{1}{(t_0 - t')^3} \right) \right] \quad (22)$$

Kde t_0 je tloušťka vlákenného materiálu za nulového přítlaku a t' je limitní hodnota tloušťky za maximálního přítlaku, P je aplikovaný přítlak a A je materiálová konstanta:

$$A = \frac{8 \cdot E^3}{p^2} \quad (23)$$

E je energie absorbovaná tkaninou, je to plocha pod křivkou závislosti tloušťky na přítlaku od 0,05 do 5 kPa je definována jako:

$$E = \int_{T_m}^{T_0} P dT \quad (24)$$

Podle článku je možné napočítat hodnoty tloušťky pro jednotlivé přitlaky a následně sestavit křivku závislosti tloušťky na přitlaku. Tato křivka by měla být velmi blízká křivce naměřené na KES.

V experimentu popisovaném v článku bylo na přístroji KES-F testováno 40 tkanin s názvem série A z rozdílných materiálů, z čisté bavlny, z čisté vlny, polyesteru, kašmíru a směsí materiálů. Tkanina byla zatížena přitlakem 4,9 kPa po dobu 30 s a poté byl postupně přitlak snižován, zároveň byla získána křivka závislosti tloušťky na přitlaku. Křivky z napočítaných hodnot tloušťky byly velmi blízké křivkám naměřených na KES – F, s malou odchylkou při hodnotách přitlaku nižších než 0,196 kPa.

Kompresními vlastnostmi tkaniny se také zabývá článek [35] od J. Hu a A. Newtona, který je založen na již zmíněném Van Wykově zákonu o stlačitelnosti vlákenných soustav a na experimentu od S. De Jonga z článku [31].

Hlavním záměrem tohoto článku je pomocí matematického výrazu popsat vztah závislosti tloušťky na tlaku u bavlněných tkanin v oblastech s nízkým zatížením. Ačkoli jsou povrchové struktury vlněné a bavlněné tkaniny odlišné, je v článku navrženo, že Van Wykův zákon lze stejně dobře jako na vlněné tkaniny, aplikovat také na bavlněné tkaniny.

Srovnání geometrické a mechanické tloušťky tkaniny podporuje vrstvou teorii tkanin navrhovanou De Jongem. Primární a sekundární vnější vrstvy této pětivrstvé struktury se řídí zákonem podle Van Wyka. Nestlačitelná jádrová vrstva tvoří asi 40 % celé tloušťky tkaniny, tkaniny jsou tedy vysoce nestlačitelné, dvě sekundární vrstvy mají více než 20 % a první vnější vrstvy asi 40 %, což ukazuje na velmi značnou nepravidelnost povrchu tkaniny.

Článek [36] od Murthyguru se opět zabývá kompresními vlastnostmi tkaniny. Jedná se o rešeršní článek, který shrnuje různé přístupy k predikci tloušťky tkaniny v závislosti na zatížení.

V článku [32] od R. E. Seamana bylo zkoumáno měření tloušťky několika přístroji. Podle tohoto článku jsou některé textilní materiály, například dopravníkové pásy nebo těžká

bavlněná plachtovina, poměrně nestlačitelné a přítlak, který na ně působí během měření tloušťky tak není důležitým faktorem. Naopak je tomu u tkanin s vlasem nebo umělých kožešin, u těchto tkanin bude hodnota tloušťky závislá na přítlaku působícím na tkaninu během testu. Tento rozdíl v chování byl prokázán experimentem, dvě rozdílné tkaniny byly podrobeny měření tloušťky podle standardu ASTM pod tlakem 23 kPa. U tkaniny s vlasem byla patrná extrémní deformace.

Z výše uvedeného je zřejmé, že standardní metoda měření tloušťky, která využívá znatelný tlak, nemůže poskytnout přesné výsledky u všech typů tkanin. Na druhou stranu může být tato metoda po stanovení postupu a podmínek pro měření zcela uspokojivá při kontrole kvality práce, která se týká především reprodukovatelnosti.

V článku je popsána metoda ASTM. Postup této metody je založen na použití měřidla s přítlačnou patkou o průměru 0,375 palců, připojenou k mikrometrickému kolečku, tloušťka je čtena s přesností na 0,001 palců. Vzorek tkaniny je umístěn vodorovně bez napětí na základní desce a přítlačná patka působí tlakem 0,16 kPa. Tloušťka tkaniny je udávána jako vzdálenost mezi základní deskou a přítlačnou patkou.

Dále byl v článku popsán přístroj pro měření tloušťky tkaniny za nízkých přítlaků, který má dvě konstrukční výhody. Tkanina je zavěšena vertikálně, a tím se zabrání jakémukoli stlačení tkaniny pod její vlastní hmotnost, ke kterému dojde v případě, že je testována v horizontální rovině. Druhou výhodou je, že samotná tkanina určuje koncový bod testu, protože jak přítlačná patka, tak základní deska se mohou v průběhu testu volně pohybovat. Každé stlačení tkaniny se tedy vztahuje pouze na její konstrukci. To je v přímém kontrastu s konvenčními měřeními, kdy tkanina leží na pevné desce a během testu nemůže být dosaženo její rovnováhy.

Technika měření tloušťky tkanin za nízkého tlaku BSI (British Standards Institute) byla v laboratoři používána přibližně 8 měsíců a je velmi spolehlivá. Bylo zjištěno, že hodnoty tloušťky získané tímto postupem přispívají podstatně více informací k objemovým, stlačitelným a izolačním vlastnostem tkanin, než výsledky získané za použití stávající metody ASTM.

Článek [33] od Stéphana Fontaine a kol. popisuje měření tloušťky tkaniny během jednoosého tahového namáhání.

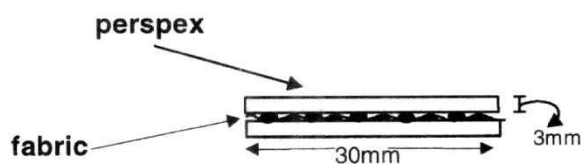
Autoři článku vyvinuli velmi lehký indukční snímač pro sledování změny hodnoty tloušťky během testu jednoosého tahového namáhání. Hlavním tématem této studie bylo nalezení nejvhodnějšího snímače pro specifické podmínky tahových zkoušek textilií. Byly testovány tři bavlněné tkaniny v plátňové vazbě, které se lišily dostavou osnovy a útku, jemností přízí a hodnotou zvlnění. Od každého typu tkaniny bylo testováno pět vzorků ve směru osnovy i útku při rychlosti tahu 100 mm/min.

Bylo zjištěno, že použití tohoto senzoru je vhodné k posouzení korelace mezi strukturou tkaniny a hodnotou tloušťky, dále pro hodnocení tloušťky u technických textilií, např. u filtrů nebo zdravotnických oděvů nebo také pro možnost simulace mechanického chování tkanin a netkaných textilií.

Článek [34] od P. Potluriho a kol. popisuje nový experimentální způsob hodnocení strukturální geometrie tkaniny. Metoda využívá techniku stress – freezing, kdy je vzorek tkaniny impregnován průhlednou pryskyřicí, vystaven kompresnímu namáhání a udržován pod zatížením, zatímco se pryskyřice vytvrzuje za pokojové teploty. Obrazová analýza vytvrzeného vzorku umožňuje odvodit různé parametry geometrie tkaniny, které není možné určit pomocí klasických mechanických testovacích metod, jako je například KES – F. Tato nová technika byla ověřena porovnáním vztahu tloušťky tkaniny proti tlaku s údaji o kompresi získanými na ekvivalentních tkaninách měření na KES – F.

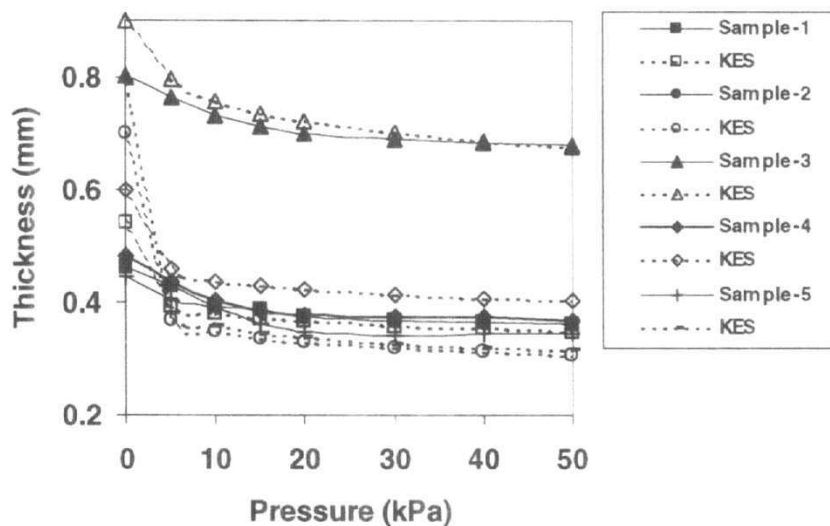
Podle článku má existující metoda výroby řezů pro hodnocení tkaniny mnoho nevýhod, například velmi dlouhou dobu přípravy, velké množství drahé pryskyřice, která není příliš průhledná, a tato metoda neumožňuje poskytnout informace o působení sil během tuhnutí.

V nové metodě, která je v článku popsána, je suchý vzorek tkaniny vložen mezi dvě vrstvy materiálu Perspex viz obrázek 22 a poté je vystaven kompresnímu zatížení. Po třiceti minutách je vzorek odstraněn, impregnován pryskyřicí a vrácen zpět do zatěžujícího mechanismu, kde zůstává pod původním tlakem.



Obrázek 22: Vzorek tkaniny vložený mezi dvěma deskami materiálu perspex [34]

Nejjednodušší měření, které nová technika umožňuje, je měření celkové tloušťky tkaniny. Na obrázku 23 je graf závislosti tloušťky na tlaku pro různé tkaniny, hodnoty naměřené novou metodou jsou zde porovnány s hodnotami naměřenými na stejných tkaninách pomocí systému KES – F. Mezi dvěma metodami je dobrá korelace a data získaná novou metodou jsou v rozsahu zatěžovacích podmínek spolehlivá.



Obrázek 23: Změna celkové tloušťky tkaniny v závislosti na přitlaku [34]

4 Zpracování experimentálních dat

Všechna naměřená data v této práci byla zpracována v programu Microsoft Excel.

Microsoft Excel je tabulkový procesor pro operační systém Microsoft Windows a počítače Macintosh. Je součástí balíku kancelářských aplikací Microsoft Office. Microsoft Excel umožňuje programování výpočtů, přesněji zpracování dat. K dispozici jsou kromě abeced a číslic, mezery a desetinné čárky, zejména běžné aritmetické a další operace jedné nebo dvou hodnot, dále několik stovek funkcí např. matematické funkce, statistické funkce např.: SUMA (součet), MIN (minimum), MAX (maximum), PRŮMĚR, MAX, MEDIAN, logické funkce, převodní funkce atd. [37]

Analýza malých výběrů

K vyhodnocení dat naměřených na přístroji KES – FB3 byl využitý tzv. Hornův postup, protože pro každý jeden přítlak bylo naměřeno pouze 5 hodnot tloušťky. Hornův postup je využíván pro soubory dat s počtem hodnot $n = 4$ až 20 a je založený na pořádkové statistice. [38]

Hloubka pivotu:

$$\text{Pro liché } n: \quad H = \frac{\text{int}((n + 1)/2)}{2} \quad (25)$$

$$\text{Pro sudé } n: \quad H = \frac{\text{int}((n + 1)/2 + 1)}{2} \quad (26)$$

$$\text{Dolní pivot:} \quad x_D = x_{(H)} \quad (27)$$

$$\text{Horní pivot:} \quad x_H = x_{(n+1-H)} \quad (28)$$

$$\text{Pivotová polosuma:} \quad P_L = \frac{X_D + X_H}{2} \quad (29)$$

$$\text{Pivotové rozpětí:} \quad R_L = X_H - X_D \quad (30)$$

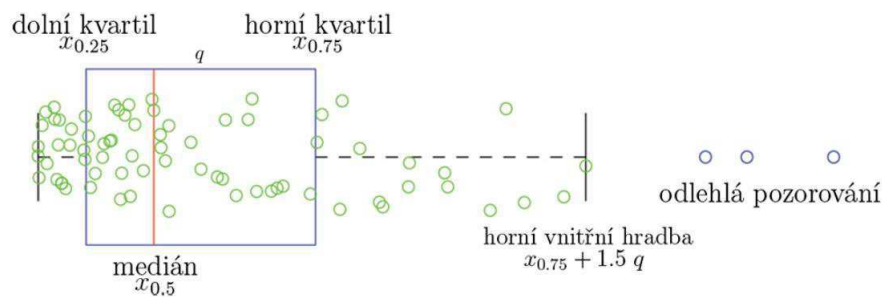
$$95\% \text{ Interval spolehlivosti } P_L - R_L t_{L0,975}(n) \leq \mu \leq P_L + R_L t_{L0,975}(n) \quad (31)$$

střední hodnoty

$t_{L0,975}(n)$ je hodnota z tabulek kvantilů rozdělení T_L , tato tabulka a další informace jsou dostupné v literatuře č. [38]

Krabicový diagram (box plot)

Umožňuje posoudit symetrii a variabilitu datového souboru a existenci odlehlých či extrémních hodnot. V této práci byly pomocí krabicového grafu odstraněny vybočující hodnoty tloušťky naměřené na tloušťkoměru Mesdan a obrazové analýze.



Obrázek 24: Konstrukce krabicového grafu [39]

Krabicový diagram je specifikován těmito pojmy:

$$\text{Dolní vnitřní hradba: } x_{0,25} - 1,5q \quad (32)$$

$$\text{Horní vnitřní hradba: } x_{0,75} + 1,5q \quad (33)$$

$$\text{Interkvartilové rozpětí: } q = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (34)$$

[39]

V Microsoft Excel lze hodnoty kvartilů vypočítat pomocí funkce:

QUARTIL (matice, kvartil)

Matice je povinný argument, jedná se o matici nebo oblast buněk s numerickými hodnotami, jejichž kvartil chceme získat. Kvartil je povinný argument, určuje požadovaný kvartil:

- 0 = minimální hodnota
- 1 = první kvartil (25 procent)
- 2 = medián (50 procent)
- 3 = třetí kvartil (75 procent)
- 4 = maximální hodnota

[40]

Ze souborů naměřených dat byla odstraněna vybočující měření, tedy všechny hodnoty ležící nad horní hradbou a pod dolní hradbou krabicového diagramu. Pro nový soubor dat byly vypočítány statistické charakteristiky (např.: průměr, medián, modus, směrodatná odchylka, minimální a maximální hodnota v souboru atd.) pomocí doplňku Analýza dat – Popisná statistika v Microsoft Excel, více informací v literatuře [41].

Korelační koeficient

Určuje míru vztahu dvou metrických proměnných. Korelační koeficient R nabývá hodnot od -1 do +1, které značí perfektní lineární vztah (záporný nebo kladný).

Čím větší je absolutní hodnota R , tím těsnější je korelace mezi oběma proměnnými.

[47], [48]

V Microsoft Excel lze hodnoty korelačních koeficientů vypočítat pomocí funkce:

= CORREL (A2:A6; B2:B6)

Korelační koeficient mezi dvěma množinami dat ve sloupcích A a B

[46]

Více informací ke korelačnímu koeficientu je uvedeno v literatuře [47] a [48].

Výpočet v Microsoft Excel je více popsán v literatuře [46].

5 Měření tloušťky tkaniny

Jedním z cílů práce je provést hodnocení tloušťky sady experimentálních tkanin dostupnými metodikami a stanovit vliv přítlaku na hodnotu tloušťky tkanin. Pro hodnocení tloušťky byly využity tři metodiky. První metodikou je měření na tloušťkoměru Mesdan, dále byla tloušťka měřena na přístroji KES – FB3 a třetí metodikou je měření tloušťky tkaniny z měkkých řezů pomocí obrazové analýzy NIS Elements. Tloušťka byla měřena pod přítlaky v rozmezí 0 – 5,9 kPa. Tyto způsoby měření tloušťky tkanin byly vybrány z důvodu dostupnosti na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci.

5.1 Tkaniny pro testování

Všechny tkaniny, u kterých byla hodnocena tloušťka, jsou utkány v plátňové vazbě z příze ze 100 % polyesteru. Tkaniny nejsou nijak finálně upraveny.

Označení tkaniny: první číslo je typ osnovy, druhé číslo je jemnost útku a třetí číslo dostava útku. Např. tkanina s označením 3/16,5/24 má tedy dostavu osnovy 31,8 nitě / cm, jemnost útku je 16,5 tex a dostava útku 24 nití / cm. Z tabulky č. 1 je patrné, že tkaniny mají vždy ve skupině po třech stejnou dostavu osnovy a stejnou jemnost osnovních i útkových nití.

Tabulka 1: Testované tkaniny a jejich parametry

Pořadí	Označení tkaniny Spolsin	Plošná hmotnost (g/m ²)	Jemnost příze [tex] o/ú	Dostavy [nití/cm] o/ú
1	3/16,5/24	113,3	16,5/16,5	31,8/24
2	3/16,5/27,8	123,8	16,5/16,5	31,8/27,8
3	3/16,5/31,8	130,6	16,5/16,5	31,8/31,8
4	6/25/19	132,4	25/25	26/19
5	6/25/22,4	143,7	25/25	26/22,4
6	6/25/26	150,6	25/25	26/26
7	9/40/15	173,9	40/40	21,2/15
8	9/40/18	192,6	40/40	21,2/18
9	9/40/21,2	202,5	40/40	21,2/21,2

5.2 Měření na tloušťkoměru Mesdan

Tloušťkoměr Mesdan, viz kapitola 2.2 a obrázek 11, umožňuje standardně měřit tloušťku plošných textilií pod přtlakem 0,1 kPa a 1 kPa, tedy podle normy ČSN EN ISO 5084 (800844). Tloušťka tkanin v této diplomové práci byla experimentálně měřena pod čtrnácti přtlaky, v rozmezí 0,1 až 5,90 kPa. Požadovaných přtlaků bylo dosaženo použitím více druhů závaží na obr. 25 o různých hmotnostech, viz tabulka č. 2, a jejich kombinací. Na každé z devíti tkanin bylo při jednom přtlaku provedeno 40 měření tloušťky, 20 měření na lícni straně tkaniny a 20 měření na rubní straně tkaniny.

Tabulka 2: Přehled hmotností závaží používaných pro měření a hodnoty výsledných přtlaků

Hmotnost závaží (g)	Přtlak (kPa)
bez závaží	0,10
50,29	0,35
68,25	0,43
80	0,49
100	0,59
138,56	0,78
183	1,00
250	1,33
300	1,57
422,9	2,17
500	2,55
683	3,45
1000	5,01
1183	5,90

Princip měření:

Tloušťka tkanin byla měřena jako vzdálenost mezi přtláčným kotoučem a základní deskou. Nejdříve byla tkanina vložena mezi přtláčný kotouč a základní desku a poté byl kotouč pomocí ručně ovládané páčky přístroje spuštěn na tkaninu, po zatížení byla odečtena hodnota tloušťky s přesností na 0,01 mm.

Přtlak, který působí na textilií během měření, je nastaven pomocí závaží umístěného v horní části přístroje, hmotnost samotného závaží je 183 g. Přístroj bez závaží měří s přtlakem 0,1 kPa, po umístění závaží je tloušťka měřena pod přtlakem 1 kPa. Závaží na obr. 25 byla vkládána na místo původního závaží v horní části přístroje nebo přímo na něj v závislosti na požadovaném přtlaku. Zkušební vzorky byly při měření vybírány na

hladkých místech po celé ploše textilie, s výjimkou krajů. Výběr hladkých míst na textilií je důležitý, protože výsledky měření tloušťky by mohly být ovlivněny nerovnoměrnostmi na textilií, např. různými ohyby.

Tloušťkoměr Mesdan zobrazuje pouze hodnotu tloušťky textilie, není připojen k počítači a naměřená data je proto nutné přepsat a vyhodnotit v programu pracujícím se statistikou.



Obrázek 25: Závaží používaná při měření tloušťky na tloušťkoměru Mesdan

Výsledky měření:

V tabulkách číslo 3 - 5 jsou uvedeny naměřené průměrné hodnoty tloušťky pro všech devět experimentálních tkanin při čtrnácti přítlacích na tloušťkoměru Mesdan. Z naměřených hodnot tloušťky v tabulkách je u všech tkanin patrný postupný pokles tloušťky se zvyšujícím se přítlakem. V grafu na obrázku 26 jsou vyneseny závislosti tloušťky tří vybraných tkanin, konkrétně 3/16,5/24, 6/25/19 a 9/40/15, na přítlacích, pod kterými byla na tloušťkoměru Mesdan tloušťka měřena. V tomto grafu je také dobře viditelné, že hodnota tloušťky se s rostoucím přítlakem snižuje až je téměř konstantní. Tkaniny v grafu 26 mají odlišnou jemnost příze, v grafu je patrný vzrůst hodnoty tloušťky se zvyšující se jemností příze. U tkanin v grafu 26 byly nejnižší hodnoty tloušťky naměřeny u tkaniny 3/16,5/24, tedy s jemností příze 16,5 tex a nejvyšší u tkaniny 9/40/15, kde jemnost příze je 40 tex. Obecně u všech devíti experimentálních tkanin byla nejvyšší hodnota tloušťky naměřena při přítlaku 0,05 kPa a nejnižší tloušťka byla naměřena při 5,9 kPa. Grafy pro další tkaniny jsou zobrazeny v příloze 1.

Tabulka 3: Naměřené hodnoty tloušťky tkanin na tloušťkoměru Mesdan

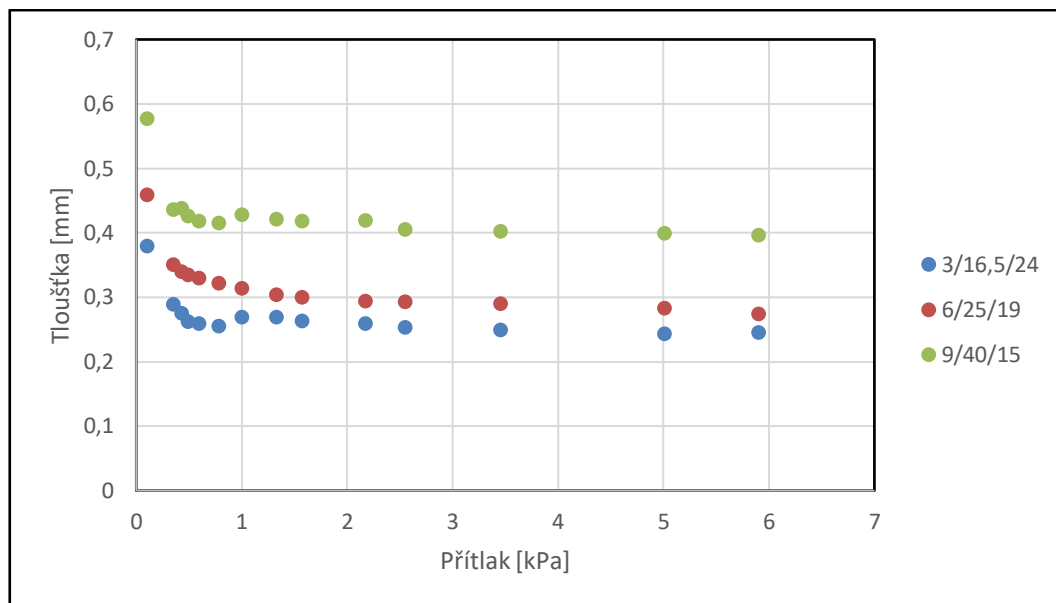
Tkanina	3/16,5/24		3/16,5/27,8		3/16,5/31,8	
Přítlak (kPa)	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS
0,1	0,379	(0,369 ; 0,390)	0,468	(0,455 ; 0,481)	0,433	(0,422 ; 0,443)
0,35	0,289	(0,285 ; 0,294)	0,311	(0,306 ; 0,316)	0,307	(0,302 ; 0,312)
0,43	0,276	(0,273 ; 0,278)	0,283	(0,280 ; 0,287)	0,289	(0,284 ; 0,293)
0,49	0,263	(0,260 ; 0,265)	0,280	(0,276 ; 0,284)	0,289	(0,284 ; 0,294)
0,59	0,260	(0,260 ; 0,260)	0,298	(0,294 ; 0,302)	0,279	(0,274 ; 0,284)
0,78	0,256	(0,254 ; 0,258)	0,259	(0,256 ; 0,261)	0,292	(0,289 ; 0,295)
1	0,270	(0,270 ; 0,270)	0,264	(0,262 ; 0,266)	0,266	(0,264 ; 0,268)
1,33	0,270	(0,270 ; 0,270)	0,263	(0,262 ; 0,264)	0,267	(0,264 ; 0,269)
1,57	0,264	(0,262 ; 0,265)	0,240	(0,240 ; 0,240)	0,257	(0,255 ; 0,259)
2,17	0,260	(0,260 ; 0,260)	0,250	(0,250 ; 0,250)	0,246	(0,245 ; 0,248)
2,55	0,253	(0,252 ; 0,255)	0,245	(0,243 ; 0,246)	0,240	(0,240 ; 0,240)
3,45	0,250	(0,250 ; 0,250)	0,244	(0,242 ; 0,245)	0,236	(0,234 ; 0,237)
5,01	0,244	(0,242 ; 0,245)	0,230	(0,230 ; 0,230)	0,230	(0,230 ; 0,230)
5,9	0,246	(0,244 ; 0,247)	0,235	(0,234 ; 0,237)	0,230	(0,230 ; 0,230)

Tabulka 4: Naměřené hodnoty tloušťky tkanin na tloušťkoměru Mesdan

Tkanina	6/25/19		6/25/22,4		6/25/26	
Přítlak (kPa)	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS
0,1	0,460	(0,454 ; 0,465)	0,495	(0,486 ; 0,503)	0,496	(0,483 ; 0,510)
0,35	0,351	(0,347 ; 0,354)	0,357	(0,352 ; 0,362)	0,358	(0,353 ; 0,363)
0,43	0,340	(0,340 ; 0,340)	0,340	(0,335 ; 0,345)	0,347	(0,342 ; 0,353)
0,49	0,336	(0,333 ; 0,338)	0,336	(0,331 ; 0,340)	0,337	(0,334 ; 0,341)
0,59	0,330	(0,330 ; 0,330)	0,331	(0,326 ; 0,335)	0,331	(0,328 ; 0,335)
0,78	0,322	(0,319 ; 0,324)	0,310	(0,307 ; 0,313)	0,321	(0,318 ; 0,325)
1	0,315	(0,313 ; 0,317)	0,320	(0,320 ; 0,320)	0,316	(0,313 ; 0,318)
1,33	0,305	(0,303 ; 0,307)	0,320	(0,320 ; 0,320)	0,317	(0,315 ; 0,319)
1,57	0,300	(0,300 ; 0,300)	0,298	(0,295 ; 0,300)	0,310	(0,307 ; 0,313)
2,17	0,294	(0,292 ; 0,296)	0,310	(0,310 ; 0,310)	0,300	(0,300 ; 0,300)
2,55	0,293	(0,291 ; 0,296)	0,306	(0,304 ; 0,308)	0,294	(0,291 ; 0,296)
3,45	0,290	(0,290 ; 0,290)	0,296	(0,293 ; 0,298)	0,287	(0,286 ; 0,289)
5,01	0,284	(0,281 ; 0,286)	0,291	(0,288 ; 0,293)	0,280	(0,280 ; 0,280)
5,9	0,275	(0,272 ; 0,278)	0,290	(0,290 ; 0,290)	0,280	(0,280 ; 0,280)

Tabulka 5: Naměřené hodnoty tloušťky tkanin na tloušťkoměru Mesdan

Tkanina	9/40/15		9/40/18		9/40/21,2	
Přítlak (kPa)	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS
0,1	0,578	(0,565 ; 0,590)	0,629	(0,617 ; 0,640)	0,404	(0,402 ; 0,407)
0,35	0,437	(0,432 ; 0,441)	0,481	(0,475 ; 0,487)	0,476	(0,470 ; 0,482)
0,43	0,438	(0,434 ; 0,443)	0,446	(0,442 ; 0,450)	0,438	(0,434 ; 0,442)
0,49	0,427	(0,423 ; 0,430)	0,426	(0,423 ; 0,429)	0,437	(0,433 ; 0,441)
0,59	0,419	(0,415 ; 0,422)	0,432	(0,428 ; 0,436)	0,435	(0,431 ; 0,438)
0,78	0,416	(0,413 ; 0,418)	0,411	(0,408 ; 0,414)	0,410	(0,410 ; 0,410)
1	0,428	(0,425 ; 0,431)	0,417	(0,415 ; 0,419)	0,404	(0,402 ; 0,407)
1,33	0,422	(0,419 ; 0,424)	0,420	(0,420 ; 0,420)	0,409	(0,406 ; 0,411)
1,57	0,419	(0,416 ; 0,422)	0,410	(0,410 ; 0,410)	0,401	(0,398 ; 0,404)
2,17	0,420	(0,420 ; 0,420)	0,406	(0,404 ; 0,409)	0,390	(0,390 ; 0,390)
2,55	0,406	(0,404 ; 0,407)	0,400	(0,400 ; 0,400)	0,384	(0,382 ; 0,385)
3,45	0,403	(0,401 ; 0,405)	0,390	(0,390 ; 0,390)	0,375	(0,373 ; 0,377)
5,01	0,400	(0,400 ; 0,400)	0,390	(0,390 ; 0,390)	0,367	(0,366 ; 0,369)
5,9	0,397	(0,395 ; 0,398)	0,384	(0,382 ; 0,385)	0,370	(0,370 ; 0,370)



Obrázek 26: Naměřené hodnoty tloušťky tří vybraných tkanin na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku

5.3 Měření na KES – FB3

KES - FB3, viz kapitola 2.2 a obrázek 14, je jedním ze čtyř přístrojů systému KES, je určen pro měření komprese a pro měření tloušťky tkaniny. KES – FB3 umožňuje měřit hodnotu tloušťky pod přitlakem vzestupně od 4,8 do 0,05 kPa s rozestupem 0,01 kPa. Na tloušťkoměru Mesdan byla tloušťka měřena pod čtrnácti přitlaky, na KES – FB3 je možné odečíst hodnotu tloušťky pod vybraným tlakem z tzv. kompresní křivky, viz obr. 15 v kapitole 2.2.

Tloušťka byla měřena pouze u tří tkanin, konkrétně u tkanin s označením 9/40/15, 9/40/18 a 9/40/21,2. Na každé tkanině bylo provedeno 5 měření, z naměřených dat byly vybrány hodnoty tloušťky pro požadované přitlaky. Výsledná hodnota tloušťky je průměrná hodnota z pěti měření. Vzhledem k tomu, že pro jednu tkaninu pod jedním přitlakem byl naměřen malý počet hodnot, byl k statistickému vyhodnocení dat použit Hornův postup.

Princip měření:

Textilie je ve směru tloušťky zatížena na nepohyblivé plošině, účinná oblast tlaku přitlačného kotouče přístroje je kruhová o ploše 2 cm². Nejprve dojde k maximálnímu zatížení, které je postupně uvolňováno. Zátěž je aplikována pomocí pohyblivého pístu, který se pohybuje nahoru a dolů a stlačuje tkaninu na stacionární plošině. Na textili

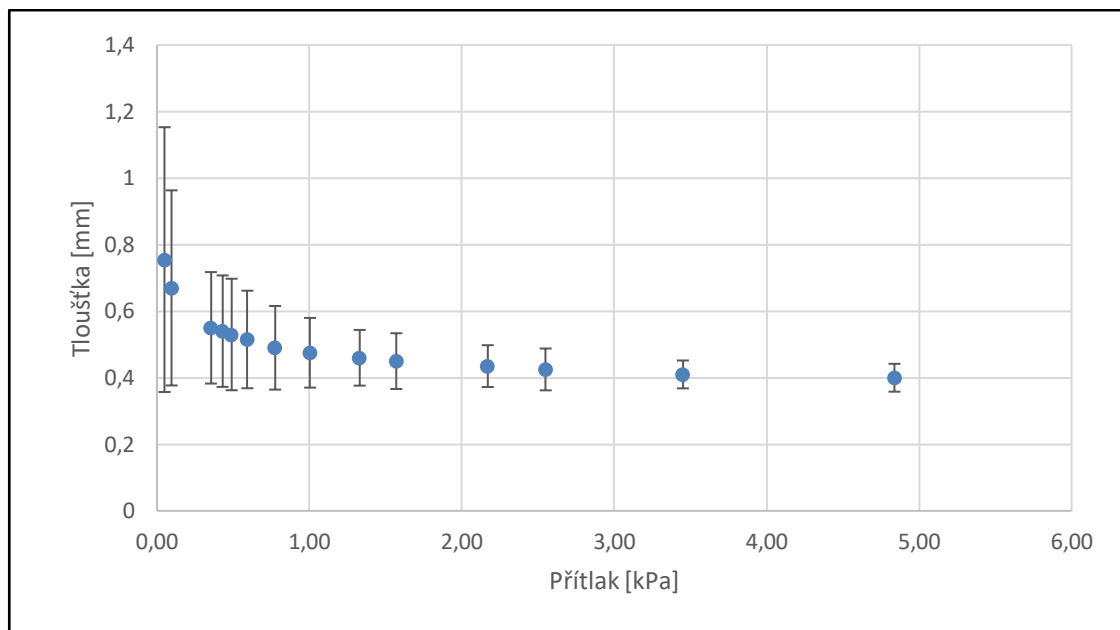
během měření působí přítlak od 4,8 do 0,05 kPa. Přístroj je vybaven signalizací polohy přítlačného kotouče.

Výsledky měření:

V tabulce číslo 6 jsou naměřené průměrné hodnoty tloušťky tkanin 9/40/15, 9/40/18 a 9/40/21,2 na KES – FB3 při čtrnácti přítlacích. Z tabulek je patrné, že hodnota tloušťky se rostoucím přítlakem snižuje až je téměř konstantní. V grafu na obrázku 27 je vynesena závislost tloušťky tkaniny 9/40/21,2 na přítlacích, pod kterými byla na KES - FB3 tloušťka měřena, i z tohoto grafu je zřetelně viditelný postupný pokles hodnoty tloušťky s rostoucím přítlakem. Grafy pro další tkaniny jsou zobrazeny v příloze 2. Obecně u všech tkanin byla nejvyšší tloušťka naměřena při přítlaku 0,05 kPa a nejnižších hodnot tloušťky bylo dosaženo při 4,8 kPa.

Tabulka 6: Hodnoty tloušťky tkanin 9/40/15; 9/40/18; 9/40/21,2 naměřené na přístroji KES – FB3

Tkanina	9/40/15		9/40/18		9/40/21,2	
	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS	Tloušťka (mm)	95% IS
0,05	0,675	(0,612 ; 0,738)	0,745	(0,431 ; 1,059)	0,755	(0,357 ; 1,153)
0,096	0,620	(0,578 ; 0,662)	0,660	(0,451 ; 0,869)	0,670	(0,377 ; 0,963)
0,354	0,520	(0,478 ; 0,562)	0,540	(0,414 ; 0,666)	0,550	(0,382 ; 0,718)
0,43	0,505	(0,442 ; 0,568)	0,525	(0,420 ; 0,630)	0,540	(0,372 ; 0,708)
0,49	0,500	(0,458 ; 0,542)	0,510	(0,426 ; 0,594)	0,530	(0,362 ; 0,698)
0,593	0,490	(0,448 ; 0,532)	0,500	(0,416 ; 0,584)	0,515	(0,368 ; 0,662)
0,775	0,480	(0,396 ; 0,564)	0,475	(0,454 ; 0,496)	0,490	(0,364 ; 0,616)
1,005	0,465	(0,402 ; 0,528)	0,460	(0,460 ; 0,460)	0,475	(0,370 ; 0,580)
1,33	0,460	(0,376 ; 0,544)	0,455	(0,434 ; 0,476)	0,460	(0,376 ; 0,544)
1,57	0,455	(0,392 ; 0,518)	0,445	(0,424 ; 0,466)	0,450	(0,366 ; 0,534)
2,17	0,445	(0,382 ; 0,508)	0,435	(0,414 ; 0,456)	0,435	(0,372 ; 0,498)
2,55	0,440	(0,398 ; 0,482)	0,425	(0,404 ; 0,446)	0,425	(0,362 ; 0,488)
3,45	0,435	(0,372 ; 0,498)	0,415	(0,394 ; 0,436)	0,410	(0,368 ; 0,452)
4,838	0,430	(0,388 ; 0,472)	0,410	(0,410 ; 0,410)	0,400	(0,358 ; 0,442)



Obrázek 27: Závislost tloušťky tkaniny 9/40/21,2 na přítlaku KES – FB3

5.4 Měření z měkkých řezů tkaniny pomocí obrazové analýzy

Dalším typem metodiky bylo měření tloušťky tkaniny z měkkých řezů pomocí obrazové analýzy (dále jen OA) NIS-Elements. Systém NIS-Elements (dříve známý jako LUCIA) je obecný program pro obrazovou analýzu určený ke sledování, nasnímání i archivaci obrazů struktur a k ručnímu nebo automatizovanému měření vzorků. Data a výsledky měření mohou být přenesena i mimo aplikaci NIS-Elements a pak dále volně zpracována. Tabulky dat i grafy lze exportovat např. do aplikace MS Excel, do externího souboru *.bmp nebo *.txt. [42]

Řez textilie je možné definovat jako protnutí textilie rovinou, která svírá daný úhel s určenou osou. U tkanin se používají řezy zejména ve dvou na sebe kolmých směrech, tedy v příčném a podélném směru, ve směru osnovy a útku. Měkké řezy tkaniny pro měření tloušťky v této práci byly připraveny podle normy INTERNÍ NORMA 46-108-01/01, ve které je také přesně popsána příprava měkkých řezů a další informace. [43]

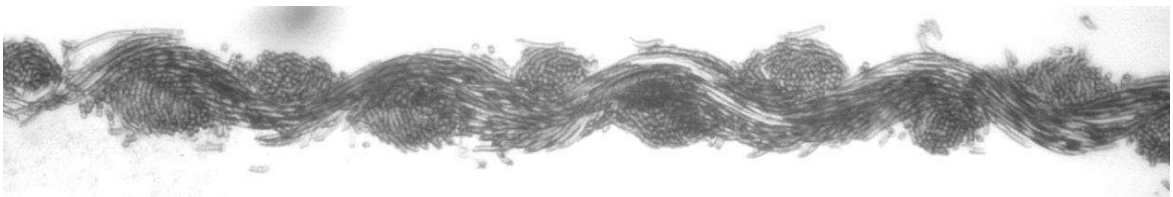
Na obrázcích 28 - 31 jsou ukázky několika příčných a podélných řezů experimentálních tkanin.

Princip měření:

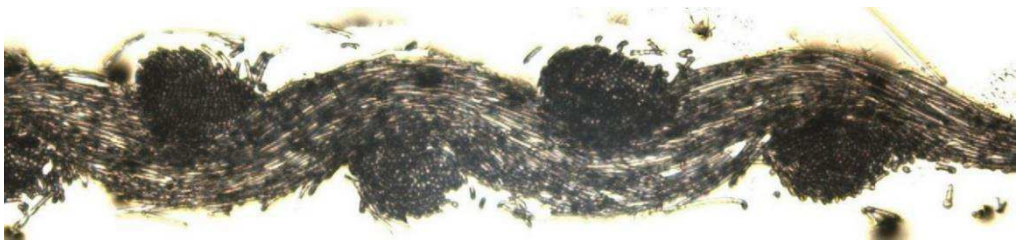
Tloušťka byla hodnocena u každé z devíti experimentálních tkanin na dvaceti podélných a dvaceti příčných měkkých řezech. Pomocí nástroje pro měření délky v systému NIS-Elements bylo naměřeno na každém řezu v průměru osmdesát hodnot tloušťky. Naměřené hodnoty byly exportovány do programu Microsoft Excel a výsledná hodnota tloušťky pro jednu tkaninu byla vypočítaná jako průměr ze všech, dohromady čtyřiceti příčných a podélných řezů.



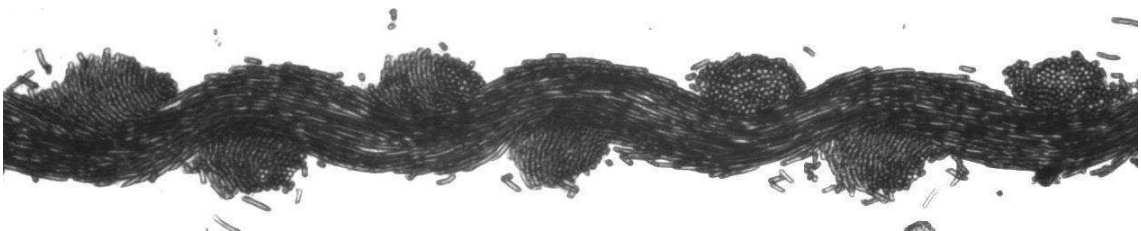
Obrázek 28: Příčný řez tkaninou 6/25/26



Obrázek 29: Příčný řez tkaninou 3/16,5/31,8



Obrázek 30: Podélný řez tkaninou 9/40/18



Obrázek 31: Příčný řez tkaninou 6/25/19

Výsledky měření:

Tabulka 7 obsahuje naměřené hodnoty tloušťky z řezů pro všech devět experimentálních tkanin. Z tabulky 7 a z grafu na obrázku 32 (v datové řadě ve tvaru koleček) je patrné, že tloušťka tkaniny se zvyšuje s jemností příze. Zvýšení hodnoty tloušťky je způsobeno tím, že osnovní nebo útková příze ze stejné suroviny s vyšší jemností má i větší průměr.

Naopak se zvyšující se dostavou osnovy a útku se hodnota tloušťky tkaniny snižuje. Pokles tloušťky tkaniny s klesající dostavou útku vidět v grafu 32 (v datových řadách ve tvaru trojúhelníků).

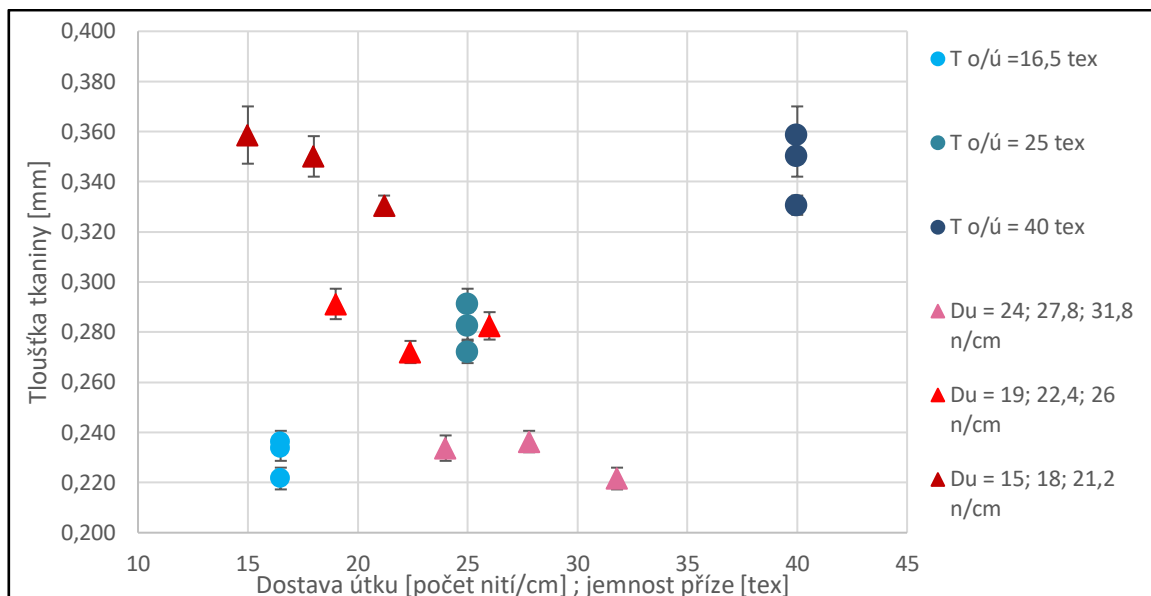
Tento trend je patrný u celého souboru devíti experimentálních tkanin. Hodnota tloušťky tkaniny je výrazně ovlivněna průměrem příze. Průměry osnovních a útkových nití jsou největší u tkanin s nejnižší dostavou a nejmenší u tkanin s nejvyšší dostavou.

V rámci skupin tkanin se shodnými dostavami osnovy (shodná jemnost přízí) s rostoucí dostavou útku klesá hodnota relativního zvlnění osnovy. Hodnota relativního zvlnění osnovy je u všech tkanin vyšší než relativní zvlnění útku. Vzhledem k téměř shodné deformaci osnovních a útkových přízí se dá předpokládat, že snižující se hodnota tloušťky tkaniny je tedy způsobena touto změnou zvlnění. Pokles tloušťky s rostoucí hodnotou dostavy útku ale u těchto podsouborů není jednoznačný (datové řady ve tvaru trojúhelníků).

Hodnoty průměrů osnovních a útkových nití, parametry příčné deformace a zvlnění jsou uvedeny v tabulce č. 8 na str. 55.

Tabulka 7: Hodnoty tloušťky naměřené z řezů pomocí obrazové analýzy u všech tkanin

Tkanina	Jemnost příze [tex] o/ú	Dostavy [nití/cm] o/ú	Tloušťka tkaniny [mm] střední hodnota	95% Interval spolehlivosti
3/16,5/24	16,5/16,5	31,8/24	0,234	(0,229 ; 0,239)
3/16,5/27,8	16,5/16,5	31,8/27,8	0,236	(0,232 ; 0,241)
3/16,5/31,8	16,5/16,5	31,8/31,8	0,222	(0,217 ; 0,226)
6/25/19	25/25	26/19	0,291	(0,285 ; 0,297)
6/25/22,4	25/25	26/22,4	0,272	(0,268 ; 0,277)
6/25/26	25/25	26/26	0,282	(0,277 ; 0,288)
9/40/15	40/40	21,2/15	0,359	(0,347 ; 0,370)
9/40/18	40/40	21,2/18	0,350	(0,342 ; 0,358)
9/40/21,2	40/40	21,2/21,2	0,331	(0,327 ; 0,334)



Obrázek 32: Graf závislosti tloušťky tkanin na jemnosti příze a dostavě útku

5.5 Diskuse výsledků

V této kapitole jsou porovnány hodnoty tloušťky tkanin naměřené na tloušťkoměru Mesdan a KES – FB3 a obrazové analýze.

V grafu na obrázku 33 jsou pro příklad vyneseny hodnoty tloušťky pro jednu tkaninu 9/40/18 naměřené na tloušťkoměru Mesdan a systému KES v porovnání s hodnotou tloušťky naměřenou z řezů tkaniny pomocí obrazové analýzy. Grafy pro další tkaniny jsou zobrazeny v příloze 3. U dat naměřených na systému KES i u dat naměřených na tloušťkoměru Mesdan je v grafech při snižujícím se přítlaku patrný stejný klesající trend.

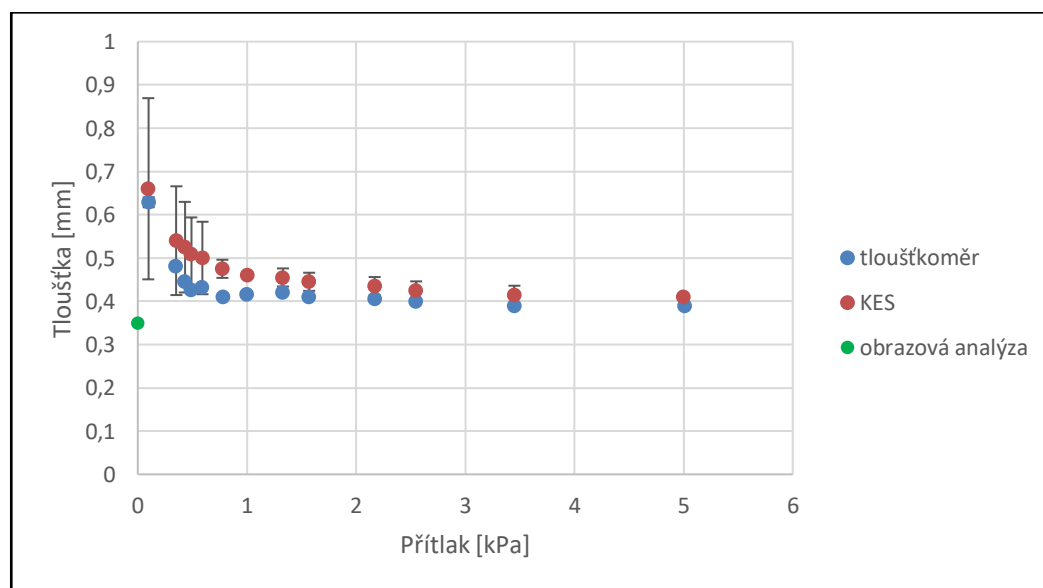
Pro hodnoty tloušťky naměřené na systému KES jsou v grafu zobrazeny chybové úsečky značící 95 % intervaly spolehlivosti. V grafu je dobře viditelné, že hodnoty tloušťky naměřené pomocí tloušťkoměru Mesdan leží ve většině případů přímo v intervalu spolehlivosti nebo velmi blízko hodnot tloušťky naměřených systémem KES. Rozdíl u hodnot tloušťky naměřených na tloušťkoměru Mesdan a systému KES není statisticky významný.

Intervaly spolehlivosti u hodnot tloušťky naměřených na tloušťkoměru Mesdan jsou velmi úzké, nelze je tedy v grafu dobře zobrazit, hodnoty intervalů spolehlivosti pro tloušťkoměr Mesdan jsou viditelné v tabulkách č. 3 – 5.

Nejširší intervaly spolehlivosti, tedy hodnoty s nejmenší přesností a nejvyšší variabilitou, byly zjištěny u hodnot tloušťky naměřených při přitlaku 0,1 kPa, a to jak u hodnot ze systému KES, tak u hodnot z tloušťkoměru Mesdan. Tkanina je při nízkém přitlaku stlačována velmi málo, a proto je variabilita vyšší než při vysokých hodnotách přitlaku, kdy je tkanina stlačována na téměř stejnou hodnotu tloušťky. Při měření tloušťky za přitlaku 0,1 kPa na tloušťkoměru Mesdan, bylo možné tkaninou i pod přitlakem pod přitlačnou patkou posouvat, tento fakt by mohl být také jedním z důvodů nižší přesnosti měření.

Hodnoty tloušťky naměřené pomocí obrazové analýzy jsou v porovnání s hodnotami naměřenými na KES – FB3 a tloušťkoměru Mesdan u všech devíti experimentálních tkanin výrazně nižší.

Z grafu 33 je patrné, že hodnota tloušťky tkaniny 9/40/18 zjištěná pomocí obrazové analýzy je i při nejvyšším přitlaku 5 kPa nižší než hodnota naměřená pomocí dalších dvou metodik. Při hodnocení tloušťky touto metodikou byl předpokládán nulový přitlak, tkanina není umístěna po žádnou patkou přístroje a žádný přitlak na ni nepůsobí. Ke zploštění nití ve tkanině, tedy k příčné deformaci, ale pravděpodobně dochází během přípravy měkkých řezů, kdy je tkanina impregnována lepidlem, po usušení zalita do vosku a po vytvrzení jsou z hotového bločku pomocí mikrotomu oddělovány jednotlivé řezy.



Obrázek 33: Porovnání tloušťky tkaniny 9/40/18 v závislosti na přitlaku měřené na tloušťkoměru Mesdan, KES a pomocí obrazové analýzy

6 Predikce tloušťky tkaniny

Dalším cílem práce bylo vypočítat hodnotu tloušťky tkaniny podle teoretických modelů. K výpočtům byly použity parametry naměřené z řezů tkanin. Dále je v této kapitole uveden další cíl práce - modelování křivek závislosti tloušťky na přítlaku.

6.1 Výpočet tloušťky tkaniny z parametrů naměřených z řezů

Tloušťku tkaniny lze vypočítat několika způsoby viz kapitola 2.1 v teoretické části práce. Důležitými parametry pro výpočet tloušťky jsou vždy průměry volné osnovní a útkové nitě ve tkanině a hodnoty výšek vazné vlny. Pro výpočet tloušťky experimentálních tkanin v této práci byly použity jak výpočty na základě Peircova matematického modelu, které využívají pouze dva parametry, průměr nitě a výšku vazné vlny a zanedbávají příčnou deformaci nitě ve tkanině, tak byly využity modely, ve kterých se počítá se zploštěním nitě, zvlněním a vlivem vazby tkaniny.

Tloušťka experimentálních tkanin byla vypočítána na základě parametrů naměřených z měkkých řezů tkanin pomocí makra „RezyTkaninou.mac“ v systému obrazové analýzy NIS-Elements AR 2.30. Pomocí makra lze změřit parametry v rámci celého řezu tkaniny. Hodnocenými parametry jsou souřadnice roviny tkaniny a souřadnice vazné vlny, těžiště osnovních a útkových nití, cirkularita a parametry příčné deformace a a b jako MaxFeret a MinFeret, více o příčné deformaci v kapitole 1.2 teoretické části práce. Naměřená data z makra jsou ve formě textových souborů, které lze pro další práci převést do programu Microsoft Excel, kde je také možné pro kontrolu vykreslit graf obsahující souřadnice roviny tkaniny, souřadnice vazné vlny a vazných bodů. Celý postup práce s makrem a více informací o měřených parametrech je popsáno v literatuře [44].

Princip výpočtu:

Tloušťka experimentálních tkanin byla vypočítána na základě naměřených parametrů podle těchto modelů:

$$1) t = \max(2h_o + d_o; 2h_u + d_u) \quad (35)$$

$$2) t = \max(2h_o + b_o; 2h_u + b_u) \quad (36)$$

$$3) t = \left[(d_o + d_u) + \left| \left[\frac{d_o + d_u}{2} \cdot \lambda_o - \frac{d_o + d_u}{2} \cdot (1 - \lambda_o) \right] \right| \right] \cdot f^m \cdot \beta \quad (37)$$

Parametry:

b_o, b_u – parametry příčné deformace osnovní a útkové nitě byly naměřeny pomocí makra h_o, h_u - výšky vazné vlny byly vypočítány na základě naměřených hodnot v makru jako absolutní hodnota rozdílu souřadnic y těžiště nitě a střední roviny tkaniny

β - stlačení osnovní nitě bylo vypočítáno pomocí vzorce 6 v kapitole 1.2

λ_o - zvlnění osnovy pomocí vzorce 13 v kapitole 1.5

f^m koeficient provázání, hodnota je vždy rovna 1, protože všechny tkaniny jsou v plátňové vazbě.

Tabulka 8: Přehled parametrů použitých pro výpočet tloušťky tkanin

Tkanina	do [mm]	du [mm]	ao [mm]	au [mm]	bo [mm]	bu [mm]	ho [mm]	hu [mm]	λ_o [-]	λ_u [-]	α [-]	β [-]
3/16,5/24	0,161	0,161	0,213	0,213	0,112	0,112	0,071	0,051	0,58	0,42	1,32	0,70
3/16,5/27,8	0,161	0,161	0,223	0,207	0,123	0,129	0,072	0,056	0,57	0,43	1,29	0,80
3/16,5/31,8	0,161	0,161	0,234	0,214	0,126	0,128	0,065	0,059	0,52	0,48	1,33	0,79
6/25/19	0,208	0,208	0,307	0,280	0,152	0,146	0,088	0,056	0,61	0,39	1,35	0,70
6/25/22,4	0,208	0,208	0,277	0,275	0,141	0,146	0,071	0,061	0,54	0,46	1,32	0,70
6/25/26	0,208	0,208	0,285	0,270	0,144	0,152	0,071	0,080	0,46	0,54	1,30	0,73
9/40/15	0,272	0,272	0,405	0,346	0,204	0,176	0,106	0,064	0,62	0,38	1,27	0,65
9/40/18	0,272	0,272	0,410	0,380	0,206	0,203	0,098	0,073	0,57	0,43	1,40	0,75
9/40/21,2	0,272	0,272	0,408	0,367	0,197	0,191	0,088	0,075	0,54	0,46	1,35	0,70

Tabulka 8 obsahuje přehled průměrů osnovních a útkových nití d_o, d_u , parametry tkanin naměřené pomocí makra „RezyTkaninou.mac“ a parametry vypočítané na základě dat z tohoto makra.

Z dat v tabulce 8 vyplývá, že čím větší je průměr příze, tím větší jsou tedy i hodnoty parametrů příčné deformace, výšky zploštělé nitě b a šířky zploštělé nitě a . Se zvyšující se výškou nitě b se zvyšuje i tloušťka tkaniny.

S průměrem příze a dostavami se mění také parametry výšky vazné vlny, čím je průměr nitě menší, tím se zmenšuje výška vazné vlny.

Hodnoty relativního zvlnění osnovní a útkové jsou mezi sebou provázány, zvyšuje-li se relativní zvlnění osnovy, pak relativní zvlnění útku klesá a obráceně.

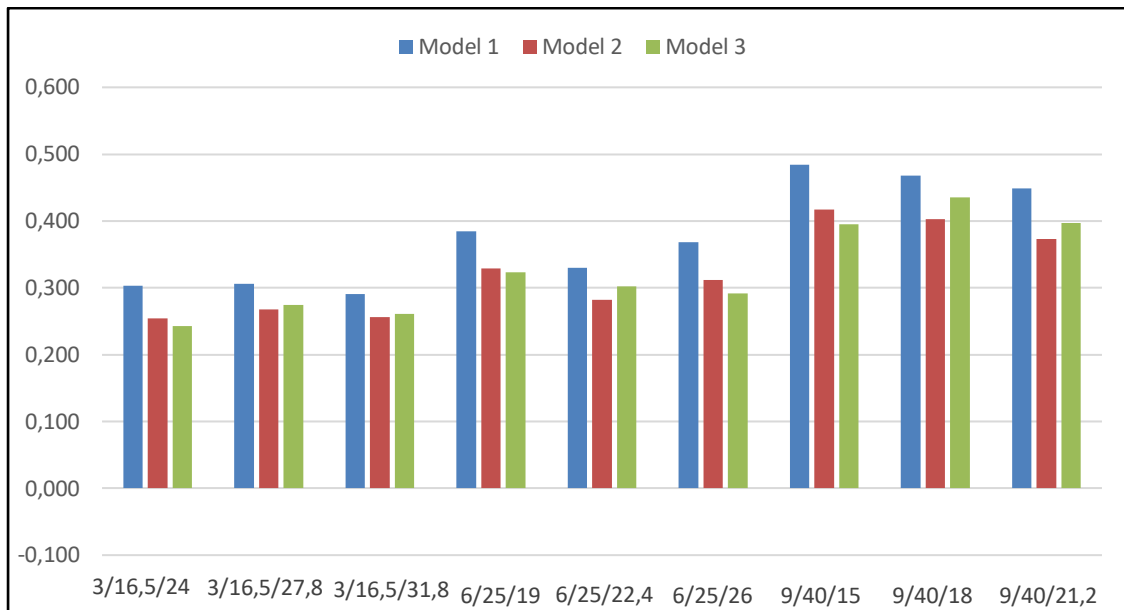
Výsledky:

Tabulka č. 9 obsahuje hodnoty tloušťky vypočítané pro jednotlivé tkaniny na základě tří výše uvedených teoretických modelů. Z tabulky č. 9 je u všech tří modelů patrná zvyšující se hodnota tloušťky se zvyšující se jemností příze použité ve tkanině (jemnost příze je značena jako prostřední číslo v označení tkaniny viz kapitola 5.1).

V grafu na obrázku 34 jsou pro srovnání vyneseny hodnoty tloušťky tkaniny vypočítané podle tří modelů. Nejvyšších hodnot tloušťky bylo dosaženo při výpočtech podle modelu 1, protože tento model počítá pouze s výškou vazné vlny osnovní nebo útkové nitě a kruhovým průměrem osnovní nebo útkové nitě, ale nezahrnuje příčnou deformaci. Hodnoty tloušťky tkaniny vypočítané podle modelů 2 a 3 jsou velmi blízké, tyto modely počítají s tím, že osnovní nebo útková nit nemá ideální kruhový průřez, ale že dochází k příčné deformaci, nit' je zploštěná.

Tabulka 9: Přehled vypočítaných hodnot tloušťky podle tří modelů

Tkanina	Tloušťka podle modelu 1 (mm)	Tloušťka podle modelu 2 (mm)	Tloušťka podle modelu 3 (mm)
3/16,5/24	0,303	0,254	0,243
3/16,5/27,8	0,306	0,268	0,275
3/16,5/31,8	0,29	0,256	0,261
6/25/19	0,385	0,329	0,323
6/25/22,4	0,33	0,282	0,302
6/25/26	0,369	0,312	0,291
9/40/15	0,485	0,417	0,395
9/40/18	0,468	0,402	0,436
9/40/21,2	0,448	0,373	0,397



Obrázek 34: Porovnání hodnot tloušťky experimentálních tkanin vypočítaných na základě tří teoretických modelů

6.2 Modelování křivek závislosti tloušťky na přitlaku

Tento výpočet vychází z článku [31] od S. De Jonga a kol., který popisuje experiment založený na Van Wykově zákonu o stlačitelnosti vláknenných seskupení.

Podle článku je možné napočítat hodnoty tloušťky pro jednotlivé přitlaky a následně sestavit křivku závislosti tloušťky na přitlaku. Tato křivka by měla být velmi blízká křivce naměřené na KES. Tloušťku lze vyjádřit ze vzorce (22) pro výpočet přitlaku v kapitole 3:

$$t = t' + \sqrt[3]{\frac{A \cdot (t_0 - t')^3}{P \cdot (t_0 - t')^3 + A}} \quad (38)$$

t_0 - tloušťka vláknenného materiálu za nulového přitlaku

t' - limitní hodnota tloušťky za maximálního přitlaku

P - přitlak

A - materiálová konstanta

Pro modelování křivek byly využity dva způsoby výpočtu.

6.2.1 Výpočet na základě hodnot naměřených na KES

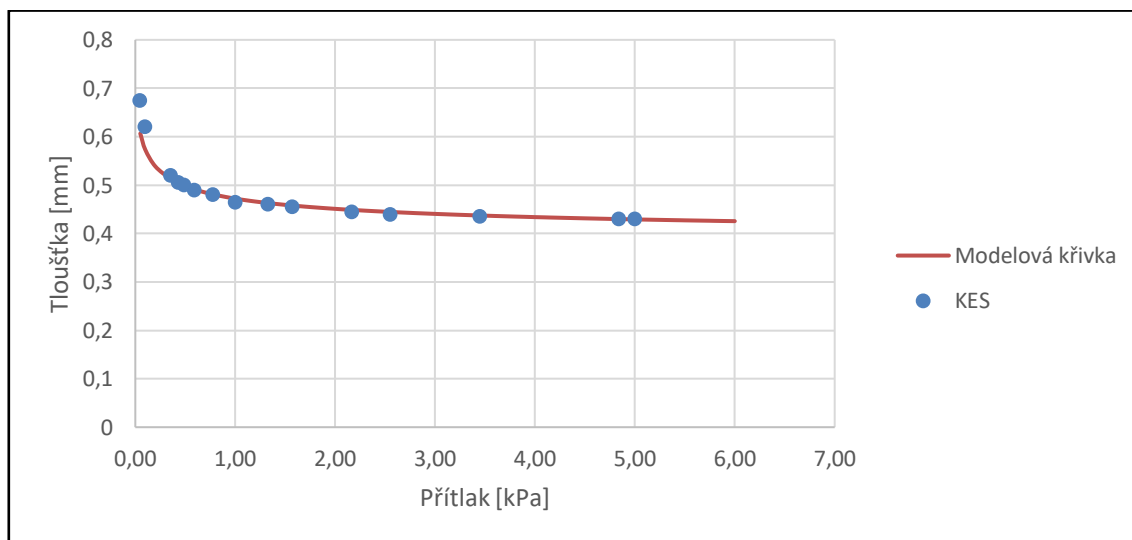
První způsob výpočtu byl využit pouze u tkanin 9/40/15, 9/40/18 a 9/40/21.2, u kterých byla tloušťka hodnocena pomocí KES. Parametry WC , TM a t_0 byly vybrány ze souborů dat naměřených na KES, jako průměrné hodnoty z pěti měření pro danou tkaninu. Materiálová konstanta A byla vypočítána podle vzorce (23) v kapitole 3. Hodnota limitní tloušťky t' byla vypočítána podle vzorce:

$$t' = TM - 2 \cdot \left(\frac{WC}{P}\right) \quad (39)$$

Výsledné hodnoty tloušťky t pro jednotlivé přitlaky byly napočítány podle výše uvedeného vzorce (38).

Výsledky:

V grafu na obrázku 35 je zobrazena modelová křivka pro tkaninu 9/40/15 spolu s naměřenými hodnotami tloušťky na KES v závislosti na přitlaku. Křivky pro další tkaniny jsou uvedeny v příloze 4.



Obrázek 35: Graf naměřených hodnot tloušťky na KES v závislosti na přitlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/15

6.2.2 Výpočet na základě hodnot naměřených na tloušťkoměru Mesdan a v makru

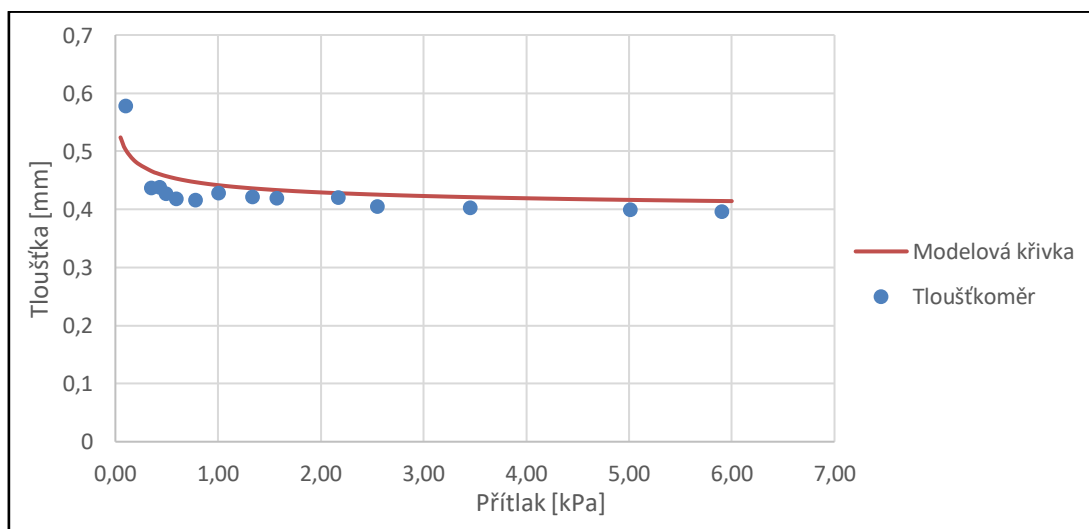
Druhý způsob byl využit u všech devíti tkanin. Jako parametr t_0 , tedy tloušťka tkaniny při nulovém přitlaku, byla použita hodnota tloušťky tkaniny při nejnižším přitlaku 0,1 kPa, naměřená na tloušťkoměru Mesdan viz kapitola 5.2.

Hodnota limitní tloušťky t' byla vypočítána jako součet parametrů příčné deformace b_o a b_u , které byly naměřeny pomocí makra viz kapitola 6.1. K výpočtu materiálové konstanty byl použit vzorec (21) z kapitoly 3. V tomto vzorci jsou pro všechny tkaniny stejné hodnoty parametrů Y , K a ρ . Liší se pouze hodnota měrné hmotnosti tkanin W .

Hodnota Y , tedy Youngova modulu pružnosti pro polyesterová vlákna je podle literatury [45] rovna 12,144 GPa. K je bezrozměrná konstanta podle článku [31] s hodnotou 0,01 a měrná hmotnost polyesteru ρ je 1380 kg/m². Pro výpočet výsledných hodnot tloušťky t pro jednotlivé přitlaky byl opět využit výše uvedený vzorec (38).

Výsledky:

V grafu na obrázku 36 je zobrazena modelová křivka pro tkaninu 9/40/15 spolu s naměřenými hodnotami tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku. Křivky pro další tkaniny jsou uvedeny v příloze 5.



Obrázek 36: Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/15

6.3 Zhodnocení výsledků

V této kapitole jsou porovnány hodnoty tloušťky získané výpočtem podle teoretických modelů a měřením na tloušťkoměru Mesdan a KES.

V grafech na obrázcích 37, 38 a 39 jsou pro srovnání vyneseny naměřené hodnoty tloušťky tří tkanin 9/40/15; 3/16,5/24 a 6/25/19 na tloušťkoměru Mesdan při přítlaku 1 kPa, tedy přítlaku předepsaném normou spolu s hodnotami tloušťky vypočítanými podle teoretických modelů 2 a 3 viz kapitola č. 6. V grafu pro tkaninu 9/40/15, u které byla tloušťka hodnocena i systémem KES, je pro porovnání vynesena i hodnota tloušťky naměřená tímto systémem opět při přítlaku 1 kPa. Hodnoty tloušťky naměřené na obrazové analýze a vypočítané podle Modelu 1 v grafech zobrazeny nejsou, protože se výrazně lišily, jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách 5.4 a 6.1.

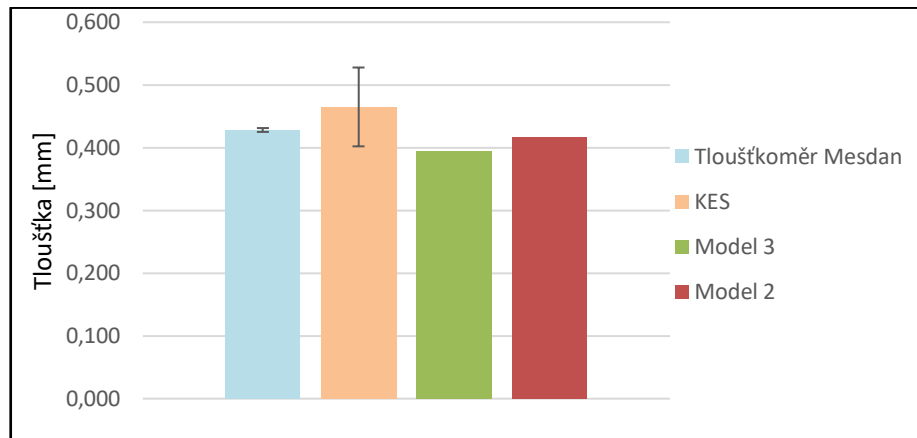
V tabulce č. 10 jsou vypočítané korelační koeficienty mezi jednotlivými dvojicemi metod a modelů. Hodnoty korelačních koeficientů jsou vysoké, mezi metodami a modely je tedy těsná, téměř lineární závislost. Tato závislost je patrná i v korelačních grafech na obrázcích č. 40 a 41. Všechny korelační koeficienty jsou statisticky významné. Korelační koeficienty mezi hodnotami tloušťky naměřenými na systému KES a dalšími metodami a modely nebylo možné vypočítat z důvodu malého počtu hodnot. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.3, pouze u tří tkanin byla tloušťka hodnocena systémem KES. Pouze v grafu č. 41 je zobrazena závislost mezi hodnotami z tloušťkoměru Mesdan a KES.

Tabulka 10: Korelační koeficienty mezi jednotlivými metodami a modely

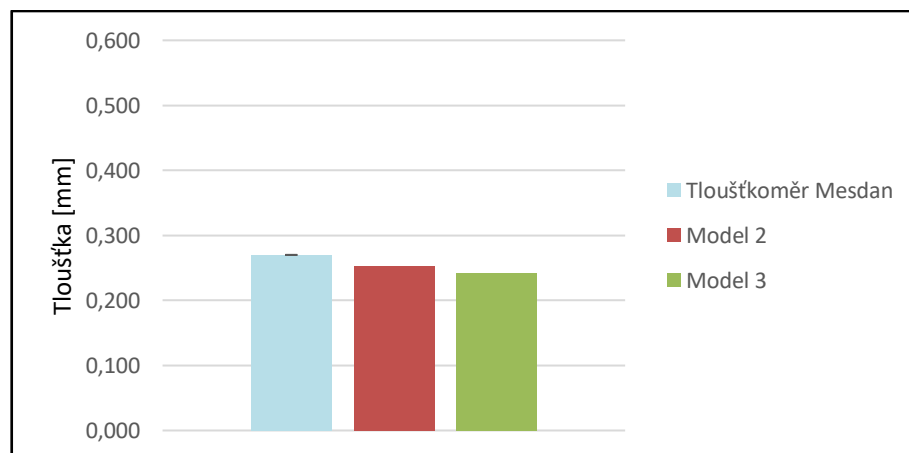
Korelace mezi:		Korelační koeficient
tloušťkoměr Mesdan	Obrazová analýza	0,982
tloušťkoměr Mesdan	Model 1	0,975
tloušťkoměr Mesdan	Model 2	0,970
tloušťkoměr Mesdan	Model 3	0,963
Obrazová analýza	Model 1	0,991
Obrazová analýza	Model 2	0,987
Obrazová analýza	Model 3	0,955
Model 1	Model 2	0,996
Model 1	Model 3	0,953
Model 2	Model 3	0,957

Ze všech tří grafů 37–39 je dobře viditelné, že hodnoty tloušťky získané výpočtem podle obou teoretických modelů jsou srovnatelné s hodnotami tloušťky získanými měřením při přítlaku 1 kPa předepsaném normou ISO 5084:1996 na tloušťkoměru Mesdan a v případě

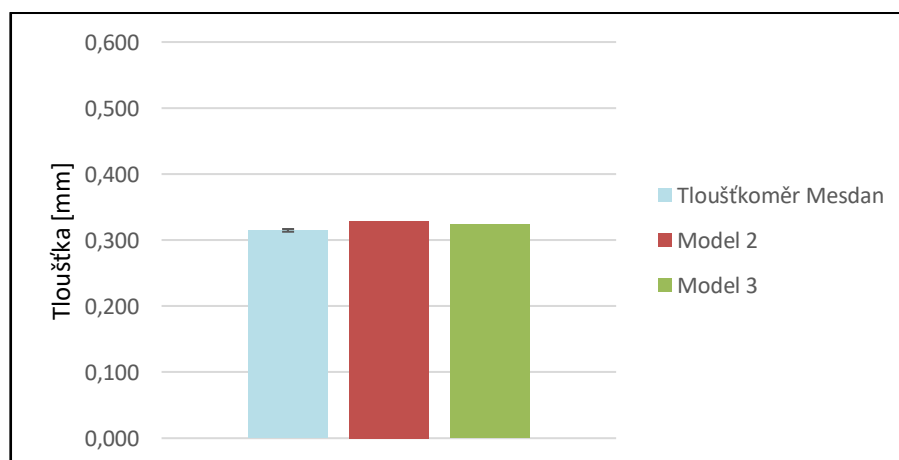
tkaniny 9/40/15 také na systému KES. Z tohoto srovnání vyplývá, že tyto dva teoretické modely jsou pro hodnocení tloušťky tkaniny dobře využitelné.



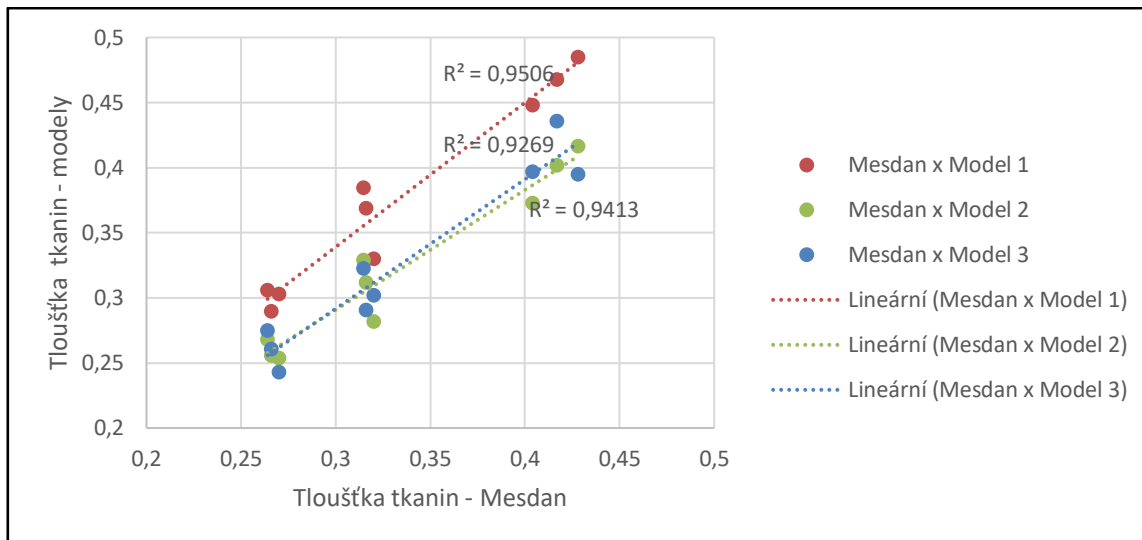
Obrázek 37: Srovnání hodnot tloušťky tkaniny 9/40/15 naměřených na tloušťkoměru Mesdan a systému KES při přtlaku 1 kPa s hodnotami tloušťky získanými výpočtem podle teoretických modelů



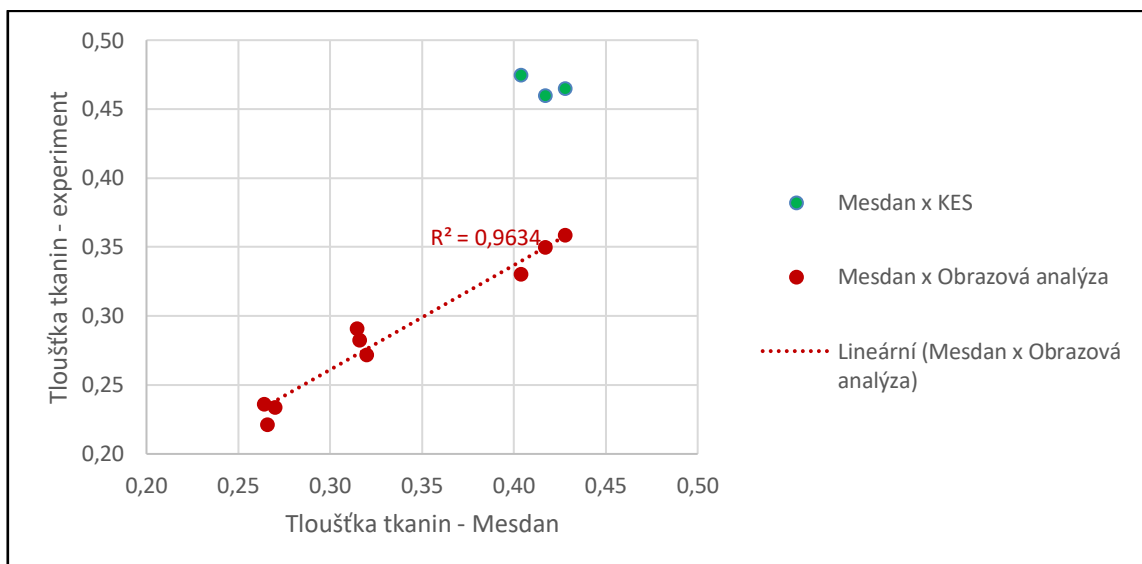
Obrázek 38: Srovnání tloušťky tkaniny 3/16,5/24 naměřené na tloušťkoměru Mesdan při přtlaku 1 kPa s hodnotami tloušťky získanými výpočtem podle teoretických modelů



Obrázek 39: Srovnání tloušťky tkaniny 6/25/19 naměřené na tloušťkoměru Mesdan při přtlaku 1 kPa s hodnotami tloušťky získanými výpočtem podle teoretických modelů



Obrázek 40: Korelační graf – korelace mezi hodnotami tloušťky tkaniny naměřenými na tloušťkoměru Mesdan a hodnotami tloušťky vypočítanými podle teoretických modelů.



Obrázek 41: Korelační graf – korelace mezi hodnotami tloušťky tkaniny naměřenými na tloušťkoměru Mesdan a hodnotami tloušťky naměřenými na obrazové analýze a KES

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo na sadě experimentálních tkanin provést měření a hodnocení tloušťky tkanin třemi dostupnými experimentálními metodikami, stanovit vliv přítlaku na hodnotu tloušťky tkanin a metodiky porovnat.

Všechny tkaniny jsou vyrobeny ze 100 % polyesteru, jsou utkány v plátňové vazbě a liší se v dostavě osnovy a útku a v jemnosti použité příze.

Prvním typem metodiky, kterou byla hodnocena tloušťka všech devíti experimentálních tkanin, bylo měření tloušťky tkaniny z měkkých řezů pomocí obrazové analýzy NIS-Elements.

Dále byla opět u všech tkanin testována tloušťka na tloušťkoměru Mesdan, tloušťka byla měřena pod přítlakem předepsaným normou a dále pod přítlaky v rozmezí od 0,1 do 5,9 kPa. Byl potvrzen předpoklad, že hodnota tloušťky s rostoucím přítlakem klesá. Se zvyšujícím se přítlakem klesá také variabilita, při nejvyšším přítlaku jsou naměřené hodnoty tloušťky už téměř konstantní. Nejnižší hodnoty tloušťky byly naměřeny při přítlaku 5,9 kPa a nejvyšších hodnot bylo dosaženo při přítlaku 0,1 kPa. Při přítlaku 0,1 kPa byla tkanina na tloušťkoměru Mesdan stlačena velmi málo, dalo se s ní pod patkou bez problémů posouvat, je tedy možné, že hodnota přítlaku nebyla 0,1 kPa, ale nižší. Při měření je vhodné pečlivě vybírat místa bez vad a ohybů, která by mohla ovlivnit naměřenou hodnotu tloušťky.

U třech experimentálních tkanin byla tloušťka hodnocena systémem KES – FB3. Tloušťka tkaniny byla na tomto přístroji měřena pod přítlakem od 5 do 0 kPa. Naměřené hodnoty tloušťky na tomto systému byly u všech tří tkanin velmi blízké hodnotám naměřeným na tloušťkoměru Mesdan, grafy závislosti tloušťky na přítlaku měly stejný trend. Oběma přístroji lze tedy dosáhnout stejných výsledků, měření tloušťky pod více přítlaky je na tloušťkoměru Mesdan časově náročnější, ale méně nákladné než na systému KES, který je ale propojen s počítačem a umožňuje vykreslit kompresní křivky.

Hodnoty tloušťky naměřené pomocí obrazové analýzy byly u všech tkanin výrazně nižší v porovnání s hodnotami získanými měřeními na tloušťkoměru Mesdan a systému KES. Odlišné výsledky byly pravděpodobně způsobeny vlivem stlačení v průběhu procesů přípravy měkkých řezů tkanin.

Z měření podle všech tří metodik vyplývá, že hodnota tloušťky tkaniny se zvyšuje s jemností příze použité ve tkanině. S jemností příze se u přízí vyrobených ze stejného materiálu zvětšuje průměr, a tedy i hodnota tloušťky tkaniny.

U všech devíti experimentálních tkanin je patrný pokles hodnoty tloušťky s dostavou osnovy a útku. Průměry osnovních a útkových nití jsou největší u tkanin s nejnižší dostavou a nejmenší u tkanin s nejvyšší dostavou. Hodnota tloušťky tkaniny je výrazně ovlivněna průměrem příze.

U skupin tkanin se stejnou dostavou osnovy a stejnou jemností přízí lze na základě parametrů tkanin vyhodnocených z makra „RezyTkaninou.mac“ předpokládat, že je snižující se hodnota tloušťky tkaniny způsobena změnou zvlnění. Bylo zjištěno, že u každé ze tří skupin tkanin s rostoucí dostavou útku klesá hodnota relativního zvlnění osnovy. Deformace útkových a osnovních nití je u všech tkanin téměř shodná. Hodnota relativního zvlnění osnovy je u všech tkanin vyšší než relativní zvlnění útku. Pokles tloušťky tkaniny s rostoucí hodnotou dostavy útku není u skupin tkanin jednoznačný.

U všech experimentálních tkanin byla tloušťka hodnocena také pomocí teoretických modelů. Potřebné parametry pro výpočet byly naměřeny z měkkých řezů tkanin pomocí makra obrazové analýzy. Hodnoty tloušťky vypočítané podle modelů zahrnujících parametry zvlnění, příčné deformace a vazby byly velmi blízké hodnotám tloušťky naměřeným na tloušťkoměru Mesdan a systému KES – FB3 při přítlaku předepsaném normou, tedy 1 kPa. Teoretické modely zahrnující parametry zvlnění a příčné deformace jsou tedy pro odhad tloušťky tkanin vyhovující.

Dalším tématem, které bylo v práci řešeno, je modelování křivek závislosti tloušťky na přítlaku. Na základě známých vztahů, parametrech naměřených pomocí makra v systému obrazové analýzy a hodnot tloušťky naměřených na tloušťkoměru Mesdan a systému KES byly sestaveny modelové křivky závislosti tloušťky na přítlaku pro experimentální tkaniny. Pro tři tkaniny, u kterých byla tloušťka hodnocena také na KES, byly sestaveny modelové křivky odpovídající kompresním křivkám z tohoto systému. Pro všech devět tkanin byly sestaveny modelové křivky odpovídající průběhům závislosti naměřených hodnot tloušťky tkaniny na přítlaku na tloušťkoměru Mesdan. Bylo prokázáno, že kompresní křivku lze sestavit i bez měření na systému KES. Je potřeba znalost hodnot

tloušťky při nulovém a maximálním přitlaku, naměřených na běžném tloušťkoměru, a parametrů příčné deformace naměřených z řezů tkaniny pomocí makra.

Seznam použité literatury

- [1] B.K. BEHERA, B.K. HARI., B.K. Behera, B.K. Hari. Woven textile structure: theory and application. Cambridge: Woodhead Pub, 2010. ISBN 9781845695149.
- [2] TKANINY 1 „DEFINICE, SOUVISLOSTI“. NECKÁŘ, Bohuslav. SVT1 - přednášky: SVT1 - prednaska07 [online]. s. 1-18 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2015-09-29/10-19-17.pdf>
- [3] TKANINY 2 „MODELY GEOMETRIE“. NECKÁŘ, Bohuslav. SVT1 - přednášky: SVT1 - prednaska08 [online]. 1 - 34 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2015-09-29/10-19-39.pdf>
- [4] KOVÁŘ, Radko. Teorie tvorby plošných textilií – TTP [online]. KTT, 2009 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2010-01-11/12-39-09.pdf>
- [5] INTERNÍ NORMA Č.13-108-01/01. Definice: Geometrické parametry tkanin. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2004.
- [6] INTERNÍ NORMA Č. 12-108-01/01. Definice: Geometrické vlastnosti staplových přízí. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2002.
- [7] INTERNÍ NORMA Č. 23-108-01/01. Definice geometrie provázání nití ve tkanině z příčných řezů. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2011.
- [8] Kolčavová Sirková, B.: Systém projektování "příze – tkanina". Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004.
- [9] HU, Jinlian. Structure and mechanics of woven fabrics. Cambridge: Woodhead Pub., 2004. ISBN 1855739046.
- [10] ED. BY J. HU. Fabric testing. Cambridge [u.a.]: Woodhead [u.a.], 2008. ISBN 9781845692971.
- [11] COLLIER, Billie J, Martin J BIDE a Phyllis G TORTORA. Understanding textiles. 7th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, c2009. ISBN 0131187708
- [12] EL-MOGAHZY, Y. Fiber to fabric engineering. Cambridge: Woodhead Publ, 2006. ISBN 9781845690489.
- [13] COLLIER, Billie J. a Helen H. EPPS. Textile testing and analysis. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999. ISBN 0134882148.
- [14] KLÍMOVÁ, Eva. DIGITÁLNÍ TLOUŠŤKOMĚR: Přístroj SDL M034A [online]. 2008, , 6 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/TLOUSTKOMER.pdf>
- [15] Tloušťkoměr do 10 mm(+0,01mm),hloubka čelisti 40mm. P. J. Novák s. r. o.: Vše potřebné pro oděvní a textilní výrobu [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.pjnovak.cz/tloustkomer-do-10-mm001mmhloubka-celisti-40mm-p-4055.html>
- [16] Tloušťkoměry - Katalog. Kalibrační laboratoř Zindler [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.klz.inshop.cz/tloustkomery/>

- [17] KOD.TUL.CZ. [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/view/51064938/propustnost-tepla-alambda>
- [18] HES, Luboš a Petr SLUKA. Úvod do komfortu textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-708-3926-0.
- [19] TestALL.org: Equipment: Frazier Schiefer Compressometer [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.testall.org/equipment/names/frazier_compressometer/index.html
- [20] The Frazier Schiefer Compressometer® [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.frazierinstrument.com/products/fsc/fsc-description.html>
- [21] LI, Y a X-Q DAI. Biomechanical engineering of textiles and clothing. Woodhead Publishing Limited, 2006.
- [22] GIORGIO, Pier. FAST-Fabric assurance by simple testing. International Journal of Clothing Science and technology [online]. 1995 [cit. 2016-05-10].
- [23] KLÍMOVÁ, Eva. DIGITÁLNÍ TLOUŠŤKOMĚR: Přístroj SDL M034A [online]. 2008, , 6 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/TLOUSTKOMER.pdf>
- [24] MAŘAN, Tomáš. Tloušťka plošných textilií a kompresní vlastnosti. Liberec, 2009. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Katedra oděvnictví. Vedoucí práce Ing. Zuzana Fléglová.
- [25] Thickness Gauge DM: Thickness Gauge in new design [online]. In: , Schröder Prüftechnik. s. 1 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.schroeder-prueftechnik.de/db.en/3-10.pdf>
- [26] THICKNESS GAUGE: ** Code 1880_ABCDEFGHMP ** [online]. , 1-3 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: https://www.saviotechnologies.com/mesdan/Documents/LAB/1880_ABCDEFGHMP_leaflet_eng%20NL%20140718.pdf
- [27] KOVAČIČ, Vladimír. Textilní zkušebnictví. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 8070838256
- [28] ISO 5084:1996. Textilie-Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků. Brusel: CEN, 1996.
- [29] ITEC innovation ltd: SiroFAST 1 [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.itecinnovation.com/productDetails.php?id=82>

- [30] KES - FB (Kawabata Evaluation System for Fabrics): KES-FB3 Automatic Compression Tester [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-kes?preview=1>
- [31] DE JONG, S, J.W. SNAITH a N.A. MICHIE. A Mechanical Model for the Lateral Compression of Woven Fabrics. Australia: CSIRO Division of Textile Physics, 1986.
- [32] SEAMAN, R.E. The Measurement of Fabric Thickness. *Textile research journal*. Characterization Research Laboratory, Textile Research Division, Textile Fibers Department, 1953.
- [33] FONTAINE, Stéphane, Bernard DURAND a Jean Marie FREYBURGER. Fabric Thickness Dynamic Measurement during a Classic Uniaxial Tensile Test. *Experimental Mechanics*. 2002.
- [34] POTLURI, P., M.A. WILDING a A. MEMON. A Novel Stress-Freezing Technique for Studying the Compressional Behaviour of Woven Fabrics. Department of Textiles, University of Manchester Institut of Science and Technology, 2002.
- [35] HU, J. a A. NEWTON. Low-load Lateral-compression Behaviour of Woven Fabrics. *The Journal of The Textile Institute*. 2009.
- [36] MURTHYGURU. NOVEL APPROACH TO STUDY COMPRESSION PROPERTIES IN TEXTILES. *AUTEX Research Journal*. Department of Textile Technology, Indian Institute of Technology, 2005.
- [37] Microsoft Excel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel
- [38] DRÁPELA, Karel. *APLIKOVANÁ ANALÝZA DAT PRO KI: Analýza malých výběrů* [online]. 2006 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/35horn.pdf>
- [39] *Krabicový diagram (Box plot)* [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-hodnoceni-biologickych-dat--statisticke-modelovani--pruzkumova-analyza-jednorozmernych-dat--diagnosticke-grafy--krabicovy-diagram-box-plot>
- [40] Microsoft: *QUARTIL (funkce)* [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://support.office.com/cs-cz/article/QUARTIL-funkce-93cf8f62-60cd-4fdb-8a92-8451041e1a2a>
- [41] Microsoft: Analýza komplexních dat pomocí doplňku Analytické nástroje [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://support.office.com/cs-cz/article/Anal%C3%BDza-komplexn%C3%ADch-dat-pomoc%C3%AD->

[dopl%C5%88ku-Analytick%C3%A9-n%C3%A1stroje-6c67cef0-f4a9-487c-8dec-bdb5a2cefab6](https://doi.org/10.26907/2535-9876.2017.1.0001)

- [42] HANYKO Praha S.R.O.: *Program NIKON NIS-Elements* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://www.hanyko-praha.cz/produkty/metalografie/software-pro-hodnoceni-struktury/nikon-nis-elements/>
- [43] INTERNÍ NORMA 46-108-01/01. Doporučený postup tvorby příčných řezů.: Měkké a tvrdé řezy. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2002
- [44] VYŠANSKÁ, Monika. Princip funkce makra „RezyTkaninou.mac“. 2010, , 1-4.
- [45] MORTON, W. E. a J. W. S. HEARLE. *Physical properties of textile fibres*. 3rd ed. Manchester, UK: Textile Institute, 1993. ISBN 1870812417.
- [46] *Microsoft Office: CORREL (funkce)* [online]. 2017 [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <https://support.office.com/cs-cz/article/CORREL-funkce-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92>
- [47] Lineární korelační závislost: Korelační analýza. Biostatistika: Přednášky [online]. [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn5/linearni.htm>
- [48] 10 Korelační koeficient [online]. [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <http://kps.pedf.cuni.cz/skalouda/korelace.doc>

Seznam příloh

Příloha 1: Hodnoty tloušťky naměřené na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku

Příloha 2: Hodnoty tloušťky naměřené na KES - FB3 v závislosti na přitlaku

Příloha 3: Porovnání hodnot tloušťky experimentálních tkanin v závislosti na přitlaku naměřených na tloušťkoměru Mesdan, KES a pomocí obrazové analýzy

Příloha 4: Grafy naměřených hodnot tloušťky na KES v závislosti na přitlaku a modelové křivky získané výpočtem na základě hodnot tloušťky z KES

Příloha 5: Grafy naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku a modelové křivky získané výpočtem na základě hodnot tloušťky naměřených na tloušťkoměru Mesdan

Seznam tabulek

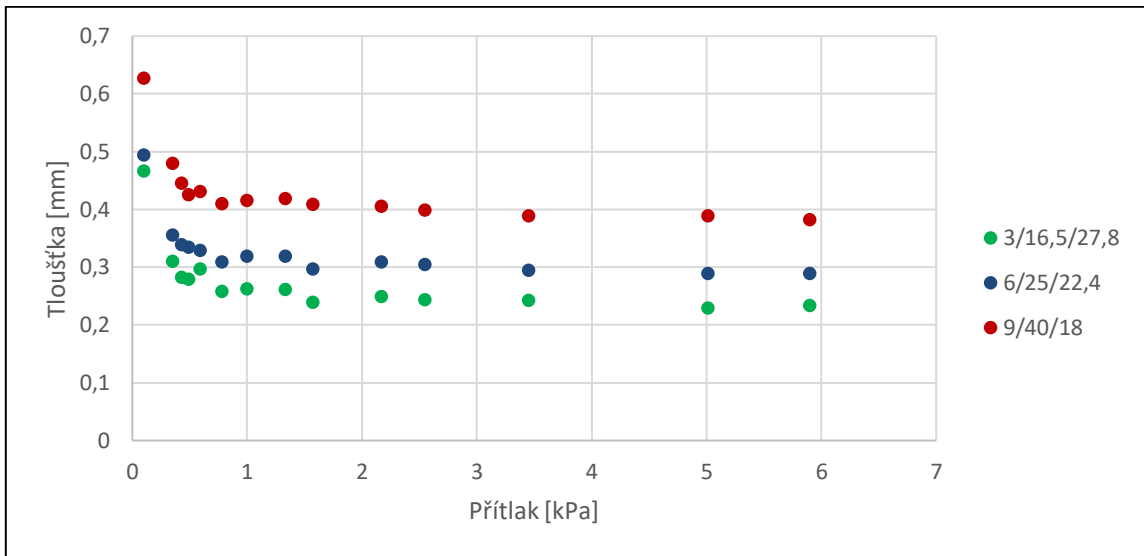
Tabulka 1: Testované tkaniny a jejich parametry	42
Tabulka 2: Přehled hmotností závaží používaných pro měření a hodnoty výsledných přítlaků ..	43
Tabulka 3: Naměřené hodnoty tloušťky tkanin na tloušťkoměru Mesdan	45
Tabulka 4: Naměřené hodnoty tloušťky tkanin na tloušťkoměru Mesdan	45
Tabulka 5: Naměřené hodnoty tloušťky tkanin na tloušťkoměru Mesdan	45
Tabulka 6: Hodnoty tloušťky tkanin 9/40/15; 9/40/18; 9/40/21,2 naměřené na přístroji KES – FB3	47
Tabulka 7: Hodnoty tloušťky naměřené z řezů pomocí obrazové analýzy u všech tkanin	50
Tabulka 8: Přehled parametrů použitých pro výpočet tloušťky tkanin	54
Tabulka 9: Přehled vypočítaných hodnot tloušťky podle tří modelů	55
Tabulka 10: Korelační koeficienty mezi jednotlivými metodami a modely	59

Seznam obrázků

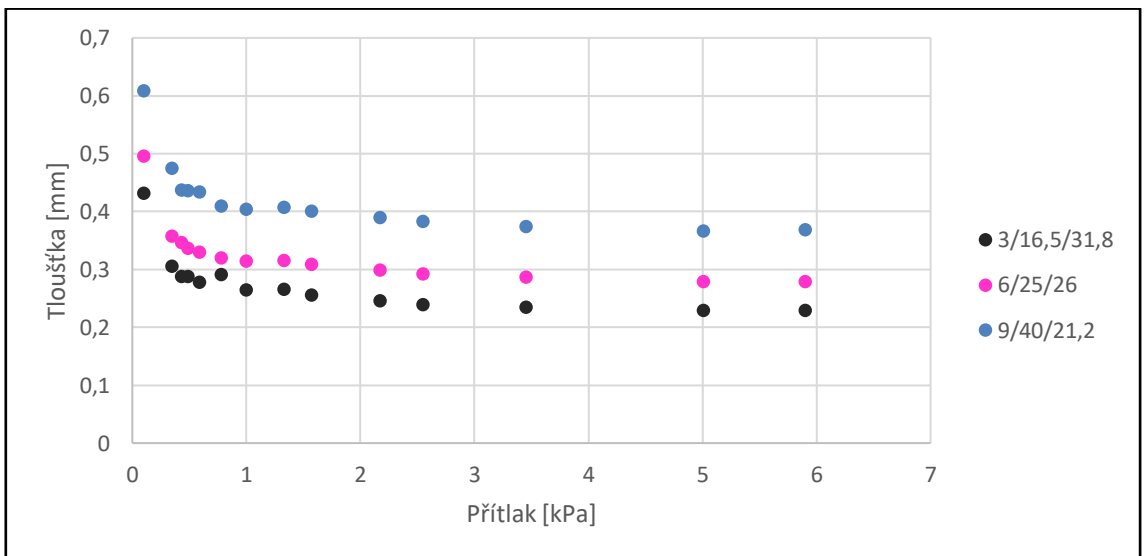
Obrázek 1: Průměr d a substanční průměr d_s [6]	14
Obrázek 2: Výchozí volná nit o průměru d a zdeformovaná nit o rozměrech a, b [3]	14
Obrázek 3: (a) plátňová vazba (b) záznam plátňové vazby (c) podélný řez (d) příčný řez [1]....	15
Obrázek 4: Zakřížené a nezakřížené úseky [2]	16
Obrázek 5: Zvlnění: a) maximální zvlnění útku, b) vyrovnaná tkanina, c) maximální zvlnění osnovy [4].....	18
Obrázek 6: Princip stanovení tloušťky plošné textilie h a závislost tloušťky h na čase t po vložení přítlaku p_m [27]	20
Obrázek 7: Peirceova geometrie příčného řezu tkaniny v plátňové vazbě [9]	21
Obrázek 8: Kempův model pro plátňovou vazbu [9].....	21
Obrázek 9: Hearleova čočkovitá geometrie pro plátňovou vazbu [9].....	22
Obrázek 10: Ruční tloušťkoměr s analogovým displejem [16]	24
Obrázek 11: Tloušťkoměr Mesdan	24
Obrázek 12: Alambeta: (1) vyhřívaná měřicí hlavice, (2) měřicí podložka, (3) ovládací panel s displejem (4) vyhodnocovací část – umožňuje pohyb měřicí hlavy a její definovaný přítlak.[17].....	25
Obrázek 13: Schiefer Compressometer [20]	26
Obrázek 14: Přístroj KES – FB3 [30]	27
Obrázek 15: Ukázka typické kompresní křivky, získané měřením tloušťky na KES – FB3, zde pro experimentální tkaninu 9/40/15	28
Obrázek 16: Princip měření tloušťky tkaniny a povrchové vrstvy přístrojem FAST-1 [9].....	29
Obrázek 17: FAST – 1 [29].....	29
Obrázek 18: Tloušťkoměr SDL M034A [23].....	30
Obrázek 19: Tloušťkoměr DM [25].....	31
Obrázek 20: Tloušťkoměr FF - 27[24].....	32
Obrázek 21: Křivka závislosti tloušťky tkaniny na přítlaku tloušťkoměru [21].....	32
Obrázek 22: Vzorek tkaniny vložený mezi dvěma deskami materiálu perspex [34]	38
Obrázek 23: Změna celkové tloušťky tkaniny v závislosti na přítlaku [34].....	38
Obrázek 24: Konstrukce krabicového grafu [39].....	40
Obrázek 25: Závaží používaná při měření tloušťky na tloušťkoměru Mesdan	44
Obrázek 26: Naměřené hodnoty tloušťky tří vybraných tkanin na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku	46
Obrázek 27: Závislost tloušťky tkaniny 9/40/21,2 na přítlaku KES – FB3.....	48
Obrázek 28: Příčný řez tkaninou 6/25/26.....	49
Obrázek 29: Příčný řez tkaninou 3/16,5/31,8	49
Obrázek 30: Podélný řez tkaninou 9/40/18	49
Obrázek 31: Příčný řez tkaninou 6/25/19.....	49
Obrázek 32: Graf závislosti tloušťky tkanin na jemnosti příze a dostavě	51
Obrázek 33: Porovnání tloušťky tkaniny 9/40/18 v závislosti na přítlaku měřené na tloušťkoměru Mesdan, KES a pomocí obrazové analýzy	52
Obrázek 34: Porovnání hodnot tloušťky experimentálních tkanin vypočítaných na základě tří teoretických modelů.....	56
Obrázek 35: Graf naměřených hodnot tloušťky na KES v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/15	57
Obrázek 36: Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/15.....	58

Obrázek 37: Srovnání hodnot tloušťky tkaniny 9/40/15 naměřených na tloušťkoměru Mesdan a systému KES při přítlaku 1 kPa s hodnotami tloušťky získanými výpočtem podle teoretických modelů.....	60
Obrázek 38: Srovnání tloušťky tkaniny 3/16,5/24 naměřené na tloušťkoměru Mesdan při přítlaku 1 kPa s hodnotami tloušťky získanými výpočtem podle teoretických modelů.....	60
Obrázek 39: Srovnání tloušťky tkaniny 6/25/19 naměřené na tloušťkoměru Mesdan při přítlaku 1 kPa s hodnotami tloušťky získanými výpočtem podle teoretických modelů.....	60
Obrázek 40: Korelační graf – korelace mezi hodnotami tloušťky tkaniny naměřenými na tloušťkoměru Mesdan a hodnotami tloušťky vypočítanými podle teoretických modelů.	61
Obrázek 41: Korelační graf – korelace mezi hodnotami tloušťky tkaniny naměřenými na tloušťkoměru Mesdan a hodnotami tloušťky naměřenými na obrazové analýze a KES	61

Příloha 1: Hodnoty tloušťky naměřené na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku

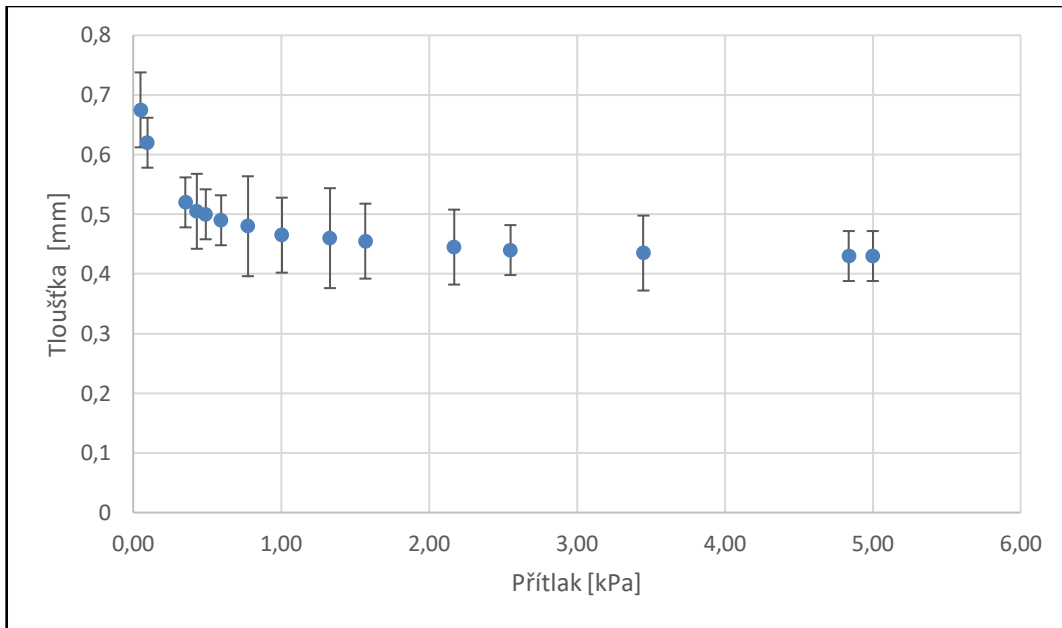


Naměřené hodnoty tloušťky tří vybraných tkanin na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku

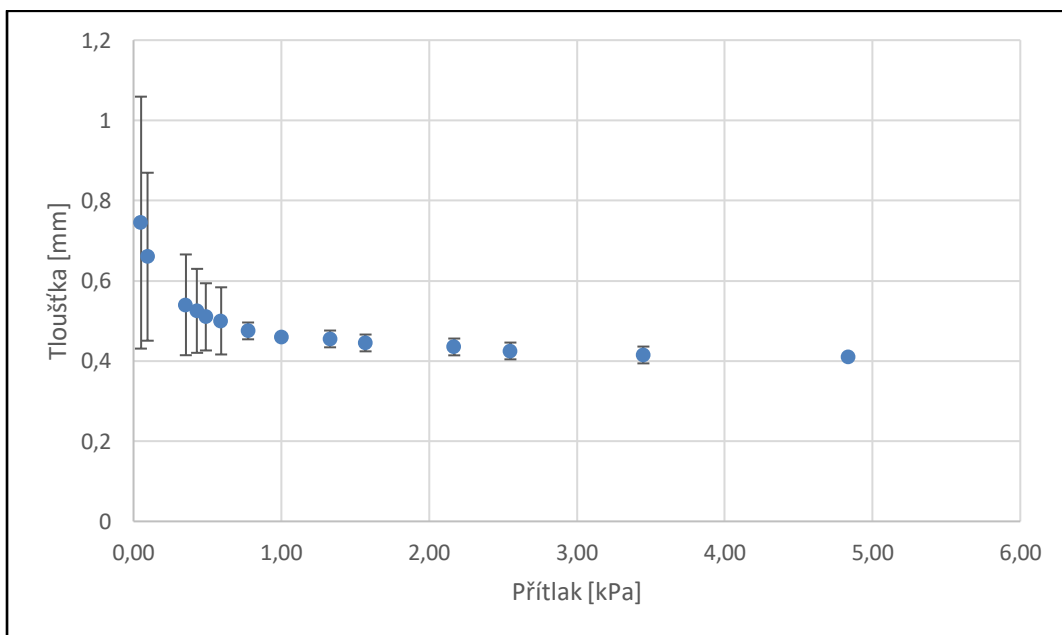


Naměřené hodnoty tloušťky tří vybraných tkanin na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku

Příloha 2: Hodnoty tloušťky naměřené na KES - FB3 v závislosti na přitlaku

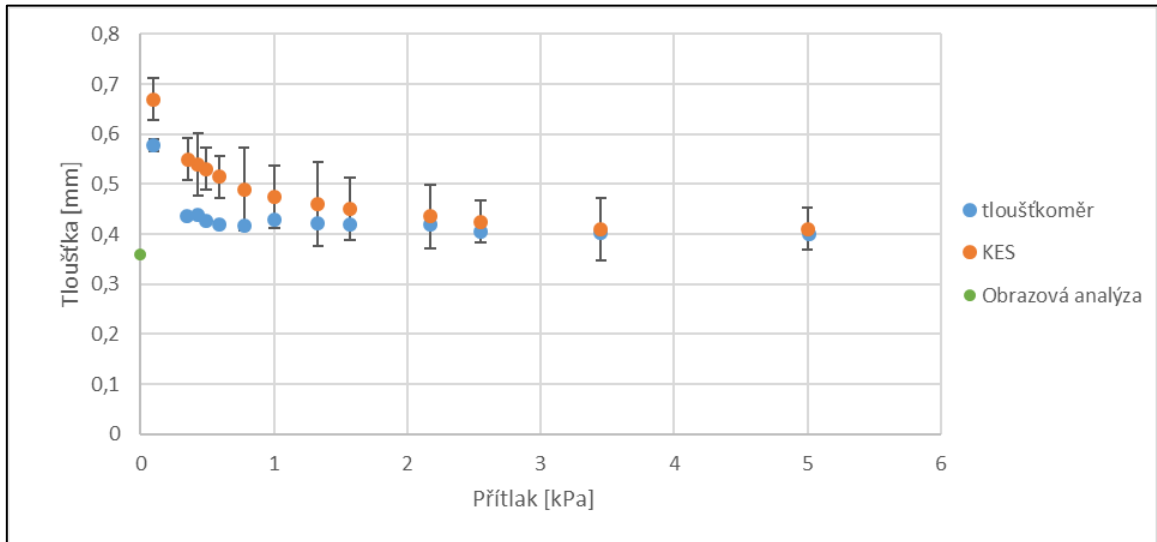


Závislost tloušťky tkaniny 9/40/15 na přitlaku KES – FB3

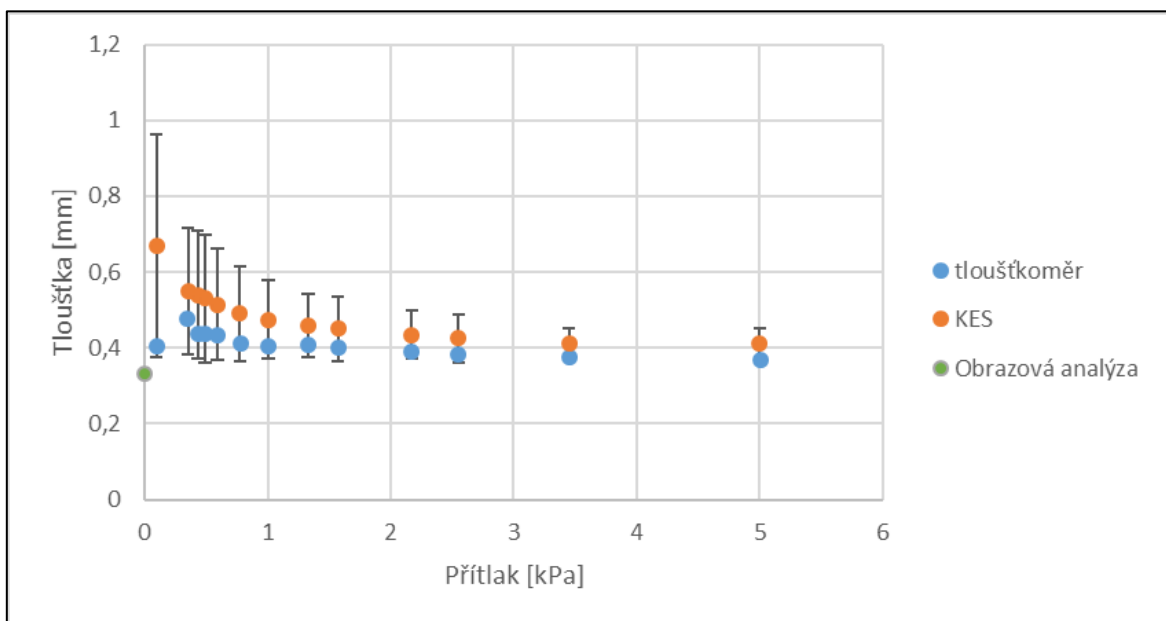


Závislost tloušťky tkaniny 9/40/18 na přitlaku KES – FB3

Příloha 3: Porovnání hodnot tloušťky experimentálních tkanin v závislosti na přitlaku naměřených na tloušťkoměru Mesdan, KES a pomocí obrazové analýzy

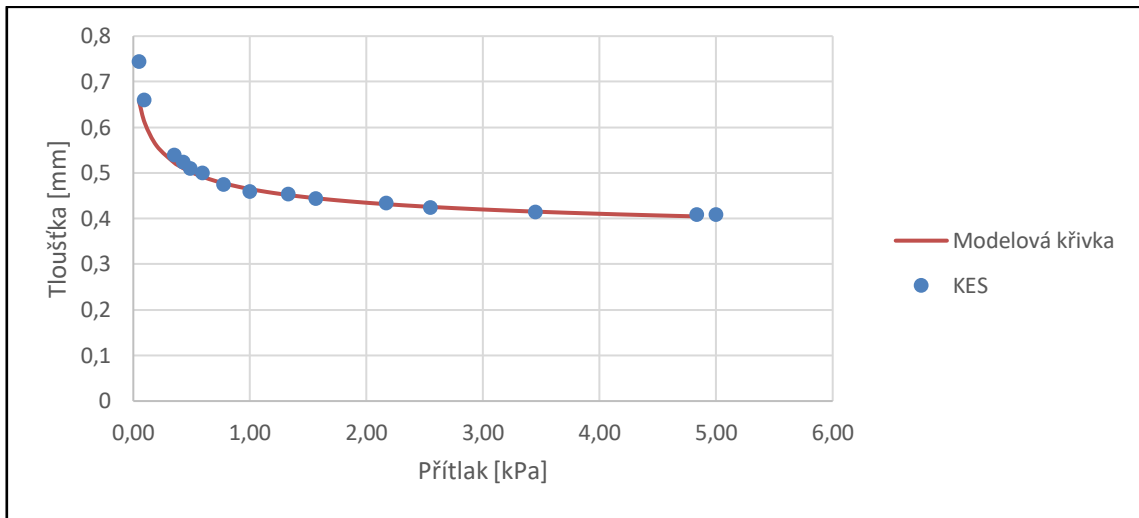


Porovnání tloušťky tkaniny 9/40/15 v závislosti na přitlaku měřené na tloušťkoměru Mesdan, KES a pomocí obrazové analýzy

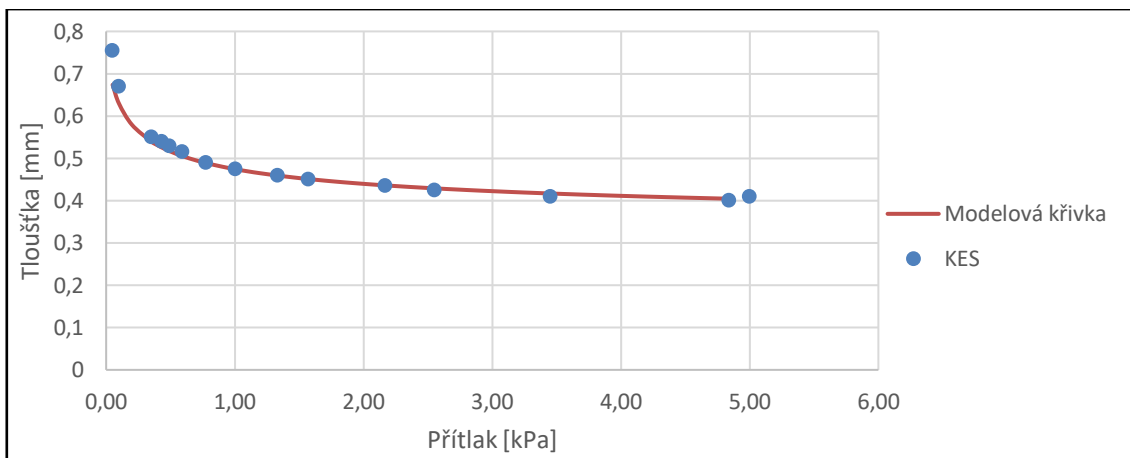


Porovnání tloušťky tkaniny 9/40/21,2 v závislosti na přitlaku měřené na tloušťkoměru Mesdan a KES

Příloha 4: Grafy naměřených hodnot tloušťky na KES v závislosti na přitlaku a modelové křivky získané výpočtem na základě hodnot tloušťky z KES

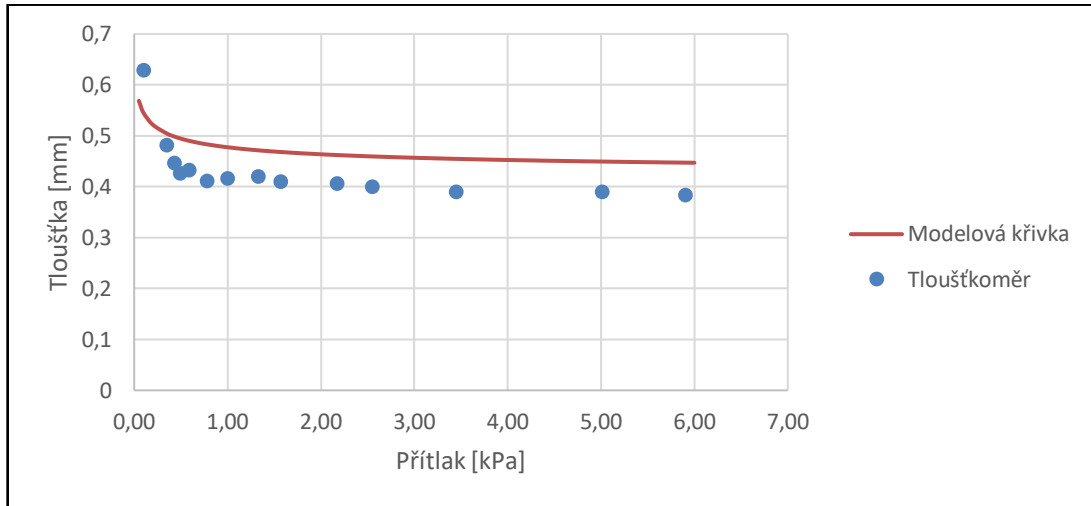


Graf naměřených hodnot tloušťky na KES v závislosti na přitlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/18

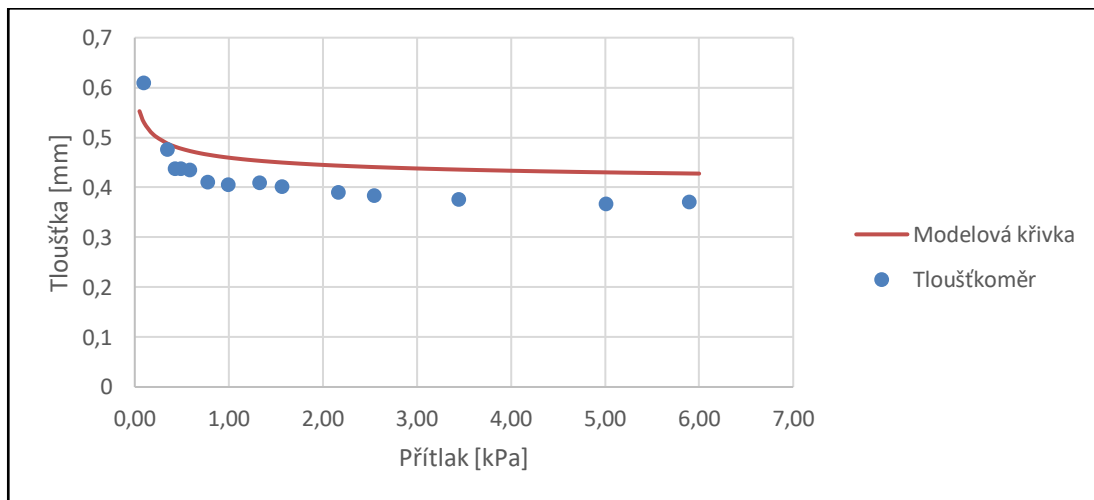


Graf naměřených hodnot tloušťky na KES v závislosti na přitlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/21,2

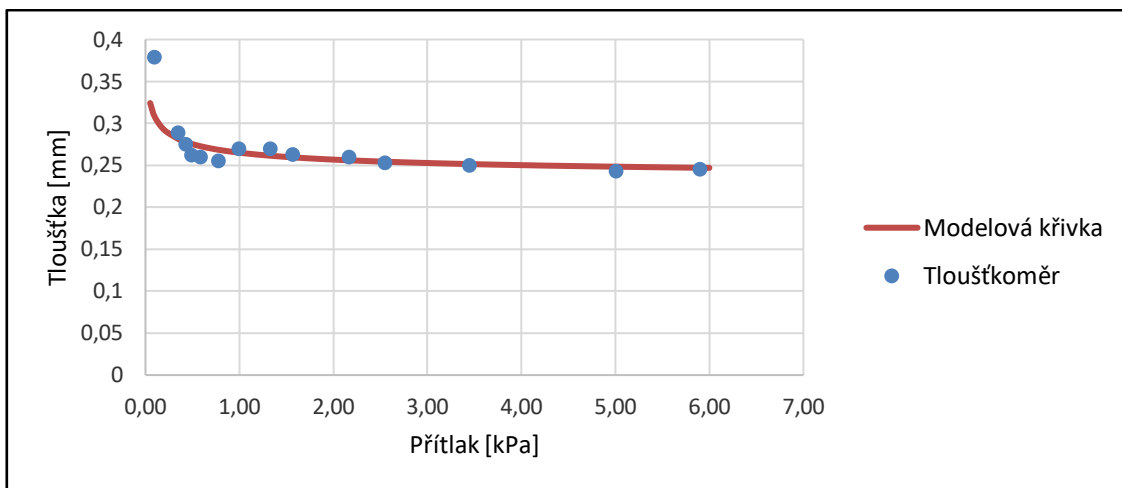
Příloha 5: Grafy naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku a modelové křivky získané výpočtem na základě hodnot tloušťky naměřených na tloušťkoměru Mesdan



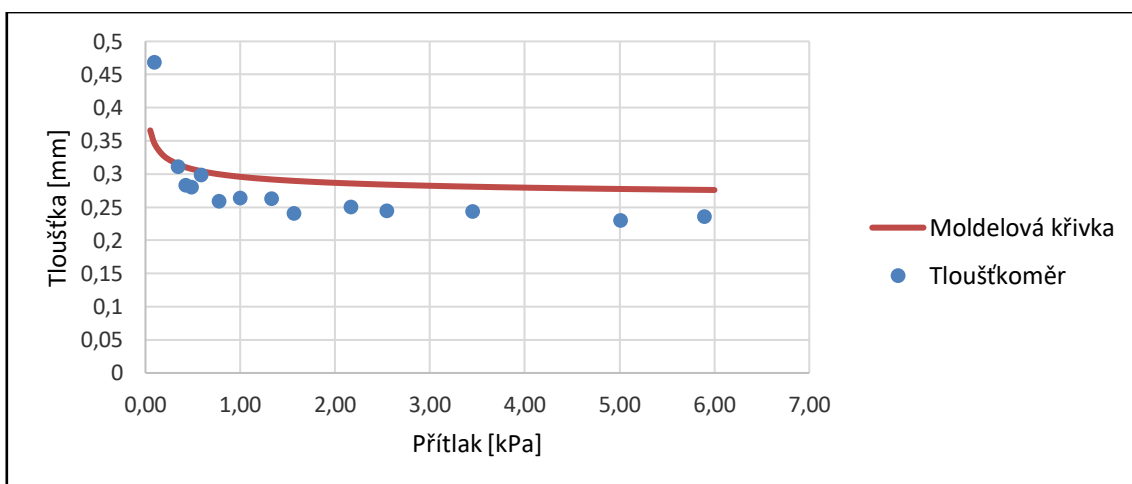
Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/18



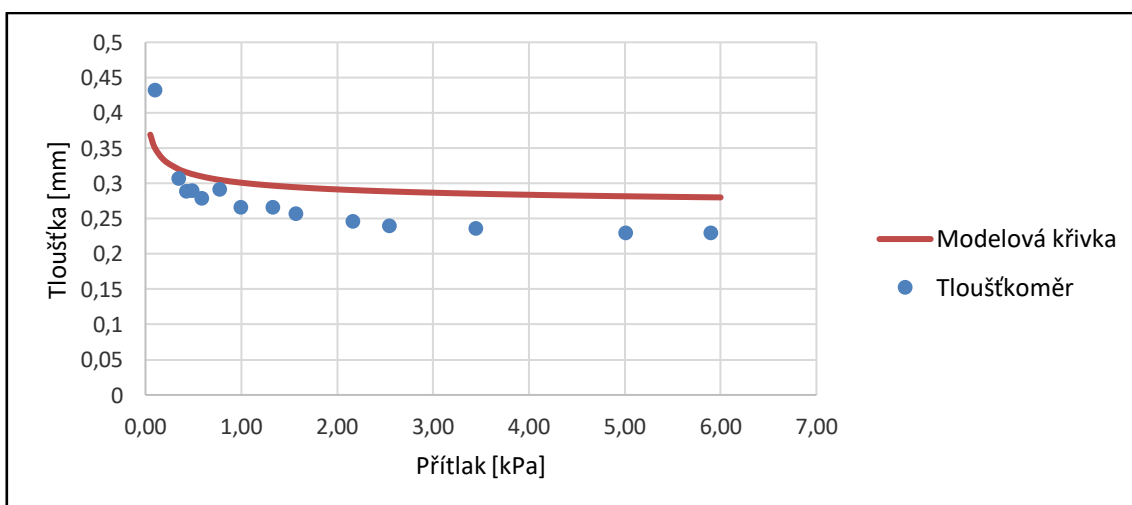
Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přitlaku a modelová křivka pro tkaninu 9/40/21,2



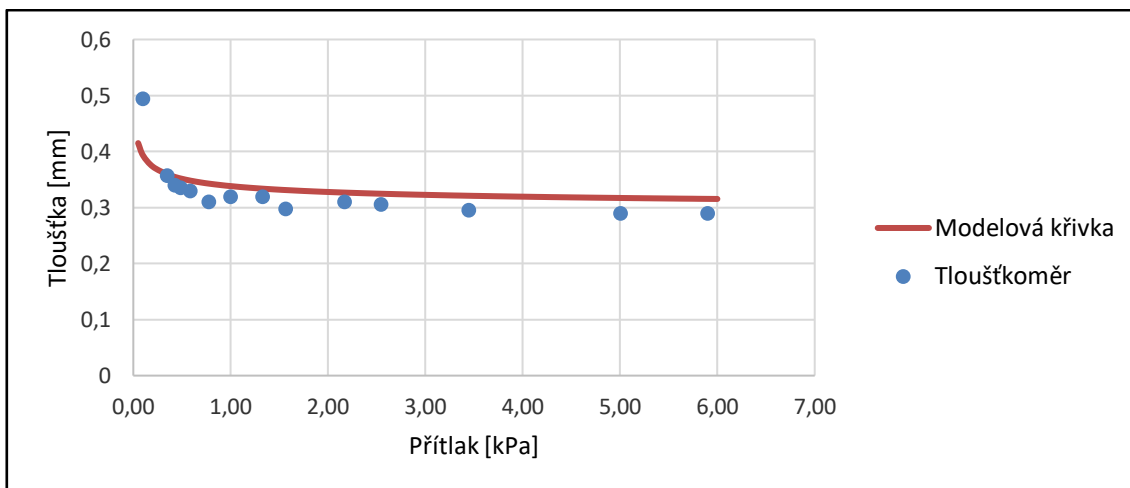
Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 3/16,5/24



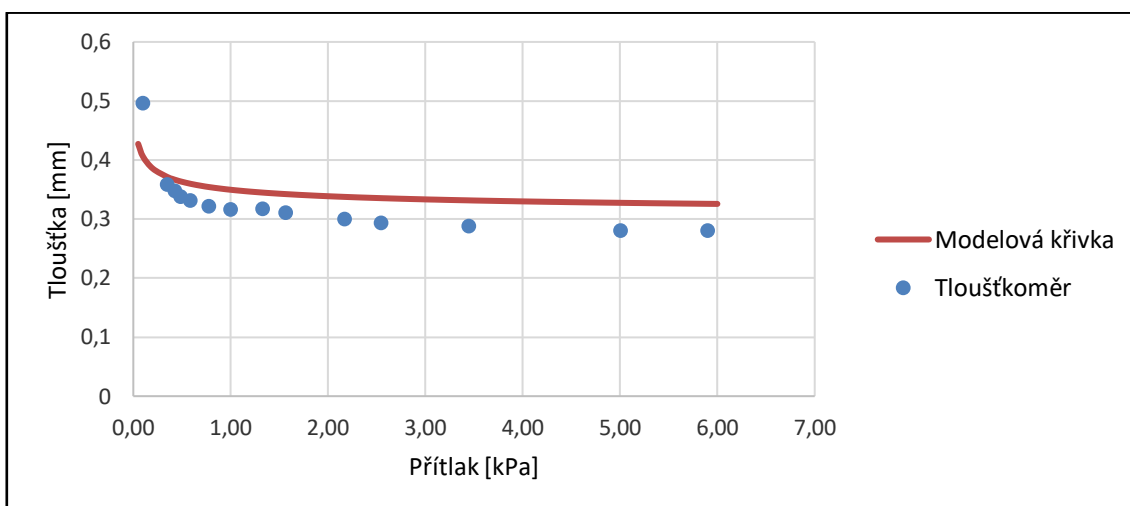
Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 3/16,5/27,8



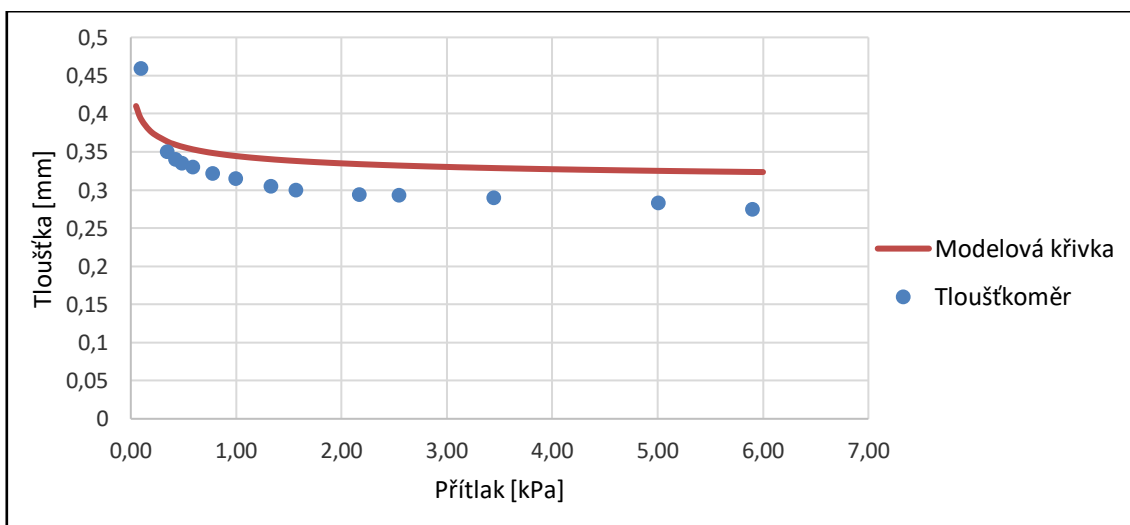
Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 3/16,5/31,8



Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 6/25/22,4



Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 6/25/26



Graf naměřených hodnot tloušťky na tloušťkoměru Mesdan v závislosti na přítlaku a modelová křivka pro tkaninu 6/25/19