



Hodnocení vzhledového defektu (zlomu - vrásky) na textilií použitím principu cyklického mačkání textilie

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Miroslav Herclík**
Vedoucí práce: doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.





Evaluation of a visual defect of a wrinkle on textile using the principle of cyclic wrinkling of fabric

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering
Author: **Bc. Miroslav Herclík**
Supervisor: doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Herclík**
Osobní číslo: **T15000040**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Hodnocení vzhledového defektu (zlomu - vrásky) na textilií
použitím principu cyklického mačkání textilie**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

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

1. Proveďte rešerši na téma ohybové chování textilií. Zhodnoňte dosud užívané metody měření a přístroje.
2. Vytvořte návrh konstrukce nového přístroje pro měření defektu. Návrh doplňte dokumentací vytvořenou v CAD programovém prostředí.
3. Vytvořte metodiku měření a hodnocení defektu. Na prototypu přístroje ověřte správnost navržené metodiky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. DENBY, E. F. The Deformation of Fabrics during Wrinkling - A Theoretical Approach. *Textile Research Journal*, 1976, 46.9:667-670.
2. KANG, Tae Jin; JOO, Ki Ho; LEE, Kyung Woo. Analyzing fabric buckling based on nonlinear bending properties. *Textile Research Journal*, 2004, 74.2: 172-177.
3. KOPP, Clayton; RAHN, Christopher D.; PAUL, Frank W. Measuring deformations of limp fabrics for material handling. *Textile Research Journal*, 2000, 70.10: 920-932.
4. HEIM, F.; GUPTA, Bhupender S. Textile heart valve prosthesis: The effect of fabric construction parameters on long-term durability. *Textile Research Journal*, 2009, 79.11: 1001-1013.
5. PREVORSEK, D. C.; BUTLER, R. H.; LAMB, G. E. R. Influence of Fiber Properties on Wrinkling Behavior of Fabrics Part I: Procedures and Apparatus. *Textile Research Journal*, 1975, 45.1: 60-67.
6. SHINOHARA, Akira; YAMAUCHI, Seiichi. Measuring Flexural Rigidity of Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1967, 13.6: 220-225.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

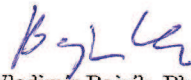
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: 30. března 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 5. května 2017


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Vladimír Bajžik, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 26. ledna 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen 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 vědom 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 vypracoval 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:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat paní doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za její čas a cenné připomínky, které byly nezbytné pro zhotovení této práce.

ANOTACE

Cílem této práce je navrhnout a vyrobit jednoduchý přístroj pro hodnocení zlomové vrásky na textilií určené pro potah automobilových sedaček. Touto zlomovou vráskou se rozumí vzhledový defekt na povrchu textilie, který se negativně podepisuje na výsledné kvalitě autopotahu. Pro tento přístroj je navržena vhodná metodika pro měření a samotné vyhodnocení, která je postavena na principu cyklického mačkání testovaného vzorku. Konstrukce přístroje vychází z informací obsažených v rešeršní části práce, kde jsou popsány některé dosud užívané metody a přístroje pro hodnocení ohybového chování textilie, především ohybové tuhosti a deformačního úhlu. Přístroj je doplněn výkresovou dokumentací vytvořenou v CAD programovém prostředí. Veškerá měření jsou díky snímací kameře zaznamenána a následně uložena na přiloženém DVD nosiči.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Autopotah, ohybová tuhost, deformační úhel, stavebnice Merkur, Arduino, prototyp měřicího přístroje

ABSTRACT

The objective of this diploma thesis is to design and produce a simple-working device for the evaluation of break lines on textile materials for car seat covering. This break line is a visual defect on the surface of the fabric, which is negatively imprinted on the resulting quality of the car seat covering. There is a methodology for measurement and evaluation of break lines proposed in this thesis. This methodology is based on the cyclic pressing of the test sample. The construction of the device is rising from the information contained in the literature search part of the thesis, where some of the methods and devices used to evaluate the bending behavior of the fabric are described. Namely these characteristics are flexural stiffness and the deformation angle. Drawing documentation of the device created in the CAD software is enclosed as well. All measurements are recorded by a camera and stored on the enclosed DVD media.

KEYWORDS:

Car seat covering, flexular stiffness, deformation angle, construction set Merkur, Arduino, prototype of measuring device

Obsah

Úvod	9
1 Mechanické vlastnosti textilií	10
2 Stálosti a odolnosti textilií.....	12
2.1 Splývavost.....	12
2.2 Mačkovost	13
2.3 Tuhost v ohybu.....	15
2.3.1 Metoda podle Sommera	16
2.3.2 Modifikovaná metoda podle Sommera.....	16
2.3.3 Cantilever Test.....	17
2.3.4 Přístroj TH-5	18
2.3.5 Přístroj TH-7	19
2.3.6 Přístroj KES	21
2.4 Analýza deformace textilie dle Wilkinsonova konceptu	23
2.5 Analýza deformace tkaniny na základě nelineárních vlastností	24
3 Měření úhlu deformace plošné textilie.....	27
3.1 Popis přístroje.....	27
3.2 Průběh měření	28
4 Nástroje pro vývoj nového měřicího přístroje	29
4.1 Stavebnice Merkur	29
4.1.1 Historie stavebnice Merkur.....	30
4.1.2 Wichterleho čočkostroj	33
4.2 Autodesk Inventor 2017	34
4.3 Arduino	36
4.4 Matlab	38
5 Prototyp nového měřicího přístroje.....	41
5.1 Popis přístroje „klapka“	41

5.2	Popis přístroje „klapka + smyčka“	43
5.3	Inovace upevnění testovaných vzorků	47
6	Nový měřicí přístroj	49
6.1	Popis přístroje.....	49
6.2	Obsluha přístroje	53
7	Laboratorní měření.....	56
7.1	Testované vzorky	56
7.2	Hledání vhodné metodiky měření	57
7.2.1	Příprava přístroje.....	57
7.2.2	Zkušební měření	59
7.3	Konečné měření	62
7.3.1	Statistické zpracování výsledků.....	64
7.3.2	Porovnání výsledků s paralelně probíhajícím výzkumem	67
	Závěr	69
	Seznam použité literatury	71
	Seznam obrázků.....	72
	Seznam tabulek	74
	Seznam příloh	75
	Přílohová část	76

Úvod

Náplní této diplomové práce je provedení výzkumu, na základě kterého bude vyroben nový měřicí přístroj. Pro tento přístroj bude navržena vhodná metodika pro měření a samotné hodnocení výsledků. Zkoumanou vlastností bude chování textilie, které spočívá v tvorbě vzhledových defektů (vrásek).

Tento problém se negativně podepisuje například na výsledné kvalitě vyráběných automobilových sedaček. Je tedy zapotřebí nalézt způsob, kterým bude možné separovat vyhovující textilie od nevyhovujících. Vyřešit tento problém je také v zájmu firmy ŠKODA AUTO, a.s. Proto budou touto firmou poskytnuty vzorky textilií, které budou nejprve podrobeny analýze a následně budou sloužit pro vývoj prototypu budoucího přístroje.

V této práci budou nejdříve uvedeny informace získané ze studia odborných textů zabývajících se ohybovým chováním textilií. Budou zpracovány jednak poznatky o vlastnostech plošných textilií, ale i dosud používané měřicí metody sloužící k popisu daných vlastností. Nabyté teoretické znalosti budou nezbytné pro další fáze výzkumu.

V první etapě výzkumu bude zkonstruován prototyp přístroje, na kterém budou prováděny první zkušební měření. Předpokladem je, že bude dále vyvíjen v návaznosti na získané poznatky získané během zkušebních měření. Snahou bude najít takové řešení, aby byl přístroj co nejvíce automatizovaný, díky čemu budou eliminovány případné chyby měření vzniklé lidským faktorem. Tento přístroj bude řádně zdokumentován, aby mohl být použit jako předloha pro finální přístroj, který bude zadán do výroby.

Ve druhé etapě, po převzetí nově vyrobeného měřicího přístroje, budou provedena obsáhlá měření. Tato měření budou prováděna za různě nastavených parametrů, aby bylo možné navrhnout metodiku hodnocení zlomové vrásky, jejíž správnost bude pomocí měření a statistického vyhodnocení ověřena. Práce bude obsahovat podrobnou fotodokumentaci pořízenou během vývoje prototypu přístroje. Neméně důležitá bude archivace pořízených snímků přímo z měření, které bude možné použít k případnému dalšímu výzkumu, který by se mohl zabývat vyhodnocováním na základě obrazové analýzy. Tím by byl odstraněn i problém subjektivního hodnocení provedených měření a přístroj by byl kompletně automatizovaný.

1 Mechanické vlastnosti textilií

Informace obsažené v této kapitole slouží k základní orientaci v problematice mechanických vlastností textilií. Mechanické vlastnosti materiálů, které popisuje Kovačič [1], jsou jejich odezvou na mechanické působení vnějších sil. Tyto vlastnosti textilií se tedy projevují jako odezva na mechanické namáhání textilií prostřednictvím vnějších sil. Podle působení vnějších sil lze hovořit o namáhání na:

- tah,
- tlak,
- krut,
- ohyb.

Většinou se tyto druhy namáhání nacházejí v kombinaci, např. tah – krut u vláken v zakrucované přízi, nebo tah – tlak při vlhkotepelném tvarování dvou vrstev plošných textilií. Experimentálně se tato namáhání zkoumají odděleně od sebe, přičemž normovány jsou pouze zkoušky pevnosti v tahu. Během mechanického zatěžování dochází v textiliích ke změně tvaru, hovoříme tedy o deformaci, která je závislá na:

- velikosti zatížení,
- rychlosti namáhání,
- době trvání.

Podle směru působení síly jsou mechanické vlastnosti popisovány jako jednoosé nebo víceosé a zatěžování jsou realizována silou F v:

- tahu,
- tlaku,
- krutu,
- stříhu,
- ohybu.

Z výše uvedeného je patrné, že mechanické vlastnosti se uplatní při zpracování textilií, a proto jsou řazeny mezi zpracovatelské vlastnosti. Mechanické vlastnosti jsou popisovány tzv. ultimativními charakteristikami:

- pevnost (síla do přetrhu) P [N],
- napětí do přetrhu σ [Pa],

- protažení do přetrhu Δl [mm],
- tažnost (deformace do přetrhu) ε [%],
- relativní pevnost f [N/tex],
- tržná délka l_T [km].

Při namáhání v tahu nazýváme reakci materiálu pevnost v tahu. Tuto vlastnost zkusíme na dynamometru, což je přístroj pro definované namáhání vzorků a registraci síly a deformace (natažení). Vzorek je upnut do horní a spodní čelisti. Dolní čelist je spojena s pohyblivým mechanismem, který ji svým otáčením stahuje dolů (napíná vzorek), nebo zdvíhá (uvolňuje vzorek). Napětí, tedy síla, která je natahováním ve vzorku vyvíjena, je měřena měřícím členem. Natažení a jemu odpovídající síla je vykreslována do grafu závislosti pevnost – tažnost, který je nazýván tahovou, nebo též pracovní křivkou. To proto, že je obrazem práce, která je nutná vynaložit na napětí vzorku.

2 Stálosti a odolnosti textilií

Tato kapitola již blíže pojednává o vlastnostech, které souvisí se vzhledovými vlastnostmi textilie, tedy jádrem možných problémů vzhledových defektů. Dále jsou zde uvedeny některé měřicí metody s popisem přístrojů, což slouží pro inspiraci v možném řešení konstrukce prototypu přístroje nebo vyhodnocování výsledků. Stálosti a odolnosti textilií jsou Kovačičem [1] definovány jako reakce textilií na chemické a fyzikální namáhání. Definičně lze stálosti a odolnosti rozdělit na stálosti tvaru, stálosti vybarvení a odolnosti. Odezvou textilií na chemické a fyzikální namáhání při dalším zpracování jsou stálosti a odolnosti textilií, které můžeme rozdělit např. na:

- stálost tvaru (srážlivost, splývavost, mačkavost, tuhost v ohybu),
- stálost vybarvení (v praní a chemickém čištění, v potu, v UV záření, v otěru),
- odolnost (proti odření – oděr, proti vytržení nití – zátrhovost, odolnost proti tvorbě žmolků - žmolkovitost).

Podrobnější popis bude s ohledem na zaměření této práce uveden pouze pro kategorii stálosti tvaru. Největší pozornost bude věnována tuhosti v ohybu, protože je zřejmé, že hraje zásadní roli v problému tvorby vrásek. Následující text do podkapitoly 2.4.4 vychází z literatury dle Kovačiče [1].

2.1 Splývavost

Splývavost textilie je definována jako schopnost vytvářet esteticky působící záhyby při zavěšení v prostoru. Tyto záhyby jsou výsledkem prostorové deformace. Pro testování splývavosti existuje několik zkušebních metod. Většina těchto metod je založena na stanovení změny tvaru vzorku při zavěšení v prostoru. Jednou takovou metodou je metoda stanovení koeficientu splývavosti na kruhovém vzorku. Metoda stanovení koeficientu splývavosti vychází ze změny plochy kruhového vzorku upnutého v kruhové čelisti. Volné okraje vzorku splývají do prostoru. Splývající vzorek je promítnut do roviny kruhové čelisti a plocha tohoto průmětu se porovnává s plochou původního vzorku. Plocha průmětu (stínu) je označena jako A . Koeficient splývavosti k_S [-] lze vypočítat podle následujícího vztahu č. 1:

$$k_S = \frac{\pi * R_1^2 - A}{\pi * R_1^2 - \pi * R_2^2} * 10^2, \quad (1)$$

kde R_1 je poloměr vystřiženého původního vzorku [m],

R_2 je poloměr podpěrné čelisti [m],

A je plocha průřezu (stínu) splývající textilie [m^2].

2.2 Mačkavost

Zatímco u splývavosti je textilie podrobena silám vyvozeným gravitačním zrychlením, jinými slovy malým deformacím, které jsou rovny elastickým (vratným), u metod zjišťujících mačkavost textilií je podrobena větším silám. Tyto síly vyvozují v textilií plastické (nevratné) deformace, tedy záhyby, zmačkání. Každá deformace [%] je součtem elastických a plastických deformací a popř. jejich zotavení podle vztahu č. 2:

$$\varepsilon_C = \varepsilon_E + \varepsilon_P + \varepsilon_Z, \quad [\%], \quad (2)$$

kde ε_C je celková deformace [%],

ε_E je elastická deformace [%],

ε_P je plastická deformace [%],

ε_Z zotavená deformace [%].

Tento souhrn informací platí také při ohnutí (resp. pomačkání) textilie. Proto o textilií, která je pružná a nevykazuje v používání nežádoucí lomy a ohyby je hovořeno jako o textilií nemačkové. Nejjednodušší metodou, jak si ověřit mačkavost nakupovaného materiálu je takový, že je textilie zmačkána v ruce a dále je sledováno, zda se na ní objeví lomy a pomačkání. Mírné pomačkání je charakteristickým znakem textilií z přírodních vláken.

Zmačkání, resp. simulaci deformací při ohybu lze také znázornit ohybem proužku textilie. Proužek textilie se ohne a zatíží závažím o hmotnosti m , které vytvoří zatížení silou F . Zatížení je ponecháno po dobu t_Z . Po této době je proužek odlehčen. Tento okamžik je značen jako t_0 a od této doby se pozoruje, jak se proužek narovná. V čase t_0 se proužek narovná o určitý úhel α_0 , který je obrazem okamžité elastické deformace. Pokud by byla textilie absolutně mačková (jako plastelína), nenarovnal by se proužek vůbec a α by se rovnalo 0. Jestliže by byla textilie absolutně nemačková (jako pryž), narovnal by se proužek opět do roviny o úhel $\alpha = 180^\circ$.

Pokud by bylo pozorováno postupné narovnání proužku textilie (zotavení z původní deformace), po delším čase nastane stavu, kdy se již dále proužek nenarovnává. V tomto okamžiku je odečítán úhel α_1 , který je ekvivalentem konečné

(celkové) deformace, která se skládá z plastické deformace a ze zotavené elastické deformace.

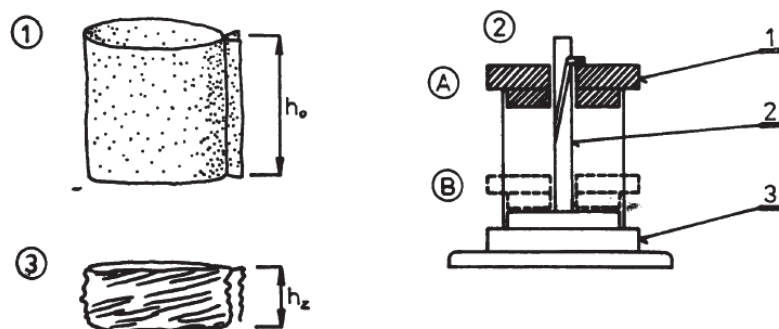
Přestože je mačkavost měřitelná různými způsoby, nejrozšířenější způsob je založen na měření úhlu zotavení α proužku textilie, jak bylo popsáno výše. Podle různých norem se úhel zotavení odečítá po stanoveném čase, např. po 1 hodině. Důležitá a normou stanovená je velikost proužku a délka přehnutí proužku l_p [mm].

Na významu však nabývá metoda AKU, která byla nejprve vyvinuta pro zkoušení mačkavosti pletenin, protože pleteniny vykazují stáčení okrajů. Postupně je tato metoda zkoušení mačkavosti zaváděna také pro ostatní textilie (zejména tkaniny). Zkoušení mačkavosti je prováděno na válcovém vzorku, který je sešitý ze zkoumané textilie. Vzorek je upínán do dvou kruhových čelistí přípravku tak, aby byl lehce napnut. Horní čelist ① je přitom v základní poloze. Ve středu horní čelisti se nachází otvor pro vodící kolík s drážkou ②. Tento kolík je pevně spojen se spodní čelistí ③.

Měření je prováděno tak, že se horní čelist ① po odaretování spustí do spodní polohy (B), čímž dojde ke zmačkání vzorku jednak stlačením a jednak zešíkmením, protože se horní čelist v drážce kolíku ② pootočí. Způsob měření je znázorněn na obrázku č. 1. Zatížení vzorku je realizováno po normovanou dobu. Pak je vzorek z čelistí vyjmut a po čase zotavení je změřena jeho výška h_z . Původní výška h_0 a h_z slouží k vyjádření zmačkání dle vztahu č. 3:

$$Z = \frac{h_z}{h_0}. \quad (3)$$

Kromě toho se pro stanovení mačkavosti používá etalonů, se kterými se vzorek porovnává.



Obrázek č. 1 – Zkoušení mačkavosti podle metody AKU [1]

2.3 Tuhost v ohybu

Dle normy ČSN 80 0858 [2] je ohybová tuhost definována jako odolnost plošné textilie vůči ohýbání, jedná se o schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Vyjadřuje se jako ohybový moment M_o v mN.cm.

Další definicí dle Staňka [3] je tuhost v ohybu charakterizována jako fyzikální veličinou, která vzniká v plošné textilii jako silový odpor při jejím ohýbání, vlastní hmotností i působením vnější síly. Tento odpor je součtem všech třecích a soudržných sil, které vznikají při ohybu mezi vlákny a mezi přízemi ve vazných bodech. Tuhost v ohybu tkaniny je závislá na ohybové tuhosti příze a způsobu provázání příze ve tkanině. Z toho vyplývá, že tkaniny s vyšší dostavou a pleteniny s vyšší hustotou budou vykazovat vyšší hodnoty ohybové tuhosti.

Z definic tedy vyplývá potřeba znát tuhost v ohybu textilie zejména v případech, kdy je textilie používána na vyztužení výrobku, nebo naopak když má mít textilie tuhost co nejmenší a má být splývavá.

Teoreticky lze tuhost v ohybu vypočítat z tahové pracovní křivky plošné textilie pomocí Youngova modulu pružnosti a momentu setrvačnosti průřezu textilie podle vztahu č. 4.

$$T_{O_teor.} = E * I \quad [N.m^2], \quad (4)$$

kde $T_{O_teor.}$ je teoretická tuhost v ohybu $[N.m^2]$,
 E je Youngův modul pružnosti $[Pa]$,
 I je moment setrvačnosti průřezu textilie, kde pro obdélníkový průřez je odvozen vztah č. 5.

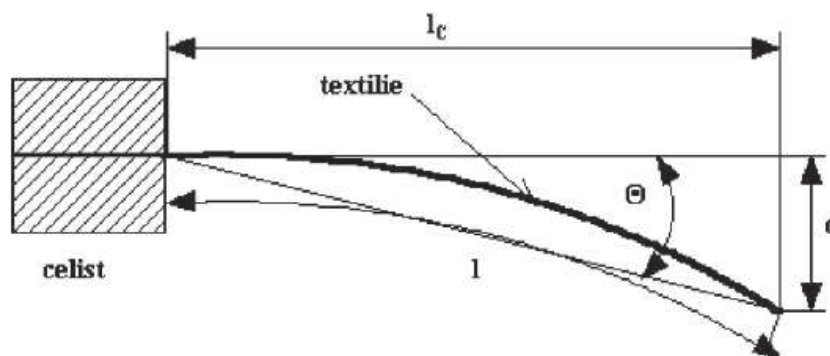
$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad [m^4], \quad (5)$$

kde b je šířka proužku textilie,
 h je tloušťka plošné textilie.

Vztah č. 4 však platí pouze za předpokladu, že textilie je útvar homogenní. Protože textilie jsou naopak velmi nehomogenní, teoretické hodnoty tuhosti v ohybu se řádově stokrát až tisíckrát liší od hodnot získaných dále popsány metodami.

2.3.1 Metoda podle Sommera

Sommerova metoda vychází z ohybu jednostranně vetknutého nosníku, kterým je v tomto případě proužek textilie, který má plošnou měrnou hmotnost ρ_S [kg.m⁻²]. Tento proužek má délku l [m] a vlastní tíhou je ohýbán tak, že svírá s původním horizontálním směrem úhel Θ [°], jak je znázorněno na obr. č. 2.



Obrázek č. 2 – Metoda měření tuhosti v ohybu podle SOMMERA [1]

Z délky vzorku a úhlu Θ je pak vypočítána ohybová délka c . Tuhost v ohybu je dána vztahem č. 6.

$$T_{OS} = \rho_S * c^3 \quad [\text{kg.m}], \quad (6)$$

kde T_{OS} je tuhost v ohybu podle Sommera [kg.m],

ρ_S je plošná měrná hmotnost [kg.m⁻²],

c je ohybová délka [m] daná vztahem č. 7.

$$c = l * \left(\frac{\cos 0,5 \Theta}{8 * \text{tg } \Theta} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [\text{m}], \quad (7)$$

kde Θ je úhel, který svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie s horizontálním směrem [°].

2.3.2 Modifikovaná metoda podle Sommera

Modifikace metody podle Sommera spočívá v přepočtu plošné měrné hmotnosti proužku textilie na jeho délkovou měrnou tíhu. Délkovou měrnou tíhu lze vypočítat ze vztahu č. 8:

$$\gamma = \frac{G}{l} = \rho_l * g \quad [\text{N.m}^{-1}]. \quad (8)$$

Tuhost v ohybu pak lze vypočítat podle vztahu č. 9:

$$T_{OG} = \rho_s * b * g * c^3 \quad [\text{N.m}^2], \quad (9)$$

kde γ_1 je délková měrná tíha proužku textilie $[\text{N.m}^{-1}]$,
 G je tíha proužku textilie $[\text{N}]$,
 l je délka proužku textilie $[\text{m}]$,
 ρ_l je délková měrná hmotnost $[\text{kg.m}^{-1}]$.

Délková měrná hmotnost se vypočte dle vztahu č. 10:

$$\rho_l = \rho_s * b \quad [\text{kg.m}^{-1}], \quad (10)$$

kde b je šířka proužku textilie $[\text{m}]$,
 g je gravitační zrychlení $[\text{m.s}^{-1}]$,
 c je ohybová délka $[\text{m}]$ daná vztahem č. 7.

2.3.3 Cantilever Test

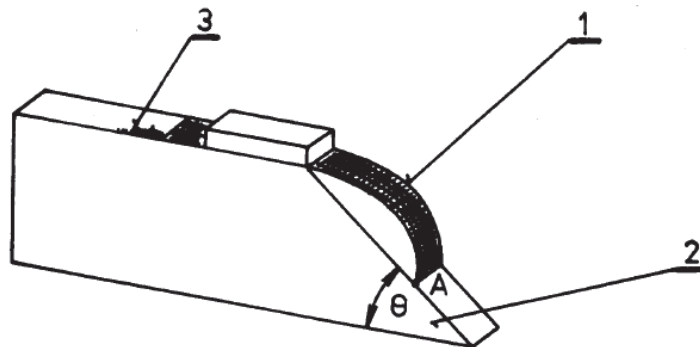
Tato metoda byla vyvinuta pro posuzování výztužných oděvních textilií. Vychází ze Sommerovy metody, kdy se ve vzorci pro výpočet ohybové délky c zavádí hodnota závorky rovna $\frac{1}{2}$, viz vztah č. 10:

$$\frac{\cos 0,5 \Theta}{8 * \text{tg} \Theta} = \frac{1}{2} \quad (11)$$

Z toho je definován pevný úhel $\Theta = 41,5^\circ$. Tento úhel je pevně nastaven na nakloněné rovině (obr. č. 3). Měření probíhá tak, že se proužek textilie ① vysouvá nad šikmou plochu ②. Vysouvání probíhá tak dlouho, dokud se okraj proužku dotkne nakloněné roviny (bod A). Na stupnici ③ se odečte vysunutá délka proužku, která je poté dosazena do vztahu č. 12 pro výpočet c a vypočte se tuhost v ohybu dle vztahu č. 13:

$$c = \frac{l}{2} \quad [\text{m}], \quad (12)$$

$$T_{OC} = \rho_s * \left(\frac{l}{2}\right)^3 \quad [\text{kg.m}]. \quad (13)$$



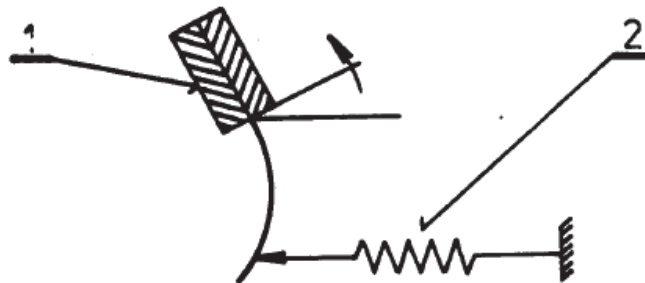
Obrázek č. 3 – Příklad pro stanovení tuhosti v ohybu Cantilever Test [1]

2.3.4 Příklad TH-5

Tento přístroj snímá sílu, kterou proužek textilie vyvine na měřicí prvek. Proužek má normou stanovenou délku l a šířku b . Metoda měření je znázorněna na obr. 4.

Proužek textilie je upnut do čelisti ①, která se při měření natáčí. Proužek textilie vyvozuje sílu na měřicí prvek ②, který registruje sílu na rameni l (vzdálenost bodu opření proužku textilie o měřicí člen a upnutí textilie do čelisti ①). Příklad pak registruje ohybový moment, viz vztah č. 14:

$$M_O = F * l \quad [\text{N.m}]. \quad (14)$$



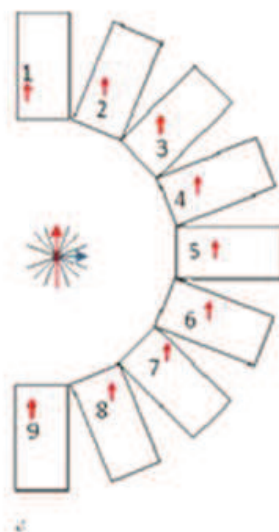
Obrázek č. 4 – Měření tuhosti v ohybu plošné textilie na přístroji TH-5 [1]

Všechny výše uvedené metody stanovení tuhosti v ohybu plošných textilií jsou založeny na přesném odečtení úhlu ohybu proužku textilie. Tyto metody se popisují jako metody statické, které podávají informaci o okamžité tuhosti plošné textilie.

Pro potřeby sledování tuhosti v ohybu během namáhání by bylo nutné použít některou z dynamických metod, např. podle Schieffera, nebo metodu cyklického zatěžování a odlehčování vzorku na dynamometru podle Bekka.

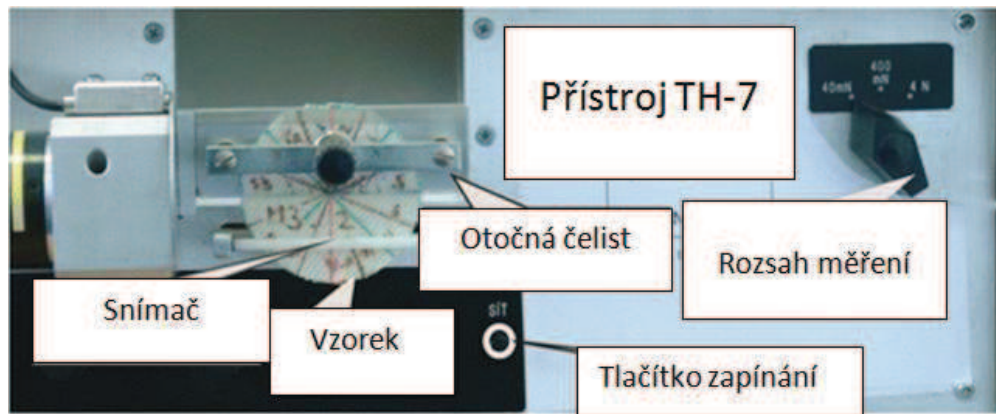
2.3.5 Příklad TH-7

Deformace textilu v prostoru dle Fridrichové [4] je také ovlivněna anizotropií ohybové tuhosti, což je hodnota ohybové tuhosti měřené v různých směrech. Příklad TH-7, který vznikl inovací TH-5, je první z uvedených přístrojů v této práci, který umožňuje měření právě v různých směrech na jednom kruhovém vzorku. Dřívější měření byla prováděna tak, že byly měřeny čtvercové, nebo obdélníkové vzorky. Anizotropie byla testována na velkém počtu vzorků. První vzorek byl vystřižen ve směru osnovních nití, a každý další jeden byl otočen o definovaný úhel pootočení ve vztahu k osnově (obr. č. 5). Nevýhodou metody byla velká spotřeba materiálu pro přípravu vzorků. Použití kruhových vzorků vede kromě veliké úspory materiálu také k úspoře času spojeného s přípravou vzorků. Správnost měření na kruhových vzorcích byla ověřena díky souběžnému měření pěti sad různých textilií jednak na přístroji TH-7, tak na přístroji KES-FB2. Nejprve byly textilie testovány na obdélníkových vzorcích, poté na kruhových. Výsledné hodnoty ohybové tuhosti měřené na zařízeních TH-7 a KES-FB2 byly porovnány pomocí regresní analýzy. Korelační koeficient dosahoval pro obě metody měření hodnot přes 0,9.



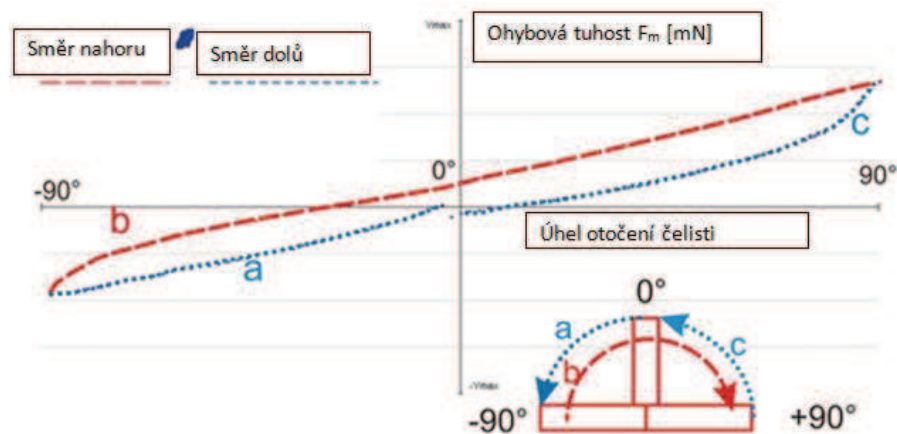
Obrázek č. 5 – Příprava pravouhlých vzorků [4]

Jak již bylo uvedeno, přístroj TH-7 (obr. č. 6) vznikl inovací zařízení TH-5, na kterém bylo možné měřit pouze obdélníkové vzorky o 2,5 cm x 5 cm.



Obrázek č. 6 – Zařízení TH-7 [4]

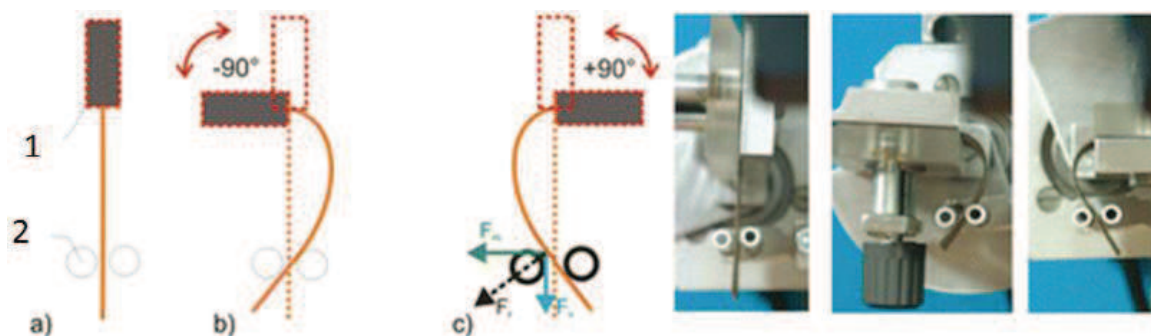
Oproti přístroji TH-5 má verze TH-7 širší senzor i upínací čelist, aby bylo možné testovat čtvercové, obdélníkové i kruhové vzorky. Otočná upínací čelist se může otáčet v obou směrech, aby mohla být vykreslena celá hysterezní smyčka (obr. č. 7). Povrch čelistí je opatřen teflonem, který snižuje koeficient tření mezi čelistí a ohýbaným materiálem, což vede k přesnějším výsledkům měření. Výrazným zlepšením oproti TH-5 je možnost propojení s počítačem, pro který byl vyvinut speciální software a výstupem měření jsou data uložena v souboru datovém (CSV) a grafickém (PNG), viz obrázek č. 7.



Obrázek č. 7 – Hysterezní smyčka ohybu ze zařízení TH-7 [4]

Přestože byl přístroj postaven především pro měření textilních materiálů, umožňuje dále měření papíru, fólií, nebo membrán. Má tři rozsahy měření ohybové síly v rozmezí od 40 do 4 000 mN. Měření může být prováděno pro různé šířky vzorků, přičemž 50 mm je maximální a minimální není omezená. Navrhovaná délka vzorku je 50 mm. Vzdálenost mezi upínací čelistí a čelistí senzoru je 14 mm. Schéma ohýbání

textilie na zařízení TH-7 je uvedeno na obrázku č. 8. Na obrázku lze vidět upínací ① i ohýbací čelist ②. Poloha a) znázorňuje výchozí pozici. V poloze b) je vzorek otočen do polohy $+90^\circ$, tedy v postavení líc-líc a ve třetí poloze c) pak v pozici rub-rub, kdy je vzorek otočen do polohy -90° .



Obrázek č. 8 – Schéma ohýbání textilie na přístroji TH-7 [4]

Chceme-li porovnat chování vzájemného ohybu textilií, které byly měřeny pouze na zařízení TH-7, je možné pracovat pouze s hodnotami ohybové síly F_m , takže není nutné převádět na hodnoty ohybové tuhosti B [Nm^2/m], nebo ohybového momentu M [Nm].

2.3.6 Přístroj KES

V textu Sodomky a Dudíkové [6] se uvádí, že k nedestruktivnímu hodnocení textilií mechanických vlastností byl vyvinut S. Kawabatou KES, což je zkratka Kawabata Evaluation System, který sestává ze čtyř modulů snímajících mechanické vlastnosti plošných textilií. Systém KES sleduje celkem 16 charakteristik mechanických vlastností. Všechny čtyři moduly jsou vybaveny počítači k vyhodnocování výsledků měření. Podle Kawabaty je možné využitím všech 16 naměřených mechanických veličin určit za využití regresní analýzy složitou charakteristiku oděvních textilií, tedy omak. Avšak vzhledem k tomu, že omak je také funkcí sdílení tepla, zdá se určování omaku pouze z mechanických veličin neúplný. Kromě toho je KES použitelný pouze pro lehké textilie do určité tloušťky, není univerzální. Přestože jde o mechanicky velmi přesný a dokonalý přístroj vhodný pro měření mechanických charakteristik textilií, pro objektivní hodnocení omaku se příliš neosvědčil. Nevýhodou také může být cejchování na japonské textilie.

Každý ze čtyř modulů má vlastní mechanický systém napojený na počítač. Moduly jsou značeny KES FB1-4. KES FB1 je určen pro měření tahu a smyku

(obr. č. 9), KES FB2 pro měření ohybu (obr. č. 10), KES FB3 pro měření stlačení (obr. č. 11) a KES FB4 pro měření tření a profilu povrchu (obr. č. 12).



Obrázek č. 9 – Modul pro měření tahu a smyku [5]



Obrázek č. 10 – Modul pro měření ohybu [5]

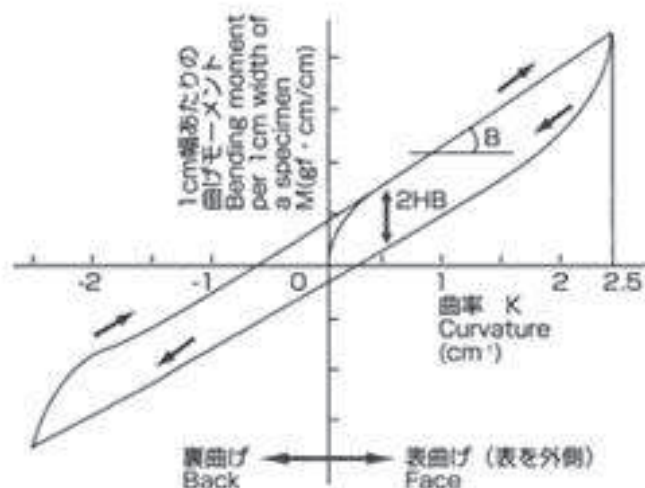


Obrázek č. 11 – Modul pro měření tlaku [5]



Obrázek č. 12 – Modul pro měření tření a drsnosti [5]

Přestože je uvedený komplet čtyř modulů určen pro hodnocení omaku, lze jednotlivé moduly užívat i pro hodnocení mechanických vlastností textilií. Modulem FB1 je možné určovat elastický modul v tahu E a elastický modul ve smyku G , což jsou základní elastické moduly materiálů a tedy i textilií. Modulem FB2 lze určovat ohyb textilie a z něho i elastický modul E . Modulem FB3 lze určovat součinitel stlačitelnosti a mezní tloušťku textilie a modulem FB4 snímat profily povrchů a součinitel tření. Příklad výsledku z měření z modulu FB2 je vyobrazen na obrázku č. 13. Z obrázku je dobře patrná výrazná anizotropie.



Obrázek č. 13 – Příklad výsledku z měření na modulu FB2 [5]

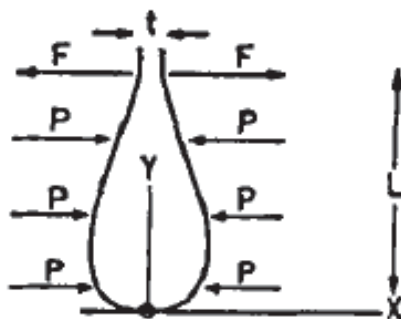
Principiálně je způsob měření ohybu dle Pěničkové [7] obdobný jako na přístroji TH-7, rozdíl je pouze v poloze čelistí, které vzorek ohýbají. TH-7 má vertikálně postavené čelisti, kdežto KES FB2 má čelisti konstruované horizontálně, z čehož je jedna čelist pevná a druhá pohyblivá. Čelisti jsou od sebe vzdáleny 10 mm a vzorky se ukládají mezi ně. Správné uložení vzorku je navíc kontrolováno čidly. Po vložení je vzorek pomocí čelistí uchycen a ohýbán do určitého směru. Ohybové vlastnosti jsou proměřovány z lící i z rubní strany po směru osnovy i útku. Druhým rozdílem je pak velikost měřených vzorků. Pro TH-7 jsou používány vzorky 5 x 5 cm a pro KES FB2 v první fázi 20 x 20 cm a ve druhé fázi měření 10 x 10 cm. Díky přímému propojení přístroje s počítačem je získávání výsledků okamžité.

2.4 Analýza deformace textilie dle Wilkinsonova konceptu

Denby [8] předpokládá, že podmínky přítomné při nošení textilie by mělo být možné nasimulovat v laboratorních podmínkách. Že se však nejedná o snadný experiment, předkládá například Bostwick [9]. Tvrdí totiž, že laboratorní odhad vrásnění u vlněné textilie je vysoce ovlivněn změnami teploty a vlhkosti. Další vědečtí pracovníci [10] prokázali podobné účinky během samotného nošení.

Denby [8] dále uvádí, že z hlediska simulace záhybu textilie jsou zde podmínky, které nebyly přiměřeně vyřešeny, jsou to ty, které se objevují při nošení textilie. Deformace může být v oděvu v mnoha případech, což způsobuje komplikaci analýzy. Nejsložitější situace nastávají, když se záhyby vytvářejí. To se stává například v momentě, kdy si nositel sedá, nebo opírá o židli.

Na obrázku č. 14 je vystihnuta modelová situace, kdy je textilie stlačována mezi tělem a rovnoměrně pružným svrchním materiálem židle, tedy konstantní tlak je aplikovaný kolmo na OY. Jedná se o zjednodušenou situaci aplikace hydrostatického tlaku, kdy je aplikován kolmo na textilii. Kvůli pružnosti samotné židle, by nemohl být aplikován žádný tlak blízko vrcholu 0. Ve vzdálenosti L od nuly je textilie ohýbána, dokud se sama sebe nedotkne. Středové linie materiálu jsou oddělené tloušťkou textilie. V místě dotyku bude síla F na jednotku délky záhybu na každé polovině textilie vzhledem ke zpětnému působení mezi dvěma dotýkajícími se polovinami. Tlak výše bude na obou polovinách vyrovnán tlakem na další tak, že textilie zůstane paralelně k OY.



Obrázek č. 14 – Síla působící na smyčku tkaniny, kde vnější napětí je konstantní síle P na jednotku plochy [8]

2.5 Analýza deformace tkaniny na základě nelineárních vlastností

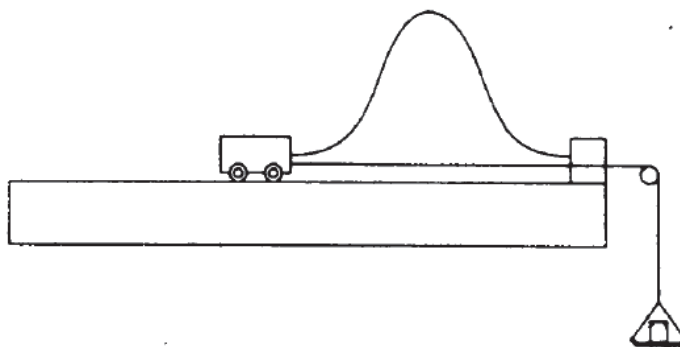
Plošná textilie je ohebný materiál, který je vysoce ovlivněn vlastní hmotností. Vztah mezi ohybovým momentem a zakřivením je nelineární. Ve studii [11] je představen model pro deformaci tkaniny, který zvažuje ohebnost (pružnost) tkaniny stejně tak jako její nelineárnost v ohýbání. Ohybová tuhost tkaniny je považována za funkci jejího zakřivení a bere v úvahu nelineární vlastnosti tkaniny. Výsledky Kawabatova testu ohýbání jsou aplikovány do základní rovnice. Hodnoty z modelu jsou porovnány s experimentálními daty. Výsledky ukazují jasné rozlišení od lineárního modelu, kde se nelineární metoda dobře shoduje s experimentálními hodnotami. Z vyhodnocených dat metodou numerické analýzy je vypočítána kritická deformační zátěž.

Deformace tkaniny je vysoce ovlivněna jejím ohybovým chováním. Abychom mohli analyzovat deformaci tkaniny, je podstatné porozumět ohýbacím vlastnostem tkaniny. Ohybová tuhost nebo tuhost ohybu tkaniny může být hodnocena

experimentálně, kde ji definujeme jako paprsek Bernoulli-Eulera (Euler-Bernoulli beam theory) a odlišujeme moment vztahu zakřivení.

Na začátku ohýbacího procesu se sklon momentu vztahu zakřivení projevuje v relativně vysokých hodnotách a mění se do malé šikmé přímky. To naznačuje, že v raném stádiu ohýbacího procesu je vyžadován větší moment k překonání tření mezi přízemi k ohnutí jednotky zakřivení, a po zdolání tkaniny je určité množství tření menší než moment, který je potřeba k ohnutí jednotky zakřivení. Většina odborných prací však tento jev v rané fázi zanedbává za předpokladu lineárnosti a používá hodnoty rovné oblasti k reprezentaci momentu zakřivení.

Cílem této studie [11] je porozumět chování ohebnosti tkanin správným zvažováním jejich nelineárnosti, což znamená nepředpokládat lineárních vlastností ohebnosti. Model tkaniny je považován za kontinuum tenkého pevného paprsku a základní rovnice je odvozena použitím Timoshenkovy teorie pružnosti a teorémem Bernoulli-Eulera. Jelikož tkanina zažívá velkou deformaci způsobenou její vlastní hmotností a stlačením, je v úvahu brána také geometrická nelinearita. Pro vymodelování ohýbacích vlastností tkaniny je použito exponenciální funkce. K zjištění hraničních podmínek zatížení bylo použito zařízení na obrázku č. 15. Bylo měřeno horizontální přemístění pod deformační zátěží. Měřené vzorky byly před pokusem vyžehlené.



Obrázek č. 15 – Schéma plošného vzpěru deformačním zatížením [11]

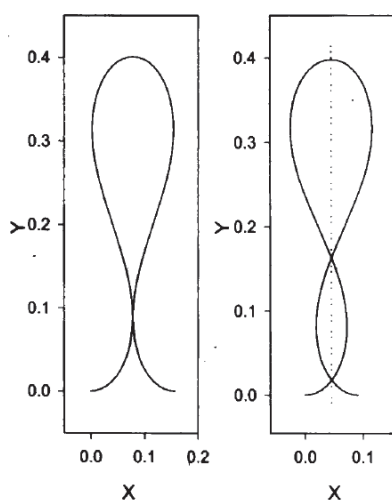
Základní rovnicí (15) definice zakřivení paprsku je:

$$K = \frac{d\theta}{dx}, \quad (15)$$

kde θ je tangentou úhlu v určitém okamžiku paprsku a s je délka oblouku. Přestože je tato metoda považována za velice vhodnou, je zapotřebí hledět na plošnou textílii jako

na materiál, který reaguje odlišně na stlačení a napětí. Tato skutečnost vede k potížím při určování její neutrální osy a modulu pružnosti.

Když deformační zátěž narůstá, tkanina se začne dotýkat sebe sama. Pokud není tato podmínka brána v potaz, může dojít k následnému špatnému řešení, viz obrázek č. 16. I když jsou dané hraniční podmínky uspokojující, řešení by i tak mělo být testováno pro fyzikální kompatibilitu. Tečkovaná čára na obrázku č. 16 znázorňuje středovou linii elasticity. Stav vlastního dotknutí může být získán spočtením bodů protínajících středovou linii. K uspokojení fyzikálně kompatibilního stavu by zde měl být pouze jeden protínající bod.

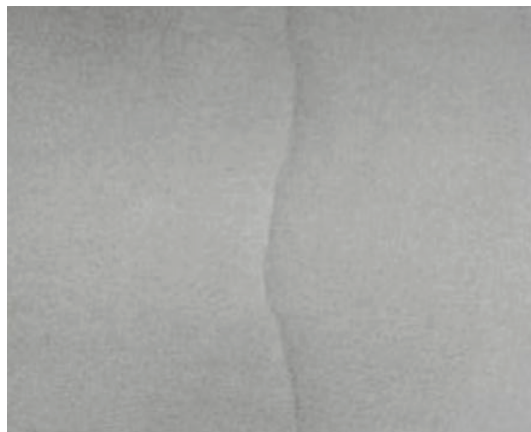


Obrázek č. 16 – Tvary vyskytující se při vlastním kontaktu [11]

3 Měření úhlu deformace plošné textilie

Přístroj, popisovaný v následujícím textu se používá k měření úhlu deformace. Jedná se o zařízení, které bylo vyvinuto ve Španělsku a je využíván pro zkoušení textilií, které mají sloužit jako potahový materiál automobilových sedaček. Použité informace jsou uvedeny přímo v normě [12].

Přístroj má sloužit k separaci vhodných a nevhodných typů potahových materiálů. Problém, který nastává u těchto potahů, je zaznamenán na obrázcích č. 17 a 18. Na obrázku č. 17 lze pozorovat záhyb v místě okolí švu. Vráska se bohužel nachází již na hotovém výrobku, což znamená, že neproběhla správná analýza textilie, která by zamezila použití této textilie ve výrobě autopotahu. Na obrázku č. 18 lze vidět vrásku na textilii, která vznikla pouhým nevhodným skladováním a je trvalá.

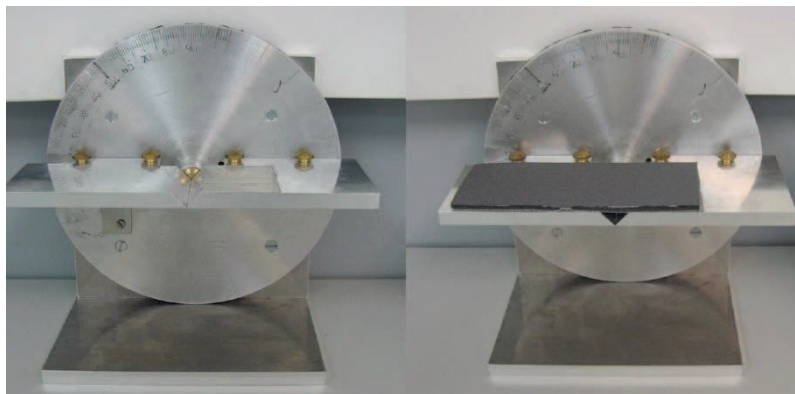


Obrázek č. 17 – Vráska na potahu autosedačky

Obrázek č. 18 – Vráska na textilii

3.1 Popis přístroje

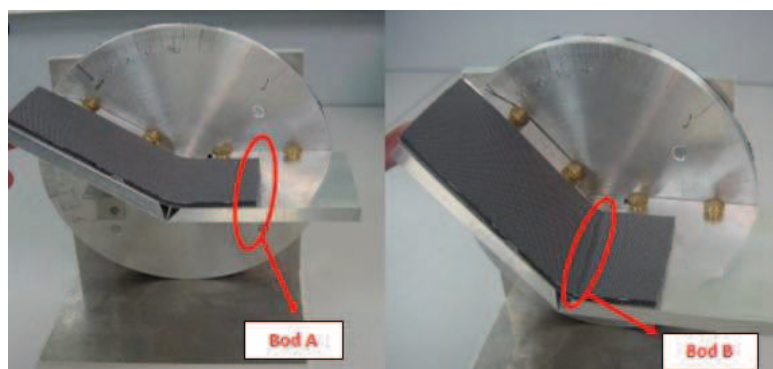
Přístroj, který je popsán v této kapitole, je vyobrazen na obrázku č. 19. Přístroj sloužící k testování deformačního úhlu plošných textilií se skládá z několika hlavních částí. Základem je držák pro vzorek. Tento držák je 240 mm dlouhý a 100 mm široký. Je tvořen dvěma rameny stejné délky, z nichž je jedno pevné a druhé pohyblivé kolem osy otáčení. Tato ramena mezi sebou svírají úhel, který lze měnit v rozsahu 180° až 90°. Důležitou součástí pevného ramene je upevňovací zařízení, které umožňuje znehybnit část vzorku. Toto znehybnění je docíleno pomocí oboustranné lepicí pásky o délce 50 mm. Nezbytným prvkem tohoto přístroje je pak stupnice, na které se odečítá úhel, při kterém dochází u daného vzorku k deformaci.



Obrázek č. 19 – Příklad na měření ohybové tuhosti [12]

3.2 Průběh měření

Testované vzorky musí mít rozměry 170 a 70 mm a zároveň musejí mít rovný stříh v podélném i příčném směru. Vystřihnutí vzorku by mělo proběhnout minimálně 500 mm od kraje předložené textilie. Před zkouškou musejí být vzorky po dobu 24 hod klimatizovány dle DIN EN 20 139-20/65. Po klimatizování vzorků se postupuje podle následujících bodů. Zkontroluje se, zda se přístroj nachází ve vodorovné poloze. Proužky textilie se umísťují lícni stranou nahoru přes obě ramena tak, aby jeden kraj proužku byl zároveň s podložní vrstvou oboustranné lepicí pásky (Bod A), viz obrázek č. 20. Před každým jednotlivým testem se použije nový proužek lepicí pásky. Je nezbytné, aby byla testovaná textilie po celé ploše lepicí pásky dokonale spojena. Následně se pohybuje otočným ramenem a sleduje se, při jakém úhlu dojde k lomu přes celou šíři vzorku (obr. č. 20 – Bod B). Každé testování se provede dvakrát, a pokud je rozdíl mezi dvěma provedenými testy větší než 10° , provede se test opakovaně s novým vzorkem. U textilií se také zohledňují oba směry nití, provádí se tedy dvojí testování. V případě tkaniny se měří směr osnovní a dále pak útkový. Výsledek měření je tedy interpretován úhlem deformace v rozmezí 180° až 90° .



Obrázek č. 20 – Poloha testovaného vzorku a příčný zlom (vráska) [12]

4 Nástroje pro vývoj nového měřicího přístroje

Aby mohla být navržena správná metodika pro testování ohybového chování textilie a následné ověření správnosti této metodiky, je nezbytné zkonstruování prototypu přístroje. Na základě zvážení možností pro konstrukci takového přístroje v domácích podmínkách bylo rozhodnuto pro volbu stavebnice Merkur, více v následující podkapitole.

Přestože lze brát přístroj zhotovený ze stavebnice jako předlohu, bývá zvykem pro výrobu přístroje řádná dokumentace. Potřebná dokumentace je nezbytná pro případnou další výrobu nebo inovace. Pro takovou dokumentaci je nezbytný vhodný software. Součástí této práce je dokumentace vytvořena v programu Autodesk Inventor, a proto je v kapitole 4.2 předloženo krátké seznámení s tímto softwarem.

Řídící jednotka přístroje je založena na počítačové platformě Arduino. Z tohoto důvodu je na konci této kapitoly zařazen text popisující platformu Arduino. Tento hardware je lehce dostupný začínajícím tvůrcům automatizovaných systémů a řídicí program se vytvoří příkazy podobnými strojovému kódu, odladí se na PC a jeho finální verze se nahraje do procesoru Arduino. Výsledkem je ovládání potřebného mechanismu, např. přístroje, který je jedním z cílů této diplomové práce. Zmínka o programu Matlab je jakési nastínění, kterým směrem by se mohla ubírat další práce na zdokonalení měřicího přístroje. Tento program má velice široké možnosti uplatnění, například ve zpracování pořízených dat.

4.1 Stavebnice Merkur

Protože je v této diplomové práci jedním z úkolů sestavení funkčního prototypu přístroje, je zde uvedeno krátké seznámení se stavebnicí Merkur. Právě tato stavebnice je pro tvorbu této práce nezbytná, její konstrukce z oceli nabízí vysokou pevnost konstruovaných modelů. Proto ji lze využít i pro tvorbu různých prototypů skutečných strojních zařízení. Všechny stavebnice se zpravidla skládají z plechových dílů s předvrtanými otvory nepřeberného množství tvarů a barev, které se spojují pomocí šroubků a maticek. Dále bývají doplněny například ozubenými koly, hřídelemi různých délek, elektromotory a řadou dalších prvků. To je dobrým vstupem pro tvorbu i velmi složitých mechanismů, které lze uvést do pohybu.

Modely stavebnic Merkur jsou v současné době tvořeny pomocí 3D konstrukčního programu Autodesk Inventor, více o tomto softwaru v kapitole 4.2.

Následující dvě části obsahují informace o historii stavebnice Merkur a dále pak je zmiňována konstrukce nejslavnějšího modelu vyrobeného právě z této stavebnice. Toto lze nalézt přímo na oficiálních webových stránkách výrobce [13].

4.1.1 Historie stavebnice Merkur

Počátek výroby stavebnice je datován do roku 1920, kdy byla panem Jaroslavem Vanclem založena firma Inventor. Ještě před založením bylo panem Vanclem patentována originální konstrukce dětské kovové stavebnice pod názvem Inventor. Jestli se jednalo o jeho myšlenku, nebo pan Vancle našel inspiraci v nějaké jiné stavebnici, již ale není známo. Původně byly kovové díly stavebnice Inventor navzájem spojovány kovovými háčky, jednalo se o podobný systém, jaký se dnes používá u stavebního lešení „haki“. Přestože název stavebnice Inventor nevydržel, v Polici nad Metují, místě založení firmy, se nadále užívá a zlidověl.

Již v roce 1925 přechází výrobce na nový systém, který se v nezměněné podobě zachoval až dodnes. Kovové části stavebnice jsou již spojovány pomocí šroubků a maticek o velikosti M 3,5. Tímto krokem se stavebnice více přiblížila reálnému konstruování a umožnila tak větší variabilitě konstrukcí. S přechodem na nový systém byla registrována nová ochranná známka Merkur, pod kterou byla prodávána. První řada stavebnic zaujímala pouze tři varianty. Na přelomu třicátých a čtyřicátých let minulého století se nabídka postupně rozrůstala až po velkou stavebnici č. 7. Stavebnice se stávala stále oblíbenější. V té době vznikly například stavebnice budov Metropol a doplňující stavebnice Popular, kdy bylo použito dalších inovovaných dílů. V roce 1933 se začala vyrábět stavebnice s možností stavby elektrických modelů, která nesla název Merkur Elektras. Až do počátku druhé světové války vývoj probíhal pouze v drobnostech, především úprav krabic, návodů nebo součástek. Jak byly tehdy dílky uloženy v krabici, lze pozorovat na obrázku č. 21.



Obrázek č. 21 – Uložení dílků v krabici v období před druhou světovou válkou

Kolem roku 1930 začal vývoj plechových elektrických vláček Merkur. Nejdříve byla železniční vozidla koncipována pouze jako doplněk ke stavebnici, byly vyráběny ve formě stavebnicových dílů, které se pomocí šroubků a maticek spojovaly. Protože byla v Evropě rozšířena velikost „0“, padla volba také na toto měřítko. Na trhu však byl požadavek na již smontované modely, byla tedy urychleně vyvinuta samostatná výroba vláček. Hlavním konstruktérem byl pan František Jirman, který byl zetěm pana Vancla. Předlohou pro první lokomotivu byla rychlíková lokomotiva zvaná Mikádo. Model byl ve skromných podmínkách však značně zjednodušen. K lokomotivě byly dodávány dvounápravové služební, osobní a nákladní vozy. Ukázalo se však, že i tyto zjednodušené modely se staly žádané. Proto konstruktér Jirman v roce 1935 navrhl větší typ rychlíkové lokomotivy, která byla oproti skutečnosti zkrácena pouze o jednu nápravu na předním podvozku. Lokomotivu doplňoval tendr a společně s čtyřnápravovými podvozkovými vozy tvořila velmi zdařilou rychlíkovou soupravu. To byl i začátek úspěchu vláček Merkur, které se později staly nejoblíbenějším a nejrozšířenějším provedením elektrických vláček u nás. V roce 1940 byla ale výroba zastavena v souvislosti s nedostatkem barevných kovů způsobeném probíhající válkou. Navzdory tomu vznikla v té době limitovaná série vozů s dvojjazyčným protektorátním označením ČMD/BMB.

Výroba byla obnovena až po válce v roce 1947. Postupně byl sortiment doplněn o nové typy vozů. Původní parní lokomotiva se dočkala některých změn v provedení. Změny nastaly v období znárodnování během padesátých let. Soukromá firma byla zrušena a výroba se roku 1953 stala součástí Okresního kombinátu v Broumově. Nová

žádost k registraci ochranné známky Merkur na stavebnici a vláčky s kolejnicemi a transformátorem byla podána až v roce 1955. Výroba stavebnice ale probíhala v takřka celém předválečném sortimentu a v roce 1968 byla dokonce úplně zastavena výroba vláčků. Naneštěstí byly v dalších letech zlikvidovány i nástroje na výrobu vláčků.

Od 60. let byla stavebnice Merkur Kovopodnikem Broumov exportována přes Pragoexport do celé Evropy. V angličtině byla stavebnice označována jako systém meccano. Původní význam tohoto slova v angličtině byl „stavebnice“, jenže byl v devadesátých letech právě firmou Meccano zpochybněn a bylo dožadováno dokonce odškodnění u mezinárodního soudu v Haagu. K soudnímu sporu však z důvodu zániku Kovopodniku nedošlo. Došlo k další změně v číslování stavebnic a vznikly tak stavebnice pod označením M310, M320, M330 a M340.

Po sametové revoluci v roce 1989 dochází počátkem 90. let k privatizaci Broumovského Kovopodniku. Bývalými zaměstnanci byl vypracován privatizační projekt, který vedl k založení firmy Komeb. Přestože tato firma navázala na výrobu, již v roce 1993 činnost ukončila.

Další kapitolou historie firmy se stal vstup Ing. Jaromíra Kříže. Nejdříve začal podnikat v kovovýrobě v objektu, který získal restitucí. Z původního záměru odkoupit několik strojů z likvidované firmy Komeb nakonec sešlo a vznikla myšlenka pronajmout si podnik v likvidaci a pokusit se obnovit zastavenou výrobu Merkuru. Jenže několik dní po převzetí pronájmu byl na firmu Komeb vyhlášen konkurz. To celou situaci značně zkomplikovalo. Nechybělo také mnoho a mohlo dojít k prodeji firmě Meccano z Francie, která chtěla odkoupit největšího konkurenta. To se však nestalo a během tří let se podařilo plně obnovit výrobu a zachránit tak nejznámější českou hračku. Merkur se dále rozvíjí do ucelených řad malých a velkých stavebnic a úspěšně proniká na tuzemské i zahraniční trhy.

V současné době přichází firma na trh s novými typy stavebnic každým rokem. Například v roce 2003 byla vyrobena stavebnice Merkur Kitty Hawk ke stému výročí prvního letu bratří Wrightů. Po vzoru historické stavebnice Merkur Elektras byly vyvinuty nové stavebnice Merkur Elektro E1 a Elektronik E2 pro pokusy z elektřiny, magnetizmu a elektroniky. Firma také vyrábí elektricko-demonstrační stavebnici EMA v rámci vzdělávacího programu „Energie pro každého“ firmy ČEZ. Velice úspěšnou stavebnicí je stavebnice M8, která se skládá z 1 405 součástek včetně elektromotoru.

Důraz je ale také kladen na zdokonalování manuálů ke stavebnicím, které jsou kresleny v programu Solid Edge.

Firma se účastní tuzemských i mezinárodních veletrhů hraček. V roce 1996 a 1997 byl Merkur vyhlášen Hračkou roku. Export probíhá především do západních zemí Evropy. V letech 2001 až 2004 byl Merkur vystavován na světové výstavě hraček v USA v New Yorku a v kanadském Torontu. V roce 2004 se stavebnice účastnila výstavy hraček v Moskvě, Merkur se tedy po dlouhé době dostal i do zemí bývalého Sovětského svazu.

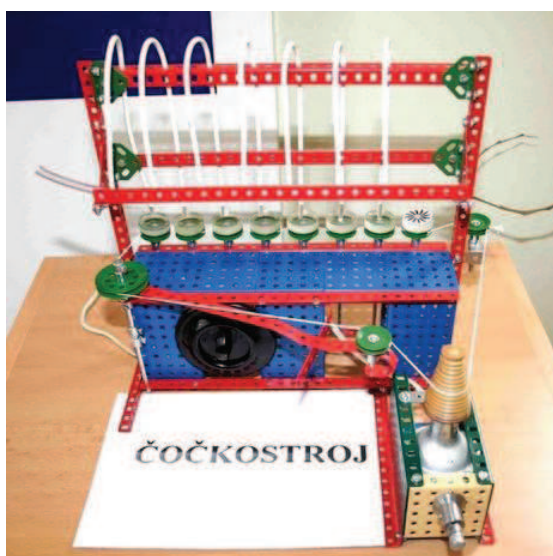
4.1.2 Wichterleho čočkostroj

Na závěr kapitoly se sluší zmínit nejslavnější prototyp přístroje ze stavebnice Merkur. Připomínku tohoto zařízení lze nalézt opět na webových stránkách současného výrobce Merkuru [14].

Pan profesor Otto Wichterle se narodil v roce 1913 v Prostějově. Absolvoval gymnázium a chtěl studovat strojní fakultu, ale na radu přítele se přihlásil na Vysokou školu chemicko-technologického inženýrství. V roce 1935 vypracoval diplomovou práci a v roce 1936 dosáhl doktorátu technických věd. Následně pracoval až do zavření vysokých škol v roce 1939 u profesora Votočka jako asistent. Od roku 1940 byl zaměstnán v Baťově výzkumném ústavu ve Zlíně, kde vedl pracovní skupinu zabývající se výzkumem polyamidů. Již v roce 1941 připravoval ve své laboratoři vlákna polyamidu, která bylo možné spřádat. Tyto polyamidy byly později označovány pod názvem Silon. V roce 1945 se Wichterle vrátil na VŠCHT, kde dokončil habilitační řízení v oboru organické chemie, které pak v roce 1949 rozšířil i na obor technologie umělých hmot. V témže roce se stal prvním profesorem katedry technologie plastických hmot.

Od roku 1952 se zde začal zabývat syntézou síťovaných hydrofilních gelů, které vodou bobtnají. Cílem bylo najít vhodný materiál pro oční implantáty. Podařilo se zde připravit gel, který pohlcoval až 40 % vody, měl vhodné mechanické vlastnosti a byl průhledný. Výzkum nitroočních čoček byl ale z politických důvodů ukončen. Naštěstí v roce 1957 proběhlo v Praze mezinárodní sympozium o makromolekulární chemii, které vedení státu přesvědčilo o potřebě zřízení pracoviště zaměřeného na výzkum syntetických polymerů. Ředitelem nového ústavu, Ústavu makromolekulární chemie Československé akademie věd, byl v roce 1958 jmenován profesor Wichterle.

Protože se budova nového ústavu teprve stavěla, provedl rozhodující pokusy s převedením hydrogelů do vhodného tvaru kontaktní čočky doma. Na Vánoce roku 1961 si sestavil pomocí dětské kovové stavebnice Merkur prototyp odstředivého odlévajícího zařízení. Toto zařízení pohánělo dynamo z jízdního kola zapojené na zvonkový transformátor. Na tomto prototypu byly odlity první čtyři velmi pravidelné čočky, které nedráždily oko. Za několik let se tato metoda nápravy oční vady rozšířila do celého světa. Dnes užívá kontaktní čočky, které lze jednoduše aplikovat, asi 100 000 000 obyvatel naší planety. Od roku 1993 nese jedna z planetek naší sluneční soustavy jméno Wichterle. Čočkostroj můžeme vidět na obrázku č. 22.



Obrázek č. 22 – Čočkostroj

4.2 Autodesk Inventor 2017

Jedním z bodů zadání této diplomové práce je vytvoření dokumentace v CAD programovém prostředí. Pro tuto tvorbu byl zvolen software Autodesk Inventor. Tato CAD aplikace umožňuje tvorbu digitálních prototypů od koncepčních návrhů, přes parametrické 3D modely, až po rozsáhlé adaptivní sestavy, jejich simulace, výpočty, 3D vizualizace i asociativní výkresovou dokumentaci. Obdobně jako u stavebnice Merkur lze v Inventoru skládat prvky sestav výrobků a ověřovat a optimalizovat jejich funkce ještě před zahájením výroby. Autodesk Inventor je používán konstruktéry po celém světě pro efektivní návrh výrobků spotřebního, automobilového, energetického, stavebního, lehkého i těžkého průmyslu.

Dle webových stránek firmy Autodesk [15] je Inventor základní součástí řešení této firmy pro tvorbu digitálních prototypů, kterou doplňují další aplikace. Autodesk

Inventor je světově nejprodávanější CAD aplikace pro strojírenskou 3D konstrukci. Autodesk Inventor například umožňuje:

- pracovat s obzvláště vysokým výkonem při rozsáhlých sestavách,
- vytvářet náčrty s prvotním řešením funkčnosti a následným řešením tvaru,
- intuitivně vytvářet a modifikovat konstrukční sestavy,
- paralelně pracovat v širším týmu konstruktérů,
- pracovat s rozhraním, které sleduje pracovní postupy,
- vytvářet 2D výkresovou dokumentaci rychleji a přesněji než pomocí 2D CAD nástrojů.

Produkt Autodesk Inventor Professional zvyšuje produktivitu navrhování a rozšiřuje možnosti Inventoru o konstrukci specifických strojírenských prvků. Těmito prvky jsou například: potrubní systémy a sestavy s vedením pevných i ohebných trubek, elektromechanická zařízení, sestavy s deskami plošných spojů, výpočty zatížení, dynamická simulace nebo zpracování souborů oborových standardů. Vedle plné funkčnosti Autodesk Inventor Series obsahuje funkce pro izometrické vedení trubek, rating potrubních vedení, rozsáhlou knihovnu normalizovaných potrubních a spojovacích prvků.

Autodesk také připravil "Limited Technology" verzi Inventoru, tedy Inventor LT. Jeho omezení proti plné verzi jsou tyto: neumí modelování sestav a svařenců, nepodporuje nadstavby, nemá modul plech, generátor rámců a Design Accelerator, nemá Obsahové centrum, nemá Vault a neobsahuje AutoCAD Mechanical. Jinak obsahuje všechny funkce. Inventor LT je vhodným nástrojem pro dodavatele a zákazníky jako doplněk standardního Inventoru. Lze jím též konvertovat souborové CAD formáty. Technologií, datovými formáty nebo náповědou je Inventor LT zcela kompatibilní s plnou verzí.

Produkt Inventor HSM (od verze 2015) je plně integrované řešení pro CAM. Nabízí flexibilní funkce pro 2.5D, 3D a 3+2 obrábění. Vestavěné simulační nástroje pomáhají vyzkoušet proces obrábění před spuštěním vygenerovaných CNC kódů na skutečném stroji. K dispozici jsou plně přizpůsobitelné postprocesory a výkonný editor CNC. Inventor HSM je k dispozici jako desktop aplikace nebo desktop subscription (pronájem).

Inventor ETO (Engineer-To-Order) (od verze 2015) je nástroj pro automatizaci obchodních procesů, návrhů, nabídek nebo prodeje. Inventor ETO rozšiřuje digitální prototypy s využitím flexibilní vývojové platformy pro tvorbu zákaznických aplikací umožňující týmovou práci na rychlejších a nákladově úspornějších dodávkách výrobků.

Technologie Autodesk Inventor je postavena na zcela nové technologii pro strojařský CAD, která navazuje na parametrické a variační modelování, a je označována jako "adaptivní modelování". Jde o produkt, který je orientován na uživatele, kteří zatím nemohli přejít na 3D technologii z toho důvodu, že dosavadní 3D systémy svým výkonem a kapacitou nedovolovaly modelování reálných rozsáhlých sestav (desítky tisíc dílů) nebo se jim 3D technologie zdály obtížně zvládnutelné a příliš komplikované. Autodesk Inventor rozšiřuje portfolio strojírenských aplikací Autodesku o vyšší dimenzi.

4.3 Arduino

Dle serveru [16] lze Arduino obecně charakterizovat jako otevřenou elektronickou platformu, založenou na jednoduché počítačové desce (hardware) a vývojovém prostředí, které slouží k tvorbě softwaru. Pomocí Arduina lze vytvářet interaktivní objekty. Arduino deska získává údaje od různých snímačů nebo senzorů (osvětlení, vzdálenosti) a na základě těchto údajů ovládá nějaké výstupy (rosvítí LED, zapne motor). Aby deska vykonávala očekávanou činnost, je nezbytné vytvořit program. K tomu je nezbytné použít programovací jazyk Arduino založený na jazyce Wiring a Arduino software.

Základní deska je velmi jednoduchá a lze ji vyrobit svépomocí. Arduino tvoří v podstatě mikrokontrolér, krystal, napájecí zdroj 5V a převodník pro komunikaci s počítačem. Podle požadované funkce projektu lze využít širokou škálu rozšiřujících desek. Tyto desky jsou označovány jako Arduino Shildy. Těchto desek existuje veliké množství a ke každé je volně k dispozici knihovna pro okamžité použití.

K dispozici jsou originální desky, nebo kopie od dalších výrobců. Originální desky budou fungovat za všech daných okolností a mají i potřebné certifikáty (CE, FCC, RoHS) pro zabudování do profesionálních produktů. Kopie desek mohou vykazovat problémy, jako je nekompatibilita hardware a ovladačů. Objevují se tedy

častěji problémy se spolehlivostí. Originální desky jsou vhodné pro začátečníky, s kopiemi si poradí zkušenější uživatelé, kteří dokážou případné problémy vyřešit.

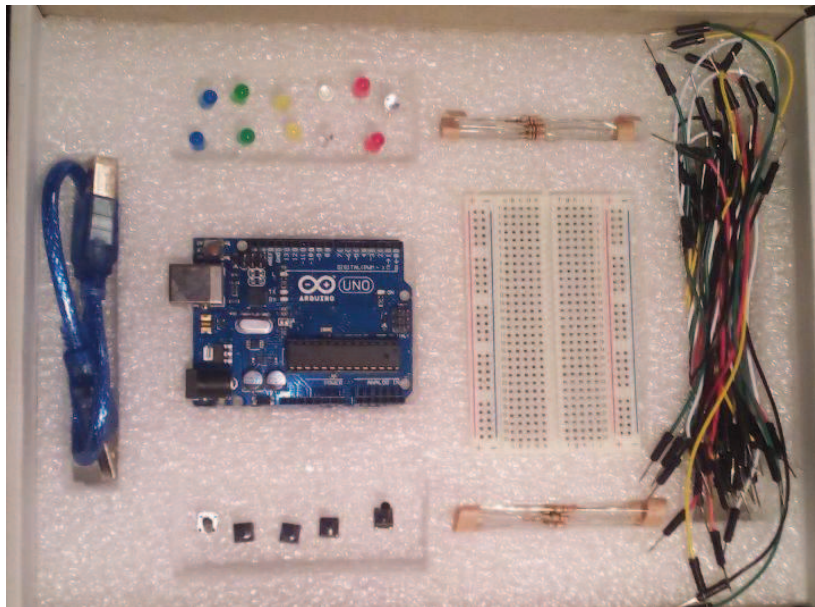
Postupem času se Arduino stalo řídicí jednotkou mnoha projektů. Od jednoduchých, každodenně využívaných aplikací, až po komplexní vědecké přístroje. Světová komunita tvůrců, studentů, umělců, programátorů a profesionálů vytvořila kolem této platformy neuvěřitelné množství znalostí, které jsou na internetu veřejně přístupné. Česká komunita nadšenců sdílí své poznatky a informace na svém vlastním fóru. Tyto informace jsou často velkou pomocí pro začátečníky, ale i zkušené uživatele této platformy.

Arduino vzniklo na Institutu Interaktivního Designu ve městě Ivrea jako nástroj pro rychlé vytváření prototypů, byl určený pro studenty bez hlubších znalostí elektroniky a programování. Tato komunita se brzy rozrostla, a proto se deska začala měnit a přizpůsobovat podle nových potřeb. Z jednoduchých 8-bitových desek se vyvinul produkt pro 3D tisk nebo speciální roboty. Všechny desky i software jsou kompletně volně dostupné a lze je jakkoliv využít, nebo podle dostupných dat vyrobit.

Pro práci s fyzickým světem existuje spousta mikrokontrolérů a platform (Parallax Basic Stamp, BX-24 od Netmedia, Phidgets, Handyboard od MIT a mnoho dalších) s obdobnou funkčností. Všechny tyto nástroje zpracovávají nepřehledné detaily o programování mikrokontrolérů a upravují je do vhodnější podoby. Asi největší výhodou Arduina oproti ostatním platformám je nízkonákladovost, tedy dostupnost studentům. Kromě finanční dostupnosti můžeme hovořit o dostupnosti uživatelské, neboť ovládací software funguje jednak na operačních systémech Windows, ale i na systémech Macintosh OSX a Linux. Většina ostatních prostředí je omezena pouze na systém Windows. Jednoduché programovací prostředí je vhodné pro začátečníky, zároveň dostatečně flexibilní pro zkušené uživatele.

S ohledem na zmíněné výhody je tato platforma vhodná pro využití při řízení prototypu přístroje, který je cílem této práce. Pro správnou funkci přístroje je nutné najít vhodnou metodiku měření. Schopnost nastavení chování přístroje na počítači velice usnadňuje práci a zkracuje potřebný čas nezbytný pro zkoušky. Během chvíle lze například změnit počet prováděných cyklů zařízení, nastavit momenty záznamu optického zařízení, či měnit úroveň osvětlení.

Obrázek č. 23 ilustruje vybavení stavebnice Eduino, která je založená právě na platformě Arduino. Eduino je produkt tuzemské distribuce a skládá se ze základních prvků, kterými jsou kabel USB pro propojení s počítačem, Arduino UNO deska, kontaktní pole, vodiče, LED diody, rezistory, tlačítka a manuál.



Obrázek č. 23 – Obsah stavebnice Eduino

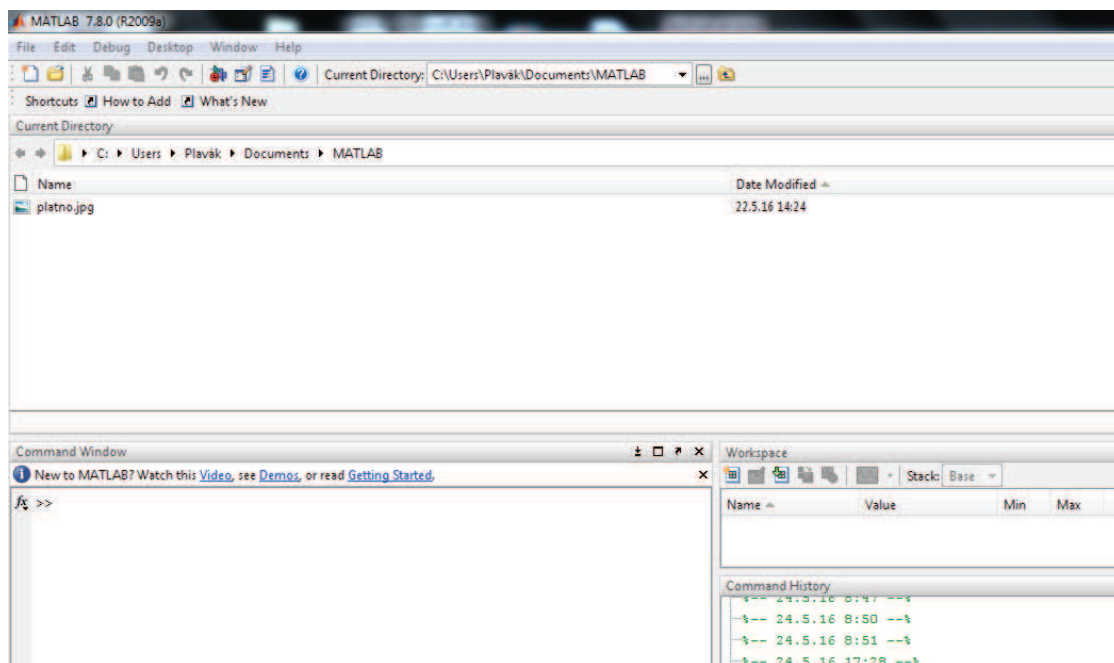
4.4 Matlab

Dle informací [17] a [18] lze Matlab charakterizovat jako interaktivní programové prostředí, viz obrázek č. 24, a skriptovací programovací jazyk. Název Matlab vznikl zkrácením slov Matrix Laboratory (volně přeloženo „maticová laboratoř“), což odpovídá skutečnosti, že klíčovou datovou strukturou při výpočtech v Matlabu jsou matice.

Tento program je vyvíjen společností MathWorks a v září 2013 vyšla zatím poslední verze R2013b, která je k dispozici pro operační systémy Linux (32-bit, 64-bit), Windows (32-bit, 64-bit) a Mac OS X (64-bit). Matlab umožňuje počítání s maticemi, vykreslování 2D i 3D grafů funkcí, implementaci algoritmů, počítačovou simulaci, analýzu a prezentaci dat i vytváření aplikací včetně uživatelského rozhraní.

Nejdříve byl jazyk určen pro matematické účely, ale časem byl upraven, byly přidány nové funkce a rozšíření, rozrostl se různými směry a dnes je využitelný v široké paletě aplikací. Široké možnosti například nabízí ve zpracování obrazu. Program Matlab

lze tedy využít například jako nástroj, který je schopný zpracovat veliké množství snímků pořízených optickým zařízením.



Obrázek č. 24 – Uživatelské prostředí softwaru Matlab

V roce 2004 měl Matlab přes milion uživatelů, především z řad vědeckotechnických pracovníků, studentů a zaměstnanců vysokých škol. Hlavní oblastí využití jsou technické obory nebo ekonomie. Uplatňuje se tedy v oblastech, kde je požadavek na inženýrské výpočty, tvorbu algoritmů, modelování a simulaci, analýzu dat, vědeckou a inženýrskou grafiku.

Základní vlastností je, že veškeré objekty v Matlabu jsou považovány za prvky pole (matice). Tyto prvky mohou být nejen čísla, proměnné, ale i složitější struktury jako například obrázky. Výkonnost je navyšována díky navazujícímu softwaru, který tvoří především soubory programu tzv. "toolboxy", orientované zpravidla na daný problém nebo uživatelem sestavené programy, tzv. m-files (m-soubory).

Matlab má slabou dynamickou typovou kontrolu, což znamená, že proměnné nemají po deklaraci určený datový typ a mění datový typ během své existence. Je totiž možné do jedné proměnné uložit datový typ integer a následně v kódu do té samé proměnné uložit textový řetězec, kterým přepíšeme původní hodnotu. Dynamické typování je pružnější a mnohdy pohodlnější pro programátory, ovšem je daleko náchylnější ke vzniku chyb. Programátoři si typovou kontrolu musí hlídat sami a

některé takto vzniklé chyby se projeví až daleko od místa svého vzniku a jsou tak jen těžko odhalitelné. Proměnné nevyžadují deklaraci, vzniknou prvním přiřazením hodnoty. Čtení z neexistujících proměnných vyvolají chybu. Změny typu a velikosti proměnných probíhají automaticky.

Matice může mít libovolný počet rozměrů, v každém rozměru jsou prvky označeny celými kladnými čísly od 1 do n. Matice o rozměrech 1×1 jsou označovány jako skaláry, matice $1 \times n$ nebo $m \times 1$ jsou označovány jako vektory.

5 Prototyp nového měřicího přístroje

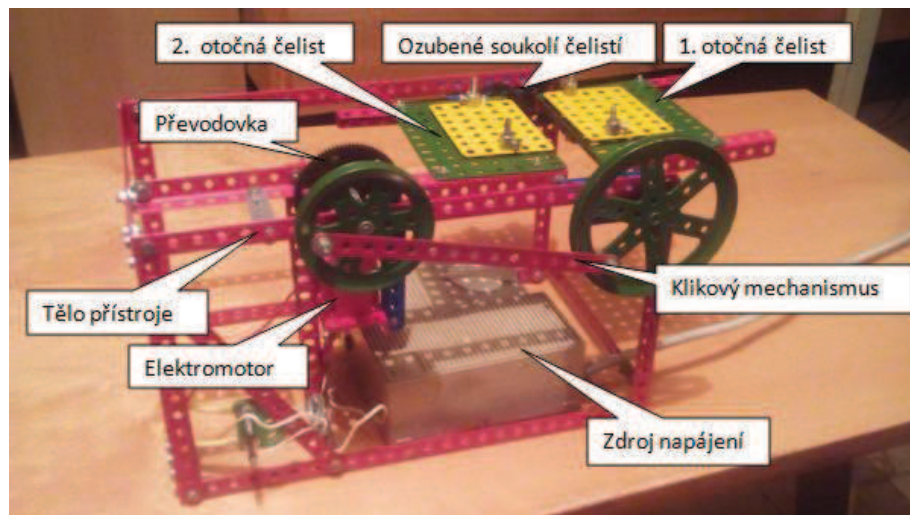
V následujících dvou podkapitolách se nachází popis dvou přístrojů, které byly sestaveny pro ověření principů chování textilie. Tyto prototypy byly sestaveny z kovové stavebnice Merkur. Variabilita této stavebnice nabízí možnost sestavení téměř jakéhokoli mechanismu. Výhodou této stavebnice je materiál, ze kterého jsou jednotlivé díly vyráběny, kterým je především ocel. Sestavované mechanismy tím získávají vyšší pevnost a tím lepší použitelnost. Z tohoto důvodu lze postavené mechanismy i dobře testovat například pro výrobu ještě dokonalejších přístrojů.

5.1 Popis přístroje „klapka“

Prvním sestaveným prototypem se stal model přístroje, který obdržel pracovní název „klapka“ (obr. č. 25). Tento název vznikl na základě pohybu jeho dvou pohyblivých čelistí, které vykonávají částečný otáčivý pohyb.

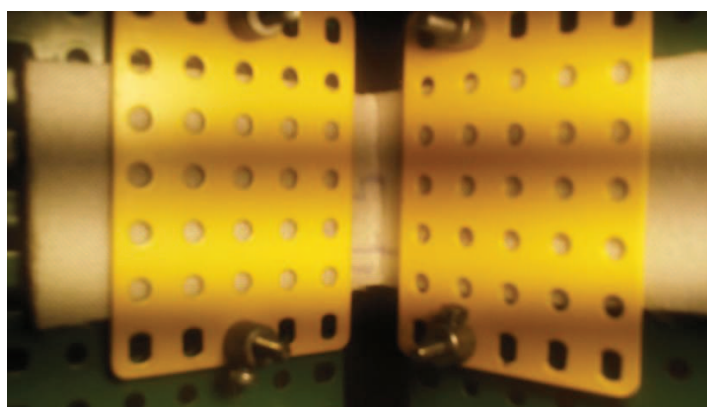
Zásadní součásti přístroje jsou popsány na obrázku č. 25. Téměř celé zařízení je postaveno výhradně z dílů stavebnice Merkur. Výjimku tvoří zdroj napájení. Tímto zdrojem je transformátor, který byl v minulosti dodáván k modelovým železnicím značky Piko. Výhodou tohoto transformátoru je možnost plynulého regulování výstupního napětí až do hodnoty 12 V. Tento rozsah je vhodný právě pro provoz elektromotorů ze stavebnice Merkur. Díky možnosti regulace výstupního napětí lze tedy plynule regulovat otáčky elektromotoru pro potřeby sledování chování měřené textilie. Protože však elektromotor nenabízí vysoký výkon, je doplněn jednoduchou převodovkou, která slouží k upravení rychlosti otáčení celého mechanismu. Samotný elektromotor je napájen stejnosměrným napájením o hodnotě 6,5 V. Toto napětí se ukázalo jako adekvátní pro rychlost provozu elektromotoru.

Otáčivý pohyb převodovky je následně pomocí klikového mechanismu převeden na otáčivý pohyb první otočné čelisti. Otáčení druhé čelisti je umožněno díky soukolí mezi těmito dvěma čelistmi. Každá z čelistí vykonává rotační pohyb o úhlu otáčení 90°. Dochází tedy k pohybu čelistí z vodorovné polohy do polohy svislé a zpět.



Obrázek č. 25 – Popis přístroje „klapka“

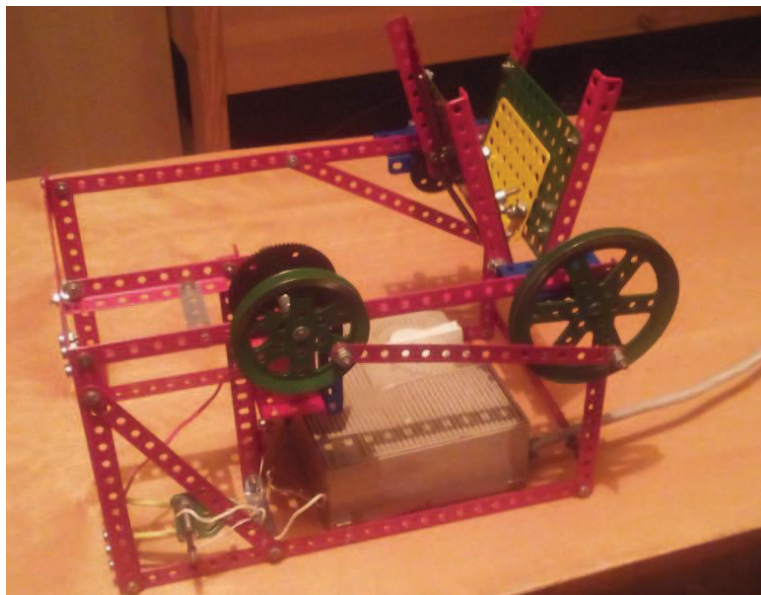
Žluté destičky patrné z obrázku č. 26 slouží pro připevnění testovaného vzorku textilie. Připevnění probíhá tak, že se destičky nejdříve uvolní z čelistí, následně se vloží testovaný vzorek (pásek plošné textilie) a destičky se vrátí na své místo. Zajištění je docíleno pomocí aretačních válečků, které se přitáhnou šroubky k trnům vystupujícím z čelistí. Destičky tedy tlačí na vzorek pouze svojí tíhou.



Obrázek č. 26 – Zlomová vráska mezi otočnými čelistmi

Na obrázku č. 27 lze pozorovat pozici čelistí téměř v konečné poloze, po které se čelisti vrací zpět do polohy výchozí. Dochází tedy k cyklickému namáhání textilie. Z testování přístroje tedy vyplynuly dvě možnosti sledování chování textilie. Jednou možností je sledovat tzv. deformační úhel, viz kapitola č. 3. Druhou možností je pozorovat vývoj zlomové vrásky, která vzniká v prostoru mezi čelistmi (obr. č. 26). Jak v případě deformačního úhlu, tak i v případě tvaru samotné vrásky dochází k vývoji v čase. Bylo pozorováno, že se deformační úhel po opakovaném namáhání zmenšuje a tvar vrásky se mění. Tímto pokusem byl tedy ověřen předpoklad chování textilie.

Pozorování se prozatím obešlo bez přesného statistického vyhodnocení. Chování textilie bylo zaznamenáno prozatím pouze pro potřeby porovnání chování různých textilií. U textilií z vyšší ohybovou tuhostí bylo ověřeno, že tvoří vrásku později, tedy při větším deformačním úhlu.



Obrázek č. 27 – Přístroj „klapka“ s téměř sevřenými čelistmi

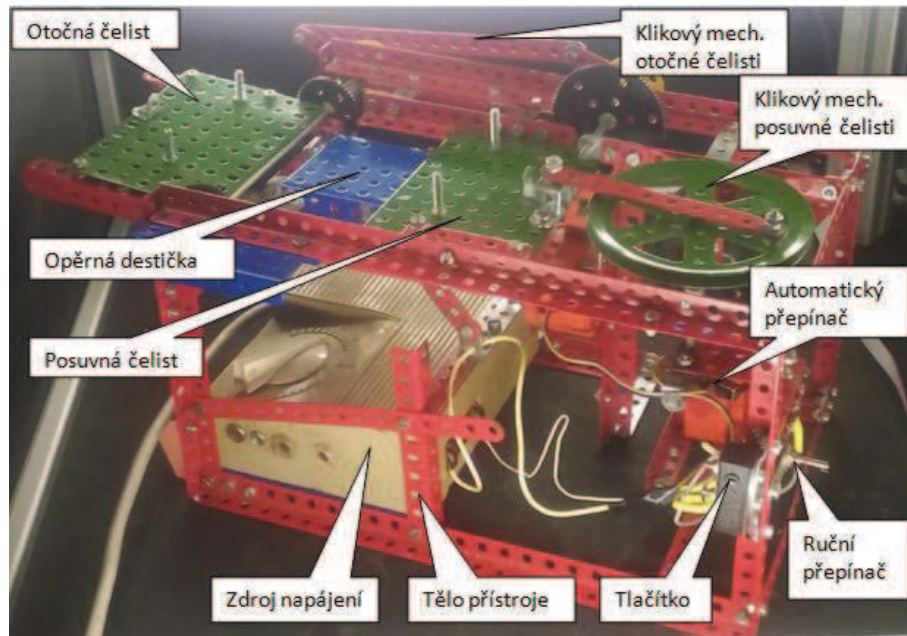
5.2 Popis přístroje „klapka + smyčka“

Druhý přístroj, který byl sestaven, obdržel pracovní název „klapka + smyčka“. Již název předpokládá rozšíření schopností přístroje. Hlavním rozdílem je způsob pohybu, který vykonávají čelisti modelu přístroje. Nedochozí zde k otáčivému pohybu obou čelistí, jako tomu bylo u předchozí verze. Otáčí se již pouze jedna čelist a druhá koná pohyb posuvný.

Model přístroje „klapka + smyčka“ s popisem je zachycen na obrázku č. 28. Tělo přístroje je opět zhotoveno ze stavebnice Merkur a zdrojem pro napájení modelu přístroje zůstal ověřený transformátor z modelové železnice Piko.

Protože má tento přístroj dvě čelisti, které již vykonávají různý pohyb, bylo nezbytné doplnit zařízení o druhý stejnosměrný elektromotor. Každý z elektromotorů má již z výroby možnost výstupu otáčení ve dvou režimech. První je pomalý a tedy nabízí větší krouticí moment. Druhý je naopak rychlý, s malým krouticím momentem. Přestože je u obou elektromotorů nastaven režim pomalejší, bylo zapotřebí opět doplnit pohonné jednotky dodatečnou převodovkou pro správný výkon a rychlost otáčení klikových mechanismů. Točivý pohyb každé z převodovek je dále pomocí klikových

mechanismů, viz obrázek č. 28, upraven na potřebný pohyb dané čelisti. Jeden elektromotor tedy pohání čelist otočnou, druhý posuvnou. Upevnění vzorků textilií se provádí opět díky dvěma destičkám, které se zajišťují pomocí válečků opatřených aretačním šroubem. Jediným rozdílem jsou opěrné body, které zamezují posunu vzorku v čelisti a umožňují tedy lepší zajištění.

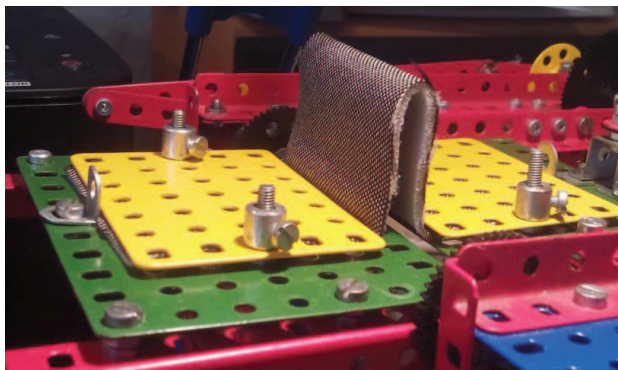


Obrázek č. 28 – Popis přístroje „klapka + smyčka“

Nyní zbývá popsat, jak zařízení funguje. Přestože je náplní této práce sledovat především chování zlomové vrásky na základě cyklického namáhání, nabízí tento přístroj ještě jeden způsob měření. Tento prototyp je totiž schopen tvořit ještě tzv. smyčku, která je zmíněna v kapitole 2.6 této práce. Nabízí se totiž možnost vytvoření jednoho přístroje, který bude oba principy testování kombinovat a tím získávat větší množství dat pro lepší vyhodnocení zkoušené plošné textilie. Tento přístroj je tedy i prototypem přístroje, který by mohl být realizován v dalším pokračování vývoje vhodného zařízení.

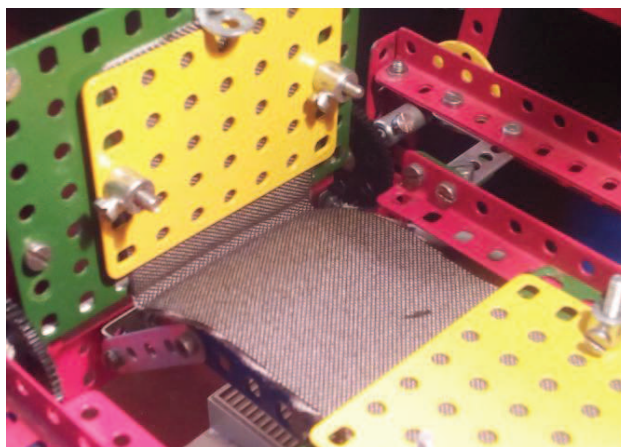
Tento přístroj lze uvést do chodu ve třech různých režimech. To je umožněno díky soustavě ručního třípolohového přepínače, automatického přepínače a tlačítka. Přístroj jde tedy spustit pouze pro testování zlomové vrásky, pouze pro testování smyčky, a nebo pro kombinované zkoušení. Pokud se přepínač nastaví z prostřední polohy do první, bude v pohybu pouze posuvná čelist. Opačná poloha přepínače spustí pouze otočnou čelist, která bude rotovat v rozsahu 135°. V případě, že se posuvná čelist

nenachází ve výchozí pozici, tento pohyb bude tomu otáčivému předcházet. Pokud se ve druhé poloze ručního přepínače stiskne po dobu asi 2 sekund ještě tlačítko, přístroj díky posuvné čelisti nejprve vytvoří z textilie smyčku (obr. č. 29) a po jedné otáčce klikového mechanismu se pomocí automatického přepínače spustí druhý elektromotor a zároveň se odpojí první. Následně dochází k pohybu rotační čelisti až do vypnutí přístroje přepnutím opět do prostřední polohy. Zmíněné tlačítko má vlastně funkci upřednostnění pohybu posuvné čelisti před rotační.



Obrázek č. 29 – Vznik smyčky

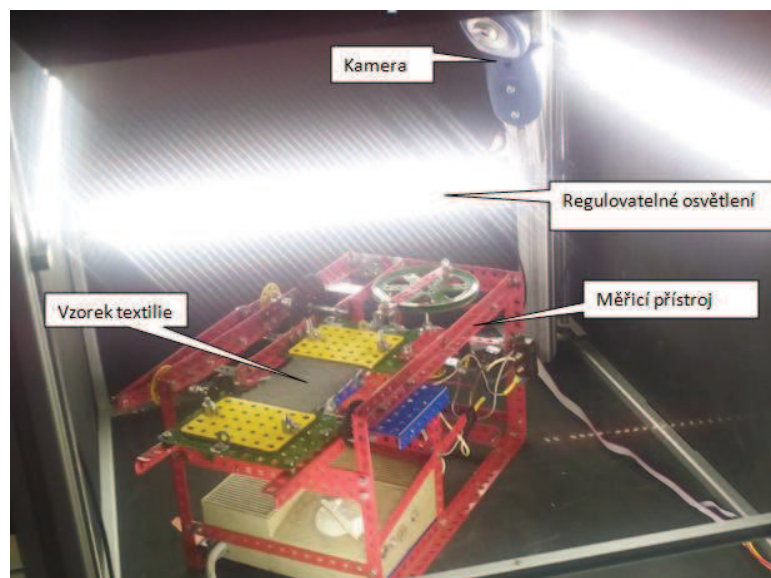
Opěrná destička vyznačena na obrázku č. 24 slouží ke správné orientaci tvorby smyčky. Destička se nachází v rovině posuvné čelisti, a proto se smyčka vytvoří vždy směrem vzhůru (obr. č 28). Prostor mezi touto destičkou a hřídelkou, která je zároveň osou otáčení rotační čelisti, je jakási kapsa, ve které se tvoří zlomová vráska (obr. č 30). Rozsah otáčení rotační čelisti je 135°. Dráha, kterou urazí posuvná čelist, než se vrátí zpět do výchozí polohy, je dlouhá 2 x 6 cm. Celý přístroj je 35 cm dlouhý, 20 cm široký a 17 cm vysoký. Proužky textilií, na kterých byly ověřovány principy chování textilie, měly rozměry 17,5 x 5,5 cm.



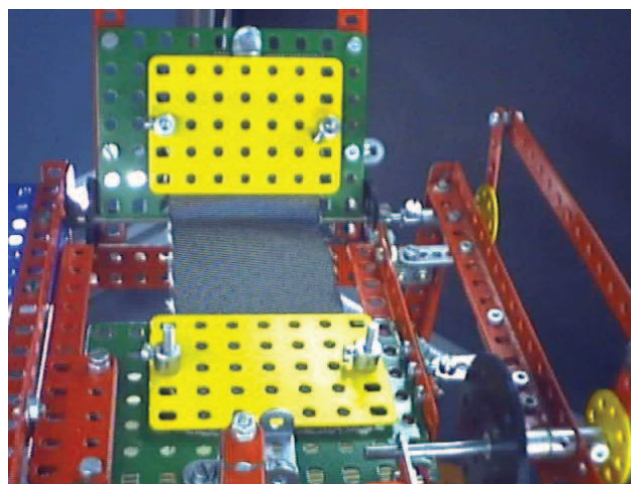
Obrázek č. 30 – Vznik vrásky

Na tomto přístroji ještě nebylo provedeno přesné měření. Bylo však otestováno použití světelného boxu. Oba přístroje slouží jako předloha pro přístroj finální. Dosud však nebyla zodpovězena otázka záznamu obrazu. Protože má být hodnocení plošných textilií plně automatizované, neobejde se budoucí zařízení bez vhodného optického zařízení, které bude zaznamenávat obraz pro další zpracování vhodným softwarem.

Na obrázku č. 31 se prototyp přístroje nachází ve světelném boxu. Výhodou tohoto prostoru je možnost nastavení přesně definovaných podmínek nasvícení. Lze měnit intenzita nebo směr osvětlení. Po dobu měření tedy nedochází k různým změnám osvětlení, jako by tomu bylo na denním světle. To se stává předpokladem přesných výsledků měření. Na obrázku je dobře patrné umístění snímací kamery. Snímek pořízený touto kamerou ilustruje obrázek č. 32.



Obrázek č. 31 – Přístroj ve světelném boxu

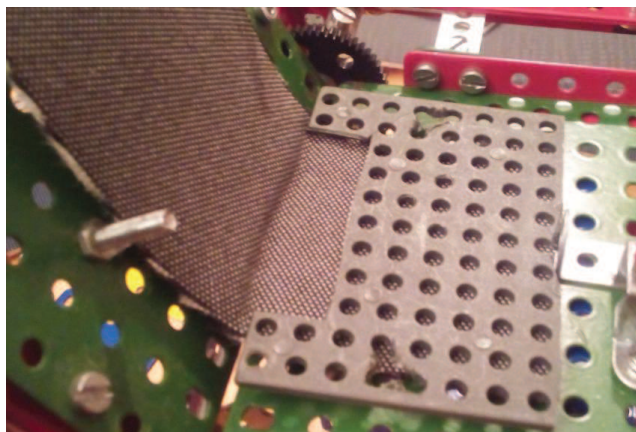


Obrázek č. 32 – Snímek z kamery ve světelném boxu

5.3 Inovace upevnění testovaných vzorků

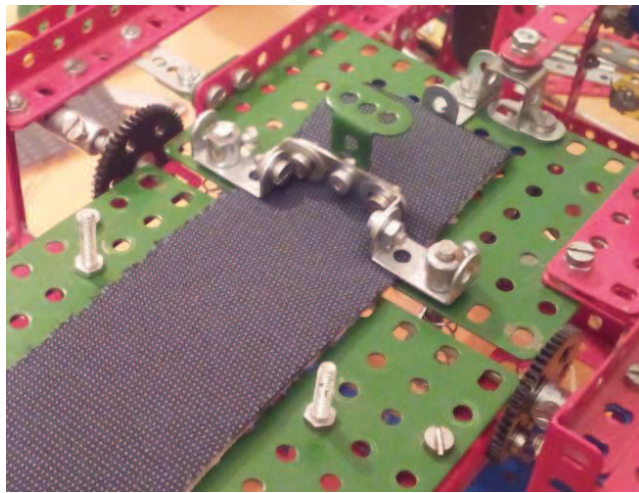
Během řady zkušebních měření různých textilií se ukázalo, že mají některé textilie sklon k nevhodnému chování během měření. Docházelo tak v případě měření založeném na principu „klapka + smyčka“ k pohybu proužku testovaného vzorku. Jakmile se čelist začala otáčet, vzorek reagoval zvedáním. Přestože se takto nechovaly veškeré zkoumané textilie, ukázal se systém upevnění pomocí destiček (např. obr. č. 26) nedostačující. V kapitole 3.1 této práce je uveden způsob řešení tohoto problému na základě použití oboustranné lepicí pásky. Vzorek je takto dokonale fixován, ale potřeba opakované výměny pásky pro každé měření nového vzorku velice prodlužuje potřebný čas na vykonání měření.

Bylo tedy hledáno nového systému, který by vzorek znehybnil, ale výměna probíhala v co možná nejkratším čase. Je třeba si uvědomit, že pozice tvorby vrásky souvisí s daným použitím fixace. Vráska se totiž utvoří po otočení jedné z čelistí právě v místě konce objektu zabezpečující fixaci. Tím je myšlena buď zmíněná oboustranná lepicí páska, která drží vzorek zespodu, a nebo jiné provedení fixující shora. Pokud na vzorek přiložíme pevnou destičku, deformace bude jistě vznikat přes hranu této destičky, ale nevýhodou je zakrytí sledovaného místa. To je důvodem, proč je na španělském přístroji použito připevnění vzorku z rubní strany. Bylo však ověřeno, že lze zkombinovat fixaci z lící strany s vhodně zvoleným tvarem destičky. Prvním pokusem byl systém, který lze vidět na obrázku č. 33. Díky tvaru vybraní destičky je deformace dobře viditelná. Bylo dokázáno, že pro potřebnou lokalizaci případné tvorby zlomové vrásky dostatečně zajištění po stranách vzorku. Zbylá plocha destičky zakrývající vzorek zamezuje pohybu vzorku.



Obrázek č. 33 – Návrh nového tvaru fixační destičky

Po návržení nového tvaru byla řešena otázka upevnění samotné destičky. Nejdříve byl navržen princip založený na použití tlačných pružin (obr. č. 34). Vzorek je k čelisti přitlačen díky pružinám, které působí ze strany pod čelistí. Výměna vzorku probíhá nadzvednutím prvku držící vzorek pomocí zeleného úchytu, díky kterému se uvolní prostor pro vložení vzorku. Tím je vyřešen problém testování textilií různé tloušťky. Negativním jevem je však tlaková síla vyvíjená na vzorek vlivem tlačných pružin. Tato síla se úměrně zvyšuje s tloušťkou materiálu, a proto by měření působením těchto pružin mohlo být ovlivněno. Z tohoto důvodu byla provedena dosud poslední inovace čelisti, která je dále popsána v kapitole 6.1 Popis přístroje. Konečný tvar této čelisti je zpracován například v příloze č. 1.



Obrázek č. 34 – Zajištění vzorku pomocí tlačných pružin

6 Nový měřicí přístroj

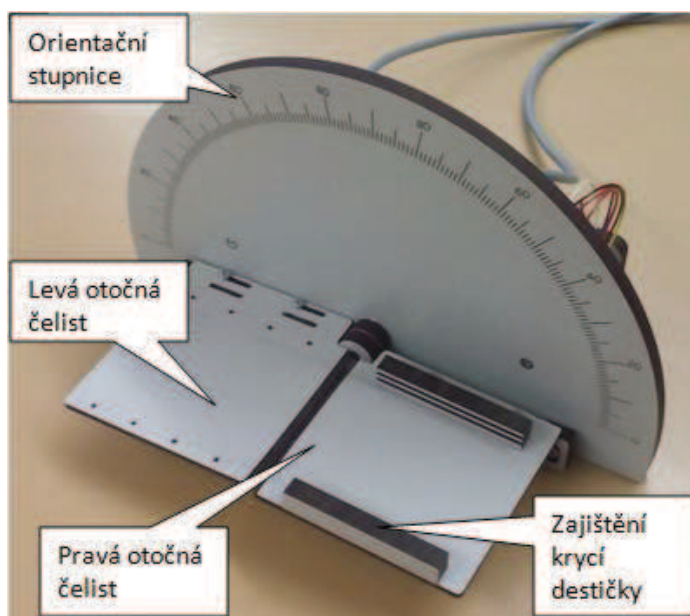
V této kapitole je uveden popis a způsob měření na nově vyvinutém přístroji. Tento přístroj vznikl jednak jako inovace přístroje popisovaném v rešeršní části této práce, ale také kombinací poznatků získaných tvorbou dvou prototypů přístrojů uvedených v části praktické této práce.

První uvedený přístroj slouží na základě platné španělské normy [12] k testování potahových textilií, viz kapitola 3 Měření úhlu deformace plošné textilie. Dva prototypy přístrojů demonstrují rozšířené možnosti testování vzorků. Na základě několika setkání uskutečněných se zástupci firmy ŠKODA AUTO, a.s. bylo rozhodnuto, jakým směrem by se měl ubírat vývoj nového přístroje. Požadavkem bylo rozšířit stávající zkušební metodu o nově získané poznatky a tím vyrobit finální přístroj.

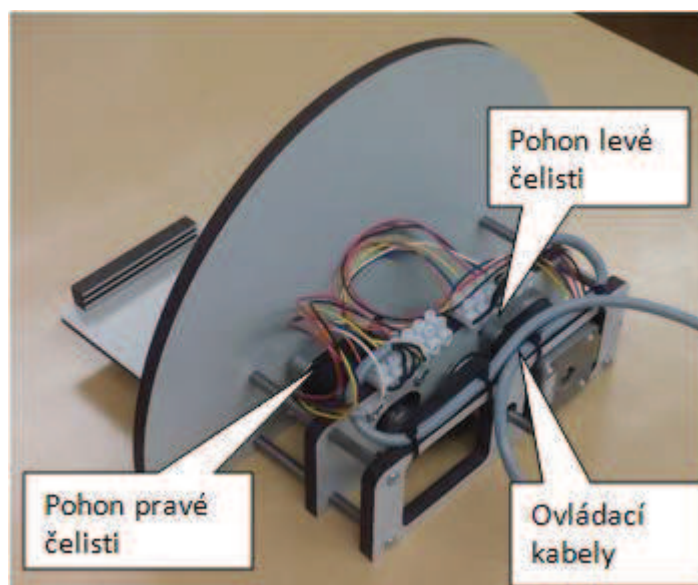
Z výše uvedeného důvodu je nový přístroj po vizuální stránce s původním španělským velice podobný, avšak princip testování i navržená metodika testování je již odlišná.

6.1 Popis přístroje

Na základě původního přístroje, dvou nových prototypů, požadavků zástupců firmy ŠKODA AUTO, a. s. a nezbytných poznatků získaných během předběžných měření byl vyroben finální přístroj. Na obrázcích č. 35 a 36 je tento přístroj vyobrazen z přední a zadní strany.



Obrázek č. 35 – Pohled na přední stranu přístroje



Obrázek č. 36 – Pohled na zadní stranu přístroje

Na pohledu z přední strany lze pozorovat orientační stupnici, která může sloužit laborantovi pro odhadnutí předběžného chování textilie. Stupnice začíná na obou koncích nulovou hodnotou a po jednotlivých dílcích o velikosti jednoho stupně deformačního úhlu roste z obou stran směrem ke středu do hodnoty 90° .

Nejdůležitějšími prvky tohoto přístroje jsou dvě otočné čelisti, které mají společnou osu otáčení, avšak jsou schopné vykonávat nezávislý rotační pohyb v rozmezí 90° . Tyto čelisti lze posouvat v rozsahu 2 cm. Důvodem pro umožnění tohoto posunu je variabilita nastavení tohoto přístroje. Pokud je požadavek, aby jedna z čelistí rotovala v rozsahu 90° , je možné mít čelisti u sebe. Pokud je požadavek na testování, kdy je zapotřebí, aby rotační pohyb tohoto rozsahu vykonávaly obě čelisti současně, musí se od sebe oddálit dle tloušťky vzorku. Jištění čelistí ve správné poloze se provádí pomocí dvou aretačních šroubků pro každou z čelistí (příloha č. 3).

V neposlední řadě lze na předním pohledu vidět boční zajištění krycí destičky. Toto provedení slouží k fixaci měřeného vzorku. Krycí destička se zasouvá do bočního jištění dle tloušťky vzorku tak, aby mezera mezi destičkou a čelistí odpovídala tloušťce testovaného vzorku. Toto je potřeba předem přizpůsobit před měřením dané kategorie vzorků (například tloušťka 4 mm). Je tedy nezbytné použít správné krycí destičky, aby nebyl testovaný vzorek volný.

Pohled ze zadní strany vyobrazuje především dva krokové motory, které jsou schopné pracovat nezávisle a tím vykonávat potřebný pohyb čelistí. Každý z motorů

pohybuje jednou z čelistí. K napájení krokových motorů slouží dva ovládací kabely (šedé zbarvení).

Detailní výkresová dokumentace zpracovaná v software Autodesk Inventor 2017 je přiložena v přílohách č. 1 až 5. Tato dokumentace postupně předkládá Základní pohled – strana se stupnicí, Základní pohled (s rozměry), Promítnutý pohled základního pohledu, Pohled shora a Skupinový pohled. V přílohách je dobře patrné například jištění čelistí, tvar inovované čelisti, tvar celého přístroje a především detailní zpracování rozměrů. Uváděné rozměry jsou v [mm].

Příloha č. 1 obsahuje výkres, na kterém je vyobrazen základní pohled, kdy je přístroj vyobrazen z přední strany, kolmé k orientační stupnici. Tento výkres je dále doplněn předním levým nadhledem pro vhodnější představení pohyblivých čelistí, které jsou hlavními měřicími prvky přístroje.

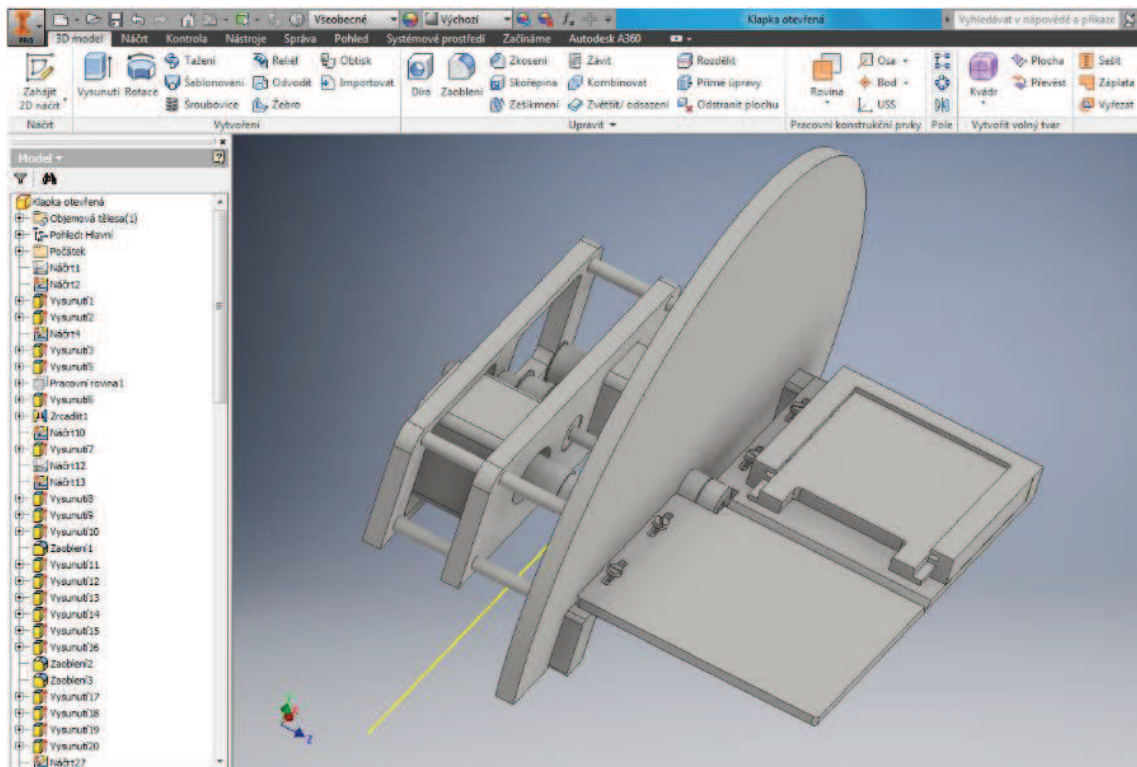
Detailní zpracování rozměrů základního pohledu obsahuje výkres přílohy č. 2. Tvar stupnice kopíruje část kruhu s poloměrem 145 mm. Výška této stupnice, tedy celého přístroje, je 173 mm a délka 290 mm. Obě otočné čelisti mají tloušťku 4 mm a jejich délka je 100 mm na každou stranu od osy otáčení.

Pro zachycení hodnot třetích rozměrů 3D modelu slouží příloha č. 3. Výkres této přílohy opět zachycuje levý přední nadhled. Z výkresu je patrná šířka levé i pravé čelisti a dále rozměry krycí destičky s jištěním pro fixaci vzorku o šířce 70 mm.

Kompletní sadu obvodových rozměrů nabízí až výkres přílohy č. 4, který zachycuje pohled shora. Dobře patrná je pozice čelistí, rozmístění krokových motorů a nosné konstrukce pro uchycení motorů a převodového mechanismu. Otáčivý pohyb krokových motorů je přenášen na čelisti pomocí vnitřního a vnějšího hřídele, které jsou sousedé. Každý z hřídelů otáčí s jednou z čelistí. Převod mezi hřídelemi a motory je zabezpečen pomocí dvou ozubených řemenů, které nejsou na výkresu zachyceny.

Příloha č. 5 obsahuje soubor devíti pohledů odvozených od pohledu základního.

Na obrázku č. 37 se nachází rozpracovaný 3D model v programu Autodesk Inventor 2017. Tento obrázek zachycuje již hotové zpracování nového přístroje v programovém prostředí, ve kterém lze libovolně měnit pohled nebo přiblížení a provádět tak kontrolu modelu.



Obrázek č. 37 – Model přístroje v softwaru Autodesk Inventor

Aby mohl být takovýto model vytvořen, je nezbytné znát alespoň některé základní funkce programu. Tento model byl vytvořen jako jedna součást tak, že byla vytvořena nejdříve orientační stupnice a poté byly směrem dopředu vymodelovány otočné čelisti, na opačnou stranu byly vymodelovány krokové motory s konstrukcí pro jejich umístění. Orientační stupnice tak tvoří jakousi dělicí rovinu přístroje.

Tvorba jakéhokoli 3D modelu v tomto programu začíná výběrem, zda bude kreslena součást, sestava, či výkres. Následuje výběr mezi instalovanými normami, které jsou rozhodující pro použití jednotek při práci. Tento model byl tvořen v jednotkách milimetrů.

Pro tvorbu každého modelu tímto programem existuje nekonečné množství způsobů, jak lze dosáhnout konečného výsledku. Vždy je ale nezbytné zvolit správnou rovinu, ve které se začne kreslit. Aby bylo dosaženo třírozměrného prvku, je zapotřebí nejdříve nakreslit tzv. náčrt. Tímto náčrtem může být libovolný uzavřený tvar, například čtverec, nebo tvar orientační stupnice, který je vlastně kruhovou úsečí. Na základě těchto náčrtů lze tvořit objemová tělesa. Pro tuto tvorbu existuje řada způsobů, základní lze spatřit v horní liště na obrázku č. 37. Model v této práci vznikl především použitím takzvaného vysunutí. Pokud se provede vysunutí na zmíněný náčrt čtverce, kdy

vysunutí bude nabývat hodnoty strany tohoto čtverce, bude výsledkem krychle. Obdobným vysunutím kruhové úseče byla vytvořena i orientační stupnice.

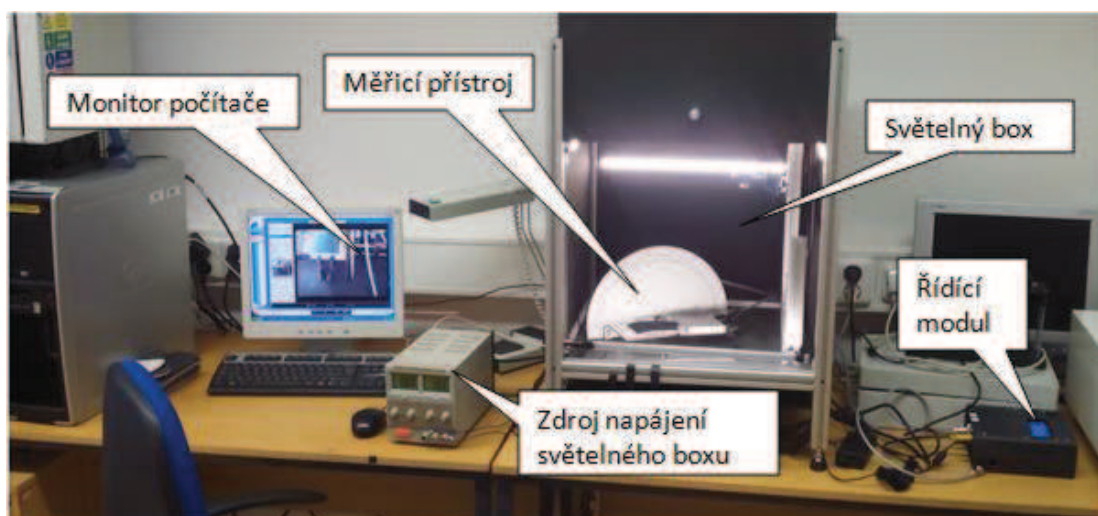
Rekapitulace tvorby modelu se nachází na obrázku č. 37 v levém sloupci. Kromě funkcí vysunutí lze v části tohoto sloupce spatřit například příkaz zaoblení, které slouží ke sražení libovolné hrany pod definovaným poloměrem. Funkce zrcadlení slouží k okopírování existujícího prvku, například otvoru. Tím není nutné tvořit další náčrt. Vysunutím podle nastavených podmínek lze totiž tvořit jednak nová tělesa, ale i otvory, kdy namísto přidávání materiálů se zvolí materiál odebírat do určité hloubky.

Po dokončení třírozměrného modelu byly vytvořeny výkresy (přílohy č. 1 – 5). Každý z výkresů vznikl nejprve výběrem pohledu, který se odvíjí od základního. Na výkres lze umístit jeden, nebo více pohledů. K těmto pohledům byly následně doplněny kóty a popisky.

6.2 Obsluha přístroje

Přístroj je konstruován tak, že ho lze použít podobně jako přístroj popsany v kapitole 3 této práce. Tím je myšlena ruční obsluha a porovnávání deformačního úhlu laborantem odečítáním ze stupnice.

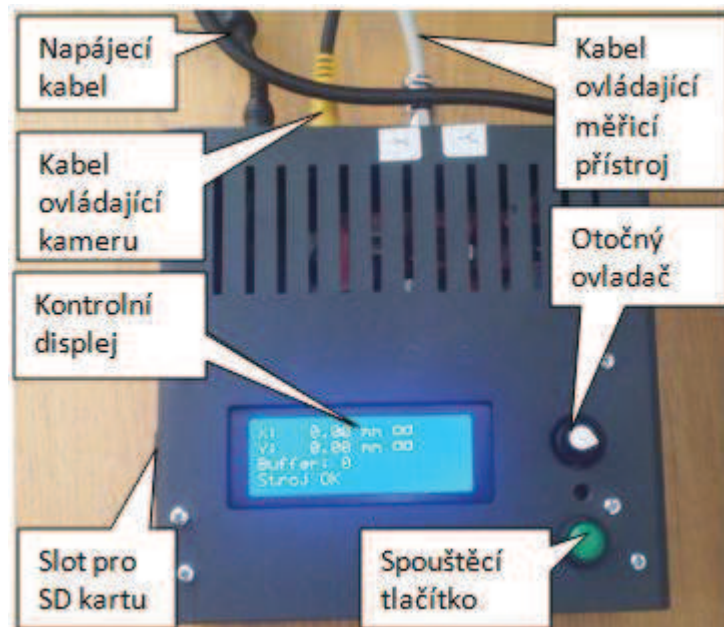
Druhou možností, která je stěžejní pro tuto diplomovou práci, je přístroj zařadit do experimentální sestavy s dalšími součástmi, které pak spolu umožňují automatizované měření. Těmito součástmi jsou: světelný box a jeho zdroj napájení, řídicí modul a počítač, viz obrázek č. 38.



Obrázek č. 38 – Experimentální sestava

Protože je žádoucí, aby byly světelné podmínky napříč měřením identické, je nezbytné využití světelného boxu. Tento box je tvořen z nosné konstrukce, krycích stěn a interního osvětlení. Přední stěna je posuvná ve vertikálním směru a z pravé strany se provádí zajištění. Touto stranou probíhá výměna vzorků textilií. Box má půdorys tvaru čtverce o straně 470 mm, výška je 580 mm a výška nožiček, na kterých zařízení stojí je rovna hodnotě 150 mm. V boxu se kromě měřicího zařízení nachází snímací kamera. Aby bylo možné regulovat intenzitu osvětlení, je box doplněn vlastním zdrojem napájení. Na zdroji se nachází digitální stupnice s ovládacími prvky. Osvětlení je vyrobeno z LED-diodových pásků, které lze jednotlivě vypnout nebo měnit výšku umístění. Ve světelném boxu je těchto pásků celkem 4 ks tak, že každý může vnitřek boxu osvětlovat z jedné strany.

Nezbytnou součástí popisované sestavy je řídicí modul měřicího přístroje. Detail tohoto přístroje s popisem se nachází na obrázku č. 39. Jádrem tohoto modulu je jednoduchá počítačová deska založená na platformě Arduino, viz kapitola 4.3. Modul disponuje jedním vstupem pro napájecí kabel, jedním výstupem pro řízení snímací kamery s následným ukládáním dat do počítače a dvěma výstupy pro ovládání přístroje. Na obrázku č. 39 je zapojen pouze jeden ovládací kabel, protože v experimentech popisovaných v této diplomové práci je využito otáčení pouze jedné čelisti.



Obrázek č. 39 – Řídicí modul

Přenos řídicího programu do modulu je prováděn pomocí SD karty, na kterou je zapotřebí uložit potřebný program v tzv. G-kódu, což je programovací jazyk užívaný k řízení například CNC obráběcích strojů. Vytváření G-kódu je možné ve vhodném CAM softwaru. Obrovskou výhodou tohoto modulu je, že lze na SD kartu připravit značné množství programů, které se následně vybírají pomocí otočného ovladače v uložených adresářích. Snadnému ovládní přispívá kontrolní displej, který lze kromě volby správného programu také využít například ke kontrole fáze prováděného cyklu, jež je zobrazována v procentech. Spouštěcí tlačítko slouží k potvrzení spuštění navoleného programu a tedy zahájení činnosti ovládaného přístroje. Činnost lze kdykoli pozastavit, nebo předčasně ukončit.

Zbývá objasnit význam propojení celé sestavy s počítačem. Počítač je nejdříve potřebný k přípravě programů pro provoz měřicího zařízení. Další úlohu plní v zobrazení živého obrazu snímací kamery během experimentu, neboť je měření ukryté v uzavřeném světelném boxu. Nejdůležitější úlohou je však uložení nashromážděných dat v podobě pořízených snímků ze snímací kamery. Tyto snímky jsou nezbytné pro vyhodnocení experimentu.

7 Laboratorní měření

Měření na nově vyvinutém přístroji probíhalo v jedné z laboratoří Katedry hodnocení textilií. Toto měření probíhalo za využití kompletní experimentální sestavy, kterou dokumentuje obrázek č. 38. V této práci bylo již zmíněno, že přístroj je konstruován tak, aby umožňoval co největší variabilitu v možných zkouškách. Přesto bylo následující popisované měření provedeno za využití pohybu pouze jedné z čelistí. Princip měření na základě rotace pouze jedné z čelistí byl sjednocen s metodou popisované v kapitole 3 této práce. Jak již bylo také zmíněno, požadavkem ze strany zástupců firmy ŠKODA AUTO, a.s. bylo spíše existující metodu zdokonalit a automatizovat, než kompletně přepracovat. Obdobný princip měření také nabízí možnost případného porovnání dosažených výsledků.

7.1 Testované vzorky

Během vývoje prototypů přístrojů bylo firmou ŠKODA AUTO, a.s. dodáno po dvou dodávkách používaných textilií pro výrobu autopotahů. Jedná se o třívrstvé plošné textilie, kde první vrstvu tvoří pletenina, druhou polyuretanová pěna a třetí tkanina. Tkanina tvoří zpravidla lící stranu textilie.

V první dodávce bylo obdrženo 6 různých materiálů, které byly pro lepší orientaci označeny písmeny: A, B, C, D, E a F. V tabulce č. 1 jsou dále uvedeny obchodní názvy vzorků a jejich výrobci.

Tabulka č. 1 – První dodávka materiálů

Označení vzorku	Název vzorku	Výrobce vzorku
A		
B		
C		
D		
E		
F		

Výše uvedené vzorky byly následně podrobeny analýze pro určení základních charakteristik konstrukce. Naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulce č. 2. Pro získání průměrných hodnot bylo provedeno pět měření.

Tabulka č. 2 – Základní charakteristiky materiálů z první dodávky

Vzorek	Plošná hmotnost [g/m ²]	Plocha [cm ²]	Hmotnost [g]	Tloušťka [mm]	Dostav osnovy [nit/cm]	Dostava útku [nit/cm]
A	396	100	3,96	3,19	26	19
B	355	100	3,55	1,58	27	17
C	565	100	5,65	3,24	19	23
D	610	100	6,10	4,80	27	19
E	555	100	5,55	3,83	28	28
F	456	100	4,65	3,00	27	16

Druhá dodávka materiálů obsahovala 21 vzorků různých materiálů. K této skupině textilií byla obdržena již zpracovaná základní charakteristika materiálů (příloha č. 6).

7.2 Hledání vhodné metodiky měření

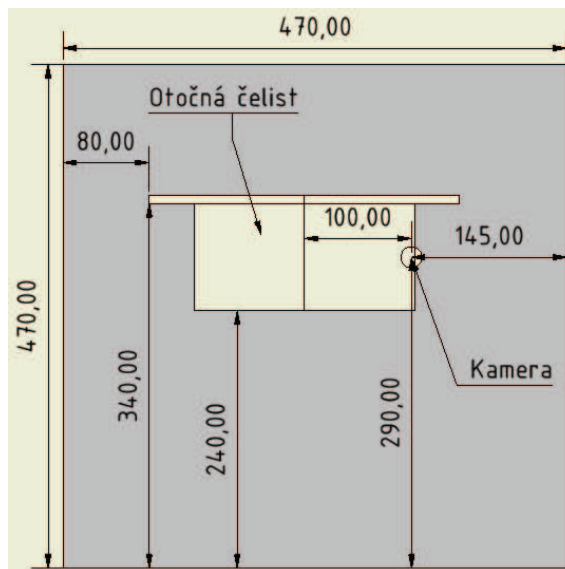
Nalezení vhodné metodiky měření probíhalo v několika fázích. Přibližné chování textilií bylo již známé díky testování na prototypch přístrojů, proto bylo dopředu známo, které faktory ovlivňující měření bude zapotřebí vhodně nastavit.

7.2.1 Příprava přístroje

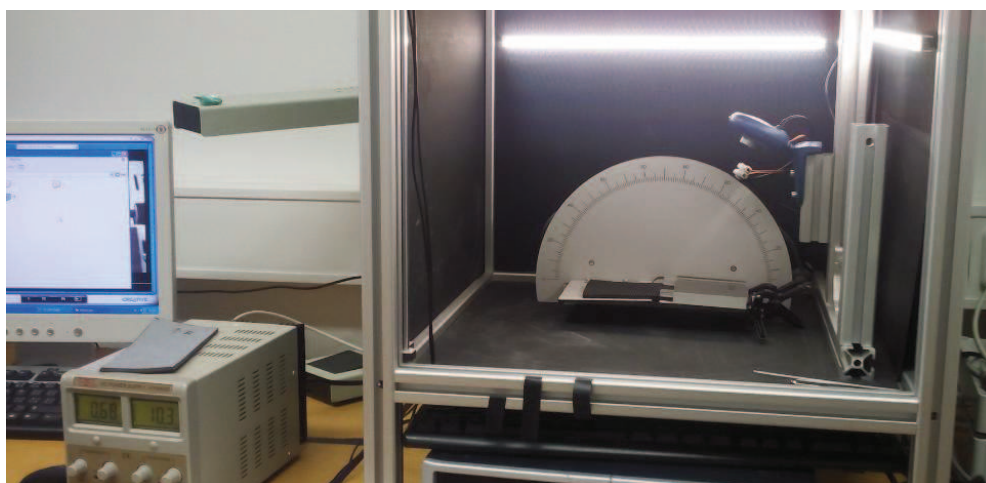
Nejdříve byly pro měření přizpůsobené otočné čelisti. Tyto čelisti byly posunuty tak, aby ve výchozí vodorovné pozici byly zcela u sebe. Pravá čelist byla uzpůsobena pro fixaci vzorků pomocí krycí destičky a jejího zajištění, jak je patrné například v příloze č. 3. Díky této přípravě je následná výměna vzorků velice rychlou záležitostí, neboť není nutné nic dále povolovat či nastavovat. Výměna vzorků se provádí vsunutím proužku textilie pod krycí destičku do potřebné vzdálenosti, nebo až nadoraz. Pokud je testovaný vzorek dostatečně dlouhý, může být na něm provedeno více měření v různých místech.

V další fázi bylo hledáno vhodné umístění měřicího přístroje ve světelném boxu vůči snímací kameře. Nejvhodnější pozice přístroje pro získání kvalitních snímků je znázorněna na obrázku č. 40. Pro přehlednost je pozice přístroje i snímací kamery doplněna rozměry půdorysu boxu a vzdálenostmi vůči stranám v [mm]. Optimální

výška kamery nad přístrojem je 160 mm a úhel, pod kterým je zaznamenáván obraz, je roven hodnotě 58° . Skutečný pohled na situace lze pozorovat na obrázku č. 41.



Obrázek č. 40 – Pozice měřicího přístroje a snímací kamery - výkres



Obrázek č. 41 – Pozice měřicího přístroje a snímací kamery – skutečný snímek

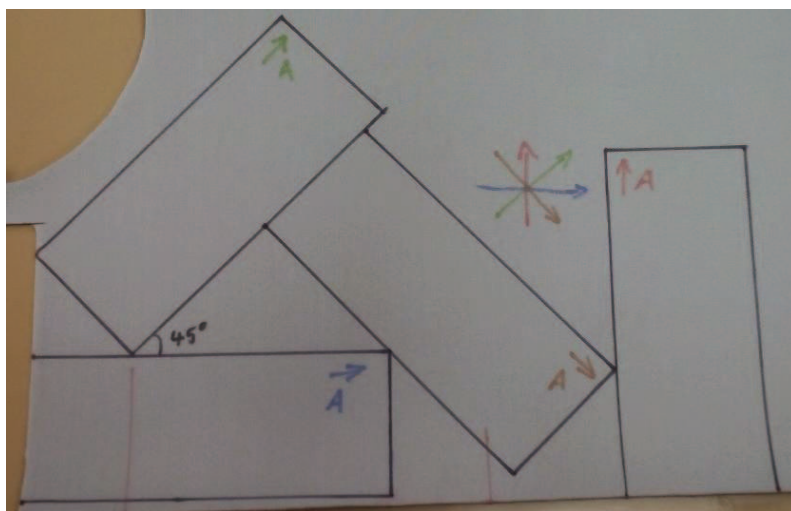
Po nalezení vhodných pozic přístroje i snímací kamery bylo nezbytné zajistit co nejlepší světelné podmínky, jelikož je kvalita pořízených snímků na tomto faktoru přímo závislá. Nejlepších světelných podmínek bylo docíleno následovně: přední pásek byl nastaven do výšky 500 mm, zadní 250 mm, pravý 260 mm a levý 550 mm. Výstupní napětí na zdroji osvětlení bylo nastaveno na hodnotu 10 V. Nalezení správného nastavení osvětlení však nebylo snadné. Situaci komplikoval fakt, že nelze intenzitu osvětlení jednotlivých LED-diodových pásků měnit nezávisle. Další komplikací je způsob provedení, jakým jsou pásky v boxu připevněny. Pásky lze posouvat ve svislém směru na ocelové tyčce, která je však vždy pro dva pásky společná. V boxu se nacházejí

tyčky dvě, jedna v levém předním rohu a druhá v pravém zadním rohu. To má za důsledek, že je předem dáno, který z pásků musí být výše. Aby byly světelné podmínky během měření neměnné, je zapotřebí mít přední stěnu po dobu měření zavřenou.

7.2.2 Zkušební měření

Následující text se již zabývá samotným experimentem, veškerá pořízená data jsou roztříděna a zálohována na DVD nosiči, který je součástí této diplomové práce.

Pro zkušební měření byly vybrány textilie z první dodané sady: A, C, E a F. Textilie B a D nebyly zahrnuty do měření, protože se od ostatních odlišují svojí tloušťkou o více než 1 mm a lze předpokládat, že není tedy namístě jejich porovnání s ostatními. Od každé textilie bylo připraveno po čtyřech kusech vzorků ve čtyřech různých směrech, viz obrázek č. 42. Pro lepší orientaci jsou dále v práci na základě obrázku č. 42 pojmenovávány i směry, jak byl vzorek vystřižnut. Protože bylo dodáno nedostatečné množství textilií ke zkoušení, byly vzorky připravovány se zřetelem na úsporu materiálu. Připravené vzorky měly rozměry 17 x 7 cm.



Obrázek č. 42 – Příprava vzorků

Po výše uvedených přípravách následovalo vytvoření prvního programu pro ovládání přístroje. Program byl vytvořen ve zmíněném G-kódu, viz kapitola 6.2. Tento program obdržel pracovní název Klapka 1 a byl nastaven tak, aby nejdříve vložený vzorek namáhal a až poté pořizoval podrobnou fotodokumentaci vznikající postupným pootáčením čelisti o hodnotu 5°. Jinými slovy, namáhání spočívalo v trojitém otočení levé čelisti o 90° a poté docházelo k pořízení snímku vždy po pootočení o hodnotu 5° až

do hodnoty 90°. První čtyři snímky dokumentují stav textilie ve výchozí poloze čelist před, během a po namáhání. Pomocí měření programem Klapka 1 byla vyzkoušena funkčnost přístroje a ukládání dat. Z měření každého vzorku je výstupem 22 snímků připravených ke zpracování. Zpracování probíhalo prozatím ručně na základě subjektivního hodnocení. Pro rychlé vyhodnocení byla vytvořena tabulka č. 3, která slouží pro rychlé přiřazení odpovídajícího snímku k hodnotě deformačního úhlu. Automatické ukládání snímků do počítače probíhá totiž tak, že je každému snímku přiřazen název dle pořadí pořízení. První snímek vždy nese označení „Image001“. Výsledky z měření deformačních úhlů [°] obsahuje tabulka č. 5. Při zpracovávání výsledků však bylo zjištěno, že snímky odpovídající hodnotě 90° scházejí díky chybě ve vytvořeném G-kódu. Absence těchto snímků však nijak neovlivňuje výsledky měření, protože žádná z textilií nevykazuje takto vysoký deformační úhel.

Tabulka č. 3 – Vyhodnocovací tabulka pro program Klapka 1

Pořadí snímku	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Deformační úhel [°]	0	0	0	0	5	10	15	20	25	30	35
Pořadí snímku	12.	13.	14.	15.	15.	16.	17.	19.	20.	21.	
Deformační úhel [°]	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	

První zkušební měření dokázalo rozdílnost chování textilií, což lze požadovat za pozitivní poznatek. Aby byla vyzkoušena reakce textilie na namáhání, byl vytvořen druhý program, pojmenovaný Klapka 2. Ve své podstatě se jedná pouze o rozšíření programu Klapka 1. Rozdíl je v přidání pokynu pro snímání obrazu ještě před namáháním. Program Klapka 2 tedy dává pokyn snímat po 5°, následně provést trojí namáhání a opět provést snímání po 5°. Počet pořízených snímků na jedno měření se tedy správně zvýší na 40. I při tomto měření se však vyskytla výše popsaná chyba, která však nijak hodnocení neovlivňuje. Obdobně jako pro program Klapka 1 byla vytvořena tabulka pro snadné vyhodnocení (tab. č. 4). Naměřené výsledky deformačních úhlů [°] jsou uvedeny opět v tabulce č. 5.

Tabulka č. 4 – Vyhodnocovací tabulka pro program Klapka 2

Pořadí snímku	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Deformační úhel [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Pořadí snímku	11.	12.	13.	14.	15.	15.	16.	17.	19.	20.
Deformační úhel [°]	50	55	60	65	70	75	80	85	0	0
Pořadí snímku	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.
Deformační úhel [°]	0	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Pořadí snímku	31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.	
Deformační úhel [°]	45	50	55	60	65	70	75	80	85	

Tabulka č. 5 – Naměřené hodnoty programem Klapka 1 a Klapka 2

Označení vzorku	A		C		E		F	
Program	Klapka 1	Klapka 2	Klapka 1	Klapka 2	Klapka 1	Klapka 2	Klapka 1	Klapka 2
Červený směr	55°	60° (55°)	85°	85° (85°)	85°	85° (85°)	70°	70° (70°)
Modrý směr	55°	60° (55°)	85°	85° (85°)	85°	85° (85°)	75°	80° (80°)
Hnědý směr	60°	70° (60°)	75°	85° (85°)	85°	85° (85°)	65°	75° (75°)
Zelený směr	60°	70° (60°)	75°	85° (85°)	85°	85° (85°)	60°	65° (65°)

Aby byl snímek označen za ten, který jako první vyobrazuje vrásku neboli deformaci textilie, byl rozhodující výskyt vrásky napříč celým vzorkem. Na některých snímcích byl zaznamenán moment, kdy se teprve vráska tvoří, ale nezhodnotila ještě celou šíři vzorku.

V tabulce č. 5 jsou uvedeny výsledné hodnoty deformačních úhlů z měření programy Klapka 1 a Klapka 2. Ve sloupcích příslušných k programu Klapka 2 jsou v každém řádku dvě hodnoty, první vyjadřuje velikost deformačního úhlu před namáháním a druhá po namáhání. Veškeré hodnoty v této tabulce popisují chování textilie z lící strany. Programem Klapka 1 bylo vyzkoušeno i měření z rubní strany, pořizené výsledky však nebylo možné vhodně hodnotit. Bylo takřka nemožné posoudit,

jestli se vráska již vytvořila či ne. Z lící strany lze hodnocení u jednobarevných vzorků provést snadno, u složitějšího vzorování je rozhodnutí složitější. Protože data v tabulce vycházejí z malého množství měření, nelze zformulovat žádné přesné závěry. Lze však předpokládat několik vlastností, které je nutné ověřit dalším měřením. Z naměřených dat bychom mohli předpokládat, že největší sklon k tvorbě vrásek vykazuje textilie A, naopak textilie C a E se zdají být odolné. Je třeba ale brát v úvahu, že například hodnocení vzorku E může být zkreslené díky složitému vzoru. Na měření textilie A se také ukázalo, že bude mít vliv na deformační úhel předchozí namáhání. Lze předpokládat, že větší rozdíly v hodnotách před a po namáhání budou vykazovat méně odolné materiály.

7.3 Konečné měření

Na základě pozorování chování textilií během měření programy Klapka 1 a Klapka 2 a číselných údajů získaných převodem z pořízených snímků, bylo rozhodnuto pro vytvoření nového programu Klapka 3. Tento program již lépe vystihuje podstatu této diplomové práce, čímž je hodnocení vzhledového defektu na základě cyklického mačkání textilie.

Program Klapka 3 je nadefinován tak, aby testovaný vzorek 20 x sevřel a až poté probíhal záznam každých 5°, jako v případě dvou prvních zmíněných programů. Protože bylo zjištěno, že předchozí namáhání má vliv na výsledný deformační úhel, je před snímáním obrazu tento proces zařazen. Výrazné navýšení mačkacích cyklů si klade za cíl separovat odolné materiály od méně odolných. Následující měření proběhlo na většině obdržovaných vzorků z obou dodávek, které byly dále rozděleny do skupiny 4 mm a 6 mm vzorků. Důvodem pro vyřazení některých typů textilií z měření byla jejich výrazná odlišnost tloušťky, nebo vzorování, které měření neumožňovalo. Neměřitelnými textiliemi byly například takové, které měly plastický vzhled. Měření již proběhlo pouze pro modrý a červený směr (směr po řádku, resp. sloupku) z důvodu snazšího hodnocení.

Každý typ zkoušené textilie byl testován na třech vzorcích, u kterých proběhlo přiřazení deformačních úhlů na základě tabulky č. 6. Z každé trojice měření byly dopočítány průměrné hodnoty [°], které jsou zaznamenány v tabulce č. 7 pro skupinu 4 mm vzorků a v tabulce č. 8 pro skupinu 6 mm vzorků.

Tabulka č. 6 – Vyhodnocovací tabulka pro program Klapka 3

Pořadí snímku	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Deformační úhel [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Pořadí snímku	11.	12.	13.	14.	15.	15.	16.	17.	19.	
Deformační úhel [°]	50	55	60	65	70	75	80	85	90	

Tabulka č. 7 – Průměrné hodnoty naměřené programem Klapka 3 pro 4 mm vzorky

Označení vzorku	A	C	E	F	14	15	16	17	18	21
Červený směr [°]	53,33	83,33	83,33	61,67	51,67	45,00	55,00	80,00	83,33	55,00
Modrý směr [°]	51,67	73,33	83,33	65,00	73,33	66,67	55,00	80,00	85,00	56,67
Průměr z obou směrů [°]	52,50	78,33	83,33	63,33	62,50	55,83	55,00	80,00	84,17	55,83

Tabulka č. 8 – Průměrné hodnoty naměřené programem Klapka 3 pro 6 mm vzorky

Označení vzorku	1	2	3	4	5	8	9	10	12	13
Červený směr [°]	41,67	41,67	41,67	40,00	40,00	55,00	48,33	51,67	38,33	35,00
Modrý směr [°]	38,33	41,67	46,67	48,33	43,33	60,00	51,67	45,00	40,00	46,67
Průměr z obou směrů [°]	40,00	41,67	44,17	44,17	41,67	57,50	50,00	48,33	39,17	40,83

Z porovnání hodnot mezi tabulkou č. 5 a č. 7 plyne, že deformační úhel skutečně klesá dle míry předchozího namáhání. Všechny hodnoty sledovaných vzorků jsou po vícečetném mačkání nižší. Rozdíl roste s klesající odolností materiálu.

Výše uvedené zkoušení bylo dále rozšířeno o pokus, kde bylo provedeno 20 opakovaných měření na jednom typu textilie. Protože bylo z firmy ŠKODA AUTO, a.s. obdrženo omezené množství textilií, bylo vybráno textilie, které bylo dostatečné množství pro provedení obsáhlejšího experimentu. Tato textilie nese označení A. Testování proběhlo programem Klapka 3. Tímto programem bylo

provedeno 20 měření ve směru řádků a 20 měření ve směru sloupků. Pro každé měření byl připraven vzorek o rozměrech 17 x 7 cm.

Vyhodnocení proběhlo na základě tabulky č. 6. Ve směru sloupků bylo naměřeno dvacet stejných hodnot o velikosti deformačního úhlu 55°. Ve směru řádků bylo naměřeno hodnoty 55° v sedmnácti měřeních. Třikrát bylo naměřeno hodnoty 50°. Pro toto měření byla vypočtena základní statistika (tab. č. 9).

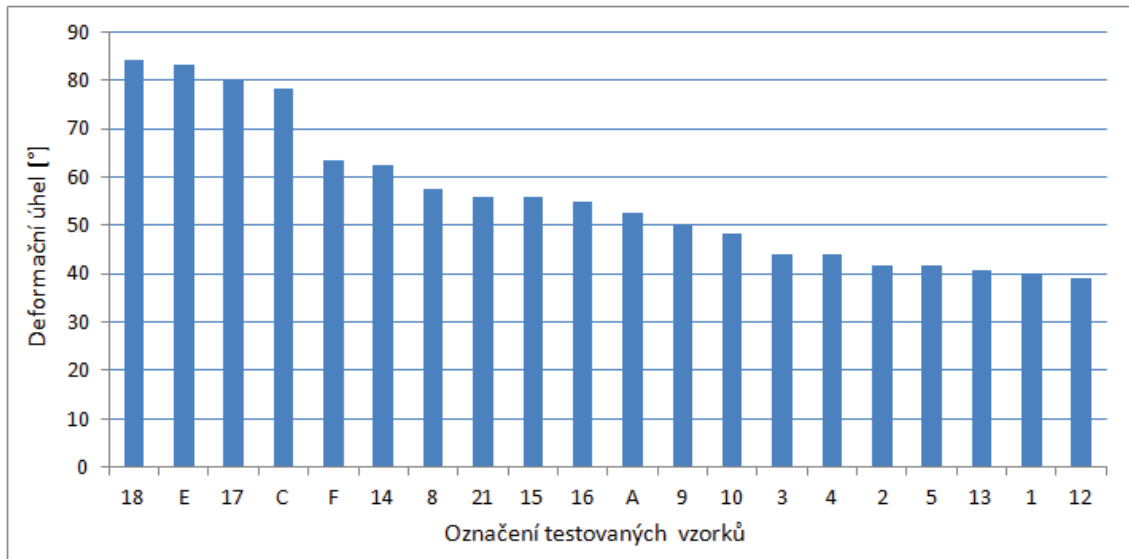
Tabulka č. 9 – Základní statistika měření vzorku A

Počítaná veličina	Průměrná hodnota [°]	Směrodatná odchylka [°]	Variační koeficient [°]
Modrý směr	54,25	1,79	0,03
Červený směr	55,00	0,00	0,00

Z tabulky č. 9 by mohly plynout dva závěry. První by byl, že provedená metoda je výborná pro takové hodnocení. Ve směru sloupků bylo naměřeno vždy stejné hodnoty a ve směru řádků vyšel variační koeficient pouhé 3%. Druhým závěrem by mohlo být, že příznivých výsledků je docíleno nevyhovujícím měřením díky nevhodně zvolené metodice. Protože hodnocení je prováděno s přesností na 5°, je tedy předem snižena případná variabilita výsledků. Navzdory tomuto závěru byla tato metodika během předběžných měření označena za vhodnou. Při pokusech s menšími úhly pootočení bylo složité určit, jestli se vráska již vytvořila či ne. Hrubší kalibrace vedla k objektivnějšímu hodnocení.

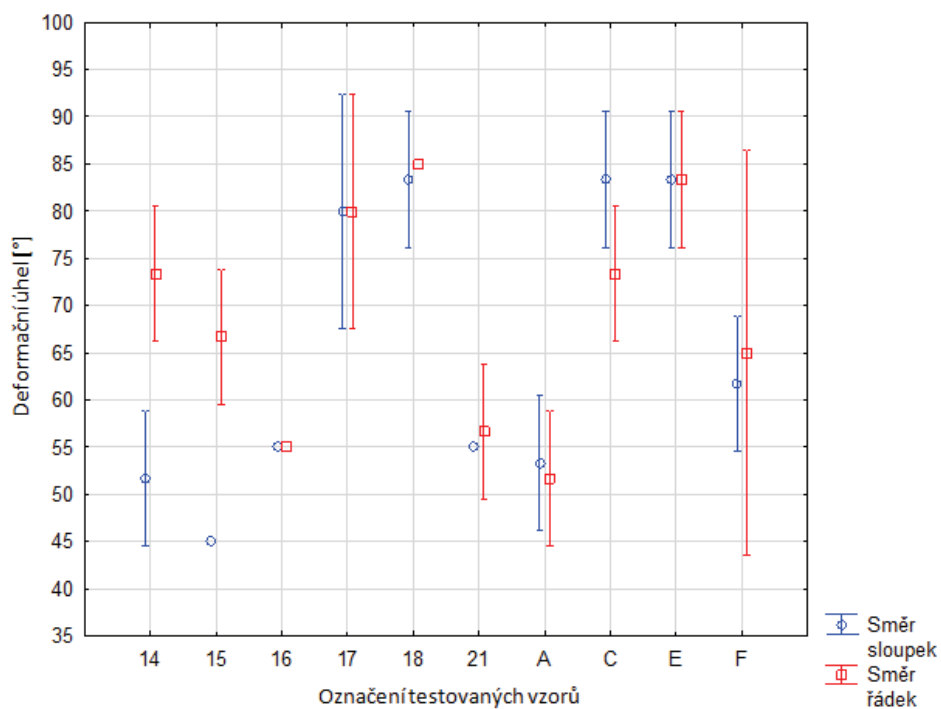
7.3.1 Statistické zpracování výsledků

Pro přehlednost bylo nejdříve provedeno obecné grafické zpracování výsledků, které vystihuje obrázek č. 43, kde lze pozorovat hodnoty deformačního úhlu [°] pro obě sledované skupiny tloušťky. Uvedené hodnoty reprezentují průměry ze dvou na sebe kolmých směrů. Z grafu je rychle patrné, které textilie by prošly pro danou úroveň deformačního úhlu. Pokud by bylo například kritérium pro vzorek deformační úhel o minimální hodnotě 70°, bylo by možné říci, že by toto kritérium splňovaly pouze vzorky C, E, 17 a 18. Z grafu lze dále vyčíst, že vzorky o tloušťce 6 mm vykazují obecně nižší hodnoty. Nelze však říci, jestli je to dáno tloušťkou, nebo způsobem konstrukce.

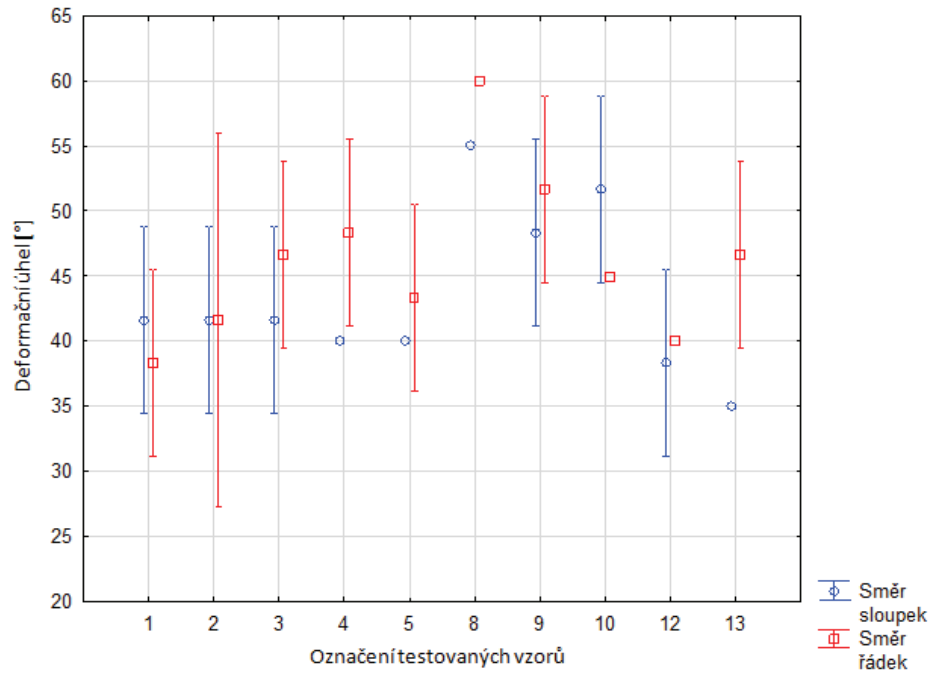


Obrázek č. 43 – Grafické zpracování výsledků

Pro statisticky přesnější výsledky byla provedena analýza rozptylu ANOVA, viz obrázek č. 44 pro 4 mm vzorky a obrázek č. 45 pro 6 mm vzorky.



Obrázek č. 44 – Analýza rozptylu pro 4 mm vzorky



Obrázek č. 45 – Analýza rozptylu pro 6 mm vzorky

Na obrázcích č. 44 a 45 jsou vyznačeny vertikální úsečky, které vyjadřují 95 % interval spolehlivosti. Pokud se v grafu vyskytuje symbol kruhu nebo čtverce, je zřejmé, že výsledky ze všech třech měření nabývaly stejné hodnoty. Delší úsečka značí velký rozptyl a tedy i interval spolehlivosti. Vždy je uveden případ pro směr sloupku i řádku.

Na základě grafického vyjádření dle obrázku č. 44 a 45 lze stanovit modelovou hypotézu, která by například říkala, že vzorek E vykázal lepší výsledky než vzorek C. Mohla by však být položena otázka, zda je tento rozdíl statisticky významný. Aby bylo možné toto objasnit, byl proveden tzv. Posthoc test pro zjištění statistické významnosti, konkrétně Tukeyův HSD test. Tento typ testu byl zvolen pro malý počet opakovaných měření. V příloze č. 7 pro 4 mm vzorky a příloze č. 8 pro 6 mm vzorky lze nalézt veškeré kombinace statistické významnosti. Kombinace, které jsou statisticky významné na hladině významnosti 5 % jsou uvedeny pro přehlednost červenými čísly. Aby byla získána odpověď na modelovou hypotézu, je zapotřebí porovnat významnosti mezi vzorky E a C. Z tabulky obsažené v příloze č. 7 vyplývá na hladině významnosti 5 %, že jsou rozdíly statisticky nevýznamné jak pro směr sloupku tak i směr řádku. Nelze tedy potvrdit, že je textilie E odolnější než textilie C.

Příkladem, kdy by bylo možné s jistotou říci, že jedna textilie je lepší, než druhá, by bylo porovnání mezi vzorky 17 a A. Zjevné je to z grafického zpracování, důkaz lze nalézt opět v tabulce přílohy č. 7.

Z grafu na obrázku č. 44 je dále patrné, že nejvyšších hodnot deformačních úhlů dosahovaly textilie 17, 18, C a E. Rozdíly mezi těmito textiliemi jsou na hladině významnosti 5 % statisticky nevýznamné. Výjimku tvoří pouze ve směru řádek textilie 18 a C kvůli nulovému rozptylu textilie 18 ve směru řádek. Naopak nejnižších hodnot deformačního úhlu dosahovaly textilie 14 a 15 ve směru sloupek. Za povšimnutí rovněž stojí výrazný rozdíl v rozptylu deformačních úhlů textilie F ve směru řádek a sloupek.

Deformační úhly měřené na textiliích tloušťky 6 mm dosahovaly nižších hodnot, nežli úhly měřené na 4 mm vzorcích. Méně rozdílů je zde rovněž statisticky významných. Nejvyšších hodnot dosahovala textilie 8, která měla navíc nulový rozptyl naměřených hodnot. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u textilie 12 a u textilie 13 ve směru sloupek.

7.3.2 Porovnání výsledků s paralelně probíhajícím výzkumem

Protože se problémem hodnocení vzhledového defektu zabýval paralelně probíhající výzkum založený na principu smyčka, který byl v této práci zmíněn v kapitole 2.6, byl proveden srovnávací test obou metod pro ověření správnosti navržené metodiky.

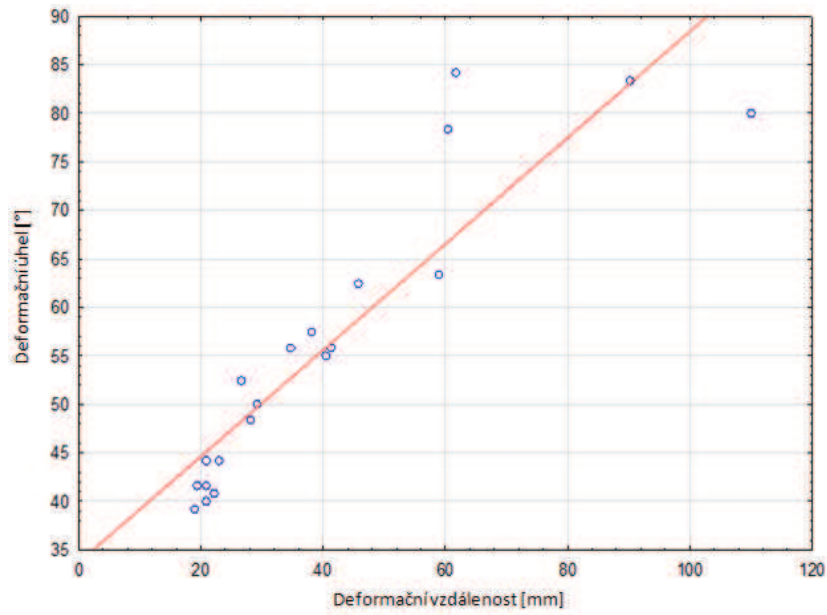
Obdobně jako se v této práci sleduje tzv. deformační úhel, v paralelním výzkumu je sledována deformační vzdálenost. U principu smyčka se sleduje lom, který vzniká u textilií při různém přiblížení dvou protichůdných čelistí, ve kterých jsou upevněny konce sledovaného vzorku proužku textilie.

Protože byly oběma metodami podrobeny stejné textilie, jsou k dispozici ke každému typu měření dvě sady průměrných hodnot jednotlivých výsledků. Tyto data posloužila pro provedení korelační analýzy, která byla zpracována pomocí softwaru Statistica12. Výsledky na obrázku č. 46 ukazují, že mezi naměřenými daty je velmi vysoká závislost. Z výpočtu pomocí softwaru vyplynul korelační koeficient $r = 0,9064$. Korelační koeficient je statisticky významný, neboť $p < 0,01$. Vztah mezi těmito dvěma veličinami lze vyjádřit pomocí lineární regresní funkce dle rovnice č. 16:

$$y = 33,7049 + 0,5473 * x. \quad (16)$$

Vysoká hodnota korelačního koeficientu vyjadřuje vysokou podobu naměřených výsledků mezi oběma nezávislými metodami. Na základě toho lze vyvodit závěr, že

princip hodnocení vzhledového defektu na textilií použitím principu cyklického mačkání textilie je funkční metodou.



Obrázek č. 46 – Korelační analýza

Závěr

Kapitoly této práce je možné dle jejich náplně rozdělit na teoretické a praktické. Do teoretické části této práce bylo zařazeno třech kapitol, ve kterých byla postupně zpracována rešerše na téma ohybového chování textilií a metod pro jejich hodnocení. Největší důraz byl kladen na sepsání poznatků ohledně ohybové tuhosti a dále pak popis přístroje, který slouží k hodnocení tzv. deformačního úhlu textilie, což je velikost úhlu, při kterém se na testovaném vzorku textilie vyskytne vzhledový defekt (vráska). Další zařazená kapitola mapovala nástroje pro vývoj nového měřicího přístroje.

Problém vzhledových defektů se negativně podepisuje například na výsledné kvalitě vyráběných automobilových sedaček. Proto je v zájmu i firmy ŠKODA AUTO, a.s. řešit tuto problematiku. Aby mohl být proveden výzkum zabývající se hodnocením kvality textilií, bylo touto firmou předáno po dvou dodávkách textilií používaných pro výrobu potahů automobilových sedaček. Jednalo se o vícevrstvé materiály skládající se z vrstvy pleteniny, polyuretanové pěny a tkaniny.

S ohledem na získané poznatky popsané v kapitolách teoretické části byly vyrobeny dva prototypy měřicích přístrojů ze stavebnice Merkur. Tyto přístroje obdržely pracovní názvy „klapka“ a „klapka + smyčka“. Na prvním z přístrojů bylo testováno chování textilie pomocí principu cyklického mačkání. Druhý přístroj byl zdokonalen a vyroben tak, aby nabízel více režimů pro testování textilií. Významným rozdílem od předchozího modelu byla schopnost sledovat chování textilie při tvorbě tzv. smyčky, což je princip, který byl středem zájmu paralelně probíhajícího výzkumu. Na tomto prototypu byla ověřena možnost spojení obou zmíněných principů v rámci jednoho přístroje.

Na základě uskutečněných setkání se zástupci firmy ŠKODA AUTO, a.s. a pokusů provedených na prototypch přístrojů, byla objednána výroba finálního přístroje, který byl zdokumentován v CAD programovém prostředí. Požadavkem na tento přístroj byla co největší automatizace, aby bylo eliminováno případných chyb způsobených obsluhou. Inovační prvky přístroje lze shrnout dle následujících bodů:

- elektronické ovládání obou čelistí
- upnutí vzorku v čelisti
- možnost nastavení kroku o libovolný úhel
- automatizované snímání obrazu deformovaného vzorku.

Na tomto přístroji bylo provedeno rozsáhlé měření předložených materiálů dle různě definovaných řídicích programů. Na základě porovnání výsledných hodnot byla navržena metodika pro měření textilií. Pro provedení experimentu byla popsána měřicí sestava, která se skládá z měřicího zařízení, světelného boxu a jeho zdroje napájení, řídicího modulu a počítače. Byly nadefinovány optimální pozice přístroje ve světelném boxu a umístění snímací kamery, světelné podmínky i řídicí program.

Každé měření textilie proběhlo tak, aby byly dosaženy výsledky minimálně ze dvou na sebe kolmých směrů. Veškerá měření se nacházela v rozmezí deformačního úhlu 35 – 85 [°]. Nelze obecně říci, zda měření nabývalo vyšších hodnot v jednom, nebo ve druhém směru, neboť toto bylo proměnlivé napříč měřenými vzorky. Častěji však byla průměrná hodnota ze třech měření vyšší pro směr rádků pleteniny, přesně dvanáctkrát z dvaceti měření a pětkrát vyšla hodnota stejného úhlu pro oba směry. Pro celé měření byla provedena podrobná statistika pomocí vhodných softwarů. Výsledky byly zpracovány číselně i graficky.

Použitá metodika byla na závěr ověřena s paralelně probíhajícím výzkumem pomocí korelační analýzy. Tento výzkum se také zabýval hodnocením vzhledového defektu, avšak založeném na principu sledování tvorby smyčky. Obdobně, jako byl v této práci sledován deformační úhel, byla v paralelně probíhajícím výzkumu sledována deformační vzdálenost čelistí v okamžiku zlomení textilie. Na přístroji pracovně nazvaném smyčka byl sledován lom, který vzniká u textilií při různém přiblížení dvou protichůdných čelistí, ve kterých jsou upevněny konce sledovaného vzorku proužku textilie. Korelační koeficient vychází z hodnot dvaceti druhů vrstvených textilií, přičemž pro každý druh textilie byla vypočítána průměrná hodnota ze třech měření. Tento výpočet byl proveden pro metodu klapka a pro metodu smyčka. Výsledným porovnáním jsme obdrželi koeficient $r = 0,9064$, což značí vysokou korelaci. Tímto testem byla ověřena správnost navržené metodiky.

V neposlední řadě byl vytvořen archiv snímků dokumentující veškerá měření. Tyto snímky mohou posloužit pro další možný výzkum, který by se mohl zabývat samotným hodnocením měření pomocí obrazové analýzy. Tím by bylo celé měření i hodnocení kompletně automatizováno.

Seznam použité literatury

- [1] KOVAČIČ, V. *Textilní zkušebnictví 2*, 1. vydání, Liberec, Katedra textilních materiálů, Technická univerzita v Liberci 2004, ISBN 80-7083-825-6
- [2] ČSN 80 0858. Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií. Praha: Vyd. ÚNM, 1974.
- [3] STANĚK, Jaroslav. *Nauka o textilních materiálech, díl I, část 4, Vlastnosti délkových a plošných textilií. VŠST Liberec*, 1988.
- [4] FRIDRICHOVÁ, L. *A new method of measuring the bending rigidity of fabrics and its application to the determination of the their anisotropy*. *Textile Research Journal*, February 2013, Vol. 2013 83: 883
- [5] Laboratoř KES [online]. [cit. 05. 01. 2017] Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-kes?preview=1>
- [6] SODOMKA, L. A M. DUDÍKOVÁ. Několik poznámek k využití KES soustavy. Česká společnost pro nedestruktivní zkoušení materiálů. 37. mezinárodní konference. Praha: Defektoskopie, 2007.
- [7] PĚNIČKOVÁ, V. *Anizotropie ohybu textilií a splývavost textilií*. Liberec, 2012. Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec. Vedoucí práce L. FRIDRICHOVÁ.
- [8] DENBY, E. F. The Deformation of Fabrics during Wrinkling—A Theoretical Approach. *Textile Research Journal*, 1976, 46.9: 667-670.
- [9] KÄRRHOLM, M.; BOSTWICK, C. O.; SILÉN, Gösta. Influence of temperature and moisture regain changes on the wrinkling of wool fabrics. *Textile Research Journal*, 1969, 39.8: 795-796.
- [10] SØRENSEN, Tormod; HØG, Jørgen. Determination of Temperature and Moisture Regain Changes in Wool Fabrics Wrinkled during Wear. *Textile Research Journal*, 1969, 39.8: 793-795.

- [11] KANG, Tae Jin; JOO, Ki Ho; LEE, Kyung Woo. Analyzing fabric buckling based on nonlinear bending properties. *Textile Research Journal*, 2004, 74.2: 172-177.
- [12] Ins3.4_GQ-31_29. Determinación del ángulo de quebradura en tejidos para asientos. 2004. 5s
- [13] Merkurtoys [online]. [cit. 13. 03. 2017]. Dostupný z: <http://www.merkurtoys.cz/od-pocatku-k-soucastnosti>
- [14] Merkurtoys [online]. [cit. 13. 03. 2017]. Dostupný z: <http://www.merkurtoys.cz/wichterleho-cockostroj-z-merkuru>
- [15] CAD Studio [online]. [cit. 13. 03. 2017]. Dostupný z: <http://www.cadstudio.cz/inventor#tabs-popis>
- [16] Arduino [online]. [cit. 13. 03. 2017]. Dostupný z: <https://arduino.cz/co-je-to-arduino/>
- [17] Wikipedie. Otevřená encyklopedie: Matlab [online]. [cit. 14. 03. 2017]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=MATLAB&oldid=14408983>
- [18] Mathworks. [online]. [cit. 14. 03. 2017]. Dostupný z: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1:	Zkoušení mačkavosti podle metody AKU	14
Obrázek č. 2:	Metoda měření tuhosti v ohybu podle SOMMERA	16
Obrázek č. 3:	Přístroj pro stanovení tuhosti v ohybu Cantilever Test	18
Obrázek č. 4:	Měření tuhosti v ohybu plošné textilie na přístroji TH-5	18
Obrázek č. 5:	Příprava pravoúhlých vzorků	19
Obrázek č. 6:	Zařízení TH-7	20

Obrázek č. 7	Hysterezní smyčka ohybu ze zařízení TH-7	20
Obrázek č. 8	Schéma ohýbání textilie na přístroji TH-7	21
Obrázek č. 9	Modul pro měření tahu a smyku	22
Obrázek č. 10	Modul pro měření ohybu	22
Obrázek č. 11	Modul pro měření tlaku	22
Obrázek č. 12	Modul pro měření tření a drsnosti	22
Obrázek č. 13	Příklad výsledku z měření na modulu FB2	23
Obrázek č. 14	Síla působící na smyčku tkaniny, kde vnější napětí je konstantní síle P na jednotku plochy	24
Obrázek č. 15	Schéma plošného vzpěru deformačním zatížením	25
Obrázek č. 16	Tvary vyskytující se při vlastním kontaktu	26
Obrázek č. 17	Vráska na potahu autosedačky	27
Obrázek č. 18	Vráska na textili	27
Obrázek č. 19	Přístroj na měření ohybové tuhosti	28
Obrázek č. 20	Poloha testovaného vzorku a příčný lom (vráska)	28
Obrázek č. 21	Uložení dílků v krabici v období před druhou světovou válkou	31
Obrázek č. 22	Čočkostroj	34
Obrázek č. 23	Obsah stavebnice Elduino	38
Obrázek č. 24	Uživatelské prostředí softwaru Matlab	39
Obrázek č. 25	Popis přístroje „klapka“	42
Obrázek č. 26	Zlomová vráska mezi otočnými čelistmi	42
Obrázek č. 27	Přístroj „klapka“ s téměř sevřenými čelistmi	42
Obrázek č. 28	Popis přístroje „klapka + smyčka“	44

Obrázek č. 29	Vznik smyčky	45
Obrázek č. 30	Vznik vrásky	45
Obrázek č. 31	Přístroj ve světelném boxu	46
Obrázek č. 32	Snímek z kamery ve světelném boxu	46
Obrázek č. 33	Návrh nového tvaru fixační destičky	47
Obrázek č. 34	Zajištění vzorku pomocí tlačných pružin	48
Obrázek č. 35	Pohled na přední stranu přístroje	49
Obrázek č. 36	Pohled na zadní stranu přístroje	50
Obrázek č. 37	Model přístroje v softwaru Autodesk Inventor	52
Obrázek č. 38	Experimentální sestava	53
Obrázek č. 39	Řídící modul	54
Obrázek č. 40	Pozice měřicího přístroje a snímací kamery – výkres	58
Obrázek č. 41	Pozice měřicího přístroje a snímací kamery – skutečný snímek	58
Obrázek č. 42	Příprava vzorků	59
Obrázek č. 43	Grafické zpracování výsledků	65
Obrázek č. 44	Analýza rozptylu pro 4 mm vzorky	65
Obrázek č. 45	Analýza rozptylu pro 6 mm vzorky	66
Obrázek č. 46	Korelační analýza	68

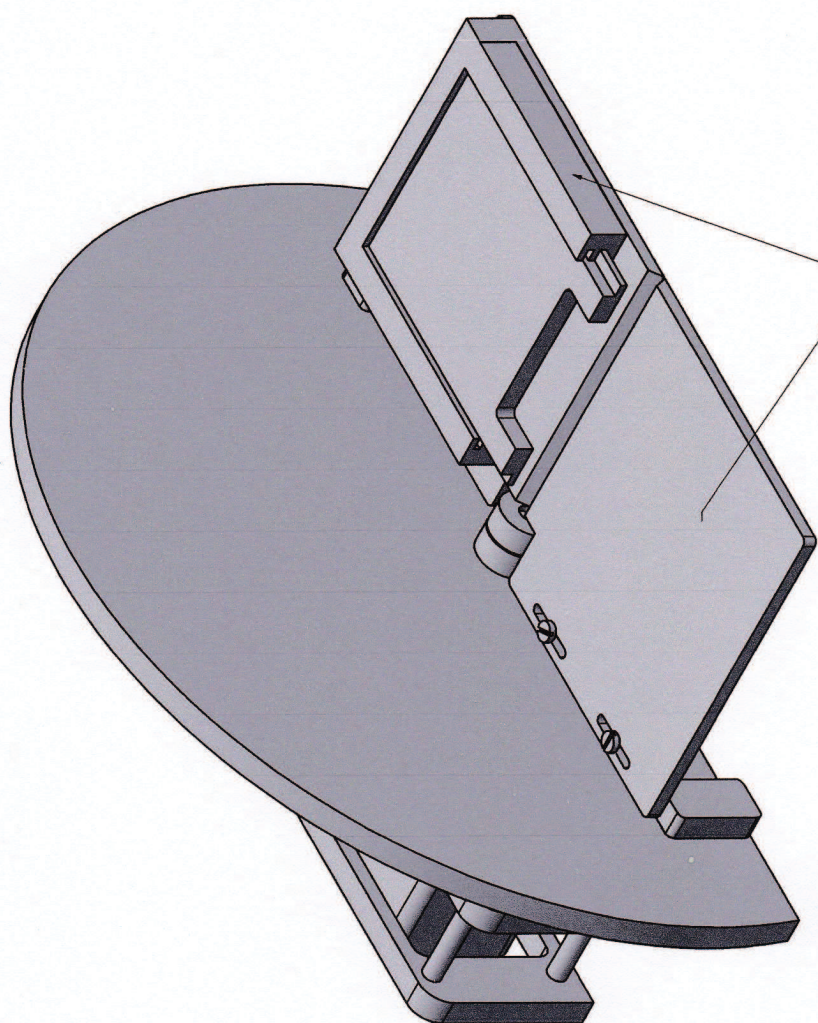
Seznam tabulek

Tabulka č. 1	První dodávka materiálů	56
Tabulka č. 2	Základní charakteristiky materiálů první dodávky	57
Tabulka č. 3	Vyhodnocovací tabulka pro program Klapka 1	60

Tabulka č. 4	Vyhodnocovací tabulka pro program Klapka 2	61
Tabulka č. 5	Naměřené hodnoty programem Klapka 1 a Klapka 2	61
Tabulka č. 6	Vyhodnocovací tabulka pro program Klapka 3	63
Tabulka č. 7	Průměrné hodnoty naměřené programem Klapka 3 pro 4 mm vzorky	63
Tabulka č. 8	Průměrné hodnoty naměřené programem Klapka 3 pro 6 mm vzorky	63
Tabulka č. 9	Základní statistika měření vzorku A	64

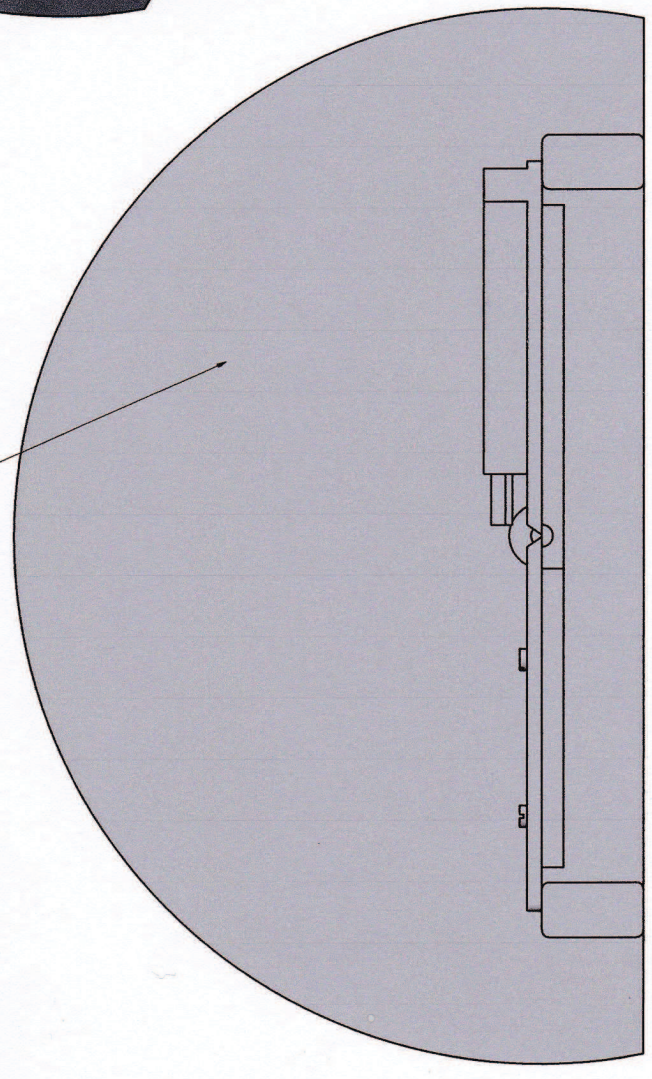
Seznam příloh

Příloha č. 1	Základní pohled – strana se stupnicí	76
Příloha č. 2	Základní pohled	77
Příloha č. 3	Promítnutý pohled základního pohledu	78
Příloha č. 4	Pohled shora	79
Příloha č. 5	Skupinový pohled	80
Příloha č. 6	Základní charakteristika materiálů	81
Příloha č. 7	Hodnoty statistické významnosti pro 4 mm vzorky	82
Příloha č. 8	Hodnoty statistické významnosti pro 6 mm vzorky	83



Pohyblivé čelisti

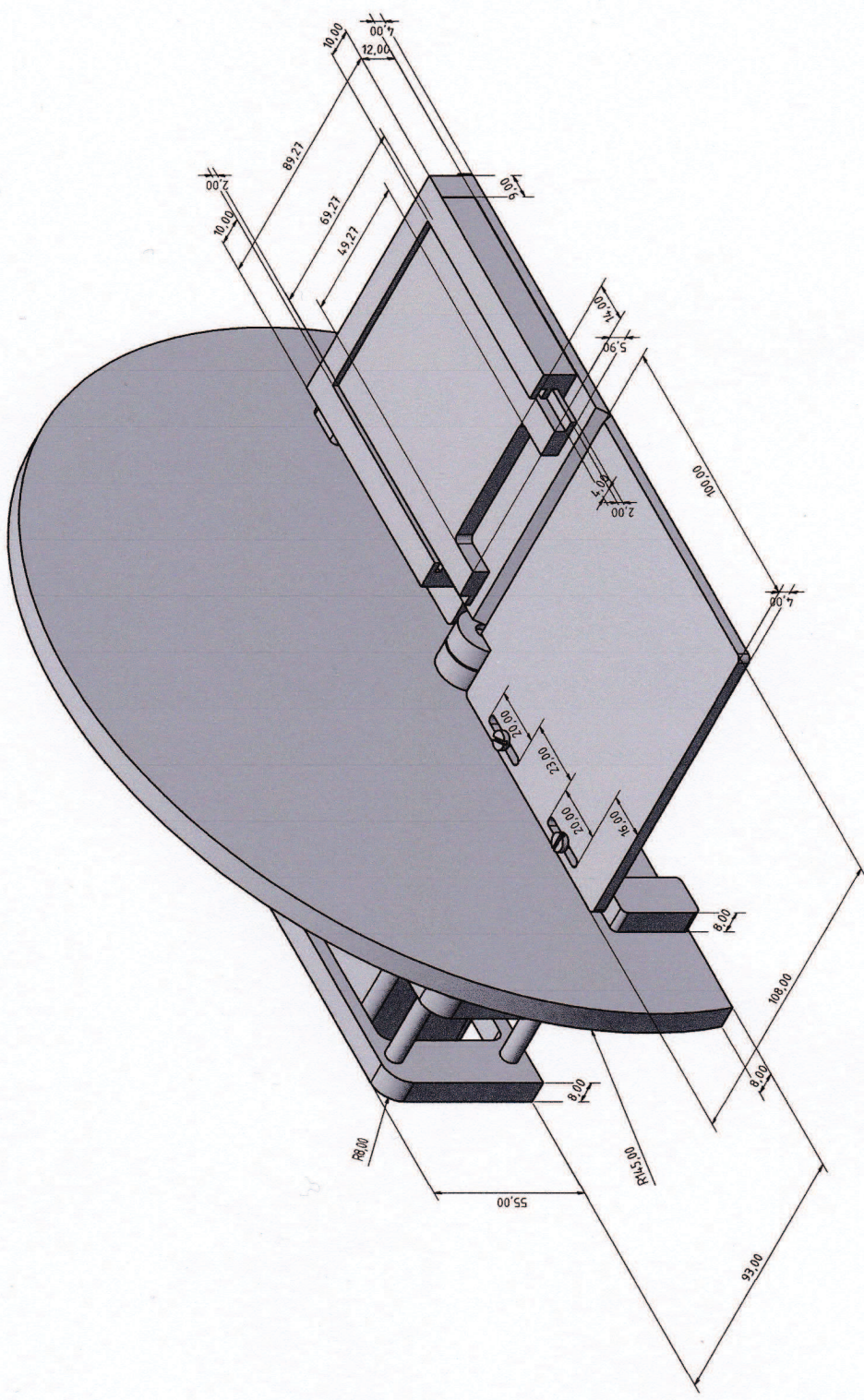
Základní pohled - strana se stupnicí



Příloha č. 1

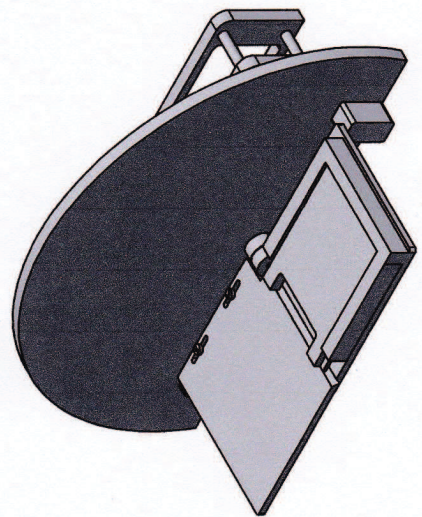
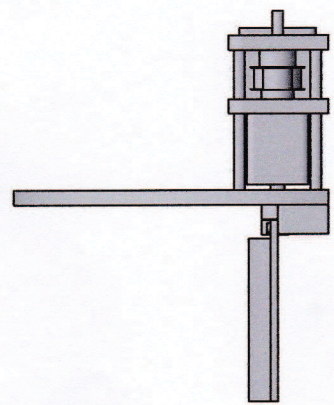
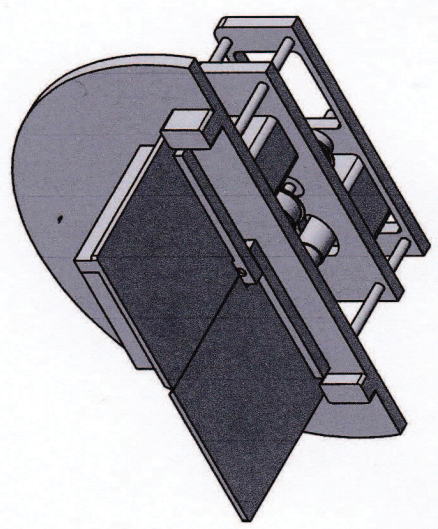
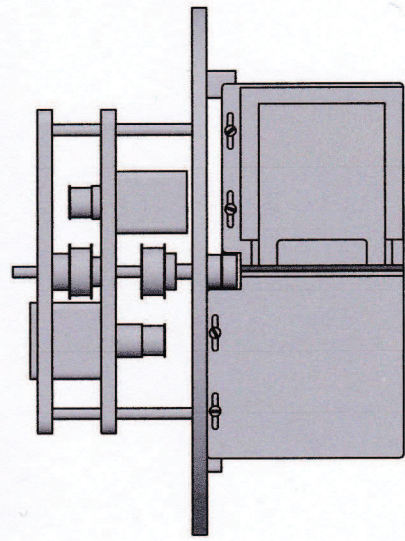
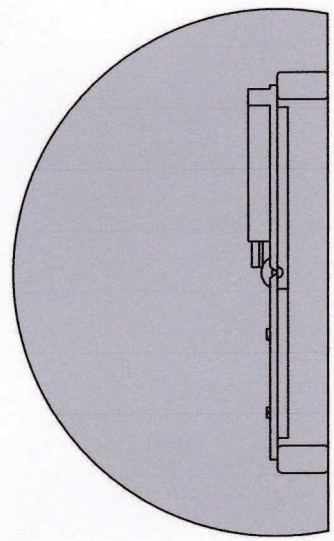
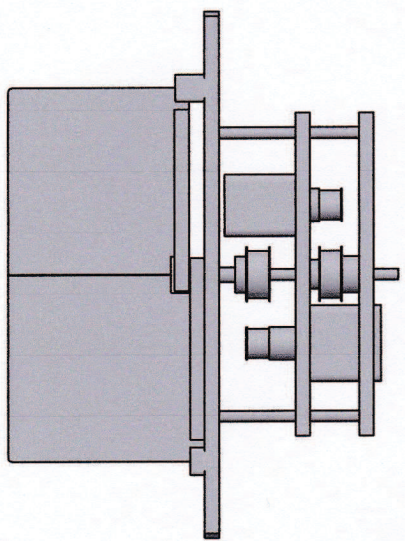
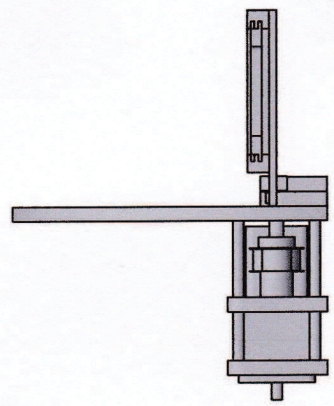
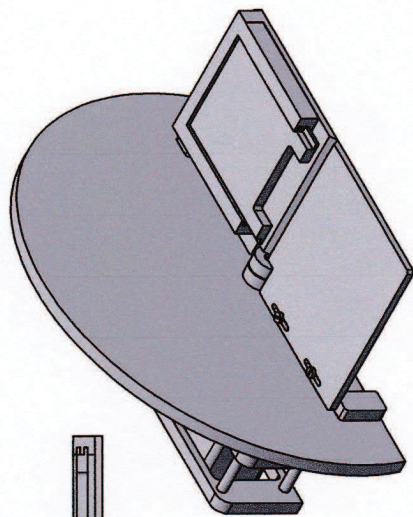
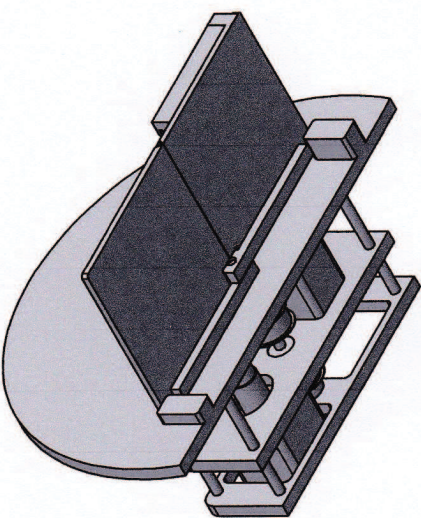
Dátum		Město	
14. 2. 2017	BRNO	1	A2
Navrhl	Stavěl	Klapka	
Škola	Země	Strana	Číslo

Promítnutý pohled základního pohledu



Příloha č. 3

Datum		Jméno		2	
14.12.2017		MIL.F.JUL.			
Materiál		Materiál			
Měřítko		Měřítko			
Stupeň		Stupeň			
1		1			
AZ		AZ			



Příloha č. 5

Jméno		Datum		Strana		Měřítko		Materiál		Kresla		Měřítko		Měřítko		Měřítko		Měřítko		Měřítko	
R01_F1_001		4.2.2017		3		1:1		Stav		1		A2		1		A2		1		A2	

Skupinový pohled

Příloha č. 7 – Hodnoty statistické významnosti pro 4 mm vzorky

		14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	21	21	A	A	C	C	E	E	F	F	
		sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	
14	sloupek		0,00017 9	0,63521 5	0,00054 5	0,99929 9	0,99929 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,94265 7	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,07006 9	0,00261 0
14	řádek	0,00017 9		0,00017 9	0,63521 5	0,00018 4	0,00018 4	0,63521 5	0,63521 5	0,07006 9	0,01446 8	0,00018 4	0,00022 3	0,00018 0	0,00017 9	0,07006 9	1,00000 0	0,07006 9	0,07006 9	0,07006 9	0,01446 8	0,25894 1
15	sloupek	0,63521 5	0,00017 9		0,00017 9	0,07006 9	0,07006 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,07006 9	0,01446 8	0,25894 1	0,63521 5	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00022 3	0,00018 0
15	řádek	0,00054 5	0,63521 5	0,00017 9		0,01446 8	0,01446 8	0,00261 0	0,00261 0	0,00022 3	0,00018 4	0,01446 8	0,07006 9	0,00261 0	0,00054 5	0,00022 3	0,63521 5	0,00022 3	0,00022 3	0,94265 7	1,00000 0	
16	sloupek	0,99929 9	0,00018 4	0,07006 9	0,01446 8		1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,99929 9	0,00017 9	0,00018 4	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,63521 5	0,07006 9
16	řádek	0,99929 9	0,00018 4	0,07006 9	0,01446 8	1,00000 0		0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,99929 9	0,00017 9	0,00018 4	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,63521 5	0,07006 9
17	sloupek	0,00017 9	0,63521 5	0,00017 9	0,00261 0	0,00017 9	0,00017 9		1,00000 0	0,99929 9	0,94265 7	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,63521 5	0,99929 9	0,99929 9	0,99929 9	0,00018 4	0,00054 5
17	řádek	0,00017 9	0,63521 5	0,00017 9	0,00261 0	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0		0,99929 9	0,94265 7	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,63521 5	0,99929 9	0,99929 9	0,99929 9	0,00018 4	0,00054 5
18	sloupek	0,00017 9	0,07006 9	0,00017 9	0,00022 3	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,99929 9		1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	0,07006 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00018 4
18	řádek	0,00017 9	0,01446 8	0,00017 9	0,00018 4	0,00017 9	0,00017 9	0,94265 7	0,94265 7	1,00000 0		0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	0,01446 8	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00018 4
21	sloupek	0,99929 9	0,00018 4	0,07006 9	0,01446 8	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9		1,00000 0	1,00000 0	0,99929 9	0,00017 9	0,00018 4	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,63521 5	0,07006 9
21	řádek	0,94265 7	0,00022 3	0,01446 8	0,07006 9	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0		0,99929 9	0,94265 7	0,00017 9	0,00022 3	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,94265 7	0,25894 1
A	sloupek	1,00000 0	0,00018 4	0,25894 1	0,00261 0	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	0,99929 9		1,00000 0	0,00017 9	0,00018 4	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,25894 1	0,01446 8
A	řádek	1,00000 0	0,00017 9	0,63521 5	0,00054 5	0,99929 9	0,99929 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,94265 7	1,00000 0		0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,07006 9	0,00261 0
C	sloupek	0,00017 9	0,07006 9	0,00017 9	0,00022 3	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,99929 9	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9		0,07006 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00018 4
C	řádek	0,00017 9	1,00000 0	0,00017 9	0,63521 5	0,00018 4	0,00018 4	0,63521 5	0,63521 5	0,07006 9	0,01446 8	0,00018 4	0,00022 3	0,00018 0	0,00017 9	0,07006 9		0,07006 9	0,07006 9	0,07006 9	0,01446 8	0,25894 1
E	sloupek	0,00017 9	0,07006 9	0,00017 9	0,00022 3	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,99929 9	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	0,07006 9		1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00018 4
E	řádek	0,00017 9	0,07006 9	0,00017 9	0,00022 3	0,00017 9	0,00017 9	0,99929 9	0,99929 9	1,00000 0	1,00000 0	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	0,00017 9	1,00000 0	0,07006 9	1,00000 0			0,00017 9	0,00018 4
F	sloupek	0,07006 9	0,01446 8	0,00022 3	0,94265 7	0,63521 5	0,63521 5	0,00018 4	0,00018 4	0,00017 9	0,00017 9	0,63521 5	0,94265 7	0,25894 1	0,07006 9	0,00017 9	0,01446 8	0,00017 9	0,00017 9			0,99929 9
F	řádek	0,00261 0	0,25894 1	0,00018 4	1,00000 0	0,07006 9	0,07006 9	0,00054 5	0,00054 5	0,00018 4	0,00018 4	0,07006 9	0,25894 1	0,01446 8	0,00261 0	0,00018 4	0,25894 1	0,00018 4	0,00018 4	0,00018 4	0,99929 9	

Příloha č. 8 – Hodnoty statistické významnosti pro 6 mm vzorky

		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	8	8	9	9	10	10	12	12	13	13
		sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
1	sloupek		0,984927	1,000000	1,000000	1,000000	0,677129	0,999999	0,206059	0,999999	0,999999	0,000198	0,000179	0,206059	0,003721	0,003721	0,984927	0,984927	0,999999	0,206059	0,677129
1	řádek	0,984927		0,984927	0,984927	0,984927	0,032947	0,999999	0,003721	0,999999	0,677129	0,000179	0,000179	0,003721	0,000198	0,000198	0,206059	1,000000	0,999999	0,984927	0,032947
2	sloupek	1,000000	0,984927		1,000000	1,000000	0,677129	0,999999	0,206059	0,999999	0,999999	0,000198	0,000179	0,206059	0,003721	0,003721	0,984927	0,984927	0,999999	0,206059	0,677129
2	řádek	1,000000	0,984927	1,000000		1,000000	0,677129	0,999999	0,206059	0,999999	0,999999	0,000198	0,000179	0,206059	0,003721	0,003721	0,984927	0,984927	0,999999	0,206059	0,677129
3	sloupek	1,000000	0,984927	1,000000	1,000000		0,677129	0,999999	0,206059	0,999999	0,999999	0,000198	0,000179	0,206059	0,003721	0,003721	0,984927	0,984927	0,999999	0,206059	0,677129
3	řádek	0,677129	0,032947	0,677129	0,677129	0,677129		0,206059	0,999999	0,206059	0,984927	0,032947	0,000198	0,999999	0,677129	0,677129	0,999999	0,032947	0,206059	0,000486	1,000000
4	sloupek	0,999999	0,999999	0,999999	0,999999	0,999999	0,206059		0,032947	1,000000	0,984927	0,000180	0,000179	0,032947	0,000486	0,000486	0,677129	0,999999	1,000000	0,677129	0,206059
4	řádek	0,206059	0,003721	0,206059	0,206059	0,206059	0,999999	0,032947		0,032947	0,677129	0,206059	0,000486	1,000000	0,984927	0,984927	0,984927	0,003721	0,032947	0,000198	0,999999
5	sloupek	0,999999	0,999999	0,999999	0,999999	0,999999	0,206059	1,000000	0,032947		0,984927	0,000180	0,000179	0,032947	0,000486	0,000486	0,677129	0,999999	1,000000	0,677129	0,206059
5	řádek	0,999999	0,677129	0,999999	0,999999	0,999999	0,984927	0,984927	0,677129	0,984927		0,000486	0,000179	0,677129	0,032947	0,032947	0,999999	0,677129	0,984927	0,032947	0,984927
8	sloupek	0,000198	0,000179	0,000198	0,000198	0,000198	0,032947	0,000180	0,206059	0,000180	0,000486		0,677129	0,206059	0,984927	0,984927	0,003721	0,000179	0,000180	0,000179	0,032947
8	řádek	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000198	0,000179	0,000486	0,000179	0,000179	0,677129		0,000486	0,032947	0,032947	0,000180	0,000179	0,000179	0,000179	0,000198
9	sloupek	0,206059	0,003721	0,206059	0,206059	0,206059	0,999999	0,032947	1,000000	0,032947	0,677129	0,206059	0,000486		0,984927	0,984927	0,984927	0,003721	0,032947	0,000198	0,999999
9	řádek	0,003721	0,000198	0,003721	0,003721	0,003721	0,677129	0,000486	0,984927	0,000486	0,032947	0,984927	0,032947	0,984927		1,000000	0,206059	0,000198	0,000486	0,000179	0,677129
10	sloupek	0,003721	0,000198	0,003721	0,003721	0,003721	0,677129	0,000486	0,984927	0,000486	0,032947	0,984927	0,032947	0,984927	1,000000		0,206059	0,000198	0,000486	0,000179	0,677129
10	řádek	0,984927	0,206059	0,984927	0,984927	0,984927	0,999999	0,677129	0,984927	0,677129	0,999999	0,003721	0,000180	0,984927	0,206059	0,206059		0,206059	0,677129	0,003721	0,999999
12	sloupek	0,984927	1,000000	0,984927	0,984927	0,984927	0,032947	0,999999	0,003721	0,999999	0,677129	0,000179	0,000179	0,003721	0,000198	0,000198	0,206059		0,999999	0,984927	0,032947
12	řádek	0,999999	0,999999	0,999999	0,999999	0,999999	0,206059	1,000000	0,032947	1,000000	0,984927	0,000180	0,000179	0,032947	0,000486	0,000486	0,677129	0,999999		0,677129	0,206059
13	sloupek	0,206059	0,984927	0,206059	0,206059	0,206059	0,000486	0,677129	0,000198	0,677129	0,032947	0,000179	0,000179	0,000198	0,000179	0,000179	0,003721	0,984927	0,677129		0,000486
13	řádek	0,677129	0,032947	0,677129	0,677129	0,677129	1,000000	0,206059	0,999999	0,206059	0,984927	0,032947	0,000198	0,999999	0,677129	0,677129	0,999999	0,032947	0,206059	0,000486	