



Hodnocení vzhledového defektu (zlomu vrásky) na textilií použitím principu ohýbání do smyčky

Diplomová práce

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





Evaluation of visual defect of a wrinkle on textile using principle of bending into a loop

Master thesis

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



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Frydrych**
Osobní číslo: **T15000038**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Hodnocení vzhledového defektu (zlomu vrásky) na textilií
použitím principu ohýbání do smyčky**
Zadávací 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. Zhodnoťte 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

Na tomto místě bych chtěl poděkovat paní doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za její ochotu, vstřícnost, čas a rady, které mi během celé této práce věnovala. V neposlední řadě mé poděkování patří rodině a také všem blízkým za jejich podporu a trpělivost.

ANOTACE

V předložené diplomové práci je řešena problematika hodnocení vzhledového defektu, kterým je vráska vznikající na potahu automobilové sedačky. Dosud užívané metody hodnocení zlomových vrásek na textiliích se jeví jako nedostačující, a proto je cílem diplomové práce navrhnout a vyrobit funkční přístroj pro jejich hodnocení a ověřit princip fungování zařízení na textiliích dodaných firmou ŠKODA AUTO a.s. Zkonstruované měřicí zařízení slouží k určení, zda je testovaná textilie vhodná pro výrobu potahu automobilové sedačky. Hodnocení vzhledového defektu je založeno na principu ohýbání testovaného materiálu do smyčky. Návrh měřicího zařízení je doplněn o výkresovou dokumentaci vytvořenou v CAD programovém prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Ohybová tuhost, ohýbání do smyčky, CAD, měřicí zařízení, Arduino

ANNOTATION

The presented diploma thesis deals with the issue of evaluation of the appearance defect, which is the wrinkle created on the car seat cover. Up to now used methods to evaluate wrinkles in the textile industry seem to be inadequate and therefore the aim of the thesis is to design and produce a functional instrument for their evaluation and to verify the principle of functioning of the device in the textile industry supplied by ŠKODA AUTO a.s. company. The designed measuring device serves to determine whether the test fabric is suitable for the creation of a car seat cover. The evaluation of the appearance defect is based on the principle of bending the test material into the loop. The measuring device is complemented by drawing documentation created in the CAD program environment.

KEY WORDS:

Bending rigidity, bending, CAD, measuring equipment, Arduino

Obsah

Úvod	9
1 Tuhost v ohybu	11
1.1 Měření ohybové tuhosti dle Shinohary	11
1.2 Měření ohybové tuhosti dle Sommera	12
1.3 Měření ohybové tuhosti – Cantilever Test	13
1.4 Měření ohybové tuhosti metodou převisu	14
1.5 Měřicí přístroje TH – 5 a TH – 7	15
1.6 Měření úhlu deformace plošné textilie	16
2 Analýza deformace textilie	18
2.1 Analýza deformace textilie dle Wilkinsonova konceptu	18
2.2 Analýza deformace tkaniny na základě nelineárních vlastností	19
2.3 Ohýbání do smyčky dle Koppa	20
2.4 Zotavení textilie z deformace	21
3 Potah automobilové sedačky	24
3.1 Části autopotahu	24
3.2 Svrchní vrstva potahového sendviče	25
3.3 Mezivrstva potahového sendviče	25
3.4 Rubní strana potahového sendviče	26
3.5 Spojovací proces textilního sendviče	26
3.6 Testování materiálů	27
4 Nástroje potřebné v experimentu	28
4.1 Arduino	28
4.2 Programové prostředí CAD	29
4.2.1 DesignSpark Mechanical	30
4.2.2 SolidWorks	30

4.2.3	Autodesk Inventor	31
5	Testované materiály	32
6	Návrh měřicího zařízení	34
6.1	Měřicí zařízení s jednou pohyblivou čelistí	34
6.2	Měřicí zařízení se dvěma pohyblivými čelistmi	36
6.3	Měřicí zařízení s nastavitelnou čelistí podle tloušťky testovaného materiálu ..	37
7	Měření parametrů smyčky pro ověření správnosti navržené metodiky	39
7.1	Dráha potřebná k vytvoření zlomu smyčky	39
7.2	Šířka smyček testovaných materiálů	40
8	Automatizované měřicí zařízení	41
8.1	Finální měřicí zařízení	41
8.2	Příprava vzorků	46
8.3	Světelný box	46
8.4	Ovládací panel	49
9	Závěrečné měření	51
9.1	Hledání optimálního programu	51
9.2	Zkušební měření	51
9.3	Testování všech materiálů	54
9.4	Podrobné měření pro jeden materiál	60
9.5	Porovnání výsledků s paralelně probíhajícím výzkumem	62
	Závěr	64
	Zdroje	66
	Seznam obrázků	67
	Seznam tabulek	70
	Seznam příloh	70

Úvod

Kontrolování vrásnění povrchů textilií je rozhodující při výrobě vysoce kvalitních textilních produktů, které jsou vyžadovány například v automobilovém průmyslu. Taková kontrola obnáší snímání a měření vlastností výrobků, kterými jsou například ohybová tuhost a hodnocení vzhledového defektu, tedy vrásky, k poskytnutí zpětné vazby pro automatizované vybavení používané k výrobě textilních materiálů.

Přestože textilní materiály určené na výrobu potahů automobilových sedaček prochází před výrobou finálního autopotahu tříděním na materiály vhodné a nevhodné pro další zpracování, vzniká stále velké množství případů výroby autopotahů z textilních materiálů náchylných k tvoření nežádoucích zlomů - vrásek. Textilie, které jsou náchylné k tvoření těchto zlomů, následně vykazují značné problémy na výrobní lince v podobě vyšší časové náročnosti výroby spojené s odstraněním vrásek pomocí napařovacích žehliček. Výrobní linky jsou opatřeny kontrolními stanicemi, kde dochází k hodnocení kvality automobilové sedačky a k následnému žehlení objevených zlomů na potahu. Absence těchto stanic by znamenala nejen urychlení celého výrobního procesu, ale také především nižší finanční náročnost výroby.

Dosud užívané metody testování textilií se jeví jako nedostačující, a proto je cílem diplomové práce navrhnout a vyrobit funkční přístroj pro hodnocení zlomové vrásky na textilií určené pro potah automobilových sedaček a ověřit princip fungování prototypu na textiliích dodaných firmou ŠKODA AUTO a.s. Zkonstruované měřicí zařízení bude sloužit k určení, zda je testovaná textilie vhodná pro výrobu finálního potahu automobilové sedačky. Měřicí zařízení bude plně automatizované, s možností cyklického namáhání testovaného vzorku. Ohybové chování textilie bude hodnoceno dle parametrů smyček jednotlivých textilních materiálů včetně statistického zpracování dat.

V teoretické části práce budou uvedeny definice ohybové tuhosti a popsány principy užívaných přístrojů k jejímu měření a testování. Další součástí rešeršní části práce bude kapitola týkající se analýzy deformace textilií, jejíž součástí je ohýbání do smyčky dle Koppa. Na základě informací získaných z těchto odborných textů budou v praktické části práce navrženy prototypy měřicího zařízení, na kterých budou demonstrovány různé možnosti konstrukčních prvků. Dále bude popsáno finální měřicí

zařízení, včetně dokumentace vytvořené v programovém prostředí CAD, které bude vycházet z předchozích prototypů. V závěru práce bude testována správnost navržené metodiky včetně statistického zpracování dat získaných z finálního měřicího zařízení. Bude provedeno zhodnocení výsledků a doporučení pro další výzkum v této oblasti.

1 Tuhost v ohybu

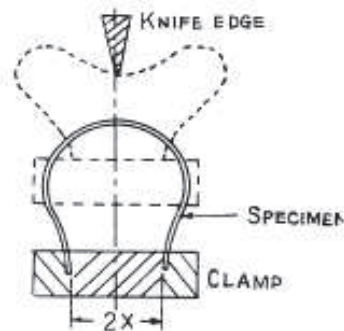
V této kapitole budou sepsány informace o ohybové tuhosti, jelikož tato fyzikální veličina velice úzce souvisí se zadaným tématem a ovlivňuje vznik zlomu na textilií. Znalost této problematiky bude nejen užitečná při konstrukci nového měřicího zařízení, ale také především při hodnocení získaných výsledků. Budou také popsány různé metody měření, které by mohly být užitečné z hlediska samotné konstrukce přístroje.

Přesná definice tuhosti podle normy ČSN 80 0858 [1] zní: „Tuhost – odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to 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 ohybové tuhosti dle Staňka [2] je: „Tuhost v ohybu je fyzikální veličinou, která vzniká v plošné textilií 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.“

1.1 Měření ohybové tuhosti dle Shinohary

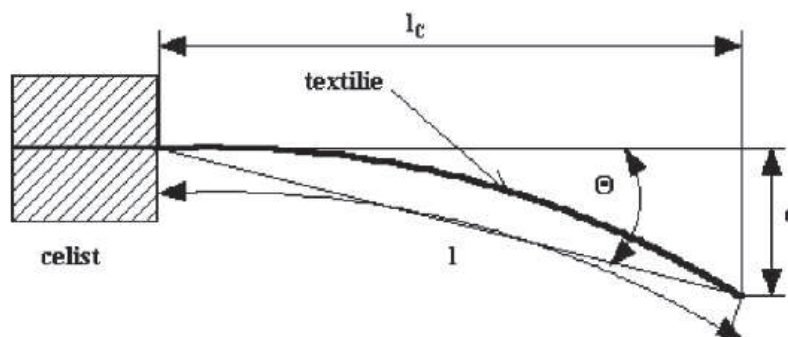
Měřením ohybové tuhosti se ve své práci zabývali Shinohara a S. Yamauchi [3]. K měření použili přístroj Instron-type tensile. Měřicí přístroj se skládá ze dvou čelistí, do kterých byl upnut testovaný materiál. Vzdálenost mezi čelistmi byla minimální, a proto byla testovaná textilie po upnutí zvrásněná do tvaru smyčky. Testovaný vzorek byl o rozměrech 20 a 40 mm. Součástí přístroje je ostrá hrana, která po upevnění vzorku zatlačí na střed smyčky, vzniklé z proužku testované textilie. Schéma upnutí textilie a zařízení s ostrou hranou je patrné z obrázku 1. Testované materiály byly hodnoceny podle tvaru textilního vzorku před a po stlačení ostrou hranou. Měření je ukončeno v okamžiku přiblížení ostré hrany půl centimetru od spodní roviny a následně je změřena síla, která působí na textilní vzorek.



Obrázek 1. Tvar textilního vzorku před a během stlačení [3]

1.2 Měření ohybové tuhosti dle Sommera

Měřením ohybové tuhosti dle Sommera a Cantilever testem se ve své práci zabýval Kovačič [4]. Sommerova metoda vychází z ohybu jednostranně vetknutého nosníku. Testovaným materiálem je proužek textilie, který má plošnou měrnou hmotnost ρ_S [kg.m⁻²]. Délka testovaného vzorku je jeden metr. Měření je založeno na ohýbání vzorku vlastní tíhou a to tak, že vzorek svírá s původním horizontálním směrem úhel Θ [°], jak je patrné z obrázku 2.



Obrázek 2. Metoda měření tuhosti v ohybu podle Sommera[4]

Z délky vzorku a úhlu Θ je pak vypočítána ohybová délka c . Tuhost v ohybu je dána vztahem č. 1.

$$T_{OS} = \rho_S * c^3 \quad [\text{kg.m}], \quad (1)$$

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. 2.

$$c = l * \left(\frac{\cos 0,5 \Theta}{8 * \operatorname{tg} \Theta} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [\text{m}], \quad (2)$$

- kde l je délka vzorku textilie [m]
 Θ je úhel, který svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie s horizontálním směrem [°]. [2]

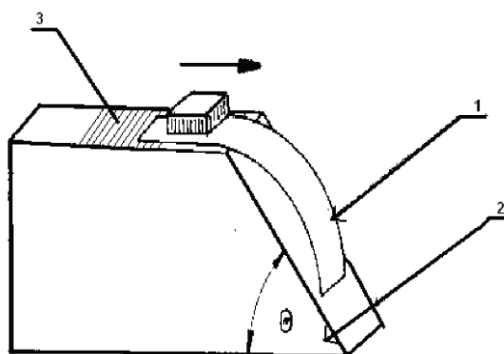
1.3 Měření ohybové tuhosti – Cantilever Test

Cantilever Test vychází ze Sommerovy metody a funguje na principu vetknutého nosníku s jedním volným koncem. Tkanina se ohýbá opět vlastní vahou. Tento postup je jednodušší na provedení, není však vhodný pro textilní materiály s vysokou splývavostí a pro materiály se sklonem ke kroucení. Tuhost v ohybu se vypočte podle vztahu č. 3.

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

- kde T_{OC} je tuhost v ohybu [kg.m],
 ρ_s je plošná měrná hmotnost [kg.m^{-2}],
 c je ohybová délka [m] daná vztahem č. 2.
 l je délka vzorku textilie [m]

Tato metoda vychází z teoretického stanovení úhlu pro hodnotu $\Theta = 41,5^\circ$. Nakloněná rovina svírá s vodorovným povrchem právě tento úhel, jak je patrné z obrázku 3. Měření spočívá ve vysouvání proužku testované textilie až do té doby, kdy se materiál dotkne svým okrajem nakloněné roviny. Na stupnici měřicího zařízení je odečtena délka vysunutí textilního proužku. [4]

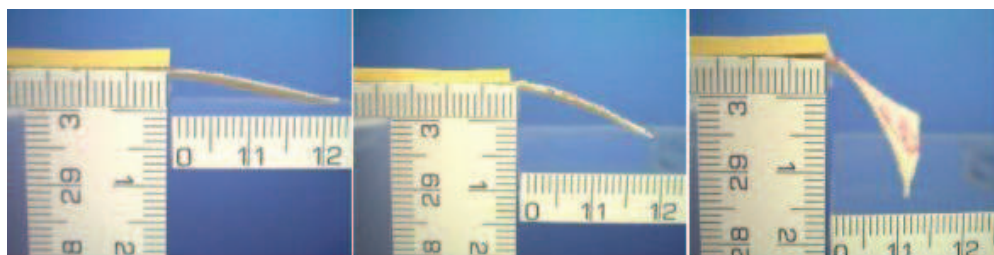


Obrázek 3. Přístroj pro stanovení tuhosti v ohybu Cantilever test [4]

1.4 Měření ohybové tuhosti metodou převisu

Metoda převisem funguje na podobném principu jako Sommerova metoda ohýbání textilního materiálu vlastní tíhou. Rozdílem metody převisu je možnost použití čtvercových a kruhových vzorků. Díky možnosti použití kruhových a čtvercových tvarů je možné změřit ohybovou tuhost v různých směrech na jednom testovaném vzorku. To usnadňuje práci při zjišťování anizotropního chování ohybových vlastností textilií.

Měření metodou převisem se provádí na katedře KHT na prototypu přístroje. Zařízení je složeno ze tří stolků. Nepohyblivý stůl slouží k upevnění testovaného vzorku a jeho součástí je měřidlo s milimetrovou stupnicí pro měření hloubky převisu. Pohyblivý stůl, opatřený také měřidlem s milimetrovou stupnicí, se pohybuje po vertikální ose a umožňuje měření délky převisu. Posledním stůl slouží k uchycení kamery, která snímá měření a je propojena s počítačem pro možnost ukládání pořízených snímků. Princip měření ohybové tuhosti metodou převisu je patrný z obrázku 4.



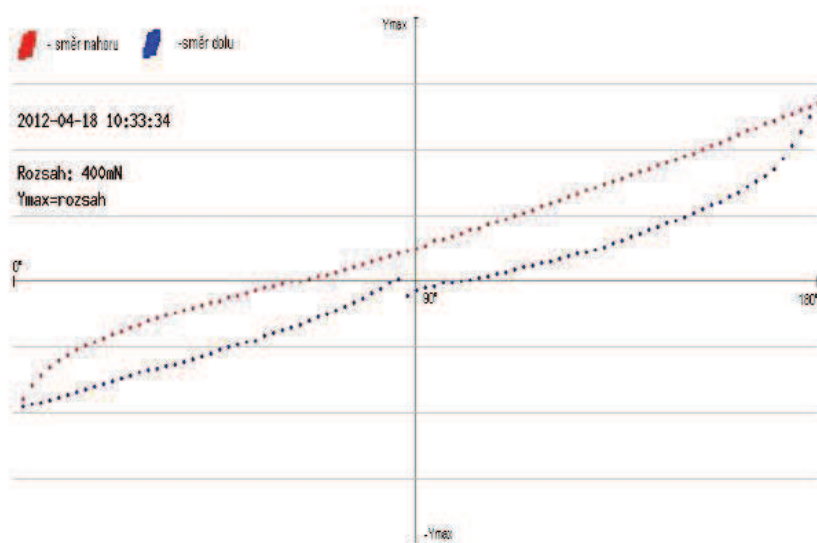
Obrázek 4. Měření ohybu metodou převis [5]

Na začátku měření je pohyblivý stůl ve stejné rovině se stolem nepohyblivým. Testovaný vzorek se umístí na stolky tak, aby na každém stolku ležela polovina vzorku. Následně je snížen posuvný stůl, aby byl umožněn ohyb testovaného materiálu. Kamera snímající obraz zachytí ohnutý vzorek z profilu a uloží snímky do předem připraveného adresáře v počítači. Na čtvercovém vzorku se postup provádí z každé jeho strany a otáčení vzorku vždy o 90° probíhá po směru hodinových ručiček. U kruhových vzorků je možné měření ve více směrech. Ohybový úhel je získáván ze zachycených snímků pomocí programu NisElements.[5]

1.5 Měřicí přístroje TH – 5 a TH – 7

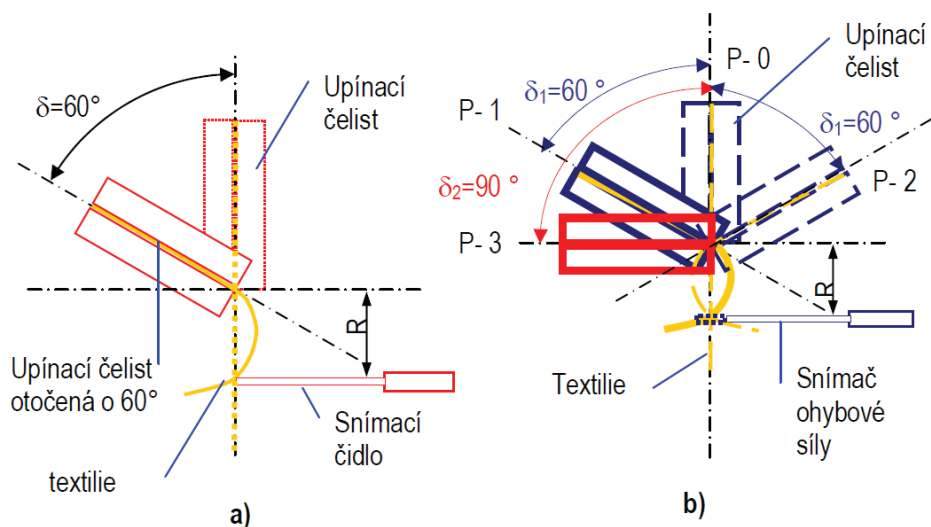
Nedostatky přístroje TH – 5 a jejich řešení v podobě přístroje TH – 7 navrhla ve své práci Fridrichová [6]. Na přístroji TH – 5 jsou testovány proužky textilie a přesně stanovené délce a šířce. Měřený vzorek je upnut do otočné čelisti a jejím pootočením dochází k ohýbání textilního proužku, který svým volným koncem tlačí na čidlo přístroje zaznamenávající působící sílu. Přístroj TH-7, k měření ohybové tuhosti, vznikl inovací přístroje TH-5. Přístroj TH-5 nebyl přímo propojený s počítačem, a proto musela být naměřená data z přístroje opisována ručně, což značně prodlužovalo délku měření a zvyšovalo riziko chybného přepisu dat z displeje. Čelist měřicího zařízení TH - 5 se ohýbala pouze jedním směrem. Pro testování materiálu z lící a rubní strany, se musely vzorky do přístroje vkládat opakovaně, což také prodlužovalo měření. Čelisti měřicího zařízení se ohýbaly pouze o 60° a testovaný vzorek musel mít vždy délku 5 cm a šířku 2,5 cm. Přístroj TH-7 byl navržen tak, aby byly odstraněny všechny tyto nedostatky.

Přístroj TH-7 umožňuje provést ohýbání zkoumané textilie v cyklech a na obě strany až o 90° . Přístroj má širší senzor i upínací čelist, a proto je možná testovat nejen vzorky čtvercové a obdélníkové, ale také vzorky kruhové, což vede k úspoře testovaného materiálu a času potřebnému k měření. Vzorky se upnou do upínací čelisti, jelikož je upínací čelist otočná do obou směrů, umožňuje tak vykreslit celou hysterzní smyčku ohybu, viz obrázek č. 5. [6]



Obrázek 5. Hysterzní smyčka ohybu [6]

Vylepšení přístroje TH-7 je patrné z obrázku 6. Z důvodu otáčení čelisti do obou stran je snímací čidlo navrženo ve tvaru písmene U. Přístroj je propojen s počítačem, a tím je umožněno zpracování naměřených dat v programu MS Excel. Přístroj umožňuje měření ohybové tuhosti textilií v různých směrech, a tím i zkoumání anizotropního chování textilií. [6]

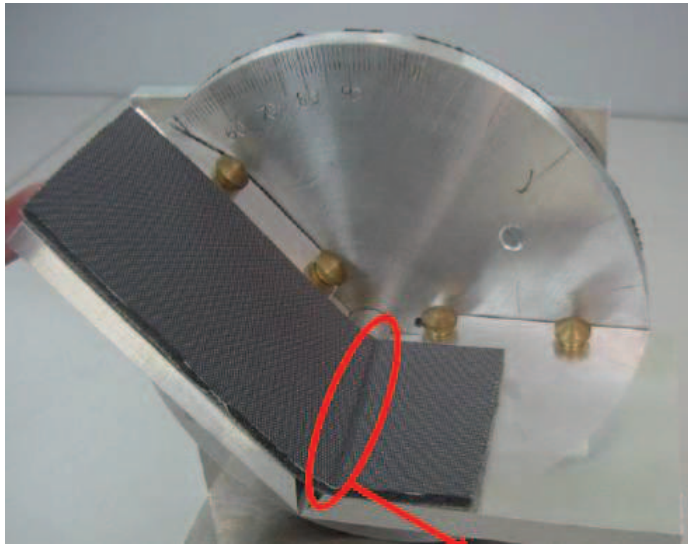


Obrázek 6. Porovnání přístroje TH-5 a TH-7 [6]

1.6 Měření úhlu deformace plošné textilie

Tento návod, podrobně popsany v normě [7], je zaměřen na přístroj, který je určen na testování textilních materiálů určených k výrobě automobilových sedaček. Díky tomuto přístroji lze posoudit úhel deformace testovaných textilních materiálů. Testovací přístroj se skládá ze stupnice a držáku pro zkušební vzorek o délce 240 mm a šířce 100 mm, který je tvořen ze dvou částí stejné délky. Jedna část držáku je pevná a druhá otočná kolem osy rotace. Mobilní část držáku umožňuje měnit úhel, který svírá s pevnou částí, a to v rozmezí od 180° do 90° . Pevná část držáku pro zkušební vzorek je opálena oboustrannou lepicí páskou v délce 50 mm, díky níž je část testovacího vzorku pevně připevněna.

Délka testovaných vzorků musí být 170 mm a šířka vzorku 70 mm a zároveň musí být zajištěn rovný stříh v příčném i podélném směru. Vystříhnutí vzorku by mělo proběhnout minimálně 500 mm od kraje předložené plošné textilie. Princip testování je založen na posunu otočného ramene a ohýbání testovaného vzorku vždy o 10° . Výsledný úhel je odečten ze stupnice až v případě, kdy se vytvoří lom přes celou šíři zkušební vzorku, viz obrázek č. 7.



Obrázek 7. Lom přes celou šíři zkušebního vzorku [7]

2 Analýza deformace textilie

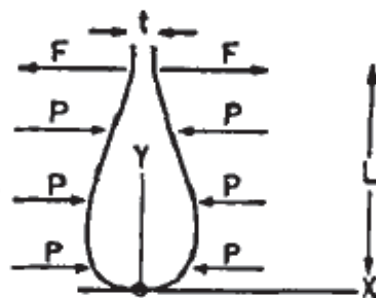
Deformace tkaniny je vysoce ovlivněna jejím ohybovým chováním. Aby mohla být deformace analyzována, je potřeba porozumět ohybovým vlastnostem tkaniny. Z tohoto důvodu je v této kapitole uvedena analýza deformace textilií dle Wilkinsonova konceptu a analýza deformace textilií na základě nelineárních vlastností. Bude také zmíněno ohýbání do smyčky dle Koppa a zotavení textilie z deformace.

2.1 Analýza deformace textilie dle Wilkinsonova konceptu

Teoretická analýza deformace textilie během nošení je založena na Wilkinsonově [8] konceptu hydraulicky deformované síly. Wilkinson prokázal, že existuje podstatný rozdíl mezi deformační ohebností tkaniny v praktických situacích a při běžném testování ohybu. Bylo zjištěno, že aktuální podmínky přítomné při nošení textilie, je možné v laboratorním prostředí nasimulovat.

Z hlediska simulace vrásnění textilie jsou zde podmínky, které se objevují při nošení textilie a které nebyly dostatečně vyřešeny. Deformace textilních materiálů vznikají v mnoha případech, což způsobuje komplikaci analýzy. Složitost celé analýzy způsobují komplikované situace deformace textilního materiálu. Tyto situace nastávají, když se textilní záhyby vytvářejí například v momentě deformace materiálu a opěradlo židle.

Za předpokladu, že je textilie stlačována mezi tělem a rovnoměrně elastickým potahem na židli, je konstantní tlak P aplikován kolmo na OY , viz obrázek 8. Ve vzdálenosti L od nuly, se nechá textilie ohýbat, dokud se sama sebe nedotkne. V místě dotyku bude síla F na jednotku délky záhybu na každé polovině textilie vzhledem k působení mezi dvěma dotýkajícími se polovinami.



Obrázek 8. Síla působící na smyčku tkaniny [8]

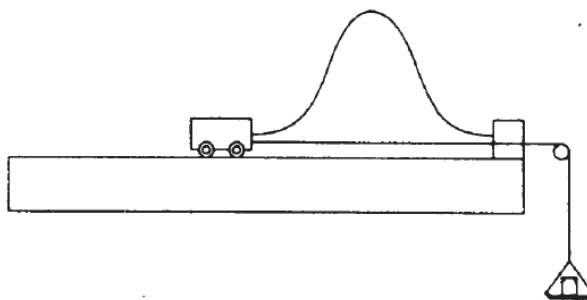
Toto je zjednodušení, kde čistě hydrostatický tlak by mohl být aplikován kolmo na textílii. Díky pružnosti těla a židle, by nemohl být aplikován žádný tlak blízko vrcholu 0. Tlak je měřen přidáním malého balónku, o rozměrech 4x7 cm, naplněného vodou do kapilární trubice a měřený hydrostatický tlak je generován sedícími subjekty.

2.2 Analýza deformace tkaniny na základě nelineárních vlastností

Při měření ohybové tuhosti u tkaniny vznikají značné výchytky zapříčiněné vlastní vahou testovaného vzorku. Ohybová tuhost tkaniny je považována za funkci jejího zakřivení a bere v úvahu její nelineární vlastnosti. Výsledky Kawabatova [9] testu ohýbání 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.

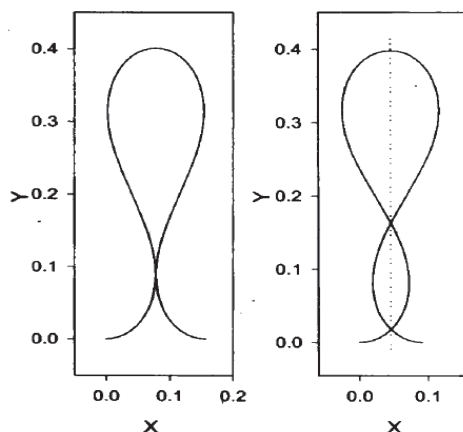
Deformace tkaniny je vysoce ovlivněna jejím ohybovým chováním. Je podstatné porozumět ohybovým vlastnostem, abychom mohli analyzovat deformaci tkaniny. Ohybová tuhost, nebo tuhost ohybu tkaniny může být posouzena experimentálně, kde je definována jako Bernoulli-Eulerova teorie paprsku a je rozeznán moment vztahu zakřivení. Při měření momentů ohybu, kde se zakřivení zvyšuje, tak se sklon momentu vztahu zakřivení projevuje v relativně vysokých hodnotách a mění se do malé šikmé přímky. To naznačuje, že v počátečním stádiu ohýbacího procesu je vyžadován větší moment k překonání tření mezi nití k ohnutí jednotky zakřivení.

Ohybová tuhost lze také měřit na přístroji pro horizontální směr pomocí deformační zátěže viz obrázek 9. Jak deformační zátěž narůstá, tkanina se začne dotýkat sebe sama, z tohoto důvodu vznikají často chybná měření.



Obrázek 9. Horizontální směr deformace [9]

Když deformační zátěž narůstá, tkanina se začne dotýkat sebe sama a tato podmínka musí být brána v potaz. Tečkovaná čára na obrázku č. 10 reprezentuje středovou linii elasticity. Zda se konce testovaného vzorku dotýkají, může být zjištěno spočtením bodů protínajících středovou linii. Za účelem uspokojivého vyřešení fyzikálně kompatibilního stavu by zde měl být pouze jeden protínající bod.



Obrázek 10. Možné tvary při vlastním kontaktu [9]

2.3 Ohýbání do smyčky dle Koppa

Vysoce flexibilní povaha textilních materiálů činí v textilním průmyslu automatizaci velice náročnou. Nejen, že jsou tkaniny náročné na manipulaci, ale i jejich geometrické charakteristiky je obtížné naměřit konvenčními přístroji. Jsou zapotřebí přesné způsoby měření pro poskytnutí zpětné vazby řídicímu systému.

Clayon Kopp [10] ve svém článku navrhuje systém pro měření tvaru a rozsahu lokace pro vrásnění podél délky pruhu tkaniny na základě měření rozdílu ΔL , mezi její celkovou nezvrásněnou délkou a celkovou zvrásněnou délkou. Vztah lze stanovit mezi ΔL a silami nutnými k udržení vrásnění, které odpovídají ΔL použitím Clappova modelu ploché tkaniny ležící na stole. Silový zůstatek, který zahrnuje třecí sílu potřebnou k vrásnění, poskytuje základ pro její lokalizování podél prostorové délky. Změna Clappova modelu ukazuje mnoho možných řešení pro tvar vrásky odpovídající jedné hodnotě ΔL . Každý tvar vrásky je unikátní v počtu "hrbolů", který obsahuje.

Tato varianta modelu také ukazuje, že jak se vráska zvyšuje, tak se objeví podobný efekt převrácenému kyvadlu, kdy má simulovaná vráska tendenci přiklánět se jedné straně nebo druhé. Tyto výsledky mohou být pozorovány experimentálně

s aktuálními tkaninami. Jedno vysvětlení je, že tkaniny vyšší plošné hmotnosti jsou náchylné k mezivláknovým třením, které vytvoří materiální paměť, která nebyla zahrnuta v matematickém modelu analýzy. Tento systém poskytuje užitečný měřicí nástroj pro průmysl. Obecné řešení poskytnuté nedimensionálním modelem definuje důležité vztahy mezi hraničními silami vrásky a ΔL . Zjištění materiálních parametrů tkaniny poskytuje informace obecného modelu, který je zapotřebí k odhadu tvaru a rozsahu lokace pro vrásku ve vysokorychlostním průmyslovém prostředí.

Výstupy z tohoto modelu jsou deformace a reakční síly, které podpírají tkaniny v jejím "zmačkaném" tvaru. Tento postup také zahrnuje model tkaniny ležící na plochem stole přilehlé k vrásce, ke stanovení minimální vzdálenosti od konce pruhu, kde může vráska existovat. Přesný měřicí nástroj může být pro tkaninu připraven navázáním obecného vztahu mezi ΔL a tvary vrásek, které jsou charakteristické pro mechanické vlastnosti tkaniny. Tento nový postup poskytuje alternativu pro použití digitální kamer a pomalejších skenujících přístrojů, které vyžadují rozsáhlá hrubá data k vytvoření tvarů.

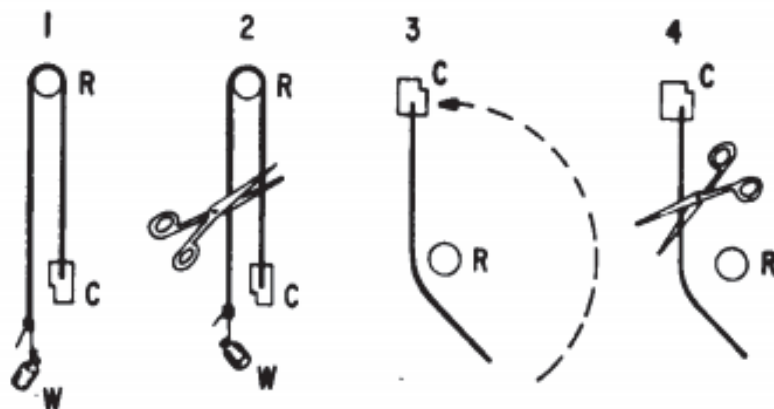
Testované vzorky byly dlouhé 395 mm a široké 82,5 mm. Dříve než jsou vyhodnoceny vlastnosti testovaných materiálů, vzorky jsou přezheleny napařovací žehličkou, k eliminaci vzrůstajícího namáhání, které by mohlo ovlivnit výsledný tvar vrásky. Pro měření je testovaný vzorek položen na testovací stůl a samotná smyčka je vytvořena co nejbližší pravému okraji testovaného vzorku. Jakmile se vráska vytvoří, ruce operátora jsou dány pryč, aby smyčka držela pouze třecí silou mezi tkaninou a plexisklem pracovní plochy. Vzorek je po tomto postupu připraven k získání dat. Výslednými hodnotami je zkrácená délka tkaniny ΔL a koeficient tření mezi textilním materiálem a plexisklem. [10]

2.4 Zotavení textlie z deformace

Prevorsek se ve svém článku [11] věnuje zotavení tkanin z ohýbání, se kterým se setkáváme při vrásnění. Prevorsek tvrdí, že se jedná o jednu z nejdůležitějších mechanických odezev textilních struktur. Bylo publikováno spoustu studií pojednávajících o aspektech zotavování tkanin z vložených napětí a obecně se uznává, že odezva tkanin se promítne nějakým způsobem do odezvy jejich součástí, jako je příze a jednotlivá vlákna.

Obnova příze a jednotlivých vláken byla měřena zavěšením vzorků přes dráty. Rozsah napnutí byl získán použitím odlišných drátů. Podstatou postupu bylo zavěsit

zatížená vlákna a otočit přístroj o 180 stupňů. Po uplynutí patnácti minut byly ohnuté části vzorků odříznuty, položeny na černý papír a vyfotografovány. Úhel zotavení byl změřen z fotografií. Ve všech případech bylo měření vykonáno za stejných podmínek vlhkosti a teploty. Pořadí jednotlivých operací je znázorněno na obrázku č. 11.



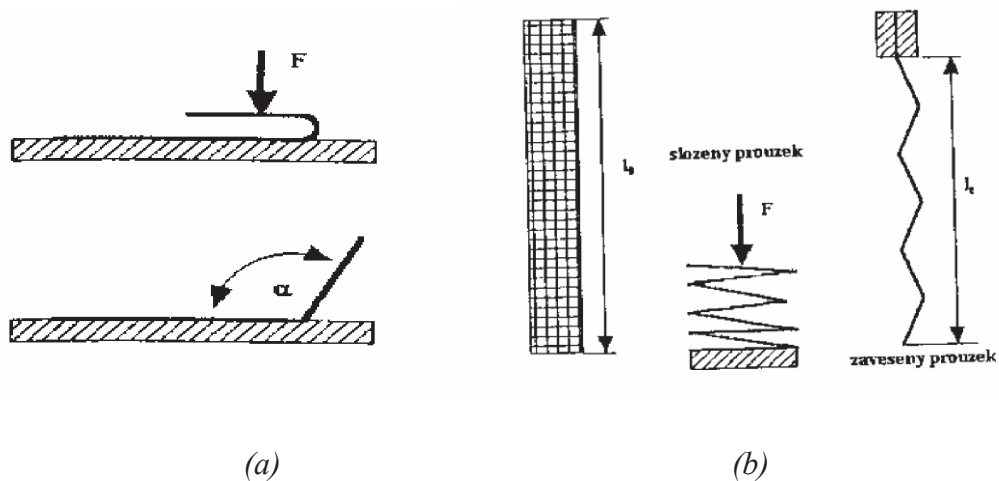
Obrázek 11. Testování jednotlivých vláken [11]

Zkušební metody používané v současné době jsou nedostatečné. Měření zotavení ohybu probíhá zpravidla vzhledovým hodnocením, které nebylo převedeno do smysluplných fyzikálních veličin. Z tohoto důvodu výsledky těchto experimentálních metod nemůžou být kvantitativně analyzovány z hlediska vlastností vlákenného materiálu.

Díky nedostatku pevného teoretického a experimentálního zázemí, současné pokusy pro analyzování výkonu tkaniny vzhledem k vlastnostem vlákna, byly rozděleny mezi matematické analýzy textilních mechanik, které často zahrnují obtížně měřitelné parametry. V reakci na potřebu lepšího porozumění vztahu mezi vlastnostmi vlákna a ohybové tuhosti tkaniny, byla určena studie, pro vytvoření základních parametrů vláken zahrnutých do odporu vrásky v tkaninách.

Nejběžnější metody měření úhlu zotavení plošné textilie popisuje ve své práci Kovačič [4]. Textilní proužek o rozměru 40 x 15 mm je ohnut a zatížen závažím, které působí na textilní materiál silou 10 N, viz obrázek 12 (a). Testovaný vzorek je zatížen po dobu 5 minut a následně je závaží odstraněno. Proužek textilie se narovná o úhel α , který je obrazem okamžité elastické deformace. Další možností zkoumání zotavení textilie je metoda skládaného proužku. Textilie je přesně definovanými přehyby poskládána a následně je zatížena závažím. Parametry závaží a doba zotavení se zvolí

v souladu s normami technických požadavků na plošné textilie. Po předepsané době je závaží odstraněno a textilní proužek je jedním koncem upnut do svorky, aby bylo zotavení z deformace podpořeno gravitační silou, jak je patrné z obrázku 12 (b).



Obrázek 12. Zotavení textilie: a) úhel zotavení, b) metoda skládaného proužku [4]

Odečítá se časová změna délky l_z a pro daný čas se vyjadřuje relativní hodnota zotavení vztahem číslo 4.

$$z = \frac{l_z}{l_0} * 10^2 \quad [\%], \quad (4)$$

kde l_z je délka po zotavení [m],

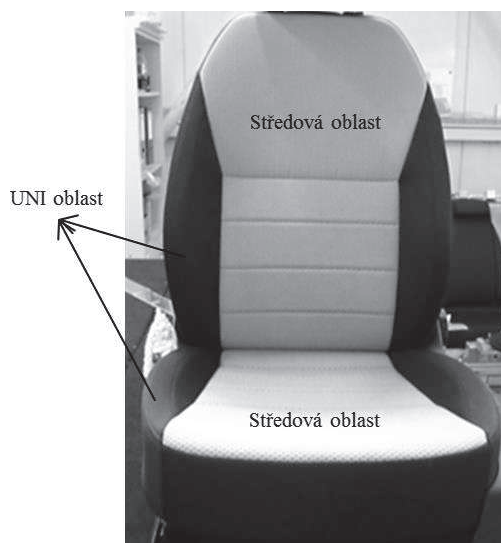
l_0 je původní délka [m]

3 Potah automobilové sedačky

Vnik defektu na potahu automobilové sedačky je nejen ovlivněn materiálem použitým v jednotlivých vrstvách sendviče, ale také do jisté míry metodou propojení jednotlivých textilních vrstev. Z tohoto důvodu budou v této kapitole popsány jednotlivé vrstvy textilního sendviče automobilového potahu a metody pojení těchto vrstev, kterým se ve své práci věnovala Čermáková [12].

3.1 Části autopotahu

Autopotah je složen z několika nástřihů, které jsou svým tvarem uzpůsobeny pěnovému tvaru odlitku autosedačky. Všeobecně se dělí nástřihy potahu podle použité tloušťky laminace na kontaktních místech při do sedu. Plochy jsou odlišeny i vzhledově. Základní rozdělení nástřihů potahu je na oblast středovou a na oblast univerzální (UNI), jak je patrné z obrázku 13.

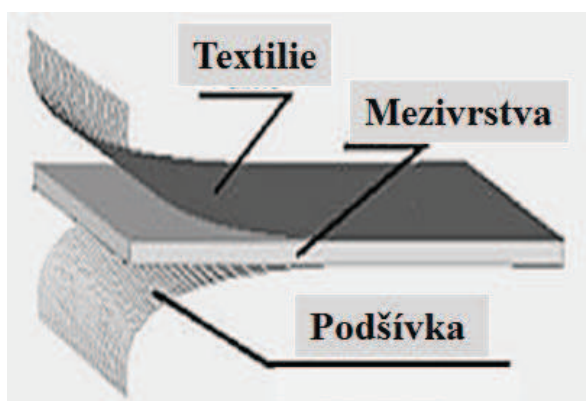


Obrázek 13. Části autopotahu [12]

Středové části autopotahu se nezývají kontaktní plochy, jelikož bývají v přímém kontaktu s pasažérem. Laminace ploch středových dílů se pohybuje od 6 do 8 mm. Univerzální oblast, která se nazývá bolster, představuje ostatní plochy autopotahu, kde nedochází ke kontaktu s pasažérem. Na univerzální oblast se používají tkaniny hladké bez vzoru, většinou utkány v keprové vazbě. Laminace potahové UNI tkaniny se pohybuje od 1 do 3 mm.

3.2 Svrchní vrstva potahového sendviče

Jednou ze tří vrstev sendviče, jak je patrné z obrázku 14, je svrchní textilie, která tvoří základní pohledovou vrstvu důležitou pro celkový estetický vzhled sedaček automobilu. Svrchní vrstva potahového sendviče může být textilní, alcantarová nebo usňová. Tato textilie bývá opatřena nešpinavou, nehořlavou a antistatickou úpravou. Svrchní vrstvu potahového sendviče mohou tvořit tkaniny, které bývají vyrobené z polyesterových vláken. Tkaniny jsou utkány v základních vazbách kepr, atlas nebo odvozených vazbách například cirkas. Plátňová vazba se z důvodu husté dostavy a malé pružnosti nepoužívá. Novým trendem svrchní textilie je technologie embossing, kdy dochází k vyražení vzoru za účelem získání plastičnosti tkaniny. Textilní svrchní vrstva se pojí v sendvič pomocí plamenné a hot - melt technologie. Rozdíl technologií pojení textilních vrstev bude vysvětlen v následujícím textu.



Obrázek 14. Textilní sendvič [12]

3.3 Mezivrstva potahového sendviče

Na potahových textiliích používá společnost Škoda Auto a.s. v mezivrstvě potahového sendviče polyuretanovou pěnu. Polyuretanové pěny se dělí dle tloušťky a tvrdosti. Tvrdost je zvolená dle charakteru komfortu sedačky a svrchní textilie. Vlastnosti polyuretanové pěny jsou dány objemovou hmotností kg/m^3 .

Polyuretanový materiál je charakteristický svým nelineárním chováním. Při stlačování vzorku je silová odezva závislá na deformaci i na rychlosti deformace. Při působení vnějších sil na materiál, dochází k destrukci pórů a při následném odlehčení k jejich obnovení. Při dlouhodobém zatěžování se projeví viskózní chování materiálu.

Při trvalé deformaci dochází k destrukci pórů, které nejsou schopny vrátit se do původního stavu dostatečně rychle. Tento jev je obecně znám jako relaxace materiálu. Díky trvalému zatížení pěny konstantním tlakem dochází k rovnoměrnému zvýšení deformace a tím k poklesu napětí. Časová deformace v důsledku konstantního napětí se nazývá tečení. Polyuretanová pěna je trvale zatěžována stálým napětím a díky tomu dochází k rovnoměrnému zvyšování deformace s časem.

3.4 Rubní strana potahového sendviče

Podšívka slouží u potahového sendviče jako poslední ukončovací vrstva na rubové straně. Tato ukončovací vrstva bývá zpravidla pleteninou, která zaručuje pružnost materiálu. Podšívka autopotahů používaných ve společnosti Škoda Auto a.s. je z polyesterových vláken, která je propojena plamennou technologií do potahového sendviče.

3.5 Spojovací proces textilního sendviče

Technologie laminování je způsob pojení vlákněných vrstev, jehož účelem je jejich propojení a vytvoření potahového sendviče. Jedná se o vkládání laminace mezi dvě vrstvy a následné propojení mezi válci za pomoci tlaku nebo pojiva.

Plamenná technologie se používá ke spojování svrchní textilie s pěnovou mezivrstvou a rubní pleteninou. Již při jednom průchodu strojem vzniká potahový sendvič. Tato technologie pracuje na principu krátkodobého kontaktu polyuretanové pěny s přímým otevřeným plamenem. Dojde k natavení polyuretanové pěny a k následnému okamžitému stlačení pěny s textilií. V případě výroby sendviče pro automobilové potahy dochází k oboustranné laminaci. Lze pojit 3 vrstvy jedním průchodem, přičemž střední vrstva slouží současně jako pojivo. Všechny materiály vstupují do laminačního stroje samostatně.

Další možností, pro spojení jednotlivých vrstev textilie, je technologie hot-melt. Pojení pomocí této technologie zaručuje lepší vlastnosti prodyšnosti v textilním sendviči než u technologie plamenné. Všechny vrstvy se před samotným procesem připravují za studena před strojem a k následnému spojení dochází až při průchodu tepelným tunelem s přítlakem laminačních válců. Po průchodu tepelným tunelem a po spojení vrstev, musí materiál projít chladicí zónou. Pojivou komponentou mezi vrstvami textilií bývají použita lepidla.

Pomocí přítlačných válců dochází k tepelnému spoji mezi vrstvami sendviče a následnému zažehlení pro soudržnost vrstev. Důležitá je doba ochlazování a vyžrání lepidla. Tato metoda je víceetapová. Nejprve se spojuje svrchní lícová textilie s laminací. V druhém kroku se napojuje podšívka a vzniká požadovaný sendvič o určité tloušťce.

S technologií hot-melt pracuje firma Tomatex, která dodává laminované textilie do společnosti Škoda Auto a.s. Při spojovacím procesu pomocí technologie hot-melt dochází mezi vrstvami textilního sendviče k zachování dobré prodyšnosti. Nevýhoda technologie je časová náročnost a pomalejší rychlost stroje než u technologie plamenné.

3.6 Testování materiálů

Prvním krokem výběru textilie na potah automobilové sedačky je schválení oddělením designu a nákupu. Poté je oddělením vývoje a kvality stanovena norma na dodržení příslušných vlastností. Tyto normy musí dodavatel textilií odzkoušet a splnit. Normy musí dodržet nejen výrobce textilie, ale také následně dodavatel celého potahu. Oddělení kvality Škoda Auto disponuje laboratorní sekcí, kde se ověřuje splnění požadované normy na textiliích. Kvalitativní zkoušky se provádí na celkovém textilním sendviči. Nezkouší se samostatně svrchní část textilie nebo mezivrstvy laminace. V oddělení kvality se provádějí například mechanické zkoušky pevnosti v tahu, trvalého protažení a oděru na přístroji Martindale.

Pokud je měřením odhalen nedostatek při nedodržení normy, musí dodavatel zajistit zlepšení vlastností textilie a znovu provést zkoušku. Pokud nebude textilie z hlediska normy stále vyhovovat, nemůže se použít k výrobě potahů a vybere se náhradní materiál.

Další testování sedadla s ušitým potahem probíhá v samotném vozu, kdy je sedadlo již namontováno. Při jízdách se včas mohou odhalit nedostatky potahu, mezi které patří nestabilita velikosti potahu, zvlnění, krabatění a nežádoucí zlomy textilního materiálu. [12]

4 Nástroje potřebné v experimentu

Aby mohlo být vyrobeno plně automatizované měřicí zařízení, kdy experimentátor pouze vloží testovaný materiál do upínacích čelistí přístroje a spustí měření, je nezbytné opatřit přístroj krokovým motorem k pohybu čelistí s možností jeho ovládní pomocí počítačové desky s nastaveným vhodným programem. Z tohoto důvodu bude popsána elektronická platforma Arduino, založená na jednoduché počítačové desce, pomocí které bude ovládáno měřicí zařízení v experimentu. Při konstrukci každého nového zařízení je nezbytnou součástí projektu podrobná výkresová dokumentace. Budou tedy popsány programy používané v CAD prostředí, včetně programu Autodesk Inventor 2017, na kterém bude výkresová dokumentace experimentu zhotovena.

4.1 Arduino

Problematiku Arduina, od seznámení s platformou až po složitější funkce, rozebral ve své práci Zbyšek Voda [13]. Vývoj prvního Arduina začal v roce 2005 na pracovišti Interaction Design Institute ve městě Ivrea. Cílem vývoje bylo vytvořit jednoduchý a levný vývojový set pro studenty, kteří si nechtěli nebo nemohli pořídit tehdy velmi drahé desky. Arduino mělo velký úspěch nejen mezi studenty, proto bylo rozšířeno do volného prodeje. Programová část Arduina byla založena na Processing3, což je knihovna pro jazyk Java. Hlavním cílem bylo zjednodušit výuku programování. Důkazem rozvoje Arduina je, že již vzniklo několik desek ve spolupráci s velkými společnostmi, například Intel. Od roku 2005 již bylo vytvořeno spousta různých typů Arduina. Jelikož se jedná o Open Source projekt, vznikalo společně s hlavní linií projektu i mnoho dalších, neoficiálních typů, takzvaných klonů.

Arduino je svými funkcemi nástroj pro tvorbu malých počítačů. Arduino lze považovat za otevřenou elektronickou platformu, založenou na jednoduché počítačové desce (hardware) a vývojovém prostředí, které slouží k tvorbě software. Arduino deska získává údaje od různých snímačů a senzorů a na základě těchto údajů ovládá nějaké výstupy, jako je například rozsvícení LED diody nebo zapnutí krokového motoru. Požadavkem pro správnou funkčnost Arduino desky je vytvoření funkčního programu pro Arduino mikrokontrolér. Arduino se skládá z mikrokontroléru, krystalu, napájecího zdroje 5V a převodníku pro komunikaci s počítačem. Podle požadované funkce, kterou je například v experimentu potřebné ovládní motoru, je možné využít

širokou škálu rozšiřujících desek pro Arduino. Tyto desky označujeme jako Arduino Shiedly. Arduino Software je ke stažení zdarma. Originální desky Arduino budou fungovat za všech okolností, jelikož mají potřebné certifikáty. Nevýhodou klonů Arduino desek jsou časté problémy, jako je nekompatibilita hardware a ovladačů. Originální desky jsou vhodné pro začátečníky a klony pro zkušenější uživatele, kteří případný vzniklý problém vyřeší.

Postupem času se Arduino stává stále více součástí nových projektů. Od jednoduchých, denně využívaných Arduino aplikací, až po komplexní vědecké přístroje. Světová Arduino komunita tvůrců, studentů, umělců, programátorů a profesionálů vytvořila kolem této platformy neuvěřitelné množství znalostí, které jsou na internetu veřejně přístupné.

Z jednoduchých 8 bitových desek se Arduino přeměnilo na desky pro různé aplikace, 3D tisk nebo speciální Arduino roboty. Arduino desky nabízí různé využití, s možností výroby vlastní desky dle konkrétních požadavků. Arduino je založeno na procesoru od firmy Atmel. Pro celou řadu desek je typické jednotné grafické zpracování s převažující modrou barvou. Číslo verze dané desky je napsáno za jejím názvem, jako například ReV3 nebo R3. Jednotlivé verze desek se liší nejen velikostí, ale také rozložením součástek. Nejedná se však o velké změny, které by si vyžádaly vznik nové desky. Na většině desek je mimo hlavního čipu ještě převodník, který umožňuje komunikaci mezi počítačem a čipem. Setkáme se však i s typy, které převodník nemají. Může to být ze dvou důvodů. Prvním z nich je úspora místa například u desek Arduino Micro a Nano. Druhým typem jsou ty desky, jejichž čip má v sobě tento převodník zabudovaný.

Hlavními výhodami Arduino platformy je jednoduchost použití, obrovské množství kompatibilního hardware a Arduino shieldů. Výhodou Arduina je jeho jednoduchost pro začátečníky, ale také flexibilita pro zkušené uživatele.

4.2 Programové prostředí CAD

Programové prostředí CAD (Computer Aided Design) jsou systémy pro zpracování konceptu návrhu a designu nového, případně inovovaného výrobku. Jedná se o počítačový návrh postupů a technologií, které řeší návrh geometrických a rozměrových charakteristik. Výstupem je digitální popis výrobku. Ten může být realizován buď jako standardní 2D výkresová dokumentace nebo jako 3D model. Vytváří pomocí objemů a

ploch modely do digitální formy a to nejčastěji pomocí rozměrových a geometrických parametrů.

Systémy CAD se dělí podle množství funkcí, které poskytují. Dělí se na malé, střední a velké CAD systémy. Malé systémy umožňují 2D kreslení bez možnosti dalšího rozšíření. Hlavním využitím malých systémů jsou tedy výkresy a náčrty. Příkladem malého systému je AutoCAD Inventor LT. Střední CAD systémy nabízí 2D kreslení s možností práce ve 3D modeláři. Lze k nim dokupovat nástavby, podle kterých se následně řídí cena celého systému. Příkladem je SolidWorks a Microstation. Velké systémy CAD slouží navíc k modulárnímu řešení celé soustavy. Cena dosahuje až několik stovek tisíc korun. Příkladem jsou Unigraphics a Catia. Freeware CAD systémy jsou bezplatnou alternativou ke komerčním systémům. Příkladem je DesignSpark Mechanical, Albatross 3D. Rozdělením systémů CAD a jejich porovnání se ve své práci zabýval Bartoň [14].

4.2.1 DesignSpark Mechanical

DesignSpark Mechanical je novým systémem v 3D modelování, která se dostala na trh v září 2013. Výhodou tohoto systému je možnost jeho stáhnutí bez poplatků v plné verzi. Uživatelské prostředí a celková nabídka nástrojů softwaru DesignSpark je zcela standardní. Přestože se jedná o bezplatnou verzi, jedná se o zcela profesionální CAD technologii. Konstrukční 3D software má, jako všechny dosud známé programy, téměř identickou pracovní plochu. Součástí systému nejsou moduly pro pevnostní analýzy nebo pohybové studie. Tyto nedostatky by mohly chybět konstruktérům. V systému ale není možné vytvořit sestavy a výkresy.

4.2.2 SolidWorks

SolidWorks se řadí mezi úspěšné strojírenské 3D CAD systémy. Tento program nabízí uživateli objemové i plošné modelování, pokročilé tvarové funkce, návrhy svařenců a formy, včetně práce se sestavami s možností vytváření výkresů. Jedná se o velice profesionální CAD technologii. Možnosti práce s tímto systémem se mimo drobností neliší od novějších verzí Inventoru, včetně vytváření vazeb mezi jednotlivé díly. Zkušební verze pro studenty je zdarma. Vyplní se registrační formulář a poté následuje již jen samotná instalace programu.

Při modelování objemových částí vznikají trojrozměrné modely dílů a sestav. Systém obsahuje standardní funkce, jako je příklad funkce vysunutí, rotace, spojení profilů, tažení po křivce, tenkostěnné profily a skořepiny, zaoblení, normalizované díry a pokročilé pole. Nástroje umožňují automaticky vytvářet pohledy. Za standardní postup se považuje vytváření výkresové a výrobní dokumentace z jednotlivých dílů sestavy. Vzniká výkres včetně pohledů, kót a popisů. Ze základního pohledu lze odvodit promítnuté pohledy, částečné řezy včetně automatického šrafování. Cena produktu se pohybuje v rozpětí 200 000 – 300 000 Kč.

4.2.3 Autodesk Inventor

Bodem diplomové práce je vytvořit výkresovou dokumentaci vyrobeného měřicího zařízení v programovém prostředí CAD. Tato dokumentace bude zhotovena v programu Autodesk Inventor verze 2017. Tento program je vhodnou volbou pro uživatele programů pracujících ve 2D, kteří chtějí přecházet na třetí rozměr při navrhování výrobků či digitálních prototypů. Inventor nabízí komplexní integrovanou sadu modulů pro navrhování ve 3D. Systém Inventor umožní uživateli vytvořit a analyzovat výrobek po celou dobu konstrukce ještě předtím, než je vložen do výroby.

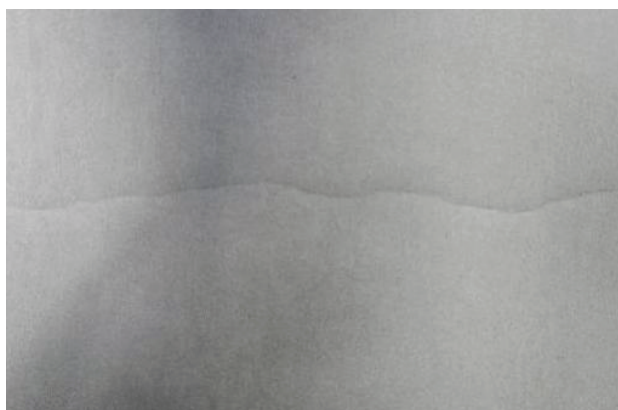
Pomocí systému Autodesk Inventor lze sdílet výkresy hotové pro výrobu s expertními týmy a externími společnostmi. Součást nebo celou soustavu lze snadno otevřít ve výkresové dokumentaci, která nabízí různé pohledy včetně nárýsů, půdorysů, bokorysů, detailních pohledů, částečných řezů a pohledů pomocných. Dále je možnost vygenerovat rozpisky jednotlivých součástí a kusovníky zpracované pro strojírenský obor. [14]

Podle informací získaných na webových stránkách firmy Autodesk [15] lze usoudit, že se jedná o hlavní systém této firmy určený pro tvorbu digitálních prototypů. Jedná se o celosvětově nejprodávanější CAD systém určený pro strojírenskou 3D konstrukci.

5 Testované materiály

Firmou ŠKODA AUTO, a.s. byly dodány textilie na automobilové potahy, na kterých vznikají nežádoucí lomy. Firma třídí materiály na vhodné a nevhodné pro zpracování finálního výrobku podle interní zkušební metodiky Ins3.4_GQ-31_29 na přístroji viz obrázek 7. Dosud užívaná metoda je založena na subjektivním hodnocení, tj. měření je ovlivněno osobou, která jej provádí, respektive výsledek je ovlivněn zkušenostmi a pečlivostí experimentátora. Ruční měření vzorku není vhodné pro velký počet opakovaného namáhání textilie. V důsledku toho není sledováno reologické chování textilie, a přestože by byl testovaný materiál označen jako vyhovující pro další zpracování, po vyšším počtu cyklů by mohla být skutečná závada teprve odhalena. Z tohoto důvodu bude zkonstruováno měřicí zařízení, které bude navrženo tak, aby umožnilo objektivní hodnocení sledované vlastnosti a zároveň maximálně automatizovalo provádění zkoušky.

Potahy automobilových sedadel jsou tvořeny třemi vrstvami, které jsou k sobě spojené laminováním. Vrchní vrstva, střední vrstva a spodní vrstva vstupují do procesu oddělení. Vrchní vrstvou dodaných materiálů je tkanina, střední vrstvou je polyuretanová pěna a spodní vrstvou všech materiálů tvoří pletenina. Vráska na textilií prostupuje skrze všechny tři vrstvy a projeví se na vrchní tkanině, jak je patrné z obrázku 15.



Obrázek 15. Lom na textilií

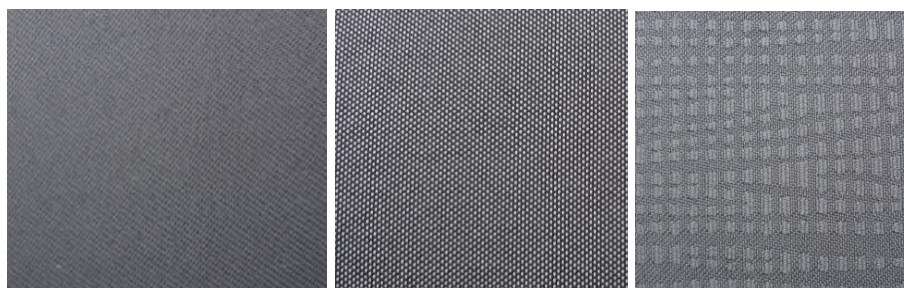
Textilie, které jsou náchylné k tvoření těchto nežádoucích lomů, následně vykazují značné problémy na výrobní lince v podobě vyšší časové náročnosti výroby spojené s odstraněním vrásek pomocí napařovacích žehliček. Výrobní linky jsou opatřeny kontrolními stanicemi, kde dochází k hodnocení kvality automobilové sedačky a k následnému žehlení objevených zlomů na potahu. Absence těchto stanic by

znamenal nejen urychlení celého výrobního procesu, ale také především nižší finanční náročnost. Při výrobě automobilové sedačky z nevyhovujících textilií, pozorujeme vznik lomu většinou v blízkosti švů, viz obrázek 16.



Obrázek 16. Závada na automobilové sedačce

Firmou ŠKODA AUTO, a.s. byly dodány různé textilní materiály určené na potahy automobilových sedaček. Některé z dodaných materiálů, viz obrázek 17, tvoří na textilií zmiňovaný lom, který následně způsobuje problém při výrobním procesu.



Obrázek 17. Vzorky tvořící defekt.

Firma dodala také materiály, které jsou z hlediska výroby zcela vyhovující, viz obrázek 18. Podrobný přehled všech testovaných materiálů je shrnut v tabulce v příloze 1.



Obrázek 18. Vyhovující materiály

6 Návrh měřicího zařízení

V této kapitole diplomové práce budou popsány různé možnosti konstrukčních prvků tří prototypů přístroje, které předcházely výrobě finálního měřicího zařízení. Jedná se o prototyp měřicího zařízení s jednou pohyblivou čelistí, prototyp zařízení se dvěma pohyblivými čelistmi a zařízení s nastavitelnou upínací čelistí podle tloušťky testovaného materiálu.

Měřicí zařízení bude navrženo tak, aby bylo umožněno objektivní hodnocení vlastností smyčky vytvořené z testované textilie. Měřicí přístroj bude plně automatizován. Experimentátor pouze založí vzorek a nastaví na přístroji požadované parametry, kterými budou například výchozí délka upnutí textilie, počet měřících cyklů, rychlost posuvu čelistí a frekvence snímání obrazu. Zkoušená textilie bude cyklicky namáhána, čímž se do hodnocení promítnou i reologické vlastnosti materiálu. Přístroj bude umístěn do světelného boxu, který zajistí vhodné světelné podmínky pro pořizování fotografií v průběhu tvorby smyčky. Testované textilie budou hodnoceny dle sledovaných parametrů jednotlivých smyček.

6.1 Měřicí zařízení s jednou pohyblivou čelistí

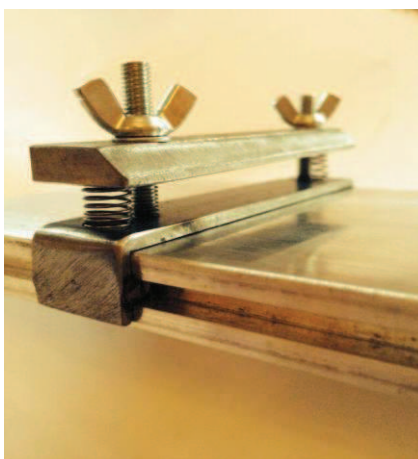
Finální podobě měřicího zařízení předcházely tři jednoduché prototypy přístroje, které umožňovaly vznik smyčky na testovaném materiálu. Pomocí těchto modelů byly popsány různé možnosti konstrukčních prvků včetně zdůvodnění, proč byl příslušný prvek konstrukce preferován před jiným.

Tvorba prvního prototypu měřicího zařízení byla inspirována prací Koppa[7], přístroj tak umožňuje vznik smyčky testovaného materiálu v horizontálním směru. Testovaný vzorek je upevněn svými konci do čelistí, z nichž jedna je posuvná. Postupným přibližováním obou čelistí dochází k vrásnění textilie a vzniká smyčka, což je patrné z obrázku 19.



Obrázek 19. Tvorba smyčky: a) počáteční poloha, b) neúplná smyčka, c) konečný tvar

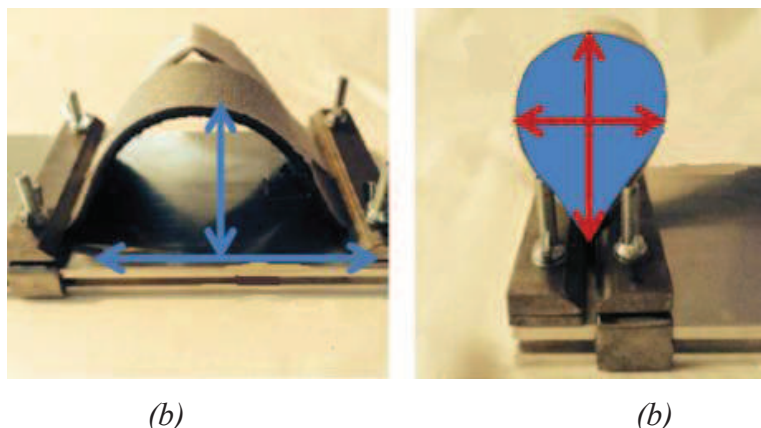
Upevňovací čelist je složena z podložního a krycího plechu, pružin pro pohodlnější vkládání vzorků a křídlových matek k dotažení, viz obrázek 20 a výkresová dokumentace v příloze 2. Podložní plech čelisti vymezuje vzdálenost mezi testovaným vzorkem a stolkem s drážkami. Tato vzdálenost je minimální, a proto se při posunu čelisti textilie opře o pracovní stůl a dojde ke vzniku smyčky pouze v jednom směru. Podložní plech je zkonstruován jako jezdec, který svým tvarem přesně zapadá do drážek vyfrézovaných v pracovním stole, což umožňuje pohyb jedné z čelistí. Krycí plech je seříznut pod úhlem 45°. Díky zkosení krycího plechu se po doražení čelistí vytvoří prostor pro tvorbu smyčky a konečná smyčka není tímto plechem nijak deformovaná, jak je patrné z obrázku 19 (c).



Obrázek 20. Posuvná čelist

Na obrázku 20 jsou předloženy ukázky různých tvarů smyček a zároveň je naznačeno, jaké parametry smyčky by mohly být hodnoceny. Jak je patrné z obrázku 21 (b), jedná se například o výšku smyčky, šířku smyčky a plochu smyčky. Dále bude hodnoceno rozpětí čelistí v okamžiku vytvoření zlomu smyčky. Na prototypu zařízení s jednou

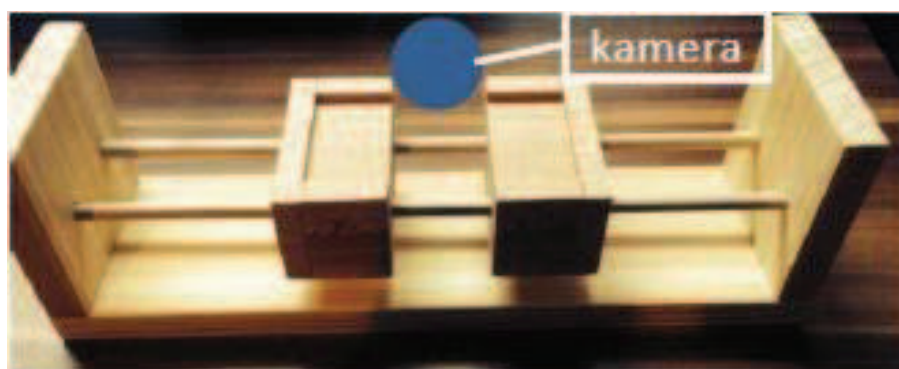
pohyblivou čelistí bylo zjištěno, že při přibližování čelistí dochází k vytvoření zlomu smyčky u různých materiálů v různých vzdálenostech čelistí od sebe, viz obrázek 21(a).



Obrázek 21. Možné parametry k testování: a) rozpětí čelistí v okamžiku zlomu smyčky, b) měření výšky, šířky a plochy smyčky

6.2 Měřicí zařízení se dvěma pohyblivými čelistmi

První návrh konstrukce přístroje obsahoval horizontální posun pouze jedné čelisti přístroje. Avšak vzhledem k tomu, že bylo objeveno rozdílné chování testovaných materiálů v závislosti na rozpětí čelistí, bylo nutné snímat smyčku v průběhu celé fáze přibližování čelistí, nikoliv pouze v konečné fázi posunu čelisti, viz obrázek 19(c). Při stávající konstrukci by bylo nutné kameru neustále posouvat společně s posunem jedné čelisti, tak aby se nacházela vždy na středu smyčky. Bylo proto navrženo nové řešení, které se jeví jako jednodušší. Kamera snímající obraz je při každém kroku posunu umístěna na středu vodorovného posunu čelistí, viz obrázek 22.



Obrázek 22. Dřevěný model s posuvnými čelistmi

Bylo zjištěno, že upevnění testovaného vzorku do čelisti, viz obrázek 20, může mít vliv na tvorbu smyčky. Textilie se v místě upnutí nepřírozně láme a tím ovlivní finální tvar

smyčky. Proto byl navržen takový způsob upevnění textilie do čelistí, který nebude textílii v čelistech deformovat. Do obou čelistí byla vyfrézovaná drážka odpovídající tloušťce materiálu, do které je testovaný materiál položen. Testovaný materiál je následně zaklopen krycí destičkou, která se opírá o čelist, tedy materiál nedeformuje, jak je patrné z obrázku 23.



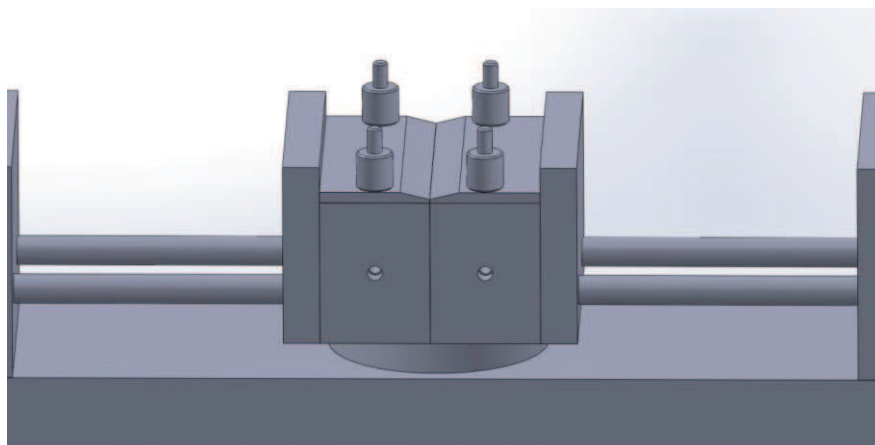
Obrázek 23. Upevnění materiálu v dřevěné čelisti

Šířka vyfrézování v upínací čelisti odpovídá šířce testovaného vzorku, vzorek je v čelisti pevně ohraničen, a proto je do čelistí vkládán vždy stejně, tedy kolmo na zadní stěnu čelisti. Vyfrézování má tedy vliv nejen na deformaci materiálu v čelisti, ale také na přesné vložení vzorku. V prvním prototypu měřicího zařízení docházelo k drobným nepřesnostem v měření, jelikož vzorek nebyl do čelisti vložen vždy se stejnou přesností. Textilie byly vždy pootočené o různý úhel v rozpětí pěti stupňů. Dvě vodící tyče, viz obrázek 23, slouží k pojezdu obou čelistí.

6.3 Měřicí zařízení s nastavitelnou čelistí podle tloušťky testovaného materiálu

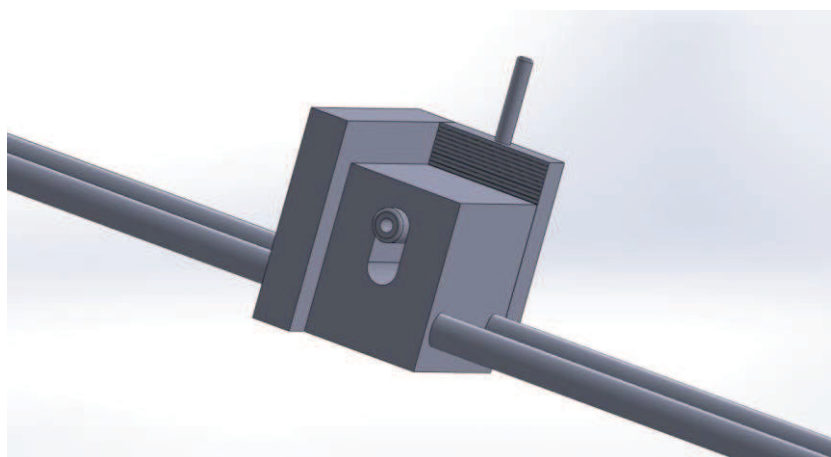
Na dřevěném modelu byla pouze otestována funkčnost dvou pohyblivých čelistí a také nového upevnění v čelistech bez deformace testovaného materiálu, kdy se krycí destička pouze opírá o okraje čelistí. Každý z testovaných materiálů má jinou tloušťku, vyfrézování na dřevěném modelu bylo určeno pouze pro jeden z testovaných materiálů.

Po otestování funkčnosti byl zhotoven kovový model s nastavitelnou čelistí dle tloušťky testovaného materiálu. Posun obou čelistí probíhá současně, a to směrem do středu, stejně jako u dřevěného modelu. Kamera snímající obraz při každém kroku posunu je umístěna na středu vodorovného posunu čelistí. Krycí plech je opět zkosen a po dorazu čelistí vzniká prostor pro tvorbu smyčky, jak je patrné z obrázku 24.



Obrázek 24. Měřící zařízení s nastavitelnými čelistmi ve 3D zobrazení

Každý z testovaných materiálů má jinou tloušťku. Čelist umožňuje nastavení výšky bočnic podle tloušťky testovaného materiálu, viz obrázek 25. Na vrchní straně bočnice čelisti je kolík pro nasunutí krycího plechu. Vnitřní stěna bočnice je opatřena stupnicí po milimetrech, která ukazuje výšku vysunutí. Obě bočnice jsou spojeny válcovitým kolíkem, dochází tedy k posunu obou stran zároveň. Výšku vysunutí bočnic určuje aretační šroub na spodní straně čelisti, který zvedá soustavu v těžišti, viz výkresová dokumentace včetně příslušných kót v příloze 3.



Obrázek 25. Zobrazení nastavitelné upínací čelisti ve 3D

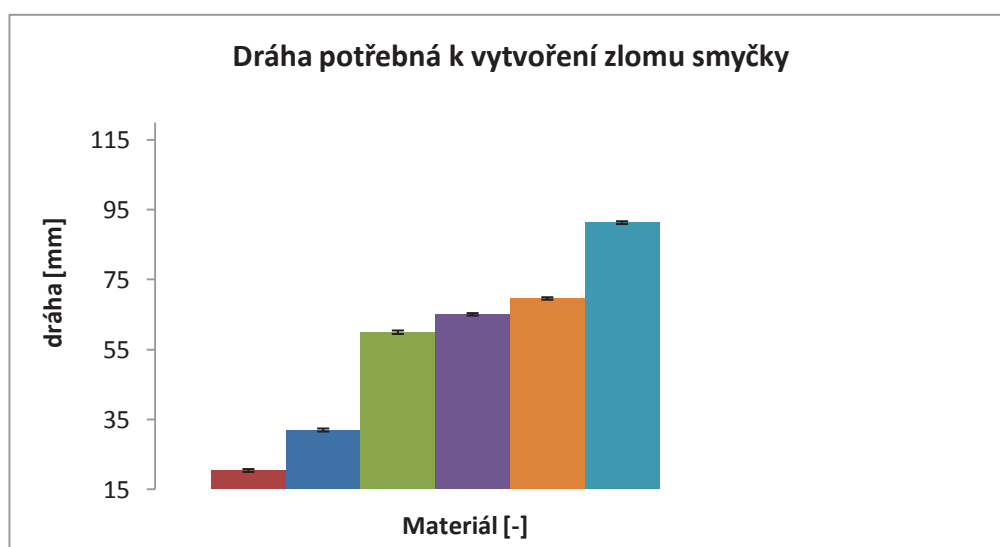
7 Měření parametrů smyčky pro ověření správnosti navržené metodiky

Před výrobou plně automatizovaného přístroje bylo nutné, pro ověření správnosti navržené metodiky, změřit parametry tvaru smyčky u jednotlivých textilií, dodaných firmou ŠKODA AUTO, a.s., pomocí prototypu měřicího zařízení. Vybranými parametry byla dráha přiblížení čelistí potřebná k vytvoření zlomu smyčky, jak je patrné z obrázku 21(a), a šířka smyček testovaných materiálů, viz obrázek 21(b).

7.1 Dráha potřebná k vytvoření zlomu smyčky

Měření probíhalo na vzorcích o délce 19cm a šířce 3 cm. Testovaný materiál byl lícní stranou položen na pracovní stůl a následně upnut do čelistí, jejichž rozpětí v počáteční poloze bylo 15 cm. Směr sloupků na rubní straně pleteniny byl rovnoběžný s delší hranou pracovního stolku. Dráha potřebná k vytvoření zlomu smyčky byla odečtena na měřítku, které bylo umístěno na pracovním stolku měřicího zařízení.

Na prototypu měřicího zařízení s jednou pohyblivou čelistí bylo zjištěno, že dráha, kterou urazí pohyblivá čelist do okamžiku vzniku zlomu na smyčce, se u jednotlivých testovaných materiálů liší, jak je patrné z grafu na obrázku 26 a ze statistického zpracování dat v příloze 4. Dále bylo zjištěno, že materiály Sly anthrazit, Clip satinschwarz a Crinkel, které tvoří zlomy při výrobě automobilové sedačky, mají nižší dráhu potřebnou k vytvoření zlomu smyčky.

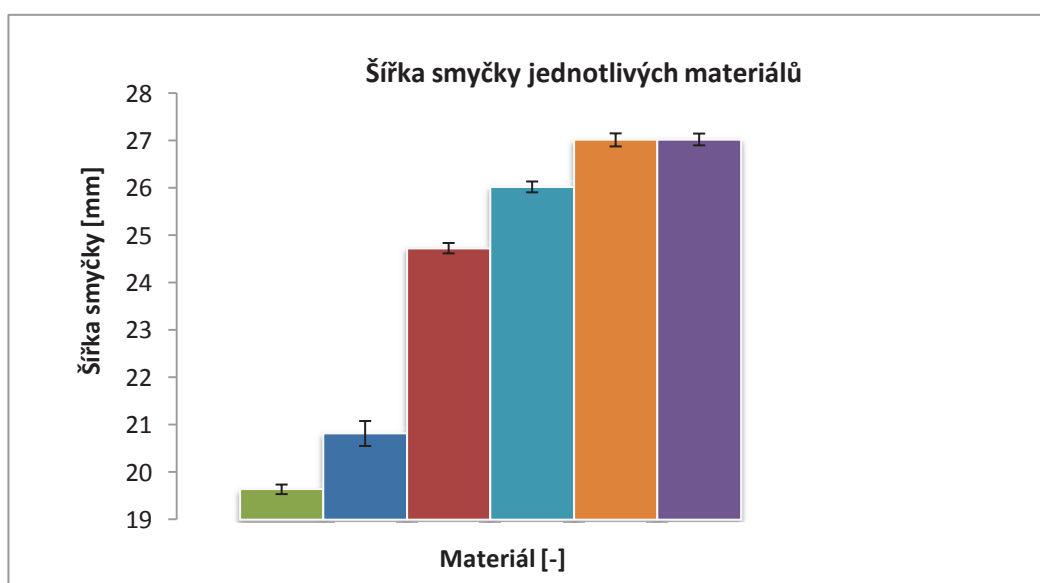


Obrázek 26. Dráha potřebná k vytvoření zlomu smyčky

7.2 Šířka smyček testovaných materiálů

Měření šířky smyček testovaných materiálů probíhalo na vzorcích o stejných rozměrech, tedy 19 x 3 cm. Pro pouhé ověření správnosti navržené metodiky před výrobou plně automatizovaného přístroje, byla šířka smyčky měřena posuvným měřítkem. Šířka smyčky byla odměřena po úplném přiblížení čelistí, kdy došlo k úplnému uzavření smyčky.

Jak je patrné z grafu na obrázku 27 a z statistického zpracování dat v příloze 4, průměrné hodnoty naměřených šířek jsou nižší u materiálů, které tvoří při výrobě automobilových sedaček nežádoucí zlomy.

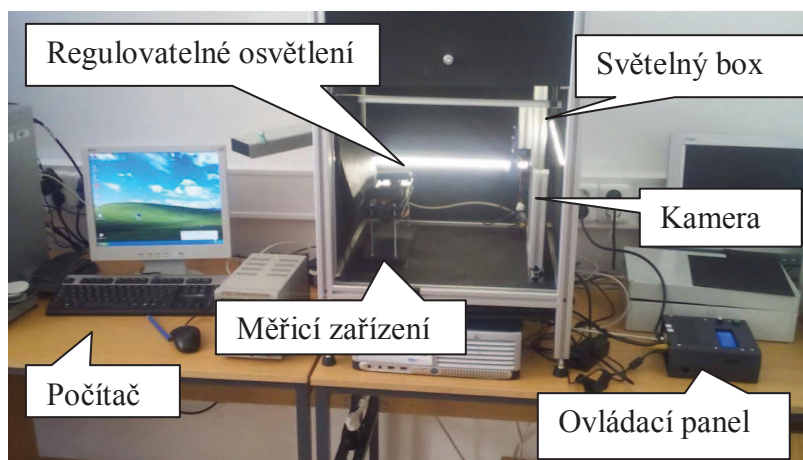


Obrázek 27. Šířka smyček testovaných materiálů

8 Automatizované měřicí zařízení

V první části této kapitoly bude podrobně popsáno automatizované měřicí zařízení, jehož výroba byla inspirována předchozími prototypy přístroje, viz kapitola 6. Budou popsány jednotlivé součásti měřicího zařízení včetně dokumentace vytvořené v CAD programovém prostředí. Další část kapitoly pojednává o přesném popisu experimentu, který je nutný pro potřebnou přesnou reprodukovatelnost měření.

Nezbytnou součástí vybavení pracoviště je počítač, kde dochází k ukládání a vyhodnocování pořízených fotografií a také ke kontrole průběhu měření po uzavření světelného boxu, ve kterém je měřicí přístroj umístěn. Další součástí pracoviště je, již zmiňovaný, světelný box, který zajistí vhodné a vždy konstantní světelné podmínky pro pořizování fotografií v průběhu tvorby smyčky, díky možnosti nastavení intenzity a polohy světla. Po uzavření boxu nedochází k ovlivňování podmínek měření okolním světlem. Poslední a nejdůležitější součástí pracoviště je samotné měřicí zařízení včetně ovládacího panelu. Potřebné vybavení pracoviště je znázorněno na obrázku 28.

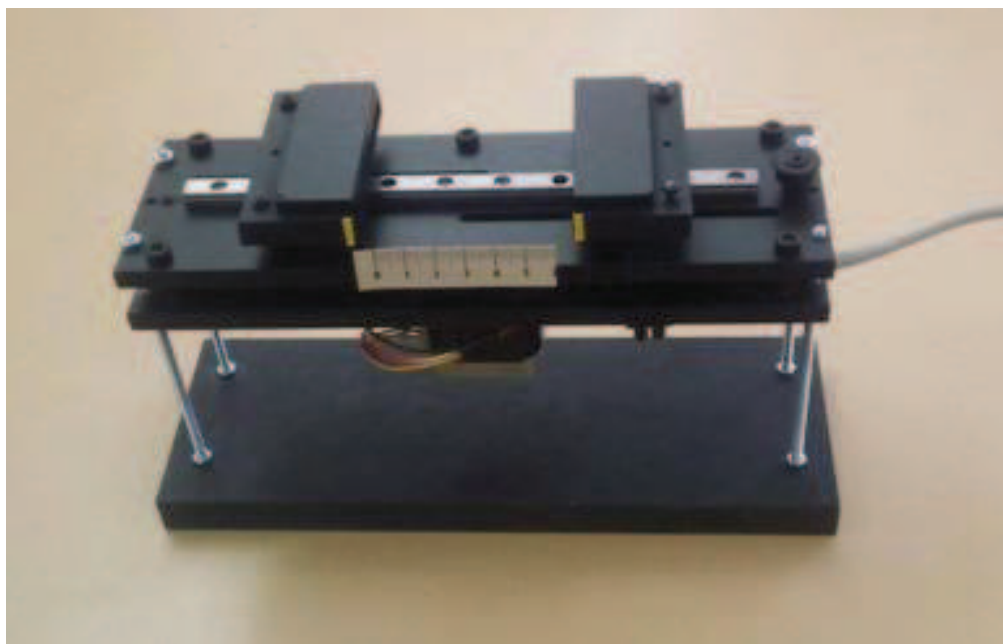


Obrázek 28. Potřebné vybavení pracoviště

8.1 Finální měřicí zařízení

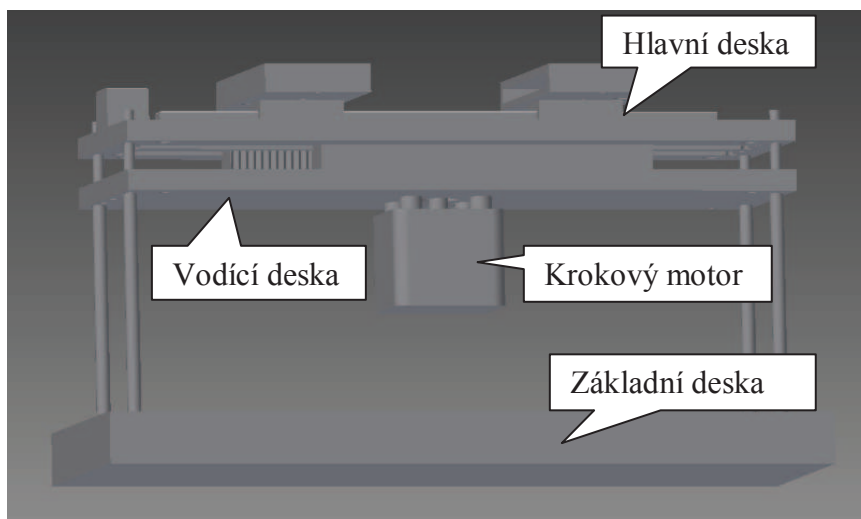
Finální podobě měřicího zařízení předcházely tři jednoduché prototypy přístroje, které umožňovaly vznik smyčky na testovaném materiálu. Pomocí těchto modelů byly popsány různé možnosti konstrukčních prvků, což umožnilo vznik nového plně automatizovaného přístroje.

Obě upínací čelisti měřicího zařízení se posouvají vždy o stejnou vzdálenost se stejnou rychlostí. Znamená to, že kamera, která je umístěna na rampě v světelném boxu a namířena na středovou pozici přístroje, snímá celý průběh tvorby smyčky bez nutnosti neustálého posouvání. Ověření funkčnosti upínacích čelistí proběhlo na dřevěném prototypu v kapitole 6.2. Finální měřicí zařízení, viz obrázek 29, je tedy opatřeno čelistmi s vyfrézováním, které umožňují zcela komfortní výměnu testovaných materiálů bez deformace textilie v čelisti.



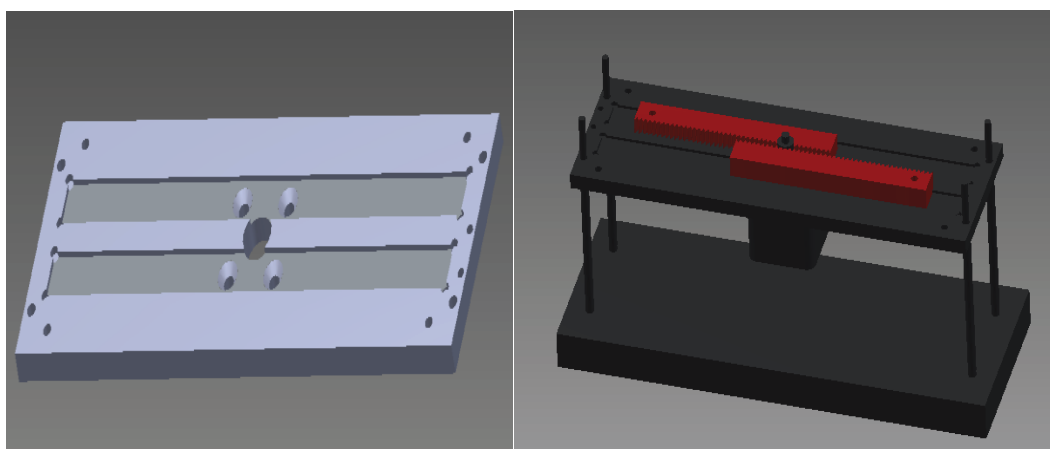
Obrázek 29. Finální měřicí zařízení

Jak je patrné z obrázku 30 a z výkresové dokumentace v příloze 5, měřicí zařízení se skládá z hlavní, vodící a základní desky. Hlavní význam spodní základní desky spočívá ve stabilizaci přístroje. Základní deska, která tvoří podstavec pod měřicím zařízením, byla instalována až dodatečně. Celý přístroj byl postaven pouze na krokovém motorku, což mělo za následek jeho časté zahřívání a špatnou stabilitu přístroje. Spodní základní deska je spojena s vodící deskou pomocí čtyř tyčí, které vymezují prostor pro umístění krokového motoru.



Obrázek 30. Zobrazení finálního přístroje ve 3D

Zahloubené drážky ve vodící desce, viz obrázek 31 (a) a výkresová dokumentace v příloze 5, přesně určují prostor pro posun ozubených hřebenů, které jsou patrné z obrázku 31 (b). Krokový motor, viz obrázek 30, roztáčí ozubené kolo, do kterého zapadají na obrázku červeně znázorněné ozubené hřebeny s přímým ozubením. Pokud má jedno z ozubených kol průměr roztečné kružnice „nekonečno“ vzniká tzv. ozubený hřeben. Tímto způsobem je možno realizovat přeměnu pohybu otáčivého na přímočarý, což umožňuje posun čelistí měřicího zařízení v horizontálním směru. Směr otáčení motoru určuje, zda se čelisti k sobě přibližují nebo se od sebe vzdalují. Tato soustava zaručuje, že oba hřebeny jsou posouvány ozubeným kolem zároveň, vždy se stejnou rychlostí o stejné dráze.



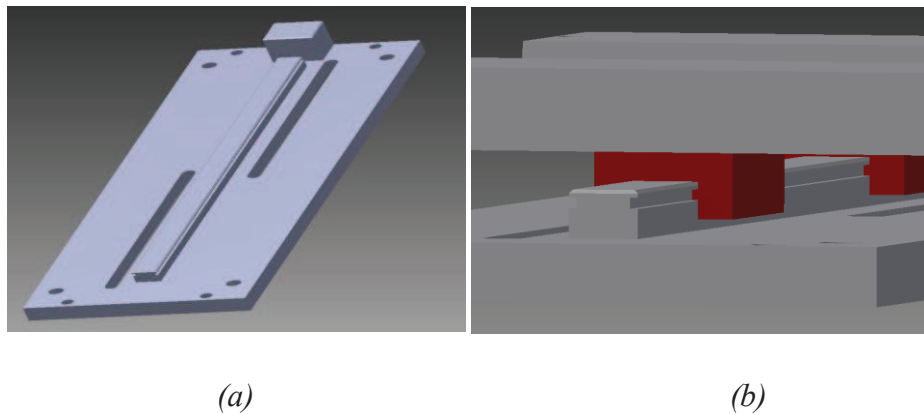
(a)

(b)

Obrázek 31. Vodící deska s hřebeny ve 3D : a) vodící drážky, b) ozubené hřebeny

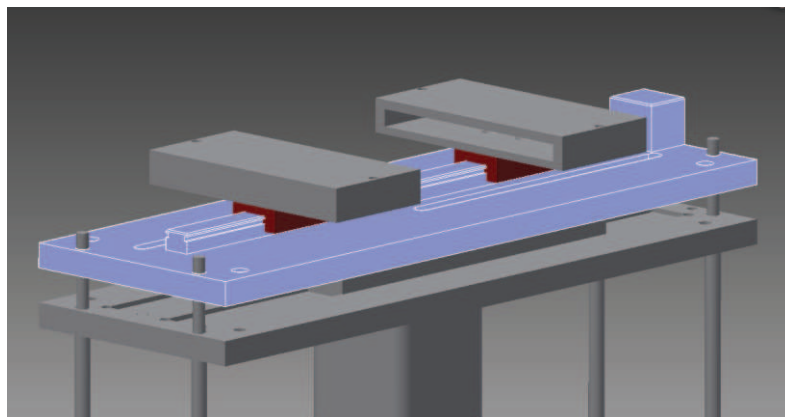
Závity na koncích ozubených hřebenů umožňují přišroubování upínacích čelistí přístroje. Díky tomuto pevnému spojení dochází při pohybu hřebenu zároveň k pohybu čelisti.

Poslední nepopsanou součástí měřicího zařízení je hlavní deska s kolejnici, viz obrázek 32(a). Posun čelisti s jezdcem zasunutým v kolejnici byl otestován na prototypu zařízení s jednou pohyblivou čelistí, který byl popsán v kapitole 6.1, z tohoto důvodu byl stejný princip posunu zvolen i u finálního měřicího zařízení. Součástí hlavní desky přístroje je kolejnice s dorazem pro jezdce a dvě drážky umožňující průchod šroubu, který spojuje upínací čelist s ozubeným hřebenem. Detail vyfrézování a tvaru kolejnice je patrný z obrázku 32(b).



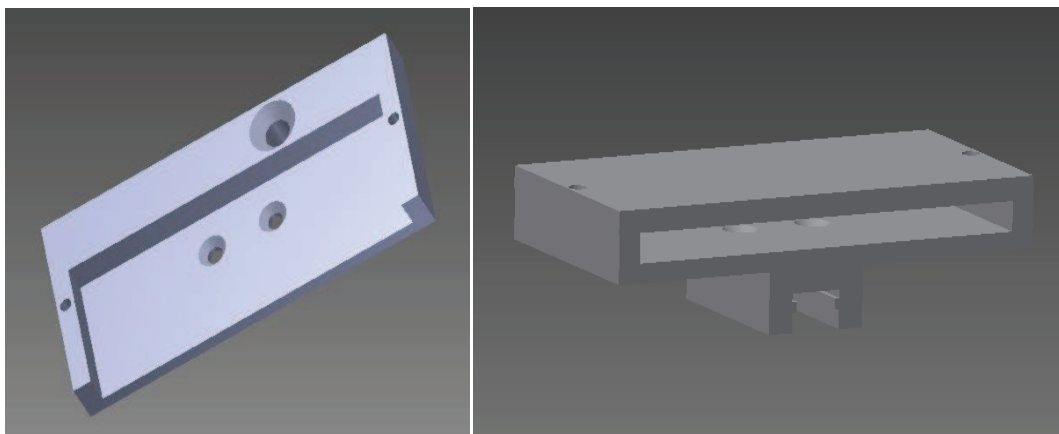
Obrázek 32. Hlavní deska přístroje s kolejnici ve 3D zobrazení: (a) deska, (b) detail

Jak je patrné z obrázku 33 a z výkresové dokumentace příloze 5, modře znázorněná hlavní deska je rozměrově totožná s vodící deskou. Hlavní deska je stejně jako deska vodící nasazena na čtyřech tyčích vycházejících z desky základní a s deskou vodící vymezuje prostor pro umístění ozubených hřebenů.



Obrázek 33. Poloha hlavní desky s kolejnici ve 3D zobrazení

Na kolejnici, která je součástí hlavní desky, je nasazen jezdec s přišroubovanou čelistí přístroje. Jezdec obsahuje valivé elementy, kterými jsou kuličky, napomáhající k snižování tření mezi kolejnici a jezdcem. Upínací čelist měřicího zařízení se skládá ze dvou částí. Po ověření funkčnosti čelisti s vyfrézovanou drážkou pro umístění testovaného materiálu, které probíhalo na dřevěném modelu v kapitole 6.2, byla spodní část čelisti na finálním měřicím zařízení opět vyrobena s totožným vyfrézováním, které umožní snadné vkládání testovaného materiálu bez jeho deformace v čelisti. Dva krajní otvory ve spodní části čelisti se závitem složí k přišroubování krycího plechu čelisti, dva otvory s kuželovým zahloubením ve vyfrézované části umožňují přišroubování k jezdcem a poslední nepopsaným otvorem prochází šroub spojující čelist s ozubeným hřebem, jak je patrné z obrázku 34 (a) a výkresové dokumentace vytvořené v programovém prostředí CAD v příloze 5.



(a)

(b)

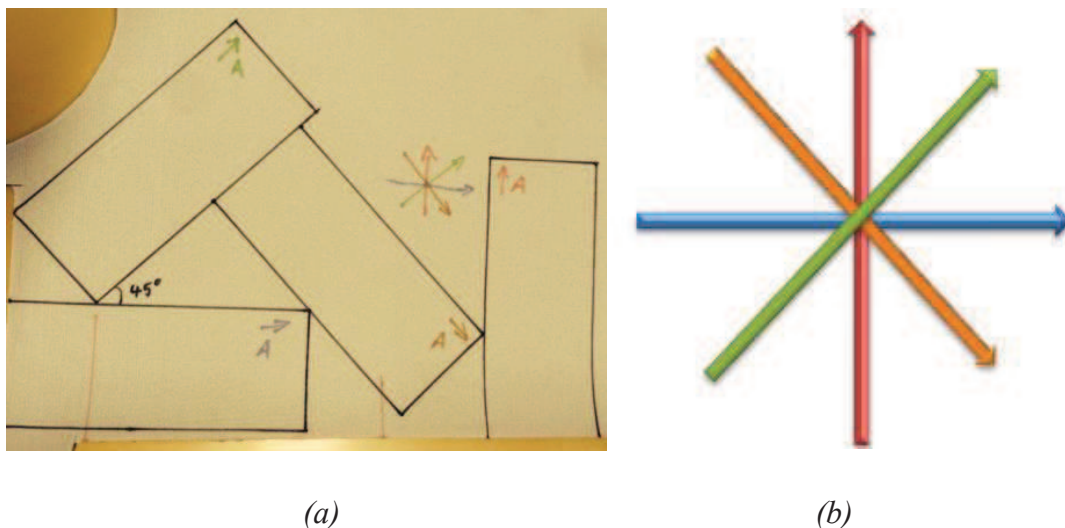
Obrázek 34. Čelist: a) 3D model spodní části, b) 3D model kompletní čelisti s jezdcem

Kuželové zahloubení umožní zapaštění hlavy šroubu, která následně nepřekáží při vkládání testovaného materiálu do čelisti po našroubování jezdcem. Testovaný materiál je vkládán do prostoru mezi vyfrézovanou částí čelisti a krycím plechem, viz obrázek 34 (b). V samotném experimentu bude měřena pouze dráha potřebná k vytvoření zlomu smyčky, není tedy potřebná úplná uzavřená smyčka testovaného materiálu, která vzniká úplným doražením čelistí přístroje. Z toho důvodu není krycí plech čelisti zkosen pod úhlem 45° , tak jak tomu bylo u přístrojů v kapitole 6.

8.2 Příprava vzorků

Před samotným experimentem je potřebná pečlivá příprava testovaných vzorků. Testované materiály byly nastříhány do tvaru obdélníku o rozměrech 170 a 70 mm. Pro urychlení přípravy vzorků byla zhotovena stříhová šablona o daných rozměrech, která byla následně pouze obkreslována, a tak mohly být vzorky stříhány bez neustálého přeměřování. Příprava materiálů probíhala ve čtyřech směrech, viz obrázek 34 (a).

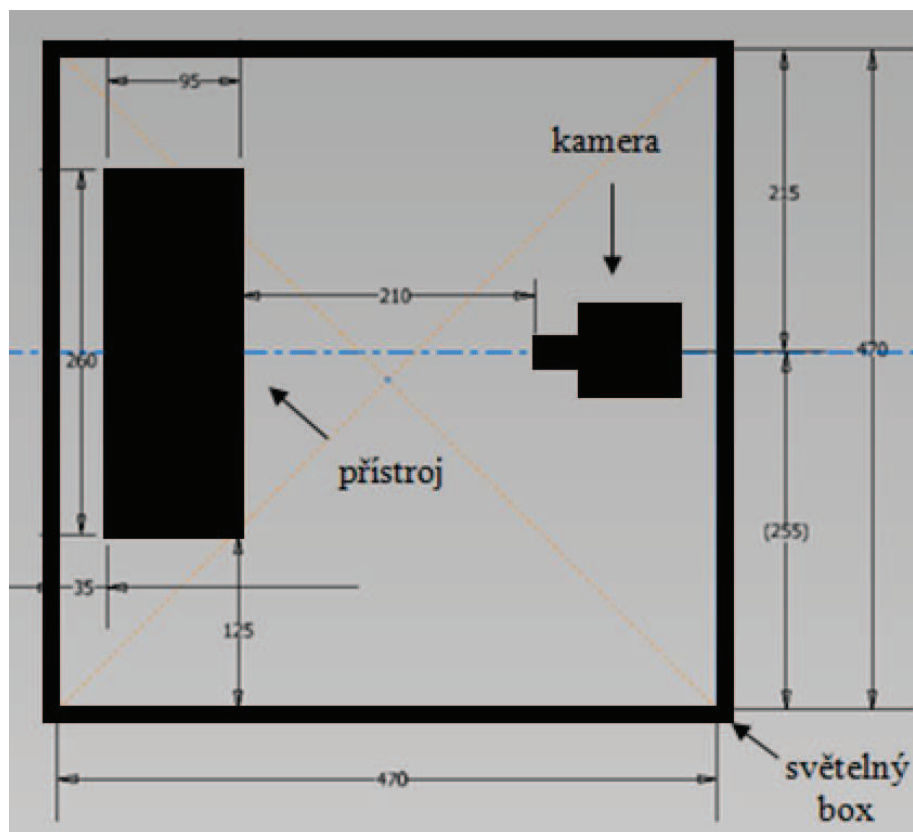
Na obrázku 35 (b) jsou vyobrazeny směry stříhu testovaného materiálu. Pro lepší orientaci v nastříhaném materiálu, byl každý směr označen jinou barvou. Červená barva znázorňuje stříh ve směru sloupku podšívkové pleteniny, modrá barva znázorňuje stříh ve směru řádku podšívkové pleteniny a hnědá s modrou barvou určují směr od červené a modré odchýlený vždy o 45° , jedná se tedy o směry šikmé.



Obrázek 35. Příprava vzorků: a) příprava pomocí stříhové šablony, b) orientace barev

8.3 Světelný box

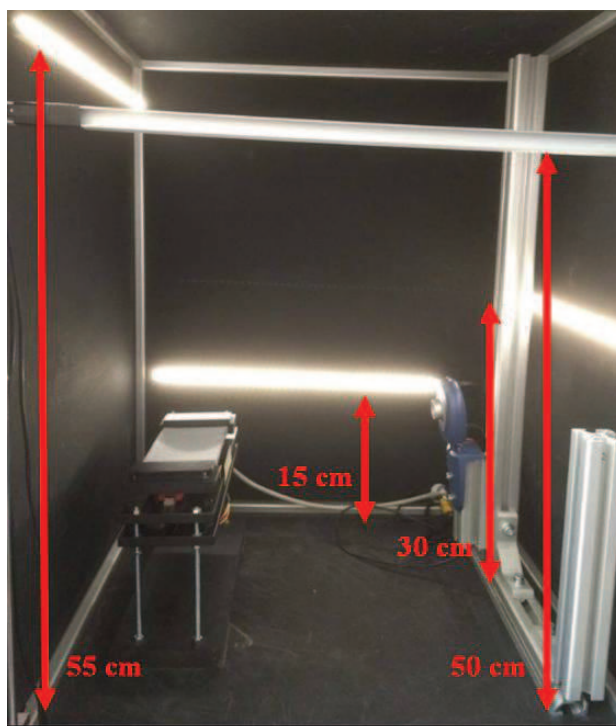
Po nastříhání testovaných vzorků je dalším krokem příprava pracoviště včetně přípravy měřicího zařízení. Měřicí zařízení je vloženo do levé části světelného boxu naproti rampě s kamerou. Schematický náčrten na obrázku 36 znázorňuje umístění přístroje ve světelném boxu včetně příslušných kót v milimetrech.



Obrázek 36. Umístění přístroje ve světelném boxu

Zařízení je vzdáleno 125 mm od přední strany boxu a 35 mm od boční stěny. Střed čočky kamery, která snímá obraz v průběhu měření, je ve výšce 190 mm od základny boxu a vzdálenosti 255 mm od přední strany boxu a 215 mm od zadní stěny.

Po vložení měřicího zařízení do světelného boxu je nutné seřadit intenzitu světla a nastavit optimální výšku čtyř světel vytvořených z diodových pásků. V každém rohu světelného boxu je vodící tyč, která umožňuje nastavení výšky příslušného diodového pásku, znamená to tedy, že na každé stěně boxu je vlastní osvětlení s možností nastavení výšky a intenzity světla. Optimální rozmístění světelných pásků ve světelném boxu je znázorněno na obrázku 37.



Obrázek 37. Optimální rozmístění světelných pásků

Bylo zjištěno, že optimální výška světelného pásku na zadní stěně světelného boxu je 15 centimetrů od podlahy boxu. Diodový pásek, který je umístěn za kamerou, je výšce 30 centimetrů, osvětlení v čelní stěně u dveří boxu je umístěno ve výšce 50 centimetru a poslední zdroj světla nad měřicím zařízením je ve výšce 55 centimetrů. Před samotným měřením je potřeba nastavit tuto přenou kombinaci výšek jednotlivých světel, díky které dochází k ideálnímu osvětlení testovaného materiálu. Posledním krokem v nastavení osvětlení je stanovit vhodnou intenzitu světla, která se dá ve světelném boxu regulovat. Snižováním a zvyšováním napětí na zdroji dochází k regulaci intenzity světla, kdy optimální hodnotou napětí na displeji zdroje bylo stanoveno 8 V. V průběhu měření byl však odhalen nedostatek v regulaci světla. Při změně napětí na zdroji dochází ke změně intenzity světla na všech diodových páskách zároveň. Přibližováním čelistí přístroje v průběhu experimentu dochází v určitých vzdálenostech ke vzniku drobných stínů, které vznikají právě díky přiblížení čelistí. Odstranění tohoto nedostatku by znamenalo snížení intenzity světla u diodových pásků, které jsou kolmé na směr pohybu čelistí, naopak u pásků za měřicím zařízením a za kamerou by byla intenzita světla zvýšena. Tato individuální regulace osvětlení není momentálně díky zapojení světel možná, je však možností další inovace světelného boxu.

8.4 Ovládací panel

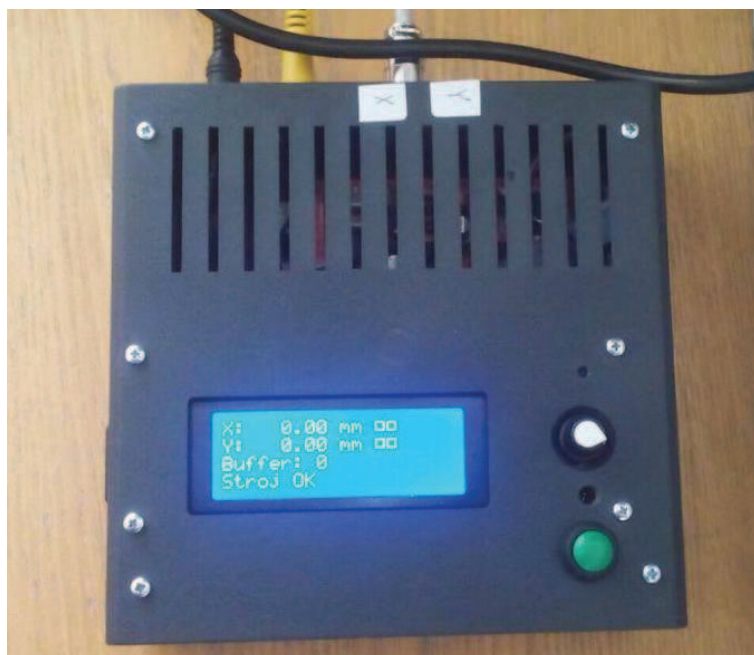
Dalším krokem experimentu je nastavení G-kódu, což je název programovacího jazyku, kterým se řídí například CNC obráběcí stroje. Nastavení kódu, který ovládá celé měřicí zařízení, se provádí v textovém souboru v počítači a kód je následně pomocí paměťové karty vložen do ovládacího panelu přístroje. Pomocí G – kódu je, dle potřeby experimentátora, umožněno nastavení rychlosti a dráhy posunu čelistí, frekvence snímání obrazu a počet měřicích cyklů. S rostoucím počtem měřicích cyklů dochází k cyklickému namáhání testovaného materiálu, čímž se do hodnocení promítnou i jeho reologické vlastnosti. Na obrázku 38 je znázorněna část měřicího cyklu v G-kódu a jsou zde vysvětleny funkce jednotlivých kódů. Celý experiment probíhal s konstantní rychlostí posunu čelistí.

```
F200 → rychlost posunu čelistí
;start loop 1 → začátek smyčky 1
G4 P1500 → pauza
M3 → zapnout kameru
M5 → vypnout kameru
G4 P2500 → pauza
G1 X10 → dráha posunu čelistí
M3 → zapnout kameru
M5 → vypnout kameru
G4 P2500 → pauza
```

Obrázek 38. Nastavení G-kódu

Testovaný materiál je do čelistí vždy vkládán stejně, a to rubní stranou nahoru. Po vložení testovaného vzorku do upínacích čelistí přístroje a uzavření světelného boxu, je posledním krokem experimentu spuštění měření pomocí ovládacího panelu. Součástí ovládacího panelu je jednoduchá počítačová deska, která je založena na platformě Arduino, viz kapitola 4. Vstupem ovládacího panelu je jeho napájení a výstupem je propojení s kamerou a s měřicím zařízením. Arduino deska ovládá své výstupy. Zapne a vypne motor přístroje a ovládá kameru snímající průběh měření. Aby deska vykonávala očekávanou činnost, je nezbytné správné vytvoření programu a vložení paměťové karty. Výhodou paměťové karty je možnost nahrání více programů zároveň, kdy experimentátor pouze volí a spouští potřebný program.

Zelené tlačítko na ovládacím panelu, viz obrázek 39, slouží k potvrzení vybraného programu a jeho zmáčknutím je zkouška zahájena. Ovládací panel také umožňuje pozastavení nebo úplné ukončení měření v průběhu zkoušky. Na displeji ovládacího panelu je možné sledovat průběh prováděné zkoušky v procentech. Po ukončení testování vymění experimentátor textilní vzorek a na ovládacím panelu spustí nové měření.



Obrázek 39. Ovládací panel měřicího zařízení

9 Závěrečné měření

Měření probíhalo na finálním měřicím zařízení v laboratoři na Katedře hodnocení textilií. Při přibližování čelistí přístroje dochází v určité vzdálenosti čelistí od sebe k vytvoření zlomu smyčky. Pomocí tohoto parametru byly hodnoceny všechny textilie dodané firmou ŠKODA AUTO a.s. a tato veličina byla označena jako deformační vzdálenost v milimetrech. Přestože v kapitole 6 byly popsány různé parametry, které by mohly být na vzniklé smyčce hodnoceny, pro ověření funkčnosti nově sestaveného přístroje a ověření správnosti navržené metodiky je hodnocení deformační vzdálenosti dostačující. Hodnocení zbylých parametrů smyčky by mohlo být náplní dalšího výzkumu.

9.1 Hledání optimálního programu

Význam jednotlivých kódů a způsob nastavení programu, pomocí kterého je ovládáno celé měřicí zařízení, je vysvětlen v kapitole 8.4. Při sestavování optimálního programu je potřeba znát nejen funkce dílčích kódů, ale také ohybové chování testovaných materiálů z důvodu stanovení optimálního intervalu snímání obrazu smyčky a optimálního kroku přibližování čelistí.

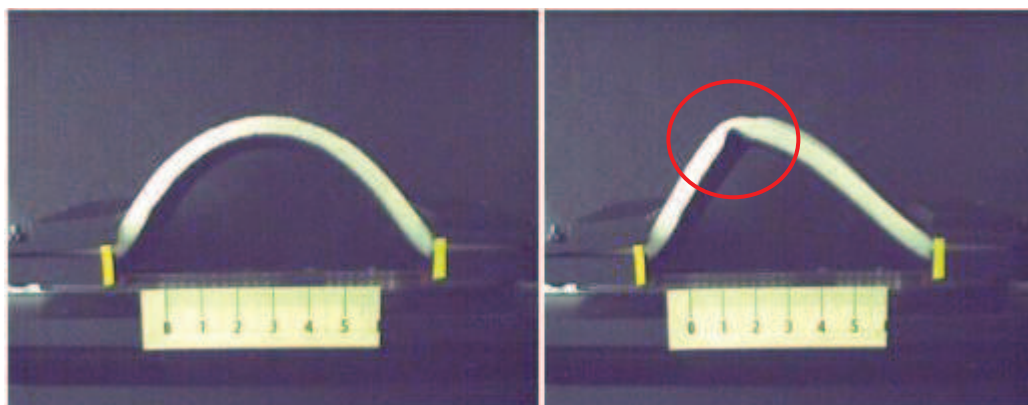
V případě, že by snímání obrazu smyčky probíhalo od počáteční polohy, tedy od úplného rozevření čelistí, až po polohu konečnou, tedy k úplnému přiblížení čelistí, bylo by pořízeno velké množství fotografií, které jsou k experimentu nejen nepotřebné, ale také prodlužují délku celého měření a jeho vyhodnocování. Z tohoto důvodu je nezbytné najít takové nastavení G – kódu, které bude z hlediska snímání obrazu a kroku posunu čelistí pro testované materiály vhodné. Znamená to, že ideální snímání fotografií by probíhalo pouze v malém intervalu okolo místa vzniku zlomu smyčky. Takové nastavení by mělo pozitivní vliv na délku celé operace a díky tomu by bylo umožněno v tomto krátkém intervalu snížit krok posunu čelistí, což by mělo za následek přesnější identifikaci místa zlomu smyčky. Byly sestaveny celkem tři varianty programů, které byly pojmenovány pracovními názvy Smyčka 1, Smyčka 2 a Smyčka 3.

9.2 Zkušební měření

Pro získání prvních ohybových charakteristik dodaných materiálů a pro ověření funkčnosti měřicího zařízení, bylo provedeno orientační měření a to na vzorcích označených písmeny: A, C, D, E, viz tabulka v příloze 1. Měření probíhalo v programu

Smyčka 1. Program Smyčka 1 byl nastaven tak, že v počáteční poloze byly čelisti měřicího zařízení od sebe vzdáleny 130 mm a krok posunu každé čelisti byl 5 mm. Každý krok v programu se skládal ze tří příkazů. Prvním příkazem z ovládacího panelu bylo posunutí každé čelisti měřicího zařízení o 5 mm, následoval příkaz pořízení snímku a pauza. Tyto kroky se opakovaly, dokud každá z čelistí neurazila dráhu 55 mm. Celková dráha přiblížení čelistí byla kratší než počáteční vzdálenost mezi čelistmi, v konečné fázi tedy nedocházelo k jejich úplnému dotyku. Následoval příkaz vrácení čelistí do počáteční polohy a pořízení snímku, který je rozhodující pro orientaci ve velkém množství fotografií. Výše popsané kroky jsou pouze první fází programu Smyčka 1. V další fázi dochází 3x k posunu čelistí z počáteční polohy do polohy konečné a zpět do počáteční, bez pořizování snímků v jednotlivých krocích. Poslední fáze je stejná s fází první, kdy dochází ke snímání obrazu při každém posunu čelistí o 5 mm. Program Smyčka 1 byl tedy rozdělen do třech fází. V první fázi dochází k vytvoření smyčky, včetně snímání obrazu v každém kroku. V druhé fázi dochází k cyklickému namáhání testovaného materiálu, bez nutnosti pořizování snímků. V poslední fázi programu Smyčka 1 je zaznamenávána tvorba smyčky po cyklickém namáhání. Porovnáním snímků z první fáze se snímky z fáze poslední, je umožněno sledovat vliv cyklického namáhání na deformační vzdálenost.

V programu Smyčka 1 je z každého testovaného materiálu výstupem 26 snímků. Identifikace místa vytvoření zlomu smyčky probíhala ručně, viz obrázek 40. Pro urychlení vyhodnocování byla vytvořena pomocná tabulka č. 1, ve které je každému snímku přiřazena příslušná vzdálenost přiblížení čelistí.



Obrázek 40. Identifikace místa zlomu smyčky

Tabulka č. 1 – Tabulka k vyhodnocování programu Smyčka 1

číslo snímku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
deformační vzdálenost [mm]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	x
číslo snímku	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
deformační vzdálenost [mm]	x	x	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110

U každé testované textilie byl v pořízených fotografiích identifikován vznik zlomu smyčky. Následně byla pomocí vyhodnocovací tabulky přiřazena snímku příslušná deformační vzdálenost. V tabulce č. 2 jsou zaznamenány průměrné hodnoty deformačních vzdáleností v milimetrech u testovaných materiálů. Od každého textovaného materiálu byly v tomto experimentu testovány čtyři vzorky, které byly nastříhány ve směrech, viz obrázek 35 (b). Bylo zjištěno, že u materiálů střížených v zeleném a hnědém směru dochází při měření k tzv. "stáčení" smyčky, při kterém nebylo možné identifikovat místo zlomu. Z tohoto důvodu byly dále měřeny pouze materiály střížené ve směru červeném a modrém, tedy ve směru sloupku a řádku pleteniny textilního sendviče. Výsledné deformační vzdálenosti jsou u každého testovaného materiálu v tabulce rozděleny na hodnoty před a po cyklickém namáhání.

Tabulka č. 2 – Naměřené hodnoty deformačních vzdáleností v programu Smyčka 1

název vzorku	A		C		D		E	
	před	po	před	po	před	po	před	po
červený směr def. vzdálenost [mm]	30	30	60	60	70	50	90	80
modrý směr def. vzdálenost [mm]	30	30	60	50	60	40	80	60
průměr [mm]	30	30	60	55	65	45	85	70

Zkušebním měřením bylo otestováno nejen finální měřicí zařízení, ale také vyhodnocení pořízených fotografií. Z naměřených dat v tabulce č. 2 lze předpokládat, že nejlepších hodnot nabývá materiál E, u kterého došlo k vytvoření zlomu smyčky v největší deformační vzdálenosti z testovaných materiálů. Naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny u materiálu s označením A. Dále lze předpokládat, že cyklické namáhání má vliv na deformační vzdálenost. Po namáhání testovaného materiálu dochází k vytvoření zlomu smyčky při menší deformační vzdálenosti. Závěry z tohoto měření jsou pouze předběžné. Z důvodu malého počtu měření není možné výsledky potřebně statisticky zpracovat, a tudíž nelze říci, zda jsou rozdíly v naměřených deformačních vzdálenostech jednotlivých materiálů statisticky významné.

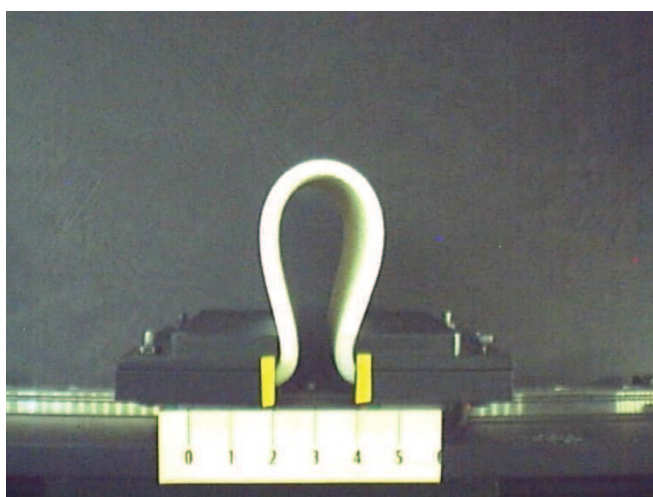
9.3 Testování všech materiálů

V následujícím měření bylo potřeba přesněji identifikovat místo vytvoření zlomu smyčky, z tohoto důvodu byl sestaven nový program s pracovním názvem Smyčka 2. Cílem experimentu nebylo zjistit závislost deformační vzdálenosti na cyklickém namáhání. Hlavním významem bylo co nejpřesněji určit deformační vzdálenosti jednotlivých testovaných materiálů s možností jejich porovnání. Program Smyčka 2 byl pouze jednofázový, kdy byla vynechána fáze namáhání materiálu a dalšího měření. Krok posunu každé čelisti byl snížen z 5 mm na 1 mm, z toho důvodu bylo výstupem 56 fotografií u každého testovaného materiálu. Opět byla vytvořena pomocná vyhodnocovací tabulka, pomocí které bylo možné podle čísla snímku určit deformační vzdálenost, viz kapitola 9.2. Od firmy ŠKODA AUTO a.s. byly dodány materiály o tloušťkách 4 mm a 6 mm. Z toho důvodu bylo provedeno rozdělení průměrných hodnot deformačních vzdáleností v mm do tabulky č. 3 a tabulky č. 4 podle tloušťky materiálu. Naměřené hodnoty v jednotlivých tabulkách nelze mezi sebou porovnávat, jelikož na každou část autopotahu, tedy středovou a univerzální oblast, se používá materiál s různou tloušťkou, jak bylo popsáno v kapitole 3. Znamená to, že na materiály jsou kladeny různé požadavky v závislosti na tloušťce textilního sendviče. Z důvodu nedostatku testovaného materiálů, byla u každého vzorku provedena pouze trojice měření v obou navzájem kolmých směrech, tedy v červeném a modrém.

Tabulka č. 3 – Hodnoty deformačních vzdáleností pro 4 mm vzorky

název vzorku	14	15	16	18	21	A	C	D	E	F
červený směr deformační vzdálenost [mm]	12,33	22,00	28,00	42,00	25,33	25,67	60,67	56,67	93,00	59,00
modrý směr deformační vzdálenost [mm]	79,33	60,67	53,00	81,33	44,00	27,67	60,33	61,67	87,33	59,00
průměr z obou směrů [mm]	45,83	41,33	40,50	61,67	34,66	26,66	60,50	59,17	90,17	59,00

Při experimentu bylo zjištěno, že u jediného materiálu č. 17, viz tabulka v příloze 1, nedochází k vytvoření zlomu smyčky ani po úplném přiblížení čelistí. Tento materiál lze označit jako ideální a tvar jeho smyčky v konečné fázi přiblížení čelistí je patrný z obrázku 41.



Obrázek 41. Ideální tvar smyčky

Z naměřených hodnot v tabulce č. 3 lze předpokládat, že nejvyšších hodnot deformačních vzdáleností po vzorku č. 17 nabývá vzorek s označením E, naopak nejnižších hodnot vzorek s označením A. Porovnáním tabulky č. 2 s tabulkou č. 3 bylo

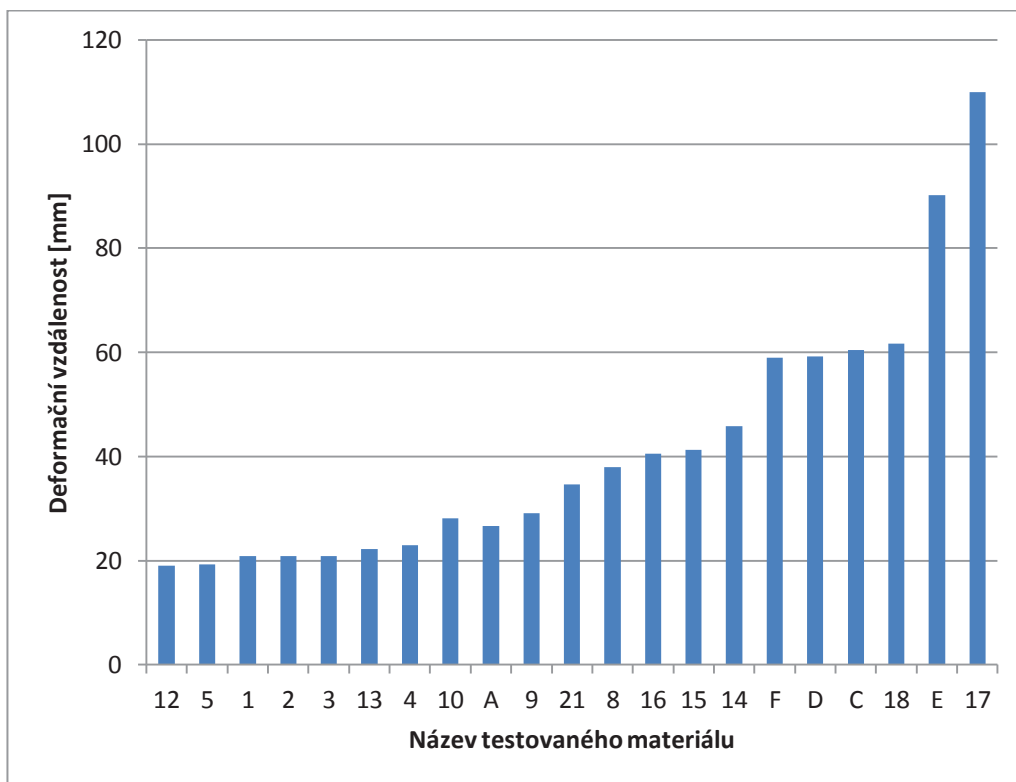
zjištěno, že u materiálů A – F byly naměřeny rozdílné hodnoty deformačních vzdáleností v závislosti na zvoleném programu. Lze předpokládat, že snížení kroku posunu čelistí v programu Smyčka 2 umožnilo přesnější identifikaci místa zlomu smyčky u jednotlivých testovaných materiálů.

Tabulka č. 4 – Hodnoty deformačních vzdáleností pro 6 mm vzorky

název vzorku	1	2	3	4	5	8	9	10	12	13
červený směr deformační vzdálenost [mm]	21,67	21,67	25,67	15,67	17,33	34,33	28,00	30,33	17,00	21,67
modrý směr deformační vzdálenost [mm]	20,00	20,00	16,00	30,33	21,33	41,67	30,33	26,00	21,00	22,67
průměr z obou směrů [mm]	20,83	20,83	20,83	23,00	19,33	38,00	29,17	28,17	19,00	22,16

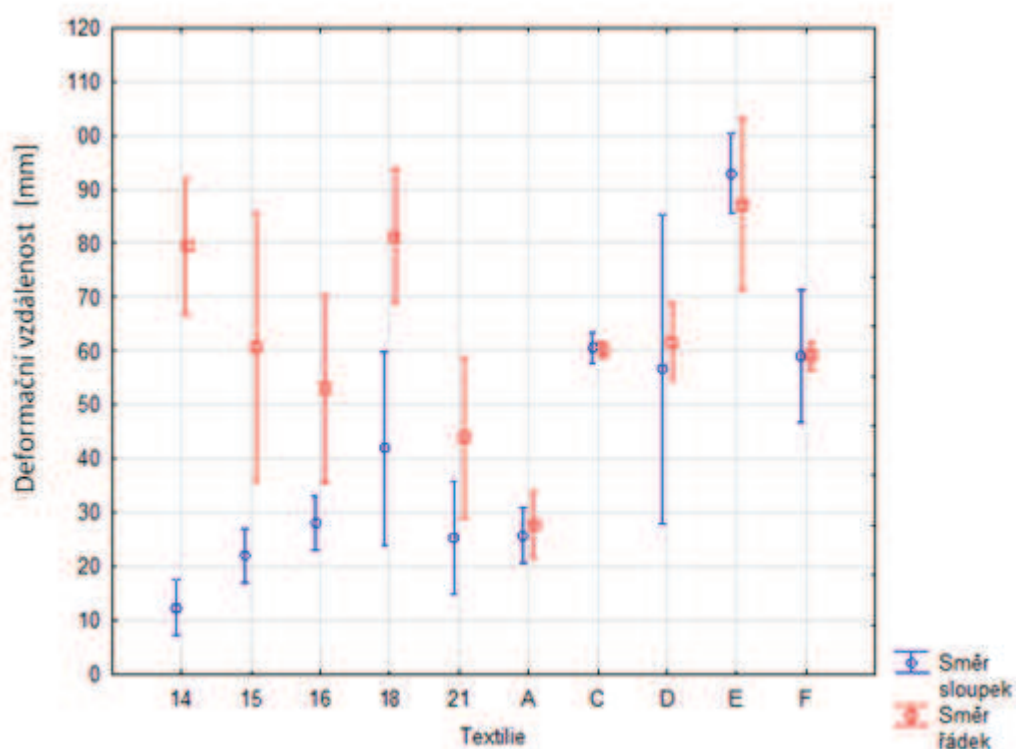
V tabulce č. 4 jsou uvedeny naměřené hodnoty deformačních vzdáleností pro 6 mm vzorky. Z naměřených hodnot lze předpokládat, že nejvyšších hodnot deformačních vzdáleností dosahuje vzorek č. 8 a naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny u vzorku č. 12. U vzorků s označením 1, 2 a 3 byly naměřeny stejné hodnoty deformačních vzdáleností. U vzorků s čísly 1 a 2 není toto zjištění překvapující, jelikož se jedná o shodné vzorky pouze v jiném barevném provedení, a díky tomu lze soudit, že bylo probíhající měření velice přesné.

Pro lepší orientaci v naměřených datech byly průměry deformačních vzdáleností z obou na sebe kolmých směrů pro obě skupiny tloušťky zaneseny do grafu, viz obrázek 42.



Obrázek 42. Grafické vyhodnocení

Jelikož u vzorku č. 17 nedošlo v průběhu měření k vytvoření zlomu smyčky, byla tomuto vzorku stanovena vzdálenost 110 mm, což je nejvyšší hodnota přiblížení čelistí. Z grafu je patrné, že nejnižší průměrná hodnota deformační vzdálenosti vyšla u materiálu s označením 12. Pokud by byla stanovena například minimální hodnota deformační vzdálenosti pro výrobu autopotahu 70 mm, mohly by být ušity autopotahy pouze z materiálů označených písmenem E a č. 17. Z grafu například nelze určit, který z materiálů C a č. 18 je vhodnější pro výrobu autopotahu. Přestože vyšších hodnot nabývá vzorek č. 18, nelze určit, zda je rozdíl deformačních vzdáleností v porovnání se vzorkem C statisticky významný. Z tohoto důvodu byla po ověření normality dat provedena analýza rozptylu ANOVA, jejíž výstupy jsou na obrázku č. 43 a 44.

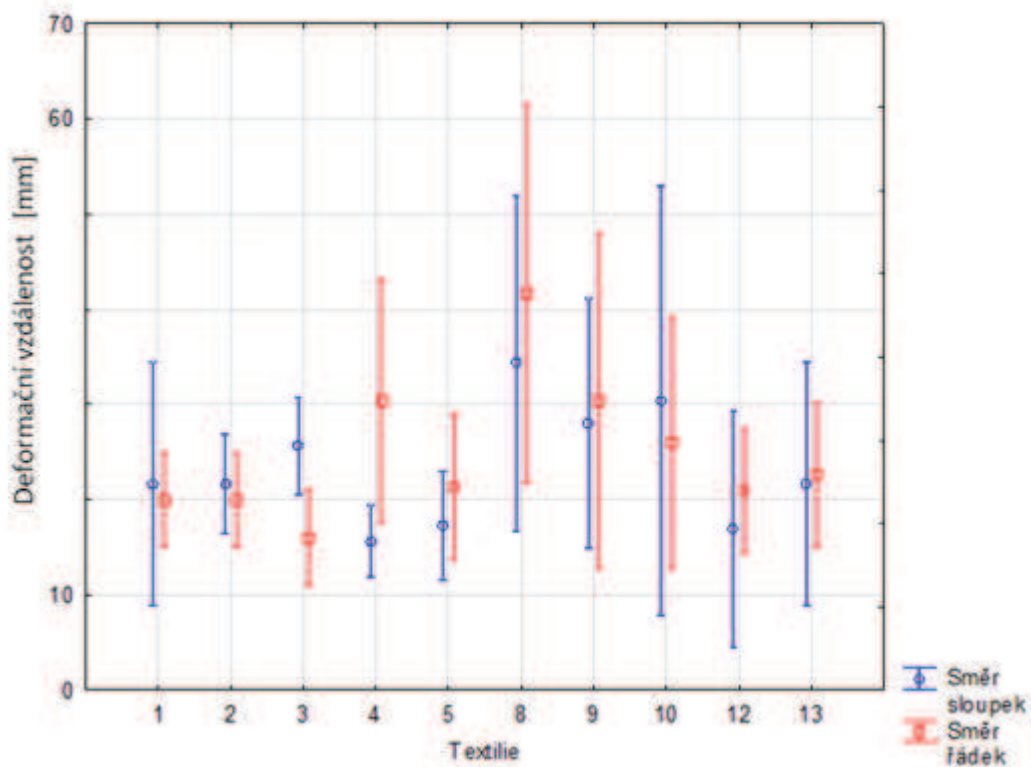


Obrázek 43. Vyhodnocení pro 4 mm vzorky

V grafu na obrázku č. 43 je vyhodnocení analýzy rozptylu pro 4 mm vzorky pomocí programu Statistica12. Vertikální úsečky u každého testovaného vzorku znamenají 95 % interval spolehlivosti. Pokud se u jednotlivých testovaných materiálů tyto intervaly protínají, nelze pouze z grafu vyčíst, zda je rozdíl mezi těmito materiály statisticky významný. Z tohoto důvodu byl proveden Posthoc test pro zjištění statistické významnosti jednotlivých rozdílů. Z důvodu malého počtu měření byl vybrán Tukeyův HSD test. V příloze č. 6 jsou uvedeny tabulky p hodnot Tukeyova HSD testu pro určení statistické významnosti u 4 mm a 6 mm vzorků. Červené hodnoty v tabulce určují, že je rozdíl mezi danou kombinací testovaných materiálů statisticky významný a černá čísla znamenají rozdíly statisticky nevýznamné na hladině významnosti 5%. Nyní již lze pomocí tabulky v příloze 6 odpovědět na otázku, zda je rozdíl mezi vzorkem C a č. 18 statisticky významný. Bylo zjištěno, že rozdíl mezi vzorkem C a č. 18 je na hladině významnosti 5 % statisticky významný pro směr sloupku i řádku. Vyšších hodnot dosáhl vzorek C ve směru sloupku, než vzorek č. 18. Naopak ve směru řádku nabývá vyšších hodnot vzorek č. 18.

Nejvyšších hodnot deformační vzdálenosti ve směru řádku jsou z grafu patrné u materiálů E, 18, 15 a 14. Materiál označený č. 17, u kterého nedošlo k vytvoření zlomu smyčky, nebyl do grafu zanesen, jelikož není pochyb o jeho nejvyšší hodnotě deformační vzdálenosti. Bylo zjištěno, pomocí tabulky statistických významností, že na hladině významnosti 5% nejsou rozdíly mezi vzorky E, 18 a 14 statisticky významné. Ve směru sloupku nejvyšší hodnoty dosahuje vzorek E a v porovnání se vzorkem D je jejich rozdíl statisticky významný.

Z grafu na obrázku č. 44 je patrné, že hodnoty deformační vzdálenosti jsou nižší u 6 mm vzorku v porovnání s 4 mm vzorky.



Obrázek 44. Vyhodnocení pro 6 mm vzorky

Z grafu je patrné, že testování u 6 mm vzorků probíhalo opět ve směru sloupku a řádku. U vzorků s označením č. 8, 9 a 10 byly naměřeny větší intervaly spolehlivosti v porovnání například s materiály č. 2 a 3. Toto zjištění souvisí s homogenitou jednotlivých materiálů, která je do značné míry ovlivněna způsobem výroby jednotlivých vrstev textilního sendviče a také například laminací. Kombinace statistických významností mezi jednotlivými materiály je uvedena v příloze 7. Nejvyšší

hodnoty ve směru sloupku byly naměřeny u materiálů č. 8,9 a 10. Mezi těmito materiály nejsou rozdíly deformačních vzdáleností statisticky významné. Nejvyšších hodnot ve směru řádku dosáhly materiály č. 8, 9 a 4 a jejich rozdíly nejsou opět statisticky významné.

Závěry z obrázku č. 43 a 44 jsou pouze částí z velkého množství závěrů, které by mohly z grafů na obrázcích vyplývat. Jednalo se o ukázkou práce s grafem a s hodnotami p v tabulce Tukeyova HSD textu v příloze 6.

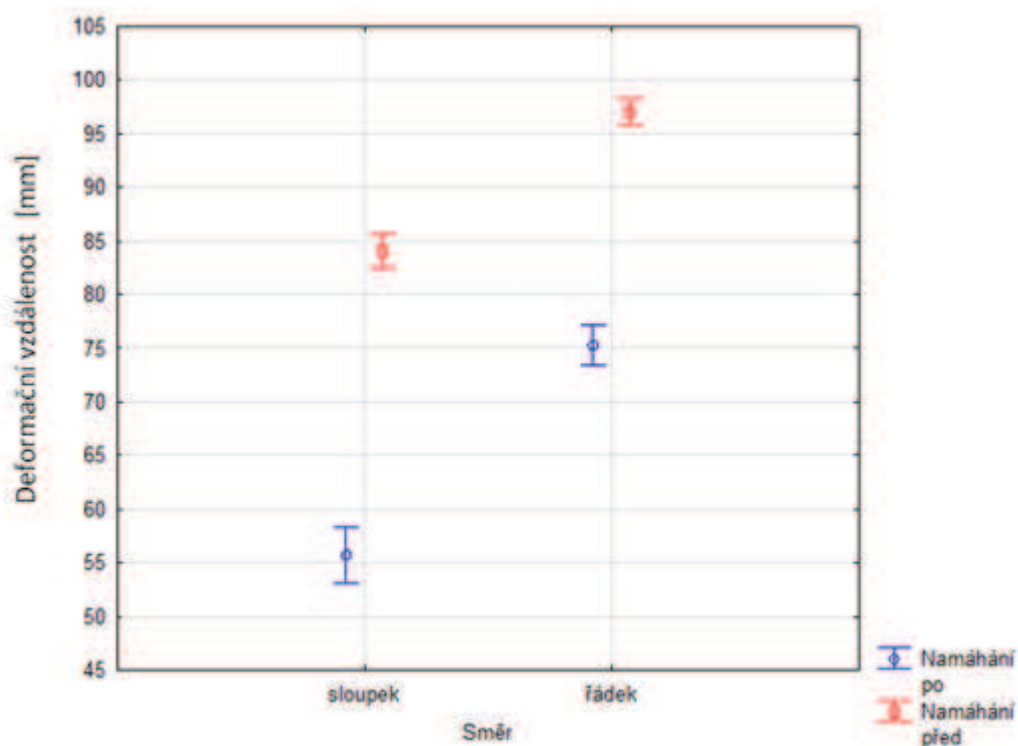
9.4 Podrobné měření pro jeden materiál

Od firmy ŠKODA AUTO a.s. byly dodány textilie v omezeném množství, z toho důvodu byly v předchozím experimentu počítány průměrné hodnoty pouze ze tří měření. V podrobném měření byla testována textilie s označením E, které byl dostatek. Bylo provedeno 20 měření ve směru řádku i sloupku testované textilie.

Z důvodu velkého počtu měření, byla provedena inovace programu Smyčka 2 pojmenovaná pracovním označením Smyčka 3. Krok posunu každé čelisti byl opět stanoven na 1 mm, jelikož se v předchozím programu Smyčka 2 tento krok osvědčil. Chování textilie E z hlediska deformační vzdálenosti smyčky bylo otestováno v předchozím experimentu. Díky této znalosti nemusela být počáteční poloha programu Smyčka 3 v úplném rozevření čelisti a konečná poloha v jejich úplném přiblížení. Měření v programu Smyčka 3 začínalo v deformační vzdálenosti 56 mm, nikoliv 0 mm, jak tomu bylo v předcházejících programech. Z důvodu vysoké odolnosti testovaného materiálu, byla konečná poloha opět stanovena na 110 mm. Program Smyčka 3 byl stejně jako program Smyčka 1 třífázový, a z toho důvodu bylo možné sledovat vliv cyklického namáhání na deformační vzdálenost. Z naměřených dat byla po ověření normality provedena analýza rozptylu a Posthoc test. Vyhodnocení probíhalo opět v programu Statistical2 včetně grafického znázornění, viz obrázek 45 a základní statistiky v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5 – Základní statistika podrobného měření

	PŘED	PO
průměr červený směr	84,10	57,7
průměr modrý směr	97,10	75,3
sm. odchylka červený směr	3,25	5,34
sm. odchylka modrý směr	2,40	3,76
var. koef. červený směr	0,04	0,09
var. koef. modrý směr	0,02	0,05



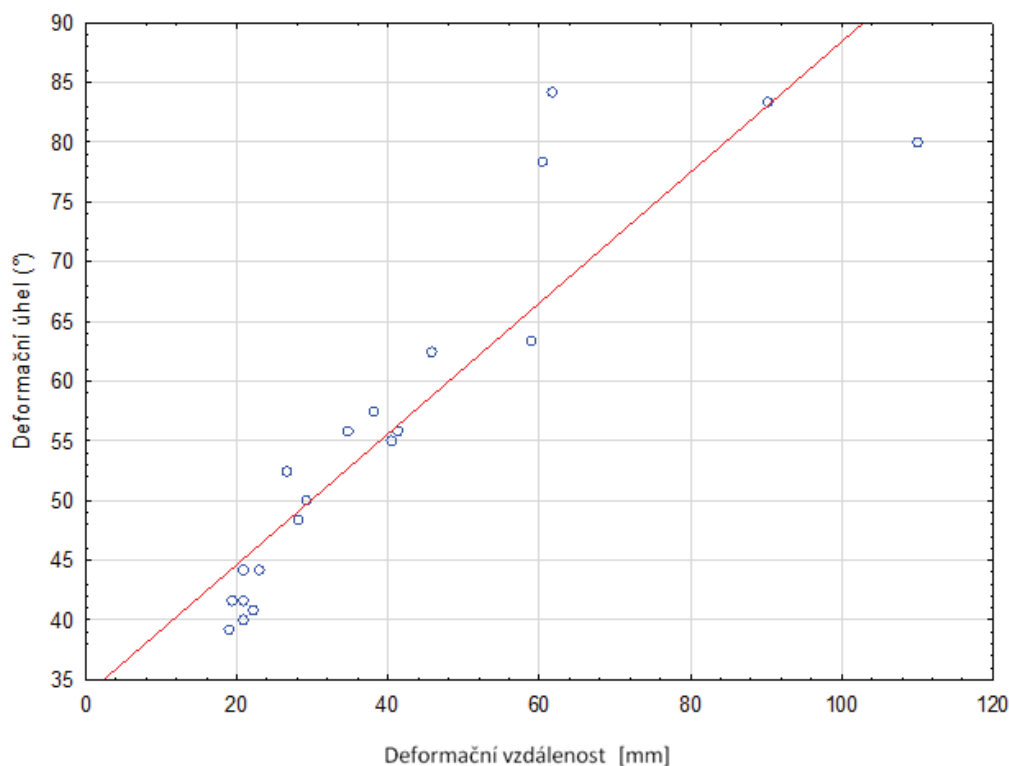
Obrázek 45. Vyhodnocení podrobného měření

Z grafu na obrázku č. 45 je patrné, že vyšší hodnoty deformační vzdálenosti byly naměřeny ve směru řádku testované textilie. Dále bylo zjištěno, že před cyklickým namáháním textilie vykazuje vyšší hodnoty deformační vzdálenosti. Na hladině významnosti 5% jsou všechny rozdíly deformačních vzdáleností statisticky významné, viz tabulka Tukeyova HSD testu v příloze 7.

9.5 Porovnání výsledků s paralelně probíhajícím výzkumem

Současně probíhající výzkum se zabýval hodnocením vzhledového defektu – vrásky na textilií použitím principu cyklického mačkání textilie. Sledovaným parametrem byl úhel deformace, který byl měřen na přístroji se dvěma otočnými čelistmi založeném na principu, viz kapitola 1.6.

Měření deformační vzdálenosti a deformačního úhlu probíhalo na stejných textiliích dodaných firmou ŠKODA AUTO a.s. Průměrné hodnoty z tabulky č. 3 a 4 z kapitoly 9.3 posloužily k vytvoření korelační analýzy s průměrnými hodnotami z paralelního výzkumu. Tento srovnávací test naměřených dat byl vytvořen z důvodu ověření správnosti navržené metodiky. Korelační analýza byla zhotovena v programu Statistica12 včetně grafického znázornění, viz obrázek 46.



Obrázek 46. Korelační analýza

Pomocí softwaru Statistica12 byl vypočítán korelační koeficient $r = 0,9064$. Korelační koeficient je statisticky významný, neboť $p < 0,01$. Vztah mezi deformační vzdáleností a deformačním úhlem lze vyjádřit pomocí lineární regresní funkce dle rovnice č. 5:

$$y = 33,7049 + 0,5473 * x. \quad (5)$$

Vysoká hodnota korelačního koeficientu určuje velmi silnou závislost mezi testovanými metodami. Tímto testem byla ověřena správnost navržené metodiky.

Závěr

Cílem diplomové bylo navrhnout funkční přístroj pro hodnocení zlomové vrásky na textilií určené pro potah automobilových sedaček a ověřit princip jeho fungování na textiliích dodaných firmou ŠKODA AUTO a.s. V teoretické části práce byly uvedeny definice ohybové tuhosti a popsány principy užívaných přístrojů k jejímu měření a testování. Na základě informací získaných z těchto odborných textů byly v praktické části práce navrženy tři prototypy měřicího zařízení, na kterých byly demonstrovány různé možnosti konstrukčních prvků.

První prototyp měřicího zařízení byl sestaven s jednou pevnou a jednou pohyblivou čelistí vykonávající pohyb v horizontálním směru. Testovaný vzorek byl upevněn svými konci do čelistí a jejich postupným přibližováním docházelo k vrásnění textilie a vzniku smyčky, jejíž tvary byly v konečné fázi posunu čelistí pomocí kamery snímány a hodnoceny. Na prototypu zařízení s jednou pohyblivou čelistí bylo zjištěno, že při přibližování čelistí dochází k vytvoření zlomu smyčky u různých materiálů v různých vzdálenostech čelistí od sebe. Byl tedy objeven parament, pomocí kterého byly hodnoceny testované materiály v experimentu. Dále bylo naznačeno, jaké ostatní parametry smyčky by mohly být hodnoceny. Bylo zjištěno, že upevnění testovaného materiálu v čelistech prvního prototypu není vhodné, z důvodu deformace textilie v čelisti, což ovlivňovalo následné měření. U druhého prototypu měřicího zařízení již nedocházelo k deformaci textilie v čelistech, jelikož čelisti tohoto zařízení byly zkonstruovány s vyfrézovanou drážkou pro testovaný materiál. Vzhledem k tomu, že bylo objeveno rozdílné chování testovaných materiálů v závislosti na rozpětí čelistí, bylo nutné snímat smyčku v průběhu celé fáze přibližování čelistí, nikoliv pouze ve fázi konečné. Z tohoto důvodu byl druhý prototyp sestaven ze dvou pohyblivých čelistí a kamery snímající obraz v jednotlivých krocích posunu. Poslední inovací byla upínací čelist s možností jejího nastavení podle tloušťky testovaného materiálu na třetím prototypu měřicího zařízení.

Po ověření funkčnosti jednotlivých konstrukčních prvků na prototypech, bylo sestaveno finální měřicí zařízení včetně pečlivé dokumentace vytvořené v programovém prostředí CAD. Na tomto zařízení bylo provedeno rozsáhlé měření deformace smyčky vytvořené z textilie v závislosti na přibližování čelistí přístroje. Tato veličina byla pojmenována deformační vzdálenost v [mm] a byla rozhodovacím kritériem při porovnávání kvality jednotlivých materiálů. Celý experiment, včetně umístění přístroje ve světelném boxu, nastavení světla, nastavení příslušného měřicího programu a ovládání

zařízení pomocí panelu, byl podrobně popsán z důvodu potřebné přesné reprodukovatelnosti.

Bylo provedeno orientační měření, které umožnilo přibližnou orientaci v řešené problematice a výběr vhodného programu a nastavení přístroje pro měření přesné. Dále byly naměřeny hodnoty deformačních vzdáleností u všech materiálů dodaných formou ŠKODA AUTO a.s. Z důvodu omezeného množství dodaného materiálu, byl výsledkem finálního měření průměr deformační vzdálenosti ze tří měření. Materiály byly testovány ve směru sloupku a řádku a výsledné hodnoty byly rozděleny do tabulek dle tloušťky testovaného materiálu 4 mm a 6 mm. Získaná data byla statisticky vyhodnocena včetně grafického znázornění. Bylo zjištěno, že vyšší hodnoty deformačních vzdáleností byly naměřeny u materiálů s tloušťkou 4 mm. V posledním experimentu byl důkladně otestován materiál s označením E. Tohoto materiálu bylo dodáno velké množství, z toho důvodu mohlo být provedeno 20 měření pro směr sloupku i řádku. Měření probíhalo v nastaveném programu, jehož součástí byla fáze cyklického namáhání textilie. Výsledné hodnoty byly rozděleny dvěma faktory, a to směrem (sloupek, řádek) a stavem (před a po namáhání). Bylo zjištěno, že vyšší hodnoty deformačních vzdáleností byly naměřeny ve směru řádku testované textilie a že cyklické namáhání má na ni zásadní vliv. Po namáhání materiálu byla v obou směrech naměřena menší deformační vzdálenost.

Použitá metodika byla na závěr ověřena s paralelně probíhajícím výzkumem pomocí korelační analýzy. Současně probíhající výzkum se zabýval hodnocením vzhledového defektu – vrásky na textilii použitím principu cyklického mačkání textilie. Sledovaným parametrem byl úhel deformace, který byl měřen na přístroji se dvěma otočnými čelistmi. Tento srovnávací test naměřených dat byl vytvořen z důvodu ověření správnosti navržené metodiky. Korelační analýza byla zhotovena v programu Statistica12 včetně grafického znázornění. Byl vypočítán korelační koeficient $r = 0,9064$. Vysoká hodnota korelačního koeficientu určuje velmi silnou závislost mezi testovanými metodami. Tímto testem byla ověřena správnost navržené metodiky.

Otázkou dalšího výzkumu by mohlo být sledování a měření ostatních parametrů smyčky, jako je například její výška, šířka a plocha. Další výzkum by se také mohl zabývat zpracováním pořízených snímků smyčky pomocí obrazové analýzy, což by byl poslední krok k plné automatizaci měřicího zařízení.

Zdroje

- [1] ČSN 80 0858. Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií. Praha: Vyd. ÚNM, 1974. 8s
- [2] STANĚK, J. Nauka o textilních materiálech: díl I, část 4, Vlastnosti délkových a plošných textilií. Liberec: VŠST, 1988.
- [3] SHINOHARA, A. a S. YAMAUCHI. Measuring Flexural Rigidity of Fabric. Textile Machinery Society of Japan, 1966, [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://online.sagepub.com/>
- [4] KOVAČIČ, V. Textilní zkušebnictví 2, 1. vydání, Liberec, Katedra textilních materiálů, Technická univerzita v Liberci 2004, ISBN 80-7083-825-6
- [5] PECH, M. Anizotropie ohybu textilií. Liberec, 2010. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí bakalářské práce Ludmila Fridrichová.
- [6] FRIDRICHOVÁ, L. K problematice ohybové tuhosti textilií. Liberec, 2008. Habilitační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [7] Ins3.4_GQ-31_29. Determinación del ángulo de quebradura en tejidos para asientos. 2004. 5s
- [8] BOSTWICK, O., P.R. WILKINSON a R.M. HOFFMAN. The Effects of Wear and Laundering on the Wrinkling of Fabrics. Textile Research Journal [online]. 1959, (no. 8 652-660) [cit. 2016-05-21]. DOI: 10.1177/004051755902900806. Dostupné z: <http://online.sagepub.com/>
- [9] KAWABATA, Sueo. The standardization and analysis of hand evaluation. Textile Machinery Society of Japan, 1980, [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://online.sagepub.com/>
- [10] KOPP, C. a D. CHRISTOPHER. Measuring Deformations of Limp Fabrics for Material Handling [online]. 2000, [cit. 2016-05-21]. DOI: 10.1177/004051750007001012. Dostupné z: <http://online.sagepub.com/>

- [11] PREVORSEK, D.C. a R.H. BUTLER. Influence of Fiber Properties on Wrinkling Behavior of Fabrics [online]. 1975, [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://online.sagepub.com/>
- [12] ČERMÁKOVÁ, S. Vliv způsobu laminování na prodyšnost sendvičové textilie s Embossingem a danou tloušťkou laminátu pro autopotahy. Liberec, 2015. Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec. Vedoucí bakalářské práce Vladimír Bajzík.
- [13] VODA, Z. Průvodce světem Arduina. Bučovice, 2015, ISBN 978-80-87106-90-7
- [14] BARTOŇ, P. Porovnání CAD systému. České Budějovice, 2014. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí bakalářské práce Alena Polachová.
- [15] CAD Studio [online]. [cit. 13. 03. 2017]. Dostupný z: <http://www.cadstudio.cz>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1:	Tvar textilního vzorku před a během stlačení	12
Obrázek č. 2:	Metoda měření tuhosti v ohybu podle Sommer	12
Obrázek č. 3:	Přístroj pro stanovení tuhosti v ohybu Cantilever test	13
Obrázek č. 4:	Měření ohybu metodou převis	14
Obrázek č. 5:	Hysterzní smyčka ohybu	15
Obrázek č. 6:	Porovnání přístroje TH-5 a TH-7	16
Obrázek č. 7	Lom přes celou šíři zkušební vzorku	17
Obrázek č. 8	Síla působící na smyčku tkaniny	18
Obrázek č. 9	Horizontální směr deformace	19
Obrázek č. 10	Možné tvary při vlastním kontaktu	20
Obrázek č. 11	Testování jednotlivých vláken	22

Obrázek č. 12	Zotavení textilie	23
Obrázek č. 13	Části autopotahu	24
Obrázek č. 14	Textilní sendvič	25
Obrázek č. 15	Lom na textili	32
Obrázek č. 16	Závada na automobilové sedačce	33
Obrázek č. 17	Vzorky tvořící defekt	33
Obrázek č. 18	Vyhovující materiály	33
Obrázek č. 19	Tvorba smyčky	35
Obrázek č. 20	Posuvná čelist	35
Obrázek č. 21	Možné parametry k testování	36
Obrázek č. 22	Dřevěný model s posuvnými čelistmi	36
Obrázek č. 23	Upevnění materiálu v dřevěné čelisti	37
Obrázek č. 24	Měřicí zařízení s nastavitelnými čelistmi ve 3D zobrazení	38
Obrázek č. 25	Zobrazení nastavitelné upínací čelisti ve 3D	38
Obrázek č. 26	Dráha potřebná k vytvoření zlomu smyčky	39
Obrázek č. 27	Šířka smyček testovaných materiálů	40
Obrázek č. 28	Potřebné vybavení pracoviště	41
Obrázek č. 29	Finální měřicí zařízení	42
Obrázek č. 30	Zobrazení finálního přístroje ve 3D	43
Obrázek č. 31	Vodící deska s hřebeny ve 3D	43
Obrázek č. 32	Hlavní deska přístroje s kolejnicí ve 3D zobrazení	44
Obrázek č. 33	Poloha hlavní desky s kolejnicí ve 3D zobrazení	44
Obrázek č. 34	Čelist	45

Obrázek č. 35	Příprava vzorků	46
Obrázek č. 36	Umístění přístroje ve světelném boxu	47
Obrázek č. 37	Optimální rozmístění světelných pásků	48
Obrázek č. 38	Natavení G-kódu	49
Obrázek č. 39	Ovládací panel měřicího zařízení	50
Obrázek č. 40	Identifikace místa zlomu smyčky	52
Obrázek č. 41	Ideální tvar smyčky	55
Obrázek č. 42	Grafické vyhodnocení	57
Obrázek č. 43	Vyhodnocení pro 4 mm vzorky	58
Obrázek č. 44	Vyhodnocení pro 6 mm vzorky	59
Obrázek č. 45	Vyhodnocení podrobného měření	61
Obrázek č. 46	Korelační analýza	62
Obrázek č. 47	Výkres prvního prototypu přístroje	69
Obrázek č. 48	Základna měřicího zařízení s kótami v milimetrech	70
Obrázek č. 49	Bočnice měřicího zařízení s kótami v milimetrech	70
Obrázek č. 50	Nastavitelná upínací čelist s kótami v milimetrech	71
Obrázek č. 51	Bočnice nastavitelné upínací čelisti s ryskou	71
Obrázek č. 52	Krycí plech zkosený s kótami v milimetrech	72
Obrázek č. 53	Otvor pro nastavování upínacích čelistí	72
Obrázek č. 54	Výkres čelisti finálního měřicího zařízení	74
Obrázek č. 55	Výkres jezdce finálního měřicího zařízení	75
Obrázek č. 56	Výkres základní desky finálního měřicího zařízení	76
Obrázek č. 57	Výkres vodící desky finálního měřicího zařízení	77

Obrázek č. 58	Výkres hlavní desky finálního měřicího zařízení	78
Obrázek č. 59	Výkres ozubeného hřebene finálního měřicího zařízení	79

Seznam tabulek

Tabulka č. 1	Tabulka k vyhodnocování programu Smyčka 1	53
Tabulka č. 2	Naměřené hodnoty deformačních vzdáleností Smyčka 1	53
Tabulka č. 3	Hodnoty deformačních vzdáleností pro 4 mm vzorky	55
Tabulka č. 4	Hodnoty deformačních vzdáleností pro 6 mm vzorky	56
Tabulka č. 5	Základní statistika podrobného měření	61
Tabulka č. 6	Testované materiály	68
Tabulka č. 7	Základní statistické zpracování dat deformačních vzdáleností	73
Tabulka č. 8	Základní statistické zpracování dat šířky smyček	73
Tabulka č. 9	Kritické hodnoty významnosti pro 4 mm vzorky	80
Tabulka č. 10	Kritické hodnoty významnosti pro 6 mm vzorky	81
Tabulka č. 11	Kritické hodnoty významnosti pro podrobné měření	82

Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka testovaných materiálů	70
Příloha 2: Výkres měřicího zařízení s jednou pohyblivou čelistí	72
Příloha 3: Výkres měřicího zařízení se dvěma pohyblivými čelistmi	73
Příloha 4: Statistické zpracování dat z měření	76
Příloha 5: Výkres finálního měřicího zařízení	77
Příloha 6: Hodnoty Tukeyova HSD testu	83

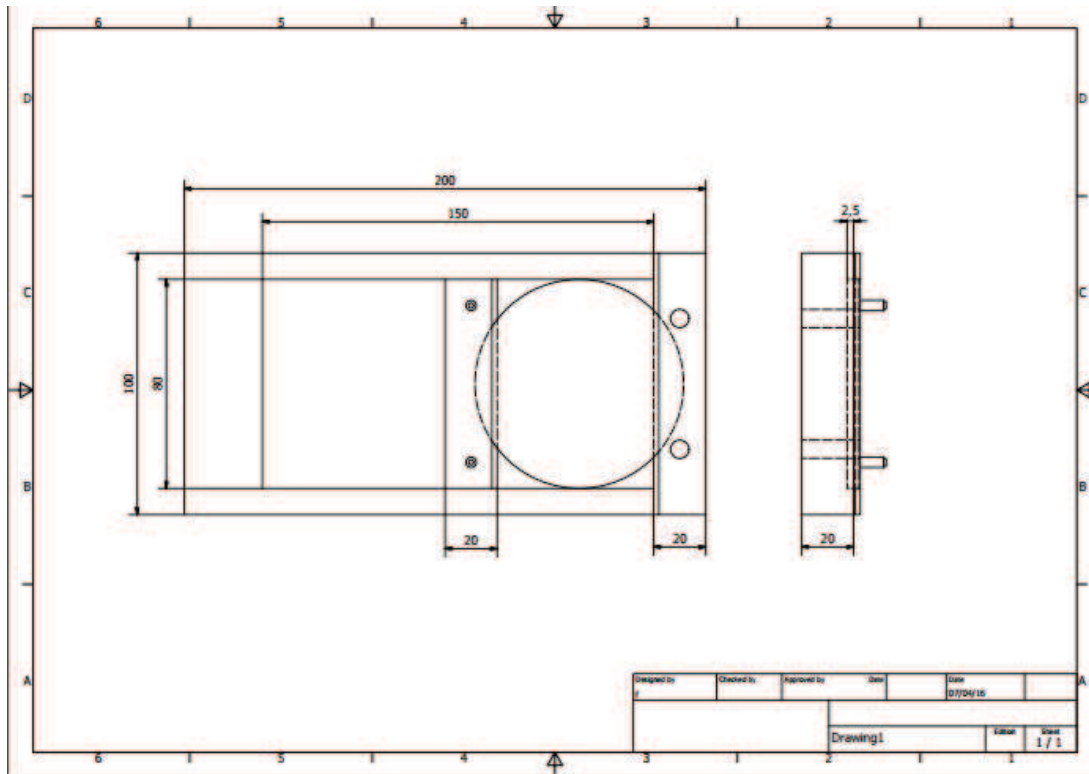
Příloha 1

Tabulka 6 – Testované materiály

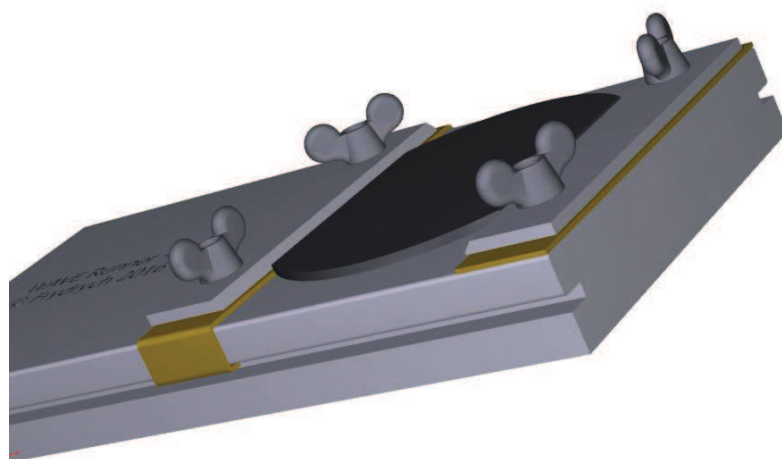
Číslo vzorku	Název vzorku	Tloušťka	Barva	Osnova	Útek	Jemnost osnova	Jemnost útek	Plošná hmotnost svrchního materiálu	Podšívka	Celková plošná hmotnost	Složení	Výrobce	Ks
[-]	[-]	[mm]	[-]	[niti/10 cm]		[dtex]		[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[-]	[-]	[-]
1		6	Schwarz/weiss	340	270	540	200	285					4
2		6	Schwarz/rot	340	270	540	200	285					4
3		6	Naturbraun	280	200			240	38	500	56%PES/44%PUR		4
4		6	Schwarz			830	570	310	38	580	60%PES/40%PUR		4
5		6	Beige			770	570	310	38	580	60%PES/40%PUR		4
6		6	Stonebeige	330	230	340	340	200	38	640	37%PES/63%PUR		4
7		6	Satinschwarz	330	230	340	340	200	38	640	37%PES/63%PUR		4
8		6	Schwarz			48x2	550	325	38	610	60%PES/40%PUR		4
9		6,7	Silbergrau	150	120			310					4
10		6,7	Corrida red	150	120			310					4
11		6	Black			167	334	250	38	570	55,5%PES/49,5%PUR		4
12		6	Stonebeige	320	180	410	410	215	38	490	52%PES/48%PUR		4
13		6	Satinschwarz	320	180	410	410	215	38	490	52%PES/48%PUR		5
14		3,4	Anthrazit			520	370	210	38	380	70%PES/30%PUR		4
15		3,4	Toscana			167x3	370	210	38	380	70%PES/30%PUR		4
16		3,3	Beige			770	570	310	38	450	77%PES/23%PUR		4
17		4	Stonebeige	320	180	410	410	215	195 pěna	410	52%PES/48%PUR		4
18		3,8	Satinschwarz	320	260	330	330	500	38	660	82%PES/18%PUR		3
19		3	Stonebeige	330	230	340	340	200	38	475	50%PES/50%PUR		4
20		3	Satinschwarz	330	230	340	340	200	38	475	50%PES/50%PUR		4
21		3,3	Schwarz			830	570	310	38	450	77%PES/23%PUR		4
													84

Příloha 2

Výkres měřicího zařízení s jednou pohyblivou čelistí, které je určeno k vytvoření smyčky u zkušební vzorku v horizontálním směru a jeho zpracování do 3D.



(a)

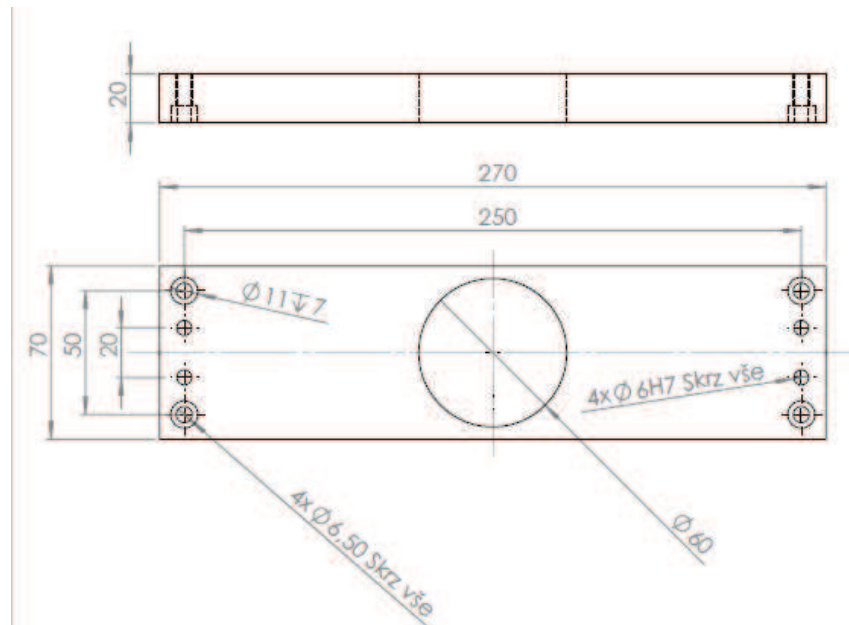


(b)

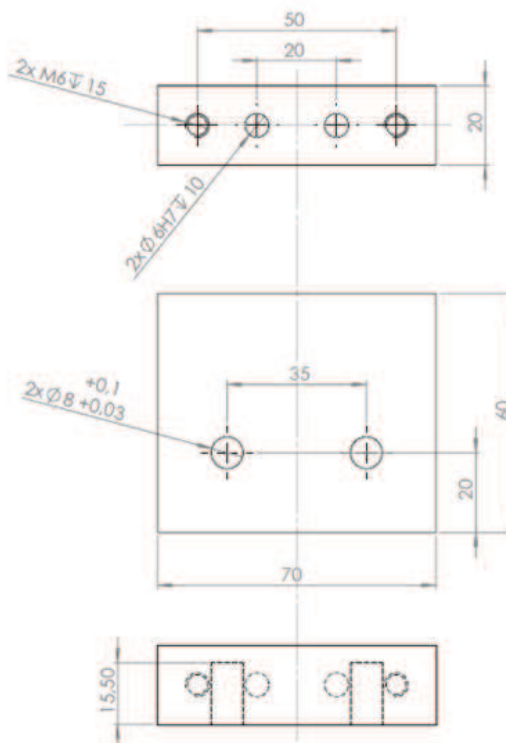
Obrázek 47. Výkres prvního prototypu přístroje: (a) půdorys s kótami základních rozměrů v milimetrech, (b) 3D model měřicího zařízení s jednou pohyblivou čelistí

Příloha 3

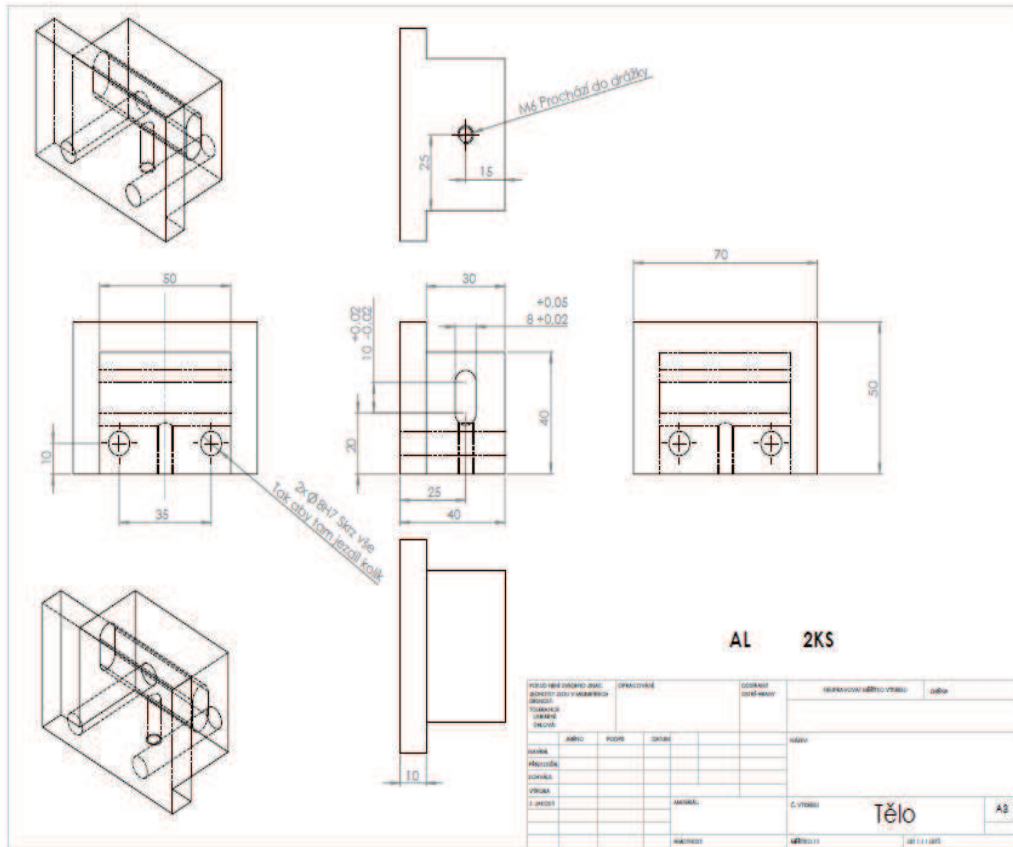
Výkresy měřicího zařízení se dvěma pohyblivými čelistmi, které je určeno k vytvoření smyčky u zkušební vzorku v horizontálním směru a jeho zpracování do 3D.



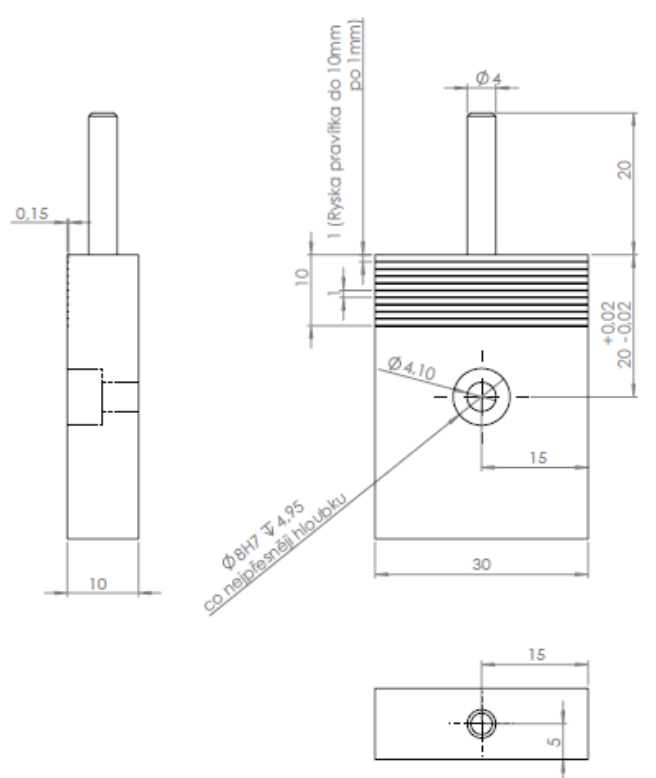
Obrázek 48. Základna měřicího zařízení s kótami v milimetrech



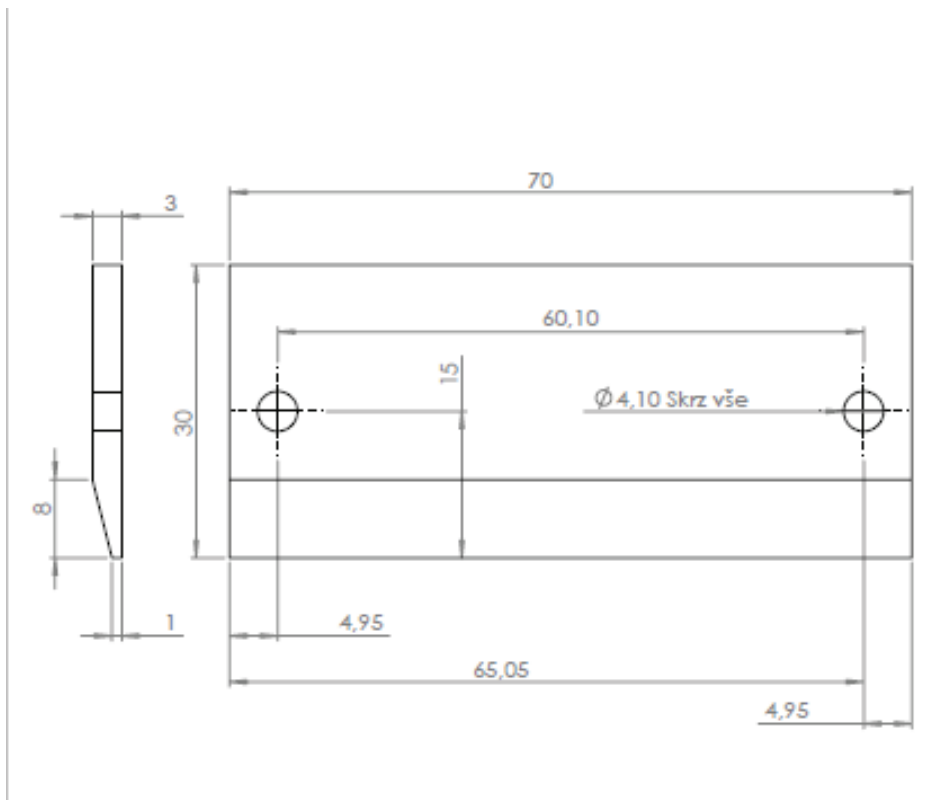
Obrázek 49. Bočnice měřicího zařízení s kótami v milimetrech



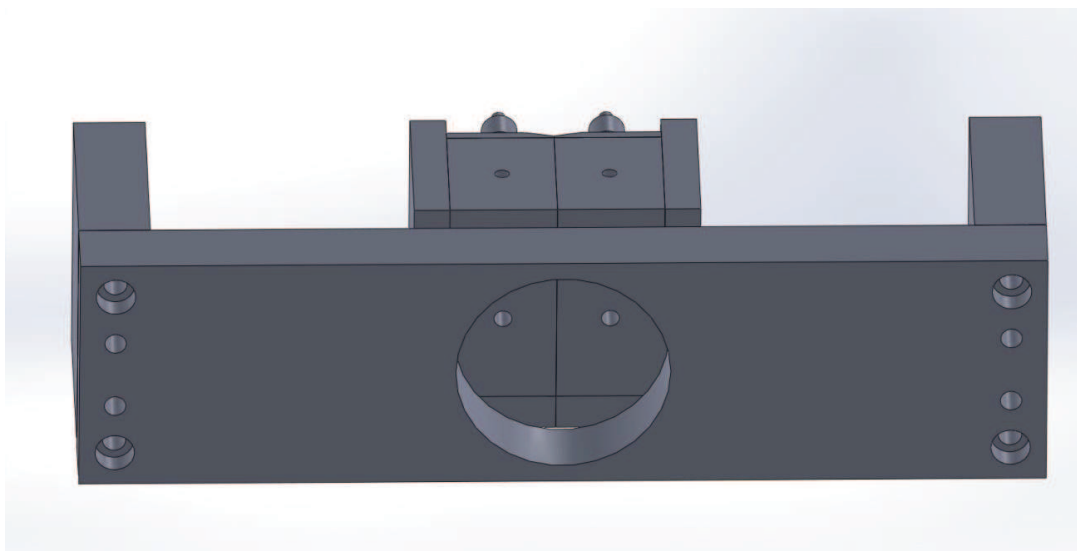
Obrázek 50. Nastavitelná upínací čelist s kótami v milimetrech



Obrázek 51. Bočnice nastavitelné upínací čelisti s ryskou a kótami v milimetrech



Obrázek 52. Krycí plech zkosený s kótami v milimetrech



Obrázek 53. Otvor pro nastavování upínacích čelistí

Příloha 4

Základní statistické zpracování dat z měření deformačních vzdáleností [mm] a šířky smyček [mm] u testovaných materiálů

Tabulka 7 – Základní statistické zpracování dat deformačních vzdáleností

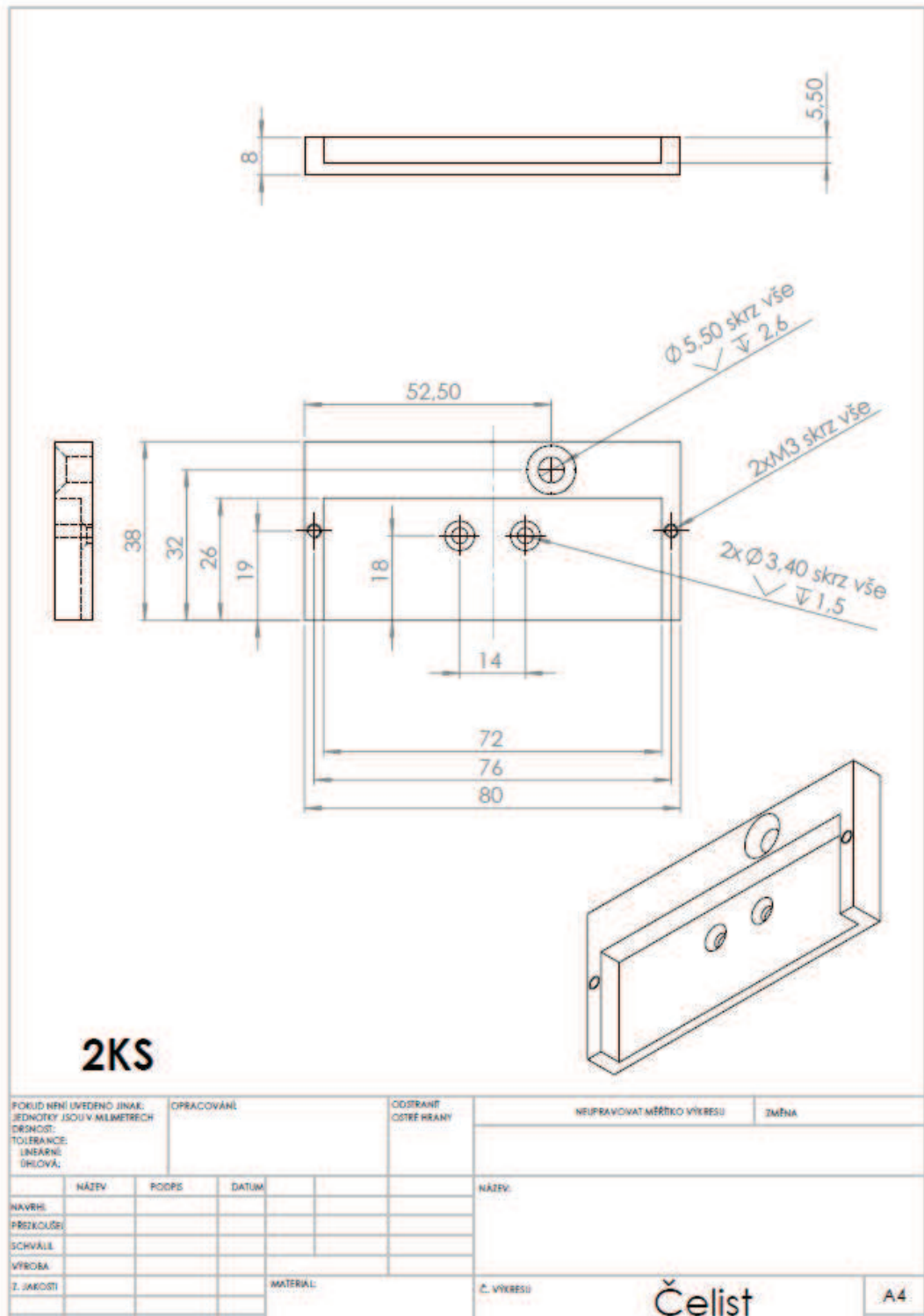
	Sly anthrazit	Clip satinschwarz	Crinkel	Edge blue	Burocar brown	Nora blue
Průměr	31,96	20,36	59,96	65,08	91,34	69,62
sm.odch	4,64	4,36	5,24	3,18	4,01	3,75
rozptyl	21,52	19,03	27,44	10,11	16,08	14,04
var.koef	14,51	21,43	8,74	4,89	4,39	5,38
IS	0,44	0,42	0,50	0,88	1,11	0,36
Horní mez	32,40	20,78	60,46	65,96	92,45	69,98
Dolní mez	31,52	19,94	59,46	64,20	90,23	69,26

Tabulka 8 – Základní statistické zpracování dat šířky smyček

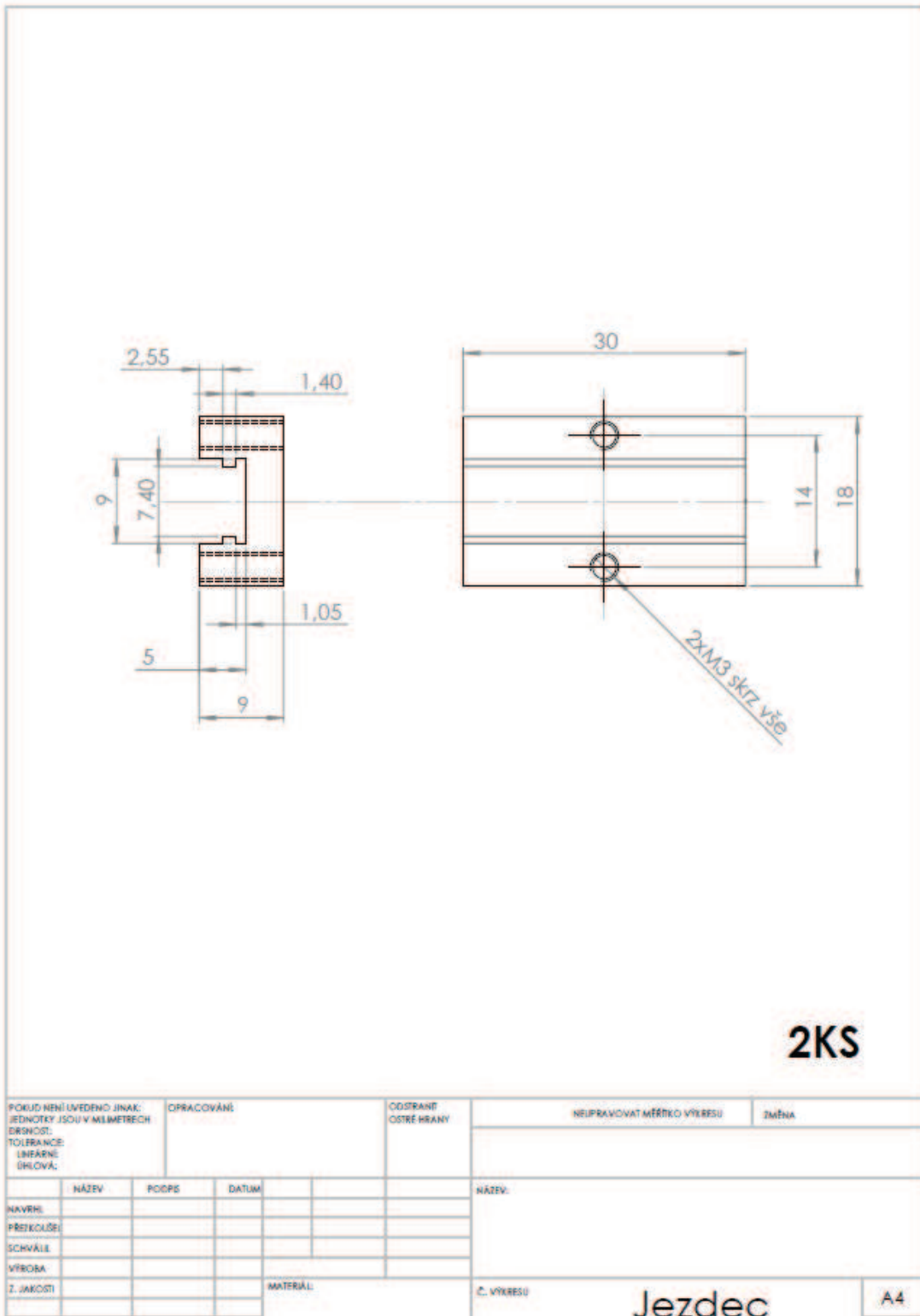
	Sly anthrazit	Clip satinschwarz	Crinkel	Edge blue	Burocar brown	Nora blue
Průměr	20,773	24,805	19,623	26,954	26,021	26,714
směr.odch.	1,138	0,363	0,394	0,491	0,371	0,547
rozptyl	1,294	0,132	0,155	0,241	0,138	0,299
var koef.	5,477	1,463	2,007	1,823	1,428	2,047
is	0,315	0,101	0,109	0,136	0,103	0,152
horní mez	21,089	24,906	19,732	27,090	26,124	26,865
dloní mez	20,458	24,705	19,514	26,818	25,918	26,562

Příloha 5

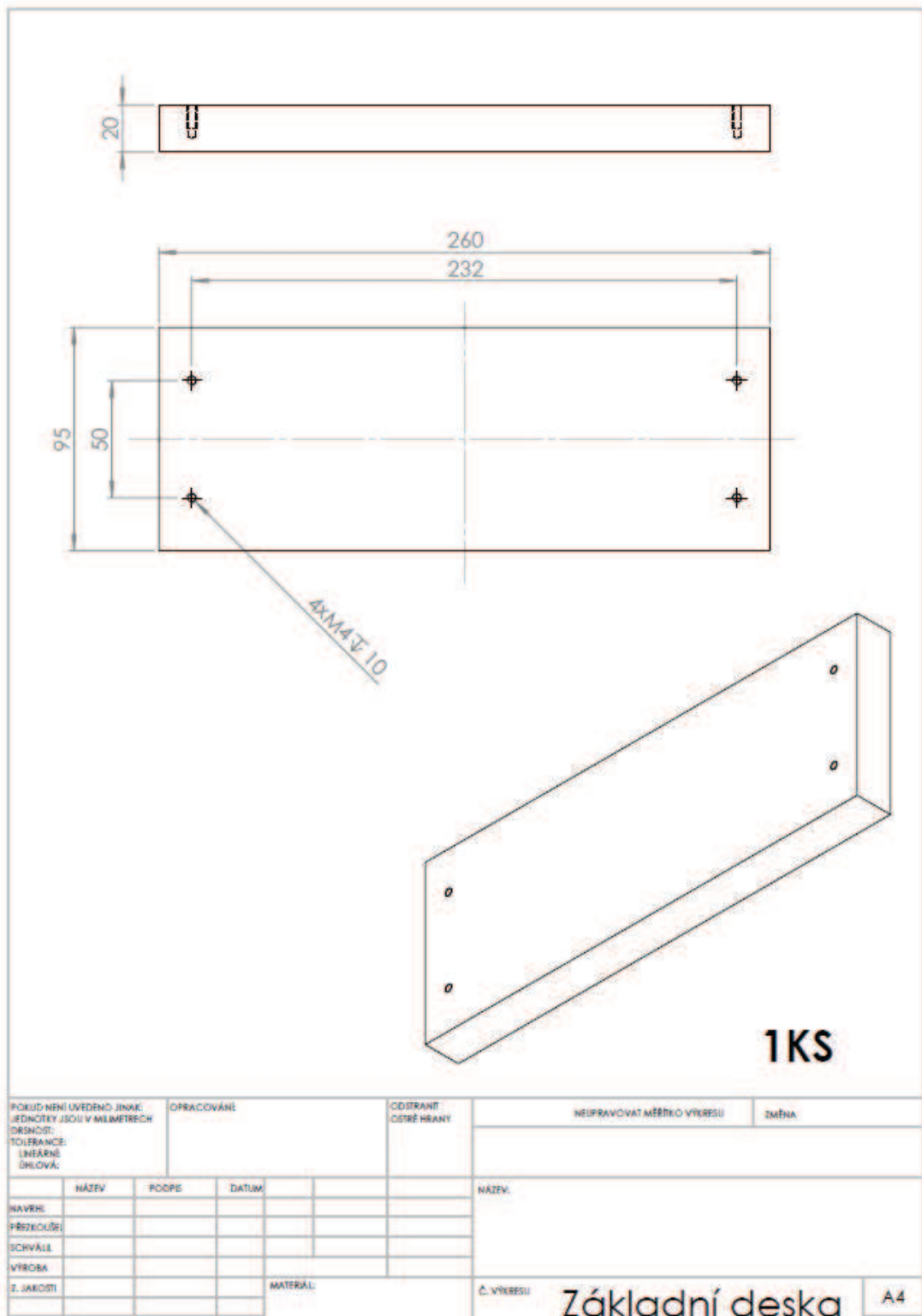
Výkresy finálního měřicího zařízení



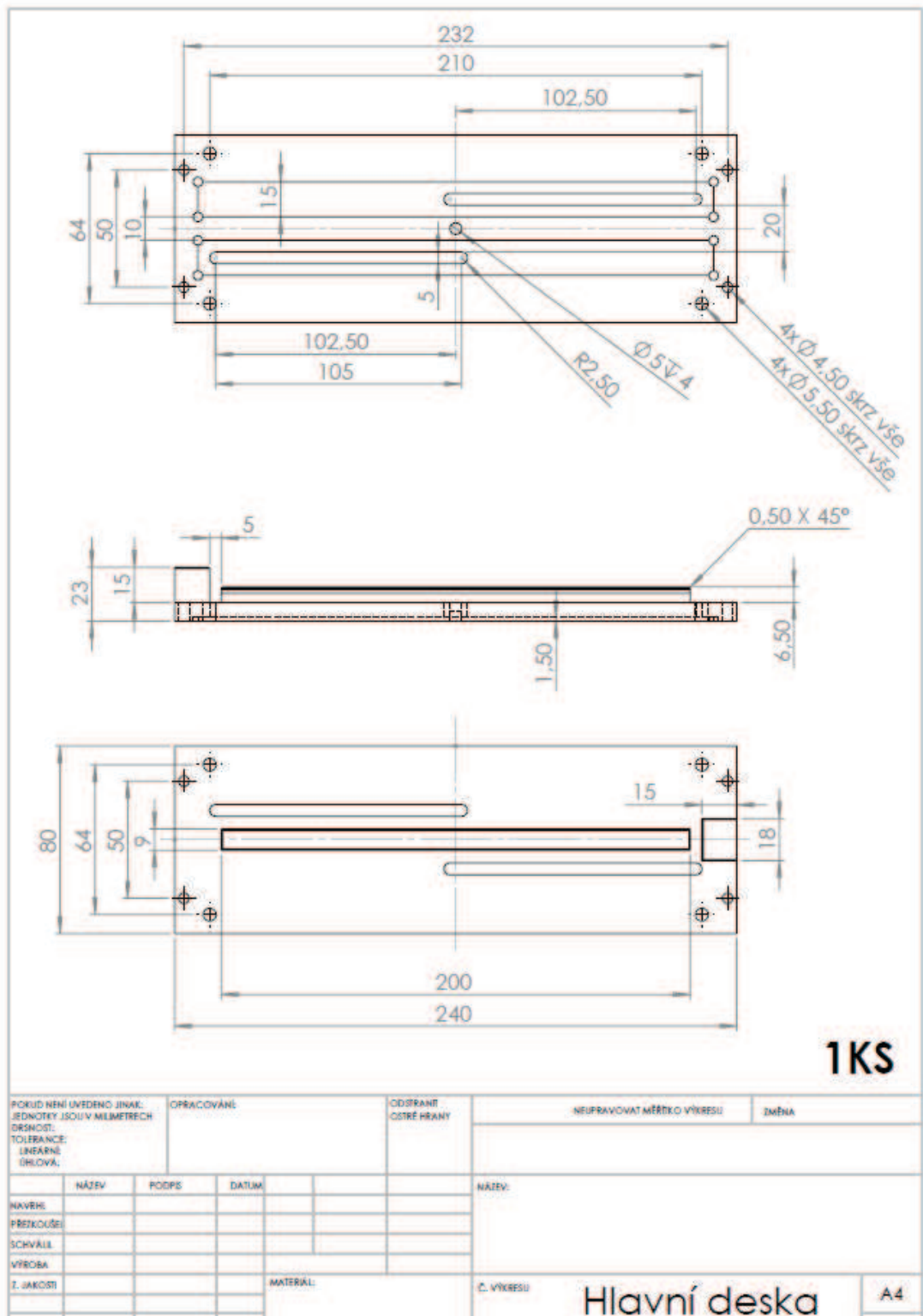
Obrázek 54. Výkres čelisti finálního měřicího zařízení



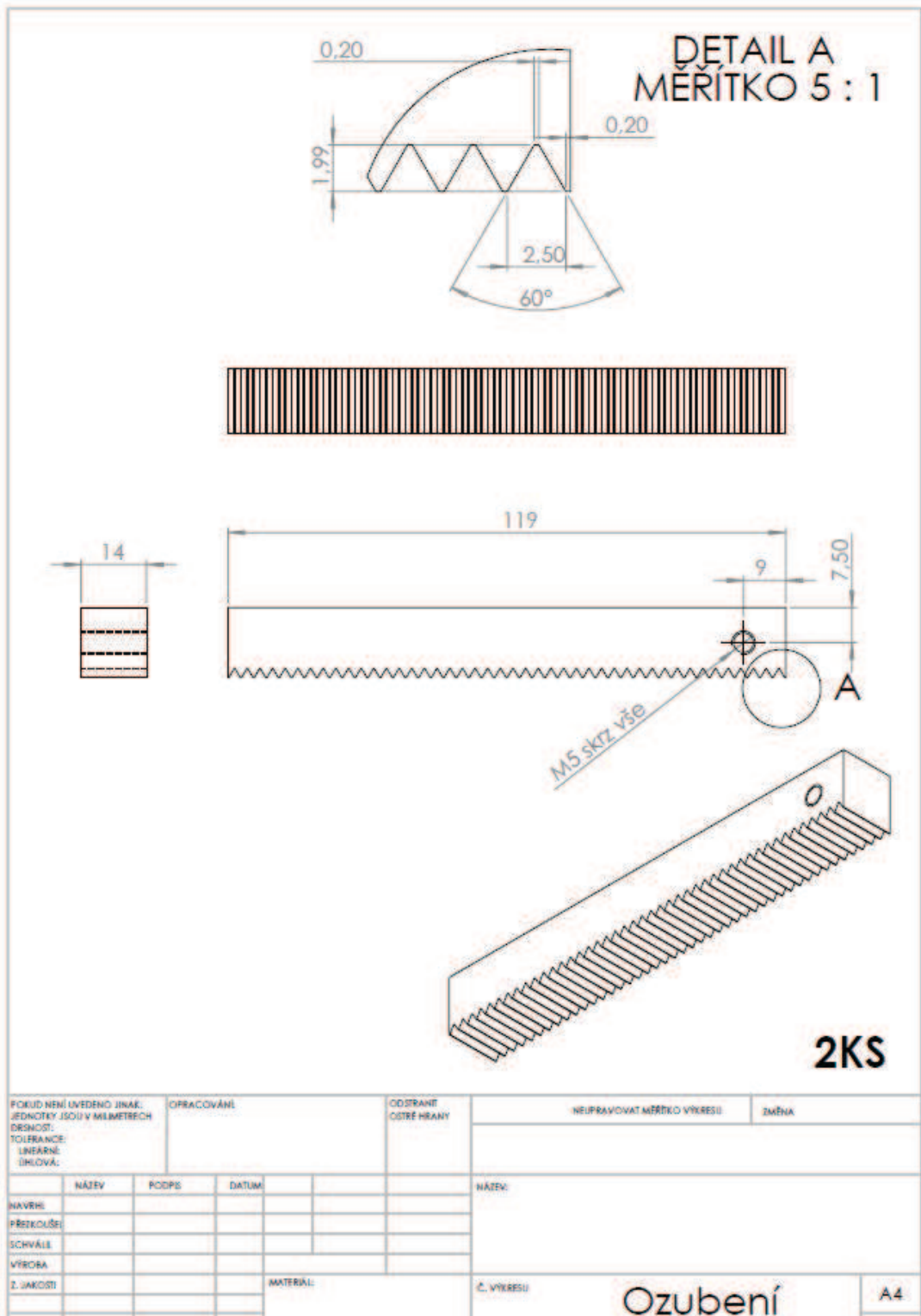
Obrázek 55. Výkres jezdec finálního měřicího zařízení



Obrázek 56. Výchres základní desky finálního měřicího zařízení



Obrázek 58. Výkres hlavní desky finálního měřicího zařízení



Obrázek 59. Výkres ozubeného hřebene finálního měřicího zařízení

Příloha 6

Tabulka 9 – Kritické hodnoty významnosti pro 4 mm vzorky

14	sloupek		0,000179	0,748612	0,000179	0,068270	0,000179	0,000181	0,000179	0,260858	0,000179	0,225181	0,082202	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	
14	řádek	0,000179		0,000179	0,010871	0,000179	0,000214	0,000179	1,000000	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,010871	0,008750	0,000825	0,020626	0,193153	0,930187	0,003619	0,003619	
15	sloupek	0,748612	0,000179		0,000179	0,995928	0,000180	0,004514	0,000179	0,999999	0,001231	0,999996	0,997948	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	
15	řádek	0,000179	0,010871	0,000179		0,000179	0,951002	0,010871	0,002901	0,000179	0,038143	0,000179	0,000179	1,000000	1,000000	0,999983	1,000000	0,000179	0,000205	1,000000	1,000000	
16	sloupek	0,068270	0,000179	0,995928	0,000179		0,000288	0,164566	0,000179	1,000000	0,056449	1,000000	1,000000	0,000179	0,000179	0,000184	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000180	0,000180
16	řádek	0,000179	0,000214	0,000180	0,951002	0,000288		0,541752	0,000185	0,000190	0,835978	0,000194	0,000264	0,951002	0,967007	0,999996	0,872686	0,000179	0,000179	0,995928	0,995928	
18	sloupek	0,000181	0,000179	0,004514	0,010871	0,164566	0,541752		0,000179	0,038143	1,000000	0,046489	0,139474	0,010871	0,013487	0,117555	0,005640	0,000179	0,000179	0,031188	0,031188	
18	řádek	0,000179	1,000000	0,000179	0,002901	0,000179	0,000185	0,000179		0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,002901	0,002331	0,000319	0,005640	0,437952	0,995928	0,001008	0,001008	
21	sloupek	0,260858	0,000179	0,999999	0,000179	1,000000	0,000190	0,038143	0,000179		0,010871	1,000000	1,000000	0,000179	0,000179	0,000180	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	
21	řádek	0,000179	0,000179	0,001231	0,038143	0,056449	0,835978	1,000000	0,000179	0,010871		0,013487	0,046489	0,038143	0,046489	0,300163	0,020626	0,000179	0,000179	0,098581	0,098581	
A	sloupek	0,225181	0,000179	0,999996	0,000179	1,000000	0,000194	0,046489	0,000179	1,000000	0,013487		1,000000	0,000179	0,000179	0,000180	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	
A	řádek	0,082202	0,000179	0,997948	0,000179	1,000000	0,000264	0,139474	0,000179	1,000000	0,046489	1,000000		0,000179	0,000179	0,000183	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000180	0,000180
C	sloupek	0,000179	0,010871	0,000179	1,000000	0,000179	0,951002	0,010871	0,002901	0,000179	0,038143	0,000179	0,000179		1,000000	0,999983	1,000000	0,000179	0,000205	1,000000	1,000000	
C	řádek	0,000179	0,008750	0,000179	1,000000	0,000179	0,967007	0,013487	0,002331	0,000179	0,046489	0,000179	0,000179	1,000000		0,999996	1,000000	0,000179	0,000199	1,000000	1,000000	
D	sloupek	0,000179	0,000825	0,000179	0,999983	0,000184	0,999996	0,117555	0,000319	0,000180	0,300163	0,000180	0,000183	0,999983	0,999996		0,999590	0,000179	0,000180	1,000000	1,000000	
D	řádek	0,000179	0,020626	0,000179	1,000000	0,000179	0,872686	0,005640	0,005640	0,000179	0,020626	0,000179	0,000179	1,000000	1,000000	0,999590		0,000180	0,000239	1,000000	1,000000	
E	sloupek	0,000179	0,193153	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,437952	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000180		0,997948	0,000179	0,000179	
E	řádek	0,000179	0,930187	0,000179	0,000205	0,000179	0,000179	0,000179	0,995928	0,000179	0,000179	0,000179	0,000179	0,000205	0,000199	0,000180	0,000239	0,997948		0,000185	0,000185	
F	sloupek	0,000179	0,003619	0,000179	1,000000	0,000180	0,995928	0,031188	0,001008	0,000179	0,098581	0,000179	0,000180	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000179	0,000185		1,000000	
F	řádek	0,000179	0,003619	0,000179	1,000000	0,000180	0,995928	0,031188	0,001008	0,000179	0,098581	0,000179	0,000180	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000179	0,000185	1,000000		

Tabulka 10 – Kritické hodnoty významnosti pro 6 mm vzorky

1	sloupek		1,0000 00	1,00000 0	1,00000 0	0,99993 9	0,99426 2	0,98928 1	0,77822 5	0,99980 9	1,00000	0,17970 0	0,00137 8	0,98133 4	0,77822 5	0,77822 5	0,99980 9	0,99947 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0
1	řádek	1,0000 00		1,00000 0	1,00000 0	0,99426 2	0,99993 9	0,99980 9	0,49870 4	1,00000 0	1,00000 0	0,06946 0	0,00049 5	0,86641 8	0,49870 4	0,49870 4	0,98928 1	0,99999 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0
2	sloupek	1,0000 00	1,0000 00		1,00000 0	0,99993 9	0,99426 2	0,98928 1	0,77822 5	0,99980 9	1,00000 0	0,17970 0	0,00137 8	0,98133 4	0,77822 5	0,77822 5	0,99980 9	0,99947 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0
2	řádek	1,0000 00	1,0000 00	1,00000 0		0,99426 2	0,99993 9	0,99980 9	0,49870 4	1,00000 0	1,00000 0	0,06946 0	0,00049 5	0,86641 8	0,49870 4	0,49870 4	0,98928 1	0,99999 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0
3	sloupek	0,9999 39	0,9942 62	0,99993 9	0,99426 2		0,61433 9	0,56628 3	0,99947 9	0,82512 2	0,99980 9	0,77822 5	0,02366 7	1,00000 0	0,99947 9	0,99947 9	1,00000 0	0,77822 5	0,99947 9	0,99993 9	0,99999 9
3	řádek	0,9942 62	0,9999 39	0,99426 2	0,99993 9	0,61433 9		1,00000 0	0,06946 0	1,00000 0	0,99716 2	0,00441 6	0,00018 7	0,25079 8	0,06946 0	0,06946 0	0,56628 3	1,00000 0	0,99872 5	0,99426 2	0,96945 0
4	sloupek	0,9892 81	0,9998 09	0,98928 1	0,99980 9	0,56628 3	1,00000 0		0,06646 1	1,00000 0	0,99426 2	0,00364 9	0,00018 5	0,21314 5	0,06646 1	0,06646 1	0,49870 4	1,00000 0	0,99716 2	0,98928 1	0,95266 6
4	řádek	0,7782 25	0,4987 04	0,77822 5	0,49870 4	0,99947 9	0,06946 0	0,06646 1		0,15049 5	0,72666 1	0,99993 9	0,33910 1	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,99980 9	0,12519 5	0,67159 3	0,77822 5	0,90151 1
5	sloupek	0,9998 09	1,0000 00	0,99980 9	1,00000 0	0,82512 2	1,00000 0	1,00000 0	0,15049 5		0,99993 9	0,01176 3	0,00020 8	0,44266 3	0,15049 5	0,15049 5	0,77822 5	1,00000 0	0,99998 3	0,99980 9	0,99716 2
5	řádek	1,0000 00	1,0000 00	1,00000 0	1,00000 0	0,99980 9	0,99716 2	0,99426 2	0,72666 1	0,99993 9		0,15049 5	0,00110 3	0,96946 0	0,72666 1	0,72666 1	0,99947 9	0,99980 9	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0
8	sloupek	0,1797 00	0,0694 60	0,17970 0	0,06946 0	0,77822 5	0,00461 6	0,00364 9	0,01176 3	0,15049 5			0,93020 0	0,98133 4	0,99993 9	0,99993 9	0,82512 2	0,00928 7	0,12519 5	0,17970 0	0,29278 5
8	řádek	0,0013 78	0,0004 95	0,00137 8	0,00049 5	0,02366 7	0,00018 7	0,00018 5	0,33910 1	0,00020 8	0,00110 3	0,93020 0		0,10349 8	0,33910 1	0,33910 1	0,02366 7	0,00020 8	0,00049 5	0,00137 8	0,00278 9
9	sloupek	0,9813 34	0,8664 18	0,98133 4	0,86641 8	1,00000 0	0,25079 8	0,21314 5	1,00000 0	0,44266 3	0,96946 0	0,98133 4	0,10349 8		1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	0,38914 3	0,95266 6	0,98133 4	0,99716 2
9	řádek	0,7782 25	0,4987 04	0,77822 5	0,49870 4	0,99947 9	0,06946 0	0,06646 1	1,00000 0	0,15049 5	0,72666 1	0,99993 9	0,33910 1	1,00000 0		1,00000 0	0,99980 9	0,12519 5	0,67159 3	0,77822 5	0,90151 1
10	sloupek	0,7782 25	0,4987 04	0,77822 5	0,49870 4	0,99947 9	0,06946 0	0,06646 1	1,00000 0	0,15049 5	0,72666 1	0,99993 9	0,33910 1	1,00000 0	1,00000 0		0,99980 9	0,12519 5	0,67159 3	0,77822 5	0,90151 1
10	řádek	0,9998 09	0,9892 81	0,99980 9	0,98928 1	1,00000 0	0,56628 3	0,49870 4	0,99980 9	0,77822 5	0,99947 9	0,82512 2	0,02366 7	1,00000 0	0,99980 9	0,99980 9		0,72666 1	0,99872 5	0,99980 9	0,99999 6
12	sloupek	0,9994 79	0,9999 99	0,99947 9	0,99999 9	0,77822 5	1,00000 0	1,00000 0	0,12519 5	1,00000 0	0,99980 9	0,00928 7	0,00020 8	0,38914 3	0,12519 5	0,12519 5	0,72666 1		0,99993 9	0,99947 9	0,99426 2
12	řádek	1,0000 00	1,0000 00	1,00000 0	1,00000 0	0,99947 9	0,99872 5	0,99716 2	0,67159 3	0,99998 3	1,00000 0	0,12519 5	0,00008 4	0,95266 6	0,67159 3	0,67159 3	0,99872 5	0,99993 9		1,00000 0	1,00000 0
13	sloupek	1,0000 00	1,0000 00	1,00000 0	1,00000 0	0,99993 9	0,99426 2	0,98928 1	0,77822 5	0,99980 9	1,00000 0	0,17970 0	0,00137 8	0,98133 4	0,77822 5	0,77822 5	0,99980 9	0,99947 9	1,00000 0		1,00000 0
13	řádek	1,0000 00	1,0000 00	1,00000 0	1,00000 0	0,99999 9	0,96946 0	0,95266 6	0,90151 1	0,99716 2	1,00000 0	0,29278 5	0,00278 9	0,99716 2	0,90151 1	0,90151 1	0,99999 6	0,99426 2	1,00000 0	1,00000 0	

Tabulka 11 – Kritické hodnoty významnosti pro podrobné měření

Sloupek	po		0,000	0,000	0,000
Sloupek	před	0,000		0,000	0,000
řádek	po	0,000	0,000		0,000
řádek	před	0,001	0,000	0,000	