

**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta textilní



**Bezkontaktní měření 3D tvaru splývajícího vzorku  
plošné textilie**

Contactless Measuring of 3D Shape of Draped Fabric Sample

Liberec 2005

**Markéta Obítková**

KOD - 626

## **P r o h l á š e n í**

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

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

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

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

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, dne 6. ledna 2005

Markéta Obítková

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Doc. Zdeňku Kůsovi za podmětné rady a panu Gerhardu Geislerovi za ochotnou pomoc při konstrukci měřicího zařízení.

Moje poděkování patří také rodičům za podporu během celého studia.

## ANOTACE

Bylo navrženo nové automatické zařízení pro měření tvaru splývající textilie. Programově řízené krokové motory zajišťují pohyb laseru okolo splývajícího vzorku. Světelná stopa laseru na povrchu textilie je snímána digitálním fotoaparátem. Snímky vrstevnic jsou s využitím obrazové analýzy pomocí programu Matlab převedeny na binární obrazy. Všem bodům vrstevnic jsou přiřazeny prostorové souřadnice, které slouží k vykreslení třírozměrného grafu. Vzorky hodně splývavých textilií, jejichž některé záhyby nejsou zachytitelné fotoaparátem přímo, jsou snímány prostřednictvím stop odražených v zrcátku. Funkčnost zařízení byla ověřena na sadě vzorků, které byly nasnímány a zobrazeny ve formě 3D grafů. Obsluha zařízení je jednoduchá a měření je rychlé.

Klíčová slova: splývavost, obrazová analýza, bezkontaktní měření, laser, krokový motor

## ANNOTATION

*The new automated device for measuring of the draped fabric shape was designed. The program controled stepper motors drive the laser motion around the draped sample. The light path of the laser on the fabric surface is scanned by the digital camera. The level line pictures are transformed to the binary images using Matlab image analysis. The space coordinates are assigned to all the level line points and the three-dimensional graph is created. Some waves of easily deformable fabrics are not directly visible by the camera and such samples have to be scanned using the mirror reflected light path. The measuring device serviceability was tried out by the draped samples scanning and displaying in the form of the 3D graphs. The device operation is simple and the measuring is fast.*

*Key words: drape, image analysis, contactless measuring, laser, stepper motor*

## Obsah:

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| ÚVOD .....                                         | 6  |
| 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE .....                          | 7  |
| 2 NÁVRH MĚŘÍCIHO PŘÍSTROJE.....                    | 17 |
| 2.1 Cíle a metody řešení .....                     | 17 |
| 2.2 Specifikace požadavků na měřicí přístroj ..... | 18 |
| 2.3 Realizace měřícího zařízení .....              | 19 |
| 2.3.1 Konstrukce zařízení pro pohyb laseru .....   | 20 |
| 2.3.2 Řízený pohon .....                           | 22 |
| 2.3.3 Snímání obrazu .....                         | 26 |
| 2.4 Zpracování obrazu .....                        | 27 |
| 2.4.1 Převedení snímku na binární obraz .....      | 28 |
| 2.4.2 Tvorba 3D grafu .....                        | 29 |
| 3 OVĚŘENÍ ČINNOSTI ZAŘÍZENÍ.....                   | 31 |
| 3.1 Specifikace zkoušených vzorků .....            | 31 |
| 3.2 Postup měření .....                            | 32 |
| 3.3 Výsledky měření .....                          | 35 |
| 4 ZHODNOCENÍ ČINNOSTI MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ .....      | 36 |
| 5 ZÁVĚR .....                                      | 39 |
| 6 SEZNAM LITERATURY.....                           | 40 |

## PŘÍLOHY

## Úvod

Schopnost textilie deformovat se působením gravitační síly, označovaná jako splývavost, je důležitou užitnou vlastností oděvních a bytových textilií. Volně visící část textilie obvykle zaujímá složitý třírozměrný tvar, který závisí na její ohybové tuhosti a smykových vlastnostech.

Splývavost lze hodnotit subjektivně podle etalonů, nebo objektivně, nejčastěji pomocí koeficientu splývavosti, který vyjadřuje poměr plochy průmětu splývajícího vzorku vůči jeho celkové ploše. Tato metoda hodnocení splývavosti tedy převádí třírozměrný (3D) tvar na dvourozměrný. Tím však zanedbává velice důležité informace o charakteru splývání vzorku, jako je počet a tvar záhybů, úhel a hloubka převisu. V posledních letech byly proto hledány možnosti, jak splývavost textilie charakterizovat lépe.

Cílem předkládané práce je návrh a realizace automatického zařízení, které umožňuje zachytit celkový tvar splývajícího vzorku a zobrazit ho v podobě třírozměrného grafu. Pro bezkontaktní měření tvaru vzorku byl zvolen princip snímání světelné stopy laseru na povrchu textilie digitálním fotoaparátem. Aby mohl být postupně zaznamenán celý povrch vzorku, je nutno zajistit pohyb laseru okolo vzorku textilie. Pro zajištění dostatečně rychlého měření je potřeba zařízení automatizovat, což vyžaduje vhodnou konstrukci a řízený pohon. Důležité je dosáhnout synchronizace pohybu laseru se snímkováním digitálním fotoaparátem. Zachycené stopy je nutno zpracovat pomocí obrazové analýzy, která zahrnuje transformaci získaného digitálního snímku na binární obraz a jeho převedení do formy 3D grafu.

Automatizovaný systém by měl umožnit rychlé a přesné snímání 3D tvaru splývající textilie. Získané informace by měly lépe charakterizovat měřenou textilií a napomoci lepšímu pochopení vztahu mezi strukturou a mechanickými vlastnostmi textilie.

# 1 Literární rešerše

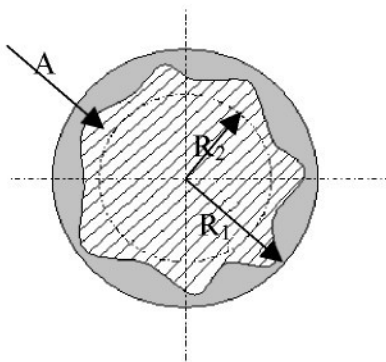
Splývavost textilie je už mnoho let předmětem pozornosti výzkumu z různých pohledů na danou problematiku. Jednak to jsou pokusy o teoretické modely, které se snaží nalézt vztah mezi strukturou textilie a splývavostí, a jednak snaha o popis splývavosti pomocí vhodných veličin. Vzhledem k zaměření této práce jsou v následujícím přehledu článků uvedeny především texty, které se zabývají hodnocením splývavosti, metodami jejího měření a možnostmi automatizace.

Z řady prací, které se zabývají splývavostí ze strukturního pohledu jmenujme alespoň studie [1,2,3], které kladou splývavost do souvislosti s mechanickými a geometrickými vlastnostmi. Upozorňují na spojitost splývavosti s ohybovou, smykovou a tahovou deformací, dále pak na vliv tloušťky textilie, plošné hmotnosti a povrchových vlastností. Poslední dobou se objevují pokusy o simulaci splývavosti [4]. Pro predikci splývavosti na základě znalosti tahového a smykového modulu je ve studii [5,6] předložen fyzikální model textilie, založený na tzv. teorii ohebné slupky. Textilie je považována za kontinuum a pro výpočet je využita Newton-Raphsonova iterační metoda. V článku [7] je zmiňována výpočetní metoda FEM, která nahrazuje textilií diskretním modelem s vhodným uspořádáním elementů s přesně definovanými materiálovými vlastnostmi ( $E, G, \mu, \dots$ ).

Klasickou veličinou popisující míru splývavosti je koeficient splývavosti  $DC_B$  (drape coefficient), který byl definován Chuem v práci [8] vztahem

$$DC_B = \frac{A - \pi R_2^2}{\pi R_1^2 - \pi R_2^2} \cdot 100 \quad [\%], \quad (1)$$

kde  $R_1$  je poloměr kruhového vzorku,  $R_2$  je poloměr desky měřicího přístroje a symbol  $A$  označuje plochu průřezu splývajícího vzorku (viz *obr.1.1*). Součinitel splývavosti nabývá hodnot v intervalu  $<0,1>$ , splývavost je tím větší, čím menší je hodnota  $DC_B$ .



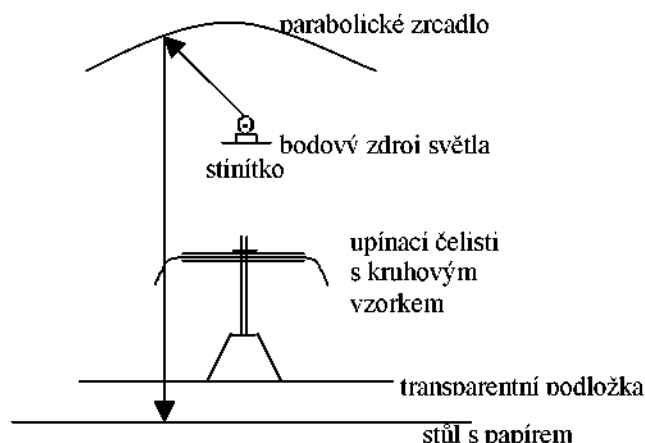
Obr.1.1 Průřez splývajícího kruhového vzorku plošné textilie

České normy [9,10] definují koeficient splývavosti vztahem

$$DC = \frac{\pi R_1^2 - A}{\pi R_1^2 - \pi R_2^2} \cdot 100 \quad [\%]. \quad (2)$$

Ze vztahů (1) a (2) je zřejmé, že součet hodnot  $DC_B + DC = 1$ . Hodnota koeficientu splývavosti  $DC$  nabývá také hodnot v intervalu  $<0,1>$ , splývavost je tím větší, čím větší je hodnota  $DC$ .

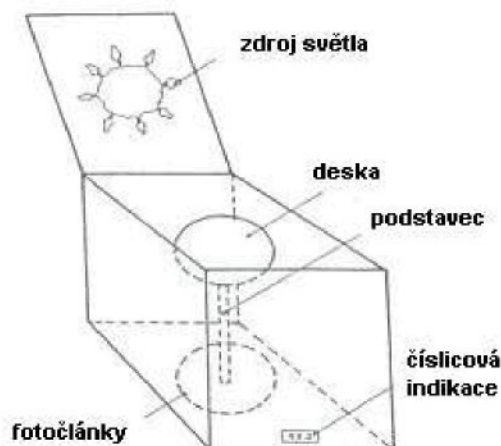
K zjišťování koeficientu splývavosti se standardně využívá Cusickova drapometru, postup měření je popsán v normách [9,10,11] a v textech [12,13]. Pomocí soustavy svislých rovnoběžných paprsků světla, které jsou získány odrazem od parabolického zrcadla, je průmět splývajícího vzorku, položeného na kruhové desce drapometru, promítnut na stůl nebo matnici (viz *obr.1.2*). Obrys vrženého stínu, který odpovídá průmětu, je možno obkreslit na list průsvitného papíru a změřit jeho plochu. To se provádí buď přímo pomocí planimetru, nebo nepřímou metodou vystřížením a zvážením zastíněné plochy papíru. Je zřejmé, že tento způsob měření je ovlivněn lidským faktorem a je náročný na čas.



*Obr.1.2 Princip drapometru dle Cusicka*

V dnešní době se objevují různé alternativní návrhy měření splývavosti textílie, které se snaží odstranit nevýhody klasické metody. Ve studii [14] je popsáno a hodnoceno několik přístupů k automatizaci. Jedna z metod, spočívá v měření celkové intenzity promítnutého světla, které není zastíněno splývající textilií. Zrcadlo z Cusickova drapometru je nahrazeno fotoelektrickými články a světelný zdroj, sestavený z osmi žárovek, je umístěn na víku krabice (viz *obr.1.3*). Digitální voltmetr připojený k článkům umožňuje měření napětí, které odpovídá dopadající intenzitě světla. Tato modifikace konvenčního přístroje je snadná a levná, výsledky získané touto metodou se však často rozcházejí s výsledky při standardním

postupu. Hlavní zdroj chyb je pravděpodobně způsoben průchodem světelných paprsků póry textilie i samotnými vlákny. Znamená to, že výsledek je ovlivněn plošnou hmotností a strukturou textilie a optickými vlastnostmi vláken, například jejich barevností.

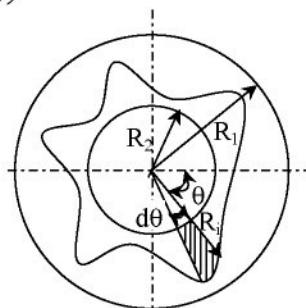


Obr.1.3 Zjišťování koeficientu splývavosti měřením intenzity světla

Dalším typem úpravy konvenčního drapometru je přidání otočného ramene se 14-ti senzory (fotorezistory). Napětí generované na fotorezistorech zastíněných splývající textilií je odlišné od napětí při přímém dopadu světla, takže je možné určit polohu okraje splývající textilie. Postupně jsou odečítány vzdálenosti odpovídající jednotlivým úhlům, pohon ramene je přitom realizován krokovým motorem. Následně je vypočítán koeficient splývavosti DA pomocí vztahu

$$DA = 100 \cdot \frac{\text{celková plocha mezi } R_1 \text{ a } R_2 \text{ určená úhlem } d\Theta}{\text{celková plocha mezikruží}} [\%] \quad (3a)$$

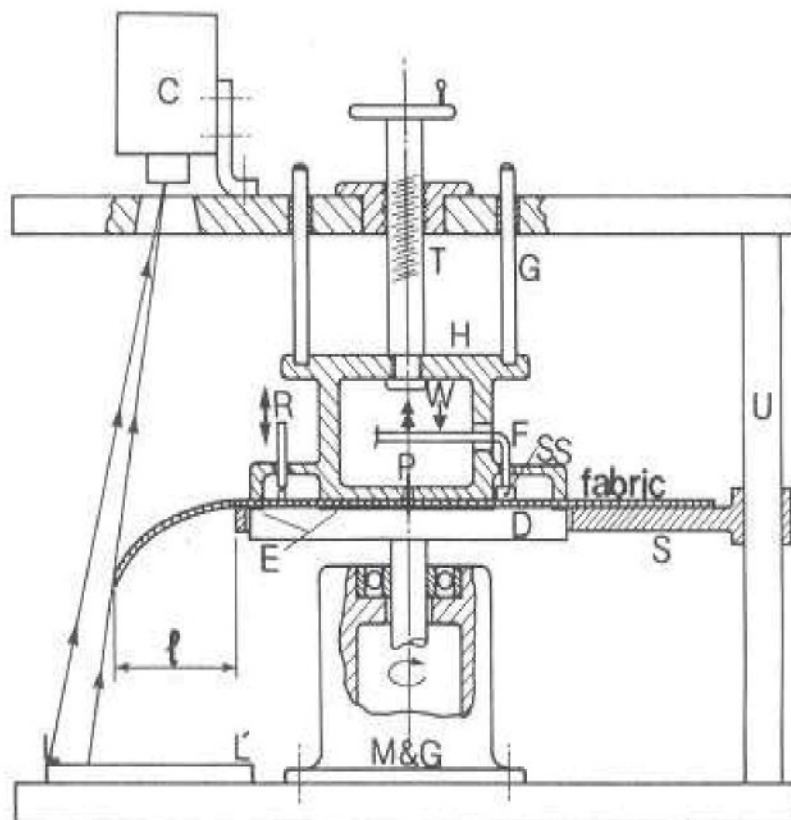
$$DA = 100 \cdot \left( \sum_i^n \frac{(R_i^2 - R_2^2) d\Theta}{2 \cdot \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2)} \right); \quad d\Theta = \frac{2\pi}{n} \quad (3b)$$



Obr.1.4 Promítnutá plocha splývavé textilie,  $R_1$ =poloměr vzorku textilie,  $R_2$ =poloměr disku,  $R_i$ =poloměr stínu při úhlu  $\theta$

Podle autorů studie [14] je tato metoda poměrně rychlá, šetří materiál a výsledky měření mají dobrou úroveň reprodukovatelnosti. Vzdálenost mezi fotorezistory však způsobuje chybu v určení polohy okraje vzorku.

V článku [15] je popsán návrh víceúčelového testovacího zařízení (viz *obr.1.5*) pro měření vlastností povrchu, splývavosti a ohybové tuhosti.



*Obr.1.5 Víceúčelové testovací zařízení podle Hearlea*

*hlavní rám (U): základní deska, stojan, vrchní deska a kryt motoru; rotační část: disk (D), hřídele a převodové spojení s motorem; lis (H), který se pohybuje pomocí šnekového vedení (T) a vodící tyče (G), zajišťuje umístění na středovém kolíku P; snímací přístroje: lineární snímač (R) detekující změny zesílení, zařízení na měření třecí síly mezi vzorkem a stykačem (SS) pod působícím zatížením (W), lineární kamera pro měření splývavosti snímá mezi body L a L' délku textilie l, která zakrývá zdroj světla*

Vzorek textilie se položí na kruhovou desku (D) tak, že otvor uprostřed vzorku je navlečen na čepu (P). Postupným snižováním pomocné desky (S) je zajištěno stejnoměrné splývání textilie. Lineární kamera (C) pak snímá v pravidelných intervalech délku  $l$  průmětu převalislé části vzorku. Z naměřených hodnot je pak možné vypočítat koeficient splývavosti. Výhodou zařízení je poměrně přesné zaznamenání průmětu a možnost výpočtu pomocí počítače. Nevýhodou může být otáčení vzorku, které může způsobovat tvarové změny vlivem odstředivé síly a odporu vzduchu.

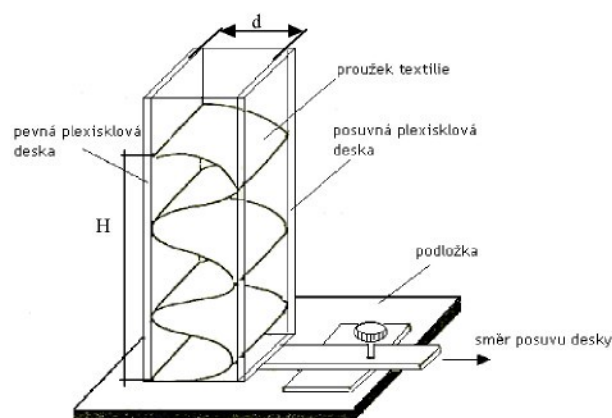
V článku [16] je popsána rotační metoda měření splývavé textilie. Byl sestrojen měřicí přístroj složený z otočného stojanu, který může rotovat v obou směrech rychlostí 0 až 240 ot/min. Vzorek byl shora snímán CCD kamerou a obraz průmětu splývavé textilie byl zpracován a vyhodnocen pomocí obrazové analýzy. Autoři sledovali vztah mezi koeficientem splývavosti  $DC$  a počtem otáček. Během experimentu analyzovali tři oblasti podle počtu otáček vzorku. V první oblasti (do 40ot/min) se hodnota koeficientu splývavosti téměř shodovala s hodnotou koeficientu splývavosti měřeného v klidovém stavu  $D_s$  (static drape coefficient). V druhé oblasti (50 až 130ot/min) se hodnoty koeficientů splývavosti  $DC$  a  $D_s$  vzájemně lišily. Mezi koeficientem splývavosti  $D_s$  a počtem otáček byla nalezena lineární závislost. Pro tuto oblast byl definován rotační přírůstkový koeficient splývavosti  $D_r$  (revolving drape-increase coefficient), který představuje míru změny koeficientu splývavosti v závislosti na změně počtu otáček. Ve třetí oblasti (nad 180ot/min) se s dalším zvyšováním počtu otáček hodnota koeficientu splývavosti mění málo. Pro tuto oblast byl definován rotační koeficient splývavosti  $D_{200}$ , stanovený při rotaci 200ot/min.

Výše popsané metody vycházejí z klasického Cusickova přístroje, navrženého roku 1950, a hodnotí tvar textilie z vrchního pohledu. Existuje také mnoho odlišných způsobů hodnocení splývavosti, které k měření nepoužívají kruhovou desku, ale přistupují k hodnocení jiným způsobem, a přinášejí tak nové poznatky o chování textilií. Jedná se například o diferenciální hodnocení splývavosti textilie na základě určování hloubky převisu, z průhybu tkaniny nebo skládáním pásku mezi dvěma deskami.

Empirická metoda podle Sodomky [18] spočívá ve vložení pásku tkaniny mezi dvě vertikální plochy tvořené plexisklovými deskami (viz *obr.1.6*). Tkanina se vlastní tíhou deformuje a zaujímá zvlněný tvar, takže oblouky tkaniny se dotýkají stěn desek ve výškách  $H_1, H_2, H_3, \dots$ . Splývavost  $S$  je definována vztahem

$$S = \frac{H_1}{H} + \frac{H_2}{H} + \dots + \frac{H_n}{H} = \sum_i \left( \frac{H_i}{n \cdot H} \right), \quad (4)$$

kde  $n$  je počet vln. Citlivost měření je dána vzdáleností plexisklových desek. Posouváním desek je možné zjistit, která vzdálenost je pro daný typ materiálu nejvhodnější. Jestliže proužky plošné textilie nastříháme v různých směrech vzhledem k orientaci nití, můžeme touto metodou sledovat anizotropii materiálu. Výsledky měření lze vyhodnotit s využitím obrazového záznamu profilu zvlněné textilie.



Obr.1.6 Zařízení pro měření splývavosti podle Sodomky

Další možností, jak posuzovat splývavost, je měření hloubky převisu textilie. Kruhový vzorek o průměru 300 mm se umístí do kruhových čelistí o průměru 180 mm podobně jako u Cusickova drapometru. Rozdíl spočívá v tom, že volný prstenec vzorku je rozstříhán na 12 stejných radiálně orientovaných segmentů. U každého z volně splývajících segmentů se změří hloubka převisu  $S$  jako vertikální vzdálenost dolního okraje segmentu od čelisti. Splývavost  $S_p$  v daném směru vzhledem k orientaci nití se počítá jako poměr hloubky převisu ke skutečné délce segmentu:

$$S_p = \frac{S}{L} \text{ [mm]}, \quad (5)$$

kde  $S$  je hloubka převisu a  $L$  je skutečná délka segmentu. Součinitel splývavosti  $S_p$  nabývá hodnot od 0 do 1. Čím je jeho hodnota vyšší, tím je materiál splývavější.

Hodnocení splývavosti z průhybu textilie vychází z pohledu na proužek textilie jako na nosník. Proužek může být upnut jednostranně nebo dvojstranně. Považujeme-li proužek tkaniny za vodorovně orientovaný nosník ze spojitého prostředí, nabízí teorie pružnosti pro jednostranný a dvojstranný průhyb s tyto vztahy:

$$s = \left( \frac{4 \cdot F}{E \cdot b} \right) \cdot \left( \frac{L}{h} \right)^3 \text{ pro jednostranný}, \quad (5)$$

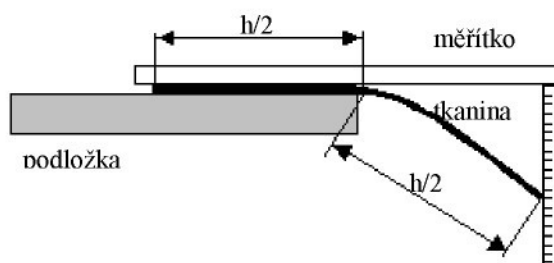
$$s = \left( \frac{F}{4E \cdot b} \right) \cdot \left( \frac{L}{h} \right)^3 \text{ pro dvojstranný}. \quad (6)$$

Ve vztazích značí  $L$  délku volné části textilie,  $b$  šířku,  $h$  tloušťku,  $E$  modul v tahu, a  $F$  působící sílu. Součinitel splývavosti  $S_{hk}$  pro daný směr textilie je definován poměrem

$$S_{hk} = \frac{s}{L}. \quad (7)$$

Z takto vypočítaného součinitele splývavosti lze posoudit míru anizotropie a sledovat souvislosti splývavosti s geometrií textilie a s modulem v tahu.

Další metoda je založena na měření sinu úhlu  $\varphi$ , který svírá tkanina splývající přes ostrý roh horizontální roviny [19,20]. Vzorek o rozměrech 200x200 mm se položí na horizontální plochu stolu tak, aby střed vzorku ležel ve špičce ostrého rohu (viz *obr. 1.7*). Vzorek se přitom pootočí tak, aby směr osnovy resp. útku svíral s obvodovými hranami stolu úhel  $45^\circ$ . Poté se nechá vzorek volně splývat tak, aby vytvořil hranu. Pomocí pravítka se pak odečte výška  $S$  dolního okraje hrany textilie od roviny stolu. Protože délka hrany textilie je 100 mm, setina hodnoty  $S$  přímo odpovídá sinu úhlu splývání. Textilii je možné umístit lící nebo rubní stranou směrem nahoru.



*Obr.1.7 Metoda měření splývavosti přes ostrý roh*

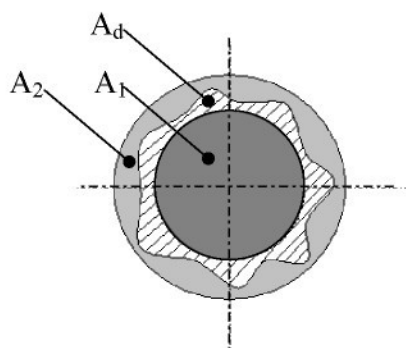
Ve studii [19] se uvádí, že velikost úhlu splývání  $\varphi$  závisí na ohybové a smykové tuhosti tkaniny. K výpočtu teoretické hodnoty úhlu splývání  $DA$  je možné využít rovnice Niwy a Sety, která vychází z mechaniky pevných látek:

$$DA = C_0 + C_1 \cdot \left( \frac{B}{W} \right)^{0,33} + C_2 \cdot \left( \frac{G}{W} \right)^{0,33}, \quad (8)$$

symbol  $B$  značí ohybovou tuhost,  $G$  smykovou tuhost,  $W$  plošnou hmotnost textilie a  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  jsou koeficienty zjištěné empiricky. Souvislosti klasického koeficientu splývavosti  $DC$  s ohybovou a smykovou tuhostí se zabývá studie [1].

V posledních letech se objevují snahy urychlit měření koeficientu splývavosti využitím obrazové analýzy. V článku [21] je ovšem upozorněno i na určitá úskalí a omezení obrazové analýzy. Předně je důležitá správná kalibrace systému, tj. přepočtení počtu pixelů na milimetry;

jednotlivé pixely mají obvykle obdélníkový tvar s typickým poměrem stran 4:3. Při zjišťování plochy průmětu splývající textilie nestačí pouze zjistit množství pixelů odpovídajících nasnímanému stínu textilie a přepočítat ho na obsah plochy. Při různém relativním natočení kamery a vzorku, totiž mohou být získány rozdílné hodnoty i při stejném tvaru snímaného objektu. Nepřesnost je ukázána na příkladu měření plochy čtverce. Pokud je čtvercový objekt orientován souhlasně se směrem mřížkového rastru, je naměřená plocha menší než při diagonální orientaci. Tuto nepřesnost autoři řešili tak, že systém obrazové analýzy hledá hranici mezi stínem textilie  $A_d$  a centrálním diskem  $A_l$  a hranici mezi stínem textilie  $A_d$  a vnější oblastí  $A_2$  (viz *obr. 1.8*). Na základě tohoto popisu hranic software vypočítá promítnutou plochu centrálního kruhu a plochu stínu splývající textilie. Z těchto hodnot se vypočítá koeficient splývavosti.



*Obr. 1.8 Při určování velikosti plochy stínu splývající textilie pomocí obrazové analýzy je využíván software, který hledá hranici mezi plochami  $A_l$ ,  $A_d$  a  $A_2$ .*

Hodnoty koeficientu splývavosti získané konvenční metodou vykazují poměrně dobrou shodu s hodnotami vypočítanými s pomocí obrazové analýzy. Autoři studie [21] dále upozorňují na časovou závislost splývavosti - vlivem gravitační síly dochází postupně k překonávání třecího odporu a tím ke vzájemnému posuvu osnovních a útkových nití, což se projevuje rostoucí splývavostí. Na snižování koeficientu splývavosti s časem se podílejí také mechanické a reologické vlastnosti textilie. V článku je doporučeno měřit splývavost až po zrelaxování textilie, což je ale náročné na čas.

Hodnocením splývavosti s využitím obrazové analýzy se zabývá i práce [22,7], kde je rovněž popsán způsob vytvoření modelu splývající textilie ve formě 3D grafu. Základní myšlenka této metody spočívá v postupném snímání obrysu splývající textilie. Jsou

zaznamenávány jednotlivé vrstevnice, které jsou následně složeny do výsledného 3D zobrazení. Pro tento účel je navrženo zařízení, složené z drapometru, CCD kamery a otočného ramene s laserovou diodou, jehož pohyb je zajištěn ručně. Laser vytváří stopu po obvodu vzorku, která je snímána pomocí kamery s dlouhým časem osvitů. Tak je získána jedna vrstevnice modelu. Další vrstevnice jsou získány postupným posouváním laserové diody ve svislém směru. Jednotlivé barevné snímky vrstevnic jsou pomocí obrazové analýzy Lucie převedeny na binární obrazy. Ty jsou potom s využitím programu Matlab složeny a převedeny na 3D model textilie.

U hodně splývavých textilií nastávají komplikace se zobrazením záhybů, zasahujících pod disk drapometru. Stopu laseru nelze v tomto případě zachytit kamerou přímo, problém je řešen přidáním malého rovinného zrcadla, ve kterém se odráží stopa laseru na textilií. Zrcátko je umístěno v zorném poli kamery a otáčí se zároveň s laserovou diodou. Odražená stopa zaznamenaná kamerou neodpovídá reálnému tvaru textilie a je nutno ji transformovat. Potřebné matematické vztahy jsou odvozeny na základě analýzy geometrických poměrů a s využitím optických zákonů. Pro skutečnou vzdálenost  $B_r$  snímaného bodu B od osy drapometru platí vztahy

$$B_r = \frac{B_z - A_z - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - 2\beta + \alpha\right) \cdot A_r}{-\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - 2\beta + \alpha\right)}, \quad (9a)$$

$$A_z = \operatorname{tg}\beta \cdot A_r + S_z - \operatorname{tg}\beta \cdot S_r, \quad (9b)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{A_r}{H + A_z}, \quad (9c)$$

kde  $B_z$  je výška diody vzhledem k rovině drapometru,  $A_r$  je vzdálenost bodu odraženého v zrcátku od roviny drapometru (zjištěná ze snímku),  $\beta$  je sklon zrcátka vzhledem k rovině drapometru,  $S_r$ ,  $S_z$  jsou souřadnice bodu na zrcátku vzhledem k ose drapometru a k rovině drapometru,  $H$  je vzdálenost kamery od roviny drapometru.

Navržená metoda poskytuje podrobné informace o velikosti a tvaru splývajícího vzorku. Model zaznamenává nejen celkový tvar, ale rovněž umožňuje v jakémkoli místě vzorku identifikovat dílčí charakteristiky jako je tvar a hloubka převisu a úhel splývání. Pro vytvoření dostatečně přesného modelu je potřeba zaznamenat několik desítek vrstevnic. Vzhledem k tomu, že otáčení ramene i posun laseru je zajišťován ručně, je měření náročné na čas. Nevýhodou je také použití dvou různých programů – Lucie pro vyhodnocení obrazu a Matlab pro vytvoření 3D grafu.

Souhrn poznatků o splývavosti z hlediska oděvnictví lze nalézt v publikaci [23]. Vedle metod měření splývavosti jsou zde naznačeny teoretické souvislosti s mechanickými a geometrickými vlastnostmi textilie. Rovněž jsou zde rozebrány možnosti modelování splývání textilií i oděvů s využitím počítačových systémů. Další popisovanou oblastí je snímání tvaru lidského těla s využitím laseru, infračervených paprsků, strukturovaného světla nebo fotogrammetrie. Uvedené principy snímání tvaru povrchu jsou aplikovatelné i pro oblast měření 3D tvaru splývající textilie.

## **2 Návrh měřicího přístroje**

### **2.1 Cíle a metody řešení**

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a zkonstruovat zařízení pro bezkontaktní měření 3D tvaru splývající textilie, který vychází z klasického Cusickova drapometru. Přístroj by měl zaznamenávat reálný tvar textilie a umožňovat jeho vizualizaci s další možností zpracování dat. Komplexní údaje o tvaru jsou důležité pro formulaci vhodných charakteristik, na jejichž základě lze splývavost objektivně hodnotit. Dalším požadavkem byla automatizace přístroje, která by umožňovala dostatečně rychlé měření s minimálním zásahem obsluhy.

Pro zaznamenání tvaru textilie byl zvolen princip, využívající snímání laserové stopy pomocí digitálního fotoaparátu. Pro vytvoření stopy byla navržena konstrukce, umožňující kruhový pohyb laseru okolo klasického drapometru a zároveň jeho vertikální posun. Vzhledem k požadavku automatizace byly pro pohon přístroje zvoleny krokové motory, ovládané programovatelnými kartami. Zpracování a vizualizace obrazu byla provedena pomocí programu Matlab. Funkčnost přístroje byla ověřena na několika druzích textilií.

## **2.2 Specifikace požadavků na měřicí přístroj**

Návrh měřicího zařízení, jeho realizace a zajištění funkčnosti v sobě zahrnovalo několik okruhů řešených problémů. Bylo potřeba vytvořit vhodné konstrukční řešení přístroje včetně jeho automatického ovládání, zajistit snímkování digitálním fotoaparátem a získaná data zpracovat s využitím obrazové analýzy.

Zařízení pro tvorbu laserové stopy na textilií, umístěné na Cusickově drapometru, vyžaduje pevnou a stabilní konstrukci, která je schopna tlumit rázy a odolávat vibracím od motorků. Pro zajištění plynulého kruhového pohybu nosiče laseru bylo potřeba zvolit vhodný mechanismus, který by byl schopen udržet konstantní výšku stopy laseru po celém obvodu textilie během jedné otáčky. Dalšími konstrukčními problémy bylo vyřešení lineárního posuvu laseru, nasměrování jeho paprsku směrem k ose drapometru a uchycení zrcátek s možností nastavení jejich vhodného sklonu. Rovněž bylo potřeba zajistit převod mezi hnací jednotkou a nosičem laseru.

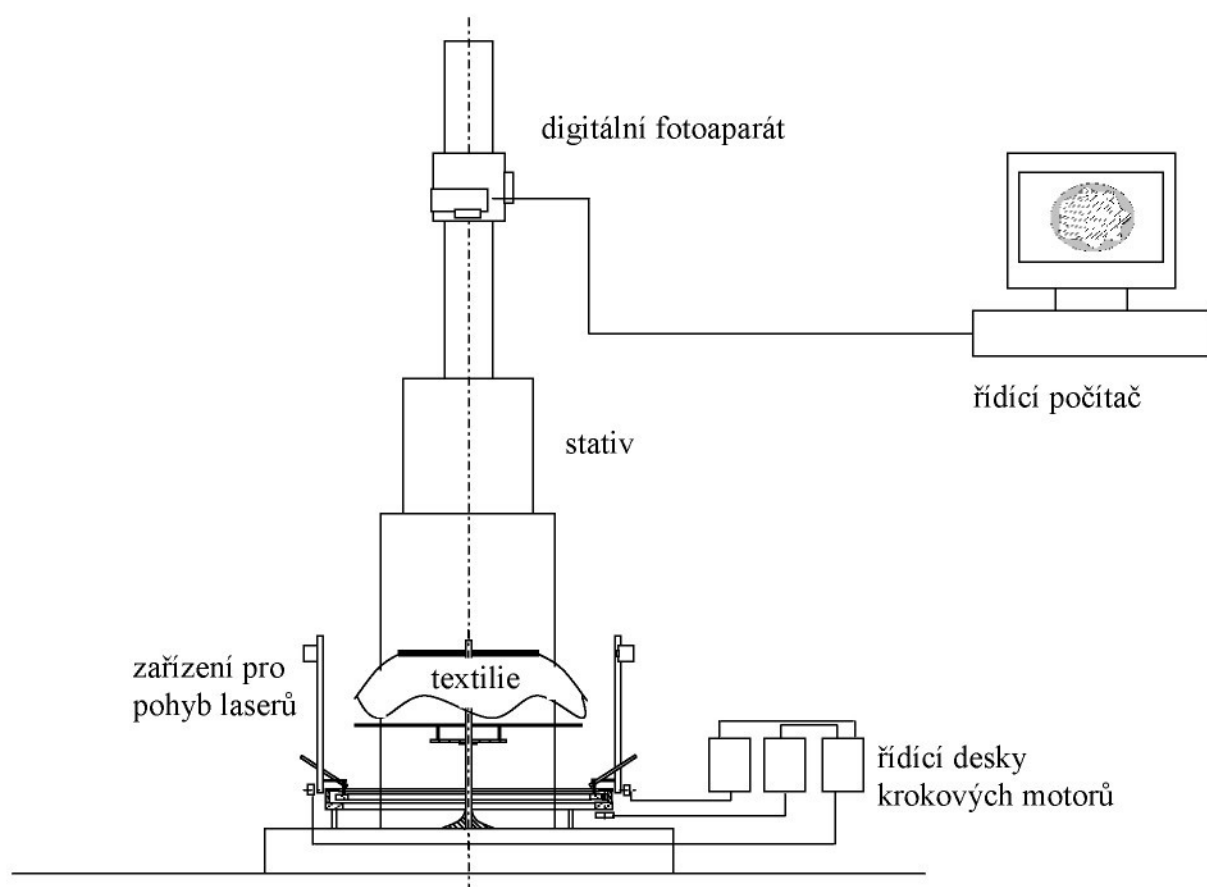
Aby bylo dosaženo požadovaného pootočení a posuvu laseru, bylo nutno použít řízený pohon, u kterého lze naprogramovat potřebný počet otáček a nastavit rychlost. Důležitá je také možnost pozvolného rozjezdu a zastavení ve zvoleném čase.

Při výběru digitálního fotoaparátu bylo rozhodující, aby umožňoval nastavení frekvence snímkování a dlouhý čas osvitů. Dalšími parametry byla dostatečná rozlišovací schopnost a vhodný rozsah ohniskových vzdáleností. Z hlediska převádění dat do počítače je výhodné, pokud lze naprogramovat snímkování pomocí softwaru. Zajištění nastavitelné polohy fotoaparátu nad drapometrem vyžaduje použití stativu.

Data získaná z digitálního snímku je potřeba zpracovat pomocí obrazové analýzy, která zahrnuje transformaci barevného obrazu nejprve na černobílý a následně nastavením vhodného prahu na binární obraz. Soustava binárních obrazů musí být převedena na funkci o třech proměnných, které odpovídají jednotlivým prostorovým souřadnicím bodů na povrchu textilie. U hodně splývavých textilií, kdy jsou zaznamenávány stopy odražené v zrcátku je ovšem nutno souřadnice transformovat, aby odpovídaly skutečnému tvaru textilie. Posledním krokem je grafické zobrazení modelu splývající textilie.

## 2.3 Realizace měřicího zařízení

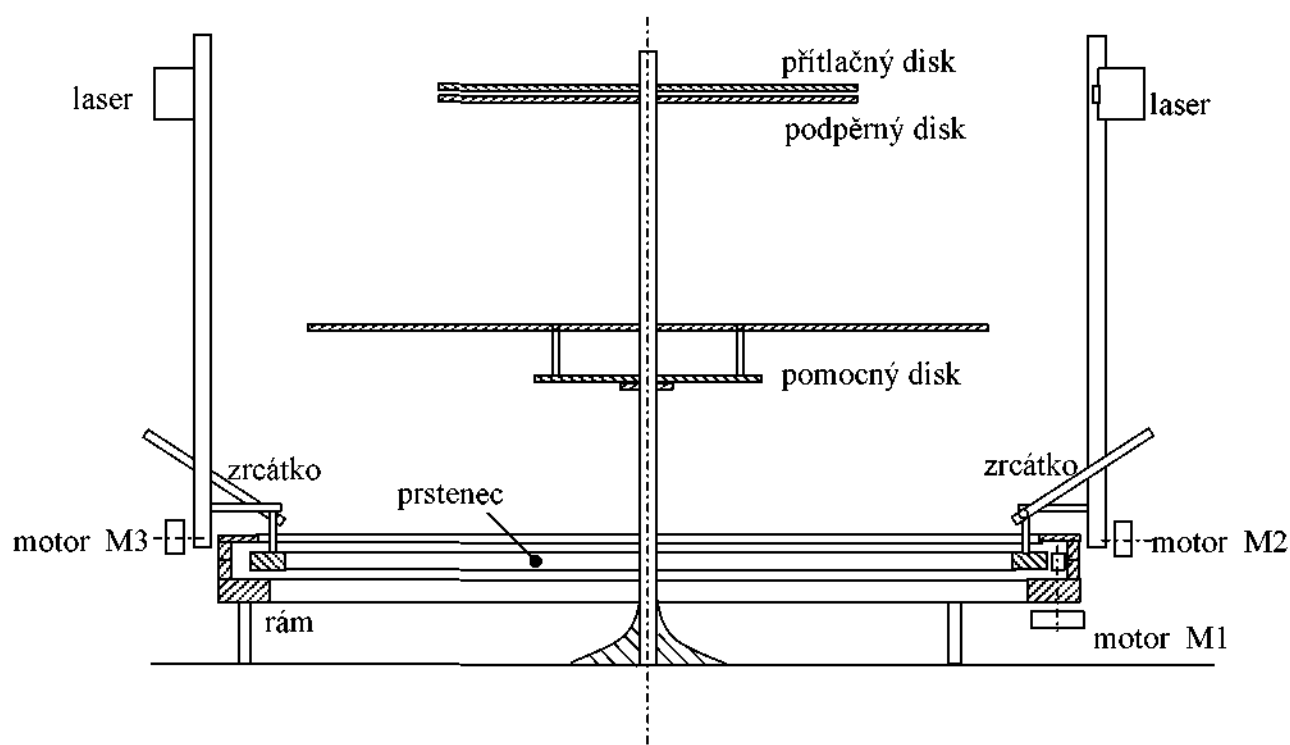
Celkové uspořádání vychází z měřicího přístroje navrženého na Technické univerzitě v Liberci a popsaného v práci [22]; je využito i některých konstrukčních celků a vyhodnocovacích programů. Zdokonalení spočívá v automatizaci zařízení a v použití jednotného softwaru pro zpracování obrazu. Přístroj se skládá z drapometru, stativu s fotoaparátem, ze zařízení pro pohyb laseru a z počítače. Součástí drapometru je zařízení umožňující pomocí posuvného disku z plexiskla zajistit plynulé splývání vzorku textilie. Schéma uspořádání měřicího přístroje je vidět na obr.2.1.



Obr.2.1 Celkové schéma zařízení pro měření 3D tvaru splývající textilie

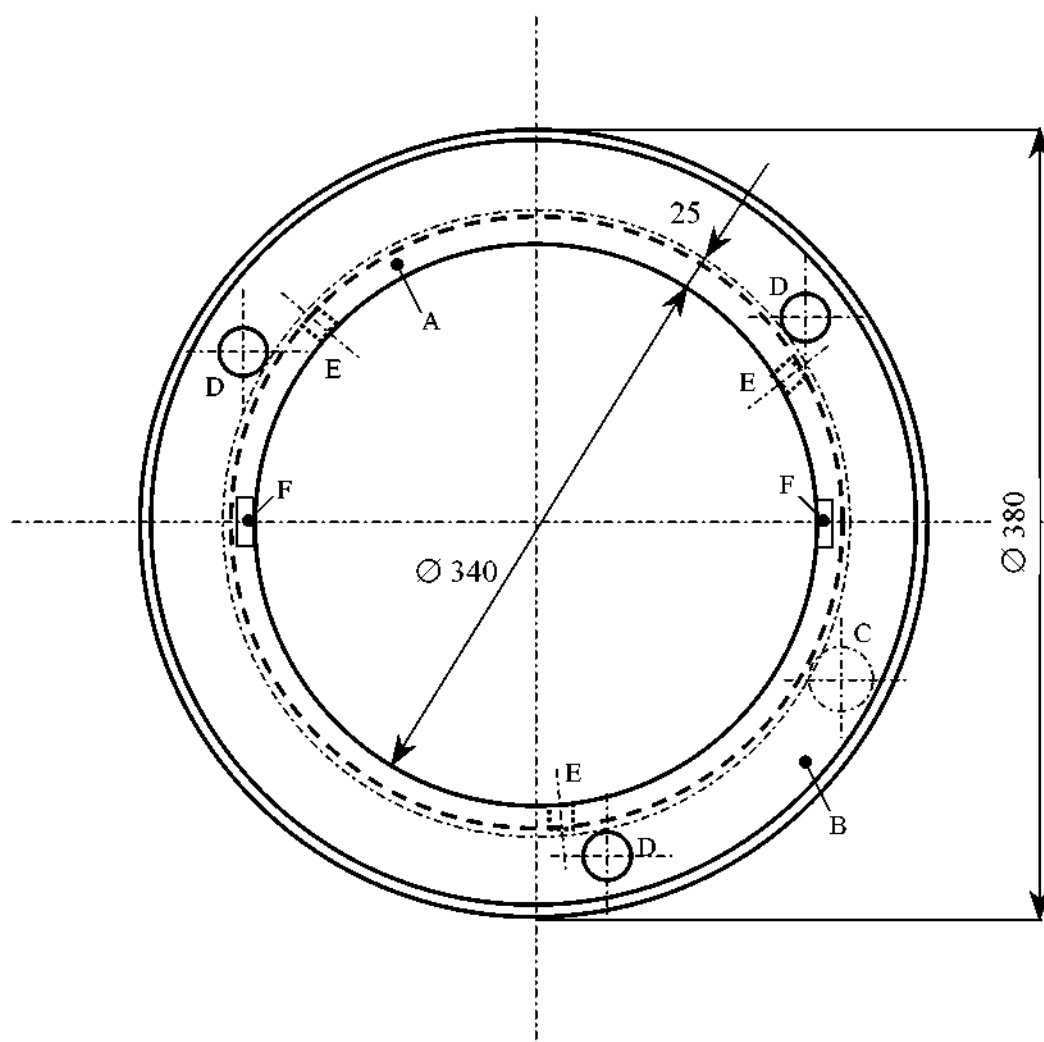
### 2.3.1 Konstrukce zařízení pro pohyb laseru

Pohyb laseru okolo splývající textilie byl realizován pomocí kruhového rámu, v jehož drážce se pohybuje prstenec (viz *obr.2.2*). Na prstenci jsou proti sobě připevněny dvě zařízení, zajišťující lineární posun laseru ve vertikálním směru. Dva lasery byly použity proto, aby byl prstenec rovnoměrně zatížen, aby bylo zamezeno asymetrickému působení odstředivé síly a aby byla snížena míra namáhání vodičů.



*Obr.2.2 Drapometr a zařízení pro pohyb laserů*

Kruhový rám stojí na třech nohách, zajišťujících stabilitu přístroje. V drážce kruhového rámu jsou otáčivá kolečka, na nichž spočívá prstenec a která umožňují jeho plynulé otáčení (viz *obr.2.3*). Vnější obvod prstence je opatřen zuby, které doléhají na ozubené kolo, umístěné na vertikálně orientované hřídeli krokového motorku.



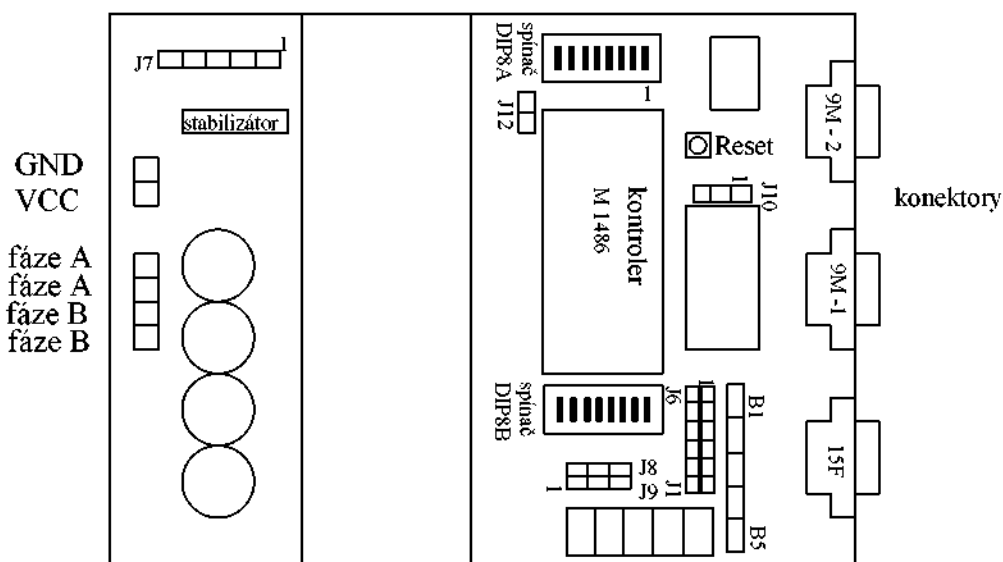
Obr.2.3 Prstenec: A) prstenec na vnějším obvodu ozubený, B) rám, C) ozubené kolo pohánějící prstenec, D) přitlačná kolečka, E) podpěrná kolečka, F) umístění nosičů laserů

Dvě dvojice sloupků, připevněných naproti sobě na pohyblivém prstenci, nesou zařízení, umožňující lineární posun laseru, a zrcátka, odrážející laserovou stopu. Lasery jsou připevněny na posuvných vozících, jejichž pohyb je zajištěn převodem od krokového motorku pomocí ocelového lanka. Sklon zrcátka a jeho polohu lze nastavit pomocí šroubu.

### 2.3.2 Řízený pohon

Pro pohyb zařízení byly použity tři krokové motorky, ovládané pomocí programovatelných řídicích desek. Lineární posun jednotlivých laserů zajišťovaly čtyřfázové krokové motory typu SMR 300-100-RI/24 od firmy RAB s.r.o., napájené stejnosměrným napětím 24V. Pro pohyb prstence byl použit krokový motorek, vymontovaný z plotru, u kterého nebyly zjištěny přesné parametry. Ovládání bylo zajištěno pomocí řídicích desek typu CD20M od firmy Microcon<sup>®</sup>. Funkci pojistky proti mechanickému poškození přístroje plní mikrospínače, které umožňují přerušit napájení motorků v případě dosažení kritické polohy laseru.

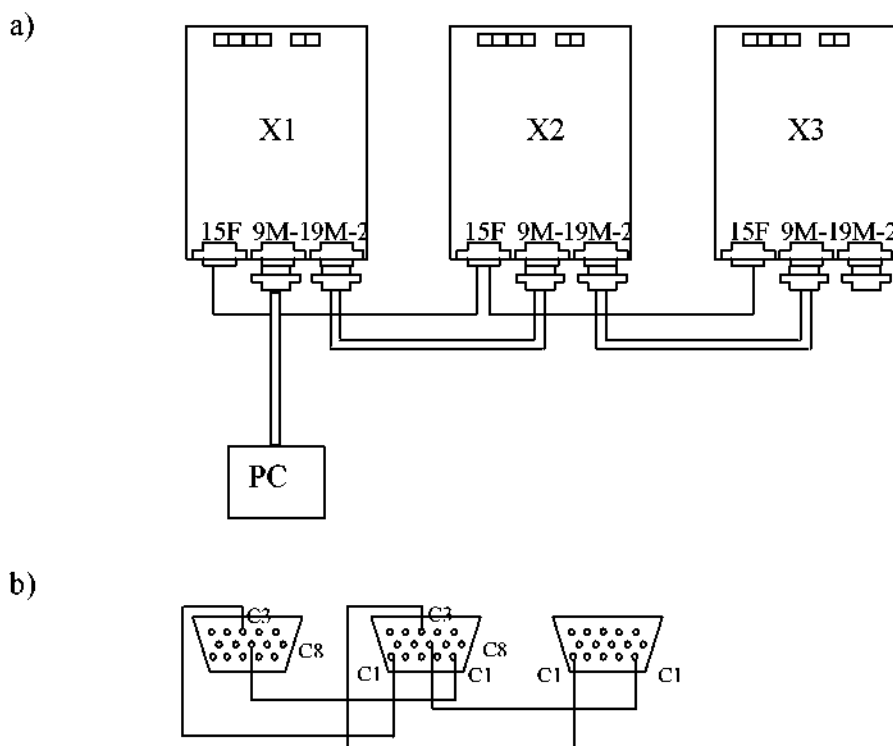
Každý krokový motor je ovládán vlastní řídicí deskou. Řídicí deska (viz *obr.2.4*) se skládá z řídicí části, která je realizovaná kontrolerem M1486E1 a výkonovým zesilovačem s pulsní regulací proudu a s možností mikrokrokování. Každá řídicí deska a odpovídající krokový motor, byly napájeny samostatným externím zdrojem stejnosměrného napětí. Na deskách byla pomocí spínače DIP8A nastavena amplituda výstupního proudu na 0,4 A a pomocí jumperu J7 hodnota výstupního napětí na 24V (poloha 4-5). Externí zdroje sloužily i pro napájení laserů.



Obr.2.4 Řídicí deska CD20M

Řídicí deska ovládá pohyb motorků na základě programu, předem nahráného do kontroleru. Propojení řídicích desek s počítačem za účelem nahrání programu je zřejmé ze

schématu *obr.2.5*. Je využito standardních RS232 konektorů Cannon 9M a konektorů Cannon 15F, umožňujících propojení výstupů se vstupy. Pro správnou komunikaci s počítačem bylo nutné na spínači DIP8A prostřednictvím vstupů ADDR0 až ADDR3 zadat adresy jednotlivých desek. Po nahrání hotového řídicího programu byly desky od počítače odpojeny.

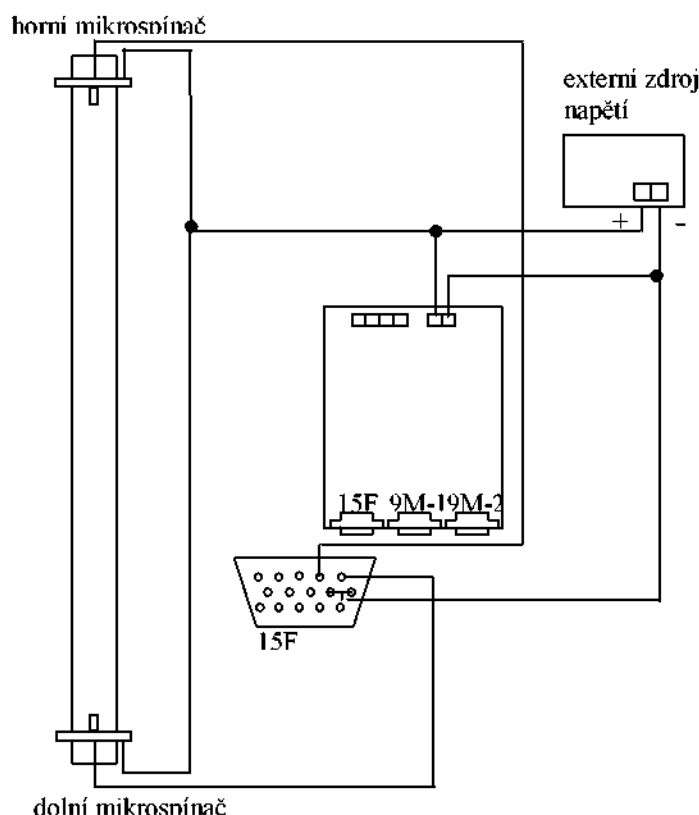


*Obr.2.5 Vzájemné propojení řídicích desek a propojení s počítačem. a) Celkové schéma: karta X1 ovládá motor M1(pohyb prstence), karty X2,X3 ovládají motory M2, M3 (pohyb laserů). b) detail propojení konektorů 15F*

K zapojení mikrospínačů byly použity konektory Cannon 15F, které je možné použít pro vstupní i výstupní signály. Jestliže je laser v bezpečné poloze, z mikrospínače přichází vstupní signál odpovídající logické nule, v případě dosažení krajní polohy se mikrospínač sepne a vyšle signál odpovídající logické jedničce. Tento signál způsobí odpojení napájení motorku. Zapojení mikrospínačů je znázorněné na *obr.2.6*.

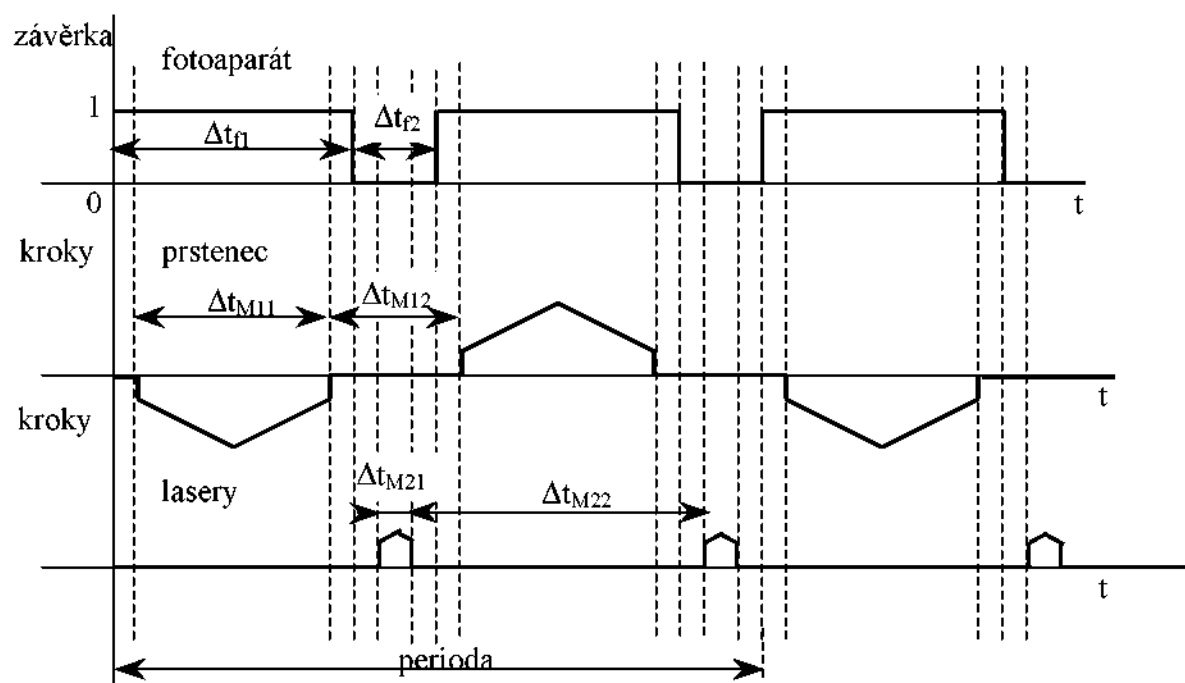
Program pro ovládání motorků byl napsán ve vývojovém prostředí programu Inmotion PC Utilities, dodávaný s řídicí deskou. Při prvním spuštění programu bylo potřeba nastavit parametry sériové linky - komunikační port a přenosovou rychlost. Při navazování spojení mezi programem Inmotion PC Utilities a kontrolerem za účelem zřetězení desek byl zvolen následující postup. Nejdříve byla v řádkovém menu vybrána nabídka Configuration a povel

Serial, následně byl vyslán povel IndeX1, potom povel Reset a znovu povel Serial a zvolený kontroler odpověděl. Popsaný postup byl zopakován pro další dva kontrolery pouze s tím rozdílem, že povel IndeX1 byl nahrazen povely IndeX2 a IndeX3 tak, aby indexy odpovídaly jednotlivým motorkům.



Obr.2.6 Zapojení mikrosplínačů

Do kontrolerů řídících desek byl nahrán program, který ovládá pohyb krokových motorků, synchronizovaný s otevíráním závěrky fotoaparátu. Synchronizace pohybu motorků a otvírání závěrky fotoaparátu je zřejmá z obr.2.7 a tab.2.1. Po otevření závěrky fotoaparátu se začne točit motor M1, který zajistí pootočení prstence o 180°. V době, kdy je závěrka fotoaparátu zavřena se roztočí motorky M2 a M3, které posunou lasery do požadované výšky. Po dalším otevření závěrky se prstenec otočí o 180° v opačném směru, takže se vrátí do výchozí polohy, a lasery se opět posunou. Poté se celý cyklus opakuje. Na závěr po nasnímání celého vzorku splývající textilie se lasery vrátí do výchozí polohy. Program pro ovládání motorků je obsahem přílohy č.1, pro jeho napsání byl použit manuál [24]. Použité hodnoty zrychlení a rychlosti jsou uvedeny v tabulce tab.2.2. Optimalizace hodnot byla provedena empiricky tak, aby nedocházelo k nadměrné hlučnosti motoru a vibracím zařízení.



Obr. 2.7 Synchronizace krokových motorků a závěrky digitálního fotoaparátu

|            |             |                                |
|------------|-------------|--------------------------------|
| fotoaparát | doba osvitu | $\Delta t_{f1}=5 \text{ s}$    |
|            | čekání      | $\Delta t_{f2}=12 \text{ s}$   |
| M1         | pohyb       | $\Delta t_{M11}=3 \text{ s}$   |
|            | čekání      | $\Delta t_{M12}=14 \text{ s}$  |
| M2, M3     | pohyb       | $\Delta t_{M21}=0.1 \text{ s}$ |
|            | čekání      | $\Delta t_{M22}=15 \text{ s}$  |

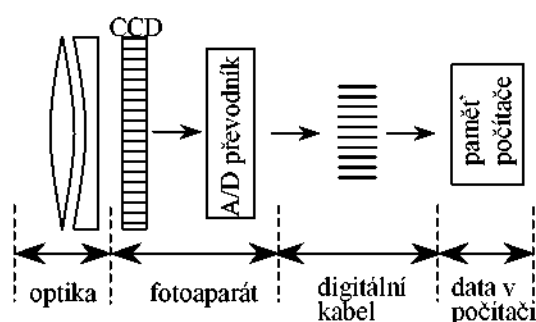
Tabulka 2.1 Časová synchronizace krokových motorků a závěrky digitálního fotoaparátu

|                    | M1                              | M2, M3             |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| počáteční rychlost | 50 [celokroků/s]                | 100 [celokroků/s]  |
| maximální rychlost | 800 [celokroků/s]               | 1000 [celokroků/s] |
| zrychlení          | 200 [celokroků/s <sup>2</sup> ] | 64 [celokroků/s]   |
| dráha              | 600 [celokroků/s]               | 10 [celokroků/s]   |

Tabulka 2.2 Použité hodnoty pro řízení krokových motorů

### 2.3.3 Snímání obrazu

Snímání obrazu digitálním fotoaparátem v sobě zahrnuje převod vstupních optických veličin na spojitý elektrický signál, který je následně transformován do diskrétního tvaru[25]. Digitální fotoaparát (viz *obr.2.8*) se skládá z optického objektivu, CCD (Charge Coupled Devices) snímače obrazu a elektroniky, umožňující převést sejmutý obraz k dalšímu zpracování. Objektiv soustřeďuje dopadající energii a na snímači vytváří obraz. Měřenou veličinou je ozáření (jas). Analogově číslicový převodník získá z intenzity světla číslo, které je dále zpracováno v počítači.



*Obr.2.8 Digitální fotoaparát*

Snímání splývající textilie bylo realizováno pomocí digitálního fotoaparátu C760-UZ od firmy Olympus. Vzhledem k požadavku automatického snímkování bylo použito programu Cam2Com, který umožňuje ovládání fotoaparátu a nastavování parametrů snímků prostřednictvím počítače. Program je volně přístupný na internetu [26]. Po instalaci programu bylo nutno zadat typ fotoaparátu do systému počítače a přepnout fotoaparát do režimu Camera Control, aby bylo možno pomocí USB kabelu posílat příkazy směrem od počítače k fotoaparátu. Pokud by nebyl nastaven režim Camera Control, fotoaparát by se choval jen jako výměnný disk, ze kterého lze data pouze číst. V programu Cam2Com byly nastaveny tyto parametry: čas osvětlení, hodnota clony, rozlišení, počet fotografií, požadovaný časový interval mezi snímky a jméno adresáře do kterého se snímky ukládají. Zvolené časové intervaly jsou vidět na *obr.2.7* a v *tab.2.1*.

Aby byla světelná stopa laseru na textilií dostatečně zřetelná, je potřeba měření provádět v zatemněné laboratoři. V případě, kdy jsou světelné stopy na textilií snímány přímo, je nutno zakrýt zrcátka, pokud je cílem zaznamenat odraženou stopu, je naopak potřeba zakrýt textilií diskem z tmavého papíru o poloměru 280 mm.

## **2.4 Zpracování obrazu**

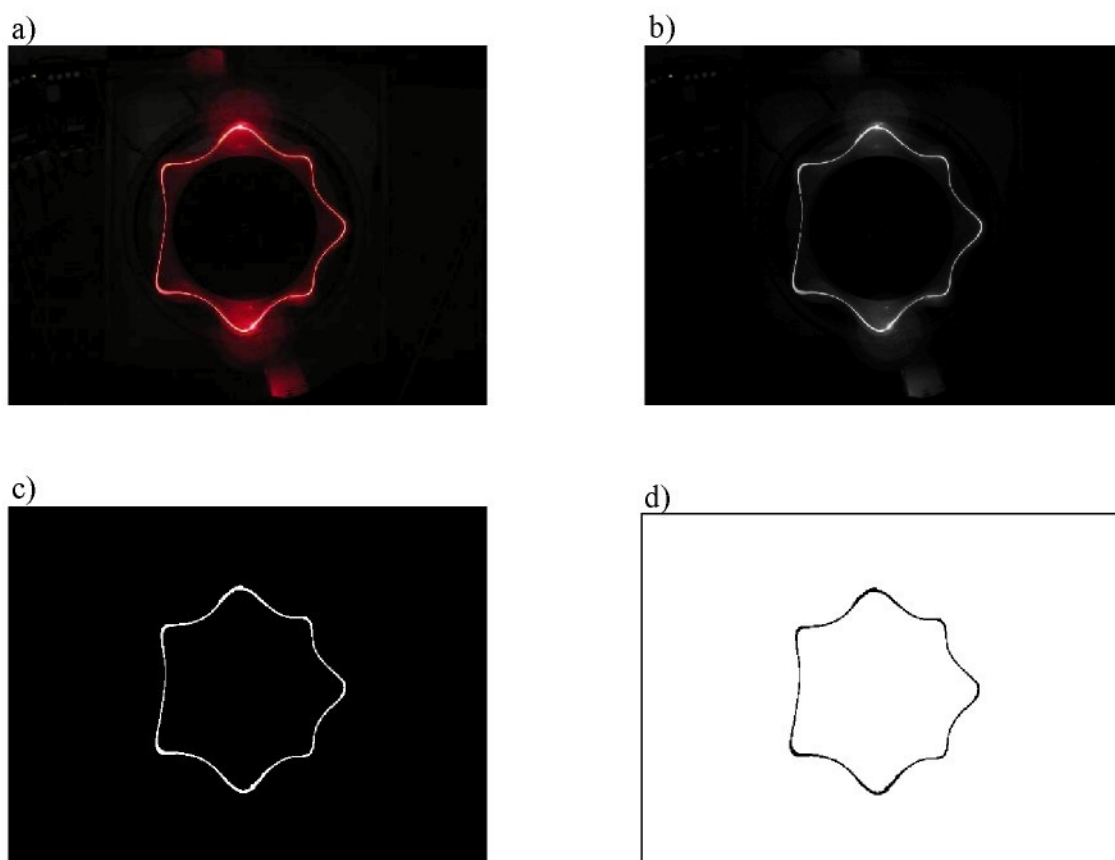
Barevný signál se skládá ze tří samostatných spektrálních složek - červené, zelené a modré - a lze jej popsat fyzikální veličinou označovanou jako jas, což je vektor vyjadřující zastoupení jednotlivých barevných složek signálu. Obraz lze chápat jako soustavu barevných signálů a lze jej matematicky popsat pomocí tzv. obrazové funkce. Jedná se o funkci o dvou proměnných  $f(x,y)$ , kde každé dvojici plošných souřadnic  $(x,y)$  odpovídá vektor jasu. U digitalizovaného obrazu má obrazová funkce  $f(x,y)$  diskrétní charakter a je představována maticí. Prvky matice odpovídají jednotlivým obrazovým elementům (pixelům) a vyjadřují hodnotu jejich jasu.

S obrazovou funkcí vyjádřenou ve formě matice lze dále pracovat a pomocí vhodných transformací vytvořit upravenou obrazovou funkci, která umožňuje identifikovat sledované objekty a následně určit jejich charakteristiky jako je velikost, tvar a poloha. Často se využívá tzv. binárního obrazu, který lze vyjádřit maticí složenou pouze z jedniček a nul, kde jednička odpovídá černé barvě a nula bílé. Tímto způsobem lze odlišit pozadí od sledovaných objektů.

Při tvorbě 3D modelu splývající textilie bylo potřeba z jednotlivých snímků získat křivky odpovídající obrysu textilie v jednotlivých snímaných rovinách. Jednotlivým bodům křivky bylo dále nutno přiřadit prostorové souřadnice, aby mohl být vytvořen 3D graf. Pro tyto účely byl použit program Matlab 7.0, který umožňuje jak zpracování obrazu, tak i transformaci na 3D graf a jeho vizualizaci. Pro obrazovou analýzu byl využit Toolbox Image Processing.

### 2.4.1 Převedení snímku na binární obraz

Transformace barevného obrazu vrstevnice splývající textilie na binární obraz vychází z předpokladu, že stopa vytvořená laserem má vyšší jas než okolí. Jednotlivé kroky transformace jsou patrné z obr.2.9. Barevný obraz byl nejprve převeden na černobílý, tvořený celou stupnicí šedi. Vhodnou volbou prahu - hraničním stupněm šedi – byl černobílý obraz převeden na binární. Dále bylo nutno odstranit z obrazu šumy – objekty mimo křivku, které nebyly odstraněny prahováním, protože měly vysoký jas. K tomu byl použit příkaz `bwareaopen`, který na základě definování plochy objektu odstraňuje malé objekty. Posledním krokem byla inverze černé a bílé tak, aby křivka byla tvořena černou barvou a pozadí bílou. Tato transformace byla provedena proto, aby pro přiřazení souřadnic jednotlivým bodům mohl být použit program, vytvořený v rámci diplomové práce [22].



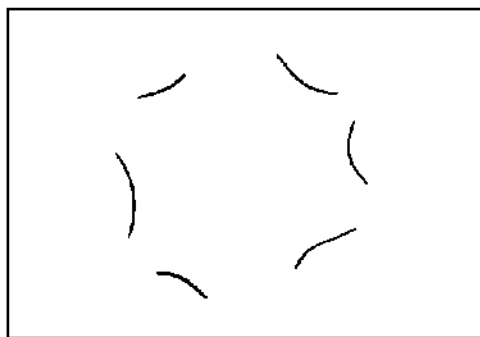
*Obr.2.9 Transformace snímku vrstevnice a) barevný obraz, b) černobílý obraz, c) binární obraz po odstranění šumu, d) invertovaný binární obraz*

### 2.4.2 Tvorba 3D grafu

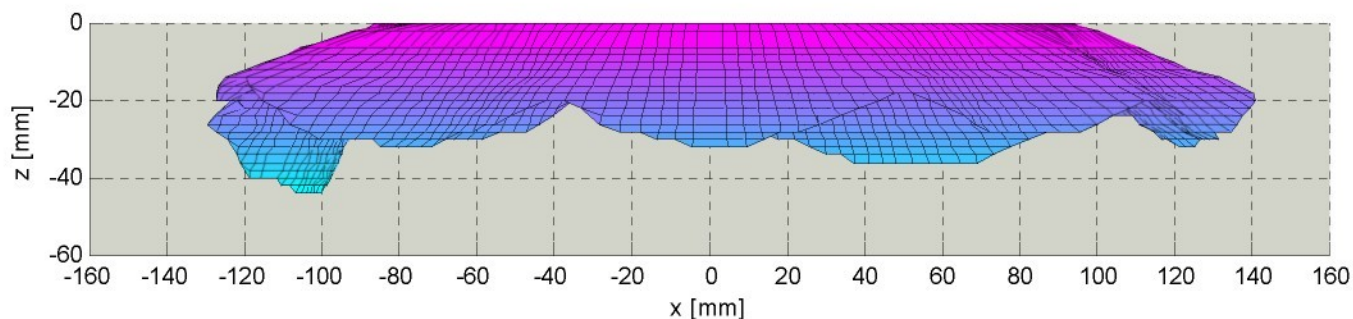
Východiskem pro vytvoření 3D grafu je soubor binárních obrazů vrstevnic. Stěžejním krokem je pak přiřazení souřadnic každému bodu vrstevnice. Počátek souřadného systému je umístěn do středu disku drapometru. Osa  $z$  odpovídá ose objektivu; je kolmá k rovině drapometru a prochází jeho středem. Osy  $x$  a  $y$  dělí disk drapometru na čtyři shodné kruhové výseče. Pro zobrazení ve správném měřítku je potřeba provést kalibraci, tj. přiřadit pixelům délkový rozměr. Použitý fotoaparát má čtvercový rastr, takže zobrazovací modul je ve směru  $x$  a  $y$  shodný.

Pro přiřazení souřadnic byl využit program vytvořený v rámci diplomové práce [22], kde byly upraveny parametry rozlišení pro použitý fotoaparát a byl zjednodušen způsob načítání snímků. Program pracuje na principu postupného hledání černých pixelů vrstevnice na binárním obraze tak, že prohledává postupně jednotlivé kvadranty a postupuje směrem od středu obrazu k okraji. Každému bodu pak přiřazuje reálné souřadnice  $x$  a  $y$ , souřadnice  $z$  je stejná pro všechny body na jednotlivé vrstevnici a odpovídá poloze laseru.

Vzhledem k tomu, že okraj textilie je zvlněný i ve vertikálním směru, spodní vrstevnice jsou neúplné, jak je vidět na *obr.2.10*. V programu byl problém řešen testem neúplnosti souřadnic. V případě, že v radiálním směru při určitém úhlu není nalezen žádný černý bod, je neúplná vrstevnice doplněna úsekem křivky předchozí vrstevnice. Vzniká tím prostorová křivka, jejíž některé úseky mají jinou  $z$  souřadnici než odpovídá původní rovině vrstevnice. Na výsledném 3D grafu se v některých úsecích na obvodu textilie tyto upravené křivky překrývají (viz *obr.2.11*).



*Obr.2.10 Binární obraz neúplné stopy, která vzniká na zvlněném okraji splývajícího vzorku.*



*Obr.2.11 Boční pohled na splývající vzorek textilie. Okraj splývající textilie je zvlněný, takže některé vrstevnice jsou neúplné.*

Souřadnice bodů stop, které byly získány odrazem v zrcátku, je potřeba po přiřazení souřadnic transformovat tak, aby odpovídaly původní stopě na povrchu textilie. K transformaci byl využit program uvedený v diplomové práci [22], který je založen na matematických vztazích (9a-c).

Výsledný graf je vytvořen na základě matice tvořené třemi vektory  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{y}$ ,  $\mathbf{z}$ , které odpovídají třem prostorovým souřadnicím bodů na povrchu textilie. Každý z vektorů je tvořen subvektory  $\mathbf{x}_i$ ,  $\mathbf{y}_i$ ,  $\mathbf{z}_i$ , které vyjadřují souřadnice bodů jednotlivých stop. Počet subvektorů odpovídá počtu nasnímaných vrstevnic.

### 3 Ověření činnosti zařízení

#### 3.1 Specifikace zkoušených vzorků

Funkčnost přístroje byla prověřena na sadě vzorků tkanin, jejichž koeficient splývavosti  $DC$ , definovaný vztahem (2), se pohyboval v intervalu 15÷82 [%]. Specifikace parametrů zkoušených textilií je uvedena v tabulce 3.1.

| číslo vzorku | materiál        |          | vazba       | koeficient splývavosti [%] | dostava [n/10cm] |       | jemnost [tex] |       | plošná hmotnost [kg.m-2] |
|--------------|-----------------|----------|-------------|----------------------------|------------------|-------|---------------|-------|--------------------------|
|              | osnova          | útek     |             |                            | $D_o$            | $D_u$ | $T_o$         | $T_u$ |                          |
| 1            | 100% VI         |          | plátno      | 82,03                      | 160              | 140   | 12            | 19    | 0,080                    |
| 2            | 100% VI         |          | plátno      | 77,16                      | 400              | 220   | 13            | 20    | 0,115                    |
| 3            | PES             | VSs      | atlas       | 70,91                      | 640              | 275   |               |       | 0,164                    |
| 4            | 100% VI         |          | plátno      | 57,86                      | 380              | 240   | 15            | 18    | 0,090                    |
| 5            | CO              | 100%PESh | atlas       | 30,89                      | 530              | 420   | 12,5          | 18    | 0,180                    |
| 6            | 100%CO          |          | plátno      | 24,15                      | 350              | 225   | 20            | 20    | 0,120                    |
| 7            | 98%CO+2%elastan |          | útkový kord | 15,32                      | 300              | 380   | 35,5          | 47    | 0,310                    |

Tloušťka  $t_o$  měřená při tlaku  $0,5 \text{ gf/cm}^2 \cong 50 \text{ N/m}^2$

Tab. 3.1 Parametry zkoušených textilií

### **3.2 Postup měření**

Měření tvaru splývající textilie probíhá podle následujícího postupu:

1. Příprava vzorku
2. Nastavení fotoaparátu a propojení s počítačem
3. Kontrola vystředění drapometru a zařízení pro pohyb laseru
4. Kalibrace
5. Nastavení parametrů snímku v programu Cam2Com
6. Umístění zkoušeného vzorku na drapometr
7. Zatemnění
8. Spuštění měřicího zařízení
9. Zpracování obrazu

ad1) Vzorky textilie mají kruhový tvar o průměru 300mm, uprostřed jsou opatřeny otvorem, který umožňuje navlečení na čep drapometru. Příprava vzorku odpovídá normě [10].

ad2) Nejprve nastavíme fotoaparát do režimu Camera Control: nastavíme mod A/S/M, zapneme fotoaparát, otevřeme kryt od karty; asi na 3 sekundy zmáčkeme současně tlačítko OK/Menu a tlačítko na přepnutí LCD obrazovky, objeví se speciální menu fotoaparátu, kde vybereme položku Camera Control a zmáčkeme OK; zavřeme kryt od karty, propojíme fotoaparát s počítačem pomocí USB kabelu a pustíme program Cam2Com.

ad3) Před vlastním měřením je potřeba pomocí kontrolního snímku ověřit, zda drapometr a zařízení pro pohyb laseru jsou umístěny v ose objektivu fotoaparátu. Pomocí programu Cam2Com uděláme kontrolní snímek, který se zobrazí na monitoru, a případně upravíme polohu zařízení a drapometru.

ad4) Nastavíme výšku fotoaparátu pomocí posuvné hlavy stativu. Při ověřovacím experimentu byla na stupnici stativu nastavena hodnota 390 mm; tato hodnota neodpovídá skutečné vzdálenosti drapometru od objektivu. Skutečnou vzdálenost je potřeba změřit a zadat do programu pro transformaci odražených stop. V našem případě

byla tato vzdálenost 700 mm. Po nastavení výšky fotoaparátu je nutné systém zkalibrovat; na střed drapometru umístíme čtverec o známých rozměrech tak, aby strany čtverce byly orientovány souhlasně s okraji snímku, a uděláme snímek. Snímek načteme v programu Matlab, v rámci Axes Properties pomocí příkazu `CamereViewAngel` nastavíme vhodné zvětšení a pohybem kurzoru zjistíme souřadnice pixelů na okraji čtverce; zjistíme počet pixelů, odpovídající délce strany čtverce a vypočítáme zobrazovací modul  $m$ , který přiřazuje pixelu délkový rozměr:

$$m = \frac{\text{délka strany čtverce}}{\text{počet pixelů}} [\text{mm} / \text{pix}] \quad (10)$$

Zjištěnou hodnotu  $m$  zadáme do výpočetního programu.

- ad5) V programu Cam2Com otevřeme záložku Edit a položku Capture Properties; délku osvitu nastavíme na 5s, hodnotu clony na 2.8, rozlišení snímku 1280x960, formát jpg, ostatní hodnoty neměníme. Dále otevřeme záložku File a položku Auto Take Pictures; nastavíme počet snímků na 30, interval mezi jednotlivými snímky na 17 sekund, zadáme adresu a název souboru, do kterého se snímky budou ukládat.
- ad6) Pod pomocný disk z plexiskla umístíme podpěrné tyče a necháme jej vyjet do nejvyšší polohy. Připravený vzorek textilie umístíme na podpěrný disk drapometru tak, aby osnova byla orientována souhlasně s vertikálním směrem snímku. Otvor uprostřed vzorku navlékneme na čep drapometru, na vzorek textilie položíme přitlačný disk a zafixujeme pomocí křídlové matice. Potom necháme pomocný disk sjet do nejnižší polohy a odklopíme podpěrné tyče. Pohledem na vzorek shora, popřípadě vytvořením snímku zjistíme, zda je vidět celý vzorek, nebo zda některé záhyby zasahují pod disk drapometru. Podle toho zakryjeme buď zrcátka, nebo vzorek textilie.
- ad7) Je potřeba zamezit přístupu denního světla a vypnout umělé osvětlení. Obrazovka monitoru by měla být odkloněna od měřicího zařízení. Je rovněž vhodné zakrýt lesklé předměty (řídící karty) v zorném úhlu fotoaparátu.
- ad8) Zapneme zdroj napájení karty X1, počkáme až prstenec vykoná jednu půlotáčku, a potom zapneme současně další dva zdroje ke kartám X2 a X3. Počkáme, až prstenec vykoná další půlotáčku; při zastavení prstence zapneme stopky, odměříme 10 sekund a zapneme nastavené automatické snímkování v programu Cam2Com. Nasnímání 30-ti

vrstevnic trvá asi 8 minut. Při dalších měřeních se postup opakuje s tím rozdílem, že zařízení pro pohyb laserů zapínáme pomocí tlačítek reset na řídicích kartách.

- ad9) Spustíme program Matlab. Skripty binarizace.m a model.m slouží ke zpracování záznamu stop na textilií, skripty zbinarizace.m a transformace.m jsou přizpůsobeny pro obrazy stop odražených v zrcátku. Postup zpracování je následující: ve skriptu binarizace.m (zbinarizace.m) zadáme adresu a název souboru, do kterého byly ukládány snímky prostřednictvím programu Cam2Com. Spustíme skript binarizace.m (zbinarizace.m), jehož výsledkem je soubor vrstevniceBin, který obsahuje binarizované snímky vrstevnic. Pro další zpracování vrstevnic a vykreslení 3D grafu spustíme skript model.m (transformace.m).

### **3.3 Výsledky měření**

Naměřené 3D grafy vzorků textilií včetně jejich strukturních parametrů jsou uvedené v příloze č.3. Každý vzorek je zachycen v pohledu shora, odpovídajícím pohledu z boku, a dále z nadhledu a z podhledu. U pohledu shora je pro porovnání uvedena fotografie, zachycující splývající vzorek textilie jako celek. Textilie jsou v příloze seřazeny od nejvíce splývavé (DC=82%) po nejméně splývavou (DC=15%). Vzorky 1 a 2 byly snímány pomocí zrcátek, vzorky 4-7 byly snímány přímo. Vzorek 3 (DC=71%) se nepodařilo zpracovat do podoby 3D grafu - při přímém snímání nebyly zachyceny záhyby zasahující pod disk drapometru a při snímání pomocí zrcátek byly stopy horních vrstevnic neúplné.

## 4 Zhodnocení činnosti měřicího zařízení

Navržený měřicí přístroj umožňuje snadné a rychlé měření 3D tvaru splývající textilie. Úkolem obsluhy je správné umístění měřeného vzorku, nastavení parametrů fotoaparátu a vyhodnocovacích programů a správné spuštění měřicího zařízení. Celý proces snímání probíhá automaticky. V porovnání se zařízením popsaným v práci [22] je tedy proces měření výrazně usnadněn. Pro další zjednodušení ovládání měřicího zařízení by bylo možné nahradit tlačítka reset na jednotlivých kartách jedním centrálním tlačítkem pro spuštění celého přístroje. Tato úprava by rovněž umožnila nahradit tři zdroje napájení řídicích desek a krokových motorů jedním zdrojem.

Při ověřování činnosti zařízení bylo zjištěno, že pohyb motorku M1 se nepatrně opoždí oproti snímání fotoaparátu. Problém byl vyřešen nastavením kratšího času čekání motorku po několika půlotáčkách (viz program v příloze č.1). Úplné časové synchronizace by bylo možno dosáhnout pouze tehdy, pokud by motorky i fotoaparát byly ovládány jedním programem (Matlab) s využitím rozhraní FireWare (IEEE 1394) pro ovládání fotoaparátu. Tímto způsobem by byl odstraněn i vliv lidského faktoru při spuštění přístroje.

Z hlediska konstrukce by bylo vhodné mechanicky spojit drapometr a zařízení pro pohyb laseru, aby byla zajištěna jejich vzájemná pevná poloha. Rovněž by bylo účelné opatřit přístroj vlastním neprůsvitným krytem, aby nebylo nutno zatemňovat celou laboratoř a aby bylo zamezeno nechtěnému osvětlení zařízení v průběhu měření.

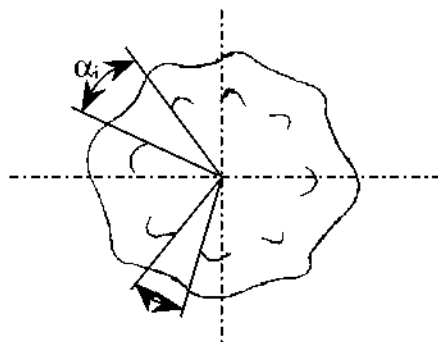
Z grafů v příloze č.3 je zřejmé, že navržený měřicí přístroj je schopen zachytit tvar splývajícího vzorku textilie a pomocí vyhodnocovacích programů vytvořit třírozměrný graf. Srovnáním grafu a fotografie splývajícího vzorku při pohledu shora je vidět, že naměřený tvar textilie odpovídá skutečnému tvaru. Málo splývavé vzorky 4-7 ( $DC=15+60\%$ ), které byly snímány přímo, jsou zobrazeny ve správné velikosti. Vzorky 1 a 2 ( $DC=77+82\%$ ), které byly snímány pomocí zrcátek, jsou zachyceny správně z hlediska tvaru, ale grafy nemají správnou velikost (průměr horní stopy by měl odpovídat rozměru disku drapometru) a jsou mírně vyoseny. Důvod chyby měřítka spočívá pravděpodobně v transformaci odražených stop, ve které nejsou zahrnuty optické poměry objektivu fotoaparátu. Pokud je do výpočtu podle vztahu (9a-c) za hodnotu  $H$ , která odpovídá vzdálenosti objektivu fotoaparátu od disku drapometru, dosazena hodnota menší než skutečná vzdálenost, lze dosáhnout zobrazení ve

správném měřítku. Příčinou vyosení grafu může být drobná odchylka ve sklonu nebo poloze jednotlivých zrcátek.

Ke snímání textilie pomocí zrcátek se váže další problém: u textilií s koeficientem splývavosti okolo 70% (vzorek 3) nelze v zrcátku zachytit části stop horních vrstevnic, protože vypuklá část vlny vzorku zakrývá zrcátko. Snímání stop přímo na textilií v tomto případě nelze použít, protože části vln zasahují pod disk drapometru. Pro textilie s hodnotou koeficientu větší než 75% (vzorky 1 a 2) se podařilo pomocí obrazové analýzy nezřetelné části vrchních stop dopočítat, u vzorku 3 s hodnotou  $DC=71\%$  však některé úseky stop zcela chyběly, takže nebylo možné vytvořit 3D graf.

Jednou z možností, jak zachytit horní vrstevnice u středně splývavých textilií je umístit zrcátka dále od textilie, nebo do vyšší polohy. Současná konstrukce umožňuje nastavení zrcátka jen v určitých mezích. Výraznější oddálení zrcátek od textilie by vyžadovalo novou konstrukci s větším průměrem otočného prstence a také změnu výšky fotoaparátu nebo ohniskové vzdálenosti objektivu. Změna výšky zrcátka je limitována polohou laseru, bylo by však možné zajistit pohyb zrcátka současně s laserem – při snímání vrchních stop by zrcátko bylo umístěné ve vyšší poloze, takže by bylo možné zachytit světelnou stopu ve vrchní části vzorku.

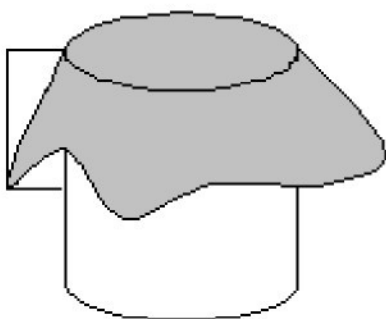
Druhým způsobem získání horních vrstevnic je tvorba 3D grafu na základě snímků přímých i odražených stop - horní vrstevnice by byly vytvořeny z přímých stop, zatímco spodní ze stop odražených. V tomto případě by však bylo nutné buď a) nasnímat nejprve přímé a potom odražené stopy, nebo b) přerušit měření po přímém nasnímání určitého počtu vrstevnic, zakrýt textilií a odkrýt zrcátka a nasnímat spodní část vzorku, anebo c) vytvořit snímky, na kterých je přímá i odražená stopa a pomocí obrazové analýzy je oddělit; tím by se odstranila nutnost zakrývání tkaniny nebo zrcátek. Ve všech případech je ovšem nezbytným předpokladem dořešení správné transformace odražených stop a stanovení vhodné hranice, oddělující oblasti vrstevnic snímaných přímo a odrazem.



Obr. 4.1 Binární obraz přímé a odražené stopy na vzorku splývající textilie.

Transformace vždy do měření zanáší určitou chybu, proto by bylo vhodné vytvářet 3D grafy na základě přímých stop a odražené stopy použít pouze k doplnění úseků vln zakrytých diskem drapometru (viz *obr.4.1*). Chybějící část přímé stopy v rozmezí úhlu  $\alpha_i$  by byla doplněna odpovídajícím úsekem odražené stopy. Úseky stop, které jsou zachyceny přímo i odrazem, mohou posloužit k posouzení správnosti transformace, případně k jejímu doladění.

3D graf splývající textilie vytvořený pomocí automatického zařízení může být využit pro stanovení charakteristik tvaru splývajícího vzorku jako je velikost a tvar záhybů, úhel a hloubka převisu. Novou charakteristikou pro splývavost by mohl být také objem prostoru ohraničeného splývajícími vlnami textilie a pomyslným válcem pod diskem drapometru (viz *obr.4.2*). Určení objemu by vyžadovalo numerický postup s využitím znalosti souřadnic na povrchu textilie. Metodu měření 3D tvaru textilie by bylo možné modifikovat pro měření splývavosti přes ostrý roh; disk drapometru by byl nahrazen čtvercovou deskou, přes jejichž hrany by textilie splývala (viz *obr.4.3*).



*Obr.4.2 Měření objemu pod splývajícím vzorkem*



*Obr.4.3 Textilie splývající přes čtvercovou desku*

## 5 Závěr

V rámci předložené diplomové práce bylo navrženo a zrealizováno zařízení pro měření 3D tvaru splývajícího vzorku textilie. Zařízení je automatizováno, takže umožňuje snadné a rychlé měření. Výhodou je také přímé zaznamenávání naměřených dat do paměti počítače. Funkčnost zařízení byla ověřena na sadě textilních vzorků.

Měřicí zařízení se skládá z kruhové desky, na které je umístěn splývající vzorek, ze zařízení, které umožňuje pohyb laseru kolem textilie, a z digitálního fotoaparátu, umístěného na stativu. Stopa na povrchu vzorku je vytvářena pomocí dvojice laserů, upevněných na otáčivém prstenci. Lasery se pohybují i ve vertikálním směru, takže mohou být postupně zachyceny jednotlivé vrstevnice. Pohyb laserů zajišťují krokové motory, které jsou ovládány předem naprogramovanými řídícími kartami. Jednotlivé světelné stopy na povrchu textilie jsou snímány pomocí digitálního fotoaparátu, umístěného nad textilním vzorkem. Pro snímání povrchu hodně splývavých textilií, jejichž některé vlny nejsou z horního pohledu viditelné, je využito odrazu světelné stopy ve vhodně umístěném zrcátku.

Barevné snímky jednotlivých vrstevnic jsou pomocí obrazové analýzy převedeny na binární obrazy a jednotlivým bodům vrstevnice jsou přiřazeny reálné souřadnice, nezbytné pro vykreslení 3D grafu. Souřadnice stop odražených v zrcátku jsou transformovány, aby byl získán reálný tvar textilie.

Zařízení umožňuje vizualizaci 3D tvaru splývající textilie a získané grafy mohou být základem pro další hodnocení splývavosti. Jsou zachovány důležité informace o tvaru záhybů splývajícího vzorku, což může být využito nejen pro zjišťování klasických charakteristik, jako je počet záhybů a úhel převisu, ale i pro zavedení nového způsobu hodnocení splývavosti výpočtem objemu pod splývajícím vzorkem. Sledování změny tvaru splývajícího vzorku s časem může posloužit k posouzení reologického chování textilie.

Úkolem dalšího výzkumu je především dořešení transformace odražených stop a nalezení způsobu zachycení horních vrstevnic středně splývavých vzorků. Pro zajištění přesného snímání tvaru hodně splývavých textilií se doporučuje vytvořit program, který by vytvářel 3D graf na základě přímých stop a ze stop odražených v zrcátku dopočítával pouze chybějící části vrstevnic. Také by bylo vhodné porovnat míru zkreslení snímku při různé výšce a ohniskové vzdálenosti fotoaparátu.

## 6 Seznam literatury

- [1] HU, J., YUK-FUNG CHAN: Effect of Fabric Mechanical Properties on Drape. Textile Res. J. 68(1), 1998.
- [2] KŮS, Z., GLOMBÍKOVÁ, V.: Vliv anizotropie na splývavost plošných textilií. Seminář Strutex. Liberec: Technická univerzita, 2000.
- [3] SODOMKA, L., STARÁ, K., VARGOVÁ, H.: Struktura tkanin a její vztah k anizotropii modulu pružnosti a splývavosti. Seminář Strutex. Liberec: Technická univerzita, 2001.
- [4] STUMP, D.M, FRASER, W.B.: A Simplified Model of Fabric Drape Based on Ring Theory. Textile Res. J. 66(8), 1996.
- [5] CHEN, B., GOVINDARAJ, M.: A Physically Based Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory. Textile Res. J. 65(6), 1995.
- [6] FISCHER, P., KRZYWINSKI, S.: Simulating the Drape Behavior of Fabrics. Textile Res. J. 69(5), 1999.
- [7] KŮS, Z., GLOMBÍKOVÁ, V., HALASOVÁ, A., ZABOŘILOVÁ, H.: 3D model of draped fabric. Seminář Strutex. Liberec: Technická univerzita, 2002.
- [8] CHU, C.C., CUMMINGS, C.L.: The Development of The Drapemetre. Textile Res. J. 20, 1950.
- [9] ČSN EN ISO 9073-9 Zkušební metody pro netkané textilie, část 9: Zjišťování koeficientu splývavosti. ČNI Praha 1999.
- [10] Norma ČSN 80 0835 Zkoušení splývavosti plošných textilií plošným průmětem. ÚNM Praha 1972.
- [11] British Standard BS.5058.
- [12] CUSICK, G. E.: 21-The measurement of Fabric drape. J. Text. Inst. 1968, part 1, no. 2.
- [13] HEARLE, J.W.S., GROSBERG, P., BACKER, S.: Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics. Vol. 1. New York, London, Sydney, Toronto 1969.
- [14] HOSSEINI, S.M., KISH, M.H, ZOLFEGHARI, A.: Automated drapemetre and comparison of its results with those of conventional methods. Melliand International(2), 1999.
- [15] HEARLE, J. W. S., AMIRBAYAT. J.: The design of Multipurpose Fabric Tester. J. Text. Inst. 1988, part 1, no. 4.

- [16] MATSUDAIRA, M., YANG, M.: Some Features of the Static and Dynamic Drape Behaviour of Polyester-fibre Shingosen Fabrics. Text. Inst. 2000, part 1, no. 4.
- [17] SODOMKA, L., KŮS, Z.: Poznámky k některým charakteristikám textilií. Seminář Strutex. Liberec: Technická univerzita, 1999.
- [18] SODOMKA, L.: Struktura, vlastnosti, diagnostika a nové technologie oddělování, spojení a pojení textilií. Liberec 2002
- [19] HES, L. - FRIDRICHOVÁ, L.: Měření splývavosti tkanin ohybem přes ostrý roh. Seminář Strutex. Liberec: Technická univerzita, 2001.
- [20] Interní norma č. 23-202-01/01. Liberec: Technická univerzita, 2001.
- [21] JEONG, Y., J.: A Study of Fabric-drape Behaviour with Image Analysis, Measurement, Characterisation and Instability. J. Text. Inst. 1998, part 1, no. 1.
- [22] ZABOŘILOVÁ, H.: Měření splývavosti plošných textilií alternativními metodami [diplomová práce]. Liberec: Technická univerzita, 2002.
- [23] FAN, J., YU, W., HUNTER, L.: Clothing Appearance and fit: Science and technology. Cambridge 2004.
- [24] Uživatelský manuál. Kontroler pro krokový motor M1486. Microcon, 2002.
- [25] HLAVÁČ, V., SEDLÁČEK, M.: Zpracování signálů a obrazů. Praha: ČVUT, 2000.
- [26] URL: <http://www.slunecnice.cz/produkt/Cam2Com>

## **PŘÍLOHY**

příloha č.1: Programy pro krokové motory

příloha č.2: Skripty pro zpracování obrazu

příloha č.3: 3D grafy splývajících vzorků

příloha č.4: Celkový pohled na měřicí zařízení

## PROGRAMY PRO KROKOVÉ MOTORY:

Program pro krokový motor M1, pohánějící prstenec:

```

X1          ; označení kontroleru

[
;natavení parametrů
Q4          ;dělení kroku
S50         ;počáteční rychlost
V800        ;maximální rychlost
A200        ;zrychlení
;vykonání dvou půlotáček před začátkem měření
B38400      ;dráha směrem vzad (půlotáčka prstence)
R           ;pohyb
W14000      ;čekání 14 s než se provede snímek a posunutí laserů
F38400      ;dráha směrem vzad (půlotáčka prstence)
R
W14000
;program vykoná dohromady 30 půlotáček, což odpovídá 30-ti snímkům
L5          ;začátek smyčky
B38400
R
W14000
F38400
R
W14000
E           ;konec smyčky
B38400
R
W12000      ;změna čekání, nutné pro sladění snímkování (pohyb prstence se zrychluje)
F38400
R
W14000
L2          ;začátek smyčky
B38400
R
W14000
F38400
R
W14000
E           ;konec smyčky
B38400
R
W12000      ;změna čekání, nutné pro sladění snímkování
F38400
R
W14000
L6          ;začátek smyčky

```

```

B38400
R
W14000
F38400
R
W14000
E      ;konec smyčky
]

```

Program pro krokové motory M2, M3, pohánějící lasery:

```

X2, X3
[
C100      ;nastavení čítače polohy na nulovou hodnotu
W27000    ;čekání na vykonání celé otáčky prstence, pro začátek měření
W14000
L30       ;začátek smyčky
B640      ;dráha odpovídající dvěma mm
r
W15000
E          ;konec smyčky
W15000
W15000
J1         ;skok na návěští č.1
@1         ;návěští č.1
I2H2      ;jestliže má vstup č.2 hodnotu log 0 (horní mikrospínač), provádí se pohyb nahoru
F640      ;jestliže má vstup č.2 hodnotu log 1(mikrospínač sepne), pokračuj na návěští č.2
R
J1
@2
)2         ;ukončení pohybu
J3
@3
H          dojezd do výchozí polohy - na hodnotu čítače polohy = 0
R
]

```

## SKRIPTY PRO ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

binarizace.m

Skript pro převedení snímků přímých stop na binární obrazy:

```
%nastavení adresy a souboru např. vzorek1
cd('C:\Documents and Settings\ Dokumenty\Obrázky\vzorek1');
%zjištění jmen souboru a jejich počtu
flist = ls;
rcount = size(flist);
count = rcount(1);

%vytvoření prázdné matice pro vrstevnice
vrstevnice = zeros(960, 1280, count-2, 'uint8');
vrstevniceBin = uint8(vstevnice);

for i=3:count,
    strFile = flist(i,:);
    BW=imread(strFile);
    %převedení na šedý obraz
    I=rgb2gray(BW);
    vzorek1(:,:i-2) = I;
end

for i=1:count-2,

    %invertace stupně šedi
    se=strel('disk',15);
    Itop=imtophat(vzorek1(:,:i),se);
    %prahování
    level=0.3;
    bw1=im2bw(Itop,level);
    %dilatace
    bw2=bwmorph(bw1,'dilate');
    %odstranění malých objektů
    bwA = bwareaopen(bw1,50);
    %invertovaný binární obraz
    bw=(~bwA);
    pokusyBin(:,:i) = 255*bw;
    figure(1), imshow(bw)
end

%přepnutí do pracovního adresáře
cd('C:\MATLAB7\work\');
```

## zbinarizace.m

Skript pro převedení snímků stop odražených v zrcátku na binární obrazy:

```
%nastavení adresy a souboru např. vzorek1
cd('C:\Documents and Settings\ Dokumenty\Obrázky\vzorek1');
%zjištění jmen souboru a jejich počtu
flist = ls;
rcount = size(flist);
count = rcount(1);

%vytvoření prázdné matice pro vrstevnice
vrstevnice = zeros(960, 1280, count-2, 'uint8');
vrstevniceBin = uint8(vrstevnice);

for i=3:count,
    strFile = flist(i,:);
    BW=imread(strFile);
    %převedení na šedý obraz
    I=rgb2gray(BW);
    vzorek1(:,: ,i-2) = I;
end
%načtení a úprava prvních dvou stop
for i=1:2,
    %invertace stupně šedi
    se=strel('disk',15);
    Itop=imtophat(vzorek1(:,: ,i),se);
    %vyrovnání intenzity obrazu
    J=imadjust(Itop);
    %prahování
    level=0.02;
    bw1=im2bw(J,level);
    %dilatace
    bw2=bwmorph(bw1,'dilate');
    %odstranění malých objektů
    bwA = bwareaopen(bw2,300);
    %invertace binárního obrazu
    bw=(~bwA);
    vrstevniceBin(:,: ,i) = 255*bw;
    figure, imshow(bw)
end
%načtení a úprava 3-23 stopy
for i=3:23,
    se=strel('disk',15);
    Itop=imtophat(vzorek1(:,: ,i),se);
    J=imadjust(Itop);
    level=0.99;
    bw1=im2bw(J,level);
    bw2=bwmorph(bw1,'dilate');
    bwA = bwareaopen(bw1,200);
    bw=(~bwA);
    vrstevniceBin(:,: ,i) = 255*bw;
    figure, imshow(bw)
end
```

```

% načtení a úprava posledních vrstevnic
for i=24:count-2,
    se=strel('disk',15);
    Itop=imtophat(vzorek1(:,:,i),se);
    level=0.15;
    bw1=im2bw(Itop,level);
    bw2=bwmorph(bw1,'dilate');
    bwA = bwareaopen(bw1,100);
    bw=(~bwA);
    vrstevniceBin(:,:,i) = 255*bw;
    figure, imshow(bw)
end

%přepnutí do pracovního adresáře
cd('C:\MATLAB7\work\');

```

model.m

**Skript pro přiřazení souřadnic bodům stop snimaných přímo a vykreslení 3D grafu:**

```
%načítání obrázků
IM = pokusyBin;
%/ načítání obrázků

%velikost matice
[I, J, K]=size(IM);
%osa z
z=[0 -2 -4 -6 -8 -10 -12 -14 -16 -18 -20 -22 -24 -26 -28 -30 -32
-34 -36 -38 -40 -42 -44 -46 -48 -50 -52 -54];
q=2; %přeskočení prvního sloupce (pro víko)
for k=1:K,
    p=1;
    for fi=0:2*pi/180:2*pi,
        n=0; bod=0;
        %První čtvrtina kružnice
        if (fi>=0 & fi<pi/2)
            while bod==0
                if abs(tan(fi))<=1
                    pom_y=ceil(J/2+tan(fi)*n);
                    pom_x=I/2+n;

                    %Testování polohy bodu
                    if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                        bod=1;
                        XP(p,q)=pom_x-I/2;
                        YP(p,q)=pom_y-J/2;
                        ZP(p,q)=z(k);
                    end
                else
                    pom_y = J/2+n;
                    pom_x = ceil(1/tan(fi)*n + I/2);
                    if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                        bod=1;
                        XP(p,q)=pom_x-I/2;
                        YP(p,q)=pom_y-J/2;
                        ZP(p,q)=z(k);
                    end
                end
            end
            n=n+1;
            %Test neúplnosti vrstevnice
            if n>470
```

```

        bod=1;
        XP(p,q)=XP(p,q-1);
        YP(p,q)=YP(p,q-1);
        ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
    end
end %Od while
p=p+1;
end
%Druhá čtvrtina kružnice
if (fi>pi/2 & fi<pi)
    while bod==0
        if abs(tan(fi))<=1
            pom_y=ceil(J/2-tan(fi)*n);
            pom_x=I/2-n;
            if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                bod=1;
                XP(p,q)=pom_x-I/2;
                YP(p,q)=pom_y-J/2;
                ZP(p,q)=z(k);
            end
        else
            pom_y = J/2+n;
            pom_x = ceil(1/tan(fi)*n + I/2);
            if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | ...
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                bod=1;
                XP(p,q)=pom_x-I/2;
                YP(p,q)=pom_y-J/2;
                ZP(p,q)=z(k);
            end
        end
    end
    n=n+1;
    %Test neúplnosti vrstevnice
    if n>470
        bod=1;
        XP(p,q)=XP(p,q-1);
        YP(p,q)=YP(p,q-1);
        ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
    end
end %Od while
p=p+1;
end
%Třetí čtvrtina kružnice
if (fi>pi & fi<3/2*pi)
    while bod==0
        if abs(tan(fi))<=1

```

```

        pom_y=ceil(J/2-tan(fi)*n);
        pom_x=I/2-n;
        if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
        IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-
1,k)==0)

            bod=1;
            XP(p,q)=pom_x-I/2;
            YP(p,q)=pom_y-J/2;
            ZP(p,q)=z(k);
        end
    else
        pom_y = J/2-n;
        pom_x = ceil(-1/tan(fi)*n + I/2);
        if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
        IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-
1,k)==0)

            bod=1;
            XP(p,q)=pom_x-I/2;
            YP(p,q)=pom_y-J/2;
            ZP(p,q)=z(k);
        end
    end
end
n=n+1;
%Test neúplnosti vrstevnice
if n>470
    bod=1;
    %XP(p,q)=XP(p-1,q);
    %YP(p,q)=YP(p-1,q);
    %ZP(p,q)=ZP(p-1,q);
    XP(p,q)=XP(p,q-1);
    YP(p,q)=YP(p,q-1);
    ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
end
end %Od while
p=p+1;
end
%čtvrtá čtvrtina kružnice
if (fi>3/2*pi & fi<=2*pi)
    while bod==0
        if abs(tan(fi))<=1
            pom_y=ceil(J/2+tan(fi)*n);
            pom_x=I/2+n;
            if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
            IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-
1,k)==0)

                bod=1;
                XP(p,q)=pom_x-I/2;

```

```

        YP(p,q)=pom_y-J/2;
        ZP(p,q)=z(k);
    end
else
    pom_y = J/2-n;
    pom_x = ceil(-1/tan(fi)*n + I/2);
    if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
    IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-
1,pom_y-1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-
1,k)==0)

        bod=1;
        XP(p,q)=pom_x-I/2;
        YP(p,q)=pom_y-J/2;
        ZP(p,q)=z(k);
    end
end
end
n=n+1;
%Test neúplnosti vrstevnice
if n>470
    bod=1;
    XP(p,q)=XP(p,q-1);
    YP(p,q)=YP(p,q-1);
    ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
end
end %Od while
p=p+1;
end
end %Pro úhel
q=q+1;
end

```

%Více: nuly do os XP a YP dá Matlab automaticky při přeskočení prvního sloupce "q=2"

```

[T,R]=size(XP);
ZP(:,1)=z(1)*ones(T,1);

```

% Převod měřítka na [mm]

```
XP=0.456621*XP; % osa x, hodnota kalibrace (0.456621mm/pxl)
```

```
YP=0.456621*YP; % osa y, hodnota kalibrace (0.456621mm/pxl)
```

%vykreslení modelu pláště

```
surf(XP,YP,ZP); %mesh(XP,YP,ZP);
```

```
colormap(cool)
```

%stejně měřítko na osách x,y,z

```
axis equal;
```

```
xlim([-160 160]);
```

```
ylim([-160 160]);
```

```
zlim([-60 0]);
```

```
set(gca,'XTick',-160:20:160);
```

```
set(gca,'YTick',-160:20:160);
```

```
set(gca,'ZTick',-60:20:0);
```

%popis os x,y,z

```
xlabel('x [mm]');ylabel('y [mm]');zlabel('z [mm]');
```

## transformace.m

Skript pro přiřazení souřadnic bodům stop snímaných odrazem v zrcátku a vykreslení 3D grafu:

```
%měřítka
m=0.456621;   %(0.45661mm/pxl)
%Proměnné zrcadla
Sr=202;
Sz=-112;
beta=pi*33/180; %úhel sklonu zrcadla
H=700; %vzdálenost objektivu kamery od čelistí [mm]
%načítání obrázků
IM = pokusyBin;

[I,J,K]=size(IM);      %velikost matice
z=[0 -2 -4 -8 -10 -12 -14 -16 -18 -20 -22 -24 -26 -28 -30 -32 -34 -
36 -38 ...
-40 -42 -44 -46 -48 -50 -52 -54 -56 -58]; %osa z
%q=2;      %přeskočení prvního sloupce (pro víko)
q=1;
for k=1:K,
    p=1;
    for fi=0:2*pi/180:2*pi,
        n=0; bod=0;
        %První čtvrtina kružnice
        if (fi>=0 & fi<pi/2)
            while bod==0
                if abs(tan(fi))<=1
                    pom_y=ceil(J/2+tan(fi)*n);
                    pom_x=I/2+n;
                    %Testování polohy bodu
                    if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
|IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                        bod=1;
                        XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
                        YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
                        ZP(p,q)=z(k);
                        %Transformace
                        Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);
                        Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
                        alfa=atan(Ar/(H+Az));
                        omega=(pi/2+alfa-2*beta);
                        c=Az-tan(-omega)*Ar;
                        %Rovnice druhé přímky
                        Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
                        %Rozpočítání do os X,Y
                        Brx(p,q)=Br*cos(fi);
                        Bry(p,q)=Br*sin(fi);
                        Brz(p,q)=z(k);
                    end
                else
                    pom_y = J/2+n;
                end
            end
        end
    end
end
```

```

        pom_x = ceil(1/tan(fi)*n + I/2);
        if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
| IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
            bod=1;
            XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
            YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
            ZP(p,q)=z(k);
            %Transformace
            Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);
            Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
            alfa=atan(Ar/(H+Az));
            omega=(pi/2+alfa-2*beta);
            c=Az-tan(-omega)*Ar;
            %Rovnice druhé přímky
            Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
            %Rozpočítání do os X,Y
            Brx(p,q)=Br*cos(fi);
            Bry(p,q)=Br*sin(fi);
            Brz(p,q)=z(k);

        end

    end
    n=n+1;
%Test neúplnosti vrstevnice
    if n>470 % nastavení středu obrázku
        bod=1;
        XP(p,q)=XP(p,q-1);
        YP(p,q)=YP(p,q-1);
        ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
        Brx(p,q)=Brx(p,q-1);
        Bry(p,q)=Bry(p,q-1);
        Brz(p,q)=Brz(p,q-1);
    end
    end %Od while
p=p+1;
end
%Druhá čtvrtina kružnice
if (fi>pi/2 & fi<pi)
    while bod==0
        if abs(tan(fi))<=1
            pom_y=ceil(J/2-tan(fi)*n);
            pom_x=I/2-n;
            if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
| IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                bod=1;
                XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
                YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
                ZP(p,q)=z(k);
                %Transformace
                Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);

```

```

        Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
        alfa=atan(Ar/(H+Az));
        omega=(pi/2+alfa-2*beta);
        c=Az-tan(-omega)*Ar;
        %Rovnice druhé přímky
        Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
        %Rozpočítání do os X,Y
        Brx(p,q)=Br*cos(fi);
        Bry(p,q)=Br*sin(fi);
        Brz(p,q)=z(k);

    end
else
    pom_y = J/2+n;
    pom_x = ceil(1/tan(fi)*n + I/2);
    if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
|IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
        bod=1;
        XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
        YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
        ZP(p,q)=z(k);
        %Transformace
        Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);
        Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
        alfa=atan(Ar/(H+Az));
        omega=(pi/2+alfa-2*beta);
        c=Az-tan(-omega)*Ar;
        %Rovnice druhé přímky
        Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
        %Rozpočítání do os X,Y
        Brx(p,q)=Br*cos(fi);
        Bry(p,q)=Br*sin(fi);
        Brz(p,q)=z(k);

    end
end
n=n+1;
%Test neúplnosti vrstevnice
if n>470 % nastavení středu obrázku
    bod=1;
    XP(p,q)=XP(p,q-1);
    YP(p,q)=YP(p,q-1);
    ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
    Brx(p,q)=Brx(p,q-1);
    Bry(p,q)=Bry(p,q-1);
    Brz(p,q)=Brz(p,q-1);
end
end %Od while
p=p+1;
end
%Třetí čtvrtina kružnice
if (fi>pi & fi<3/2*pi)

```

```

while bod==0
    if abs(tan(fi))<=1
        pom_y=ceil(J/2-tan(fi)*n);
        pom_x=I/2-n;
        if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
            IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
            | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
            IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
            IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
            bod=1;
            XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
            YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
            ZP(p,q)=z(k);
            %Transformace
            Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);
            Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
            alfa=atan(Ar/(H+Az));
            omega=(pi/2+alfa-2*beta);
            c=Az-tan(-omega)*Ar;
            %Rovnice druhé přímky
            Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
            %Rozpočítání do os X,Y
            Brx(p,q)=Br*cos(fi);
            Bry(p,q)=Br*sin(fi);
            Brz(p,q)=z(k);

        end
    else
        pom_y = J/2-n;
        pom_x = ceil(-1/tan(fi)*n + I/2);
        if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
            IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
            | IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
            IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
            IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
            bod=1;
            XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
            YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
            ZP(p,q)=z(k);
            %Transformace
            Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);
            Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
            alfa=atan(Ar/(H+Az));
            omega=(pi/2+alfa-2*beta);
            c=Az-tan(-omega)*Ar;
            %Rovnice druhé přímky
            Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
            %Rozpočítání do os X,Y
            Brx(p,q)=Br*cos(fi);
            Bry(p,q)=Br*sin(fi);
            Brz(p,q)=z(k);

        end
    end
    n=n+1;
end

```

```

        %Test neúplnosti vrstevnice
    if n>470 % nastavení středu obrázku
        bod=1;
        XP(p,q)=XP(p,q-1);
        YP(p,q)=YP(p,q-1);
        ZP(p,q)=ZP(p,q-1);
        Brx(p,q)=Brx(p,q-1);
        Bry(p,q)=Bry(p,q-1);
        Brz(p,q)=Brz(p,q-1);
    end
end %Od while
p=p+1;
end
%čtvrtá čtvrtina kružnice
if (fi>3/2*pi & fi<=2*pi)
    while bod==0
        if abs(tan(fi))<=1
            pom_y=ceil(J/2+tan(fi)*n);
            pom_x=I/2+n;
            if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
| IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                bod=1;
                XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
                YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
                ZP(p,q)=z(k);
                %Transformace
                Ar=sqrt(XP(p,q)^2+YP(p,q)^2);
                Az=tan(beta)*Ar+Sz-tan(beta)*Sr;
                alfa=atan(Ar/(H+Az));
                omega=(pi/2+alfa-2*beta);
                c=Az-tan(-omega)*Ar;
                %Rovnice druhé přímky
                Br=(z(k)-c)/tan(-omega);
                %Rozpočítání do os X,Y
                Brx(p,q)=Br*cos(fi);
                Bry(p,q)=Br*sin(fi);
                Brz(p,q)=z(k);
            end
        else
            pom_y = J/2-n;
            pom_x = ceil(-1/tan(fi)*n + I/2);
            if (IM(pom_x,pom_y,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y,k)==0 |
IM(pom_x-1,pom_y,k)==0 | IM(pom_x,pom_y+1,k)==0
| IM(pom_x,pom_y-1,k)==0 | ...
IM(pom_x-1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x-1,pom_y-1,k)==0 |
IM(pom_x+1,pom_y+1,k)==0 | IM(pom_x+1,pom_y-1,k)==0)
                bod=1;
                XP(p,q)=m*(pom_x-I/2);
                YP(p,q)=m*(pom_y-J/2);
                ZP(p,q)=z(k);
                %Transformace

```

```

        Ar=sqrt (XP (p,q) ^2+YP (p,q) ^2) ;
        Az=tan (beta) *Ar+Sz-tan (beta) *Sr;
        alfa=atan (Ar/ (H+Az) ) ;
        omega=(pi/2+alfa-2*beta) ;
        c=Az-tan (-omega) *Ar;
        %Rovnice druhé přímky
        Br= (z (k) -c) /tan (-omega) ;
        %Rozpočítání do os X,Y
        Brx (p,q)=Br*cos (fi) ;
        Bry (p,q)=Br*sin (fi) ;
        Brz (p,q)=z (k) ;

    end

    end
    n=n+1;
    %Test neúplnosti vrstevnice
    if n>470 % nastavení středu obrázku
        bod=1;
        XP (p,q)=XP (p,q-1) ;
        YP (p,q)=YP (p,q-1) ;
        ZP (p,q)=ZP (p,q-1) ;
        Brx (p,q)=Brx (p,q-1) ;
        Bry (p,q)=Bry (p,q-1) ;
        Brz (p,q)=Brz (p,q-1) ;
    end

    end %Od while
    p=p+1;
    end
    end %Pro úhel
    q=q+1;
    end

%Vikot: nuly do os XP a YP dá Matlab automaticky při přeskočení prvního sloupce "q=2"
[T,R]=size (XP) ;
ZP (:,1)=z (1) *ones (T,1) ;

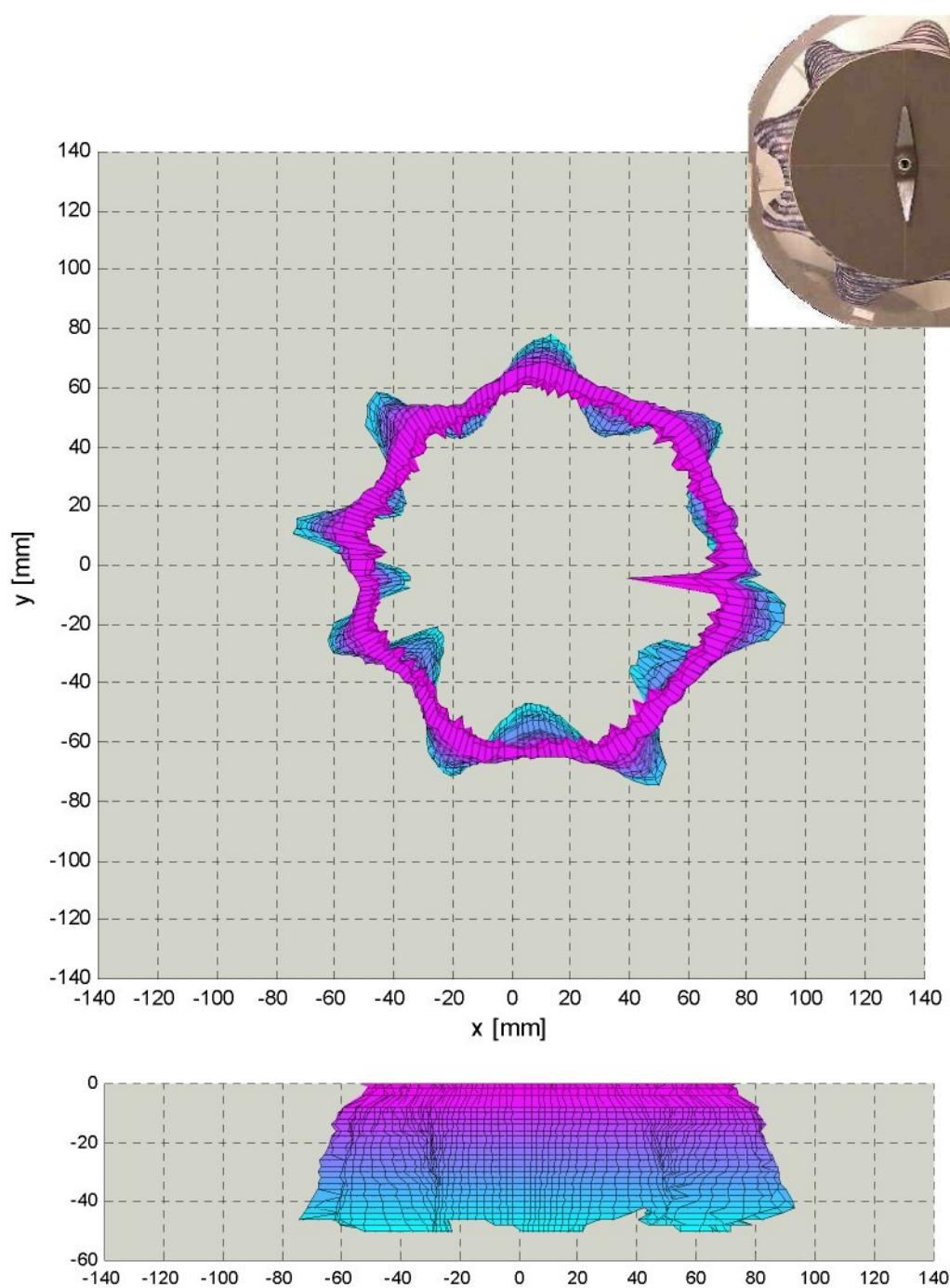
%vykreslení modelu pláště
surf (Brx,Bry,Brz) ;
colormap (cool) ;

%stejně měřítko na osách x,y,z
axis equal;
%nastavení měřítka na osách
xlim ([-140 140]) ;
ylim ([-140 140]) ;
zlim ([-60 0]) ;
set (gca, 'XTick',-140:20:140) ;
set (gca, 'YTick',-140:20:140) ;
set (gca, 'ZTick',-60:20:0) ;
%popis os x,y,z
xlabel ('x [mm] ');ylabel ('y [mm] ');zlabel ('z [mm] ');

```

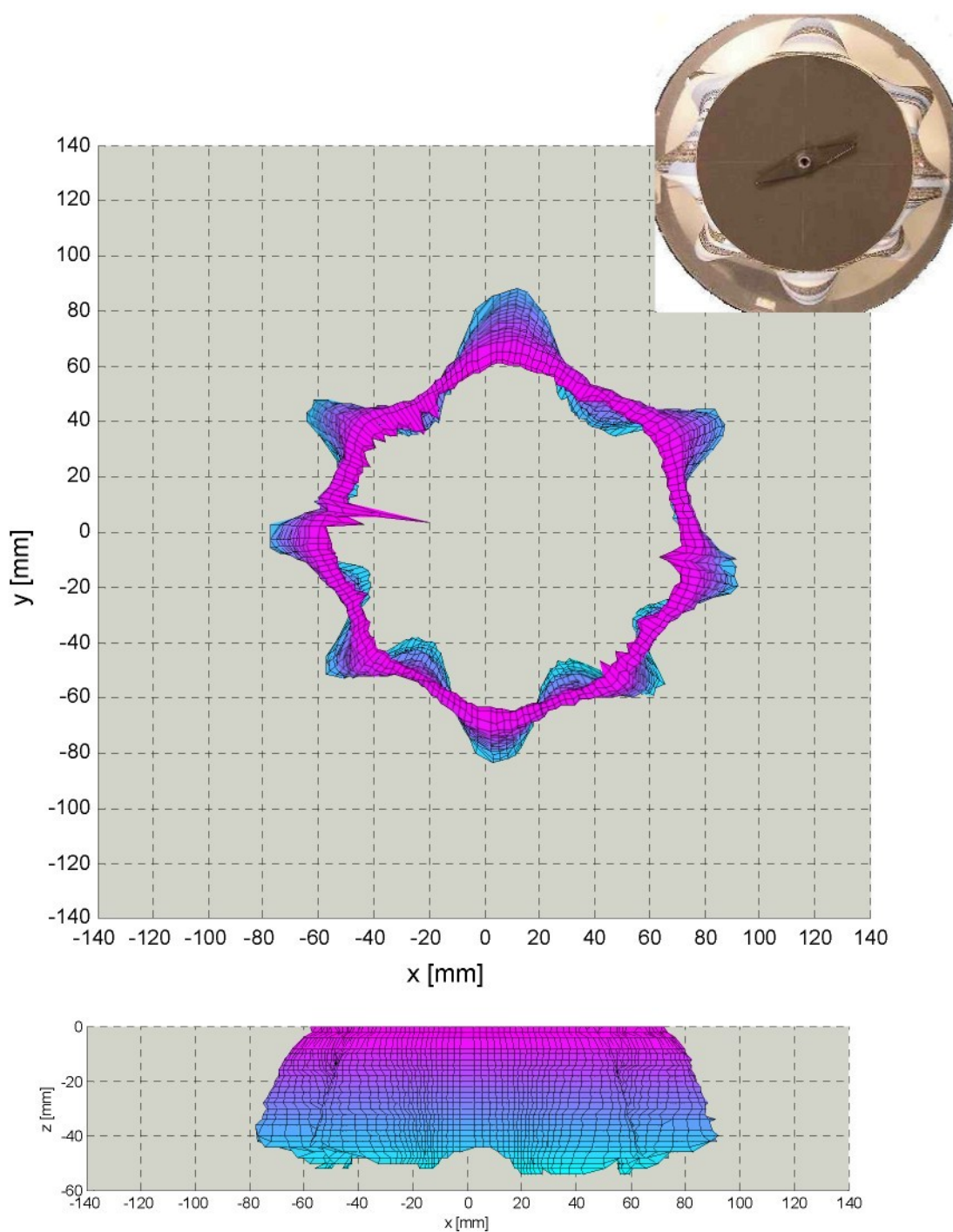
vzorek č.1:

| materiál |      | vazba  | koefficient<br>splývavosti<br>[%] | dostava<br>[n/10cm] |                | jemnost<br>[tex] |                | plošná<br>hmotnost<br>[kg.m-2] | tloušťka<br>[mm] |
|----------|------|--------|-----------------------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------|--------------------------------|------------------|
| osnova   | útek |        | DC                                | D <sub>o</sub>      | D <sub>ú</sub> | T <sub>o</sub>   | T <sub>ú</sub> | $\rho_s$                       | t <sub>o</sub>   |
| 100% VI  |      | plátno | 82,03                             | 160                 | 140            | 12               | 19             | 0.080                          | 0,357            |



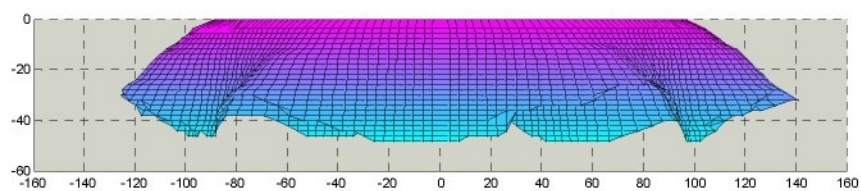
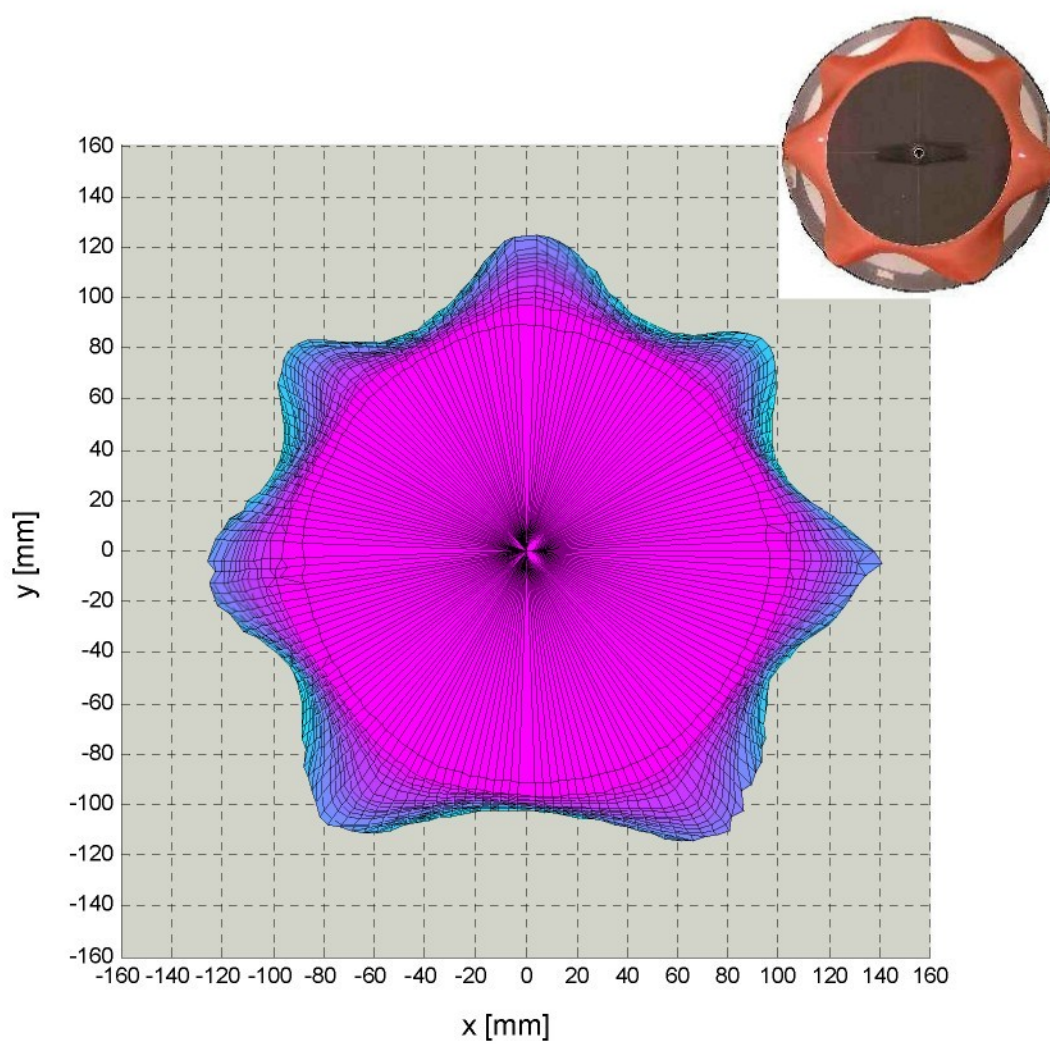
vzorek č.2:

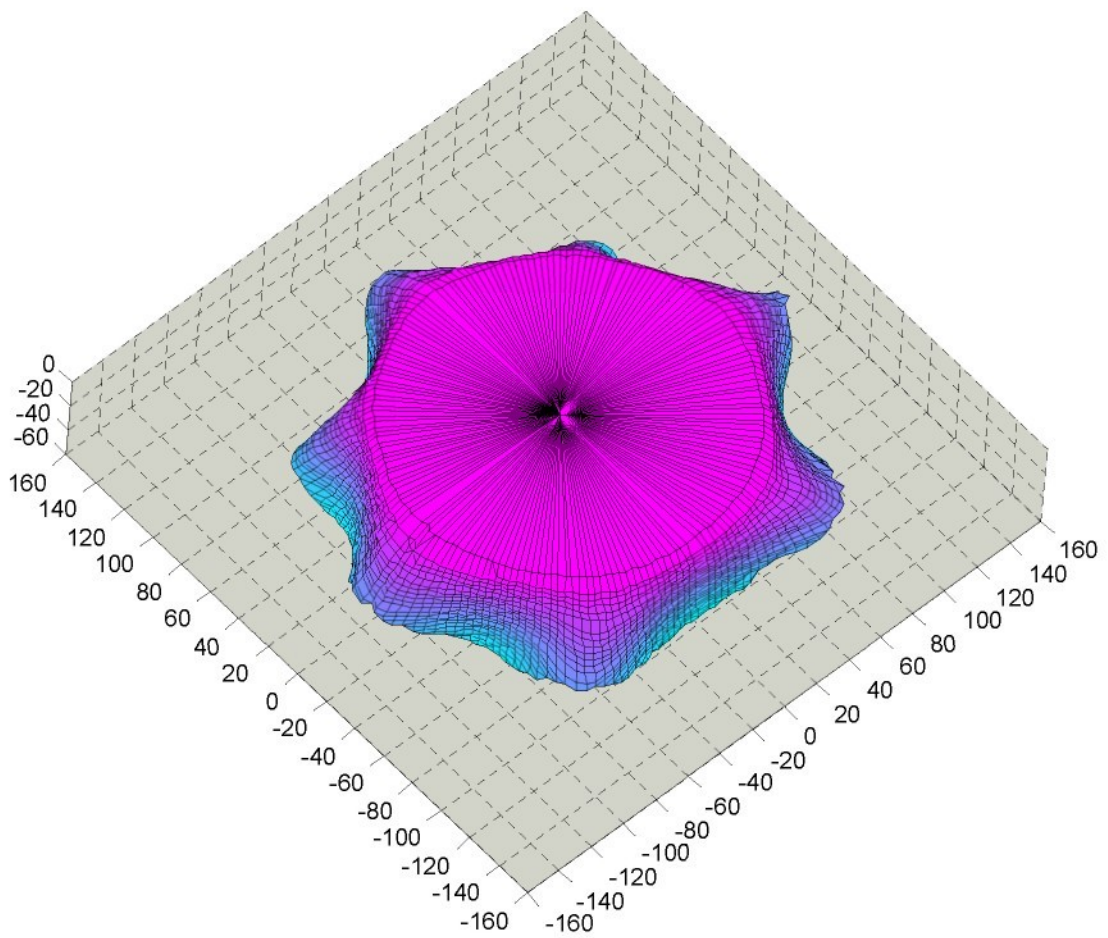
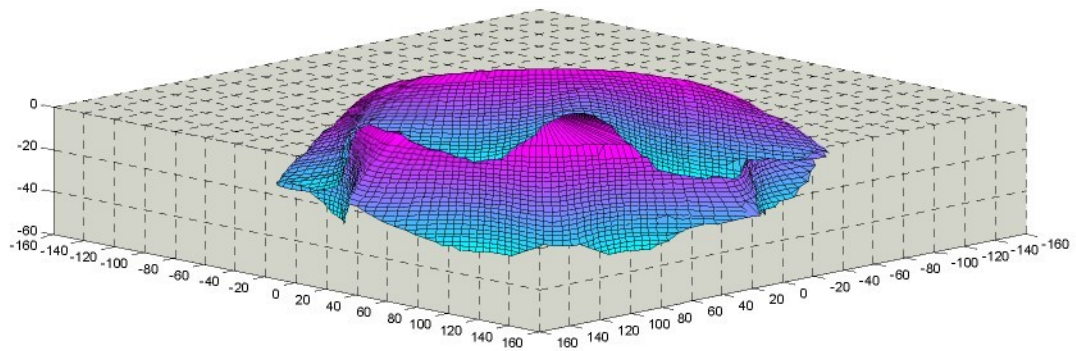
| materiál |      | vazba  | koeficient<br>splývavosti<br>[%] | dostava<br>[n/10cm] |                | jemnost [tex]  |                | plošná<br>hmotnost<br>[kg.m-2] | tloušťka<br>[mm] |
|----------|------|--------|----------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|
| osnova   | útek |        | DC                               | D <sub>o</sub>      | D <sub>ú</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>ú</sub> | ρ <sub>s</sub>                 | t <sub>o</sub>   |
| 100% VI  |      | plátno | 77,16                            | 400                 | 220            | 13             | 20             | 0,115                          | 0,407            |



vzorek č.4

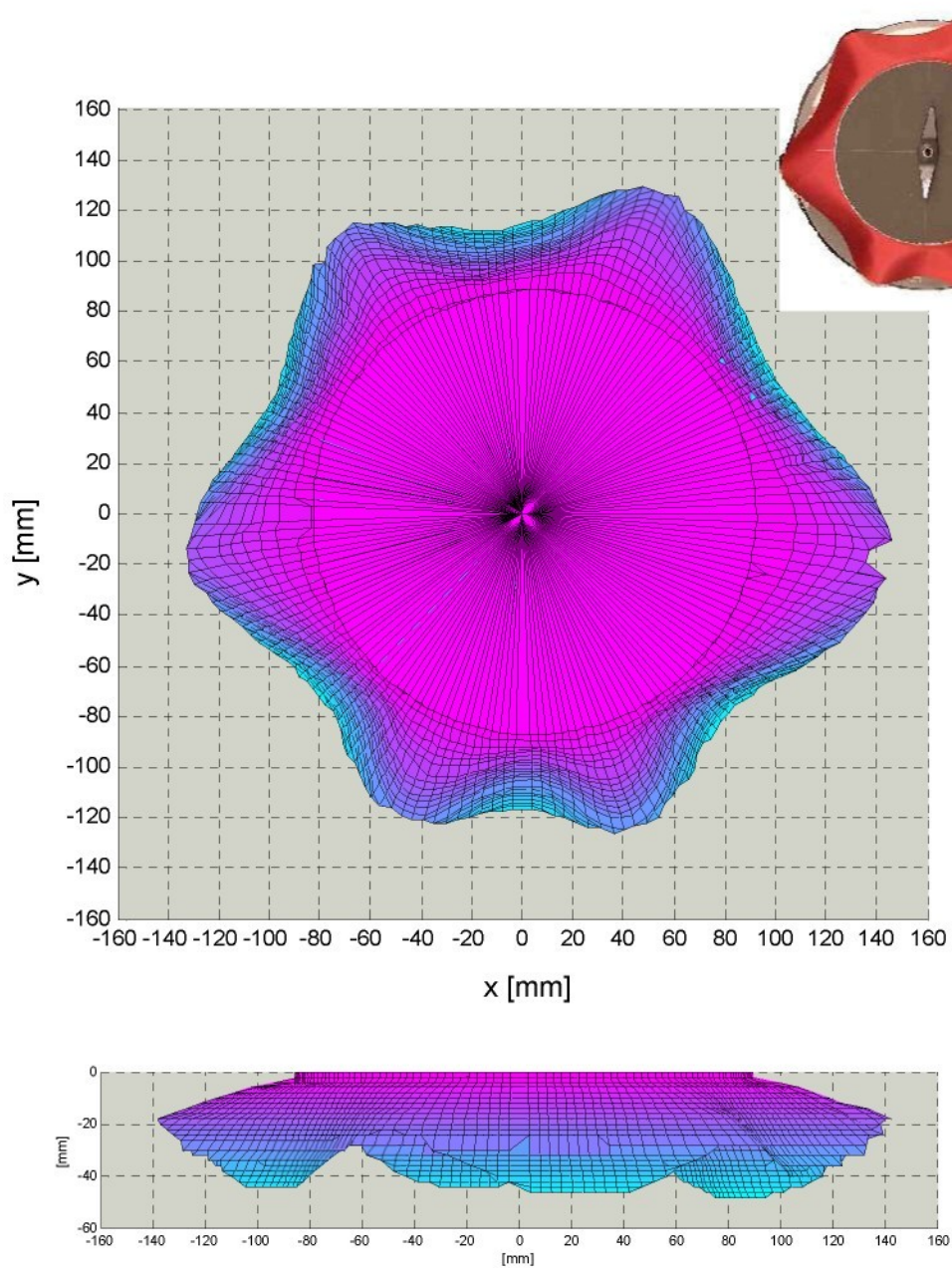
| materiál |      | vazba  | koefficient<br>splývavosti<br>[%] | dostava<br>[n/10cm] |                | jemnost [tex]  |                | plošná<br>hmotnost<br>[kg.m-2] | tloušťka<br>[mm] |
|----------|------|--------|-----------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|
| osnova   | útek |        | DC                                | D <sub>o</sub>      | D <sub>ú</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>ú</sub> | ρ <sub>s</sub>                 | t <sub>o</sub>   |
| 100% VI  |      | plátno | 57,86                             | 380                 | 240            | 15             | 18             | 0,090                          | 0,183            |

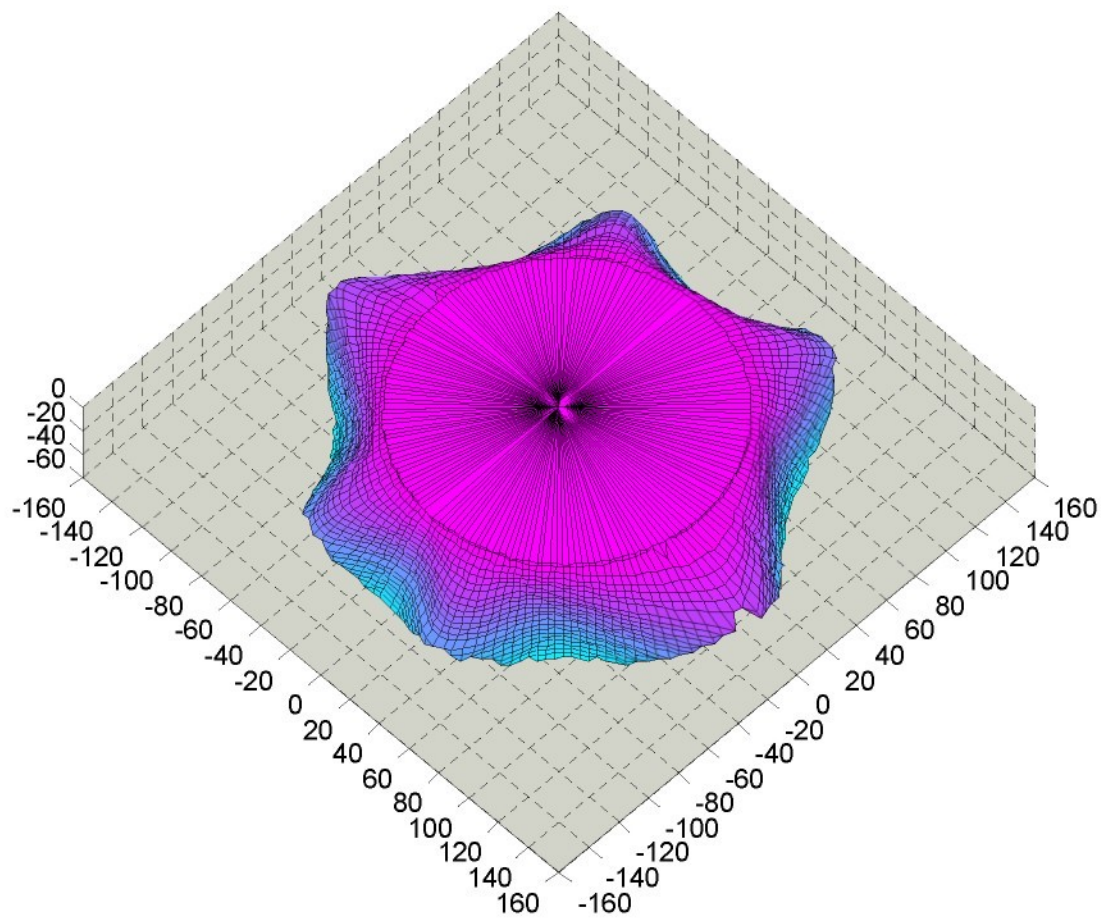
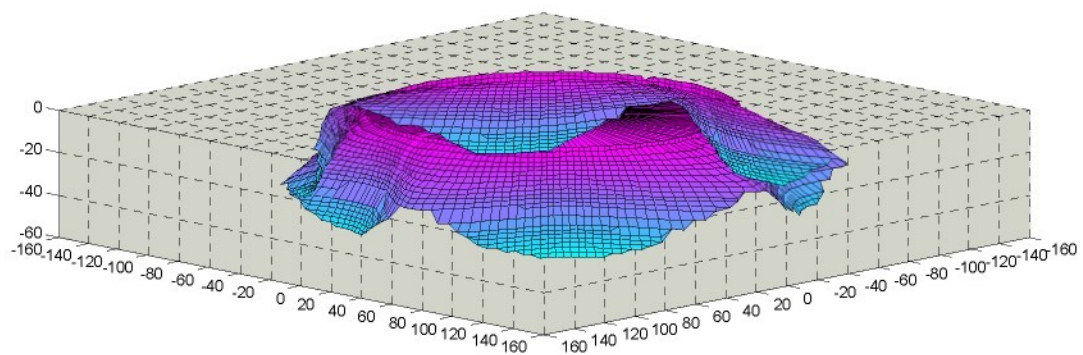




vzorek č.5

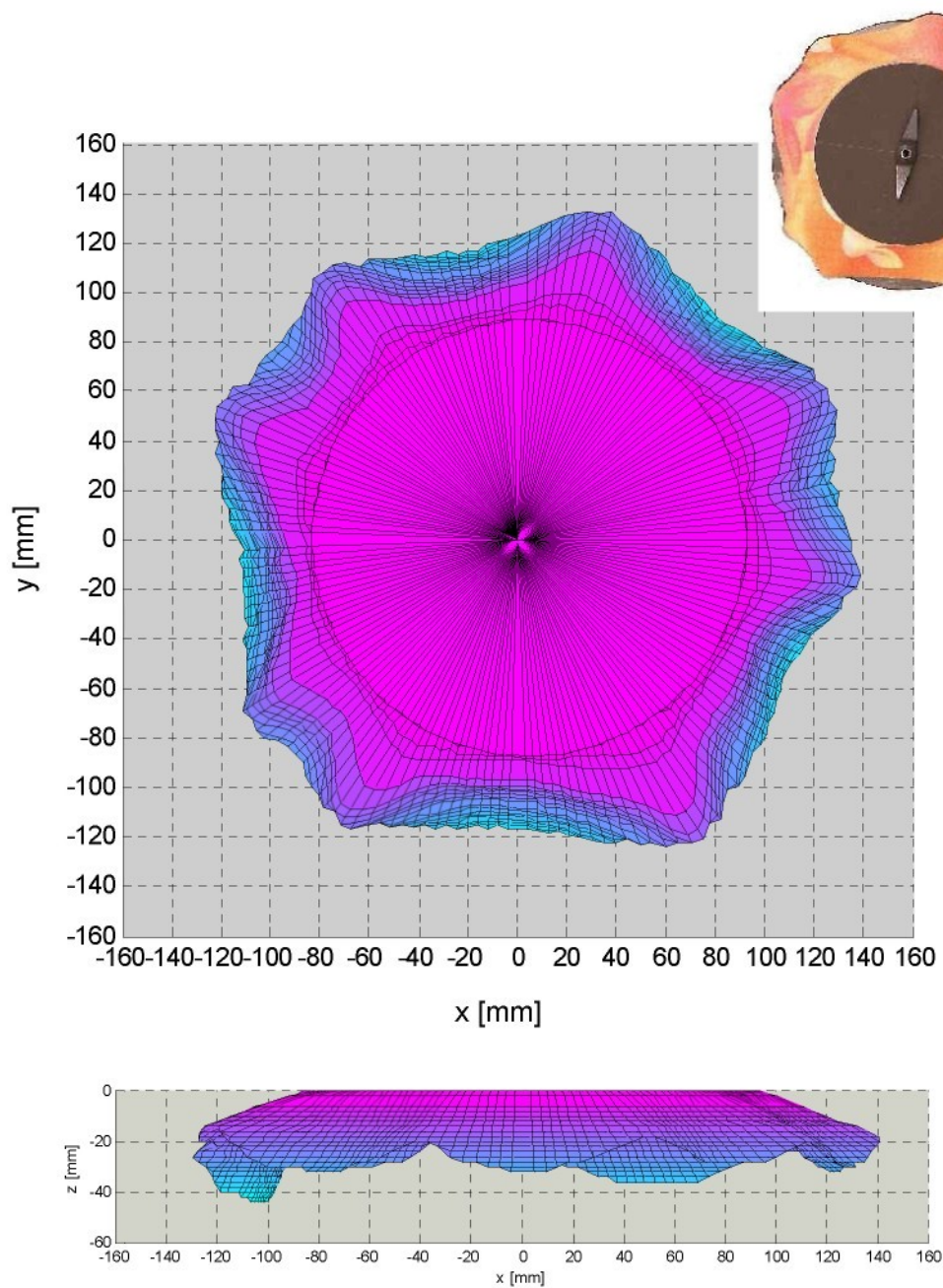
| materiál |          | vazba | koeficient<br>splývavosti<br>[%] | dostava<br>[n/10cm] |                | jemnost [tex]  |                | plošná<br>hmotnost<br>[kg.m-2] | tloušťka<br>[mm] |
|----------|----------|-------|----------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|
| osnova   | útek     |       | DC                               | D <sub>o</sub>      | D <sub>ú</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>ú</sub> | ρ <sub>s</sub>                 | t <sub>o</sub>   |
| CO       | 100%PESh | atlas | 30,89                            | 530                 | 420            | 12,5           | 18             | 0,180                          | 0,330            |

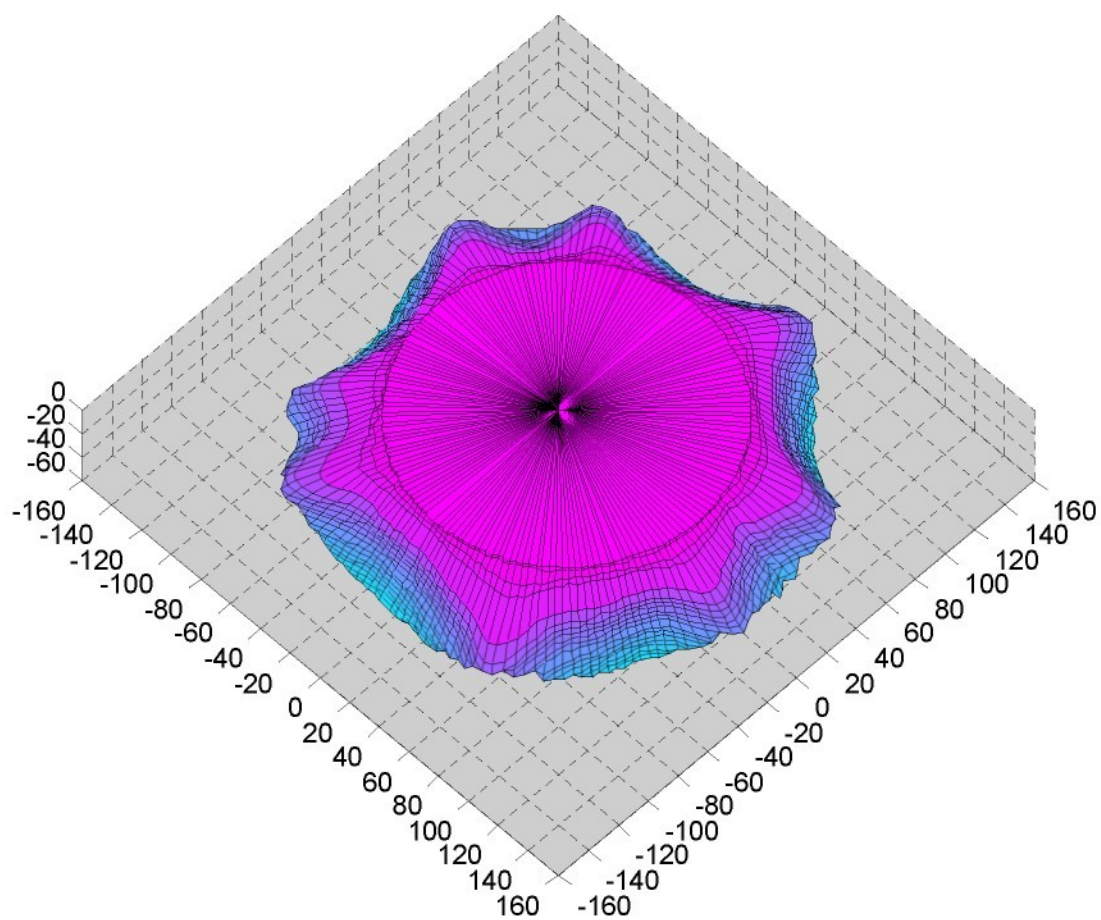
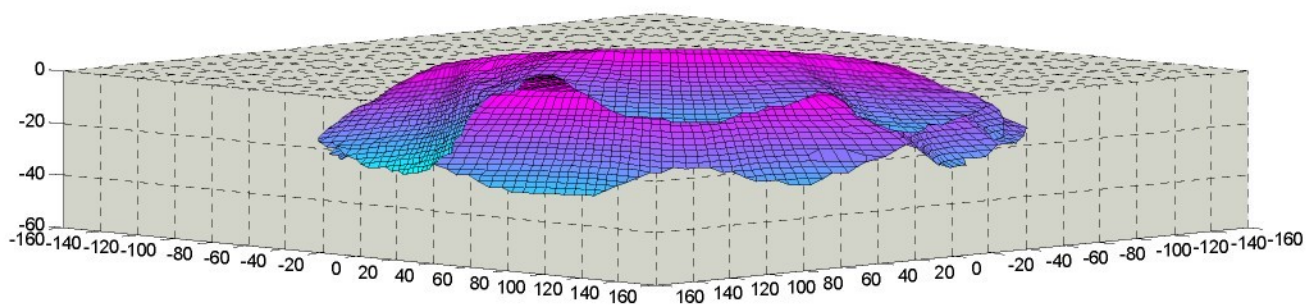




vzorek č.6

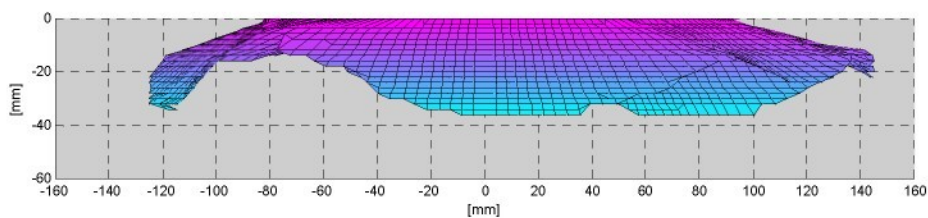
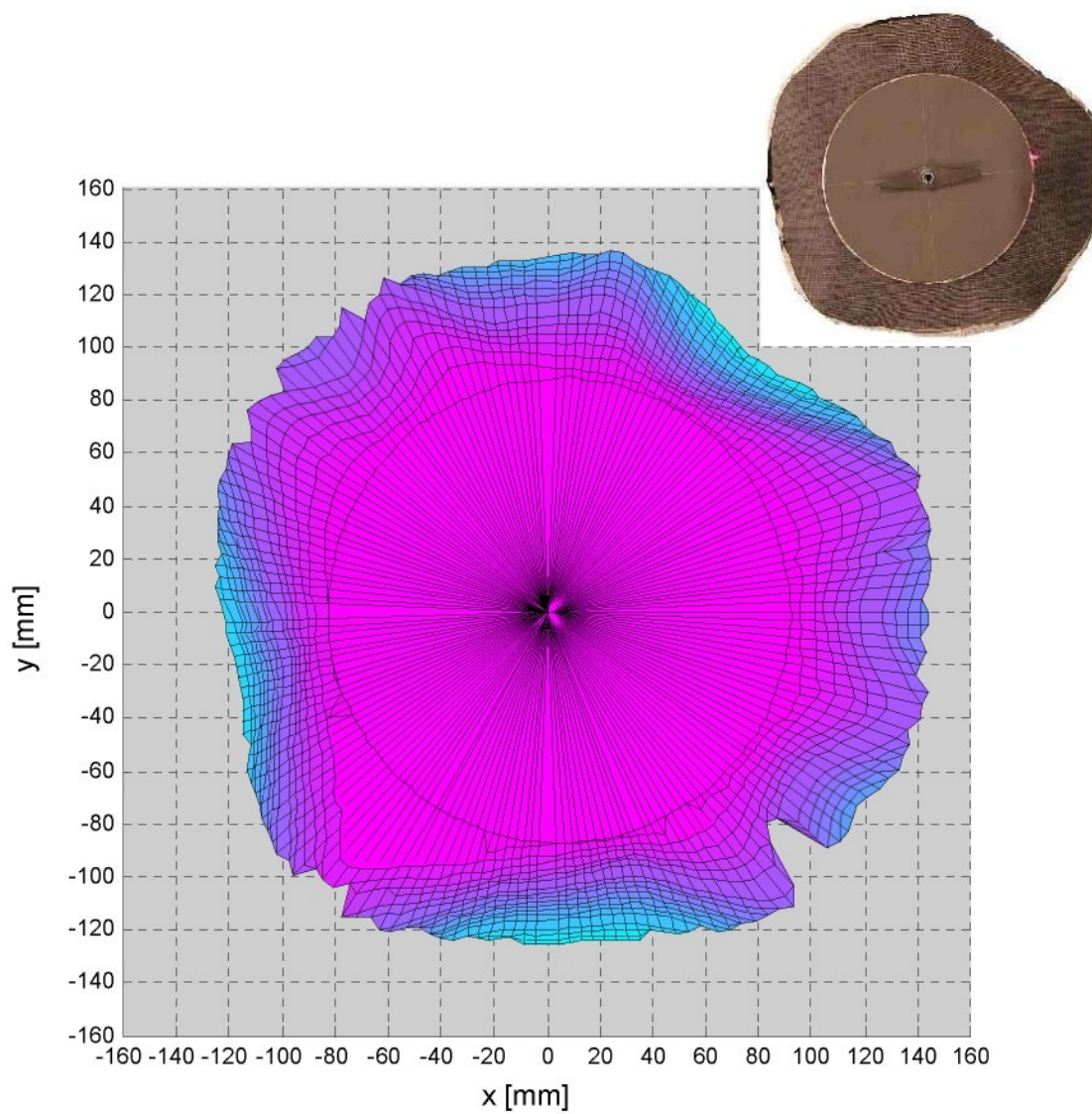
| materiál |      | vazba  | koefficient<br>splývavosti<br>[%] | dostava<br>[n/10cm] |                | jemnost [tex]  |                | plošná<br>hmotnost<br>[kg.m-2] | tloušťka<br>[mm] |
|----------|------|--------|-----------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|
| osnova   | útek |        | DC                                | D <sub>o</sub>      | D <sub>ú</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>ú</sub> | ρ <sub>s</sub>                 | t <sub>o</sub>   |
| 100%CO   |      | plátno | 24,15                             | 350                 | 225            | 20             | 20             | 0,120                          | 1,493            |

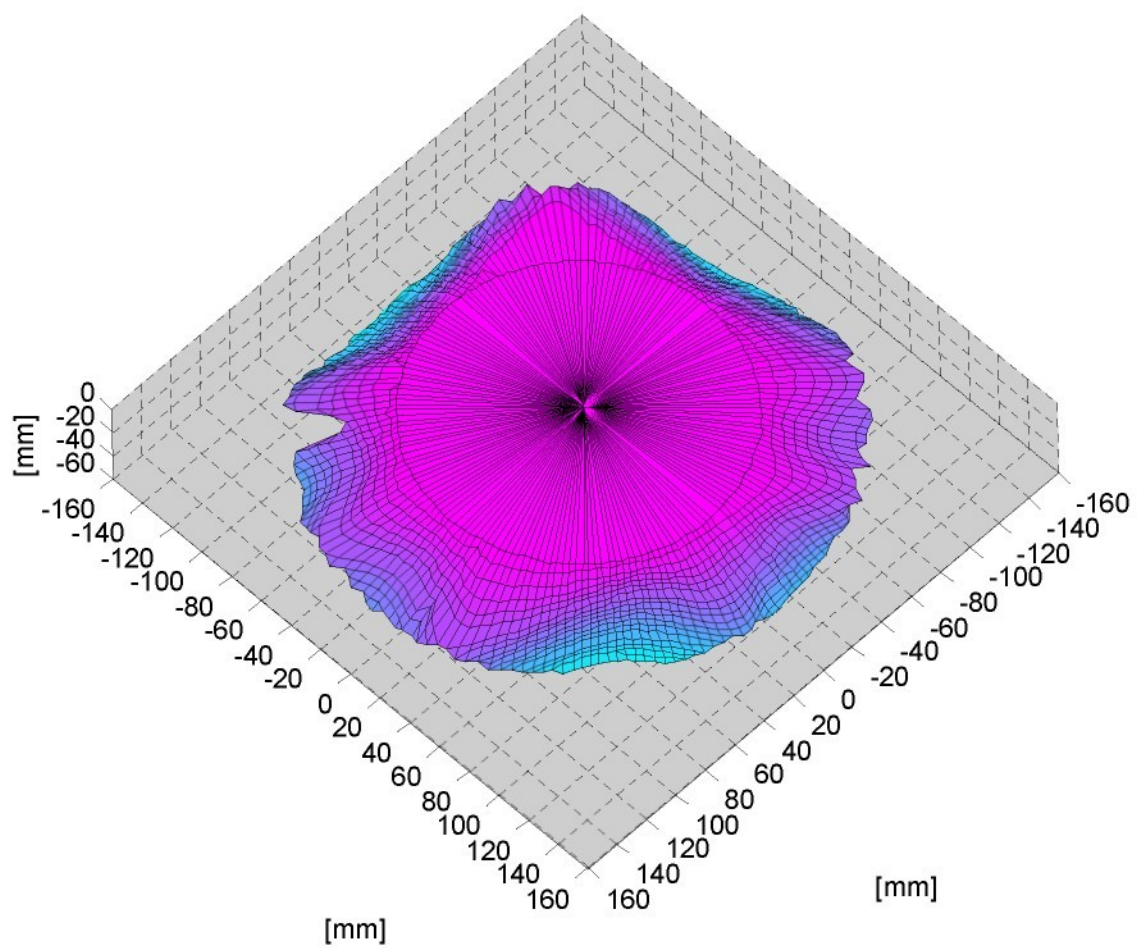
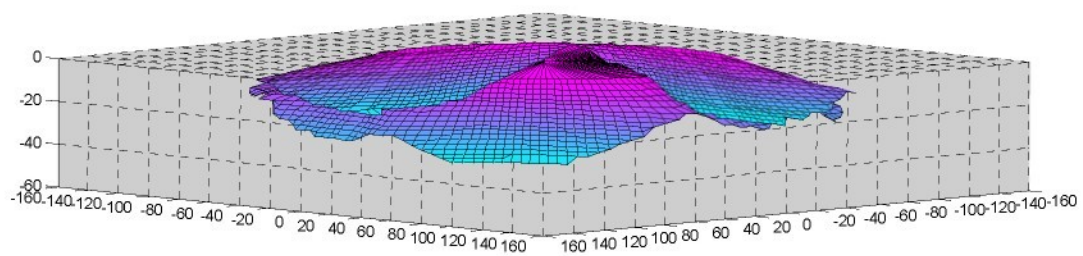




vzorek č.7

| materiál        |      | vazba       | koeficient<br>splyvavosti<br>[%] | dostava<br>[n/10cm] |                | jemnost [tex]  |                | plošná<br>hmotnost<br>[kg.m-2] | tloušťka<br>[mm] |
|-----------------|------|-------------|----------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------|
| osnova          | útek |             | DC                               | D <sub>o</sub>      | D <sub>ú</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>ú</sub> | ρ <sub>s</sub>                 | t <sub>o</sub>   |
| 98%CO+2%elastan |      | útkový kord | 15,32                            | 300                 | 380            | 35,5           | 47             | 0,310                          | 1,243            |





Celkový pohled na zařízení pro bezkontaktní měření 3D tvaru splývající textilie

























