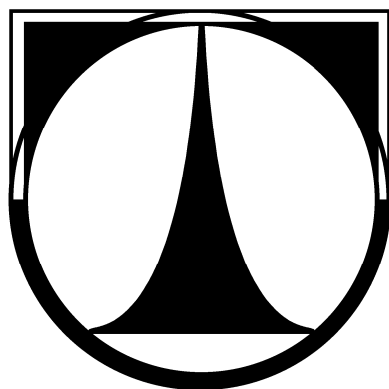


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



**Komplexní hodnocení povrchové struktury textilií**

**Ing. Martin Bleša**

**AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE**



Název disertační práce: **KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ POVRCHOVÉ  
STRUKTURY TEXTILIÍ**

Autor: **Ing. Martin Bleša**

Obor doktorského studia: **textilní technika**

Forma studia: **kombinovaná**

Školící pracoviště: **KTM**

Školitel: **Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.**

**Liberec, červen 2009**

## **Obsah autoreferátu disertační práce:**

1.	Předmět a cíl práce	1
2.	Přehled současného stavu problematiky	1
3.	Použité metody	8
4.	Přehled dosažených výsledků	13
5.	Zhodnocení výsledků a nových poznatků	21
6.	Práce autora se vztahem ke studované problematice	21
7.	Literatura	21
8.	Summary	24

# 1. Předmět a cíl práce

Tématem disertační práce je komplexní hodnocení povrchového reliéfu, který je jednou ze základních charakteristik ovlivňujících organoleptické vlastnosti textilií. Charakterizace povrchové drsnosti se obecně používá jak pro potřeby hodnocení kvality výrobků tak i pro vyjádření jejich použitelnosti. Speciálně v textilním oboru je povrchový reliéf spojen s komfortem, vzhledem a omakem. Parametr drsnosti jako složky omaku se kromě oblasti oděvní promítá i do sféry výzkumu, konstrukce a hodnocení technických textilií, zdravotnických textilií a hygienického výrobního programu (kapesníky, ručníky, dětské pleny apod.).

Na drsnost textilií má vliv sama technologie výroby - parametry příze (jemnost, zákrut, nestejnomyšnost,...). U tkanin má výrazný vliv na povrchovou drsnost jejich vazba a směr položení povrchového vlasu. Konečný vliv na drsnost textilie a omak mají také speciální úpravy, např. nemačková úprava a závěrečné úpravy - žehlení. Drsnost se také mění během nošení a údržby textilií.

Cílem disertační práce je návrh konstrukce a ověření měřicí metody vhodné pro bezkontaktní vyhodnocování povrchového reliéfu textilií včetně vypracování metodiky měření.

Na základě průzkumu stávající situace v problematice vyhodnocování drsnosti resp. reliéfu povrchu textilních materiálů je vyvinut systém a realizována konstrukce měřicího přístroje pro bezkontaktní snímání a vyhodnocování povrchového reliéfu z bočního pohledu s využitím obrazové analýzy. Výhodou navrženého postupu s ohledem na mechaniku snímání reliéfu textilních povrchů je snadné získávání výchozích dat bez distorze běžně způsobené kontaktními metodami.

Dále je zpracována metodika a proveden návrh realizace postupu získávání jednotlivých obrazů resp. virtuálních příčných řezů povrchové struktury textilií vhodných pro charakterizaci reliéfu povrchu. K popisu a porovnávání reliéfu textilních povrchů získaných z jednotlivých virtuálních příčných řezů snímaného textilního vzorku a rekonstruovaných do kompaktní formy pomocí výpočetní techniky je vybrána široká škála klasických, standardních parametrů drsnosti zejména z oblasti popisu geometrické textury. Popis textury povrchu je doplněn o náhradu křivek opisujících rozhraní virtuálního příčného řezu textilního vzorku Fourierovou řadou. Další alternativou je využití nástrojů prostorové statistiky a fraktální dimenze.

Řešení a výsledky obsažené v disertační práci přispějí k rozvoji dalších vědecko-výzkumných projektů v oblasti vzhledu, modelování omaku a komfortu textilií. Neméně důležitým faktorem je možnost získávání informací o vzhledu a omaku textilií pro potřeby vývoje v komerční sféře.

## 2. Přehled současného stavu problematiky

Hodnocení drsnosti povrchu se v řadě odvětví užívá k vyjádření jakosti povrchu, tedy geometrie povrchové vrstvy, která výrazně ovlivňuje životnost a spolehlivost provozu např. strojních součástí. Drsnost povrchu též ovlivňuje průběhy chemických a fyzikálních jevů, které provázejí činnost funkčního povrchu dané součásti.

Funkční vlastnosti povrchu jsou do značné míry určovány jako geometrické parametry. Přesnost dodržení předepsaných geometrických parametrů je dána souhrnem jejich odchylek od ideální geometrie, které jsou definovány jako rozdíly skutečného tvaru plochy a tvaru plochy jmenovité (ideální) geometrie. Základní informace o uvedených nerovnostech a jejich odchylkách je možné získat z profilu, který vznikne jako průsečnice roviny řezu kolmé k ploše. Obvykle je to rovina vedená kolmo k hlavnímu směru nerovností.

Profil nerovností je rozkládán na složky odpovídající jednotlivým parametrům geometrické nepřesnosti. Tvar a vlnitost jsou označovány jako makrogeometrie, drsnost povrchu jako mikrogeometrie [1].

Původně se drsnost hodnotila zrakovou a hmatovou kontrolou. Metody hodnocení pomocí hmatu vyžadovaly existenci značného množství vzorků podle různých materiálů i součástí, se kterými byl výrobek srovnáván. Zvýšením nároků na jednotlivé součásti se urychlil vývoj v oblasti hodnocení drsnosti a zraková a hmatová kontrola byla nahrazena číselným, kvantitativním měřením. Nejdříve bylo navrženo zařízení umožňující zobrazit pouze drsnost povrchu, poté byly vyrobeny přístroje, jejichž výstupem byly integrované hodnoty profilu drsnosti vyhodnocovány na stupnici přístroje. Další vývoj vedl k využívání instrumentů schopných zaznamenávat grafy drsnosti společně s integrovanou hodnotou drsnosti.

Parametry drsnosti povrchu jsou vztaženy ke střední čáře profilu povrchu. Funkce hustoty pravděpodobnosti, autokorelační funkce a funkce spektrální výkonové hustoty tvoří základní parametry, které mohou být odvozeny z profilu povrchu. Hodnocení drsnosti povrchu s využitím prostředků výpočetní techniky je jednou z progresivních forem komplexního popisu textury povrchu [1].

## **KONTAKTNÍ METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU**

Jedním ze způsobů organoleptického hodnocení vlastností textilních materiálů je kontaktní, subjektivní způsob hodnocení drsnosti povrchu vyznačující se charakteristickým omakem pro daný textilní materiál. Omak patří mezi základní vlastnosti, které rozhodují o tom, jakým způsobem bude textilie vnímána spotřebitelem. Jedná se o pocit, který vzniká při kontaktu textilie s povrchem těla.

Subjektivní metoda je zajímavá z hlediska potřeb uživatele, který vnímá drsnost jako složku omaku. Při hodnocení touto metodou lze pozorovat, čím jsou uživatelé při srovnávání a hodnocení materiálů ovlivněni, jak chápou pojem drsnosti a jaké vjemy jsou pro ně směrodatné [15].

## **OBJEKTIVNÍ METODY HODNOCENÍ DRSNOSTI TEXTILIÍ**

Objektivní metody testování a porovnávání povrchových charakteristik textilií vycházejí stejně jako v případě kvantifikace drsnosti povrchů netextilních materiálů z výsledků zpracovávaných měřicími přístroji. Předpokladem průkaznosti, jednoznačnosti a opakovatelnosti měření jedním přístrojem konkrétního textilního vzorku za stejných nebo srovnatelných výchozích podmínek, reprodukovatelnosti a porovnatelnosti dosažených výsledků je jednotný algoritmus vyhodnocení povrchových charakteristik konkrétního textilního povrchu. Ukázkovými přístroji pro predikce reliéfu textilií jsou KES, Tloušťkoměr SDL M 034/1, Přídavné zařízení k dynamometru a další. Hlavní součástí zařízení pro objektivní metody měření drsnosti povrchu textilií je snímač (podobně jako u zařízení pro měření drsnosti strojních součástí), který kopíruje profil povrchu materiálu. Tento profil je charakterizován proměnlivostí tloušťky resp. výšky ve vybraných směrech.

### **KES (Kawabata Evaluation System)**

KES systém byl sestaven Kawabatou v roce 1980 [11]. Tvoří ho 4 přístroje pro měření 15 základních charakteristik rozdělených do 5 skupin (tahové, smykové, ohybové, objemové, povrchové) v rozsazích simulujících namáhání oděvních textilií při běžném použití. Systém KES byl vytvořen pro objektivní predikci omaku textilií, zejména tkanin. Umožňuje objektivně predikovat celkové pocity většiny lidí při jejich přímém kontaktu s textilií. Šestnáctou charakteristikou používanou při predikci omaku je plošná hmotnost. Po změření všech výše zmíněných charakteristik se stanoví celková, výsledná hodnota omaku tzv. THV (Total Hand Value).

### **Povrchové charakteristiky**

Princip měření povrchových charakteristik je založený na získání profilu povrchu s použitím dotykového čidla – snímače jako hlavní částí Kawabatova měřicího zařízení. Snímač je tvořen ocelovým drátem o průměru 0,5 mm a pohybuje se konstantní rychlostí  $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  v měřeném úseku dlouhém 20 mm. Profil povrchu, SHV (Surface Height Variation) je graficky zaznamenán pomocí připojeného softwaru.

### **Tloušťkoměr SDL M 034/1**

Zařízení se standardně používá pro měření tloušťky textilních materiálů. Princip snímání profilu povrchu textilií pomocí tloušťkoměru je založený na registraci tloušťky textilie ve stanovených délkových intervalech.

K zařízení je připojený software pro grafické a číselné zaznamenávání tloušťky textilie. Umožňuje nastavit definice, které budou měřit proměnlivou tloušťku vzorku po celé nastavené délce materiálu. V průběhu zkoušky se údaje o tloušťce a délce zaznamenávají do paměti a je možné je znovu vyvolávat a kontrolovat.

Výstupní hodnotou tloušťkoměru je záznam tloušťky  $R(d_i)$  [mm], ( $i = 1, \dots, m$ ). Tento záznam obvykle tvoří na KTM TUL vstupní data do výpočetního modelu DRSNOST v softwaru Matlab.

### **Přídavné zařízení k dynamometru pro měření drsnosti - TIRATEST**

K dynamometru Tiratest bylo zkonstruováno přídavné zařízení za účelem objektivního hodnocení drsnosti povrchu textilií [3]. Princip je založený na snímání odporu - síly  $F(d_i)$ , ( $i=1..M$ ) potřebné k pohybu břitu po povrchu textilie.

Pomocí tohoto zařízení se získává profil kolísání síly SFV (Surface Force Variation), který by měl být úměrný výsledku z přímého měření profilu výšky SHV dráhy. Výstupní hodnotou přídavného zařízení k dynamometru je záznam síly potřebné k pohybu břitu  $F(d_i)$  [N], ( $i=1, \dots, M$ ).

### **BEZKONTAKTNÍ METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU**

Přístroje a metody pro bezkontaktní měření drsnosti povrchu patří do skupiny optických měřicích metod. Jejich výhodou je možnost měřit bezdotykově, čímž přístroje nepoškozují a nijak nedeformují kontrolovaný povrch.

K přístrojům bezkontaktního měření drsnosti povrchu se řadí aparáty založené na metodě světelného řezu nebo stínové metodě šikmého řezu. Doplnují je interferenční metody měření drsnosti povrchu a optické metody měření nosného podílu. Jedná se opět o přístroje spolehlivě sloužící především v oblasti strojírenství. Svou konstrukcí a parametry však nejsou vhodné pro použití v oblasti zkoušení textilních materiálů. Podrobné informace k vyjmenovaným metodám jsou uvedeny v literatuře [1]. Mezi objektivní bezkontaktní metody používané v textilních oblastech se řadí optické metody, jejichž princip tvoří světelný zdroj, optický systém usměrňující světelný paprsek a snímací zařízení ve formě fotodiody nebo systému CCD kamer.

### **Obecný princip bezkontaktního optického měření drsnosti povrchů textilií**

Princip přístroje spočívá v usměrňování laserového paprsku dopadajícího přes optickou soustavu na povrch textilie. Intenzita odraženého laserového paprsku je pomocí fotodiody převáděna na signál elektrického napětí, který je zpracováván Fourierovou analýzou. Podstatnou nevýhodou přístroje je citlivost na chování laserového paprsku (odrazivost paprsku, speckleové obrazce, citlivost na změny barev a odstínů) [17].

## Bezkontaktní optické měření drsnosti povrchů textilií obrazovou analýzou z více pozorovacích úhlů

Zkušební vzorek je namotán na 46 mm široký váleček, který je ze vzdálenosti 1 m osvětlen paralelním svazkem paprsků. Obraz odražený od měřeného vzorku je snímán třemi CCD kamerami ze vzdálenosti 0,9 m pod úhly 10, 60 a 110 stupňů. Stejně jako v předchozím případě, měřicí systém je citlivý na způsob provedené konečné úpravy textilie (lesk, barva, odrazivost světla,...) [18].

## Analyzátor struktury povrchu Allasso STA 3000 firmy Allasso Industries

Přístroj je určen ke snadnému analyzování struktury povrchů různých materiálů, textilií nevyjímaje. Důraz je kladen na schopnost identifikace povrchových nepravidelností a vad. Je vhodný pro účely řízení jakosti, životnostní testy, identifikace výrobních vad a degradace materiálu. Výhodou přístroje je snadné ovládání díky jednoduchému uživatelskému rozhraní. Konstruktivně a účelově obdobné testovací přístroje vyrábí též firma Taylor-Hobson [19].

## NORMALIZOVANÉ CHARAKTERISTIKY DRSNOSTI POVRCHU

Požadavky na drsnost povrchu se vyjadřují charakteristickým údajem drsnosti povrchu, číselnou hodnotou příslušné veličiny a délkou profilu, na které se veličina určuje.

Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu jsou [1]:

$MAD / R_a$	střední aritmetická odchylka profilu
$TP / R_z$	výška nerovností počítána z deseti hodnot profilu
$R_m$	největší výška nerovnosti profilu
$Z_m$	střední rozteč nerovností profilu
$Z$	střední rozteč místních výstupků profilu
$t_p$	nosný podíl
$MP$	průměrná výška vrcholů
$MV$	průměrná hloubka prohlubní

## NENORMALIZOVANÉ CHARAKTERISTIKY DRSNOSTI POVRCHU

Pro detailnější popis funkčního povrchu je třeba provést přesnější analýzu mikrogeometrických charakteristik profilu povrchu. Tyto charakteristiky nejsou v normách zahrnuté, ale používají se pro lepší popis povrchu.

$SD / R_q$	střední kvadratická odchylka profilu
$CV$	variační koeficient
$PSC$	průměrný čtverec směrnice profilu
$PC$	průměrná křivost profilu
$MS$	průměrná směrnice profilu

## POVRCHOVÁ DRSNOST TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

Charakteristickým údajem pro drsnost je variační koeficient profilu povrchu SHV (Surface Height Variation). Definice metod pro detekci nepravidelnosti povrchu běžných textilií byly v minulosti řešeny na bázi existence tření a třecích sil [7], měřením pomocí kontaktní čepice nebo proudu vzduchu [32], KES [11], měření krokovým tloušťkoměrem [3] nebo jinými zařízeními.

Z obecného hlediska má povrchová drsnost textilií dvě hlavní geometrické složky:

- **náhodnou** – povrch se mění náhodně a nelze ho popsat jednoduchými geometrickými prostředky



- **strukturní** – povrch se mění v souladu s konstrukcí textilie a obvykle lze nalézt periodické opakování lokálních extrémů SHV dráhy. Speciálně u povrchu tkanin je přítomná periodicitu vzhledem k opakování ve vzoru textilie.

### Charakteristika proměnlivosti povrchu textilie - SHV a SFV

**SHV – kolísání povrchové výšky** - bývá pro většinu plošných textilií nepravidelné a výrazně strukturované

**SFV – kolísání síly** potřebné k pohybu břitu po povrchu textilie (Surface Force Variation). Získaný profil kolísání síly by měl být úměrný výsledku z přímého měření profilu výšky povrchu SHV. Kvůli deformaci povrchu se však SFV od SHV liší.

Snímač u jednotlivých zařízení na měření povrchové drsnosti kopíruje povrch textilie ve směru podélné osy a ve stanovených vzdálenostech zaznamenává tloušťku  $R(d_i)$ .

### Hodnocení profilu povrchu

Ze změřené SHV nebo z kolísání síly potřebné k pohybu břitu po povrchu textilie (SFV) lze definovat jednotlivé parametry drsnosti popsané množinou bodů  $R(d_i)$ , kde  $i=1, \dots, M$  definované na délce intervalu  $l$ . Vzdálenosti  $d_i$  se volí jako ekvidistantní s tím, že  $R(d_i)$  nahrazuje proměnnou  $R_i$ . Pro identifikaci pozice měření na vzorku je postačující znát vzdálenost mezi měřeními  $d_s = d_i - d_{i-1} = l/M$  pro  $j > 1$ .

Variace resp. změna tloušťky  $R(d_i)$  nebo změna síly  $F(d_i)$  potřebné k překonání povrchového tření může být obecně kombinací náhodného kolísání zapříčiněného nestejnomyšlností přízí, rozstupem mezi přízemi nebo nejednotností výroby a periodických kolísání způsobených opakováním ve vzoru tvořeného útkovými nebo osnovními přízemi. Pro výpočet charakteristik popisujících povrchovou drsnost se používají změřené hodnoty tloušťky  $R(d_i)$  a síly  $F(d_i)$ . U tkanin je nevyhnutelné identifikovat periodické složky v tloušťce  $R(d_i)$  a síle  $F(d_i)$ . Pro tyto účely se často využívá spektrální analýza [2].

### SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA

Spektrální analýza je nejběžnějším způsobem k oddělení drsnosti a vlnitosti. Je založena na Fourierově transformaci signálu z časové oblasti ( $x$  nebo  $d$ ) do oblasti frekvencí:

$$f = \frac{1}{d} \quad (1)$$

Jednoduchou metodou k hodnocení periodicity je vyjádření signálu  $R(d)$  pomocí Fourierovy řady složených funkcí  $\sin(2.\pi.k.d)$  a  $\cos(2.\pi.k.d)$ :

$$R(d) = \frac{a_0}{2} + \sum_k [a_k \cos(2.\pi.k.d) + b_k \sin(2.\pi.k.d)] \quad (2)$$

Proměnná  $d$  značí čas nebo vzdálenost od počátku,  $k$  je přirozené číslo ( $1, 2, 3, \dots, n$ ). Při užití Eulerova vzorce  $e^{(j.a)} = \cos(a) + j.\sin(a)$ ,  $j$  představuje imaginární jednotku, přičemž je Fourierova řada zapsána v kompaktní formě:

$$R(d) = \sum_k c_k \exp(-2.\pi.j.k.d) \quad (3)$$

Komplexní koeficienty  $c_k$  mají reálnou ( $a_k$ ) a imaginární část ( $j.b_k$ ). Pro Fourierovu transformaci z oblasti  $d$  do oblasti frekvence  $\omega = \frac{2.\pi.k}{ML}$  pro ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ ) platí:

$$RF(\omega) = \sum R(d) \exp(-j.\omega.d) \quad (4)$$

Funkce  $RF$  je symetrická okolo frekvence  $\omega = \pi/L$  [2],[25].

Pro diskrétní data vede rychlá Fourierova transformace (FFT) k transformovanému komplexnímu vektoru DRF. Vektor DRF může být užít k tvorbě spektrální výkonové hustoty (Power Spectral Density)  $PSD(\omega)$  [4] podle vztahu:

$$PSD(\omega) = DRF \text{ conj. } (DRF)/L^2 = abs(DRF)^2/L^2 \quad (5)$$

kde  $\text{conj}(\cdot)$  označuje komplexně sdružený vektor.  $PSD(\omega)$  je funkce spektrální výkonové hustoty a obsahuje hodnoty korespondující příspěvkům jednotlivých frekvencí [2],[25].

### STATISTICKÁ ANALÝZA - Autokorelační funkce

Autokorelační funkce je kromě spektrální analýzy běžně rozšířeným nástrojem pro zjišťování periodicity v datech, v tomto případě profilu povrchu.

Základní charakteristikou prostorové variability je autokovarianční funkce  $C(h)$  definovaná jako:

$$C(h) = \text{cov}[R(d), R(d+h)] = E[(R(d) - E(R(d))).(R(d+h) - E(R(d+h)))] \quad (6)$$

Autokorelační funkce  $ACF(h)$  neboli **normovaná korelační funkce** se používá pro vlastní vyhodnocení křivky profilu povrchu. Je normalizovanou verzí  $C(h)$ :

$$ACF(h) = \frac{C(h)}{C(0)} \quad (7)$$

Grafy autokorelační funkce mají na vertikální ose autokorelační koeficienty  $R_h = \frac{C_h}{C_0}$ , kde  $C_h$  představuje autokovarianční funkci definovanou analogicky k (6) vztahem:

$$C_h = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^{N-h} (R_d - \bar{R})(R_{d+h} - \bar{R}) \quad (8)$$

přičemž  $C_0$  představuje rozptyl definovaný [4]:

$$C_0 = \frac{\sum_{d=1}^N (R_d - \bar{R})^2}{N} \quad (9)$$

### STATISTICKÁ ANALÝZA - Variogram

V oblasti prostorové statistiky se používá variogram označovaný jako strukturní funkce definovaná polovinou odchylky rozdílu  $[R(d) - R(d+h)]$

$$\Gamma(h) = 0,5.D[R(d) - R(d+h)] \quad (10)$$

nebo

$$\Gamma(h) = 0.5\{E[R(d) - R(d+h)]^2 - E^2[R(d) - R(d+h)]\} \quad (11)$$

Symbol  $D$  značí rozptyl hodnot  $d$  a  $h$  je velikost posunu.

Pro výpočet výběrového variogramu se používají data  $R(d_i) = R(k,j)$  pro  $k, j$ -tou buňku ( $k=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ ) v kartézské síti souřadnic.

Výběrový variogram ve směru přírůstkového vektoru  $\mathbf{h}$  se počítá obecně ze vztahu:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [R(d_i) - R(d_i + \mathbf{h})]^2 \quad (12)$$

kde  $N(h)$  je počet dvojic bodů vzdálených o interval  $h$ .

Směrové variogramy:

Pro mřížkové uspořádání jsou možné pouze tři směry a délka přírůstkového vektoru je násobkem velikosti elementární cely. Je tedy možné počítat směrový variogram ve směru podélném  $0^\circ$  ( $\mathbf{h} = c*[1,0]$ ), diagonálním  $45^\circ$  ( $\mathbf{h} = c*[1,1]$ ) a příčným  $90^\circ$  ( $\mathbf{h} = c*[0,1]$ ) pro násobky  $c = 1,2,3,\dots$ . Průměrování variogramů ve všech směrech vede k tzv. všesměrovému variogramu (*omnidirectional variogram*) [4].

### FRAKTÁLNÍ DIMENZE

Běžná tělesa lze definovat podle určitého počtu parametrů, které je charakterizují (např. délka, objem, plocha) a tyto parametry jsou při jakékoli změně měřítka stejné.

U každého takového útvaru můžeme jednoznačně určit počet rozměrů (dimenzí). Tato dimenze, která je daná celým číslem, se nazývá dimenzí **topologickou**.

útvár	dimenze
bod	0
křivka	1
plocha	2
prostor	3

Pojem fraktál byl zavedený pro geometrické útvary, pro které celočíselná dimenze nedostačuje. Fraktál je definovaný dvěma charakteristikami. Jednou z charakteristik je **soběpodobnost** (kterákoliv část fraktálu je přesnou kopií původního motivu). Soběpodobnost se dá vyjádřit vztahem  $y = b^{-1}f(x.b)$  (kde  $b$  je zvolená konstanta).

Druhou vlastností je **soběpříbuznost** (kterýkoliv výsek je velice podobný, ale ne zcela shodný s původním tělesem).

### Fraktální rozměr (fraktál) $D$

můžeme podle Hausdorffa vyjádřit následujícím způsobem. Pro obvod fraktálu platí:

$$M_D(\delta) = N(\delta)\delta^d$$

$M_D(\delta)$ .....délka měřené křivky

$N(\delta)$ .....počet úseček potřebných k aproximaci, tj. k pokrytí délky měřené křivky pomocí stejně dlouhých úseček

$\delta$ .....délka jedné úsečky

$d$ .....konstanta

### Odhad fraktálního rozměru

Fraktální chování se projevuje exponenciálním typem závislosti variogramu a spektrální výkonové hustoty. Pro variogram v okolí počátku platí:

$$\Gamma(h) = c|h|^{2H} \quad (13)$$

kde  $c$  je konstanta.

Pro spektrální výkonovou hustotu v oblastech dostatečně vzdálených od počátku platí:

$$S(\omega) = c_1|\omega|^{-(1+2H)} \quad (14)$$

kde  $C_1$  je konstanta. Hurstův exponent  $H$  leží v intervalu  $(0,1)$ .  $H=0$  značí složitou křivku,  $H=1$  značí křivku hladkou. Exponent  $H$  a fraktální dimenze  $D$  jsou ve vztahu  $D_F=2-H$ .

Fraktální dimenze je standardně získávána z odhadu směrnice lineární regrese z log-log transformace variogramu (13). Obecně je  $D_F$  pocházející z tohoto vztahu označována jako efektivní fraktální dimenze [4].

### 3. Použité metody

Klasické parametry drsnosti povrchu vycházejí z naměřených hodnot a geometrické charakterizace SHV získané kontaktními měřicími postupy. Komplexnější metody využívají buď Fourierovy transformace nebo nástrojů prostorové statistiky.

Pro bezkontaktní měření povrchového reliéfu je možné použít metodu obrazové analýzy. Problém tkví jednak ve volbě vhodného osvětlení pro získání reliéfu, tak ve vlastním vyhodnocení dvourozměrné plochy (2D). Výhodné je použití aparátu prostorové statistiky, který lze snadno modifikovat jak pro křivky tak pro plochy. Nabízí se možnost využití fraktálního rozměru.

#### **Konstrukce přístroje - RCM systém**

Pro bezkontaktní predikci povrchové struktury textilií je možné použít metodu obrazové analýzy. Je třeba zvolit vhodnou formu osvětlení pro získání obrazu reliéfu povrchu textilie použitelného k podrobení dalším procedurám a morfologickým operacím stejně jako stanovit vlastní vyhodnocení parametrů plochy povrchu textilie.

Dosavadní bezkontaktní měření reliéfu plošných textilií byla v textilním výzkumu realizována systémem snímacích zařízení, která zaznamenávala nerovnosti povrchu plošných textilií. Získaná data byla poté vyhodnocována příslušným softwarem [17],[18],[19].

Z tohoto principu vychází navrhovaný model - RCM systém (Roughness Contactless Measurement) - skládající se z digitální kamery (vybavené optickou soustavou a osvětlovacím zařízením) a nosné konstrukce umožňující požadovaný pohyb textilního vzorku ve směru měření. Tato metoda slouží ke stanovení povrchových vlastností textilních materiálů jako drsnost, povrchový reliéf, chlupatost textilií, žmolkovitost a dalších parametrů.

RCM systém představuje způsob bezkontaktní predikce povrchových charakteristik textilních útvarů optickou metodou. Systém je založen na propojení a synchronizaci čtyř hlavních zařízení a přístrojů, které tvoří rám nosící krokový motor, osvětlovací těleso, měřicí hranu a navíjecí zařízení. Samotné snímací zařízení v podobě digitální kamery s optickou soustavou je umístěno separátně na stojanu s možností vertikálního posuvu pozice digitální kamery a optické soustavy. Mechanismus posuvu textilního vzorku zabezpečený krokovým motorem společně se snímacím zařízením jsou centrálně napojené a ovládané řídicím počítačem. Přínosem systému je variabilita s možností přizpůsobit měření jednotlivým cílovým požadavkům a typům textilního materiálu. Další výhodou je efektivnost systému ohledně možnosti změřit a popsat všechny dostupné povrchové parametry, provést jejich vyhodnocení a zároveň vytvořit doprovodnou obrazovou dokumentaci pomocí jednoho měřicího a současně vyhodnocovacího systému.

RCM systém využívá kontinuální převíjení zkoumaného vzorku textilního materiálu ve směru posuvu materiálu přes měřicí hranu po jednotlivých krocích, kde dochází ke zvýraznění typických rysů a povrchových parametrů textilie. Převíjení textilního vzorku je zajištěno pomocí navíjecího zařízení poháněného krokovým motorem a připevněného na rámu - nosné konstrukci sestavené z hliníkových profilů. Povrchový reliéf textilního materiálu je kolmo, horizontálně v jedné rovině s měřicí hranou snímán optickou soustavou vybavenou digitální kamerou propojenou přímo s řídicím počítačem. Osvětlení hrany je zajištěno shora diodovým tělesem umístěným vertikálně směrem kolmým nad měřicí hranou.

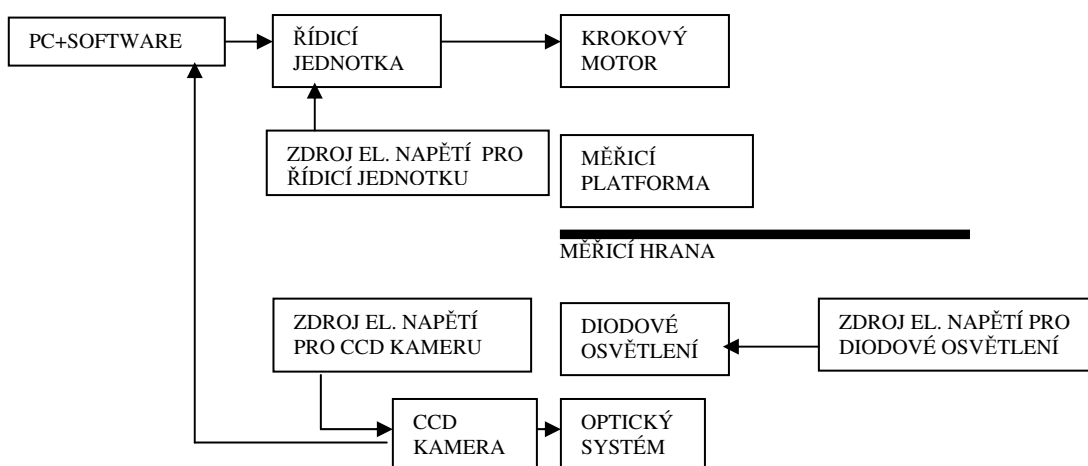
Těleso diodového osvětlení je napájeno z regulovatelného zdroje elektrického napětí. Posuv měřeného vzorku pomocí krokového motoru je řízen z centrálního počítače a krokový motor je napájen vlastním regulovaným zdrojem stejnosměrného napětí. Povelů pro krokový motor vysílané počítačem jsou transformovány řídicí jednotkou, která ovládá motor elektrickými impulsy. Řídicím počítačem lze ovládat pohyb motoru a snímací parametry kamery zároveň. Výsledný obraz je přenášen a prezentován v obrazovém analyzátoru LUCIA

G, který umožňuje jeho vyhodnocení a ukládání v různých obrazových formátech, přičemž pro vyhodnocování povrchových charakteristik byl zvolen formát Windows Bitmap (bmp).

Zmíněná efektivnost a variabilita systému spočívá zejména v jeho snadné ovladatelnosti. Pomocí programových příkazů lze pohyb zkoumané tkaniny přes hranu definovat, snímat a zaznamenávat, následně vyhodnocovat a výsledky dále analyzovat. Nedochází k časovým prodlevám mezi jednotlivými úkony, které lze centrálně definovat na základě vypracovaných metodik měření. Blokové schéma zapojení RCM systému je vyznačeno na obr. 1.

### Popis jednotlivých částí systému

Celý systém se skládá z několika přístrojů a bloků, jejichž vhodným propojením a kombinací nastavení parametrů lze systém uzpůsobit pro jednotlivá měření.



Obr. 1: Blokové schéma zapojení RCM systému

### Hardwarové vybavení a software

Nároky na konfiguraci PC jsou poměrně vysoké zejména v oblasti výkonného procesoru a dostatečně velké operační paměti z důvodu živého snímání obrazu, náročného na výkonnost a kapacitu paměti počítače.

Dalším důležitým faktorem je kvalita zobrazení, která je zajištěna LCD monitorem s vysokým rozlišením bližším parametrům rozlišení kamery. Při menším rozlišení by docházelo ke snížení kvality obrazu a nedostatečnému využití obrazového rozlišení kamery. Pro zpracování signálu obrazu z kamery je použit obrazový analyzátor LUCIA G, který umožňuje nastavením vstupů snadnou ovladatelnost kamery a poskytuje komfortní zpracování a vyhodnocování obsahu každého snímku.



Obr. 2: Řídicí počítač s LCD monitorem

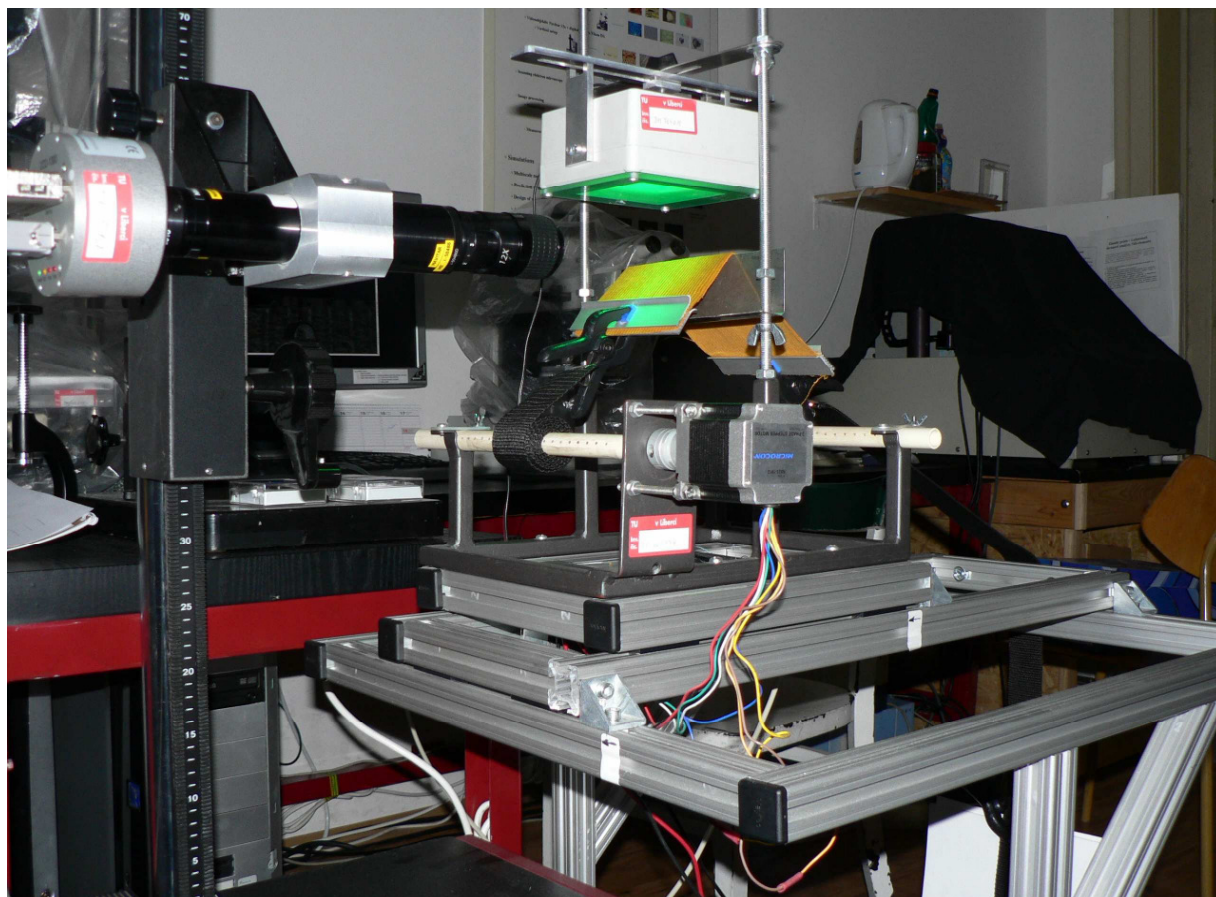
## Rám – nosná konstrukce

Rám slouží k uchycení komponent systému, přičemž představuje nosnou a pracovní část zároveň. Je složen z hliníkových profilů, které jsou sestaveny na základě požadavků definovaných potřebami měření. Konstrukční řešení rámu umožňuje nejen způsob efektivního umístění a fixace jednotlivých součástí RCM, ale zajišťuje také možnost variability měření a snadnou manipulovatelnost. Umožňuje posun a nastavení měřené textilie vůči snímací optické soustavě v rovině ve směru podélném i příčném vzhledem k ose optické soustavy s digitální kamerou. Perspektiva záběru kamery záleží na konkrétních podmínkách nastavení snímacího přístroje. V případě snímání manšestrových vzorků byla nastavena přibližná šíře záběru 23 mm ve směru příčném a 65 mm ve směru podélném textilního vzorku.

Všechny části rámu jsou demontovatelné a libovolně nastavitelné. Ke konstrukci je uchycena měřicí hrana s posuvným zařízením, osvětlení s vodicími závitovými tyčemi, řídicí jednotka motoru, krokový motor a zdroje elektrického napětí pro krokový motor a osvětlovací těleso zvlášť.



Obr. 3: Detail rámu-nosné konstrukce s polohově nastavitelnými komponenty



Obr. 4: Detail měřicí části RCM ze strany odvádění materiálu. Nalevo je snímací systém s optickou soustavou separátně upevněný na stojanu s vertikálním posuvem

### **Krokový motor**

Jako součást RCM systému je užit hybridní dvoufázový krokový motor Microcon řady SX23–1012. Motor se vyznačuje vysokým krouticím momentem a současně relativně malými rozměry. Jeho funkcí je pohybovat rolovacím zařízením v předem definovaných krocích, jejichž velikost, rychlost a počet lze přes řídicí jednotku přesně nastavit v programu řídicího počítače.

### **Řídicí jednotka**

Řídicí jednotka je zařízení zajišťující komunikaci mezi počítačem a krokovým motorem. Současně slouží k regulaci napětí transformovaného od zdroje ke krokovému motoru. Řídicí jednotka M 1486 integruje v jednom obvodu plně programovatelné řízení krokového motoru i univerzální řídicí funkce (vstupy/výstupy) a umožňuje tak realizovat kompletní řízení navíjecího zařízení. Řídicí jednotka umožňuje dělení posuvu krokováním, které výrazně omezuje oscilaci jednotlivých kroků a rezonanci při nízkých rychlostech posuvů. Počet dílčích kroků v jednom celém kroku lze naprogramovat v rozmezí hodnot 1–64, čímž lze v případě potřeby docílit velice jemného a přesného posuvu materiálu přes měřicí hranu.

### **Zdroj elektrického napětí pro krokový motor**

K řídicí desce krokového motoru je přiváděno konstantní napětí 13,8V z regulovaného zdroje stejnosměrného proudu bez možnosti nastavení hodnoty výstupního napětí.

### **Osvět měřeného vzorku**

Důležitou roli v celém systému představuje osvět snímaného textilního vzorku. Má přímý vliv nejen na zobrazovací parametry kamery, ale především na kvalitu výsledného snímaného obrazu. Odpovídajícím osvětlením lze docílit zvýraznění detailů, vyostření struktury a lepší

rozlišovací schopnosti zobrazovacího zařízení. Homogenita osvětlení je zajištěna zdrojem tvořeným diodovým polem. Při návrhu konstrukce osvětlení se vycházelo z požadavku přiměřeného osvětlení, aby nedocházelo k přesvětlení hrany a tím ke ztrátě údajů o charakteru reliéfu povrchu. Tohoto požadavku je dosaženo použitím svítivých diod, které zajišťují dostatečnou světelnou intenzitu a přitom nezpůsobují odlesk od textilie ve snímané oblasti. Pro dosažení maximálně homogenní intenzity výstupního světla je kryt osvětlovače tvořen jemně pískovým sklem. Celý osvětlovač je osazen diodovým polem o 63 diodách, které jsou seřazené v 7 řadách po 9 kusech v řadě. Svítivé diody mají barevnou spektrální čáru o vlnové délce 550 nm, zvolenou podle optimálních parametrů spektrální citlivosti digitální kamery. Tím je dosaženo maximálního využití zdroje i při nižší intenzitě osvětlení. Není třeba vystavovat snímací hranu vyšší intenzitě vyzařovaného světla s následkem ztráty kvality a reálného vykreslení obrazu.

### **Zdroj elektrického napětí pro osvětlovací těleso**

Jako napájení pro osvětlovací těleso je použit profesionální dvojitý laboratorní regulovatelný zdroj Diametral P130R51D. Je vybaven jedním plynule regulovatelným zdrojem, kde regulace výstupního napětí v rozsahu 0–30V je proudově omezena v rozsahu 0,1–4A. Druhý zdroj je neregulovatelný o napěťových a proudových hodnotách 5V/3A. Regulovatelná část zdroje je vybavena digitálním měřicím přístrojem pro napětí i proud spolu se zvukovou indikací proudového omezení. Vzhledem ke vstupnímu napětí osvětlovacího tělesa, které se pohybuje v rozmezí 20–30V a příkonu 4,5W nesmí vstupní proud překročit hodnotu 140mA, kdy by mohlo dojít ke spálení diodového pole.

Výhodou regulovatelného zdroje je možnost volit intenzitu osvětlení na měřicí hraně v závislosti na konkrétních podmínkách měření. Možností přesné regulace a kontroly pomocí displeje lze přesně stanovit podmínky měření a ty opakovaně navodit. Je tedy zajištěna podmínka stejných měřicích parametrů pro jednotlivá navazující měření.

### **Digitální kamera**

Pro zaznamenávání obrazu snímací hrany je použita digitální monochromatická kamera VossKühler, typ CCD–1300FQ. Jde o speciální kameru určenou pro snímání rychle se pohybujících objektů, vhodnou pro aplikaci pohybující se textilní struktury na snímací hraně. Kamera zaznamenává obraz a přenáší jej do softwaru LUCIA G na řídicím počítači. Zde je zaznamenáván obraz v jednotlivých sekvencích pro další obrazové zpracování. Rychlost kamery 25 snímků za sekundu při maximálním rozlišení poskytuje možnost zaznamenávat pohyb na hraně po nepatrně malých posuvech a ukládat jej poté v obrazových souborech pro další zpracování. Hodnota rozlišení zaručuje vysokou kvalitu získaného obrazu. Senzor 2:3 s velikostí čtvercového pixelu 6,45  $\mu\text{m}$  poskytuje možnost použít všechny druhy optických zařízení osazených C – mount závitem.

### **Optická soustava**

Optická soustava NAVITAR 12x Zoom Vision System je přímo napojena na digitální kameru a umožňuje přiblížení a zaostření obrazu na požadovanou úroveň. Optický systém disponuje dvanáctinásobným zvětšením, které umožňuje dostatečné přiblížení pozorované textilie až na parametry přímo měřitelné a rozeznatelné. Je vybaven zářkou transfokátoru, která přesně stanovuje nastavenou míru zvětšení a přispívá k lepší definovatelnosti měření. Úroveň zvětšení lze volit také použitím předsádkových čoček, pomocí kterých lze detailně pozorovat vnitřní strukturu zkoumané textilie.

### **Popis měřených vzorků**

Odběr vzorků se řídí normou ČSN EN 12751. Vzhledem ke konstrukčním dispozicím RCM je doporučen odběr vzorků plošných textilií (tkanin) v rozsahu následujících rozměrů:



Šířka vzorku [mm]	do 150
Délka vzorku [mm]	od 200 teoreticky bez omezení
Tloušťka vzorku [mm]	libovolná, limitujícím faktorem je pouze dostatečná ohebnost textilie přes měřicí hranu

Za účelem získání virtuálních příčných řezů textilních vzorků byly vybrány dva srovnatelné vzorky manšestrové tkaniny s následujícími parametry:

	<b>Vzorek A</b>	<b>Vzorek B</b>
<b>Materiál</b>	manšestrová tkanina	manšestrová tkanina
<b>Hustota řádků [ř.(100mm)<sup>-1</sup>]</b>	33	30
<b>Složení materiálu</b>	81% ba, 19% PE	83% ba, 17% PE
<b>Plošná měrná hmotnost [g.m<sup>-2</sup>]</b>	320	340

U obou vzorků se na základě podobnosti struktury předpokládá i podobný charakter a s ním související podobný trend výsledků charakteristik geometrické textury povrchu.

### **Realizace měření**

Zkušební vzorky manšestrů A i B jsou upnuty do fixačních čelistí RCM systému a v obou případech stejnoměrně předepruty za účelem hladkého posuvu přes měřicí hranu.

V závislosti na nastavení počátečních podmínek optické soustavy představující úroveň zvětšení obrazu, účinnost osvětlení textilního vzorku diodovým polem, kontrast a optimální zaostření obrazu, je pokaždé snímán úsek v přibližné šíři 23 mm napříč řádky manšestru v počtu 160 získaných snímků reliéfu povrchu odpovídajících úseku přibližné délky 65 mm ve směru posuvu vzorku. Průměrná vzdálenost jednotlivých virtuálních příčných řezů je přibližně 0,4 mm. Oba vzorky manšestrů jsou snímány dvakrát. Nejdříve jsou získány snímky reliéfu obou textilií v původním stavu, poté je povrch manšestrových vzorků žehlen, znovu upnut do fixačních čelistí a opět snímán optickou soustavou.

Pro účely analýzy a vyhodnocení povrchových profilů textilií jak standardními postupy (geometrická variabilita včetně užití Fourierových řad a statistického zpracování výsledků) tak nestandardními postupy (užitím prostorové statistiky a fraktálního rozměru) je vytvořen program reliefman.m v jazyce softwaru Matlab. Skript programu je uveden v Příloze disertační práce č. 2.

Obecným vstupem měření je libovolně volitelné množství souborů snímků reliéfu povrchu textilních vzorků ve formátu bmp zaostřených na rozhraní reliéfu povrchu s pozadím, přičemž kontrast odstínů mezi reliéfem povrchu a pozadím musí být dostatečný. V případě získávání podkladů pro disertační práci je zvoleno množství snímků v počtu 160.

Všechny snímky jsou při snímání simultánně ukládány ve zvoleném formátu bmp do řídicího počítače a následně zpracovány připraveným algoritmem definovaným v programu reliefman.m.

## **4. Přehled dosažených výsledků**

Výstupem analýzy programu reliefman.m jsou grafická zobrazení výsledků jednotlivých parametrů drsnosti reliéfů textilií se znázorněnými výsledky všech 160 jednotlivě pořízených snímků zvlášť. Doplnuje je výpis průměrných hodnot výsledků jednotlivých veličin charakterizujících reliéf a drsnost povrchu. V příslušných grafech jsou úrovně průměrných hodnot vyznačeny červenou vodorovnou přímkou.

Geometrické charakteristiky reliéfů textilií včetně tří dominantních složek Fourierových řad jsou vždy charakterizovány průměrem, směrodatnou odchylkou a variačním koeficientem.

Dále jsou graficky zobrazeny semivariogramy konstruované ve směru řádků, sloupců a úhlopříčným směrem. Jejich zprůměrnováním jsou uvedeny všesměrové semivariogramy. Semivariogramy jsou poté převedeny do logaritmických souřadnic, kde pomocí vztahu (13) jsou odhadem směrnic lineární regrese počítány hodnoty fraktální dimenze z počátečních bodů semivariogramu (výsledky shrnuty v Tab. 2) a z celého souboru dat semivariogramů (výsledky shrnuty v Tab. 3). Uvedené výsledky hodnot fraktální dimenze jsou v souladu s metodikou výpočtu semivariogramů počítány ve směru řádků (D rows), ve směru sloupců (D cols), v úhlopříčném směru (D diag) a ve formě všesměrové fraktální dimenze (D omni).

Výsledky geometrických charakteristik textury povrchu tvoří průměrné hodnoty jednotlivých charakteristik drsnosti povrchu společně s 95% intervaly spolehlivosti ke středním hodnotám (IS). Meze intervalů spolehlivosti byly počítány podle známého vztahu:

$$IS = \bar{x} \pm \frac{1,96s}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

kde  $\bar{x}$  představuje aritmetický průměr charakteristiky drsnosti povrchu,  $s$  směrodatnou odchylku charakteristiky drsnosti povrchu a  $n$  počet měření

Výsledky vzorků před a po žehlení jsou porovnávány jak s ohledem na velikost absolutní hodnoty rozdílu obou výsledků tak především vyšetřováním možného průniku zkonstruovaných IS. Existence průniku IS je u příslušné charakteristiky zdůrazněna poznámkou v červené barvě „**Průnik IS**“. Absence průniku IS znamená statisticky rozdílnou hodnotu konkrétní charakteristiky drsnosti povrchu vzorku žehleného oproti vzorku nežehlenému.

Výsledky obou měřených vzorků jsou navíc srovnávány vůči sobě navzájem pomocí tzv. vzájemné vazby. V případě přírůstku resp. poklesu průměrné hodnoty konkrétní charakteristiky vzorku žehleného proti nežehlenému u obou hodnocených exemplářů A i B zároveň je vzájemná vazba vyhodnocena jako kladná a označena znaménkem plus (+). Pro případ obráceného trendu výsledků vzorků žehlených vůči nežehleným obou textilních materiálů A i B je vzájemná vazba vyhodnocena jako záporná a označena znaménkem mínus (-). V případě výsledků neměnných je vzájemná vazba vyhodnocena jako nulová a označena číslicí nula (0).

Tab.1: Porovnání analýzy výsledků vzorků A a B (nežehl., žehl.) včetně tzv. vzájemné vazby

Charakteristika drsnosti povrchu s 95% IS ke stř.h.	vzorek A	vzorek A žehleno	$ \bar{A}_{\text{žehl}} - \bar{A} $	vzorek B	vzorek B žehleno	$ \bar{B}_{\text{žehl}} - \bar{B} $	Vzájemná vazba A, Ažehl x B, Bžehl
Prumer arit.	487,947	487,922	0,02	492,544	485,853	6,69	+
IS - dolní mez	487,847	487,847	Průnik IS	492,257	485,707		
IS - horní mez	488,047	487,997		492,831	485,999		
Prumer geom.	487,655	487,787	0,13	492,15	485,544	6,61	-
IS - dolní mez	487,552	487,714	Průnik IS	491,865	485,393		
IS - horní mez	487,758	487,860		492,435	485,695		
Prumerna absolutní chyba	14,0795	9,00559	5,07	16,709	13,326	3,38	+
IS - dolní mez	13,932	8,896		16,549	13,166		
IS - horní mez	14,227	9,115		16,869	13,486		
Prumerna smernice	0,795	0,611	0,18	0,994	0,802	0,19	+
IS - dolní mez	0,788	0,605		0,837	0,791		
IS - horní mez	0,802	0,617		1,151	0,812		
Prumerny ctverec smernice	2,048	1,343	0,71	5,479	3,00935	2,47	+
IS - dolní mez	1,988	1,292		4,919	2,875		
IS - horní mez	2,109	1,394		6,039	3,144		
Prumerna krivost	0,670335	0,5603	0,11	1,0819	0,815	0,27	+
IS - dolní mez	0,659	0,550		1,043	0,797		
IS - horní mez	0,681	0,571		1,121	0,833		
Rozptyl	290,035	133,463	156,57	392,121	307,214	84,91	+
IS - dolní mez	284,794	130,794		384,624	299,005		
IS - horní mez	295,276	136,132		399,618	315,423		
Sikmost	0,894	0,952	0,06	0,374	0,927	0,55	+
IS - dolní mez	0,881	0,915		0,354	0,902		
IS - horní mez	0,907	0,989		0,394	0,953		
Spicatost	2,884	3,513	0,63	2,271	3,711	1,44	+
IS - dolní mez	2,854	3,432		2,239	3,662		
IS - horní mez	2,914	3,594		2,304	3,760		
Fourier. amplit1	19,238	11,412	7,83	21,0728	16,908	4,17	+
IS - dolní mez	18,976	11,221		20,815	16,607		
IS - horní mez	19,499	11,602		21,331	17,209		
Fourier. phase1	0,151	0,155	0,00	0,0639	-0,0538	0,12	-
IS - dolní mez	-0,006	0,015	Průnik IS	-0,029	-0,069		
IS - horní mez	0,308	0,294		0,156	-0,038		
Fourier. freq1	0,0408	0,0408	0,00	0,0357	0,0357	0,00	0
IS - dolní mez	0,041	0,041	Průnik IS	0,036	0,036	Průnik IS	
IS - horní mez	0,041	0,041		0,036	0,036		
Fourier. amplit2	7,0589	5,075	1,98	9,72	8,67	1,05	+
IS - dolní mez	6,941	4,958		9,477	8,487		
IS - horní mez	7,177	5,192		9,962	8,859		
Fourier. phase2	-0,12009	0,167	0,29	0,136	0,0402	0,10	-
IS - dolní mez	-0,262	-0,017	Průnik IS	0,031	-0,004	Průnik IS	
IS - horní mez	0,022	0,352		0,241	0,084		

Tab. 1: Porovnání analýzy výsledků vzorků A a B (nežehl., žehl.) včetně tzv. vzájemné vazby – pokračování

Charakteristika drsnosti povrchu s 95% IS ke stř.h.	vzorek A	vzorek A žehleno	$ \bar{A}_{žehl} - \bar{A} $	vzorek B	vzorek B žehleno	$ \bar{B}_{žehl} - \bar{B} $	Vzájemná vazba A , Ažehl x B, Bžehl
Fourier. freq2	0,0709	0,0468	0,024	0,0403	0,0444	0,004	-
IS - dolní mez	0,069	-0,028	<b>Průnik IS</b>	0,040	0,043		
IS - horní mez	0,073	0,122		0,041	0,046		
Fourier. amplit3	5,68	4,223	1,46	6,711	6,823	0,11	-
IS - dolní mez	5,599	4,148		6,550	6,719	<b>Průnik IS</b>	
IS - horní mez	5,760	4,298		6,871	6,927		
Fourier. phase3	0,305	0,00975	0,296	0,0732	-0,413	0,487	+
IS - dolní mez	0,158	-0,173	<b>Průnik IS</b>	-0,058	-0,487		
IS - horní mez	0,453	0,193		0,204	-0,340		
Fourier. freq3	0,0498	0,0385	0,011	0,0444	0,057	0,013	-
IS - dolní mez	0,047	0,034		0,042	0,053		
IS - horní mez	0,052	0,043		0,047	0,060		
Rz rough 10	72,622	55,877	16,75	86,41	86,712	0,30	-
IS - dolní mez	71,885	55,149		84,969	85,277	<b>Průnik IS</b>	
IS - horní mez	73,359	56,604		87,851	88,147		
CV	3,485	2,363	1,12	4,0126	3,595	0,42	+
IS - dolní mez	3,452	2,340		3,975	3,547		
IS - horní mez	3,517	2,386		4,051	3,644		

Tab. 2: Hodnoty fraktální dimenze počítané ze 4 počátečních bodů log-log semivariogramu

Hodnota fraktální dimenze	vzorek A	vzorek A žehleno	$ \bar{A}_{žehl} - \bar{A} $	vzorek B	vzorek B žehleno	$ \bar{B}_{žehl} - \bar{B} $	Vzájemná vazba A , Ažehl x B, Bžehl
D rows	1,724	1,739	0,015	1,864	1,776	0,087	-
D cols	1,928	1,899	0,029	2,016	1,95	0,066	+
D diag	1,91	1,92	0,005	2,0269	1,918	0,109	-
D omni	1,886	1,873	0,013	1,997	1,91	0,088	-

Tab. 3: Hodnoty fraktální dimenze počítané ze všech hodnot log-log semivariogramu

Hodnota fraktální dimenze	vzorek A	vzorek A žehleno	$ \bar{A}_{žehl} - \bar{A} $	vzorek B	vzorek B žehleno	$ \bar{B}_{žehl} - \bar{B} $	Vzájemná vazba A , Ažehl x B, Bžehl
D rows	2,362	2,414	0,052	2,40091	2,392	0,009	-
D cols	2,628	2,603	0,025	2,753	2,851	0,098	-
D diag	2,671	2,762	0,091	2,788	2,656	0,132	-
D omni	2,515	2,547	0,032	2,614	2,569	0,045	-

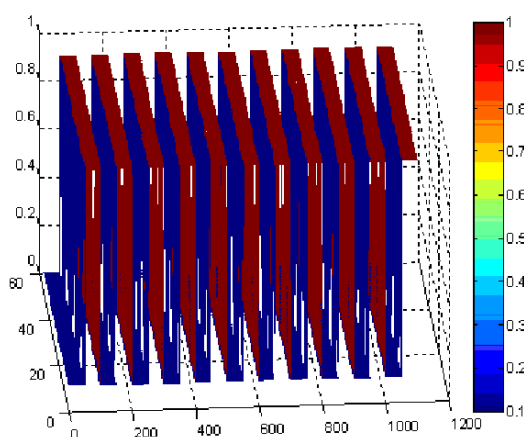
### Simulace chování charakteristik geometrické textury – program zub.m

Pro porovnání výsledků naměřených virtuálních příčných řezů s teoretickými hodnotami simulačního modelu zubu jako náhrady manšestrového vroubku byl vypracován program zub.m. Skript programu se nachází v Příloze disertační práce č. 3 a jeho výstup popisuje chování všech experimentálně vyhodnocovaných charakteristik geometrické textury v závislosti na proměnlivosti parametrů simulovaného zubu. Hodnoty obou proměnných parametrů jsou v programu zub.m zadávány pro jednotlivé výpočty v řádku č. 6, přičemž obě proměnné představují:

$am$  [1]    relativní šířku manšestrového vroubku  
 $ym$  [1]    relativní výšku manšestrového vroubku

Příslušný tvar simulovaného profilu zubu charakterizovaný oběma výše uvedenými parametry je nahrazen Fourierovou řadou. Ostré přechody resp. skokové hodnoty simulovaného zubu jsou vyhlazeny a definovaný algoritmus počítá všechny parametry drsnosti geometrické textury povrchu, které jsou počítány ze snímků hodnocených manšestrových vzorků. Diference hodnot  $am$  je rovna 0.1 v intervalu  $\langle 0.1, 0.9 \rangle$ . Velikost šířky zubu je definována výrazem  $1-am$ . Pro velikosti výšek zubu  $ym$  platí analogický postup.

Ilustrační příklad simulovaného modelu zubu pro hodnoty  $am = 0.3$ ,  $ym = 0.4$  je uveden na obr. 5. Funkce je definovaná jako periodická.



Obr. 5: Schéma simulace manšestrového vroubku („zubu“)

Jednotlivé výsledky příslušných charakteristik geometrické textury simulovaných zubů jsou za účelem porovnání přiřazeny výsledkům měřených vzorků. Výsledky charakteristik geometrické textury simulovaných zubů jsou s výsledky měřených vzorků srovnávány pomocí tzv. vzájemné vazby. Grafické zobrazení výsledků simulovaných zubů s parametry  $am$  a  $ym$  v celém rozsahu v intervalech  $\langle 0.1, 0.9 \rangle$  je pro názornost uvedeno u každé příslušné charakteristiky geometrické textury povrchu.

Kompletní výsledky geometrických charakteristik textury povrchů simulovaných zubů v závislosti na parametrech  $am$ ,  $ym$  jsou zpracovány v tabulkách v Příloze disertační práce č. 4.

Za účelem odhadu proporčních změn měřených manšestrových vzorků A i B před žehlením a po žehlení bylo vybráno 20 reprezentativních snímků ze série virtuálních příčných řezů obou měřených vzorků. V grafickém editoru byly standardními softwarovými nástroji

odměřeny a odečteny vertikální vzdálenosti bodů křivek opisujících rozhraní virtuálních příčných řezů od viditelné úrovně základní nosné tkaniny. Tím byly odhadnuty výškové rozdíly vrcholů manšestrových vroubků od základní nosné tkaniny. Obdobně byly zjištěny rozdíly šířek mezi vroubky žehlených oproti nežehleným manšestrovým vzorkům.

Výsledkem je zjištění, že vzorky manšestru po žehlení mají oproti původním rozměrům před žehlením výšku vroubku nižší v průměru o 34%. Šířka mezery mezi vroubky je přibližně stejně velká před i po žehlení.

Pro účely porovnání tzv. vzájemné vazby standardních charakteristik geometrické textury mezi výsledky měřených vzorků A a B a hodnotami simulačních modelů zubů byly na základě výsledků odhadu proporčních změn manšestrových vroubků před a po žehlení vybrány parametry simulovaného modelu zubu uvedené v tabulce 4.

Tab. 4: Vybrané parametry simulovaných modelů zubů pro porovnávání s hodnotami výsledků měřených manšestrových vzorků

Relativní rozměr modelu manšestrového vroubku	před žehlením	po žehlení
<i>am</i>	0,3	0,3
<i>ym</i>	0,4	0,6

Veškeré výsledky standardních charakteristik geometrické textury povrchu jsou počítány pro jednotlivé křivky opisující rozhraní povrchové vrstvy virtuálního příčného řezu reliéfu povrchu textilie zvláště. Červená vodorovná přímka v grafech představuje aritmetický průměr všech 160 dílčích hodnot výsledků.

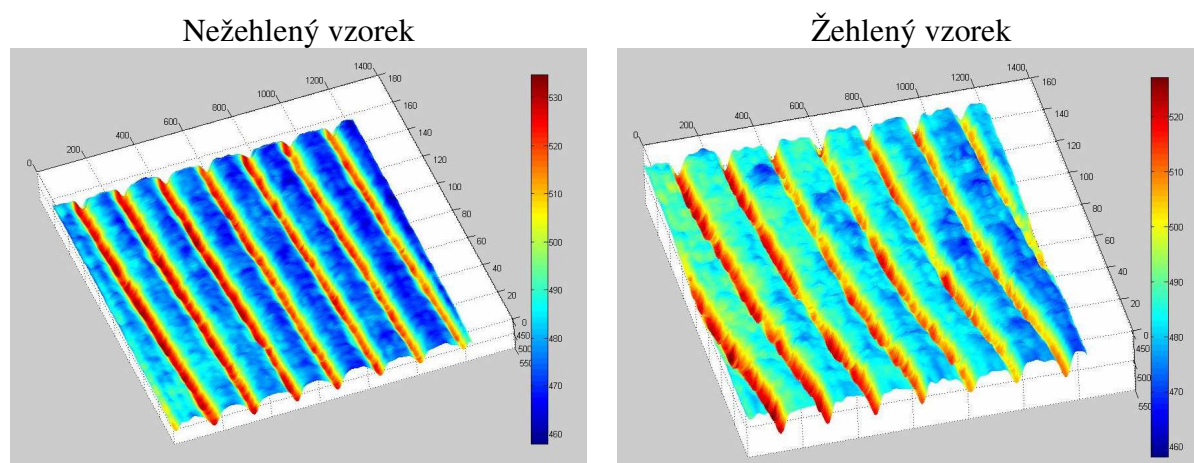
Výsledky průměrných hodnot charakteristik jsou porovnávány 95% intervaly spolehlivosti ke středním hodnotám (IS). V případě, že se IS překrývají a existuje tudíž jejich průnik, hodnoty vzorků nežehlených oproti vzorkům žehleným se statisticky významně neliší. V opačném případě pro hodnoty vzorků nežehlených oproti vzorkům žehleným platí analogický postup.

Výsledky simulovaného modelu zubu s parametry specifikovanými v tab. 4 jsou srovnávány s hodnotami skutečných naměřených a vyhodnocených vzorků manšestrových tkanin před a po žehlení.

Dodatečnou srovnávací technikou je opět tzv. vzájemná vazba.

Hodnocené standardní charakteristiky geometrické textury povrchu jsou: Aritmetický průměr, Geometrický průměr, Průměrná absolutní chyba, Průměrná směrnice, Průměrný čtverec směrnice, Průměrná křivost, Rozptyl, Šikmost, Špičatost, 1., 2. a 3. nejvýznamnější amplituda, fáze a frekvence Fourierovy řady, Rz 10 a CV.

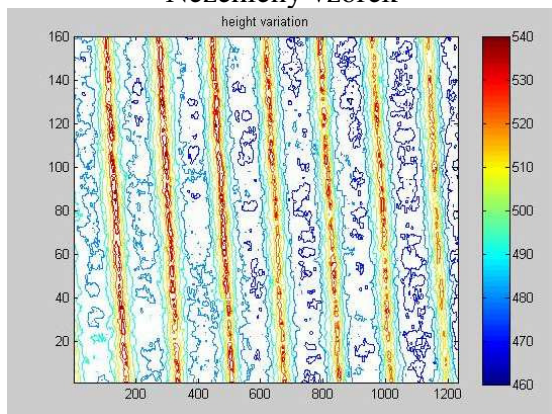
Pro názornost je uveden příklad vyhodnocení reliéfu povrchu vzorku A včetně kompletního vyhodnocení průměrné směrnice.



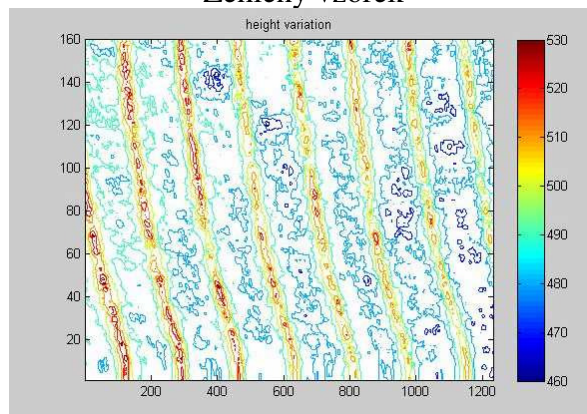
Obr. 6: Rekonstrukce reliéfů povrchů složených ze snímaných virtuálních příčných řezů textilních vzorků

Povrch textilie resp. reliéf povrchu je rekonstruován skládáním křivek opisujících tvar virtuálních příčných řezů reliéfu povrchu všech 160 snímků seřazených za sebe do 3D útvaru. U žehlených vzorků je patrná nižší výška profilu viditelná z deformovaného profilu původně zaoblených vroubků manšestrového vzorku. Nižší výška profilu je zřejmá na obou vzorcích především díky světlejším odstínům blízkým středu barevné stupnice variace výšky profilu povrchu hodnoceného textilního vzorku.

Nežehlený vzorek



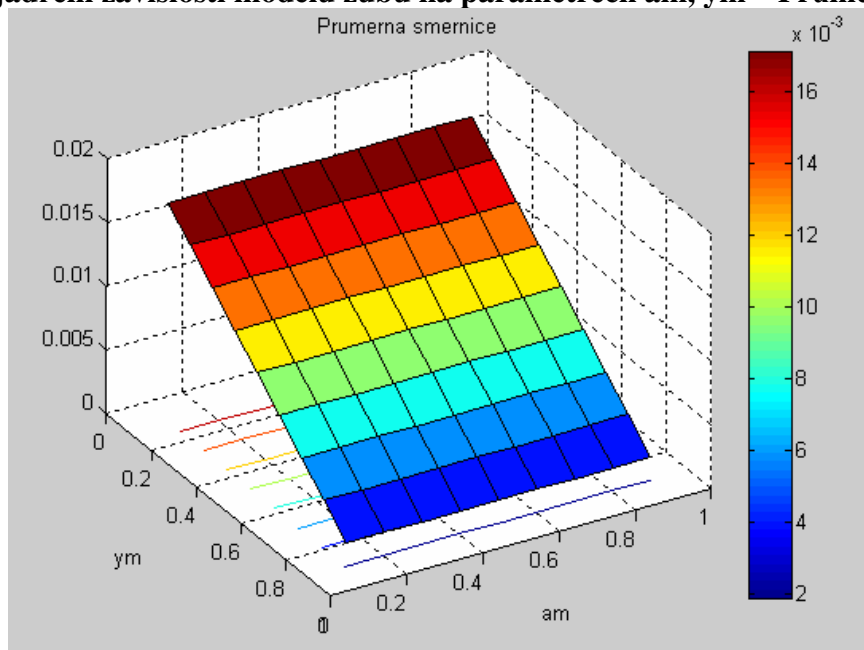
Žehlený vzorek



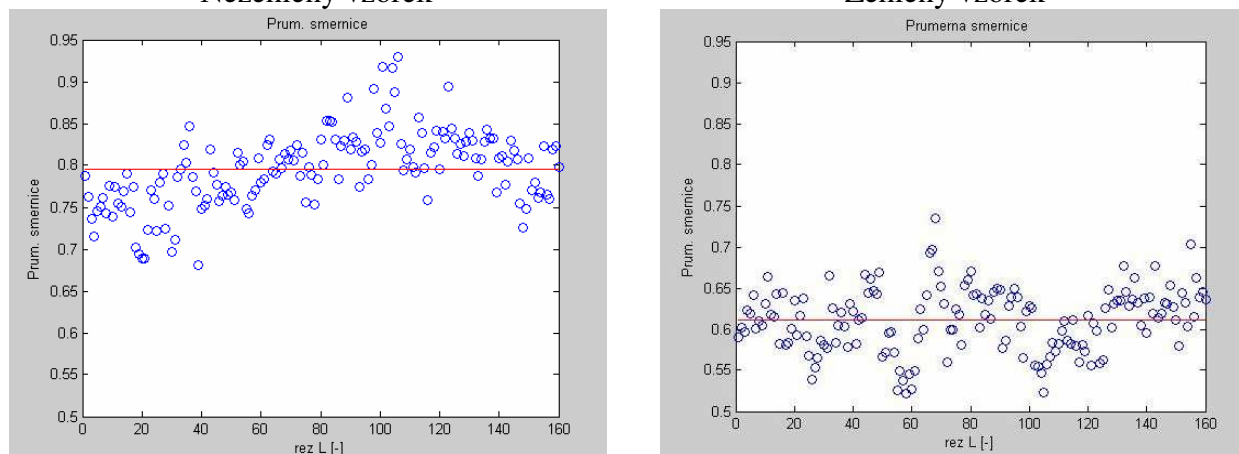
Obr. 7: Rekonstrukce povrchu snímaného textilního vzorku z řezu půdorysného pohledu

Rekonstrukce povrchu v podobě půdorysné mapy variace výšky s barevnou škálou odpovídající vrstevnici výšky (vertikální souřadnici) povrchu reliéfu textilie.

## Grafické vyjádření závislosti modelu zubu na parametrech $a_m$ , $y_m$ – Průměrná směrnice



## Grafické vyjádření vyhodnocených výsledků vzorku A - Průměrná směrnice



Obr. 8: Průměrná směrnice

### Vyhodnocení výsledků vzorku A - Průměrná směrnice

IS pro průměrné hodnoty vyhodnocených vzorků: IS se nepřekrývají		Nežehlený vzorek		Žehlený vzorek	
		<0.788,0.802>		<0.605,0.617>	
Hodnoty simulačního modelu zubů s parametry $a_m$ , $y_m$		Průměrné hodnoty vyhodnocených výsledků vzorku		Vzájemná vazba: vyhodnocené výsledky vs. simulační model	
$a_m = 0.3$ , $y_m = 0.4$	0.0114	Nežehleno	0.795	+	
$a_m = 0.3$ , $y_m = 0.6$	0.00761	Žehleno	0.611		

Komentář k výsledkům:

Průměrná směrnice odpovídá MS. V souladu s logickým předpokladem i výsledky simulačního modelu zubu žehlený vzorek oproti vzorku nežehlenému vykazuje nižší hodnotu průměrné směrnice.



## 5. Zhodnocení výsledků a nových poznatků

Řada parametrů nastavení RCM již před samotným měřením jako například velikost úhlu, který svírá předepnutý textilní vzorek s vertikálou měřicí hrany, intenzita a zvolené působiště osvětlení snímaného vzorku, nastavení parametrů CCD kamery a optického systému včetně nastavení způsobu odvádění měřeného materiálu a odváděcí rychlosti, nevyjímaje způsobu upnutí a předepnutí měřeného materiálu, má specifický vliv na přesnost a objektivitu výsledků měření. Z parametrů nastavení výpočetního algoritmu v Matlabu výsledek výrazně ovlivňuje především volba parametrů matematické morfologie obrazové analýzy, jejichž nastavení je nutno ověřit experimentálně. S variabilitou typů měřených textilií úzce souvisí i variabilita definice prvků matematické morfologie.

V programu reliefman.m je využito definovaných přístupů ve vyhodnocování parametrů geometrické variability měřených textilií. Pomocí zprůměrovaných semivariogramů z vybraných směrů ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $90^\circ$ ) jsou konstruovány všesměrové semivariogramy ke generování hodnot fraktální dimenze. Jiný přístup k výpočtu fraktální dimenze využívá nástrojů Fourierovy transformace.

Analýzou zpracovaných výsledků obou vzorků A a B v nežehlené i žehlené formě lze dojít k závěru, že charakteristiky geometrické variability (Aritmetický průměr, Geometrický průměr, Průměrná absolutní chyba, Průměrná směrnice, Průměrný čtverec směrnice, Průměrná křivost, Rozptyl, Šikmost, Špičatost, 1., 2. a 3. nejvýznamnější amplituda, fáze a frekvence Fourierovy řady, Rz 10 a CV) s výjimkou výsledků Šikmosti, Špičatosti, fázových posunů a frekvencí všech uvedených složek včetně amplitudy 3. nejvýznamnější složky Fourierovy řady, Rz rough 10 nevyjímaje, popisují charakteristiky reliéfu povrchu v souladu se simulačním modelem zubu i logickým předpokladem dané konkrétní charakteristiky.

Výsledky fraktální dimenze nevykazují mezi jednotlivými vzorky v nežehlené i žehlené formě žádnou rozlišitelnou ani statisticky významnou rozdílnost.

## 6. Práce autora se vztahem ke studované problematice

1. Militký, J., Bleša, M., Vid'ourková, L.: Anisotropy of Surface Roughness, Technical University of Liberec, 2004
2. Militký, J., Bleša, M., Mazal, M.: Thickness Variation of Technical Textiles, Technical University of Liberec, 2004
3. Bleša, M., Militký, J.: Evaluation of Patterned Fabrics Surfaces Relief, Technical University of Liberec, 2006
4. Bleša, M., Militký, J.: Evaluation of Cord Fabrics Surface Profile, Technical University of Liberec, 2006
5. Militký, J., Bleša, M.: Evaluation of Patterned Fabric Surface Roughness, Technical University of Liberec, 2008

## 7. Literatura

- [1] Bumbálek, B., Odvody, V., Ošťádal, B.: Drsnost povrchu, SNTL, Praha, 1989
- [2] Militký, J., Bajzík, V.: Surface Roughness of Heat Protective Clothing Textiles, str. 258-267, International Journal of Clothing Science and Technology, Volume 15, No. 3/4, 2003
- [3] Militký J., Bajzík V.: Characterization of Textile Surface Roughness, Proc. 7th Int. Asian Textile Conference, Hong Kong August 2001

- [4] Militký, J., Bajzík, V.: Surface Roughness and Fractal Dimension, str. 91-113, J. Text. Inst., 2001, 92 Part 3
- [5] Militký, J., Ibrahim, S.: Yarn Unevenness Complex Characterization, Springer Berlin/Heidelberg, Studies in Computational Intelligence (SCI), str. 57 –73, Vol. 55, 2007
- [6] 9. konference STRUTEX (sborník), 9th international conference STRUTEX (Proceedings), kolektiv autorů, TU v Liberci, prosinec 2002
- [7] Ajayi, J. O.: Fabric Smoothness, Friction and Handle, Textile Research Journal, 1992, Vol. 62, str. 87-93
- [8] Ajayi, J. O.: An Attachment to the Constant Rate of Elongation Tester for Estimating Surface Irregularities of Fabric, Textile Research Journal, 1994, Vol. 64, str. 475-479
- [9] Ajayi, J. O.: Effects of Fabric Structure on Frictional Properties, Textile Research Journal, 1992, Vol. 62(2), str. 87-93
- [10] Stockbridge, H. C. W., Kenchington, K. W. L., Conkindale, K. G., and Greenland, J., The Subjective Assessment of the Roughness of Fabrics, J. Textile Inst. 48, T26-T34 (1957)
- [11] Kawabata, S.: The Standardization and Analysis of Hand Evaluation, Text. Mach. Soc. Japan, 1980
- [12] Kang, T. J., Lee J. Y.: Objective Evaluation of Fabric Wrinkles and Seam Puckers Using Fractal Geometry, Textile Research Journal 70(6), 469-475 (2000)
- [13] Fan, J., Liu, F.: Objective Evaluation of Garment Seams Using 3D Laser Scanning Technology, Textile Research Journal 70(11), 1025-1030 (2000)
- [14] Kang, T. J., Cho, D. H., Kim, S. M.: New Objective Evaluation of Fabric Smoothness Appearance, Textile Research Journal 71(5), 446-453 (2001)
- [15] Seligová, M.: Porovnání metod měření drsností textilií, diplomová práce, TU Liberec, 2004
- [16] Kuchařová, B.: Drsnost povrchu, diplomová práce, TU v Liberci, 2004
- [17] Bueno, M. A., Durand, B., Renner, M.: A Non-Contact Measurement of the Roughness of Textile Fabrics, Experimental Techniques, March/April 2000
- [18] Pont, S. C., Koenderink, J. J.: Split Off-Specular Reflection and Surface Scattering from Woven Materials, Applied Optics, Vol. 42, No. 8, 10 March 2003
- [19] webová stránka [www.allasso-industries.com](http://www.allasso-industries.com)
- [20] ISO 4287: Geometrical product specification, GPS-surface texture, profile method - terms, definitions and surface texture parameters, Beuth Verlag, Berlin 1997
- [21] Militký, J., Bleša, M., Vid'ourková, L.: Anisotropy of Surface Roughness, Technical University of Liberec, 2004

- [22] Militký, J., Bleša, M., Mazal, M.: Thickness Variation of Technical Textiles, Technical University of Liberec, 2004
- [23] Bleša, M., Militký, J.: Evaluation of Patterned Fabrics Surfaces Relief, Technical University of Liberec, 2006
- [24] Bleša, M., Militký, J.: Evaluation of Cord Fabrics Surface Profile, Technical University of Liberec, 2006
- [25] Militký, J., Bleša, M.: Evaluation of Patterned Fabric Surface Roughness, Technical University of Liberec, 2008
- [26] Li, Ch., Dong, S., Zhang, G.-X., Evaluation of the Root-Mean-Square Wavelength of Machined 3D Surface Topography, *Wear* 232, 1999, str. 76–83
- [27] Sacerdotti, F., Benati, F., Butler, C., Griffiths, B.: Closed Regions: A Proposal for Spacing Parameters for Areal Surface Measurements, *Meas. Sci. Technol.* 13, 2002, str. 556–564
- [28] Sacerdotti, F., Griffiths, B., Benati, F., Kang, H.: The Variability of Functional and Amplitude Three-Dimensional Roughness Parameters for Electron-Beam and Electro-Discharged Textured Surfaces, *Meas. Sci. Technol.* 11, 2000, str. 171–177
- [29] Mačenaite, L., Pekarskas, V., Žunda, A.: Simulation and Analysis of Surface Roughness of Soft Polymeric Materials by Fractals, ISSN 1392–1320 *Materials Science (Medžiagotyra)*. Vol. 10, No. 3., 2004
- [30] Guisser, L., Payrissat, R., Castan S.: PGSD: An Accurate 3D Vision System Using a Projected Grid for Surface Descriptions, *Image and Vision Computing* 18, 2000, str. 463–491
- [31] Bueno, M. A., Aneja, A. P., Renner, M.: Influence of the Shape of Fiber Cross Section on Fabric Surface Characteristics, *Journal of Materials Science* 39, 2004, str. 557–564
- [32] Ajayi J.O.: Some Studies of Frictional Properties of Fabrics, Doctoral Thesis, University of Strathclyde, Glasgow (1988)
- [33] Sacerdotti, F., Porrino, A., Butler, C., Brinkmann, S., Vermeulen, M.: SCOUT—Surface Characterization Open-Source Universal Toolbox, *Meas. Sci. Technol.* 13, 2002, N21–N26
- [34] Vassiliadis, S. G., Provatidis, C. G.: Structural Characterization of Textile Fabrics Using Surface Roughness Data, *International Journal of Clothing Science and Technology* Volume 16, Number 5, 2004, str. 445-457

- [35] Herzfeld, U. C., Overbeck, C.: Analysis and Simulation of Scale-Dependent Fractal Surfaces with Application to Seafloor Morphology, *Computers & Geosciences* 25, 1999, str. 979-1007
- [36] Wu, J. J.: Spectral Analysis for the Effect of Stylus Tip Curvature on Measuring Rough Profiles, *Wear* 230, 1999, str. 194–200
- [37] Meftah, E. M., Belingard, L., Chapman, C. E.: Relative Effects of the Spatial and Temporal Characteristics of Scanned Surfaces on Human Perception of Tactile Roughness Using Passive Touch, *Exp Brain Res.*, 2000, str. 132:351–361
- [38] Militký, J., Klička, V.: Nonwovens Uniformity Spatial Characterization, *Journal of Information and Computing Science*, Vol. 2, No. 2, 2007, str. 85-92
- [39] Mandelbrot, B.: *Fraktály*, Mladá Fronta, Praha, 2003

## 8. Summary

The complex evaluation of surface relief is one of the essential characteristics affecting subjective hand feeling of textiles. There are two reasons for measurement of surface roughness. First is to control manufacture and second is to ensure that the products perform well. The former is the case of special finishing in textile industry (e.g. ironing) but the latter is connected with comfort appearance and hand.

Classical methods of surface roughness measurements are based on surface profile detection techniques. Traditional stylus profiling method produces data as one dimensional height variation in the selected direction of rough surface. This roughness profile is called Surface Height Variation (SHV). For characterization of SHV the standard roughness parameters as Mean Absolute Deviation and Standard Deviation (Root Mean Square) are used.

Modern methods are based on image processing of surface images. The image analysis allows evaluation of genuinely two-dimensional data i.e. surface heights in whole plane.

The specific contribution of this thesis is creation of RCM (Roughness Contactless Measurement) which has been newly designed for computation of image analysis performed by contactless method. The computation of roughness characteristics is performed both by classical statistical methods - height geometry or height distribution (variance, skewness, curtosis), spatial characteristics (autocorrelation or variogram) and spectral characteristics based on the Power Spectral Density function (PSD). These methods are closely connected with characteristics computed from fractal models used for evaluation of surface structure.

Vydala Textilní fakulta Technické univerzity  
v Liberci jako interní publikaci pod pořadovým  
číslem DFT/4/2009 v počtu 20 výtisků.