

Bakalářská práce

Zjišťování tloušťky textilií prostřednictvím CT snímků

Studijní program:

B0723A270001 Textilní technologie, materiály
a nanomateriály

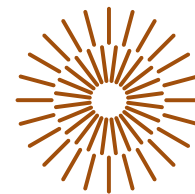
Autor práce:

Kateřina Kocourková

Vedoucí práce:

Ing. Monika Vyšanská, Ph.D.
Katedra technologií a struktur

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Zjišťování tloušťky textilií prostřednictvím CT snímků

Jméno a příjmení:

Kateřina Kocourková

Osobní číslo:

T20000237

Studijní program:

B0723A270001 Textilní technologie, materiály
a nanomateriály

Zadávající katedra:

Katedra technologií a struktur

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te průzkum na téma způsoby měření tloušťky textilních materiálů.
2. Druhou část rešerše věnujte problematice řezů textilními materiály a CT (computer tomography).
3. Pomocí standardně využívaného tloušťkoměru změřte tloušťku (dle normy ČSN EN ISO 5084 80 0844) předloženého vzorku plošných textilií.
4. Realizujte interaktivní měření tloušťky předložených textilií z řezů z nanoCT.
5. Navrhněte metodiku zjištění tloušťky plošné textilie prostřednictvím jejího zaplnění, proved'te měření tloušťky textiliemi příslušným postupem.
6. Jednotlivé přístupy zjišťování tloušťky porovnejte.

<i>Rozsah grafických prací:</i>	dle potřeby
<i>Rozsah pracovní zprávy:</i>	cca 40 stran
<i>Forma zpracování práce:</i>	tištěná/elektronická
<i>Jazyk práce:</i>	čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN ISO 5084 80 0844 Textile – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků, česká technická norma, vydána 01/1998.
- [2] Firemní příručka k použitému nanoCT: <https://www.rigaku.com/products/xrm/nano3dx>.
- [3] Kolčavová Sirková, Brigita, and Monika Vyšanská. "Methodology for evaluation of fabric geometry on the basis of the fabric cross-section." *Fibres & Textiles in Eastern Europe* (2012).
- [4] Zhu, Licheng, et al. "Determination of the porosity in a bifacial fabric using micro-computed tomography and three-dimensional reconstruction." *Textile Research Journal* 88.11 (2018): 1263-1277.
- [5] Vyšanská, M.: Přednášky předmětu EXA, TUL, Liberec, 2023.
- [6] Vyšanská, M.: Přednášky předmětu MUT, TUL, Liberec, 2023.

<i>Vedoucí práce:</i>	Ing. Monika Vyšanská, Ph.D. Katedra technologií a struktur
-----------------------	---

<i>Datum zadání práce:</i>	5. října 2022
<i>Předpokládaný termín odevzdání:</i>	8. ledna 2024

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

L.S.

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

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce paní Ing. Monice Vyšanské Ph.D. za vedení mé práce, vstřícnost, cenné rady a trpělivost v průběhu zpracování.

Poděkování patří též mé rodině a blízkým, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá přístupy pro zjišťování tloušťky plošných textilií. Teoretická část obsahuje informace ohledně měřících metod spolu s přístroji. Dále informace týkající se zaplnění, obrazové analýzy a CT, které jsou využity pro návrh nové metodiky.

Experimentální část je především zaměřena na návrh metodiky. Ta se týká zjišťování tloušťky textilií prostřednictvím jejich zaplnění. Pro její ověření jsou realizovány další dva přístupy pro zjišťování tloušťky – interaktivní měření z řezu a měření na tloušťkoměru. V závěru jsou výsledky jednotlivých přístupů porovnány a vyhodnoceny.

Klíčová slova: zaplnění, obrazová analýza, tloušťka, plošná textilie, CT

Annotation

The bachelor thesis deals with approaches for thickness determination of flat fabrics. The theoretical part contains information regarding measurement methods along with instruments. Then information regarding packing density, image analysis and CT that are used for the design of a new methodology.

The experimental part is mainly focused on the design of the new methodology. The latter concerns the determination of the thickness of the fabrics through their packing density. To validate it, two other methods are implemented for thickness determination – interactive measurements from the section and measurements on a thickness gauge. Finally, the results of each method are compared and evaluated.

Keywords: packing density, image analysis, thickness, textile, CT

Seznam použitých zkratek

CT Computer Tomography

KES Kawabata Evaluation Systém

FAST Fabric Assurance by Simple Testing

Do dostava osnovy

Du dostava útku

Hs hustota sloupce

Hr hustota řádku

CO bavlna

PA polyamid

PES polyester

PP polypropylen

Obsah

Úvod	9
1 Plošné textilie	10
1.1 Tloušťka plošných textilií	10
1.1.1 Příklady měřících přístrojů.....	10
2 Řezy textilními materiály	16
2.1 Metoda měkkých a tvrdých řezů	16
2.2 Měření tloušťky	19
2.2.1 Obrazová analýza.....	19
2.2.2 Měření v obrazové analýze NIS-Elements	20
3 Zaplnění	21
4 Výpočetní tomografie (CT).....	22
4.1 Princip.....	23
4.2 CT snímky a jejich využití v textilním oboru	23
5 ANOVA	24
6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	24
6.1 Charakteristika měřených vzorků	26
6.2 Porovnávané metody pro měření tloušťky.....	30
6.2.1 Měření na tloušťkoměru.....	31
6.2.2 Interaktivní měření v obrazové analýze	32
6.2.3 Navrhovaná metodika	33
6.3 Vyhodnocení výsledků a porovnání přístupů měření.....	38
6.3.1 Porovnání výsledků z jednotlivých přístupů	40
6.3.2 Diskuze výsledků.....	41
Závěr	42
Zdroje.....	44
Seznam obrázků.....	46
Seznam tabulek	46
Seznam rovnic.....	47
Přílohy.....	47

Úvod

Přístupů pro měření tloušťky textilií je hned několik. Většina z nich však nerespektuje vnitřní strukturu měřených vzorků, čímž dochází k její deformaci během měření. Příkladem je i nejčastěji používaná metoda pro měření tloušťky textilií – tloušťkoměr. Zde dochází k deformaci struktury vlivem přitlaku, který je na vzorek během měření vyvíjen. Při zjišťování hodnot tloušťky z řezu s pomocí metody měkkých řezů, zase dochází k ovlivnění výsledků vlivem nutné fixace vzorku či při samotném získávání řezů.

Teoretická část práce je zaměřena na existující způsoby měření tloušťky textilií – popis jednotlivých přístupů a přístrojů. Též uvádí informace ohledně CT, zaplnění a obrazové analýzy, které jsou využity při navrhování nové metodiky v druhé části práce.

Praktická část této práce popisuje princip nově navržené metodiky, kde je tloušťka získávána prostřednictvím zaplnění. Obsahuje též popis a měření dalších dvou přístupů, se kterými je ve výsledku nová metodika porovnávána.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout metodiku pro měření tloušťky textilií, která bere ohled na vnitřní strukturu měřeného vzorku.

1 Plošné textilie

Plošné textilie vznikají zpracováním délkových textilií, mezi které řadíme vlákno či přízi. Podle použité technologie pro jejich výrobu, dělíme plošné textilie na tkaniny, pleteniny a netkané textilie [1].

Vlastnosti plošných textilií jsou ovlivněny vlastnostmi délkových textilií použitých pro jejich výrobu, konstrukcí plošné textilie a aplikované finální úpravě. Přičemž je samotná konstrukce ovlivněna použitou technologií, vazbou, strukturou a hustotou konstrukčních prvků (dostava, hustota řádků...) [2].

1.1 Tloušťka plošných textilií

Tloušťka plošné textilie je důležitým parametrem ovlivňujícím vlastnosti dané textilie. Definujeme ji jako kolmou vzdálenost mezi lícem a rubem textilie [2]. Vzhledem k faktu, že je většina textilií snadno deformovatelná (stlačitelná), může zvolená metoda měření či typ měřícího přístroje významně ovlivnit výsledné hodnoty [3].

1.1.1 Příklady měřících přístrojů

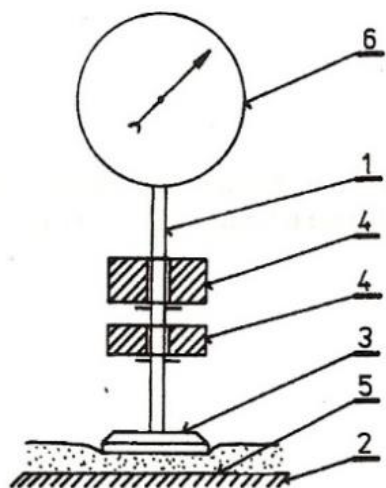
Typů přístrojů pro měření hodnoty tloušťky existuje široká řada. Všechny fungují na stejném principu, ale mohou se konstrukčně lišit (průměr čelisti, elektronické vybavení, měřící rozsah...). Následující kapitola částečně představí některé z nich.

Tloušťkoměr

K naměření hodnoty tloušťky se používají specializované přístroje tzv. tloušťkoměry (obrázek 1). Přesto, že se tloušťkoměry mohou konstrukčně odlišovat, princip zůstává stejný [2].

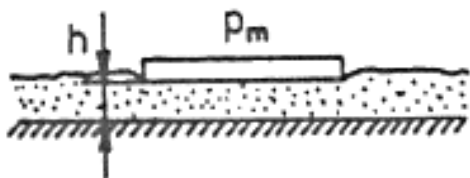
Textilie je nejprve umístěna mezi čelisti přístroje – dvě rovnoběžné desky, z nich je jedna přitlačná a druhá fixní. Tvar obou čelistí je ve většině případů kruhový, s tím že spodní nepohyblivá čelist má zpravidla vyšší průměr. Hodnota tloušťky textilie je pak měřena jako

kolmá vzdálenost vrchní a spodní čelisti. Měřený vzorek nevyžaduje žádnou zvláštní přípravu, pro správnost měření je však nutné vyhnout se okrajům a pomačkaným místům [4].

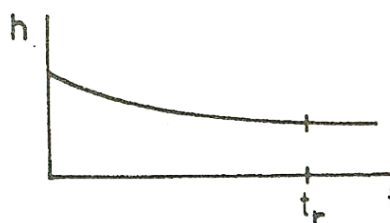


Obrázek 1 – Schéma tloušťkoměru [2]

Během měření na tloušťkoměru působí na textilii upevněnou mezi čelistmi normou stanovený přitlak p_m , jenž způsobuje její deformaci ve formě stlačení viz obrázek 2. Naměřené hodnoty tloušťky se tak u textilie ve volném stavu a textilie na niž působí přitlak liší [2].



Obrázek 2-Měření tloušťky plošné textilie při působícím tlaku [2]



Obrázek 3- Závislost tloušťky textilie měřené pod přitlakem na čase [2]

Míra přitlaku je dána plochou zatěžovací čelisti a silou, kterou na textilii vyvíjí [2]

$$p_m = \frac{F}{S} \quad [Pa] \quad (1)$$

Rovnice 1 - Míra přitlaku u tloušťkoměru

kde:

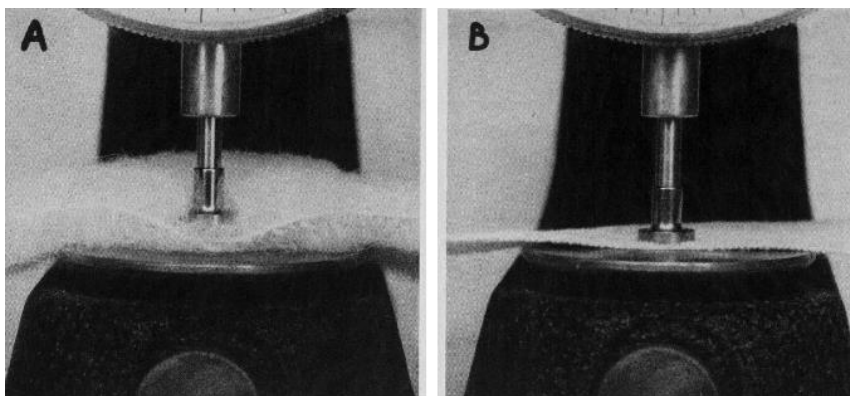
p_m – měrný tlak [Pa]

F – síla působící na textili [N]

S – plocha čelisti [m²]

K vyrovnání přtlaku dochází pomocí vnitřního odporu textilie. Tloušťka měřené textilie je při působení přtlaku časově závislá (obrázek 3). Konstantní tloušťky je dle norem dosaženo po 30 s, kdy dochází ke stabilizaci deformace a změny hodnot tloušťky jsou minimální [2].

Jak již bylo uvedeno, přtlak mezi čelistmi je stanoven normou. Nelze však zahrnout všechny textilní výrobky pod jednu normu s předepsaným s přtlakem. Důvodem je snadná deformace textilie. Různé typy textilií, tak vyžadují odlišný přtlak [2]. Příkladem může být dopravníkový pás nebo jiná hladká hustě tkaná textilie. Ta je relativně tuhá a téměř nestlačitelná za tlaku, který na ní působí při běžném používání. Pokud tedy tuto tkaninu vystavíme zkoušce na tloušťkoměru, pak přtlak nebude mít na výslednou hodnotu tloušťky textilie téměř žádný vliv. Pokud však použijeme stejný přtlak například pro tkaninu s vlasem, bude naměřená hodnota tloušťky zcela záviset na zvolené velikosti přtlaku. Porovnání můžeme vidět na obrázku č.3, kde na obě textilie působí stejný přtlak cca 23,5 Pa. U tkaniny A s vlasovým povrchem vidíme výraznou deformaci struktury [3].



Obrázek 4-Textilie měřené pod stejným přtlakem (A – vlněná podšívka s dvojitým vlasem, B – grád) [3]

V České republice je používána mezinárodní norma stanovující metodu pro zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků – ČSN EN ISO 5084 (800844). Ta platí pro většinu plošných textilií, výjimkou jsou netkané textilie (ČSN EN ISO 9073-2 (806132)), geotextilie, provrstvené textilie a textilní podlahové krytiny, které mají vlastní normy [5].

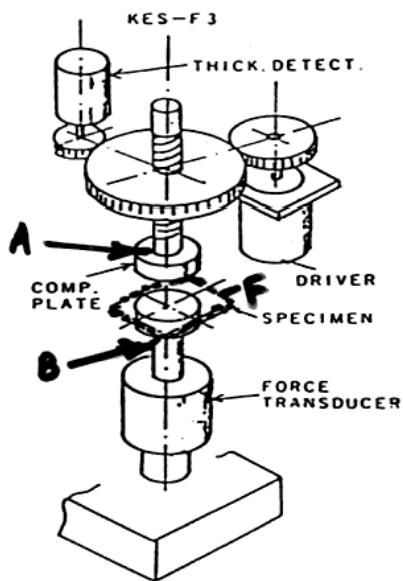
Kawabata Evaluation System

Kawabata Evaluation System (zkráceně KES) je systém, který slouží k měření mechanických vlastností plošných textilií. Na základě výsledných hodnot je schopen predikovat a vyhodnotit estetické vlastnosti textilií. Ty jsou obvykle zaznamenány prostřednictvím lidského doteku při manipulaci s textilním materiálem. Další předností tohoto systému je možnost monitorovat a měřit proces zotavování deformovaného vzorku. KES tak umožňuje sledovat jak změna použitého materiálu, struktury či povrchové úpravy ovlivní výsledné hmatové vlastnosti [6].

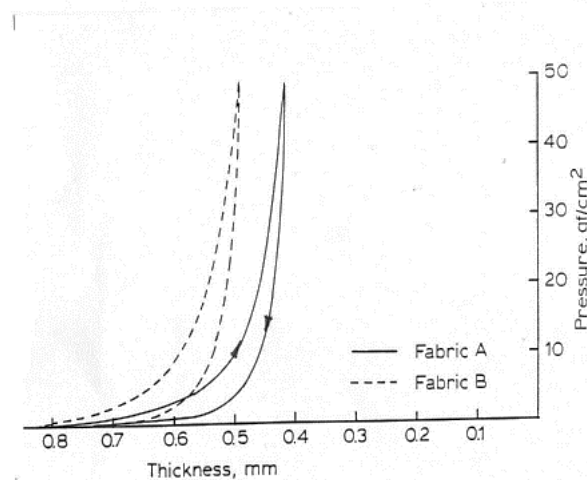
KES je jako celek složen z několika dílčích přístrojů, které slouží k měření jednotlivých charakteristik:

- **Přístroj pro měření ohybových vlastností** – tahová pružnost, prodloužení, práce vykonaná při deformaci...
- **Přístroj pro měření povrchových vlastností** – drsnost, povrchové tření.
- **Přístroj pro měření tahových a smykových vlastností** – ohybová tuhost, smyková tuhost...
- **Kompresní přístroj pro měření za působení tlaku** – tloušťku textilie při nízkém a maximálním možném přitlaku ($0,5 \text{ g/cm}^2$ – $50,0 \text{ g/cm}^2$), stlačitelnost, pružnost, vykonanou práci...

Hodnota tloušťky T [mm] je v tomto případě zjišťována na kompresním přístroji zobrazeném na obrázku 5. Měření probíhá podobně jako tomu je u tloušťkoměru. Vzorek měřené textilie (F) je nejprve umístěn na nepohyblivou čelist (B), která snímá velikost přitlačné síly. Poté je stlačován kruhovou čelistí (A) o průměru 2 cm^2 do maximálního přitlaku $50,0 \text{ g/cm}^2$. Rychlost přitlaku je $0,02 \text{ mm/sec}$. Následně je působící tlak opět snižován až do počátečního stavu a může tak dojít k postupné regeneraci deformovaného vzorku. Grafické znázornění průběhu měření můžeme vidět na obrázku 6, kde jsou vyobrazeny dvě křivky pro dva rozdílné vzorky [7]. Výsledná hodnota tloušťky textilního materiálu je uvažována při přitlaku $0,5 \text{ g/cm}^2$ [6].



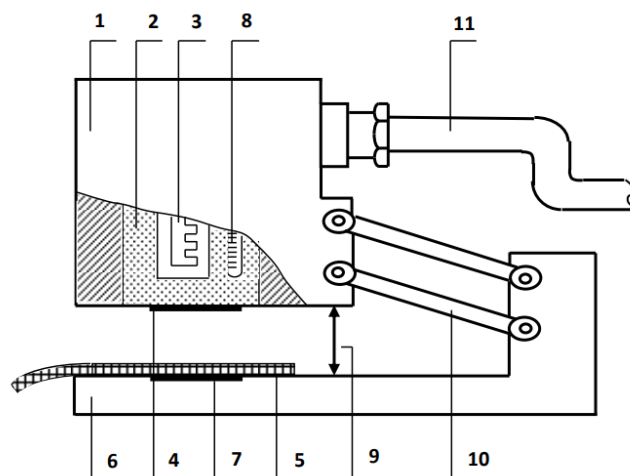
Obrázek 5- Schéma kompresního přístroje KES [7]



Obrázek 6- Schéma kompresního přístroje KES [7]

Alambeta

Přístroj Alambeta (obrázek 7) slouží především k měření tepelných vlastností tkanin a pletenin. Hodnota tloušťky je zde zjišťována nastejno spolu s tepelnou vodivostí, tepelným odporem, tepelnou jímavostí a dalšími. Měření probíhá podle interní normy č. 23-304-02/01 [8].



Obrázek 7-Schéma přístroje Alambeta [8]

Vzorek měřené textilie (5) je vložen mezi podstavec (6) a hlavici (1). Ta následně klesá a vytváří přítlak. Velikost přítlaku se může pohybovat od 100-1000 Pa. Standartně však měření probíhá při přítlaku 200 Pa. Získání tepelných vlastností probíhá pomocí fotoelektrických

snímačů (4,7), zatímco tloušťka je měřena jako kolmá vzdálenost podstavce a hlavice (9). Získaná data jsou zpracována počítačem.

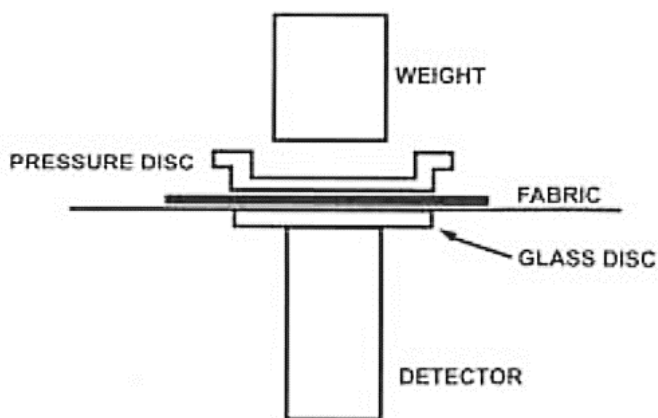
Pro naměření co nejpřesnějších hodnot je před začátkem měření nutné nastavit nulovou hodnotu tloušťky. Toho docílíme spuštěním hlavice do spodní měřicí polohy a provedením měření hodnoty tloušťky bez vloženého vzorku [8].

FAST systém

FAST (Fabric Assurance by Simple Testing) je systém, který slouží k objektivnímu měření mechanických a rozměrových charakteristik plošných textilií. Za jeho vývojem stojí australská organizace CSIRO, jejímž cílem bylo vytvořit jednodušší a cenově dostupnější variantu japonského systému KES.

Podobně jako KES systém i FAST je složen z více přístrojů, které měří jednotlivé vlastnosti [9]:

- **FAST 1** – kompresní zařízení pro měření tloušťky textilie
- **FAST 2** – přístroj pro měření délky ohybu tkaniny (pro výpočet ohybové tuhosti)
- **FAST 3** – přístroj pro měření roztažnosti textilie (tři různá zatížení v různých směrech)
- **FAST 4** – nejedná se o přístroj, ale o princip testování rozměrové stability (měření rozměrů textilie za sucha, za mokra a po usušení)



Obrázek 8-Schéma FAST 1 (zařízení pro měření tloušťky) [9]

Zjišťování hodnoty tloušťky probíhá na zařízení FAST 1, které je zobrazeno na obrázku 8. Textilní vzorek je umístěn na podstavec a poté je zatěžován přitlačným kotoučem po stanovený přítlak. Měření probíhají celkem čtyři [9]:

- 1) Měření klimatizovaného vzorku při přítlaku 2 g/cm^2
- 2) Měření klimatizovaného vzorku při přítlaku 100 g/cm^2
- 3) Měření zrelaxovaného vzorku po paření při přítlaku 2 g/cm^2
- 4) Měření zrelaxovaného vzorku po paření při přítlaku 100 g/cm^2

Získané hodnoty tloušťky jsou následně porovnány a slouží k vyhodnocení stálosti povrchových úprav během výrobních procesů – žehlení, lisování a paření [9].

2 Řezy textilními materiály

Řezy délkových textilií se provádí kolmo k jejich ose. Tedy v příčném směru. U plošných textilií se provádí řezy ve vůči sobě kolmých směrech. Jde tedy o řezy příčné i podélné:

- **Příčné řezy** – řez provedený kolmo ke směru ve kterém prochází textile strojem tzv. cross direction. U tkanin jde o řez ve směru útkových nití a u pletenin o řez ve směru řádku.
- **Podélné řezy** – řez provedený rovnoběžně se směrem ve kterém prochází textile strojem tzv. machine direction. U tkanin jde o řez ve směru osnovních nití a u pletenin o řez ve směru sloupku [10].

2.1 Metoda měkkých a tvrdých řezů

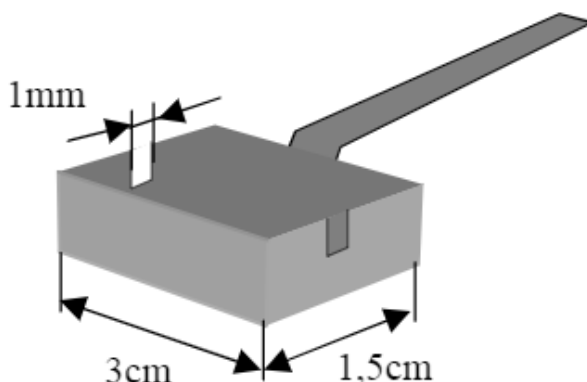
Cílem této metody je získat příčné řezy délkových či plošných textilií. Pro správnost postupu při jejich tvorbě existuje norma IN 46-108-01/01 Doporučený postup tvorby příčných řezů.

Vzorky jsou pro obě metody odebírány dle normy ČSN EN 12751 Textile – Odběr vzorků vláken, nití a plošných textilií ke zkouškám. Důraz je kladen především na odběr vzorků délkových textilií (příze, hedvábí). Zde je důležité, aby měli měřené vzorky zachovaný zákrut. Správně provedená impregnace zajistí polohu vláken a s tím i kvalitu řezu. Případné rozkroucení může ovlivnit kvalitu výsledného řezu a znehodnotit jej pro následnou analýzu pod mikroskopem [10].

U obou metod může velmi snadno dojít k poškození a znehodnocení řezu. Důležitá je nejen správně provedená příprava vzorku. Deformovat řez může i neopatrná manipulace, špatně provedené seříznutí či nedostatečně ostrý nůž [10].

Metoda měkkých řezů

V případě měkkých řezů jsou zákruty délkových textilií fixovány pomocí impregnace. Nejprve se v tenké vrstvě nanáší směs disperzního lepidla a rychlosmáčecího přípravku (například Spolion 8) v poměru 1:1. Poté je nanášena druhá vrstva, tentokrát už pouze disperzního lepidla. V případě, že je to nutné lze nanést více vrstev. Jde především o to, aby se impregnace dostala mezi vlákna a zajistila jejich polohu. Po následném sušení (3–24 h) je vzorek připravený pro usazení do plechové vaničky, která je na obrázku 9 [10].

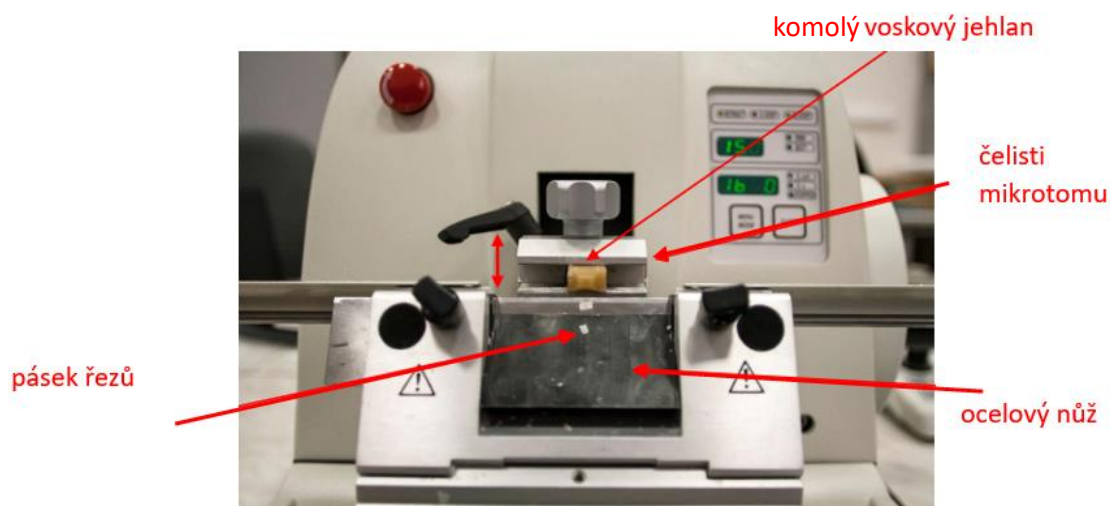


Obrázek 9- Plechová vanička používaná při získávání měkkých řezů délkových textilií [10]

Vzorek je umístěn do zářezů jejichž šířka je pro vzorky délkových textilií 1 mm a pro vzorky plošných textilií 4 mm. Poté je nutné strany vaničky po obvodu polepit lepící páskou. Důvodem je utěsnění zářezů. Při následném zalití vzorku by mohla rozehrátá směs včelího vosku a parafinu vytéct. Takto připravený vzorek je umístěn do mrazničky, kde při cca -18 °C tuhne po dobu 24 h. Po vyjmutí z vaničky získáváme voskový preparát ve tvaru kvádru. Plocha jeho řezu, by však byla zbytečně velká, a proto je pomocí žiletky seříznut do tvaru čtyřbokého jehlanu. Uříznutím jeho špičky získáme řez s textilním vzorkem uprostřed. Velikost plochy řezu se pohybuje okolo 2-5 mm²[10].

Před samotným řezáním je třeba upevnit komolý voskový jehlan do mikrotomu tupou špičkou dopředu – obrázek č. 10. Zvolenou šířku řezu lze seřídít polohu ocelového nože. Pro délkové textilie se doporučená šířka řezu pohybuje okolo 13-25 μ m. U plošných textilií je to 25-50 μ m. Řezy jsou získávány ve formě pásku – několik řezů ze sebou (obrázek 10). Pomocí jehly se pásek sejme a vloží na podložní sklíčko s kapkou destilované vody, kde se po usušení může uchovávat. [10]

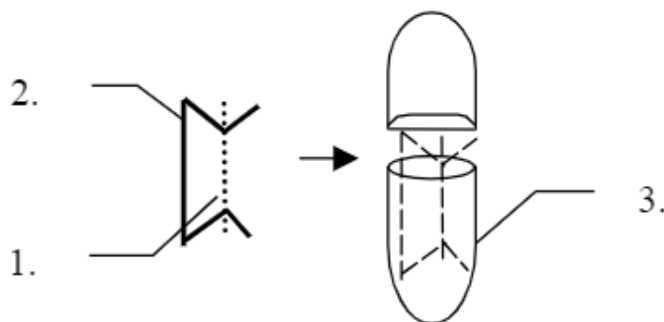
Před samotným mikroskopováním je řez zakápnut xylenem, který rozpouští vosk i parafin. Preparát je zkoumán bez krycího sklíčka pod světelným mikroskopem metodou procházejícího světla [11]. Pro následné zpracování je z každého „voskového kvádra“ vybrán pouze jeden řez.[10]



Obrázek 10-Příprava měkkých řezů [11]

Metoda tvrdých řezů

V případě tvrdých řezů je fixace polohy a zákrutů délkové textilie zajištěna pomocí nosného měděného drátku (2) na obrázku č. 11. Ten je spolu s textilním vzorkem, který je na něj připevněn, vložen do kapsle (3). Jedná se o kapsli vyrobenou z želatiny, běžně využívanou v lékařství. Před jejím uzavřením je vzorek zalit směsí ACM II. Ta obsahuje z většinové části epoxidovou pryskyřici. Dále pak tvrdidlo, urychlovač a dibutylftalát. Pro snadnější proniknutí směsi mezi vlákna, jsou textilní vzorky předem odmaštěny v lázni obsahující aceton a ACM I. [10]



Obrázek 11-Vkládání vzorku do kapsle (tvrdé řezy) [10]

Uzavřené kapsle jsou jednotlivě vloženy do malých otvorů v dřevěné desce, aby nedošlo k jejich poškození při následné polymeraci. Ta probíhá v komorovém termostatu při 50-60 °C po dobu 48 h. Příprava pro řez dále obnáší zbavení se kapsle a nosného drátku. Kapsle se jednoduše rozpustí ve vodě, drátek je nutné vyjmout. Vzniklý útvar je podobně jako u měkkých řezů seříznut do tvaru jehlanu s tupou špičkou a umístěn do mikrotomu. Řez je prováděn pomocí skleněného či diamantového nože. Doporučená tloušťka řezu u délkových textilií je v tomto případě 5-10 μm. Manipulace a uchovávání vzorku probíhá stejně jako u řezů měkkých. Jediným rozdílem je sušení vzorku, které probíhá na vyhřívaném stole při teplotě 40 °C.

Mikroskopování probíhá běžným postupem. Pro následné zpracování je opět vybrán pouze jeden řez z každého připraveného preparátu/kapsle [10].

2.2 Měření tloušťky

Nasnímání a digitalizace obrazu řezu v případě metody měkkých a tvrdých řezů probíhá pomocí počítačového softwaru pro obrazovou analýzu. Kde je možné obraz pomocí dostupných nástrojů upravit a připravit pro hodnocení. [12]

2.2.1 Obrazová analýza

Obrazová analýza je systém, který se zabývá tvarem a formou objektů. Především slouží k podrobné analýze snímaného obrázku [13].

Obecně slouží ke:

- sledování preparátu
- snímání obrazů a jejich digitalizaci
- analýze a ukládání snímku
- zpracování obrazu (segmentace, měření geometrických vlastností...)
- úprava obrazu – dle možností daného programu (vyhlazení, barevnosti, kontrastu, jasu...)

Celý systém je složen z několika částí. Mezi něž patří: plošný skener, videokamera, počítač s příslušným programem, fotoaparát v neposlední řadě mikroskop, na kterém je umístěn

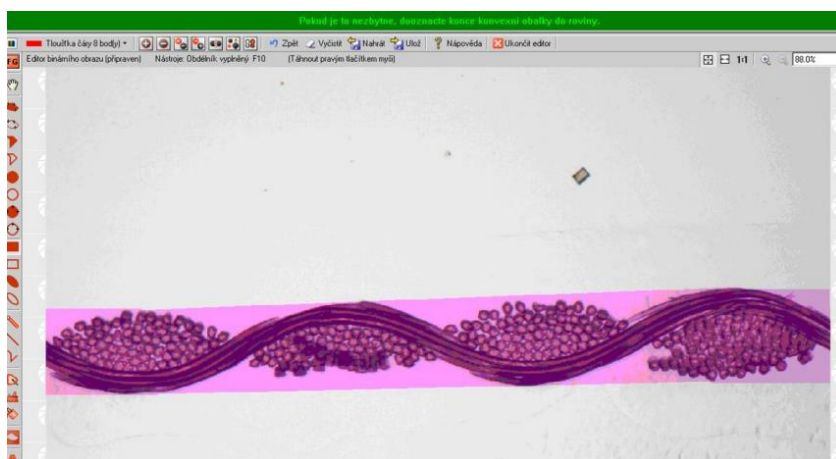
zkoumaný preparát. Obraz preparátu je nejprve nasnímán a digitalizován. Zde je důležité, aby byl pořízený snímek dostatečně kvalitní pro následnou analýzu, čímž se předejde možným chybným výsledkům. Dále je možné obraz zpracovat a vyhodnotit výsledky [13].

2.2.2 Měření v obrazové analýze NIS-Elements

Obrazová analýza nabízí různé typy způsobu měření:

- **Měření objektů** – tato funkce automaticky změří uživatelem zvolené vlastnosti jednotlivých objektů (před samotným měřením je nutné nastavit meze měření).
- **Měření polí** – funkce na stejném principu jako měření objektů. Jediným rozdílem je měření všech objektů na snímku naráz.
- **Interaktivní měření** – je měření je prováděno uživatelem. Ten si k vlastnosti, kterou chce měřit zvolí příslušnou funkci pomocí které manuálně měří (pohybem a klikáním myši). Interaktivní měření zahrnuje měření délky, plochy, profilu intenzity, poloměru, počtu, úhlů, poloos a taxonomie. Uživatel má také možnost volby jednotek, ve kterých se budou výsledky zobrazovat. Během tohoto typu měření, jsou výsledky zapisovány do tabulky vždy po každém jednotlivém měření.
- **Měřicí rámeček** – měřicím rámečkem lze označit oblast ve které bude měření prováděno a kde už ne. Jeho velikost a polohu lze libovolně měnit. Objekty, které leží na hranici mohou nebo nemusí být do měření započítány. Záleží na umístění objektů. Rámeček má z část hranice označenou plnou čarou a část přerušovanou čarou. Objekty, které leží na plné čáře do měření započítávány nejsou. Naopak objekty, které leží na přerušované čáře započteny jsou. Výsledkem jsou opět vlastnosti zvolené uživatelem [14].

Tloušťku řezu lze změřit interaktivně/manuálně pomocí příslušného nástroje nebo pomocí konvexní obálky, kterou vidíme na obrázku č. 12. Zde je řez naprahován pomocí autodetekce a překrýván přiloženou konvexní obálkou viditelnou v podobě růžového obdélníku [12].



Obrázek 12-Měření tloušťky řezu pomocí konvexní obálky [12]

Tloušťka je zde měřena jako nejmenší kolmá vzdálenost dvou tečen povrchu řezu. Tato vzdálenost je nazývána jako minimální/nejmenší feret. Hodnotě tloušťky však odpovídá pouze v případě, že je řez přesně vodorovně orientovaný. Pokud se osa x v programu neshoduje s osou řezu, pak je tloušťka vypočítána z rovnice: [12]

$$\text{Tloušťka} = \text{MinimálníFeret} * \cos(\alpha) \quad (2)$$

Rovnice 2- Výpočet tloušťky u konvexní obálky

kde:

α – úhel svírá osou x a osou řezu

3 Zaplnění

Zaplnění je charakteristika týkající se jak délkových, tak plošných textilií. Značí se řeckým písmenem μ [-] a vyjadřuje podíl celkového prostoru vůči prostoru vyplněného vlákny. Obecně lze tedy říci, že je ukazatelem stěsnanosti vláken v daném prostoru [15].

Objemové či plošné zaplnění lze spočítat podle vzorce [15]:

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{S}{S_c} \quad [-] \quad (3)$$

Rovnice 3 - Výpočet hodnoty zaplnění

kde:

μ – zaplnění

V – objem vláken

V_c – objem celkového útvaru

S – substanční plocha průřezu

S_c – celková plocha řezu/útvary

$V \leq V_c$ a $S \leq S_c$

Hustotní zaplnění je pak počítáno dle vzorce [16]:

$$\mu = \frac{\gamma}{\rho} \quad [-] \quad (4)$$

Rovnice 4 - Výpočet hustotního zaplnění

kde:

μ – zaplnění

γ – hustota vlákenného zaplnění

ρ – hustota vláken

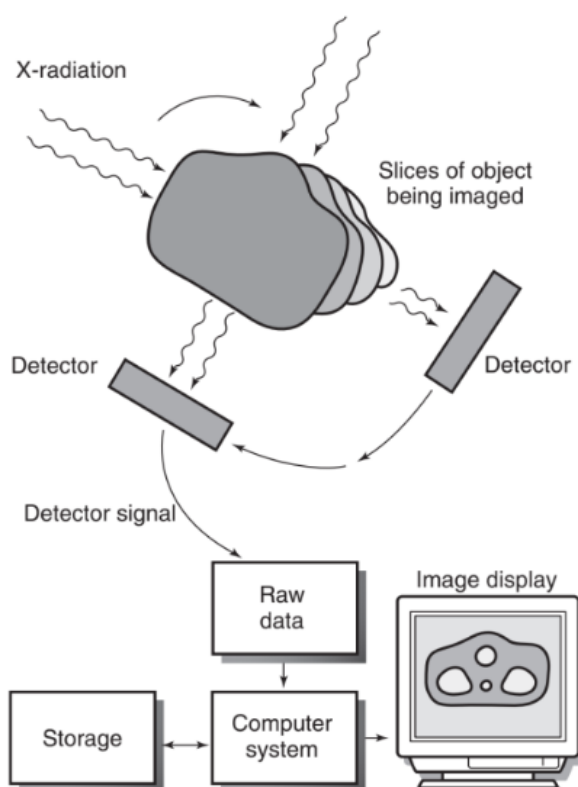
Výsledkem μ je bezrozměrná, která se pohybuje v intervalu $\langle 0 - 1 \rangle$. Kde výsledek 0 označuje zcela prázdný prostor bez jakéhokoli zaplnění a 1 naopak prostor zcela vyplněný [16].

4 Výpočetní tomografie (CT)

Computed Tomography (česky výpočetní tomografie) je zobrazovací metoda, známá též pod zkratkou CT [17]. Princip této metody spočívá v nasnímání objektu a jeho následné 3D rekonstrukci. Díky svým vlastnostem, mezi které patří např. rychlost, přesnost měření či minimální riziko poškození měřeného objektu, se CT uplatnila v mnoha oblastech. Hojně využívána je v oblasti medicíny, kde se používá k diagnostice (skenování částí těla). Průmyslové CT skenery nachází své uplatnění v leteckém průmyslu, strojním inženýrství (detekování vad, měření rozměrově složitých dílů), inspekci potravin, mikroelektronice či bezpečnostní kontrole [18].

4.1 Princip

Proces opatřování snímku pomocí CT lze rozdělit do tří kroků: shromažďování dat, rekonstrukce obrazu a zpracování výsledného snímku [17]. Měřený objekt je nejprve umístěn na otočnou plošinu. Poté je pomocí rentgenového záření snímán z jednotlivých úhlů. Vyzařovaný rentgenový paprsek prochází předmětem a dopadá na detektor. Počítač zpracuje naměřená data a vytvoří soubor 2D snímků, ze kterých je zrekonstruován výsledný 3D model [18]. Tento princip je znázorněn na obrázku č. 13.



Obrázek 13-Princip snímání objektu pomocí CT [17]

4.2 CT snímky a jejich využití v textilním oboru

Snímky textilního vzorku pořízené pomocí CT poskytují informace ohledně vnitřní struktury a morfologie. Využití tedy CT nachází v oblastech analýzy vláken, přízí či plošných textilií. Výhodou je i možná 3D rekonstrukce snímaného vzorku.

Tloušťka 3D rekonstruovaných vzorků však neodpovídá přesné hodnotě naměřené na přístroji. Důvodem je přítlak, který na vzorek působí v případě měření na přístroji. U vzorku tak dochází deformaci a stlačení chlupatosti. Z tohoto důvodu musí být měření tloušťky ze snímku prováděno jinak [19].

5 ANOVA

ANOVA neboli analýza rozptylu je statická metoda, která slouží ke zpracování dat. Konkrétně slouží k porovnání více než dvou středních hodnot a určení významného/nevýznamného rozdílu ve středních hodnotách skupin (ty jsou děleny dle faktorů). Cílem této metody je tedy:

- porovnat jednotlivé průměry mezi sebou
- odhalit, zda se průměry odlišují v mezích náhodného kolísání

Nulová hypotéza H_0 předpokládá, že jednotlivé skupiny mají stejný medián.

Alternativní hypotéza H_1 předpokládá, že minimálně jedna dvojice skupin má rozdílný medián.

Dělení ANOVA dle faktorů:

- Jednofaktorová ANOVA – vliv pouze jednoho faktoru
- Vícefaktorová ANOVA – vliv více faktorů

Správnost metody je podmíněna normálním rozdělením, rovností rozptylů a vzájemné nezávislosti jednotlivých měření [20].

6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je zaměřena na zjišťování tloušťky předložených vzorků pomocí rozdílných metod. Cílem práce bylo navržení nové metodiky pro měření tloušťky plošných

textilií s ohledem na jejich strukturu a porovnat ji s ostatními metodami. Tedy ověřit, zda je nová metodika navržena správně a jejími výsledky se blíží výsledkům získaných pomocí ostatních přístupů. Metodika se týká zjišťování tloušťky prostřednictvím zaplnění plošné textilie. K měření byly využity CT snímků řezů vzorků.

Porovnávané metody:

- **Měření na tloušťkoměru** – konkrétně na přístroji Thickness Gauge D-2000-T dle norem:
 - ČSN EN ISO 5084 (800844) Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků
 - ČSN EN ISO 9073-2 (806132) Textilie. Zkušební metody pro netkané textilie.

Měření pomocí tloušťkoměru je více přiblíženo v kapitole Příklady měřících přístrojů.

- **Měření pomocí interaktivního měření** – realizováno prostřednictvím programu obrazové analýzy NIS-Elements AR na snímcích řezů pořízených technologií CT. Více o tomto typu měření v podkapitole Měření v obrazové analýze NIS-Elements.
- **Nově navržená metodika zjišťování tloušťky ze zaplnění** – realizována pomocí programu obrazové analýzy NIS-Elements AR a programu MATLAB. Využity byly opět CT snímky.

Měření bylo realizováno v laboratoři Katedry technologií a struktur a Katedry materiálového inženýrství na Technické univerzitě v Liberci.

6.1 Charakteristika měřených vzorků

Měření hodnot tloušťky bylo realizováno na sedmi různých vzorcích. Vzhledem k nově navržené metodice pro zjišťování tloušťky byly zvoleny vzorky na základě jejich charakteristik, a tak aby byla reprezentována značná část plošných textilií. Pro ozkoušení nové metodiky byly tedy vybrány různé typy pletenin, tkanin a netkaných textilií.

U jednotlivých vzorků byla zjištěna:

- plošná hmotnost [g/m^2]
- tloušťka [μm]
- Do [$1/10 \text{ cm}$], Du [$1/10 \text{ cm}$]
- Hs [$1/10 \text{ cm}$], Hř [$1/10 \text{ cm}$]
- typ textilie
- materiál

Charakteristické vlastnosti jsou spolu s makrosnímky a CT snímky vzorku obsaženy v tabulce číslo 1. Uvedené hodnoty tloušťky jsou z měření na tloušťkoměru.

CT snímky řezů

Veškeré snímky řezů plošných textilií, se kterými je v experimentální části pracováno byly pořízeny pomocí počítačové tomografie (CT). Ta pracuje obecně na principu nasnímání objektu pomocí rentgenového záření. Vzorek je otáčen a snímán pomocí procházejícího rentgenového záření ze všech úhlů. Princip je podrobněji rozebrán v kapitole 4. Výpočetní tomografie (CT).

Výhodou je, že riziko poškození vzorku během jeho přípravy a samotného snímání je minimální. Tak tomu je i v případě textilních vzorků. Získávání řezů pomocí metody měkkých řezů je sice oproti CT cenově dostupnější verzí, ale za to nezajišťuje kvalitní řez a je časově velmi náročné. Jak je již zmíněno v kapitole o měkkých řezech. Kvalita měřeného řezu závisí na správně provedené přípravě vzorku (impregnace, tuhnutí seříznutí...), správném nastavení mikrometru, ostrosti nože, manipulaci se vzorkem a dalších faktorech. Vzhledem k tomu může dojít velmi snadno k trvalému porušení řezu či nepřesným výsledkům při následném měření (mechanickým řezáním může dojít k deformaci průřezů vláken). CT naproti tomu zajišťuje jednodušší přípravu vzorku, téměř minimální riziko poškození vzorku a možnost nasnímání

stovek snímků během krátkého časového úseku. Další výhodou je vzorek snímání vzorku ve volném stavu, kde není vystaven přítlaku, jako je tomu u tloušťkoměru. Díky moderní technologii a absenci jakékoli impregnace (či jiných prostředků používaných pro fixaci vzorku) je výsledný snímek virtuálního řezu ostrý a kvalitní. Což dopomáhá k přesnějším výsledkům při následném měření.

Snímky použité v této práci byly nasnímány pomocí zařízení nano3DX od firmy Rigaku viz obrázek 14. Jeho výhodami jsou:


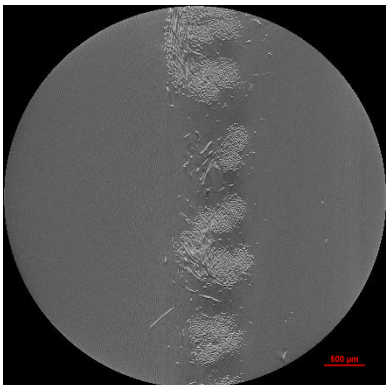

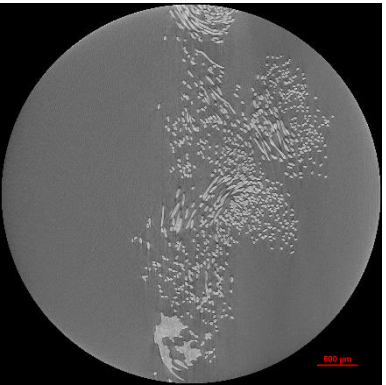
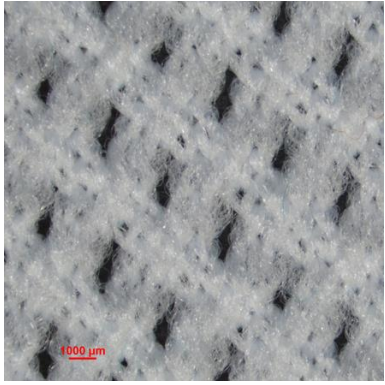
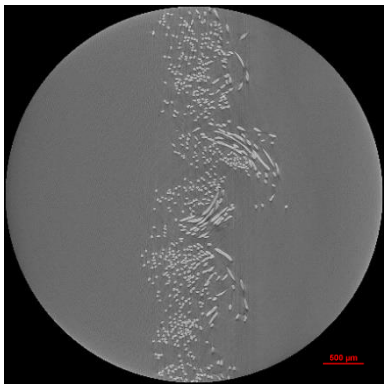
- velmi kvalitní rozlišení výsledných snímků díky paralelnímu uspořádání paprsku
- uzpůsobení pro práci s měkkými materiály
- rychlé snímání, kterého je docíleno pomocí vysoce jasného rentgenového záření
- není vyžadován vodivý vzorek jako je tomu u skenovací elektronové mikroskopie [21]

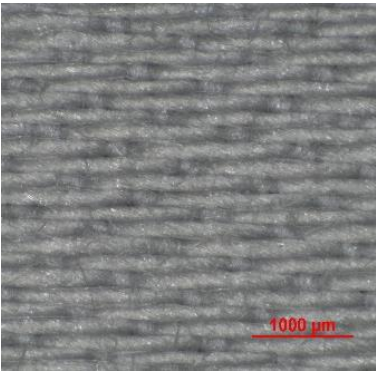
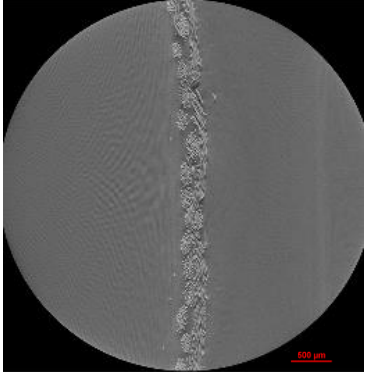
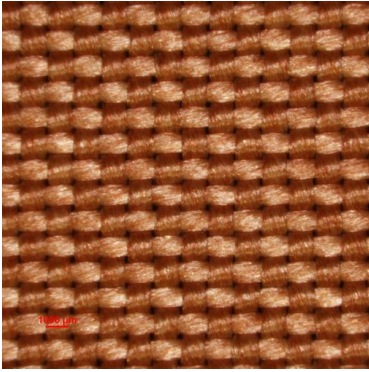
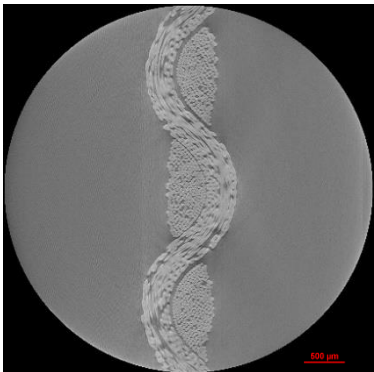
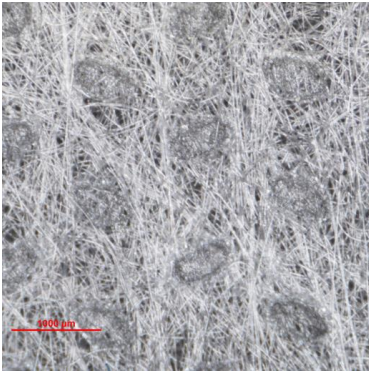
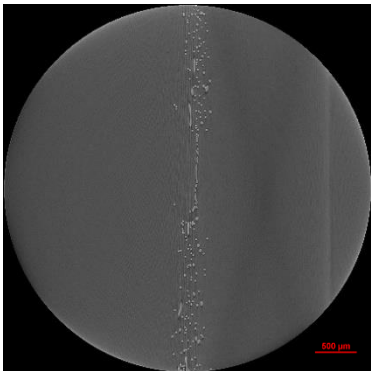


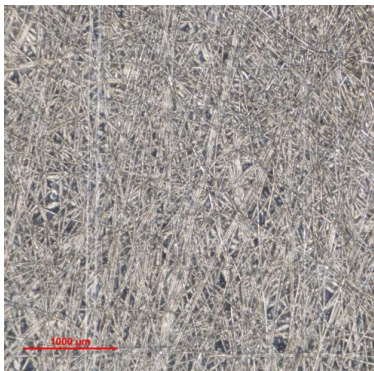
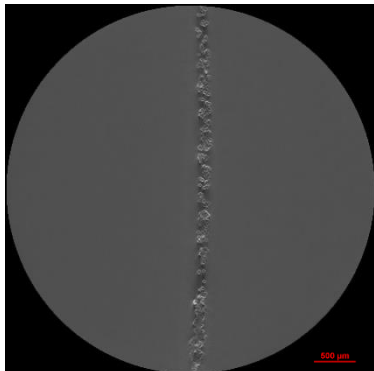
Obrázek 14 - CT zařízení nano3DX [21]

Vzorek připravený pro snímání měl tvar čtverce o rozměrech 3x3 mm. Velikost vzorku je přizpůsobená tak, aby výsledný snímek obsahoval celou opakující se strukturu či jiný prvek a zachytil, tak charakter textilie. Dále je již příprava vzorku nenáročná. Vzorek je umístěn a upevněn na speciální podstavec a dochází ke snímání. Výsledkem bylo 1 250 CT šedotónových snímků řezů pro každý typ vzorku.

Výsledné CT snímky řezů jednotlivých vzorků jsou prezentovány v tabulce č.1.

Charakteristika vzorku		Makrosnímek	CT snímek řezu
Číslo vzorku:	1		
Typ textilie:	zátažná jednolící pletenina		
Materiál:	bavlna (CO)		
Plošná hmotnost [g/m²]:	201,8		
Hs [1/10 cm]:	100		
Hr [1/10 cm]:	130		
Tloušťka [μm]:	775		
Číslo vzorku:	2		
Typ textilie:	osnovní pletenina s filetovou vazbou		
Materiál:	polyamid (PA)		
Plošná hmotnost [g/m²]:	149,5		
Hs [1/10 cm]:	-		
Hr [1/10 cm]:	-		
Tloušťka [μm]:	1 730		
Číslo vzorku:	3		
Typ textilie:	osnovní pletenina		
Materiál:	polyamid (PA)		
Plošná hmotnost [g/m²]:	199,4		
Hs [1/10 cm]:	-		
Hr [1/10 cm]:	-		
Tloušťka [μm]:	1 260		

Číslo vzorku:	4		
Typ textilie:	tkanina v atlasové vazbě		
Materiál:	bavlna (CO)		
Plošná hmotnost:	136,6		
Do [1/10 cm]:	700		
Du [1/10 cm]:	433		
Tloušťka [μm]:	250		
Číslo vzorku:	5		
Typ textilie:	tkanina v plátňové vazbě		
Materiál:	polyamid (PA)		
Plošná hmotnost:	428,4		
Do [1/10 cm]:	88		
Du [1/10 cm]:	84		
Tloušťka [μm]:	890		
Číslo vzorku:	6		
Typ textilie:	netkaná textilie spunbond +kalandr		
Materiál:	bikomponentní vlákna (PP/PES)		
Plošná hmotnost:	20,4		
Hs [1/10 cm]:	-		
Hr [1/10 cm]:	-		
Tloušťka [μm]:	135		

Číslo vzorku:	7		
Typ textilie:	netkaná textilie		
Materiál:	polyester (PES)		
Plošná hmotnost:	212,6		
Hs [1/10 cm]:	-		
Hr [1/10 cm]:	-		
Tloušťka [µm]:	185		

Tabulka 1 - Přehled měřených vzorků

6.2 Porovnávání metody pro měření tloušťky

Porovnávány byly metody pro získání hodnot tloušťky textilií byly: tloušťkoměr, interaktivní měření a nově navržená metodika, která pracuje se zaplněním v řezu. U interaktivního měření a nově navržené metodiky je využito snímků řezů textilními vzorky, které byly nasnímány pomocí CT. Tloušťkoměr jakožto nejběžněji používaná metoda pro měření tloušťky textilií byl zařazen především pro porovnání výsledků získaných pomocí nově navržené metodiky. Tedy pro ověření, zda je metodika navržená správně a odpovídá běžně získaným hodnotám tloušťky.

Následující podkapitoly zahrnují:

- popis procesu měření tloušťky vzorků pomocí dílčích metod (tloušťkoměr, interaktivní měření tloušťky řezu textilie na CT snímku s pomocí obrazové analýzy)
- obeznámení s navrhovanou metodikou pro získávání hodnoty tloušťky plošné textilie z průběhu jejího zaplnění

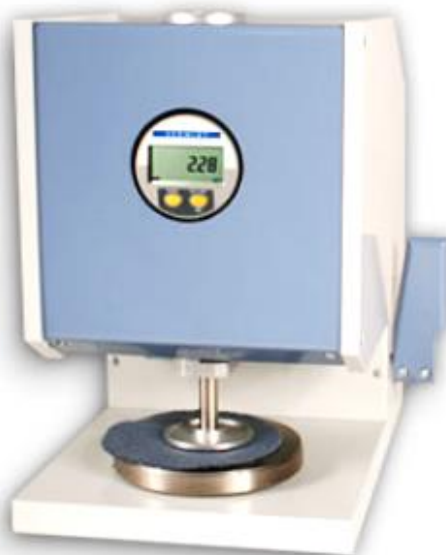
6.2.1 Měření na tloušťkoměru

Měření tloušťky vzorků probíhalo na tloušťkoměru značky SCHIMDT. Konkrétně se jednalo o model Thickness Gauge D-2000-T (viz obrázek 15), který je uzpůsobený pro měření tloušťky plošných textilií. Měření probíhalo standartním způsobem dle normy příslušné pro daný typ vzorku:

- ČSN EN ISO 5084 (800844) – pro vzorky pletenin a tkanin
- ČSN EN ISO 9073-2 (806132) – pro vzorky netkaných textilií

Vzorky byly jednotlivě vkládány do čelistí přístroje. Na vzorek působil přítlačný kotouč o ploše 20 cm². Velikost přítlaku byla nastavena dle normy na 1 kPa. Síla působící na textilií je tedy 0,2 N. Vzorek byl zatěžován po dobu 30 sekund, teprve poté byla zaznamenána výsledná hodnota tloušťky zobrazená na displeji. Důvodem je deformace textilie, ke které dochází vlivem působícího tlaku. Během tohoto časového intervalu dochází k vyrovnávání přítlaku vlivem vnitřního odporu textilie. Ke stabilizaci deformace (tedy i hodnotě tloušťky) by mělo dojít právě do zmiňovaných třiceti sekund. Tento čas je stanoven normou. Více o přítlaku a jeho vlivu na tloušťku textilie je uvedeno v kapitole Příklady měřících přístrojů – tloušťkoměr.

U každého vzorku bylo provedeno pět měření. Jednotlivá měření byla vždy provedena na jiné části vzorku, a tak aby přítlačná čelist ležela celou svou plochou na měřeném vzorku. Výsledné hodnoty tloušťky zobrazené na displeji přístroje jsou v řádech milimetrů.



Obrázek 15-Thickness Gauge D-2000-T [22]

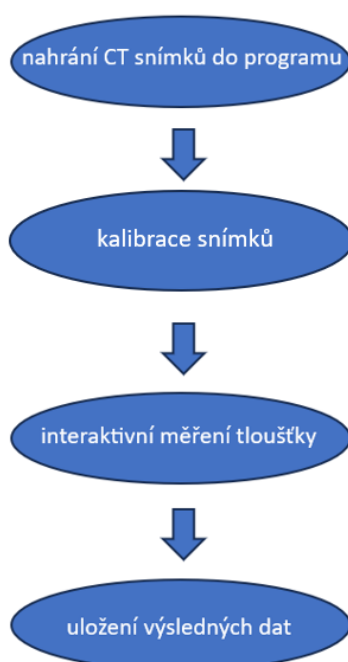
6.2.2 Interaktivní měření v obrazové analýze

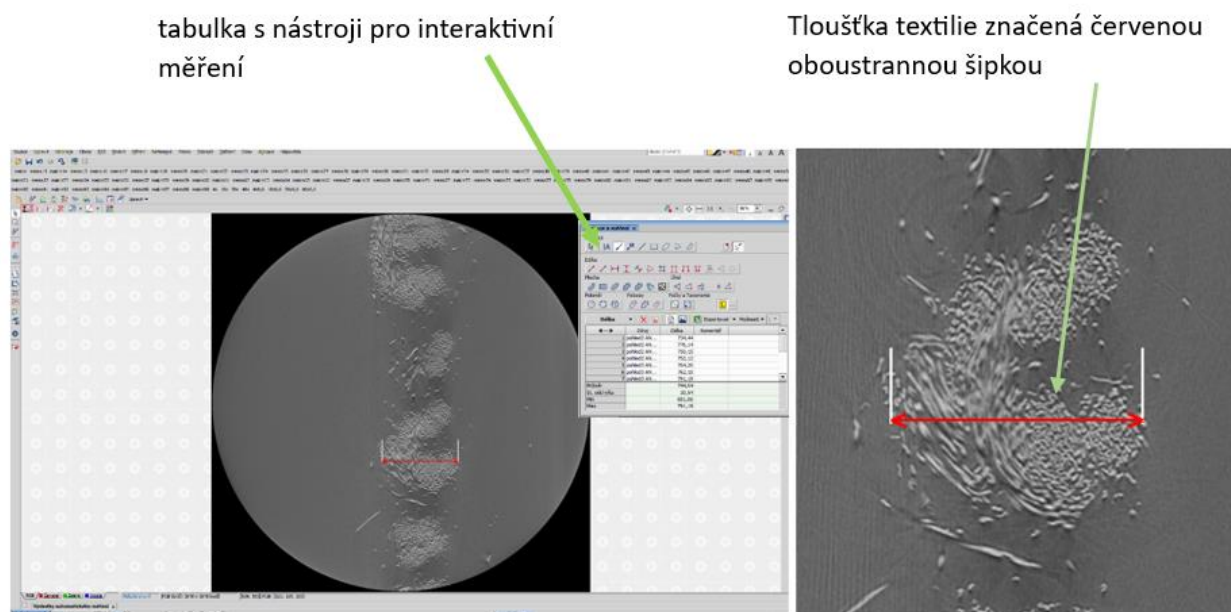
Interaktivní měření tloušťky bylo realizováno pomocí systému obrazové analýzy. Ta obecně slouží ke snímání obrazů, jejich následné digitalizaci a analýze (podrobnější informace o obrazové analýze jsou v kapitole Obrazová analýza, kde jsou podrobněji rozepsány i jiné způsoby měření). Snímání obrazů a digitalizace však v tomto případě nebyla nutná. Pro měření byly využity snímky řezů pořízených pomocí CT.

Měření bylo realizováno pomocí softwaru NIS-Elements. Hodnota tloušťky byla zjišťována u stovky různých snímků pro každý typ vzorku. Ty byly náhodně vybrány (projížděním souborem snímků a ručním náhodným výběrem některých z nich) z výsledných 1 250 snímků pořízených prostřednictvím CT.

Průběh měření

Do programu obrazové analýzy byl nejprve nahrán soubor 100 snímků daného vzorku v sekvenci. U snímků byla ještě před měřením provedena kalibrace, aby výsledné hodnoty odpovídaly realitě (kalibrace: 2,09 $\mu\text{m}/\text{pixel}$). Měření bylo prováděno u všech snímků pomocí příslušného nástroje pro interaktivní (manuální) měření vzdálenosti, který systém NIS-Elements nabízí. Ten funguje na velmi jednoduchém principu. Prvním kliknutím myši je označen počátek měřené vzdálenosti a druhým její konec. Výsledná vzdálenost obou bodů je vyznačena oboustrannou šipkou. Tloušťka byla měřena jako vzdálenost rubu a lícu vzorku viz obrázek 16. Data výsledných hodnot byla exportována do procesoru Microsoft Excel, kde byla uložena a připravena k dalšímu zpracování.





Obrázek 16 - Interaktivní měření v NIS-Elements

6.2.3 Navrhovaná metodika

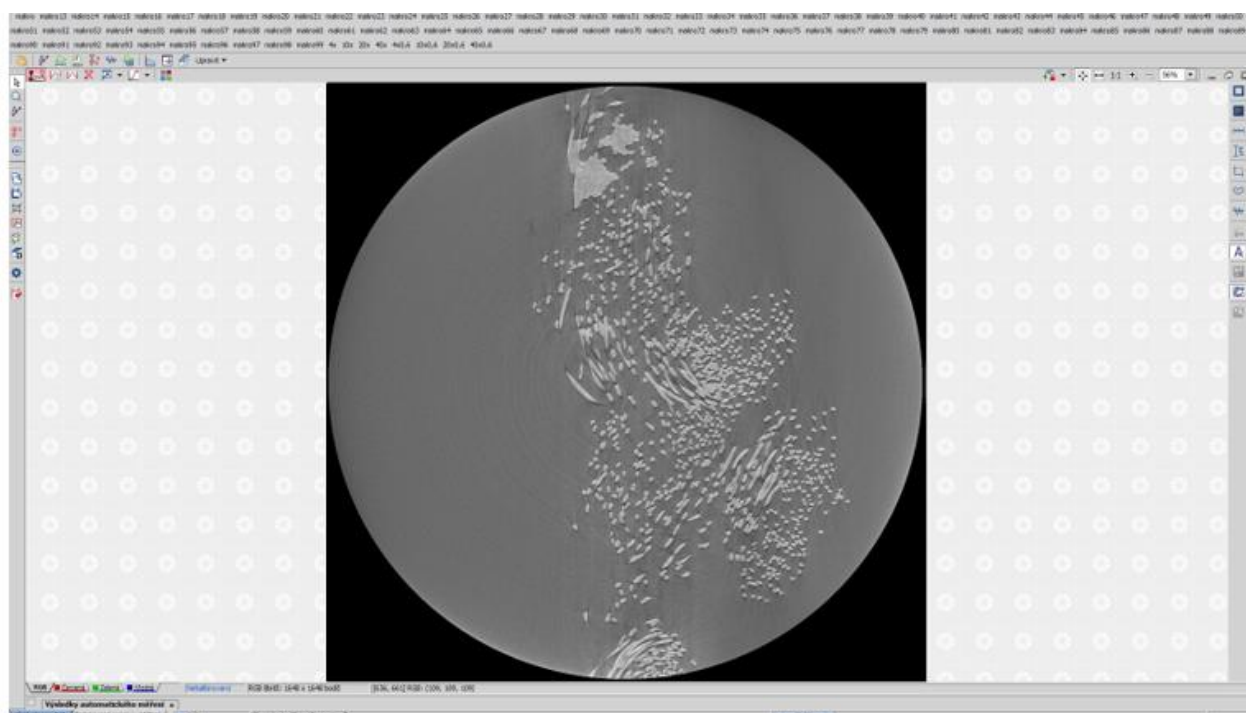
Navrhovaná metodika vychází ze zaplnění plošné textilie. Hodnota tloušťky je měřena s ohledem na její strukturu. U většiny přístupů pro zjišťování tloušťky totiž dochází při měření k deformaci struktury viz tloušťkoměr a další zařízení, která pracují na podobném principu, kde je textilie měřena pod přtlakem (vliv přtlaku na textilií je rozebrán v kapitole Příklady měřících přístrojů – měření pomocí tloušťkoměru). Pro měření byly opět využity CT snímky řezů. Jejich výhodou je kvalita a ostrost obrazu, která je pro tuto metodiku důležitá. Zaplnění je totiž zjišťováno prostřednictvím obrazové analýzy z řezu textilie. Kvalitní snímek zajišťuje správné naprahování vláknenných objektů, a tedy i přesnější výsledky. Další výhodnou je princip pořízení snímku. Řez je totiž virtuální a proveden za volného stavu textilního vzorku. To zajišťuje nedeformování vláken v průřezu. Podrobnější porovnání CT snímků oproti měření na tloušťkoměru a pořizování řezu metodou měkkých řezů je v předešlé kapitole o Charakteristice měřených vzorků – CT snímky řezů.

Průběh metodiky



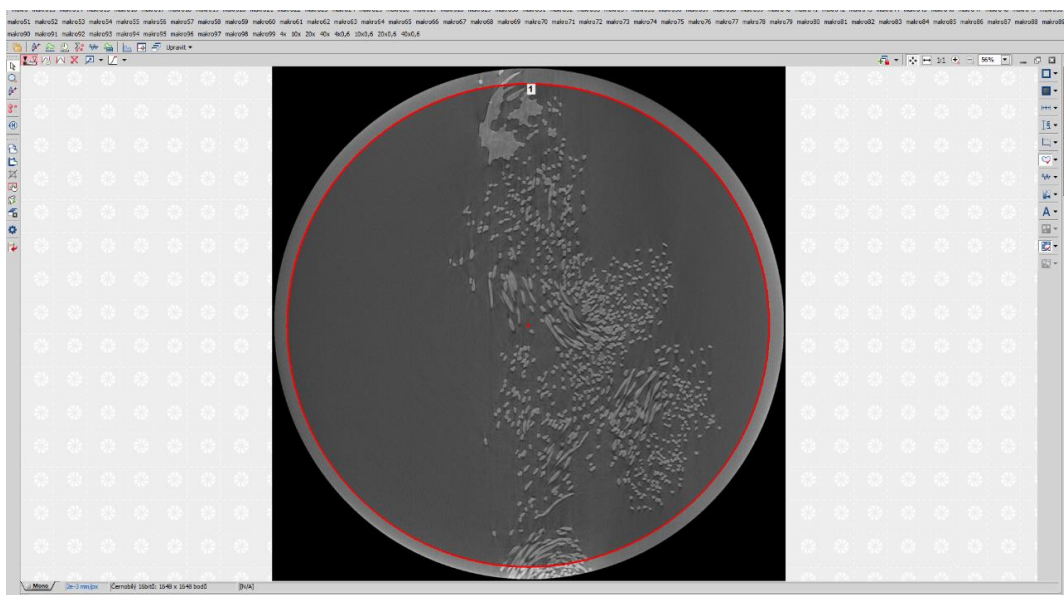
Práce v prostředí NIS-Elements 5

Do programu byla nejprve nahrána sekvence 100 CT snímků. Jednalo se o stejný soubor CT snímků, který byl využit při práci s interaktivním měřením v předchozí podkapitole.



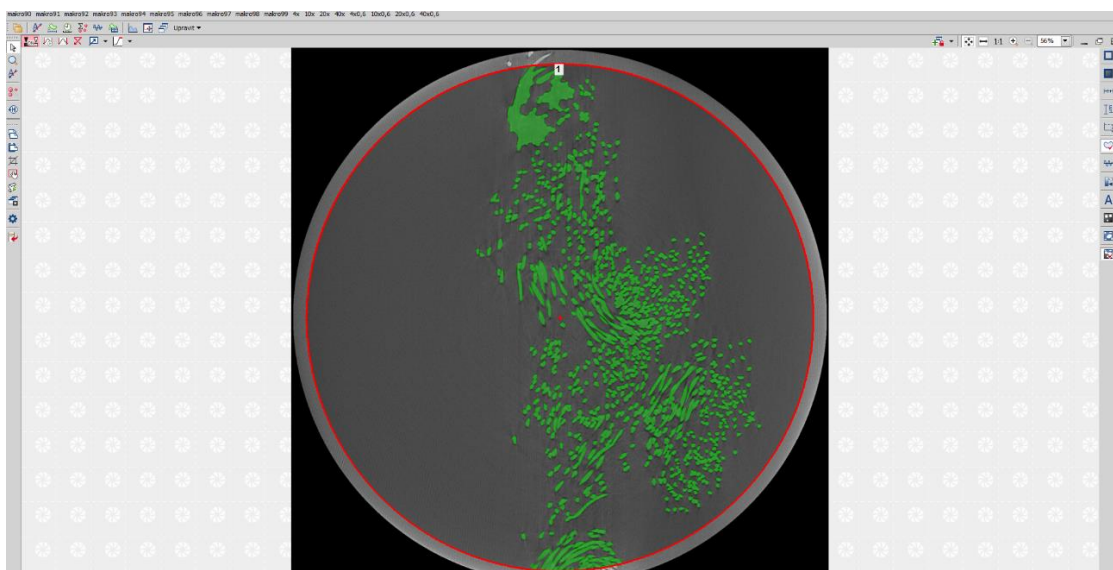
Obrázek 17-Snímek virtuálního řezu v NIS-Elements 5

Před prahováním bylo třeba ohraničit měřenou oblast. Důvodem byly okraje sondy obrazů, které by byly jinak prahovány spolu s řezy. Protože byly okraje sondy kruhové, bylo ohraničení měřené oblasti provedeno pomocí kruhového ROJe (viz obrázek 18). Ten funguje na podobném principu jako měřící rámeček zmiňovaný v podkapitole Měření v obrazové analýze NIS-Elements.



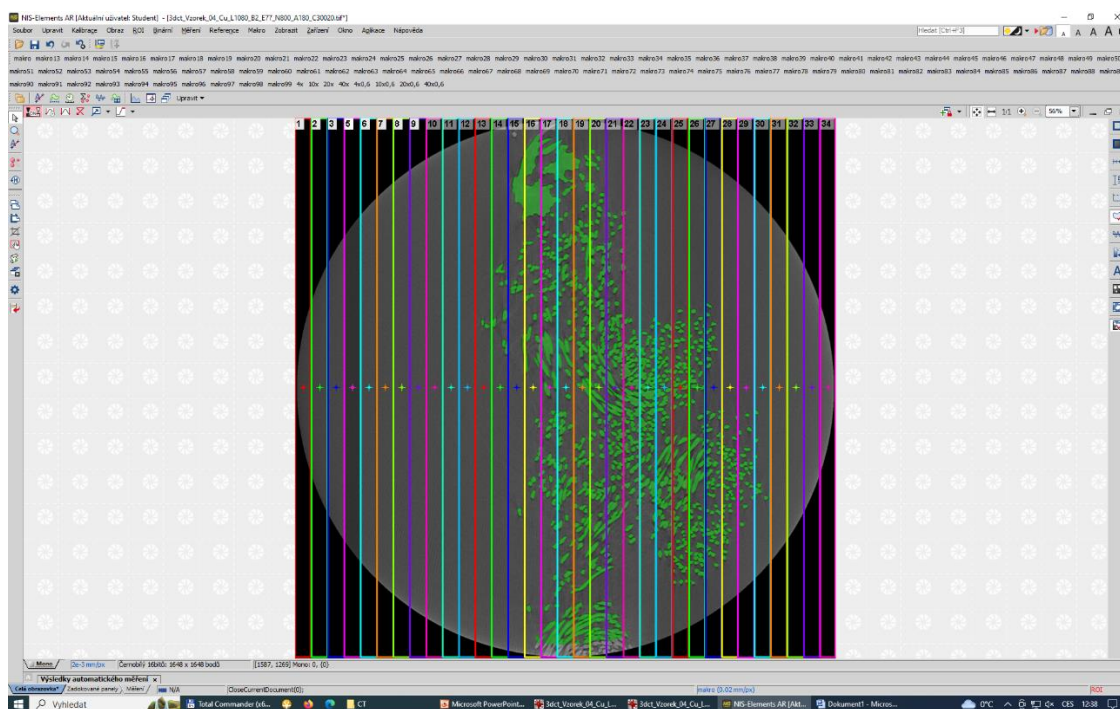
Obrázek 18- Označení měřené oblasti pomocí ROI

Prahování jednotlivých vláken bylo prováděno pouze uvnitř kruhově ohraničené oblasti. Při procesu prahování je na obraz aplikována binární vrstva, v podobě barevně značených ploch viz obrázek 19. Tyto plochy označují objekty, které nás zajímají a které budou měřeny (v tomto případě jde o jednotlivá vlákna).



Obrázek 19- Naprahování vláken

Poté byla přiložena ROIová maska viz obrázek 20. Ta rozdělí obraz na obdélníkové oblasti, ve kterých probíhá následující měření. Šířka jednotlivých oblastí je 5 pixelů (ta podle kalibrace odpovídá hodnotě cca 10 μm). Šířka byla zvolena s ohledem na průměr vláken, který se též pohybuje okolo 10 μm .



Obrázek 20- Přiložení ROIové masky

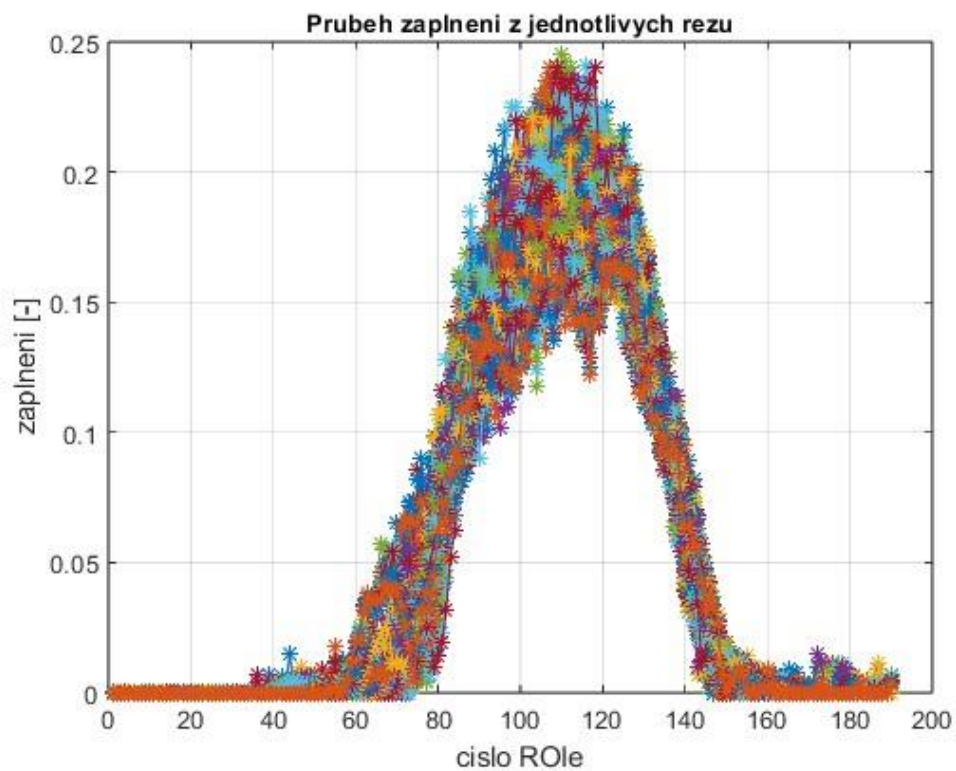
Automatické měření plošného podílu objektů probíhá pro každý obdélníkový ROI. Výsledky měření jsou exportovány do programu Microsoft Excel.

Práce v prostředí MATLAB

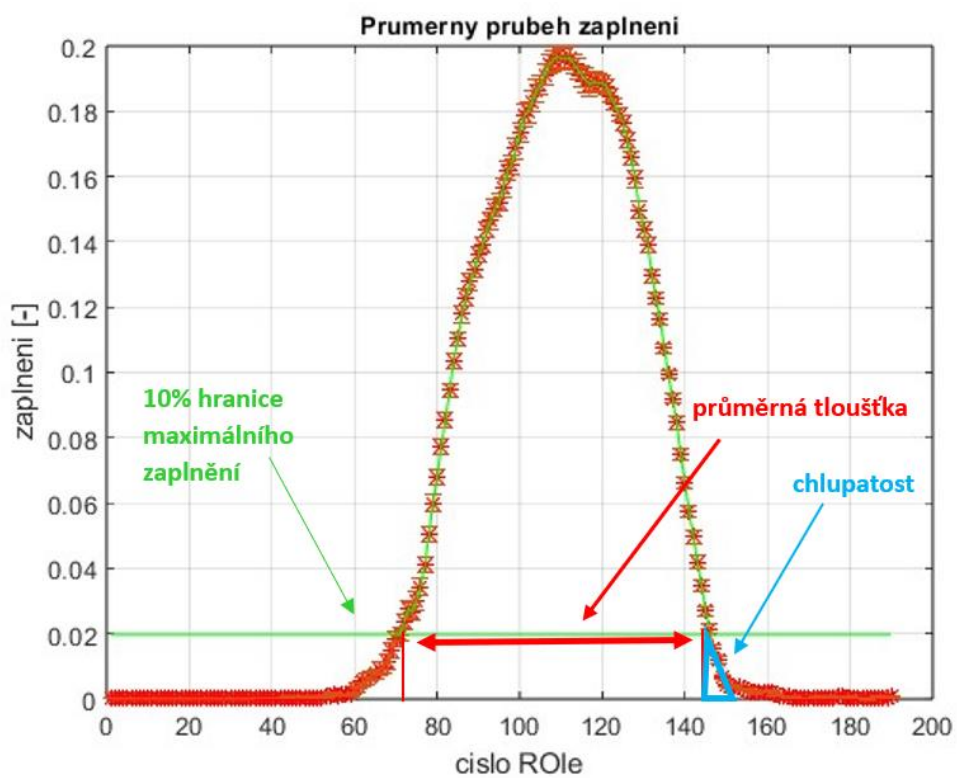
V programu MATLAB byly pomocí daného m-tilu zpracovány výsledky získané v programu NIS-Elements. Výsledkem byl graf pro průběh zaplnění z jednotlivých řezů, graf pro průměrný průběh zaplnění (obrázek č. 21 a obrázek č. 22) a data ohledně průměrné tloušťky. Výsledné grafy všech vzorků jsou obsaženy v příloze.

Funkce m-tilu:

- přesunutí dat průběhu zaplnění vedle sebe
- vynesení závislosti zaplnění na číslo ROIe pro jednotlivé řezy
- vynesení závislosti průměrného zaplnění na číslo ROIe



Obrázek 21 - Grafický průběh zaplnění jednotlivých řezů



Obrázek 22- Graf průměrného průběhu zaplnění

Vyhodnocení tloušťky

Na obrázku 22 vidíme graf průměrného průběhu zaplnění vzorku č. 1. Zelená přímka znázorňuje intuitivně zvolenou 10 % hranici maximálního zaplnění. Tloušťka textilie je tedy měřena jako 10 % z maximální hodnoty zaplnění. Velikost modře ohraničené plochy znázorňuje míru chlupatosti měřeného vzorku. Červená oboustranná šipka značí průměrnou tloušťku [-], která ale není výsledná.

Výsledná tloušťka je spočtena dle rovnice:

$$h = (\text{rozdíl } ROI\text{ů}) * \text{šířka } ROIe * \text{kalibrace} \quad [\mu m]$$

kde: h – tloušťka [μm]

rozdíl ROIů – který je v grafu značen jako tloušťka [-]

šířka ROIe – šířka obdélníkového ROIe [pxl]

kalibrace – [μm /pixel]

Výsledná tloušťka h není výstupem z programu MATLAB. Výstupem z MATLABU je průměrná tloušťka [-], která není průměrnou tloušťkou vzorku, ale rozdílem ROIů. Pro získání hodnoty tloušťky h je tedy třeba výpočet dle rovnice. Ten byl prováděn v programu Microsoft Excel.

6.3 Vyhodnocení výsledků a porovnání přístupů měření

Získání hodnot tloušťky proběhlo pomocí tří metod (tloušťkoměr, interaktivní měření, nově navržená metodika), které jsou blíže specifikované v předchozí kapitole Porovnávání metody pro měření tloušťky. Měření proběhla na sedmi různých vzorcích plošných textilií. Výsledky měření jsou zapsány do tabulek a jejich porovnání je graficky znázorněno.

Výsledky hodnot tloušťky měřené na tloušťkoměru

Měření probíhalo na tloušťkoměru Thickness Gauge D-2000-T dle příslušných norem. Výsledné hodnoty tloušťky z jsou uvedeny v tabulce č. 2. Jedná se o střední hodnoty tloušťky z pěti provedených měření pro každý vzorek. Výsledné hodnoty byly ještě přepočteny z milimetrů (které jsou výstupem z tloušťkoměru) na mikrometry. Důvodem bylo přesnější porovnání s ostatními metodikami.

Měření tloušťky na tloušťkoměru při přitlaku 1 kPa							
	vz. č. 1	vz. č. 2	vz. č. 3	vz. č. 4	vz. č. 5	vz. č. 6	vz. č. 7
Analýza malých výběrů							
N:	5	5	5	5	5	5	5
Střední hodnota tloušťky [μm]:	775	1730	1260	250	890	135	185
Spodní mez (5 %) [μm]:	761,3	1647,8	1232,6	250	890	121,3	171,3
Horní mez (95 %) [μm]:	788,7	1812,2	1287,4	250	890	148,7	198,7

Tabulka 2 - Výsledky měření na tloušťkoměru

Výsledné hodnoty tloušťky z interaktivního měření

Měření tloušťky bylo realizováno pomocí interaktivního (manuálního) měření v programu pro obrazovou analýzu NIS-Elements. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3. Hodnoty tloušťky jsou pro každý vzorek zprůměrované. Průměr je vypočítán celkově ze 100 hodnot.

Interaktivní měření tloušťky z řezu							
	vz. č. 1	vz. č. 2	vz. č. 3	vz. č. 4	vz. č. 5	vz. č. 6	vz. č. 7
Průměrná hodnota tloušťky [μm]:	629,1	1614,9	1255,9	226,2	820,0	267,7	123,6
Spodní mez (5 %) [μm]:	621,9	1593,2	1242,0	221,7	797,2	260,0	121,5
Horní mez (95 %) [μm]:	636,3	1636,4	1269,7	230,7	842,8	275,4	125,8

Tabulka 3 - Výsledky interaktivního měření

Výsledné hodnot tloušťky získané s pomocí nově navržené metodiky

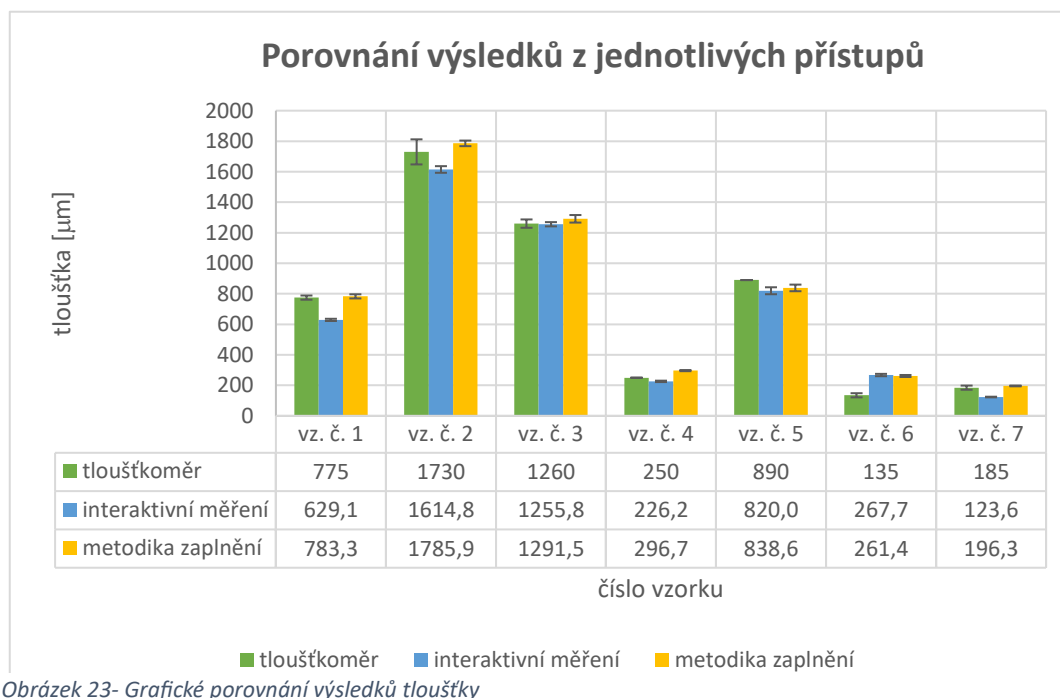
Hodnoty tloušťky získané pomocí nově navržené metodiky, která se zaměřuje na zjišťování tloušťky plošné textilie prostřednictvím jejího zaplnění. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 4. Výsledky jsou opět průměrem ze 100 výsledných hodnot u jednoho vzorku.

Výsledky měření pomocí nové metodiky ze zaplnění							
	vz. č. 1	vz. č. 2	vz. č. 3	vz. č. 4	vz. č. 5	vz. č. 6	vz. č. 7
Průměrná hodnota tloušťky [μm]:	783,3	1785,9	1291,5	296,7	838,6	261,4	196,3
Směrodatná odchylka [μm]:	69,3	93,3	126,4	19,0	110,7	33,4	12,9
Variační koeficient [μm]:	8,8	5,2	8,2	5,2	12,7	12,3	6,7
IS [μm]:	13,6	18,3	24,8	3,7	21,7	6,5	2,5

Tabulka 4- Výsledky nové metodiky ze zaplnění

6.3.1 Porovnání výsledků z jednotlivých přístupů

V první experimentální části bylo provedeno měření sedmi vzorků pomocí jednotlivých metod. Porovnání naměřených hodnot tloušťky získaných pomocí jednotlivých přístupů můžeme vidět v tabulce a grafickém zpracování na obrázku 23. Hodnoty tloušťky jsou v tabulce uvedeny v mikrometrech.



Obrázek 23- Grafické porovnání výsledků tloušťky

Nejvyšší hodnoty tloušťky byly naměřeny pomocí nově navržené metodiky, kde je tloušťka získána prostřednictvím zaplnění řezu. Tedy až na vzorek č. 5 (technická tkanina v plátové vazbě), kde byla hodnota měřená pomocí tloušťkoměru o něco málo vyšší. Naopak nejnižší hodnoty tloušťky byly získány pomocí interaktivního měření. Hodnoty z tohoto přístupu měření se v některých případech výrazně liší od výsledků z ostatních přístupů. Příkladem je už vzorek č. 1 (zátažná jednolícni pletenina), kde se hodnota získaná pomocí interaktivního měření liší více než o 100 (téměř 150) mikrometrů od z hodnot ostatních přístupů. Dalšími příklady jsou vzorek č. 2 (osnovní pletenina s filetovou vazbou) a vzorek č. 7 (netkaná textilie). I zde jsou výsledné hodnoty v porovnání znatelně nižší. Jediným případem, kdy u přístupu měření pomocí interaktivního měření vyšla vyšší hodnota tloušťky, byl vzorek č. 6 (netkaná textilie – spunbond + kalandr). Zde se výsledná hodnota velmi blížila hodnotě získané pomocí metodiky ze zaplnění. Naopak hodnota z tloušťkoměru byla v tomto případě výrazně nižší – přes 100 mikrometrů v porovnání s ostatními přístupy.

Z grafu je vidět, že hodnoty tloušťky získané pomocí nově navržené metodiky a hodnoty tloušťky získané prostřednictvím tloušťkoměru jsou téměř ve všech případech velmi podobné. Jedinou výjimkou je již zmiňovaný vzorek č. 6 (netkaná textilie – spunbond + kalandr). Kde je hodnota tloušťky získaná na tloušťkoměru výrazně nižší.

Vyhodnocení dle ANOVA

Výsledky ANOVA (analýza rozptylu viz kapitola ANOVA) prokázaly statisticky nevýznamné rozdíly ve všech případech párové komparace u nově navržené metodiky ze zaplnění a přístupu měření na tloušťkoměru. V případě párového porovnání nové metodiky a interaktivního měření byly rozdíly v některých případech významné jindy naopak ne. Výsledek testu významnosti celkového vlivu faktoru (faktorem byl daný přístup měření) byl hodnocen jako významný.

6.3.2 Diskuze výsledků

Měření tloušťky bylo realizováno na sedmi předložených vzorcích pomocí tří přístupů:

- tloušťkoměr
- interaktivní měření tloušťky z řezů plošnou textilií
- nově navržená metodika pro zjišťování tloušťky ze zaplnění plošné textilie

Jednotlivé metody přistupují k měření tloušťky rozdílně. Přesto by si jejich výsledky měli být velmi podobné – stále jde o měření toho samého parametru.

V kapitole Porovnání výsledků z jednotlivých přístupů zjišťujeme, že nejvyšší hodnoty tloušťky byly ve většině případech naměřeny pomocí nově navržené metodiky, která funguje na principu zjišťování tloušťky prostřednictvím zaplnění viz obrázek 23. U této metodiky probíhalo zjišťování tloušťky pomocí CT snímků řezu, kde je vzorek snímán ve volném stavu. Není tedy zatížen jako je tomu u měření pomocí tloušťkoměru. Jak je tedy možné, že jsou si hodnoty tloušťky z nové metodiky a hodnoty tloušťky získané pomocí tloušťkoměru tak podobné? Odpovědí je intuitivně nastavená hranice 10 % maximálního zaplnění při zjišťování tloušťky novou metodou (tak aby nebyla do tloušťky započítána chlupatost, ale tělo). Ta poměrně dobře koresponduje s výsledky tloušťkoměru. Výsledkem jsou tedy sice o něco vyšší hodnoty, ale ty jsou ve většině případech nepatrné. Lze tedy předpokládat, že tloušťkoměr měří tloušťku na této hranici maximálního zaplnění (jeho výsledky se pohybují na této hranici).

U vzorku č. 6 (netkaná textilie, spunbond + kalandr, tabulka 1), kde se výsledné hodnoty z tloušťkoměru a nové metodiky rozcházejí. Mohlo zde dojít k větší míře stlačení na tloušťkoměru. Měřený vzorek byl totiž netkanou textilií, která nebyla příliš tuhá.

Výsledky interaktivního měření se od výsledků získaných prostřednictvím ostatních metod lišili nejvíce. To je nejspíše zapříčiněno právě interaktivním neboli manuálním měřením, které provádí sám uživatel. Zde rozhoduje individuální přístup uživatele k měření tloušťky. O tom, kde začíná tělo řezu a jaká část řezu už je chlupatost (a neměla by tedy být započítávána do tloušťky) rozhoduje ve většině případů subjektivní názor měřitele. Výsledky tloušťky stejného řezu se mohou tedy lišit pouhou záměnou osob, které měření provádí. Navíc manuální měření je oproti měření provedené počítačem mnohem méně přesné. Nicméně použití CT snímků této metodě přispívá, a to především kvalitou a ostrostí snímků, které mohou napomoci k určení hranice tělo-chlupatost.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout metodiku pro měření tloušťky textilií prostřednictvím jejího zaplnění. Metodika klade ohled na strukturu měřené textilie. Toho bylo docíleno použitím CT snímků řezů, které byly k měření využity. Jde totiž o řezy virtuální, nikoli reálné, u kterých hrozí snadné porušení a znehodnocení. Nasnímaní pomocí CT zajišťuje řez,

který není nijak ovlivněn impregnací či přitlakem (ten vzniká při měření na tloušťkoměru). CT snímek řezu je navíc ostrý + kvalitní což je důležité při zpracování snímku v programu obrazové analýzy (kapitola Charakteristika měřených vzorků – CT snímky řezů). Tyto vlastnosti tedy zaručují přesnější výsledky.

Pro ověření byly výsledky tloušťky nově navržené metodiky porovnány s výsledky tloušťky získanými pomocí dvou jiných přístupů. Těmi byly:

- interaktivní měření tloušťky virtuálních CT řezů v prostředí obrazové analýzy
- měření na tloušťkoměru dle příslušné normy

Při porovnání výsledků tloušťky z jednotlivých metod došlo k potvrzení, že nově navržená metodika je vhodná jako jeden z přístupů pro měření tloušťky textilií (kapitola Porovnání výsledků z jednotlivých metod). Při porovnání výsledků této nové metodiky a výsledků tloušťkoměru byly shledány statisticky nevýznamné rozdíly viz obrázek 23 + ANOVA.

Interaktivní měření pak bylo vyhodnoceno jako nevhodné pro měření tloušťky textilií. Ve většině případů se rozcházelo s výsledky ostatních přístupů. Důvodem je manuální měření, které není zcela přesné (především o vzorků s vysokou chlupatostí).

Zdroje

- [1] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-682-2.
- [2] KOVAČIČ, Vladimír. *Textilní zkušebnictví*. Liberec: Technická univerzita, 2004. ISBN 80-7083-824-8.
- [3] SEAMAN RE. The Measurement of Fabric Thickness. Online. *Textile Research Journal*. 1953, s. 262-266. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/004051755302300409>. [cit. 2023-12-22].
- [4] BOOTH, J. E. a URQUHART, A. R., et al. *Principles of textile testing*. Online. Butterworth Scientific, 1982. Dostupné z: <https://archive.org/details/dli.bengal.10689.17015/page/n269/mode/2up?view=theater>. [cit. 2023-12-22].
- [5] TEXTILNÍ ZKUŠEBNÍ ÚSTAV, S. P., BRNO. ČSN EN ISO 5084 (800844), *Textilie - Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků*. 01/1998n. 1.
- [6] KOLCAVOVA SIRKOVA, Brigita. Description of fabric thickness and roughness on the basis of fabric structure parameters. Online. *Autex Research Journal*. 2012, s. 40-43. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.2478/v10304-012-0008-6/html#Chicago>. [cit. 2023-12-22].
- [7] PARACHURU, Radhakrishnaiah. *THE KAWABATA EVALUATION SYSTEM AND ITS APPLICATIONS TO PRODUCT/PROCESS ENHANCEMENT*. Online. Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology, 2002. Dostupné z: <https://www.cotton.org/beltwide/proceedings/getPDF.cfm?year=2002&paper=N012.pdf>. [cit. 2023-12-22].
- [8] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. IN 23-304-02/01, *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta*. Liberec, 2004.
- [9] Boos, A.D., Tester, D. SiroFAST – Fabric Assurance by Simple Testing. Sidney: CSIRO press. 1994. ISBN 0 643 06025 1
- [10] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. IN 46-108-01/01, *Doporučený postup tvorby příčných řezů*. Liberec, 2002.
- [11] VYSANSKA, Monika. *Mikroskop, mikroskopické preparáty: EXA* [online]. [cit. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=12142>
- [12] KOLČAVOVÁ, Brigita a Monika VYŠANSKÁ. Methodology for Evaluation of Fabric Geometry on the Basis of the Fabric Cross-Section. *Fibres and Textiles in Eastern Europe* [online]. 2012, 41-47 [cit. 2023-12-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/297563195_Methodology_for_Evaluation_of_Fabric_Geometry_on_the_Basis_of_the_Fabric_Cross-Section

- [13] KADLČÁK, Jiří. *Obrazová analýza a současné metody granulometrie*. Online, Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita Přírodovědecká fakulta, 2014. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/p3dlp/Kadlcak_Jiri_Reserse_DP.pdf. [cit. 2024-01-04].
- [14] HUSÁKOVÁ. *Mikroskopická obrazová analýza větších částic*. Online, Návod pro laboratorní úlohu z měřicí techniky. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. Dostupné z: https://uprt.vscht.cz/ucebnice/LO/download/navodO2_Zeiss.pdf. [cit. 2024-01-04].
- [15] DRAŠAROVÁ, Jana. *Analýza příčných řezů*. Online, Disertační práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. [cit. 2024-01-05].
- [16] NECKÁŘ, Bohuslav. VLÁKNA A VLÁKENNÉ ÚTVARY 1 „DEFINICE, SOUVISLOSTI“ [online]. [cit. 2024-01-05]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=178309>
- [17] SEERAM, Euclid. *Computed Tomography*. 4th. Saunders, 2015. ISBN 0323312888.
- [18] BROWN, Stephen; LEACH, Richard a SUN, Wenjuan. An overview of industrial X-ray computed tomography. Online. 2011. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/262938221_An_overview_of_industrial_X-ray_computed_tomography. [cit. 2023-12-22].
- [19] ZHU, Licheng; WANG, Xungai; HINESTROZA, Juan P a NAEBE, Maryam. Determination of the porosity in a bifacial fabric using micro-computed tomography and three-dimensional reconstruction. Online. *Textile Research Journal*. C2018, roč. ., č. 88(11), s. 1263–1277. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0040517517698987>. [cit. 2024-01-08].
- [20] DOBROVOLNÝ, Petr. *Statistické metody a zpracování dat: Analýza rozptylu (ANOVA)* [online]. [cit. 2024-01-05]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Z0069/um/9033968/Statistika_6_analyza_rozptylu.pdf
- [21] *Nano3DX*. Online. Rigaku Imaging. C2020-2021. Dostupné z: <https://imaging.rigaku.com/products/nano3dx-submicron-resolution-ct-scanner>. [cit. 2024-01-08].
- [22] *Hans Schmidt Thickness Gauge, D-2000*. Online. Honest Industrial. C2014. Dostupné z: <http://www.materialsupplieshk.com/hans-schmidt-thickness-gauge-d-2000.html>. [cit. 2024-01-08].

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma tloušťkoměru [2]	11
Obrázek 2-Měření tloušťky plošné textilie při působícím tlaku [2].....	11
Obrázek 3- Závislost tloušťky textilie měřené pod přtlakem na čase [2]	11
Obrázek 4-Textilie měřené pod stejným přtlakem (A – vlněná podšívka s dvojitým vlasem, B – grádl) [3].....	12
Obrázek 5- Schéma kompresního přístroje KES [7]	14
Obrázek 6- Schéma kompresního přístroje KES [7]	14
Obrázek 7-Schéma přístroje Alambeta [8]	14
Obrázek 8-Schéma FAST 1 (zařízení pro měření tloušťky) [9]	15
Obrázek 9- Plechová vanička používaná při získávání měkkých řezů délkových textilií [10]	17
Obrázek 10-Příprava měkkých řezů [11]	18
Obrázek 11-Vkládání vzorku do kapsle (tvrdé řezy) [10].....	18
Obrázek 12-Měření tloušťky řezu pomocí konvexní obálky [12].....	21
Obrázek 13-Princip snímání objektu pomocí CT [17]	23
Obrázek 14 - CT zařízení nano3DX [21]	27
Obrázek 15-Thickness Gauge D-2000-T [22].....	31
Obrázek 16 - Interaktivní měření v NIS-Elements.....	33
Obrázek 17-Snímek virtuálního řezu v NIS-Elements 5.....	34
Obrázek 18- Označení měřené oblasti pomocí ROI.....	35
Obrázek 19- Naprahování vláken.....	35
Obrázek 20- Přiložení ROIové masky	36
Obrázek 21 - Grafický průběh zaplnění jednotlivých řezů	37
Obrázek 22- Graf průměrného průběhu zaplnění.....	37
Obrázek 23- Grafické porovnání výsledků tloušťky	40

Seznam tabulek

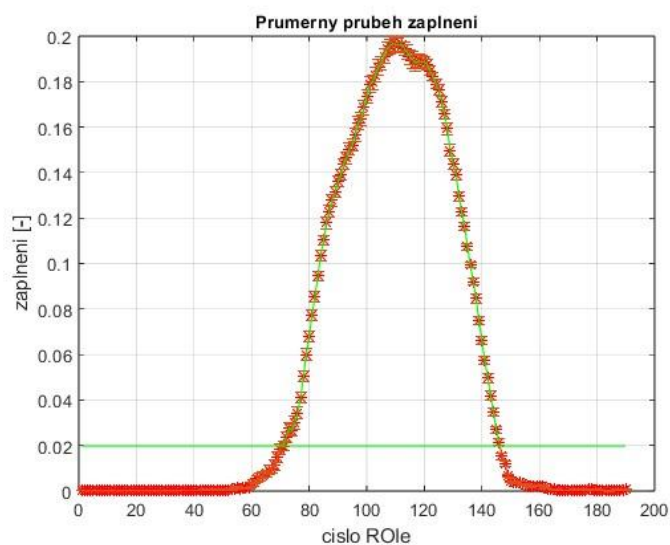
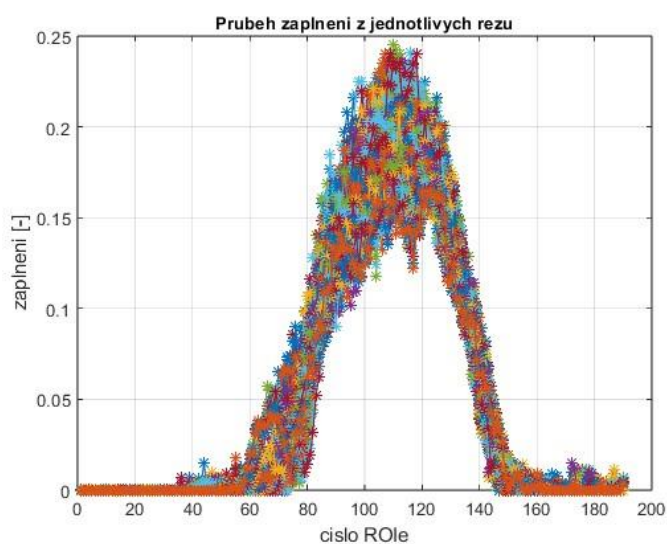
Tabulka 1 - Přehled měřených vzorků.....	30
Tabulka 2 - Výsledky měření na tloušťkoměru	39
Tabulka 3 - Výsledky interaktivního měření	39
Tabulka 4- Výsledky nové metodiky ze zaplnění	40

Seznam rovnic

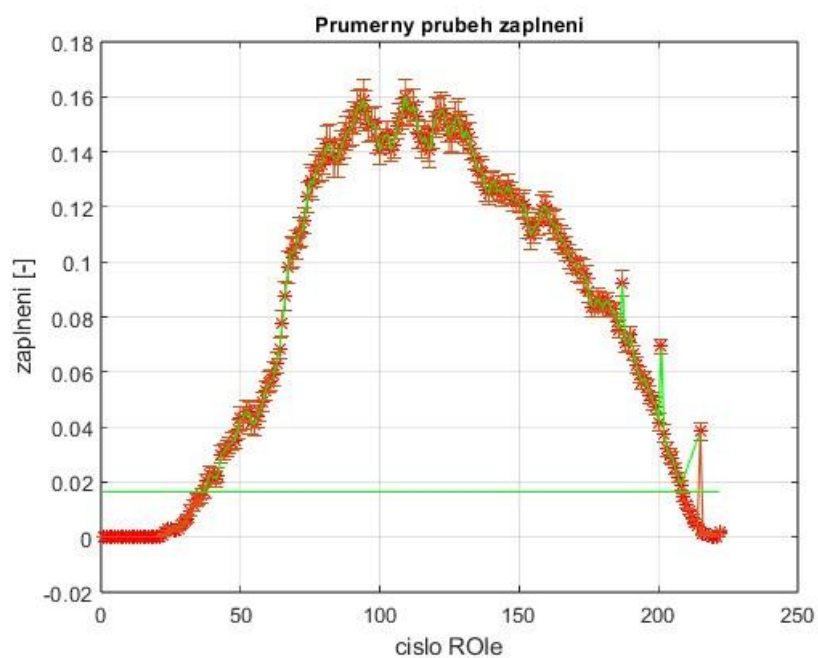
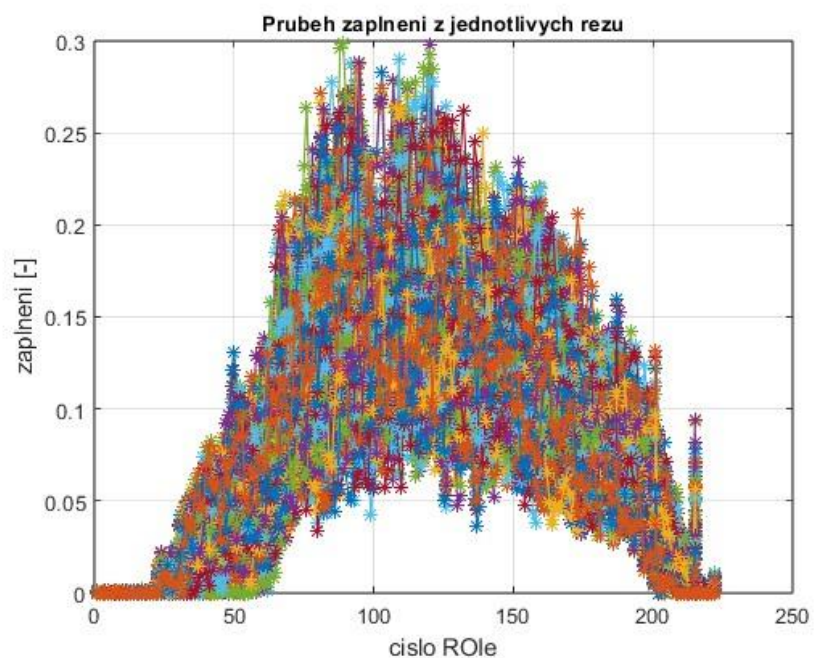
Rovnice 1 - Míra přítlaku u tloušťkoměru	11
Rovnice 2- Výpočet tloušťky u konvexní obálky.....	21
Rovnice 3 - Výpočet hodnoty zaplnění	21
Rovnice 4 - Výpočet hustotního zaplnění	22

Přílohy

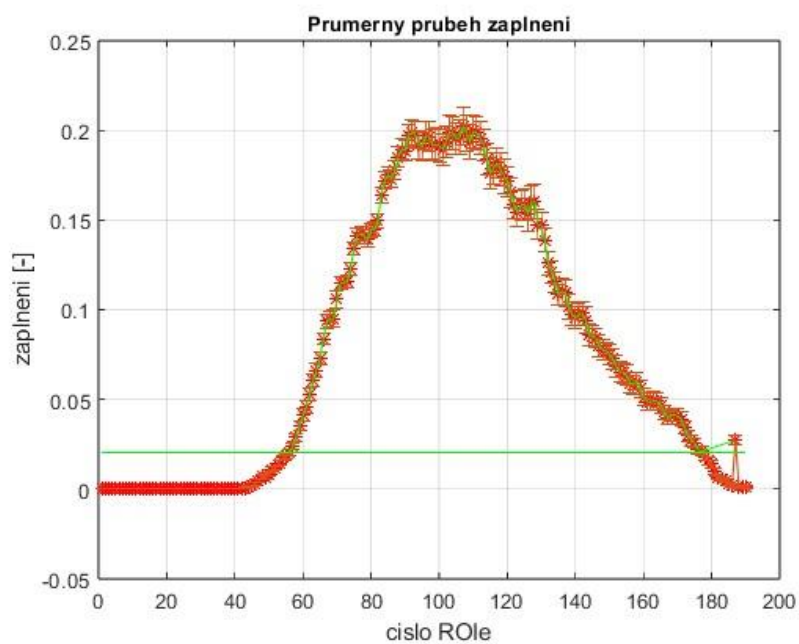
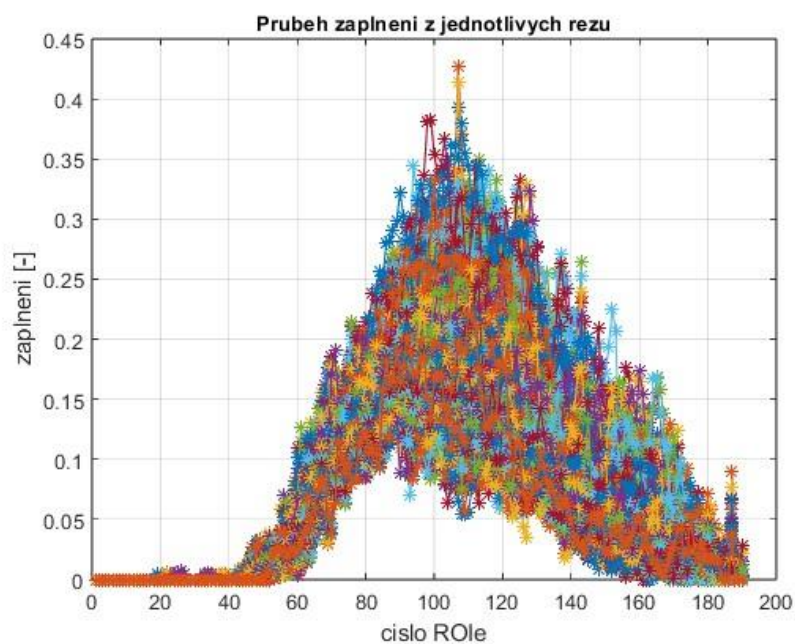
Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 1.



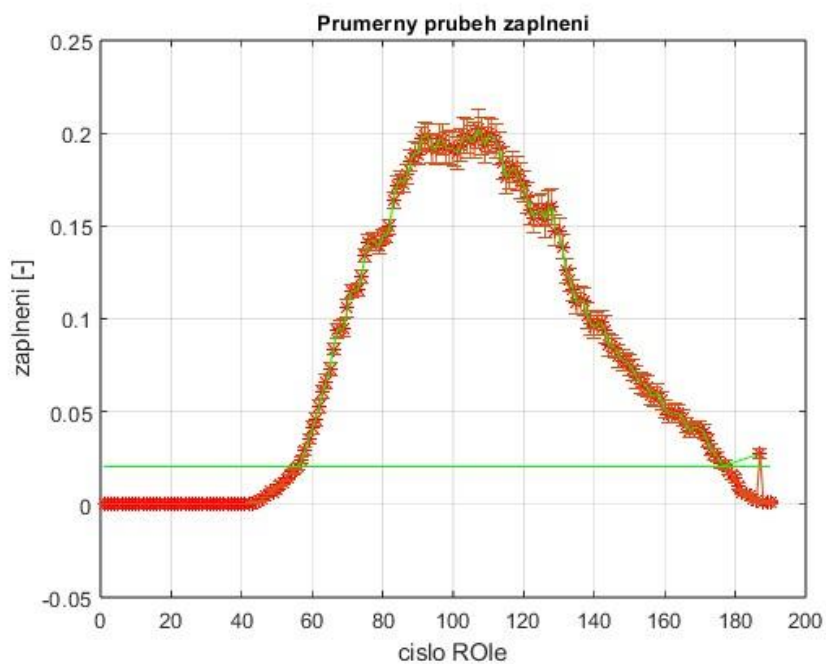
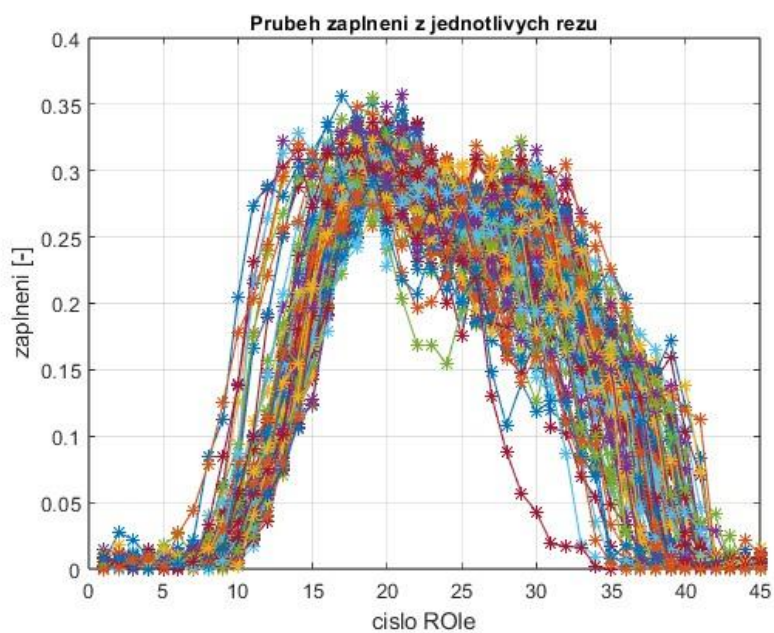
Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 2.



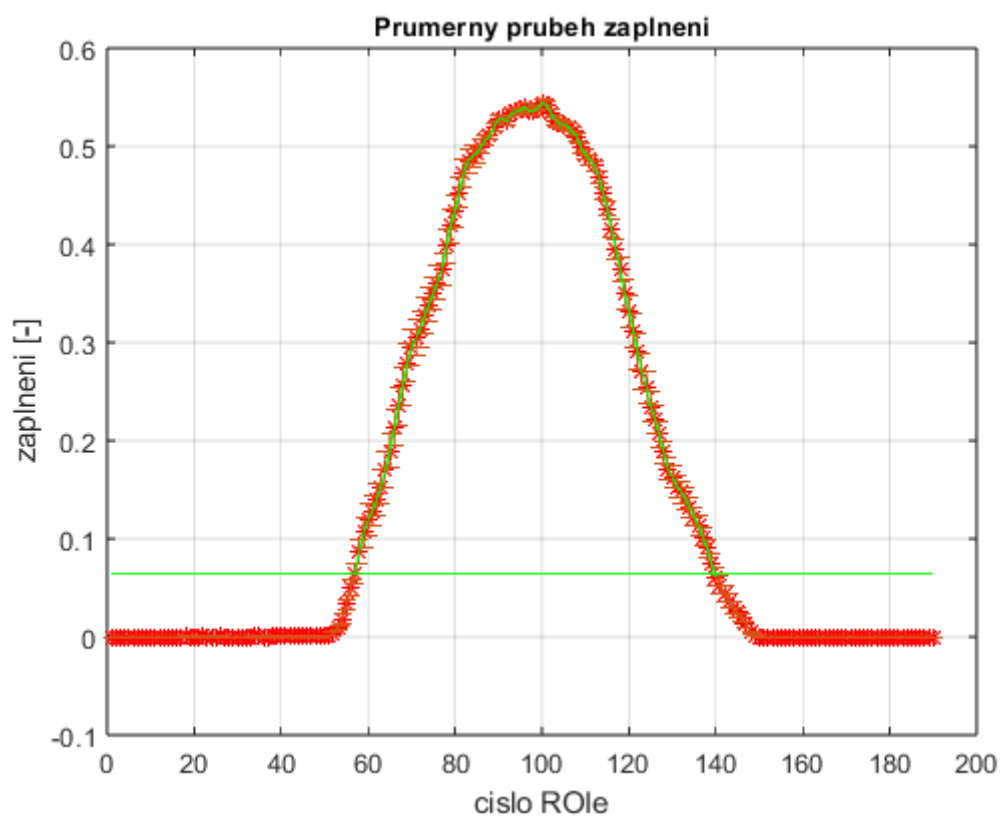
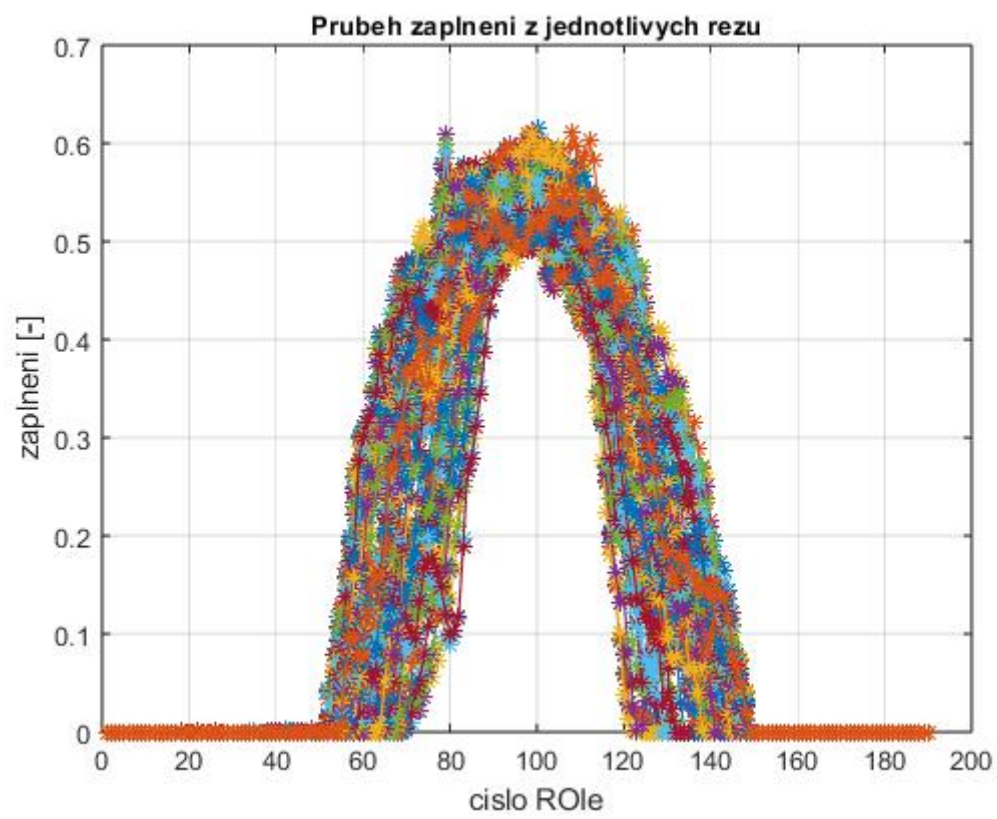
Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 3.



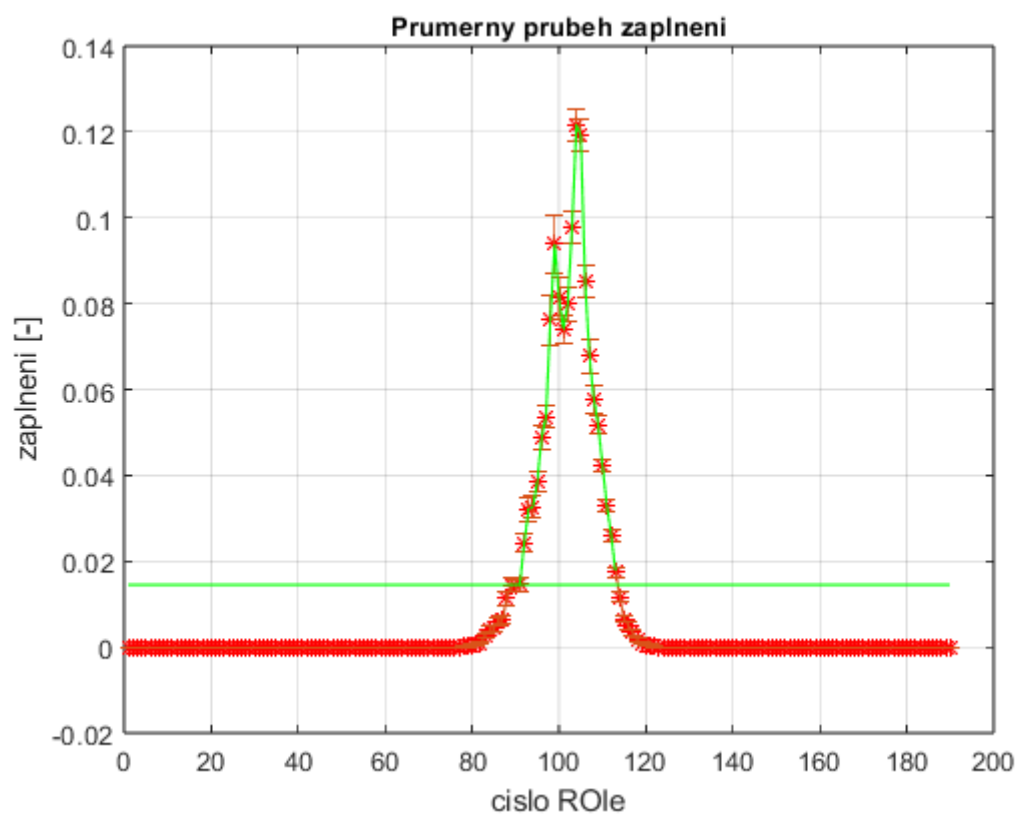
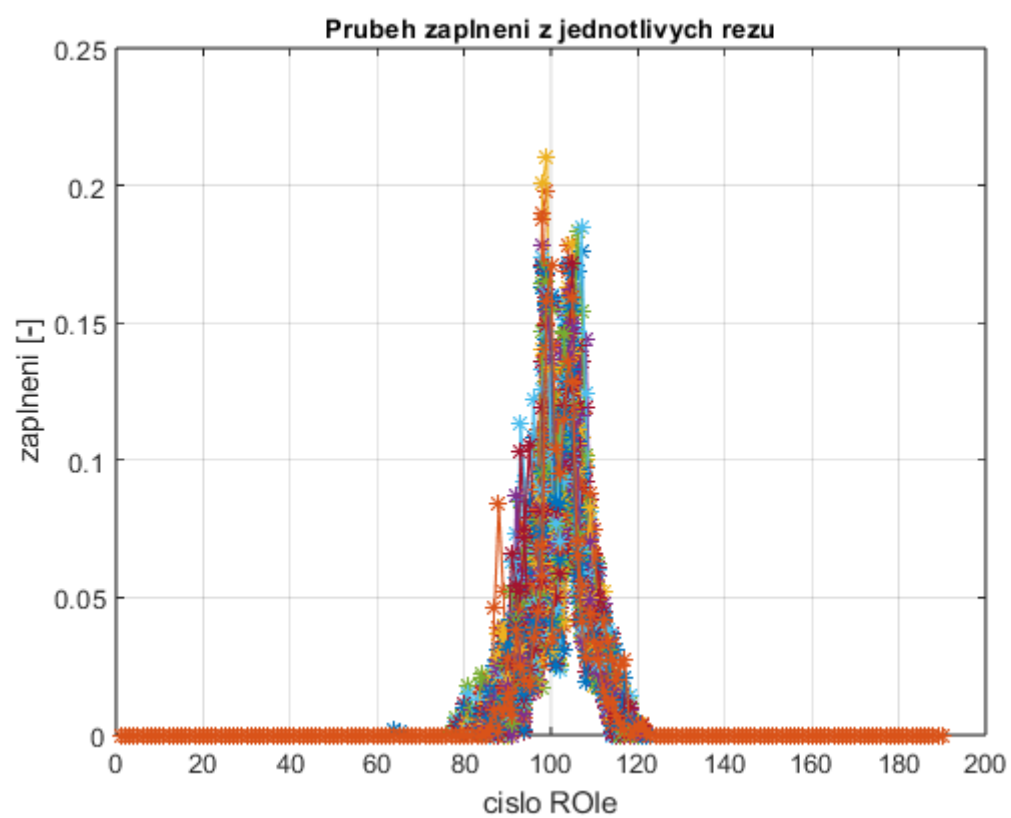
Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 4.



Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 5.



Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 6.



Výchozí grafy z programu MATLAB – Průběh zaplnění jednotlivých řezů a průměrný průběh zaplnění – VZOREK 7.

