



Univerzita
Hradec Králové
Přírodovědecká
fakulta

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Zadavatel

REMOSKA s.r.o.
Markova 1768
Frenštát pod Radhoštěm
IČ: 01885219

VĚC „POSOUZENÍ STRUKTURY TKANINY TNG“

Technická zpráva obsahuje 27 stran a předává se zadavateli v originálním vyhotovení v počtu 2 ks.

V Hradci Králové dne 28. dubna 2020

Úvod

Zadavatel požaduje provedení rozboru tkaniny TNG z pohledu struktury a rozměrů. Cílem technické zprávy je potvrdit nebo vyvrátit deklarované vlastnosti materiálu. Zadavatel je oficiálním importérem výrobků z tohoto materiálu.


Cílem technického posouzení je stanovit:

1. vnitřní strukturu tkaniny,
2. stanovení šířky vláken,
3. stanovení velikosti mezer mezi vlákny,
4. poměr mezi přímým dotykem vláken a mezerami mezi nimi,
5. odhad velikosti dutin ve struktuře,
6. stanovení míry shody s dodanými dokumenty od výrobce z pohledu struktury tkaniny.

Technické posouzení struktury tkaniny TNG

Zadavatel disponuje vyjádřením (Obr. 1) zahraničního výrobce, který definuje zkoumaný materiál jako „materiál vyrobený z polyesterové příže, kdy za použití nano technologií mění tvar vláken příže“. Mimo další údaje výrobce definuje počet vláken v přízi (dále jen nit, ze kterého je látka utkaná) a velikost dutin mezi vlákny. Svá tvrzení výrobce dokládá pomocí snímků z elektronového mikroskopu (Obr. 1)

FASLINK



Part A: Nano Technology Fabrics

Nano technology is applied on polyester yarns focus on the engineer which can change the shape of yarn. It creates the Nano-space between filament and filament (each yarns is combined from 98 to 192 filaments, based on the end-product), make the yarns shape is special. The Nano-space helps to enhance the function of fabric, make it softer and the functions will last forever. This technology on yarn gives 6 below functions:

1. Light weight (98GSM)
2. Mechanic stretch, excellent recovery
3. Anti-UV
4. Anti-Odor
5. 3D quick dry.
6. Wicking

← Nano-space

Part B: Specifications

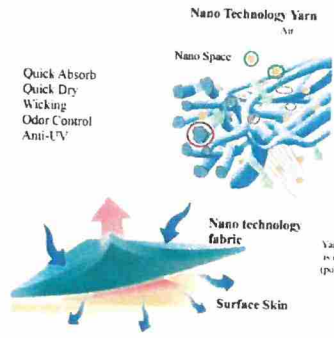
NANO TECHNOLOGY FABRIC TECHNICAL POINTS			
Function	Value	Unit	Testing method
Weight	98	g/m ²	AATCC 20 A-2007/30 A-2008
Anti UV	102.66	UPF	AATCC 183-2014
Drying rate	123	mins	CNS 12913 T-3233 6 25.1 Method A
Absorbency	23-24	second	AATCC 99-2014
Wicking (warp)	0.6	mm sec	AATCC TS-017
Deodorant	75	Percent	ISO 17299-2, B; Detector Tube Method
Colorfastness to washing	4	grade	AATCC 61
Formaldehyde	< 5	mg/kg	ISO 14184-2011
Tensile Strength	> 25	lba	ASTM D5034 - 2009
Tearing Strength	> 2.5	lba	ASTM D1424 - 2009

FASLINK

YARN TECHNICAL ILLUSTRATION

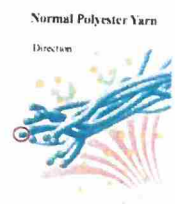
Nano Technology Yarn

Quick Absorb
Quick Dry
Wicking
Odor Control
Anti-UV



Normal Polyester Yarn

Direct



Yarn shape is different (soft shape)

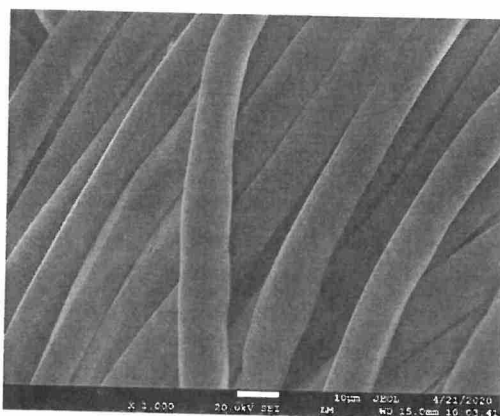
Heat Moisture

A: 116 King George St., W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, W13, W14, W15, W16, W17, W18, W19, W20, W21, W22, W23, W24, W25, W26, W27, W28, W29, W30, W31, W32, W33, W34, W35, W36, W37, W38, W39, W40, W41, W42, W43, W44, W45, W46, W47, W48, W49, W50, W51, W52, W53, W54, W55, W56, W57, W58, W59, W60, W61, W62, W63, W64, W65, W66, W67, W68, W69, W70, W71, W72, W73, W74, W75, W76, W77, W78, W79, W80, W81, W82, W83, W84, W85, W86, W87, W88, W89, W90, W91, W92, W93, W94, W95, W96, W97, W98, W99, W100

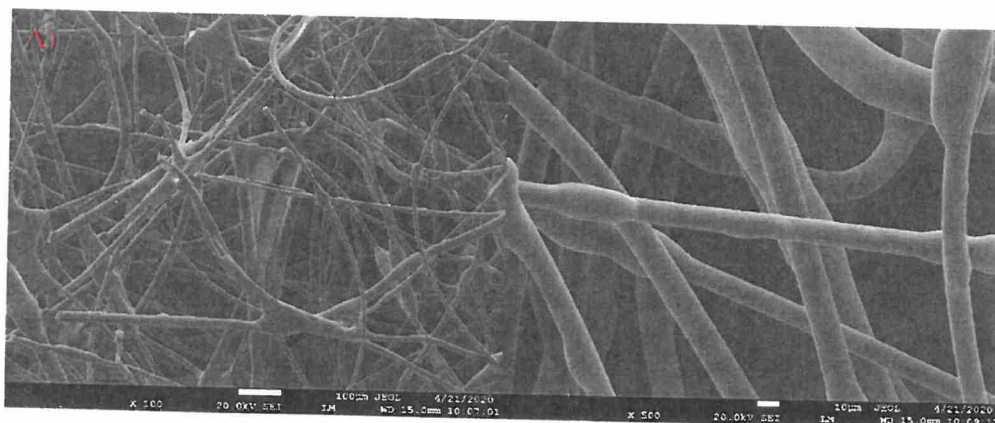
A: 116 King George St., W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, W13, W14, W15, W16, W17, W18, W19, W20, W21, W22, W23, W24, W25, W26, W27, W28, W29, W30, W31, W32, W33, W34, W35, W36, W37, W38, W39, W40, W41, W42, W43, W44, W45, W46, W47, W48, W49, W50, W51, W52, W53, W54, W55, W56, W57, W58, W59, W60, W61, W62, W63, W64, W65, W66, W67, W68, W69, W70, W71, W72, W73, W74, W75, W76, W77, W78, W79, W80, W81, W82, W83, W84, W85, W86, W87, W88, W89, W90, W91, W92, W93, W94, W95, W96, W97, W98, W99, W100

Obrázek 1 Vyjádření zahraničního výrobce tkaniny; Dokument dodaný výrobcem tkaniny

Na obrázcích (Obr. 2 a Obr. 3) jsou publikovány snímky z elektronového mikroskopu z pracoviště centra nanotechnologií v rámci technické univerzity Ostrava a byly dodány zadavatelem. Obrázky se týkají vzorku tkaniny odebrané z roušky TNG dodaných zadavatelem. V rámci předběžných testů byla provedena elektronová mikroskopie vnější vrstvy a mezivrstvy. Z provedené mikroskopie je patrné, že vnější vrstva je z jiného typu materiálu než mezivrstva. U vnější vrstvy jsou jednotlivá vlákna uspořádána pravidelně s průměrnou šířkou vlákna 10 μm . Průměrná hustota vláken je 8,8/100 μm . Maximální mezery mezi vlákny, v případě, že se vlákna nedotýkají, jsou v rozsahu 0,9 – 11,5 μm . Poměr mezer vůči vyplněnému stavu je u snímku z obrázku (Obr. 2) zhruba 41 %.



Obrázek 2 Oblast hodnocení vzorku M (vnější vrstva); 1 000x, 20 kV, SE detektor



Obrázek 3 Oblast hodnocení vzorku M (mezivrstva); A) 100x, B) 500x, 20 kV, SE detektor

Mezivrstva je tvořena rozdílným materiálem s velkou prodyšností (Obr. 3) s šířkou vláken větší než 10 μm . Mezivrstvě se tato technická zpráva nebude dále věnovat, protože není předmětem zájmu zadavatele. Kovové částice nebyly na povrchu materiálu, ani v jeho objemu detekovány. S přihlédnutím k průběžným výsledkům bylo doporučeno provést detailnější snímky s větším zvětšením, aby bylo možné přesně detekovat mezery mezi vlákny a strukturu tkaniny. Přibližně 59 % prostoru mezi vlákny tvoří přímý dotyk s mezerou menší, než je rozlišovací schopnost daného snímku (přibližně 200 nm). Mezery mezi vlákny při přímém dotyku odhadují na desítky až jednotky stovek nm. Vzhledem k nutnosti zajištění detailnějších snímků bylo zvoleno pracoviště Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové.

Nové snímky zajištěné pracovištěm **Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové** jsou prezentovány na obrázcích v (Příloha 1). Na (Obr. 4 a 5) je vidět makro struktura tkaniny TNG, tvořící vnější vrstvu. Ze snímků je patrné, že jediná nit je tvořena množstvím jednotlivých vláken. Látka se při stříhání mírně „rozvolní“, nicméně zachovává si svou strukturu. Je dále patrné, že řady nití v jednom směru mají stejný tvar a ten je odlišný s nitěmi na tento směr kolmými. Jeden směr má výrazně „plošší“ strukturu, kdežto druhý tvar je výrazněji kroucený. Toto je možné přisoudit metodě tkaní, kdy jedna řada nití je napnutá a druhá se vyplétá z cívky a tvoří krut. Tato struktura byla shodná pro všechny testované vzorky. Na snímcích jsou dále vidět bílé objekty, které jsou organického původu a tvoří jej prachová smítka a zbytky rozpadlých vláken. Prachová smítka jsou spíše kulového tvaru, kdežto popraskaná, popř. rozpadlá vlákna tvoří spíše rozvětvenou strukturu. Uvedené snímky byly pořízeny ve zvětšení 60x.

Dalším rozbořem bylo možné získat uspořádání vláken v niti v jednotlivých místech tkaniny. Byly testovány jak místa s „rovnou“ strukturou, tak se skroucenou strukturou. Na obrázcích (Obr. 6 až 15) jsou detaily těchto míst se zvětšením 420x. Použitá metoda snímání byla BSE, tedy detekce zpětně odražených elektronů. Tato metoda je vhodná pro nekovové materiály. Na obrázku (Obr. 6) jsou zvýrazněny prachové částice, nečistoty a zakátovány jejich rozměry. Zakátovány byly pouze ty větší, z důvodu jejich velmi malých rozměrů. S největší pravděpodobností se jedná o prachový spad v době expozice vzorků v laboratoři a při výrobě. Nečistoty jsou i v řádech sub- μm a např. na (Obr. 8) je dobře vidět jejich penetrace do mezi prostoru nití, kde se fixují. Fixace je relativně pevná, protože ani při vysokém elektrostatickém náboji, který je v pracovním prostoru elektronového mikroskopu, nedocházelo k jejich uvolňování. Obrázek (Obr. 11) ukazuje poškozené vlákno a jeho rozpad na tenká vlákna. Důvodů poškození může být mnoho, přílišné pnutí v podélné ose, mechanické poškození povrhu vlivem tření, při výrobě vlákna apod. Pokud je poškození minoritní a neovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu, není na závadu. Jak je z obrázku patrné, zachytávají se na něm nečistoty a obecně se zvětšuje povrch tkaniny.

Jak je možné ze snímků odvodit, vlákna připomínají spíše hranoly než válce. Poměr stran je možné odvodit z (Obr. 13), kdy byly zakátovány jak šířkové rozměry, tak výškové. Poměr stran je od 2,7:1 až po 2,1:1. Údaje jsou přibližné, protože je jen velmi obtížné měřit v obrazu bez jasně definovaných kontur. Nicméně poměry odpovídají vizuálnímu vjemu a je možné je potvrdit. Výsledný tvar vláken je pravděpodobně ovlivněn výrobním procesem, kdy je podélným tahem deformováno jinak pravidelné vlákno.

Dalším zvětšováním (Obr. 15) bylo cíleno proniknout do struktury nití a změřit mezery mezi vlákny. Na obrázku je vidět přibližná struktura nitě při zvětšení 1100x. Na (Obr. 16) je demonstrována šířka vláken v daném místě nitě s jasně viditelnými mezerami. Obrázek (Obr. 17) zobrazuje topografické zobrazení povrchu, kdy je snímek skládán z několika snímačů najednou. Jiné zobrazení ukazuje na zásadní věc, a to, že mezery viditelné na předchozích obrázcích jsou ve většině případů pouze stíny způsobené vlivem 3D tvaru vláken. Topografické znázornění ukazuje souběh jednotlivých vláken a jejich podélný dotyk. Je možné usuzovat, že při pohybu tkaniny vlivem běžného nošení jednotlivé shluky vláken pohybují a mezery mezi vlákny se zvětšují a zase mizí. Dynamiku tkaniny ovšem těmito snímky postihnout nelze. Obrázky (Obr. 18 a 19) byly vytvořeny za použití UV záření, resp. (Obr. 18) je expozice pouze s UV a (Obr. 19) je kombinovaná expozice BSE + UV. Jak je možné vidět, kvalita zobrazení se dále zlepšila a je možné provádět detailnější analýzu mezi vláknových prostor. Zejména obrázek (Obr. 19) je velmi detailní. Delší, detailnější expozice již nebylo možné provádět z důvodu „přesvětlení“ objektů vlivem nabíjení podkladu.

Obrázek (Obr. 20 až 22) ukazuje skutečnou mezeru mezi vlákny zachycenou metodou BSE+UV. Zachycená mezera má největší šířku 641 nm a nejmenší naměřenou šířku před dotykem s dalším vláknem 250 nm. Obrázky (Obr. 23 a 24) ukazují stejnou oblast v různých režimech snímání. Jak je patrné, mezery v principu nejsou postřehnutelné a dochází k dotyku vláken. Topografický režim je možný jen v nižších zvětšeních, proto není na obrázky se zvětšením kolem 18000x aplikován.



Vybrané snímky byly dále zpracovány metodami digitálního zpracování obrazu. Obrázky (Obr. 25 až 27) jsou výstupy z prostředí MATLAB (matematicko-simulační prostředí), kdy (Obr. 25) je originál obrazu vstupujícího, na který byly aplikovány matematické filtry. Obrázek (Obr. 26) je originální snímek, na který byl aplikován filtr pro zvýraznění kontrastu. Tento filtr je vhodný pro zvýraznění světlých a tmavých ploch v obraze. V principu je užitečný všude tam, kde jsou jen malé rozdíly mezi úrovněmi jasů v obraze, obraz je příliš nekонтрастní a relevantní informace jsou umístěny v příliš úzkém rozmezí jasových úrovní. Byla aplikována lineární metoda, která má v tomto případě dobré výsledky. Jak je možné vidět na (Obr. 25), mezery mezi vlákny nejsou příliš kontrastní a další výpočty by obsahovaly významnou nejistotu měření. Zvýrazněním kontrastu došlo samozřejmě i ke zvýraznění nežádoucích ploch a vznikají nesouvislé fragmenty v podobě samostatných bodů jiného jasů. Proto byl na obraz aplikován filtr osamocení pixelů, který zajistí „vyhlazení“ obrazu, resp. spojitých ploch. Výsledek je uveden na (Obr. 26). Na (Obr. 27) je zobrazeno zvýraznění mezer. Světlé pixely jsou tmavé oblasti, které odpovídají mezerám. Obrázek je pouze ilustrační a pomáhá dokreslovat účinnosti filtrů. Na upravený obraz byla aplikována metoda výpočtu poměru „světlých“ a „tmavých“ bodů, tedy poměru mezi vlákny a mezerami. Výsledný poměr byl vepsán do originálního snímku. Každý z testovacích snímků (Obr. 28 až 39) bude vyobrazen jako originál a upravený snímek. Je potřeba zdůraznit, že uvedené poměry jsou nižší, než by měly být. Důvodem je výpočetní náročnost použitých filtrů, kdy pokročilejší analýza trvá u obrázků s takto vysokým rozlišením i řadu hodin. Byla zvolena taková míra úprav, která podává přijatelné výsledky vzhledem k času zpracování. Nastavení filtrů bylo provedeno pro každý snímek zvlášť z důvodu rozdílných jasových poměrů ve snímcích.

Zhodnocení zjištěných dat

Na základě provedených měření a post-processingovém vyhodnocení je možné konstatovat, že:

1. Vnitřní struktura tkaniny je pravouhlá, kdy jsou jednotlivé nitě tvořeny shluky vláken s rozměrem okolo $10 \pm 2 \mu\text{m}$. Předpokládaná tloušťka nití je více než 22 vláken s počtem vláken v niti více než 400. Toto bylo zjištěno empiricky z pořízených snímků. Provedení snímku v řezu je na tomto druhu zařízení prakticky vyloučeno a muselo by být provedeno jinou metodou. Empiricky zjištěná tloušťka nití je $254 \times 83 \mu\text{m}$. Průřez vláken tvořící nitě není kruhový, ale spíše obdélníkový s výraznějšími deformacemi na hranách.
2. Šířka jednotlivých vláken je okolo $10,6^{+2} \mu\text{m}$ s tloušťkou 3,5 až 4,28 μm .
3. Stanovení velikosti mezer mezi vlákny je velmi komplexní otázka. Vzhledem k tomu, že se jedná o dynamickou 3D strukturu, je toto stanovení obtížné. Pokud je brán jako výchozí stav ten, který byl zachycen na snímcích, je průměrná míra vyplnění prostoru 80,8 %. Je ovšem třeba brát v úvahu skutečnost, že detekované mezery jsou většinou dutiny mezi dotyky jednotlivých vláken. Z pořízených snímků vyplývá jednoznačný dotyk většiny vláken v niti. Prodyšnost tkaniny je zajištěna její pružností, a tedy pružnými deformacemi vláken. Mezery mezi vlákny, která se dotýkala, nebylo možné objektivně změřit, protože se pohybovaly pod rozlišovací schopností mikroskopu. Pokud budeme uvažovat stejnou míru vyplnění i v průřezu nitě, vzniknou stovky různě velkých dutin s průměrem od 100 nm (prokazatelně nejlepší rozlišení mikroskopu v dané konfiguraci). Přesnější odhad by bylo nutné podpořit vyšším počtem snímků a delšími časy pro zpracování obrazovými filtry a 3D modelováním.
4. Poměr mezi přímým dotykem vláken a mezerami mezi nimi je částečně zodpovězen v předchozím bodě. Uvažujeme-li skutečnost, že vlákna se z větší části dotýkají a mezery mezi nimi jsou pouze prostory kosých hran mezi vrcholy vláken, je možné určit průměrnou míru vyplnění 83,3 %. Zpřesnění této hodnoty by bylo možné tvorbou 3D modelu nitě s aktuálním uskupením vláken. Tento model by byl časově i technicky dosti náročný a je na zadavateli, zdali jej bude vyžadovat a také zdali má nějakou významnou vypovídací hodnotu.
5. Odhad velikosti dutin ve struktuře tkaniny je opět rozebrán výše. Aby bylo možné stanovit statisticky relevantní údaj, bylo by nutné změřit příčný řez tkaninou. Na základě dostupných snímků a numerických

simulací je možné konstatovat, že se ve struktuře nacházejí dutiny s průměrem 100 nm a více s tím, že spodní hranice je s nejvyšší pravděpodobností mnohem níže (viz výše). Navíc je zřejmá závislost struktury tkaniny na mechanickém namáhání při užívání tkaniny. Tento závěr byl stanoven na základě vzhledu jednotlivých struktur nití. Jednoznačně by bylo možné stanovit průměrnou velikost dutin pouze statisticky rozbořením velkého množství snímků.

6. Dotaz zadavatele „Stanovení míry shody s dokumentací od výrobce tkaniny z pohledu struktury tkaniny“ je možný pouze srovnáním s dodaným dokumentem (Obr. 1). Výrobce zde mimo jiných informací definuje strukturu materiálu tkaniny. Opírá se o vlastní výrobní proces, snímky z elektronového mikroskopu a grafickým znázorněním 3D struktury tkaniny.

Výrobní proces není v současné době možné ověřit, proto není možné se k němu vyjádřit. Grafické znázornění principu funkce (Obr. 1 – YARN TECHNICAL ILLUSTRATION) je jakousi představou autora, která pomáhá přiblížit fyzikální procesy při pohybu vzduchu a vlhkosti skrz tkaninu. Tyto grafické znázornění jsou spíše ilustrativního charakteru a v této zprávě nebudou brány na zřetel. Komparovány budou tedy tři snímky v levé horní části dokumentu a zhodnocen průvodní text.

Na základě provedených měření a testů je možné potvrdit shodu s vizualizací struktury tkaniny pomocí elektronového mikroskopu. Jedná se o tři černobílé obrázky nad sebou v levé horní části dokumentu (Obr. 1). U horních dvou snímků je vidět shoda s pořízenými snímky (Obr. 7 až 9). Odpovídá i šířka vláken okolo 10 μm – Odvozeno od měřítka zobrazeného ve snímcích dokumentu výrobce. Třetí, spodní snímek (Obr. 1) ukazuje oblasti, které jsou výrobcem nazývány „Nano-space“. Tento termín je z průvodního textu možné pochopit tak, že tkanina obsahuje jakési „nano dutiny“ bez bližší specifikace jejich rozměrů. Dle zjištění plynoucích z této zprávy je možné konstatovat, že tkanina, resp. jednotlivé nitě složené z vláken, dutiny obsahují. Tyto dutiny jsou v vytvářeny strukturou vláken a jejich velikost je odvozená od bodů dotyku vláken. Větší dutiny vznikají v případě odsazení vláken od sebe, kdy jednotlivá vlákna na sebe nenavazují (Obr. 7, 8, 9 apod.). Šířka těchto dutin se pohybuje v rozmezí 10 μm –200 nm (Obr. 21 a 22), délka je omezená systémem tkaní, tedy maximálně cca 250 μm . Maximální hloubka dutiny je definována tloušťkou vlákna, tedy cca 4,28 μm . Maximální velikosti dutin jsou možné v případech, kdy je ve struktuře vynecháno vlákno, a to způsobí takto velkou mezeru. Ve většině případů (Obr. 12) se jedná o mezery mnohem menší, pod aktuální rozlišovací schopnosti použitého mikroskopu, viz. (Obr. 23 a 24). Tento stav byl zhodnocen výše, v bodě 5. V případě dotyku vláken, což je průměrně v 83,3 %, jsou dutiny výrazně menší (<200 nm) a kopírují nerovnosti vláken na jejich površích. V případě rovnoměrného uskupení vláken jedno na druhém by vznikly mezery definované pouze nerovnostmi povrchů vláken. Toto by bylo možné prokázat v případě snímku řezu strukturou nitě. Provedení řezu je značně problematické a bylo by nutné fixovat vzorek tkaniny do pryskyřice (tato problematika byla probírána výše). Provedením řezu dojde k uvolnění vláken a jejich „roztřepení“. Tento stav je možné vidět na spodním obrázku (Obr. 1), kdy jsou konce vláken „uvolněné“ a zvýrazněné dutiny jsou ve skutečnosti větší než v případě napnuté nitě. Vzhledem k tomu, že je obrázek víceméně ilustrativní, tak tento stav nevádí. Je tedy možné souhlasit s informacemi obsaženými v dokumentaci (Obr. 1), že tkanina dutiny obsahuje. Velikost (průměr) dutin je závislá na dynamice prostředí a pohybuje se v řádech nm až po μm a výrobcem deklarované „Nano-space“, tedy jakési nano dutiny je možné akceptovat s tím, že pro přesnější rozměrové stanovení by bylo potřeba provést fixaci vzorků (eventuální pokovení) a měření v řezu. Dutiny v řádech nm by potom byly lépe pozorovatelné a bylo by možné stanovit objemovou míru vyplnění prostoru. Testovaná tkanina se chová jako jakýsi nano filtr, který je schopen zachytit částice v řádech stovek nm a více. Částice jsou na povrchu a v dutinách při dostatečném zvětšení patrné. Lze konstatovat, že svrchní zkoumaná tkanina je schopná zachytit částice v řádech nanometrů a vykazuje podobné vlastnosti/účinky jako nanomateriál.


Závěr

Technická zpráva ve věci „posouzení struktury tkaniny TNG“ byla vytvořena na základě snímků ze skenovacího elektronového mikroskopu FlexSEM 1000 od výrobce HITACHI. Tento mikroskop je součástí vybavení specializované laboratoře Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové. Snímky byly pořízeny na základě snímání BSE (Back Scattered Electron Detector) a s použitím dalších možností mikroskopu (UV podsvícení, topografické zobrazení apod.). Úpravy snímků byly prováděny v prostředí programu MATLAB (i7-8700/16 GB DDR4 2976MHz/1TB NVMe PCIe x4 gen3/GTX1660 Ti). Algoritmy pro úpravu snímků byly proprietární s vazbou na UHK a jsou uvedeny v příloze 2. Byly využívány dostupné publikace jak v knižní, tak elektronické podobě. V rámci rutin zpracování obrazu byly využity postupy z patentové přihlášky PV 2019-167, vlastněné Univerzitou Hradec Králové.

Zprávu zpracoval **doc. Ing. Robert Frischer, Ph.D.**, robert.frischer@uhk.cz

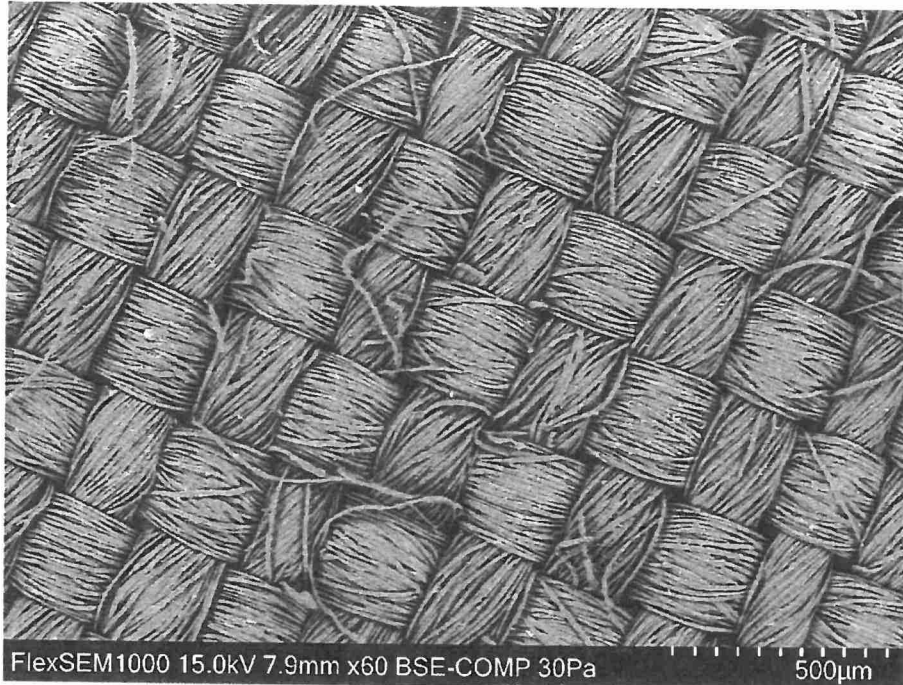
Zajištění snímků provedl **Bc. Marek Vojta**, marek.vojta@uhk.cz

Za správnost údajů zodpovídá **doc. Ing. Robert Frischer, Ph.D.**

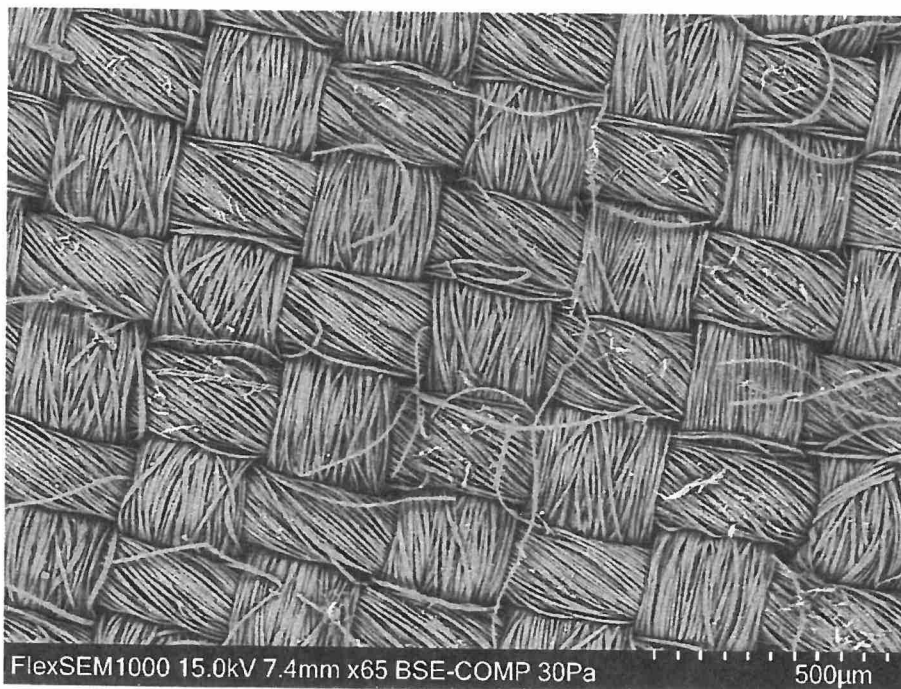
Centrum základního a aplikovaného výzkumu
Fakulta informatiky a managementu
Rokitanského 62
500 03 Hradec Králové III
 Faculty of Informatics and Management UHK



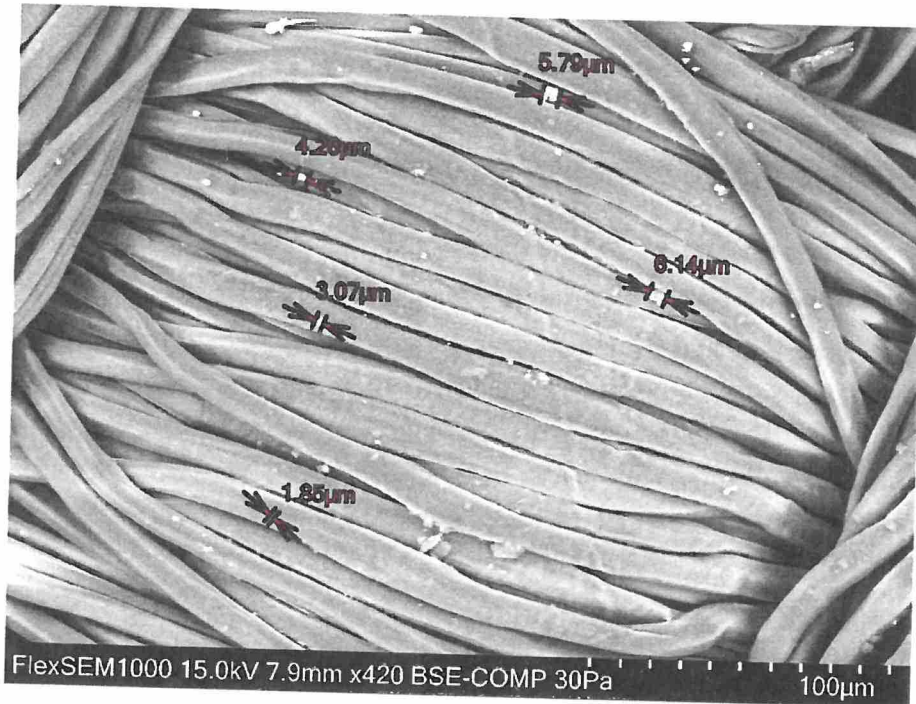
Příloha 1.



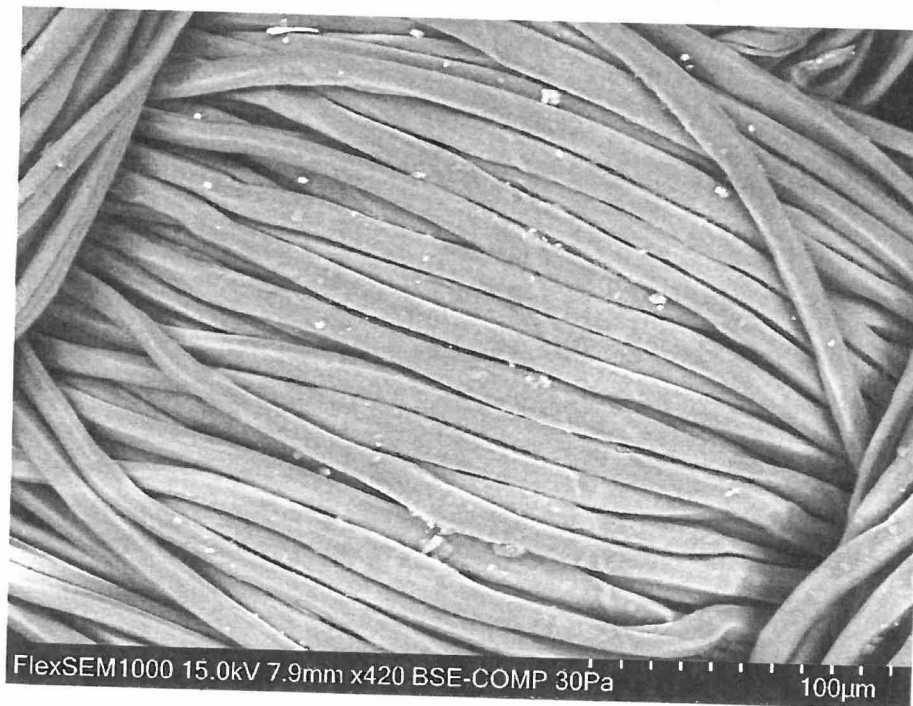
Obrázek 4 Struktura tkaniny u vzorku 1.



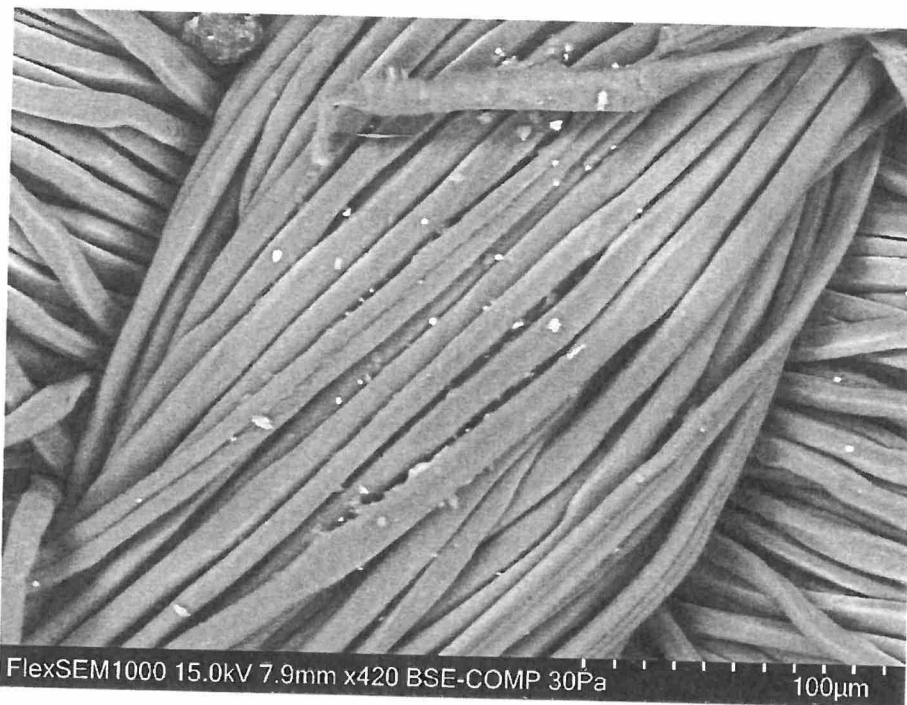
Obrázek 5 Struktura tkaniny u vzorku 2.



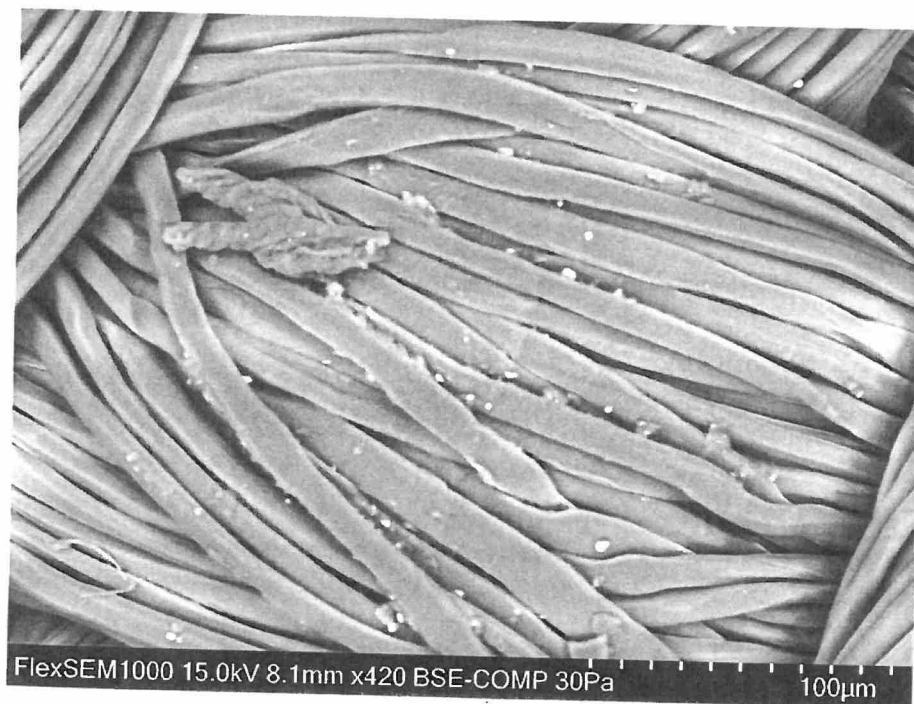
Obrázek 6 Vzorek 1; zvětšení 420x; vyznačení velikosti prachových částic



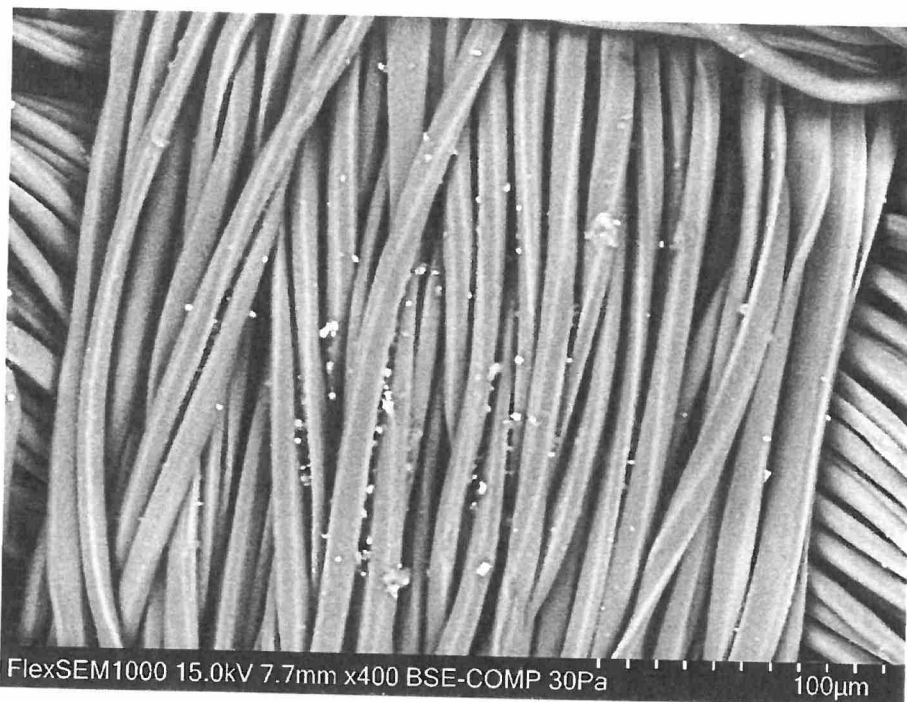
Obrázek 7 Vzorek 1; zvětšení 420x; Umístění 1;



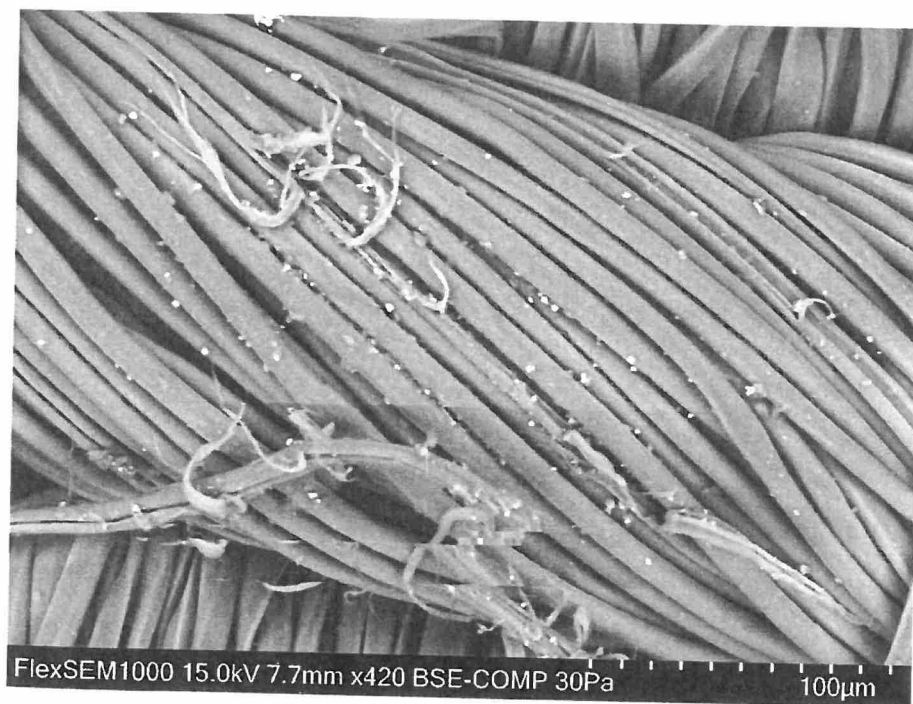
Obrázek 8 Vzorek 1; zvětšení 420x; Umístění 2;



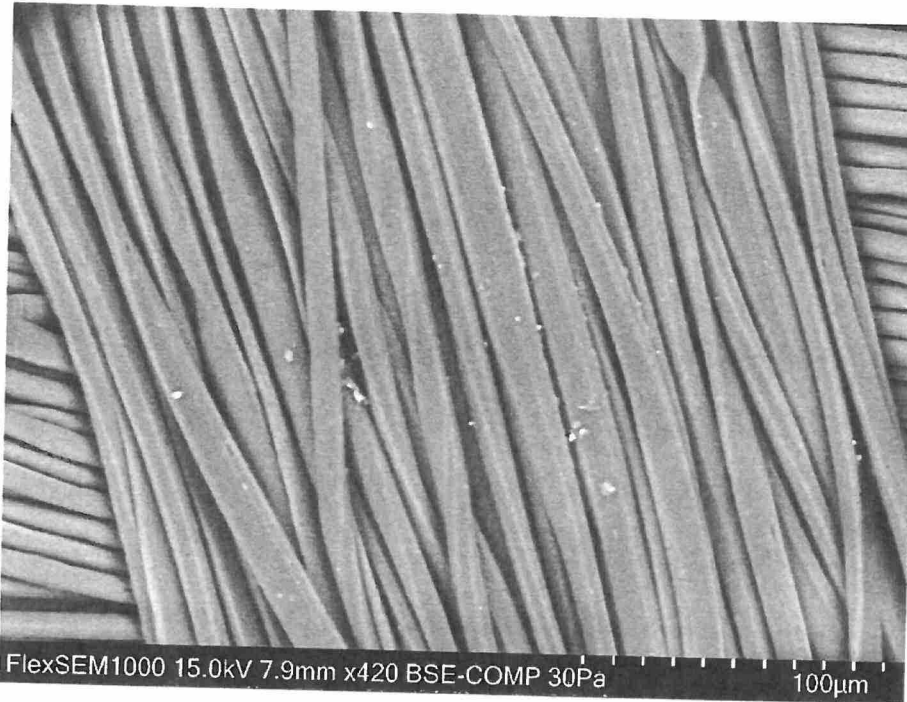
Obrázek 9 Vzorek 1; zvětšení 420x; Umístění 3;



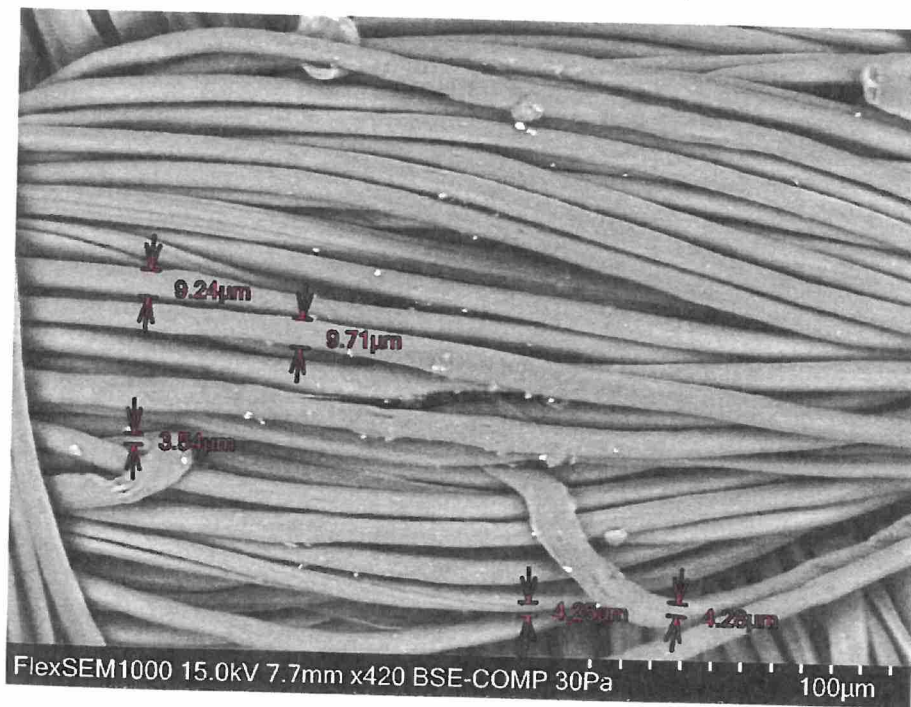
Obrázek 10 Vzorek 2; zvětšení 420x; Umístění 1;



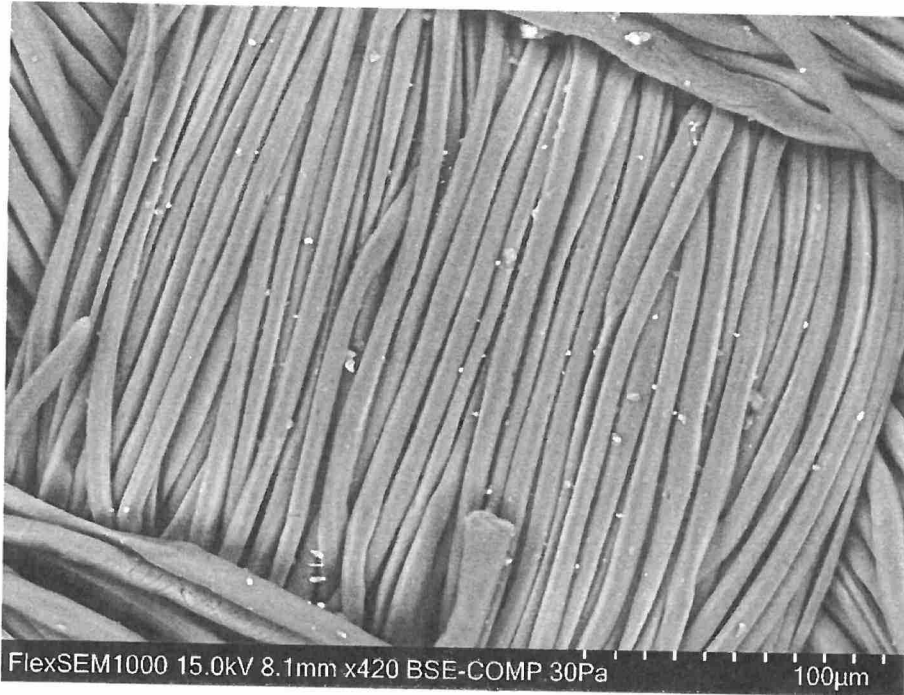
Obrázek 11 Vzorek 2; zvětšení 420x; Umístění 2;



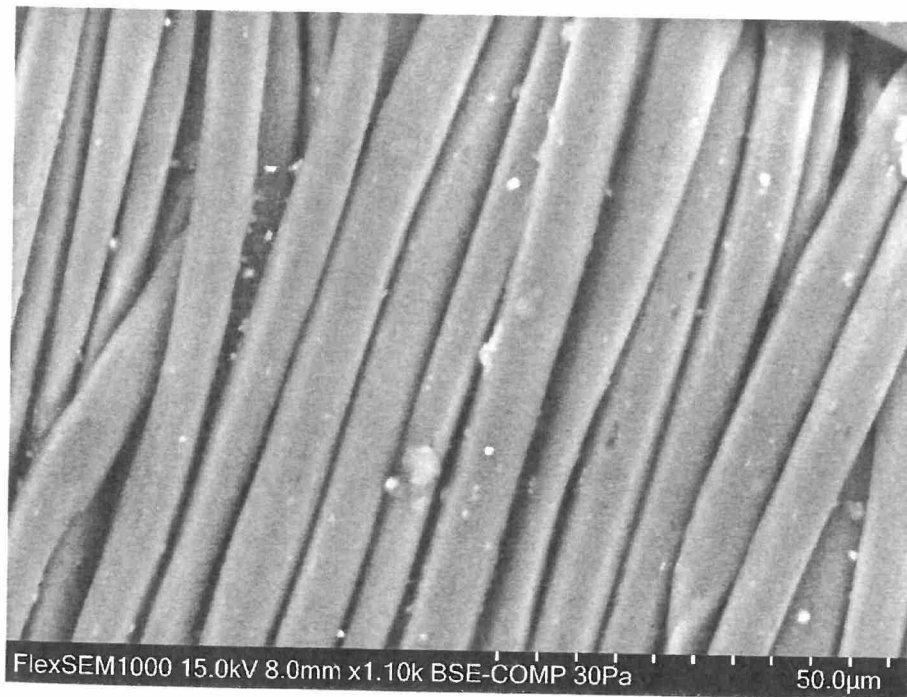
Obrázek 12 Vzorek 3; zvětšení 420x; Umístění 1;



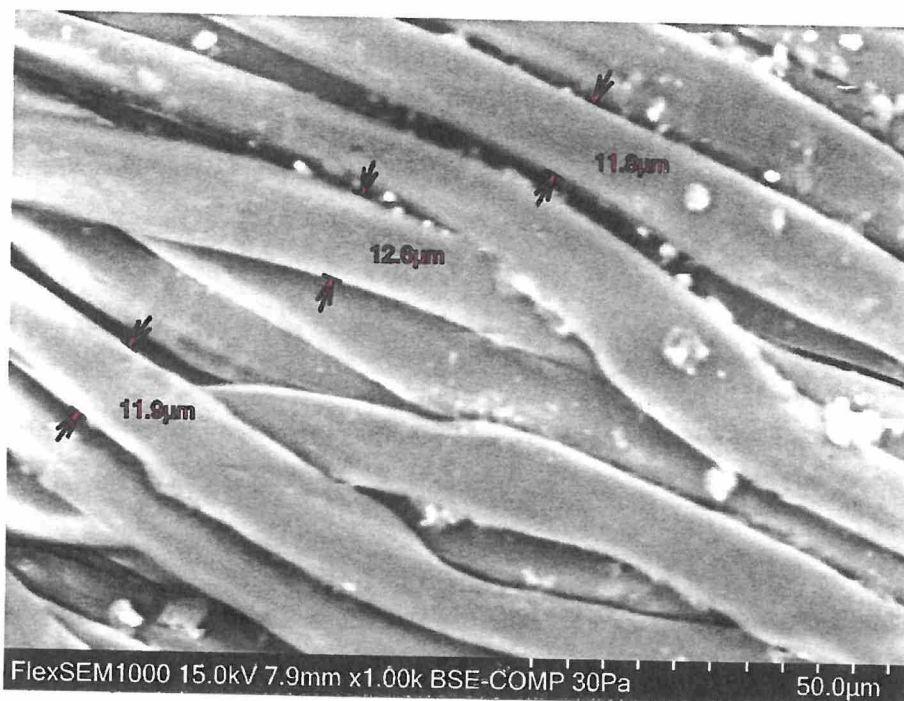
Obrázek 13 Vzorek 3; zvětšení 420x; Umístění 2;



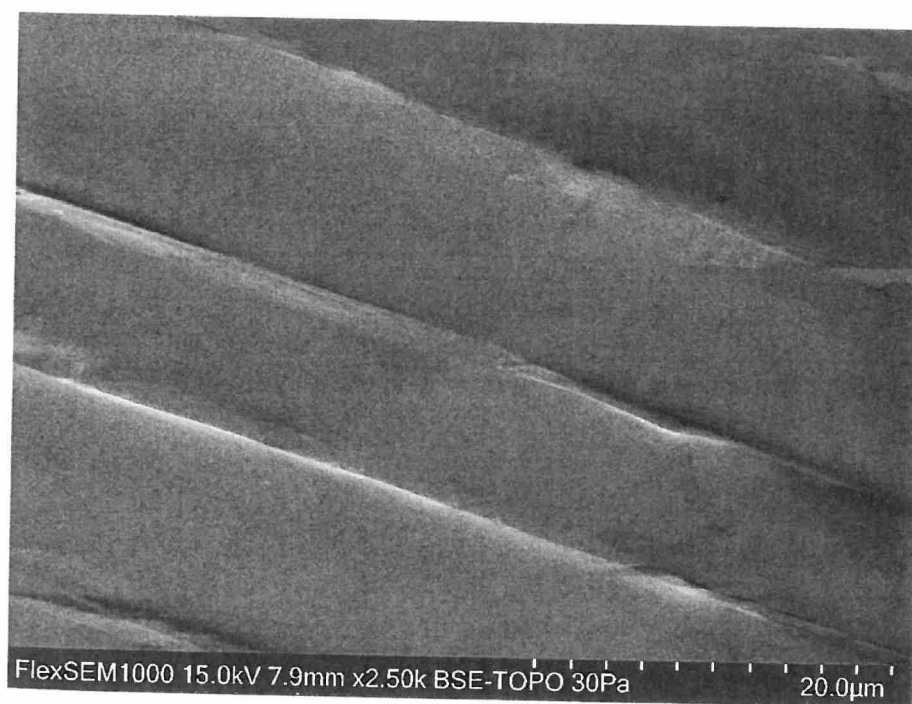
Obrázek 14 Vzorek 4; zvětšení 420x; Umístění 1;



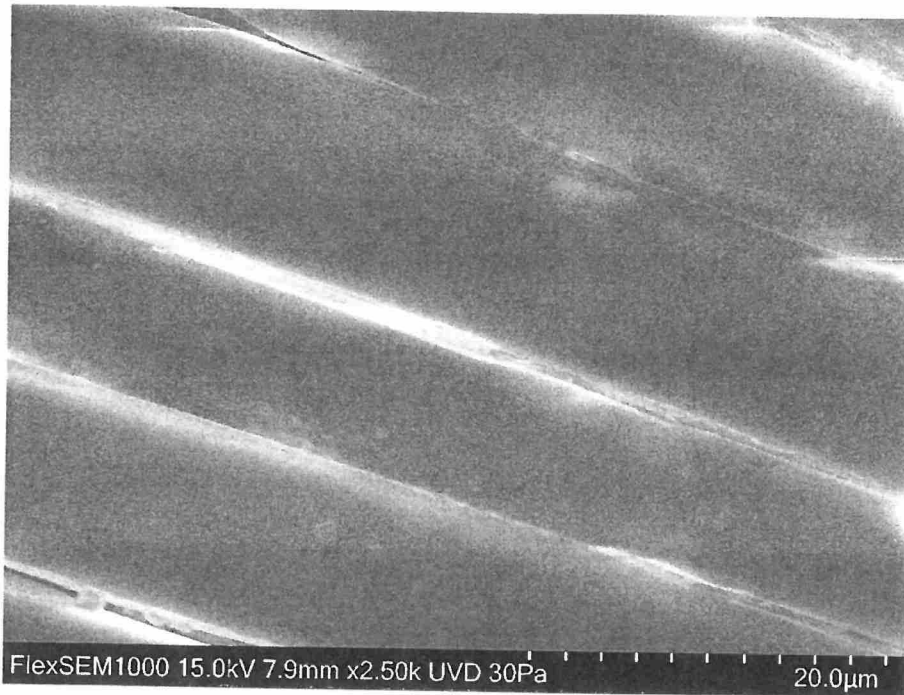
Obrázek 15 Vzorek 4; zvětšení 1100x;



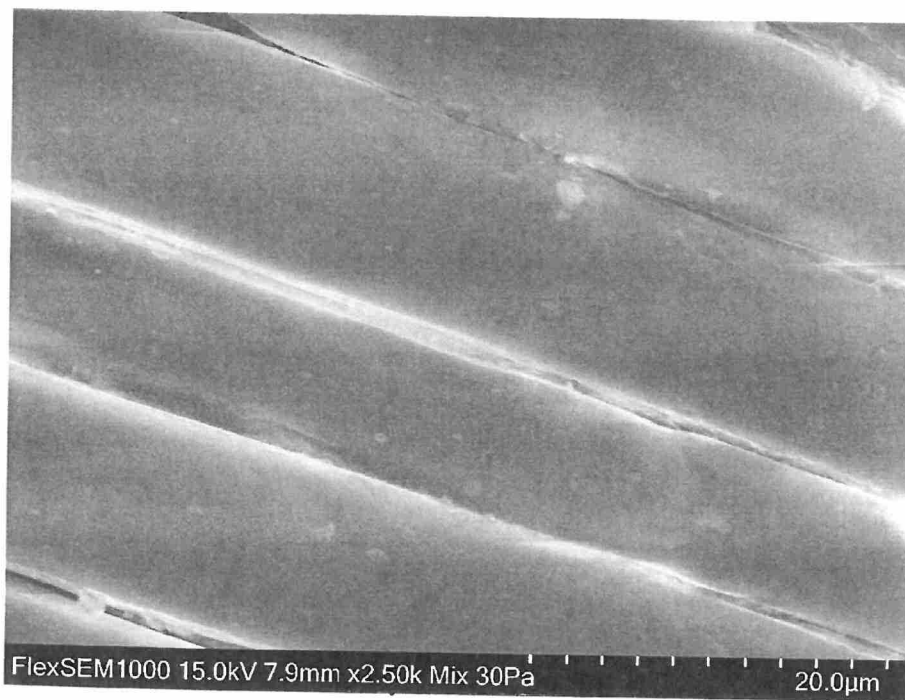
Obrázek 16 Vzorek 1; zvětšení 1000x; BSE;



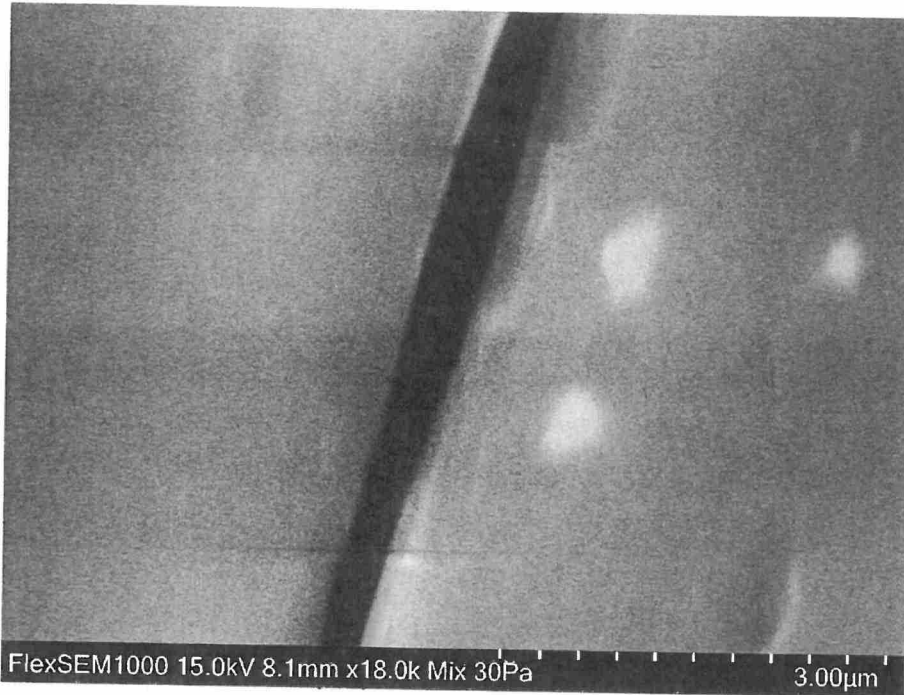
Obrázek 17 Vzorek 1; zvětšení 2500; BSE-TOPO;



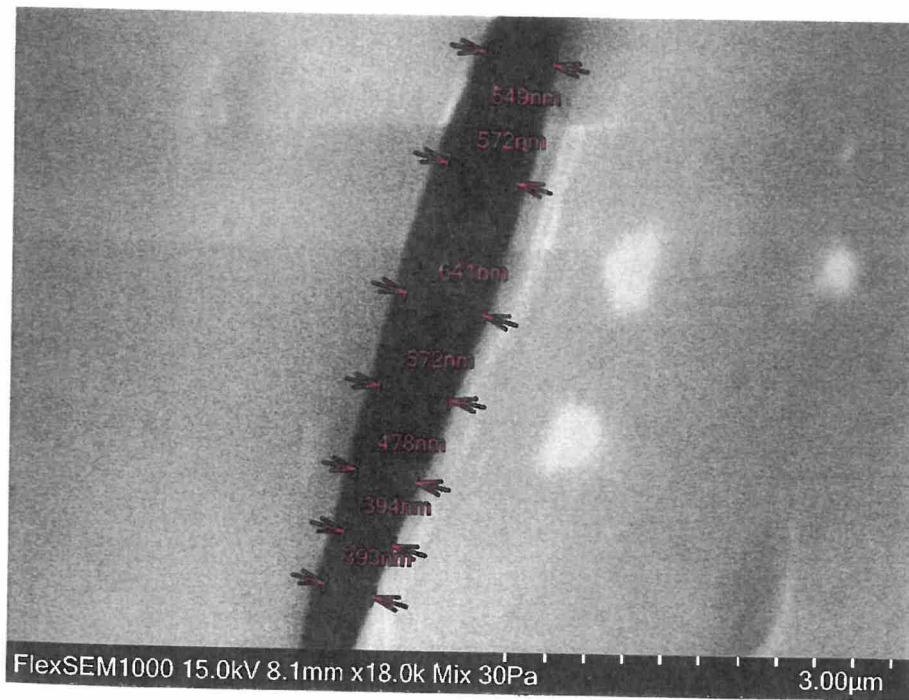
Obrázek 18 Vzorek 1; zvětšení 2500; UVD;



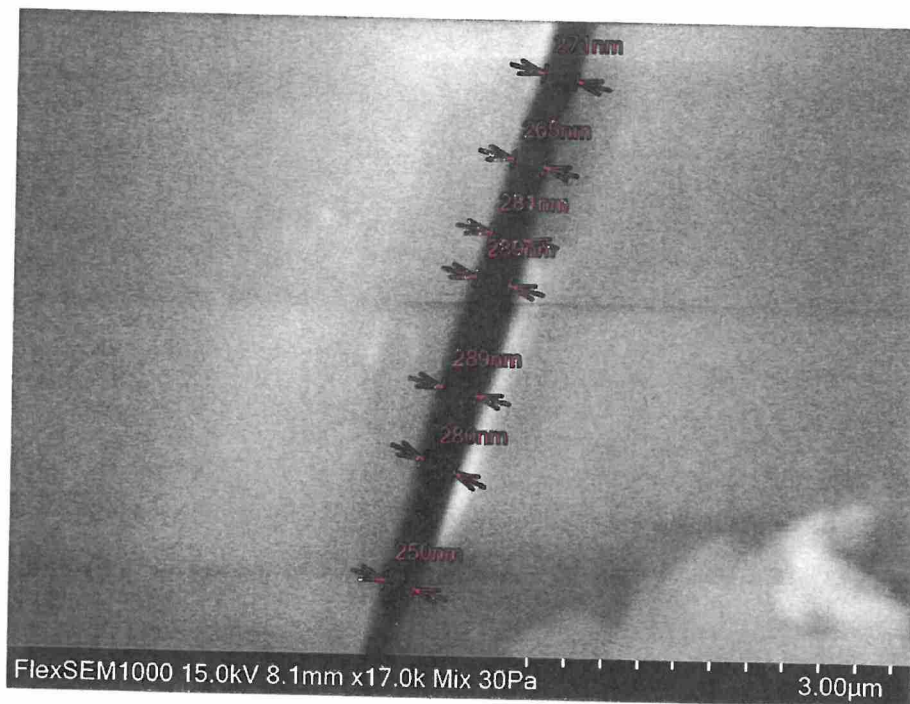
Obrázek 19 Vzorek 1; zvětšení 2500; BSE+UVD;



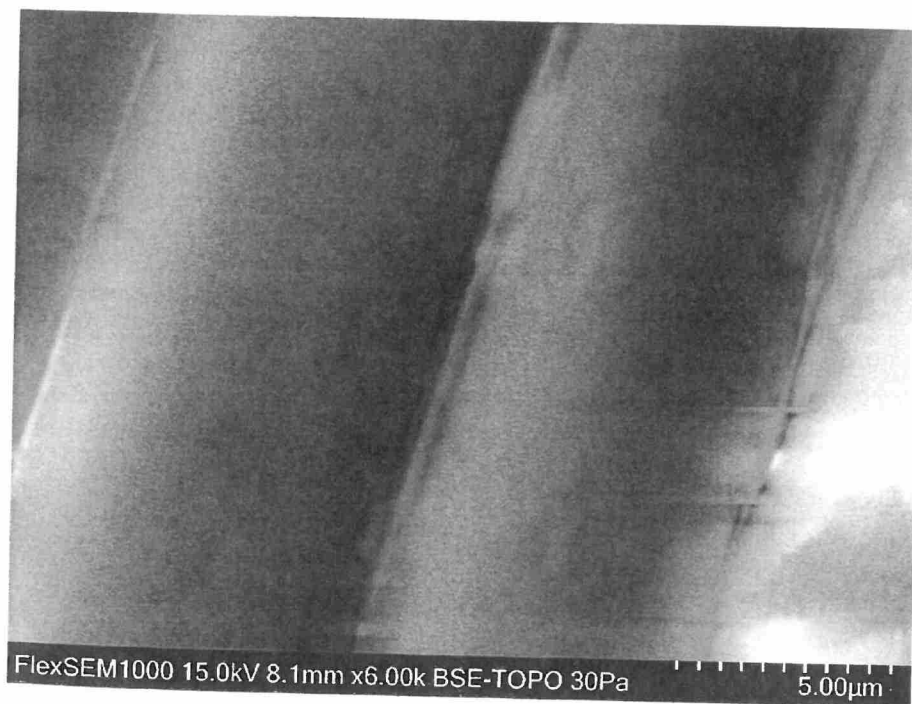
Obrázek 20 Vzorek 4; zvětšení 18000x;



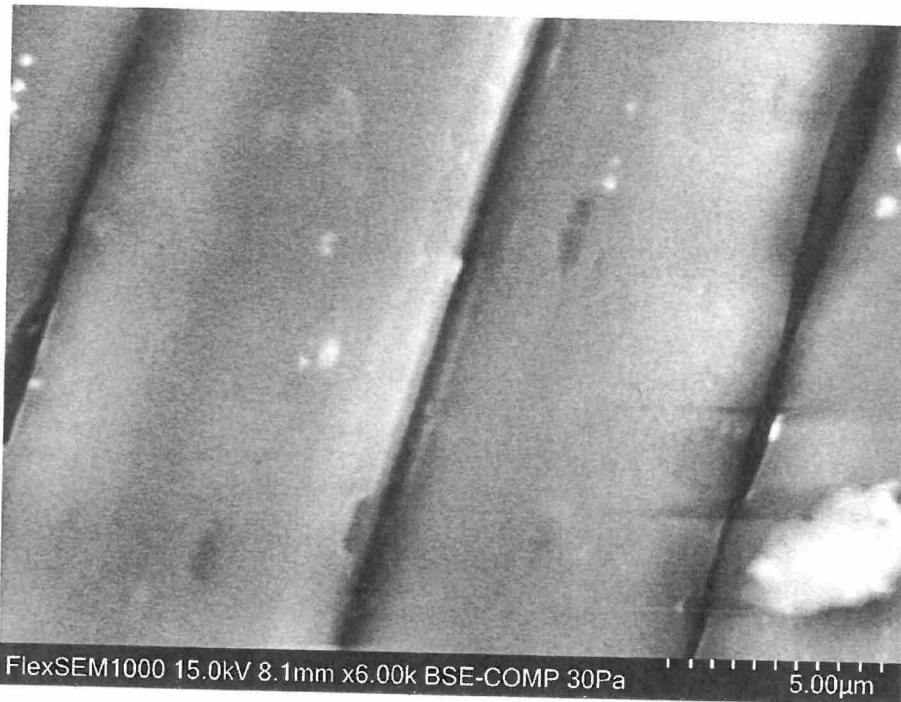
Obrázek 21 Vzorek 4; zvětšení 18000x; vyznačení mezi vrcholových vzdáleností



Obrázek 22 Vzorek 4; zvětšení 17000x; Pokračování mezery



Obrázek 23 Vzorek 4; zvětšení oblasti 6000x; Zobrazení TOPO



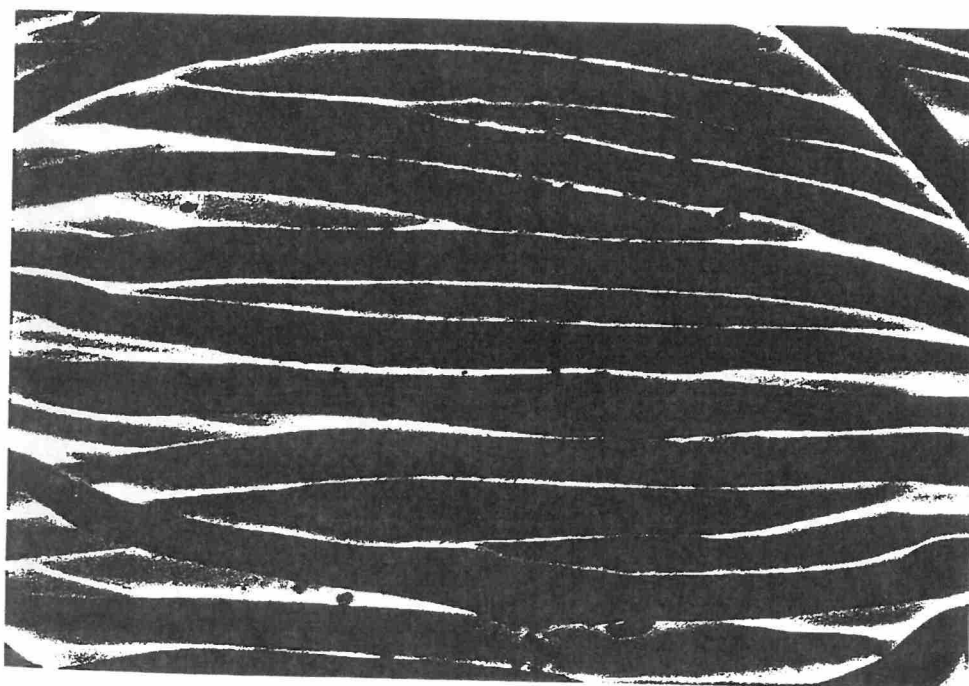
Obrázek 24 Vzorek 4; Stejná oblast; 6000x; Zobrazení BSE



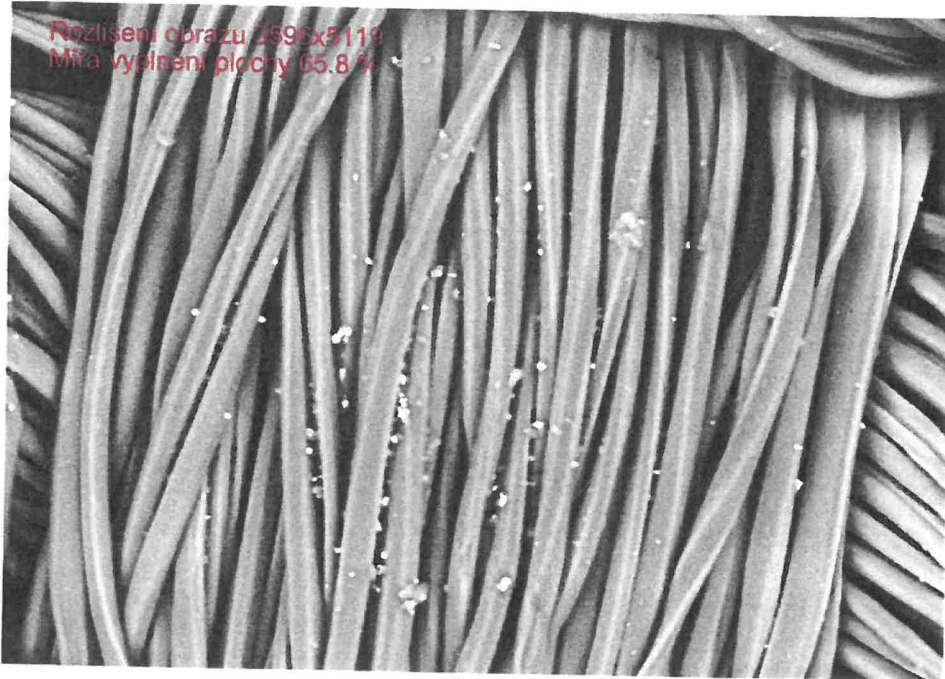
Obrázek 25 Snímek 01; Originál; Míra vyplnění plochy 84,8 %



Obrázek 26 Snímek 01; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



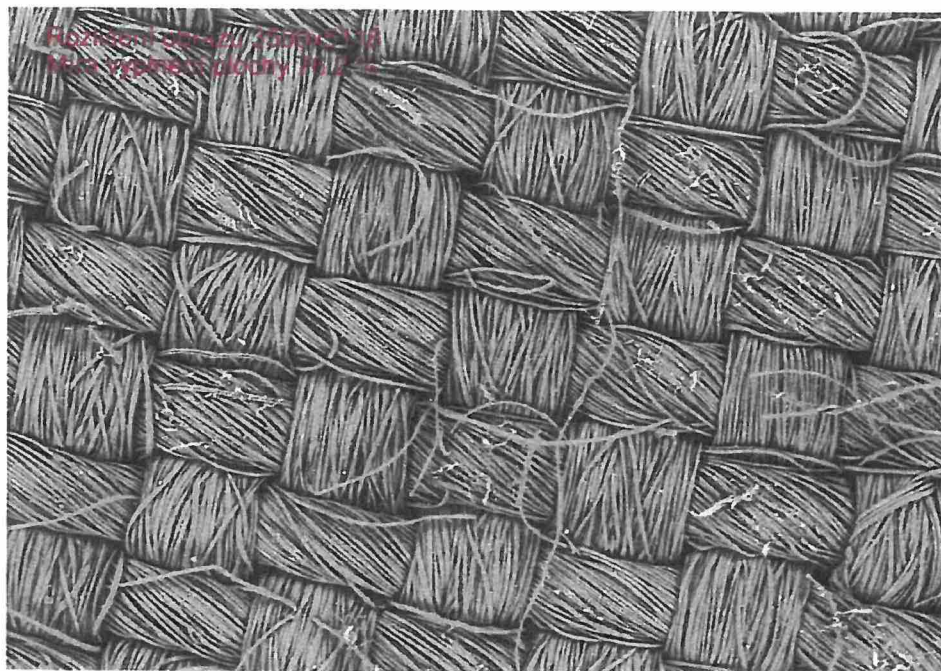
Obrázek 27 Snímek 01; Rozšířený kontrast; Zvýraznění mezer;



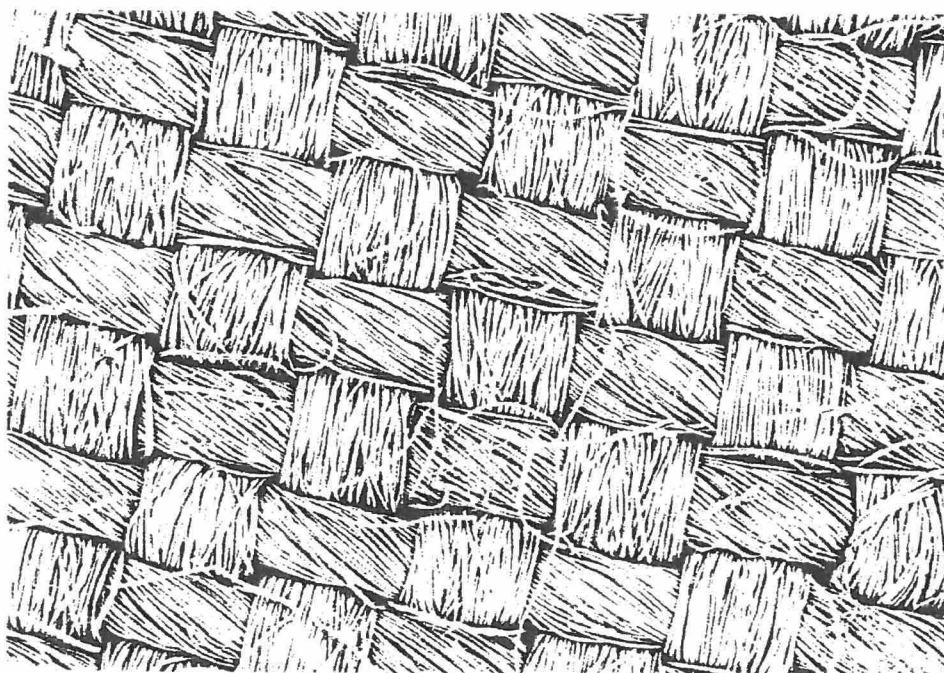
Obrázek 28 Snímek 02; Originál; Míra vyplnění plochy 65,8 %



Obrázek 29 Snímek 02; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



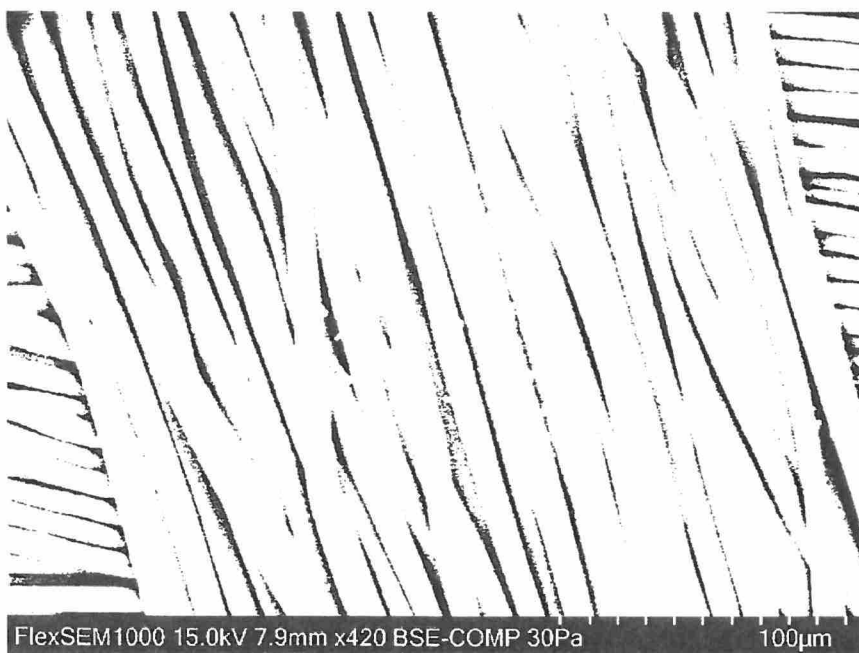
Obrázek 30 Snímek 03; Originál; Míra vyplnění plochy 76,2 %



Obrázek 31 Snímek 03; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



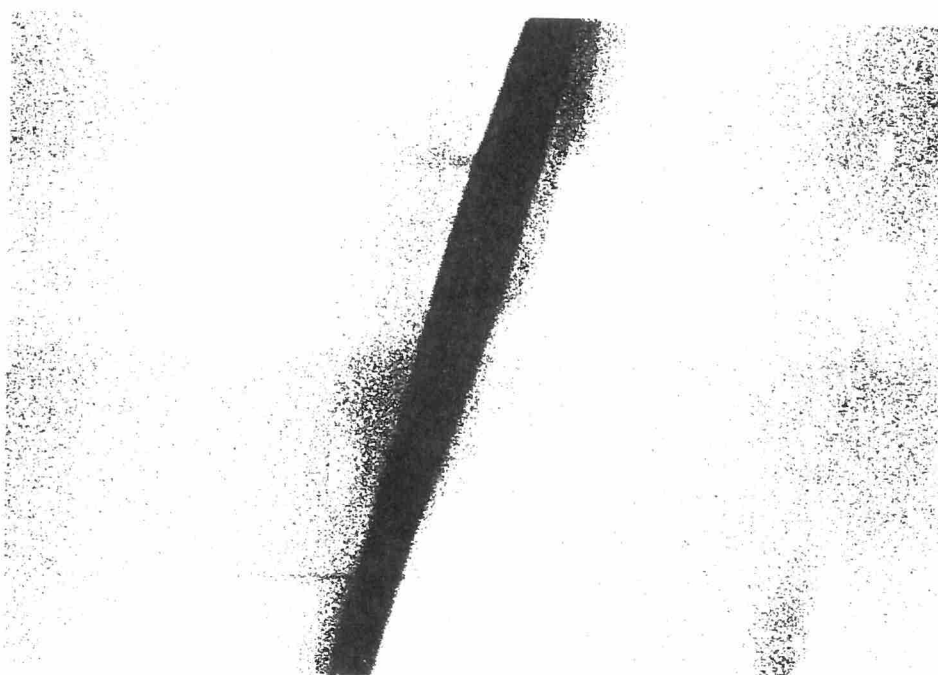
Obrázek 32 Snímek 04; Originál; Míra vyplnění plochy 86,5 %



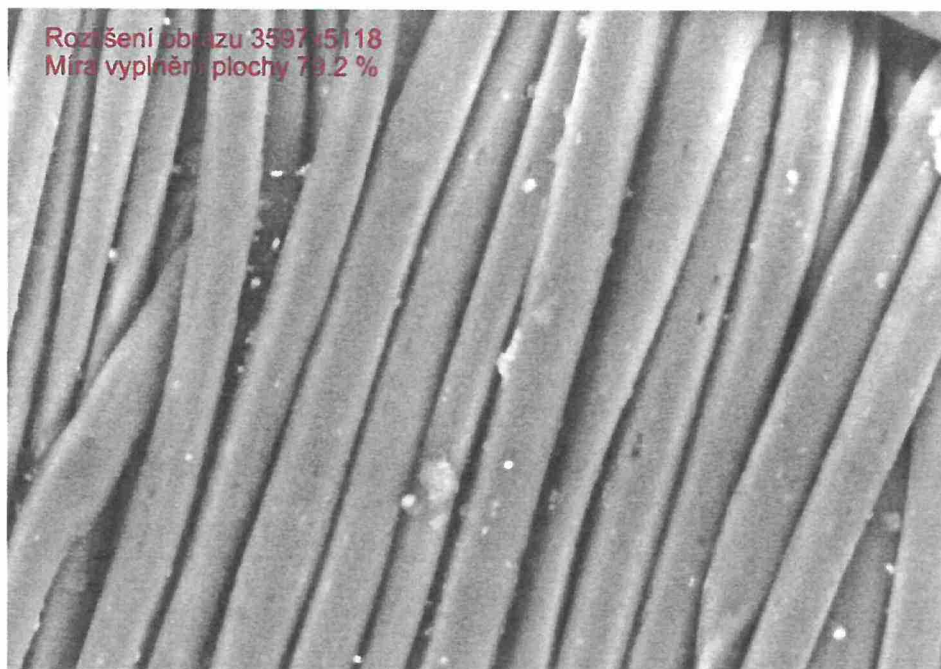
Obrázek 33 Snímek 04; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



Obrázek 34 Snímek 05; Originál; Míra vyplnění plochy 90,1 %



Obrázek 35 Snímek 05; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



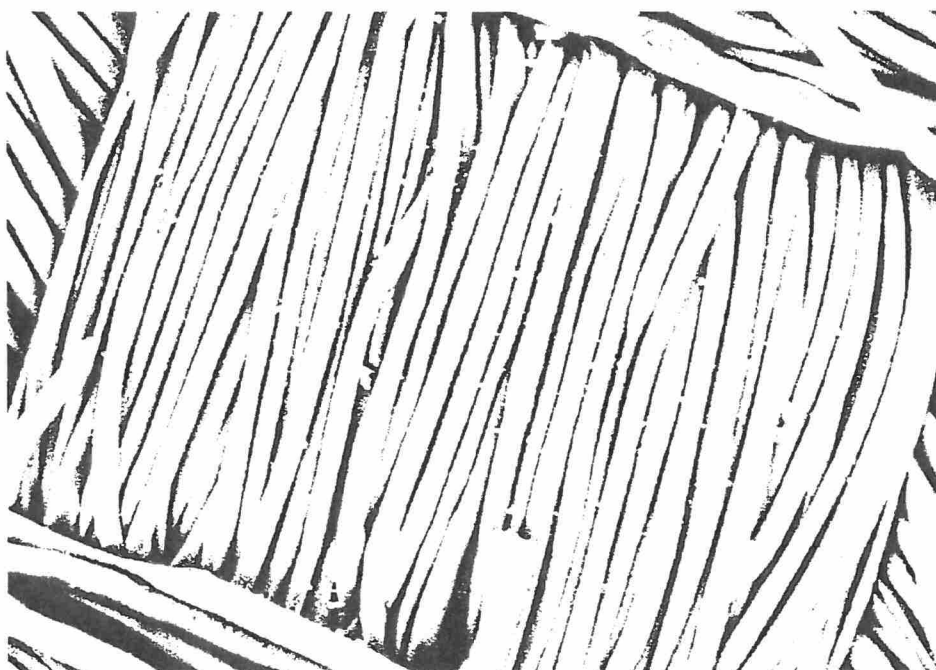
Obrázek 36 Snímek 06; Originál; Míra vyplnění plochy 79,2 %



Obrázek 37 Snímek 06; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



Obrázek 38 Snímek 07; Originál; Míra vyplnění plochy 83,3 %



Obrázek 39 Snímek 07; Rozšířený kontrast; Filtr osamocených pixelů;



Příloha 2.

```
clear all
path(path, 'C:\Data\MATH') %matematicke funkce
%#ok<*NBRAK>
%#ok<*NOPTS>
%#ok<*STCMP>
%#ok<*AND2>
%#ok<*SAGROW>

%% Nacteni obrazu
% picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\08_rouska_1_BSE-COMP_x420.jpg');
% picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\02_rouska_2_BSE-COMP_x400.jpg');
% picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\01_rouska_2_BSE-COMP_x420.jpg');
% picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\04_rouska_3_BSE-COMP_x420.jpg');
% picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\03_rouska_4_BSE-COMP_x18000.jpg');
% picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\02_rouska_4_BSE-COMP_x1100.jpg');
picOrig=imread('C:\Data\Remoska_Nano\Vstup\01_rouska_4_BSE-COMP_x420.jpg');

%% Rozsireni kontrastu
threshold_low=80;
threshold_high=100;
[picContrastEnhance] = Contrast_Enhance(picOrig, threshold_low, threshold_high);
% imshow(picContrastEnhance)

%% Filtr osamocenych Px v obraze
det_rad=15; %detekcni radius
suma=0;
det_thr=10; %detection threshold
for y=det_rad+1:size(picContrastEnhance,1)-det_rad-1
    for x=det_rad+1:size(picContrastEnhance,2)-det_rad-1
        if picContrastEnhance(y,x)>220
            for i=y-det_rad:y+det_rad
                for j=x-det_rad:x+det_rad
                    suma=suma+picContrastEnhance(i,j);
                end
            end
        end
        if suma<det_thr
            picContrastEnhance(y,x)=0;
        end
        suma=0;
    end
end

%% Vypocet ploch
threshold=130;
sumBrighter=0; sumDarker=0;
picBrighter(1:size(picContrastEnhance,1),1:size(picContrastEnhance,2))=0;
picDarker=picBrighter;
for y=1:size(picContrastEnhance,1)
    for x=1:size(picContrastEnhance,2)
        if picContrastEnhance(y,x)>threshold
            sumBrighter=sumBrighter+1;
            picBrighter(y,x)=255;
        else
            sumDarker=sumDarker+1;
            picDarker(y,x)=255;
        end
    end
end
end
% pomer Vlaken k Mezeram = PxRation; v %;
```



```
PxRatio=sumBrighter/(size(picContrastEnhance,1)*size(picContrastEnhance,2)/100);  
%%  
clear x y  
%% TISK  
figure(1)  
clf(figure(1))  
imshow(picOrig)  
text(200,150,['Rozlišení obrazu ' num2str(size(picContrastEnhance,1)) 'x'  
num2str(size(picContrastEnhance,2))'],'Color',[1 0.1 0.1], 'FontSize',36)  
text(200,300,['Míra vyplnění plochy ' num2str(PxRatio,3) ' %'],'Color',[1 0.1  
0.1], 'FontSize',36)  
saveas(figure(1),'C:\Data\Remoska_Nano\Vystup\01_Original.jpg')  
close(figure(1))  
  
figure(2)  
clf(figure(2))  
imshow(picContrastEnhance)  
saveas(figure(2),'C:\Data\Remoska_Nano\Vystup\02_ContrastEnhance.jpg')  
close(figure(2))  
  
figure(3)  
clf(figure(3))  
imshow(picBrighter)  
saveas(figure(3),'C:\Data\Remoska_Nano\Vystup\03_Svetle body.jpg')  
close(figure(3))  
  
figure(4)  
clf(figure(4))  
imshow(picDarker)  
saveas(figure(4),'C:\Data\Remoska_Nano\Vystup\04_Tmave body.jpg')  
close(figure(4))
```

```
function [pic] = Contrast_Enhance(pic,threshold_low,threshold_high)  
  
pic3=pic;  
  
%% Odstraneni Px s jasy < a > nez threshold LOW a HIGH. ostatni Px zustanou puvodni  
% threshold_low=45; %minimalni jas v obraze  
% threshold_high=85;%maximalni jhas v obraze  
% uvnitr hraniceí se jas rozsiri v rozmezi 0 - 255  
for y=1:size(pic,1)  
    for x=1:size(pic,2)  
        if pic(y,x)<threshold_low  
            pic3(y,x)=threshold_low;  
        end  
        if pic(y,x)>threshold_high  
            pic3(y,x)=threshold_high;  
        end  
    end  
end  
deltaPx=threshold_high-threshold_low+1;  
koefPx=255/deltaPx;  
for y=1:size(pic3,1)  
    for x=1:size(pic3,2)  
        pic3(y,x)=round((pic3(y,x)-threshold_low+1)*koefPx);  
    end  
end  
  
pic=pic3;  
clear pic3  
end
```