

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Jiří Chvojka

Speciální kolektory pro elektrostatické zvlákňování

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: **SPECIÁLNÍ KOLEKTORY PRO
ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ**

Autor: **Ing. Jiří Chvojka**

Obor doktorského studia: textilní technika

Forma studia: prezenční

Školící pracoviště: Katedra netkanných textilií a nanovláknenných materiálů, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 460 17

Školitel: prof. RNDr. David Lukáš, CSc.

Školitel specialista: Ing. Pavel Pokorný, Ph.D

Liberec 2012

1. Předmět a cíl práce

Předmětem disertační práce je vytvořit přehled a rozdělení speciálních kolektorů. Ukázat široké možnosti příprav nanovláknenných vrstev na kolektorech. Nanovláknenné vrstvy mohou dosahovat různých plošných hmotností. Další možností je vytváření vzorovaných a orientovaných nanovláknenných vrstev. Kolektory navržené a popsány v práci je možné následně použít také pro průmyslovou výrobu nanovláknenných materiálů.

Cílem mojí disertační práce je ovlivňovat elektrické pole pomocí speciálních kolektorů ve zvlákňovacím prostoru a tím ovlivnit samotný proces elektrického zvlákňování (elektrospinningu). Hlavním cílem práce je navrhnout a vytvořit takové kolektory, které umožní vytvoření nanovláknenné vrstvy použitelné zejména pro tkáňové inženýrství. Dále připravit materiály vhodné pro filtraci a obecně ovlivnit strukturu nanovláknenných vrstev tak, aby splňovaly nároky na ně kladené v dané aplikaci.

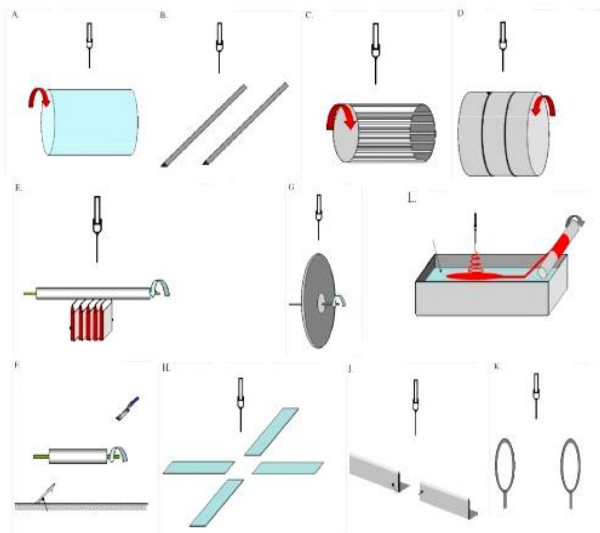
2. Přehled současného stavu problematiky

Elektrostatické zvlákňování, správněji elektrické zvlákňování, je proces, při kterém působí elektrické síly na polymerní roztok nebo taveninu. Pomocí samo-organizace hmoty se za vhodných podmínek vytvoří velmi jemná vlákna, která jsou uložena na kolektoru. Průměr vláken se pohybuje kolem 300 nm v závislosti podle typu polymeru a vnějších podmínek při zvlákňování.

Elektrické zvlákňování a elektrostatické rozprašování bylo pozorováno již počátkem minulého století a popsáno v patentech (Cooley, 1902; Morton, 1902; Formhals, 1934). Další experimenty prováděl (Taylor, 1969), který se soustředil na předpovědi velikosti napětí. Toto napětí nazýval kritické napětí a formuloval vztah, pomocí kterého předpovídal destabilizaci hladiny kapaliny na hrotu uzavřené kapiláry.

V současnosti se usiluje především o zvýšení produktivity a efektivnosti elektrického zvlákňování. Proces je založen na vytváření zvlákňovacích zařízení s velkým množstvím kapalinových trysek. Jednou z cest je vytvoření seskupení jehel do řad nebo polí (Theron, et al., 2005). Nevýhodou těchto zařízení je výměna a čištění polymerního roztoku ve všech kapalinových tryskách resp. jehlových kapilárách. Další možností vytvoření velkého množství kapalinových trysek je elektrostatické zvlákňování z volné hladiny polymerního roztoku. Na hladině dochází k tvorbě nestabilit a tedy tvorbě Taylorových kuželů, ze kterých dochází k elektrickému zvlákňování, jak je uvedeno v patentu (Jirsák, 2005). Tento způsob výroby nanovláken je plně komerčně využíván v zařízení označovaném NANOSPIDERTM.

Publikace, která se detailně zabývá elektrostatickým zvlákňováním a popisuje různé metody ukládání nanovláken je od autorů (Teo & Ramakrishna, 2006). Publikace obsahuje přehled a porovnání jednotlivých typů kolektorů Obr. 1, na které se ukládají nanovláknena. Pomocí geometrie speciálních kolektorů dochází k vytvoření různě orientovaných struktur.

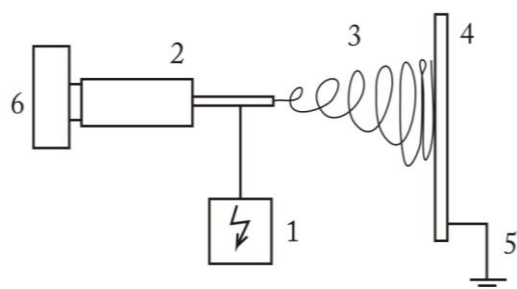


Obr. 1: Možnosti ukládání nanovláken na speciální kolektory, převzato z (Teo & Ramakrishna, 2006) A – rotační válec, B – paralelní elektrody, C – rotační válec vytvořený z drátů, D – rotační válec s dráty navitými na jeho povrchu, E – Rotační válcový kolektor s lamelovými elektrodami umístěnými pod kolektorem, F – rotační válec jako kolektor a naostřená lamelová elektroda, G – diskový kolektor, H – kolektor vytvořený z pravidelných proti elektrod, J – ocelová ostří umístěná v linii, K – kruhové kolektory umístěné paralelně.

Přehledná monografie věnující se fyzikálním principům elektrostatického zvlákňování je od autorů (Lukáš a kol. 2009). Publikace obsahuje oddíl věnující se speciálním kolektorům, kde autorem je Chvojka.

3. Použité metody

Všechny níže popsané metody byly použity pro výrobu nanovláken za použití speciálních kolektorů. **Metoda výroby nanovláken z kovové trysky nebo chirurgické jehly** je označována jako jehlové zvlákňování. V případě povrchu polymerního roztoku vytvořeného na hrotu samotné zvlákňovací jehly, je počet vytvořených Taylorových kuželů velice nízký cca 1-3 ks. Záleží na velikosti kapky, intenzitě pole a použitém polymerním roztoku. Efektivita jehlového procesu je zpravidla označována jako velmi nízká. Schéma zařízení s jednou jehlou v horizontální poloze je zobrazeno na Obr. 2. Polymerní roztok je umístěn v injekční stříkačce, která je vložena do dávkovacího zařízení. Jako nejvhodnější se jeví lineární dávkovací pumpy. Vysoké napětí ze zdroje je přivedeno na kovovou část jehly. Zpravidla na tuto část přivádíme napětí z kladného zdroje vysokého napětí. Oproti jehle je v dostatečné vzdálenosti umístěn kolektor, na který se ukládají právě vytvořená nanovlákná. Kolektor bývá zpravidla uzemněn nebo se s výhodou využívá připojení na záporný vysokonapěťový zdroj.



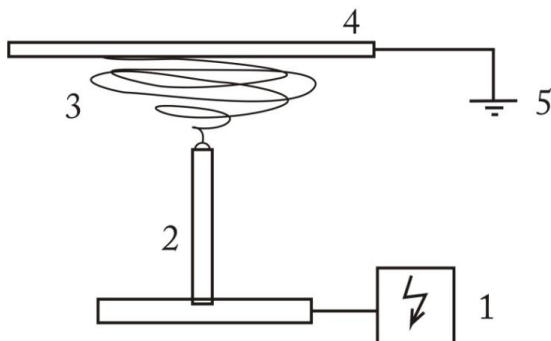
A



B

Obr. 2: A – Schematické znázornění elektrostatického zvlákňování z jehly, 1 zdroj vysokého napětí, 2 stříkačka s polymerním roztokem, 3 nanovláknna putující ke kolektoru, 4 kolektor, 5 uzemnění, 6 dávkovací pumpa, B – Experiment elektrostatického zvlákňování (výroba TUL loga), 2 stříkačka s polymerním roztokem, 3 nanovláknna putující ke kolektoru, 4 kolektor.

Metoda elektrostatického zvlákňování z ocelového trnu má ve srovnání s jehlou vyšší výrobnost, protože vrchol ocelového trnu má větší plochu a tak je na jeho vrcholu umístěna kapka polymeru o větším objemu a také větší ploše. Nevýhodou této metody je diskontinuita celého procesu, kdy po vyčerpání celého objemu polymeru na vrcholu trnu je nutné celý proces ukončit a následně doplnit polymer. Metoda je zobrazena na Obr. 3. Ocelový trn je napojen na kladný zdroj vysokého napětí. Nad ocelovým trnem je umístěn v dostatečné vzdálenosti kolektor, na který se ukládají nanovláknna.



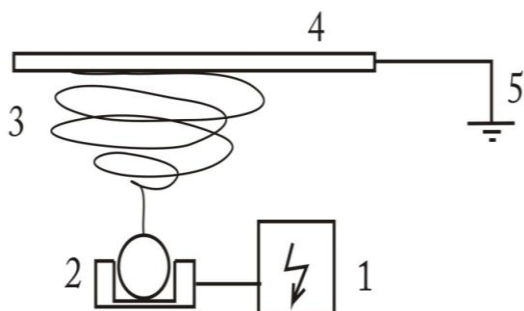
A



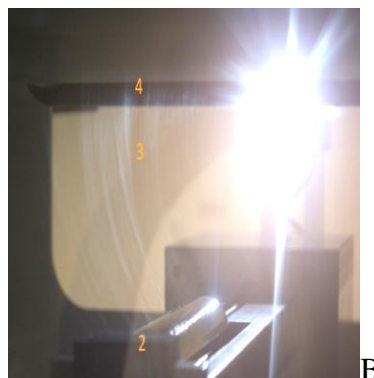
B

Obr. 3: A – Schematické znázornění elektrostatické zvlákňování z ocelového trnu, 1 zdroj vysokého napětí, 2 ocelový trn s roztokem polymeru, 3 nanovláknna putující ke kolektoru, 4 kolektor, 5 uzemnění, B – foto z experimentální činnosti za použití této metody, 2 ocelový trn s roztokem polymeru, 3 nanovláknna putující ke kolektoru, 4 kolektor

Metoda a zařízení NANOSPIDER™, byla vyvinuta na Technické univerzitě v Liberci kolektivem vědců a byl podán světový patent (Jirsák, 2005). Metoda slouží k průmyslové výrobě nanovláken viz Obr. 4. Válec vynáší rotačním pohybem polymer na svůj povrch a tam dochází k tvorbě Taylorových kuželů a k samotnému elektrostatickému zvlákňování. Tato metoda vykazuje největší efektivitu, protože zde vzniká největší počet kónusů a tedy dochází k největší výrobnosti nanovláknenné vrstvy. Výhodou této metody je zejména kontinuální proces, velká výrobnost, snadné čištění, doplňování celého zařízení a výměna nového typu polymerního roztoku.



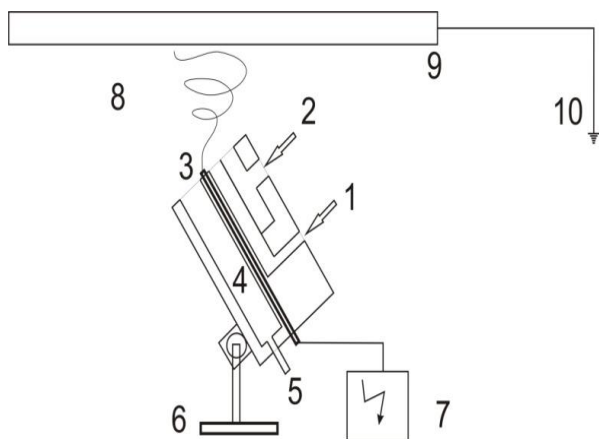
A



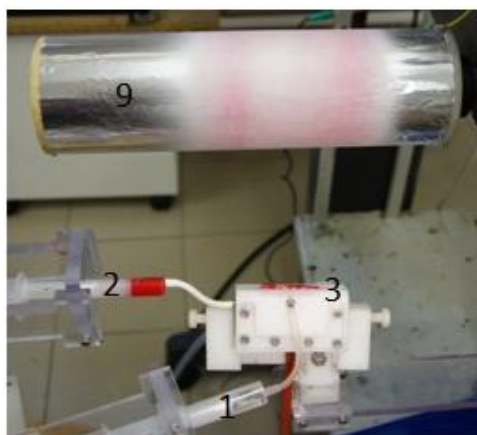
B

Obr. 4: A – Schematické znázornění elektrostatického zvlákňování metodou Nanospider, 1 zdroj vysokého napětí, 2 váleček brodící se v roztoku polymeru, 3 nanovláknna putující ke kolektoru, 4 kolektor, 5 uzemnění kolektoru, B – Foto z experimentální činnosti 2 váleček s roztokem polymeru na povrchu, 3 nanovláknna putující ke kolektoru, 4 kolektor s nanovláknennou vrstvou.

Metoda přeplavovacího zvlákňovacího zařízení a její použití vzniklo na Technické univerzitě v Liberci. Zařízení je patentováno (Pokorny, et al., 2011) a využívá princip zvlákňování polymerních roztoků z volné hladiny. Výhodou tohoto zařízení je možnost kombinace současně dvou polymerních roztoků viz Obr. 5. Pomocí dvojice dávkovacích lineárních pump dochází k přesnému dávkování polymerního roztoku typu A, současně možností dávkování polymerního roztoku typu B. Tyto polymerní roztoky jsou dopravovány na elektricky vodivou hranu, kde dochází k elektrickému zvlákňování. Pomocí tohoto zařízení je možné vytvářet koaxiální struktury nanovláken, tedy struktury vláken složené ze dvou různých, nebo podobných typů polymerů. Je velice důležité přesně dávkovat polymerní roztoky tak, aby docházelo k překryvu obou polymerních roztoků přesně na vodivé hraně a docílilo se požadované koaxiální struktury.



A



B

Obr. 5: A - Schematické znázornění přepravovacího spinneru, 1 vstup polymeru A, 2 vstup polymeru B, 3 elektricky vodivá hrana, 4 odváděcí komora pro polymery, 5 odvod použitých polymerů, 6 držák zařízení, 7 zdroj vysokého napětí, 8 nanovláknna, 9 kolektor, 10 uzemnění. B – experimentální sestavení plavovacího spinneru, 1 vstup polymeru A, 2 vstup polymeru B, 3 elektricky vodivá hrana, 9 speciální rotační kolektor.

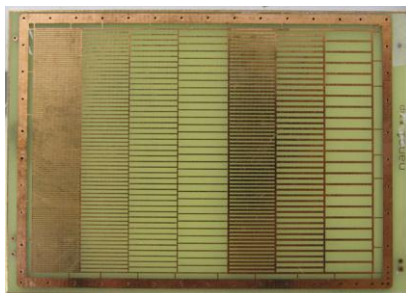
4. Přehled dosažených výsledků

Statické kolektory

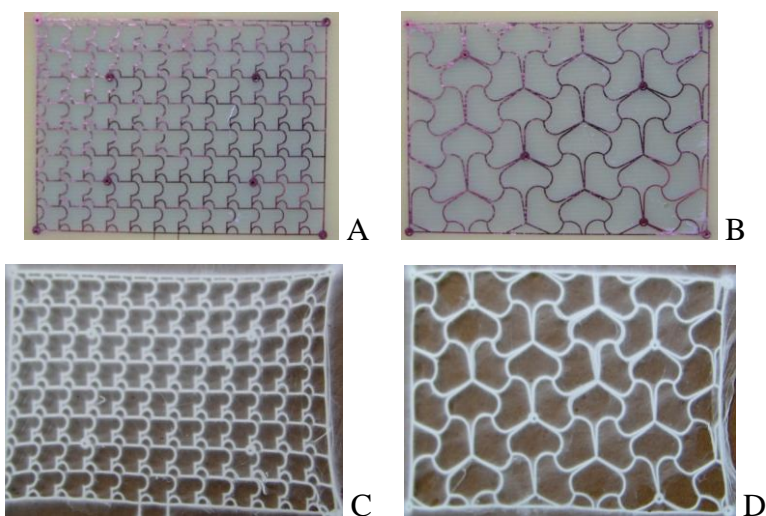
Pojmem statické kolektory budu označovat části pro ukládání nanovláknenných materiálů, které nevykonávají během ukládání nanovláken žádný pohyb. Tyto kolektory jsou pevně přichyceny k rámu, který dovoluje nastavit požadovanou vzdálenost mezi zvláknovací elektrodou a kolektorem.

Plošné statické kolektory

Název plošných statických kolektorů se odvíjí od jejich tvaru a od plošných spojů, které se za tímto účelem vyrábí. Kolektor je vytvořen z kuprexitové desky, na kterou se přenese předem definovaný vzor. Struktura nanovláknenné vrstvy musí odpovídat struktuře speciálního plošného kolektoru. Na Obr. 6 je zobrazen kolektor, který má různou jemnost rastru (mřížky). Velikost speciálního kolektoru byla 80x60 mm. Při experimentální činnosti bylo dosaženo jemnosti 0,15 mm, kde ještě byla rozpoznatelná místa s vyšší plošnou hmotností nanovláknenné vrstvy. Jemnější strukturu mřížky nebylo možno dosáhnout, protože toto bylo limitováno samotným výrobním postupem plošných spojů.

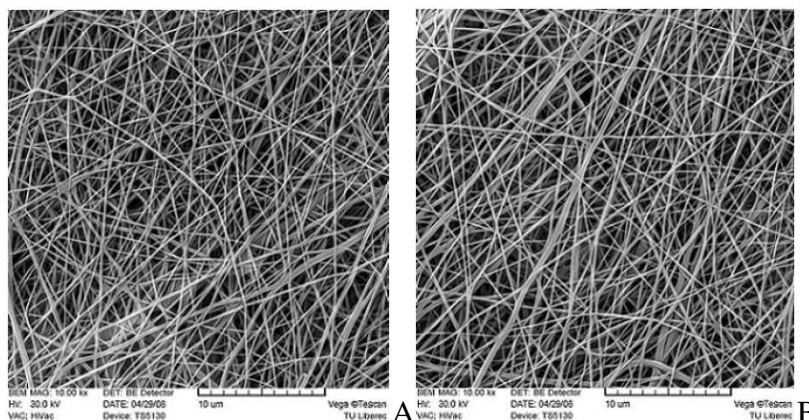


Obr. 6: Speciální kolektor 80x60 mm, plošný spoj skládající se z vodivé mřížky s různou jemností. Vzdálenosti mřížky se pohybují od 0,15 mm do 1,85 mm.



Obr. 7: Plošné spoje a vytvořené nanovláknenné vrstvy; A, B – kuprexitové destičky s vyleptaným vzorem o rozměrech 80 x 60 mm; C, D – vytvořené nanovláknenné vrstvy.

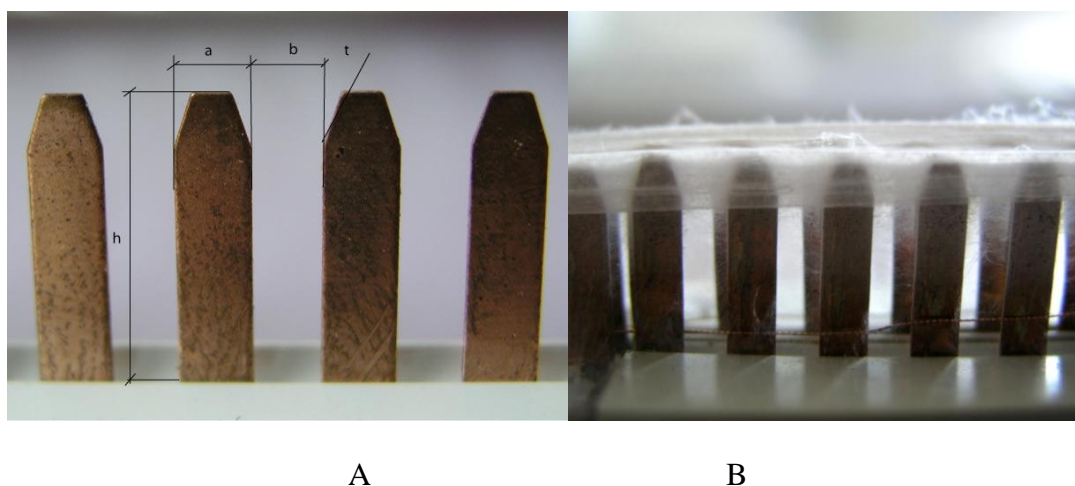
Kuprexitová deska byla uzemněná a nacházela se ve vzdálenosti 100 mm od jehly. Jako použitý polymer byl zvolen polyvinylalkohol (PVA) o koncentraci 12 wt%. Vytvořené nanovláknenné vrstvy byly zkoumány na elektronovém mikroskopu, byla provedena analýza velikosti průměrů vláken. Pořízené snímky jsou na Obr. 8. Byly odebrány dva vzorky. První vzorek A byl z vodivého místa, tedy z místa s vyšší plošnou hustotou a vzorek B byl z místa s nižší plošnou hustotou. Zvětšení obou vzorků je 10 000x. Analýza průměrů vláken provedená na 60 místech u vzorku A a B odhalila jemnosti nanovláken.



Obr. 8: Snímky z elektronového mikroskopu; A – nanovláknenná vrstva na vodivém místě, B – nanovláknenná vrstva mimo vodivé místo.

Prostorové statické kolektory

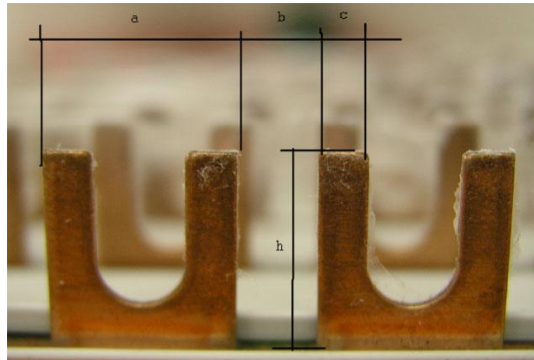
Mechanicky odolnější vrstvy byly vytvářeny na nových statických kolektorech, které se od předchozích lišily povrchem. Povrch byl tvořen z vodivých kovových částí, které vystupují nad povrch základní nosné desky. Jako nejvhodnější se jevil speciální hřebenový kolektor, kde tvar vodivých lamel představoval písmeno „I“ viz Obr. 9.



Obr. 9: A – Speciální kolektor typu I, rozměry, $h = 11$ mm, $a = 3$ mm, $b = 3$ mm, $t = 45^\circ$, B – nanovláknenná vrstva, která je převážně uložena na vrcholcích kolektor typu I.

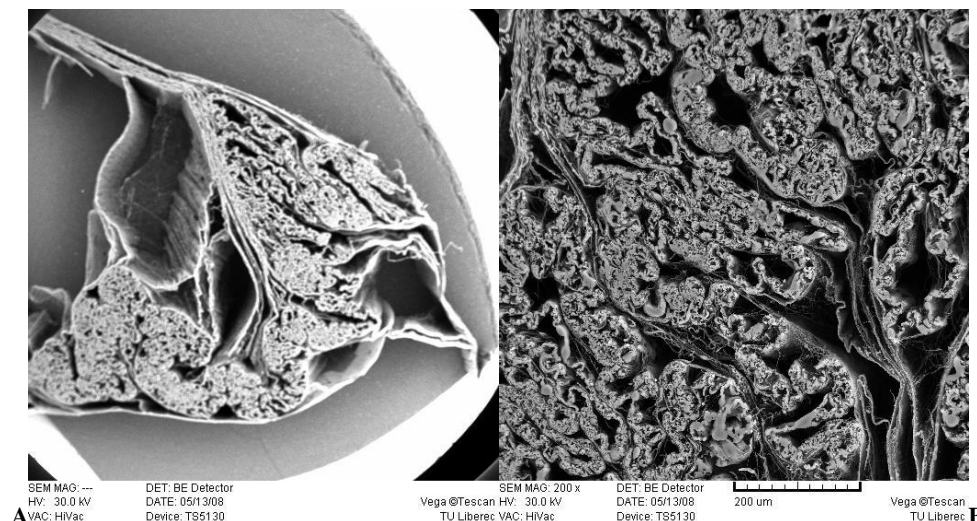
Článek na toto téma byl publikován v impaktovaném časopise Recent advances in textile composites 2010.

Pro experimenty byly zvoleny dva podélně uložené hřebeny vzdálené 5 mm, které se skládaly z několika menších hřebenu. Menší hřeben obsahoval 10 jednotlivých vodivých lamel. Označení je podle tvaru vodivých míst nebo lépe podle tvaru jeho strukturovaného povrchu. Povrch tvoří soustava vodivých lamel tvaru U, viz 10. Tyto hřebeny jsou vzájemně vodivě propojeny a uloženy v několika paralelních řadách. Vlivem geometrického tvaru povrchu kolektoru dochází ovlivnění elektrického pole v jeho blízkosti a následnému řízenému ukládáním nanovláken.



Obr. 10: Speciální kolektor typ U, $h = 12 \text{ mm}$, $a = 12 \text{ mm}$, $b = 5 \text{ mm}$, $c = 3 \text{ mm}$, dolní průměr $d = 6 \text{ mm}$

Nanovlákná vrstva se ukládá primárně na povrch vodivých míst. Tedy pokrývala plochá místa lamel typu „U“. Po 5 min ukládání vláken se pokryl celý povrch kolektoru tenkou pavučinou a nanovlákná se začala ukládat již na vytvořenou vrstvu nanovláken. Na povrchu kolektoru se vytvářely útvary, které mají 3D reliéf. Reliéf připomínal pohoří s vysokými příkrými vrcholky. Struktura je zobrazena na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.1**. Tvoří ji náhodně skládané nanovlákné vrstvy, které vytvářejí velice pevné trojrozměrné celky podobné lidské kosti.

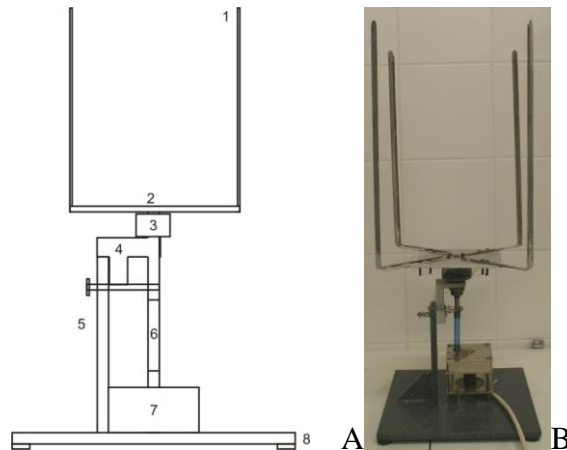


Obr. 11: A -Makrostruktura a B - SEM snímek nanovlákné vrstvy vytvořené na speciálním kolektoru typu U.

Článek na toto téma byl publikován v impaktovaném časopise International journal of artificial organs 2011.

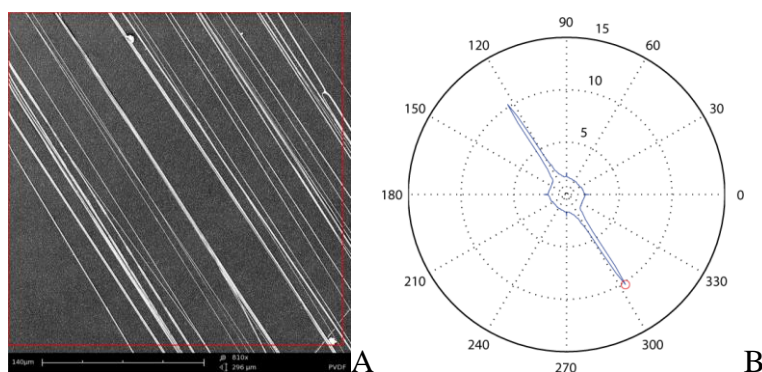
Rotační čtyřramenný kolektor

Pro přípravu orientovaných nanovláknenných vrstev byl navrhnut a sestaven rotační čtyřramenný kolektor **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**12. Toto zařízení obsahuje čtyři vodivé kovové lamely, které jsou umístěny na čtvercové desce. Lamely jsou do tvaru písmene L, kdy rozměry kratších stran jsou 130 mm a delších stran jsou 350 mm. Použitý materiál je ocelový plát o šířce 13 mm a tloušťce 2 mm. Pro zvýšení tuhosti lamel jsou tyto na vnitřní straně vyztuženy ocelovým drátem o průměru 1 mm. Vzdálenost jednotlivých lamel od sebe je možno regulovat v rozmezí od 220 mm do 300 mm.



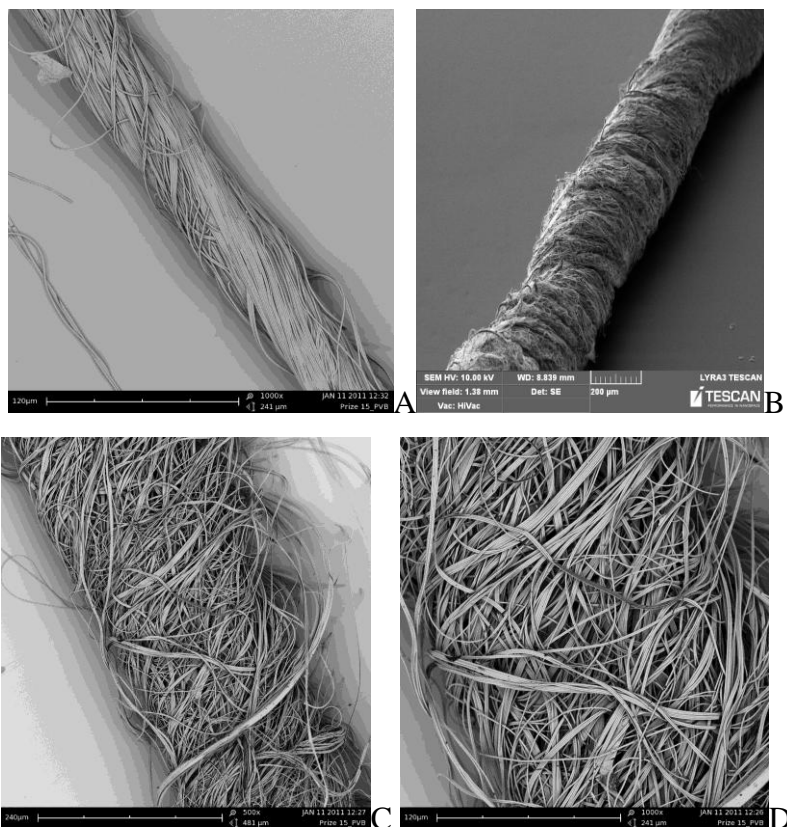
Obr. 12: Rotační čtyřramenný kolektor, A – schematické zařízení – 1 vodivé kovové lamely, 2 podložní deska, 3 válcová objímka, 4 statický rám, 5 připojení vysokého napětí, 6 hřídel, 7 elektromotor 12V DC, 8 deska, B – fotografie zařízení rotačního čtyřramenného kolektoru.

Tato technologie výroby zaručuje orientaci vláken s preferencí v jednom směru, až 99% viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**13. Výhodou může být použití vodivých polymerů a využití vytvořených vrstev jako senzory, filtry nebo nanopříze.



Obr. 13: Směrová analýza připravené nanovláknenné vrstvy, (A) vstupní obraz, (B) polární diagram,

Orientované nanovláknenné vrstvy mohou být pomocí zákrutu modifikovány do finálního produktu nanovláknenných přízí, které jsou zobrazeny na Obr. 16.

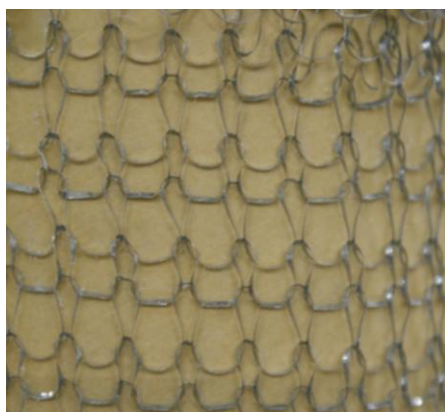


Obr. 16: A – nanovláknenná příze vytvořená z polyvinylbutyralu (PVB) s průměrem cca. 60 μm, B – nanovláknenná příze vytvořená z polykaprolaktonu (PCL) s průměrem cca. 200 μm, C – příze vytvořená z (PVB), D – detail povrchu příze z (PVB).

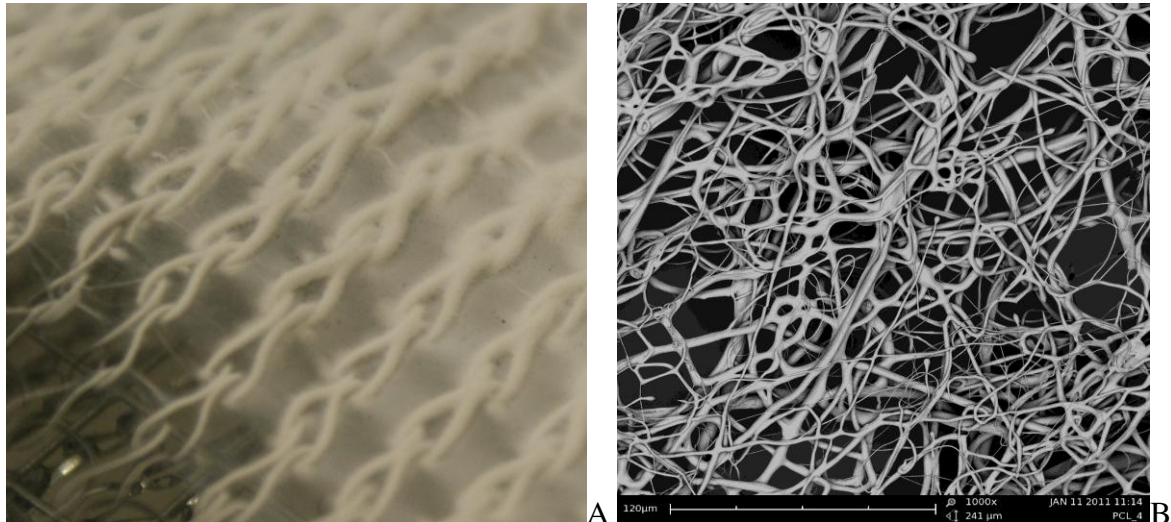
Článek na toto téma byl publikován a také přednesen na mezinárodní konferenci Nanocon 2009.

Rotační válec se strukturovaným povrchem

Speciální kolektor navržen a sestaven pro kontinuální ukládání nanovláken. Kolektor byl tvořen válcovým tvarem, na jehož povrchu byl vodivý kovový materiál Obr. 17. Tento povrch se skládal z kovové pleteniny, která byla upevněna na povrchu válce. Detailní snímek připravené nanovláknenné vrstvy a vodivého povrchu kolektoru je na Obr. 176.



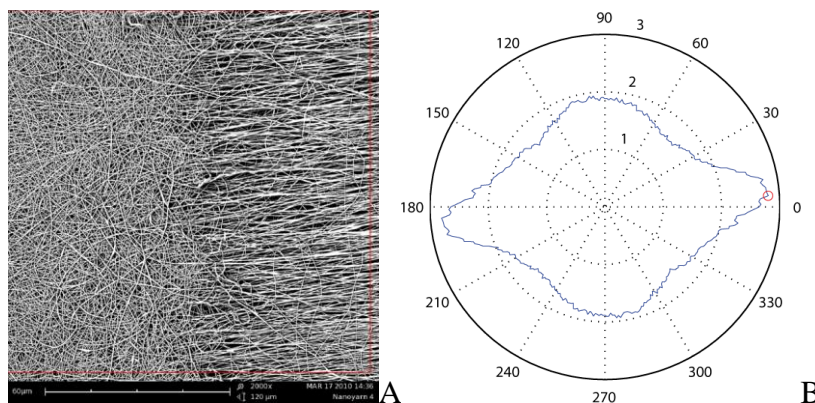
Obr. 17: Povrch válcového kolektoru a vytvořená nanovláknenná vrstva.



Obr. 16: A – Detail speciálního kolektoru s nanovláknennou vrstvou, vytvořená nanovláknenná vrstva s řetězovým vzorem, B snímek SEM nanovláknenné vrstvy pomocí elektronového mikroskopu.

Článek na toto téma byl publikován v impaktovaném časopise Cell proliferation 2013.

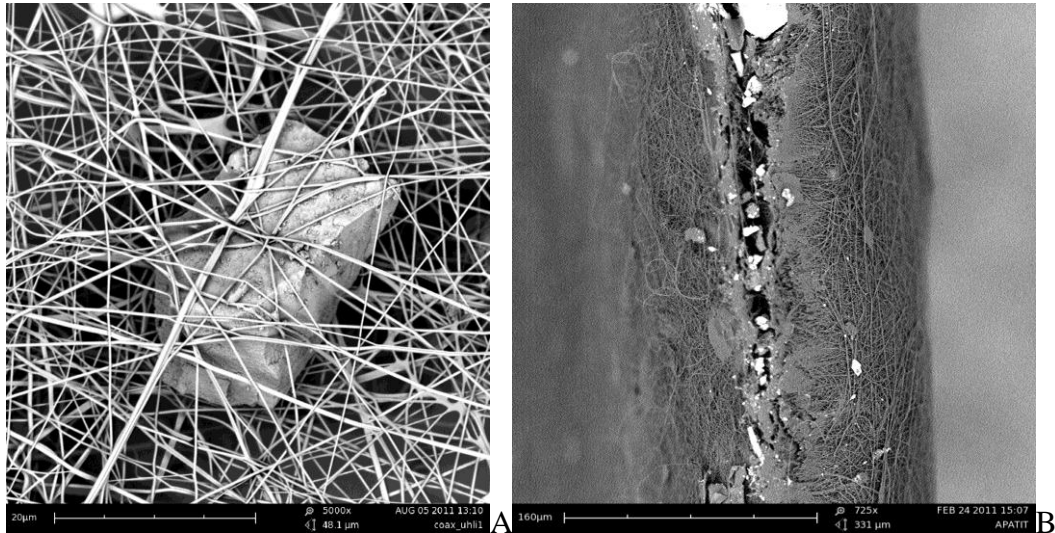
Další možností je vytvoření kombinovaných nanovláknenných struktur. První strukturou je náhodné ukládání vláken a druhou strukturou jsou nanovláknena orientovaná. Spojení těchto dvou struktur tvoří velice zajímavý materiál pro následné testování v oblastech buněčného inženýrství. Provedená analýza připravených vrstev, kde prokazatelně dochází ke střídání anizotropního a izotropního uspořádání vláken Obr. 1717.



Obr. 17: A – vstupní obraz, B – polární diagram,

Nanovláknena s přidavkem prášků

Materiály a technologie vznikly na základě jednání s přednostou Liberecké nemocnice Richardem Lukášem, který projevil zájem o kryty ran. Hlavním požadavkem bylo využití technologie elektrického zvláknování a vnášení (naprašování) pevných částic do materiálu Obr. 1718. Takto vytvořené materiály budou v budoucnu sloužit jako scaffold pro náhradu kůže.



Obr. 18: A – Rostlinné uhlí uzavřené v nanovlákně, B – sendvičová struktura a použití materiálu hydroxiapatit.

Výsledky vnášení prášku byly patentovány a jsou chráněny evropským patentem. Autor je součástí patentového týmu. Současně výsledky jsou publikovány v impaktovaném časopise. Práškové kompozitní materiály jsou používány ve filtraci. Práškový materiál je pevně uchycen mezi nanovláknky, ale přesto má volný aktivní povrch, což je výhodou oproti uložení v pěnách.

5. Zhodnocení výsledků a nových poznatků

Práce přináší nové poznatky v oblasti ukládání nanovláken, tvorby nanovlákných svazků nebo vysoce objemných nanovlákných vrstev. Popisuje originální návrhy speciálních kolektorů, se zaměřením jejich technologickou funkcí a na popis elektrického pole v těsné blízkosti samotného kolektoru. Smyslem práce bylo pokusit se predikovat místa na speciálním kolektoru, kde bude nanovlákná vrstva přednostně ukládána a také předvídat, jakou budou mít tyto vrstvy výslednou strukturu. Přínosem práce je propojení analytických metod fyzikálního popisu elektrického pole v blízkosti speciálních kolektorů s modelováním v programu Comsol Multiphysic a porovnání vypočtených hodnot s grafickými výsledky. Jádrem práce jsou komplexní návrhy řady speciálních kolektorů pro řízené ukládání nanovláken. Mnou vytvořené speciální kolektory jsou plošné statické kolektory, které se dělí na Nanoelektrody, plošné spoje, šachovnicový kolektor a vodivou mřížku. Další typem jsou prostorové statické kolektory, které jsou rozděleny na plošný kolektor s drátkovými kartáčky, vodivý hřeben typu ‚I‘, vodivý hřeben typu ‚U‘, řada dvou hřebenů typu ‚I‘. Dále jsou to rotační kolektory, kde je navržen rotační čtyřramenný kolektor, rotační válec se strukturovaným povrchem, rotující strunný kolektor. Prvotní činností byl ideový návrh speciálního kolektoru vytvořený na základě znalostí teorie elektrostatického pole, následovaly inženýrské realizace zvláknovacích zařízení se speciálními kolektory. Následně byly prováděny technologické experimenty, jejichž výstupem byly strukturované nanovlákné vrstvy. Tyto vrstvy byly podrobeny mikroskopické analýze na elektronovém mikroskopu. Přesné určení a vyhodnocení směru nanovláken ve vytvořených nanovlákných vrstvách byl využit program pro analýzu směrů. Vytvořené vrstvy byly následně poslány na biologické testy na specializované pracoviště 2. LF v Praze.

6. Práce autora se vztahem ke studované problematice

Chvojka J.: Needle Electrode – Special Collector, 10-th School – conference „Advanced materials and Technologies“, 2008, Palanga, Lithuania, ISSN 1822-7759

Martinová, L., Lubasová, D., Chvojka, J.: Solvent effect on electrospinning of poly(lactic-co-glycolic acid), In: Autex 2008, 24-26 June, Biela, Italy, ISBN 978-88-89280-49-2.

Chvojka, J.: Needle electrode special collectors, Autex 2008, 24-26 June, Biela, Italy, ISBN 978-88-89280-49-2.

Lukáš, D., Sarkar, A., Martinová, L., Vodsed'álková, K., Lubasová, D., Chaloupek, J., Pokorný, P., Mikeš, P., Chvojka, J. and Komárek, M., 2009. Physical Principles of electrospinning (Electrospinning as a Nano-scale Technology of the 21st Century). *Textile Progress*, 41 (2), pp. 95-105.

Chvojka J., Lukaš D.: Electrospun nanoyarns produced using special collectors, sborník přednášek, Nanocon 2009, ISBN 978-80-87294-12-3

Chvojka J., Lukas D.: 3 dimensional nanofibrous layer, sbornik přednašek Autex2009, Izmir, Turkey, ISBN: 978-975-483-787-2

Chvojka J., Lukas D., Mikes P.: Patterned nanofibrous layers, book of abstrakts, 7th International Conference on Nanoscience&Nanotechnologies NN10, 2010

Chvojka J., Lukas D.: Electrospun nanoyarns produced using special collectors, Non-standard Application of Physical Fields, January 2010, Liberec, ISBN 978-80-7372-561-7

Vysloužilová L., Chvojka J., Lukáš D.: Oriented nanofibrous layers, Recent advances in textile composites Texcomp10, October 2010, pp. 187-193, ISBN: 978-1-60595-026-6,

Chvojka J., Pokorná M., Lukáš D.: Woven fabric created by nanofibrous yarns, Nanocon, October 2010, Olomouc, pp. 98-102, ISBN: 978-80-87294-19-2

Chvojka J., Lukas D.: Special collector for deposition oriented nanofibres, NanoOstrava, April 2011, Ostrava, pp 29, ISBN 978-80-7329-264-5

Chvojka J., Pokorná M., Lukáš D.: Woven fabric created by nanofibrous yarns, Technická univerzita v Liberci, January 2011, pp 11-16, ISBN:978-80-7372-714-7

Chvojka J.: Speciální kolektory pro elektrostatické zvlákňování, Technická univerzita v Liberci, September 2011, pp. 29-33, ISBN-978-80-7372-765-9

Chvojka J., Erben J., Mikeš P., Lukaš D.: Nanofibrous Materials Prepared by Fibre - Blowing and Electrospinning Process, AUTEX 2012 - 12nd World Textile Conference, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia, ISBN: 978-1-62100-336-6.

7. Literatura

- Cooley, J. F., 1902. *Apparatus for electrically dispersing fluids*. US patent office, Patent č. 692631.
- Formhals, A., 1934. *Process and apparatus for preparing artificial threads*. US Patent, Patent č. 1975504.
- Lukas D., Sarkar A., Martinova L., Vodsedalkova K., Lubasova D., Chaloupek J., Pokorny P., Mikes P., Chvojka J. and Komarek M.: *Physical principles of electrospinning (Electrospinning as a nano-scale technology of the twenty-first century)*, Textile Progress/ Taylor&Francis, Vol. 41, No. 2, 2009, 59-140, pp. 116-123, ISBN – 13: 978-0-415-55823-5
- Jirsák, O. a. k., 2005. *Způsob výroby nanovláken z polymerního roztoku a zařízení k průvádění způsobu*. CZ, Patent č. 294272B6.
- Morton, W., 1902. United States, Patent č. 705691.
- Pokorny, P. a další, 2011. *Způsob a zařízení k výrobě nanovláken přeplavovacími elektrostatickým zvlákněním*. Česká republika, Patent č. 302876.
- Taylor, G., 1969. Electrically Driven Jets. *Proc. R. Soc. Lond. A 2*, vol. 313 no. 1515, pp. 453-475.
- Teo, W. & Ramakrishna, S., 2006. A review on electrospinning design and nanofibre assemblies. *Nanotechnology 17*, pp. 89-106.
- Theron, S., Yarin, A. & Zussman, E., 2005. Multiple jets in electrospinning: experiment a medelling. *Polymer 46*.

8. Summary

The aim of the dissertation thesis is to influence the electrostatic field through the special collectors in the space between electrodes and by that influence the process of electrospinning by itself. I would like to suggest and produce a kind of collectors which enable the production of a nanofibre layer that can be mainly used for tissue engineering. My aim also is to design the materials suitable for example for filtration and generally influence the structure of nanofibre layers so they refer to demands which are laid on them in a particular application. I introduce the photos of designed and produced collectors and complete them with analyses of nanofibre layers by the electron microscope and by the picture analyses. The thesis also contains the mathematic modelling of electric field with the aid of Comsol Multiphysics Programme for investigation of physical substance of electric field close to the special collectors. Electrically spun layers are being tested on proliferation of cells in cooperation with the 2nd Medical Faculty of Charles University of Prague. The aim of the thesis is to produce the summary of types of special collectors. I would like to show a wide range of possibilities to prepare unconventional nanofibre layers of various sheet mass, the ways to influence the average of nanofibres and also the possibility of production of patterned nanofibre layers. The collectors described in the thesis can be also used for industry production.

Vydala Textilní fakulta, Technické univerzity v Liberci
jako interní publikaci pod pořadovým číslem
DFT/7/2012 v počtu 20 výtisků