

Vláknenné struktury připravené technologií spunbond

Natálie Horáková

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Natalie Horáková**
Osobní číslo: **T15227**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vláknenné struktury připravené technologií spunbond**

Zásady pro vypracování:

Vypracovat literární studii na dané téma.

Charakterizovat vlastnosti experimentálních vzorků vyrobených technologií spunbond.

Diskutovat výsledky s vedoucím práce.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

S.J. Russell. *Handbook of nonwovens*. Boca Raton, Fla. [et.c.] : Cambridge: CRC press ; Woodhead, 2007. ISBN 9781855736030.

S.K. Batra, B. Pourdeyhimi. *Introduction to nonwovens technology*. Lancaster, PA: Destech Publications, 2012. ISBN 9781605950372.

Ó. Jirsák, K. Kalinová. *Netkané textilie*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-746-2.

R.A. Chapman. *Applications of nonwovens in technical textiles*. Cambridge, U.K: Woodhead Publishing in association with the Textile Institute, 2010. ISBN 9781845694371.

B.D. Ratner. *Biomaterials science an introduction to materials in medicine*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. ISBN 9780080470368.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Kolařík, Ph.D.

Centrum polymerních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 1. března 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: HORÁKOVÁ NATÁLIE

Obor: PTM

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 8.5.2018

Natalie Horáková

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užití-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³¹ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Netkané textilie jsou vlákenné struktury vznikající spojením nekonečných vláken různými technikami pojení. K nejčastěji využívaným technologiím výroby netkaných textilií patří především technologie spunbond a meltblown. Produkty z netkaných textilií v současné době představují nepostradatelnou součást našeho každodenního života a tvoří nejrychleji se rozvíjející oblast textilního odvětví. Mezi jejich největší využití patří hygienické potřeby (dětské pleny, vlhčené ubrousky), obalové materiály, geotextilie, vzduchové a kapalinové filtry, jednorázové oděvy doktorů či vybavení operačních sálů ve zdravotnictví.

K jedné z nejvíce používaných a stále se rozvíjejících se technologií výroby netkaných textilií patří technologie spunbond. Při tomto způsobu výroby dochází ke zvlákňování přímo z polymeru (především z polypropylenu), kdy výsledné produkty oplývají řadou specifických vlastností, např. zvýšenou pevností v tahu a ne příliš dostatečnými filtračními vlastnostmi. Z tohoto důvodu se netkaná textilie vyrábí kombinací vrstev spunbond/meltblown/spunbond, jejíž vnější vrstva zaručuje pevnost výrobku, zatímco vrstva vnitřní určuje její filtrační vlastnosti modifikovatelné průměrem vláken.

Teoretická část předkládané práce popisuje základní materiály použitelné při výrobě netkaných textilií a možné konfigurace průřezů bikomponentních vláken. V praktické části této práce byla pozornost soustředěna na mechanické vlastnosti a jemnost struktury vyrobených netkaných textilií technologií spunbond pro různé materiálové konfigurace bikomponentních vláken při daných procesních podmínkách.

Klíčová slova: Netkaná textilie, spunbond technologie, bikomponentní vlákna, polymerní tavenina

ABSTRACT

Nonwovens are fiber structures formed by joining of endless filaments by various bonding techniques. The most commonly used nonwoven technologies include especially spunbond and meltblown technology. Products made from nonwovens currently represent an essential part of our everyday life and simultaneously belong to the fastest growing branch in textile industry. The greatest utilization of nonwoven textiles is focused on hygiene needs (baby diapers, wet napkins), packaging materials, geotextiles, air and liquid filters, disposable doctor's clothing or equipment of operating theaters in healthcare.

One of the most widely used and still developing technologies of nonwoven production is spunbond technology. During this production, spinning takes place directly from the polymer (especially from polypropylene), when the resulting products reach a range of specific properties, such as increased tensile strength and insufficient filtration properties. For this reason, nonwovens are produced by combination of spunbond/meltblown/spunbond layers, where the outer layer determines product strength while the inner layer determines filtration properties modifiable by fiber diameters.

The theoretical part of the present work describes the basic materials used for the nonwoven production and possible configurations of bicomponent fiber cross-sections. The practical part of this work was focused on mechanical properties and structure softness made by spunbond technology utilizing various material configurations of bicomponent fibers for given processing conditions.

Keywords: Nonwoven, spunbond technology, bicomponent fibres, polymer melt

Chtěla bych poděkovat Ing. Romanu Kolaříkovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady a vynaložený čas, který mi věnoval při vzniku této práce.

Dále děkuji Centru polymerních systémů (registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0111) a projektu Centra kompetence „Centrum pokročilých polymerních a kompozitních materiálů“ (registrační číslo TE01020216) za možnost využití infrastruktury a materiální podpory.

Ráda bych také poděkovala mé rodině za podporu a trpělivost věnovanou během celého mého studia.

Natálie Horáková

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I. TEORETICKÁ ČÁST	13
1 NETKANÉ TEXTILIE	14
1.1 HISTORIE A POČÁTKY TECHNOLOGIE	14
1.2 DEFINICE A KLASIFIKACE	14
1.3 APLIKACE A VYUŽITÍ	15
1.3.1 Zdravotnictví a hygiena	16
1.3.2 Odvětví průmyslu a domácnosti	16
2 CHARAKTERISTIKA NETKANÝCH TEXTILÍ	18
2.1 MATERIÁLY	18
2.1.1 Polypropylenová vlákna	18
2.1.2 Polyamidová vlákna	19
2.1.3 Polyesterová vlákna.....	19
2.1.4 Polyfenylsulfidová vlákna	19
2.1.5 Polylaktidová vlákna	20
2.2 VLÁKNA	20
2.2.1 Základní vlákna	20
2.2.2 Speciální vlákna – bikomponentní typy	20
2.3 VLASTNOSTI	23
3 TECHNOLOGIE VÝROBY NETKANÝCH TEXTILÍ	24
3.1 SPUNBOND TECHNOLOGIE	25
3.1.1 Spunbond linka.....	25
3.1.2 Vytlačovací stroj.....	26
3.1.3 Zubové čerpadlo	26
3.1.4 Zvlákňovací hlava.....	27
3.1.5 Chlazení a formování vláken vzduchem	27
3.1.6 Pojení.....	27
3.1.7 Navíjení	29
3.2 MELTBLOWN TECHNOLOGIE	29
3.3 SPUNBOND VS. MELTBLOWN TECHNOLOGIE	30
3.4 SPUNBOND/MELTBLOWN/SPUNBOND STRUKTURA (SMS)	31
3.5 ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ	32
II. PRAKTICKÁ ČÁST	33
4 CÍLE PRÁCE	34
5 PŘÍPRAVA NETKANÝCH TEXTILÍ	35
5.1 POUŽITÉ MATERIÁLY	35
5.2 VÝROBA NETKANÝCH TEXTILÍ TECHNOLOGIÍ SPUNBOND	35
6 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ	38
6.1 CHARAKTERIZACE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ VYROBENÝCH NETKANÝCH TEXTILÍ	38

6.2 CHARAKTERIZACE STRUKTURY VYROBENÝCH NETKANÝCH TEXTILIÍ	39
ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM TABULEK.....	53

ÚVOD

Technologie výroby netkaných textilií spočívá ve schopnosti shromáždit tisíce samostatných, slabých a obtížně zpracovatelných vláken, do integrovaných, pevných, flexibilních a v nejrůznějších ohledech velmi spolehlivých produktů. Různé obdoby netkané textilie, které se postupně propracovávaly až do dnešní podoby, jsou dohledatelné již ve 4. tisíciletí př. n. l. [1]

Z komerčního hlediska lze technologii spunbond, tzn. technologii výroby netkaných textilií zvlákňováním přímo z polymeru, zařadit mezi nejvyužívanější technologie výroby netkaných textilií. Většina procesů výroby netkaných textilií nabízí pouze textilie jednorázové nebo textilie vícerázové. Naopak technologie spunbond dominuje jak v oblasti výroby textilií jednorázových (např. oblast hygieny), tak i v oblasti výroby textilií vícerázových (např. ve stavebnictví nebo zemědělství). Netkané textilie nachází své uplatnění v celé řadě průmyslových oblastí a aplikací (ve zdravotnictví, automobilovém průmyslu, atd.). [1, 2]

Díky rozvoji technologií zvlákňování přímo z polymeru se polypropylen stal nejvíce využívaným polymerem při výrobě netkaných textilií. Dalšími, celosvětově nejvíce používanými materiály při výrobě vláken, jsou polyestery či polyamidy. [1, 2]

K zajímavým vývojm v oblasti netkaných textilií patří výroba bikomponentních vláken. Jedná se o vlákna, vyrobená ze dvou materiálů rozložených po celé délce každého vlákna, s unikátními materiálovými vlastnostmi, jako je především zlepšená pevnost v tahu. Důvodem neustále se zvyšujícího zájmu o jejich použití je především redukce výrobní ceny netkané textilie (např. použitím recyklovaného polymeru do jádra vlákna) nebo zlepšení pevnosti a měkkosti výsledné netkané textilie. [1, 2]

S rostoucí poptávkou po kvalitnějších produktech byla vyvinuta inovativní vrstva SMS (spunbond/melblown/spunbond), která je tvořena dvěma vnějšími vrstvami spunbond textilie a jednou vnitřní vrstvou melblown textilie. Výsledkem této kompozice jsou vynikající hydrofobní, fyzikální, i bariérové vlastnosti, umožňující její větší specializaci na trhu s netkanými textiliemi. [1, 2]

Tato práce se zabývá výrobou netkaných textilií technologií spunbond. Pozornost je zaměřena jak na samotný princip technologie zvlákňování spunbond, tak i na souhrn materiálových možností procesu zvlákňování a dostupným konfiguracím průřezů bikomponentních vláken. Praktická část práce se věnuje sledování vlivu procesních

podmínek technologie spunbond a různým materiálovým konfiguracím netkaných textilií na mechanické vlastnosti a jemnost výsledné struktury netkané textilie.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NETKANÉ TEXTILIE

1.1 Historie a počátky technologie

První předchůdce netkané textilie můžeme najít v přírodě – hnízda mnoha ptáků, savců a bezobratlých živočichů. Velkou podobnost s technologiemi výroby můžeme rovněž nalézt ve formě kokonů, pavoučích vláken, ale také u kořenového systému stromů, keřů a travin působících jako přírodní protierozní ochrana (analogie s moderní geotextilií). Kolem 4. tisíciletí př. n. l. je doložen první rozvoj umění plstění z vlny starými Sumery, či prvotní navrhování vláknenné síťové struktury papyru Egyptů. [1]

Za nejstarší netkanou textilií lze označit plst', kdy se 100% vlněná vlákna ze zvířecí srsti zpracovávala různým způsobem ať už za tepla, různé vlhkosti či vzájemným mícháním. Plstěné produkty byly využívány ke každodenní spotřebě v domácnostech nebo jako stavební materiál. Použití obdoby netkané textilie ve stavebnictví dokazují záznamy až ze starověké Mezopotámie. [1, 3]

Další zmínky technologie zpracování se datují kolem 19. století, jejímž hlavním cílem bylo co největší využití technologických odpadů. Počátek 20. století poukázal na efektivnost a dobrou cenovou dostupnost netkaných textilií v porovnání s textilií klasickou, a tak výroba postupem času rostla. Nové poznatky a metody otvíraly brány novým možnostem využití, které si průmysl a dnešní doba žádá. V současnosti je brán zřetel na velkou škálu vlastností, které netkaná textilie může poskytnout a zároveň se díky nim široce uplatnit v různých odvětvích. [1, 3]

1.2 Definice a klasifikace

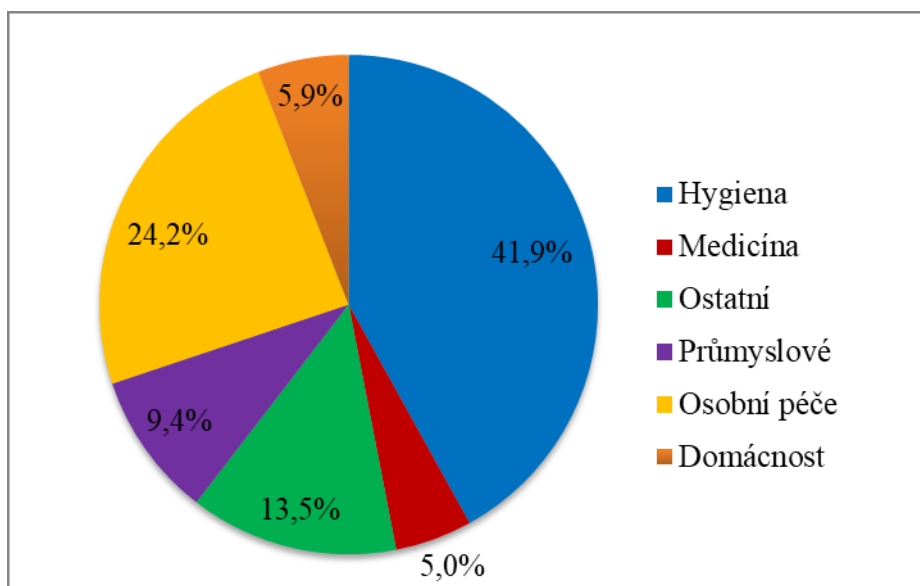
Termín „netkaná textilie“ vznikl více než před polovinou století, kdy byla často považována za levnou náhradu klasické textilie. Zásadní rozdíl mezi netkanou a tkanou textilií spočívá v jejich samotné struktuře. V případě netkané textilie jsou vlákna vrstvena v náhodných sestavách, které drží pohromadě různými způsoby. Průmysl netkaných textilií se neustále vyvíjí a prakticky ukazuje své „know-how“ ostatním významným odvětvím polymerů a jiných materiálů. Asociace EDANA (Organizace sdružující západoevropské výrobce netkaných textilií) definuje netkanou textilií jako vrstvu vyrobenou z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, která mohou být vzájemně spojována třením nebo kohezi/adhezí. Podle této asociace nemohou být jako netkaná textilie označovány výrobky,

kteře jsou z papíru nebo jsou vyrobené tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním. [4]

Netkané textilie jsou tkaniny využívané pro výrobu produktů na jedno nebo více použití s životností související s jejich aplikací. Jejich specifické vlastnosti pak určují, k jakým účelům mohou být použity. V praxi může být životnost netkané textilie počítána v sekundách, minutách, hodinách i letech. V kombinaci s ostatními materiály, netkané textilie nabízejí rozsáhlé spektrum produktů s rozmanitými chemickými a fyzikálními vlastnostmi, využitelnými ve strojírenství, zdravotnictví a spotřebním průmyslu. [5]

1.3 Aplikace a využití

Netkané textilie a výrobky z nich představují nepostradatelnou součást našeho každodenního života a zároveň tvoří nejrychleji rostoucí sektor v textilním odvětví. Největší využití netkaných textilií v Evropě připadá na hygienické potřeby, obalové materiály, geotextilie, bytové a čisticí textilie, vzduchové a kapalinové filtry (Obr. 1). V menším množství tvoří vložkové materiály, zdravotnické, oděvní a obuvnické textilie, elektro a brusné materiály, materiály pro automobilový průmysl či agrotextilie. Více než dvě třetiny všech výrobků představují výrobky jednorázové. Trh netkaných textilií tvoří tři regiony; Asie, Evropa a Severní Amerika, které v roce 2017 zaujímaly přibližně 87 % světové spotřeby, přičemž Čína tvořila 28 %. [1, 5]



Obr. 1 Trvale udržitelný podíl na trhu jednorázových výrobků z netkaných textilií v roce 2017. [2]

1.3.1 Zdravotnictví a hygiena

Mezi hlavní produkty netkané textilie vyráběné ve zdravotnictví patří např. jednorázové oděvy pro doktory, roušky, čepice, vybavení operačních sálů. Vyrábí se zdravotnické textilie na jedno použití, antidekubitní podložky nebo také speciální nosiče pro buňky (scaffoldy). V oblasti hygieny jsou to především dětské pleny, vlhčené ubrousky nebo odličovací tampony (Obr. 2). [5]

Netkané textilie se rovněž ve velké míře využívají při ochraně proti biologickým a chemickým činitelům, v čistých prostorách, v laboratořích, v elektronickém průmyslu k ochraně materiálů nebo výrobků a jejich součástí před kontaminací člověka. Jsou navrženy tak, aby splňovaly určité bezpečnostní a ochranné kritéria před infekcí a nemocemi. Nové inovace zahrnují návrhy na konstrukce pro 3D biologické tkáňové inženýrství, tkáňové implantáty, které mohou posilovat tkáň nebo netkaná nanovlákná filtračních medií poskytující zlepšené vlastnosti pro zachycování částic. V maloobchodním sektoru jsou netkané textilie čím dál tím více začleňovány do módních, sportovních a outdoorových oděvů, čímž jim poskytují lehkost a odlišují se tak od současného tkaného a pleteného oděvu. [6]

1.3.2 Odvětví průmyslu a domácnosti

Ve stavebním průmyslu se můžeme setkat s neustálým zvyšováním energetické účinnosti využitím právě netkaných textilií. Náročnější stavební normy totiž požadují prodyšné a nepropustné podklady pro šikmé střechy a zlepšený základ pro asfaltové membrány vozovek. Netkané textilie primárně slouží k oddělování, zpevnování nebo filtraci při výstavbě dálnic, letišť, železnic, sportovních hřišť, kanalizačních příkopů, přehrad nebo hrází. Jedním z nejrychleji rozvíjejících se segmentů je právě filtrace. Filtry jsou konstruovány dle náročných požadavků a regulačních norem na filtraci vzduchu, kapalin, bakterií, prachu a plynu. Jednoduše nahradí jiné formy medií, jako je papír, tkanina, sklo nebo uhlík. Opět jsou zde výhody použití, jako je zvýšená kvalita vzduchu, snížené náklady na energii a delší životnost. [7, 8]

V automobilovém průmyslu můžeme najít více než 40 automobilových dílů vyrobených z netkaných textilií (od kufrů, koberečů či izolací až po vzduchové a palivové filtry). Využití netkaných textilií v automobilovém průmyslu přispívá nejen ke zvýšení výkonu a bezpečnosti automobilů, ale také i ke snížení jejich hmotnosti, zajištění pohodlí a v neposlední řadě i jejich atraktivity. Díky své všestrannosti a mnoha výhodám nachází

své uplatnění při navrhování nebo konstrukci dalších dopravních prostředků, ať už samotných letadel, vlaků, lodí, kosmických lodí či družic. [7, 8]

V domácnosti se s netkanými textiliemi můžeme setkat při procesu čištění a filtrování. Nedávný vývoj v oblasti výroby bytového textilu umožňuje vytváření netkaných textilií, které zabíjejí prachové roztoče v postelích, odpuzují nečistoty a obsahují antimikrobiální částice. Efektivního využití se dostává také v oblasti zahrádkářství při optimalizaci produktivity plodin za účelem snížení množství pesticidů, zvýšení výnosů a kvality plodin. [7]



Obr. 2 Příklady využití netkaných textilií. [9]

2 CHARAKTERISTIKA NETKANÝCH TEXTILIÍ

Jednou z nejdůležitějších charakteristik materiálů je jejich zpracovatelnost danou technologií při daných procesních podmínkách. Řízení procesů vzniku netkané textilie přispívá k výsledné struktuře a určuje budoucí uplatnění různých druhů výrobků. Z velké většiny tvoří hlavní suroviny a pojiva polymery s rozmanitými vlastnostmi vyplývajícími z jejich charakteru a chování makromolekulárních látek. Díky jejich dobré zpracovatelnosti lze vzájemně kombinovat polymery odlišných vlastností a docílit tak specifických vlastností výsledných produktů. [3]

Makromolekulární látky (polymery) definujeme jako sloučeniny molekul tvořených stovkami až miliony atomů, vzájemně spojených chemickými vazbami bez ohledu na způsob jejich vzniku. Vlastnosti polymerů se odvíjejí od velikosti makromolekul a to jednak podle mechanického zaplétání, vzájemného pohybu, ale i od spolupráce mezimolekulových vazeb při vzniku nadmolekulárních struktur. [10]

Na chování polymerů má významný vliv i teplota. Pro převedení polymeru do taveniny je potřeba dodat dostatečné množství tepelné energie, tak aby mohlo dojít k přerušení mezimolekulární vazby, které se po zpětném odebrání energie následně obnoví. [3, 10]

2.1 Materiály

Umělá vlákna zaujímají v produkci netkaných textilií přes 90 % celkové výroby. Spadají do tří kategorií, podle toho jestli jsou vyrobeny z přírodních, syntetických polymerů či anorganických materiálů. Viskózu, která byla ještě koncem 20. století hlavní surovinou, vystřídal polypropylen (PP) držící si první místo až doteď. V průběhu let se podíl používaných materiálů měnil v závislosti na ceně a dostupnosti vzhledem k vývoji nových technologií. Ekologické důvody zapříčinily snížení produkce jak u vlny, tak i viskózy. Díky rozvoji technologií zvláknování přímo z polymeru se polypropylen stal nejvíce využívaným polymerem. Světově nejvíce používanými materiály pro výrobu vláken jsou tedy PP s podílem 63 % a polyester (PES) s podílem 23 % na světovém trhu, dále pak celulóza, akryláty, polyamidy (PA) a speciální vlákna (např. sklo, uhlík či nanovlákna). [4]

2.1.1 Polypropylenová vlákna

Polypropylenová vlákna převládají v průmyslu netkaných textilií především z důvodů jeho nízké hustoty, nízké teploty skelného přechodu ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) a nízké teploty tání ($170\text{ }^{\circ}\text{C}$),

ale i schopnosti vytvářet lehká vlákna. U výrobku z PP je jeho tepelná odolnost kolem 110 °C, je minimálně navlhavý, poskytuje objemná vlákna s dobrým krytím, chemickou stabilitou a odolností proti oděru. Na druhou stranu má ale nízkou odolnost vůči ultrafialovému záření a nižší schopnost se zotavovat po deformacích. Může být neprůhledný, jasný, bílý nebo pigmentovaný. V Evropě a ve Spojených státech byl objeven jako jeden z univerzálních materiálů pro výrobu netkaných textilií. Nejvíce se používá v technologii spunbond a meltblown. [11]

2.1.2 Polyamidová vlákna

Polyamidová vlákna vykazují vysokou pevnost v tahu za sucha i za vlhka. Jako jeden z mála má rovněž vysokou odolnost vůči oděru. Jeho teplota tání odpovídá 220 °C a odolává do 160 °C. Nejvíce se využívá v textilním průmyslu a to samostatně nebo v kombinaci s bavlnou a viskózními vlákny. [11]

2.1.3 Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna (PES) představují pružná vlákna s vynikající odolností vůči vysokým teplotám (200 °C) a slunečnímu záření. Teplota tání se pohybuje v rozmezí teplot od 256 °C až po 260 °C. Mezi nejvyužívanější polyester patří polyethylentereftalát (PET), který je tvrdý, tuhý, pevný a především rozměrově stabilní materiál, absorbující jen velmi málo vody. PET vykazuje rovněž dobré bariérové vlastnosti vůči plynům a chemickou odolnost. Je využíván při výrobě vláken v textilním průmyslu. [1, 3] Mezi jeho další využití patří výroba netkaných textilií technologií spunbond a meltblown, kdy je PET kombinován s polypropylenem nebo také s polyethylenem (PE), jehož výsledkem jsou tzv. bikomponentní vlákna (vlákna složená ze dvou různých materiálů) s vylepšenými vlastnostmi. [1]

2.1.4 Polyfenylsulfidová vlákna

Poly (1, 4-fenylsulfid) (PPS) je speciální typ semikrystalického termoplastu s dobrými tepelnými vlastnostmi a nízkou toxicitou, široce používaný v potravinářském průmyslu, chemickém inženýrství, v elektrotechnice, automobilovém a leteckém průmyslu. Využití samotného PPS je značně omezeno kvůli jeho křehkosti, z toho důvodu je záměrně modifikován a používán v kombinaci s jinými polymery. [12]

2.1.5 Polylaktidová vlákna

Mezi biologicky odbouratelné polymery patří kyselina polymléčná (PLA), která se považuje za komerční a poměrně levný syntetický materiál oplývající dobrými zpracovatelskými vlastnostmi. [13] PLA vlákna se nejčastěji používají při výrobě vláknenných struktur (nanovláken) pomocí technologií spunbond, meltblown, nebo i elektrostatickým zvlákňováním využívaných především v aplikacích tkáňového inženýrství, hygieny a medicíny. [1]

2.2 Vlákna

Mezi nejčastěji používaná vlákna patří přírodní vlákna (bavlna, juta, len, vlna), syntetická vlákna (polyester, polypropylen, polyamid, umělé hedvábí) a speciální vlákna (sklo, uhlík, nanovlákná, bikomponentní, superabsorpční vlákna). Výběr vhodné suroviny je klíčový jak z pohledu významného zlepšení výsledných vlastností výrobků, tak i z pohledu jejich funkčnosti a výsledného uplatnění v každodenním životě, jako např. v oblasti hygieny, kde jsou vyžadovány produkty velmi komfortní a zdraví nezávadné. [14]

2.2.1 Základní vlákna

Základní vlákna (přírodní a syntetická) jsou vláknenné suroviny vyráběné ve velkém objemu pro textilní průmysl, které podléhají různým úpravám a tvarování. Surovinová základna je tvořena také recykláty pocházejícími z odpadů zpracovávaných textilií. Základní vlákna rozdělujeme dle:

- a) jejich zpracovatelnosti v jednotlivých výrobních technologiích,
- b) vlivu jejich vlastností na vlastnosti netkané textilie. [3]

2.2.2 Speciální vlákna – bikomponentní typy

Použitím specifické zvlákňovací hubice se zvlákňují dva různé polymery s různými tvary příčných řezů. Bikomponentní vlákna jsou vyrobena ze dvou materiálů rozložených po celé délce vlákna. Každý materiál může mít různé fyzikální nebo chemické vlastnosti. Koextruzí dvou polymerů do jednoho vlákna jsou kombinovány vlastnosti obou polymerů. [15] Bikomponentní vlákna tedy patří k nejzajímavějším vývojem v oblasti syntetických vláken a díky unikátním materiálovým vlastnostem, jako je zlepšená odolnost nebo výrazně lepší pevnost, se neustále zvyšuje zájem o jejich použití. Bikomponentní vlákna se rozdělují na následující typy vláken: plášť/jádro, excentrický plášť/jádro, strana/strana, segmentový koláč a ostrovy v moři. [16]

Plášť/jádro („sheath/core“)

Tento typ vlákna vykazuje zvýšenou pevnost. Konfigurace vlákna plášť/jádro (Obr. 3) se používá především v případech, kdy plášť vlákna je vyrobený z polymeru s nízkou teplotou tání a jádro vlákna s vysokou teplotou tání. Příkladem může být výroba PE/PET vlákna, kde navíc díky velmi rozdílným teplotám tání nedochází k zásadním problémům spojených s nežádoucí velmi proměnlivou teplotou při procesu pojení vláken. Jednou z výhod konfigurace vlákna plášť/jádro je schopnost vytvořit povrch s požadovaným leskem, barevností a požadovaným stupněm měkkosti, přičemž jádro z podstatné části určuje pevnost celého vlákna. Při této konfiguraci vlákna může být jeho jádro tvořeno recyklovaným polymerem či elektricky vodivým materiálem. V případě komerčního použití bývá poměr polymerních složek nejčastěji 50:50 nebo 30:70.



Obr. 3 Průřez vláknem typu „plášť/jádro“. [17]

Excentrický plášť/jádro („eccentric sheath/core“)

Na rozdíl od soustředného uspořádání plášť/jádro je zde jádro mimo osu vlákna (Obr. 4). Vzhledem k různým poměrům smršťování obou polymerů se vlákno bude při zahřívání vlnit. Tento typ vlákna se používá při požadovaném objemu na úkor pevnosti v tahu. [18]



Obr. 4 Průřez vláknem typu „excentrický plášť/jádro“. [17]

Strana/strana („side/side“)

Oba polymery zaujímají stejnou část povrchu vlákna, jsou uspořádány vedle sebe a rozděleny podél jejich délky do dvou odlišných oblastí (Obr. 5). V závislosti na zvoleném polymeru, se vlákno může více vlnit než v případě uspořádání „excentrický plášť/jádro“. Zvlněním vlákna během tepelného smrštění, dosáhne vlákno větší stability a měkkosti na dotek. Ve většině případů musí použité komponenty vykazovat vzájemnou

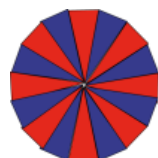
velmi dobrou přilnavost, protože by jinak docházelo k vytvoření dvou typů vláken různých kompozic. [18]



Obr. 5 Průřez vláknem typu „strana/strana“. [17]

Segmentový koláč („segment pie“)

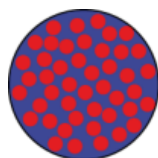
Tato konfigurace vlákna (Obr. 6) je vyrobena ze šestnácti segmentů. Každý segment polymeru A je na obou stranách lemován polymerem B. Vlákna jsou navržena takovým způsobem, že mechanické namáhání způsobí rozdělení segmentů na jemné fibrily. Výrobou tak předcházíme obtížné zpracovatelnosti velmi jemných vláken, které po rozštěpení dosahují jemného povrchu. Používají se při výrobě syntetických švů, syntetických kůží a také filtrů. [3, 17]



Obr. 6 Průřez vláknem typu „segmentový koláč“. [17]

Ostrovky v moři („islands in the sea“)

V tomto uspořádání (Obr. 7) představuje polymer A tzv. ostrovky (fibrily) a polymer B tzv. moře (matrice). Mořem může být libovolný počet rozpuštěných polymerů např. polystyren, kopolyester, polyvinylalkohol (PVA) nebo termoplastické škroby. [19] Tato vláknitá struktura umožňuje, že se do matrice rozpustného polymeru umístí spousta jemných přízí s konfigurací vláknenného polymeru. Tímto způsobem je možné získat vlákna jemnější než přímým vytlačováním s vynikajícími tahovými vlastnostmi a měkkostí výsledné netkané textilie. Textilie vyrobené z mikrovláken jsou velmi pružné s vysokou hustotou vláken a odolností proti větru a vodě. [19]



Obr. 7 Průřez vláknem typu „ostrovky v moři“. [17]

2.3 Vlastnosti

Netkané textilie mají široké spektrum vlastností, které se dají dále využít při vývoji a výrobě stávajících nebo nových výrobků. Vzhled, texturu i pevnost tkaného vlákna mohou netkané textilie velice dobře napodobit a současně mohou nabídnout nové výhodné vlastnosti, jako jsou např. filtrační vlastnosti, kompozity s elektrickými, magnetickými a supravodivými vlastnostmi v makro, mikro a nano měřítku. Jsou lehké, měkké, tvarovatelné, mohou být pružné, dobře absorbují a v neposlední řadě jsou biologicky rozložitelné. [20] Při různém způsobu namáhání poskytují také důležité mechanicko-fyzikální vlastnosti, zejména pevnost a tažnost. Vzhledem k jejich využití ve specifických aplikacích (geotextilie, automobilový průmysl, stavebnictví, čalounění) jsou důležitými vlastnostmi také odolnost při protržení a odolnost vůči oděru. [21]

Ve většině případů mají netkané textilie anizotropní vlastnosti s převládajícím vlivem v podélném směru neboli ve směru zpracování (angl. „machine direction“). Anizotropie takové struktury roste s rostoucí rychlostí dopravního pásu linky. Orientace struktury netkané textilie je definována pomocí funkce **Distribuce orientace vlákna (ODF)**, která charakterizuje chování netkané textilie v podélném a příčném směru netkané textilie. [22]

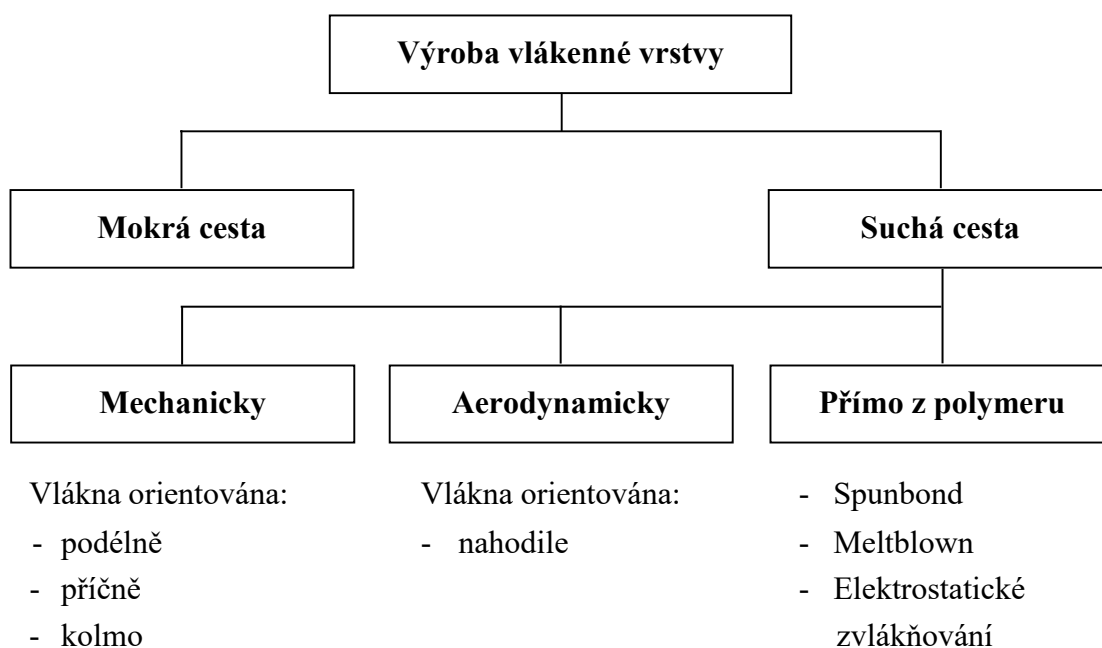
Důležitým parametrem, týkajícím se struktury netkané textilie a její stejnoměrnosti, je **plošná hmotnost** definovaná jako hmotnost na jednotku plochy vyjádřená jednotkou g/m^2 (v angličtině označována jako „gsm“). S klesající hodnotou plošné hmotnosti dochází ke zhoršení stejnoměrnosti struktury netkané textilie. Obvyklá hodnota plošné hmotnosti se pohybuje od 10 do 100 g/m^2 . [22]

Jemnost vláken je vyjadřována jednotkou **dtex**, související s pojmem lineární hmotnost vláken, která charakterizuje hmotnost vláken v gramech na 10 tisíc metrů. Lineární hmotnosti nejběžnější vlákenné struktury se pohybují v rozmezí od 1,3 do 20 dtex. Nejjemnější vlákna (mikrovlákna) dosahují hodnot 0,5 dtex a naopak velmi hrubá až 200 dtex. S rostoucí jemností vláken roste také obtížnost jejich zpracování. K dosažení jemnějšího vlákna je zapotřebí zpracovat větší počet vláken, s čímž souvisí snížení pracovního výkonu výrobní linky. Jemnost vláken je často vyjadřována také v jednotkách **denier**, jako hmotnost vláken v gramech na 9 tisíc metrů. [1, 3]

3 TECHNOLOGIE VÝROBY NETKANÝCH TEXTILIÍ

Výroba netkané vrstvy může probíhat mokrou nebo suchou cestou (Obr. 8). U mokré cesty dochází k rozpuštění polymeru v netěkavém rozpouštědle, které je následně vymýváno v kapalně lázni. Vlákno je následně vysráženo a odvíjeno. Naopak u cesty suché dochází k rozpuštění polymeru v těkavém rozpouštědle, které se při průchodu trysek rychle odpařuje. Výroba vláken suchou cestou se může dále rozdělit na mechanickou, aerodynamickou a výrobu přímo z polymeru. [20, 21]

Tato kapitola bude konkrétně pojednávat o přípravě netkaných vrstev z taveniny polymeru. Vlákna tedy vznikají extruzním zvlákňovacím procesem, při kterém jsou přímo přeměňována v tzv. pavučinu. Tento proces poskytuje příležitosti ke zvýšení produkce vláken a snížení procesních nákladů, a proto patří metoda zvlákňování z polymerní taveniny k jedné z neefektivnějších technologií. Vlastnosti výsledného produktu vyrobeného zvlákňováním přímo z taveniny jsou závislé především na typu použitého polymeru, jeho viskozitě a teplotě tání, pracovním výkonu, rychlosti sběru vláken, teplotě vzduchu a také podmínkách pojení. Průměr vlákna, plošná hmotnost a rovnoměrnost struktury mají zásadní vliv na fyzikální a estetické vlastnosti konečného produktu. Z komerčního hlediska patří mezi dva nejvyužívanější procesy spunbond a meltblown, jež jsou v zásadě velmi podobné, i když principiálně zcela odlišné způsoby výroby netkané textilie. [23]



Obr. 8 Rozdělení netkaných textilií podle technologie výroby. [3]

3.1 Spunbond technologie

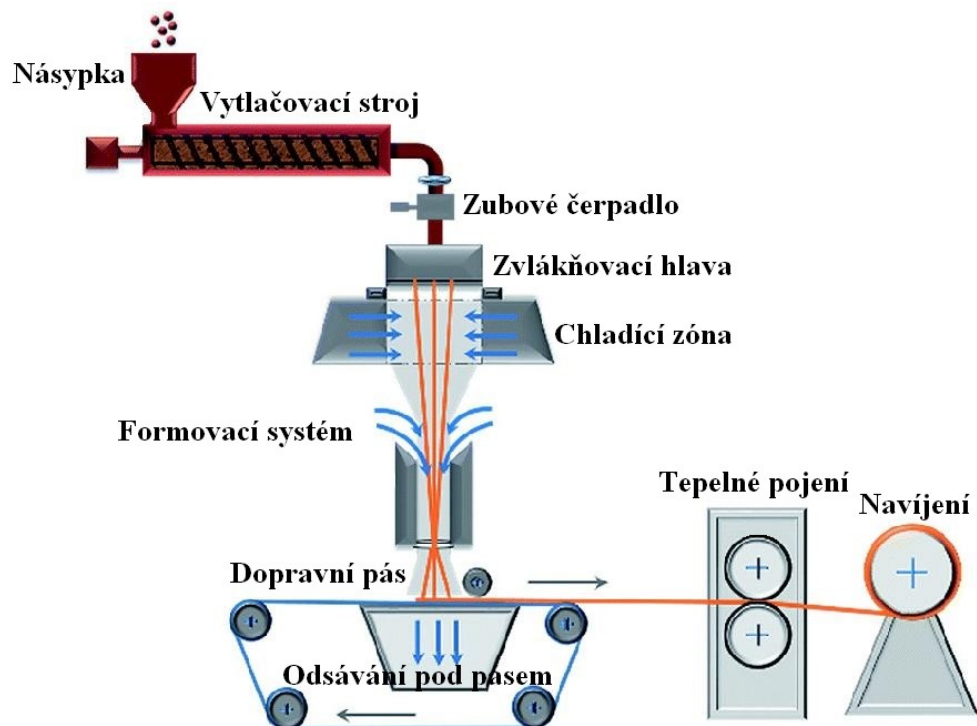
Z anglického názvu „spunbond“ dostáváme spojení slov zvlákňování a pojení. Společnost Dupont vyvinula a komercializovala techniku zvlákňování z taveniny v roce 1958. V šedesátých letech pak Dupont (USA) a současně Freudenberg (Německo) začaly využívat potenciál technologie spunbond. [24]

Při procesu spunbond nejsou počátečním materiálem vlákna, ale polymerní granulát, který se ve vytlačovacím stroji taví a pomocí zvlákňovací hlavy dochází k jeho zvlákňování. Vyrobená vlákna jsou dále odtahována od hubice vzduchem, jež vlákna chladí a zároveň dochází k jejich dloužení se zbytkovou tažností do 250 % s průměrem vláken obvykle 10 až 30 mikrometrů. Takto orientovaná vlákna s lepšími mechanickými vlastnostmi jsou dále vzduchem rozkládána na plochu pohybujícího se dopravního pásu. V poslední fázi výroby jsou vlákenné struktury zpevňovány a navíjeny. Zpevnění vlákenné struktury může probíhat tepelně pomocí tepla a tlaku, mechanickým pojením (vpichováním) nebo chemicky pomocí činidel. [23]

Jak již bylo výše uvedeno, v případě spunbond procesu jsou nejvíce používanými materiály především PP, dále pak PE, PES, PA či polyuretany. Touto technologií jsou zpracovávány polymery běžných vláknařských hmotností, které obvykle vyžadují nejen úzkou distribuci molekulových hmotností, ale i vysoký index toku taveniny (ITT), a to přibližně v rozsahu hodnot 30 až 80. [25]

3.1.1 Spunbond linka

Zvlákňovací linka se skládá z následujících částí: vytlačovací stroj, zubové čerpadlo, zvlákňovací hlava, chladicí a formovací systém vláken (v angličtině často používaný pojem „aspirator“), dopravní pás pro shromažďování vláken s odsáváním pod pásem, kalandr a navíjecí jednotka (Obr. 9). [23]



Obr. 9 Schéma zvláknovací linky s technologií spunbond. [26]

3.1.2 Vytlačovací stroj

Ve vytlačovacím stroji může být polymerní granulát smíchán se stabilizátory, aditivy, barvivy, modifikátory nebo jinými přísadami. Na začátku procesu je vytlačovací stroj zásobován přes násypku polymerním granulátem. Ten je uvnitř stroje dopravován, homogenizován, stlačován a taven rotujícím šnekem. Ohřev je zajištěn topnými pásy rozmístěnými podél vnější strany pracovního válce vytlačovacího stroje. V průběhu vytlačování jsou tlak a teplota taveniny kontrolovány tlakovými a teplotními čidly. Takto připravená polymerní tavenina je pod daným tlakem a teplotou následně přiváděna do zubového čerpadla. [25, 27]

3.1.3 Zubové čerpadlo

Roztavený polymer je z vytlačovacího stroje dopravován skrz filtr, kde jsou cizí částice (kovy nebo pevné částice polymeru) odděleny od roztaveného polymeru. Filtrace polymeru je velmi důležitá, protože neodfiltrovaný polymer může způsobit blokování kapilár zvláknovací trysky. Tavenina dále pokračuje do zubového čerpadla dávkujícího přesný objemový průtok roztaveného polymeru při procesních změnách viskozity, tlaku a teploty polymeru. [28] Zubové čerpadlo má obvykle dvě vzájemně se otáčející ozubená kola.

K toku taveniny dochází naplněním každé zubové mezery ozubeného kola polymerem na sací straně čerpadla a unášením polymeru podél výtoku čerpadla. [25]

3.1.4 Zvlákňovací hlava

Sestava zvlákňovací hlavy je jedním z nejdůležitějších prvků spunbond procesu. Dělí se na dvě části: přívodovou distribuční část polymeru a zvlákňovací trysku. Distribuce dávkování polymeru musí být rovnoměrná, udržuje se rovnováha toku roztaveného polymeru a doba prodlevy ve zvlákňovací hlavě. Roztavený polymer je přiváděn do zvlákňovací trysky, představující kovový blok o tisíci kapilárách ovlivňujících rovnoměrnost tkaniny. [27]

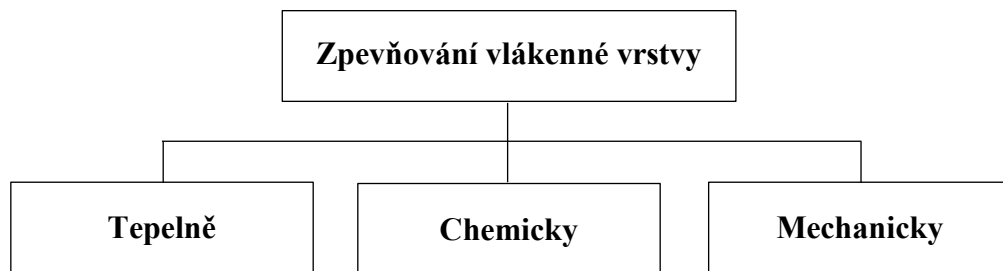
3.1.5 Chlazení a formování vláken vzduchem

Průchodem polymerní taveniny skrz kapiláry zvlákňovací trysky dochází ke vzniku vláken, která jsou v prostoru pod zvlákňovací hlavou ochlazována buď okolním vzduchem anebo jsou ofukována vzduchem definované teploty a tlaku. V definované vzdálenosti pod zvlákňovací hlavou prochází vlákna formovacím systémem (v angl. terminologii zvaném „aspirator“), kde jsou vlákna unášena vzduchem o vysoké rychlosti. Dochází zde k zeslabování jejich průměru (přibližně 10x) a k jejich protahování ve směru zpracování. Vlákna tak získávají zlepšené mechanické vlastnosti. [28]

Po průchodu tímto zařízením jsou vlákna od sebe oddělena mechanickou či aerodynamickou silou anebo elektrostatickým nábojem a dále jsou kontinuálně ukládána na pohybující se dopravník. Vakuum, odsávání vzduchu pod pásem, napomáhá vytvoření vláknité struktury na páse. Plošná hmotnost takto vytvořené struktury je určena poměrem tvorby vlákna k rychlosti pásu. Cílem je dosáhnout maximální jednotnosti a homogenního pokrytí pásu. [11, 27]

3.1.6 Pojení

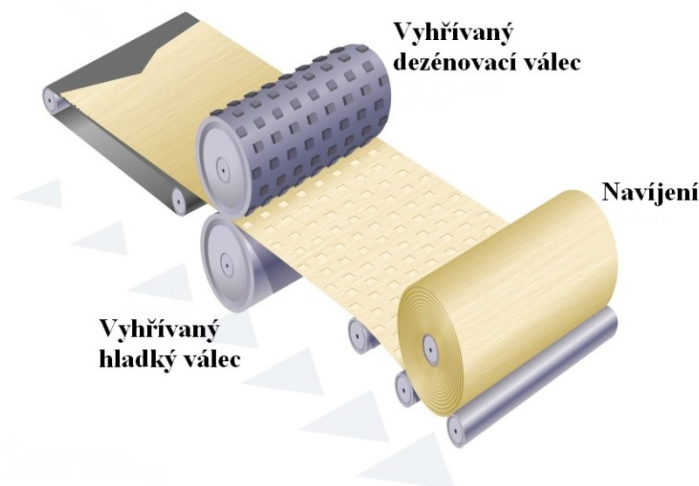
Dopravní pás nese nezpevněnou strukturu do spojovací zóny. Rozlišujeme tři základní techniky pojení používané v procesu spunbond: tepelné, chemické a mechanické (Obr. 10). Výběr techniky je určován především konečnou aplikací tkaniny a její plošnou hmotností. Někdy se může použít kombinace dvou nebo více technik pojení. [25]



Obr. 10 Rozdělení technik pojení netkané textilie. [2]

Tepelné pojení

Tato metoda využívá ke spojování vláken účinku jak teploty, tak i tlaku. Jedná se o nejběžněji používanou metodou u technologie spunbond. Netkaná textilie je při pokojové teplotě transportována dopravním pásem do kalandru, tvořeného vyhřívanými válci s hladkým povrchem v případě dolního válce a dezénovaným povrchem v případě válce horního (Obr. 11). Pro dosažení dobrých vlastností a zachování pocitu měkkosti v konečném produktu je nezbytné, aby byla vhodně zvolena povrchová teplota kalandrovacích válců. Pevnost i prodloužení vláken roste s teplotou, ale pouze do určité optimální hodnoty. Optimální teplota závisí na morfologii vlákna a struktuře tkaniny. [23, 24, 29]



Obr. 11 Tepelné pojení. [24]

Chemické pojení

Při chemickém pojení se používají chemická pojiva (adhezivní materiály), která udržují vlákna pohromadě. Chemickými pojivy jsou polymery tvořené emulzní polymerací, přičemž nejčastěji používanými pojivy jsou latexy nesené vodou. Pojivo se aplikuje stejnoměrně impregnací, povlakem nebo postříkem, po nanesení se materiál suší a zároveň

je odpařována voda. Tato metoda se u technologie spunbond ve většině případů nevyužívá. [30]

Mechanické pojení

Při mechanickém pojení je dosaženo zesílení tkaniny třením mezi vlákny v důsledku fyzikálního zapletení vláken. Patří mezi ně vpichování a vodní pojení. [11]

Při technologii vpichování prostupují jehly velkou rychlostí tkaninou, pohybující se po páse. Speciálně navržené jehly jsou vsouvány a vytahovány z tkaniny zapletených vláken. Vpichování poskytuje komfortnější a objemnější textilie než zpracování tepelným nebo chemickým pojením. Tímto způsobem můžeme dosáhnout stupňování vlastností, kterých by bylo obtížné dosáhnout jinými prostředky. [27]

Komplexní technika vodního pojení se využívá hlavně u textilií vyrobených za mokra nebo textilií mykaných, kde jemné vodní trysky s vysokým tlakem způsobují propletení vláken. Tlak vodního paprsku má přímý vliv na pevnost pásu textilie. [31]

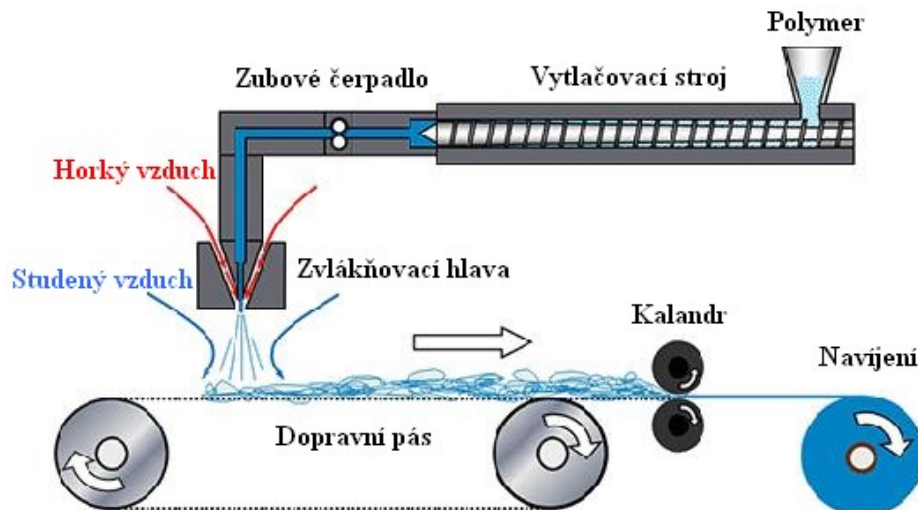
3.1.7 Navíjení

Spunbond vlákna jsou obvykle navíjena na kartonové jádro a zpracována podle požadavků konečného produktu. Navinuté netkané textilie mohou být dále ošetřeny dalším polymerem, retardantem plamene, může následovat barvení, tisk nebo antistatické ošetření. Tkaniny se řezou na požadovaný rozměr, jsou zabaleny a poté dodávány odběrateli. [25, 27]

3.2 Meltblown technologie

Název technologie je složen z anglických slov melt – tavit, a blown – foukat. Jedná se tedy o textilie vyrobené rozfukováním polymerní taveniny. Technologie je velmi blízká technologii spunbond s hlavním rozdílem v použití vzduchu (Obr. 12). Z hlavy je totiž vyfukován horký vzduch při daném tlaku a vysoké rychlosti (100–500 m/s), kterým je tavenina strhávána a dochází tak k rozdělení a tvarování polymerních vláken. V důsledku toho je tkanina vyrobena z velmi jemných vláken – běžně mikrovlákna s průměrem 2–4 mikrony, ale lze vyrobit i vlákna mnohem jemnější (0,1 mikronu). [3, 22] Jemnost vláken roste s klesající viskozitou taveniny, vyšší teplotou vzduchu a se změnou poměru mezi vzduchem a taveninou (více vzduchu a méně polymeru). [3] Díky většímu objemu vláken na danou hmotnost mají tkaniny lepší rozložení vláken a vysoké pokrytí na jednotku hmotnosti. Výsledný produkt získá dobré bariérové vlastnosti a vysoké izolační hodnoty,

proto může být použit pro filtrační a bariérové materiály např. ve zdravotnictví nebo pro výrobu jednorázových oděvů. [9] Meltblown technologie využívá polymery s úzkou distribucí molekulových hmotností a používá speciálně vyvinuté nízkomolekulární a vysoce tekuté polymery s hodnotou ITT v rozmezí od 30 do 1500. [3]



Obr. 12 Schéma zvlákňovací linky s technologií meltblown. [32]

3.3 Spunbond vs. meltblown technologie

Jak již bylo popsáno v kapitolách výše, hlavním rozdílem mezi oběma technologiemi jsou podmínky použití vzduchu. V případě spunbond technologie je využíván menší objem vzduchu o teplotě okolí. V případě meltblown technologie je aplikován teplý vzduch o větším objemu s daleko větší rychlostí foukání. Teplota vzduchu u meltblown je většinou vyšší nebo stejná jako teplota polymeru. Navíc je u meltblown technologie vzduch aplikovaný již ve zvlákňovací hlavě, kde je polymer taven, což je ideální pro vytváření mikrovláken, nicméně nedochází zde k jeho orientaci, ale naopak k zajištění dobrých fyzikálních vlastností. U spunbond technologie vzduch vstupuje až v určité vzdálenosti od hlavy, kdy už jsou vlákna částečně ochlazená vzduchem z okolí. Dochází tak k lepší orientaci vláken s lepšími výslednými vlastnostmi. Jedinou nevýhodou této technologie je velikost získaných vláken, nelze získat mikrovlákná. Meltblown technologie představuje v důsledku větší spotřeby energie (ohřev velkého množství vzduchu, dodávání vzduchu pod vysokým tlakem) technologii mnohem nákladnější. [3, 22] Srovnání vlastností netkaných textilií vyrobených spunbond a meltblown technologiemi je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1. Srovnání spunbond a meltblown technologie. [2]

	Spunbond	Meltblown
Vlákna	nekoněčná, nedloužená, nebo zcela dloužená, 10 až 30 μm	konečná, dloužená, částečně dloužená, 2 až 4 μm
Pevnost	podle stupně dloužení nízká až vysoká	obecně nízká
Ohyb, oděr	podle stupně dloužení nízký až vysoký	nízká odolnost
Měrný povrch	střední	podle jemnosti vláken střední až vysoký
Tepelně izolační, filtrační a sorbční	průměrné	u jemných vláken vynikající

3.4 Spunbond/Meltblown/Spunbond struktura (SMS)

Spunbond/meltblown/spunbond netkané textilie představují specifickou kombinaci fyzikálních vlastností jednotlivých materiálů spojených do jedné netkané struktury. Při výrobě jsou v provozu zároveň tři linky, jejichž konečným produktem je SMS tkanina. Jak již bylo zmíněno výše, meltblown vlákna jsou jemnější než vlákna spunbond a také vykazují větší jednotnost. Pro získání lepších vlastností z pohledu pevnosti a filtrace, je vrstva tkaniny meltblown "vložená" mezi tkaniny spunbond s vyšší pevností. Výsledná tkanina je hydrofobní (má vysoký vodní sloupec) a lze ji využít jako bariéru proti průniku částic a mikroorganismů např. u nohavicových manžet dětských plen a ochranných pracovních oděvů. Na obrázku 13 můžeme vidět propustnost netkané textilie různých typů částic. Meltblown vrstva nepropustí bakterie, krev ani kapaliny. Třívrstvá textilie je ale průchozí pro plyny, páru či lidský pot. Vyrábět se může mnoho dalších kombinací SM, SMS, SMMS, SMSMS, SSMS. Většina vícevrstevných tkanin se vyrábí právě z PP. [9]



Obr. 13 Třívrstvá netkaná textilie a její propustnost částic. [33]

3.5 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování (electrospinning) je metoda výroby submikronového vlákna z roztoků různých polymerů (přírodních i syntetických), při které se získávají polymerní vlákna o průměru od 2 nanometrů do několika jednotek mikrometrů. Na taveninu polymeru působí silné elektrostatické pole (30 kV), které utváří výsledná vlákna. K zvlákňování dochází při pokojové teplotě a za atmosférických podmínkách. Elektrospinovací zařízení se skládá ze tří hlavních složek: vysokonapěťový napájecí zdroj, zvlákňovací tryska (např. hrot pipety) a uzemněná sběrná deska. Elektrospinová nanovlákna představují zajímavý materiál využitelný pro mnohé aplikace např. filtrační média, kompozitní materiály, scaffoldy a bandáže (tkáňové inženýrství), optoelektronická zařízení, fotonické krystaly nebo flexibilní fotobuňky. [34, 35]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je vyhodnotit vliv materiálové konfigurace bikomponentních vláken na mechanické vlastnosti vyrobených netkaných textilií technologií spunbond při daných procesních podmínkách. Pozornost je také věnována velikosti průměru vláken určující jemnost výsledné struktury netkané textilie. K přípravě netkaných textilií byly použity materiály navrženy přímo pro technologii spunbond, a to PP polymer Tatren HT 25 11 a PLA polymer Ingeo™ Biopolymer 6202D.

5 PŘÍPRAVA NETKANÝCH TEXTILIÍ

Netkané textilie o požadované plošné hmotnosti byly připraveny technologií spunbond ze dvou polymerních materiálů při daných procesních podmínkách. Detailnější popis provedených experimentů je uveden v následujících podkapitolách.

5.1 Použité materiály

Jedním ze dvou použitých materiálů ke zvlákňování byl PP TATREN HT 25 11, homopolymer používaný technologií spunbond, s velmi úzkou distribucí molekulové hmotnosti. Tekutost taveniny tohoto polymeru je vyjádřena hodnotou ITT ($230\text{ °C}/2,16\text{ kg}$) = 25 g/10 min. Doporučené teploty zpracování tohoto polymeru jsou od 200 °C do 260 °C. Tažnost v mezi kluzu dosahuje hodnoty 10 %.

Druhým použitým polymerem byl PLA polymer Ingeo™ Biopolymer 6202D získávaný primárně z obnovitelných zdrojů. Tento polymer dosahuje hodnoty ITT ($210\text{ °C}/2,16\text{ kg}$) = 15–30 g/10 min. Teplota tání tohoto PLA polymeru se pohybuje od 155 °C do 170 °C. Polymerní granulát byl sušen po dobu 5 h při teplotě 80 °C. Typická teplota pro zvlákňování se pohybuje od 220 °C do 240 °C. Tažnost vláken v mezi kluzu dosahuje hodnot 10 až 70 %.

5.2 Výroba netkaných textilií technologií spunbond

Vzorky netkaných textilií byly připraveny na zvlákňovací laboratorní lince model LBS-300, (Obr. 14 vlevo) která slouží pro kontinuální přípravu netkaných textilií technologií spunbond nebo meltblown. Linka se skládá ze dvou šneků s míchacím elementem Maddox, který připravuje homogenní polymerní taveninu pro zubová čerpadla, která zajišťují rovnoměrný přívod taveniny do zvlákňovací hlavy.

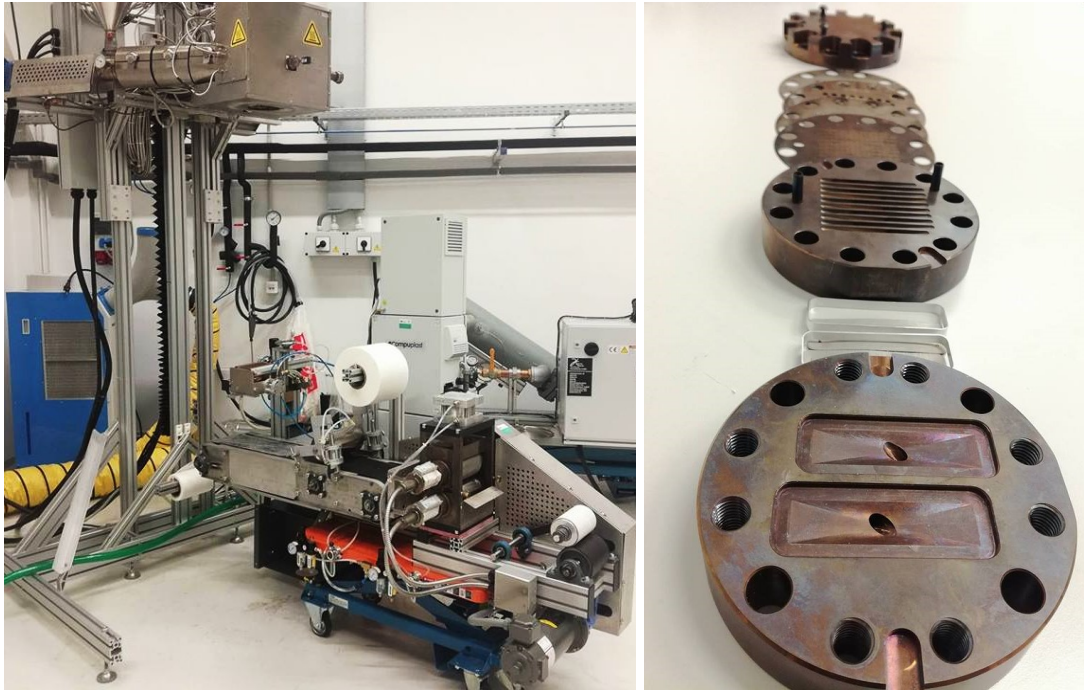
Pro tuto práci byla využita technologie spunbond s konfigurací plátů „plášť-jádro“, uložených uvnitř zvlákňovací hlavy (Obr. 14 vpravo). Při použití této konfigurace hlavy tvoří polymerní tavenina z extruderu A plášť vlákna a tavenina z extruderu B jádro vlákna. Před sestavením zvlákňovací hlavy musí být její jednotlivé části pečlivě zbaveny veškerých nečistot, a proto byly vypáleny v pískové peci při 550 °C po dobu 3 hodin. Při jejím sestavení a instalaci musí být veškeré části hlavy utaženy při daném krouticím momentu a teplotě z důvodu zajištění dokonalého spojení během provozu linky při vysokých teplotách a tlacích. Zvlákňovací hlava pro technologii spunbond má po sestavení 72 kapilár o průměru 0,35 mm a délce 1,4 mm uspořádané na čtvercové ploše 6 × 6 cm.

Všechny experimenty byly provedeny při stejných procesních podmínkách. Teploty topných pásem obou šneků ve směru od násypky byly nastaveny na 190 °C, 205 °C a 215 °C. Prostor pod násypkou byl chlazen vodou o teplotě 12 °C. Teplota zvláknovací hlavy a zubových čerpadel byla nastavena na 215 °C. Výkon laboratorní zvláknovací linky byl u všech materiálů stejný, a to 0,5 kg/h. Vyrobená vlákna byla v prostoru mezi hlavou a formovacím systémem chlazená vzduchem o teplotě 23 °C. Vzdálenost hlavy od formovacího systému byla nastavena na 90 cm a vzdálenost formovacího systému od pásu na 23 cm. Žádaná výsledná plošná hmotnost textilie byla řízena rychlostí pásu v rozmezí od 1 m/min do 2,5 m/min. Teploty pojení (teploty horního/dolního válce) se pohybovaly v případě vláken složených z PLA polymeru v hodnotách 90 °C/95 °C a v případě PP vláken v hodnotách 140 °C/148 °C.

Netkané textilie byly vyráběny s plošnou hmotností 40 g/m² a 80 g/m², každá pro dvě intenzity vzduchu proudícího ve formovacím systému, a to při tlacích 50 kPa a 150 kPa. Všechny uvedené procesní podmínky byly nastaveny pro výrobu netkané textilie s použitím konfigurace zvláknovací hlavy typu plášť/jádro s následujícími kombinacemi materiálů:

- série 1: polymer PLA z extrudéru A
- série 2: polymery PLA/PLA v poměru 50:50
- série 3: polymery PP/PLA v poměru 50:50
- série 4: polymery PP/PP v poměru 50:50
- série 5: polymer PP z extrudéru A

Z důvodu obsáhlosti experimentů jsou v práci uvedeny jen klíčové výsledky a to pro parametry blízké těm průmyslovým. Byly tedy zvoleny netkané textilie s plošnou hmotností 40 g/m² vyrobené při intenzitě proudícího vzduchu 50 kPa. K vyhodnocení experimentů byly využity vzorky ze sérií 2, 3 a 4, tedy, vzorky bikomponentních vláken typu plášť/jádro.

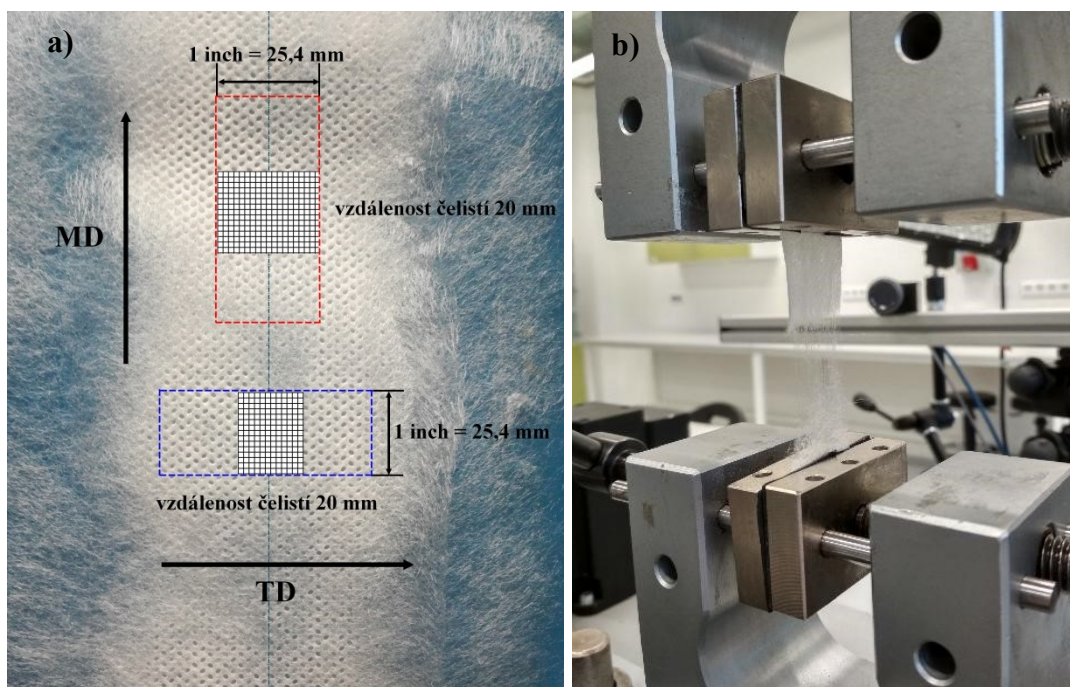


Obr. 14 Zvlákňovací linka s konfigurací pro technologii spunbond (vlevo) a spunbond zvlákňovací hlava (vpravo).

6 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

6.1 Charakterizace mechanických vlastností vyrobených netkaných textilií

Pomocí trhacího stroje Testometric M 350–5CT byly testovány mechanické vlastnosti vybraných sérií vzorků 2, 3 a 4 v jejich podélném (MD) a příčném (TD) směru. Pro každou sérii bylo připraveno vždy 10 vzorků o rozměrech $2,5 \times 5$ cm v podélném směru a 10 vzorků o rozměrech $2,5 \times 5$ cm v příčném směru a to v místech netkané textilie dle obrázku 15a. Vzdálenost horních a dolních čelistí trhacího stroje byla nastavena ve vzdálenosti 2 cm. Mechanická zkouška statická byla provedena při rychlosti 100 mm/min. Způsob upnutí vzorku a průběh zkoušky lze pozorovat na obrázku 15b.



Obr. 15 a) Příprava vzorků netkané textilie pro mechanickou zkoušku statickou v podélném a příčném směru. **b)** Způsob upnutí vzorku a průběh zkoušky.

Výsledné hodnoty mechanické zkoušky statické provedené na vzorcích netkaných textilií sérií 2, 3 a 4 jsou uvedeny v tabulce 2. V průběhu testování vzorků byla pozornost věnována především hodnotám napětí na mezi kluzu a hodnotám tažnosti v mezi kluzu a při přetržení vzorku.

Tabulka 2. Shrnutí mechanických vlastností vzorků netkaných textilií série 2, 3 a 4. Všechny vzorky byly připraveny o šířce 25,4 mm.

Vzorek Plášť/jádro	Orientace vzorku	Tloušťka vzorku (mm)	Napětí v mezi kluzu (N/mm ²)	Tažnost v mezi kluzu (%)	Tažnost při přetrhu (%)
PLA/PLA	MD	0,150 ± 0,003	9,9 ± 0,1	6,7 ± 0,2	222 ± 15
	TD	0,148 ± 0,007	4,6 ± 0,2	88,5 ± 3	172 ± 10
PP/PLA	MD	0,230 ± 0,007	7,1 ± 0,3	5,8 ± 0,3	101 ± 8
	TD	0,250 ± 0,002	2,9 ± 0,1	8,8 ± 0,5	110 ± 9
PP/PP	MD	0,160 ± 0,005	19 ± 0,5	52 ± 1	62 ± 2
	TD	0,155 ± 0,007	4,8 ± 0,3	55 ± 1	161 ± 9

Z výsledků uvedených v tabulce 2 je zřejmé, že v oblasti napětí v mezi kluzu je dominantním rozměrem podélný směr (MD) netkané textilie. Nejvyšších hodnot napětí je dosaženo v případě vláken s konfigurací materiálů PP/PP a nejnižších hodnot v případě konfigurace PP/PLA, což je také v souladu s literaturou. [36] Z pohledu hodnot tažnosti při přetržení vzorku dosahuje konfigurace vlákna PLA/PLA nejlepších vlastností v obou směrech namáhání. Nejrovnoměrnější vlastnosti v podélném i příčném směru netkané textilie byly dosaženy v případě konfigurace vlákna PP/PLA.

6.2 Charakterizace struktury vyrobených netkaných textilií

Struktura připravených vzorků technologií spunbond byla charakterizována optickým mikroskopem Leica VZ 80C a skenovacím elektronovým mikroskopem Phenom PRO vybaveným elektronovým detektorem s vysokou citlivostí zpětného odrazu.

Jak již bylo zmíněno výše, k charakterizaci struktury byly vybrány vzorky série 2 (polymery PLA/PLA v poměru 50:50), série 3 (polymery PP/PLA v poměru 50:50) a série 4 (polymery PP/PP v poměru 50:50) vyrobené s plošnou hmotností 40 g/m² při intenzitě proudícího vzduchu 50 kPa a 150 kPa. Vzorky vláken byly odebírány ze zvlákňovací hlavy při jejich volném výtoku. K vyhodnocení struktury takto vyrobených vláken v jejich příčném řezu při daném zvětšení na optickém mikroskopu, byla vlákna upnuta do speciálního přípravku, (Obr. 16) pomocí kterého byl žiletkou proveden vyhodnocovaný příčný řez vláken. Vzorky netkaných textilií určené k vyhodnocení optickým mikroskopem

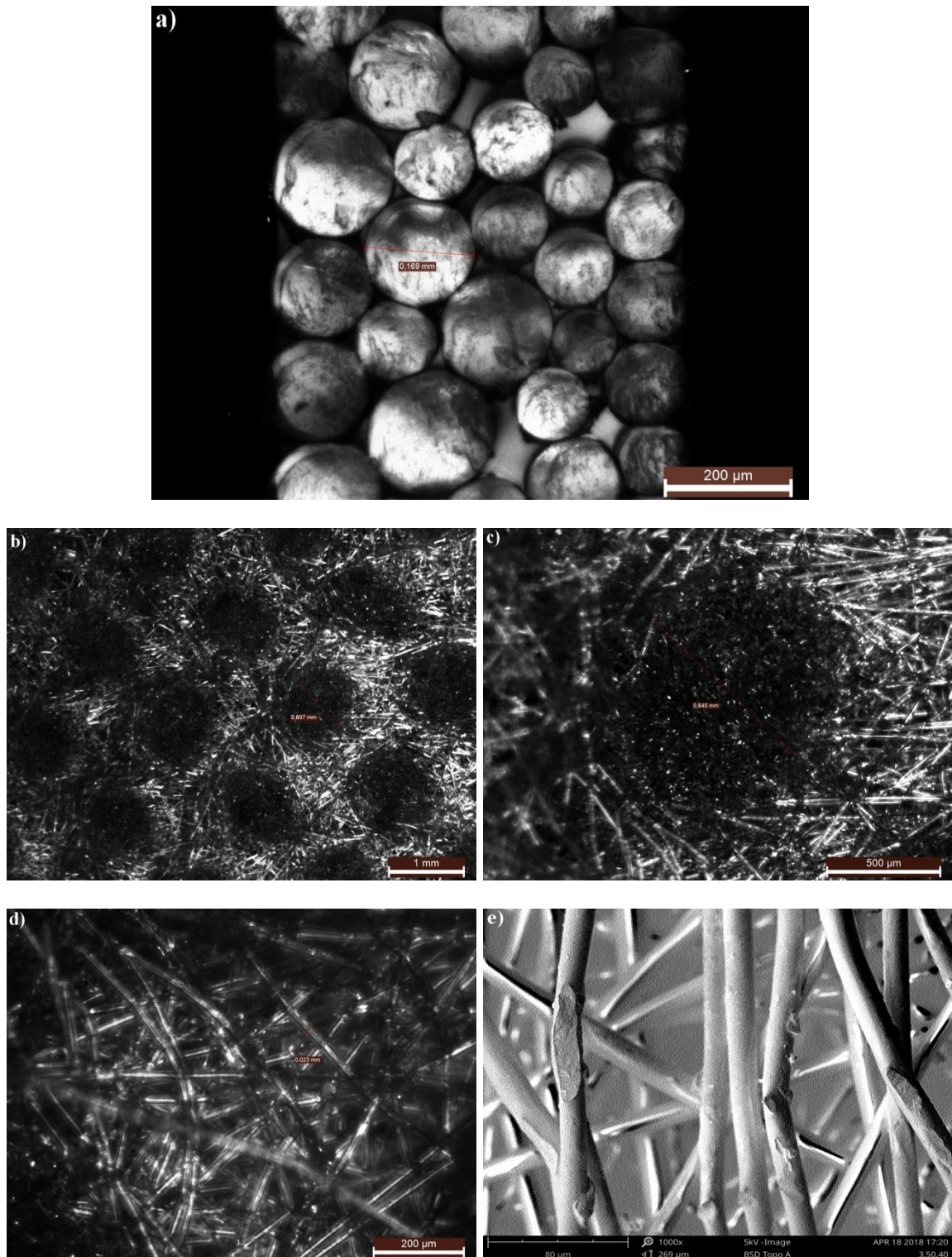
při daném zvětšení byly připraveny o rozměrech 2×3 cm a pro skenovací elektronový mikroskop o rozměrech 1×1 cm.



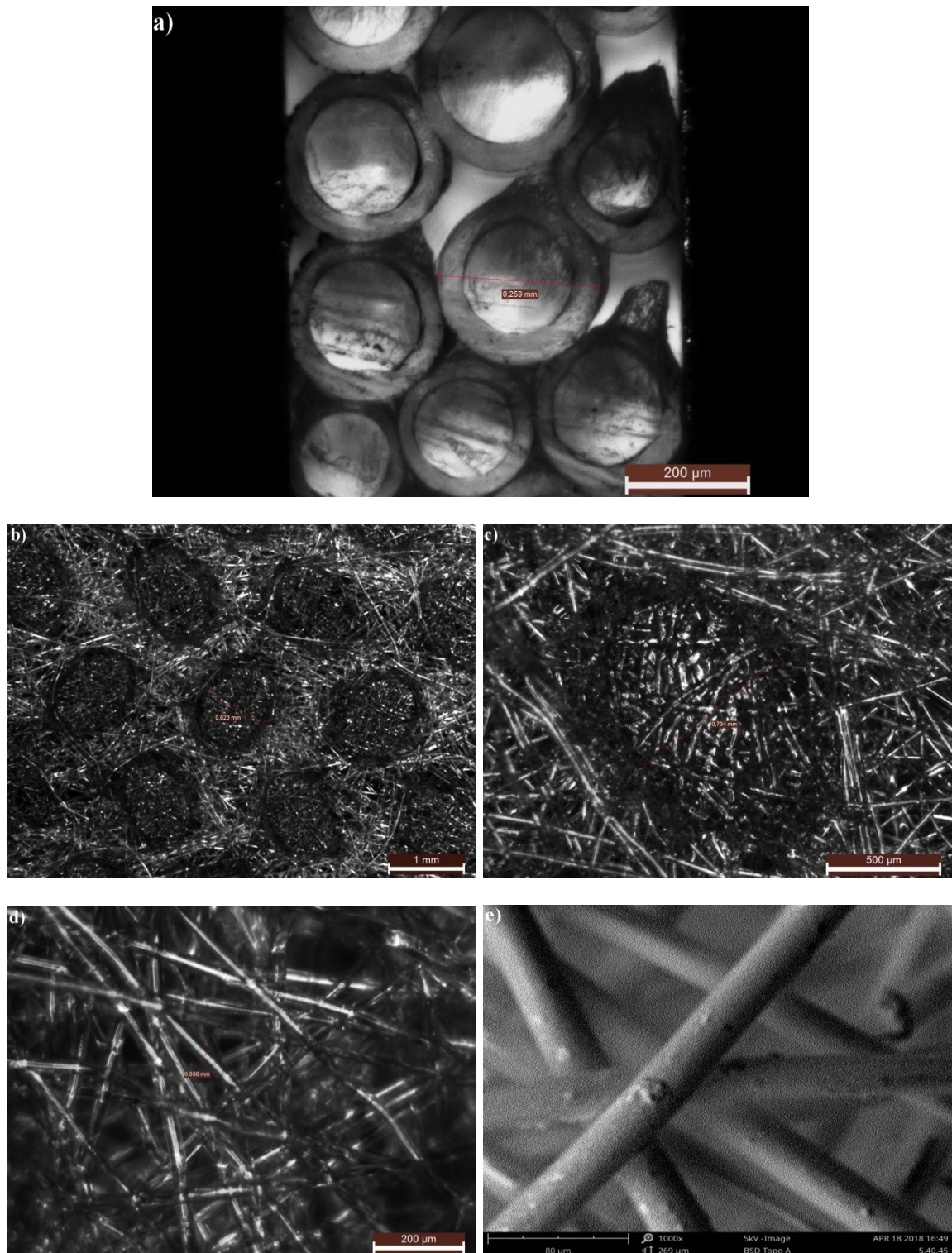
Obr. 16 Přípravek k pozorování průměru vláken v příčném řezu.

Struktura průřezů vláken netkané textilie série 2 (polymery PLA/PLA) je vyhodnocena na snímcích z mikroskopů na obrázku 17a. Celkový průměr bikomponentních vláken PLA/PLA dosahuje průměrných hodnot 169 ± 7 μm . V případě série 3 (Obr. 18a), kde je plášť vlákna tvořený polymerem PP a jádro vlákna polymerem PLA, lze pozorovat výrazné rozhraní mezi těmito polymery. Celkový průměr vlákna dosahuje průměrných hodnot 263 ± 5 μm . Průměr jádra vlákna z PLA polymeru je 167 ± 4 μm . Na obrázku 19a lze pozorovat strukturu průřezů vláken netkané textilie série 4 (polymery PP/PP). Průměr vláken dosahuje hodnot 283 ± 7 μm . Je zřejmé, že v případě konfigurace vlákna PLA/PLA je celkový průměr vlákna mnohem menší než v ostatních případech, a to z důvodu vyšší tažnosti PLA než v případě použití PP polymeru.

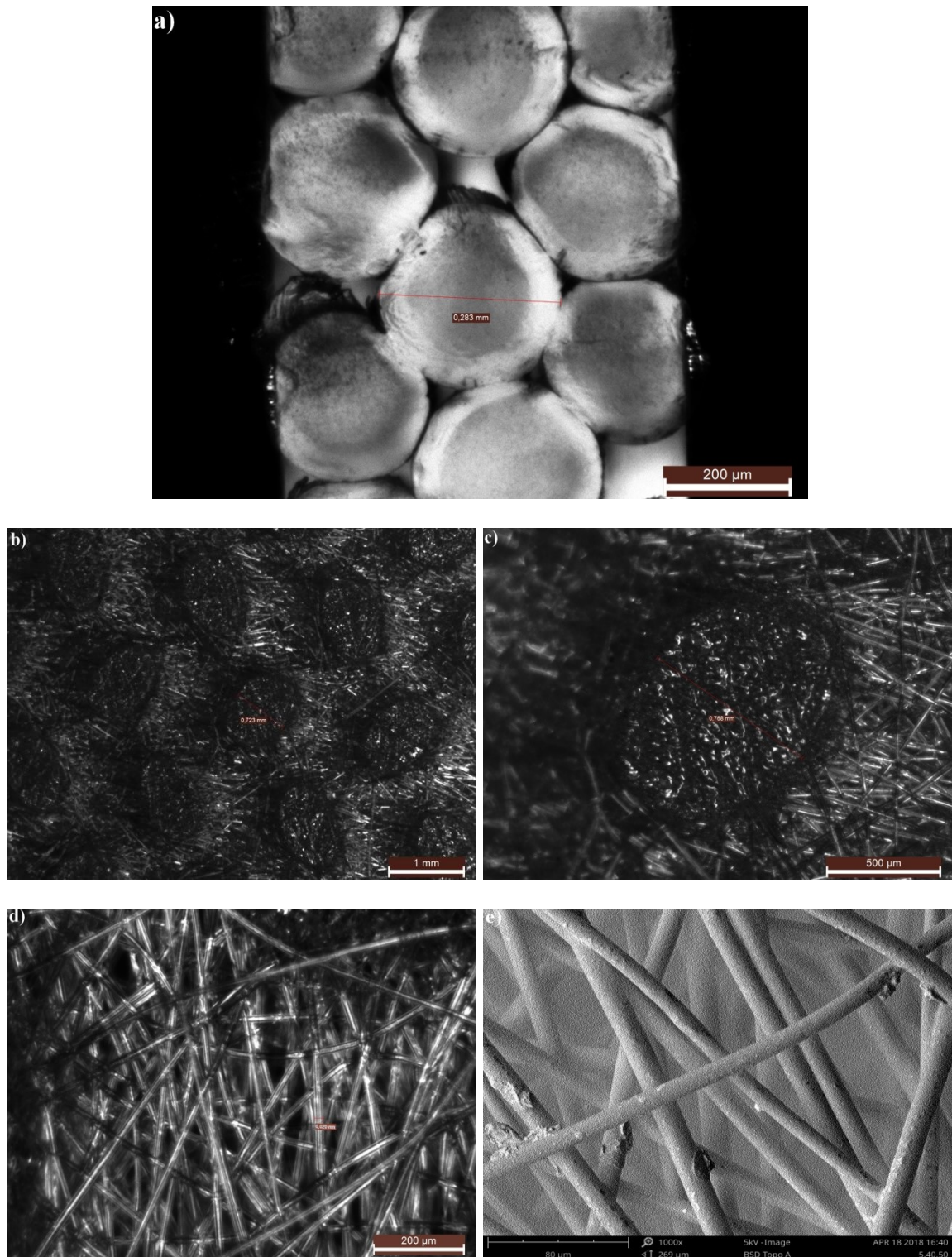
Pro každou ze sérií vzorků byl vyhodnocen detailní pohled na strukturu tepelného pojení dezénovacím válcem vyhřívaného kalandru (Obr. 17-19b,c). Rozměry kratší strany tohoto elipsovitého útvaru na povrchu netkané textilie se pohybují okolo 0,7 mm, rozměry delší strany okolo 0,85 mm. Strukturu netkané textilie a průměry vláken lze pozorovat na obrázcích 17-19d. Jedná se o vlákna, která byla dloužena proudícím vzduchem o intenzitě 50 kPa. Z tohoto důvodu jsou jejich průměry až 10ti násobně menší v porovnání s vlákny volně vytékajícími z hlavy. Průměry těchto vláken dosahují tedy v případě série 2 hodnot 23 ± 1 μm , v případě série 3 hodnot 30 ± 1 μm a v případě série 4 hodnot 20 ± 1 μm . Naměřené hodnoty tak odpovídají běžným průměrům vlákna, kterých je obvykle technologií spunbond dosahováno (10–30 μm). Na snímcích z elektronového mikroskopu Phenom PRO (Obr. 17-19e) lze při větším zvětšení pozorovat tvar a povrch vláken netkané textilie.



Obr. 17 Vzorek netkané textilie série 2 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PLA/PLA). **a)** Struktura průřezů vláken netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **b)** strukturu tepelného pojení netkané textilie vyhřívaným dezénovacím válcem při hodnotě optického zvětšení 50x, **c)** při hodnotě optického zvětšení 150x, **d)** struktura netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **e)** tvar a povrch vláken netkané textilie při hodnotě elektronového zvětšení 1000x.

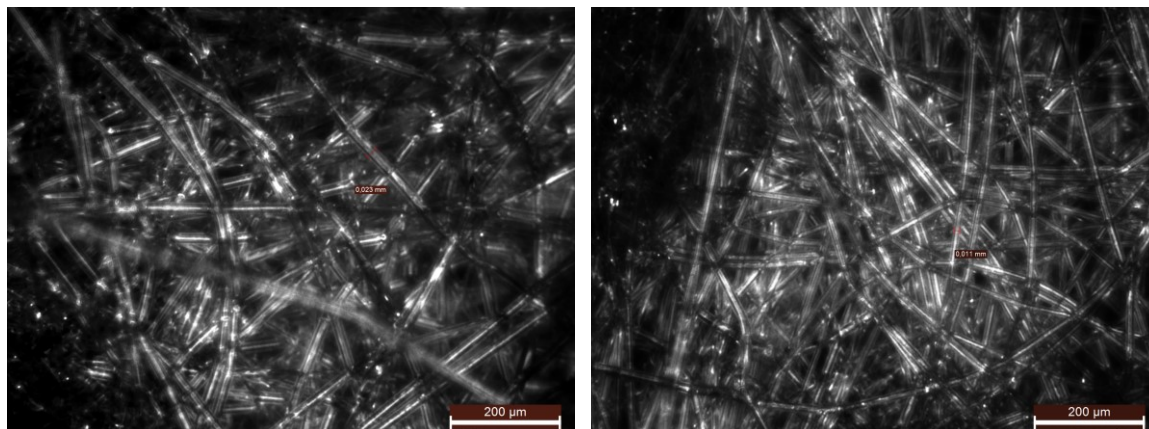


Obr. 18 Vzorek netkané textilie série 3 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PLA). **a)** Struktura průřezů vláken netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **b)** strukturu tepelného pojení netkané textilie vyhřívaným dezénovacím válcem při hodnotě optického zvětšení 50x, **c)** při hodnotě optického zvětšení 150x, **d)** struktura netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **e)** tvar a povrch vláken netkané textilie při hodnotě elektronového zvětšení 1000x.

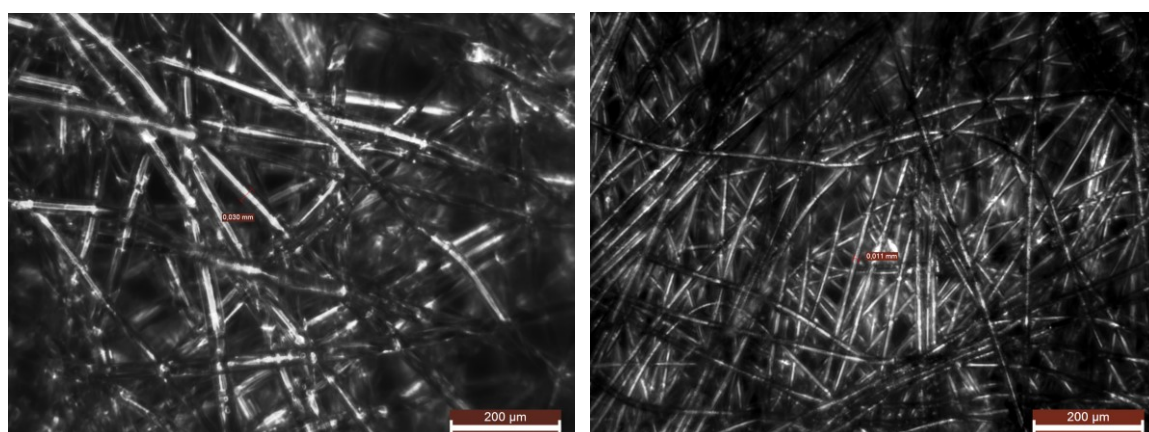


Obr. 19 Vzorek netkané textilie série 4 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PP). **a)** Struktura průřezů vláken netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **b)** strukturu tepelného pojení netkané textilie vyhřívaným dezénovacím válcem při hodnotě optického zvětšení 50x, **c)** při hodnotě optického zvětšení 150x, **d)** struktura netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **e)** tvar a povrch vláken netkané textilie při hodnotě elektronového zvětšení 1000x.

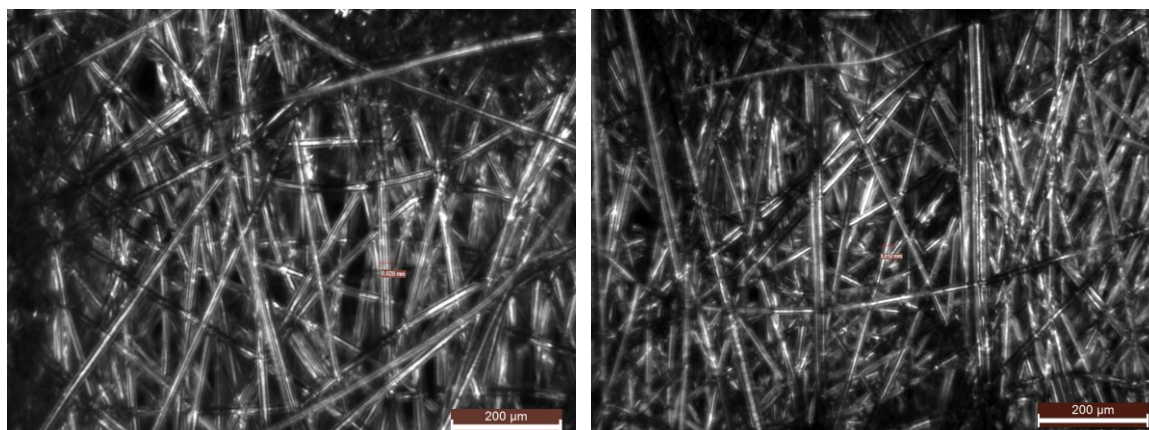
Snímky z optického mikroskopu na obrázcích 20-22 srovnávají strukturu netkaných textilií vyrobených při dvou intenzitách proudícího vzduchu ve formovacím systému linky vyjádřených hodnotami tlaků vzduchu 50 kPa a 150 kPa. Srovnání velikosti průměru vláken netkaných textilií při těchto tlacích pro dané série vzorků je uvedeno v tabulce 3.



Obr. 20 Vzorky netkané textilie série 2 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PLA/PLA) vyrobené při intenzitě tlaku vzduchu 50 kPa (vlevo) a tlaku 150 kPa (vpravo).



Obr. 21 Vzorky netkané textilie série 3 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PLA) vyrobené při intenzitě tlaku vzduchu 50 kPa (vlevo) a tlaku 150 kPa (vpravo).



Obr. 22 Vzorky netkané textilie série 4 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PP) vyrobené při intenzitě tlaku vzduchu 50 kPa (vlevo) a tlaku 150 kPa (vpravo).

Na základě srovnání snímků pořízených z optického mikroskopu (Obr. 20-22) lze říci, že struktura vyrobená při vyšších tlacích vykazuje jemnější a hustější systém vláken netkané textilie. Tudíž, použití takové struktury v oblasti filtrace zajistí lepší filtrační schopnosti ve smyslu zachycení menších průměrů částic než v případě struktury vyrobené při nižším tlaku proudícího vzduchu formovacím systémem zvlákňovací linky. Číselné srovnání výsledných průměrů vláken vyrobených při dvou různých tlacích (Tabulka 3) ukazuje, že trojnásobná změna velikosti tlaku proudícího vzduchu ve formovacím systému linky způsobuje minimálně poloviční redukci průměru vláken.

Tabulka 3. Průměry vláken netkaných textilií vyrobených při tlacích vzduchu 50 kPa a 150 kPa proudícího ve formovacím systému linky.

	Série 2 PLA/PLA		Série 3 PP/PLA		Série 4 PP/PP	
Tlak vzduchu [kPa]	50	150	50	150	50	150
Průměr vlákna [μm]	23 \pm 1	11 \pm 1	30 \pm 1	11 \pm 1	20 \pm 1	12 \pm 1

ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na výrobu netkaných textilií technologií spunbond. V práci je popsán princip této široce využívané a neustále se rozvíjející technologie zvlákňování, stejně tak i souhrn materiálových možností procesu zvlákňování a dostupných konfigurací průřezů bikomponentních vláken.

Praktická část této práce se věnuje sledování vlivu procesních podmínek technologie spunbond a různým materiálovým konfiguracím netkaných textilií na mechanické vlastnosti a jemnost výsledné struktury netkané textilie. Z výsledků provedených mechanických zkoušek bylo zjištěno, že nejrovnoměrnějších vlastností v podélném i příčném směru dosahují vyrobené netkané textilie s konfigurací vlákna PP/PLA. Jedná se o vhodnou konfiguraci vláken uspokojující požadavky jak na pevnost tkaniny, tak i na její tažnost v obou směrech namáhání.

Z vyhodnocených snímků pořízených na optickém mikroskopu bylo zjištěno, že struktura vyrobená při vyšších tlacích proudícího vzduchu formovacím systémem linky vykazuje jemnější a hustější systém vláken netkané textilie. Taková struktura má pak v oblasti filtrace mnohem lepší filtrační schopnosti než struktura vyrobená při nižším tlaku vzduchu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] S.K. Batra B. P., Definitions, Introduction to nonwovens technology, Lancaster: PA: Destech publications, 2012, ISBN 9781605950372
- [2] Pira S., Key drivers for the growing sustainable nonwovens market, 2017, [citováno 28.2. 2018], Dostupné z <https://www.smitherspira.com/resources/2017/june/key-drivers-for-sustainable-nonwovens>
- [3] O. Jirsák, Kalinová K., Netkané textilie, Liberec: Technická univerzita, 2003, ISBN 8070837462
- [4] Wilson A., Development of the nonwovens industry, S. J. Russell, Handbook of nonwovens, UK: Woodhead Publishing Limited, 2007, 1-11, ISBN 9781855736030
- [5] Ratner. B. D., Biomaterials science an introduction to materials in medicine, 2. vyd., Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004, ISBN 9780080470368
- [6] George K., Advances in technical nonwovens Cambridge: MA: Woodhead Publishing 2016, ISBN 9780081005750
- [7] Chapman R. A., Applications of nonwovens in technical textiles, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010, 1-212, ISBN 9781845694371
- [8] EDANA, Products & applications, Brussels, [citováno 6.2. 2018], Dostupné z <https://www.edana.org/discover-nonwovens/products-applications>
- [9] Butler I., Vaughn E., The spunbonded and melt blown technology handbook: INDA, Association of the nonwoven fabrics industry, 1999
- [10] Stoklasa K., Makromolekulární chemie I., Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2005
- [11] S.K. Batra B. P., Melt-extrusion technologies: The spunbond process, Introduction to nonwovens technology, Lancaster: PA: Destech publications, 2012, ISBN 9781605950372
- [12] Ren H.-H., Xu D.-X., Yu T., Yang J.-C., Zhang G., Wang X.-J., a kol., Effect of polyphenylene sulfide containing amino unit on thermal and mechanical properties of polyphenylene sulfide/glass fiber composites, Journal of Applied Polymer Science, 2018, 135(6), 45804
- [13] Rafael A., Loong T. L., Susan S., Tsuji H., Poly(lactic acid): Synthesis, structures, properties, processing, and applications, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010, ISBN 9780470293669

- [14] Kalebek N. A., Babaarslan O., Fiber selection for the production of nonwovens, H.-Y. Jeon, Non-woven fabrics, Rijeka: InTech, 2016, ISBN 9789535122715
- [15] Pourmohammadi A., Thermal bonding, S. J. Russell, Handbook of nonwovens, UK: Woodhead publishing limited, 2007, 301-305, ISBN 9781855736030
- [16] X. Peng, Z. Guo, T. Du, Yu W.-R., A simple anisotropic hyperelastic constitutive model for textile fabrics with application to forming simulation, Composites Part B, 2013, 52, 275-281
- [17] Centexbel, Bicomponent fibres: Pilot line for research and prototyping, [citováno 12.2. 2018], Dostupné z <http://www.centexbel.be/bicomponent-fibres>
- [18] Hufenus R., Novel synthetic fibers by multicomponent melt-spinning, 2010, 299-304, ISBN 9789754838725
- [19] Suleiman Ndaro M., Xiang-yu Jin P. D., Ting Chen P. D., Chong-wen Yu P. D., Splitting of islands-in-the-sea fibers (PA6/COPET) during hydroentangling of nonwovens, Journal of engineered fibers and fabrics, 2007, 2(4), 1-9
- [20] Makarov A. A., Ganyavin V. A., Development of programming and measuring system for analysis of nonwoven textile materials, Fibre Chemistry, 2017, 48(5), 416-420
- [21] Hruža J., Teorie zpevnění vláknenné vrstvy, Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2017
- [22] Pourdeyhimi B., Maze B., Structure and mechanics of nonwovens, P. Schwartz, Structure and mechanics of textile fibre assemblies: Woodhead Publishing, 2008, 116-140, ISBN 9781845691356
- [23] Midha V. K., Dakuri A., Spun bonding technology and fabric properties: a review, Journal of Fashion Technology & Textile Engineering, 2017, 1(4), 1-9
- [24] EDANA, Bonding, Brussels, [citováno 19.3.2018], Dostupné z <https://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they're-made/bonding>
- [25] Bhat G., Malkan S., Polymer-laid web formation, S. J. Russell, Handbook of nonwovens: Woodhead Publishing Limited, 2007, 143-200, ISBN 9781855736030
- [26] Liu J., Zhang X., Zhang H., Zheng L., Huang C., Wu H., a kol., Low resistance bicomponent spunbond materials for fresh air filtration with ultra-high dust holding capacity, RSC Advances, 2017, 7(69), 43879-43887
- [27] Lim H., A review of spunbond process, Journal of textile and apparel, 2010, 6(3), 1-13

- [28] Albrecht W., Fuchs H., Kittelmann W., Nonwoven fabrics: raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes, Weinheim: Wiley-VCH, 2002, ISBN 9783527304066
- [29] Peksen M., Acar M., Malalasekera W., Optimisation of machine components in thermal bonding process of nonwovens: Effect of the conveyer belt on the porous web performance, *Journal of Industrial Textiles*, 2016, 47(5), 978-990
- [30] Chapman R. A., Chemical bonding, R. S.J., *Handbook of nonwovens*: Woodhead Publishing, 2007, 330-367, ISBN 9781855736030
- [31] Ping X., V. Kuznetsov A., Mohamed Seyam A., Modeling of the hydroentanglement process, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2006, 1(2), 1-15
- [32] Filtertechnik R., Media technology, Germany, 2015, [citováno 7. 5. 2018], Dostupné z <http://www.rt-filter.de/en/kompetenz/medientechnologie.html>
- [33] Safetec, Disposable surgical drapes, Indie, [citováno 12.3.2018], Dostupné z http://www.safetecworld.com/surgical_drapes.htm
- [34] Bhardwaj N., Kundu S. C., Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique, *Biotechnology Advances*, 2010, 28(3), 325-347
- [35] Qin X. H., Wang S. Y., Filtration properties of electrospinning nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 102(2), 1285-1290
- [36] Arvidson S. A., Wong K. C., Gorga R. E., Khan S. A., Structure, molecular orientation, and resultant mechanical properties in core/ sheath poly(lactic acid)/polypropylene composites, *Polymer*, 2012, 53(3), 791-800

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EDANA	The European Disposables and Nonwovens Association
ODF	funkce distribuce orientace vlákna
PP	polypropylen
PA	polyamid
PES	polyester
PET	polyethylentereftalát
PE	polyethylen
PPS	poly (1, 4-fenylensulfid)
PLA	kyselina polyléčná
PVA	polyvinylalkohol
dtex	lineární hmotnost vláken
ITT	index toku taveniny [g/10 min]
SMS	spunbond/meltblown/spunbond struktura
MD	podélný směr (m direct)
TD	příčný směr (transverse direct)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Trvale udržitelný podíl na trhu jednorázových výrobků z netkaných textilií v roce 2017. [2]	15
Obr. 2 Příklady využití netkaných textilií. [9]	17
Obr. 3 Průřez vláknem typu „plášť/jádro“. [17]	21
Obr. 4 Průřez vláknem typu „excentrický plášť/jádro“. [17].....	21
Obr. 5 Průřez vláknem typu „strana/strana“. [17].....	22
Obr. 6 Průřez vláknem typu „segmentový koláč“. [17].....	22
Obr. 7 Průřez vláknem typu „ostrovy v moři“. [17]	22
Obr. 8 Rozdělení netkaných textilií podle technologie výroby. [3].....	24
Obr. 9 Schéma zvlákňovací linky s technologií spunbond. [26]	26
Obr. 10 Rozdělení technik pojení netkané textilie. [2]	28
Obr. 11 Tepelné pojení. [24].....	28
Obr. 12 Schéma zvlákňovací linky s technologií meltblown. [32].....	30
Obr. 13 Třívrstvá netkaná textilie a její propustnost částic. [33].....	32
Obr. 14 Zvlákňovací linka s konfigurací pro technologii spunbond (vlevo) a spunbond zvlákňovací hlava (vpravo).....	37
Obr. 15 a) Příprava vzorků netkané textilie pro mechanickou zkoušku statickou v podélném a příčném směru. b) Způsob upnutí vzorku a průběh zkoušky.	38
Obr. 16 Přípravek k pozorování průměru vláken v příčném řezu.....	40
Obr. 17 Vzorek netkané textilie série 2 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PLA/PLA). a) Struktura průřezů vláken netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, b) strukturu tepelného pojení netkané textilie vyhřívaným dezénovacím válcem při hodnotě optického zvětšení 50x, c) při hodnotě optického zvětšení 150x, d) struktura netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, e) tvar a povrch vláken netkané textilie při hodnotě elektronového zvětšení 1000x.	41
Obr. 18 Vzorek netkané textilie série 3 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PLA). a) Struktura průřezů vláken netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, b) strukturu tepelného pojení netkané textilie vyhřívaným dezénovacím válcem při hodnotě optického zvětšení 50x, c) při hodnotě optického zvětšení 150x, d) struktura netkané textilie při hodnotě	

- optického zvětšení 300x, e) tvar a povrch vláken netkané textilie při hodnotě elektronového zvětšení 1000x..... 42
- Obr. 19** Vzorek netkané textilie série 4 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PP). **a)** Struktura průřezů vláken netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **b)** strukturu tepelného pojení netkané textilie vyhřívaným dezénovacím válcem při hodnotě optického zvětšení 50x, **c)** při hodnotě optického zvětšení 150x, **d)** struktura netkané textilie při hodnotě optického zvětšení 300x, **e)** tvar a povrch vláken netkané textilie při hodnotě elektronového zvětšení 1000x..... 43
- Obr. 20** Vzorčky netkané textilie série 2 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PLA/PLA) vyrobené při intenzitě tlaku vzduchu 50 kPa (vlevo) a tlaku 150 kPa (vpravo). 44
- Obr. 21** Vzorčky netkané textilie série 3 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PLA) vyrobené při intenzitě tlaku vzduchu 50 kPa (vlevo) a tlaku 150 kPa (vpravo). 44
- Obr. 22** Vzorčky netkané textilie série 4 (konfigurace vlákna plášť/jádro pro polymery PP/PP) vyrobené při intenzitě tlaku vzduchu 50 kPa (vlevo) a tlaku 150 kPa (vpravo). 44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Srovnání spunbond a meltblown technologie. [2].....	31
Tabulka 2. Shrnutí mechanických vlastností vzorků netkaných textilií série 2, 3 a 4. Všechny vzorky byly připraveny o šířce 25,4 mm.....	39
Tabulka 3. Průměry vláken netkaných textilií vyrobených při tlacích vzduchu 50 kPa a 150 kPa proudícího ve formovacím systému linky.	45