

Netkané filtrační textilie pro čištění kapalin

Roman Červík

Bakalářská práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Roman Červík
Osobní číslo:	T170015
Studijní program:	B2808 Chemie a technologie materiálů
Studijní obor:	Materiálové inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Netkané filtrační textilie pro čištění kapalin

Zásady pro vypracování

Práce je zaměřena na přípravu vláknenných filtrů určených k čištění kapalin. Filtry budou připraveny technologiemi spunbond, meltblown a/nebo elektrostatickým zvlákňováním. V teoretické části budou diskutovány zmíněné technologie a obecně filtrace kapalin. Praktická část práce spočívá v přípravě filtrů a porovnání jejich mechanických a filtračních vlastností.

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

Seznam doporučené literatury:

1. HUTTEN, Irwin M. *Handbook of nonwoven filter media*. Boston, MA: Elsevier, 2015. ISBN 9780080983011.
2. RAMAKRISHNA, Seeram. *An introduction to electrospinning and nanofibers*. Hackensack, NJ: World Scientific, c2005. ISBN 9812564543.
3. BUTLER, Ian, E. A. VAUGHN a Larry C. WADSWORTH. *The spunbonded and melt blown technology handbook*. Raleigh, North Carolina: INDA, Association of the Nonwoven Fabrics Industry, c1999.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Kolařík, Ph.D.**
Centrum polymerních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Netkané textilie jsou ploché, pružné a porézní vrstvy nebo rouna. Vznikají spojováním nekonečně dlouhých vláken, které jsou vyráběny různými technikami. Mezi nejvíce využívané techniky pro výrobu netkaných textilií patří technologie spunbond. Při této technologii se zvláknuje přímo z taveniny polymerů. Vzniklý produkt má nové vlastnosti, které závisí na podmínkách výroby. V dnešní době jsou tyto produkty velmi využívány téměř ve všech oblastech, jako je zdravotnictví, či v automobilových, konstrukčních, filtračních a textilních odvětvích.

V teoretické části práce jsou popsány netkané textilie a technologie využívané k jejich přípravě. Dále je pozornost věnována nejčastěji využívaným polymerům ke zvláknování a také informacím týkajících se filtrace kapalin. Závěrečná kapitola teoretické části je zaměřena na přístroje k charakterizaci mechanických vlastností a struktury připravených netkaných textilií.

V praktické části byla pozornost soustředěna na strukturu, mechanické vlastnosti a především filtrační vlastnosti připravených netkaných textilií technologií spunbond z různých typů polymerů při různých procesních podmínkách.

Klíčová slova: Netkané textilie, technologie spunbond, filtrace kapalin.

ABSTRACT

Nonwovens are flat, flexible and porous layers or fleece. They are created by merging infinitely long fibers, which are produced by various techniques. The most widely used techniques for the production of nonwoven fabrics belongs spunbond technology. In this technology, spinning of fibers is performed directly from the polymer melt. Then, resulting products reach new properties depending on the production conditions. Nowadays, these products are widely used in many areas, such as healthcare, or in the automotive, construction, filtration and textile industries.

The theoretical part of the thesis describes nonwovens and technologies used for their preparation. Further, attention is focused on the most commonly used polymers for spinning, as well as information related to liquid filtration. The final chapter is focused on devices for characterization of mechanical properties and structure of prepared nonwovens.

In the practical part of the thesis, attention was focused on the structure, mechanical properties and especially on the filtration properties of nonwovens prepared by spunbond technology from different types of polymers under different processing conditions.

Keywords: Nonwovens, spunbond technology, liquid filtration.

Chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Romanu Kolaříkovi, Ph.D., za ochotu pomoci, za cenné rady, za poskytnutí literatury, hlavně za čas a trpělivost při tvorbě bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost věnovanou během celé tvorby bakalářské práce a během celého bakalářského studia.

Roman Červík

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 NETKANÉ TEXTILIE	13
1.1 DEFINICE.....	13
1.2 HISTORIE.....	13
1.3 APLIKACE.....	14
1.3.1 Hygiena.....	14
1.3.2 Lékařství.....	15
1.3.3 Domácnost.....	15
1.3.4 Stavebnictví.....	16
1.3.5 Zemědělství, zahradnictví a akvakultura.....	16
1.3.6 Filtrace.....	16
1.3.7 Oblečení.....	16
1.3.8 Ostatní.....	16
2 POLYETHYLEN	17
2.1 NÍZKO-HUSTOTNÍ POLYETHYLEN (PE-LD).....	17
2.2 VYSOKO-HUSTOTNÍ POLYETHYLEN (PE-HD).....	17
2.3 LINEÁRNÍ NÍZKO-HUSTOTNÍ POLYETHYLEN (PE-LLD).....	18
2.4 POLYETHYLEN S ULTRA-VYSOKOU MOLÁRNÍ HMOTNOSTNÍ (PE-UHMW).....	18
3 POLYPROPYLEN	19
4 KYSELINA POLYMLÉČNÁ	20
5 POLYETHYLENTEREFTALÁT	21
6 POLYAMID	22
6.1 ALIFATICKÉ POLYAMIDY.....	22
6.1.1 Polyamid 6.....	22
6.1.2 Polyamid 66.....	22
7 TECHNOLOGIE VÝROBY NETKANÝCH TEXTILÍ	23
7.1 TECHNOLOGIE SPUNBOND.....	23
7.1.1 Popis.....	23
7.1.2 Polymery.....	24
7.1.3 Historie.....	24
7.2 TECHNOLOGIE MELTBLOWN.....	25
7.2.1 Popis.....	25
7.2.2 Polymery.....	25
7.2.3 Historie.....	26
8 FILTRACE KAPALIN	27
8.1 POPIS.....	27

8.2	VYUŽITÍ	27
8.3	POSTUP.....	27
8.4	APARATURA	28
8.5	ROZDĚLENÍ FILTRACE DLE TYPU.....	28
8.5.1	Povrchová filtrace	28
8.5.2	Hloubková filtrace.....	29
8.6	ZPŮSOBY FILTRACE PODLE VELIKOSTI ČÁSTIC.....	29
8.7	EFEKTIVITA FILTRACE	30
8.8	PARAMETRY FILTRACE	30
8.9	NETKANÉ TEXTILIE A FILTRACE	30
8.9.1	Výhody.....	31
8.9.2	Nevýhody	31
8.10	FILTRAČNÍ MATERIÁL.....	31
8.11	PÓROVITOST.....	31
8.12	NASÁKAVOST.....	32
9	MECHANICKÉ STATICKÉ ZKOUŠKY TAHEM.....	33
9.1	ZKOUŠKA TAHEM	33
9.1.1	Pevnost v tahu	33
9.1.2	Modul pružnosti v tahu	33
9.1.3	Horní mez kluzu	34
9.1.4	Dolní mez kluzu	34
9.1.5	Tažnost	34
9.2	TRHACÍ STROJ	34
10	MIKROSKOPIE	36
10.1	OPTICKÁ MIKROSKOPIE	36
10.1.1	Historie.....	36
10.1.2	Popis.....	36
10.2	ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	37
10.2.1	Historie.....	37
10.2.2	Popis.....	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
11	CÍL PRÁCE	39
12	PŘÍPRAVA NETKANÝCH TEXTILÍ.....	40
12.1	POUŽITÉ MATERIÁLY	40
12.2	ZVLÁKŇOVÁNÍ TECHNOLOGIÍ SPUNBOND	40
13	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ.....	42
13.1	CHARAKTERIZACE STRUKTURY	42
13.2	CHARAKTERIZACE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	45

13.3 CHARAKTERIZACE FILTRAČNÍCH VLASTNOSTÍ.....	45
ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
SEZNAM OBRÁZKŮ	57
SEZNAM TABULEK.....	58

ÚVOD

Práce je zaměřena na přípravu vláknenných filtrů, které se využívají k čištění kapalin. Filtry jsou vyráběny z netkaných textilií, které jsou v dnešní době hojně využívány. Využívají se v mnoha oblastech, jako jsou zdravotnictví, automobilové, konstrukční, filtrační a textilní odvětví. Dále se z nich vyrábějí dětské pleny, hygienický výrobky, oblečení, ubrusky, zemědělské fólie, ale také filtry pro čištění kapalin či vzduchové filtry [1-4].

V případě filtrů je snahou docílit jejich vysoké pevnosti a současně dobrých filtračních vlastností. Filtry z polymeru lze připravit například technologiemi spunbond a meltblown. Hlavní snahou je dosáhnout co nejvyšší účinnosti filtrů. Toho lze docílit využitím technologie meltblown, protože vzniklé produkty jsou z vláken menších průměrů umožňujících tak lepší záchyt nečistot. Avšak u těchto produktů ztrácí materiál svou pevnost. Naopak je tomu v případě technologie spunbond, pomocí níž má finální produkt zlepšenou pevnost, ale horší filtrační vlastnosti. Z tohoto důvodu jsou tyto dvě technologie často kombinovány za účelem získání optimálních vlastností filtru z netkané textilie [3,4].

Odtud tedy plynou cíle této práce, a to v podobě zjištění vlivů změny daných procesních podmínek na pevnost a filtrační vlastnosti připravených netkaných textilií technologií spunbond z různých typů polymerů.

Teoretická část této práce se zabývá popisem netkaných textilií, nejvhodnějšími materiály ke zvláknování a technologiemi jejich výroby. Dále jsou v teoretické části práce popsány informace týkající se filtrace kapalin a také přístroje k určení mechanických vlastností a struktury připravených netkaných textilií. V praktické části jsou poté diskutovány mechanické vlastnosti, v podobě pevnosti a tažnosti připravených netkaných textilií a především filtrační vlastnosti z pohledu pórovitosti, nasákavosti a času filtrace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NETKANÉ TEXTILIE

1.1 Definice

Netkané textilie jsou inovativní a technologicky vyspělé textilie. Jsou definovány jako ploché, pružné a porézní vrstvy nebo rouna. Tyto vrstvy jsou sestaveny z jedné nebo více vrstev vláken, která jsou spojována tepelnými, mechanickými nebo chemickými úpravami. Vlákná mohou být orientována v jednom směru nebo jsou ukládána náhodným způsobem [1,2].

Netkané textilie je mladé odvětví textilního průmyslu. Velice se rozšířilo po druhé světové válce, kvůli velké produktivitě výrobků a nízkým nákladům. Využívají se jako spotřební a průmyslové výrobky. Tyto výrobky se mohou kombinovat s jinými materiály nebo používat samostatně. Využívají se ve zdravotnictví, v automobilových, konstrukčních, filtračních a textilních odvětvích [3,4].

1.2 Historie

O prvních předchůdcích netkaných textilií se dodnes spekuluje. Jedna ze spekulací je ta, že už ve čtvrtém tisíciletí před našim letopočtem vyráběli Sumerové plstěnou vlnu. Další příběh vypráví o tom, jak si cestovatelé dávali do svých sandálů vlnu, aby zmírnily jejich bolest nohou. Po dlouhé chůzi pomocí vlhkosti a tlaku se z vlny vytvořila měkká tkanina.

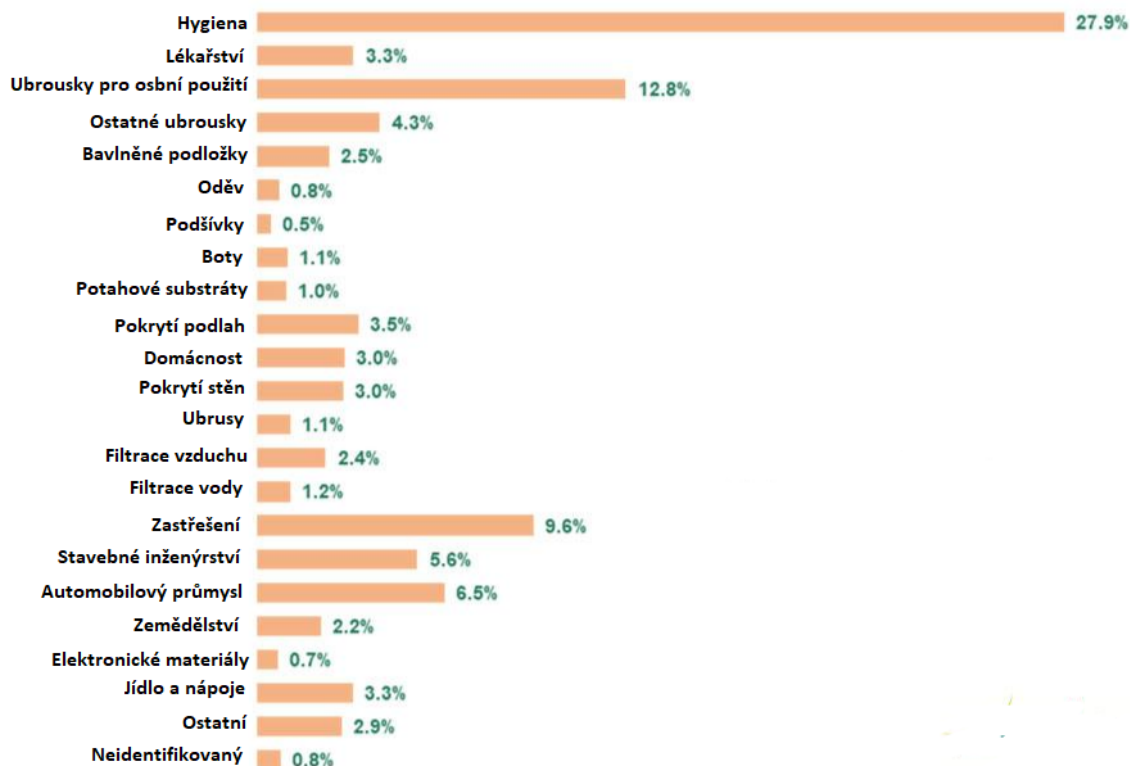
Ale mezi první předchůdce řadíme živočichy žijící v přírodě. Jedná se o hnízda ptáků a mnoho jiných živočichů. V přírodě také nalezneme kokony, které spřádá hmyz a samozřejmě pavučiny.

Nejstarší materiál, který lze považovat za netkanou textilií, se považuje plst'. Tato plst' se vyráběla ze zvířecích srstí. Plstě se vyráběly různými způsoby (za tepla, změny vlhkosti nebo vzájemného míchání). Vzniklé výrobky se využívaly v domácnostech ke každodenní spotřebě nebo ve stavebnictví jako stavební materiál.

Samostatná technologie výroby netkaných textilií začala ve 20. letech dvacátého století. Po 30. letech dvacátého století začala poptávka pro efektivnější a levnější technologii k výrobě plošných textilií. Vzniklo mnoho nových textilních odvětví, která se zabývali zcela novými vlastnostmi pro netkané textilie. I přesto, že se v průběhu několika let vývoj výroby usnadnil, podstata výroby je stejná [5,6].

1.3 Aplikace

Výrobky z netkaných textilií představují naprostou součást každodenního života. Výrobky nalezneme v každé místnosti každého domu. Hlavní důvod, proč se využívají netkané textilie místo jiných materiálů je to, že jsou kompaktní, mají nízkou hmotnost a nízkou cenu. Hlavní produkce netkaných textilií připadá na hygienické potřeby. Další výrobky jsou procentuálně zobrazeny na obrázku 1. Nejvíce bylo vyrobeno jednorázových výrobků, a to hlavně dětské pleny a jednorázové utěrky. Největším producentem netkaných textilií je Asie, zároveň je třetím největším spotřebitelem. Evropa a Severní Amerika se řadí jako druhý největší producenti netkaných textilií [7,8].



Obrázek 1 – Spotřeby výrobků netkaných textilií pro rok 2018 [9].

1.3.1 Hygiena

V oblasti hygieny jsou výrobky z netkaných textilií považovány za předměty každodenního použití. Jedná se především o jednorázové výrobky.

Mezi tyto výrobky patří [7]:

- Dětské pleny
- Dámské hygienické výrobky

- Produkty pro dospělé při inkontinenci
- Suché a vlhčené ubrousky
- Kosmetické vycpávky
- Jednorázové spodní prádlo

1.3.2 Lékařství

Využití netkaných textilií v lékařství sahá až do období druhé světové války, kdy bylo potřeba nových léčivých přípravků. Dříve doktoři používali tkané pláště a lékařské potřeby, ale zjistilo se, že pro lékařské potřeby více vyhovovali netkané textilie. Důvod, proč jsou nejlepší volbou pro lékařství: vynikající účinnost a bariérové vlastnosti, lepší ochrana uživatele, a lepší výkon, myslí se tím pohodlí, tloušťka, hmotnost, přenos vodních par a propustnost vzduchu. Jsou považovány za nejúčinnější materiály pro bakteriální bariéry. Opět se jedná hlavně o materiály na jedno použití a mezi ně řadíme: jednorázové čepice, pláště, masky, pokrývky bot, houbičky, obvazy a ubrousky [10].

1.3.3 Domácnost

V domácnosti se setkáváme s netkanými textiliemi na každém kroku. Využívají se v mnoha domácích aplikacích, a to od čištění a filtrování až po estetický dojem domácnosti. Ne vždy jdou tyto výrobky i vidět, jelikož se využívají na kobercové podložky a příkrývky. Stále častěji se také využívají v aplikacích jako tapety, ošetření oken, deky a ubrusy.

Mezi hlavní produkty řadíme [11]:

- Utěrky, mopy, sáčky do vysavače, žínky, kuchyňské a ventilátorové filtry, čajové sáčky, kávové filtry, ubrousky a ubrusy
- Konstrukce nábytků: polštářky, obložení, čalounění, materiály okrajových lemů, izolátory
- Konstrukce podestýlky: potahy na matrace, podšívka a komponenty podložky na matrace
- Zařízení: okenní závěsy, stínítka, obklady stěn a podlah

1.3.4 Stavebnictví

Ve stavebním průmyslu se setkáváme s trvanlivými a velkoobjemovými produkty. V tomto odvětví se neustále zvyšují energetické účinnosti výrobků.

Hlavní výrobky pro stavebnictví slouží k [12]:

- Izolaci a vlhkosti: tepelné a zvukové izolace, střešní krytina a dlaždice
- Strukturní: základy a stabilizace půdy

1.3.5 Zemědělství, zahradnictví a akvakultura

O netkaných textilních materiálech se mluví jako o páteři zemědělství. Používají se k optimalizaci produktivity plodin, zahrad a skleníků. Využívání těchto materiálů slouží ke snížení potřeby pesticidů a manuální práce je omezena na minimum [13].

- Ochrana před poškozením hmyzu – kryty plodin
- Tepelná ochrana – semenné příkrývky
- Regulace plevelů – nepropustné bariérové tkaniny

1.3.6 Filtrace

Filtrace tvoří 2 až 6 procent celosvětové výroby. Vyrábějí se vzduchové a plynové filtry [13].

1.3.7 Oblečení

Jedná se o nejstarší a nejjednodušší textilní tkaninu. Netkané textilie se netrhají a nerozpádají, proto mají velký potenciál v módě. Poskytují specifické funkce, jako je nasákavost, odpuzování tekutin, pružnost, retardace hoření, pratelnost, roztažnost, měkkost atd. Netkané textilie se vyrábějí především v podobě ochranného oblečení, které je tepelně izolované, odolné proti ohni, bodnutí, prachu, toxickým látkám. Také se z nich vyrábí reflexní a pracovní oděvy, či podšívky pro boty [14].

1.3.8 Ostatní

Tašky na potraviny, opěrky hlavy v letadlech, průmyslová brusiva, izolace kabelů, spací pytel, stany, zavazadla, polštáře [7].

2 POLYETHYLEN

Polyethylen (zkratka PE) je jedním z polymerů, které patří do kategorie polyolefinů. Jedná se o termoplast, který vzniká polymerací ethenu. Polyethylen se využívá v široké škále aplikací, jako jsou například nákupní tašky, různé hračky, neprůstřelné vesty a jako kloubní a kyčelní náhrady. Má velice jednoduchou strukturu, jedná se o dlouhý řetězec atomů uhlíků, se dvěma atomy vodíku, které jsou připojeny ke každému uhlíku. Polyethylen existuje v mnoha formách. Mezi hlavní formy polyethylenu patří: nízko-hustotní polyethylen, vysoko-hustotní polyethylen, polyethylen s ultra-vysokou molární hmotností a lineární nízko-hustotní polyethylen (PE-LD, PE-HD, PE-UHMW a PE-LLD) [15].

2.1 Nízko-hustotní polyethylen (PE-LD)

Za normálních podmínek se jedná o mléčně zakalený polymer. Tento zákal klesá s rostoucím stupněm rozvětvení neboli s poklesem krystalinity. Polymer je silně větvený a jeho krystalinita je okolo 50 %. Jedná se o houževnatý materiál s jemným omakem, který je pružný, odolný vůči mnoha chemikáliím. Snadno se zpracovává různými technologiemi. Odolává až do teploty $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho použití je pouze do teploty $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho teplota tání je mezi 105 až $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ [16].

Nízko-hustotní polyethylen se vyrábí z monomeru ethenu pomocí radikálové polymerace, kde iniciátorem je kyslík. Teplota během polymerace je $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlak 150 až 300 MPa . Polymerace se provádí v trubkovém reaktoru nebo v míchaném reaktoru. Vzniklý polymer ve formě taveniny stéká do separátoru, kde se odděluje od nezreagovaného monomeru. Tavenina se granuluje a smíchává s antioxidanty a opět se granuluje. Hlavní aplikací PE-LD je výroba různých fólií. Mezi tyto fólie patří hlavně obalové fólie, nákupní tašky, sáčky, zemědělské fólie a odpadkové pytle. Mezi další produkty patří kelímky, víčka, trubky, trubičky, láhve a hračky. Nízko-hustotní polyethylen se zpracovává vytlačováním, vstřikováním, tvarováním a vyfukováním [16].

2.2 Vysoko-hustotní polyethylen (PE-HD)

Jedná se o termoplast s lineární strukturou, který snadno krystalizuje. Stupeň krystalinity je $95\text{ }%$. Je pevnější a tužší než PE-LD. Velice vysoká rázová houževnatost (jeden z nejlepších polymerů). Dobře se zpracovává, uchovává si vlastnosti i za nízkých teplot, má velkou odolnost vůči praskání, kromě silných kyselin při zvýšené teplotě má velmi dobrou chemickou odolnost a některé uhlovodíky způsobí slabé naleptání povrchu [16].

Vysoko-hustotní polyetylen se vyrábí z monomeru ethenu pomocí iontové polymerace. Přesněji komplexně-koordináční polymerace v nevodném prostředí za použití Ziegler-Nattových, Philipsových nebo metallocenových katalyzátorů. Teplota a tlak reakce záleží na typu provedení. Teplota je v rozmezí 75 až 240 °C a tlak 0,2 až 6 MPa.

Provedení:

- Suspenzní: za intenzivního míchání probíhá srážecí polymerace v rozpouštědle monomeru v němž je polymer nerozpustný
- Roztokové: monomer i polymer rozpuštěný ve společném rozpouštědle, konverze je pouze 5 až 10 % a to kvůli viskozitě

PE-HD je využíván k výrobě varných sáčků, kojeneckých lahví, trubek, opláštění kabelů, velkoobjemové nádoby, fólie, pytle a hračky. PE-HD se zpracovává téměř stejně jako PE-LD a to vstřikováním, vytačováním a vyfukováním. A oproti PE-LD se PE-HD ještě vyrábí pomocí rotačního lisování [16].

2.3 Lineární nízko-hustotní polyetylen (PE-LLD)

V podstatě se jedná o nízko-hustotní polyetylen, ale polymer má pouze krátké a řídké větve. Ve srovnání s PE-HD má PE-LLD lepší zpracovatelské vlastnosti. Je odolnější vůči tvorbě trhlin pod napětím. Stupeň krystalinity je 50 % [16].

Výroba a provedení je stejné jako u PE-HD. Ale probíhá ještě kopolymerace. Vznikají velmi krátké řídké větve. Hlavní aplikací je výroba velmi tenké fólie, a to jak pro průmyslové odvětví, tak i pro potravinářství. Dále se vyrábí sáčky, hračky, kbelíky a flexibilní hadice. Lineární nízko-hustotní polyetylen se hlavně zpracovává vyfukováním [16].

2.4 Polyetylen s ultra-vysokou molární hmotností (PE-UHMW)

Má extrémně dlouhé řetězce s molekulovou hmotností mezi 3,5 až 7,5 miliónů. Polymer je bez zápachu, bez chuti, netoxický, lineární a krystalický. Teplota tání je 125 až 135 °C. Oproti PE-HD je houževnatý i za nízkých teplot. Má vysokou odolnost proti oděru a chemikáliím [16].

Výroba je stejná jako u PE-HD, pouze provedení je jen suspenzní. PE-UHMW se využívá ve zdravotnictví jako kloubní náhrada. Dále se z něj vyrábějí kluzná kloubová ložiska a části stroje. PE-UHMW se zpracovává lisováním. Také se používá technologie spékání a obrábění [16].

3 POLYPROPYLEN

Polypropylen (zkratka PP) je opět jeden z polymerů, které patří do skupiny polyolefinů. Jedná se o termoplast, který je objemově nejvíce vyráběn. Struktura polypropylenu je lineární a jeho molekulová hmotnost se pohybuje okolo 100 000 až 500 000 monomerních jednotek. Polymer je houževnatý, má nízkou hmotnost, je křehký pod teplotou 0 °C, má dobré tokové vlastnosti a je odolný vůči teplu. Tacticita rozděluje polypropylen na tři typy. Může být i-PP, neboli izotaktický polypropylen, který má metylové skupiny na jedné straně. Další je syndiotaktický polypropylen, ten má methylenové skupiny umístěny střídavě. A poslední je a-PP, neboli ataktický polypropylen, jeho methylenové skupiny jsou orientovány nahodile na obě strany. Tato tacticita, která je určena katalyzátorem, má vliv na to, jestli je polypropylen schopen tvořit krystaly. Izotaktické a syndiotaktické polypropyleny jsou krystalické, zatím co ataktický polypropylen je amorfní, měkký, lepkavý materiál, který je používán v lepidlech [17].

Polypropylen se vyrábí iontovou, komplexně koordinační polymerací, kde monomerem je propylén. Při polymeraci jsou přítomny Ziegler-Nattův katalyzátor. Polymerace probíhá v plynné fázi s fluidním ložem nebo míchaným reaktorem anebo v kapalně fázi buď to v suspenzi anebo v roztoku. Polymer se odděluje od monomeru a ředidla a následně monomer a ředidlo je opět vráceno do procesu. Podmínky pro polymeraci jsou teplota 50 až 70 °C a tlak 0,7 až 1 MPa [18]. Jedna z hlavních aplikací polypropylenu ve zdravotnickém průmyslu jsou netkaná vlákna. Následně se z nich vyrábí chirurgické pláště, roušky, filtry a sítě. Také velmi vyráběné jsou jednorázové injekční stříkačky. Díky svým vlastnostem, jako je chemická odolnost a houževnatost, je polypropylen výborný materiál na výrobu laboratorního vybavení. A to na zkumavky, pipety, destičky, kyvety a kádinky. Dále se z něj vyrábí konstrukční plast, trubky, fólie, desky a předměty domácí spotřeby s vyšší tuhostí a tepelnou odolností [19].

4 KYSELINA POLYMLÉČNÁ

Kyselina polylactonová (zkratka PLA) je lineární termoplast, který patří do skupiny polyesterů. V současné době je jedním z nejpoužívanějších biologicky rozložitelných polymerů neboli biopolymerů. Polymer je bezbarvý a čirý. Vyskytuje se jak v amorfním stavu, tak i v semi-krytalickém stavu. Je nerozpustný ve vodě. Rozpouští se nejčastěji v chloroformu, kyselině dichlorooctové a v acetonitrilu. Svými vlastnostmi je srovnatelný s polystyrenem a polyethylentereftalátem [20,21].

Nejlevnější a nejjednodušší metodou výroby je přímá polykondenzace v tavenině. Monomerem je kyselina mléčná. Touto metodou vzniká kyselina mléčná, která má molekulovou hmotnost maximálně do několika desítek tisíc. Polykondenzace je rozdělena do třech kroků. Prvním krokem je odstranění volné vody. V druhém kroku dochází k tvorbě nízkomolekulární kyseliny polylactonové. A třetím krokem je samotná polykondenzace v tavenině [22]. V dnešní době se se nejvíce využívá v obalových průmyslech. A to díky svým vlastnostem jako je biodegradabilita, kompostovatelnost a možnost recyklace. Až 70% celkové produkce tohoto polymeru je právě výroba obalů. Balí se do něj potraviny, zelenina, ovoce a pečivo. Lze z něj také vyrábět kelímky, potravinářské fólie a jednorázové poháry. Druhá největší výroba z tohoto materiálu je výroba vláken. Vlákna se využívají pro výrobu oděvů, netkaných textilií, kobereců, polštářů, příkrývek a filtračních médií [23,24].

5 POLYETHYLENTEREFTALÁT

Polyethylentereftalát (zkratka PET) je lineární termoplast, který patří do skupiny polyesterů. Existuje v amorfním i v semi-krystalickém stavu. V semi-krystalickém stavu je polymer mléčně zakalený a má dobrou pevnost, je tažný, tvrdý a tuhý. V amorfním stavu je průhledný a je více tažný, ale má menší tuhost a tvrdost. Amorfní stav vzniká při prudkém ochlazení a po dodatečném ohřevu nad teplotu skelného přechodu zkrystalizuje. Tomuto procesu se říká studená krystalizace. Teplota tání polymeru je 264 °C. Teplota skelného přechodu v semi-krystalickém stavu je 80 °C a v amorfním stavu je 67 °C. Teplota použitelnosti je od -60 do 130 °C. Zpracovává se zvlákňováním, vytlačováním a vytlačovacím vyfukováním [25].

Polyethylentereftalát se vyrábí dvoustupňovou polykondenzací z monomeru kyseliny tereftalové a etylenglykolu. První stupeň je polymerace, kdy probíhá esterifikace mezi kyselinou tereftalovou a etylenglykolem za vzniku vody a Bis-(2-hydroxyethyl)tereftalát. Druhý stupeň je polykondenzace kde se získaný produkt z prvního stupně zahřeje na teplotu 280 až 300 °C ve vakuu. Následně nám vzniká polyethylentereftalát a etylenglykol, který se následně odstraňuje. Polyethylentereftalát se využívá jako vlákna, fólie a láhve. Z těchto vláken se vyrábí oblečení, bytový textil, kordy, lana, hadice a sítě. Fólie se používají jako obalové fólie, které se dají potisknout, také se využívají v elektronice a jako plátna pro potisk. Láhve mají dobré bariérové vlastnosti, jsou levné a lehké. Hlavně se používají pro potravinářské účely, ale i pro kosmetiku nebo čisticí prostředky. V kombinaci s polykarbonátem se využívá na konstrukční účely v automobilovém průmyslu. S polypropylenem tvoří kompatibilizátor [25].

6 POLYAMID

Polyamidy (zkratka PA) jsou lineární, semi-krystalické termoplasty. Polyamidy se dělí do dvou skupin, kterými jsou alifatické a aromatické polyamidy. V alifatické skupině jsou tyto polyamidy značeny čísly, například: PA 6, PA 66, PA 610, PA 11 a PA 12. První číslo značí počet uhlíků v řetězci mezi diaminy. Druhé číslo počet uhlíků v kyselině. Do aromatické skupiny patří kevlar a nomex, tyto polymery se nedají zvláknovat, proto nejsou více popsány [26].

6.1 Alifatické polyamidy

Jedná se o lineární polymery obsahující polyamidovou skupinu CONH. Jsou velice tvrdé, pevné, houževnaté a mají vysokou mez pevnosti. Před zpracováním se musí vysušit, jelikož jsou příliš navlhavé [27].

6.1.1 Polyamid 6

Polyamid 6 neboli Sylon je lineární, krystalický termoplast. Jeho struktura je tvořena vodíkovými můstky. Je to velmi tvrdý a houževnatý polymer. Je odolný vůči oděru. Je použitelný v rozsahu teploty od -30 do 100 °C. Z polyamidů je nejvíce navlhavý. Absorbuje až 3% vody. Před zpracováním se suší v sušárně o teplotě 70 až 120 °C a tlaku 1000 hPa. Sušení trvá okolo 5 hodin a obsah vody se sníží na 0,15 % [28].

Vyrábí se hydrolytickou polykondenzací, která probíhá ve dvou krocích. Využívají se v elektronice, vyrábějí se z nich ložiska, ozubená kola, vytlačované profily. Dále se využívají ve stavebnictví a v automobilovém průmyslu. Sylon se zpracovává vstřikováním, vytlačováním a vyfukováním. Ale před každým zpracováním se musí vysušit [28].

6.1.2 Polyamid 66

Polyamid 66 neboli Nylon lineární, krystalický termoplast. Jeho struktura je tvořena vodíkovými můstky. Jedná se opět o velmi tvrdý polymer, který je méně houževnatý než Sylon, ale je více odolný vůči teplotě. Je použitelný v rozsahu teploty od -30 do 120 °C a je i méně navlhavý, pouze 2,8 % [28].

Jedná se dvoustupňovou kondenzací. Monomery jsou kyselina adipová a hexamethyldiamin. Nylon má shodné využití jako Sylon. A to hlavně pro výrobu vláken a fólií. Zpracovává se úplně stejně jako Sylon, a to opět vstřikováním, vytlačováním a vyfukováním. Opět se musí před zpracováním nechat vysušit [28].

7 TECHNOLOGIE VÝROBY NETKANÝCH TEXTILIÍ

Před výrobou netkaných textilií se polymer musí zvláknovat. Pro zvláknování polymeru se používají čtyři základní typy, a to podle toho, zda je zvláknování prováděno z taveniny nebo z roztoku. Mezi tyto typy patří zvláknování tavné, suché, mokré a elektrostatické [29,30].

Zvláknování tavné se používá u polymerů, které mají teplotu tavení nižší, než je jejich teplota termického rozkladu. Vlákná vznikají poté co tavenina projde přes zvláknující trysku. Následně jsou vlákna tažena v chladném proudu vzduchu. [31]

Při suchém zvláknování dochází k rozpouštění polymeru v těkavém rozpouštědle. Jakmile polymer projde přes zvláknovací trysku tak se rozpouštědlo odpaří v chladicí šachtě. Pro optimální zvláknování tímto způsobem, musí být koncentrace polymeru mezi 15 až 32 % a musí se použít rozpouštědla, které mají bod varu maximálně 170 °C. Důležitá je také rychlost zvláknování, která by měla být v rozsahu 100 až 1000 metrů za minutu [29-31].

Při mokřím zvláknování, opět dochází k rozpouštění polymeru v rozpouštědle, ale v netěkavém nebo v málo těkavém. Rozpouštědlo je vymýváno v kapalinové lázni. Poté dochází k vysrážení a odvíjení vlákna. Opět je tento způsob prováděn za optimální koncentrace polymeru, která je 5 až 25 %. Stejně jako je snížena koncentrace polymeru, tak je snížena i rychlost zvláknování, která je 5 až 200 metrů za minutu [29-31].

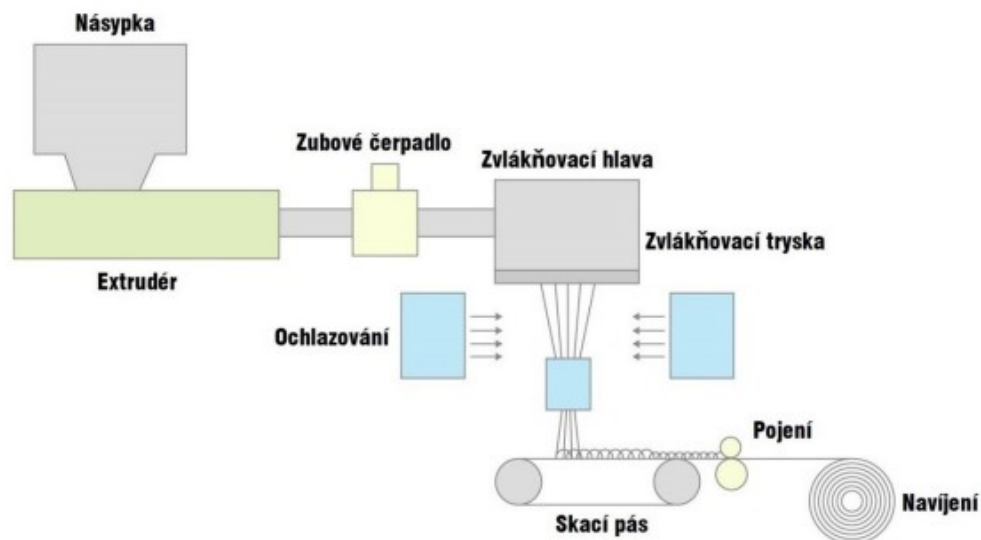
Nejběžnější metodou v dnešní době je elektrostatické zvláknování. Podstatou je využití účinku elektrostatického pole na polymerní roztok nebo taveninu. Polymerní roztok nebo tavenina je zvláknována přes zvláknovací trysku, na jejímž konci vzniká tzv. Taylorův kužel. Tento kužel vzniká pomocí vysokého elektrického napětí mezi špičkou kapiláry a uzemněným kolektorem. Z tohoto kuželu je odvíjen nabitý proud kapaliny. Během toho dochází k odpaření rozpouštědla a vzniká nabitě vlákno. Opět záleží na mnoha faktorech jako jsou: elektrické napětí a proud, koncentrace, vodivost, povrchové napětí a viskozita rozpouštědla [32,33].

7.1 Technologie spunbond

7.1.1 Popis

Jedná se o nejrychlejší technologii, při které se z polymeru vyrábí tkanina. Vše probíhá ve vytlačovacím stroji, kde se polymerní granulát taví. Skrz zvláknovací trysku se zvláknuje

roztavený polymerní granulát na nekonečná vlákna neboli filameny. Následně jsou filamenta odtahována vzduchem do hubice. V hubici se vlákna chladí a dochází k dloužení. V této části mají vlákna velikost průměru 10 až 30 mikrometrů. Dloužená vlákna dopadají na dopravní pás, ke kterému jsou přisávány odtahem vzduchu pod pásem. Následně jsou vlákna zpevňována tepelně, mechanicky nebo chemicky [34].



Obrázek 2 – Schéma spunbond linky [35].

7.1.2 Polymery

Při technologii spunbond se používají polymery s vysokou molekulovou hmotností jako je hlavně polypropylen, polyamid a polyester. Dále se používají polymery s vysokou hustotou jako je polyethylen. Nejpoužívanější polymer je izotaktický polypropylen. U tohoto polymeru se vytváří nejvíce vláken na kilogram materiálu, má největší výtěžnost, a to díky nízké hustotě. Má vysokou krycí sílu a je levný [34].

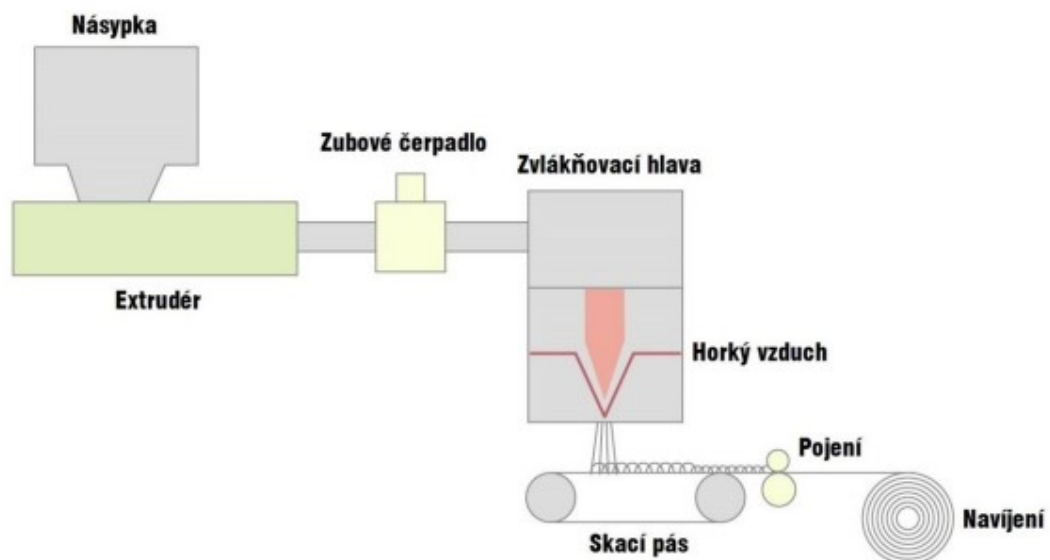
7.1.3 Historie

Tato technologie byla objevena současně v Evropě a ve Spojených státech na konci 50. letech 20. století. Až o 10 let později se tato technologie začala pořádně používat, jelikož zjistili, že zvýší výrobu tkanin za nižší cenu. V současnosti je tato technologie mezi nejpoužívanějšími technikami pro výrobu netkaných textilií. Uplatňuje se v automobilovém oboru, ve stavebnictví, geotextilií a zdravotnictví [34].

7.2 Technologie meltblown

7.2.1 Popis

Jedná se o velice podobnou technologii jako spunbond. Polymer se opět taví ve vytlačovacím stroji neboli v extrudéru. Následně je odtažován vzduchem. Vzduch ale už není za pokojové teploty, nýbrž je jeho teplota stejná nebo vyšší jak teplota polymeru. Rychlost vzduchu je mezi 100 až 500 m/s. Podle rychlosti vzniká vlákno o velikosti 2 až 10 mikrometrů. Vlákna jsou opět strhávána na dopravní pás kde se následně navíjejí. Před navíjením, mohou probíhat některé operace pro zlepšení vlastností. Může probíhat elektrostatické nabíjení, při této operaci se zlepší filtrace ze vzduchu nebo z jiných plynů. Nejčastěji probíhá kalandrování, vlákna zmenší svou tloušťku a sníží velikosti pórů [36].



Obrázek 3 – Schéma meltblown linky [37].

7.2.2 Polymery

Z praktického hlediska, by šel pomocí technologie meltblown zpracovat jakýkoliv termoplast. Nejpoužívanější termoplast je polypropylen. Má velice dobré vlastnosti, dají se z něj vyrobit jak jemná, tak i hrubá vlákna, a hlavně je levný. Další dva termoplasty, které mají dobré vlastnosti, a proto jsou vhodné je polyamid 6 a polybutylen tereftalát, ale jsou dražší než polypropylen. Jako další se používá polyamid 66, polykarbonát, polystyren, polyethylen či polyvinylalkohol [36].

7.2.3 Historie

Technologie meltblown vznikla ve Spojených státech na začátku 50. letech 20. století. Ale v této době nesloužila k výrobě nanovláknenných materiálů, ale jako sběr radioaktivních částic v horní atmosféře. Až v roce 1954 bylo zjištěno, že tato technologie dokáže vyrábět mikrovlákna, které v té době měli velikost 20 mikrometrů. V 60. letech 20. století byli vyvinuty stroje pro výrobu netkaných materiálů a v 70. letech 20. století se začali vyrábět pomocí této technologie první filtry, hygienické výrobky a ostatní. V dnešní době technologie meltblown představuje 5 % z celosvětové výroby netkaných látek [36].

8 FILTRACE KAPALIN

8.1 Popis

Filtrace je hydrodynamický proces při, kterém dochází k oddělení pevné látky od kapaliny. Směs pevné látky a kapaliny neboli suspenze, je nalita na porézní materiál. Ty částice, které jsou větší, jak póry na porézním materiálu se zachytí a zbytek prochází skrz porézní materiál. Tomuto zbytku se říká filtrát. Zachyceným částicím se říká filtrační koláč. Porézní materiál se označuje jako filtrační přepážka. Po dokončení operace filtrace se provádí proces promývání a profukování pro získání většího produktu. Produkt může být filtrát i filtrační koláč. Promývání je proces při, kterém se vytěsni kapalina z pórů filtračního koláče. Účelem profukování je co nejvíce zmenšit objem kapaliny, která zůstala ve filtračním koláči po filtraci nebo po promývání. Kapalina se vytěsňuje vzduchem nebo jiným plynem [38-45].

8.2 Využití

Filtrace je velmi používaná technologie. Nejvíce aplikací má v potravinářství a v chemii. V potravinářství se filtruje téměř každá kapalina, aby koncový produkt byl co nejvíce kvalitní a čistý. Filtrace se také používá při výrobě cukru a různých sladidel. Na začátku procesu se nechají přefiltrovat vstupní suroviny, aby výsledný produkt byl vysoce kvalitní. Dále se filtrují minerální vody, piva, vína a ostatní lihoviny.

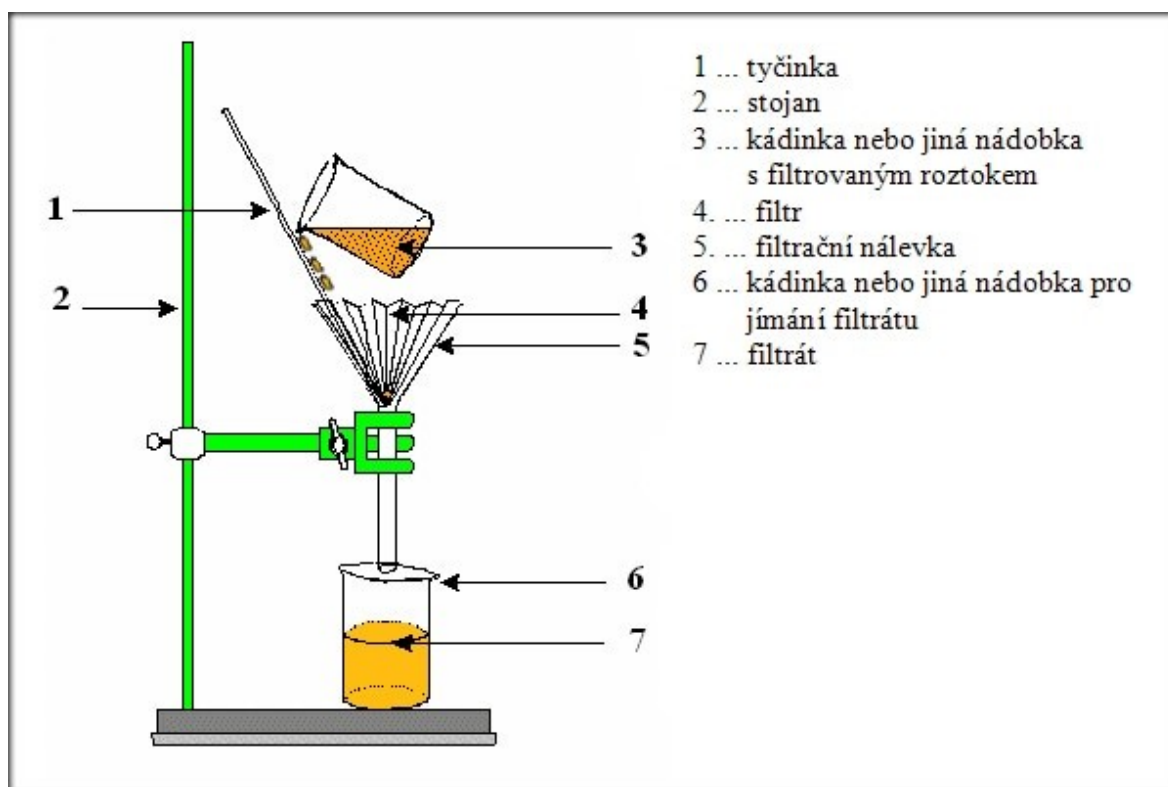
Další využití filtrace je v čištění odpadních vod. Tyto čističky se budují u různých velkých provozoven v blízkosti měst. Z kapaliny jsou jako první odděleny hrubé nerozpustné látky, pomocí česel. Dále se odstraňuje písek a tuky pomocí různých lapáků. A v poslední části se voda nechá usazovat v usazovací nádrži, jemné částice se usadí na dně nádrže a jsou stírány pryč z nádrže [38].

8.3 Postup

Suspenzi naléváme po tyčince do nálevky. Nálevka je upevněna na držák a obsahuje filtrační papír, který byl předem připraven. Pod nálevkou je připravena kádinka, kde bude odkapávat filtrát. Filtrát musí stékat po stěně kádinky, proto musí být konec nálevky umístěn co nejbližší ke stěně kádinky. Po odkapání veškerého filtrátu, se může filtrát opět nalít do kádinky, kde byla suspenze a celý proces zopakovat pro větší výtěžnost. Jestli je našim produktem filtrační koláč, tak se filtrační koláč i s předem zvážených filtračním papírem nechá vysušit v sušárně [38].

8.4 Aparatura

Aparaturu pro filtraci je zobrazena na obrázku 2. Aparatura obsahuje 2 kádinky, jedna kádinka, které obsahuje suspenzi, která se bude filtrovat. Do druhé kádinky se nechá odkapávat filtr. Následně aparatura obsahuje tyčinku, na kterou se nalévá suspenze, která stéká na porézní materiál. Porézní materiál může být filtrační papír, textilní tkanina, různá síta dle velikosti, desky z porézní keramiky a polymerní membrány. Na našem obrázku máme filtrační papír, který je umístěn v nálevce. Nálevka je přichycena ke stojanu. Pod nálevkou je už zmíněná druhá kádinka, která obsahuje filtrát [38].

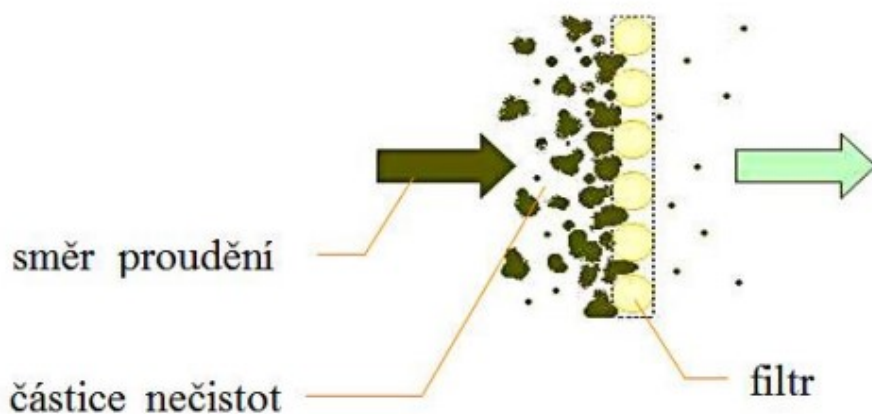


Obrázek 4 – Aparatura pro filtraci [39].

8.5 Rozdělení filtrace dle typu

8.5.1 Povrchová filtrace

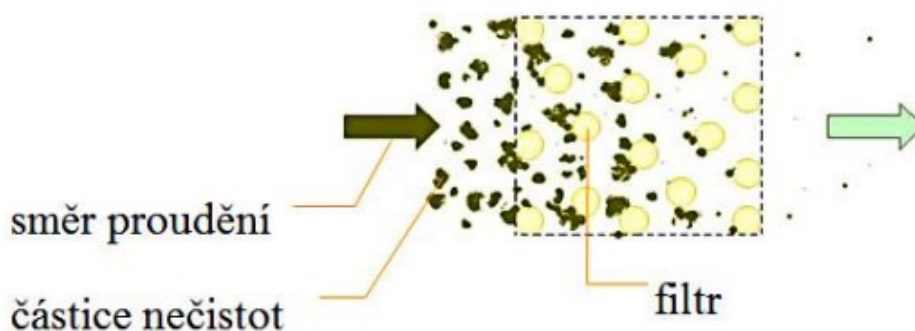
Částice se při filtraci zachytávají na povrchu filtru. Velikost pórů je menší jak velikost filtrovaných částic. Během procesu se zanáší filtr a mění svoje parametry. Při velkém zanášení filtru může dojít k velkému tlakovému zatížení filtru a ke zvětšení pórů. Následně může dojít k přetržení filtru. Výhodou této filtrace je možnost odstraňovat filtrační koláč z filtru [40].



Obrázek 5 – Schéma povrchové filtrace [40].

8.5.2 Hlubková filtrace

Při této filtraci se využívá filtrů, které mají větší tloušťku, oproti filtrům, které se používají u povrchové filtrace. Částice se nezachycují na povrchu filtru, ale pronikají do filtru. Množství pórů je zde taky větší než u filtrů u povrchové filtrace. Tím, že částice pronikají do filtru, tak začnou vznikat shluky částic, které dokážou na svém povrchu zachytit další částice. Nevýhodou oproti povrchové filtraci je nemožnost oddělovat zachycené částice. Na konci procesu se znečištěný filtr musí vyměnit [40].



Obrázek 6 – Schéma hloubkové filtrace [40].

8.6 Způsoby filtrace podle velikosti částic

Makrofiltrace – velikost částic je větší jak 10^{-6} m.

Mikrofiltrace – velikost částic je v rozmezí 10^{-7} až 10^{-6} m.

Ultrafiltrace – velikost částic je v rozmezí 10^{-8} až 10^{-7} m.

Nanofiltrace – velikost částic je v rozmezí 10^{-8} až 10^{-9} m.

Reverzní osmóza – velikost částic je menší jak 10^{-9} m [40].

8.7 Efektivita filtrace

Jedná se o poměr mezi částicemi, které se zachytí na filtru, k celkovému počtu částic. Účinnost filtrů může být vypočítána pro daný typ velikostí částic nebo pro všechny částice. Efektivita se v celém průběhu filtrace mění. Efektivita filtrace je definována jako množství proniknutých částic G_1 , to jsou ty částice, které se nezachytily na filtru, na celkovém množství částic G_2 . Zlomek G_1/G_2 se nazývá průnik filtru [40].

8.8 Parametry filtrace

Mezi hlavní parametry, které mění filtrační vlastnosti jsou vlastnosti filtru, parametry částic a průběh filtrace. Průběh celé filtrace může ovlivnit, jak rychle se nalévá roztok s částicemi na filtr. Poté záleží na tom, jaké jsou laboratorní podmínky, mezi které patří teplota, tlak a vlhkost místnosti. Co se týče filtru, tak nás zajímá, jak je tlustý a jaký má povrch. Následně jak jsou orientována vlákna, jejich jemnost, tvar a průměr. Následně nás zajímá, jestli je filtr elektricky vodivý, jaká je jeho objemová hmotnost a jestli je odolný vůči negativním vlivům. Poslední parametry, co nás zajímají, se týkají částic, které chceme filtrovat. Důležitý je jejich povrch, tvar a velikost. Důležitá je také jejich koncentrace a stejně jako u filtru nás zajímají jejich elektrické vlastnosti a jejich objemová hmotnost [40].

8.9 Netkané textilie a filtrace

Netkané textilie jsou ideálním materiálem pro filtrační aplikace. Lze je navrhnout přesně tak, aby splňovaly všechny požadavky na filtraci kapalin. Jsou odolné vůči teplotě, zároveň se sníží náklady na energii. Mají dlouhodobou živostnost a vysokou účinnost.

Při filtraci kapalin využitím netkaných textilií lze filtrovat potraviny, nápoje, vodu a krev. Samozřejmě se tyto filtry dají využít i v automobilovém průmyslu na filtraci olejů a pohonných hmot. Dále přes ně lze filtrovat prach a využívají se ve spotřebním zboží jako jsou vysavače a počítače na filtraci vzduchu [41].

8.9.1 Výhody

Vyšší efektivita filtrace při nižších hodnotách tlakového spádu, za použití netkaných textilií než za použití jiných materiálů. Filtry z netkaných textilií kladou menší odpor proudění kapalin. Důvodem je velký měrný povrch nanovláken a mají menší póry. Mají vyšší životnost, než filtry z jiných materiálů [41].

8.9.2 Nevýhody

Největší nevýhodou filtrů z netkaných textilií je to, že mají nízkou pevnost. Nízká pevnost je způsobena tím, že mezi nanovláknky působí velmi nízké přitažlivé síly. Další nevýhodou je nízká přilnavost k podkladu [41].

8.10 Filtrační materiál

Tyto materiály se dělí na textilní materiály a materiály specifického charakteru. Mezi hlavní textilní materiály patří: polypropylen, skelná vlákna, polyamid, polyvinylalkohol, polyuretan a vlákna z bavlny. Mezi specifické materiály patří: křemičitý písek, aktivní uhlí a jiné materiály, které jsou ve formě granulí nebo sypkých směsí.

Plošná hmotnost, *gms*, je vyjádřena hmotností vzorku na jednotku plochy v jednotkách g/m^2 [45].

$$gsm = \frac{10000}{S \cdot m_0} \quad (1)$$

8.11 Pórovitost

Jedná se o vlastnost materiálu, která je definována jako míra prázdných prostorů v materiálu. Porozita vzorku je označena písmenem *P* a výsledek je vyjádřen v procentech nebo ve zlomku od 0 do 1.

$$P = \frac{m_i - m_0}{S \cdot d \cdot \rho} \quad (2)$$

ρ je hustota vody zvolená s hodnotou 1 g/cm^3 . Výsledek je vyjádřen v procentech nebo ve zlomku od 0 do 1. Tyto materiály nemají zcela zaplněnou strukturu. V jejich struktuře jsou mezery, kterými může pronikat kapalina. Těmto mezerám se říká póry. Čím více pórů nebo čím jsou větší, tím více roste porozita vzorku a tím větší množství kapaliny ním projde. Při velkém počtu pórů dochází k turbulentnímu proudění, u malého počtu pórů dochází k laminárnímu proudění. Pokud jsou všechny póry zaplněny, říká se, že materiál je zcela nasycený [42].

8.12 Nasákavost

Opět se jedná o vlastnost materiálu a souvisí s pórovitostí. Tato vlastnost definuje pórovitou strukturu materiálu. A je tedy definována jako schopnost materiálu absorbovat kapalinu do své struktury. Jedná se o poměr hmotnosti vzorků, které byly zváženy před a po filtraci. Nasákavost kapalin se značí písmenem N , je vyjádřena v procentech a může značně překročit hodnotu nasákavosti 100 % [43].

$$N = \frac{m_i - m_0}{m_0 * 100} \quad (3)$$

Při určování nasákavosti je dodržována norma: ČSN EN ISO 9073-12 (806182) [44].

9 MECHANICKÉ STATICKÉ ZKOUŠKY TAHEM

Při statické zkoušce je materiál namáhán pomalu se zvyšující silou. Síla se zvyšuje rovnoměrnou rychlostí, až do okamžiku prvního porušení materiálu. Mezi statické zkoušky patří: pevnost v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu. U netkaných textilií je nejčastěji používána zkouška tahem [46].

9.1 Zkouška tahem

Pomocí této zkoušky vyhodnotíme, jakou má pevnost zkušební materiál. Materiál je uchycen v čelistech měřicího zařízení. Následně je materiál namáhán silou, dokud nedojde k porušení. Během zkoušky se měří závislost působícího napětí na deformaci, výsledkem je tahová křivka. Napětí je definováno jako síla působící na průřez materiálu. Deformace je charakterizována jako poměr prodloužené délky k původní délce materiálu. Z tahové křivky lze stanovit vlastnosti materiálu. Mezi tyto vlastnosti patří: modul pružnosti, mez kluzu, pevnost a tažnost. Průběh tahové křivky ovlivňuje rychlost deformace a teplota.

Měření se provádí na zkušebních materiálech, které mají tvar lopatky. Lopatka je zobrazena na Obr. č. 3. Zkušební materiál musí být hladký, bez vrypů a trhlin. Lopatka se připravuje vstříkovaním nebo frézováním z lisovacích desek [46].

9.1.1 Pevnost v tahu

Jedná se o maximální napětí neboli sílu, která je vztažena na plochu počátečního průřezu tělesa, naměřená během zkoušky. V tahové křivce je to nejvyšší bod. Tuto hodnotu ovlivňují povrchové vady materiálu a teplota zkušebního materiálu i prostředí. Jednotkou je pascal [47]. Pevnost polymerů se liší podle toho, jakou mají strukturu a podle toho, zda se polymer nachází v oblasti teploty nad nebo pod teplotou skelného přechodu. U amorfních polymerů, které se nachází pod teplotou skelného přechodu, dochází k deformaci ihned po překonání pružné deformace. U některých semikrystalických polymerů po překonání meze kluzu dochází ke zpevnování a napětí na mezi pevnosti může být mnohem větší než napětí na mezi kluzu [46].

9.1.2 Modul pružnosti v tahu

Modul pružnosti neboli Youngův modul se značí písmenem E. Vyjadřuje podíl napětí v tahu a poměrného prodloužení. Jedná se o materiálovou konstantu. Čím je konstanta větší, tím

větší napětí je potřebné pro deformaci materiálu. Jednotkou je opět pascal [47]. A tuhost nám vyjadřuje, jak velkou sílu musíme použít, aby došlo k deformaci materiálu. [48].

9.1.3 Horní mez kluzu

Jedná se o bod na tahové křivce, kdy se zvyšovalo napětí i prodloužení neboli deformace. Za tímto bodem se dále zvyšuje pouze deformace a napětí klesá. Napětí klesá k dolní mezi kluzu. Je ovlivněna zvyšující se teplotou, přítomností jiných atomů a vnitřním pnutím [47].

9.1.4 Dolní mez kluzu

Jedná se o bod na tahové křivce, po který klesá napětí při deformaci. Po dosažení tohoto bodu napětí opět roste. Je opět ovlivněna zvyšující se teplotou, přítomností jiných atomů a vnitřním pnutím [47].

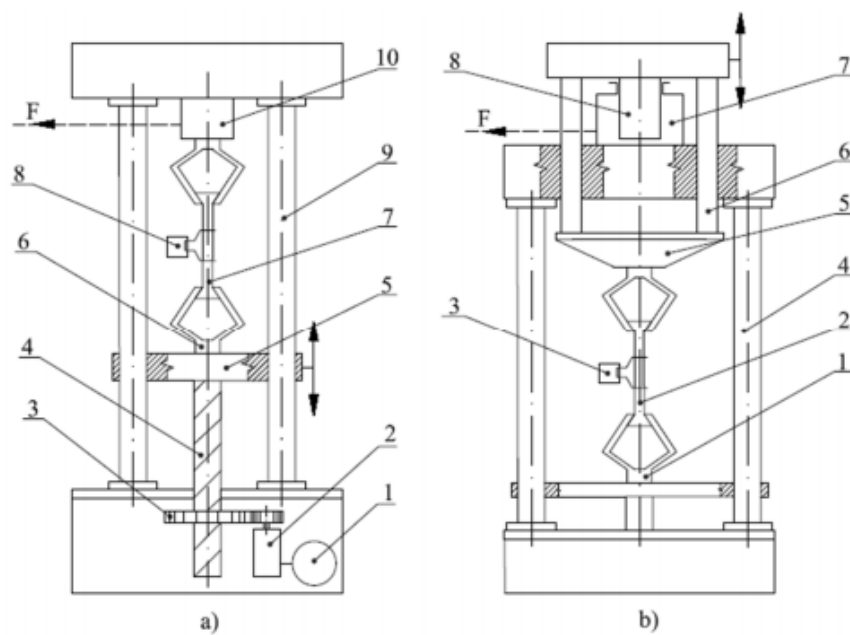
9.1.5 Tažnost

Veličina, která charakterizuje plastické vlastnosti materiálu. Jedná se o deformaci materiálu, která je trvalá. Materiál se prodlouží vlivem mechanického napětí. Tažnost se začíná měřit po tahové zkoušce. Tažnost se vyjadřuje v % [49].

9.2 Trhací stroj

Stroje se dělí na mechanické a hydraulické, podle jejich pohonu. Hydraulický pohon se volí v situaci, kdy potřebná síla k deformaci je vyšší jak 200 kN. U hydraulického stroje se snímá síla z hydrostatického tlaku oleje v pracovním válci. U mechanicky poháněných strojů se síla měří dynamometrem [50].

Jak už bylo zmíněno, zkušební materiál se upíná do čelistí. Jedná se o důležitou část zkoušky. Zkušební materiál, musí být upnutý tak, aby tahové napětí působilo do osy zkušebního materiálu a aby případně vzniklý ohyb byl minimální. Tohle hlavně platí pro zkoušky s křehkým materiálem [50].



Obrázek 7 – Trhací stroje: a) mechanický, b) hydraulický [51].

- a) Mechanický: 1 – elektromotor, 2 – převodová skříň, 3 – ozubené soukolí, 4 – vřeteno, 5 - pohyblivý příčník, 6 – upínací hlava, 7 – zkušební materiál, 8 – průtahoměr, 9 – rám stroje, 10 – měřící zařízení
- b) Hydraulický: 1 – upínací hlava, 2 – zkušební materiál, 3 – průtahoměr, 4 – rám stroje, 5 – pohyblivý příčník, 6 – vodící lišta, 7 – hydraulický válec, 8 – hydraulický píst

10 MIKROSKOPIE

Název mikroskopie pochází ze starořeckých slov, a to ze slova mikrós a skopéō. Slovo mikrós v překladu znamená něco malého a slovo skopéō znamená dívat se. Z těchto slov je už zřejmé, že v mikroskopii se díváme na něco malého. Díky mikroskopu lze sledovat vnitřní strukturu a detaily zkoumaného materiálu. Mikroskopii rozdělujeme na dva typy. Mikroskopii optickou a elektronovou [52].

10.1 Optická mikroskopie

10.1.1 Historie

Začátek optických mikroskopů se datuje někdy okolo 16. století a to tím, že holandský optik Hans Janseen a jeho syn si všimly zvětšujícího se efektu čočky. Následně vyrobili první mikroskop, který se skládal ze dvou čoček. Tento mikroskop zkoumaný materiál zvětšil, ale bohužel ve špatné kvalitě [53].

Dalším mužem, který se zapsal do historie kvůli optickému mikroskopu, byl Antoine van Leeuwenhoek. Také pocházel z Holandska a zájem o vědu měl pouze jako koníček. Vytvořil mikroskop, který obsahoval pouze jednu čočku a dokázal zvětšit obraz až 300x. Tohoto úspěchu dokázal, díky lepšímu vybroušení čočky [53].

Největší pokrok ve výzkumu byl v 19. století. Za tento pokrok se připsali Carl Zeiss, který vyráběl mikroskopy. Ernst Abbe, studoval princip optiky. A Otto Schott, který zkoumal optická skla. V této době vznikl mikroskop, který dokázal obraz zvětšit 1000x [53].

10.1.2 Popis

Optické neboli světelné mikroskopy se skládají ze spojky a rozptylky. Spojky mohou být dvojbypuklé, ploskovypuklé a dutovypuklé. Rozptylky mohou být dvojduté, ploskoduté a vypukloduté. Oproti oku dokáže mikroskop zvětšit obraz až 1000x. Některé speciální mikroskopy dokážou obraz zvětšit až 2000x. Rozlišovací schopnost, těchto mikroskopů je maximálně 200 nm [53].

Mikroskop se skládá z osvětlovací soustavy, objektivu a okuláru. Osvětlovací soustava slouží k osvětlení zkoumaného materiálu. Osvětlení bývá ve většině případech proti směru pozorování. Objektiv je soustava čoček, které slouží k zobrazení předmětu, který je převrácený, skutečný a zvětšený. Okulár je opět soustava čoček, které slouží k vytváření obrazu předmětu, který je zdánlivý, přímý a zvětšený [53].

10.2 Elektronová mikroskopie

10.2.1 Historie

Základ elektronových mikroskopů se datuje na rok 1897, kdy Thompson objevil elektron. Další objev si zapsal roku 1925 Louis de Broglie. Zjistil, že rychle letící částice mají vlnový a korpuskulární charakter. Další důležitý muž, který pomohl ve vývoji byl Busche, který se zabývaly analogií ve vychylování elektronového toku za pomoci magnetického pole solenoidu a světla skleněnou čočkou. Posledním důležitým krokem bylo zkonstruování elektromagnetické čočky. Tento krok je připisováno Ernstovi Ruskovi. Následně díky těmto poznatkům byl vytvořen první elektronový mikroskop. Tento mikroskop vytvořil Max Knoll a Ernst Ruska ve 30. léta 20 století [53].

10.2.2 Popis

Jedná se o nejvíce rozšířené mikroskopy pro charakterizaci struktur materiálu. Rozlišení těchto mikroskopů je 2 až 40 pm. Zvětšení elektronových mikroskopů je až 1 000 000x. K zobrazení obrazu předmětu se využívá proud elektronů a k jeho nasměrování se používají elektromagnetické čočky neboli magnety [54].

Mezi hlavní typy těchto mikroskopů patří mikroskop transmisní a rastrovací. U transmisního mikroskopu prochází proud elektronů přes vzorek a následně jsou zachycovány na detektoru. U rastrovacího mikroskopu dochází k odrazu elektronů. Proud elektronů je nasměrován ke vzorku pod úhlem a následně se elektrony od něj odráží a vytváří obraz [54].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

11 CÍL PRÁCE

Cíle této práce spočívají ve vyhodnocení vlivu materiálu a tloušťky vláken a současně vlivu plošné hustoty připravených netkaných textilií technologií spunbond na mechanické a filtrační vlastnosti. K přípravě vzorků netkaných textilií byly použity materiály na bázi polypropylenu typu Tatren HT 25 11, na bázi polyethylenu typu Aspun 6834 a na bázi kyseliny polymléčné typu 6100D.

12 PŘÍPRAVA NETKANÝCH TEXTILIÍ

Netkané textilie byly připravovány na zvlákňovací lince modelu LBS-300. Tento model slouží pro kontinuální přípravu netkaných textilií pomocí technologie spunbond nebo meltblown. Pro tuto práci byla využita pouze technologie spunbond s konfigurací průřezu vlákna typu mono. Zvlákňovací hlava pro tuto technologii obsahuje 72 kapilár o průměru 0,35 mm a délce 1,4 mm uspořádaných na čtvercové ploše 6×6 cm

12.1 Použité materiály

Pro výrobu netkaných textilií byly použity polypropylen, polyethylen a kyselina polymléčná. Tedy, byl použit polypropylen typu Tatren HT 25 11, jehož tekutost taveniny je vyjádřena hodnotou ITT ($230 \text{ }^\circ\text{C}/2,16 \text{ kg}$) = 25 g/10 min. Doporučené zpracovatelské okno toho polymeru se pohybuje od $200 \text{ }^\circ\text{C}$ do $260 \text{ }^\circ\text{C}$. Dále byl použit polyethylen typu Aspun 6834 s hodnotou ITT ($190 \text{ }^\circ\text{C}/2,16 \text{ kg}$) = 17 g/10 min. Teplota zpracování tohoto polymeru se pohybuje od $180 \text{ }^\circ\text{C}$. Posledním testovaným materiálem byl biopolymer PLA 6100D s hodnotou ITT ($210 \text{ }^\circ\text{C}/2,16 \text{ kg}$) = 24 g/10 min. Teplota zpracování tohoto polymeru se pohybuje od $220 \text{ }^\circ\text{C}$ do $240 \text{ }^\circ\text{C}$. Před zpracováním bylo nutné polymer sušit, a to při teplotě $80 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 4 až 6 hodin.

12.2 Zvlákňování technologií spunbond

V průběhu procesu zvlákňování technologií spunbond byly v případě polypropylenu teploty tří topných pásů nastaveny na $215 \text{ }^\circ\text{C}$, $225 \text{ }^\circ\text{C}$ a $235 \text{ }^\circ\text{C}$, v případě polyethylenu na $185 \text{ }^\circ\text{C}$, $195 \text{ }^\circ\text{C}$, $210 \text{ }^\circ\text{C}$ a v případě kyseliny polymléčné na $210 \text{ }^\circ\text{C}$, $220 \text{ }^\circ\text{C}$ a $230 \text{ }^\circ\text{C}$. Prostor pod násypkou byl chlazen vodou o teplotě $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota zvlákňovací hlavy a zubových čerpadel byla nastavena pro každý materiál dle třetí topné zóny vytlačovacího stroje. Polymerní materiály byly zpracovávány na laboratorní zvlákňovací lince o výkonu okolo 10 g/min/72 kapilár, čili 0,009 kg/h/kapilára.

Vlákna vytékající ze zvlákňovací hlavy byla následně v prostoru mezi hlavou a formovacím systémem chlazená vzduchem o teplotě $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Vzdálenost hlavy od formovacího systému byla nastavena na 85 cm a vzdálenost formovacího systému od pásu na 20 cm. Vlákna procházející formovacím systémem byla orientována za studena tlakem od 50 do 100 kPa a následně byla chaoticky skládána na dopravní pás, pod kterým byl odtahován vzduch k udržení vláken na pásu. Rychlost pásu se pohybovala od 0,8 m/min do 2,3 m/min a určovala plošnou hmotnost budoucí netkané textilie, která byla tepelně pojena

v kalandrovacím ústrojí složeného z vyhřívaného horního válce s dezénem a vyhřívaného dolního hladkého válce. Teploty pojení se v případě vláken z PP pohybovaly v rozmezí teplot 140 °C až 148 °C, v případě PE v rozmezí 100 °C až 110 °C a v případě PLA v rozmezí teplot 83 °C až 87 °C. Připravené netkané kalandrované textilie dosahovaly plošné hmotnosti v rozsahu od 80 g/m² do 220 g/m².

Z každého polymeru bylo připraveno 6 různých vzorků, a to podle intenzity vzduchu uvnitř formovacího systému a rychlosti dopravního pásu. Tedy, pro každý polymer byla stanovena intenzita vzduchu vyjádřena tlakem o hodnotě 30, 50 a 100 kPa. Navíc, pro každý tento tlak byl připraven vzorek s nižší a vyšší plošnou hmotností, a to s takovými hodnotami, pro které byla příprava vzorků z daného polymeru optimální. Tedy, pro každý polymer jsou připraveny vzorky s odlišnou plošnou hmotností.

Vzorky z polypropylenu byly připraveny s plošnou hmotností 80 g/m² a 160 g/m² a byly tedy označeny písmeny A a B. Výsledné označení vzorků z polypropylenu je tedy dáno dle plošné hmotnosti a intenzity použitého tlaku vzduchu: A-PP_30kPa, A-PP_50kPa, A-PP_100kPa, B-PP_30kPa, B-PP_50kPa, B-PP_100kPa.

V případě kyseliny polymléčné byly vzorky připraveny s plošnou hmotností 130 g/m² a 220 g/m². Označení vzorků z PLA je tedy v následující podobě: A-PLA_30kPa, A-PLA_50kPa, A-PLA_100kPa, B-PLA_30kPa, B-PLA_50kPa, B-PLA_100kPa

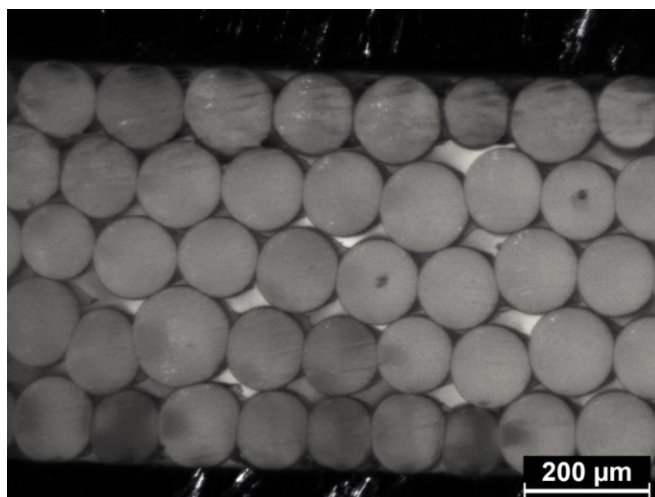
V případě polyethylenu byly vzorky připraveny s plošnou hmotností 140 g/m² a 200 g/m² a označeny v následující podobě: A-PE_30kPa, A-PE_50kPa, A-PE_100kPa, B-PE_30kPa, B-PE_50kPa, B-PE_100kPa.

13 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

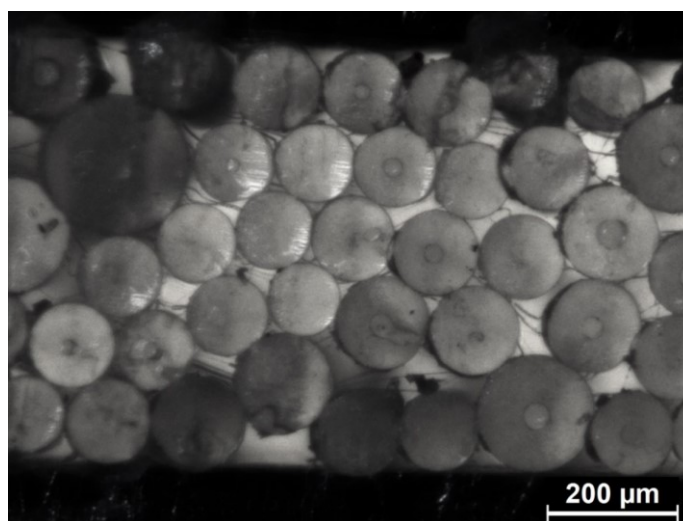
13.1 Charakterizace struktury

Struktura mono vláken přímo ze zvlákňovací hlavy (bez dloužení vzduchem), byla charakterizována pomocí optického mikroskopu Leica VZ 80C. K charakterizaci struktury připravených netkaných textilií byl využit skenovací elektronový mikroskop Phenom PRO vybavený elektronovým detektorem s vysokou citlivostí zpětného odrazu.

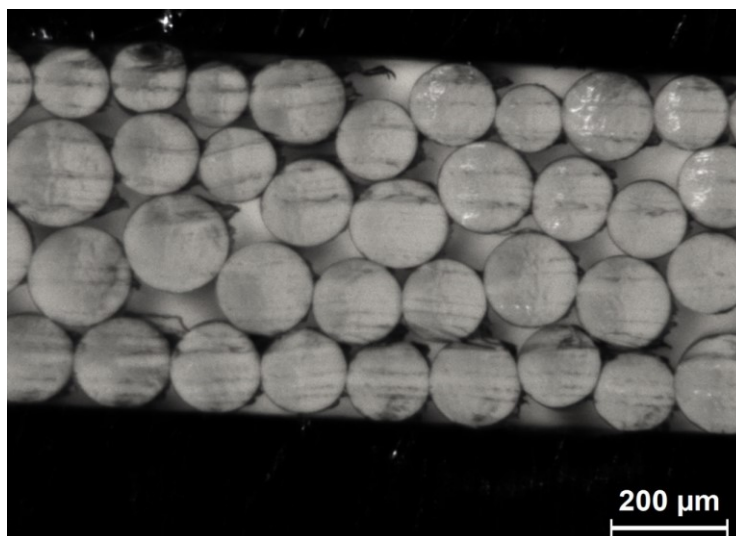
Struktura průřezu vláken polyethylenu je zobrazena na obrázku 9 a vlákna dosahují průměru $133 \pm 8 \mu\text{m}$. Vlákna kyseliny polymléčné lze pozorovat na obrázku 10 a průměr vláken je $123 \pm 7 \mu\text{m}$. V případě polypropylenových vláken (Obrázek 11) je zřejmé, že dosahují největších průměrů, a to až $161 \pm 11 \mu\text{m}$.



Obrázek 8 – Struktura průřezu vláken připravených z polyethylenu.



Obrázek 9 – Struktura průřezu vláken připravený z kyseliny polymléčné.



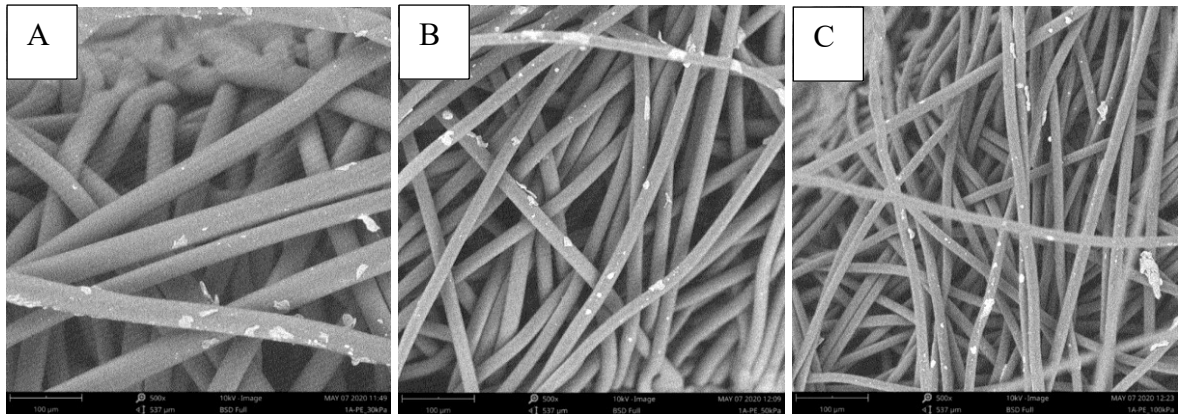
Obrázek 10 – Struktura průřezu vláken připravených z polypropylenu.

Jak již bylo zmíněno výše, netkané textilie byly připravovány při různé intenzitě proudícího vzduchu ve formovacím systému, a proto se pro každý tlak charakterizoval každý vzorek zvlášť. Charakterizace průměru vláken všech polymerů při různých tlacích byly provedeny pomocí elektronového mikroskopu při zvětšení 500x (Tabulka 1).

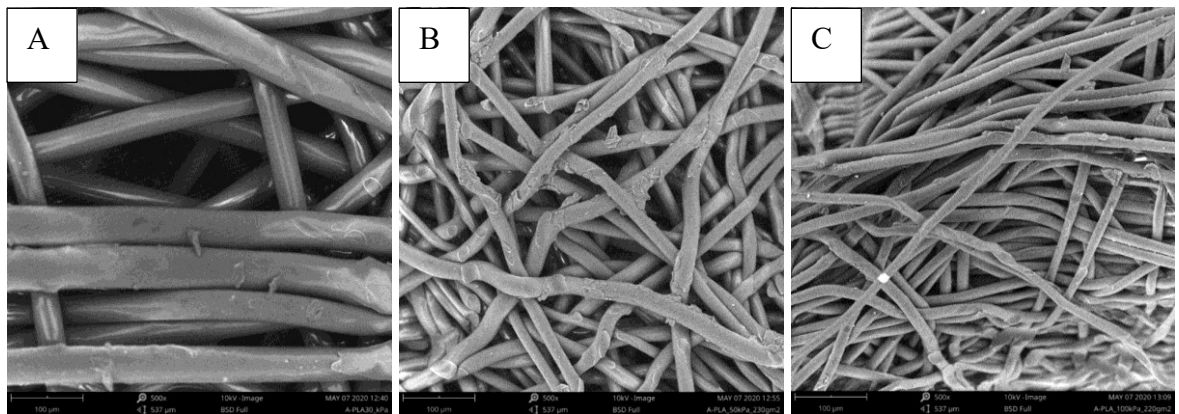
Z výsledků je zřejmé, že se zvyšujícím se tlakem dochází k zmenšování průměru vláken u všech vzorků. U kyseliny polymléčné dochází ke zmenšení až o 70 %, u polyethylenu pouze o 58 %, a v případě polypropylenu jde o nejmenší zmenšení, a to o 48 %. Také si lze povšimnout, že při nejvyšším tlaku (100 kPa) byly průměry vláken u všech polymerů téměř stejné. Jednotlivé vzorky jsou zobrazeny na obrázcích 11, 12 a 13.

Tabulka 1 - Průměry vláken připravených technologií spunbond.

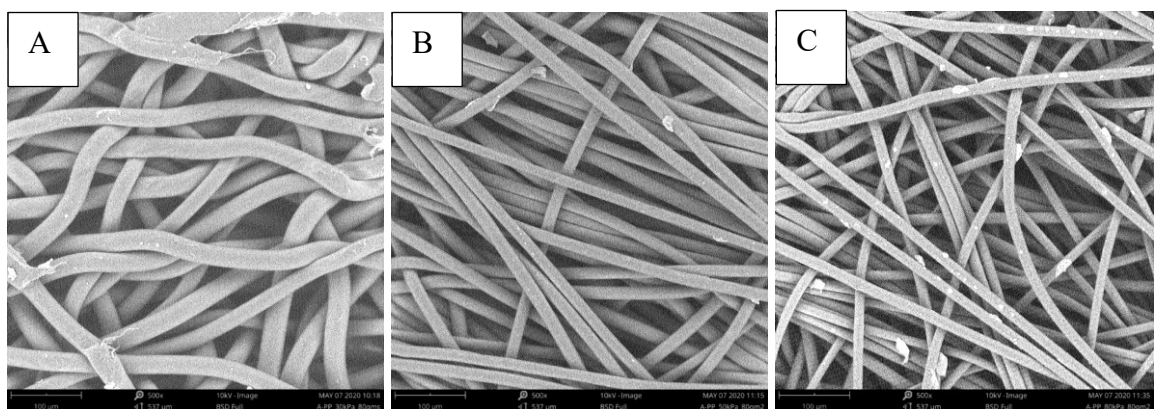
	Intenzita proudícího vzduchu		
	30 kPa	50 kPa	100 kPa
PE	36 ± 5 μm	20 ± 2 μm	15 ± 2 μm
PP	29 ± 3 μm	18 ± 3 μm	15 ± 1 μm
PLA	47 ± 8 μm	23 ± 2 μm	14 ± 1 μm



Obrázek 11 - Struktura vláken polyethylenu při zvětšení 500x a tlaku A) 30 kPa, B) 50 kPa, C) 100 kPa.



Obrázek 12 - Struktura vláken kyseliny polymléčné při zvětšení 500x a tlaku A) 30 kPa, B) 50 kPa, C) 100 kPa.



Obrázek 13 - Struktura vláken polypropylenu při zvětšení 500x a tlaku A) 30 kPa, B) 50 kPa, C) 100 kPa.

13.2 Charakterizace mechanických vlastností

Pomocí trhacího stroje Testometric M 350–5CT byla zjišťována pevnost a tažnost materiálu. Zkoušky byly prováděny pro všechny 3 polymery, ale pouze za nejvyššího (100 kPa) a nejnižšího (30 kPa) formovacího tlaku. Pro každý materiál o různých tlacích bylo připraveno 10 zkušebních vzorků o rozměrech 25 x 50 mm vybraných z prostřední části vyrobeného pásu s orientací vzorků v podélném směru. K zajištění stejných počátečních podmínek testování, bylo v průběhu experimentu použito předpětí vzorku o hodnotě 0,5 N. Rychlost zkoušky byla nastavena na 100 mm/min. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

Lze si všimnout, že nejvyšší pevnosti dosahuje netkaná textilie připravená z PP. Naopak, nejnižší pevnosti je dosaženo v případě PE, a to více než 5-ti násobně. Z výsledků je také zřejmé, že u všech polymerů je pevnost v tavenině při zvýšeném tlaku 1,5 až 2 krát vyšší než při sníženém. V případě tažnosti při přetržení je nejvyšších hodnot dosahováno u netkaných textilií z PE. Naopak nejnižších hodnot tažnosti je dosaženo v případě PLA. Lze pozorovat velký rozdíl v tažnosti (až 7x) PP netkané textilie připravené při nízké a vysoké hodnotě tlaku vzduchu. Velké směrodatné odchylky jsou způsobeny nehomogenitou zkušebních vzorků, která plyne z přípravy vzorků na laboratorní zvláknovací lince a bylo velmi obtížné ji co nejvíce eliminovat.

Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti netkaných textilií připraveny technologií spunbond.

	PE		PLA		PP	
	30 kPa	100 kPa	30 kPa	100 kPa	30 kPa	100 kPa
Pevnost v tahu [MPa]	1,7 ± 0,3	3,7 ± 0,6	4,8 ± 0,4	8,5 ± 0,6	6,5 ± 0,9	9,6 ± 0,9
Tažnost při přetržení [%]	987 ± 88	945 ± 89	208 ± 46	284 ± 40	114 ± 12	831 ± 75

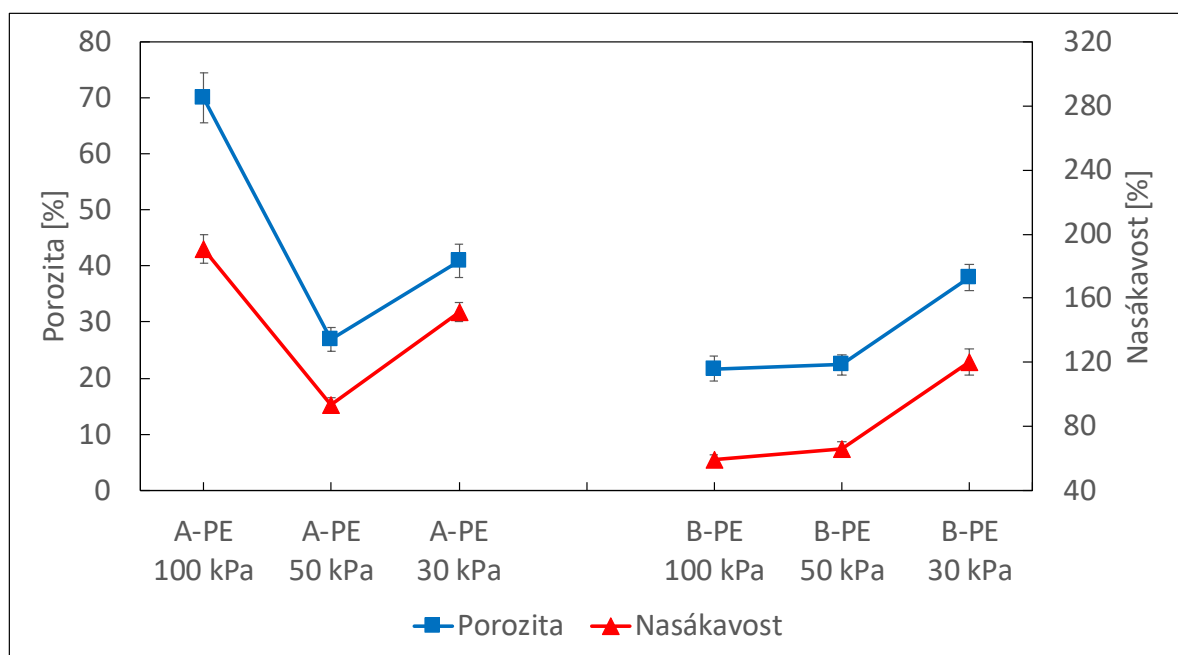
13.3 Charakterizace filtračních vlastností

Charakterizace filtračních vlastností připravených vzorků netkaných textilií (filtrů) z různých typů polymerů byla provedena pro všechny tři použité tlaky ve formovacím systému a také pro obě plošné hmotnosti vzorků. Filtrační aparatura byla složena z odsávací baňky, na kterou byla připojena vývěva, která vytvářela podtlak 1 bar. Na odsávací baňce byla umístěna nálevka, ve které byl umístěn námi připravený filtrační materiál. Měřil se čas průtoku kapaliny (demineralizovaná voda) o objemu 100, 300 a 500 ml skrz filtr o průměru 40 mm. Před filtrací byl vzorek zvážen a byla změřena jeho tloušťka. Po filtraci byl vzorek

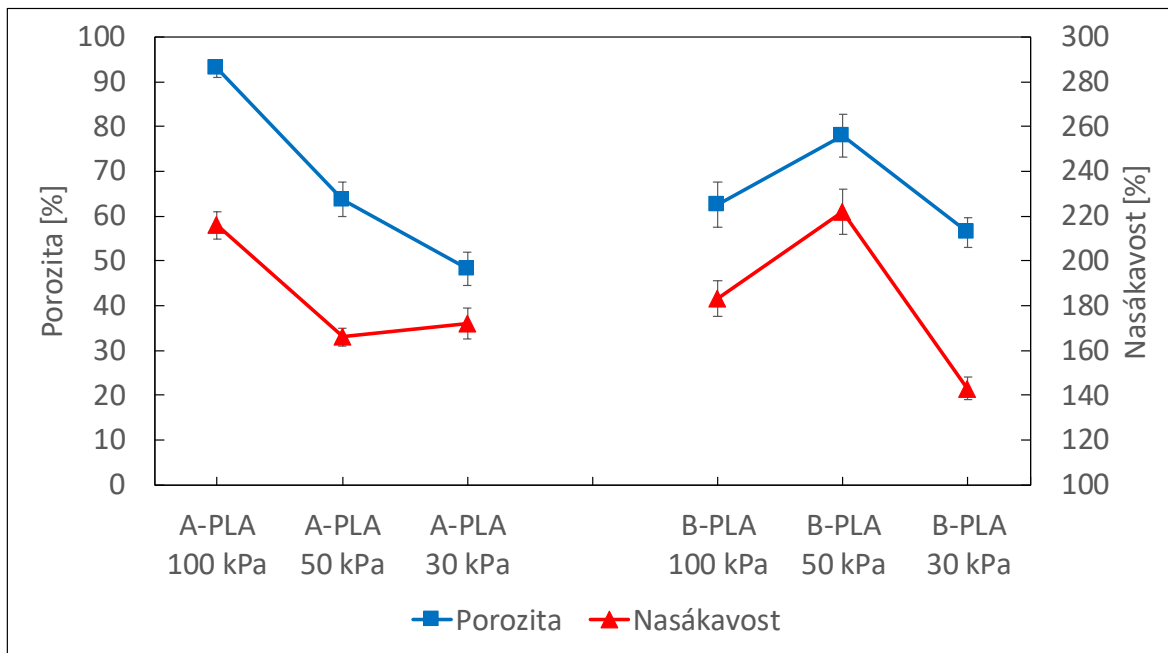
opět zvážen. Ze zjištěných dat byla vypočítána plošná hmotnost, porozita vzorku, nasákavost vzorku a sledován čas filtrace pro různé objemy kapaliny. Pro každý objem kapaliny bylo provedeno 5 filtrací a následně byl vypočítán průměr se směrodatnou odchylkou.

Vliv plošné hmotnosti a průměru vláken, vyjádřeného hodnotou intenzity tlaku vzduchu, na porozitu a nasákavost připravených netkaných textilií z polymerů PE, PLA a PP je zobrazen na obrázcích 14, 15 a 16. V případě PE s plošnou hmotností 200 g/m^2 je zřejmé, že s rostoucím průměrem vláken roste také porozita, což je v souladu s literaturou [42]. U některých dalších vzorků tento výsledek nelze zcela potvrdit, čímž se ukazuje nehomogenost, nedostatečná šíře, či použitý až příliš vysoký přítlak válců v průběhu kalandrování vzorků netkané textilie.

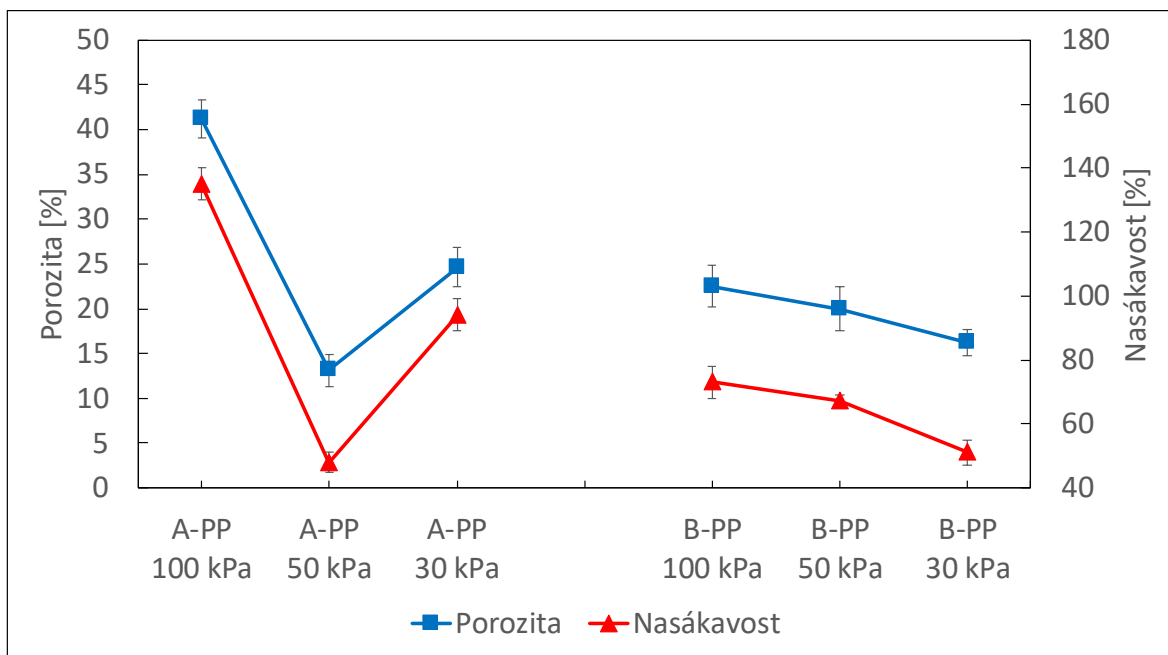
Dále byla tedy sledována nasákavost připravených vzorků netkané textilie. Z obrázků 14, 15 a 16 je zřejmé, že nejnižší nasákavost mají filtry připravené z PP (50 až 135%) a nejvyšší z PLA (140 až 225 %).



Obrázek 14 - Vliv plošné hmotnosti ($A = 140 \text{ g/m}^2$, $B = 200 \text{ g/m}^2$) a intenzity tlaku vzduchu na porozitu připravených netkaných textilií z polyethylenu.



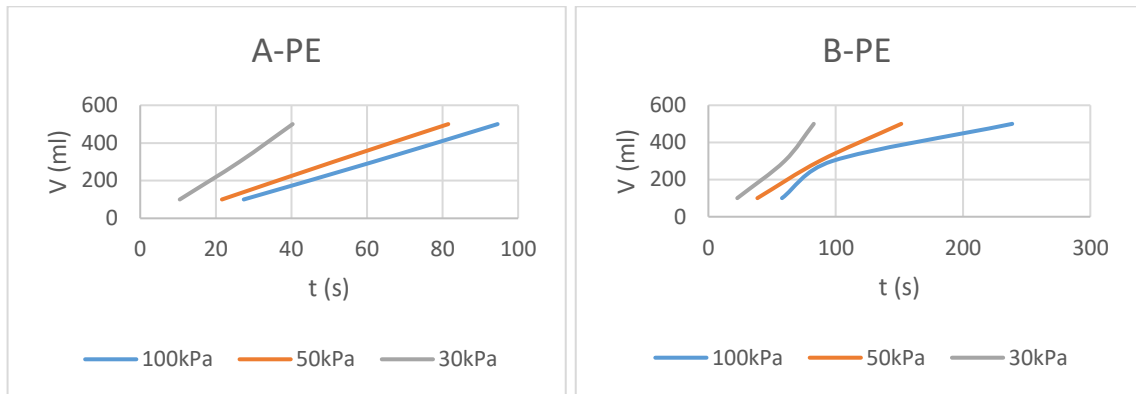
Obrázek 15 – Vliv plošné hmotnosti ($A = 130 \text{ g/m}^2$, $B = 220 \text{ g/m}^2$) a intenzity tlaku vzduchu na porozitu připravených netkaných textilií z kyseliny polymléčné.



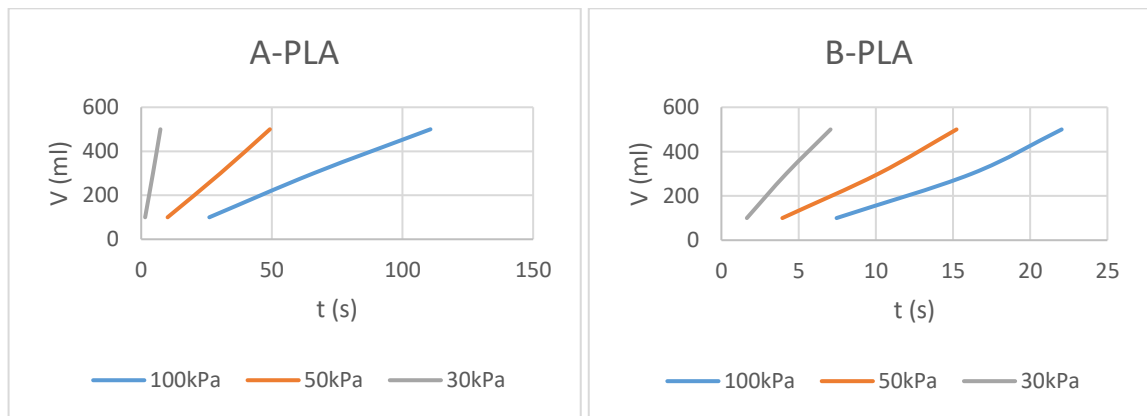
Obrázek 16 - Vliv plošné hmotnosti ($A = 80 \text{ g/m}^2$, $B = 160 \text{ g/m}^2$) a intenzity tlaku vzduchu na porozitu připravených netkaných textilií z polypropylenu.

Z obrázků 17, 18 a 19 je zřejmé, že nejdelší filtrace probíhala s použitím filtrů připravených z polypropylenu. Je to způsobeno jeho strukturou. Při zjišťování průměru vláken obsažených v jeho struktuře jsme zjistili, že dosahuje nejnižších hodnot, což nám napovědělo, že filtrace bude časově nejdelší. Z těchto výsledků je patrné, že bychom použili na filtraci částic

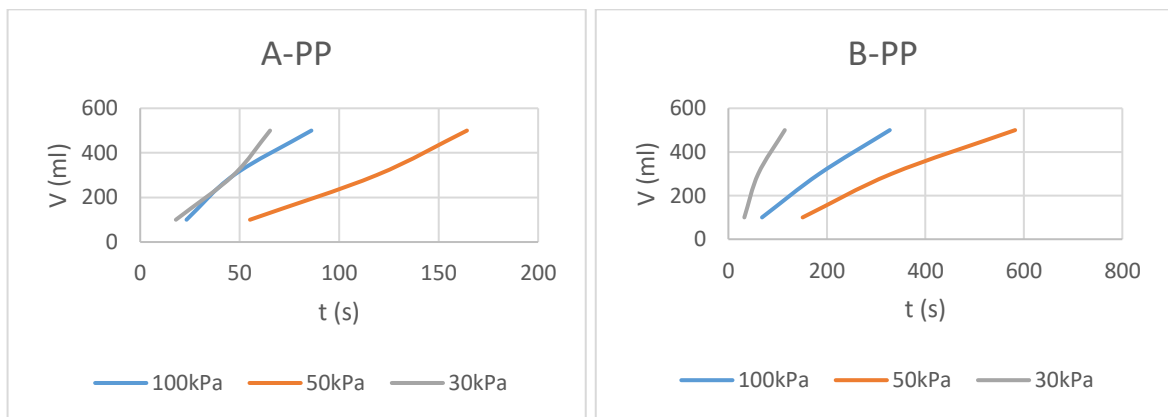
menších jak 50 μm filtr z polypropylénu. Naopak na filtraci, kde by nebyly částice větší jak 50 μm , bychom využili filtr z kyseliny polymléčné.



Obrázek 17 – Závislost objemu filtrované kapaliny na čase skrz netkanou textilii s nižší (vlevo) a vyšší (vpravo) plošnou hmotností připravenou z polyethylenu.



Obrázek 18 – Závislost objemu filtrované kapaliny na čase skrz netkanou textilii s nižší (vlevo) a vyšší (vpravo) plošnou hmotností připravenou z kyseliny polymléčné.



Obrázek 19 – Závislost objemu filtrované kapaliny na čase skrz netkanou textilii s nižší (vlevo) a vyšší (vpravo) plošnou hmotností připravenou z polypropylénu.

ZÁVĚR

Práce je zaměřena na přípravu netkaných filtrů pomocí technologie spunbond. V teoretické části práce je pozornost soustředěna na popis netkaných textilií a na technologii její výroby. Dále jsou charakterizovány polymery, které se nejčastěji zvláknují. V závěru teoretické části jsou popsány mikroskopy, mechanické zkoušky a filtrace.

Praktická část se věnuje charakterizaci struktury připravených netkaných textilií a velikosti průměrů vláken pomocí optického a elektronového mikroskopu. Dále je práce zaměřena na mechanické vlastnosti, v podobě pevnosti a tažnosti připravených netkaných textilií a především filtračních vlastností z pohledu pórovitosti, nasákavosti a času filtrace.

Ze snímků pořízených mikroskopy bylo zjištěno, že nejmenší průměr vláken dosahují netkané textilie připravené z polypropylenu, zatímco největší průměry vláken jsou dosaženy v případě kyseliny polymléčné, při stejné intenzitě tlaku vzduchu ve formovacím systému. Z výsledků mechanických zkoušek se zjistilo, že nejvyšší pevnosti je dosaženo v případě netkané textilie připravené z polypropylenu. Naopak, nejmenší pevnosti je dosaženo u polyethylenu, který však dosahuje největší tažnosti. U všech vzorků si lze povšimnout, že s rostoucí intenzitou tlaku roste pevnost materiálu. Při filtraci bylo zjištěno, že na filtraci částic, které by byly menší než 50 μm , bychom použili filtry z polypropylenu, který má nejnižší nasákavost. A na částice větší než 50 μm , bychom použili filtry z kyseliny polymléčné, který má nejvyšší nasákavost. Odtud také plynou časy filtrace daného objemu kapaliny, kdy v případě polypropylenu probíhá filtrace nejpomaleji a v případě filtru z kyseliny polymléčné nejrychleji.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *What are nonwovens* [online]. Av. Herrmann Debroux, 46 B-1160 Brussels, Belgium: Edana, 2018 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-are-nonwovens>
- [2] *About Nonwovens* [online]. 1100 Crescent Green Drive, Suite 115: Inda, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.inda.org/about-nonwovens/>
- [3] *Learn About Nonwovens* [online]. 1010 Main Campus Dr, Raleigh, NC 27606, Spojené státy: The Nonwovens Institute, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://thenonwovensinstitute.com/about-nwi/learn-about-nonwovens/>
- [4] SAYED, Md. Abu, ed. What Is Non-Woven Fabric? Characteristics And Uses Of Non-Woven Fabric. *TEXTILE APEX* [online]. Dhaka, Bangladěš: TEXTILE APEX, 2014 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://textileapex.blogspot.com/2014/09/characteristics-uses-of-non-woven.html>
- [5] *How It All Began: A Brief History of Nonwoven Manufacturing* [online]. 200 South West Point Avenue High Point, North Carolina, 27260: FDInonwovens, 2014 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <http://blog.fdinonwovens.com/how-it-all-began-a-brief-history-of-nonwoven-manufacturing>
- [6] *Netkané textilie* [online]. Brno: NIS, 2013 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <http://www.ni-s.cz/cz/netkane-textilie/page/457/>
- [7] *Nonwovens for Home Applications* [online]. 25 Philips Parkway Montvale, NJ 07645 USA: Nonwovens Industry, 2018 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: https://www.nonwovens-industry.com/issues/2018-05/view_features/nonwovens-for-home-applications/
- [8] *Key drivers for the growing sustainable nonwovens market* [online]. 121 S. Main Street Suite 300 Akron, OH 44308 USA LinkedIn: Smithers, 2018 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.smithers.com/resources/2017/jun/drivers-for-sustainable-nonwovens-market-growth>
- [9] *Nonwovens markets, facts and figures*. Edana [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-markets>
- [10] *Nonwovens as medical textiles* [online]. Technical Textile, 2018 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicaltextile.net/articles/nonwovens-as-medical-textiles-3693>

- [11] *Why use nonwovens in household?* [online]. Av. Herrmann Debroux, 46 B-1160 Brussels, Belgium: Edena, 2018 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life/household>
- [12] GOPALAKRISHNAN, D. Agro Textiles – A Rising Wave. *Fiber 2 Fashion* [online]. 1483, Avanashi Road, Coimbatore - 64 1004, 2007 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1579/agro-textiles-a-rising-wave>
- [13] *Primer On Nonwoven Fabric Filtration* [online]. Textile World, 2009 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.textileworld.com/textile-world/nonwovens-technical-textiles/2009/03/primer-on-nonwoven-fabric-filtration/>
- [14] *Application of Nonwovens in Apparel Industry* [online]. Clothing Industry, 2015 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://clothingindustry.blogspot.com/2018/09/application-nonwovens-apparel.html>
- [15] Sastri, Vinny R.. (2014). *Plastics in Medical Devices - Properties, Requirements, and Applications - 6.2 Polyvinyl Chloride (PVC)*. Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UR0332/plastics-in-medical-devices/polyvinyl-chloride-pvc>
- [16] J. PEACOCK, Andrew. *Handbook of polyethylene: Structures, Properties, and Applications* [online]. New York: Marcel Dekker, 2000 [cit. 2020-04-19]. ISBN 0-8247-9546-6.
- [17] Barbosa, E. F. and Silva, L. P. da (2013) *Polypropylene : Synthesis, Applications, and Environmental Concerns*. [Hauppauge], New York]: Nova Science Publishers, Inc (Polymer Science and Technology). Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=548930&lang=cs&sit e=ehost-live> (Accessed: 10 January 2020).
- [18] *What is Polypropylene (PP)?* [online]. Plastics Insight, 2016 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polypropylene/>
- [19] Sastri, Vinny R.. (2014). *Plastics in Medical Devices - Properties, Requirements, and Applications - 6.5 Cyclo Olefin Copolymers (COCs)*. (pp. 103,104). Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UR0401/plastics-in-medical-devices/cyclo-olefin-copolymers>
- [20] XIAO, Lin, Bo WANG, Guang YANG a Mario GAUTHIER. Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications. In: *Biomedical Science, Engineering and Technology*. InTech, 2012-01-20. ISBN 978-953-307-471-9. DOI: 10.5772/23927.

- [21] GARLOTTA, Donald. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment*. 2001, 9, 2, p. 63-84. ISSN 1572-8900.
- [22] AURAS, Rafael. *Poly(lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications/ edited by Rafael Auras ... [et al.]*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2010, xxiii, 499 p. ISBN 978-047-0293-669.
- [23] WOLF, Oliver, et al. Techno-economic Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe. *Technical Report EUR 22103 EN*. 2005, ISBN 92-79-01230-4
- [24] MOBLEY, David P. *Plastics from microbes: microbial synthesis of polymers and polymer precursors*. Cincinnati: Distributed in the USA and in Canada by Hanser/Gardner Publications, c1994, xvi, 269 p. ISBN 15-699-0128-7.
- [25] McKeen, Laurence W.. (2017). *Film Properties of Plastics and Elastomers (4th Edition) - 6.3 Polyethylene Terephthalate*. (pp. 117). Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011FYXT1/film-properties-plastics/polyethylene-terephthalate>
- [26] *Nylons (Polyamide)* [online]. BPF, 2015 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/polyamides.aspx>
- [27] *Polyamide* [online]. Polyplasty, 2015 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.polyplasty.cz/material-polyamid.html?lang=2>
- [28] I.B. PAGE. *Polyamides as engineering thermoplastic materials* [online]. United Kingdom: Rapra, 2000 [cit. 2020-04-19]. ISBN 0889-3144.
- [29] 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
- [30] Eichhorn, S. J. Hearle, J.W.S. Jaffe, M. Kikutani, T.. (2009). *Handbook of Textile Fibre Structure, Volume 1 - Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres*. Woodhead Publishing. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHTFSVFMQ/handbook-textile-fibre/handbook-textile-fibre>
- [31] GUPTA and KOTHARI, 1997. *Manufactured fibre technology*. Chapman & Hall. ISBN 978-94-010-6473-6
- [32] RUTLEDGE, G. C.; LI, Y.; FRIDRIKH, S.; WARNER, S. B., KALAYCI, V. E.; PATRA, P. *Electrostatic spinning and properties of ultrafine fibers*.
- [33] RŮŽIČKOVÁ, Jana. *Elektrostatické zvláknování nanovláken*. 2. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 55-031-06.

- [34] MIDHA, Vinay Kumar a Arjun DAKURI. *Spun bonding Technology and Fabric Properties: a Review* [online]. In: . 2017, 1(4) [cit. 2020-04-17]. DOI: 10.15406/jteft.2017.01.00023. ISSN 25748114. Dostupné z: <https://medcraveonline.com/JTEFT/spun-bonding-technology-and-fabric-properties-a-review.html>
- [35] *Spunbond* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.kasen.co.jp/english/product/nonwoven-production-part/nozzle-forspunbond.php>
- [36] GAHAN, R. a G.C. ZGURIS. A review of the melt blown process. *Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances (Cat. No.00TH8490)* [online]. IEEE, 1999, , 145-149 [cit. 2020-03-18]. DOI: 10.1109/BCAA.2000.838396. ISBN 0-7803-5924-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/838396/>
- [37] *Meltblown* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.kasen.co.jp/english/product/nonwoven-production-part/meltblownnozzle.php>
- [38] ŠNITA, Dalimil. *Chemické inženýrství I*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2005. ISBN 80-708-0589-7.
- [39] *Filtrace* [online]. Olomouc: ELUC [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2267>
- [40] HRŮZA, Jakub. *Filtration, Textilie pro průmyslové aplikace - přednášky*. Liberec: TUL.
- [41] *Why use nonwovens in filtration?* [online]. Av. Herrmann Debroux, 46 B-1160 Brussels, Belgium: Edana [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life/filtration>
- [42] KEMEL, M. *Hydrologie*. České vysoké učení technické, Praha, 1985.292s.
- [43] Allaby, Michael. (2013). *Dictionary of Geology and Earth Sciences (4th Edition) - water-drive reservoir*. Oxford University Press.
- [44] *Textilie - Metody zkoušení pro netkané textilie - Část 12: Požadovaná nasákavost*. 2005, 2005
- [45] Rouquerol, J.; Avnir, D. Fairbridge, C. W.; Everett, D. H. Haynes, J. H.; Pernicone, N.; Ramsay, J. D. F.; Sing, K. S. W. Unger, K. K. *Pure Appl. Chem.* 1994, 66, 1739-1758.
- [46] JANČÁŘ, J. NEZBEDOVÁ, E. *Zkoušení plastů*. Brno: VUT FCH, 2007, 47 s. ISBN 97880-214-3452-3.

- [47] JARUŠEK, Jaroslav. *Metody zkoumání polymerů*. VŠCHT Pardubice, 1984
- [48] *Fyzikální vlastnosti materiálů BELTA* [online]. Belt Plast, 2009 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <http://www.beltplast.cz/cs/vlastnosti>
- [49] Strnadel, B., *Nauka o materiálu, Konstrukční materiály a jejich degradační procesy*. ES VŠB-TU Ostrava, 1993, 180 s.
- [50] *Kovové materiály-Zkoušení tahem-Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [51] JANDA, Luděk. *Tahová zkouška trubek*. Brno, 2015. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. Vedoucí práce Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.
- [52] ČECH BARABASZOVÁ K., 2012: *Vybrané instrumentální metody analýzy materiálů a nanomateriálů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, ISBN 978-80-7204-810-6.
- [53] MEIDENBAUER J.: *Světová kronika, Objevy a vynálezy*, REBO 2005, ISBN 80-7234-410-2, 400 stran.
- [54] Bozzola, J. J., & Russell, L. D. (1999). *Electron microscopy: principles and techniques for biologists*. Jones & Bartlett Learning

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PE	Polyethylen
PE-LD	Nízko-hustotní polyethylen
PE-HD	Vysoko-hustotní polyethylen
PE-LLD	Lineární nízko-hustotní polyethylen
PE-UHMW	Polyethylen s ultra-vysokou molární hmotností
PP	Polypropylen
PET	Polyethylentereftalát
PLA	Kyselina polymléčná
m/s	Metrů za sekundu
m	Metr
E	Youngův modul
kN	Kilonewton
nm	Nanometry
pm	Pykometry
mm	Milimetr
cm	Centimetr
°C	Stupeň Celsia
kg	Kilogram
min	Minuta
g	Gram
g/min	Gram za minutu
kg/h	Kilogram za hodinu
g/m ²	Gram za metr čtverečný
kPa	Kilopascal
μm	Mikrometr

m_i	Hmotnost po filtraci
m_0	Hmotnost před filtraci
ml	Mililitr
d	Tloušťka
S	Povrch
cm^2	Centimetr čtverečný
t	Čas
V	Objem
gms	Plošná hmotnost
P	Porozita
g/cm^3	Gram na centimetr krychlový
N	Nasákavost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Spotřeby výrobků netkaných textilií pro rok 2018 [9].....	14
Obrázek 2 – Schéma spunbond linky [35].....	24
Obrázek 3 – Schéma meltbown linky [37].	25
Obrázek 4 – Aparatura pro filtraci [39].	28
Obrázek 5 – Schéma povrchové filtrace [40].	29
Obrázek 6 – Schéma hloubkové filtrace [40].....	29
Obrázek 7 – Trhací stroje: a) mechanický, b) hydraulický [51].....	35
Obrázek 8 – Struktura průřezu vláken připravených z polyethylenu.	42
Obrázek 9 – Struktura průřezu vláken připravený z kyseliny polymléčné.	42
Obrázek 10 – Struktura průřezu vláken připravených z polypropylenu.	43
Obrázek 11 - Struktura vláken polyethylenu při zvětšení 500x a talku A) 30 kPa, B) 50 kPa, C) 100 kPa.	44
Obrázek 12 - Struktura vláken kyseliny polymléčné při zvětšení 500x a talku A) 30 kPa, B) 50 kPa, C) 100 kPa.	44
Obrázek 13 - Struktura vláken polypropylenu při zvětšení 500x a tlaku A) 30 kPa, B) 50 kPa, C) 100 kPa.....	44
Obrázek 14 - Vliv plošné hmotnosti ($A = 140 \text{ g/m}^2$, $B = 200 \text{ g/m}^2$) a intenzity tlaku vzduchu na porozitu připravených netkaných textilií z polyethylenu.	46
Obrázek 15 – Vliv plošné hmotnosti ($A = 130 \text{ g/m}^2$, $B = 220 \text{ g/m}^2$) a intenzity tlaku vzduchu na porozitu připravených netkaných textilií z kyseliny polymléčné.....	47
Obrázek 16 - Vliv plošné hmotnosti ($A = 80 \text{ g/m}^2$, $B = 160 \text{ g/m}^2$) a intenzity tlaku vzduchu na porozitu připravených netkaných textilií z polypropylenu.....	47
Obrázek 17 – Závislost objemu filtrované kapaliny na čase skrz netkanou textilii s nižší (vlevo) a vyšší (vpravo) plošnou hmotností přípravy z polyethylenu.	48
Obrázek 18 – Závislost objemu filtrované kapaliny na čase skrz netkanou textilii s nižší (vlevo) a vyšší (vpravo) plošnou hmotností přípravy z kyseliny polymléčné	48
Obrázek 19 – Závislost objemu filtrované kapaliny na čase skrz netkanou textilii s nižší (vlevo) a vyšší (vpravo) plošnou hmotností přípravy z polypropylenu.	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Průměry vláken při zvětšení 500x.	43
Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti vzorků.	45