

Charakterizace polypropylenových mikrovláknenných netkaných textilií připravených pomocí melt blown technologie

Bc. Michaela Brázdová

Diplomová 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 DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Michaela Brázdová
Osobní číslo:	T18247
Studijní program:	N2808 Chemie a technologie materiálů
Studijní obor:	Materiálové inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Charakterizace polypropylenových mikrovlákných netkaných textilií připravených pomocí melt blown technologie

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte aktuální literární rešerši se zaměřením na přípravu netkaných textilií pomocí melt blown technologie.
2. Charakterizujte povrchové a filtrační vlastnosti připravených PP vlákných netkaných textilií.
3. Proveďte analýzu a diskuzi získaných výsledků.

Forma zpracování diplomové práce: Tiskovaná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

1. S.J. Russell, Handbook of nonwovens, ISBN 9781855736030.
2. V.B Gupta and V.K. Kothari, Manufactured fibre technology, ISBN 978940115854.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petra Peer, PhD.**
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. února 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. 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

Příjmení a jméno:

Obor:

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

.....

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, užije-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).*

³⁾ *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 užít 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Tato diplomová práce popisuje možnosti výroby netkaných textilií metodou melt blown a charakterizuje jejich povrchové a filtrační vlastnosti. Teoretická část shrnuje současné trendy v oblasti metody melt blown a aplikačních možnostech netkaných textilií, a to hlavně v odvětví netkaných kapalinových filtrů s antibakteriální úpravou. Praktická část je zaměřena na charakterizaci mikrovlákných netkaných textilií z pohledu povrchových a filtračních vlastností, dále pak na povrchové modifikace vlákných struktur. Modifikace spočívá v syntéze nanočástic stříbra na vláknech. V závěru práce byly srovnány výsledky uvolňování nanočástic stříbra z různě modifikovaných textilií.

Klíčová slova: Netkané textilie, melt blown, polypropylen, povrchové vlastnosti, filtrační vlastnosti, nanočástice stříbra

ABSTRACT

This diploma thesis shows possibilities of production of nonwovens by melt blown technology and their modification by synthesis of silver nanoparticles. The theoretical part focuses on the current trends in the field of melt blown and application possibilities of nonwovens, even in the field of nonwoven liquid filters with antibacterial treatment. The practical part is focused on the characterization of nanofibrous nonwoven textiles in terms of surface and filter properties and synthesis of silver nanoparticles. At the end of the work, were compared the results of the release of silver nanoparticles from variously modified fabrics.

Keywords: Nonwovens, melt blown, polypropylene, surface properties, filtration properties, silver nanoparticle

Ráda bych poděkovala Ing. Petře Peer, Ph.D za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a obětavý přístup při vypracování této diplomové práce. Také děkuji Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky za pomoc při měření v praktické části práce. Dále bych chtěla poděkovat rodičům a partnerovi za důvěru a podporu během studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 NETKANÉ TEXTILIE	12
1.1 HISTORIE.....	13
1.2 KLASIFIKACE NETKANÝCH TEXTILÍ.....	14
1.3 VLASTNOSTI.....	17
1.4 VYUŽITÍ.....	18
2 PŘÍPRAVA VLÁKENNÝCH NETKANÝCH TEXTILÍ	21
2.1 METODA MELT BLOWN.....	21
2.1.1 Historie.....	21
2.1.2 Materiál pro melt blown netkané textilie.....	22
2.1.3 Proces výroby.....	22
2.1.4 Vlastnosti.....	24
2.1.5 Použití.....	24
2.2 SPUN BOND.....	25
2.3 POROVNÁNÍ MELT BLOWN A SPUN BOND TECHNOLOGIE.....	27
3 POUŽITÉ MATERIÁLY	28
3.1 POLYPROPYLEN.....	28
3.1.1 Historie.....	28
3.1.2 Výroba.....	29
3.1.3 Vlastnosti.....	30
3.1.4 Aplikace.....	32
3.2 POLYAMID.....	33
3.2.1 Historie.....	33
3.2.2 Výroba.....	34
3.2.3 Vlastnosti.....	34
3.2.4 Použití.....	35
4 MODIFIKACE VLÁKENNÉ VRSTVY PRO FILTRACI	37
4.1 FILTRY Z NETKANÝCH TEXTILÍ.....	37
4.2 MODIFIKACE VLASTNOSTÍ.....	40
4.2.1 Úprava smáčivosti.....	40
4.2.2 Úprava antibakteriálních vlastností.....	41
II PRAKTICKÁ ČÁST	45
5 CÍL PRÁCE	46
6 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, ZAŘÍZENÍ A POSTUPY	47
6.3.3 Charakterizace vláknenných vrstev.....	49
6.3.4 Modifikace vláknenných vrstev.....	53
7 VÝSLEDKY A DISKUZE	56

7.1	VLIV VÝROBNÍCH PARAMETRŮ NA POVRCHOVÉ A FILTRAČNÍ VLASTNOSTI VLÁKENNÝCH VRSTEV	56
7.1.1	Průměr vláken	56
7.1.2	Smáčivost	58
7.1.3	Porozita	59
7.1.4	Nasákavost	60
7.1.5	Permeační tok.....	62
7.1.6	Plošná hmotnost	64
7.2	MODIFIKACE NANOVLÁKENNÉ VRSTVY.....	65
7.2.1	Vliv úpravy smáčivosti	65
7.2.2	Syntéza nanočástic stříbra	67
7.2.3	Filtrační vlastnosti modifikovaných nanovlákných vrstev.....	68
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	86
	SEZNAM TABULEK.....	88
	SEZNAM GRAFŮ	89
	SEZNAM PŘÍLOH.....	90

ÚVOD

Neustálý pokrok a vývoj technologií umožňuje výrobu materiálů s nepřehledným množstvím vlastností. V posledních desetiletích velice stoupla poptávka po netkaných textiliích, které lze vyrobit díky volbě vhodné technologie a kombinací materiálů na míru dané aplikaci.

Mezi jedny z velice žádaných úprav jsou v současnosti řazeny povrchové úpravy, a to především antibakteriální úpravy povrchů.

Tato diplomová práce popisuje aktuální trendy na poli netkaných textilií a technologii melt blown, jež se používá na jejich výrobu. Dále pak i jejich modifikace se zaměřením na kapalinové filtry s antibakteriální úpravou ve formě nanočástic stříbra.

Práce se věnuje hodnocení vlastností vybraných polypropylenových netkaných textilií vyrobených technologií melt blown. Tyto netkané textilie byly charakterizovány z pohledu filtračních a povrchových vlastností. V neposlední řadě byly netkané textilie podrobeny modifikaci v podobě plazmování a syntézy nanočástic stříbra, a posléze opět popsány jejich vlastnosti a srovnány s výchozí charakteristikou.

Na závěr byla ze souboru testovaných a upravených vlákenných vrstev vybrána taková, která se jevila jako nejvhodnější pro aplikaci v oblasti kapalinových filtrů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

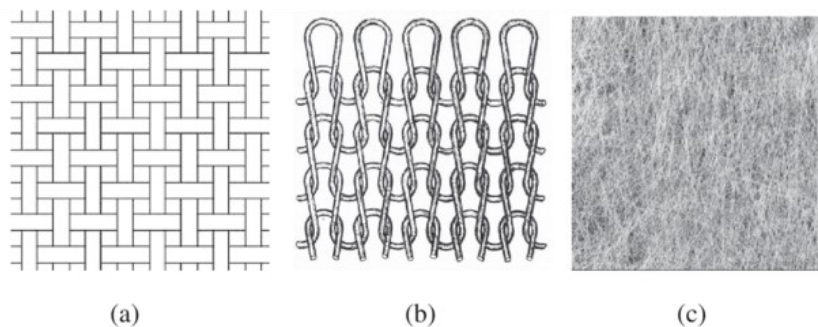
1 NETKANÉ TEXTILIE

Netkaná textilie (NT) je obecně definována jako vrstva připravená z jednosměrně či náhodně orientovaných vláken. Dle Evropské asociace pro jednorázové a netkané textilie EDANA (European Disposables and Nonwovens Association) se jedná o plošnou textilií vyrobenou ze staplových vláken, nekonečných vláken, sekaných multifilů jakékoliv povahy nebo původu, jež byla upravena do vlákně vrstvy různými prostředky, a spojena dohromady jakýmkoliv způsobem, s výjimkou tkaní nebo pletení (1). Přesný český popis NT se opírá o normu ČSN EN ISO 9092 (800002) Netkané textilie – Slovník. Dále může být jako NT klasifikována tkanina, jež obsahuje více než 30% hmoty vláken (s výjimkou chemicky mělněných rostlinných vláken) s poměrem délky k průměru větší než 300, a její hustota musí být menší než $0,40 \text{ g/m}^3$. (2) Na obrázku 1 je zobrazena NT připravená technologií melt blown.



Obrázek 1 Netkaná textilie připravená z PP metodou Melt blown

Základní rozdíl mezi tkanou a netkanou textilií spočívá především v samotné struktuře, odlišnost struktury je znázorněna na Obrázku 2. Netkaná struktura vzniká vrstvením krátkých či nekonečných vláken, postrádá tedy vnitřní strukturu jako takovou. Vnitřní soudržnost NT není závislá na prokládání vláken ani na geometricky organizované struktuře, ale souvisí s pospolitostí jednotlivých vláken. (3) Zatímco tkaná textilie vzniká proplétáním osnovy a útku z příze, u NT může dojít k přímému spojení vláken mechanicky, tepelně či chemicky. (4)



Obrázek 2 Rozdíl mezi (a) tkanou, (b) pletenou a (c) netkanou textilií (5)

Mezi nevýhody NT patří poměrně nízké hodnoty mechanických vlastností, a tedy i krátká životnost. Proto jsou využívány především na výrobu produktů na jedno, případně více použití v závislosti na jejich aplikaci. Díky rozmanitému spektru použitelných materiálů je lze využít v celé řadě odvětví, ať už se jedná o spotřební průmysl, zdravotnictví nebo strojírenství. (6)

1.1 Historie

Jako jedny z prvních NT lze považovat textilní útvary vyrobené zpracováním plstivých zvířecích srstí. V každé textilní výrobě vzniká 10-20 % technologických odpadů, snaha zpracování tohoto odpadu vedla k rozvoji dalších technologií k výrobě netkaných textilií s vlastnostmi podobnými jako u přírodní plsti. K rozvoji výroby NT metodami, které známe nyní došlo v období 30.-50. let 20. století. K nalezení nových metod vedla především snaha zvýšit, zefektivnit a zlevnit výrobu tkanin, neboť dosud známé postupy výroby nití a následné pletení či tkaní byly komplikované a zdlouhavé. Obrovský rozmach výroby NT v 60. letech 20. století je spjat i s vývojem materiálů se zcela novými vlastnostmi. Právě kombinace nových technologií a nových materiálů pomohla zrodu novodobých filtrů, ochranných oděvů, konstrukčních a izolačních prvků, rozvoje automobilového, leteckého a kosmického výzkumu a v neposlední řadě pro využití v oděvním a obuvnickém průmyslu. (4)

1.2 Klasifikace netkaných textilií

NT je možné dělit z mnoha pohledů. Nejzákladnější dělení je dle počtu vrstev. NT je možné vrstvit vzájemně na sebe, či je podvrstvit dalším materiálem. Takto získáme:

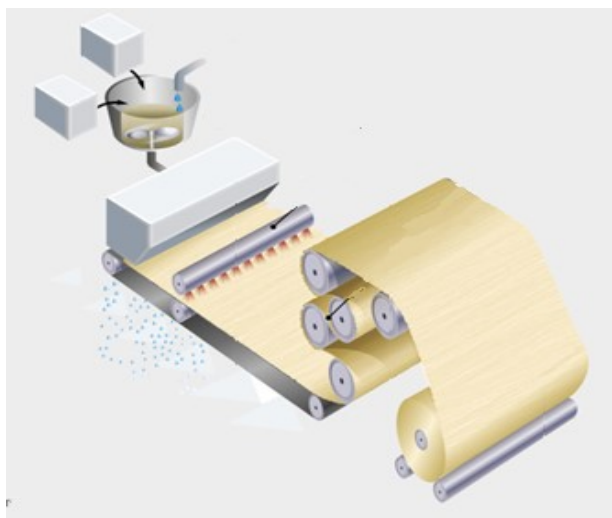
- jednovrstvé textilie
- vrstvené textilie – vznikají navrstvením alespoň jedné další vlákně vrstvy, ta může být textilní, či netextilní.

Další dělení je dle samotné výroby:

- ze staplových vláken (přírodní či syntetická vlákna o známé délce v řádech cm)
- přímými metodami (tavení polymeru)

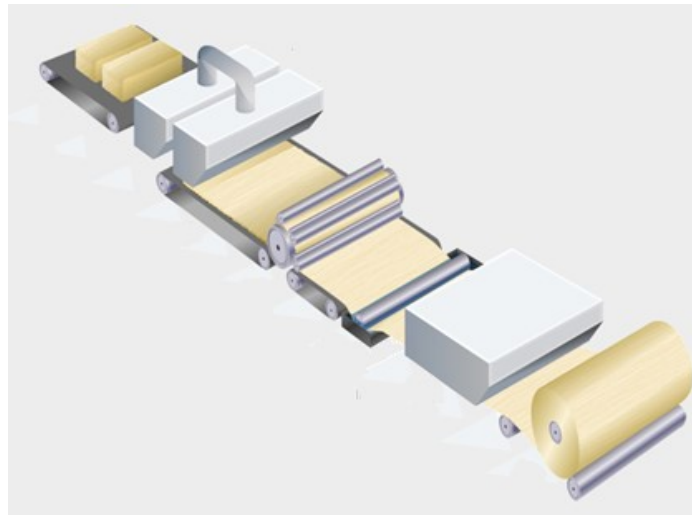
Výroba vlákně vrstvy může probíhat mokrou či suchou cestou. Suchá cesta se pak dělí na mechanickou, aerodynamickou, či výrobu přímo z polymeru. (4)

Mokrý cesta, zobrazena na Obrázku 3, je velmi podobná výrobě papíru. Jde o zpracování suspenze krátkých vláken v kapalině nanášením na pohybující se síto. Následně dochází k odvodnění a zformování vlákně vrstvy, ždímání, zpevnění tlakem dvou válců a vysoušení. NT je na konci možno napustit pojivem. Výsledkem je náhodně orientovaná vlákně vrstva se směrově stejnými vlastnostmi. (4; 7) Této metodě se ovšem věnuje omezený počet společností, protože se jedná o finančně velmi náročný proces, využívající obrovské objemy vody. Zpracovávají se takto především aramidová, skleněná a keramická vlákna. (2)



Obrázek 3 Schéma výroby NT mokrou metodou (7)

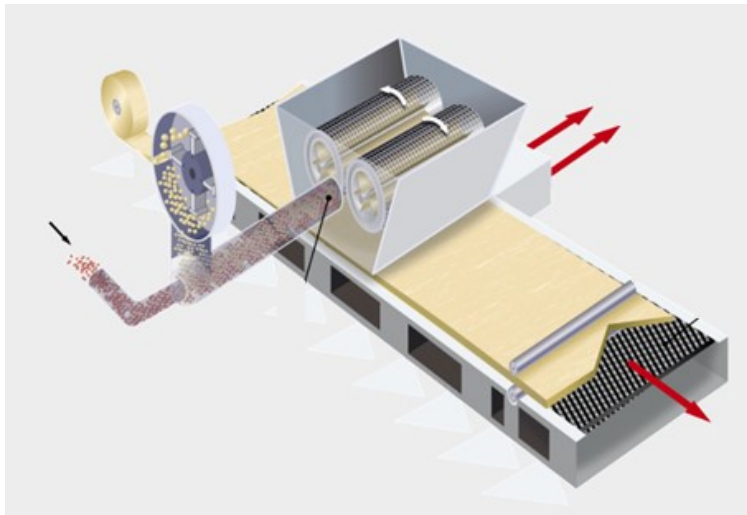
U suché cesty jsou vlákna mykána nebo aerodynamicky formována a následně mechanicky, chemicky či termálně spojena. (2) Mykání vychází z již zpracované stříže, jež je mykadlem učesána do vlákenné vrstvy, viz Obrázek 4. A to buď kolmo na směr vlákenného toku, či náhodně. Mechanický způsob se věnuje vytvoření vlákenné pavučiny a jejímu následnému vrstvení. Směr ukládání vrstvy má vliv na výsledné vlastnosti. Podélné kladení se používá pro výrobu lehkých NT o nízkých plošných hmotnostech (do 100 g/m). U příčného kladení závisí plošná hmotnost na plošné hmotnosti přiváděné pavučiny, šířce vytvářené vrstvy a rychlosti jejího odvodu. Kolmé kladení má za následek zvýšení odolnosti vůči stlačení. Tímto lze řídit mechanické vlastnosti. Pevnost v tahu bude nejnižší po směru výroby. (4)



Obrázek 4 Schéma výroby NT suchou metodou – mykáním (7)

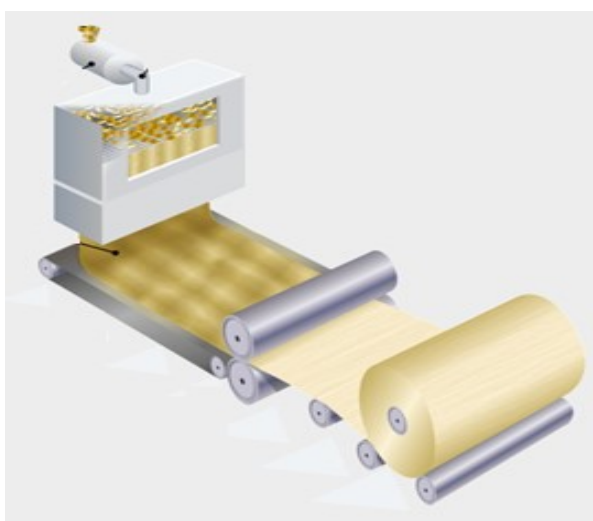
Při aerodynamické metodě, zobrazena na Obrázku 5, jsou vlákna strhávána proudem vzduchu a horizontálně kladena na dopravník. Oproti mykání jsou zde vlákna nahodile orientována a NT je řídkší. (4; 7) Mezi výhody aerodynamického způsobu výroby NT patří menší rozdíly vlastností v příčném a podélném směru, dále možnost velkého rozsahu plošných hmotností a výrobu objemných vrstev. Při výrobě objemnějších vrstev jsou vlákna ukládána šikmo na dopravník, což má za následek typickou vrstevnatou či šupinatou strukturu. Nevýhodami jsou nízký stupeň sjednocení vláken škrabacím válcem, možné zaplétání jednotlivých vláken při strhávání proudem vzduchu a jeho nerovnoměrné proudění v okolí postranních stěn, což má za následek rozdílnou orientaci vláken v šířce pásu textilie. Tyto nedostatky lze eliminovat nastavením výrobního zařízení. (4) Další možností pro

výrobu NT je kombinace předešlých postupů u suché metody. Mechanicko-aerodynamický postup výroby je založen na využití mechanických rozvolňovacích účinků, odstředivých a aerodynamických sil. (2)



Obrázek 5 Schéma výroby NT suchou metodou – aerodynamické formování (7)

Pod suché metody spadá také příprava vlákněných vrstev z taveniny polymeru, viz Obrázek 6. Při tomto procesu polymerní granulát prochází extrudérem a po průchodu zvlákňovací tryskou jsou výsledná vlákna zchlazena a nanášena na běžící pás. Tato metoda je pro tuto práci nejvýznamnější, protože pod ni patří technologie melt blown a je detailněji zpracována v kapitole 2.



Obrázek 6 Schéma výroby NT z taveniny polymeru (7)

Po výrobě pásu mají NT omezené mechanické vlastnosti. Proto je vrstva je následně buď přímo zpevňována, nebo vrstvena a následně zpevněna. Vlákně vrstvy se zpevňují několika způsoby:

- mechanicky – vpichování, spunlace (hydraulické prošívání), proplétání
- chemicky – impregnací, pěnou, postřikem
- termicky – teplovzdušně, kalandrem

Volba metody zpevnění závisí na vyžadovaných funkčních vlastnostech NT. (4; 7)

1.3 Vlastnosti

Díky obrovské možnosti kombinací zvolených materiálů a metod zpracování mají NT nepřehledné množství vlastností. Ty je možné přizpůsobit na míru požadavku ze strany zákazníka a vytvořit tak ideální produkt pro specifické konečné použití. (8) Ukázka fyzikálních vlastností syntetických vláken, které se často používají k výrobě NT, je shrnuta v následující Tabulce 1.

Tabulka 1 Fyzikální vlastnosti syntetických vláken (9)

Vlastnosti	PTT	PBT	PET	PA6	PA66	PP	PE
T_m (°C)	228	226	260	220	265	168	132
T_g (°C)	45–65	20–40	69–81	40–87	50–90	-17	-60
Hustota (g/cm ³)	1,33	1,35	1,38	1,13	1,14	0,910	0,94–0,98/ 0,92–0,94
24h nasákavost (%)	0,03	–	0,09	1,9	2,8	–	–
336h nasákavost (%)	0,15	–	0,49	9,5	8,9	<-0,03	–

Teplota tání a teplota skelného přechodu závisí především na typu materiálu. Pro NT jsou nejvíce charakteristické plošné hmotnosti. Plošná hmotnost udává hmotnost systému na specifickou plochu. Může se pohybovat od nízkých hodnot, kdy bude textilie velmi tenká až po vysoké, kdy je NT vyšší a hutnější. (10) Podrobnější vlastnosti NT jsou pak shrnuty u jednotlivých metod jejich výroby.

Pro tkaniny obecně je důležitá jednotka TEX. Jedná se o délkovou hustotu, přesněji hmotnost jednoho kilometru příze v gramech. Jemná příze se pohybuje v jednotkách TEX a velmi hrubá příze až ve stovkách TEX. Jako mikrovláknata jsou označována ta vlákna, co mají délkovou hustotu nižší než 1 TEX. Tato jednotka se dále používá pro udávání pevnosti vlákna, kdy je na ni vztažena síla potřebná k přetržení svazku vláken. (11)

1.4 Využití

NT mají celou řadu využití, jejich příklad je uveden na Obrázku 7. Hlavní segmenty zboží z NT z hlediska objemu zaujímají hygienické potřeby (31,9 %), stavebnictví (18,2 %), utěrky (15,8 %) a filtry (6,9 %). (9)



Obrázek 7 Ukázka využití NT v běžném životě (12)

Odvětví, kde se NT využívají, jsou např. výroba hygienických potřeb, utěrek, lékařství a chirurgie, ochranné oděvy, filtry, podšívky a oděvy, obuv, čalounictví, nábytek, ložní prádlo, dále pak podlahové krytiny, stavebnictví, pokrývačství a v neposlední řadě stavební inženýrství a geosyntetika. (9) Využití NT v těchto jednotlivých skupinách je detailněji vypsáno v Tabulce 2.

Tabulka 2 Odvětví využití NT (2)

Hygienické potřeby	Dětské plenky	Inkontinenční vložky	Kapesníčky	Dámské hygienické potřeby	Kosmetické tampony	Jednorázové spodní prádlo	
Utěrky	Jednorázové ubrousky (suché i vlhčené)	Hadr na nádobí	Mopy				
Lékařství a chirurgie	Chirurgické tampony	Krytí na rány a obvazy	Chirurgických pláště, roušky a čepice	Chirurgických závěsy, zábalý	Transdermální podávání léků	Tepelné zábalý	
Ochranné oděvy	Laboratorní kombinézy	Žáruodolné podšívky	Tepelně izolační podšívky	Vysoce viditelný oděv	Protichemický oděv		
Filtry (plyn a kapaliny)	Čajové sáčky	Filtrace nápojů	Sorpee oleje	Průmyslová filtrace vzduchu	Respirační filtry	Sáčky do vysavačů	Kontrola zápachu
Podšívky a oděvy	Podšívky a vložky	Ramenní vycpávky	Vložky rukavic				
Obuv, koženka a potahový substrát	Výstelka bot	Podklad syntetické kůže	Konstrukční součásti obuvi	Zavazadla a tašky			
Čalounictví, nábytek a ložní prádlo	Potahy matrací,	Podložky matrací	Vaty a výplně	Prostěradla a přehozy	Stínidla	Přikrývky	Ochranné pokrývky

	polštářů a pokrývek						proti prachu
Podlahové krytiny	Koberce a kobercové dlaždice	Podkladové a kobercové tkaniny	Automobilové koberce a obložení				
Stavebnictví a pokrývačství	Výplň zdi	Tepelná a zvuková izolace	Obložení střechy	Podkladové textilie	Sádrokartonové obklady	Ochrana potrubí	Textilní dlaždice, šindele
Stavební inženýrství a geosyntetika	Membránové chrániče skládek	Drenážní systémy	Podkladové systémy pro nádrže a jezírka	Kontrola eroze a stabilizace půdy	Oddělování půdy		

Použití určitého materiálu a postupu jeho zpracování ovlivní výsledné vlastnosti NT. Proto je technologie výroby volena s ohledem na budoucí aplikaci. V Tabulce 3 je pro srovnání uveden přehled produkce nejběžnějších NT v západní Evropě pro rok 2017.

Tabulka 3 Produkce NT v západní Evropě v roce 2017 (13)

Materiál	Způsob zpracování	Vlastnosti a oblasti použití NT
Viskózová vlákna	Suchá, mokrá, aerodynamická metoda, vpichování, hydrojet, flokulace	Papír, sanitární materiál, zdravotnictví, utěrky, iontoměniče pro filtry, separace
	Suchá, mokrá metoda, vpichování, flokulace	Žáru odolné, barvené. Obaly na odpadky, vycpávky, plst, ochranné tkaniny, průmyslové tkaniny
	Suchá metoda, flokulace, vpichování	Vycpávky, zdravotnictví, utěrky
	Suchá, mokrá a aerodynamická metoda, vpichování	Papíry pro speciální účely, technické textilie, automobilový průmysl
Polyesterová vlákna	Hydrofobní, hydrofilní a neupravené hladké vlákno	Filtry, izolace, hygienický a zdravotnický materiál, antistatické materiály, ochranná obuv, čalounictví
	Sešívání, vpichování	Automobilové interiéry, tenká plst, filtry, hygienický materiál, oblečení, geotextilie, povlečení. Žáru odolné, malé smrsknutí při působení horkého vzduchu, amorfní mikrovlákná
Polyamidová vlákna	Termické zpevňování, stohování vláken za sucha, včetně objemového barvení	Odolné proti oděru, multifunkční
	Suchá a mokrá metoda, termické zpevňování, tavení polymeru, vpichování	Odlučovače baterií, podšívka bot, papír s vysokou pevností
	Hrubá vlákna pro vpichování	Technický sektor
	Vpichování	Technické textilie, oblečení, krytí
Aramidová vlákna		Stříbrem obalená vlákna. Elektrické vodiče, antistatické, antibakteriální
Polyimidová vlákna		Ochranné oděvy, opakovatelně omyvatelné, ochranné obaly, filtry
Polyimimidová vlákna		Filtrace horkých plynů, ochrana proti tření
Polyakrylonitrilová vlákna	Vpichování	Barvené pigmenty, filtrace horkých plynů, plst, filtry. Vlákna s antistatickými a elektricky vodivými vlastnostmi.
	Vpichování	Automobilový průmysl, geotextilie, čalounictví, zdravotnictví, filtry. Hydrofobní a hydrofilní materiály, potisknutelné látky, vycpávky, spodní prádlo, koberce.
Polypropylenová vlákna	Mokrá metoda	Filtry, papír s vysokou pevností, odlučovače baterií, geo a agro textilie, konstrukce, zdravotnický a hygienický materiál, antimikrobní
	Sešívání	Geotextilie, filtry, automobilový průmysl, interiéry aut, agrotexilie, koberce do

		interiérů i exteriérů, zdravotnický a hygienický materiál, antimikrobiální
Polyetylenová vlákna	Vpichování	Vlákna pro termické zpevňování a na výrobu kompozitu
	Sešívání	Geotextilie, silná plst

Dalším hlediskem pro určení aplikace NT je životnost navrhovaného výrobku. Ten může být na:

- jedno použití s krátkou životností
- jedno použití s dlouhou životností
- vícenásobné použití s proměnlivou životností

Díky mnoha možnostem úprav NT a jejich následnému vrstvení se komerčně vyrábějí i vícevrstvé netkané kompozity, lamináty a trojrozměrné netkané textile. Ty v kombinaci s dalšími materiály poskytují celé spektrum výrobků s nejrůznějšími chemickými či fyzikálními vlastnostmi.

2 PŘÍPRAVA VLÁKENNÝCH NETKANÝCH TEXTILIÍ

NT lze vyrobit mnoha způsoby jež byly přiblíženy v předchozí kapitole. NT pro tuto práci byly připraveny metodou melt blown, která patří spolu se spun bond k nejpoužívanějším metodám zvlákňování z taveniny polymeru.

2.1 Metoda melt blown

Jedná se o metodu výroby netkaných textilií, kdy dochází k rozfukování taveniny na sběrný válec. Definice melt blown (MB) technologie říká, že se jedná o jednostupňový proces, při kterém vysokorychlostní kapalina (běžně se jedná o vzduch), fouká roztavenou termoplastickou hmotu z vytlačovací trysky na dopravník, síto či substrát za vzniku pásu tvořeného jemnými vlákny. (14)

2.1.1 Historie

Metoda rozfukování taveniny materiálu byla vyvinuta v 50. letech 20. století v chemických laboratořích armády Spojených států amerických. Samotný koncept MB technologie se roku 1954 podařilo demonstrovat vědci Van A. Wante z výzkumné laboratoře Naval. Na konci 60. let hledal výzkumný ústav Exxon komerční uplatnění pro polypropylen (PP). Spojením znalostí výzkumných laboratoří a komerčního uplatnění PP dal v druhé polovině 60. let vzniknout patentované technologii MB. Japonská pobočka společnosti Exxon začala technologii dále komerčně využívat a jejich produkt se později stal vyhledávaným materiálem pro výrobu filtrů, hygienických potřeb, cigaretových filtrů a speciálních syntetických papírů. Začali také MB NT kombinovat pomocí laminování a povlakování s jinými materiály a využívat je pro vyztužení. Později tuto technologii začalo využívat stále více společností a hledali pro ni nová uplatnění. V průběhu let výrazně stoupl počet patentů věnujících se MB technologii (v 70. letech jich bylo 20 a v 90. letech 236 patentů). (15) Roku 1983 se společnost Exxon spojila s Univerzitou v Tennessee a společně vytvořili výzkumné centrum pro MB technologii. Toto výzkumné centrum se roku 1989 změnilo na Textiles and Nonwovens Development Center. (16)

2.1.2 Materiál pro melt blown netkané textilie

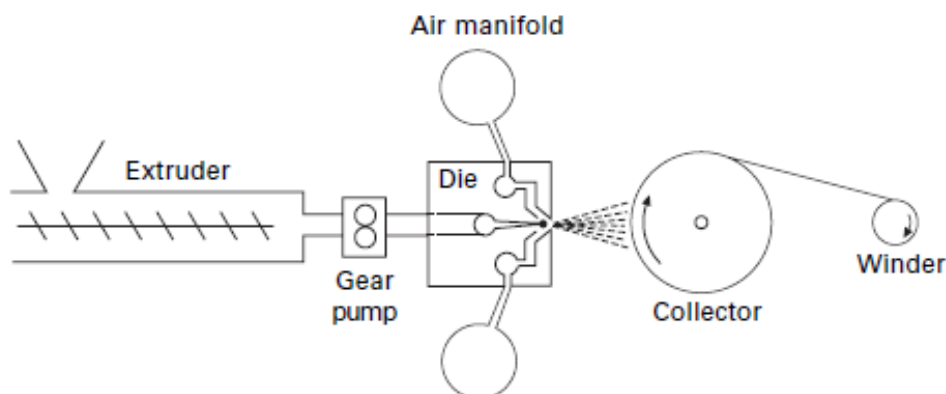
MB technologie jsou s ohledem na řadu použitelných materiálů velmi univerzální metodou. Jsou zde zpracovávány vysoce tekuté termoplastické polymery s nízkou molekulární hmotností. Polymer by měl dosahovat hodnot indexu toku taveniny 30–1500 g/10min. (4) Index toku taveniny udává množství taveniny polymeru v gramech, které proteče za časovou jednotku otvorem plastometru při dané teplotě a tlaku.

Nejvíce používanými polymery jsou polypropylen, polyetylen, polyester a polyamid. Z těchto termoplastických polymerů se nejjednodušeji zpracovává polyamid, přesněji pak Nylon 6. (2) Avšak objemově je nejvíce zpracováván polypropylen, a to především pro jeho poměrně nízkou cenu a široké aplikační možnosti. (16)

2.1.3 Proces výroby

Technologie MB zahrnuje několik základních kroků (4):

- Tavení polymeru, doprava taveniny k hubici
- Formování vláken
- Strhávání proudem vzduchu, formování vláken, chlazení
- Formování vlákněné vrstvy na porézním sběrném bubnu/pásu
- Pojení



Obrázek 8 Schéma výroby NT metodou melt blown (2)

Jak je naznačeno v schématu výroby NT metodou MB na Obrázku 8, výrobní proces začíná v extrudéru, který se skládá z vyhřívaného válce s rotujícím šnekem. Do něj je dávkován granulovaný materiál, následně taven a posunován směrem k čerpadlu. V průběhu pohybu musí tavenina dosáhnout požadované viskozity a teploty. Z čerpadla, které umožňuje zajištění konstantního objemu, tlaku a teploty taveniny, tavenina vchází do zvláknovací hlavice, která je zahřívána na 215–340 °C. Za ní dochází ke vzniku vláken pomocí rozfukování vycházející taveniny horkým vzduchem o vysoké rychlosti, běžně se teplota pohybuje v rozsahu 230–360°C při rychlosti 180–270 m/s. V kovové hlavici jsou stovky malých kruhových kanálů, ty mají nejčastěji průměr 0,4 mm a na 1 mm hlavice připadají 1–4 kanály. (16) Unášená vlákna, která jsou nepravidelně dloužena, ulpívají a postupně tuhnou na kolektoru. Jako kolektor může sloužit rotující válec či ubíhající pás. Takto vzniklá vlákenná vrstva je posléze podrobena konečným úpravám. Mezi úpravy patří kalandrování, ořez, antistatická úprava či úprava povrchových vlastností. Další konečné úpravy a jejich vliv na NT jsou shrnuty v Tabulce 4.

Tabulka 4 Konečné úpravy používané u MB NT (16)

Úprava	Výhoda
Antistatická činidla	Statická kontrola
Kalandr	Redukce tloušťky Redukce velikosti pórů Nárůst hustoty sítě Nárůst pevnosti Nárůst odolnosti oděru Vytvoření hladkého či strukturovaného povrchu Laminace s dalšími vrstvami
Barvení	Úprava vzhledu
Kompozity	Posílení MB sítě
Elektrostatický náboj	Zlepšuje filtraci částic
Potisk	Dekoratивní Funkční
Retardanty hoření	Snížení hořlavosti
Ražba	Dekoratивní Funkční
Smáčecí činidla	Úprava smáčení vodou
Savé prášky	Úprava savosti
Povrchové úpravy	Potisknutelnost Barvitelnosti Bariérové vlastnosti

Samotná technologie je náročná na správné seřízení výrobního stroje. Procesní podmínky výrazně ovlivňují vlastnosti výsledné textilie.

2.1.4 Vlastnosti

NT bývají vyráběny již s vlastnostmi požadovanými ze strany aplikace. Jejich vlastnosti jsou dány výběrem materiálu, volbou výrobních parametrů, zpevněním a finální úpravou.

Mezi obecnou charakteristiku MB NT patří náhodná orientace vláken, nižší pevnost vlákenné sítě, neprůhlednost, mikrovlákná vykazují velký měrný povrch s hladkým povrchem, na průřezu mají kruhový tvar, avšak jejich průměr je po délce vlákna proměnlivý, vlákna jsou většinou konečná. Zajímavostí je, že během letu vlákna při jeho výrobě může dojít k větvení. (2)

Průměr vláken se pohybuje v rozmezí 0,5 až 30 μm , ale nejčastěji dosahuje 2 až 7 μm . (2) Délka vláken je v rozsahu 2,5 až 28 cm. Plošná hmotnost MB NT dosahuje 8 až 350 g/m^2 , ale běžněji se pracuje s plošnou hmotností 20–200 g/m^2 . (16) Porovnání vlastností PP vláken a PP NT vyrobených MB technologií je zobrazeno v Tabulce 5.

Tabulka 5 Vlastnosti polypropylenových vláken a NT vyrobených MB technologií (16)

Vlastnosti polypropylenových vláken		Vlastnosti polypropylenových NT	
Délka	Nelze určit	Plošná hmotnost	5–1000 g/m^2
Průměr	2–4 μm	Pevnost v tahu	1,379 N/cm^2
Dvojlom	$10 \cdot 10^{-3}$ – $15 \cdot 10^{-3}$	Vzdušná permeabilita	Vysoká, kontrolovatelná
Pevnost v tahu	2 gramy na denier*	Porosita	75–95 %
*denier (DEN) vyjadřuje sílu vlákna, fyzikálně definován jako váha 9 km příze v g.		Kryvost	Výborná
		Pocit na dotek	Velmi jemná

2.1.5 Použití

Vlákna v MB tkaninách mají velký specifický povrch, proto jsou využívána při filtracích, izolacích a absorpcích kapalin. Tyto textilie se používají při velmi náročných filtracích, kdy lze využít potenciál velmi jemné vlákenné sítě. Sem patří filtrace v potravinovém průmyslu, ale především filtrace ve zdravotnictví, tedy krve a tělních tekutin. MB NT lze využít i jako termoizolační médium. (2) NT jsou používány jako průmyslové sorbenty, především pro zachycení ropného znečištění vody. Podle povrchové úpravy se MB NT mohou chovat jako kapaliny propouštějící či savé, nebo naopak bariérové. Díky tomu mají velké využití mezi sanitárním a hygienickým zbožím. Dále se používají jako textilie pro výrobu oděvů. Ať už ochranných, oděvů pro čisté prostoty, tak jako funkční oblečení absorbující pot a bakterie produkované lidským tělem. Velký význam mají ve zdravotnictví, kde jsou z nich vyráběny

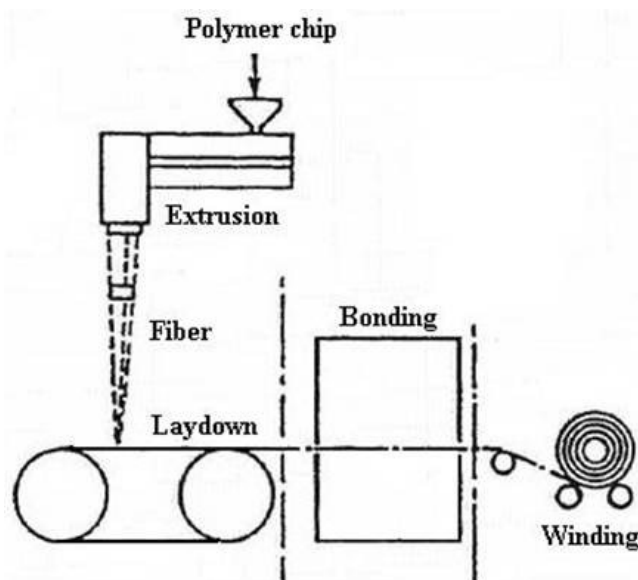
chirurgické oděvy, roušky a masky. (4) MB NT mohou být použity jako účinné filtry pro filtraci částic větších než $0,5 \mu\text{m}$. (17)

2.2 Spun bond

Technologie spun bond (SB) je někdy překládána jako „výroba za hubicí“. Její podstatou je přímé zvlákňování nekonečných vláken z polymerní taveniny.

Komerčně byla technologie poprvé použita na pomezí 40. a 50. let 20. století. Technologie byla patentována pro výrobu skelné vaty firmou Slather and Thomas z Corning Company. V 50. a 60. letech pak byla použita německou firmou Freudenberg a americkou firmou Du Pont i pro syntetické polymery. Později došlo k razantnímu rozmachu ve využívání této technologie v celém světě. (18)

SB technologií je zpracovávána celá řada polymerů včetně polypropylenu, polyesteru, polyetylenu, polyamidu a polyuretanu. Avšak ve světě je kvůli nízké ceně a nejvyššímu výtěžku vláken na kilogram nejvíce využíván izotaktický polypropylen. Stejně tak je tomu i u polyethylenu, který má i dobrou chemickou odolnost a výborné elektrické izolační vlastnosti. Dalším hojně zpracovávaným polymerem je polyester. Pro výrobu vláken má celou řadu výborných vlastností (tepelnou stabilitu, pevnost v tahu) avšak je obtížněji zpracovatelný a jeho cena je poměrně vysoká. (18)



Obrázek 9 Schéma výroby NT metodou spun bond (19)

Technologie SB zahrnuje několik základních kroků (4):

- Tavení polymeru ve formě granulátu
- Zvlákňování pomocí zvlákňovacích trysek
- Odtah od trubice a případné dloužení
- Nános filamentů na pohybující se dopravník
- Zpevnění vlákenné vrstvy
- Ořezání okrajů a navíjení

Stejně jako u MB technologie i zde dochází nejprve k tavení polymerního granulátu v extrudéru. Tavenina pak prochází skrze síta, kde se odstraní nečistoty, které by mohly způsobit ucpání trysek či zpretrhání vláken. Dále je tavenina dávkována do čerpadla, kde dochází k ustálení objemu a rychlosti toku. Poté je tavenina vytlačena přes zvlákňovací trysky. Následně se tavenina proudící z trysek ochlazuje proudem vzduchu ve chladící šachtě na teplotu nižší, než je teplota tání polymeru. Takto vzniklá vlákna jsou dále odtahována, přičemž dochází k jejich dloužení a kladena na pohybující se pás. Odtah může probíhat buď gravitační silou, vzduchovou odtahovací tryskou nebo geletami. Výsledná vlákenná vrstva se dále chemicky, termicky nebo vpichováním zpevňuje. (19; 18) Schéma výroby NT technologií SB je znázorněno na Obrázku 9.

SB NT mají široké využití v oblasti zdravotnických a hygienických výrobků, jako ochranné oděvy, obalové materiály, filtry geo a agro textilie. (4)

2.3 Porovnání melt blown a spun bond technologie

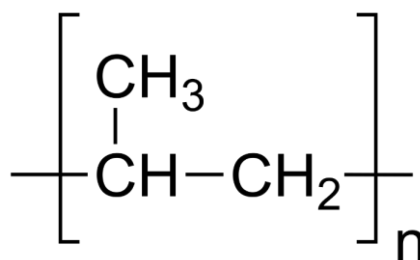
Obě tyto metody mají mnoho společných znaků. V obou případech je vlákenná vrstva tvořena vytlačováním z taveniny na dopravní pás. Hlavní rozdíl v procesech je za zvlákňovací hlavou. V případě MB technologie jsou vlákna rozfukována vzduchem o vysoké rychlosti, u SB technologie slouží vzduch pouze jako chladící médium pro paprsky taveniny. (20) Výrazné rozdíly jsou i ve struktuře a vlastnostech NT. U MB technologie jsou vlákna konečná, mají nepravidelný tvar, průřez i délku a jsou částečně dloužena. Oproti tomu u SB technologie jsou vlákna nekonečná a podle zvolené úpravy výroby mohou být dloužena, nedloužena nebo částečně dloužena. Z pohledu pevnosti a odolnosti oděru i ohybu jsou v závislosti na vydloužení pevnější a odolnější SB NT. Ty mohou dosahovat nízkých i vysokých hodnot pevnosti, kdežto MB NT je mají obecně nízké. U měrného povrchu vedou MB NT, které dle jemnosti dosahují střední až velmi vysoké velikosti měrného povrchu. SB NT pouze střední. Stejně platí i pro tepelně izolační, filtrační a sorpční vlastnosti. U MB NT jemná vlákna dosahují vynikajících vlastností a SB NT pouze průměrné. (4)

3 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro výrobu NT se používá celé spektrum polymerních materiálů. NT použita v této práci byla připravena z polypropylenu, který byl po zvláknění nanášen na podkladovou bázi z polyamidu.

3.1 Polypropylen

Polypropylen (PP) je jeden z nejběžněji používaných polyolefinů, jeho strukturní vzorec je zobrazen na Obrázku 10. Jedná se o semikrystalický, termoplastický polymer. PP se vyskytuje ve dvou základních typech, a to jako lineární a větvený. Dále rozlišujeme druh stereometrie, která má významný vliv na jeho vlastnosti. Jedná se o izotaktickou, syndiotaktickou a ataktickou formu.



Obrázek 10 Strukturní vzorec PP

3.1.1 Historie

Historie PP se píše od roku 1869, kdy francouzský chemik Marcellin Berthelot poprvé připravil propylen. Tato nezpolymerizovaná látka však neměla žádné využití a samotný PP musel na svůj objev počkat až do roku 1954. Tehdy italský chemik Ciulio Natta využil princip organokovového katalyzátoru italského chemika Karla Zieglera. Díky katalyzátoru na bázi titanu a hliníku syntetizoval první stereoregulární polymer, izotaktický propylen. Za tuto práci se pak Natta a Ziegler společně stali držiteli Nobelovy ceny za chemii. (21; 22; 23)

S nástupem 1. generace katalyzátorů v 60. letech 20. století došlo k rozvoji výroby PP, avšak bylo dosaženo malého výtěžku a produkt obsahoval 5-10 % ataktického podílů. (24)

Nyní jsou již zastaralé katalyzátory nahrazeny novějšími na bázi metalocenů. Ty mají oproti klasickým Ziegler-Nattovým 10 až 100krát větší katalytickou aktivitu. Díky tomu je dosaženo mnohonásobně vyššího obsahu izotaktické složky (až 99 %) a obecně je u polymerů dosaženo užší distribuce molekulových hmotností. (21; 24)

3.1.2 Výroba

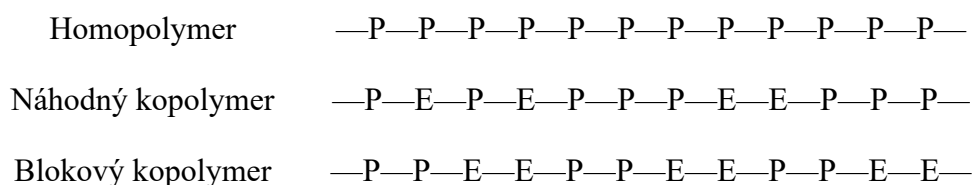
Samotná výroba PP může pobíhat v suspenzi či v plynné fázi. Největší vliv na rozvoj výroby polypropylenu měl postupný vývoj nových generací katalyzátorů. Aktuálně jsou využívány katalyzátory čtvrté a vyšší generace. Čtvrtá generace katalyzátorů je založena na ftaláto/křemičitanových donorech a sférickém nosiči. Velkou výhodou této generace katalyzátorů je eliminace čištění polymeru od katalyzátoru a přebytečných ataktických podílů. Pátá generace katalyzátorů je založena na diether a sukcinátových donorů, vedoucích k vyšší aktivitě a účinnosti. (25) Šestá generace, metallocenní katalyzátory, vychází ze stereorigidních metallocénů přechodného kovu (např. zirkon či hafnium) v kombinaci s kokatalyzátorem methylaluminooxanem. Je schopna zajistit vysoce stereoregulární izotaktický či syndiotaktický polypropylen v extrémně vysokých výtěžcích. (26)

Suspenzní polymerace vychází z kapalného propylenu. Reakce probíhá kontinuálně v reaktoru, kdy jsou současně vnášeny propylen, rozpouštědlo, katalyzátor a kokatalyzátor. Polymerace probíhá při teplotách 50–80 °C a při tlaku 2 MPa. Malé částice PP tvoří suspenzi v rozpouštědle, ve kterém je částečně rozpuštěn i ataktický PP. Ten se tvoří jako vedlejší produkt polymerizační reakce. Na konci výroby je odebrán nezreagovaný propylen, který je dále recyklován do reaktoru. Od roku 2002 se však v ČR suspenzní polymerace nepoužívá. (23; 27)

V případě procesu v plynné fázi přichází do kontaktu plynný propylen s tuhým katalyzátorem. S převahou jsou využívány katalyzátory čtvrté generace. Výhodou této metody je, že produkty vycházejí suché a vyžadují odstranění jen velmi nízkého množství katalyzátoru. Reaktory pro výrobu PP v plynné fázi mohou být buď horizontální či vertikální. V obou případech je nutné chlazení, kvůli teplu vznikajícímu při reakci. (23; 27)

3.1.3 Vlastnosti

Podle zvolené metody polymerace můžeme získat různé typy PP, jejich struktura je zobrazena na Obrázku 11. Získáme čistý homopolymer, či kopolymer, kde se střídají jednotky monomeru propylenu a ethylenu. Kopolymer může být buď náhodný či blokový. Homopolymer má oproti kopolymerům více tuhé řetězce a je odolnější vyšším teplotám. Náhodný kopolymer obsahuje 1,5–6 hm.% ethylenu v náhodném rozmístění. Blokový kopolymer obsahuje komonomer ve formě dispergované kaučukové fáze. (28) Výrobky z kopolymerů bývají měkčí na dotek, avšak jsou výrazně dražší.



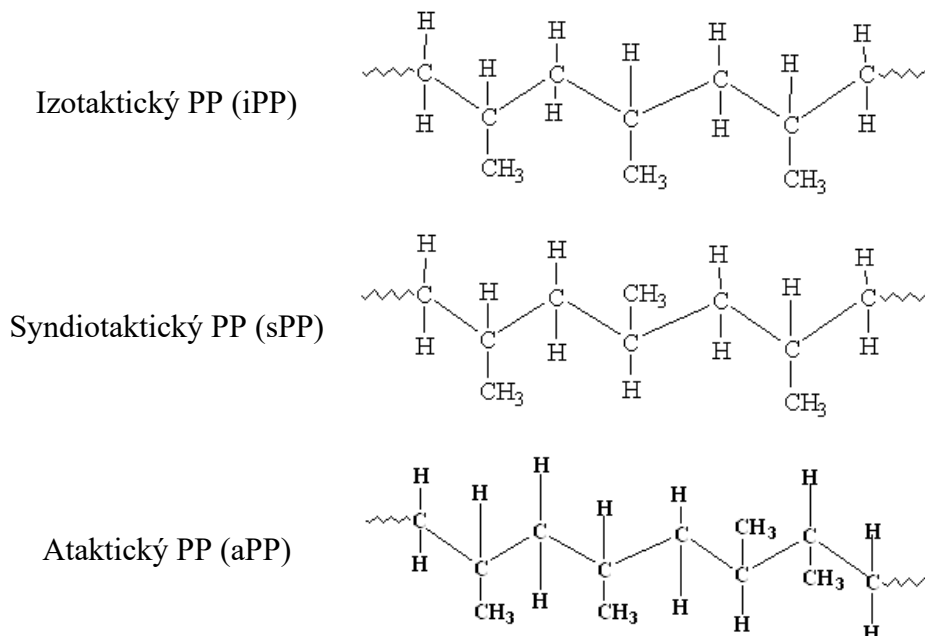
Obrázek 11 Struktura homopolymeru, náhodného a blokového kopolymeru; P propylen, E ethylen

Stejně jako u většiny termoplastických polymerů, tak i u PP vlastnosti velmi závisí na délce polymerního řetězce, a tedy i molekulové hmotnosti, stupni krystalinity a polydisperzity a na stereoizometrii. (28) V případě větvení u PP rozlišujeme izotaktickou (iPP), syndiotaktickou (sPP) a ataktickou (aPP) formu, jejich struktura je znázorněna na Obrázku 12. Jednotlivé formy se od sebe výrazně liší fyzikálními vlastnostmi, rozdíly jsou zobrazeny v Tabulce 6. Zatímco iPP a sPP lze polymerizovat a jejich teplota tání je 165 °C pro iPP a 135 °C pro sPP, aPP zůstává v kapalné fázi.

Tabulka 6 Vlastnosti jednotlivých stereoizomerů PP (25)

	Izotaktický	Syntiotaktický	Ataktický
Hustota (kg/m³)	920–940	890–910	805–900
Teplota tání (°C)	165	135	–
Rozpustnost v uhlovodících	Nerospouští se	Střední	Vysoká
Pevnost	Vysoká	Střední	Nízká

Stupeň krystalinity semikrystalického polymeru neboli poměr mezi amorfni a krystalickou fází, je závislý na strukturních a stereochemických charakteristikách polymerních řetězců, a především na podmínkách, za nichž je PP vyráběn.



Obrázek 12 Stereoizometrie PP

PP má vynikající fyzikální, mechanické a tepelné vlastnosti. Je relativně tuhý, má vysokou teplotu tání, nízkou hustotu pohybující se v okolí 900 kg/m^3 a dobrou odolnost proti nárazu. Tyto údaje jsou shrnuty v Tabulce 7. V tabulce je možno porovnat homopolymer PP s jeho náhodným a blokovým kopolymerem. Co se teploty tání týče, oproti homopolymeru a náhodnému kopolymeru taje blokový PP při teplotách o $20 \text{ }^\circ\text{C}$ nižší. Z pohledu mechanických vlastností je zřejmé, že homopolymer PP je obecně pevnější a odolnější.

Tabulka 7 Vlastnosti PP (28)

	Homopolymer	Náhodný kopolymer	Blokový kopolymer
Hustota (kg/m^3)	908	908	900
T_m ($^\circ\text{C}$)	163	163	142
Teplota měknutí dle Vicata ($^\circ\text{C}$)	92	60	62
Smrštění (%)	1,3	1,3	1,3
Tahový modul (MPa)	1500	1100	900
Napětí na mezi kluzu (MPa)	35	24	25
Deformace na mezi kluzu (%)	10	8	12
Nominální deformace při přetržení (%)	>50	>50	>50
Absorpce vody (%)	0,1	0,1	0,1

Vlastnosti PP se dále mění při použití modifikátorů a plniv. Například přidavek 40 hm% talku zvyšuje hustotu PP na 1200 kg/m^3 . (28)

3.1.4 Aplikace

PP je nejčastěji využíván na vstřikování či vyfukování menších dutých předmětů. Dále je vytlačován na trubky, desky a profily a pomocí výtlačného vyfukování na fólie. Díky jeho dobrým mechanickým vlastnostem je notně používán v průmyslu. Například v automobilovém průmyslu slouží k výrobě vstřikovaných dílů přístrojových desek, nárazníků a ventilátorů. Nejvíce je využíván v rámci spotřebního zboží, kde našel uplatnění jako obalový materiál, jako surovina pro výrobu kelímků, pro výrobu hraček, kuchyňského nádobí a jiného. Dalším velkým odvětvím zpracování PP je výroba vláken a tkanin. (23)

U využití PP závisí také na jeho takticitě, sPP vykazuje dobré fyzikální, mechanické a tepelné vlastnosti a je používán v celé řadě odvětví. Oproti tomu iPP a aPP mají horší až velmi špatné mechanické a tepelné vlastnosti. Ataktický PP je měkký, lepkavý materiál, který se používá především jako adhesivum a tmel. (29)

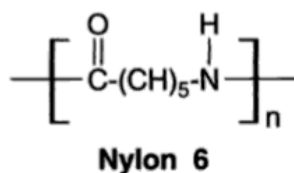
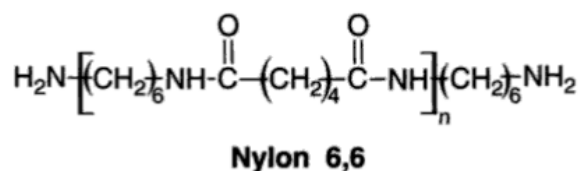


Obrázek 13 Recyklační logo PP (30)

Výrobky vyrobené z PP jsou označeny recyklačním logem zobrazeným na Obrázku 13 a po vytrídění a dalším zpracování je možné materiál využít pro opětovnou výrobu.

3.2 Polyamid

Polyamidy (PA) jsou polymery, které obsahují amidovou skupinu —CO—NH—. PA se dělí na aromatické (aramidy) a lineární (nylony). (31) Aramidy se používají v aplikacích náročných na tepelné a tahové namáhání. Mezi nejznámější lineární nylony patří Nylon 6 a Nylon 6,6, jejichž strukturní vzorce jsou vyobrazeny na Obrázku 14.



Obrázek 14 Strukturní vzorec Nylonu 6,6 a Nylonu 6 (11)

3.2.1 Historie

Za objevem polyamidů stojí Wallace H. Carothers, který úspěšně provedl kondenzační reakci polymerů a jejich přeměnu na vlákna. I přes počáteční neúspěchy, kdy se zajímal především o polykondenzaci pentamethylen diaminu a kyseliny sebakové za vzniku nylonu-5,10, se mu po naléhání ze strany zadavatele podařilo získat nylon-6,6. Jeho velkou výhodou byla především možnost získat monomery z benzenu. První vlákna z nylonu-6,6 pak byla vytvořena roku 1931. V únoru roku 1937 si nechal Carothers patentovat polyamidové punčochy. Komerční výroba nylonu začala roku 1938, kdy firma Du Pont představila nové vlákno, které bylo „*silné jako ocel, jemné jako pavučina, ale pružnější než kterékoliv z běžných přírodních vláken*“. Do prodeje šly první punčochy v květnu roku 1940. Později, kvůli 2. světové válce, byla výroba nylonových vláken použita především pro vojenské účely na výrobu padáků. (32)

Úspěch nylonového vlákna zvýšil zájem o syntetická vlákna a pomohl tak vývoji celé řadě dalších vláknenných materiálů, jako je polyester, polyakrylonitril a polyolefinovým vláknům. V současné době rozlišujeme celou řadu PA, které se liší použitím monomerů a samotnou technologií výroby.

3.2.2 Výroba

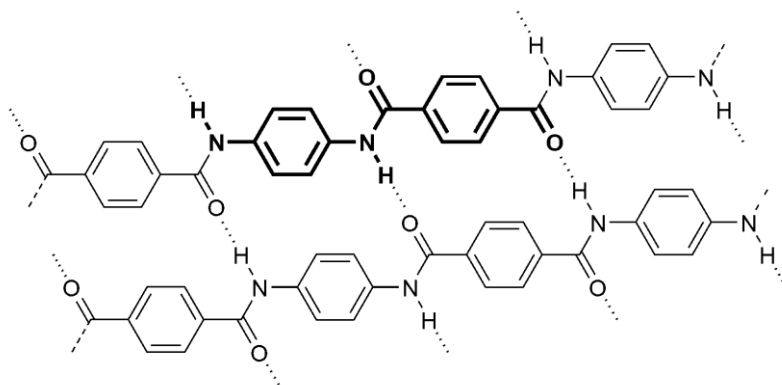
Výroba PA může probíhat čtyřmi postupy:

- Polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminů
- Polykondenzací ω -aminokarboxylových kyselin
- Polymerací cyklických laktamů
- Polykondenzací dichloridů aromatických dikarboxylových kyselin s aromatickými diaminy

Polyamid 6 (PA6) a polyamid 66 (PA66), které jsou známé i jako Nylon-6 a Nylon-6,6, lze vyrábět dvěma procesy, a to kontinuální či diskontinuální polymerací. Pro PA 66 je surovinou vodný roztok organické soli, který je získán reakcí 1,6-hexamethylendiaminu s 1,6-hexandikarboxylovou kyselinou (kyselinou adipovou). (33)

3.2.3 Vlastnosti

Vlastnosti PA závisí na výchozím monomeru. V případě PA 6 je polyamid vyroben z 6-aminokapronové kyseliny nebo z 6-kaprolaktanu. PA 66 je vyroben z hexamethylendiaminu a kyseliny adipové. Kevlar je vyroben z parafenylendiaminu a tereftaloyl chloridu. (34)



Obrázek 15 Strukturní vzorec Kevlaru

PA jež mají ve své struktuře organickou skupinu, jako je například Kevlar (Obrázek 15) dosahují oproti lineárním PA lepších mechanických vlastností. Jak je zřejmé z Tabulky 8, Nylon-6 i Nylon-6,6 mají mnohonásobně nižší pevnost v tahu v porovnání s Kevlarem a Nomexem. Aromatické PA jsou i výrazně odolnější teple, jejich teplota tání je až dvojnásobná.

Tabulka 8 Vybrané vlastnosti polyamidů (32; 35)

	Nylon-6	Nylon-6,6	Kevlar	Nomex
Hustota (g/cm ³)	1,14	1,14	1,44	1,38
T _m (°C)	210-220	255-265	>540	>430
Pevnost v tahu (MPa)	72,5	78,4	2 793	686

PA6 vykazuje dobré mechanické vlastnosti jako je tuhost, pevnost, schopnost tlumení a odolnost opotřebení. Dále má dobré elektroizolační vlastnosti a je odolný proti působení chemikáliím. PA 66 má oproti PA 6 vyšší mechanickou tuhost, pevnost i odolnost vůči teplotě. (36)

3.2.4 Použití

Stejně jako se mění vlastnosti PA s jejich monomery, tak i použití se odvíjí od použitého typu PA. Obecně se PA díky svým skvělým mechanickým vlastnostem používají jako konstrukční materiál a je možné je zvláknovat. Nylonová vlákna nacházejí využití především v textilní odvětví. Používají se pro výrobu punčochového zboží, spodního prádla, lyžařského a cyklistického oblečení a plavek. Dále i na bytové doplňky, na koberce a čalounění. Díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem jsou PA používány jako kordy v pneumatikách, a to hlavně u nákladních vozidel a letadel. PA vlákna jsou hojně využívána pro bezpečnostní pásy, padáky, lana a rybářské vlasce, ale i jako speciální nitě a dentální nitě. (32)

Speciální vlákna, jako je právě Kevlar a Nomex mají díky svým výjimečným vlastnostem, vysoké pevnosti, houževnatosti a odolnosti oděru velké využití ve vojenském průmyslu. V neposlední řadě se NT z PA díky své odolnosti oděru používají jako šetrné abrazivum, viz Obrázek 16. (37)



Obrázek 16 Brusné a lešticí kotouče vyrobené z PA NT (37)

4 MODIFIKACE VLÁKENNÉ VRSTVY PRO FILTRACI

V současnosti významně pokročily technologie pro výrobu tkanin a speciálních textilií s pokročilými úpravami a vstoupily na běžný trh. Pro získání dalších jedinečných vlastností, kterých nelze dosáhnout samotnou výrobou a zvoleným materiálem, případně pro úpravu stávajících produktů, se NT podrobují různým modifikacím.

4.1 Filtry z netkaných textilií

NT se jako filtry používají pro filtraci systémů pevná látka–plyn, pevná látka–kapalina a kapalina–plyn. (38) V porovnání s ostatními filtračními médii (tkané, papírové či membránové filtry) vykazují filtry připravené z NT jedinečné technické vlastnosti. NT mají lepší propustnost, větší specifický povrch, a především lepší kontrolu velikosti pórů při jejich výrobě. Dalšími jejich nespornými výhodami jsou vyšší účinnost filtrace, nižší spotřeba energie a snadnější odstranění filtračního koláče. (39)

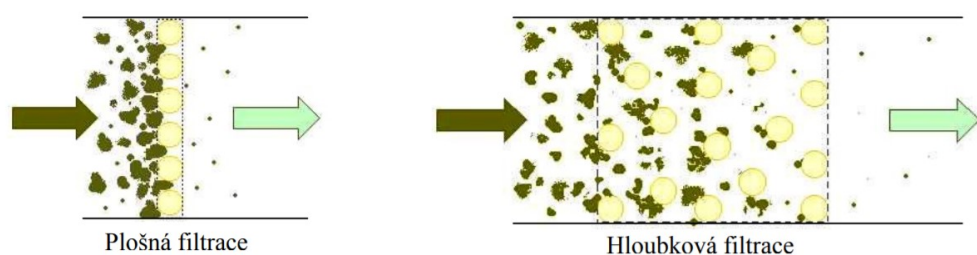
Kvůli nežádoucímu uvolňování vláken do vody je důležité použít NT vyrobenou z nekonečného vlákna. Tedy použít technologii výroby jako je melt blown, spunbond či elektrostatické zvlákňování. Tyto filtry velmi často slouží jako tzv. předfiltry, kdy mají za úkol odstranit větší část znečištění a snížit tak rychlost zanešení následných membránových filtrů. (9)

Filtrační účinnost membrány závisí mimo jiné i na velikosti pórů. Velikost pórů ovlivňuje i změnu filtračního tlaku v průběhu filtrace, malé póry generují vyšší tlak. Tyto dva parametry jsou navzájem provázány. Při zvyšování tlaku dochází kvůli snaze snížit energii kapaliny nutnou k průchodu skrze filtr k narušení velikosti a zvětšení pórů. Se zvětšením velikosti pórů se sníží tlak kapaliny. Změna tlaku může být tedy řízena velikostí pórů netkaného filtru. Filtrační účinnost dále závisí na plošné hmotnosti. S jejím zvýšením roste i účinnost. (40; 38)

Pro zajištění bezpečné a čisté vody se během filtrace odstraňuje či snižuje koncentrace obsahu částic, suspenze, případně bakterií, řas, virů, hub, nežádoucího biologického nebo chemického znečištění kontaminované vody. Například systémy pro filtraci pitné vody zahrnují až pět stupňů: sedimentaci, mechanické, chemické čištění a snížení minerálů a bakterií. (9)

Podle mechanismu zachycení částic, který je zobrazen na Obrázku 17, se filtrace dělí na:

- Plošné neboli koláčové filtrace: oddělení kapaliny a pevných částic, jde o přímé zachycení částic větších, než je velikost otvoru či pórů filtru; filtrační mechanismus je na základě síťového jevu. (41)
- Hloubkové filtrace: dlouhá dráha částice skrze filtr je využita k jejímu zadržení. Větší částice se zachytí na povrchu, menší v objemu filtru. Mechanismus filtrace je na základě přímého záchytu, setrvačného usazení, difúzního záchytu a elektrostatického záchytu. (41)



Obrázek 17 Schematický pohled na plošnou a hloubkovou filtraci. (42)

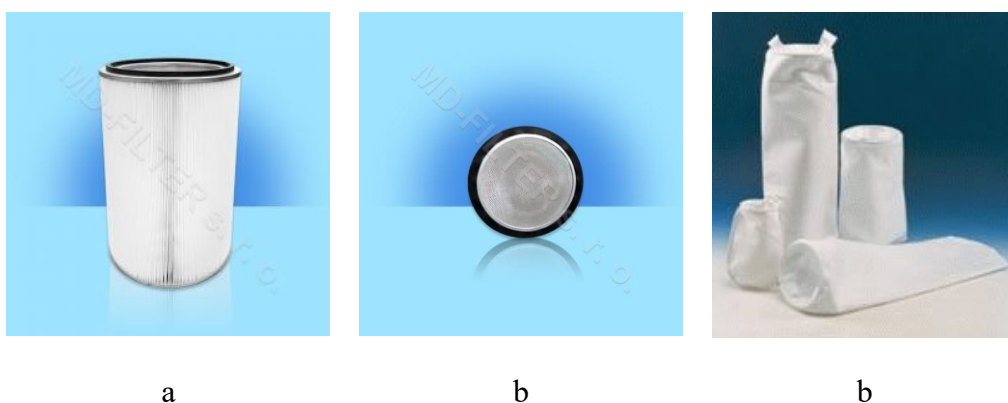
Pro povrchovou filtraci průmyslových kapalin se používají buď filtrační mřížky, obvodový typ filtru nebo skládaný diskový typ filtru. Filtrační mřížka je mřížka z tkaných vláken (kovových, syntetických či textilních). Obvodový typ filtrů představuje filtrační element složený z podložek z papíru, polymerní či kovové plsti, které jsou navzájem zalisované. Tyto filtry jsou schopny absorbovat velké množství nečistot a jejich účinnost je definována velikostí mezery mezi podložkami. Skládaný diskový typ filtru je složen z propustných disků uložených v perforované trubice. (43)

Pro hloubkovou filtraci jsou nejvhodnější vláknité a pórovité materiály a materiály tvořící koláčový efekt. Vláknenné filtry jsou složeny z vláknenných vrstev o tloušťce 0,25–2 mm. Nejčastěji jsou z celulózy, mikroskleněných vláken a PP. Pro filtry z porézních materiálů se nejčastěji využívají keramiky, kámen, kovy, ale i lisované plasty či polyuretanová pěna. Filtry tvořící koláčový efekt velmi závisí na zvoleném druhu materiálu. Mohou být z kovu, dřevěného nebo keramického prachu a písku. (43)



Obrázek 18 Kapalinový filtr sáčkový (44)

Z textilních filtrů jsou nejpoužívanější kapalinové filtrační vložky skládané, kapalinové filtry plošné, kapalinové filtry sáčkové (Obrázek 18) a kapalinové filtry rukávcové. Válcové filtrační (Obrázek 19a) vložky jsou vyrobené ze skládaného filtru, který může být z impregnovaných filtračních papírů, ze skleněných vláken, polyesterových, polypropylenových nebo kovových tkanin. Plošné kapalinové filtry (Obrázek 19b) jsou nejlevnější, nejjednodušší a nejrozšířenější alternativou. Jedná se o textilie o rozdílných plošných hmotnostech. U sáčkových filtrů proudí kapalina zevnitř filtru ven a nečistoty jsou zachytávány na jeho vnitřní straně. Sáčkové filtry vyrobené z NT zachytávají nečistoty v hloubkové filtrační struktuře a bývají jednorázové. Využívají se NT z polyesteru, polypropylenu, nylonu a teflonu. Posledním typem jsou rukávcové filtry (Obrázek 19c). Filtr má tvar rukávce a používají se především jako předfiltry. (44)



Obrázek 19 Filtrační vložka válcová skládaná (a), plošný kapalinový filtr (b), rukávcový filtr (c) (44)

Filtry z netkané textilie se využívají v celé řadě aplikací. V obytných a komerčních prostorech se používají pro filtraci vody a vzduchu při vytápění, větrání a u klimatizací. Kapalinová filtrace se dále využívá i ve zdravotnickém, farmaceutickém, potravinářském a chemickém průmyslu. Dalším odvětvím je automobilový průmysl, kde slouží k filtraci vzduchu, paliva, maziv a kapalin. Pak jako pneumatické a hydraulické silové filtry ve vozidlech, železničních lokomotivách a letadlech. V neposlední řadě se využívají při filtraci ropy a plynu, pro odstranění strhávaných kapiček a pro filtraci odpadních vod v průmyslových odvětvích. (9)

4.2 Modifikace vlastností

Nejčastěji se upravují povrchové vlastnosti, ať už z důvodu možné potiskovatelnosti, možnosti spojovat materiály mezi sebou, či pro získání dalších specifických vlastností. Řadí se sem získání antistatických, antibakteriálních vlastností a úprava smáčivosti, tedy povrchové energie.

4.2.1 Úprava smáčivosti

Pro změnu povrchových vlastností lze využít celé spektrum metod, patří sem plazma, UV záření, iontové záření a chemické povlakování. Tato ošetření povrchu mají za cíl vytvoření specifických funkčních skupin na povrchu pro interakci s jinými skupinami, změnu povrchové energie, hydrofobicity nebo hydrofility a změnu morfologie povrchu. (45)

Modifikace povrchu plazmovým zpracováním se široce používá pro textilie a polymerní materiály. Plazmové procesy jsou šetrné k životnímu prostředí a snižují spotřebu chemikálií a energie. Podle typu použitého plynu při plazmatické úpravě můžeme docílit rozličných vlastností. Mezi ně se řadí úprava smáčivosti povrchu nebo mechanických vlastností. Díky různým druhům srážek vzniká v plazmatu rozličné spektrum aktivních částic jako jsou ionty, excitované atomy a radikály. Efekt jednotlivých plynů je uveden a dle teploty rozlišujeme vysokoteplotní a nízkoteplotní plazmu. Nízkoteplotní se dále dělí na horkou plazmu s teplotou řádově 10^4 K a studenou plazmu s teplotou řádově 10^2 K. Zdrojem plazmatu může být stejnosměrný proud, či vysokofrekvenční elektromagnetické pole. (46)

Tabulka 9 Efekt vybraných plazmových plynů na textilní povrch (47)

Plazmový plyn	Efekt
Argon	Zvýšená drsnost povrchu
Kyslík	Skupiny s kyslíkem na povrchu Nárůst hydrofility
Fluorouhlík	Film fluoropolymeru na povrchu Nárůst hydrofobicity
Dusík	Skupiny s dusíkem na povrchu

Pro modifikace povrchů se nejběžněji používá kyslíkaté plazma. Jako plazmový plyn pro kyslíkaté plazma může být použit mimo kyslík či jeho sloučeniny (CO, CO₂, SO₂, H₂O), ale i vzduch. Kyslík v plazmatu reaguje s celou řadou polymerů za vzniku kyslíkatých funkčních skupin na povrchu a fyzikálního narušení povrchu. (48)

Díky výbojům generovaným v rychle se měnícím energetickém poli v plynném prostředí vzniká plazma. Vznikající reaktivní částice působí na povrch substrátu a mohou jej modifikovat, čistit či vytvářet povlaky, a to dle nastavených procesních parametrů a použitého plazmového plynu.

Výhodou modifikace povrchu pomocí plazmatu je možnost práce s tvarově složitými výrobky z nejrůznějších materiálů a zachování objemových vlastností výrobku, neboť k úpravě dochází pouze na povrchu. Velkou nevýhodou je především nestálost modifikovaného povrchu, účinnost samotného procesu a často i nerovnoměrné pokrytí během aplikace. (49)

4.2.2 Úprava antibakteriálních vlastností

Tlak na vývoj nových antibakteriálních materiálů, je z důvodu rostoucího počtu rezistentních bakterií stále větší a větší (50). Příkladem jsou obvazové materiály, které mohou být ohniskem řady infekcí. Díky dobré prodyšnosti, tepelné stabilitě a biostabilitě se NT připravené z PP používají jako obvazy na rány. Bohužel právě PP je díky své přirozené hydrofobnosti ideální pro adsorpci krevních složek a tím jsou úrodnou půdou pro bakterie, jejich množení a tvorbu biofilmu. (51) Biofilm může vznikat téměř na jakémkoliv smáčeném povrchu. Nežádoucí tvorba biofilmu je označována jako biofouling. V případě vzniku v pórovitém materiálu se buňky začnou množit, až nakonec může dojít k blokadě samotné membrány. (52) V případě membrán použitých jako filtrační médium je tak snížen tok vody a propustnost a zvýšen transmembránový tlak. Tyto jevy snižují účinnost membránových procesů a růst biofilmu může vést i k zdravotní závadnosti filtrovaného média. (53)

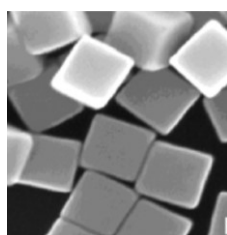
Biofilm je složitá struktura s kanálky tvořená bakteriemi, která je pevně přichycena k povrchu či k sobě navzájem. Slouží k bakteriální adhezenci, komunikaci a ochraně. Biofilm vzniká po přichycení bakterie k vhodnému povrchu, následně se začne množit za vzniku mikrokolonie. V průběhu množení dochází k uvolňování ochranné extracelulární matrice. Jakmile dojde ke zrání biofilmu, může dosahovat takových rozměrů, že je viditelný i pouhým okem. Ve stádiu disperze, kdy už biofilm nemá kam růst a dochází mu zdroje potravy, dojde k migraci buněk, které mohou založit novou kolonii. Nastává šíření infekce, kterou bakteriální společenství indukují. Koloběh vzniku a života biofilmu je zobrazen na Obrázku 20. (54; 55)



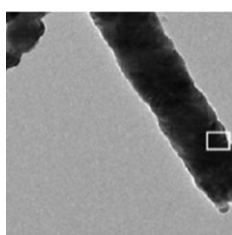
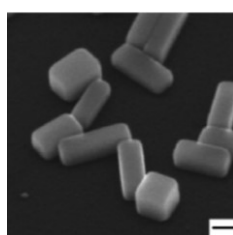
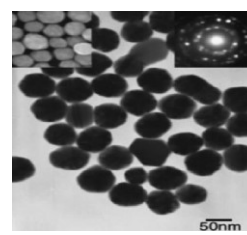
Obrázek 20 Koloběh života biofilmu (54)

V případě antibakteriální úpravy povrchu se uplatňuje tzv. pasivní nebo aktivní přístup. První přístup zabráňuje bakteriím přilnout na povrch zavedením antiadhezivních povlaků, nedochází však k zahubení bakteriální buňky. Druhý přístup využívá baktericidní látky k aktivnímu hubení bakterií. Pasivní přístup zahrnuje látky jako je polyethylenglykol, polyethylenoxid, tzv. zwitteriony, neboli amfoterní ionty, glykopolymer a polyoxazolin. Do aktivního přístupu patří antibiotika, ionty stříbra, antimikrobiální enzymy nebo peptidy a kationtové polymery. (51) Nevýhodou aktivních látek je, že mrtvé bakterie mohou sloužit jako zdroj potravy pro bakterie živé a tím dojde k jejich dalšímu množení. Proto se s velkou výhodou kombinace pasivní přístup s aktivním. Jednou z dostupných a účinných metod je kombinace polymerního materiálu, který má antimikrobiální a výborné filtrační vlastnosti, s aplikovanou aktivní ochranou ve formě nanočástic kovů. (56) Obrovskou výhodou využívání nanočástic kovů je nejen jejich účinnost vůči bakteriím, které vykazují rezistenci proti klasickým antibiotikům, ale dokáží i zabránit vývoji nových rezistentnějších kmenů. (57)

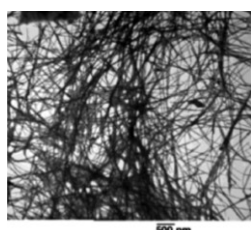
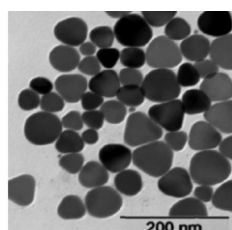
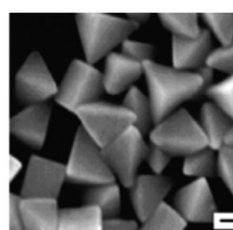
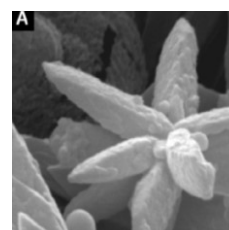
Mechanismus účinku nanočástic kovů stojí na kladně nabitě kovové částici, která vytváří silnou vazbu s membránou bakterie. To vede k narušení buněčné stěny a ke zvýšení její propustnosti. Dále jsou nanočástice schopny prostoupit do extracelulární matrice a narušit biologické procesy. (50) Mezi kovy vykazující antibakteriální aktivitu patří stříbro, měď, zlato a zinek. Ty mohou být ve formě kovových komplexů, kovových modifikovaných makromolekul, nanočástic kovů či jejich oxidů. Obecně jsou nejvíce využívány částice stříbra, a to pro jejich nejvyšší antibakteriální aktivitu. (58)



Kubická nanočástice

Nanotyčinky
(nanorod)Nanokostky
(nanobar)

Sférické nanočástice

Nanodrátky
(nanowires)Nanohranoly
(nanoprism)Pyramidové
nanočásticeNanočástice tvaru
květu

Obrázek 21 Ukázka běžných tvarů nanočástic stříbra (59)

Kvůli obrovskému potenciálu nanočástic stříbra je jeho syntéze věnována velká pozornost. Díky tomu je dnes vyvinuto mnoho metod řízeného vývoje. Nanočástice různých tvarů (Obrázek 21) mají i různé vlastnosti, a tedy i využití. Mezi běžné tvary nanočástic stříbra patří kubické a sférické nanočástice, nanokostky, nanodrátky, nanotyče, pyramidové nanočástice, nanohranoly, nanočástice tvaru květu a nanočástice. Změnou termodynamiky a kinetiky v každé fázi syntézy (nukleace, očkování a růst) můžeme řídit tvar vzniklých nanočástic. Například velikost kubických nanočástic stříbra je ovlivněna typem redukčního činidla, nebo použitím fotochemické či biologické metody (využití extraktu z listů *Eucalyptus macrocarpa*). (59)

Velikost a množství vzniklých nanočástic stříbra lze řídit koncentrací prekursoru (nejčastěji je používán AgNO_3), pH redukčního činidla (např. roztok kyseliny askorbové, citronové či NaBH_4) a použitou metodou. (59) Například zvyšující se pH sníží velikost částic, ale zvýší jejich množství. (60)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Cílem této DP bylo vypracovat aktuální literární rešerši zaměřenou na NT vyrobené pomocí technologie MB s ohledem na zvolené aplikační možnosti, tedy antibakteriální kapalinové filtry. Praktická část měla za úkol charakterizovat MB NT, které se lišily zvolenými výrobními parametry. Charakterizace zahrnovala povrchové vlastnosti jako je smáčivost a tloušťka vláken, objemové vlastnosti jako je porozita a nasákavost a filtrační vlastnosti v podobě permeačního toku. Dalším cílem praktické části bylo provést syntézu nanočástic stříbra na NT a znovu ověřit filtrační vlastnosti. Posledním úkolem praktické části této DP bylo posoudit nejvhodnější kombinaci NT, modifikace a podvrstvení pro získání funkčního antibakteriálního kapalinového filtru.

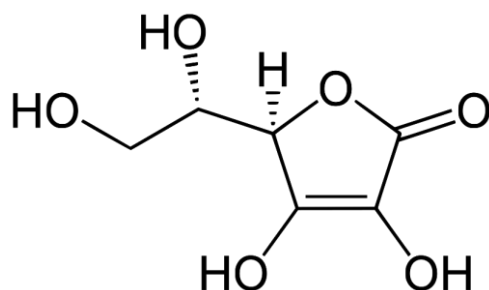
6 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, ZAŘÍZENÍ A POSTUPY

6.1 Chemikálie

Demineralizovaná voda: voda zbavená všech iontově rozpustných látek; použita jako permeát, měřicí kapalina pro měření kontaktního úhlu smáčení a jako rozpouštědlo

Dusičnan stříbrný (AgNO_3): slouží u syntézy stříbra jako zdroj stříbrných iontů

Kyselina askorbová: slouží u syntézy stříbra jako redukční činidlo, strukturní vzorec je zobrazen na Obrázku 22.



Obrázek 22 Strukturní vzorec kyseliny askorbové

Kyselina dusičná (HNO_3): slouží jako konzervant filtrátu před stanovením množství uvolněného stříbra

Polyamid: SB NT SYNTECH 200-420 od firmy SIEBENFABRIK; podkladová vrstva pod MB NT

Polypropylen: polymer pro výrobu MB NT

6.2 Zařízení

Linka pro zvláknování polymerní taveniny, model LBS-300 SEM

Analytické váhy Kern ABJ 220-4NM

Sušárna

Filtrační aparatura od firmy Kavalier

Mikrometr

Drop Shape Analyzer DSA30 značky Krüss

Plazmatický reaktor Diener Pico ($f = 40$ kHz)

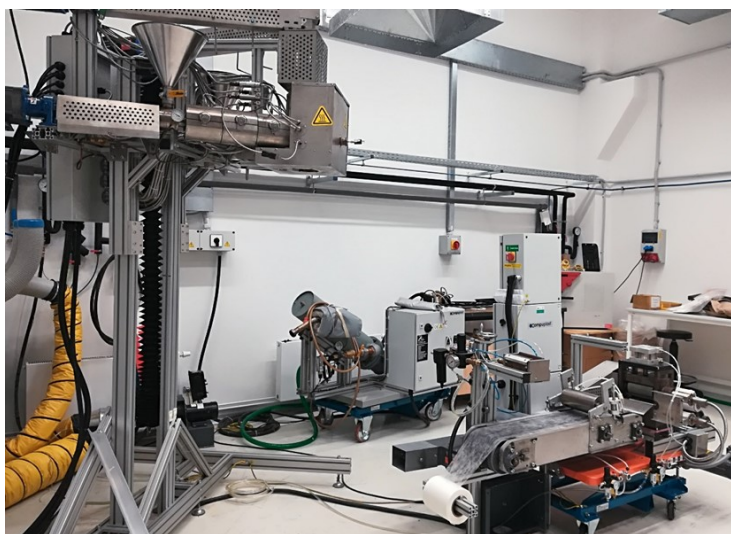
Skenovací elektronový mikroskop (SEM) Vega 3 od firmy Tescan

Běžné laboratorní sklo a pomůcky

6.3 Metody

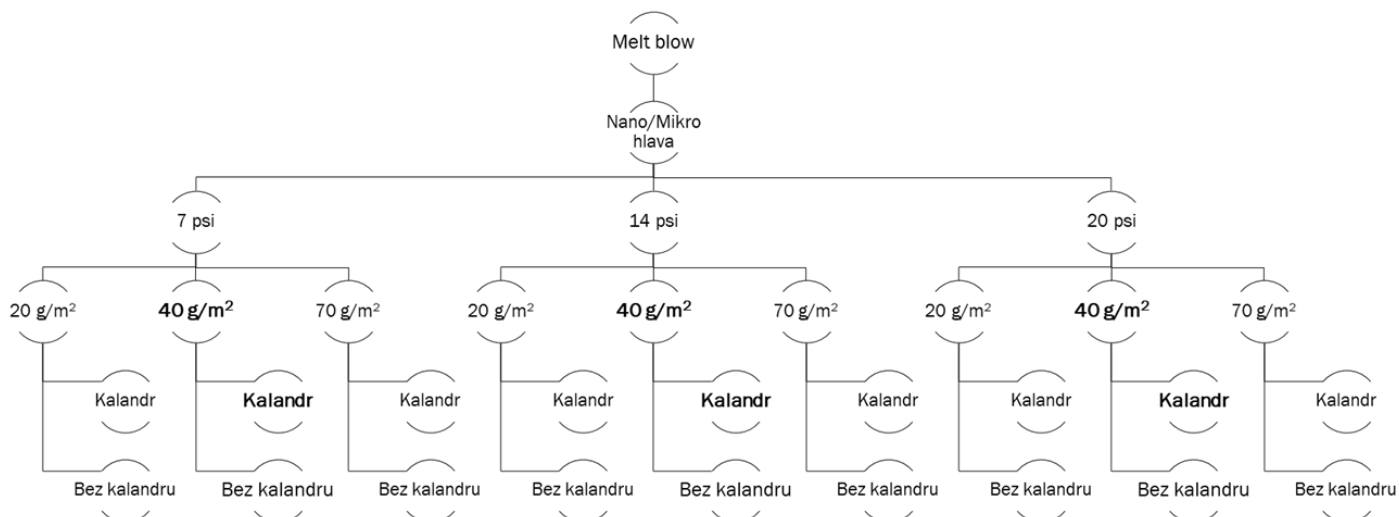
6.3.1 Výroba NT

Celkem bylo vytvořeno 36 vzorků NT, lišících se výrobními parametry: mikro a nano zvlákňovací hlava, výrobní tlak 7, 14 a 20 psi, plošná hmotnost 20, 40 a 70 g/m², využití kalandru. Mikro a nano hlava se od sebe liší velikostí kapilár ve zvlákňovací hlavě. Mikro hlava má kapiláry s mikronovým průměrem a nano hlava obsahuje kapiláry v submikronových rozměrech.



Obrázek 23 Výrobní linka pro MB zvlákňování NT

Laboratorní linka pro kontinuální výrobu netkaných textilií (Obrázek 23) sestává z dvou jednošnekových vytlačovacích strojů, zubových čerpadel a indikátorů tlaku. Vytlačovací stroje mají vodou chlazené pouzdro pod násypkou, šnek D=19 mm, L/D 30 je s míchací zónou. Vytlačovací hlava pro MB technologii má 25 otvorů na 1 palec a má šířku 100 mm. (61) Schéma rozdělení připravených vzorků je zobrazeno na Obrázku 24.



Obrázek 24 Schéma rozdělení vzorků NT připravených technologií MB

6.3.2 Příprava vzorků pro filtrační měření

Z nekonečného pásu připravené NT byla vyražena testovací tělíska kruhového tvaru o průměru 2,5 cm. Odběr probíhal ve středu šíře pásu z důvodu uniformity plošné hmotnosti v daném místě. Po okrajích NT vznikají při výrobě plochy o rozdílné plošné hmotnosti, případně i s úplnou absencí vláken. Tato nehomogenita by při dalším měření zkrusila výsledky, případně by došlo k jejímu protržení a znehodnocení.

6.3.3 Charakterizace vlákněných vrstev

6.3.3.1 Skenovací elektronová mikroskopie

Připravené NT byly podrobeny skenovací elektronové mikroskopii (SEM). Jedná se o nedestruktivní metodu, která se vyznačuje svou vysokou přesností a velkým zvětšením. Elektronový mikroskop se skládá z vakuového systému, elektronové trysky, systému elektromagnetických čoček a komory na preparát. Zdrojem elektronů je elektronové dělo nebo elektronová tryska. Pro zobrazení topografie povrchu jsou nejdůležitější sekundární elektrony. (62)

Kvůli lepší vodivosti vzorku, byla vlákna pokovena vrstvou zlata. Měření probíhalo na elektronovém mikroskopu Tescan Vega 3 s detektorem pro zachycení sekundárních elektronů za daných měřicích podmínek.

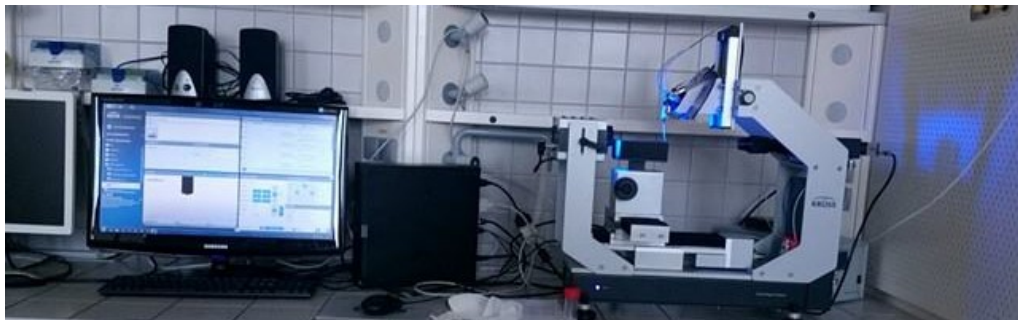
Měřicí podmínky:

- Urychlovací napětí 10 kV
- Pracovní vzdálenost 8 mm
- Různé použité zvětšení, až 5000x

Dále byly ze SEM snímků pomocí obrazové analýzy získány hodnoty průměru vláken. Měření bylo provedeno na Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky.

6.3.3.2 Smáčivost

Měření vodního kontaktního úhlu smáčení probíhalo na automatickém systému DSA30 od značky Krüss metodou sedící kapky pomocí softwaru Krüss Advance. Jak je znázorněno na Obrázku 25, zařízení je složeno z kamery připojené k počítači, posuvného stolku a dávkovače měřící kapaliny. Jako měřící kapalina byla zvolena demineralizovaná voda.

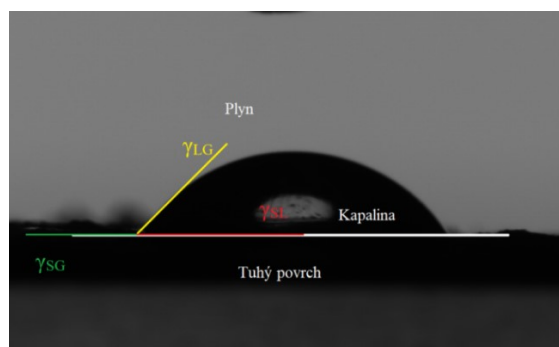


Obrázek 25 Systém pro automatické měření vodního kontaktního úhlu smáčení DSA30 značky Krüss

Smáčivost povrchu je popsána pomocí Youngovy rovnice, jež popisuje rovnováhu mezifázových volných energií (Obrázek 26).

$$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} = \gamma_{LG} \cos \theta$$

kde γ_{SG} je mezifázová volná energie mezi pevnou látkou a plynem, γ_{SL} mezifázová volná energie mezi pevnou látkou a kapalinou, γ_{LG} mezifázová volná energie mezi kapalinou a plynem a θ je úhel smáčení. (63)



Obrázek 26 Silová rovnováha na rozhraní tří sil

6.3.3.3 Porozita

Na porozitu mají vliv výrobní parametry. S rostoucím tlakem při zvlákňování klesá průměr vláken. Jemnější vlákna se uspořádávají těsněji k sobě, a proto mohou tvořit ve struktuře jemnější póry. Tím klesá i samotná porozita. (17; 64)

Porozita NT byla zjišťována gravimetrickou metodou, což je poměr objemu vody v prostředí membrány k celkovému objemu membrány. Nejprve byla u vzorku o průměru 2,5 cm změřena jeho tloušťka pomocí mikrometru. Následně byl vzorek zvážen suchý, poté namočen po dobu 15 s do demineralizované vody a opět mokřý zvážen. Porozita pak byla vypočtena dle rovnice:

$$\varepsilon = \frac{m_1 - m_2}{\rho_w \cdot A \cdot h}$$

Kde m_1 hmotnost vlhké membrány v g, m_2 hmotnost suché membrány v g, ρ_w hustota vody v g/cm³, A plocha membrány v m², h tloušťka membrány v m. (65)

6.3.3.4 Nasákavost

Jedná se o maximální množství vlhkosti, jež může být v materiálu obsaženo. Rozlišujeme nasákavost hmotnostní a objemovou, kdy hmotnostní nasákavost je dána poměrem hmotnosti nasáklé vlhkosti k hmotnosti suchého vzorku, kdežto u objemové nasákavosti se jedná o poměr objemu nasáklé vlhkosti k objemu suchého vzorku. Na rozdíl od objemové nasákavosti, která se může pohybovat v rozmezí 0–100 %, může hmotnostní nasákavost výrazně překročit hodnotu 100 %. (66)

Nasákavost plošných textilií popisuje norma ČSN 80 0831 Savost plošných textilií. Nasákavost NT se dle normy vypočte ze vztahu:

$$n_h = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100$$

Kde n_h je nasákavost materiálu v %, m_1 hmotnost vlhké membrány v g, m_2 hmotnost suché membrány v g. (66)

6.3.3.5 Permeační tok

Permeační tok vychází z propustnosti NT. Propustnost je ovlivněna průměrem vláken, a tedy tlakem vzduchu používaným během rozfukování taveniny. Jemnější vlákna tvoří menší póry, to způsobí i zvýšení odporu průchodu permeátu skrze NT. (67) Dále je zde předpoklad, že nižší průměr vláken způsobuje jejich větší zapletení, a tedy i menší propustnost. (68)

Pro měření permeačního toku byla použita jednoduchá filtrační aparatura od firmy Kavalier složená z kuželové baňky, nástavce s fritou, válcovité nálevky a klipsny. Aparatura byla připojena k čerpadlu o výkonu 1 bar.



Obrázek 27 Filtrační aparatura

Zvážený vzorek o průměru 2,5 cm byl vložen mezi nástavec s fritou a nálevku a za současného měření času byl zfiltrován permeát o daném objemu. Jako permeát byla použita demineralizovaná voda. V případě měření průběhu změny permeačního toku se zvyšujícím se objemem permeátu byl čas zaznamenáván vždy po zfiltrování 100 ml, až do 500 ml celkového objemu filtrátu. Pro hodnocení vlivu výrobních parametrů na permeační tok bylo použito 100 ml permeátu.

Permeační tok pro průtok čisté vody je definován dle rovnice:

$$flux = \frac{Q}{A \cdot T}$$

Kde: Q je objem permeátu čisté vody v l, A je efektivní plocha filtru v m^2 , T je čas průtoku v h. (65)

6.3.3.6 Plošná hmotnost

Jedná se o hmotnost známé plochy plošné textilie v gramech vztažené k této ploše ve čtverečných metrech. Plošná hmotnost patří mezi jeden z výrobních parametrů, který je zadáván při výrobě NT metodou Melt blown. Je regulována poměrem dávkování polymeru a odváděcí a navíjecí rychlosti. Typické plošné hmotnosti jsou v rozsahu 20-200 g/m², ale mohou dosahovat nižších i vyšších hodnot. Například polypropylenové netkané textilie dosahují plošné hmotnosti v rozsahu 5-1000 g/m². (16)

Plošnou hmotnost plošných textilií popisuje norma ČSN EN 12127 (800849) Textilie – Plošné textilie – Zjištění plošné hmotnosti pomocí malých vzorků. (10)

Plošná hmotnost NT se dle normy vypočte ze vztahu:

$$\rho_s = \frac{m_2}{A}$$

Kde: A plocha filtru v m², m_2 hmotnost suchého filtru v g.

6.3.4 Modifikace vláknenných vrstev

6.3.4.1 Plazmatická úprava

Plazmatická úprava probíhala v plazmatickém reaktoru Diener Pico za daných procesních podmínek, které jsou shrnuty v Tabulce 10. Jako plazmovací plyn byl použit vzduch.

Tabulka 10 Procesní podmínky pro plazmování vzorků připravených z NT

Plazmovací plyn	Vzduch
Průtok plynu	10 sccm
Výkon	100 %
Tlak	0,3–0,6 mbar
Plazmovací čas	0,5, 1, 3, 5 a 8 min

Doba plazmování byla závislá na průměru vláken daného vzorku. Se zvyšujícím se průměrem byl použit kratší čas. Přesné časy jsou uvedeny v sekci výsledků.

6.3.4.2 Syntéza stříbra

Syntéza nanočástic stříbra byla provedena pomocí dusičnanu stříbrného, který sloužil jako zdroj stříbrných iontů a redukčního činidla ve formě kyseliny askorbové. Syntéza byla provedena na souboru vybraných vzorků a poté i na stejném souboru, jež byl podroben modifikaci pomocí plazmatu.

Samotná syntéza probíhala ve dvou krocích:

1. Ponoření MB NT do vodného roztoku dusičnanu stříbrného (5 min)
 - 7 g AgNO_3 + 750 ml destilované vody
2. Redukce Ag částic (5 min)
 - Ve vodném roztoku kyseliny askorbové (0,5 g + 500 ml destilované vody)
 - Syntéza Ag částic byla vylepšena zvýšením pH vodného roztoku kyseliny askorbové. Vodný roztok kyseliny askorbové má pH kolem 3, přidáním 4 ml 1M NaOH do roztoku bylo pH zvýšeno na 10. (59; 60)

Vybrané vzorky NT byly zavěšeny na drátek a nejprve na 5 min ponořeny do roztoku AgNO_3 . Poté byly na dalších 5 minut ponořeny do roztoku redukčního činidla, redukce se projevila změnou barvy roztoku z průhledné na hnědo-šedou (Obrázek 28). V tuto chvíli bylo nutné se vzorky v kapalině pohybovat, aby se redukční činidlo dostalo do všech záhybů a vzniklé nanočástice stříbra byly rovnoměrně po celé ploše vzorku. Po vytažení byly vzorky promyty v destilované vodě (3x) a nakonec se nechaly volně proschnout v digestoři.



Obrázek 28 Syntéza částic stříbra na povrch nanovlákněné textilie

6.3.4.3 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP) je analytická metoda sloužící ke stanovení stopového množství daného prvku v analyzovaném vzorku. Tato metoda kombinuje indukčně vázané plazma jakožto zdroj nabitých částic, které následně deteguje hmotnostní spektrometrie. (69) Měření bylo provedeno na Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky v Praze.

Po filtraci vlákných vzorků s nanočásticemi stříbra byl filtrát zakonzervován přídatkem 1 ml 5 % roztoku HNO_3 na 100 ml filtrátu.

Metoda ICP spočívá ve zmlžení analytu, který prochází hořákem, v němž je udržováno argonové plazma o teplotě až 10000 K. Analyt je zbaven rozpouštědla a postupně dochází k zániku chemických vazem. Poté jednotlivé atomy vytvoří kladně nabitě ionty Me^+ . Ionty se v kvadrupólovém detektoru rozdělí a na povrch zesilovače dopadnou jen ty o zvolené hmotnosti. Na zesilovači pak vzniká slabý elektrický proud, jež je zesílen a je změřena jeho intenzita. Intenzivní signál je pomocí výpočetního programu převeden na data a údaj o koncentraci měřeného prvku. (70)

Pro analýzu je třeba připravit řadu standardních roztoků a slepý vzorek. Jejich jednotlivé koncentrace jsou uvedeny v Tabulce 11.

Tabulka 11 Tabulka kalibračních roztoků pro stanovení obsahu stříbra metodou ICP-MS

Standardní roztok	c (mg/l)
S0 Blank	0
S1	0,001
S2	0,002
S3	0,005
S4	0,01
S5	0,05
S6	0,1

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

Pro charakterizaci povrchových a filtračních vlastností připravených NT bylo proměřeno celkem 36 vzorků lišících se od sebe procesními parametry při zvlákňování.

Procesní parametry při zvlákňování:

- Geometrie zvlákňovací hlavy (mikro a nano)
- Pracovní tlak (7,14, 20 psi)
- Plošná hmotnost (20, 40, 70 g/m²)
- Kalandrování (s a bez kalandru)

Povrchové a filtrační vlastnosti výsledné NT:

- Průměr vláken
- Smáčivost
- Porozita
- Nasákavost
- Permeační tok

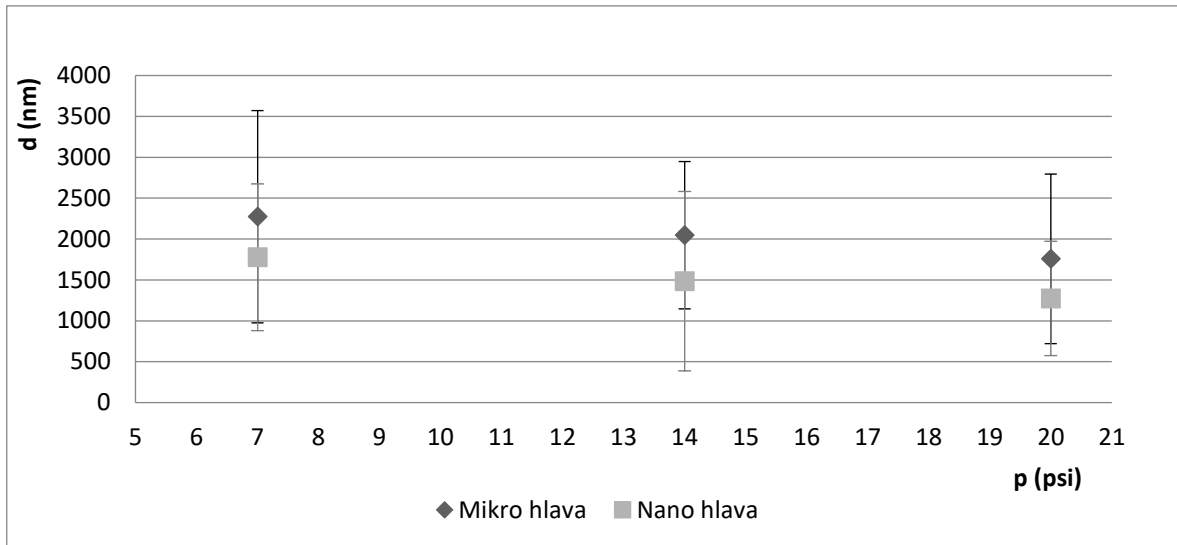
Z tohoto celku bylo pro další měření a modifikaci vybráno 6 vzorků o průměrné plošné hmotnosti, tedy o plošné hmotnosti 40 g/m² a s využitím kalandru. Tyto vzorky byly modifikovány plazmou a byly na ně syntetizovány nanočástice stříbra.

Veškeré výsledky měření jsou shrnuty v Příloze I, II a III.

7.1 Vliv výrobních parametrů na povrchové a filtrační vlastnosti vláknenných vrstev

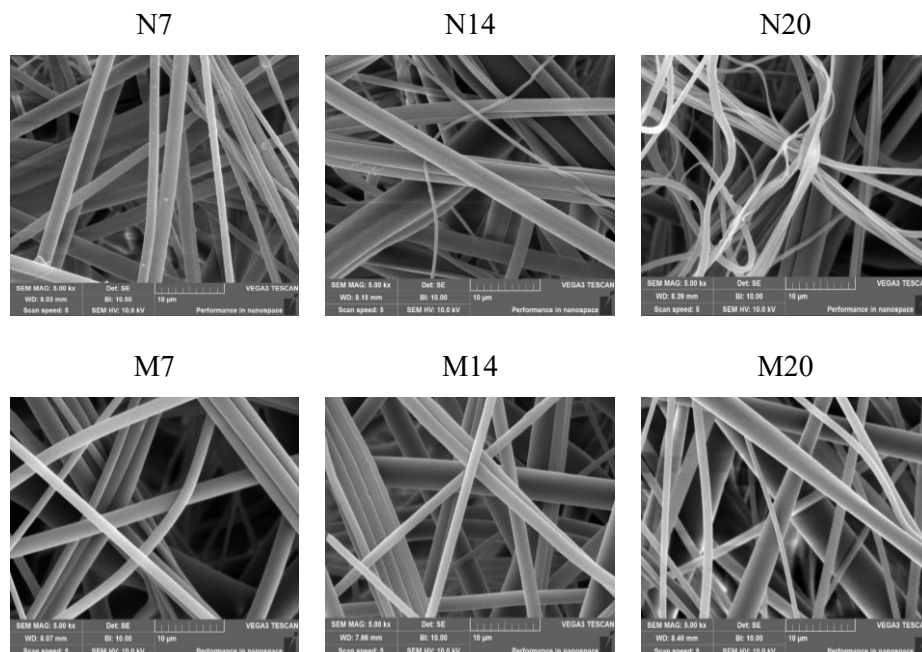
7.1.1 Průměr vláken

Průměr vláken je nejvíce ovlivněn rozměry zvlákňovací hlavy a použitým tlakem vzduchu. Teoretický předpoklad je pokles průměru vláken s nárůstem použitého tlaku při zvlákňování. (67) Při použití mikro hlavy, jejíž kapiláry mají průměr v řádech mikronů je dosaženo vyššího průměru vláken. Pohybují se v rozsahu od 1759–2274 nm. U nano hlavy, jejíž kapiláry jsou v submikronech bylo dosaženo nižších hodnot. Zde se průměry vláken pohybují v rozsahu 1275–1777 nm.



Graf 1 Změna průměru vláken se změnou výrobního tlaku pro mikro a nano hlavu při tlacích 7, 14 a 20 psi

Z výsledků uvedených v Grafu 1 je zřejmé, že s nárůstem tlaku při zvlákňování dochází k poklesu průměru vláken, a to v obou případech použitých hlav. S nárůstem tlaku dojde k nárůstu pracovní rychlosti a pravděpodobně i ke snížení viskozity polymerní taveniny. Naměřené výsledky jsou tedy shodné s teorií a úpravou parametrů při výrobě lze řídit tloušťku vláken.

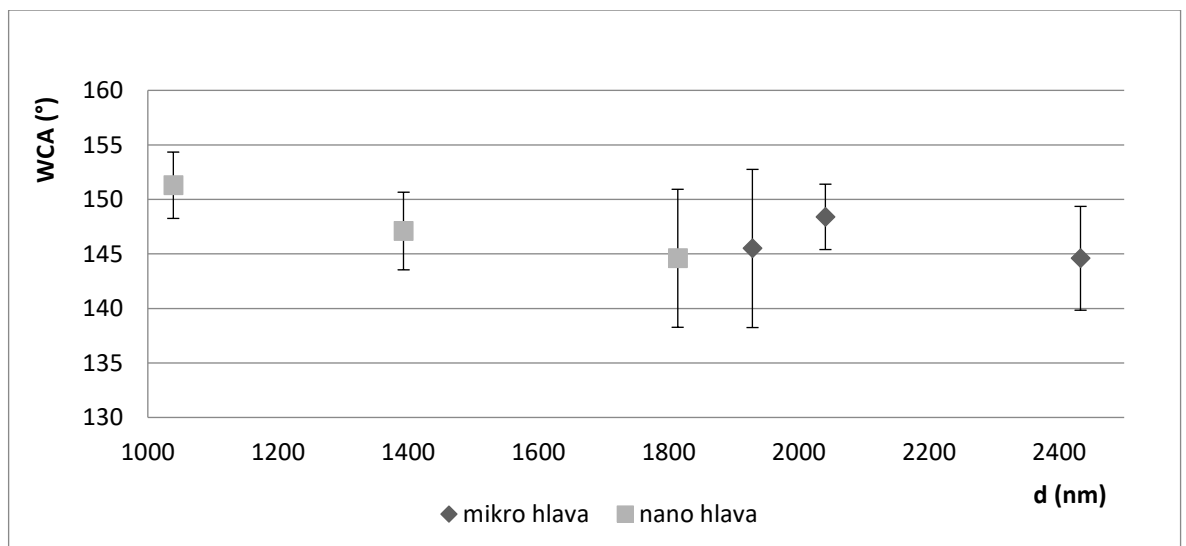


Obrázek 29 SEM snímky NT o plošné hmotnosti 40 g/m², s kalandrem, připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi (měřítko 10 µm)

Samotné SEM snímky (Obrázek 29), z nichž byly pomocí obrazové analýzy vypočítány průměry vláken, ukazují jasnou rozdílnost v tloušťce vláken připravených při rozdílných tlacích. Rovněž je patrná i široká distribuce průměrů vláken, která se odráží i na velké směrodatné odchylce.

7.1.2 Smáčivost

Smáčivost NT je spjata s použitým materiálem a morfologií. Závisí na tvaru a průměru samotných vláken. PP sám o sobě je vysoce hydrofobní, stejně tak jako z něj připravené vlákenné vrstvy. Velmi jemná vlákna zabraňují kapce kapaliny dosednout a smáčet povrch. S klesajícím průměrem vlákna klesá i smáčivost, respektive roste vodní kontaktní úhel smáčení. (71)

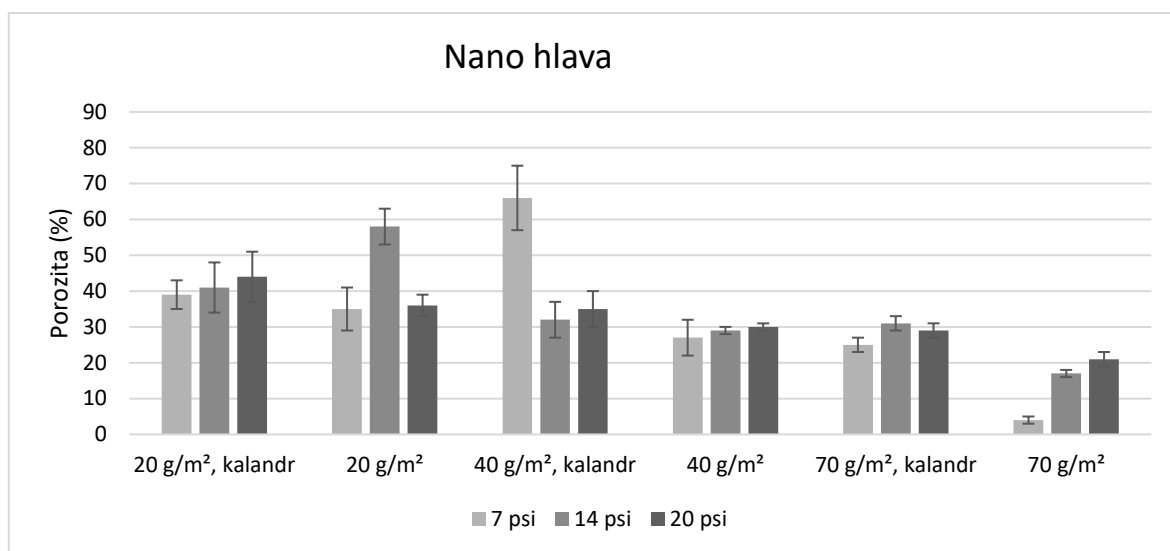


Graf 2 Závislost průměrných hodnot vodního kontaktního úhlu smáčení na průměru vláken

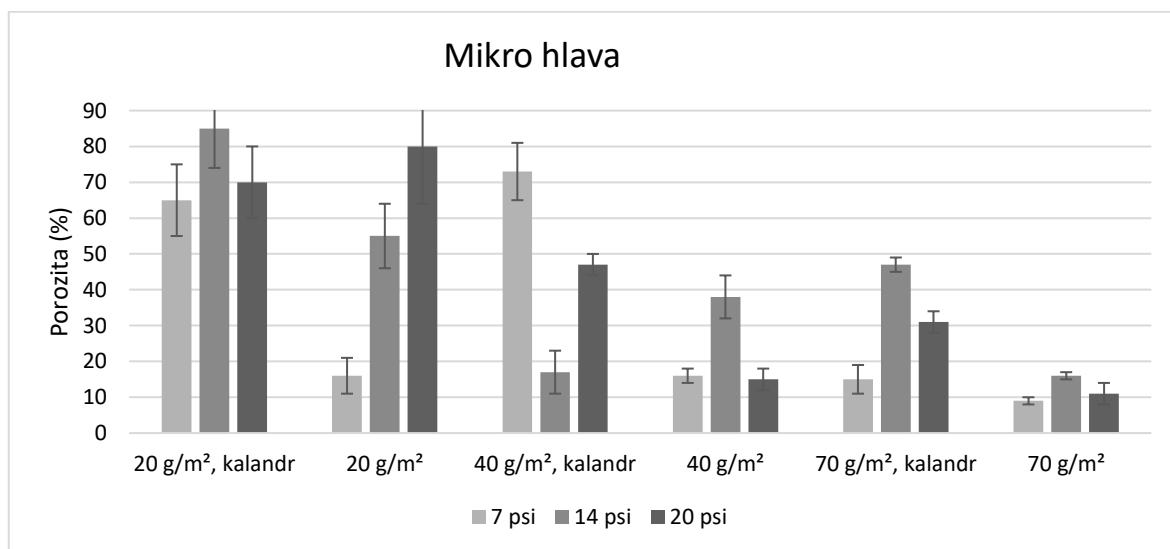
Jelikož smáčivost vláken je povrchová charakteristika, plošná hmotnost na ni nemá vliv. Jednotlivá měření NT s různou plošnou hmotností a stejným procesním tlakem byla zprůměrována a průměrná hodnota byla zanesena do Grafu 2. V souladu s literaturou došlo se zvýšením průměru vlákna k poklesu vodního kontaktního úhlu (WCA). Veškeré vlákenné vrstvy vykazují hydrofobní chování (WCA vyšší než 90°). WCA se pohybuje v rozsahu 144–151°, lze tedy hovořit o téměř superhydrofobním povrchu.

7.1.3 Porozita

Jedním z důležitých faktorů, jenž ovlivňují porozitu je plošná hmotnost NT. S rostoucí plošnou hmotností klesá velikost pórů a porozita. (72) Dále literatura uvádí, že na velikost pórů a potažmo i porozitu má vliv průměr samotných vláken. S rostoucím průměrem vláken roste velikost pórů a porozita. (17; 64)



Graf 3 Vliv výrobních parametrů na porozitu NT připravené na nano hlavě



Graf 4 Vliv výrobních parametrů na porozitu NT připravené na mikro hlavě

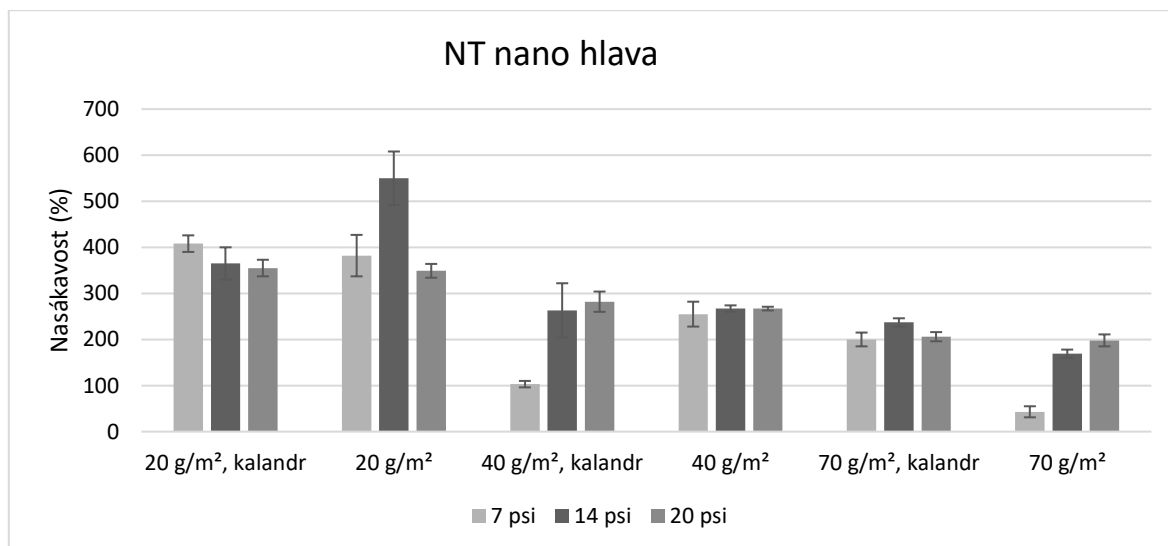
Porozita je nejvíce ovlivněna plošnou hmotností. Z Grafu 3, jež popisuje vliv výrobních parametrů na porozitu vláken připravených na nano hlavě je zřejmé, že se zvyšující se plošnou hmotností dochází k poklesu porozity. Stejně tak je tomu i u vláken připravených na mikro hlavě (Graf 4). Dochází zde s nárůstem plošné hmotnosti k poklesu porozity. Tento

fakt potvrzuje i literatura. U všech testovaných NT bylo nejnižší porozity dosaženo u NT s nejvyšší plošnou hmotností, tedy 70 g/m^2 , bez použití kalandru. Tyto NT připravené na nano hlavě dosahují hodnot porozity v rozmezí 4–21 %, u mikro hlavy 9–17 %. Naopak u NT s nejnižší plošnou hmotností, tedy 20 g/m^2 , bez použití kalandru, dosahují NT připravené na nano hlavě hodnot porozity v rozmezí 35–58 %, u mikro hlavy 16–80 %.

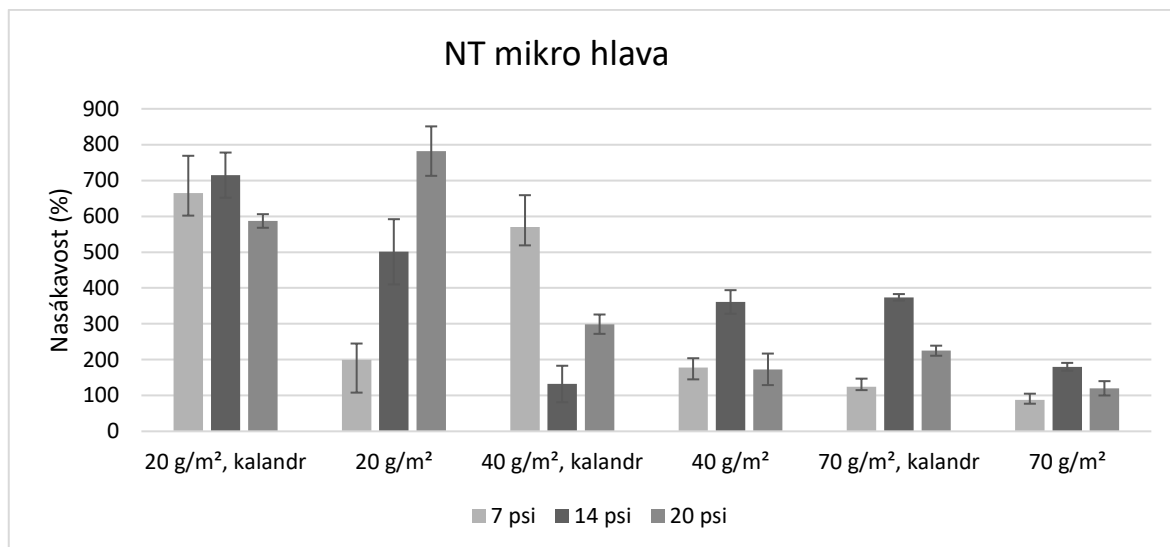
Při porovnání porozity nekalandrovaných a kalandrovaných vzorků dochází u kalandrovaných k nárůstu porozity. Tento fakt se ale vymyká vlivu kalandru, jež popisuje literatura, neboť přítlačná síla působící na NT by měla naopak porozitu snižovat, vlákna k sobě přitlačit a snížit velikost pórů (16). Toto lze jednoduše vysvětlit. Pro získání vypočtené hodnoty porozity je potřeba zjistit tloušťku vzorku, která je v případě kalandrovaných NT nižší. Dále pojme větší množství vody. Z toho důvodu je u NT vhodnější diskutovat o jejich nasákavosti.

7.1.4 Nasákavost

Nasákavost NT se podobně jako porozita odvíjí od plošné hmotnosti a částečně od průměru vláken. Ten se mění s použitým tlakem při zvlákňování a zvolenou zvlákňovací hlavou.



Graf 5 Vliv výrobních parametrů na nasákavost NT připravené na nano hlavě

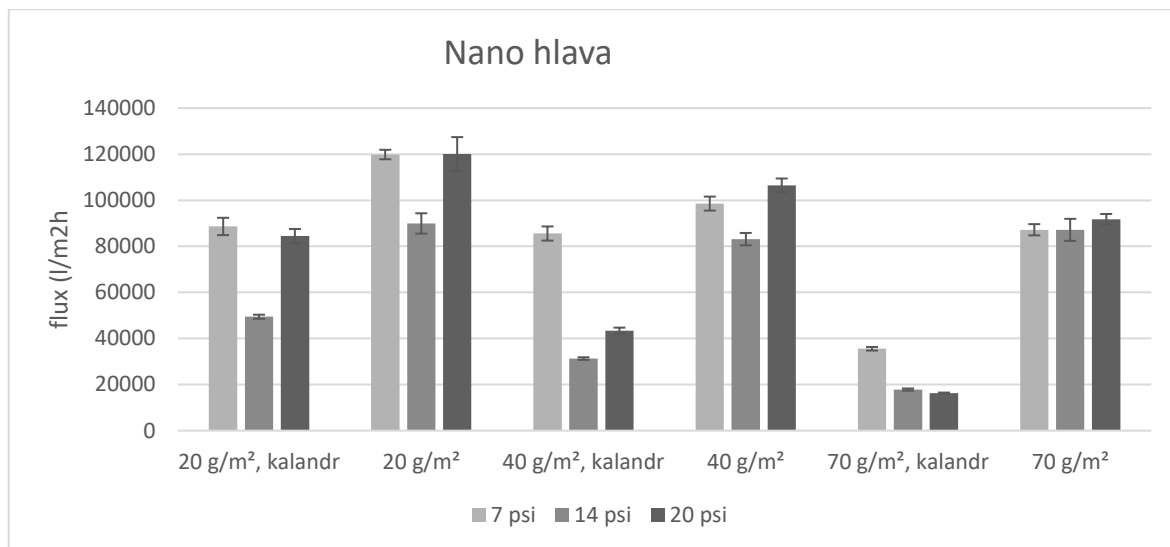


Graf 6 Vliv výrobních parametrů na nasákavost NT připravené na nano hlavě

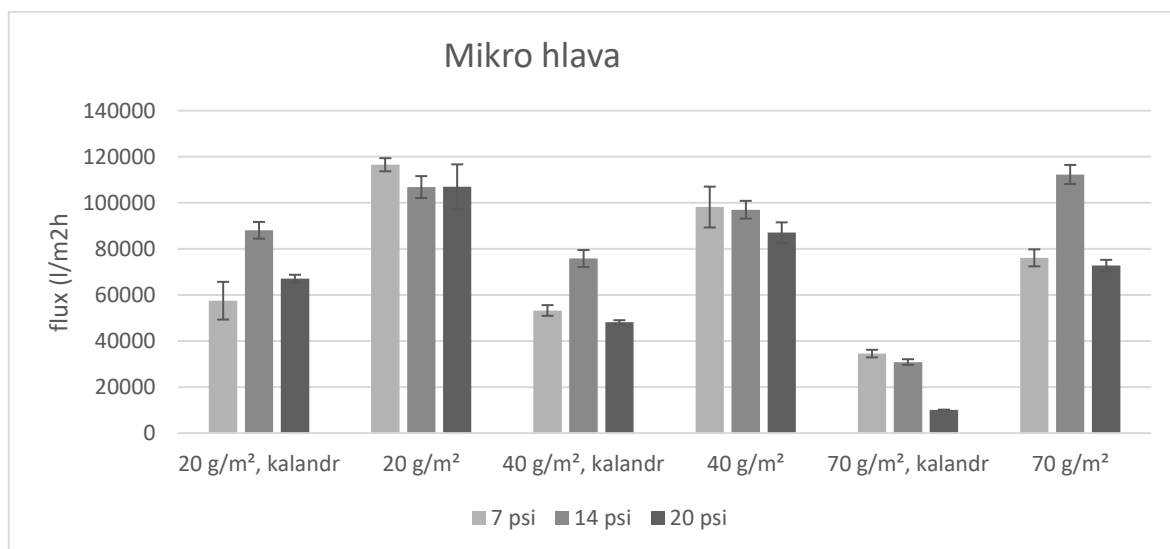
Jak je z Grafu 5 a 6 zřejmé, nasákavost NT klesá s rostoucí plošnou hmotností. Nejnižší nasákavost mají nekalandrované NT o plošné hmotnosti 70 g/m². NT připravené na nano hlavě dosahují hodnot porozity v rozmezí 43–198 %, u mikro hlavy 88–180 %. Kalandrované vzorky dosahují, až na výjimky, vyšší nasákavosti. NT připravené na nano hlavě dosahují nejvyšších hodnot porozity v rozmezí 355–405 %, u mikro hlavy 587–715 %. Tomuto trendu se vymykají NT připravené na nano hlavě o plošné hmotnosti 20 g/m². Zde s kalandrem došlo k jejímu snížení.

7.1.5 Permeační tok

Permeační tok je ovlivněn mimo jiné tloušťkou vláken. Propustnost NT se snižuje se snižující se tloušťkou vláken, kdy se jemnější vlákna více zaplétají, zároveň klesá i porozita. (67; 68) Na permeační tok má dále významný vliv použití kalandru. Kalandr má za úlohu zpevňovat vrstvu netkané textilie, redukuje její tloušťku a velikost pórů, také zvyšuje hustotu sítě a odolnost proti oděru. (16)



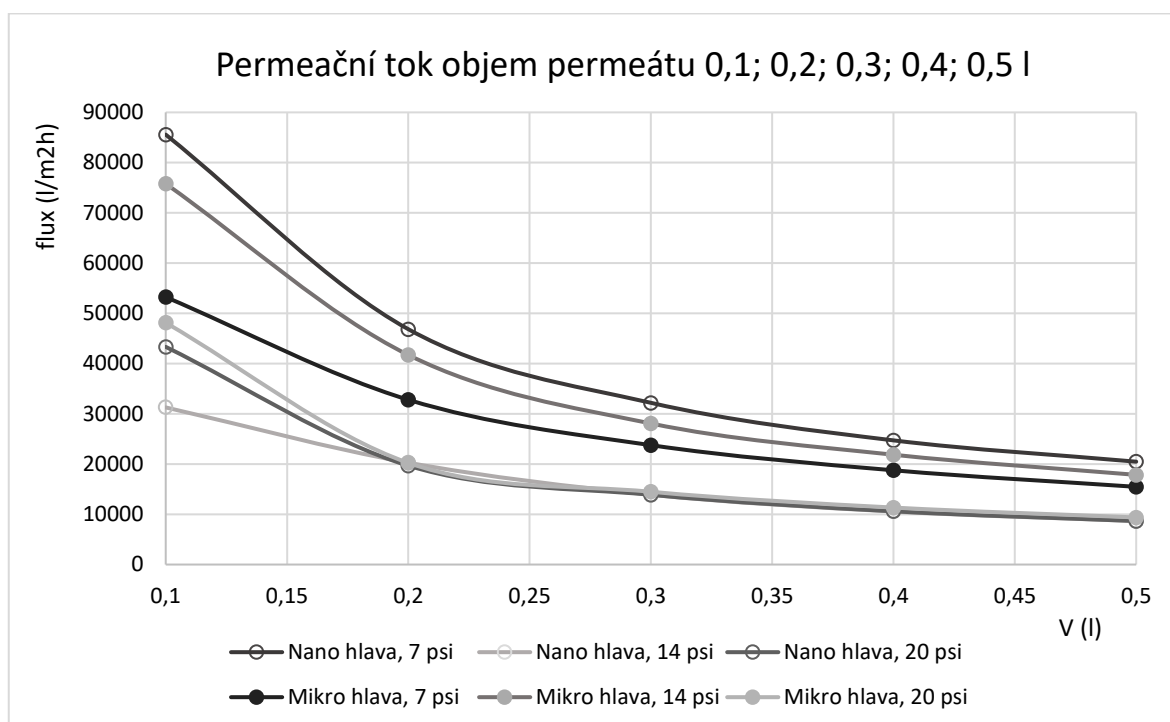
Graf 7 Vliv výrobních parametrů na permeační tok pro NT připravené na nano hlavě



Graf 8 Vliv výrobních parametrů na permeační tok pro NT připravené na mikro hlavě

Permeační tok je mimo plošnou hmotnost výrazně ovlivněn i použitím kalandru. Ten výrazně snižuje permeační tok, u kalandrovaných vzorků se permeační tok pohybuje v rozpětí 10000–90000 l/m²h pro NT připravené na nano i mikro hlavě. Pro nekalandrované dosahuje hodnot v rozsahu 70000–20000 l/m²h, viz Graf 7 a 8.

U vybraných vzorků (NT o plošné hmotnosti 40 g/m²) byla sledována změna permeačního toku se zvyšujícím se objemem permeátu (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 a 0,5 l). Jak je vyobrazeno v Grafu 9, s rostoucím objemem permeátu výrazně klesá permeační tok.



Graf 9 Průběh změny permeačního toku se zvyšujícím se objemem permeátu pro NT o plošné hmotnosti 40 g/m²

V průběhu filtrace dochází ke stlačení vláken a snížení pórů, a tedy i prostupnosti filtru. Výrazně klesající trend permeačního toku byl pozorován ve všech případech.

7.1.6 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost je jedním ze zadávaných výrobních parametrů. Pro každou připravenou NT byla znovu vypočtena a porovnána se zadanou hodnotou. Reálné plošné hmotnosti NT jsou uvedené v Tabulce 12.

Tabulka 12 Porovnání zadaní a skutečné plošné hmotnosti

tlak (psi)	kalandr	ρ_s (g/m ²)	Nano hlava	Mikro hlava
			ρ_s (g/m ²)	ρ_s (g/m ²)
7	s	20	(34,5 ± 0,3)	(34,7 ± 1,0)
	bez	20	(29,3 ± 0,2)	(23,5 ± 0,2)
	s	40	(42,0 ± 0,8)	(55,3 ± 0,8)
	bez	40	(60,8 ± 0,2)	(41,3 ± 0,4)
	s	70	(84,2 ± 0,2)	(65,2 ± 0,4)
	bez	70	(85,1 ± 0,6)	(68,9 ± 0,5)
14	s	20	(32,3 ± 0,3)	(32,3 ± 1,0)
	bez	20	(32,4 ± 0,0)	(33,4 ± 0,5)
	s	40	(52,6 ± 1,2)	(36,2 ± 1,0)
	bez	40	(57,5 ± 0,3)	(48,2 ± 4,1)
	s	70	(81,2 ± 0,3)	(72,5 ± 2,3)
	bez	70	(86,4 ± 0,2)	(56,4 ± 2,2)
20	s	20	(33,1 ± 1,0)	(40,5 ± 0,5)
	bez	20	(33,4 ± 0,9)	(32,5 ± 1,0)
	s	40	(58,7 ± 3,2)	(61,6 ± 1,8)
	bez	40	(51,8 ± 0,1)	(46,5 ± 0,1)
	s	70	(91,3 ± 0,6)	(102,3 ± 2,2)
	kalandr	70	(82,7 ± 0,4)	(97,2 ± 1,5)

Reálné plošné hmotnosti se od zadaných liší. I přesto, že byly jednotlivé vzorky odebrány ve středu širě pásma NT jsou zde markantní rozdíly. Potvrdil se tedy předpoklad dle literatury, že distribuce plošných hmotností po širce pásu NT je rozdílná. (68)

Největší odchylka je u plošné hmotnosti 20 g/m². U NT připravených na nano hlavě je průměrný rozdíl 63 % a u mikro hlavy 64 %. U plošné hmotnosti 40 g/m² je u nano hlavy rozdíl 35 % a u mikro hlavy 20 %. Nejméně odlišné od zadaného parametru jsou NT s plošnou hmotností 70 g/m², rozdíl u nano hlavy činí 22 % a u mikro hlavy 10 %.

Uniformitu plošné hmotnosti lze zlepšit úpravou procesních podmínek. Především zvýšením rychlosti proudu vzduchu a pohybu kolektoru a vzdáleností mezi zvláknovací hlavou a kolektorem. (68)

7.2 Modifikace nanovláknenné vrstvy

Pro zjednodušení, a především zmenšení celého souboru obsahujícího NT vyrobené při třech rozdílných tlacích (7, 14 a 20 psi), třech rozdílných plošných hmotnostech (20, 40 a 70 g/m²) a bez či s využitím kalandru byly pro následné úpravy vybrány kalandrované NT se střední plošnou hmotností. Modifikacím v podobě působení plazmatu a syntéze stříbra byly podrobeny kalandrované NT o plošné hmotnosti 40 g/m² připravené na nano a mikro hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi.

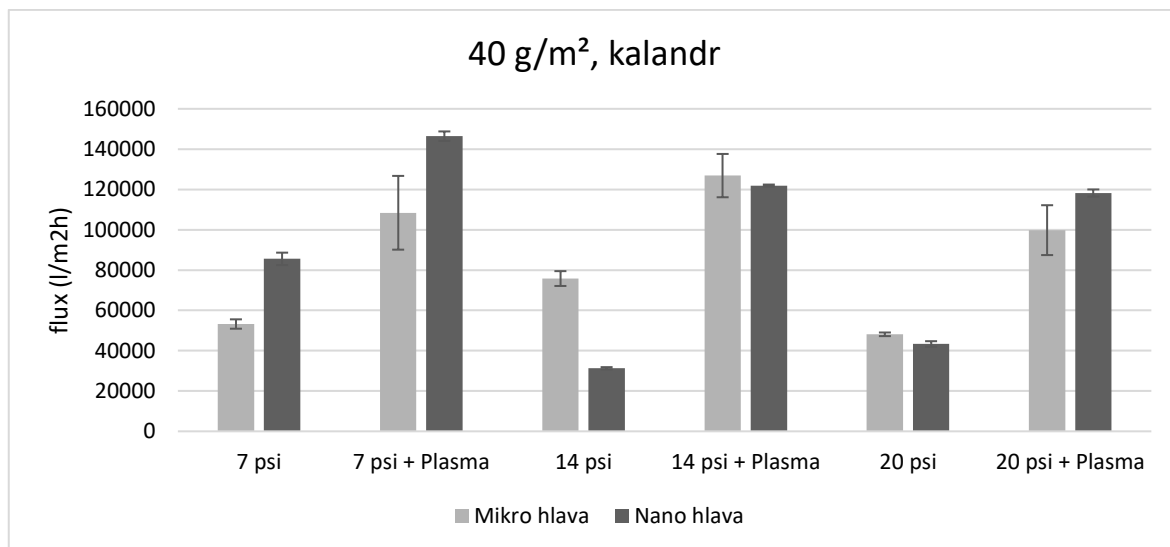
7.2.1 Vliv úpravy smáčivosti

U NT byla upravena smáčivost pomocí plazmování. Časy plazmování byly přizpůsobeny průměru vláken, se zvyšujícím se průměrem se snižoval čas působení plazmatu. Tyto časy jsou uvedeny v Tabulce 13.

Tabulka 13 Plazmovací časy pro vybrané kalandrované NT o plošné hmotnosti 40 g/m² připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi

Vzorek	Plazmovací čas (min)
N7	8
N14	5
N20	5
M7	0,5
M14	3
M20	5

PP vlákna připravená MB technologií jsou vysoce hydrofobní (WCA v rozsahu 145–151°). Pro filtraci a další modifikaci je však tato vlastnost nevhodná. Při syntéze stříbra ve vodném roztoku by nedošlo k dokonalému smáčení celé plochy vzorku. Proto byla pomocí plazmatu hydrofobita výrazně snížena a vlákna bylo možné po úpravě považovat za hydrofilní (WCA nižší než 90°).

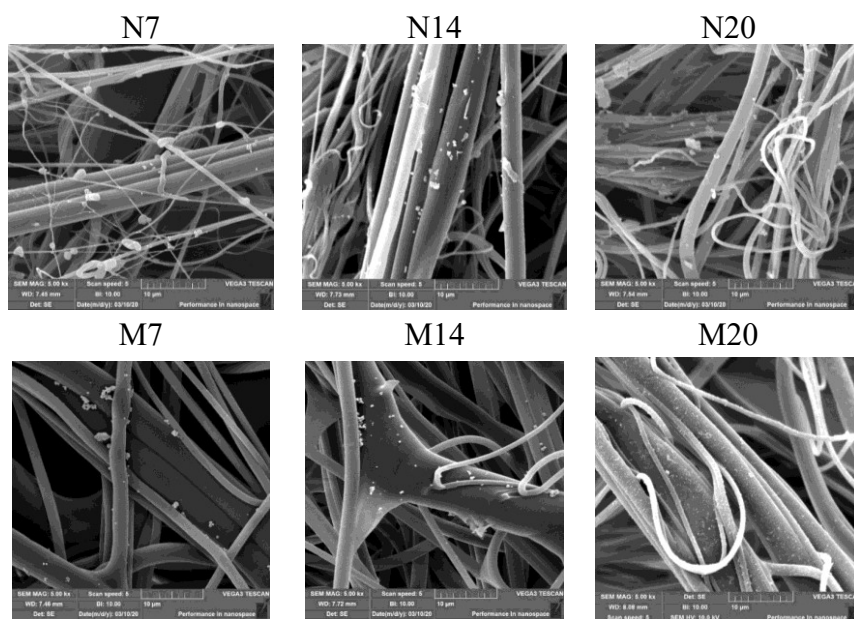


Graf 10 Vliv použití plazmatu na permeační tok pro kalandrovanou NT o plošné hmotnosti 40 g/m² připravené na nano a mikro hlavě

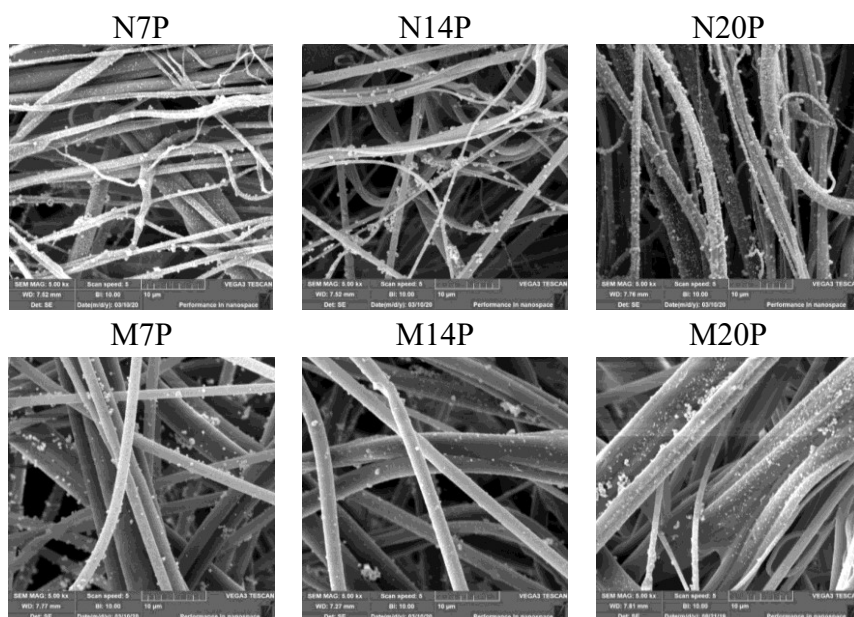
Z výsledků uvedených v Grafu 10 je zřejmé, že smáčivost výrazně ovlivňuje filtrační vlastnosti výsledného filtru, a že se zvýšením smáčivosti selepší permeační tok. Ke zvýšení došlo u všech testovaných vzorků, např. u NT připravených při 14 psi došlo ke zvýšení až o 50%. Je nutno zmínit, že měření permeačního toku bylo realizováno ihned po dokončení plazmování, a pravděpodobně se bude permeční tok snižovat s dobou po plazmování. V našem případě jsme již tyto testy neprováděli z důvodu malého množství připravených plazmovaných vzorků.

7.2.2 Syntéza nanočástic stříbra

Syntéza nanočástic stříbra na NT probíhala dle popisu v kapitole 6.3.4.2 *Syntéza stříbra*. Jelikož smáčivost NT ovlivňuje i množství vyredukovaného stříbra, jsou zde porovnávány neplazmované a plazmované NT. U plazmovaných vzorků, které jsou smáčivější bylo očekáváno větší množství vyredukovaných nanočástic stříbra.



Obrázek 30 SEM snímky neplazmovaných NT s nanočásticemi stříbra o plošné hmotnosti 40 g/m^2 , s kalandrem, připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi (měřítko 10 µm)

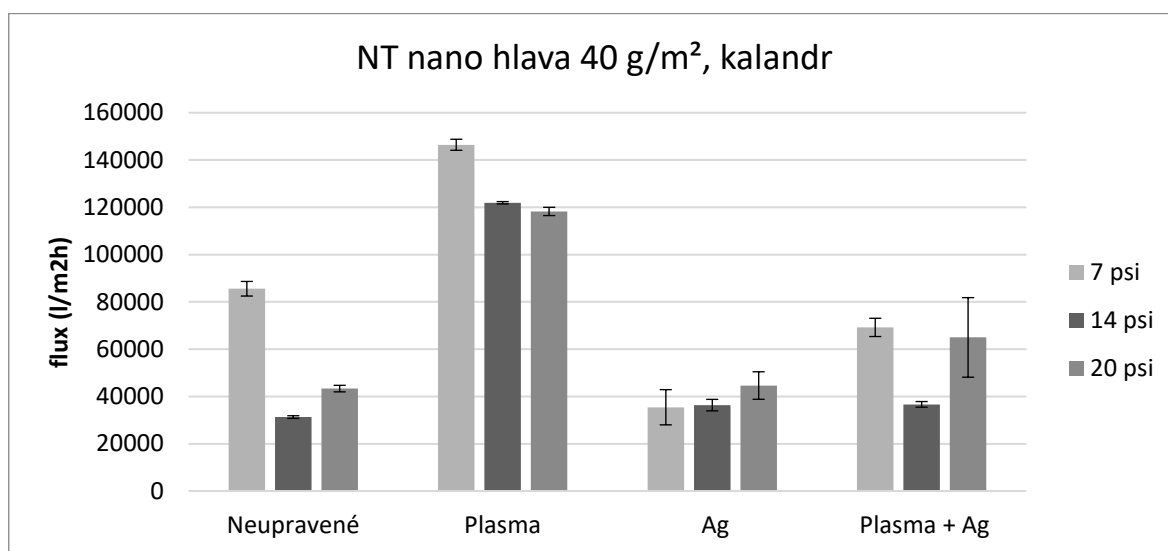


Obrázek 31 SEM snímky plazmovaných (P) NT s nanočásticemi stříbra o plošné hmotnosti 40 g/m^2 , s kalandrem, připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi (měřítko 10 µm)

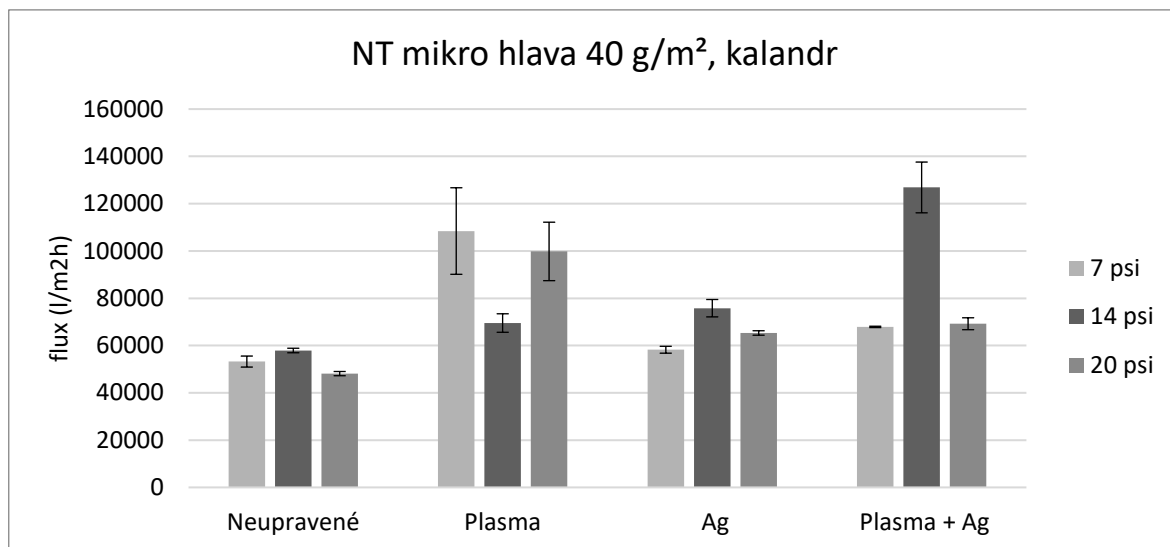
Modifikace NT pomocí plazmování měla za úkol zvýšit smáčivost vláken, a tedy i zvýšit účinnost syntézy nanočástic stříbra. SEM snímky neplazmovaných vzorků NT s nanočásticemi stříbra jsou uvedeny na Obrázku 30 a plazmovaných na Obrázku 31. Již na první pohled je zřejmé, že plazmované vlákna na sobě mají mnohem více stříbrných částic než vzorky neošetřené plazmatem. Velikosti částic na neplazmovaných vzorcích jsou od 70-100 nm, agregáty o velikosti 200 nm. Stříbrné částice na plazmovaných PP vláknech jsou větší a dosahují rozměrů zhruba od 110 do 160 nm. Také agregáty jsou větší a jejich velikost se pohybuje od 300 do 500 nm.

7.2.3 Filtrační vlastnosti modifikovaných nanovláknenných vrstev

V této kapitole je hodnocen vliv přítomnosti nanočástic stříbra na permeační tok. Je zde očekáván rozdíl mezi permeačním tokem u vzorků s nanočásticemi stříbra u plazmatem ošetřených a neošetřených NT.



Graf 11 Změna permeačního toku u modifikovaných a kalandrovaných NT o plošné hmotnosti 40 g/m² připravených na nano hlavě

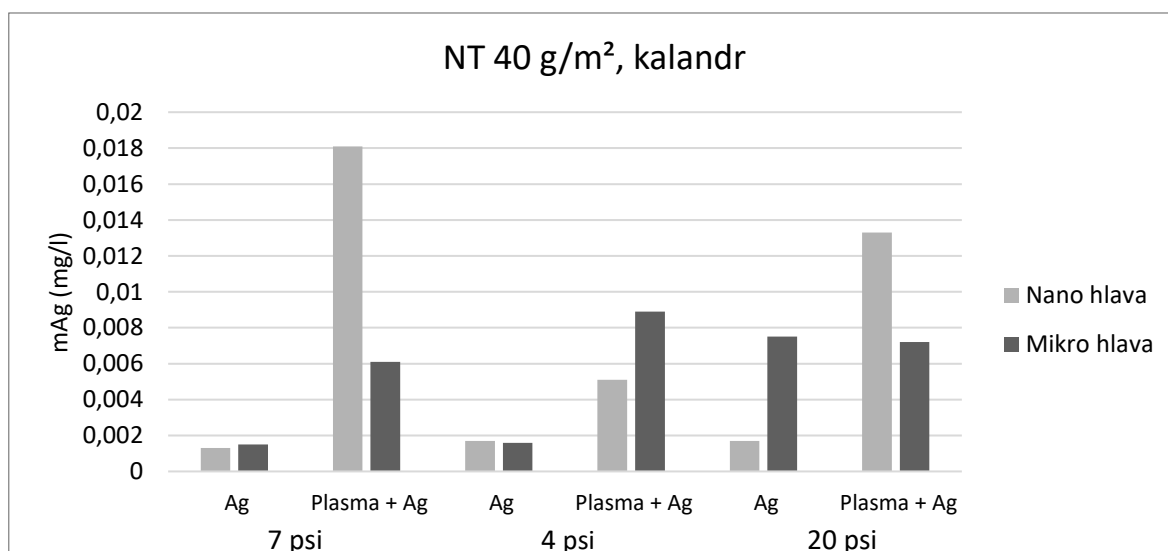


Graf 12 Změna permeačního toku u modifikovaných a kalandrovaných NT o plošné hmotnosti 40 g/m² připravených na mikro hlavě

Grafy 11 a 12 porovnávají permeační tok neupravených a modifikovaných NT. Vyredukované nanočástice stříbra na vláknech NT nemají výrazný vliv na permeační tok, až na výjimky došlo jen k mírnému nárůstu permeačního toku. V případě NT připravené na nano hlavě o plošné hmotnosti 20 g/m² došlo dokonce k poklesu toku. Vlákna jsou částicemi mírně obalena, avšak nijak nemění jejich morfologii. Výraznější změna nastává v případě plasmovaných vzorků s nanočásticemi stříbra. Zde dochází k nárůstu permeačního toku vlivem zvýšené smáčivosti NT. Nárůst ovšem není tak výrazný, jelikož k měření došlo až po delší době a ošetření plazmatem není stálé a časem dochází k jeho vyprchání.

7.2.3.1 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Z každé filtrace byly odebírány vzorky filtrátu pro zjištění úbytku nanočástic stříbra z vláknenných filtrů. Následně byl proveden ICP test pro zjištění množství přítomných stříbrných nanočástic na litr filtrátu.



Graf 13 Množství uvolněného stříbra z modifikovaných a kalandrovaných NT o plošné hmotnosti 40 g/m²

Z výsledků uvedených na Grafu 13 vyplývá, že ve všech případech došlo během filtrace k uvolnění nanočástic stříbra. U neplazmovaných vzorků se množství uvolněného stříbra pohybuje do 0,002 mg na litr filtrátu. Na plazmovaných vzorcích došlo k vyredukování většího množství částic, a tedy se jich při filtraci i více uvolní. U plazmovaných vzorků byl úbytek stříbrných nanočástic v rozsahu 0,006–0,018 mg na litr filtrátu. Jedinou výjimku tvoří NT připravená na mikro hlavě při 20 psi. Tam je množství uvolněného stříbra u neplazmovaných a plazmovaných téměř totožné.

Uvolňování nanočástic stříbra je ovšem nežádoucí, jelikož takový filtr by měl velice krátkou účinnost. Jednou z možností, jak zamezit vyplavování částic do filtrátu je podvrstvení nepropustnou vrstvou. Pro zajímavost byl proveden experiment, při němž byla PP NT podvrstvena nanovlákenou vrstvou připravenou metodou eletrospinning z polyvinylidenfluoridu (PVDF). Podvrstvení snížilo množství uvolněného stříbra o více než polovinu. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 14.

Tabulka 14 Vliv podvrstvení PVDF na úbytek stříbra u NT o plošné hmotnosti 40 g/m² připravené na mikro hlavě při 20 psi

Vzorek	M20 + Ag	M20 P + Ag	M20 + Ag + PVDF	M20 P + Ag + PVDF
Úbytek Ag (mg/l)	0,0075	0,0072	0,0032	0,0025

ZÁVĚR

V rámci teoretické části této práce byla provedena literární rešerše zaměřená na netkané textilie a jejich výrobu, a to především metodou melt blown. Tato metoda byla použita pro výrobu textilií použitých v praktické části. Teorie se dále věnovala porovnání melt blown metody s technologií spun bond a popsání použitých surovin. Nejprve byla popsána historie, výroba, vlastnosti a použití polypropylenu, který byl pro účely této práce zpracován melt blown technologií. Poté byla stručně popsána i skupina polyamidů, který sloužil ve formě netkané textilie připravené metodou spun bond jako podklad pro polypropylenová melt blown vlákna. Závěr teoretické části popisuje možnosti modifikací netkaných textilií se zaměřením na jejich aplikaci v oblasti kapalinových filtrů. Blíže je pak popsána antibakteriální úprava, především využití nanočástic stříbra jakožto antibakteriálního činidla.

Praktická část byla zaměřena na charakterizaci mikrovlákných netkaných textilií a jejich modifikaci. Byl sledován vliv procesních parametrů, jako je velikost kapilár ve vytlačovací hlavě, pracovní tlak vzduchu při rozfukování taveniny, plošná hmotnost a použití kalandru na změnu průměru vláken, smáčivosti, porozity, nasákavosti a permeačního toku. Následně byla vlákna modifikována působením plazmatu a byla na nich provedena syntéza nanočástic stříbra. Pro modifikované netkané textilie byl na závěr pozorován úbytek stříbrných částic během filtrace.

Průměr vytvořených vláken je nejvíce ovlivněn použitou geometrií zvláknovací hlavy a pracovním tlakem. Použitím vyššího pracovního tlaku snížíme průměr vláken. Při použití mikro hlavy, jejíž kapiláry mají průměr v řádech mikronů je dosaženo průměru v rozmezí 1759–2274 nm. U nano hlavy, jejíž kapiláry jsou v submikronech se průměr vláken pohybuje v rozsahu 1275–1777 nm.

Smáčivost vlákných vrstev je ovlivněna použitým materiálem a průměrem vláken. Samotný polypropylen je vysoce hydrofobní. Z výsledků je zřejmý pokles smáčivosti se zvyšujícím se průměrem vláken, a tedy i použitou geometrií zvláknovací hlavy a tlakem při zvláknování. Vodní kontaktní úhel smáčení se pohybuje v rozsahu 145–151°, jedná se o téměř superhydrofobní povrch.

Porozitu vlákných vrstev ovlivňuje především zadaná plošná hmotnost, kdy porozita klesá s rostoucí plošnou hmotností. Nejnižší porozity bylo dosaženo u textilií s nejvyšší plošnou hmotností, tedy 70 g/m². Pro nano hlavu byla porozita v rozmezí 4–21 %,

u mikro hlavy 9–17 %. Naopak u textilií s nejnižší plošnou hmotností, tedy 20 g/m², dosahují vlákně vrstvy připravené na nano hlavě hodnot porozity v rozmezí 35–58 %, u mikro hlavy 16–80 %. Použití kalandru nemá na porozitu zřejmý vliv.

Nasákavost se stejně jako porozita mění s plošnou hmotností. Se zvyšující se plošnou hmotností nasákavost klesá. Nejnižší nasákavosti bylo dosaženo u netkaných textilií s nejvyšší plošnou hmotností, tedy 70 g/m² a bez použití kalandru. Netkané textilie připravené na nano hlavě dosahují hodnot porozity v rozmezí 43–198 %, u mikro hlavy 88–180 %. Nejvyšší nasákavosti bylo dosaženo u netkaných textilií s nejnižší plošnou hmotností, tedy 20 g/m² a s použitím kalandru, u nano hlavy v rozmezí 355–405 %, u mikro hlavy 587–715 %.

Permeační tok je v našem případě nejvíce ovlivněn zvolenou plošnou hmotností a využitím kalandru. Kalandr vlákně vrstvy zhutňuje a zpevňuje, ale současně snižuje jejich permeační tok. U kalandrovaných vzorků se permeační tok pohybuje v rozpětí 10000–90000 l/m²h, pro nekalandrované dosahuje hodnot v rozsahu 70000–120000 l/m²h. S nárůstem objemu permeátu dochází k výraznému poklesu permeačního toku.

Netkané textilie byly podrobeny plazmování. Takto byla zvýšena jejich smáčivost, díky čemuž bylo možné provést úspěšnější syntézu nanočástic stříbra na povrch vláken.

Permeační tok plazmovaných vzorků stoupl v některých případech dokonce o více jak 50 %. Tudiž úprava smáčivost, respektive její zvýšení výrazně zlepšuje i filtrační vlastnosti. Bohužel jsou účinky plazmování nestálé a časem opadají, je tedy nutno přihlídnout k tomu, že měření proběhlo bezprostředně po plazmování a permeační tok tak může časem opět klesnout.

Vliv plazmatu ovlivnil množství a velikost vyredukovaných nanočástic stříbra. Velikost částic na neplazmovaných vzorcích je v rozsahu od 70–100 nm, agregáty o velikosti 200 nm. Stříbrné částice na plazmovaných polypropylenových vláknech jsou větší. Jsou v rozsahu 110–160 nm, agregáty se pohybují v rozmezí 300–500 nm. Přítomnost stříbrných nanočástic permeační tok výrazně neovlivnilo, avšak plazmované vzorky se stříbrem mají oproti neplazmovaným vzorkům se stříbrem permeační tok lehce vyšší.

U vzorků s nanočásticemi stříbra byl proveden test na jejich přítomnost ve filtrátu. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem prokázala, že stejně jako je na vlákně vrstvách ošetřených plazmatem větší množství vyredukovaného stříbra, tak se ho i větší množství uvolňuje do filtrátu. Na závěr bylo u vybraného vzorku vyzkoušeno, zda

je možné uvolňování stříbra omezit. K tomuto bylo použito podvrstvení pomocí polyvinylidenfluoridových nanovláken, které uvolňování stříbra snížilo o více než polovinu.

Na základě uvedených výsledků je pro kapalinové filtry nejvhodnější použít plazmatem ošetřené netkané textilie s nanočásticemi stříbra připravené na mikro hlavě při tlaku 7 psi a o plošné hmotnosti 40 g/m². Tato netkaná textilie dosahuje dostatečně vysokého permeačního toku pro efektivní filtrace většího objemu vody, ale tok není příliš vysoký a nehrozí tak porušení filtru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) LAGEMAAT, M. What are nonwovens?. *EDANA: European Disposables and Nonwovens Association* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-are-nonwovens>
- (2) RUSSEL, S. *Handbook of Nonwovens*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. ISBN 978-1-84569-199-8.
- (3) ALBRECHT, W., H. FUCHS a W. KITTELMANN. *Nonwoven Fabrics: Raw Materials, Manufacture, Applications, Characteristics, Testing Processes*. Weinheim: WILEY-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.
- (4) JIRSÁK, O. a K. KALINOVÁ. *Netkané textilie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-746-2.
- (5) MISNON, M., J. EPAARACHCHI a J. LAU. Potentiality of utilising natural textile materials for engineering composites applications. *Materials & Design*. 2014, (59), 359-368. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.03.022. ISSN 02613069. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306914002088>
- (6) RATNER, B., A. HOFFMAN, F. SCHOEN a J. LEMONS. *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2004. ISBN 9780080470368.
- (7) How are nonwovens made?. *EDANA: European Disposables and Nonwovens Association* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made>
- (8) KARTHIK, T., R. RATHINAMOORTHY a C. PRABA KARAN. *Nonwovens: Process, Structure, Properties and Applications*. New Dehli: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2016. ISBN 978-93-85059-12-4.

- (9) KELLIE, G. *Advances in Technical Nonwovens*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016. ISBN 978-0-08-100584-2.
- (10) ČSN EN 12127 (800849). *Textilie- Plošné textilie- Zjištění plošné hmotnosti pomocí malých vzorků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1998.
- (11) HUTTEN, I. *Handbook of nonwoven filter media*. Boston, MA: Butterworth Heinemann, an imprint of Elsevier, 2016. ISBN 978-008-0983-011.
- (12) Nonwovens in daily life. *EDANA* [online]. European Disposables and Nonwovens Association [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life>
- (13) AIZENSHTEIN, E. Global and Domestic Production and Consumption of Nonwovens. *Fibre Chemistry*. 2018, **49**(6), 372-381. DOI: 10.1007/s10692-018-9903-5. ISSN 0015-0541. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10692-018-9903-5>
- (14) Staff Report. *"Melt Blown Technology Today."*. San Francisco: Miller Freeman Publications Inc., 1989, (8).
- (15) MCCULLOCH, J. The History of the Development of Melt Blowing Technology. *International Nonwovens Journal*. 1999, **8**(1), 139-149.
- (16) DUTTON, K. Overview and Analysis of the Meltblow Process and Parameters. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2008, **6**(1).
- (17) VELU, Y., R. FARER, T. GHOSH a A. SEYAM. Formation of Shaped/Molded Meltblowing Nonwoven Structures. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2000, **1**(1).
- (18) HOSUN, L. A Review of Spun Bond Process. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*. New York, 2010, **6**(3).

- (19) Spunbond technology. *Sunshine Nonwoven Fabric Co.: Your Source For PP Nonwoven Fabric* [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: https://www.pp-nonwoven.com/blog/spunbond-technology_b18
- (20) MIAO, M. a J. XIN. *Engineering of High-Performance Textiles*. Elsevier, 2018. ISBN 978-0-08-101885-9.
- (21) BILLATOS, S. a N. BASALY. *Green Technology and Design for the Environment*. 1st ed. Washington: Taylor & Francis, 1997. ISBN 1-56032-460-0.
- (22) LAPČÍK, L. a M. RAAB. *Nauka o materiálech II. 2*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004. ISBN 80-7318-229-7.
- (23) KARIAN, H. *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites*. 2nd ed. New York: Taylor & Francis e-Library, 2009. ISBN 0-8247-4064-5.
- (24) HINDLE, C. Polypropylene (PP). *British Plastics Federation: Plastipedia* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pp.aspx>
- (25) LEDERER, J. *Polyolefiny. Polyethylen, polypropylen: Výroba, vlastnosti, použití* [Online prezentace]. b.r. [cit. 6.4.2020]. Dostupné z: <https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PE%20a%20PP2013.pdf>
- (26) MOORE, E., ed. *Polypropylene Handbook: Polymerization, Characterization, Properties, Processing, Applications*. 1 st. Munich: Hanser/Gardner Publisher, 1996. ISBN 1-56990-208-9.
- (27) MAXA, D. Výroba polypropylenu. *Petroleum.cz* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://petroleum.cz/vyrobky/polypropylen-vyroba.aspx>
- (28) TRIPATHI, D. *Practical guide to polypropylene*. Shrewsbury: Rapra Technology, 2002. ISBN 18-595-7282-0.
- (29) MAIER, C. a T. CALAFUT. *Polypropylene: The definitive user's guide and databook*. Norwich: Plastics Design Library, 1998. ISBN 18-842-0758-8.

- (30) Plastic recycle logo PP, Polypropylene. In: *Wikimedia.org* [online]. [cit. 2020-03-20].
Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plastic-recyc-05.svg>
- (31) OLABISI, O. a K. ADEWALE, ed. *Handbook of Thermoplastics*. 2nd. Taylor & Francis, 2016. ISBN 978-1-4665-7723-7.
- (32) LEWIN, M., ed. *Handbook of Fiber Chemistry*. 3rd ed. New York: Taylor & Francis, 2007. ISBN 0-8247-2565-4.
- (33) PAGE, I. *Polyamides as Engineering Thermoplastic Materials*. Shrewsbury: Shawbury, 2000. ISBN 1-85957-220-0.
- (34) Kevlar chemical structure. In: *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2020-04-21].
Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kevlar_chemical_structure.png
- (35) LEE, J.-Y. a K.-J. KIM. Overview of Polyamide Resins and Composites: A Review. *Elastomers and Composites*. 2016, **51**(4), 317-341. DOI: 10.7473/EC.2016.51.4.317. ISSN 2092-9676.
- (36) FRÝBORT, S. a L. MRAČNA. Polyamidy: PA6 – Ertalon, Tecamid, Sustamid. *Polyamidy* [online]. Nedakonice [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.polyamidy.cz/pa6/>
- (37) Nonwoven abrasives. *Sia Abrasives: Your Key to a Perfect Surface* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.siaabrasives.com/au/en/abrasives-applications-/types-of-abrasives/nonwoven-abrasives/>
- (38) GADOR, W. a A. JANKOWSKA. Filtration Properties of Nonwovens. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 1999, **5**(3), 361-379.
- (39) NALLATHAMBI, G., EVANGELIN S., KASTHURI R. A NIVETHA D. Multilayer nonwoven fabrics for filtration of micron and submicron particles. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*. 2019, **5**(2). DOI: 10.15406/jteft.2019.05.00185.

ISSN 25748114. Dostupné z: <https://medcraveonline.com/JTEFT/multilayer-nonwoven-fabrics-for-filtration-of-micron-and-submicron-particles.html>

- (40) XIAO, Y., N. SAKIB, Y. WANG et al. Study on the Relationship between Structure Parameters and Filtration Performance of Polypropylene Meltblown Nonwovens. *Autex Research Journal* [online]. 2019 [cit. 2020-04-07]. DOI: 10.2478/aut-2019-0029. ISSN 14709589.
- (41) SPARKS, T. a G. CHASE. Filtration – Introduction, Physical Principles and Ratings. *Filters and Filtration Handbook*. Elsevier, 2016, , 1-54. DOI: 10.1016/B978-0-08-099396-6.00001-0. ISBN 9780080993966. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780080993966000010>
- (42) HRŮZA, J. *Zlepšování Filtračních Vlastností Vlákných Materiálů*. Liberec, 2005.. Kandidátská disertační práce. Technická Univerzita v Liberci.
- (43) KOTÁSKOVÁ, R. *Analýza využitelnosti nanovlákných filtrů v oblasti kapalinové filtrace pohonných hmot a olejů*. Liberec, 2010.. Diplomová práce. Fakulta textilní, Technická Univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Miroslav Malý.
- (44) *Kapalinové filtry* [online]. Praha: MD-FILTER s.r.o., 2020 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.mdfilter.cz/kapalinove-filtry.html>
- (45) JALEH, B., E. ETIVAND, B. MOHAZZAB, M. NASROLLAHZADEH a R. VARMA. Improving Wettability: Deposition of TiO₂ Nanoparticles on the O₂ Plasma Activated Polypropylene Membrane. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019, **20**(13). DOI: 10.3390/ijms20133309. ISSN 1422-0067. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/13/3309>
- (46) DENES, F. a S. MANOLACHE. Macromolecular plasma-chemistry: an emerging field of polymer science. *Progress in Polymer Science*. 2004, **29**(8), 815-885. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2004.05.001. ISSN 00796700. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670004000589>

- (47) WEI, Q., ed. *Surface Modification of Textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009. ISBN 978-1-84569-668-9.
- (48) SMOLKA, P. *Plazmochemie*. b.r.. Výukový materiál. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- (49) MATHER, R. a R. WARDMAN. *The Chemistry of Textile Fibres*. 2nd. The Chemistry of Textile Fibres, 2015. ISBN 978-1-84755-867-1.
- (50) SÁNCHEZ-LÓPEZ, E., D. GOMES, G. ESTERUELAS et al. Metal-Based Nanoparticles as Antimicrobial Agents: An Overview. *Nanomaterials*. 2020, **10**(2). DOI: 10.3390/nano10020292. ISSN 2079-4991. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/2/292>
- (51) XIN, Z., S. DU, C. ZHAO, H. CHEN, M. SUN, S. YAN, S. LUAN aj. YIN. Antibacterial performance of polypropylene nonwoven fabric wound dressing surfaces containing passive and active components. *Applied Surface Science*. 2016, **365**, 99-107. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.12.217. ISSN 01694332. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433215032225>
- (52) VANYSACKER, L., C. DENIS, P. DECLERCK, A. PIASECKA a I. VANKELECOM. Microbial Adhesion and Biofilm Formation on Microfiltration Membranes: A Detailed Characterization Using Model Organisms with Increasing Complexity. *BioMed Research International*. 2013, **2013**, 1-12. DOI: 10.1155/2013/470867. ISSN 2314-6133. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/bmri/2013/470867/>
- (53) SONG, M., S. J. IM, D. JEONG a A. JANG. Reduction of biofouling potential in cartridge filter by using chlorine dioxide for enhancing anti-biofouling of seawater reverse osmosis membrane. *Environmental Research*. 2020, **180**. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108866. ISSN 00139351. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935119306632>

- (54) KVASNIČKOVÁ, E. Biofilmy: Život mikroorganismů v jednotném společenství. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. Praha [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/biofilmy>
- (55) Biofilm. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Biofilm>
- (56) EKABUTR, P., P. CHUYSINUAN, S. SUKSAMRARN, W. SUKHUMSIRICHART, P. HONGMANEE a P. SUPAPHOL. Development of antituberculosis melt-blown polypropylene filters coated with mangosteen extracts for medical face mask applications. *Polymer Bulletin*. 2019, **76**(4), 1985-2004. DOI: 10.1007/s00289-018-2468-x. ISSN 0170-0839. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00289-018-2468-x>
- (57) TURNER, R. Metal-based antimicrobial strategies. *Microbial Biotechnology*. 2017, **10**(5), 1062-1065. DOI: 10.1111/1751-7915.12785. ISSN 17517915. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1751-7915.12785>
- (58) REGIEL-FUTYRA, A., J. DaBROWSKI, O. MAZURYK, K. ŚPIEWAK, Agnieszka KYZIOŁ, Barbara PUCELIK, Małgorzata BRINDELL a Grażyna STOCHEL. Bioinorganic antimicrobial strategies in the resistance era. *Coordination Chemistry Reviews*. 2017, **351**, 76-117. DOI: 10.1016/j.ccr.2017.05.005. ISSN 00108545. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010854517301443>
- (59) KHODASHENAS, B. a H. GHORBANI. Synthesis of silver nanoparticles with different shapes. *Arabian Journal of Chemistry*. 2019, **12**(8), 1823-1838. DOI: 10.1016/j.arabjc.2014.12.014. ISSN 18785352. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878535214003645>
- (60) ALQADI, M., O. ABO NOQTAH, F. ALZOUBI, J. ALZOUBY a K. ALJARRAH. PH effect on the aggregation of silver nanoparticles synthesized by chemical reduction. *Materials Science-Poland*. 2014, **32**(1), 107-111. DOI: 10.2478/s13536-013-0166-9. ISSN 2083-1331. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.2478/s13536-013-0166-9>

- (61) SEDLÁČEK, T. Linka pro zvlákňování polymerní taveniny, model LBS-300. *Centrum polymerních systémů* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://cps.utb.cz/cs/veda-a-vyzkum/pristrojove-vybaveni/extruze-koextruze-hnetice/187-linka-pro-zvlaknovani-polymerni-taveniny-model-lbs-300>
- (62) KUBÍNEK, R., K. ŠAFÁŘOVÁ a M. VOJKŮTEK. *Elektronová mikroskopie* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011 [cit. 2020-04-16]. ISBN 978-80-244-2739-3. Dostupné z: <http://bit.ly/2ziFP7J>
- (63) ISRAELACHVILI, J. *Intermolecular and Surface Forces*. DOI: 10.1016/C2009-0-21560-1.
- (64) YESIL, Y. a G. BHAT. Porosity and barrier properties of polyethylene meltblown nonwovens. *The Journal of The Textile Institute*. 2016, **108**(6), 1035-1040. DOI: 10.1080/00405000.2016.1218109. ISSN 0040-5000. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00405000.2016.1218109>
- (65) LI, J.-F., Z.-L. XU, H. YANG, L.-Y. YU a M. LIU. Effect of TiO₂ nanoparticles on the surface morphology and performance of microporous PES membrane. *Applied Surface Science*. 2009, **255**(9), 4725-4732. DOI: 10.1016/j.apsusc.2008.07.139. ISSN 01694332. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433208017674>
- (66) ČSN 80 0831(800831). *Savost plošných textilií. Stanovení nasákavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992-2008.
- (67) BHAT, G., V. KANDAGOR, D. PRATHER a R. BHAVE. Structure and Properties of Meltblown Polyetherimide as High Temperature Filter Media. *Engineering and Technology International Journal of Materials and Textile Engineering*. 2017, **11**(7), 486-490.
- (68) SUN, G., J. YANG, S. XIN, R. YU a X. WANG. *Influence of Processing Conditions on the Basis Weight Uniformity of Melt-Blown Fibrous Webs: Numerical and Experimental Study*. 2018, **57**(29), 9707-9715. DOI: 10.1021/acs.iecr.8b00829. ISSN 0888-5885. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.8b00829>

- (69) MIHALJEVIČ, M., L. STRNAD a O. ŠEBEK. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické listy*. 2004, **98**, 123-130.
- (70) ICP-MS: Princip metody. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/ICP-MS>
- (71) WU, H., R. ZHANG, Y. SUN, D. LIN, Z. SUN, W. PAN a P. DOWNS. Biomimetic nanofiber patterns with controlled wettability. *Soft Matter*. 2008, **4**(12). DOI: 10.1039/b805570j. ISSN 1744-683X. Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=b805570j>
- (72) SHIM, W. a D. LEE. Quality Variables of Meltblown Submicron Filter Materials. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2013, **38**, 132-137.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NT	Netkaná textilie
T_m	Teplota tání
T_g	Teplota skelného přechodu
MB	Melt blown
SB	Spun bond
PP	Polypropylen
iPP	Izotaktický polypropylen
sPP	Syndiotaktický polypropylen
aPP	Ataktický polypropylen
PA	Polyamid
PA6	Polyamid-6
PA66	Polyamid-6,6
PVDF	Polyvinylidenfluorid
DP	Diplomová práce
D	Průměr vytlačovacího šneku
L	Délka vytlačovacího šneku
ICP	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
SEM	Skenovací elektronová mikroskopie
d	Průměr vláken
ρ_s	Plošná hmotnost
ε	Porozita
flux	Permeační tok
WCA	Vodní kontaktní úhel smáčení (Water contact angle)
γ_{SG}	Mezifázová volná energie mezi pevnou látkou a plynem
γ_{SL}	Mezifázová volná energie mezi pevnou látkou a kapalinou

γ_{LG}	Mezifázová volná energie mezi kapalinou a plynem
θ	Úhel smáčení
c	Koncentrace
m_{Ag}	Množství uvolněného stříbra
m_1	Hmotnost vlhké membrány
m_2	Hmotnost suché membrány
ρ_w	Hustota vody
A	Plocha filtru
h	Tloušťka filtru
n_h	Nasákavost
Q	Objem permeátu čisté vody
T	Čas průtoku
M	Mikro hlava
N	Nano hlava

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Netkaná textilie připravená z PP metodou Melt blown.....	12
Obrázek 2 Rozdíl mezi (a) tkanou, (b) pletenou a (c) netkanou textilií (5).....	13
Obrázek 3 Schéma výroby NT mokrou metodou (7)	14
Obrázek 4 Schéma výroby NT suchou metodou – mykáním (7)	15
Obrázek 5 Schéma výroby NT suchou metodou – aerodynamické formování (7)	16
Obrázek 6 Schéma výroby NT z taveniny polymeru (7).....	16
Obrázek 7 Ukázka využití NT v běžném životě (12)	18
Obrázek 8 Schéma výroby NT metodou melt blown (2).....	22
Obrázek 9 Schéma výroby NT metodou spun bond (19)	25
Obrázek 10 Strukturní vzorec PP.....	28
Obrázek 11 Struktura homopolymeru, náhodného a blokového kopolymeru; P propylen, E ethylen.....	30
Obrázek 12 Stereoizometrie PP	31
Obrázek 13 Recyklační logo PP (30).....	32
Obrázek 14 Strukturní vzorec Nylonu 6,6 a Nylonu 6 (11).....	33
Obrázek 15 Strukturní vzorec Kevlaru	34
Obrázek 16 Brusné a leštící kotouče vyrobené z PA NT (37).....	36
Obrázek 17 Schematický pohled na plošnou a hloubkovou filtraci. (42).....	38
Obrázek 18 Kapalinový filtr sáčkový (44)	39
Obrázek 19 Filtrační vložka válcová skládaná (a), plošný kapalinový filtr (b), rukávcový filtr (c) (44)	39
Obrázek 20 Koloběh života biofilmu (54).....	42
Obrázek 21 Ukázka běžných tvarů nanočástic stříbra (59)	43
Obrázek 22 Strukturní vzorec kyseliny askorbové	47
Obrázek 23 Výrobní linka pro MB zvláknování NT	48
Obrázek 24 Schéma rozdělení vzorků NT připravených technologií MB.....	49

Obrázek 25 Systém pro automatické měření vodního kontaktního úhlu smáčení DSA30 značky Krüss.....	50
Obrázek 26 Silová rovnováha na rozhraní tří sil	50
Obrázek 27 Filtrační aparatura	52
Obrázek 28 Syntéza částic stříbra na povrch nanovlákněné textilie.....	54
Obrázek 29 SEM snímky NT o plošné hmotnosti 40 g/m ² , s kalandrem, připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi (měřítko 10 μm).....	57
Obrázek 30 SEM snímky neplazmovaných NT s nanočásticemi stříbra o plošné hmotnosti 40 g/m ² , s kalandrem, připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi (měřítko 10 μm).....	67
Obrázek 31 SEM snímky plazmovaných (P) NT s nanočásticemi stříbra o plošné hmotnosti 40 g/m ² , s kalandrem, připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi (měřítko 10 μm).....	67

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Fyzikální vlastnosti syntetických vláken (9)	17
Tabulka 2 Odvětví využití NT (2)	18
Tabulka 3 Produkce NT v západní Evropě v roce 2017 (13)	19
Tabulka 4 Konečné úpravy používané u MB NT (16)	23
Tabulka 5 Vlastnosti polypropylenových vláken a NT vyrobených MB technologií (16) .	24
Tabulka 6 Vlastnosti jednotlivých stereoizomerů PP (25)	30
Tabulka 7 Vlastnosti PP (28)	31
Tabulka 8 Vybrané vlastnosti polyamidů (32; 35)	35
Tabulka 9 Efekt vybraných plazmových plynů na textilní povrch (47)	41
Tabulka 10 Procesní podmínky pro plazmování vzorků připravených z NT	53
Tabulka 11 Tabulka kalibračních roztoků pro stanovení obsahu stříbra metodou ICP-MS	55
Tabulka 12 Porovnání zadání a skutečné plošné hmotnosti	64
Tabulka 13 Plazmovací časy pro vybrané kalandrované NT o plošné hmotnosti 40 g/m ² připravené na nano (N) a mikro (M) hlavě při tlacích 7, 14 a 20 psi	65
Tabulka 14 Vliv podvrstvení PVDF na úbytek stříbra u NT o plošné hmotnosti 40 g/m ² připravené na mikro hlavě při 20 psi	71

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Změna průměru vláken se změnou výrobního tlaku pro mikro a nano hlavu při tlacích 7, 14 a 20 psi	57
Graf 2 Závislost průměrných hodnot vodního kontaktního úhlu smáčení na průměru vláken	58
Graf 3 Vliv výrobních parametrů na porozitu NT připravené na nano hlavě.....	59
Graf 4 Vliv výrobních parametrů na porozitu NT připravené na mikro hlavě	59
Graf 5 Vliv výrobních parametrů na nasákavost NT připravené na nano hlavě.....	60
Graf 6 Vliv výrobních parametrů na nasákavost NT připravené na nano hlavě.....	61
Graf 7 Vliv výrobních parametrů na permeační tok pro NT připravené na nano hlavě	62
Graf 8 Vliv výrobních parametrů na permeační tok pro NT připravené na mikro hlavě	62
Graf 9 Průběh změny permeačního toku se zvyšujícím se objemem permeátu pro NT o plošné hmotnosti 40 g/m ²	63
Graf 10 Vliv použití plazmatu na permeační tok pro kalandrovanou NT o plošné hmotnosti 40 g/m ² připravené na nano a mikro hlavě	66
Graf 11 Změna permeačního toku u modifikovaných a kalandrovaných NT o plošné hmotnosti 40 g/m ² připravených na nano hlavě.....	68
Graf 12 Změna permeačního toku u modifikovaných a kalandrovaných NT o plošné hmotnosti 40 g/m ² připravených na mikro hlavě.....	69
Graf 13 Množství uvolněného stříbra z modifikovaných a kalandrovaných NT o plošné hmotnosti 40 g/m ²	70

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Tabulka veškerých naměřených hodnot pro zvlákňovací mikro hlavu

Příloha P II: Tabulka veškerých naměřených hodnot pro zvlákňovací nano hlavu

Příloha P III: Tabulka naměřených hodnot pro modifikované NT

**PŘÍLOHA P I: TABULKA VEŠKERÝCH NAMĚŘENÝCH HODNOT
PRO ZVLÁKŇOVACÍ MIKRO HLAVU**

Mikro hlava								
tlak (psi)	kalandr	ρ_s (g/m ²)	d (nm)	WCA (°)	ρ_s (g/m ²)	ε (%)	n_h (%)	flux (l/m ² h)
7	s	20	(2047 ± 893)	(145 ± 2)	(34,7 ± 1,0)	(65 ± 10)	(665 ± 104)	(57488 ± 8191)
	bez	20	(2593 ± 1254)	(150 ± 1)	(23,5 ± 0,2)	(16 ± 5)	(199 ± 46)	(116521 ± 2848)
	s	40	(2274 ± 1298)	(145 ± 2)	(55,3 ± 0,8)	(73 ± 8)	(570 ± 89)	(53237 ± 2325)
	bez	40	(2645 ± 1407)	(158 ± 3)	(41,3 ± 0,4)	(16 ± 2)	(178 ± 26)	(98141 ± 8871)
	s	70	(2477 ± 1065)	(147 ± 3)	(65,2 ± 0,4)	(15 ± 4)	(124 ± 23)	(34531 ± 1642)
	bez	70	(2566 ± 903)	(148 ± 3)	(68,9 ± 0,5)	(9 ± 1)	(88 ± 17)	(76094 ± 3695)
14	s	20	(2068 ± 1185)	(148 ± 3)	(32,3 ± 1,0)	(85 ± 11)	(715 ± 63)	(88043 ± 3618)
	bez	20	(2107 ± 929)	(155 ± 5)	(33,4 ± 0,5)	(55 ± 9)	(501 ± 91)	(106822 ± 4749)
	s	40	(2047 ± 901)	(148 ± 2)	(36,2 ± 1,0)	(14 ± 6)	(132 ± 51)	(75796 ± 3685)
	bez	40	(1965 ± 386)	(148 ± 3)	(48,2 ± 4,1)	(38 ± 6)	(361 ± 33)	(96987 ± 3854)
	s	70	(2038 ± 807)	(148 ± 2)	(72,5 ± 2,3)	(47 ± 2)	(374 ± 9)	(30852 ± 1240)
	bez	70	(2051 ± 936)	(153 ± 2)	(56,4 ± 2,2)	(17 ± 1)	(180 ± 11)	(112285 ± 4140)
20	s	20	(2074 ± 652)	(145 ± 2)	(40,5 ± 0,5)	(70 ± 10)	(587 ± 19)	(67099 ± 1643)
	bez	20	(2048 ± 946)	(145 ± 2)	(32,5 ± 1,0)	(80 ± 16)	(782 ± 69)	(106944 ± 6731)
	s	40	(1759 ± 1037)	(145 ± 1)	(61,6 ± 1,8)	(42 ± 3)	(299 ± 27)	(48129 ± 898)
	bez	40	(2002 ± 641)	(154 ± 2)	(46,5 ± 0,1)	(15 ± 3)	(173 ± 44)	(87013 ± 4494)
	s	70	(1880 ± 818)	(144 ± 1)	(102,3 ± 2,2)	(31 ± 3)	(225 ± 14)	(10089 ± 102)
	bez	70	(1819 ± 847)	(162 ± 1)	(97,2 ± 1,5)	(11 ± 3)	(120 ± 20)	(72741 ± 2478)

**PŘÍLOHA P II: TABULKA VEŠKERÝCH NAMĚŘENÝCH HODNOT
PRO ZVLÁKŇOVACÍ NANO HLAVU**

Nano hlava								
tlak (psi)	kalandr	ρ_s (g/m ²)	d (nm)	WCA (°)	ρ_s (g/m ²)	ε (%)	n_h (%)	flux (l/m ² h)
7	s	20	(2002 ± 1008)	(144 ± 1)	(34,5 ± 0,3)	(39 ± 4)	(408 ± 18)	(88637 ± 3764)
	bez	20	(2082 ± 490)	(151 ± 1)	(29,3 ± 0,2)	(35 ± 6)	(382 ± 45)	(119866 ± 2054)
	s	40	(1777 ± 897)	(145 ± 1)	(42,0 ± 0,8)	(66 ± 9)	(103 ± 7)	(85569 ± 3084)
	bez	40	(1905 ± 777)	(153 ± 1)	(60,8 ± 0,2)	(27 ± 5)	(255 ± 27)	(98560 ± 3037)
	s	70	(1506 ± 673)	(145 ± 1)	(84,2 ± 0,2)	(25 ± 2)	(200 ± 15)	(35528 ± 770)
	bez	70	(1611 ± 913)	(160 ± 2)	(85,1 ± 0,6)	(4 ± 1)	(43 ± 12)	(87209 ± 2436)
14	s	20	(1408 ± 762)	(147 ± 1)	(32,3 ± 0,3)	(41 ± 7)	(365 ± 35)	(49450 ± 894)
	bez	20	(1319 ± 649)	(153 ± 1)	(32,4 ± 0,0)	(58 ± 5)	(550 ± 58)	(89946 ± 4414)
	s	40	(1486 ± 1097)	(147 ± 1)	(52,6 ± 1,2)	(32 ± 5)	(263 ± 59)	(31278 ± 562)
	bez	40	(1487 ± 915)	(155 ± 1)	(57,5 ± 0,3)	(29 ± 1)	(267 ± 7)	(83130 ± 2978)
	s	70	(1351 ± 731)	(148 ± 1)	(81,2 ± 0,3)	(31 ± 2)	(237 ± 9)	(17826 ± 484)
	bez	70	(1306 ± 643)	(153 ± 1)	(86,4 ± 0,2)	(17 ± 1)	(169 ± 9)	(87157 ± 4787)
20	s	20	(977 ± 649)	(156 ± 2)	(33,1 ± 1,0)	(44 ± 7)	(355 ± 18)	(84478 ± 3072)
	bez	20	(1049 ± 698)	(152 ± 1)	(33,4 ± 0,9)	(36 ± 3)	(349 ± 15)	(120089 ± 7330)
	s	40	(1275 ± 699)	(151 ± 2)	(58,7 ± 3,2)	(35 ± 5)	(282 ± 22)	(43326 ± 1391)
	bez	40	(1210 ± 680)	(154 ± 2)	(51,8 ± 0,1)	(30 ± 1)	(267 ± 4)	(106476 ± 2986)
	s	70	(829 ± 415)	(153 ± 2)	(91,3 ± 0,6)	(29 ± 2)	(206 ± 10)	(16274 ± 250)
	bez	70	(900 ± 511)	(159 ± 2)	(82,7 ± 0,4)	(21 ± 2)	(198 ± 13)	(91805 ± 2242)

**PŘÍLOHA P III: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO
MODIFIKOVANÉ NT**

40 g/m ² , kalandr	tlak (psi)	Modifikace	Nano hlava		Mikro hlava	
			flux (l/m ² h)	m _{Ag} (mg)	flux (l/m ² h)	m _{Ag} (mg)
7		Ag	(35427 ± 7452)	0,0013	(58232 ± 1458)	0,0015
		Plasma + Ag	(69206 ± 3856)	0,0181	(67881 ± 289)	0,0061
14		Ag	(36333 ± 2432)	0,0017	(57905 ± 959)	0,0016
		Plasma + Ag	(36652 ± 1199)	0,0051	(69521 ± 3907)	0,0089
20		Ag	(44616 ± 5813)	0,0017	(65312 ± 938)	0,0075
		Plasma + Ag	(64974 ± 16826)	0,0133	(69225 ± 2516)	0,0072