

Vliv morfologie bikomponentních vláken na užité vlastnosti netkaných textilií

Bc. Kristýna Hejduková

Diplomová práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Kristýna Hejduková
Osobní číslo:	T19486
Studijní program:	N0722A130001 Inženýrství polymerů
Studijní obor:	Inženýrství polymerů
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vliv morfologie bikomponentních vláken na užité vlastnosti netkaných textilií

Zásady pro vypracování

Diplomová práce je zaměřena na charakterizaci produktů ve formě vlákněných struktur připravených technologií zvláknění z taveniny. Pozornost bude věnována především přípravě bikomponentních vláken v různých konfiguracích (např. jádro-obaľ, strana-strana, aj.). Cílem teoretické části je zpracování literární rešerše na dané téma. V experimentální části bude hodnocen vliv podélné morfologie bikomponentních vláken na strukturní, mechanické a filtrační vlastnosti připravených netkaných textilií.

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

Seznam doporučené literatury:

- HUTTEN, Irwin M., ed. Handbook of Nonwoven Filter Media. 2. vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. ISBN 978-0-08-098301-1.
- DAS, Dipayan a Behnam POURDEYHIMI, ed. Composite Nonwoven Materials. Oxford: Woodhead Publishing, 2014. ISBN 978-0-85709-770-5.
- RUSSELL, Stephen. Handbook of nonwovens. UK: Woodhead Publishing, 2007. ISBN 978-1-85573-603-0.
- KŘEMENÁKOVÁ, Dana, Jiří MILITKÝ a Jaroslav ŠESTÁK, ed. Vlákněné struktury pro speciální aplikace. 1. vyd. Kanina: OPS, 2013. ISBN 978-80-87269-32-9.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavlína Holčápková, Ph.D.**
Centrum polymerních systémů

Datum zadání diplomové práce: **1. února 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na charakterizaci vlákněných struktur připravených technologií zvlákňování z taveniny – spunbond. Pozornost je věnována přípravě bikomponentních vláken a netkaných textilií v konfiguracích „jádro/obal“, „ostrovy v moři“ a „segmentový koláč“. Teoretická část je literární rešerší se zaměřením na bikomponentní vlákna, netkané textilie a jejich výrobu technologií spunbond. V experimentální části je hodnocen vliv podélné morfologie bikomponentních vláken na strukturní a mechanické vlastnosti bikomponentních vláken a netkaných textilií.

Klíčová slova: bikomponentní vlákna, netkaná textilie, technologie spunbond, plášť/jádro, segmentový koláč, ostrovy v moři

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the characterization of fibrous structures prepared by melt spinning technology – spunbond. Attention is paid to the preparation of bicomponent fibers and nonwovens in „sheath/core“, „islands in the sea“ and „segment pie“ configurations. The theoretical part is a literature research focusing on bicomponent fibers, nonwovens and their production using spunbond technology. The experimental part evaluates the influencing of the overall morphology of bicomponent fibers on the structural and mechanical properties of bicomponent fibers and nonwovens.

Keywords: bicomponent fibers, nonwovens, spunbond technology, sheath/core, segment pie, islands in the sea

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Pavlíně Holčapkové Ph.D, za cenné rady, odborné vedení a vynaložený čas při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji Ing. Romanu Kolaříkovi Ph.D za odborné rady a významnou pomoc při realizaci praktické části.

Velké poděkování patří mé rodině a přátelům za podporu během studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 NETKANÉ TEXTILIE	11
1.1 HISTORIE NETKANÝCH TEXTILÍ	12
1.2 VLASTNOSTI NETKANÝCH TEXTILÍ	12
1.3 VYUŽITÍ A APLIKACE NETKANÝCH TEXTILÍ	13
1.3.1 Netkané textilie v oděvním průmyslu	13
1.3.2 Netkané textilie v medicíně a zdravotnictví.....	14
1.3.3 Netkané textilie v průmyslu a zemědělství	14
1.3.4 Netkané textilie jako filtrační média	15
1.4 PŘÍPRAVA NETKANÝCH TEXTILÍ	16
1.4.1 Technologie spunbond	17
1.4.2 Technologie melt-blown	20
1.4.3 Srovnání technologií spunbond a melt-blown.....	21
2 VLÁKENNÉ STRUKTURY	23
2.1 MONOKOMPONENTNÍ VLÁKNA	23
2.2 BIKOMPONENTNÍ VLÁKNA	23
2.2.1 Konfigurace strana/strana (S/S)	27
2.2.2 Konfigurace jádro/plášť (C/S).....	27
2.2.3 Konfigurace segmentový koláč.....	29
2.2.4 Konfigurace ostrovy v moři (I/S)	30
3 MATERIÁLY PRO ZVLÁKŇOVÁNÍ Z TAVENINY	32
3.1 POLYPROPYLEN (PP).....	32
3.2 POLYETHYLEN (PE)	34
3.2.1 Nízkohustotní PE (LDPE).....	35
3.2.2 Lineární nízkohustotní PE (LLDPE).....	36
3.2.3 Vysokohustotní PE (HDPE).....	37
3.3 KYSELINA POLYMLÉČNÁ (PLA)	37
4 VYBRANÉ METODY PRO CHARAKTERIZACI NT	40
4.1 OPTICKÁ MIKROSKOPIE	40
4.2 SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE (SEM).....	41
4.3 ZKOUŠKA PEVNOSTI V TAHU	42
4.4 STANOVENÍ PRODYŠNOSTI.....	44
4.5 STANOVENÍ SMÁČIVOSTI	44

II PRAKTICKÁ ČÁST	46
5 PŘÍPRAVA VLÁKENNÝCH STRUKTUR	47
5.1 POUŽITÉ MATERIÁLY	47
5.2 VÝROBA VLÁKENNÝCH STRUKTUR.....	47
5.3 CHARAKTERIZACE NEDLOUŽENÝCH VLÁKEN	50
5.3.1 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)	50
5.3.2 Optická mikroskopie	51
5.3.3 Tahová zkouška.....	51
5.4 CHARAKTERIZACE NETKANÝCH TEXTILÍ	52
5.4.1 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)	52
5.4.2 Tahová zkouška.....	53
5.4.3 Prodyšnost	54
5.4.4 Smáčivost	55
6 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ	56
6.1 STRUKTURNÍ VLASTNOSTI VLÁKEN	56
6.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI VLÁKEN	61
6.3 STRUKTURNÍ VLASTNOSTI NETKANÝCH TEXTILÍ.....	64
6.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI NETKANÝCH TEXTILÍ	66
6.5 HODNOCENÍ PRODYŠNOSTI NETKANÝCH TEXTILÍ	70
6.6 HODNOCENÍ SMÁČIVOSTI NETKANÝCH TEXTILÍ.....	72
ZÁVĚR	75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	77
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	85
SEZNAM OBRÁZKŮ	87
SEZNAM TABULEK	90

ÚVOD

Výroba netkaných textilií je vysoce rozvíjející se průmyslové odvětví. V dnešní době se k výrobě vlákněných struktur využívá zvlákňování z taveniny, především technologiemi spunbond či melt-blown. Technologií spunbond lze vyrobit netkané textilie o vysoké pevnosti v tahu a vysoké prodyšnosti, které nachází uplatnění v celé řadě průmyslových aplikací. [1][2]

V poslední době je vývoj v oblasti netkaných textilií směřován často k produkci bikomponentních vláken, což jsou vlákna složená ze dvou polymerů odlišné chemické nebo fyzikální struktury tvořící vzájemně spojené samostatné fáze. Hlavním cílem bikomponentního zvlákňování je vytvořit vlákna, která budou mít významně lepší mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti než monokomponentní vlákna vyrobená z jednotlivých materiálů, a rozšířit tak jejich aplikační potenciál.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na charakterizaci a výrobu bikomponentních vláken a netkaných textilií metodou zvlákňování z taveniny technologií spunbond. Blíže popsány jsou jednotlivé nejčastěji využívané konfigurace vláken s výhodami i úskalími jejich použití, polymerní materiály perspektivní pro proces zvlákňování z taveniny a vybrané metody charakterizace netkaných textilií. Praktická část se zabývá hodnocením vlivu tří konfigurací bikomponentních vláken (jádro/obal, ostrovy v moři a segmentový koláč) na jejich strukturní a mechanické vlastnosti, stejně jako prodyšnost a vybrané povrchové vlastnosti netkaných textilií.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NETKANÉ TEXTILIE

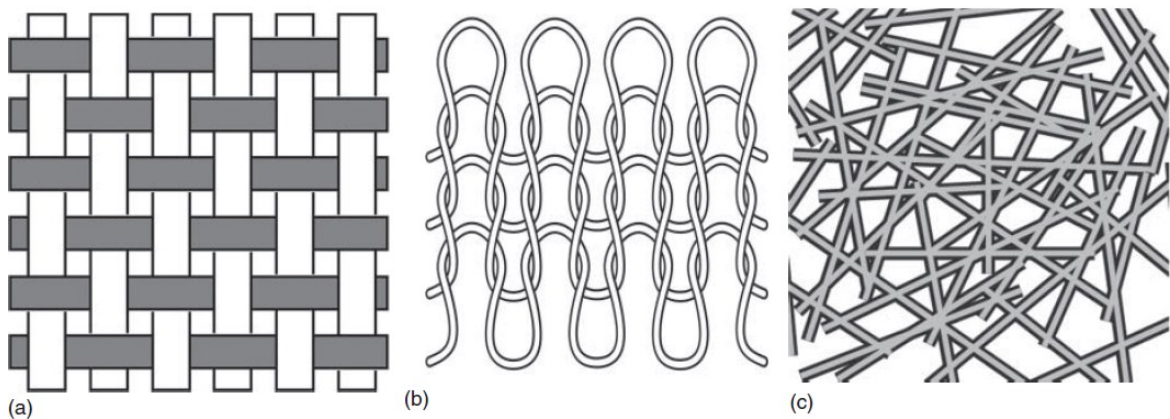
Netkané textilie (NT) zahrnují nepřeborné množství výrobků získaných nejrůznějšími technologiemi, které nachází uplatnění prakticky v každém odvětví průmyslu a jejich každoroční spotřeba a aplikační potenciál se neustále zvyšuje.

Pojem „netkaná textilie“ se vztahuje na textilie, které jsou zhotovené vzájemným spojením jednosměrně či náhodně orientovaných vláken, aniž by došlo ke sprádání příze či pletení. Takové netkané textilie klasifikujeme jako „prosté“. Dále je můžeme kombinovat s plošnými útvary jako jsou například tkaniny, fólie nebo papír, takové struktury se pak označují jako „kombinované netkané textilie“. [3]

Přesná definice netkané textilie (NT) je definována normou ČSN EN ISO 9092 – Netkané textilie – Definice, dle níž jsou netkané textilie popsány jako struktury textilních materiálů (např. vlákna, nekonečná vlákna nebo sekané příze) jakéhokoli druhu či původu, které byly jakýmkoli způsobem tvarovány do pásů a jakýmkoli způsobem spojeny dohromady, s výjimkou propletení přízí tak, že struktura vytvoří pletenou tkaninu anebo všívanou tkaninu. [4]

V současné době existují na světě dvě přední sdružení výrobců netkaných textilií, a to EDANA (Evropská asociace jednorázových a netkaných textilií) a INDA (Severoamerická asociace průmyslu netkaných textilií). Ačkoli EDANA přijala definici netkané textilie danou ČSN EN ISO 9092, INDA dává přednost definici NT, která přesně určuje, jakým způsobem se provádí pojení vláken. Podle tohoto sdružení jsou netkané textilie definovány jako vláknenné struktury spojené dohromady zapletením vláken mechanicky, tepelně nebo chemicky. Obě sdružení vylučují ve svých definicích jakékoli tkaniny, které jsou vyrobeny tkaním anebo pletením. [5]

Hlavní rozdíl mezi tkanou a netkanou textilií je především v jejich struktuře. Zatímco tkanina je tvořena vzájemným propletením osnovních (podélných) a útkových (příčných) přízí a její struktura je tudíž pravidelná, netkané textilie se vyznačují tím, že postrádají vnitřní strukturu, která by byla závislá na prokládání vláken a vzniká pouze jejich vrstvením. [6]



Obrázek 1: Znárodnění rozdílných struktur a) tkané textilie, b) pletené textilie, c) netkané textilie [6]

1.1 Historie netkaných textilií

Z historického hlediska lze za nejstarší netkanou textilií považovat plst' vyrobenou ze zvířecích srstí, o níž najdeme zmínky již v Sumerské říši. Nejstarší technologií výroby NT je technologie vpichování, kterou byla již od počátku 19. století právě plst' zpracovávána. Tato technologie byla dále postupně rozšířena ke zpracování podřadných a odpadních materiálů z výroby, především lýkových vláken, až postupem času, po roce 1945, došlo ke zpracování i jiných textilních materiálů. [3] [7]

Začátky průmyslové výroby NT byly spojeny se snahou nahradit jimi textilie v méně náročných aplikacích a také zavést ekonomicky přijatelnější metody, než je poměrně komplikovaný postup výroby nití s následným pletením či tkaním. Teprve v 60. letech 20. století postupně došlo k výrobě NT ze zcela nových syntetických materiálů, které propůjčily netkaným textiliím specifické vlastnosti jako jsou zvukové a tepelné izolační schopnosti, filtrační účinky nebo hygienické vlastnosti, a tím se obor netkaných textilií stal jedním z nejrychleji se rozvíjejících odvětví textilního průmyslu a jejich význam na trhu dodnes stoupá i díky vývoji specializovaných strojních zařízení. [3] [7]

1.2 Vlastnosti netkaných textilií

Netkané textilie mohou být vyráběny mnoha různými technologiemi či procesy a při jejich výrobě lze kombinovat nepřeberné množství různých druhů materiálů a ovlivnit tak jejich mechanické, strukturní, filtrační a případně další specifické vlastnosti.

Mezi obecnou charakteristiku NT patří náhodná orientace vláken, neprůhlednost a vlákna vykazují velký měrný povrch s hladkým povrchem. V závislosti na použité technologii a vhodně zvoleném materiálu lze připravit NZ o vysoké pevnosti, pružnosti, jemnosti, odolnosti vůči roztřepení, zmačkání a otěru s dobrými absorpčními schopnostmi, či přidanou hodnotou v podobě antibakteriální modifikace, bio-rozložitelnosti atd. [2] [8]

Mezi charakteristické veličiny definující vyrobenou NT patří stanovení plošné hmotnosti. Plošná hmotnost neboli gramáž, udává hmotnost systému na specifickou plochu. Základní plošná hmotnost NT se může pohybovat v širokém rozmezí od 5–800 g/m², nejčastěji však od 10–200 g/m². Tloušťka NT pak bývá v rozmezí hodnot od 0,1–4 mm, přičemž upřednostňovaný rozsah je v rozmezí 0,2–1,5 mm. [8]

Dalším významným parametrem u NT je jednotka dtex, kterou je vyjadřována jemnost vláken. Tato jednotka charakterizuje hmotnost vláken v gramech na 10 tisíc metrů. Lineární hmotnosti nejběžnější vlákenné struktury se pohybují v rozmezí od 1,3 do 20 dtex, zatímco nejjemnější vlákna (mikrovlákna) dosahují hodnot 0,5 dtex a naopak velmi hrubá až 200 dtex. [2] [9]

1.3 Využití a aplikace netkaných textilií

Tvorba netkaných textilií je vysoce se rozvíjející technologií pro výrobu levného textilního materiálu pro různé účely. Nejčastěji se využívají pro výrobu oděvů, bytového textilu, ale také pro dekorativní či technické aplikace, kde je lze využít jako polotovary pro netextilní výrobu nebo v montážních aplikacích, např. jako filtry. Tyto produkty jsou na trhu k dispozici v různých velikostech a tvarech podle účelu použití a požadavků zákazníků. [1]

1.3.1 Netkané textilie v oděvním průmyslu

Netkané textilie mohou oproti tradičním látkám používaných v módním průmyslu nabídnou řadu výhod. Co se výroby týče, jedná se o levnější a efektivnější procesy, protože je látka vyráběna přímo z vláken, čím se zabrání nákladné a zdlouhavé výrobě příze. Díky svým vlastnostem jako jsou např. odolnost vůči roztržení a koncentrace napětí, tvarová stálost, nízká hmotnost či dobrá prostupnost pro plyny a páry, se NT využívají jako podšívky pro fixaci a vyztužení oděvů pro každodenní nošení či se používají jako součást sportovního oblečení. Takové NT jsou povrchově upraveny, aby se zlepšily třecí vlastnosti pro lepší přilnavost mezi vnitřní a vnější látkou, mezi nimiž je NT umístěna za účelem zlepšení např. tepelné izolace díky její pórovitosti. Další využití v textilním průmyslu nacházejí v oblasti

obuvnictví, kde je najdeme jako výztuže atletické obuvi nebo sandálů, podšívky vnitřních podrážek nebo jsou zakomponovány v taškách a batozích. [1] [10] [11]

1.3.2 Netkané textilie v medicíně a zdravotnictví

Využití netkaných textilií v lékařské sféře sahá až do doby druhé světové války, kdy vznikla potřeba vyvíjet a vyrábět nové zdravotnické prostředky ve velkém objemu. Klíčové faktory pro rozvoj NT v lékařství jsou jejich vynikající absorpční vlastnosti a schopnost zadržení velkého množství tekutiny na jednotku hmotnosti materiálu, bariérové vlastnosti a nízké náklady na výrobu. Většina NT se používá jako jednorázové výrobky, které nevyžadují sterilizaci ani čištění pro opětovné využití. Výrobky z NT v lékařském sektoru zahrnují zejména chirurgické pláště, čepice, roušky, vybavení operačních sálů a nemocničních pokojů (chirurgické závěsy, podložky, ložní prádlo), dále se jedná o neimplantovatelné lékařské obvazy, tampony či stehy a také implantovatelné lékařské výrobky včetně podpůrných materiálů pro regeneraci tkání a ortopedické struktury, tzv. scaffoldů. [12] [13] [14] [15]

Netkané textilie se rovněž ve velké míře používají v oblasti hygieny, kde se dbá především na vynikající absorpci, měkkost, pevnost či prodyšnost. Výrobky můžeme klasifikovat jako výrobky pro péči o děti zahrnující dětské pleny a ubrousky, dále dámské hygienické výrobky (hygienické vložky, kalhotky) a třetí skupinou jsou inkontinenční výrobky, kam řadíme pleny pro dospělé či jednorázové spodní prádlo. [15] [16]



Obrázek 2: Využití netkaných textilií v oblasti medicíny [13]

1.3.3 Netkané textilie v průmyslu a zemědělství

Skupina technických textilií je velmi široká. Velkému významu se NT těší zejména v automobilovém průmyslu. Z netkaných textilií se v dnešní době vyrábí více než 40 automobilových dílů které nachází uplatnění díky vysoké stabilitě a mechanické odolnosti, nízké hmotnosti, vynikající odolnosti vůči pronikání vody, palivům, ale také

extrémním teplotám. NT jsou všestranně využívány např. v interiéru automobilů (čalounění stropu, dveří a sedadel) a v motorovém prostoru slouží jako filtry či vložky podběhů kol kvůli snížení hlučnosti pneumatik. [13] [17] [18]

Pro pěstitelské aplikace se hojně využívají netkané agrotextilie, jakožto inovativní produkty se speciálními vlastnostmi jako je propustnost pro vodu, světlo a vzduch, dále jako ochrana proti mrazu a větru, zabránění prorůstání plevelu, či proti hmyzu a jiných škůdců na rostlinách. Dále jsou NT využívány jako pokrývky plodin a rostlin, vaky na ochranu kořenů, biologicky odbouratelné květináče či kompostovatelné NT pro víceleté mulčování. [19]



Obrázek 3: Využití netkaných textilií v automobilovém průmyslu a zemědělství [13] [19]

1.3.4 Netkané textilie jako filtrační média

Filtrační médium je jakýkoli materiál, který za provozních podmínek filtru propouští jednu nebo více složek směsi, roztoku nebo suspenze a pro ostatní složky je nepropustný. Filtry jsou konstruovány s filtračním médiem, kterým může být papír či tkaná nebo netkaná textilie. NT má oproti ostatním materiálům lepší propustnost, účinnost filtrace, větší specifický povrch a také lze řídit velikost pórů dle požadavků dané aplikace. [20]

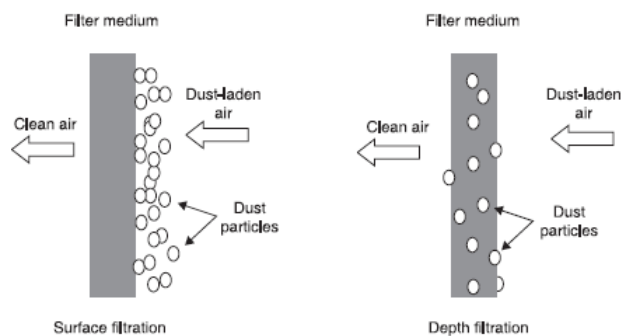
Proudem tekutiny, kterou bude filtrace probíhat, může být buď kapalina nebo plyn. V případě plynových filtrů je nejčastější filtrační kapalinou vzduch. Filtraci a čištění vzduchu je vyžadováno především v domácnostech, nemocnicích, komerčních budovách a ve stovkách průmyslových odvětví. Mezi produkty vzduchové filtrace patří filtry vzduchu v automobilech, filtry v čistých prostorech, laboratorních digestořích a klimatizačních systémech. Dále se využívají k osobní ochraně jako obličejové masky a respirátory. Druhou skupinou jsou filtry pro jiné plyny než vzduch, například zemní plyn a propan. Potřeba ne-vzduchových filtrů je ale ve srovnání s těmi vzduchovými zanedbatelná. [21]

Filtrace kapalin může být rozdělena na dvě kategorie – filtrace vodných kapalin a filtrace uhlovodíkových kapalin. První kategorie zahrnuje např. filtraci pitné vody, nápojů, úpravny a čistírny odpadních vod, bazénové filtry nebo třeba farmaceutické aplikace. Mezi

uhlovodíkové filtrační kapaliny patří paliva, maziva motorů či chladící kapaliny, využití tedy nachází především v průmyslových aplikacích a automobilovém průmyslu. [21] [22]

Filtraci můžeme dle jejího mechanismu klasifikovat do dvou kategorií – povrchová filtrace a hloubková filtrace. Povrchová filtrace je založena na zachycení větších částic, než je velikost pórů na povrchu filtru. V tomto procesu vzniká filtrační koláč, což je seskupení zachycených částic na povrchu filtru. Tento typ filtrace není vhodný pro filtry z netkaných textilií. Hloubkovou filtrací se rozumí silnější médium nebo více vrstev média, které slouží k postupnému zadržování částic. Větší částice se zadržují na povrchu, zatímco jemné částice postupně prochází přes filtr a zachytávají se v různých hloubkách dle své velikosti a velikosti pórů filtru. [21]

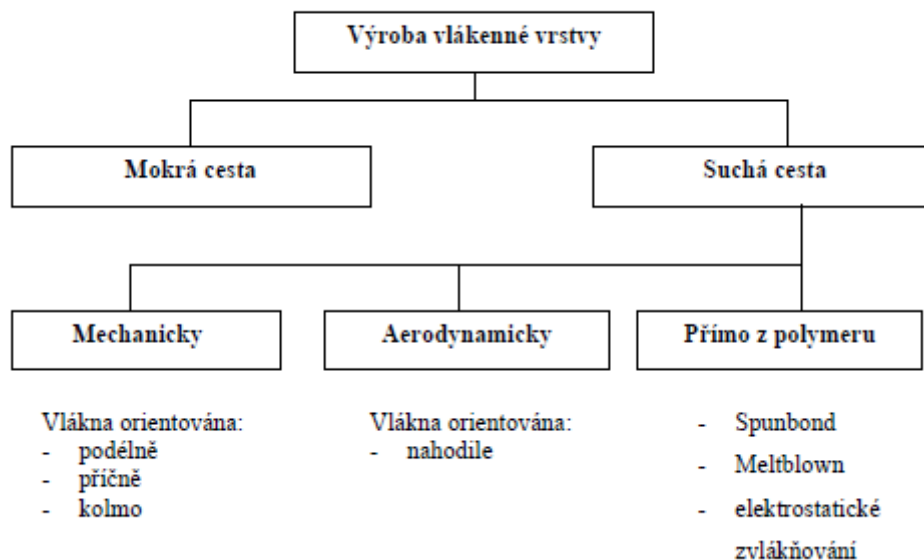
Na obrázku jsou znázorněny principy povrchové a hloubkové vzduchové filtrace.



Obrázek 4: Schématické zobrazení povrchové a hloubkové filtrace [21]

1.4 Příprava netkaných textilií

Netkané textilie jsou vyrobeny procesem zvláknování dlužených vláken, která jsou ukládána na pás a následně jsou zpevněna termicky, chemicky, nebo mechanicky. Výrobu lze rozdělit na suchou a mokrou cestu. Mokrý způsob je založen na rozpouštění polymeru v netěkavém rozpouštědle, které je následně vymyto v kapalně fázi. Vláknina je poté vysrážena a navíjena. V případě suché cesty můžeme mít tři hlavní způsoby výroby NT – výrobu mechanickou, aerodynamickou a výrobu přímo z polymeru. [2] [23]



Obrázek 5: Schématické zobrazení základních metod výroby vláknenných struktur [2]

V této kapitole bude blíže diskutována poslední z možností, tedy výroba přímo z polymerní taveniny, což je světově nejrozšířenější způsob výroby NT, protože zaujímají až 50 % světové produkce NT.

1.4.1 Technologie spunbond

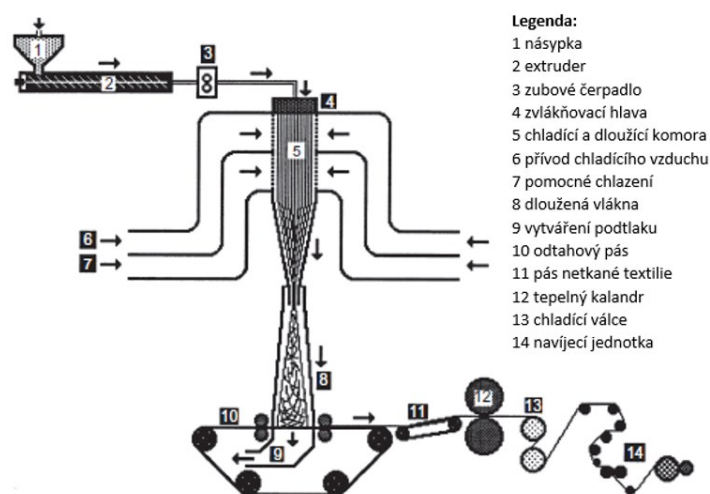
Historie technologie spunbond sahá do 50. let 20. století, kdy byla vyvinuta současně v Evropě a Spojených státech, ale její potenciál pro komerční aplikace byl uznán až v 60. letech. V současné době význam této technologie neustále roste a zaujímá tak největší podíl mezi všemi dostupnými technologiemi pro výrobu NT. [8]

Technologií spunbond lze vyrobit netkané textilie o vysoké pevnosti v tahu, jemným povrchem a vysokou prodyšností. Metoda je schopna vytvořit vlákno o průměru přibližně 15–35 mikrometrů. Spunbondové netkané textilie pak mohou být vyráběny v různých plošných hmotnostech od 10 do 800 g/m². Pro výrobu spunbond vláken se využívají především materiály s vysokou molekulovou hmotností a širokou distribucí molekulových hmotností jako je PP, PE nebo PET. [2] [8]

Primárním faktorem v technologii spunbondu je kontrola čtyř operací: vytlačování vláken, dloužení, ukládání na pás a jejich pojení. [2]

Výrobní proces je složen z několika následujících kroků:

- plnění a dávkování polymerního granulátu do extruderu
- tavení polymeru a filtrace polymerní taveniny
- zvlákňování za pomoci zvlákňovacích trysek
- odtah od zvlákňovací hubice a dloužení vláken
- ukládání vláken na pohybující se dopravník
- zpevňování vláknenné struktury
- navíjení

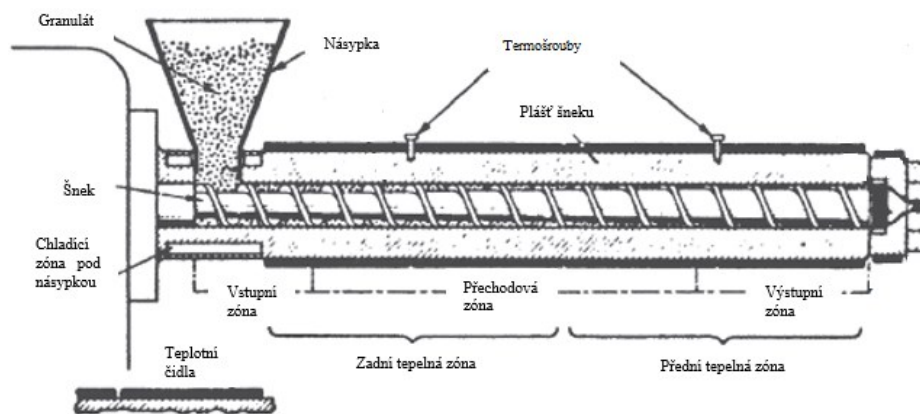


Obrázek 6: Schéma zvlákňovací linky pro technologii spunbond [24]

Prvním krokem technologie spunbond je příprava polymeru, která zahrnuje dostatečné vysušení polymerních pelet nebo granulí a adekvátní přidání stabilizátorů a dalších přísad. Takto připravený granulát je nasypán do násypky, odkud je kontinuálně dávkován do vyhřátého extruderu, v němž rotuje šnek, který dopředným pohybem posouvá granulát směrem k vytlačovací hlavě a zároveň ho homogenizuje a taví vlivem zahřívání, mechanického působení mezi šnekem a válcem a viskózního toku. K přípravě polymerní

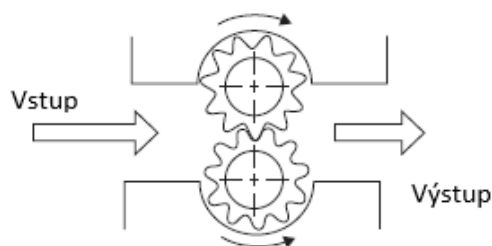
taveniny lze také využít dvoušnekový vytlačovací stroj s evakuační zónou, která slouží k odvádění vlhkosti v případě, že polymerní materiál nebude dobře vysušený. V průběhu tavení jsou teplota a tlak kontrolovány teplotními a tlakovými čidly. [8] [25] [26]

Z extrudéru tavenina putuje k filtračnímu zařízení, jehož funkcí je oddělit taveninu od nečistot, neroztaveného polymerního materiálu nebo jiných pevných částic a následně je dopravena k zubovému čerpadlu. [25]



Obrázek 7: Schématické zobrazení extrudéru [24]

Zubové, nebo také dávkovací čerpadlo, které obvykle sestává z dvou protiběžných ozubených kol, zajišťuje konzistentní objemový průtok polymerní směsi při změnách viskozity, tlaku a teploty v průběhu procesu a také zajišťuje kontinuální přímočaré dávkování taveniny do vytlačovací hlavy. K posunu taveniny ke zvláknovací hlavě dojde vlivem naplnění zubových mezer ozubeného kola na sací straně čerpadla a přenesením taveniny k ústí čerpadla. [8] [24] [27]



Obrázek 8: Schématické zobrazení zubového čerpadla [24]

Následně se polymerní tavenina protlačí do zvlákňovací hlavy, kde hrají klíčovou roli dvě její části. Jde o přívodovou distribuční část polymerního materiálu a samotnou zvlákňovací trysku. Distribuční část je velmi důležitý prvek, který zajišťuje rovnoměrný tok polymeru směrem k tryskám. [24]

Odtud je tavenina přivedena přímo do zvlákňovací trysky, která je složena například z mnoha velmi tenkých desek, v nichž jsou vyvrtány otvory, které mohou mít buď kruhový nebo méně častěji i obdélníkový tvar. [24] [26] [27]

Protlačení taveniny skrz zvlákňovací trysku se vytváří vlákna, která jsou vedena skrz chladicí komoru, která se dělí na dvě části. V první (primární) zóně jsou vlákna chlazená na teplotu nižší, než je teplota tání polymeru, a to buď okolním vzduchem nebo vzduchem o přesně definované teplotě, což napomáhá správné orientaci vlákna a zvýšení jeho pevnosti. Níže je pak zóna, v níž jsou vlákna unášena rychle proudícím vzduchem ve směru toku vláken, čímž dochází k jejich dloužení. [24] [27]

Dloužená vlákna jsou poté ukládána na pohyblivý pás. V některých procesech je nutné, aby vlákna byla od sebe oddělena např. za pomoci elektrostatického náboje nebo mechanické síly, aby se napomohlo vytvoření co nejrovnoměrnější vlákenné struktury. Pás bývá perforovaný, kde je ze spodní strany odsáván vzduch k vytvoření vakua z důvodu udržení vláken na páse, a tím vytvoření požadované struktury. [24] [27] [28]

V posledním procesním kroku je kontinuální pás vlákenné struktury dopraven do spojovací sekce výrobní linky, čímž dochází k výrobě netkané textilie. K tomu účelu může být použita tepelná, chemická nebo mechanická metoda pojení vláken. Nejběžnější metodou je tepelná neboli termická metoda pojení, kdy vlákenná struktura prochází skrze kalandr tvořený dvěma vyhřívanými válci, z nichž jeden je perforovaný (vrchní válec) a druhý má hladký povrch (spodní válec). Následně je vyrobená netkaná textilie navíjena na dutinky. [24] [27] [28]

1.4.2 Technologie melt-blown

Netkané textilie vyrobené technologií melt-blown jsou připraveny rozfukováním polymerní taveniny, jak již napovídá složení názvu z anglického „melt“ – tavit a „blown“ – foukat. Technologie melt-blown je velmi podobná technologii spunbond s hlavním rozdílem v použití horkého vzduchu, který je vyfukován při daném tlaku a vysoké rychlosti 100–500 m/s, čímž dochází ke strhávání taveniny, jejímu dloužení, ochlazení a formování tak velmi jemných polymerních vláken.

Touto metodou jsou typicky vyráběna mikrovlákná o průměru 1–5 μm , procesem lze ale vyrobit i mnohem jemnější vlákna (0,1 μm). Jemnost vláken lze silně ovlivnit snížením viskozity taveniny, vyšší teplotou vzduchu či vyšším dávkováním vzduchu a nižším dávkováním polymeru. Plošná hmotnost se velmi snadno reguluje poměrem dávkování polymeru a navíjecí rychlosti. Typické plošné hmotnosti se pohybují v rozmezí 10–500 g/m^2 . Díky těmto vlastnostem mají tkaniny vynikající filtrační a tepelně izolační vlastnosti, ale obecně nízkou pevnost a nízkou odolnost vůči ohybu a oděru v porovnání s netkanými textiliemi vyrobené metodou spunbond. [29] [30]

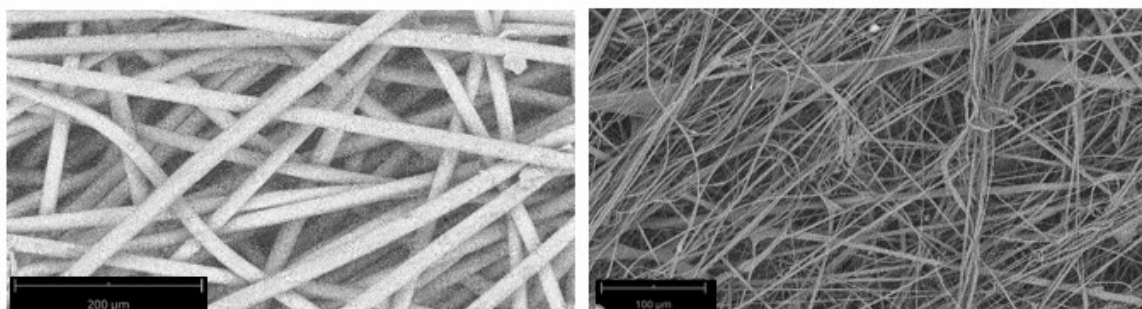
Nejběžnější využití netkaných textilií vyrobené metodou melt-blown nachází uplatnění lékařském odvětví při konstrukci ochranných chirurgických oděvů, roušek a respirátorů, dále oděvů pro čisté prostory či jako filtrační materiály pro plyny a kapaliny. Neméně důležité je jejich využití v hygienickém odvětví, kde se mohou dle povrchové úpravy chovat jako savé či bariérové materiály, čehož se využívá pro výrobu dámských hygienických vložek či dětských plen. [15] [31] [32]

1.4.3 Srovnání technologií spunbond a melt-blown

Klíčový rozdíl mezi procesem spunbond a meltblown je v metodě dloužení vláken. V procesu melt-blown je vlákno ihned po vyvedení ze zvláknovací trysky vedeno do velkého objemu horkého vzduchu, které vlákno nadlouží a utrhne, výsledkem jsou tedy vlákna o konečné délce, zatímco v metodě spunbond jsou vlákna vedena do malého objemu vzduchu a mírnějších teplotách a výsledná vlákna jsou nekonečná. Výhodou je i fakt, že na rozdíl od melt-blown vláken, spunbond vlákna mohou zůstat částečně či zcela nedloužená. Další rozdíl je v jemnosti a struktuře vláken. Melt-blown vlákna mají nepravidelný tvar, délku, průměr a průřez, také jsou velmi jemná (1–5 μm), tím pádem i výsledná netkaná textilie je měkčí, tenčí, na druhou stranu také méně pevná a vyznačuje se větším měrným povrchem a menší velikostí pórů, což zlepšuje filtrační účinnost, zatímco spunbond vlákna mají průměr 15–30 μm , jsou pevnější a mají zlepšené mechanické vlastnosti. [2] [8] [24]

Tabulka 1: Srovnání spunbond a melt-blown netkaných textilií [2] [8]

Fyzikální veličiny	Spunbond	Melt-blown
Plošná hmotnost [g/m ²]	10 – 800	5 – 500
Průměr vláken [μm]	15 – 35	1 – 5
Jemnost vláken [dtex]	2 – 50	0,01 – 20
Pevnost NT	vysoká	nízká
Filtrační vlastnosti	průměrné	vynikající



Obrázek 9: Rozdílné struktury NT připravené metodou spunbond (vlevo) a melt-blown (vpravo)

2 VLÁKENNÉ STRUKTURY

Vlákno je Textilním institutem definováno jako pružný a jemný materiál s vysokým poměrem délky k tloušťce. Při výrobě netkaných textilií lze využít široké škály různých druhů materiálů, ať už přírodních nebo syntetických. Vzhledem k zaměření práce budou blíže popsány vlákenné struktury připravené zvlákňováním z polymerní taveniny. [33]

Vlákenné struktury můžeme v závislosti na jejich složení rozlišit na dva základní typy vláken podle toho, zda jsou tvořeny jedním druhem materiálu nebo kombinací dvou a více materiálů na monokomponentní a bikomponentní (případně multifilamentní).

2.1 Monokomponentní vlákna

Obecně lze pro výrobu vláken lze použít polymerní materiál s dostatečně velkou molekulovou hmotností, prostorově pravidelnou strukturou umožňující částečnou krystalizaci a vznik vlákenné struktury a v neposlední řadě dostatečnou tuhost a schopnost se tavit. [34]

Nejčastěji používanými syntetickými materiály pro výrobu netkaných textilií zvlákňováním z taveniny jsou lineární polyolefiny (polypropylen, polyethylen), polyestery a polyamidy. [35]

2.2 Bikomponentní vlákna

Bikomponentní vlákna jsou složena ze dvou polymerů odlišné chemické (např. složení nebo typ přísad) nebo fyzikální (např. krystalinita, molekulová hmotnost) struktury tvořící vzájemně spojené samostatné fáze. [36] [37]















Polymery jsou zvlákňovány speciálně konstruovanými tryskami zajišťující umístění složek vlákna vedle sebe (obklopením jednoho proudu taveniny jiným proudem taveniny), anebo jako směs s fibrilami uvnitř matrice. Bikomponentní vlákna lze jednoduše klasifikovat na základě jejich struktury například jako dvousložková a vícesložková.

1. Dvousložkové struktury

- Typ S/S (side by side) vzniká spojením dvou proudů taveniny ve zvlákňovací trysce nebo těsně za ní
- Typ C/S (core/sheath) využívá speciální trysky umožňující obklopení jednoho proudu taveniny (tvořící jádro) jiným proudem taveniny (tvořící plášť)

2. Vícesložkové struktury

- Typ M/F (matrix-fibril) neboli bikonstituentní vlákno se vyrábí z taveniny, která vznikla mechanickým mísením dvou tavenin. Velmi často se využívají pro tvorbu mikrovláken či dutých těles. Nejčastější struktury jsou segmentový koláč a ostrovy v moři.
- Následující typy jsou tvořeny vrstvami materiálu, který je oddělen vrstvami jiného polymeru. [36]

Typ	Varianty					
Side-by-Side	 50/50	 20/80	 různé viskozity	 ABA	 Trilobal	 vodivé
Core/Sheath	 50/50	 90/10	 excentrické	 Trilobal	 vodivé	
Matrix/Fibril	ostřivky v moři	 Islands-in-the-sea				
	segmenty	 koláčové segmenty		 více vrstev		

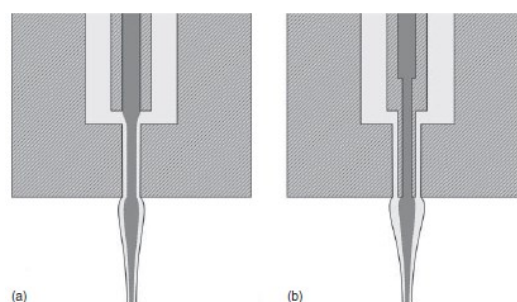
Obrázek 10: Různé struktury bikomponentních vláken [36]

První bikomponentní vlákna vůbec byla vyrobena z kopolymeru PA66 roku 1960 společností DuPont v konfiguraci „strana-strana“. První vlákna v konfiguraci „jádro/obal“ pak byla vyrobena pro aplikace v kobercovém průmyslu společností ICI. Jádro tvořil polymer s vyšší teplotou tání (PA66), který byl obklopen polymerem s nižší teplotou tání

(PA6). Sériová výroba bikomponentních vláken byla zavedena až v roce 1989, kdy byl vyvinut společnostmi Hill Inc. a Enca Inc. nový způsob konstrukce zvlákňovací hlavy prostřednictvím tenkých plochých desek, v nichž byly vyvrtány otvory a drážky, které rozváděly taveninu a jejichž pomocí byla vytvářena jemná vlákna. Tento způsob výroby se ukázal jako velmi efektivní a využívá se dodnes. [37] [38] [39]

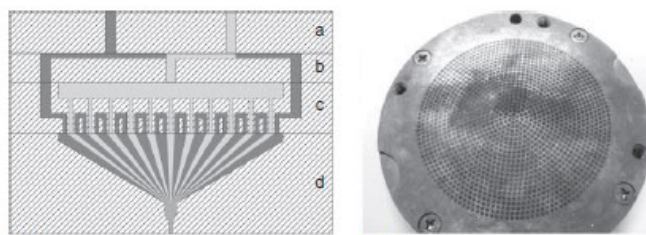
Při výrobě bikomponentních vláken je třeba rozlišovat mezi zvlákňovací hlavou s jedinou tryskou a zvlákňovací hlavou s více tryskami, kdy se dva proudy taveniny setkají až při vytlačení z trysky (viz obr.11). V prvním, zdaleka nejběžnějším, případě se uvnitř zvlákňovací trysky setkají dvě polymerní taveniny. Zajištění laminárního toku zabrání vzájemnému promíchání tavenin. Proces sestrojení zvlákňovací hlavy pro bikomponentní vlákna prošel celou řadou proměn z důvodu nalezení nejvhodnější konfigurace. Jako nejefektivnější konfigurace se jeví typ zvlákňovací hlavy vytvořený z tenkých plochých desek naskládaných na sobě, v nichž jsou vyvrtány kanály. Taveniny z extrudérů vstupují do zvlákňovací hlavy a pomocí kanálů je tavenina obou materiálů rozváděna v jednotlivých patrech vytlačovací hlavy až vznikne jemná struktura vláken. Touto konfigurací lze vyrábět i velmi složité typy vláken, např. „ostrovky v moři“, nebo „segmentový koláč“. [37]

Ve druhém, méně využívaném, typu zvlákňovací hlavy je každý materiál veden z extrudéru samostatně do zvlákňovací hlavy a setkají se až na výstupu z kapiláry. Realizace této geometrie je složitá, ale pomáhá zmenšit rozdíly v reologii materiálů a umožnit přesnou polohu jádra v konfiguraci „plášť/jádro“. [37]



Obrázek 11: Zobrazení různých typů zvlákňovacích hlav a) s jedinou tryskou, b) s více tryskami [37]

Nejdůležitějšími prvky při zvlákňování jsou rozdělovací desky s vyvrtanými kanály, z nichž se zvlákňovací hlava skládá. Obě polymerní taveniny musí být přiváděny rovnoměrně do každého patra zvlákňovací hlavy. Konfigurace „strana/strana“ a „plášť/jádro“ vyžadují poměrně jednoduchou geometrii zvlákňovací hlavy skládající se ze dvou nebo čtyřech desek. Čím více fibril v průřezu vlákna vyžadujeme, tím se geometrie hlavy složitější. [37]



Obrázek 12: Schématické zobrazení zvlákňovací trysky [37]

Hlavním cílem bikomponentního zvlákňování je vytvořit vlákna zvolením vhodných kombinací materiálů, která budou mít významně lepší mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti, než monokomponentní vlákna vyrobená z daných materiálů, a tedy rozšířit jejich aplikační potenciál. V polyolefinových vláknech může například druhý chemicky odlišný polymer zlepšovat mechanické vlastnosti či snižovat tepelné smrštění při zvýšených teplotách. [40]

Důležitým aspektem je povaha mezifázového rozhraní mezi oběma polymery. Obecně je adheze polyolefinů k jiným vláknotvorným polymerním materiálům poměrně nízká, což platí i mezi dvěma různými polyolefiny. Tento problém se častěji vyskytuje u jednodušších konfigurací (např. „strana/strana“) oproti konfiguracím složitějším (např. „ostrovy v moři“). Aby se zabránilo rozdělení vlákna na dvě samostatné polymerní fáze, adheze mezi oběma složkami musí být dostatečně silná, aby vlákno odolalo dalšímu zpracování a následné výrobě produktu. Tento problém se dá překonat zvětšením plochy mezifázového rozhraní, zvolením materiálu s vyšší molekulovou hmotností a flexibilitou řetězců, delší kontaktní dobou nebo teplotou a tlakem proudících tavenin, nebo lze využít chemické modifikace rozhraní použitím kompatibilizačního činidla. [37] [40]

V některých případech ale může být nízká povrchová adheze mezi materiály žádoucím efektem např. u konfigurace „segmentový koláč“. [37]

2.2.1 Konfigurace strana/strana (S/S)

Tato vlákna obsahují dva polymerní materiály, které jsou uloženy vedle sebe, jak je znázorněno na obrázku 13. Komponenty by měly vykazovat velmi dobrou vzájemnou přilnavost, jinak hrozí rozpad na dvě samostatná vlákna o rozdílných vlastnostech. Vlákna obvykle sestávají z polymeru s vysokou teplotou tání, například polyester (PES), a níže tajícího polymeru (např. co-polyester nebo PP). [2]

Při vhodném výběru materiálu se S/S vlákna vyznačují dobrou odolností vůči namáhání v tahu, ale oproti konfiguraci „plášť/obal“ nevykazují tak dobré hodnoty pevnosti. U některých typů S/S vláken dochází k samovolnému zvlnění vlivem tepelného smrštění (tzv. obloučkování), čímž získají vlákna větší jemnost a hebkost. [41]

Velmi často se tato poměrně jednoduchá konfigurace využívá na výrobu oděvů a obuvi, hraček, spacích pytlů nebo čalounění v nábytkářském a automobilovém průmyslu. [42]



Obrázek 13: Konfigurace "strana/strana"

2.2.2 Konfigurace jádro/plášť (C/S)

Bikomponentní konfigurace „jádro/obal“ obsahuje dva polymerní materiály, z nichž jeden (jádro) je obklopen materiálem druhým (obal). Obal je velmi často tvořen materiálem s nízkou teplotou tání a jádro je naopak často tvořeno polymerem s vysokou teplotou tání. [43]

V závislosti na umístění jádra mohou být vlákna buď soustředná, kde je jádro umístěno ve středu vlákna, což mu poskytuje vyšší pevnost, nebo excentrická (jádro je mírně odchýleno od středu), což způsobuje zvlnění vlákna vlivem různých poměrů smršťování obou polymerů. Pro integritu vláken této konfigurace není vzájemná přilnavost materiálů nezbytně nutná. Konfigurace „jádro/obal“ se používá díky schopnosti vytvořit povrch s požadovanými vlastnostmi, jako je dobrá stabilita, lesk nebo barvitelnost. Jádro je pak často

tvořeno pevným materiálem zajišťujícím požadované mechanické vlastnosti, nebo naopak materiálem méně kvalitním pro snížení výrobních nákladů (NT) recykláty. [43] [44] [45]

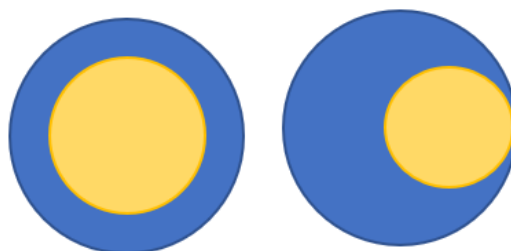
Důležitým parametrem při výrobě je viskozita materiálů. Polymer s vyšší viskozitou by měl vždy tvořit jádro, protože má vyšší tendenci umisťovat se do jádra, zatímco nízko-viskóznější materiál má tendence jádro obtékat. [46]

První komerční aplikace těchto vláken našla uplatnění pro výrobu koberců a čalounických látek. V dnešní době má největší uplatnění na trhu netkaných textilií kombinace vláken PE/PP nebo PE/PET. Tyto kombinace jsou perspektivní vzhledem k možnosti využít tepelného pojení vláken prostřednictvím materiálu v obalu s nízkou teplotou tání (tj. polyethylenu), jehož natavením dojde ke vzájemnému spojení vláken, zatímco jádro zůstává zachováno. NT vyrobené z bikomponentních vláken, obsahující v obalu PE, se vyznačují měkkostí, čehož se využívá při výrobě dětských plen nebo dámských hygienických potřeb. [43] [46] [47] [48]

Modifikací vlákna prostřednictvím cíleně zvoleného materiálu lze připravit vlákna např. se zvýšenou absorpční schopností pro vodu, zlepšení barvitelnosti nebo tepelně-izolačních či voděodolných vlastností (využití při výrobě oděvů).

Nové výzkumy se zabírají využitím této konfigurace v oblasti medicíny a tkáňového inženýrství tak, že plášť je tvořen materiálem se schopností zachovat bioaktivitu zabudované biomolekuly v jádře jakožto léčiva, proteinu nebo růstového faktoru a následně řídit uvolňování těchto látek (využití při výrobě chytrých obvazů či scaffoldů). [49]

V případě komerčního použití bývá poměr polymerních složek nejčastěji 50:50, 20: 80 nebo 30:70.



Obrázek 14: Konfigurace „plášť/jádro“ a „excentrický plášť/jádro“

2.2.3 Konfigurace segmentový koláč

Segmentový koláč je konfigurace vlákna, které je tvořeno střídáním trojúhelníkových segmentů, kdy jsou segmenty polymeru A odděleny segmenty polymeru B. Podobných segmentů může vlákno obsahovat 3, 4, 16, 32 nebo dokonce 64. [37]

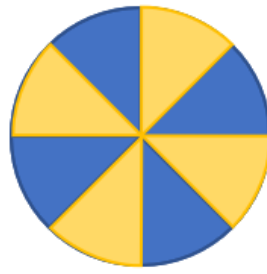
Vlákna v konfiguraci segmentový koláč jsou často vyráběna ze dvou nekompatibilních polymerů, které se vlivem mechanického namáhání rozdělí na jednotlivé segmenty, a tím vznikne velmi jemná struktura vláken o rozměrech mikrometrů. Díky tomu se netkaná textilie vyznačuje měkkostí, vyšší nasákavostí, která je způsobena velkým povrchem a vyššími filtračními účinky. Velikost vláken po rozpadu koláčové struktury závisí na počtu segmentů a počátečním průměru vláken. [50]

Využívanou kombinací materiálů pro konfiguraci segmentový koláč bývá například polyester a polyamid, jež vykazují vzájemně nízkou kompatibilitu.

Výzkumem bikomponentních vláken v konfiguraci segmentový koláč se zabývali také Prahsarn a kol., kteří se věnovali přípravě a charakterizaci bikomponentních vláken v konfiguraci dutý segmentový koláč s materiálovými kombinacemi polylaktid/polypropylen (PLA/PP) a polylaktid/polybutylensukcinát (PLA/PBS) se zaměřením na kompatibilitu daných materiálů. Bylo zjištěno, že PLA/PP vlákna měla v důsledku nekompatibility tendenci ke štěpení na rozdíl od vláken PLA/PBS, u nichž štěpení pozorováno nebylo. [51]

Prahsarn a kol., dále popsali i vlastnosti a štěpení vláken PP/PE. Tato vlákna vykazovala velkou pružnost a díky vysoké hustotě byla přirozeně větru-vzdorná, ale zároveň dostatečně pórovitá, aby byla propustná pro vodní páru. Této skutečnosti se dá využít v oděvním průmyslu pro výrobu funkčního prádla. [52]

Jak již bylo zmíněno, vlákna této konfigurace segmentový koláč jsou velmi jemná a příjemná na dotek, a proto se používají například při výrobě syntetické kůže (šití bot, tašek, čalounění nábytku nebo na výrobu oděvů). Dále se využívají při výrobě jemných ubrousků (např. ubrousky na brýle), které jsou používány ke sbírání jemných částic prachu. [37] [41]



Obrázek 15: Konfigurace "segmentový koláč"

2.2.4 Konfigurace ostrovy v moři (I/S)

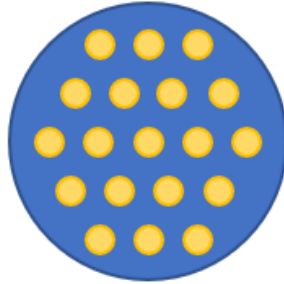
Ostrovy v moři jsou konfigurací vlákna, které je tvořeno maticí jednoho polymeru (tzv. moře), v níž jsou rozptýleny fibrily druhého polymeru (tzv. ostrovy). Matrice může být tvořena řadou rozpustných polymerů, např. polystyrenem (PS), co-polyesterem (coPET) nebo polyvinylalkoholem (PVA), ve vhodných rozpouštědlech. Typickými materiály používaných pro ostrovy jsou polyolefiny (PE, PP...), polyamidy (PA6, PA66), nebo polyestrery (PET). [53]

Vývoj konfigurace „ostrovů v moři“ prošel dlouhým vývojem. V červnu roku 1999 společnost Hills Inc. vyvinula nový způsob konstrukce zvláknovací hlavy, jehož výsledkem byla vlákna obsahující v průřezu 240 ostrovů. V dnešní době se nejčastěji vyrábějí vlákna s 16, 37, 64, 240, 600, 900 nebo dokonce s 1120 ostrovy. Společnost Hills Inc. provádí výzkumy na výrobu ultrajemných bikomponentních vláken, která v průřezu obsahují až 3000 ostrovů. Typický poměr materiálů ve struktuře ostrovů v moři je 20:80 nebo 50:50. [38] [53]

Velký vliv při výrobě I/S vláken hraje viskozita materiálů a rozpustnost materiálů. Polymer tvořící matici by měl mít vyšší viskozitu a měl by být snadněji rozpustný než druhý zvolený polymer. Výběr rozpouštědla závisí na povaze matrice, ale obvykle se využívá jako rozpouštědlo horká voda, hydroxid sodný nebo jiný alkalický roztok. Obecně velikost vláken po odstranění matrice závisí na několika faktorech jako je počáteční průměr vláken a počet ostrovů ve vláknu. I/S vlákna vyrobená metodou spun-bond po vymytí dosahují hodnot přibližně 0,5 μm až 500 nm. [41]

Takto strukturovaná vlákna mají vynikající tahové vlastnosti a poskytují netkaným textiliím jemnost, měkkost, ale zároveň pevnost a odolnost vůči roztržení, čehož se využívá v textilním průmyslu.

Konfigurace S/I obsahující 16 nebo 37 ostrovů se využívá na výrobu jemného semiše a umělé kůže. Netkané textilie z těchto vlákněných konfigurací vykazují vysokou hustotu, pružnost a odolnost vůči povětrnostním podmínkám, čehož se využívá při výrobě sportovních oděvů. NT vyrobené z ultra jemných vláken se využívají jako velmi jemné filtry, protože vykazují vysokou schopnost zachytávat jemné prachové částičky. Uplatnění také nacházejí v průmyslových aplikacích jako leštící utěrky pro laboratorní přístroje. [54]



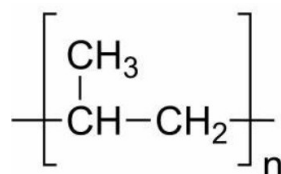
Obrázek 16: Konfigurace "ostrovy v moři"

3 MATERIÁLY PRO ZVLÁKŇOVÁNÍ Z TAVENINY

Pro výrobu netkaných textilií se v praxi využívá nepřeborné množství polymerních materiálů. Co se týče procesu zvlákňování z taveniny, důležitými parametry pro správnou volbu polymerního materiálu jsou dostatečně vysoká tepelná stabilita, optimální molekulová hmotnost zajišťující vysokou pevnost taveniny, úzká distribuce molekulových hmotností vztahující se k zajištění konstantního toku a dostatečně vysoká mobilita polymerních řetězců, se schopností dloužit se a orientovat ve směru produkce vláken. S ohledem na zaměření diplomové práce budou blíže popsány materiály využívané pro přípravu bikomponentních vlákenných struktur v praktické části.

3.1 Polypropylen (PP)

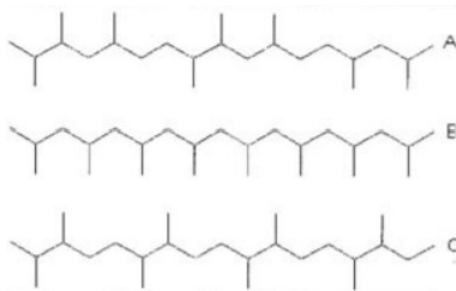
Polypropylen (PP) je termoplastický polymer spadající do skupiny polyolefinů. Tento částečně krystalický polymer má nižší hustotu než ostatní komoditní plasty, je zdravotně nezávadný a použitelný v širokém rozsahu teplot, což z něho dělá jeden z nejužívanějších komoditních plastů vůbec. [55]



Obrázek 17: Strukturální vzorec polypropylenu

Polypropylen rozlišujeme podle linearity na *lineární* a *větvený* a zároveň ho lze rozlišovat dle struktury řetězce v závislosti na poloze metylových skupin, a to na *ataktický*, *isotaktický* a *syndiotaktický* PP (obr.18). Tacticita je velmi významným faktorem, který ovlivňuje výsledné vlastnosti polymeru a jeho aplikace. Syndiotaktický PP se vyznačuje dobrou rázovou pevností, vyšší flexibilitou a transparentností v porovnání s izotaktickým PP. Ataktický PP je amorfni s obecně malou pevností. [55] [56]

Uspořádanost metylových skupin řetězci polypropylenu jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obrázek 18: Uspořádanost metylových skupin a) v ataktickém PP, b) isotaktickém PP, c) syndiotaktickém PP [57]

Polypropylen byl objeven v roce 1954 prakticky současně v Evropě a v USA, ale komerční výroba započala až roku 1957 společností Montecatini v Itálii, Hercules Inc. ve Spojených státech a Hoechst AG v Německu. [56]

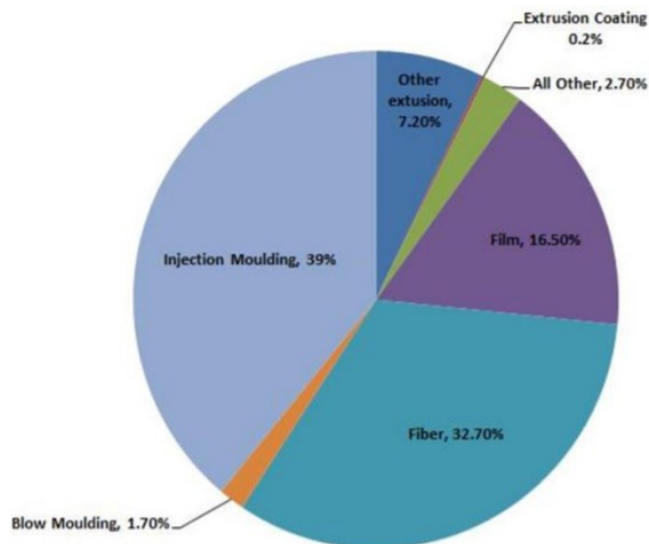
V současné době se průmyslově vyrábí polymerací propylenu v přítomnosti Ziegler-Nattových katalyzátorů v plynné fázi či v suspenzi. [57]

Výhodou polypropylenu je jeho nízká hustota ($0,9 \text{ g/cm}^3$) vysoká pevnost, tuhost, ale zároveň se vyznačuje lehkostí. PP je schopný zachovat si své mechanické vlastnosti i při zvýšených či extrémních teplotách, je chemicky odolný, má výborné dielektrické vlastnosti a odolnost vůči praskání. [55]

První vlákna z PP byla v průmyslu použita v 70. letech. Obecně PP vlákna vykazují dobré tepelně-izolační vlastnosti, a také odolnost vůči kyselinám a zásadám, jsou lehká, pevná a flexibilní. PP vlákna vykazují nejnižší tepelnou vodivost ze všech přírodních a syntetických vláken a jsou schopna zadržovat teplo po velmi dlouhou dobu, čehož se využívá v průmyslových aplikacích (izolační aplikace) a oděvním průmyslu, protože jsou teplejší než vlna). Oproti PE vykazují vlákna vyšší teplotu tání a jsou tedy teplotně stabilnější. Drtivá většina PP vláken je vyrobena v izotaktického PP, jsou k dispozici v různých barvách, typech vláken a lze je kombinovat s nepřeberným množstvím aditiv, které zlepšují vlastnosti vláken. [58] [59] [60]

PP netkané textilie jsou využívány na výrobu hygienických produktů, dětských plen či jednorázových lékařských oděvů. Dále se PP široce využívá pro výrobě vstříkovaných výrobků, ať už se jedná o spotřební zboží (např. venkovní nábytek), spotřebiče (např. myčky nádobí, pračky), lékařské aplikace (např. injekční stříkačky), exteriérové vybavení v automobilovém průmyslu či obalový materiál (např. kelímky na jogurty). Neméně

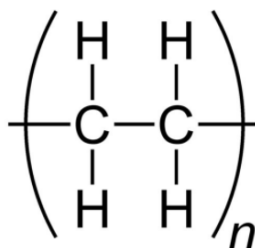
významnou aplikací je obalový průmysl, v němž se PP uplatňuje ve formě filmu pro balení potravinářských výrobků či oděvů. [55] [56]



Obrázek 19: Grafické znázornění zpracování PP v průmyslu [55]

3.2 Polyethylen (PE)

Polyethylen je semikrystalický termoplastický polymer spadající stejně jako PP do skupiny polyolefinů. Základní strukturou je uhlovodíkový řetězec, k němuž nejsou připojeny žádné substituenty, a jehož vzorec je znázorněn na následujícím **obrázku**.



Obrázek 20: Strukturální vzorec polyethylenu

Historie PE sahá do roku 1933, kdy se společnosti Imperial Chemical Industries podařilo polyethylen syntetizovat. Komerční výroba vysokotlakého polyethylenu, nyní známého jako nízkohustotní polyethylen, započala roku 1939 a během 2. světové války se využíval k izolaci radarových kabelů. V současné době je PE jedním z nejpoužívanějších polymerních materiálů na světě a jeho spotřeba se neustále zvyšuje. [61]

Rozlišujeme několik druhů polyethylenu, jejichž vlastnosti závisí především na typu výroby. Jedná se o nízkohustotní polyethylen (LDPE), lineární nízkohustotní polyethylen (LLDPE), vysokohustotní polyethylen (HDPE).

Obecně je polyethylen v pevném stavu bílý, netoxický měkký a houževnatý materiál, který má menší hustotu než voda. Velmi dobře odolává nízkým teplotám, je chemicky stabilní a odolný vůči vodě a za pokojové teploty odolává i kyselinám a zásadám. Také se vyznačuje vynikajícími dielektrickými vlastnostmi, čehož se využívá při výrobě kabelů jako izolačního materiálu. PE ovšem vykazuje velmi špatnou odolnost vůči povětrnostnímu stárnutí, z toho důvodu jsou venkovní aplikace omezené. Fyzikální vlastnosti polyethylenu závisí na typu, molekulové struktuře a hustotě (viz tab. 2). [62] [63]

Tabulka 2: Fyzikální vlastnosti různých typů polyethylenů [62]

Fyzikální vlastnosti	LDPE	LLDPE	HDPE
Hustota [kg/cm ³]	917-932	918 – 940	952 – 965
Teplota tání [°C]	98 – 115	122 – 124	130 – 137
Modul v tahu [Gpa]	0,17 – 0,28	0,26 – 0,52	1,07 – 1,09
Mez kluzu v tahu [MPa]	9 – 14,5	9,7 – 19,3	26,2 – 33,1

Polyethylen patří v dnešní době mezi nejvíce využívané materiály na výrobu vláken. Původní PE vlákna, která byla vyrobena již ve 30. letech 20. století, měla nízkou pevnost, odolnost vůči teplu a povětrnostním podmínkám a bylo velmi obtížné je barvit. V dnešní době však díky přísadám a vývoji nových typů polyethylenu již vlákna vykazují velmi dobré mechanické a fyzikální vlastnosti při pokojové teplotě, čehož se využívá v textilních aplikacích i z toho důvodu, že jsou poměrně pevná a velmi lehká, avšak v porovnání s PP vykazují nižší mechanické vlastnosti, vysokou deformaci při namáhání a nižší bod tání. Jejich tažnost je však v porovnání s PP vyšší. [35] [58] [60]

3.2.1 Nízkohustotní PE (LDPE)

Hopolymer LDPE se vyrábí polymerací v autoklávu nebo tubulárním reaktoru za vysokého tlaku (100–300 MPa) při teplotách 120–180 °C. Tyto podmínky zabraňují polymeru krystalizovat a vedou k vytváření dlouhých řetězců, což snižuje krystalinitu, která dosahuje maximálně 60 %. Hustota LDPE závisí na tlaku a teplotě procesu, obecně platí, že čím vyšší tlak a nižší teplota, tím vyšší hustota. [61] [64]

LDPE je měkký, ohebný, ale zároveň pevný materiál, který se vyznačuje výbornou odolností vůči chemikáliím a vlhkosti a jeho výborná odolnost vůči namáhání ho předurčují jako

vhodný materiál na výrobu obalového materiálu včetně sáčků a folií na potraviny či tašek a uplatnění našel i v zemědělství. Dále se používá na výrobu spotřebního zboží zahrnující domácí potřeby nebo hračky, anebo se používá v lékařství na výrobu injekčních stříkaček a zkumavek, nebo se využívá k opláštění kabelů. [62] [66] [67]



Obrázek 21: Zobrazení struktury LDPE [65]

3.2.2 Lineární nízkohustotní PE (LLDPE)

Lineární nízkohustotní polyethylen je vyráběn kopolymerací ethylenu s 5 – 12 hm. % vyššího α -olefinu (např. 1-hexen), což výrazně snižuje hustotu polymeru. Kvůli velmi krátkým postranním řetězcům se tento materiál vyznačuje vysokou hodnotou krystalinity, která dosahuje až 90 %. Zatímco LLDPE má oproti LDPE mírně lepší mechanické vlastnosti, zpracovatelské podmínky a transparentnost je naopak nižší. Z toho důvodu se méně využívá na výrobu obalů než LDPE, ale velmi často se uplatňuje v zemědělství jako hydroizolační folie, dále pro výrobu hraček, nádrží na vodu a zajímavá je i výroba kajaků. [61] [64] [66] [67]

LLDPE je velmi často kombinován s LDPE pro své synergické účinky v pevnosti taveniny, což je využíváno pro výrobu těžkých přepravních pytlů, skleníkových a mulčovacích folií nebo obalů na balení potravin, protože tato kombinace materiálů umožňuje vyrábět velmi slabé folie a filmy. [62]



Obrázek 22: Zobrazení struktury LLDPE [65]

3.2.3 Vysokohustotní PE (HDPE)

Vysokohustotní polyethylen je vyráběn pomocí iontové nebo komplexně-koordinační polymerace v nevodném prostředí a je katalyzován nejčastěji Ziegler-Nattovými katalyzátory při tlacích 0,1 – 5 MPa v rozmezí teplot 50 – 150 °C. Zcela lineární HDPE je velmi křehký materiál, z toho důvodu se do jeho řetězce začleňuje malé množství α -olefinu (např. 1-buten), což snižuje hustotu a krystalinitu a zvyšuje odolnost vůči praskání. Díky vysoké hodnotě krystalinity (až 80 %) vykazuje tento typ PE vysoký modul pružnosti, odolnost vůči praskání a vynikající rezistenci vůči chemikáliím. [62] [64] [67]

Díky svým vlastnostem a zdravotní nezávadnosti je HDPE využíván především v potravinářství a obalovém průmyslu především na výrobu sáčků a folií. Další využití se nachází v průmyslu jako materiál na výrobu plynového nebo vodovodního potrubí, ve stavebnictví se využívá na výrobu hydroizolačních folií, v chemickém průmyslu na výrobu speciálních aparatur a laboratorního nádobí, také se používá na výrobu lahví, kanystrů, nádrží nebo kontejnerů a neméně významným odvětvím je textilní průmysl, kde se HDPE využívá pro výrobu hygienických potřeb zvláknovací metodou spunbond.[62]



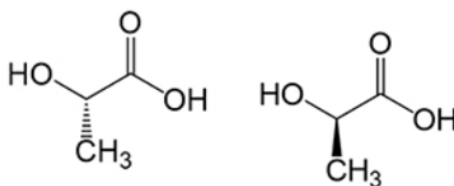
Obrázek 23: Zobrazení struktury HDPE [65]

3.3 Kyselina polymléčná (PLA)

Kyselina polymléčná je biologicky rozložitelný polyester spadající do skupiny termoplastů. Jedná se o významný polymerní materiál, který nachází uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích, ale pro svou křehkost a nízkou pevnost se velmi často kombinuje s jinými materiály.

Kyselina polymléčná existuje v několika stereiozomerních typech, jedná se o poly-L-laktid (PLLA) a poly-D-laktid (PDLA), viz obrázek 24, které závisí na povaze chirálního uhlíku v řetězci. [68]

Oba stereoizomery jsou semikrystalické látky, jejichž krystalinita závisí na zastoupení izomeru ve struktuře. Se zvyšujícím se množstvím isomeru L je zvyšován stupeň krystalinity, který může u PLLA dosáhnout až 40 %. [69]



Obrázek 24: Strukturální vzorec a) PLLA, b) PDLA [70]

Z historického hlediska není PLA novým materiálem, první syntéza proběhla již v roce 1845, kdy ji Theophile – Jules Pelouze vyrobil kondenzací kyseliny mléčné. V roce 1932 pak Wallace Hume Carothers vyvinul způsob polymerace laktidu a tento způsob byl posléze v roce 1954 patentován společností DuPont. V té době ale byla aplikace PLA velmi omezená kvůli vysoké ceně, a proto byla využívána pouze pro medicínské účely. Průlom nastal až na počátku 90. let, kdy byla syntetizována první vysokomolekulární PLA pomocí přímé kondenzace, a tím se PLA stala komoditním termoplastem s širokým spektrem aplikací. [71]

Kyselina polymléčná je vyráběna stupňovitou polykondenzační reakcí či polymerací s otevřením laktidového kruhu, což je v dnešní době průmyslově velmi využívaná metoda. [72]

Vlastnosti kyseliny polymléčné jsou ovlivněny typem izomeru, krystalinitou, reakčními podmínkami a také molekulovou hmotností. Obecně je vysokomolekulární kyselina polymléčná mírně zakalený, lesklý a tuhý materiál, který se vyznačuje vysokým modulem pružnosti a vysokou pevností, na druhou stranu se ale jedná o poměrně křehký materiál, což ho limituje při využití v náročných technických aplikacích. Stereoizomery PLA jsou díky své pravidelné struktuře opticky čisté, ale s rostoucím stupněm krystalinity se PLA stává neprůhlednou. Krystalinita také velmi ovlivňuje rozpustnost PLA. Zatímco amorfni materiály jsou v organických rozpouštědlech dobře rozpustné, se vzrůstající krystalinitou je PLA těmto rozpouštědlům odolná i za zvýšené teploty. [69] [73] [74]

Tabulka 3: Fyzikální vlastnosti kyseliny polymléčné a jejích stereoizomerů [70] [75]

Fyzikální veličina	PLA	PLLA	PDLA
Hustota [kg/m ³]	1210 – 1250	1240 – 1300	1225 - 1230
Teplota tání [°C]	150 – 162	170 – 200	120 – 150
Teplota skelného přechodu [°C]	45 – 60	55 – 65	40 – 50
Pevnost v tahu [MPa]	21 – 60	15,5 – 150	100 - 230
Modul pružnosti [MPa]	0,35 – 0,5	2,7 – 4,14	1,74

V porovnání s PP vlákny vykazují PLA vlákna vyšší teplotu tání a teplotu měknutí a nopak vykazuje velmi nízké hodnoty houževnatosti a tažnosti, které se ještě snižují se zvyšující se teplotou. Obecně mají PLA vlákna nízkou odolnost vůči chemikáliím, nízkou nasákavost a odolnost vůči teplu, ale oproti PP vykazují lepší odolnost vůči slunečnímu záření, lze jej tedy využít v exteriérových aplikacích. [76] [77]

V dnešní době má PLA potenciál pro použití v široké škále aplikací díky nízké ceně, biokompatibilitě a biodegradabilitě. Průmyslové aplikace PLA lze rozdělit do dvou hlavních skupin: *zboží dlouhodobé spotřeby* zahrnující spotřebiče, komponenty pro automobilový průmysl či lékařské výrobky a *spotřební zboží*, kam spadají výrobky pro jednorázové využití či obaly.

V lékařském odvětví se využívá biokompatibility PLA při výrobě vstřebatelných chirurgických nití, implantátů v tkáňovém inženýrství a také jako nosiče léčiv s řízeným uvolňováním.

Díky své schopnosti absorbovat vlhkost se velmi často využívá na výrobu jednorázových antimikrobiálních netkaných ubrousků, plen nebo dámských hygienických potřeb. Vlákna vyrobená z PLA jsou také hojně využívána v automobilovém průmyslu, kde se uplatňují pro interiérových komponentů, např. koberců či ozdobných čalounění. Stejně tak v poslední době roste trend nahrazování nylonu nebo PET právě kyselinou polymléčnou v textilním průmyslu. Bylo provedeno několik studií, které dokazují, že PLA je díky své schopnosti tepelné izolace vhodná k výrobě funkčního sportovního oblečení a bund.

Největší zastoupení má ale PLA v obalovém průmyslu a její význam v tomto odvětví neustále stoupá, jelikož se čím dál více ustupuje od použití jednorázových obalů z biologicky nerozložitelných plastů právě k biologicky odbouratelným. Nejčastějšími výrobky jsou jogurtové kelímky, lahve na vodu, příbory na jídlo a talíře, vaničky na zeleninu a ovoce nebo potravinové fólie. [69] [72] [78] [79]

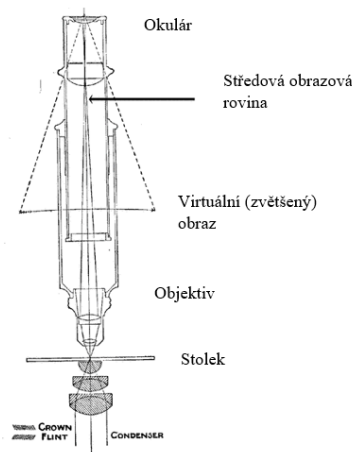
4 VYBRANÉ METODY PRO CHARAKTERIZACI NT

4.1 Optická mikroskopie

Optická mikroskopie je jednoduchá zobrazovací metoda, která slouží k zobrazení a zvětšení širokého spektra barevných i nebarevných materiálů. Standardně se ke studiu mikrostruktury využívá viditelné světlo o vlnové délce 400–700 nm. Zvětšení obrazu je pak omezeno pouze na rozsah 2 – 1500x a přístroj je schopen rozlišit detaily až na úrovni 0,5 μm . [80]

Optický mikroskop se skládá z *mechanické* části, která obsahuje stojan, podstavec a stolek s křížovým posunem, *osvětlovací* části, která se skládá ze zdroje světla, kondenzoru a clony a poslední částí je *optická*, která obsahuje sadu objektivů a okulárů. Objektiv, který určuje zvětšení a kvalitu obrazu, je tvořen soustavou čoček s velmi krátkou ohniskovou vzdáleností, která vytváří skutečný, převrácený a zvětšený obraz vzorku, a ten se promítá mezi okulár a jeho ohnisko. [81]

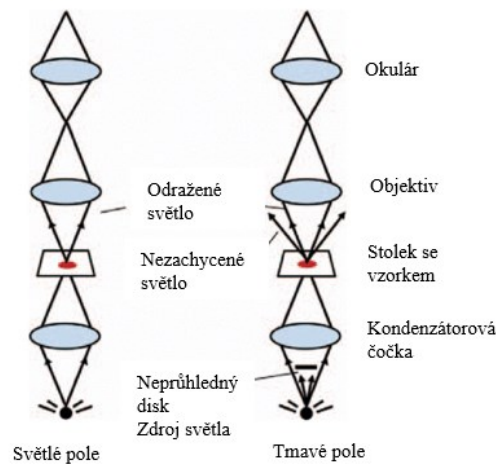
Jednoduché mikroskopy obvykle pracují při malém zvětšení, protože se skládají pouze z jedné zobrazovací čočky, zatímco složené mikroskopy obsahují více než jednu čočku, a tudíž jsou schopny pracovat při vyšších rozlišeních. Konvenční mikroskop pracuje ve dvou režimech, v režimu prostupu světla, což je typické pro analýzu transparentních vzorků a v režimu odrazu světla, čehož se využívá pro neprůhledné vzorky. [82] [83]



Obrázek 25: Schématické zobrazení optického mikroskopu [84]

Optický mikroskop umožňuje využívat několik kontrastních metod:

- *Světlé pole* – Tato základní technika je vhodná pro pozorování hladkých reflexních povrchů a nefunguje příliš dobře pro detekování velmi malých objektů. Světlo vzorkem prochází nebo je odraženo a nemění se vlastnosti polarizačních nebo jiných filtrů. [81] [85]
- *Tmavé pole* – Tato metoda je snadná, nicméně se často nevyužívá, protože vyžaduje úpravu dráhy světla umístěním prstence tmavého pole do středu objektivu. [85]
- *Polarizované světlo* – Tato technika využívá anizotropní optické vlastnosti materiálů, tzn. že pevné látky jsou schopny měnit orientaci dopadajícího polarizovaného světla. V této metodě se využívá polarizačního filtru, který umí propouštět pouze světlo kmitající v jedné rovině, tzv. polarizované světlo. [81]



Obrázek 26: Schématické zobrazení světlé a tmavé zobrazovací metody [82]

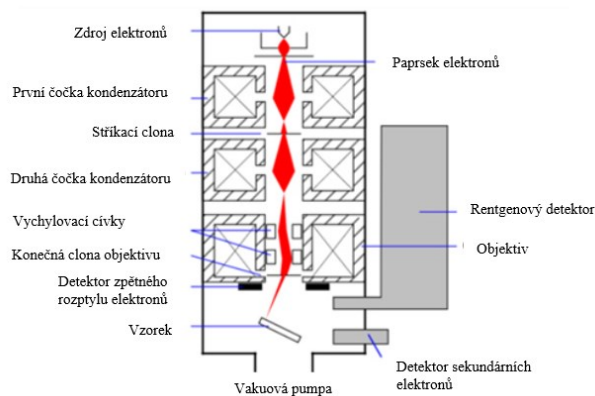
4.2 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Skenovací elektronová mikroskopie je efektivní metoda, kterou lze analyzovat organické i anorganické materiály v rozmezí mikrometrů až nanometrů. Zařízení jsou obvykle schopna zvětšit obraz v rozsahu 5x až 300 000x. SEM přístroj se skládá z následujících komponent:

- Zdroj elektronů – zde se elektrony produkují pod tepelným zářením při napětí 1–40 kV. Zdrojem elektronů může být např. wolframové vlákno nebo elektronové dělo.

- Kolona, v níž elektrony cestují mezi dvěma či více elektromagnetickými čočkami
- Elektronový detektor slouží k detekci emitovaných elektronů ze skenovaného vzorku
- Komora pro vkládání vzorku
- Počítač pro vyhodnocení pořízených fotografií. [86] [87]

Elektrony jsou produkovány v horní části kolony, pohybují se a zrychlují směrem dolů a procházejí kombinací čoček a otvorů za vzniku zaostřeného svazku elektronů, který dopadá na povrch vzorku, který je připevněn na speciálním stolku. Poloha elektronového paprsku na vzorku je řízena skenovacími cívkami umístěnými nad objektivem. Tyto cívky umožňují skenování paprsku po povrchu vzorku. Jakmile elektrony začnou interagovat se vzorkem, produkují se sekundární elektrony a zpětně rozptýlené (odražené) elektrony. Tyto signály jsou zachyceny detektorem a vytvářejí výsledný obraz. [87]



Obrázek 27: Schématické zobrazení skenovacího elektronového mikroskopu [87]

4.3 Zkouška pevnosti v tahu

Pevnost v tahu popisuje odolnost materiálu vůči jeho přetržení, pokud je vystaven tahovému namáhání. Jedná se o individuální materiálovou charakteristickou vlastnost. Zkouška spočívá v deformaci zkušební vzorku tahovým zařízením do přetržení pro stanovení jedné či více mechanických vlastností uvedených v příslušné normě. [88] [89]

Při zkoušce tahem je vzorek NT ve formě pásku upnut mezi dvě čelisti určité vzdálenosti a je protahován v jednom směru. Netkané textilie se obvykle testují v příčném i podélném směru. [89] [90]

Z deformační křivky lze určit pevnostní charakteristiky jako je mez pevnosti, napětí na mezi kluzu či napětí při přetržení. Mez pevnosti je maximální napětí v tahu, které odpovídá největší síle (F_{max}) naměřené v průběhu zkoušky a jeho hodnota je stanovena pomocí rovnice 1. Tato hodnota není vždy shodná s hodnotou napětí při přetržení. [91]

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{S} \quad (1)$$

kde, σ_{max} – mez pevnosti, F_{max} – maximální síla, S – průřez

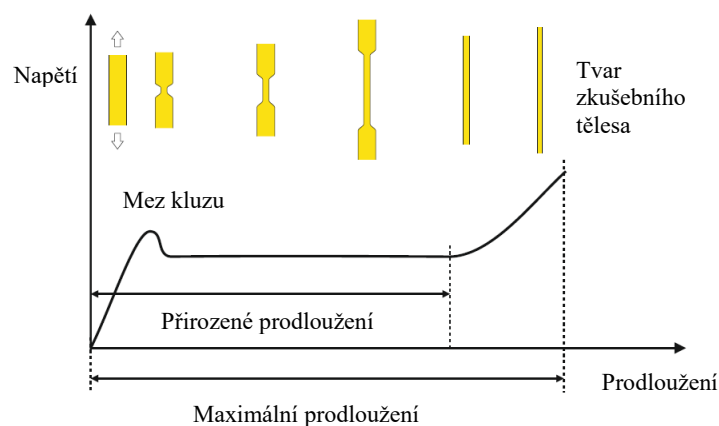
Napětí na mezi kluzu je hodnota, při níž začíná vznikat trvalá (plastická) deformace a začíná se tvořit krček. Napětí při přetržení je hodnota, při níž dojde k porušení zkušebního tělesa.

Pro polymerní materiály je důležitou charakteristikou modul pružnosti, což je hodnota vyjadřující tuhost materiálu. Platí závislost, při níž zvyšující hodnota modulu značí zvyšující se tuhost polymeru. Hodnota modulu pružnosti je stanovována z lineární závislosti napětí na poměrném prodloužení. Pro tuto oblast platí Hookův zákon. [91]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa] \quad (2)$$

kde, E – modul pružnosti, σ – napětí, ε – poměrné prodloužení

Pro některé materiály je stanovení modulu pružnosti obtížné, protože se chovají nelineárně, to samé platí pro stanovení tahových vlastností netkaných textilií, což je způsobeno nehomogenní strukturou NT. [35]



Obrázek 28: Závislost napětí na protažení vláken [35]

V případě stanovení tahových vlastností vláken pozorujeme jejich zúžení za tvorby krčku v oblasti meze kluzu, což značí přechod z elastické do plastické deformace. Poté dojde k postupnému protahování již vytvořeného krčku, rozplétání řetězců, vlákno vykazuje deformaci bez velkého odporu a síla zůstává konstantní. Následně dojde k rozpletení řetězců, vlákno se zpevňuje až do maximální hodnoty, při níž dojde k přetržení vlákna. [35]

4.4 Stanovení prodyšnosti

Pro netkané textilie jsou prodyšnost a filtrační vlastnosti důležitým parametrem. Prodyšnost je charakterizována jako rychlost vzduchu procházející kolmo materiálem za rozdílného tlaku po určitou dobu. Prodyšnost je vyjádřena v litrech na čtvereční centimetr za sekundu ($l/cm^2 \cdot s$), případně jiné ekvivalentní jednotce. Pórovitost lze definovat jako celkový objem prázdného ohraničeného prostoru uvnitř materiálu. Pórovitost, která je vyjádřena v procentech, lze snadno vypočítat jako poměr prázdného prostoru ku celkovému objemu tkaniny, je znázorněna na následujícím vzorci. [92] [93]

$$P = 100 - \frac{P_a}{P_b} \quad (3)$$

kde: P – pórovitost, P_a – hustota tkaniny, P_b – hustota vláken

Prodyšnost netkaných textilií se stanovuje dle normy ISO 9073-15:2009 – Zjišťování prodyšnosti. [92]

4.5 Stanovení smáčivosti

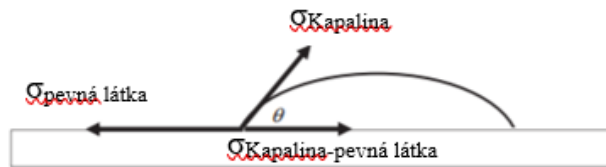
Smáčivost NT je určena její rovnováhou povrchové energie na rozhraní mezi vzduchem, kapalinou a pevnou fází (vlákny nebo tkaninou). Smáčivost závisí na chemické povaze povrchu vlákna, geometrii vláken a struktuře NT. Uvádí se, že smáčivost jakékoli NT obsahující jeden typ vlákna je stejná jako u samotných vláken. Smáčivost NT je tedy dána kontaktními úhly mezi vláknem a kapalinou. [89]

Kontaktní úhel neboli úhel smáčení, je úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, jenž je vedena v bodě styku kapky s rozhráním. Tento parametr závisí na mezipovrchových energiích tří koexistujících fázových rozhráních, kterými jsou:

- Rozhraní mezi tuhou a kapalnou fází (γ_{sl})
- Rozhraní mezi tuhou a plynnou fází (γ_{sg})
- Rozhraní mezi kapalnou a plynnou fází (γ_{lg})

Vztah mezi úhlem smáčení a jednotlivými mezifázovými energiemi je charakterizován Youngovou rovnicí: [94]

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos \theta \quad (4)$$



Obrázek 29: Schématické zobrazení kontaktního úhlu [95]

Smáčení NT je poměrně složitý proces, protože NT má porézní a heterogenní strukturu, ke správnému vyhodnocení kontaktního úhlu je tedy třeba provést dostatečný počet měření. [89]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘÍPRAVA VLÁKENNÝCH STRUKTUR

5.1 Použité materiály

K výrobě vláknenných struktur byly použity tři polymerní materiály, konkrétně se jednalo dva zástupce polyolefinů (polypropylen, polyetylen) a bio-rozložitelný polyester (kyselinu polymléčnou).

PP TATREN HT 25 11 je homopolymer určený pro výrobu netkaných textilií metodou spunbond s velmi úzkou distribucí molekulových hmotností. Index toku taveniny byl stanoven na hodnotu 25 g/10 min dle normy ISO 1133-1 při podmínkách 230 °C / 2,16 kg. Doporučené teploty zpracování jsou v rozmezí 200–260 °C.

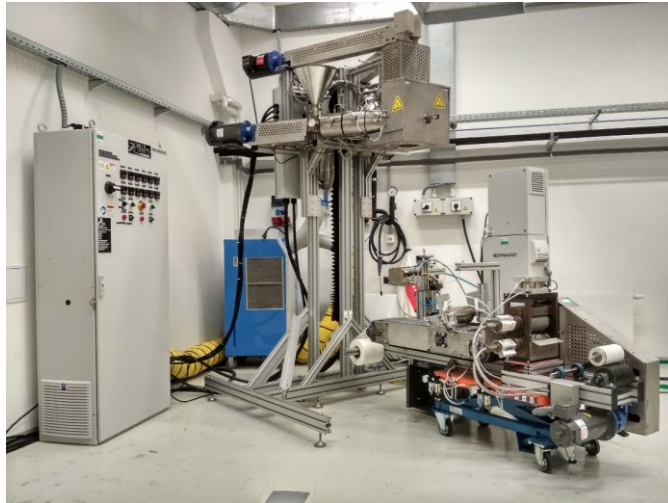
PE ASPUN™ 6834 o hustotě 0,950 g/cm³ a teplotě tání 130 °C je materiál vhodný pro výrobu monokomponentních i bikomponentních vláken. Index toku taveniny byl dle normy ISO 1133-1 stanoven na 17g/10 min při podmínkách 230°C / 2,16 kg.

PLA Ingeo biopolymer 6100D o hustotě 1,24 g/cm³ a teplotě skelného přechodu 60 °C, který je vyráběn z obnovitelných zdrojů, je vhodný pro výrobu vláken, která se vyznačují sníženým smrštěním a vyšší rozměrovou stabilitou. Index toku taveniny dle normy ISO 1133-1 byl stanoven na 24 g/10 min při podmínkách 210 °C / 2,16 kg. Typické teploty pro zvlákňování se pohybují v rozmezí hodnot 220–240 °C. Materiál byl před zvlákňováním sušen po dobu alespoň 4 hodin při teplotě 65 °C.

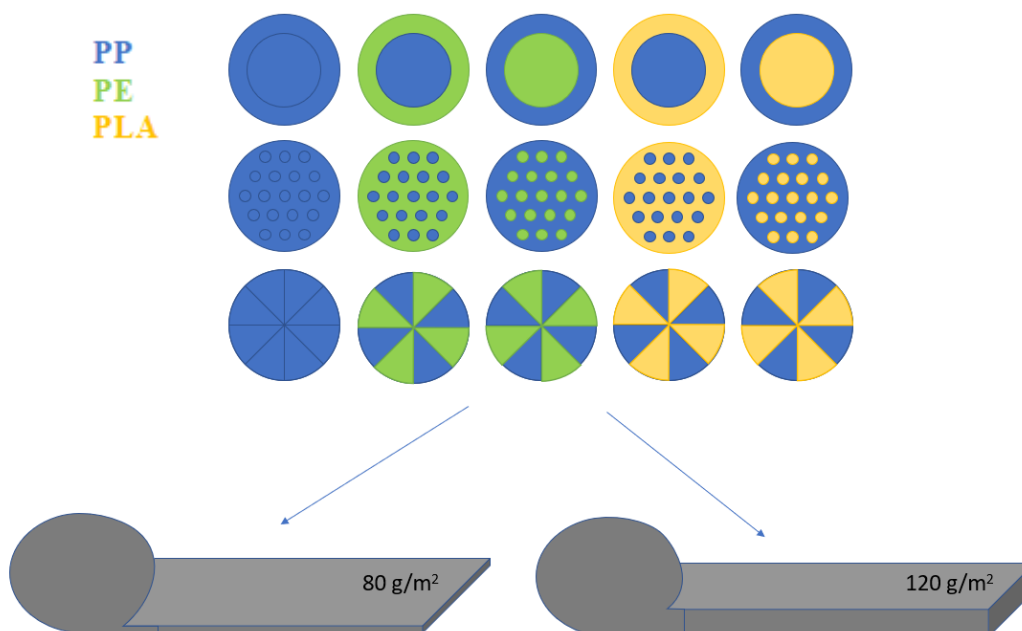
5.2 Výroba vláknenných struktur

Pro výrobu vláken a netkaných textilií byla použita laboratorní zvlákňovací linka LBS – 300 (Hills), která je uzpůsobena pro přípravu monokomponentních i bikomponentních vláken a netkaných textilií technologiemi spunbond a melt-blown. Zvlákňovací linka se skládá ze dvou jednošnekových vytlačovacích strojů se šnekem o průměru $D = 19$ mm a délkou 30D. Šneky jsou zakončeny míchacím elementem Maddox. Mezi vytlačovacími stroji a zvlákňovací hlavou je umístěno zubové čerpadlo určující výkon linky.

Byly vytvořeny tři konfigurace vláken, konkrétně konfigurace „plášť/jádro“ (sheath/core, S/C), „ostrovy v moři“ (islands in sea, S/I) a „segmentový koláč“ (segment pie, SP) v následujících kombinacích materiálů: kombinace PP/PP, PP/PE, PE/PP, PP/PLA a PLA/PP (viz obrázek 31).



Obrázek 30: Laboratorní zvlákňovací linka LBS – 300



Obrázek 31: Zobrazení připravených konfigurací a kombinací materiálů ve dvou plošných hmotnostech

Dané konfigurace vláken byly zajištěny sestavením jednotlivých ocelových plátů patentovaných tvarů v předepsaném pořadí, které jsou součástí zvlákňovací hlavy obsahující 72 kapilár o průměru 0,35 mm a délce 1,4 mm uspořádaných na čtvercové ploše 6×6 cm. Vláčna v konfiguraci „segmentový koláč“ byla tvořena celkem


16 segmenty pravidelně se střídajících materiálů. V případě konfigurace „ostrovy v moři“ se vlákno sestávalo z celkem 36 fibril jednoho materiálu obklopených maticí materiálu druhého.

Pro každý experiment (materiálové složení a konfiguraci) byly nastaveny optimální procesní podmínky pro přípravu vlákných struktur (tabulka 4, 5, 6). V případě všech experimentů byl nastaven tlak na konci obou šneků na hodnotu 25 bar a otáčky obou zubových čerpadel byly zvoleny a nastaveny na 5 ot./min, čímž byl zajištěn poměr materiálového složení 50:50. V této fázi byly odebrány vzorky nedloužených vláken.

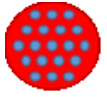
Dloužení vláken pro přípravu netkaných textilií probíhalo u všech experimentů při intenzitě vzduchu 100 kPa. V rámci DP byly vhodně zvoleny rychlosti dopravního pásu a kalandru pro přípravu netkané textilie o dvou plošných hmotnostech, přibližně 80 g/m² a 120 g/m².

Plošná hmotnost neboli gramáž, NT byla stanovena pomocí normy ČSN EN 29073 – 1. Metoda spočívá v měření plochy a hmotnosti zkušební vzorku a ve výpočtu plošné hmotnosti v gramech na metr čtvereční. Pro každou NT byl vytvořen vzorek o rozměrech 5x3 cm, tato velikost byla zvolena tak, aby byla reprodukovatelná pro všechny netkané textilie.


Tabulka 4: Nastavené parametry zvláknovací linky pro konfiguraci „plášť/jádro“

 A/B	Extruder A [°C]			Extruder B [°C]			Hlava [°C]	Kalandr [°C]	Výkon na kapiláru [g.min ⁻¹]
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3			
PP/ PP	200	210	215	200	210	215	230	147-148	0,181
PE/ PP	179	190	199	200	210	215	210	117-118	0,185
PP/ PE	200	210	215	179	190	199	210	147-149	0,223
PP/ PLA	200	210	215	205	215	220	220	147-149	0,181
PLA/PP	205	215	220	200	210	215	220	129-131	0,233

Tabulka 5: Nastavené parametry zvláknovací linky pro konfiguraci „ostrovy v moři“

 A/B	Extruder A [°C]			Extruder B [°C]			Hlava [°C]	Kalandr [°C]	Výkon na kapiláru [g.min ⁻¹]
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3			
PP/ PP	210	220	230	210	220	230	230	147-148	0,190
PE/ PP	187	198	210	210	220	230	220	116-117	0,184
PP/ PE	210	220	230	187	198	210	220	144-147	0,188
PP/ PLA	210	220	230	205	215	220	230	146-147	0,230
PLA/PP	205	215	220	210	220	230	230	130-131	0,225

Tabulka 6: Nastavené parametry zvláknovací linky pro konfiguraci „segmentový koláč“

 A/B	Extruder A [°C]			Extruder B [°C]			Hlava [°C]	Kalandr [°C]	Výkon na kapiláru [g.min ⁻¹]
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3			
PP/ PP	205	215	220	205	215	220	230	146-148	0,190
PE/ PP	187	198	210	205	215	220	220	224-116	0,230
PP/ PE	205	215	220	187	198	210	220	112-116	0,118
PP/ PLA	205	215	220	210	220	230	220	125-130	0,184
PLA/PP	210	220	230	205	215	220	220	128-129	0,225

5.3 Charakterizace nedloužených vláken

Celkem bylo připraveno 15 vzorků nedloužených vláken (tři konfigurace v pěti materiálových kombinacích), u nichž byly hodnoceny strukturní a mechanické vlastnosti.

5.3.1 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Nedloužená vlákna byla hodnocena pomocí skenovacího elektronového mikroskopu Phenom PRO se dvěma typy detektorů, které určují materiálový kontrast (BDS Full) a topografii (BDS Topo) za nastaveného urychlovacího napětí 5 kV.

Vlákna byla upnuta do speciálního přípravku, který je znázorněn na obrázku 32 a) a pomocí žiletky byl vytvořen příčný řez vlákny. Snímky byly pořízeny v klasickém (BDS Full) módu při zvětšení 140x, 300x a 400x a poté byly také pořízeny fotografie v topografickém módu B (BDS Topo B) při zvětšení 300x.

Pomocí softwaru NIS-elements AR byly pro každou kombinaci materiálů a konfiguraci vláken vyhodnoceny průměry vláken ze SEM fotografií. Pro zjištění průměru vláken dané konfigurace bylo provedeno vždy 15 měření.

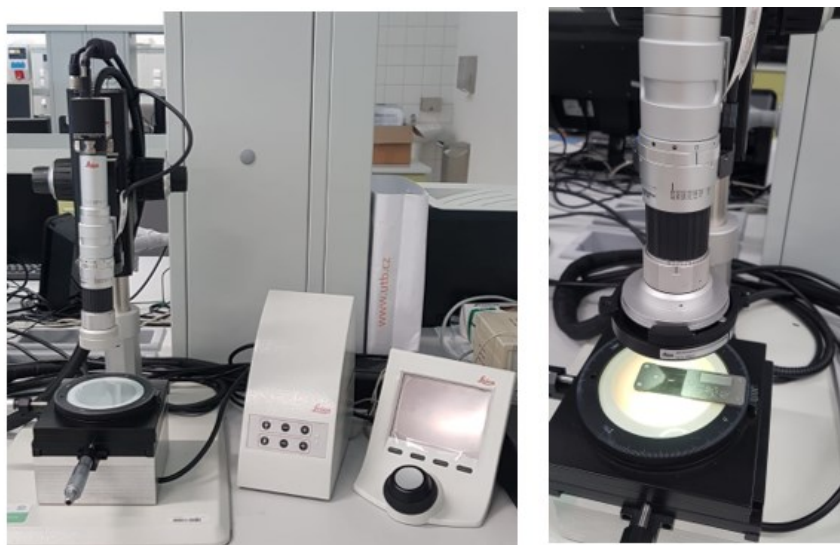


Obrázek 32: Speciální přípravky pro upnutí vláken a) pro SEM, b) pro optický mikroskop

5.3.2 Optická mikroskopie

Struktura nedloužených vláken v řezu byla hodnocena pomocí optického mikroskopu Leica DVM2500 s adaptérem VZ 80C.

Vlákna byla upnuta do speciálního přípravku (viz obr. 32b) a pomocí žiletky byl vytvořen příčný řez vláken. Snímky byly pořízeny při zvětšení 200x, 250x a 300x, v diplomové práci jsou pak níže uvedeny snímky při 300x zvětšení.



Obrázek 33: Optický mikroskop Leica DVM2500 s adaptérem VZ 80C

5.3.3 Tahová zkouška

Mechanické vlastnosti nedloužených vláken byly testovány pomocí trhacího stroje Testometric M350-5CT při laboratorní teplotě. Vlákna byla upnuta do speciálních čelistí tak, aby měřená délka vzorku byla 2 cm. Pro každý typ vláken bylo provedeno 8–10 měření konstantní rychlostí jednoosé deformace 100 mm/min do přetržení vlákna. K testování byl použit tensometr se zatížením 1 kg a bylo nastaveno předpětí 0,02 N. Z tahových křivek závislosti síly na protažení byla vyhodnocena nejvyšší pevnost vztažená na průměr vlákna 160 μm a tažnost při přetrhu.



Obrázek 34: Speciální čelisti pro upnutí vláken

5.4 Charakterizace netkaných textilií

Celkem bylo připraveno 30 vzorků netkaných textilií (tři konfigurace v pěti materiálových kombinacích a dvou gramáží), u kterých byly charakterizovány jejich strukturní a mechanické vlastnosti, stejně tak jako hodnocení prodyšnosti. U vybraných vzorků netkaných textilií byly hodnoceny také povrchové vlastnosti (smáčivost).

5.4.1 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Struktura netkaných textilií byla hodnocena pomocí skenovacího elektronového mikroskopu Phenom PRO se dvěma typy detektorů, které určují materiálový kontrast (BDS Full) a topografii (BDS Topo) s využitím urychlovacího napětí 5 kV.

Snímky povrchu NT byly pořízeny nejprve z dezénované strany (líc) a poté ze strany hladké, (rub) v klasickém (BDS Full) módu při zvětšení 140x a 400x. Také byl pomocí přípravku připraven řez NT, jehož snímky byly pořízeny při zvětšení 600x a 1000x.

Pro vyhodnocení průměrů vláken NT byl použit software NIS-elements AR. Získaná hodnota průměru vláken byla průměrem ze 20 měření.



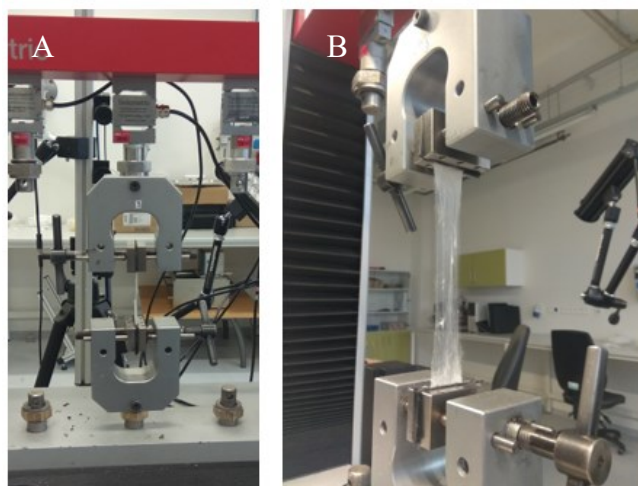
Obrázek 35: Skenovací elektronový mikroskop Phenom Pro

5.4.2 Tahová zkouška

Mechanické vlastnosti v tahu NT byly stejně jako v případě vláken charakterizovány pomocí trhacího stroje Testometric M350-5CT při laboratorní teplotě podle normy ČSN EN 29073-3. Pro každou NT o přibližné plošné hmotnosti 80 g.m^{-2} (označení C1) a 120 g.m^{-2} (označení C2) bylo vystřiženo 8–10 obdélníkových vzorků o rozměrech $5 \times 2,5 \text{ cm}$, které byly odebírány ze středu pásu netkané textilie v podélném směru. Každý vzorek byl před vlastní zkouškou zvážen a byla vypočtena jeho skutečná gramáž.

Vzorky byly upnuty do trhacích čelistí tak, aby vzdálenost horních a dolních čelistí byla 3 cm. Tahová zkouška byla prováděna konstantní rychlostí jednoosé deformace 100 mm/min do kompletního rozpletení všech vláken připravených vzorků NT. K testování byl použit tensometr se zatížením 300 kg a bylo nastaveno předpětí 0,300 N. Na následujících obrázcích č. 36a) a 36b) jsou zobrazeny použité čelisti a proces trhání zkušební vzorku.

Z tahových křivek závislosti síly na protažení byla vyhodnocena nejvyšší pevnost vztažená na plošnou hmotnost netkané textilie 80 g/m^2 (pro vzorky s označením C1) a 120 g.m^{-2} (pro vzorky s označením C2) a tažnost při nejvyšší pevnosti.



Obrázek 36: a) Čelisti použité pro tahovou zkoušku netkané textilie, b) Proces trhání netkané textilie

5.4.3 Prodyšnost

Prodyšnost NT byla charakterizována dle normy ČSN EN ISO 9073-15. Rozměry zkušebních tělísek byly zvoleny s ohledem na možnosti použitého přístroje (obrázek 37). Celkem byly pro každou konfiguraci a kombinaci materiálů připraveny 4 zkušební tělesa kruhového tvaru o průměru 18 mm za pomoci CO₂ laseru (BRM 6090). Každý vzorek byl před vlastní zkouškou zvážen a vypočtena jeho skutečná gramáž. Zkušební plocha vzorku byla 0,2 cm², na kterou bylo působeno tlakem stlačeného vzduchu až do 1,5 bar, dle možností každého vzorku.

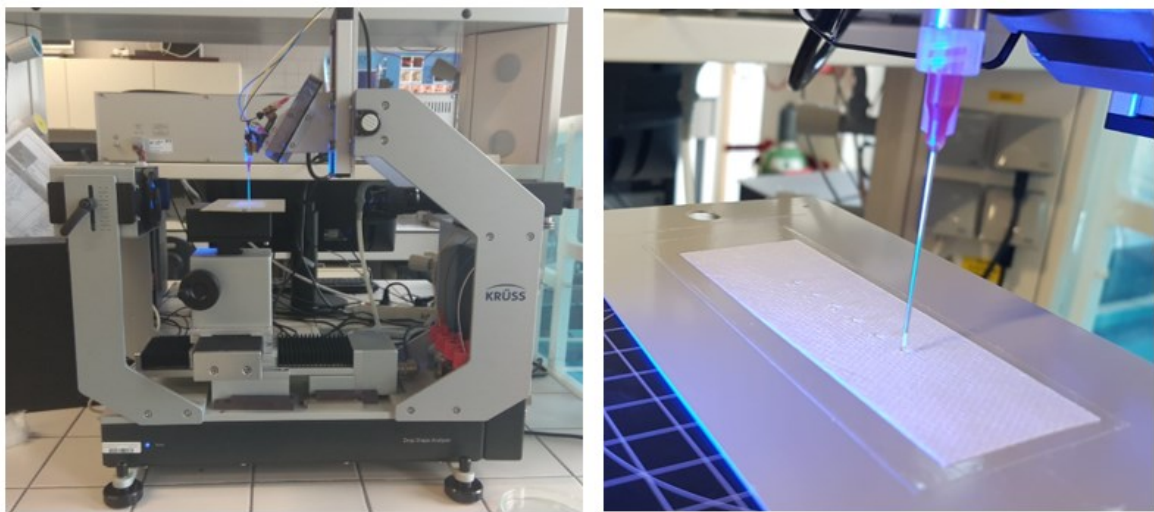


Obrázek 37: Přístroj pro stanovení prodyšnosti netkaných textilií

5.4.4 Smáčivost

Povrchové vlastnosti NT byly charakterizovány pomocí stanovení kontaktního úhlu vody, který byl vyhodnocen prostřednictvím automatizovaného přístroje Krüss v softwaru Advance (obr. 38) za využití metody sedící kapky (Sessile drop mapping).

Na povrch zkušebních vzorků NT o rozměrech 10x7 cm bylo pomocí přístroje aplikováno a následně vyhodnoceno 18 kapek referenční kapaliny – vody o nastaveném objemu každé kapky 2 μ l.

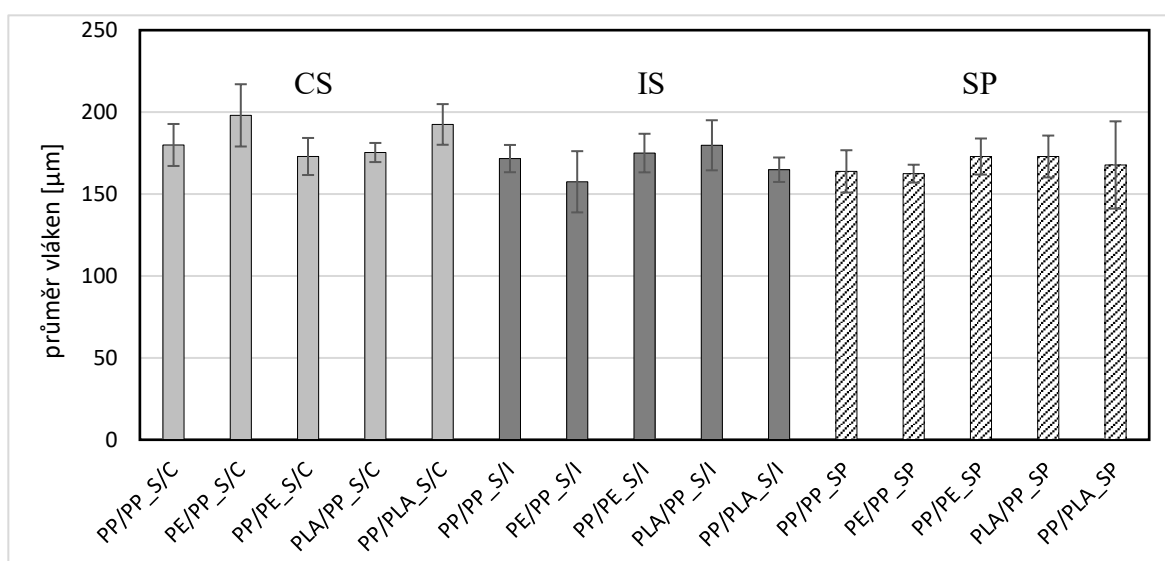


Obrázek 38: Přístroj pro stanovení smáčivosti netkaných textilií Krüss a zobrazení sedících kapek na vzorku NT

6 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

6.1 Strukturní vlastnosti vláken

Průměry nedloužených vláken byly charakterizovány pomocí skenovací elektronové mikroskopie s využitím softwaru NIS-elements. Z pořízených snímků byly nejdříve vyhodnoceny průměry vláken, jejichž srovnání je uvedeno na obrázku 39, kde světle šedé sloupce znázorňují konfiguraci „plášť/jádro“, tmavě šedé konfiguraci „ostrovy v moři“ a čerchované sloupce pak výsledky pro konfiguraci „segmentový koláč“.

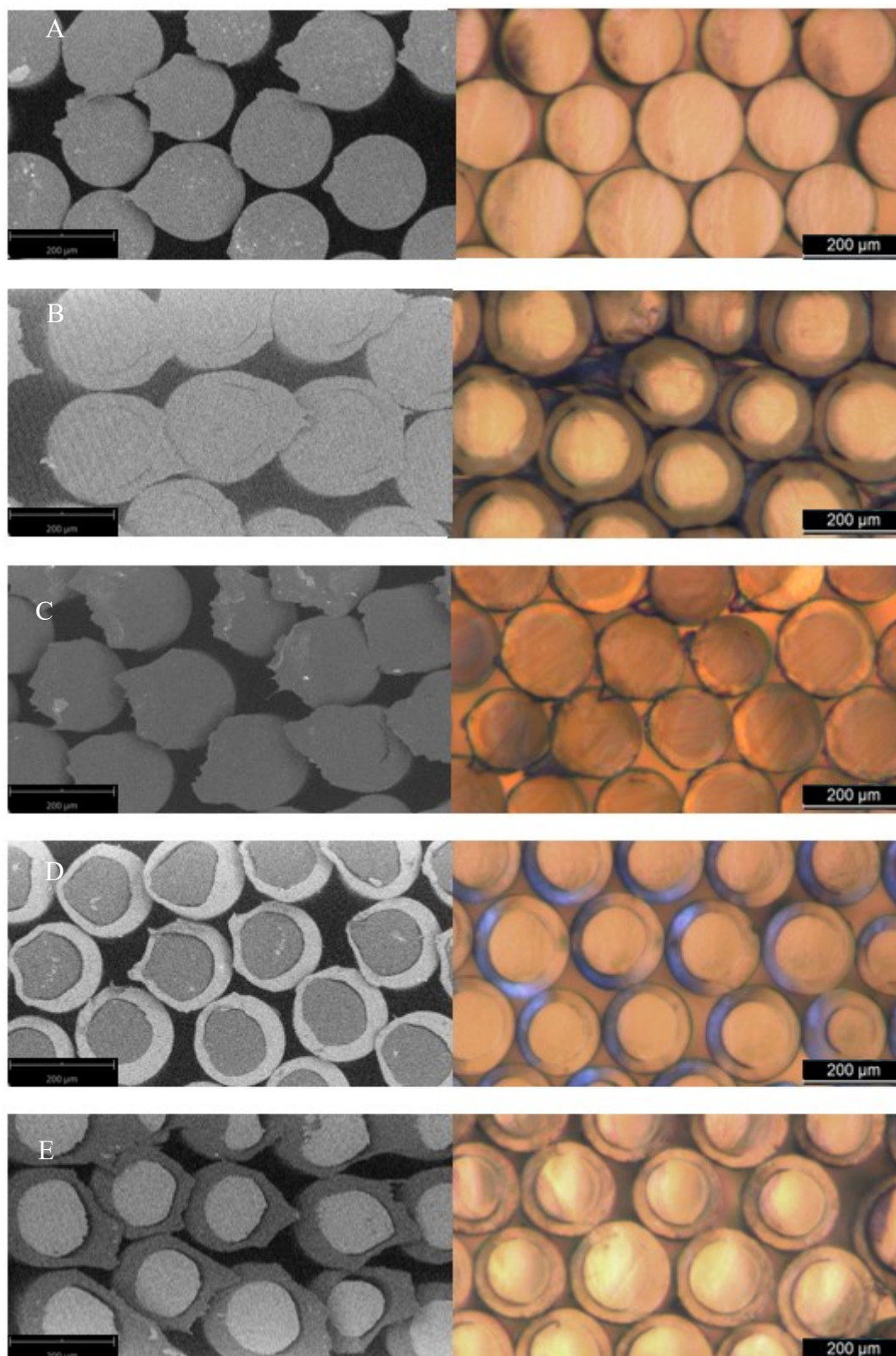


Obrázek 39: Graf závislosti průměru vláken pro dané konfigurace vláken

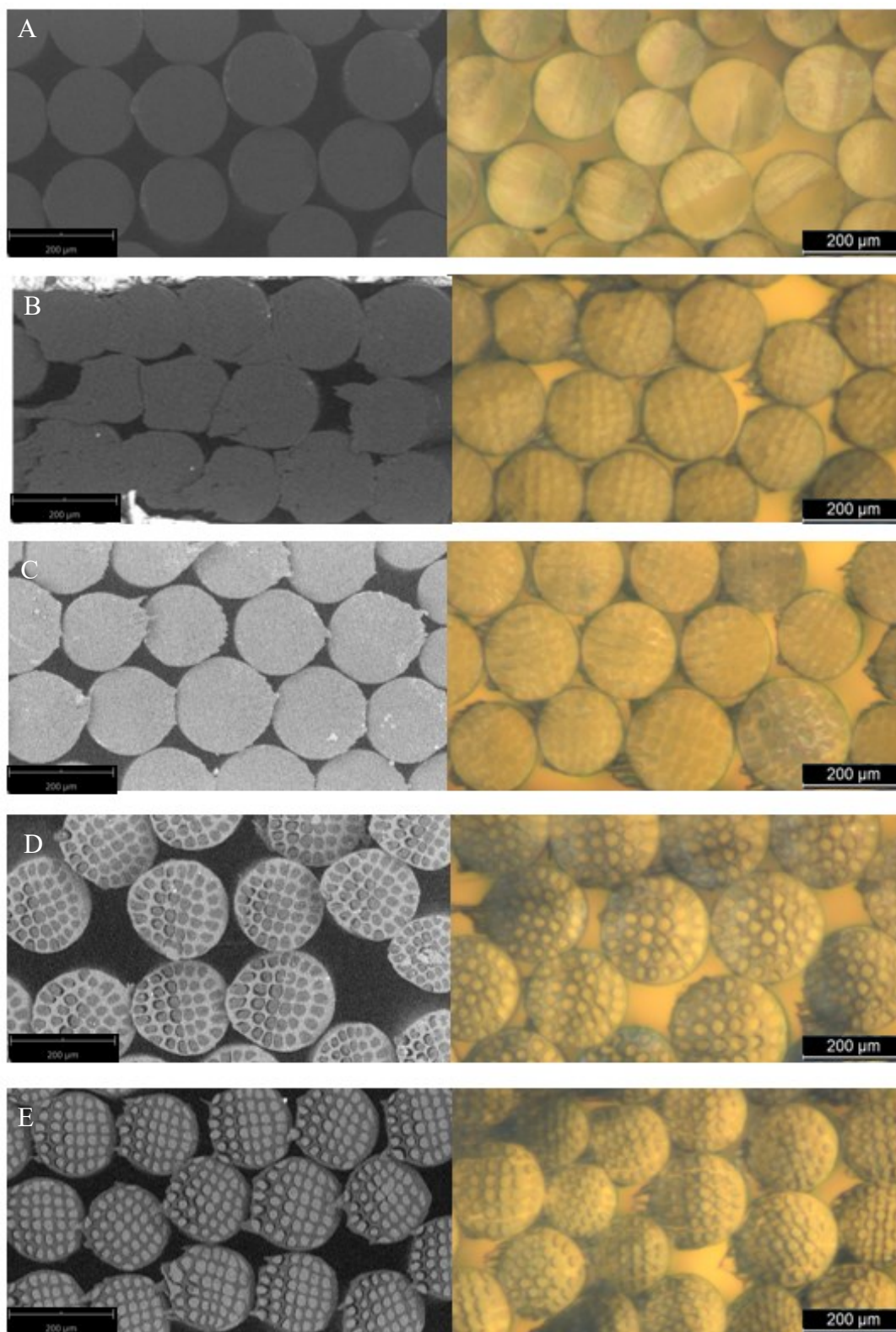
Obecně lze říci, že průměry nedloužených vláken připravených ve všech konfiguracích byly v rámci chyby měření srovnatelné.

Konkrétně, průměrné hodnoty průměru vláken pro konfiguraci „plášť/jádro“ se pohybovaly v rozmezí od 173–198 μm, pro konfiguraci „ostrovy v moři“ od 157–180 μm a pro konfiguraci „segmentový koláč“ od 162–173 μm. Významný vliv konfigurace na průměr nedloužených vláken nebyla pozorována.

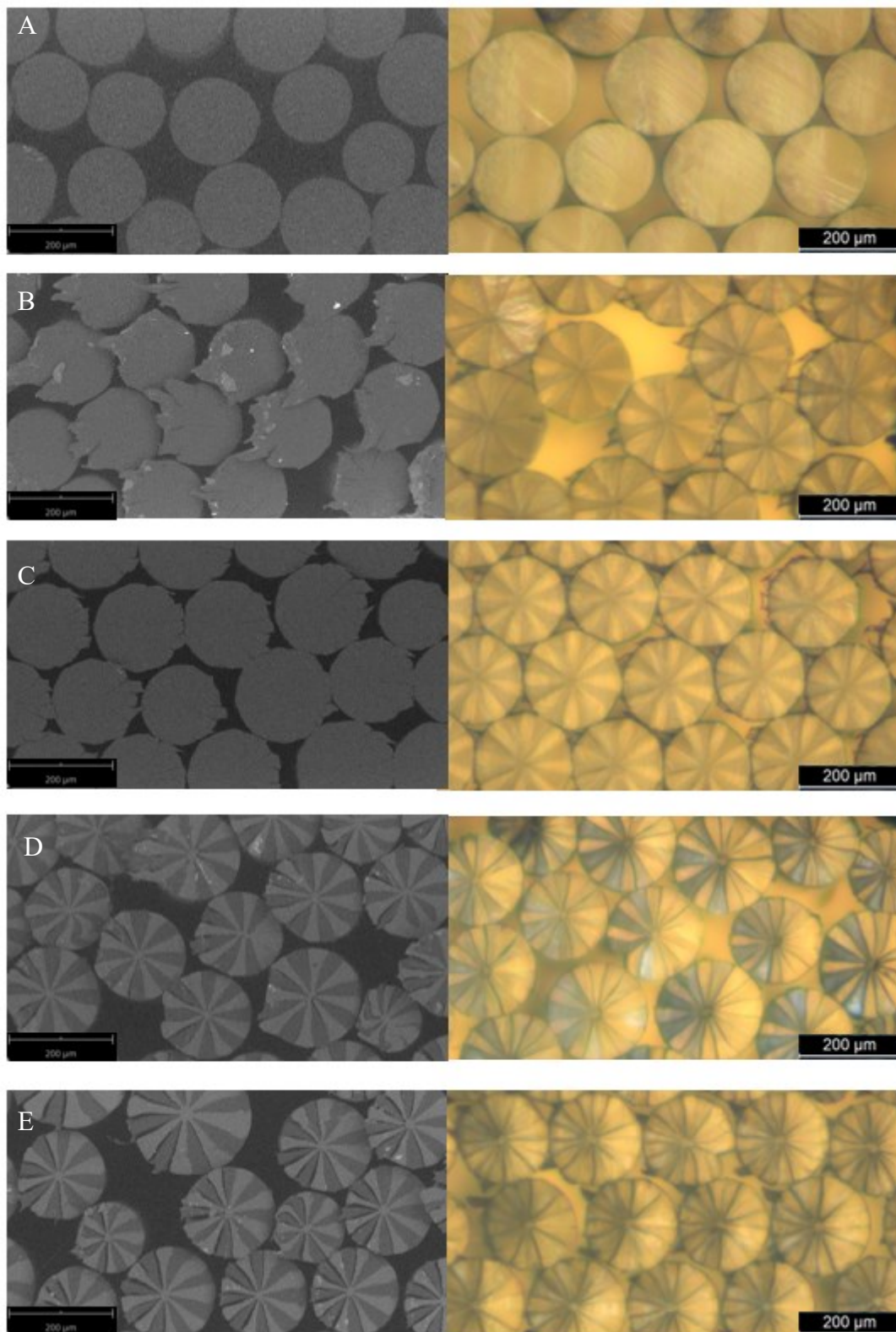
Struktura nedloužených vláken v řezu byla hodnocena s využitím optické i skenovací elektronové mikroskopie (viz obrázky 40, 41, 42).



Obrázek 40: Snímky konfigurace vláken „plášť/jádro“, vlevo SEM snímky, vpravo snímky z optického mikroskopu A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA



Obrázek 41: Snímky konfigurace vláken „ostrovky v moři“, vlevo SEM snímky, vpravo snímky z optického mikroskopu A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA



Obrázek 42: Snímky konfigurace vláken „segmentový koláč“, vlevo SEM snímky, vpravo snímky z optického mikroskopu A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA

Výhoda využití SEM analýzy byla zřejmá především pro hodnocení struktury vláken v kombinacích PLA a PP, vzhledem k významnému materiálovému kontrastu daných materiálů. Díky tomu bylo možno detailněji pozorovat drobné rozdíly v průřezu připravených vláken v pozorování s předpokládanými teoretickými strukturami (viz obr. 40, 41, 42). Například u vláken v konfiguraci ostrovy v moři se občas mikrofibrily dostaly na povrch vlákna, tedy v daném materiálovém poměru 50:50 nebyly vždy zcela ukryty všechny fibrily („ostrovy“) v matrici druhého materiálu (tvořícího „moře“). V případě konfigurace segmentový koláč pak také nebyly pozorovány stejnoměrné trojúhelníkové části segmentů, nýbrž v mnoha případech došlo k propojení materiálu ve středu vlákna. Toto zjištění bylo dobře pozorováno především u vzorku PP/PLA (obrázek 41E), kdy PLA, jakožto materiál s nižší viskozitou, zaplnil snáze střed formujícího se vlákna, čímž došlo k propojení PLA segmentů a vytvoření „hvězdicovité“ struktury.

Co se týče optické mikroskopie, využití této metody také poskytovalo jisté výhody, především při hodnocení tvaru vláken v řezu. Konkrétně při pozorování struktury vláken v konfiguraci segmentový koláč na snímcích z optického mikroskopu je patrný průřez vlákna ve tvaru mnohoúhelníku namísto kruhového průřezu, jak je tomu u zbylých konfigurací. Tento tvar je způsoben rozdílnými vlastnostmi materiálů, které způsobují konvexní a konkávní zakřivení segmentů. Nejvíce je tento jev pozorovatelný pro kombinaci materiálů PE/PP a PP/PE, patrný je ale i pro vlákna v kombinaci PLA/PP a PP/PLA, což je v souladu s literaturou, viz [51].

6.2 Mechanické vlastnosti vláken

Mechanické vlastnosti nedloužených vláken byly hodnoceny pomocí tahové zkoušky. Z tahových křivek závislosti síly na protažení byly hodnoceny a srovnány výsledky nejvyšší pevnosti (maximální síly) a tažnosti vláken při přetrhu (obr. 43 a 44).

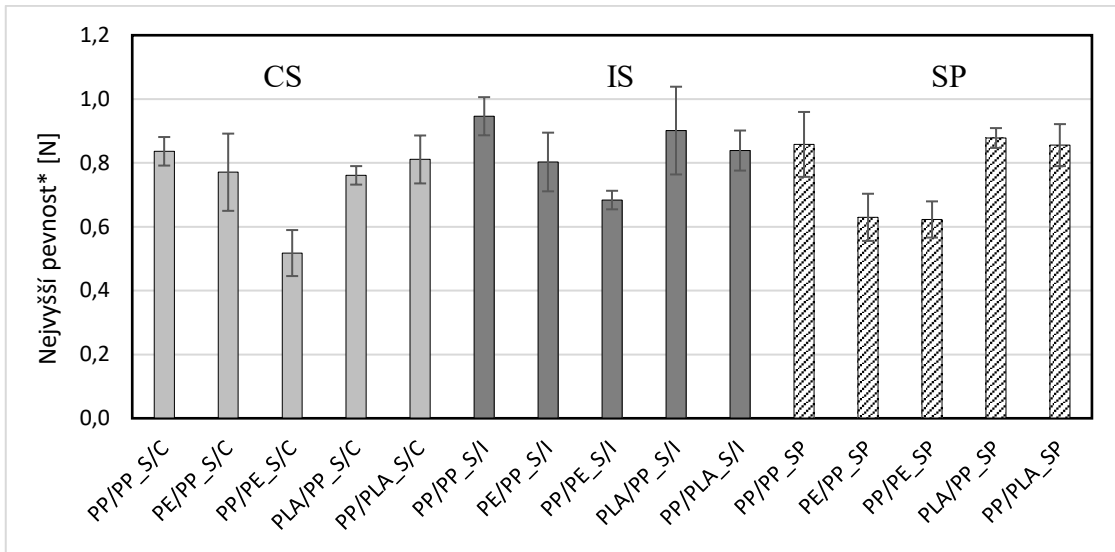
Pro názornost a srovnání vlivu konfigurace vlákna pro dané kombinace materiálů na jejich mechanické vlastnosti jsou pak uvedeny reprezentativní tahové křivky připravených nedloužených vláken (obr. 45, 46, 47).

Významně nižší průměrné hodnoty pevnosti (0,5–0,65 N) nedloužených vláken byly pozorovány u vzorků PP/PE_S/C a PP/PE_S/I, tedy konfiguraci, kdy střed vlákna tvořil polyethylen, a obou variant kombinace PP a PE v konfiguraci segmentový koláč (PP/PE_SP a PE/PP_SP). V rámci chyby měření pak byly srovnatelné pevnosti vzorků u kombinací PP/PP i ve všech variantách PP a PLA, v rozmezí přibližně 0,8–0,9 N.

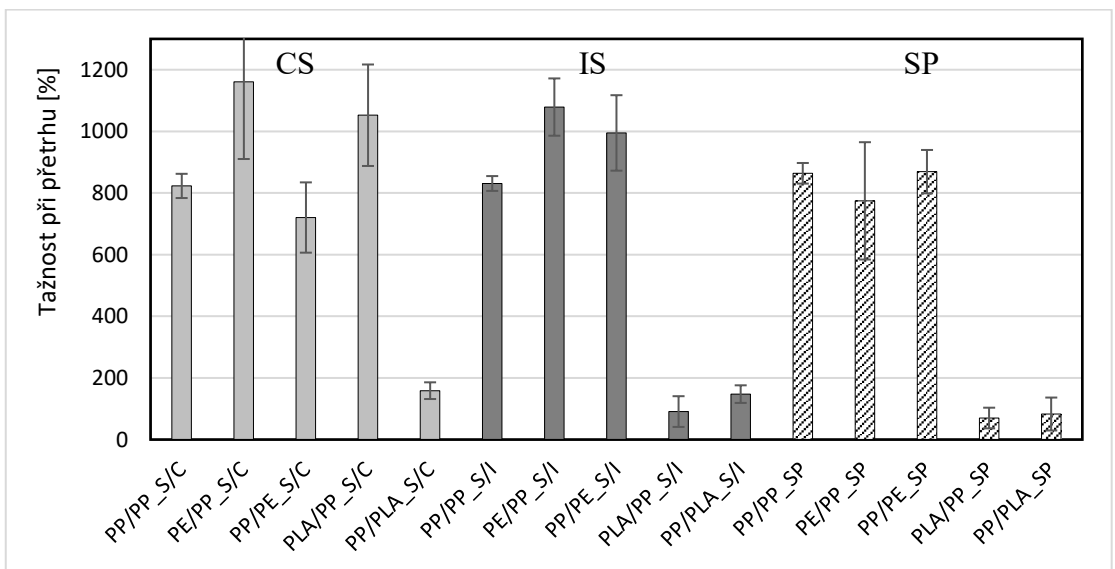
V případě hodnocení tažnosti nedloužených vláken při přetrhu již byly pozorovány rozdíly významnější. Průměrné hodnoty tažnosti okolo 800 % dosahovaly všichni zástupci PP spolu se vzorky obou variant kombinace PP a PE v konfiguraci segmentový koláč. Významně vyšší hodnoty tažnosti při přetrhu (okolo 1100 %) byly stanoveny u vláken PE/PP_S/C, PLA/PP_S/C a PE/PP_S/I, tj. materiálů s PP ve středu vlákna. Poslední, nezmiňovaný typ vlákna s PP ve středu vlákna (PLA/PP_S/I), dosahoval tažnosti při přetrhu okolo 100 %, což byla hodnota srovnatelná se vzorky obsahujícími ve středu vlákna PLA (PP/PLA_S/C a PP/PLA_S/I). Nejnižší hodnoty tažnosti (<100 %) byly stanoveny pro kombinace materiálu PP a PLA v konfiguraci segmentový koláč.

Na základě reprezentativních tahových křivek nedloužených vláken lze říci, že mechanické vlastnosti monokomponentních vláken PP připravených pomocí zvláknovacích hlav ve třech různých konfiguracích jsou v rámci chyby měření srovnatelné (viz obr.45).

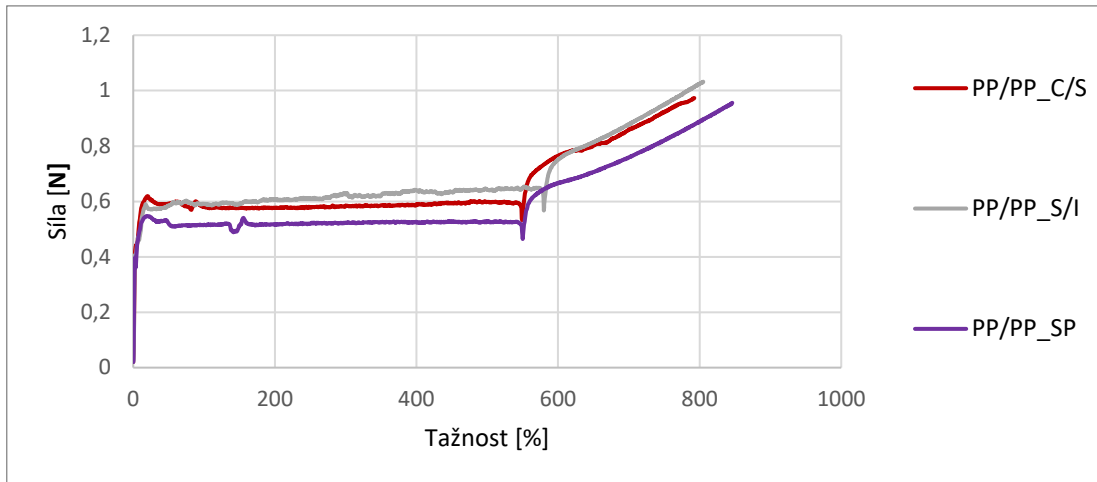
Nejvíce markantní vliv konfigurace vláken byl pozorován u materiálové kombinace PP a PLA (odkaz na graf srovnání křivek z PP a PLA), kdy střed vlákna tvořil PP. V tomto případě bylo pozorováno výrazně odlišné chování u konfigurací jádro/obal a ostrovy v moři na tažnost vláken. PP v jádře vlákna zapříčinil dosažení hodnot tažnosti srovnatelných se vzorky v kombinaci PE/PP. V případě PP ve středu vlákna v podobě mikrofibril byla tažnost vlákna při přetrhu přibližně 10x nižší.



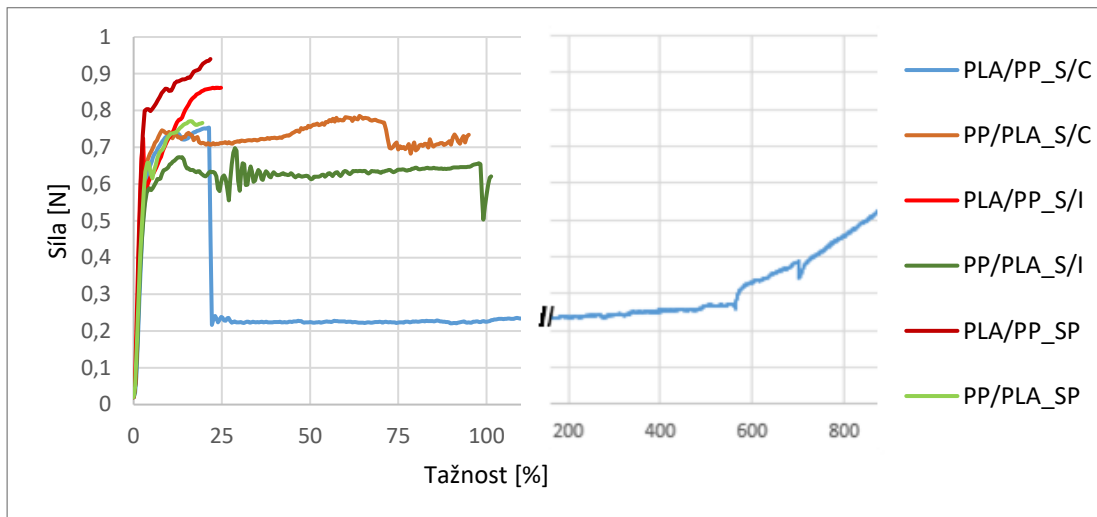
Obrázek 43: Srovnání výsledků nejvyšší pevnosti nedloužených vláken



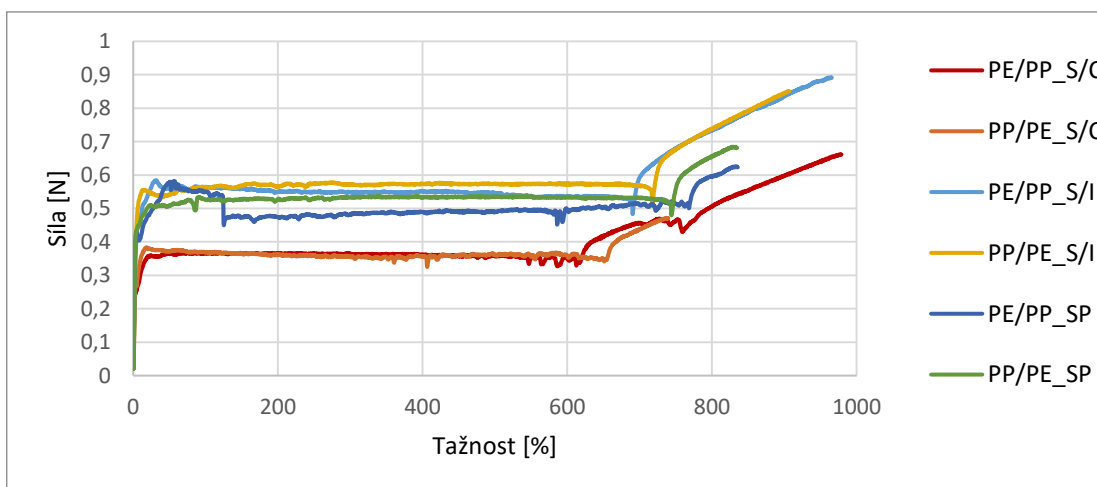
Obrázek 44: Srovnání výsledků tažnosti při přetrhu nedloužených vláken



Obrázek 45: Reprezentativní tahové křivky nedloužených vláken pro kombinaci materiálů PP a PP



Obrázek 46: Reprezentativní tahové křivky nedloužených vláken pro kombinaci materiálů PP a PLA

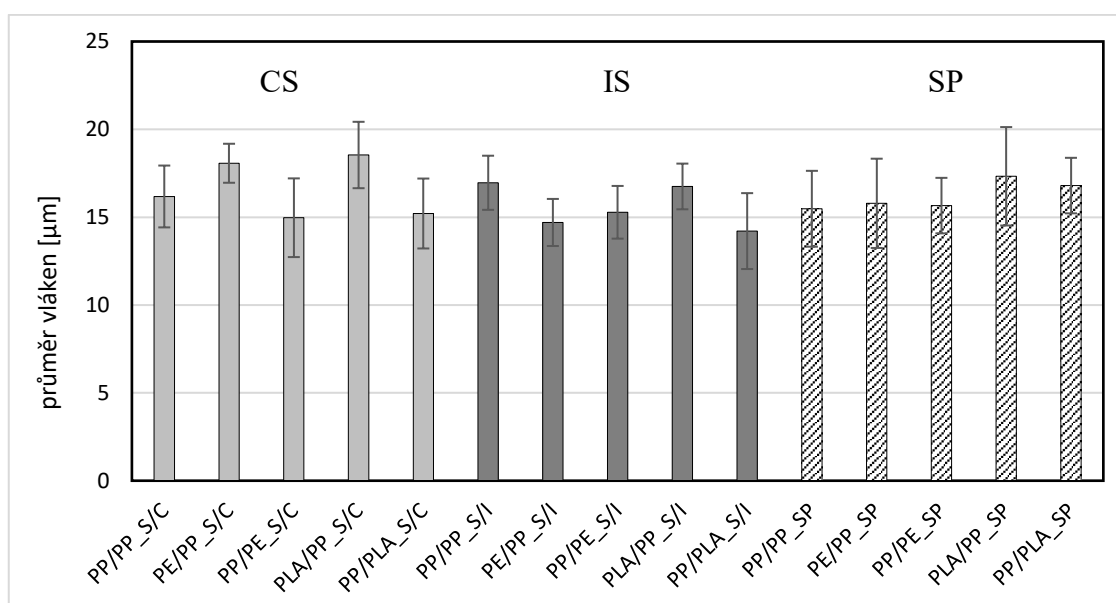


Obrázek 47: Reprezentativní tahové křivky nedloužených vláken pro kombinaci materiálů PP a PE

6.3 Strukturní vlastnosti netkaných textilií

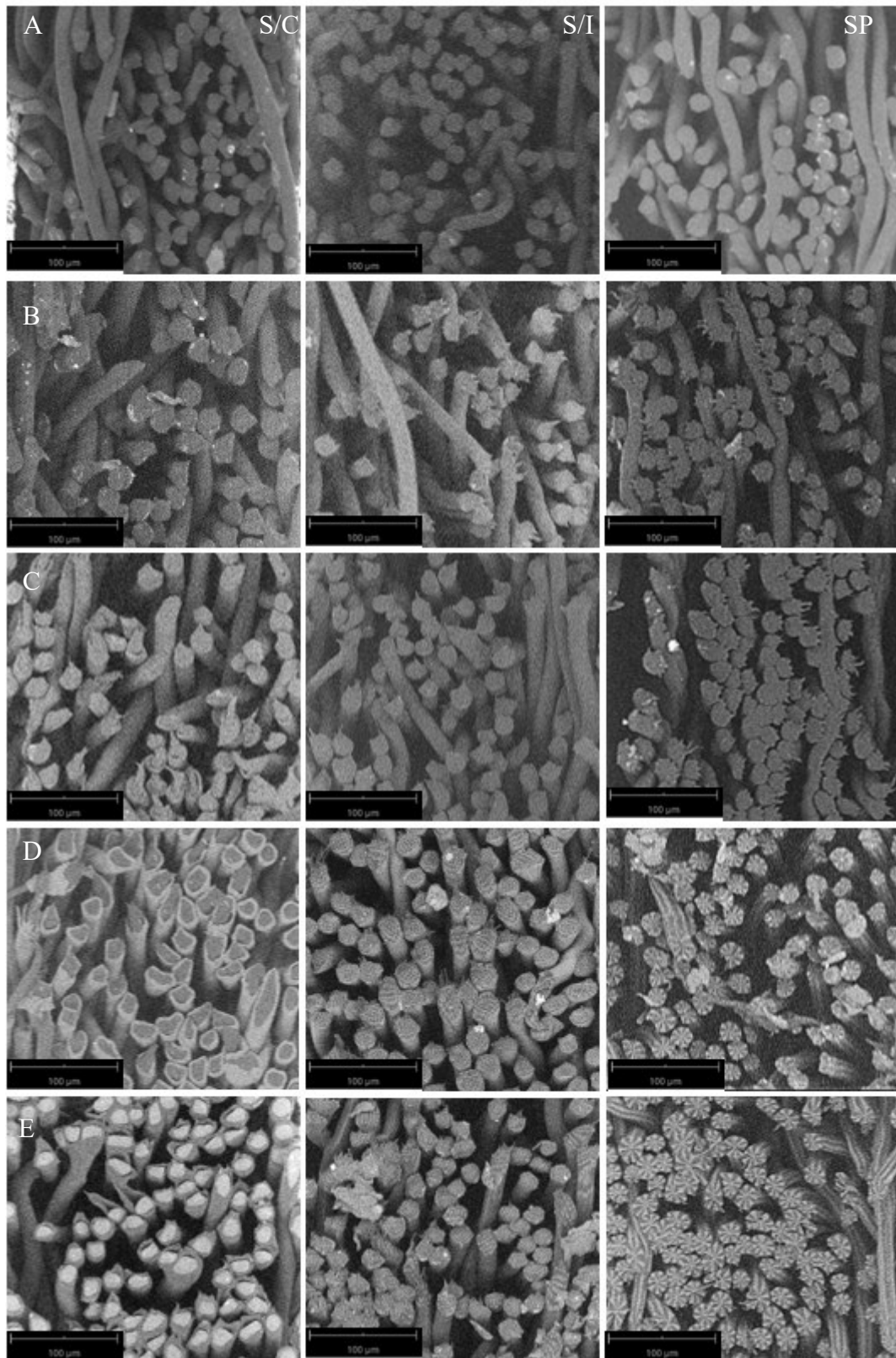
Průměry vláken NT byly stejně jako v případě nedloužených vláken charakterizovány pomocí skenovací elektronové mikroskopie s využitím softwaru NIS-elements a i v tomto případě lze učinit stejný závěr a to, že statisticky významný vliv konfigurace na průměr vláken NT nebyl pozorován. Průměry dloužených vláken tvořící připravené netkané textilie se pohybovaly v rozmezí hodnot 14–18 μm (obrázek 48).

Obecně lze říci, že hodnoty průměru vláken připravených technologií spunbond na dané laboratorní lince se pohybují v rozmezí s relativní směrodatnou odchylkou 10 %.



Obrázek 48: Výsledky stanovení průměru vláken NT

Struktura vláken NT v řezu je vyobrazena prostřednictvím SEM snímků na obrázku č. 49. Rozdíly v konfiguraci připravených vláken jsou dobře pozorovatelné (především u materiálových kombinací PP a PLA) i v případě vláken NT, jejichž průměry jsou přibližně 10x menší v porovnání s vlákny nedlouženými



Obrázek 49: SEM snímky konfigurace vláken „plášť-jádro“ (sloupec vlevo), „ostrovky v moři“ (prostřední sloupec), „segmentový koláč“ (sloupec vpravo), A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP/PLA

6.4 Mechanické vlastnosti netkaných textilií

Mechanické vlastnosti NT byly hodnoceny pomocí tahové zkoušky. Z tahových křivek závislosti síly na protažení byly vyhodnoceny a srovnány výsledky nejvyšší pevnosti (obr. 50, 51, 52) a tažnosti vláken při nejvyšší pevnosti (obr. 53, 54, 55).

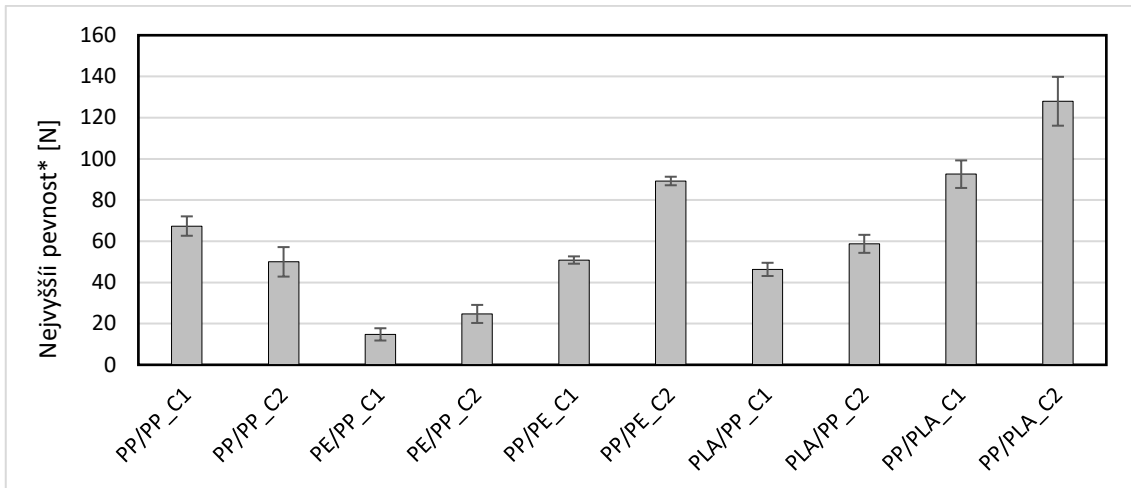
Pro názornost a srovnání vlivu konfigurace vláken pro dané kombinace materiálů na jejich mechanické vlastnosti jsou pak uvedeny reprezentativní tahové křivky NT pro vzorky s plošnou hmotností přibližně 80 g.m^{-2} (obr. 56, 57, 58).

Na základě výsledků hodnocení mechanických vlastností lze konstatovat, že především hodnoty pevnosti v tahu námi připravených NT, jsou do značné míry ovlivněny posledním krokem v rámci technologie spunbond, kterým je termické pojení vláken kaladrováním. Bylo zjištěno, že z konstrukčního hlediska kalandru (problematické urdžení konstantních teplot a nastavení přítlaku válců) je obtížné připravit srovnatelné vzorky (hloubka dezénu a působení vyšší nebo naopak nižší teploty pro optimální propojení vláken).

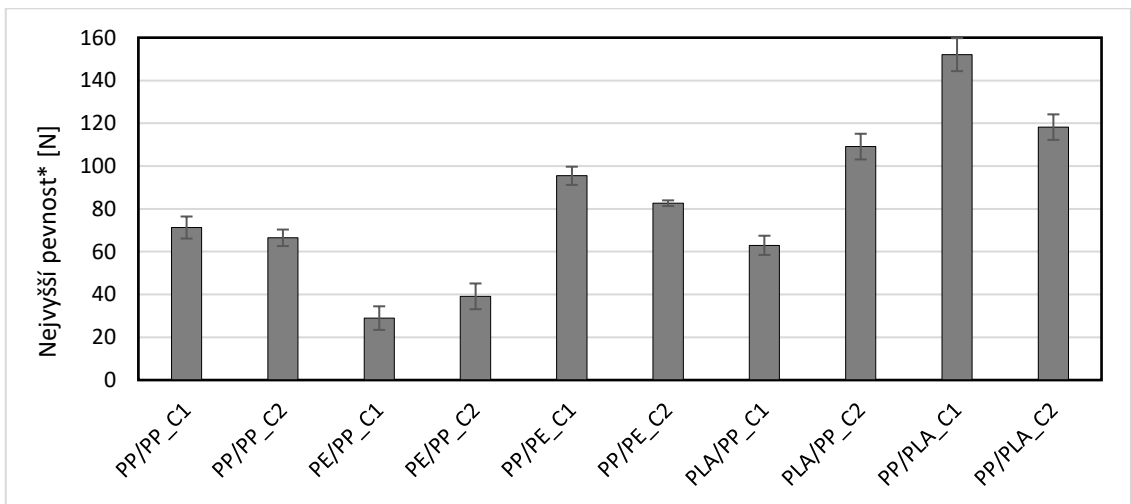
Je tedy pravděpodobné, že námi vyrobené NT mohou být v některých případech výrazněji ovlivněny procesem tepelného pojení vláken než samotnými konfiguracemi vláken či plošnou hmotností připravených vzorků.

Mechanické vlastnosti monokomponentních NT byly v rámci chyby měření téměř ve všech případech srovnatelné (s výjimkou PP/PP_S/C NT s gramáží C2), kdy hodnota nejvyšší pevnosti vzorků byla přibližně 70 N pro obě gramáže a tažnost při nejvyšší pevnosti dosahovala okolo 20 % pro gramáž 80 g.m^{-2} a nepatrně vyšší hodnotou (30–40 %) pro gramáž 120 g.m^{-2} (obr. 56).

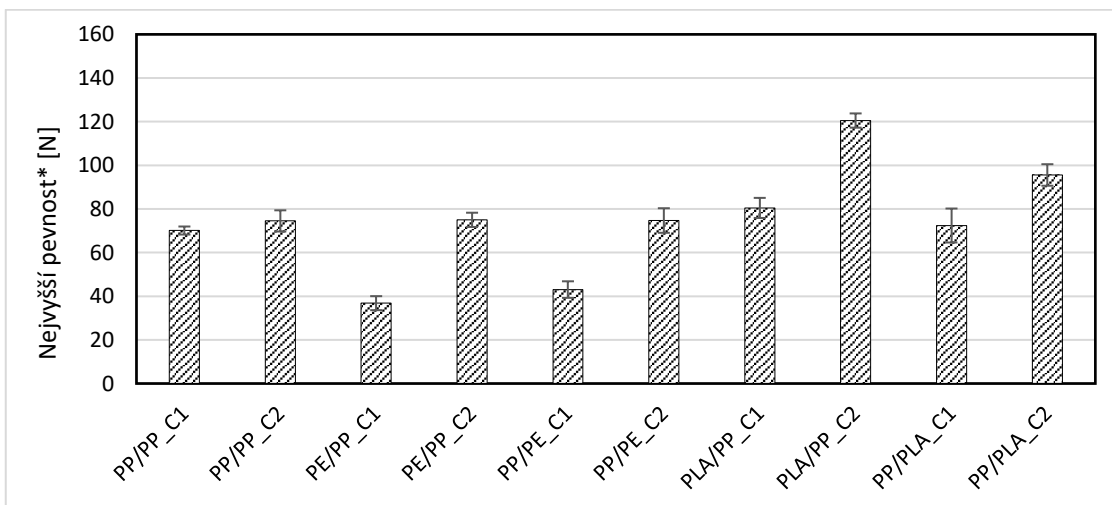
Nižší hodnoty pevnosti v porovnání s PP monovlákenými NT byly stanoveny pro vzorky PE/PP u všech konfigurací i gramáží (s výjimkou vzorku PE/PP_SP_C2) v rozmezí 15–40 N, s tažností v rozmezí 300–370 %. Naopak výrazněji vyšší hodnoty byly vyhodnoceny pro vzorky PP/PLA ve všech konfiguracích a gramážích (mimo PP/PLA_SP_C1), a to 95–150 N a tažností 20–60 %.



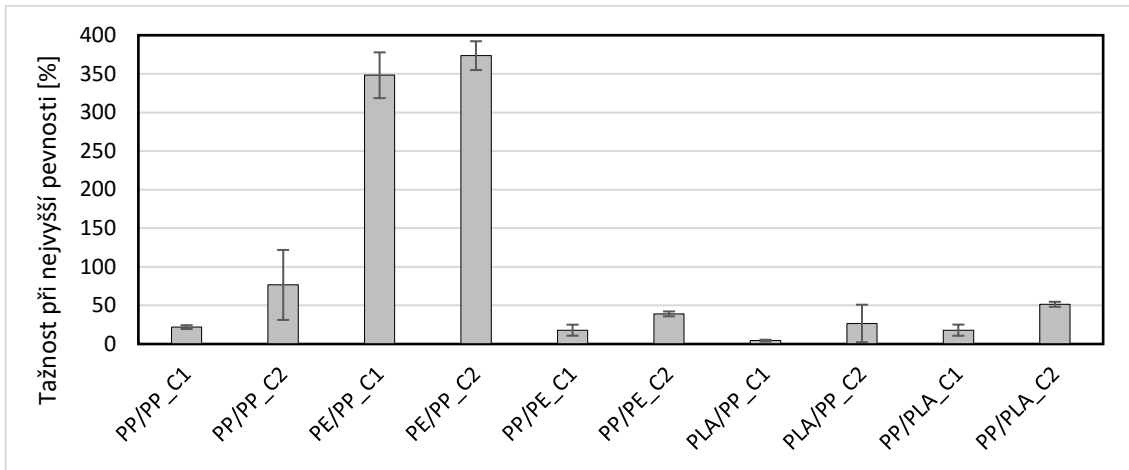
Obrázek 50: Výsledky nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "plášť/jádro" (S/C)



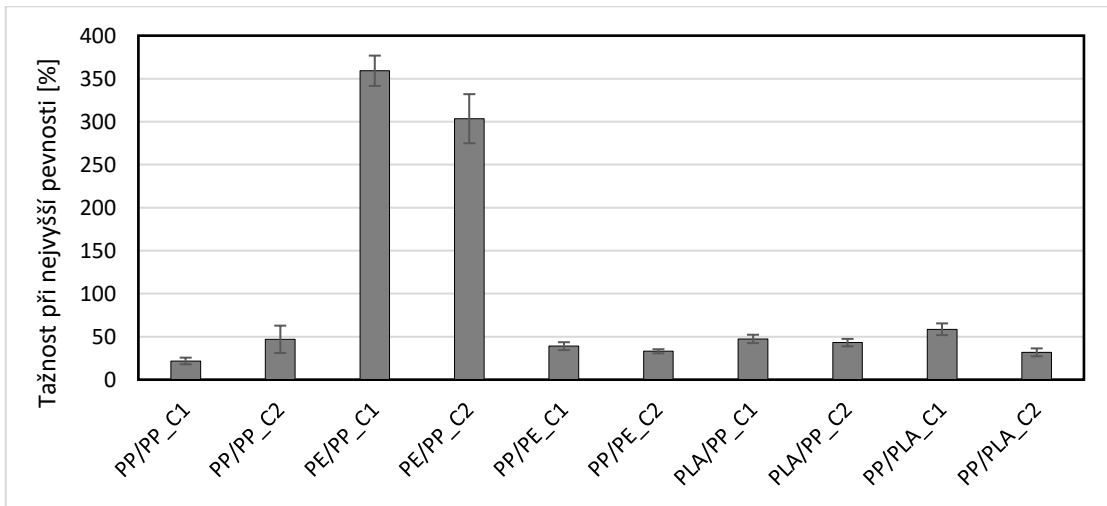
Obrázek 51: Výsledky nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "ostrovy v moři" (S/I)



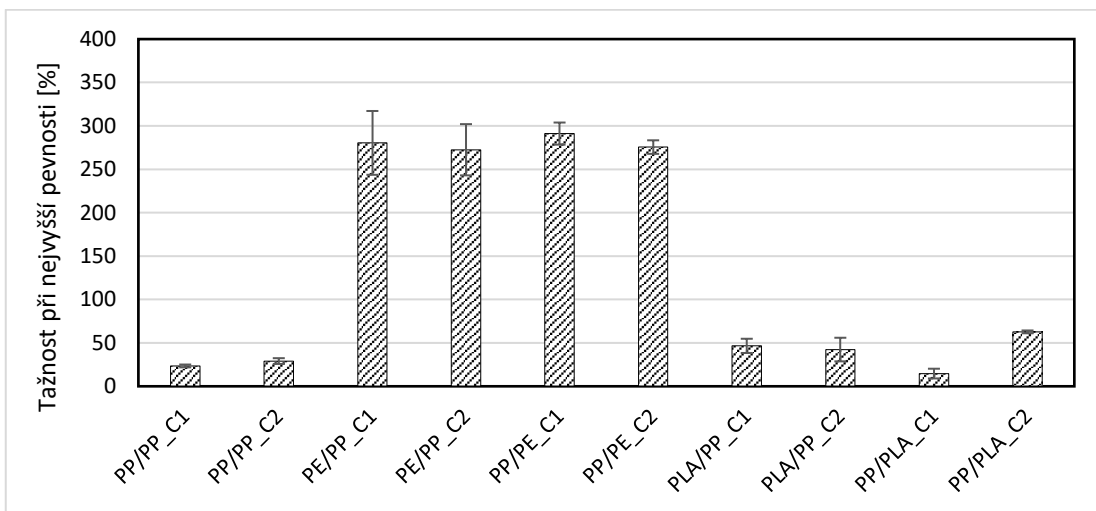
Obrázek 52: Výsledky nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "segmentový koláč" (SP)



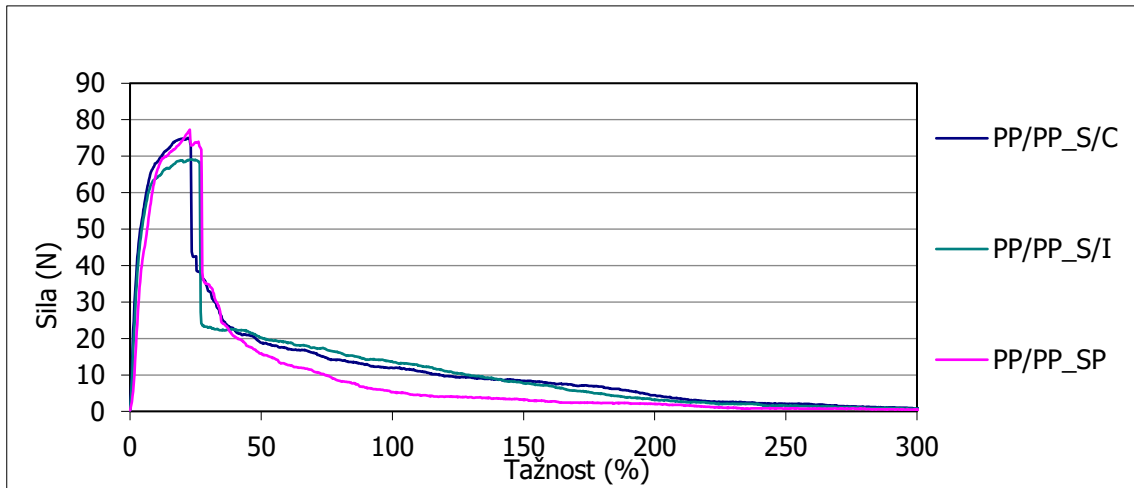
Obrázek 53: Závislost tažnosti při nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "plášť jádro" (S/C)



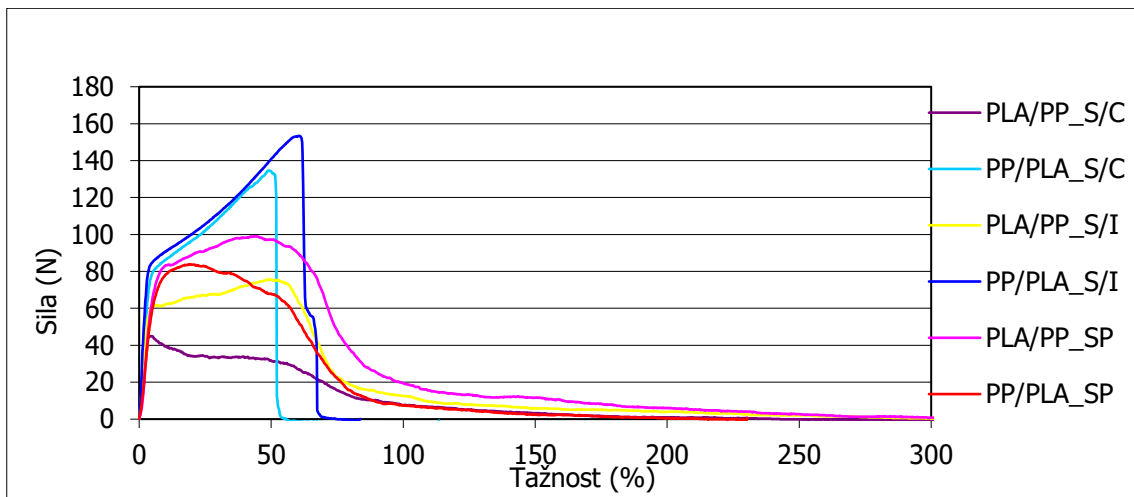
Obrázek 54: Závislost tažnosti při nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "ostrovy v moři" (S/I)



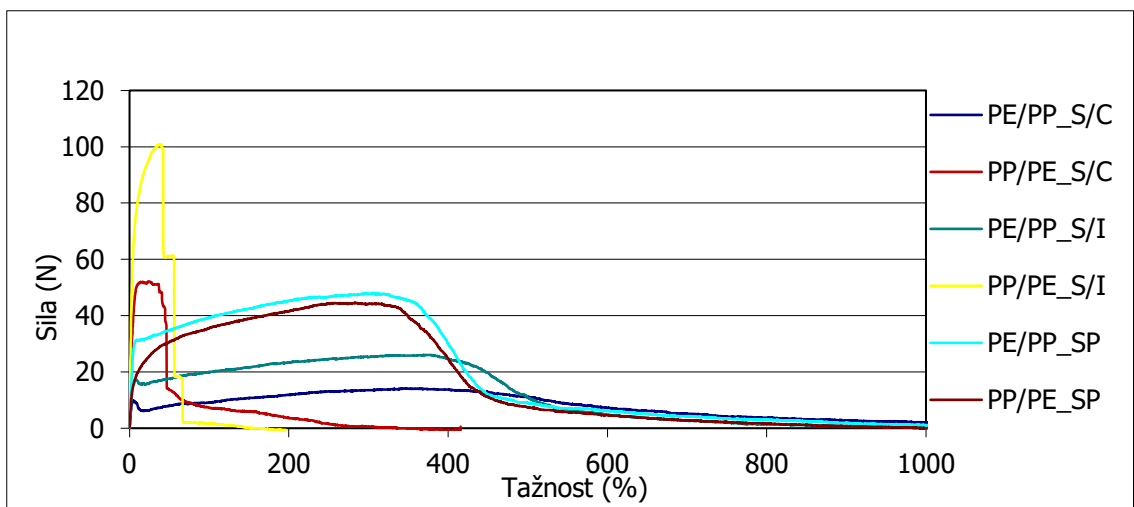
Obrázek 55: Závislost tažnosti při nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "segmentový koláč" (SP)



Obrázek 56: Reprezentativní tahové křivky NT pro kombinaci materiálů PP/PP



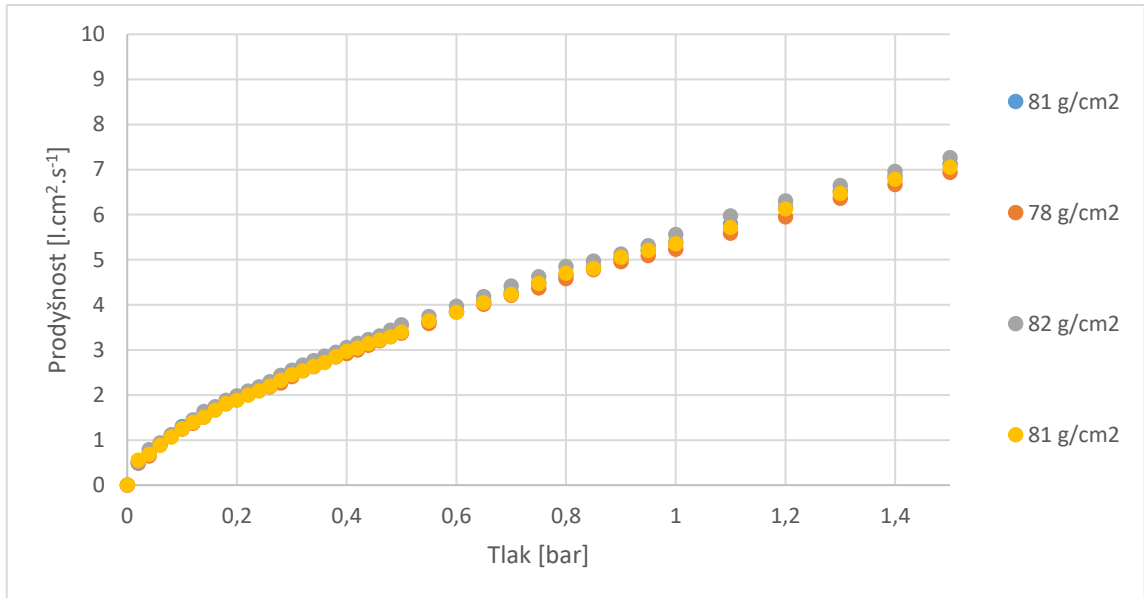
Obrázek 57: Reprezentativní tahové křivky NT pro kombinaci materiálů PP a PLA



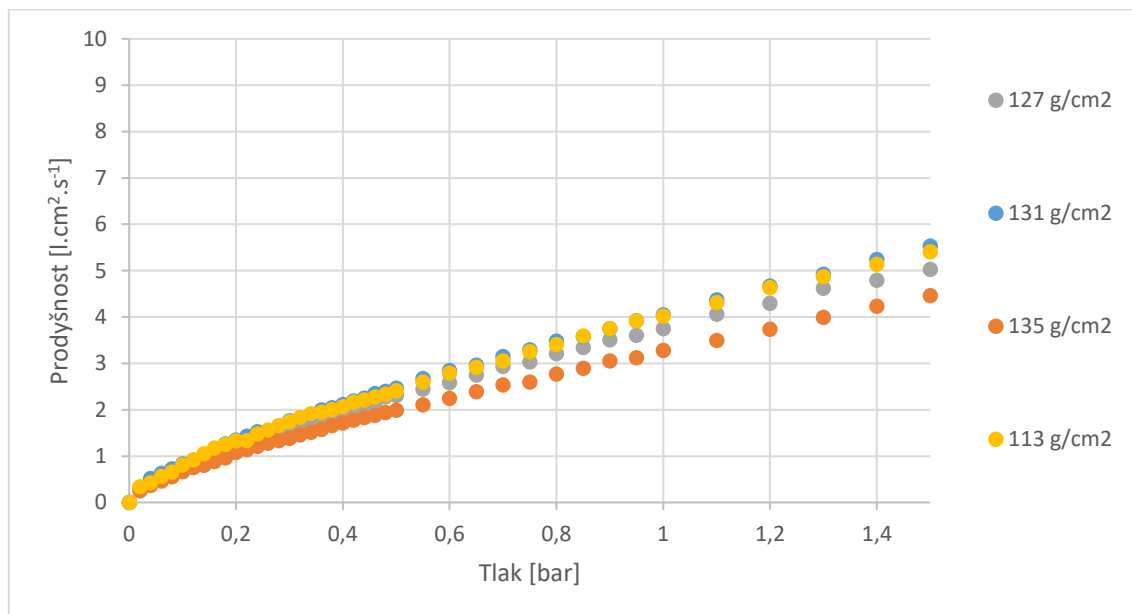
Obrázek 58: Reprezentativní tahové křivky NT pro kombinaci materiálů PP a PE

6.5 Hodnocení prodyšnosti netkaných textilií

Hodnocení prodyšnosti NT bylo prováděno prostřednictvím stanovení závislosti průtoku vzduchu na tlaku vzduchu v rozmezí 0,02– 1,5 bar v závislosti na možnostech daného vzorku (viz obr. 59 a 60).



Obrázek 59: Závislost prodyšnosti na tlaku vzduchu pro vzorek PP/PP_SP s plošnou hmotností C1 (80 g/m^2)



Obrázek 60: Závislost prodyšnosti na tlaku vzduchu pro vzorek PP/PP_SP s plošnou hmotností C2 (120 g/cm^2)

Pro srovnání prodyšnosti připravených materiálů bylo nejprve nutno zvolit hodnotu tlaku vzduchu, při které budou výsledky odečteny. V tomto kroku jsme se rozhodli pro srovnání výsledků v oblasti hodnot maximálních respiračních tlaků typických pro zdravého dospělého jedince. Na základě literatury [96], průměrný maximální tlak nádechu činí přibližně 75 cmH₂O (centimetrů vodního sloupce) a tlak výdechu dosahuje hodnot přibližně 96 cmH₂O, což odpovídá hodnotám 7,4 kPa a 9,4 kPa. Prodyšnost připravených netkaných textilií byla tedy hodnocena při tlaku 0,1 bar na danou plochu NT a výsledky jsou uvedeny v tabulkách 7, 8, 9.

Tabulka 7: Výsledky prodyšnosti netkaných textilií v konfiguraci "plášť/jádro"

	Prodyšnost [L.cm ² .s ⁻¹]					
	C1 (80 g/cm ²)			C2 (120 g/cm ²)		
PP/PP_S/C	1,11	±	0,06	0,70	±	0,05
PE/PP_S/C	1,44	±	0,17	0,72	±	0,09
PP/PE_S/C	1,06	±	0,14	0,65	±	0,09
PLA/PP_S/C	1,40	±	0,10	0,98	±	0,04
PP/PLA_S/C	1,04	±	0,07	0,63	±	0,02

Tabulka 8: Výsledky prodyšnosti netkaných textilií v konfiguraci "ostrovky v moři"

	Prodyšnost [L.cm ² .s ⁻¹]					
	C1 (80 g/cm ²)			C2 (120 g/cm ²)		
PP/PP_S/I	1,30	±	0,10	0,80	±	0,14
PE/PP_S/I	1,39	±	0,32	0,93	±	0,14
PP/PE_S/I	1,24	±	0,06	0,78	±	0,06
PLA/PP_S/I	1,65	±	0,10	0,81	±	0,03
PP/PLA_S/I	1,27	±	0,04	0,84	±	0,17

Tabulka 9: Výsledky prodyšnosti netkaných textilií v konfiguraci "segmentový koláč"

	Prodyšnost [$L \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$]					
	C1 (80 g/cm ²)			C2 (80 g/cm ²)		
PP/PP_SP	1,28	±	0,05	0,81	±	0,07
PE/PP_SP	1,03	±	0,05	0,59	±	0,04
PP/PE_SP	1,51	±	0,12	0,89	±	0,06
PLA/PP_SP	1,41	±	0,25	0,93	±	0,12
PP/PLA_SP	1,11	±	0,08	0,64	±	0,02

Stejně jako v případě hodnocení mechanických vlastností NT je nutné i v případě hodnocení prodyšnosti brát v úvahu ovlivnění struktury procesem kalandrování. Navíc bylo zjištěno, že hodnocení prodyšnosti se zdá být významnou charakteristikou spíše z pohledu strukturních vlastností vzorků o rozdílných plošných hmotnostech či průměrech vláken (porozitě). Průměrné hodnoty prodyšnosti NT vztažené na hodnotu plošné hmotnosti 80 g/cm² byly v rozmezí 1,0–1,6 L.cm².s⁻¹. V případě vzorků s vyšší gramáží (120 g/cm²) se experimentálně stanovené hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,6–0,9 L.cm².s⁻¹. Významný vliv konfigurace vláken na prodyšnost NT nebyl pozorován.

6.6 Hodnocení smáčivosti netkaných textilií

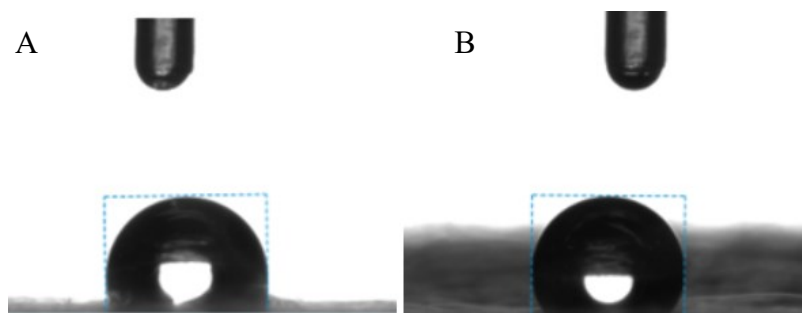
Povrchové vlastnosti NT byly charakterizovány pomocí kontaktního úhlu. Pro danou analýzu bylo vybráno 5 vzorků NT tak, aby povrch vzorku byl tvořen každým z použitých polymerních materiálů (vzorky v konfiguraci plášť/jádro – PP/PP, PE/PP a PLA/PP) stejně tak jako jejich kombinacemi (vzorky v konfiguraci segmentový koláč – PE/PP a PLA/PP).

Výsledné hodnoty kontaktních úhlů pro rub a líc vzorků NT jsou shrnuty v tabulce 10. Hodnoty kontaktního úhlu nad 90° vypovídají o hydrofobitě povrchu NT, a tedy jeho nesmáčivosti, což je dobře pozorovatelné z obr. 61.

Tabulka 10: Hodnoty kontaktních úhlů vody vybraných vzorků NT

	Kontaktní úhel [°]					
	Líc			Rub		
PP/PP_S/C	122	±	4	120	±	4
PE/PP_S/C	124	±	7	120	±	5
PLA/PP_S/C	113	±	7	110	±	6
PE/PP_SP	122	±	5	120	±	4
PLA/PP_SP	119	±	5	118	±	3

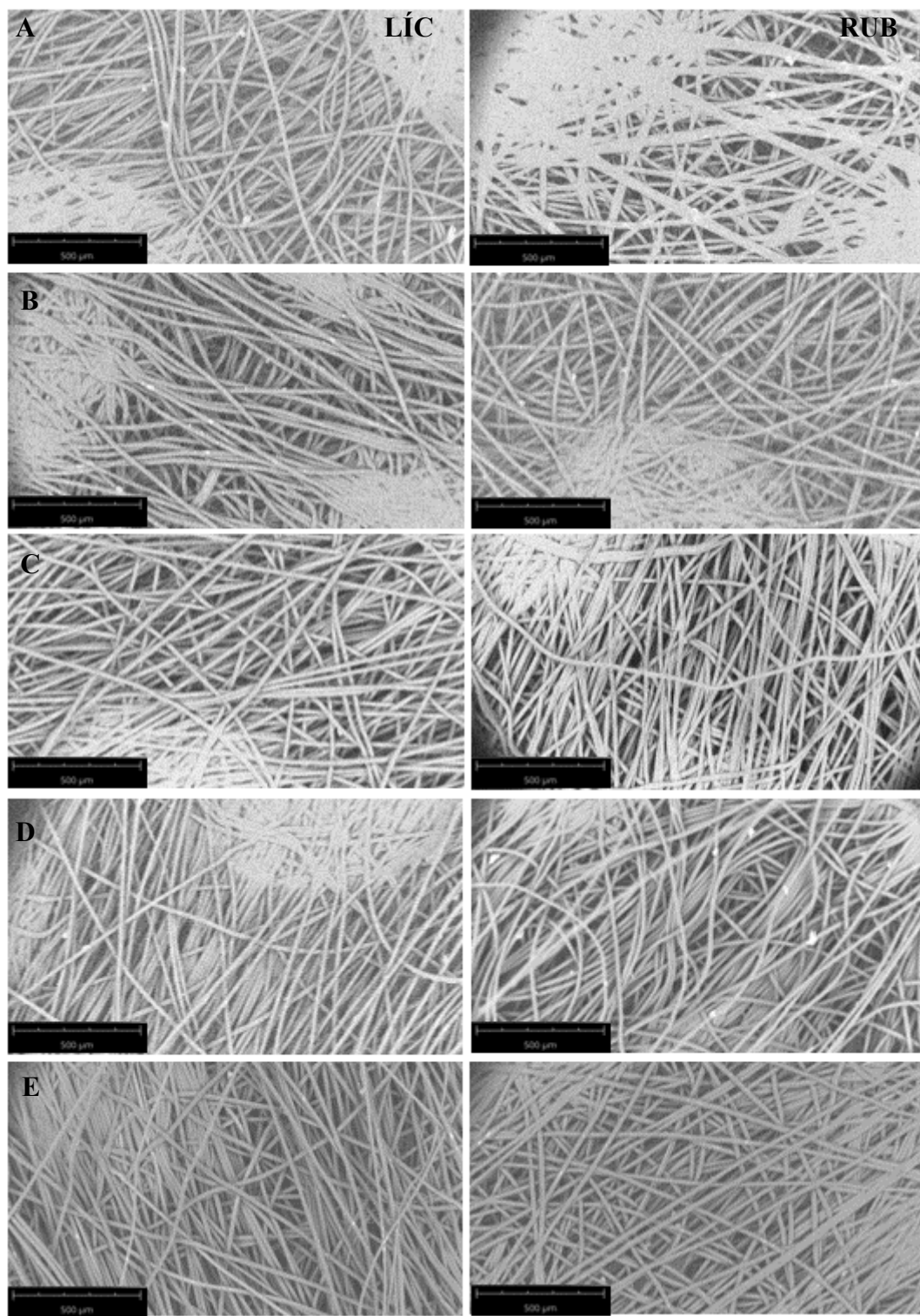
Velikost kontaktního úhlu NT pro lícovou stranu (tj. povrchu vytvořeného prostřednictvím horního perforovaného válce kalandru) byl rostoucí v následujícím pořadí materiálů tvořících povrch vláken: PLA < PLA/PP < PP < PE/PP < PE.



Obrázek 61: Grafické znázornění sedící kapky pro líc NT vzorku A) PLA/PP_S/C (113°), B), PE/PP_S/C (124°)

Co se týče výsledků rubové strany (tj. povrchu vytvořeného prostřednictvím spodního hladkého válce kalandru), lze konstatovat, že stanovené průměrné hodnoty jsou vždy o pár jednotek nižší. Toto zjištění je dáno zřejmě rozdílností povrchu lícové (s výraznějším dezénem) a rubové (hladší) strany NT. Na výsledcích rubové strany si lze všimnout i menší odchylky měření v porovnání s výsledky strany lícové.

Pro doplnění informací v rámci dané problematiky jsou uvedeny SEM snímky vzorků povrchů lícové i rubové strany, u nichž byla hodnocena smáčivost (viz obr. 62).



Obrázek 62: Zobrazení povrchu netkané textilie z lícové strany (levý sloupec) a rubové strany (pravý sloupec), A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA

ZÁVĚR

Teoretická část práce byla zaměřena na charakterizaci a přípravu netkaných textilií metodou zvlákňování z taveniny se zaměřením na technologii spunbond. Pozornost pak byla věnována především popisu, výrobě a možnostech využití bikomponentních vláken a jejich nejčastějších konfigurací. Dále byly také popsány polymerní materiály vhodné pro proces zvlákňování z taveniny a vybrané metody využívané k charakterizaci vláken a netkaných textilií.

Praktická část práce se zabývala v první fázi přípravou vlákněných struktur a netkaných textilií ve třech konfiguracích vláken – „jádro/obal“, „ostrovy v moři“ a „segmentový koláč“. Pro přípravu daných struktur byly využity tři typy polymerních materiálů, konkrétně polypropylen, polyetylen a kyselina polymléčná. Pro každý experiment (materiálové složení a konfiguraci) byly nalezeny optimální procesní podmínky pro přípravu vlákněných struktur, u nichž byly v další fázi práce hodnoceny strukturální a mechanické vlastnosti. V případě vzorků netkaných textilií bylo také provedeno hodnocení prodyšnosti a stanovení kontaktního úhlu vybraných kombinací materiálů.

Strukturální vlastnosti vláken byly hodnoceny pomocí optické i skenovací elektronové mikroskopie. Struktura vláken v řezu a rozdíly mezi jednotlivými konfiguracemi byly dobře pozorovatelné a detailně popsány. Velikost průměrů nedloužených vláken se pohybovala v rozmezí 160–200 μm , průměry dloužených vláken tvořící připravené netkané textilie se pohybovaly v rozmezí hodnot 14–18 μm . Obecně lze říci, že hodnoty průměru vláken připravených technologií spunbond na dané laboratorní lince se pohybují v rozmezí s relativní směrodatnou odchylkou 10 %. Významný vliv konfigurace vláken na jejich průměr nebyl pozorován v případě dloužených ani nedloužených vláken.

Co se týče hodnocení mechanických vlastností nedloužených vláken, nejnižší průměrné hodnoty pevnosti nedloužených vláken byly pozorovány u vzorků PP/PE_S/C a PP/PE_S/I, tedy konfigurací, kdy střed vlákna tvořil polyetylen, a obou variant kombinace PP a PE v konfiguraci segmentový koláč. Pevnosti vzorků nedloužených vláken kombinací PP/PP i ve všech variantách PP a PLA byly v rámci chyby měření srovnatelné. Významně vyšší hodnoty tažnosti při přetrhu byly stanoveny u vláken PE/PP_S/C, PLA/PP_S/C a PE/PP_S/I, tj. materiálů s PP ve středu vlákna.

Mechanické vlastnosti PP monokomponentních NT byly v rámci chyby měření téměř ve všech případech srovnatelné s hodnotou nejvyšší síly přibližně 70 N a tažnosti okolo 30 %.

Nižší hodnoty pevnosti byly oproti tomu stanoveny pro vzorky PE/PP u všech konfigurací i gramáží v rozmezí 15–40 N, s tažností v rozmezí 300–370 %. Naopak výrazněji vyšší hodnoty byly vyhodnoceny pro vzorky PP/PLA ve všech konfiguracích a gramážích a to 95–150 N a tažností 20–60 %.

Hodnocení prodyšnosti bylo prováděno pro hodnotu respiračního tlaku výdechu typického pro zdravého dospělého jedince. Průměrné hodnoty prodyšnosti NT vztažené na hodnotu plošné hmotnosti 80 g/cm² byly v rozmezí 1,0–1,6 L.cm².s⁻¹. V případě vzorků s vyšší gramáží (120 g/cm²) se experimentálně stanovené hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,6–0,9 L.cm².s⁻¹. Významný vliv konfigurace vláken na prodyšnost NT nebyl pozorován.

Smáčivost povrchu NT byla charakterizována pomocí měření kontaktního úhlu vody. Velikost kontaktního úhlu pro lícovou stranu NT (tj. povrchu vytvořeného prostřednictvím horního perforovaného válce kalandru) byl rostoucí v následujícím pořadí materiálů tvořících povrch vláken: (113°) PLA < PLA/PP < PP < PE/PP < PE (124°).

Na základě výsledků hodnocení mechanických vlastností a prodyšnosti lze konstatovat, že připravené NT jsou do značné míry ovlivněny posledním krokem v rámci technologie spunbond, kterým je termické pojení vláken kalandrováním. Bylo zjištěno, že námi vyrobené NT mohou být v některých případech výrazněji ovlivněny procesem tepelného pojení vláken než samotnými konfiguracemi vláken či plošnou hmotností připravených vzorků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SENTHIL, K.P. a V. PUNITHA. An Overview of Nonwoven Product Development and Modelling of Their Properties. 2017, **07**(04). ISSN 21658064. Dostupné z: doi:10.4172/2165-8064.1000310
- [2] JIRSÁK, O. a K. KALINOVÁ. *Netkané textilie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-746-2.
- [3] KRČMA, R. *Netkané textilie*. Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [4] *ISO 9092:2011(en), Textiles — Nonwovens — Definition*. 2011.
- [5] HUTTEN, I. M. Chapter 1 - Introduction to Nonwoven Filter Media. In: Irwin M. HUTTEN, ed. *Handbook of Nonwoven Filter Media (Second Edition)*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016, s. 1–52. ISBN 978-0-08-098301-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-098301-1.00001-0
- [6] HUA, T. Fabric Making Technologies. In: *Handbook of Fibrous Materials*. John Wiley & Sons, Ltd, 2020, s. 477–498. ISBN 978-3-527-34258-7. Dostupné z: doi:10.1002/9783527342587.ch19
- [7] *Netkané textilie, jejich vlastnosti a zkoušení*. Brno: Dům techniky ČSVTS Brno, 1987.
- [8] MIDHA, V. a A DAKURI. Spun bonding Technology and Fabric Properties: a Review. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*. 2017, **1**. Dostupné z: doi:10.15406/jteft.2017.01.00023
- [9] SILVA, E. The Spunbond Process. 2010. Dostupné z: https://www.academia.edu/440290/The_Spunbond_Process
- [10] Nonwovens in clothing and footwear. *EDANA: European Disposables and Nonwovens Association*. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life/clothing-and-footwear>
- [11] DHANGE, V. K. a P. V. KADOLE. Application of nonwoven fabrics in fashion outfits. *Asian Textile Journal*. 2018, **27**, 61–64.
- [12] MALSHE, P. *Application of Nonwovens as Medical Textiles*. Dostupné z: <http://www.technicaltextile.net/articles/nonwovens-as-medical-textiles-3693>
- [13] Nonwovens in daily life. *EDANA: European Disposables and Nonwovens Association*. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life>
- [14] RAGHUNATHAN, S. a K. RAGHUNATHAN. Applications of nonwovens in medical textiles. *Asian Textile Journal*. 2013, **22**, 75–78.
- [15] AJMERI, J. R. a C. JOSHI AJMERI. 4 - Nonwoven materials and technologies for medical applications. In: V. T. BARTELS, ed. *Handbook of Medical Textiles*. Woodhead Publishing, 2011, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 106–131. ISBN 978-1-84569-691-7. Dostupné z: doi:10.1533/9780857093691.1.106

- [16] AJMERI, J. R. a C. J. AJMERI. 5 - Nonwoven personal hygiene materials and products. In: R. A. CHAPMAN, ed. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles* [online]. B.m.: Woodhead Publishing, 2010, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 85–102. ISBN 978-1-84569-437-1. Dostupné z: doi:10.1533/9781845699741.2.85
- [17] CHEN, J. Y. 10 - Nonwoven textiles in automotive interiors. In: R. A. CHAPMAN, ed. *Applications of Nonwovens in Technical Textile*. Woodhead Publishing, 2010, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 184–201. ISBN 978-1-84569-437-1. Dostupné z: doi:10.1533/9781845699741.2.184
- [18] ZOBEL, S. a T. GRIES. 9 - The use of nonwovens as filtration materials. In: R. A. CHAPMAN, ed. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*. Woodhead Publishing, 2010, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 160–183. Dostupné z: doi:10.1533/9781845699741.2.160
- [19] MARASOVIĆ, Paula a D. KOPITAR. Overview and perspective of nonwoven agrotexile. *Textile & Leather Review*. 2019, 2. Dostupné z: doi:10.31881/TLR.2019.23
- [20] WANG, X. Y. a R. H. GONG. Thermally bonded nonwoven filters composed of bicomponent polypropylene/polyester fiber. I. Statistical approach for minimizing the pore size. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006, 101(4), 2689–2699. ISSN 1097-4628. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1002/app.23915
- [21] MUKHOPADHYAY, A. 7 - Composite nonwovens in filters: theory. In: Dipayan DAS a Behnam POURDEYHIMI, ed. *Composite Non-Woven Materials*. Woodhead Publishing, 2014, s. 120–163. ISBN 978-0-85709-770-5. Dostupné z: doi:10.1533/9780857097750.120
- [22] WARRING, R. H. *Filters and Filtration Handbook*. Gulf Publishing Company, 1981. ISBN 0-87201-283-2.
- [23] HORÁKOVÁ, N. *Vláknenné struktury připravené technologií spunbond*. Zlín, 2018. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [24] HUTTEN, I. M. Chapter 5 - Processes for Nonwoven Filter Media. In: Irwin M. HUTTEN, ed. *Handbook of Nonwoven Filter Media (Second Edition)*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016, s. 276–342. ISBN 978-0-08-098301-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-098301-1.00005-8
- [25] MADIWAL, M. B. Spunbonding Technology with Types, Application (Bags) & Market Future. *Textile Learner*. 2021. Dostupné z: <https://textilelearner.net/spunbonding-technology-with-types-application/>
- [26] FARAG, A. *Spunbond Technology*. 2019. Dostupné z: <http://ahmadfarag.com/expertise/spunbond-technology>
- [27] LIM, H. A review of spun bond process. *Journal of textile and apparel*. 2010, 6, 1–13.
- [28] GOPALAKRSHNAN, D. Spunbonded Nonwovens – An Overview. *Sardar Vallabhbhai Patel institute of Textile management*. 2007. Dostupné

z: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/1575/spunbonded-nonwovens-an-overview>

- [29] RUSSELL, S. J. a P. A. SMITH. 6 - Technical fabric structures – 3. Nonwoven fabrics. In: A. R. HORROCKS a S. C. ANAND, ed. *Handbook of Technical Textiles (Second Edition)*. Woodhead Publishing, 2016, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 163–188. ISBN 978-1-78242-458-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-1-78242-458-1.00006-6
- [30] GUPTA, B. S. a J. V. EDWARDS. 3 - Textile materials and structures for topical management of wounds. In: S. RAJENDRAN, ed. *Advanced Textiles for Wound Care (Second Edition)*. Woodhead Publishing, 2019, The Textile Institute Book Series, s. 55–104. ISBN 978-0-08-102192-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-102192-7.00003-5
- [31] JAFARI, M., E. SHIM a A. JOIJODE. Fabrication of Poly(lactic acid) filter media via the meltblowing process and their filtration performances: A comparative study with polypropylene meltblown. *Separation and Purification Technology*. 2021, **260**, 118185. ISSN 1383-5866. Dostupné z: doi:10.1016/j.seppur.2020.118185
- [32] DUTTON, K. C. Overview and Analysis of the Meltblown Process and Parametrs. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2008, (6).
- [33] HU, M., A. JAHID, N. H. KUMAR a V. HARUN. Fundamentals of the Fibrous Materials. In: *Handbook of Fibrous Materials*. John Wiley & Sons, Ltd, 2020, s. 1–36. ISBN 978-3-527-34258-7. Dostupné z: doi:10.1002/9783527342587.ch1
- [34] MILITKÝ, J. *Textilní vlákna*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [35] HUFENUS, R., Y. YAN, M. DAUNER a Takeshi KIKUTANI. Melt-Spun Fibers for Textile Applications. *Materials*. 2020, **13**(19), 4298. Dostupné z: doi:10.3390/ma13194298
- [36] KŘEMENÁKOVÁ, D., J. MILITKÝ a J. ŠESTÁK. *Vláknenné struktury pro speciální aplikace*. Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-87269-32-9.
- [37] HUFENUS, R. H., Y. YAN, M. DAUNER, D. YAO a T. KIKUTANI. Bicomponent Fibers. In: *Handbook of Fibrous Materials*. John Wiley & Sons, Ltd, 2020, s. 281–313. ISBN 978-3-527-34258-7. Dostupné z: doi:10.1002/9783527342587.ch11
- [38] MUKHOPADHYAY, S. 2 - Natural and synthetic fibres for composite nonwovens. In: D. DAS a B. POURDEYHIMI, ed. *Composite Non-Woven Materials*. Woodhead Publishing, 2014, s. 20–29. ISBN 978-0-85709-770-5. Dostupné z: doi:10.1533/9780857097750.20
- [39] MOONEY, P., J. SHEARER, J. MEAD, C. BARRY, Q. TRUONG, E. WELSH, R. PANG, W. ZUKAS, P. STENHOUSE, P. BROWN a N. HOFFMAN. Bicomponent Fiber Extraction Process for Textile Applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2018, **13**(1), 155892501801300100. ISSN 1558-9250. Dostupné z: doi:10.1177/155892501801300104

- [40] MATHER, R. R. 9 - The structure of polyolefin fibres. In: S. J. EICHHORN, J. W. S. HEARLE, M. JAFFE a T. KIKUTANI, ed. *Handbook of Textile Fibre Structure*. Woodhead Publishing, 2009, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 276–304. ISBN 978-1-84569-380-0. Dostupné z: doi:10.1533/9781845696504.2.276
- [41] FEDOROVA, N. *Investigation of the utility od island-in-the-sea bicomponent fiber technology in the spunbond process*. 2006. Disertační práce. North Carolina State University.
- [42] Elastic ES (Ethylene-Propylene Side By Side) fiber and preparation method thereof [online]. CN104630932A. 2015. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/CN104630932A/en>
- [43] GOPALAKRSHNAN, D. *Bicomponent Fibers* [online]. Dostupné z: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/1587/bicomponent-fibers>
- [44] DASDEMIR, M., B. MAZE, N. ANANTHARAMAIAH a B. POURDEYHIMI. Influence of polymer type, composition, and interface on the structural and mechanical properties of core/sheath type bicomponent nonwoven fibers. *Journal of Materials Science*. 2012, **47**, 5955–5969. Dostupné z: doi:10.1007/s10853-012-6499-7
- [45] TAKEMATSU, M., M. F. DINIZ, E. MATTOS, R. DUTRA a M. TAKEMATSU. Sheath-core bicomponent fiber characterization by FT-IR and other analytical methodologies. *Polímeros*. 2018, **28**(4), 339–347. ISSN 0104-1428. Dostupné z: doi:10.1590/0104-1428.09016
- [46] MALKAN, S. R. Textile, Hygiene, Health, and Geosynthetic Applications of Polyethylene. In: *Handbook of Industrial Polyethylene and Technology*. John Wiley & Sons, Ltd, 2017, s. 1179–1195. ISBN 978-1-119-15979-7. Dostupné z: doi:10.1002/9781119159797.ch46
- [47] NAEIMIRAD, M., A. ZADHOUSH, R. KOTEK, R. NEISIANY, S. KHORASANI a S. RAMAKRISHNA. Recent advances in core/shell bicomponent fibers and nanofibers: A review. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018, **135**(21), 46265. ISSN 1097-4628. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/app.46265>
- [48] MAQSOOD, M. a G. SEIDE. Novel Bicomponent Functional Fibers with Sheath/Core Configuration Containing Intumescent Flame-Retardants for Textile Applications. *Materials*. 2019, **12**(19), 3095. Dostupné z: doi:10.3390/ma12193095
- [49] ABDULLAH, M., T. NUGE, A. ANDRIYANA, B. Ch. ANG a F. MUHAMAD. Core–Shell Fibers: Design, Roles, and Controllable Release Strategies in Tissue Engineering and Drug Delivery. *Polymers*. 2019, **11**(12), 2008. Dostupné z: doi:10.3390/polym11122008
- [50] SHIM, E., B. POURDEYHIMI a M. LATIFI. Three-dimensional analysis of segmented pie bicomponent nonwovens. *The Journal of The Textile Institute*. 2010, **101**(9), 773–787. ISSN 0040-5000. Dostupné z: doi:10.1080/00405000903357938
- [51] PRAHSARN, Ch., W. KLINSUKHON, S. PADEE, Natthaphop SUWANNAMEK, N. ROUNGPAISAN a N. SRISAWAT. Hollow segmented-pie PLA/PBS and PLA/PP

- bicomponent fibers: an investigation on fiber properties and splittability. *Journal of Materials Science*. 2016, **51**. Dostupné z: doi:10.1007/s10853-016-0302-0
- [52] PRAHSARN, C., A. MATSUBARA, S. MOTOMURA a Takeshi KIKUTANI. Development of Bicomponent Spunbond Nonwoven Webs Consisting of Ultrafine Splitted Fibers. *International Polymer Processing - INT POLYM PROC*. 2008, **23**, 178–182. Dostupné z: doi:10.3139/217.2037
- [53] KAMIYAMA, M., T. SOEDA, S. NAGAJIMA a K. TANAKA. Development and application of high-strength polyester nanofibers. *Polymer Journal*. 2012, **44**(10), 987–994. ISSN 1349-0540. Dostupné z: doi:10.1038/pj.2012.63
- [54] MASUDA, M., A. KISHIRO, J. FUNAKOSHI, Y. FUNATSU a S. MIZUKAMI. *Sea-island composite fiber, ultrafine fiber, and composite spinneret - Toray Industries, Inc*. 2015. Dostupné z: <https://www.freepatentsonline.com/8969224.html>
- [55] MADDAH, H. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. *American Journal of Polymer Science*. 2016, **6**(1), 1–11. ISSN 2163-1352.
- [56] FAMBRI, L., D. LORENZI, E. MASARATI a Enrico COSTANTINI. *Polypropylene: Synthesis, Applications and Environmental Concerns - Chapter 12 - High Load Polypropylene Composites (pp. 161-284)*. 2013. ISBN 978-1-62417-142-0.
- [57] MAXA, D. Polypropylen. *petroleum.cz, Polypropylen*. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/polypropylen.aspx>
- [58] *Polypropylene Fiber: Properties, Uses, Products, Structure | Rilon..* Dostupné z: <https://rilonfibers.com/blog/polypropylene-fiber/>
- [59] *Polyolefin Fibers* [online]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/Fibers/Olefin.html>
- [60] CRANGLE, A. 1 - Types of polyolefin fibres. In: Samuel C. O. UGBOLUE, ed. *Polyolefin Fibres (Second Edition)* [online]. B.m.: Woodhead Publishing, 2017, The Textile Institute Book Series, s. 3–32. ISBN 978-0-08-101132-4. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-101132-4.00001-1
- [61] MALPASS, D. Introduction to Polymers of Ethylene. In: *Introduction to Industrial Polyethylene*. John Wiley & Sons, Ltd, 2010, s. 1–22. ISBN 978-0-470-90046-8. Dostupné z: doi:10.1002/9780470900468.ch1
- [62] STOKES, V. Structure, Properties, and Applications of Plastics. 2020, 247–275. Dostupné z: doi:10.1115/1.862IPE_ch11
- [63] ZHONG, X., X. ZHAO, Y. QIAN a Y. ZOU. Polyethylene plastic production process. *Insight - Material Science*. 2018, **1**(1), 1–8. ISSN 2630-4708. Dostupné z: doi:10.18282/ims.v1i1.104
- [64] DOBBIN, Ch. An Industrial Chronology of Polyethylene. In: *Handbook of Industrial Polyethylene and Technology*. John Wiley & Sons, Ltd, 2017, s. 1–23. ISBN 978-1-119-15979-7. Dostupné z: doi:10.1002/9781119159797.ch1

- [65] CRAWFORD, R. a J. THRONE. Rotational molding polymers. 2002, s. 19–68. ISBN 978-1-884207-85-3. Dostupné z: doi:10.1016/B978-188420785-3.50004-6
- [66] PATEL, R. M. Types and Basics of Polyethylene. In: *Handbook of Industrial Polyethylene and Technology*. John Wiley & Sons, Ltd, 2017, s. 105–138. ISBN 978-1-119-15979-7. Dostupné z: doi:10.1002/9781119159797.ch4
- [67] MIZERA, A. *Studium teplotní odolnosti termoplastů*. 2015. Disertační práce. Univerzita Tomáče Bati ve Zlíně.
- [68] VIJAYAKUMAR, J., V. THANGAVELU a A. RAJENDRAN. Recent Trends in the Production, Purification and Application of Lactic Acid. *Chemical & Biochemical Engineering Quarterly (cabeq@pbf.hr)*; Vol.22 No.2. 2008, **22**.
- [69] VALEŠ, P. *Studie struktury a vlastností polymerních kompozitů na bázi PLA a kávové sedliny*. 2019. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/153966>
- [70] CASALINI, T., F. ROSSI, A. CASTROVINCI a G. PERALE. A Perspective on Polylactic Acid-Based Polymers Use for Nanoparticles Synthesis and Applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2019, **7**. ISSN 2296-4185. Dostupné z: doi:10.3389/fbioe.2019.00259
- [71] AURAS, R., L. LIM, S. SELKE a H. TSUJI. Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications. *Wiley*. 2010, 1–1. Dostupné z: doi:10.1002/9780470649848
- [72] CASTRO-AGUIRRE, E., F. IÑIGUEZ-FRANCO, H. SAMSUDIN, X. FANG a R. AURAS. Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2016, **107**, PLA biodegradable polymers, 333–366. ISSN 0169-409X. Dostupné z: doi:10.1016/j.addr.2016.03.010
- [73] GARLOTTA, D. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment*. 2001, **9**(2), 63–84. ISSN 1572-8900. Dostupné z: doi:10.1023/A:1020200822435
- [74] SU, S., R. KOPITZKY, S. TOLGA a S. KABASCI. Polylactide (PLA) and Its Blends with Poly(butylene succinate) (PBS): A Brief Review. *Polymers*. 2019, **11**(7), 1193. Dostupné z: doi:10.3390/polym11071193
- [75] TSUJI, H., H. SUGIYAMA a Y. SATO. Photodegradation of Poly(lactic acid) Stereocomplex by UV-Irradiation. *Journal of Polymers and the Environment*. 2012, **20**(3), 706–712. ISSN 1572-8900. Dostupné z: doi:10.1007/s10924-012-0424-7
- [76] FARRINGTON, D.W., J. LUNT, S. DAVIES a R. BLACKBURN. Poly(lactic acid) fibers (PLA). In: *Polyesters and Polyamides*. 2005, s. 191–220. ISBN 978-1-85573-916-1. Dostupné z: doi:10.1533/9781845690991.191
- [77] *PLA Fibers* [online]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/Fibers/PLA.html>
- [78] MADHAVAN NAMPOOTHIRI, K., N. R. NAIR a R. P. JOHN. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*. 2010,

- 101(22), 8493–8501. ISSN 0960-8524. Dostupné z: [doi:10.1016/j.biortech.2010.05.092](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092)
- [79] LI, G., Menghui ZHAO, F. XU, B. YANG a X. LI. Synthesis and Biological Application of Polylactic Acid. *Molecules*. 2020, **25**(21), 5023. Dostupné z: [doi:10.3390/molecules25215023](https://doi.org/10.3390/molecules25215023)
- [80] PACKHAM, D. E. Optical microscopy. In: *Handbook of adhesion*. John Wiley & Sons, 2005, s. 304. ISBN 978-0-471-80874-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpHAE00002/viewerType:toc/>
- [81] KARASOVÁ, A. a A. NISTOR. *Optická (světelná) mikroskopie*. Výukový materiál. Dostupné z: https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010367/8_cFAA.pdf?redirected
- [82] POPELKA, A., S. ZAVAHIR a S. HABIB. Chapter 2 - Morphology analysis. In: Mariam Al Ali ALMAADEED, D. PONNAMMA a M. A. CARIGNANO, ed. *Polymer Science and Innovative Applications*. Elsevier, 2020, s. 21–68. ISBN 978-0-12-816808-0. Dostupné z: [doi:10.1016/B978-0-12-816808-0.00002-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816808-0.00002-0)
- [83] SRISRUAL, A., T. THUBLAOR a P. WONGPROMRAT. Characterisation of Thermal Oxide Scales on Stainless Steels. *Solid State Phenomena*. 2020, **300**, 47–80. ISSN 1662-9779. Dostupné z: [doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.300.47](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.300.47)
- [84] MCDONALD, J. Optical Microscopy. 2019. Dostupné z: [doi:10.31399/asm.tb.mfadr7.t91110042](https://doi.org/10.31399/asm.tb.mfadr7.t91110042)
- [85] ARDEBILI, H. a M. PECHT. Defect and Failure Analysis Techniques for Encapsulated Microelectronics. 2009, s. 287–350. ISBN 978-0-8155-1576-0. Dostupné z: [doi:10.1016/B978-0-8155-1576-0.50010-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1576-0.50010-3)
- [86] ABDULLAH, A. a A. MOHAMMED. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. In: . 2019.
- [87] Scanning Electron Microscopy. *Nanoscience Instruments*. Dostupné z: <https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-electron-microscopy/>
- [88] Zkouška tahem - učební materiál. Výukový materiál [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1566>
- [89] MAO, N. 6 - Methods for characterisation of nonwoven structure, property, and performance. In: George KELLIE, ed. *Advances in Technical Nonwovens*. Woodhead Publishing, 2016, Woodhead Publishing Series in Textiles, s. 155–211. ISBN 978-0-08-100575-0. Dostupné z: [doi:10.1016/B978-0-08-100575-0.00006-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100575-0.00006-1)
- [90] JANCAR, J. a R. NEZBEDOVA. Zkoušení plastů. 2007.
- [91] *Mechanické vlastnosti polymerů – statické namáhání*. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/09.html>
- [92] ČSN EN ISO 9073 - 15 - Zjišťování prodyšnosti. 2009

- [93] EPPS, H. a K. LEONAS. Pore Size and Air Permeability of Four Nonwoven Fabrics. *International Nonwovens Journal*. 2000, **9**, 18–22. Dostupné z: doi:10.1177/1558925000OS-900215
- [94] MRKVIČKOVÁ, Simona. Přednášky z předmětu Povrchové úpravy a lepení. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2020.
- [95] TANAKA, T., J. LEE a P. R. SCHELLER. Chapter 1.5 - Interfacial Free Energy and Wettability. In: S. SEETHARAMAN, ed. *Treatise on Process Metallurgy*. Boston: Elsevier, 2014, s. 61–77. ISBN 978-0-08-096984-8. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-096984-8.00025-2
- [96] GIL OBANDO, L. M., A. LÓPEZ LÓPEZ a C. L. AVILA. Normal values of the maximal respiratory pressures in healthy people older than 20 years old in the City of Manizales - Colombia. *Colombia Medica (Cali, Colombia)*. 2012, **43(2)**, 119–125. ISSN 1657-9534.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

C1	menší gramáž
C2	vyšší gramáž
cm	centimetr
cm ²	centimetr čtvereční
cmH ₂ O	centimetr vodního sloupce
cosθ	cosinus úhlu theta
D	průměr šneku
dtex	jemnost vláken
E	modul pružnosti
F _{max}	maximální síla
g/10min	gram za 10 minut
g.cm ⁻³	gram na centimetr krychlový
g.m ⁻²	gram na metr čtvereční
g.min ⁻¹	gram za minutu
GPA	gigapascal
HDPE	vysokohustotní polyethylen
kg	kilogram
kPa	kilopascal
kV	kilovolt
l.cm ² .s ⁻¹	litr na centimetr čtvereční za sekundu
l.min ⁻¹	litr za minutu
LDPE	nízkohustotní polyethylen
LLDPE	lineární nízkohustotní polyethylen
M/F	materiál/fibrily
m/s	metr za sekundu
mm	milimetr
MPA	megapascal
N	newton
NT	netkaná textilie
nm	nanometr
ot/min	otáčky za minutu
P	pórovitost
P _a	hustota tkaniny
PA6	polyamid 6
PA66	polyamid 66
P _b	hustota vláken
PDLA	D-kyselina polymléčná
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PLA	kyselina polymléčná
PLLA	L-kyselina polymléčná

PP	polypropylen
S	průřez
S/C	plášť/obal
S/I	ostrovy v moři
S/S	strana/strana
SEM	skenovací elektronová mikroskopie
SP	segmentový koláč
γ_{lg}	rozhraní mezi kapalnou a plynnou fází
γ_{sg}	rozhraní mezi tuhou a plynnou fází
γ_{sl}	rozhraní mezi tuhou a kapalnou fází
ε	poměrné prodloužení
σ	napětí
σ_{max}	mez pevnosti
μm	mikrometr
$^{\circ}$	stupeň
$^{\circ}C$	stupeň Celsia
%	procento

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Znázornění rozdílných struktur a) tkané textilie, b) pletené textilie, c) netkané textilie [6].....	12
Obrázek 2: Využití netkaných textilií v oblasti medicíny [13].....	14
Obrázek 3: Využití netkaných textilií v automobilovém průmyslu a zemědělství [13] [19]	15
Obrázek 4: Schématické zobrazení povrchové a hloubkové filtrace [21]	16
Obrázek 5: Schématické zobrazení základních metod výroby vlákněných struktur [2].....	17
Obrázek 6: Schéma zvlákňovací linky pro technologii spunbond [24]	18
Obrázek 7: Schématické zobrazení extrudéru [24]	19
Obrázek 8: Schématické zobrazení zubového čerpadla [24]	19
Obrázek 9: Rozdílné struktury NT připravené metodou spunbond (vlevo) a melt-blown (vpravo).....	22
Obrázek 10: Různé struktury bikomponentních vláken [36].....	24
Obrázek 11: Zobrazení různých typů zvlákňovacích hlav a) s jedinou tryskou, b) s více tryskami [37].....	25
Obrázek 12: Schématické zobrazení zvlákňovací trysky [37].....	26
Obrázek 13: Konfigurace "strana/strana"	27
Obrázek 14: Konfigurace „plášť/jádro“ a „excentrický plášť/jádro“	28
Obrázek 15: Konfigurace "segmentový koláč"	30
Obrázek 16: Konfigurace "ostrovy v moři"	31
Obrázek 17: Strukturní vzorec polypropylenu.....	32
Obrázek 18: Uspořádanost metylových skupin a) v ataktickém PP, b) isotaktickém PP, c) syndiotaktickém PP [57].....	33
Obrázek 19: Grafické znázornění zpracování PP v průmyslu [55]	34
Obrázek 20: Strukturní vzorec polyethylenu	34
Obrázek 21: Zobrazení struktury LDPE [65]	36
Obrázek 22: Zobrazení struktury LLDPE [65]	36
Obrázek 23: Zobrazení struktury HDPE [65]	37
Obrázek 24: Strukturní vzorec a) PLLA, b) PDLA [70]	38
Obrázek 25: Schématické zobrazení optického mikroskopu [84]	40
Obrázek 26: Schématické zobrazení světlé a tmavé zobrazovací metody [82].....	41
Obrázek 27: Schématické zobrazení skenovacího elektronového mikroskopu [87]	42
Obrázek 28: Závislost napětí na protažení vláken [35]	43
Obrázek 29: Schématické zobrazení kontaktního úhlu [95].....	45
Obrázek 30: Laboratorní zvlákňovací linka LBS – 300	48

Obrázek 31: Zobrazení připravených konfigurací a kombinací materiálů ve dvou plošných hmotnostech	48
Obrázek 32: Speciální přípravky pro upnutí vláken a) pro SEM, b) pro optický mikroskop	50
Obrázek 33: Optický mikroskop Leica DVM2500 s adaptérem VZ 80C	51
Obrázek 34: Speciální čelisti pro upnutí vláken	52
Obrázek 35: Skenovací elektronový mikroskop Phenom Pro	53
Obrázek 36: a) Čelisti použité pro tahovou zkoušku netkané textilie, b) Proces trhání netkané textilie	54
Obrázek 37: Příklad pro stanovení prodyšnosti netkaných textilií.....	54
Obrázek 38: Příklad pro stanovení smáčivosti netkaných textilií Krüss a zobrazení sedících kapek na vzorku NT.....	55
Obrázek 39: Graf závislosti průměru vláken pro dané konfigurace vláken	56
Obrázek 40: Snímky konfigurace vláken „plášť/jádro“, vlevo SEM snímky, vpravo snímky z optického mikroskopu A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA	57
Obrázek 41: Snímky konfigurace vláken „ostrovy v moři“, vlevo SEM snímky, vpravo snímky z optického mikroskopu A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA.....	58
Obrázek 42: Snímky konfigurace vláken „segmentový koláč“, vlevo SEM snímky, vpravo snímky z optického mikroskopu A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA.....	59
Obrázek 43: Srovnání výsledků nejvyšší pevnosti nedloužených vláken	62
Obrázek 44: Srovnání výsledků tažnosti při přetrhu nedloužených vláken.....	62
Obrázek 45: Reprezentativní tahové křivky nedloužených vláken pro kombinaci materiálů PP a PP.....	63
Obrázek 46: Reprezentativní tahové křivky nedloužených vláken pro kombinaci materiálů PP a PLA.....	63
Obrázek 47: Reprezentativní tahové křivky nedloužených vláken pro kombinaci materiálů PP a PE.....	63
Obrázek 48: Výsledky stanovení průměru vláken NT.....	64
Obrázek 49: SEM snímky konfigurace vláken „plášť-jádro“ (sloupec vlevo), „ostrovy v moři“ (prostřední sloupec), „segmentový koláč“ (sloupec vpravo), A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP/PLA	65
Obrázek 50: Výsledky nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "plášť/jádro" (S/C).....	67
Obrázek 51: Výsledky nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "ostrovy v moři" (S/I).....	67
Obrázek 52: Výsledky nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "segmentový koláč" (SP).....	67
Obrázek 53: Závislost tažnosti při nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "plášť jádro" (S/C)	68

Obrázek 54: Závislost tažnosti při nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "ostrovy v moři" (S/I)	68
Obrázek 55: Závislost tažnosti při nejvyšší pevnosti NT v konfiguraci "segmentový koláč" (SP)	68
Obrázek 56: Reprezentativní tahové křivky NT pro kombinaci materiálů PP/PP.....	69
Obrázek 57: Reprezentativní tahové křivky NT pro kombinaci materiálů PP a PLA	69
Obrázek 58: Reprezentativní tahové křivky NT pro kombinaci materiálů PP a PE.....	69
Obrázek 59: Závislost prodyšnosti na tlaku vzduchu pro vzorek PP/PP_SP s plošnou hmotností C1 (80 g/m ²).....	70
Obrázek 60: Závislost prodyšnosti na tlaku vzduchu pro vzorek PP/PP_SP s plošnou hmotností C2 (120 g/cm ²).....	70
Obrázek 61: Grafické znázornění sedící kapky pro líc NT vzorku A) PLA/PP_S/C (113°), B), PE/PP_S/C (124°).....	73
Obrázek 62: Zobrazení povrchu netkané textilie z lícové strany (levý sloupec) a rubové strany (pravý sloupec), A) PP/PP, B) PE/PP, C) PP/PE, D) PLA/PP, E) PP, PLA	74

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Srovnání spunbond a melt-blown netkaných textilií [2] [8].....	22
Tabulka 2: Fyzikální vlastnosti různých typů polyethylenů [62]	35
Tabulka 3: Fyzikální vlastnosti kyseliny polymléčné a jejích stereoizomerů [70] [75]	38
Tabulka 4: Nastavené parametry zvlákňovací linky pro konfiguraci „plášť/jádro“	49
Tabulka 5: Nastavené parametry zvlákňovací linky pro konfiguraci „ostrovy v moři“	49
Tabulka 6: Nastavené parametry zvlákňovací linky pro konfiguraci „segmentový koláč“	50
Tabulka 7: Výsledky prodyšnosti netkaných textilií v konfiguraci "plášť/jádro"	71
Tabulka 8: Výsledky prodyšnosti netkaných textilií v konfiguraci "ostrovy v moři"	71
Tabulka 9: Výsledky prodyšnosti netkaných textilií v konfiguraci "segmentový koláč"	72
Tabulka 10: Hodnoty kontaktních úhlů vody vybraných vzorků NT	73

