

Struktury vzniklé při teplovzdušném pojení netkaných textilií

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Kristýna Bendová

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání bakalářské práce

Struktury vzniklé při teplovzdušném pojení netkaných textilií

Jméno a příjmení: **Kristýna Bendová**
Osobní číslo: T18000096
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovlákných materiálů
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou termického pojení netkaných textilií. Zaměřte se na pojivé body vzniklé při tomto způsobu pojení netkaných textilií. Vypracujte rešerši.
2. Navrhněte experiment pro pozorování vzniklých pojivých bodů při termickém pojení. Zaměřte na struktury vzniklé teplovzdušným pojením.
3. Vytvořte sérii vzorků. Měňte parametry pojení a zvolte různé typy materiálů. Experiment vyhodnoťte.
4. Diskutujte výsledky a navrhněte další postupy řešení daného problému.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. Albrecht, W., Fuchs, H., Kittelmann, W.: Nonwovens Fabrics, Wiley-VCH, Weinheim 2003, ISBN: 3-527-30406-1
2. Russel, S.J. [et al.] : Handbook of nonwovens. Boca Raton, Fla. Cambridge: CRC press ; Woodhead, 2007. ISBN 978-185-5736-030.
3. Jirsák, O., Wadsworth, L.C.: Nonwoven Textiles, Carolina Academic Press, Durham, NC 1999, ISBN 0-89089-978-8

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

1. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

30. srpna 2021

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

23. srpna 2021

Kristýna Bendová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi, PhD. za odborné vedení, ochotu a vstřícný přístup. Dále děkuji Ing. Zdeňce Hodkové za cenné rady a pomoc při zkoumání vzorků pod skenovacím elektronovým mikroskopem. Mé další poděkování patří všem zaměstnancům TUL, kteří mi byli nápomocni při vypracování bakalářské práce.

Děkuji také své rodině a přátelům, kteří se mnou měli obrovskou trpělivost a podporovali mě po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem metodiky, pomocí níž je možné zkoumat struktury vzniklé při termickém pojení netkaných textilií a následném pozorování vzniklých bodových spojů v závislosti na změně úhlu mezi vlákny.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na termicky zpevněné netkané textilie s použitím horkého vzduchu. Dále jsou uvedeny základní informace o polyesterových a bikomponentních vláknech, které se převážně využívají při termickém pojení. Další část je věnována skenovacímu elektronovému mikroskopu, který byl využíván při zkoumání vzniklých struktur po teplovzdušném pojení. V experimentální části je popsán postup metodiky, použitý pro zkoumání struktur po pojení. Dále se práce zabývá pozorováním a porovnáním velikosti spoje v závislosti na změně úhlu a změně pojených vláken.

Klíčová slova:

- netkaná textilie
- teplovzdušné pojení
- bikomponentní vlákna
- polyesterová vlákna

ANNOTATION

The aim of this bachelor thesis is to standardize a design of experiment which examines the structures formed during the thermal bonding of nonwoven fabrics and a subsequent observation of a formed bonding point dependent on a change of an angle between fibers.

The theoretical part of this thesis is focused on thermally reinforced nonwoven fabrics by use of hot air. As a next, general information is provided about polyester and bicomponent fibers, which are mainly used in the thermal bonding. The next part describes the scanning electron microscopy that was used to examine created structures after the air bonding. The practical part describes the methodology used to test the structures after bonding. At last, the work deals with an observation and comparison of a size of the bonding point depending on a change of the angle and a change of the bonded fibers.

Key words:

- nonwovens
- through air bonding
- bicomponent fibers
- polyester fibers

OBSAH

Seznam zkratk	10
Úvod	11
1. Teoretická část	12
1.1. Netkané textilie	12
1.1.1. Historie netkaných textilií	12
1.1.2. Současná produkce netkaných textilií	13
1.2. Materiály pro výrobu netkaných textilií	13
1.2.1. Polyesterová vlákna	14
1.2.2. Bikomponentní vlákna	16
1.2.2.1. Vlákna typu jádro/plášť	18
1.2.2.2. Vlákna typu bok po boku	19
1.3. Termické způsoby zpevňování vlákných vrstev	20
1.3.1. Teplovzdušné pojení	22
1.4. Elektronový mikroskop	25
1.4.1. Skenovací elektronový mikroskop	26
2. Experimentální část	28
2.1. Parametry použitého materiálu	28
2.2. Postup výroby vzorků	28
2.3. Zkoumání vzorků pod skenovacím elektronovým mikroskopem	32
2.4. Měření pomocí programu NIS-Elements	40
2.5. Vyhodnocení	45

3. Závěr	49
Seznam použité literatury	50
Seznam příloh	53

Seznam zkratek

Bico/Biko - Bikomponent

coPES - Kopolyester

NT - Netkaná textilie

PES - Polyester

PET - Polyethylentereftalát

SEM – Skenovací elektronový mikroskop

TEM – Transmisní elektronový mikroskop

Úvod

Produkce netkaných textilií se neustále zvyšuje a rozvíjí se tak její použití. Není tedy divu, že v dnešní době mají NT širokou škálu uplatnění. Stačí se porozhlédnout kolem sebe a každý z nás určitě nějakou netkanou textilií objeví.

Termicky pojené netkané textilie jsou nejoblíbenější metodou, která se využívá pro zpevnování vlákenné vrstvy, čemuž i odpovídá jeho široké uplatnění v různých aplikacích. Avšak jak přesně vypadá struktura spoje takto pojených NT, díky které je takto termicky pojená netkaná textilie tak žádaná, to je otázka. Některé studie se samozřejmě zabývaly strukturou vzniklou po tepelném pojení bikomponentního a základního vlákna, ale pouze teoreticky. Na bázi různých simulací byly provedeny analýzy chování tepelně vytvořených spojů.

Základní myšlenkou a taktéž cílem této bakalářské práce bylo vymyslet metodiku, pomocí níž lze zkoumat struktury vzniklé po teplovzdušném pojení a zjistit, zda existuje závislost mezi velikostí struktury spoje a úhlem pojení. Vzhledem k použití polyesterových vláken a bikomponentních vláken typu jádro plášť jako pojivo, by se dalo předpokládat, že vznikne bodová struktura, jejíž velikost bude záviset na úhlu pojených vláken a to tak, že s rostoucím úhlem se bude zvětšovat i plocha spoje.

Tato bakalářská práce je rozdělena do dvou částí, kdy teoretická část je zaměřena na polyesterová a bikomponentní vlákna a také na termické pojení pomocí horkého vzduchu. Dále je zmíněn skenovací elektronový mikroskop, pomocí něhož je možné zkoumat vlastnosti spoje. V experimentální části je sepsán přesný postup výroby vzorků a jejich následné zkoumání. V závěrečné části jsou vyhodnoceny výsledky měření, které jsou doplněny grafy.

1. Teoretická část

Teoretická část se zabývá netkanými textiliemi zhotoveny termickým pojením konkrétně pomocí působení horkého vzduchu na vlákennou vrstvu. Dále je práce zaměřena na bikomponentní a polyesterová vlákna využívající se právě při teplovzdušném pojení. Na závěr teoretické části je zmíněn elektronový mikroskop, který byl využíván pro zkoumání vzniklých struktur po teplovzdušném pojení v této bakalářské práci.

1.1. Netkané textilie

Netkaná textilie je definovaná jako textilie vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, jejichž soudržnost zajišťuje tření a/nebo koheze a/nebo adheze. Materiály, které sem však nespádají a patří tak mezi tzv. výjimky, jsou papír, výrobky vyrobené tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním [1].

1.1.1. Historie netkaných textilií

První zmínky o netkané textilií pocházejí již z prehistorie, kdy byly plstěny některé zvířecí srsti, které se používaly jako příkrývky či ke stavbě obydlí. Plstění probíhalo za současného působení vody, tepla, mechanických vlivů a případně použití chemikálií. Tento postup se používá některými stepními národy dodnes.

V 19. století se s rozšiřující textilní výrobou zvyšoval i technologický odpad, který nebylo možné kvůli svým vlastnostem znovu využít pro výrobu nití. Z tohoto důvodu došlo k rozvoji nových technologií pro výrobu netkaných textilií, zejména vpichování.

K dalšímu rozvoji došlo v první polovině 20. století, poněvadž byla velká poptávka po plošných textilií, které by byly levnější, rychlejší a jednodušší na výrobu na rozdíl od tkaných či pletených výrobků [1].

1.1.2. Současná produkce netkaných textilií

V dnešní době je produkce netkaných textilií zaměřena na vývoj nových materiálů se specifickými vlastnostmi, které nelze docílit jinými technologiemi. Jedná se zejména o materiály využívané například pro filtry, ochranné oděvy, tepelně a hlukově izolační výrobky, oděvní a obuvní textilie a mnoho dalších [1].

Produkce netkaných textilií neustále roste, ačkoliv tedy už ne tak rapidně jako v předchozích letech. V roce 2019 bylo vyrobeno téměř 3 miliony tun netkaných textilií, z čehož největší objem (28,7%) tvořily produkty na hygienu. Dalšími hlavními segmenty výroby byly ubrousky (12,3%), stavebnictví (9,8%), automobilový průmysl (6,2%) a filtrace (3,6%) [2].

1.2. Materiály pro výrobu netkaných textilií

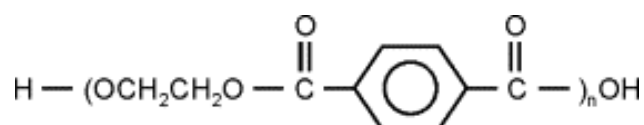
Pro výrobu netkaných textilií je možné využít vlákenné suroviny, které se běžně využívají v textilním průmyslu a to jak přírodní, tak i syntetická vlákna. Syntetická vlákna se však zpracovávají daleko častěji oproti přírodním, jsou to především polypropylenová, polyesterová či polyamidová vlákna. V případě potřeby se tyto vlákna upravují například tvarování či úpravou povrchu, čímž je dosaženo požadovaných vlastností výsledného výrobku.

Podstatným zpracovávaným materiálem, který byl také jedním z důvodů, proč se technologie výroby netkaných textilií rozvíjela, je technologický odpad.

Mimo jiné se k výrobě využívají i speciální vlákna, které dodají výrobku specifické vlastnosti. Řadí se mezi ně bikomponentní vlákna, uhlíková vlákna, příčně profilovaná vlákna a mnoho dalších [1].

1.2.1. Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna s mezinárodním označením PES patří do skupiny chemických vláken, která jsou vyrobena ze syntetických polymerů. V tomto případě se jedná o polymery zvané polyestery, jejichž znakem je přítomnost esterových vazeb v hlavním řetězci. Existuje mnoho různých typů polyesterů, z nichž nejpoužívanější a nejznámějším je polyethyltereftalát neboli PET (obr. č. 1), který se často označuje i když ne zcela správně jako polyester [3].

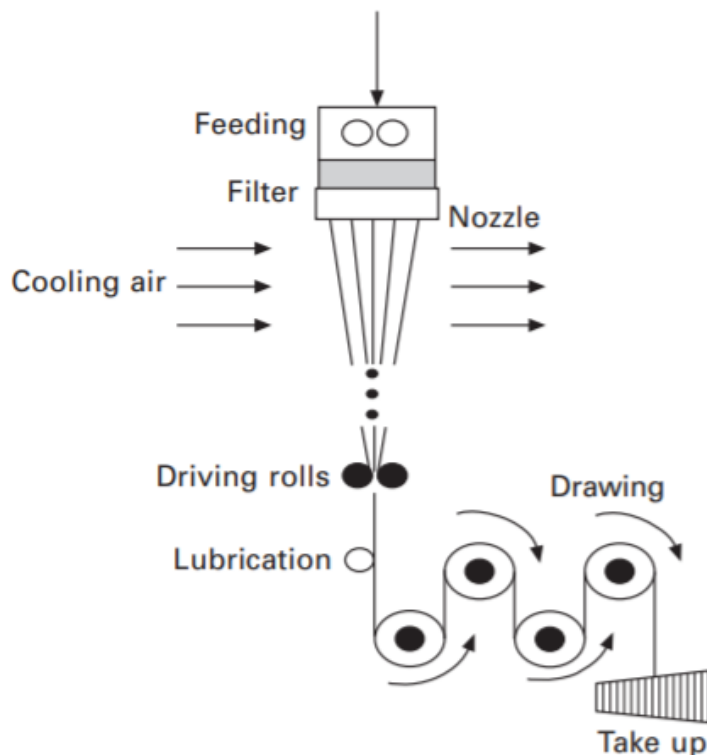


Obr. č. 1 - Chemický vzorec polyethyltereftalátu [4]

První výzkum polyesterů započal ve 30. letech 20. století. Až na začátku 40. let se britským výzkumníkům J. Rex Whinfield a J. T. Dickson podařilo připravit syntetické polyesterové vlákna na bázi polyethyltereftalátu. Komerčně se začala vyrábět až po druhé světové válce pod obchodním názvem Terylene společností Imperial Chemical Industries (ICI) ve Velké Británii. V roce 1953 po získání licence od ICT započala ve Spojených státech výrobu polyesterových vláken s názvem Dacron i firma DuPont. V současné době je to jedno z nejpoužívanějších textilních vláken, jejichž výroba se v takzvaných vyspělých zemích postupně snižuje a přesouvá se do méně vyspělých zemí. Mezi největší výrobce patří zejména Čína a Indie [5, 6].

Pro výrobu polyesteru se využívá dimethyltereftalát a ethylenglykol, které se získávají zpracováním ropy. Polykondenzační reakcí těchto dvou organických sloučenin při vysoké teplotě a tlaku vzniká polyethyltereftalát. Pro získání vláken se PET zvlákňuje, a to buď kontinuálně, nebo diskontinuálně. Při kontinuálním postupu výroby se polymerní tavenina zvlákňuje přímo. Naopak u diskontinuálního postupu polymer prochází několika fázemi, nejprve je tavenina převedena na granulát, který se následně usuší a převede se znovu na taveninu a až poté se zvlákňuje. Polymerní tavenina je tedy pomocí dávkovacího zařízení vedena ke zvlákňovacím tryskám, za kterými je přiváděn studený vzduch, jenž vzniklá vlákna ochladí (obr. č. 2). Poté dochází ke dloužení vláken, kdy dochází k orientaci makromolekul do směru osy vlákna, čímž vzniká krystalická

struktura a zvyšuje se tím pevnost vlákna. Nakonec už jen dochází k fixaci, díky které se ustálí rozměry vlákna a stabilizují se struktury po dloužení [3, 7].



Obr. č. 2 - Schéma výroby polyesterového vlákna [5]

Na základě použitých parametrů při výrobě polyesterových vláken lze dosáhnout různých vlastností například vlákna s vysokou pevností a nízkou tažností. Některých vlastností lze docílit strukturou vlákna a to konkrétně poměrem krystalických a amorfních oblastí [3].

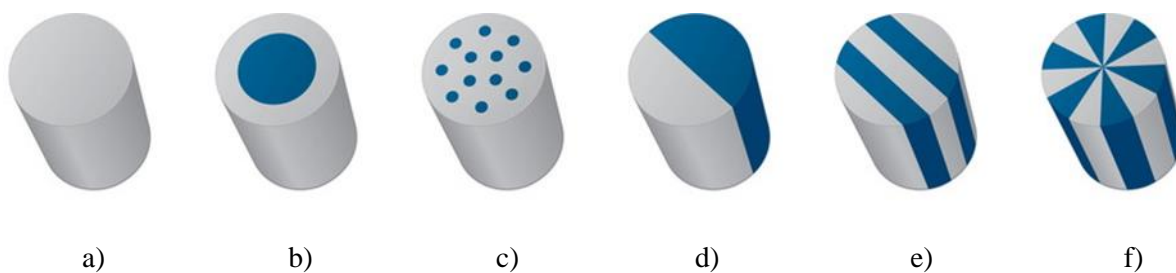
Obecně jsou polyesterová vlákna odolná vůči působení chemikálií, jako například zředěných kyselin, zásad či organických rozpouštědel, a to včetně dlouhodobého účinku. Má dobrou schopnost zotavení, vysokou pružnost a objemnost. Textilie z PES se vyznačují nízkou absorpcí vlhkosti, díky čemuž se rychleji suší, a zároveň mají sklon ke žmolkování. Vzhledem k absenci reaktivních skupin ve vlákně jsou PES vlákna špatně barvena, pro barvení jsou proto obvykle použita disperzní barviva či azobarviva. Teplota tání je 256 °C a tepelná odolnost výrobku je 180 – 200 °C [1,3].

1.2.2. Bikomponentní vlákna

Bikomponentní nebo také často označované jako konjugovaná vlákna jsou složená ze dvou a více polymerů, které často mají odlišnou chemickou povahu a případně i mechanické vlastnosti. Díky obsažení dvou polymerů v jednom vlákne lze dosáhnout specifických vlastností, které při použití pouze jednoho polymeru není možno získat [8].

První bikomponentní vlákno s názvem „cantrese“ bylo vyrobeno v polovině 60. let 20. století firmou DuPoint. Jednalo se o vlákna typu bok po boku tvořené ze dvou nylonových polymerů, díky kterým bylo vlákno vysoce elastické. Elasticita vlákna však nebyla moc dobrá a trvalá, z tohoto důvodu nebylo vlákno vyráběno komerčně. V 70. letech byly v Japonsku vyrobeny další typy bikomponentních vláken, nicméně způsob výroby a její nákladnost byla zcela nevyhovující. Až v roce 1989 byl vyvinut způsob výroby vláken, který byl dostatečně flexibilní a afektivní, aby byl i cenově dostupnější [9, 10].

Na základě tvaru a rozmístění jednotlivých polymerních složek v průřezu vlákna se bikomponentní vlákna rozdělují do několika skupin (obr. č. 3). Vlákna typu jádro/plášť a bok po boku jsou využívána jako pojiva při výrobě termicky pojených netkaných textilií, kdy jsou používána ve směsi se základními vlákny či samotná. Tyto dva typy vláken jsou obvykle složeny ze dvou druhů polymerů, z níže tajícího a z výše tajícího. Jako výše tající složka je často využíván polyester a jako níže tající složka kopolyester nebo polypropylen [1, 8].

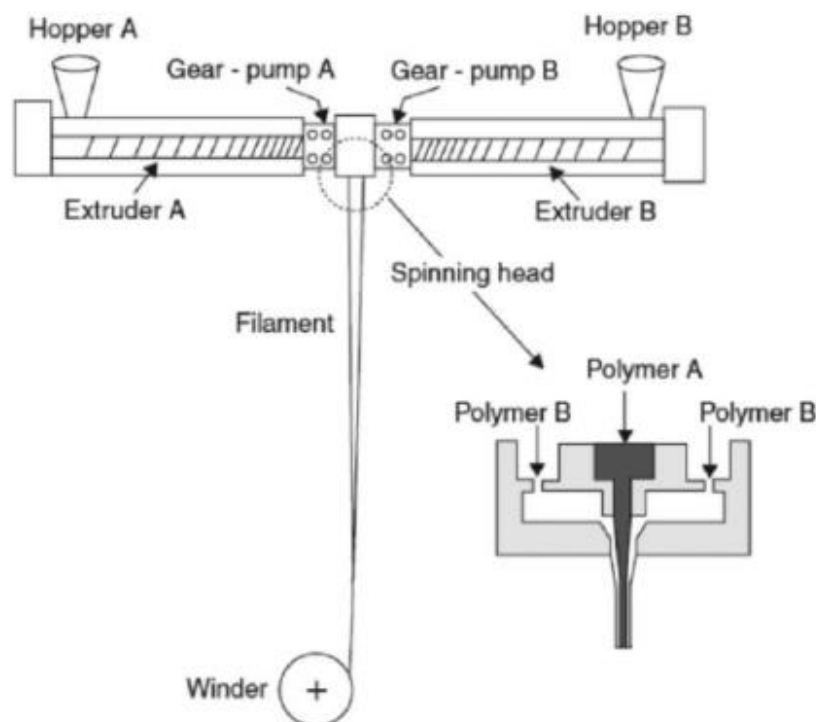


Obr. č. 3 - Příčné průřezy základního a bikomponentních vláken - a) základní vlákno, b) jádro/plášť, c) ostrovy v moři, d) bok po boku, e) pruhy, f) segmentová struktura [11]

Používáním bikomponentních vláken přináší řadu výhod:

- Rovnoměrná distribuce pojiva.
- Vlákno zůstává součástí struktury.
- Šetrné k životnímu prostředí.
- Recyklovatelné.
- Široký rozsah teplot tání.
- ... [12]

Bikomponentní vlákna se vyrábějí pomocí dvou různých polymerních granulátů, které jsou přiváděny do tavných extruderů (obr. č. 4). Vzniklá tavenina je vedena pomocí dávkovacího zařízení ke zvlákňovací trysce, jejíž otvory demonstrují výslednou strukturu příčného řezu vlákna [8].

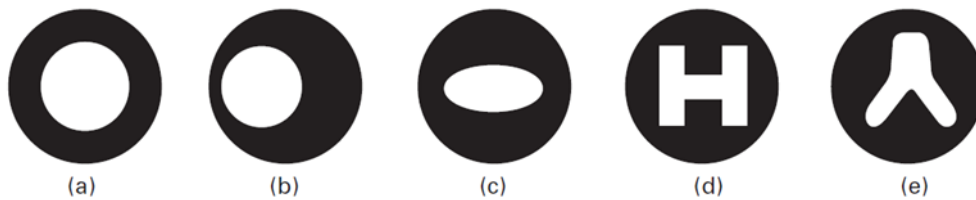


Obr. č. 4 – Schéma výroby bikomponentního vlákna typu jádro plášť [13]

1.2.2.1. Vlákna typu jádro/plášť

U bikomponentního vlákna typu jádro/plášť známého také pod anglickým názvem core–sheath (C/S) je jedna polymerní složka (jádro) plně obklopena druhou složkou (plášť). Plášť vlákna je obvykle ze suroviny, která má nižší teplotu tání než složka tvořící jádro.

Výroba vláken typu C/S může mít několik variant, záleží na tom, jaká má být výsledná požadovaná struktura (obr. č. 5), zda má být jádro uprostřed vlákna či mírně odchýleno od středu [8].

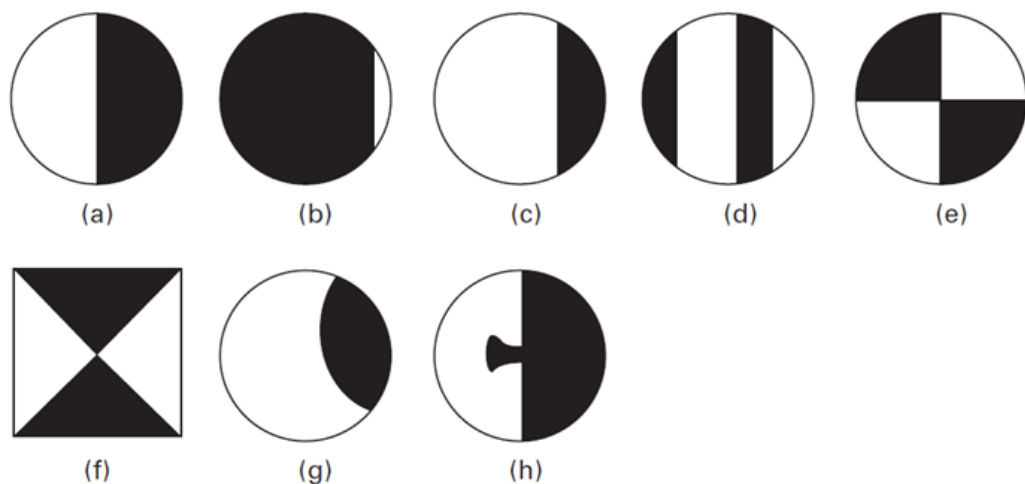


Obr. č. 5 – Druhy bikomponentního vlákna typu jádro/plášť [9]

Současným trendem je přizpůsobení vlastností vláken na základě potřeby zákazníka. U vláken typu jádro/plášť se využívá možnosti odlišných vlastností mezi jádrem a pláštěm vlákna. Plášť tak může zajišťovat odolnost vůči nečistotám, afinitu k barvivům, tepelně izolační vlastnosti a mnoho dalších jiných vlastností, které zákazník požaduje. Naopak jádro může vykazovat dobré mechanické vlastnosti. Další možností, jak ovlivnit výslednou vlastnost vlákna, je excentricita. Pokud je poloha jádra ve vláknech odchýlena od jeho středu, pak je výsledné vlákno objemnější ale zároveň méně pevné, než kdyby bylo jádro v samém středu [8, 9].

1.2.2.2. Vlákna typu bok po boku

Bikomponentní vlákna typu bok po boku S/S (side by side) obsahují dvě složky, které jsou uspořádány vedle sebe podél délky vlákna do dvou nebo více oblastí. Při výrobě je nutné brát v ohled vzájemnou přilnavost mezi dvěma složkami. Pokud složky mezi sebou nebudou mít dostatečnou adhezi, vlákno se rozdělí na dvě části, které budou mít odlišné složení. Podle způsobu výroby lze dosáhnout různých struktur (obr. č. 6) [8].



Obr. č. 6 – Druhy bikomponentního vlákna typu bok po boku [9]

U vlákna typu S/S dochází ke zkadeření, které může být trvalé nebo dočasné, což záleží na postupu výroby. Tohoto jevu se využívá při tepelně spojených netkaných textiliích [8].

1.3. Termické způsoby zpevňování vláknenných vrstev

Termické zpevňování vláknenné vrstvy je v současné době jednou z nejoblíbenějších metod výroby netkaných textilií, a to zejména kvůli svým výhodám, mezi které patří nízké náklady na suroviny a energii, univerzálnost produktů, menší prostorové zastavení, čistota procesu a vyšší výrobní rychlost [14].

Termické pojení využívá pojivo v různých formách (prášek, vlákna/bikomponentní vlákna, mřížka, folie či pasta), které se nanese na vláknennou vrstvu případně na pavučinu. Způsob nanášení pojiva záleží na použité formě, například bikomponentní či pojivá vlákna se mísí se základními vlákny v mísících komorách a mykacích strojích, naopak prášek se nanáší pomocí práškovacího zařízení. Po takto připravené vláknenné vrstvě s pojivem dochází ke zvýšení teploty, čímž se pojivo roztaví a tvoří se tak pojivá místa. Nakonec dochází k ochlazení, díky kterému se pojivo zpevní [15].

Výběr použitého druhu polymeru jako pojivo je dán požadovanými vlastnostmi výsledné textilie (tepelná a chemická odolnost, míra zpevnění a mnoho dalších), které jsou určeny především adhezí pojiva k vláknům. Mezi nejpoužívanější formy pojiv u termického pojení se řadí zejména nízetající monokomponentní vlákna a bikomponentní vlákna, které musí splňovat určitá specifická kritéria:

- Vhodná teplota tání s ohledem na teplotu tání základních vláken a na tepelnou odolnost výsledného výrobku.
- Odolnost proti tepelné a tepelně-oxidační degradaci.
- Nízká srážlivost za tepla, aby nedocházelo k deformaci výrobku.
- Nízká viskozita.
- Dobrá adheze k základním vláknům.
- Vhodný typ povrchové úpravy a nejlépe o nízkém obsahu.

Při porovnání disperzních pojiv a termoplastů, jsou výhody pojení termoplasty následující:

- Nižší spotřeba energie.
- Vyšší rychlost ohřevu.
- Jednodušší strojní zařízení.
- Ekologicky nižší zavadnost.
- Hygienická nezávadnost.

Naopak nevýhodami jsou:

- Nižší plocha styku pojiva s vláknem, zapříčiňuje problémy se stabilitou výrobku při její údržbě.
- Snížení produkce, jelikož musí dojít k rovnoměrnému promísení vláken a pojiva.
- Ušlechtlejší, ale zároveň i dražší forma pojiv.
- Vyšší náročnost na mísení pojiva s vlákny [1].

Termického pojení lze dosáhnout různými způsoby použití tepla, které ještě s typem použitých vláken s jejich promísení zásadně ovlivňuje estetické a mechanické vlastnosti výsledné netkané textilie. Mezi základní druhy tepelného pojení patří:

- Pojení kalandrem.
- Teplovzdušné pojení.
- Pojení ultrazvukem.
- Pojení infračerveným zářením [16].

1.3.1. Teplovzdušné pojení

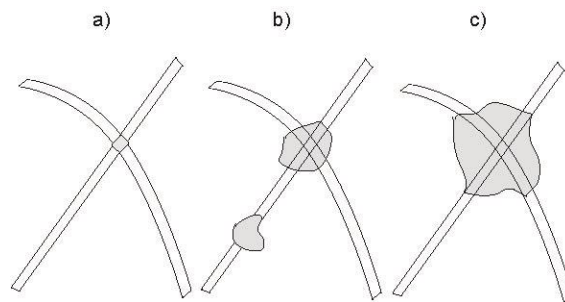
Netkané textilie zpevněné horkým vzduchem mají univerzální použití, čímž nahrazují některé technologie a rozšiřují tak oblast využití. Mezi hlavní výhody horkovzdušného pojení se řadí savost, nízká hmotnost, prodyšnost, měkkost a variabilita plošné a objemové hmotnosti. Plošná hmotnost může nabývat hodnot od 0,01 až 2 kg.m⁻² a objemová hmotnost 5 až 200 kg.m⁻³ [1, 15].

Pro teplovzdušné pojení se využívají pojivá vlákna, bikomponentní vlákna či pojiví prášek. Při použití pojivých vláken nebo prášků se po zahřátí materiálu pojivo zcela roztaví v celém objemu netkané textilie. Naopak u bikomponentních vláken se v případě použití typu jádro plášť roztaví pouze plášť a jádro zůstává a stává se z něj vlákno nosné [15].

Struktura spoje mezi vlákny je formována v závislosti na:

- Viskozitě taveniny, která je ovlivněna teplotou, typem a molekulové hmotnosti polymeru.
- Povrchovém napětí mezi pojivem a základními vlákny.
- Vzájemném uspořádání vláken ve vrstvě.
- Rychlosti proudění vzduchu a propustnosti vlákenné vrstvy.

Na základě použité technologie zpevnění vlákenné vrstvy se vytváří různé struktury pojivých míst (obr. č. 7). Jelikož vzniká relativně malá plocha styku pojiva s vláknem, musejí mít obě složky dobrou soudržnost, která je charakterizována adhezí. Obecně mají nízkou adhezi různé typy polymerů a nepolární polymery (polypropylen) k jiným vláknům [1].



Obr. č. 7 – Aglomerační struktury vzniklé při pojení termoplastických vláken –
 a) pojení bikomponentními vlákny, b) pojení monokomponentními vlákny,
 c) pojení za tlaku [17]

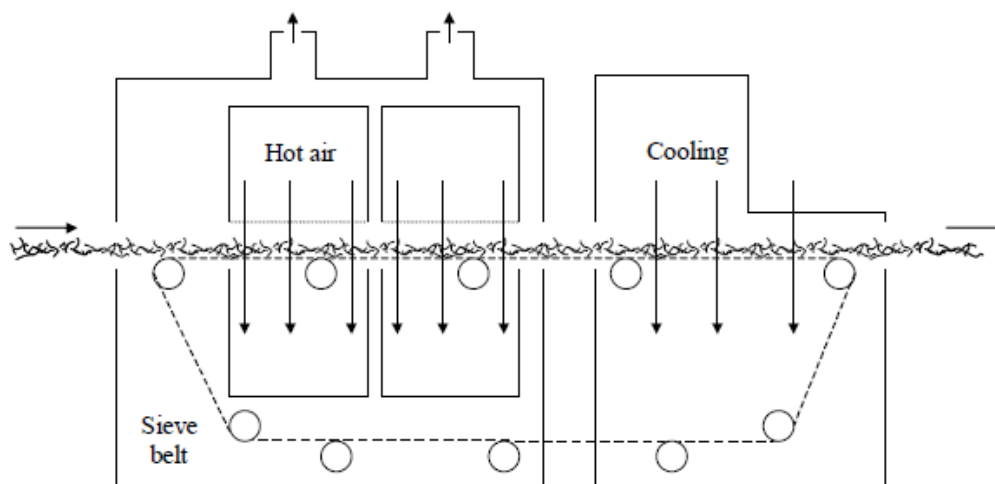
Touto technologií lze pojit takřka jakákoliv základní vlákna, které však nesmí být znečištěné. Některé druhotné suroviny mohou být znečištěny olejovými látkami, které při zahřátí znečišťují ovzduší a zároveň snižují adhezi pojiva k vláknům.

Horkovzdušné pojení je druh termického pojení, při kterém ohřátý vzduch na teplotu tání daného pojiva proudí skrz vláknenné rouno. Díky cirkulujícímu horkému vzduchu je teplo transportováno ke všem vláknům a dochází tak k rychlému ohřevu vrstvy. Naopak k pomalému ohřevu vrstvy dojde v případě, že jsou pojena vlákna s nízkou tepelnou vodivostí. Tepelný přenos je popsán rovnicí 1:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{l} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1)$$

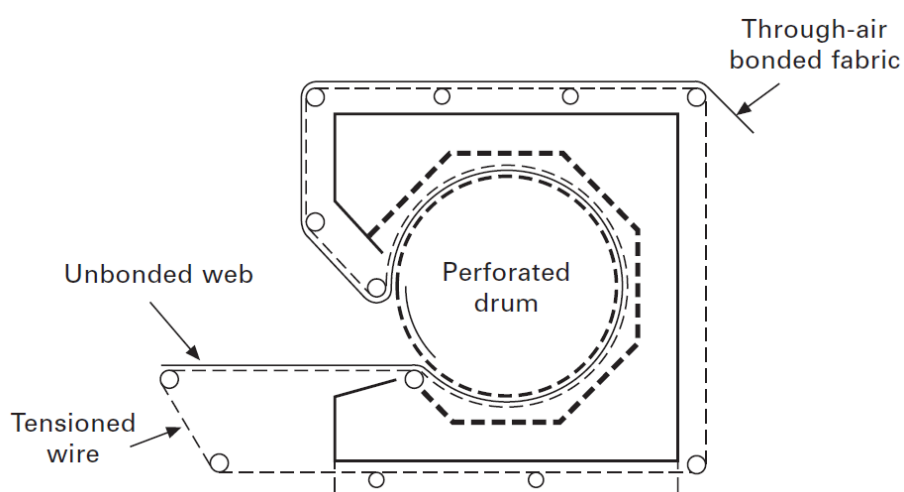
kde Q je množství tepla prošlé jednotkovou plochou za jednotku času [$J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} = W \cdot m^{-2}$], λ je součinitel tepelné vodivosti materiálu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$], ΔT je teplotní rozdíl mezi dvěma teplosměrnými plochami [K] a l je vzdálenost teplosměrných ploch [m].

Teplovzdušné pojení je realizováno v teplovzdušné komoře, která obsahuje jeden, dva nebo více perforovaných bubnů eventuálně horizontální síťový pás (obr. č. 8). V některých případech se může buď uvnitř komory, nebo těsně za ní umístit chladné či horké kalandrovací válce. Po průchodu vláknenné vrstvy těmito válci se vlivem tlaku zvýší pojící efekt a zároveň se sníží objemnost výrobku [1].



Obr. č. 8 – Schéma teplovzdušné pojící komory s horizontálním pásem: 1 – vlákenná vrstva, 2 – síťový pás, 3 – horký vzduch, 4 – dvojice přítlačných válců [18]

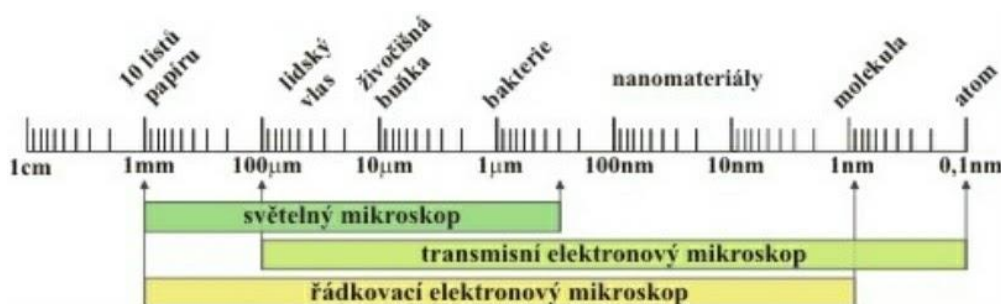
U teplovzdušné pojící komory s jedním síťovým bubnem vlákenná vrstva prochází kolem bubnu, jehož průměr je od 100 do 350 cm. Skrz tento buben proudí teplý vzduch ohřívající rouno, čímž dochází k tepelnému pojení (obr. č. 9). Nejčastěji se používají komory s jedním či dvěma perforovanými bubny [15].



Obr. č. 9 – Schéma teplovzdušné pojící komory s perforovaným bubnem [9]

1.4. Elektronový mikroskop

Elektronový mikroskop je optický přístroj, který na rozdíl od jiných mikroskopů využívá pro zobrazení elektrickým polem urychlené elektrony a elektromagnetické čočky. Vzhledem k tomu, že elektronové záření má výrazně krátkou vlnovou délku (0,01 – 0,0001 nm), je možné tak sledovat objekty s vysokým rozlišením. Na obrázku č. 10 jsou porovnány elektronové mikroskopy s klasickým světelným na základě velikosti objektů, které je možné sledovat.



Obr. č. 10 – Srovnání velikostí objektů, které lze pozorovat mikroskopem

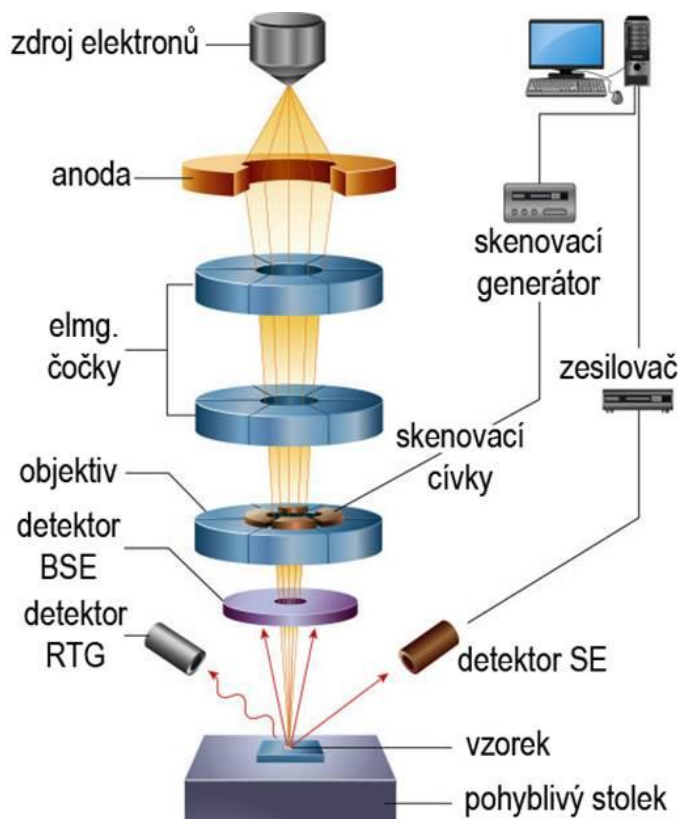
Elektronovým mikroskopem lze zjistit mnoho podrobností o zkoumaném vzorku například informace o mikrostruktuře, krystalografii, chemickém složení a mnoho dalších. Vlastnosti jsou zjišťovány na základě vzájemného působení mezi elektronovým svazkem a zkoumaným vzorkem. Interakce jsou zachycovány detektory, jež vyhodnocují signály, díky čemuž jsou následně identifikovány vlastnosti vzorku.

Elektronové mikroskopy se rozdělují na dva základní typy, řádkovací (skenovací) elektronové mikroskopy neboli SEM (scanning electron microscope) a transmisní elektronové mikroskopy neboli TEM (transmission electron microscope). Při použití TEM lze pozorovat vnitřní strukturu vzorku naopak u SEM pouze jeho povrch. Přes výhodu podrobného sledování struktury vzorku u TEM je příprava vzorku poněkud složitější, stejně jako jeho následný výklad získaného snímku [19].

1.4.1. Skenovací elektronový mikroskop

Skenovací elektronový mikroskop je druh elektronového mikroskopu, který s vysokým rozlišením dokáže zkoumat povrch vzorků. Poprvé byl zkonstruován již v roce 1942, nicméně až o více jak 20 let později byl uveden na trh [19, 20].

Zkoumání vzorku po SEM (obr. č. 11) je založen na elektronech, které jsou emitovány ze zdroje elektronů. Zdrojem elektronu je ve většině případech wolframový drátek. Po emitaci elektrony prochází přes anodu, která je kladně nabitá. Elektrony tak tím přitahuje, čímž je urychluje a zároveň mění jejich trajektorii. Elektrony následně putují přes elektromagnetické čočky až ke vzorku, který je uložen v komoře obsahující vakuum. Pokud by byl vzorek zkoumán bez přítomnosti vakua, došlo by tak k interakci elektronů s jinými částicemi a eventuálně i k poškození zdroje elektrů. Interakcí elektronů se zkoumaným vzorkem vznikají signály, které jsou detekovány a zpracovány počítačem. Shromažďováním těchto signálů vzniká obraz vzorku a případně jsou získány i informace o vlastnostech zkoumaného vzorku [20].



Obr. č. 11 – Schéma elektronového mikroskopu [20]

SEM je bezkonkurenční přístroj se širokou škálou aplikací využívající se při zkoumání pevných vzorků. Další výhodou spočívá ve snadné přípravě vzorku a jednoduchém ovládní zařízení. Naopak nevýhodou je, že vzorek musí být pevný a jeho rozměry musí být takové, aby se vešel do komory mikroskopu, která je poměrně malá. Zároveň většina zařízení obsahuje detektor na rentgenové záření, který je sice rychlý a snadno použitelný, avšak není tak přesný jako disperzní rentgenový detektor [20, 21].

2. Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce je zaměřena na návrh metodiky, pomocí níž je možné zkoumat struktury vzniklé při termickém pojení netkaných textilií. Dále se práce zabývá pozorováním vzniklých pojivých bodů v závislosti na změně úhlu mezi pojenými vlákny.

2.1. Parametry použitého materiálu

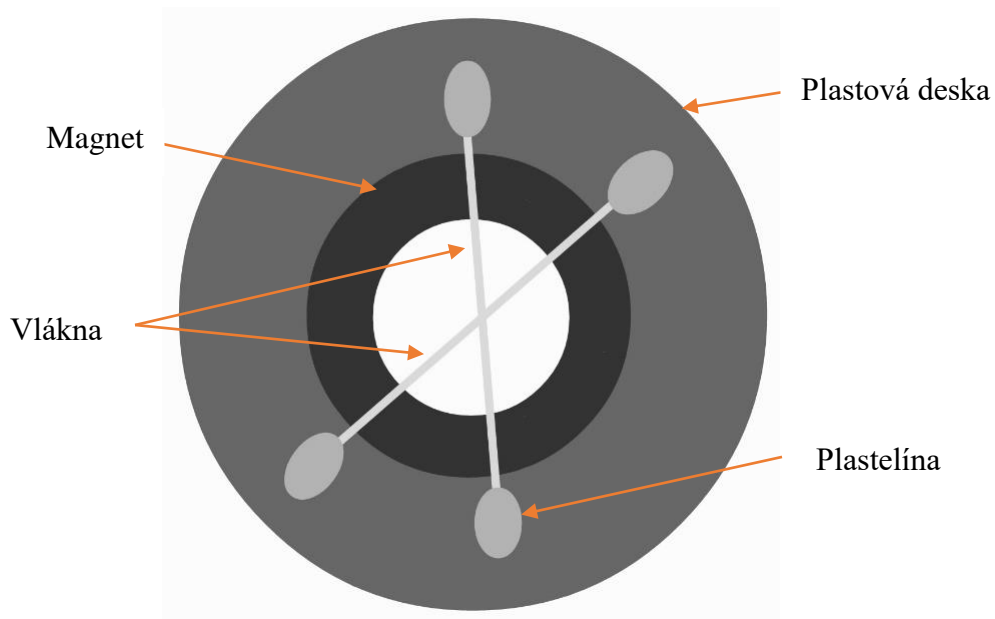
K přípravě vzorků byly použity polyesterová vlákna o jemnostech 11 dtex a 5,5 dtex. Jako pojivo byly použity bikomponentní vlákna firmy Huvis typu jádro plášť o jemnosti 16,7 dtex, kdy jádro vlákna tvořil polyester a plášť kopolyester.

2.2. Postup výroby vzorků

Výroba všech vzorků probíhala za stejných podmínek v uvedeném postupu, kdy byla použita vždy pouze dvě vlákna v následující kombinaci:

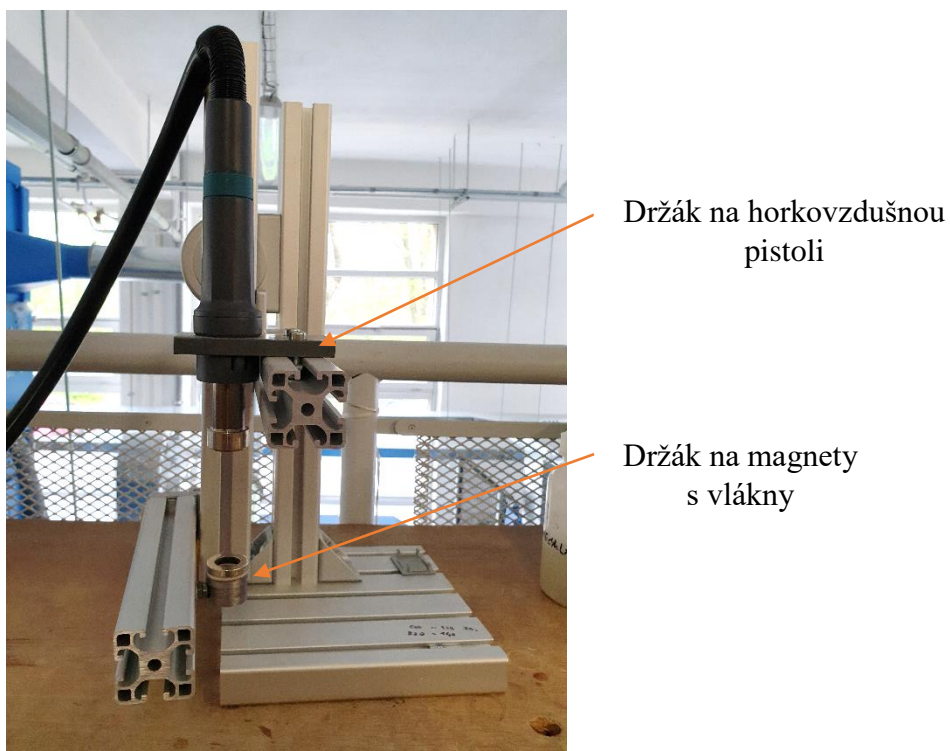
- Bikomponentní x Bikomponentní vlákno.
- Polyesterové vlákno o jemnosti 11 dtex x Bikomponentní vlákno.
- Polyesterové vlákno o jemnosti 5,5 dtex x Bikomponentní vlákno.

Pro pojení dvou vláken byla využívána plastová deska s kruhovým výřezem uprostřed. Do tohoto výřezu byl vložen magnet ve tvaru mezikruží, přes který byla vlákna přiložena a následně pomocí plastelíny upevněna k desce, viz obrázek č. 12. Upevněním vláken bylo zajištěno jejich napnutí a udržení pod určitým úhlem. Tento úhel byl nahodilý a nebyl předem nijak měřen.



Obr. č. 12 - Schéma přípravy vzorku

Samotné pojení vláken probíhalo na tzv. stojanu pomocí horkovzdušné pájecí stanice QUICK 861DW, u které se dala měnit teplota a průtok vzduchu. Stojan měl dva držáky, jejichž vzdálenost mezi nimi byla 20 cm. Spodní držák byl pro vlákna upevněná mezi magnety a horní pro horkovzdušnou pistoli, viz obrázek č. 13. Po vložení pistole do držáku se vzdálenost pistole k magnetům svírající vlákna zkrátila zhruba o 7 cm od původní vzdálenosti držáků.

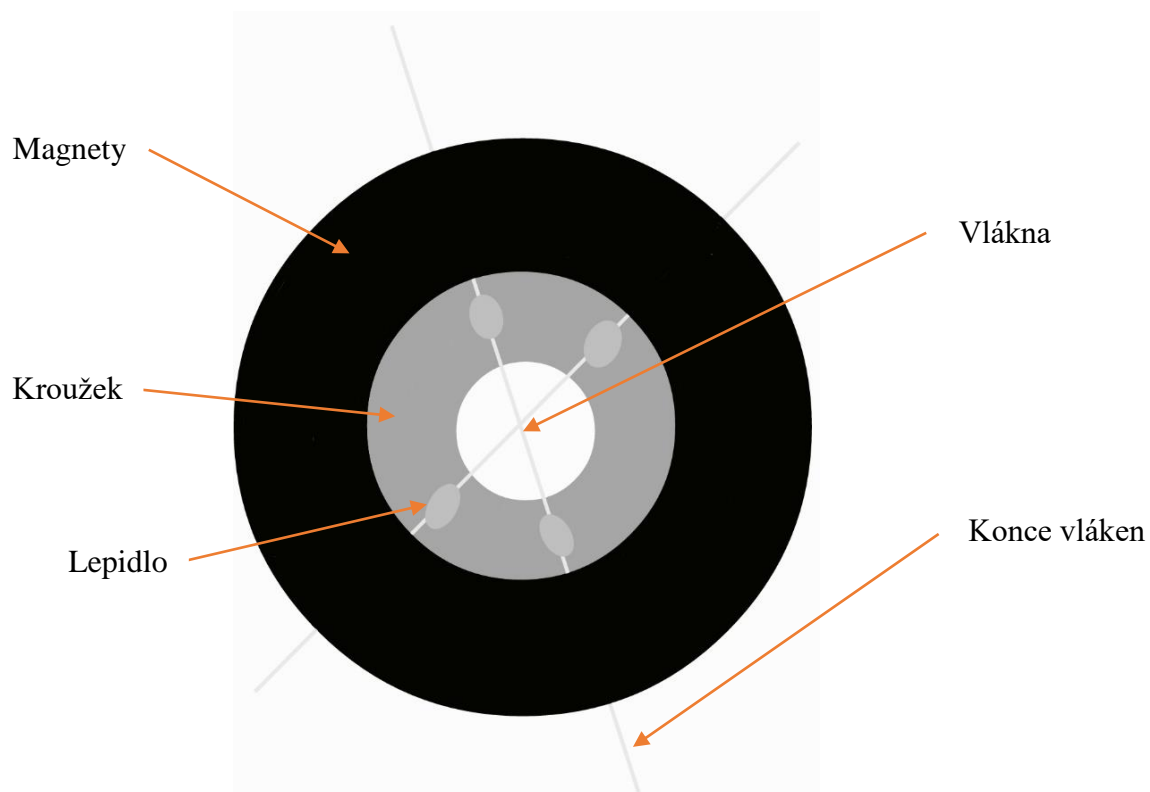


Obr. č. 13 - Pojení vláken pomocí horkovzdušné pistole

Teplota vzduchu z horkovzdušné pistole dosahovala při pojení všech vzorků 220 °C, přičemž teplota spolu s dobou jejího působení na vzorek byly nastaveny na základě několika předešlých pokusech pojení. Při nižších teplotách byla sice vlákna taktéž spojena, avšak ne dostatečně pevně. Běžně tak i přes opatrnou manipulaci docházelo k poškození spoje a nebylo pak možné sledovat její strukturu. Průtok vzduchu byl nastavený na 108 l/min, s čímž nebylo nijak manipulováno, či nijak zkoušeno, jaká hodnota průtoku by vyhovovala více.

Po 40 sekundách působení horkým vzduchem o teplotě 220 °C byly magnety s vlákny odebrány z držáku a následně dány stranou, aby mohly zchladnout. Poté co magnety už nebyly tak horké, se mezi magnety zespod vložil kroužek, který nebyl magnetického charakteru. Vlákna se tedy dostala nad tento kroužek, na který byly přilepeny, viz obrázek č. 14. Při lepení byla nutná opatrnost, jelikož mezi magnety byla plst', jejíž jemná vlákénka vyčnívala. Mnohdy tak byla vlákna přilepena ke kroužku, čímž

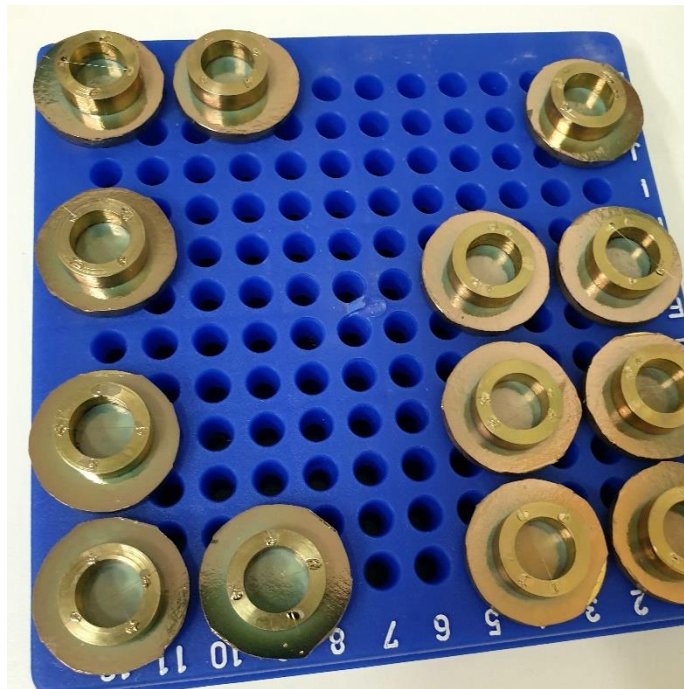
po oddělení magnetů zničilo vzorek. Po nalepení vláken na kroužek byly magnety odděleny a koncečky vláken ustřiženy, aby se při manipulaci nijak vzorek nepoškodil.



Obr. č. 14 - Schéma lepení vláken na hliníkový kroužek

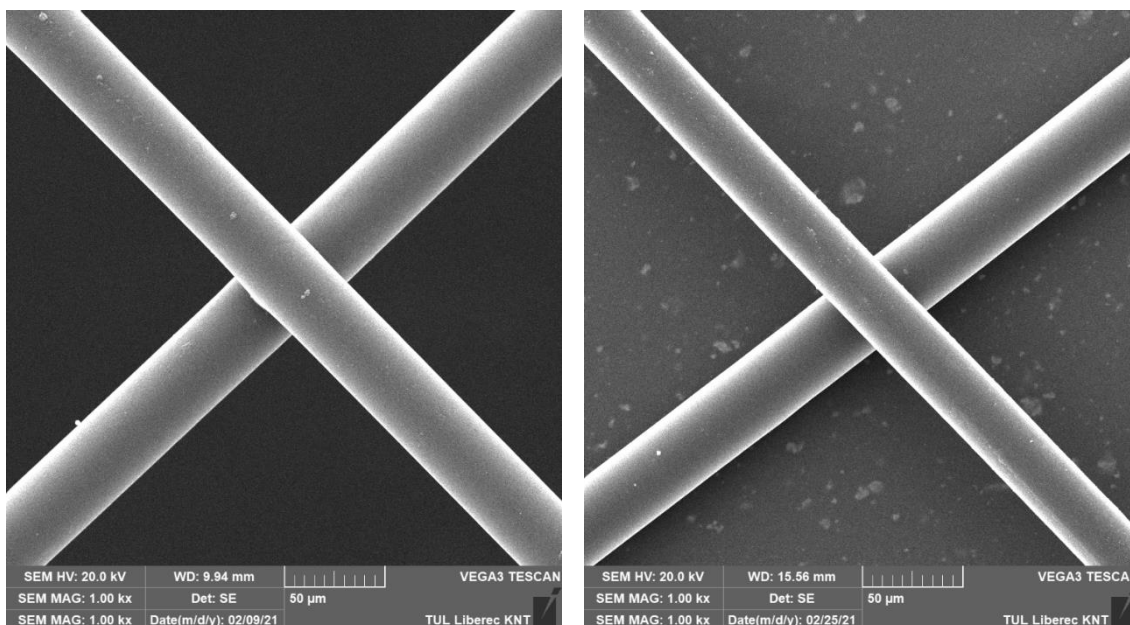
2.3. Zkoumání vzorků pod skenovacím elektronovým mikroskopem

Vzniklé pojivé body mezi dvěma vlákny byly zkoumány pod skenovacím elektronovým mikroskopem, kdy vlákna přilepená na kroužku byla nejprve upevněna na terčík. Připravený terčík se vzorečkem byl následně dán do zlatícího stroje zvaného zlatička, kde došlo k naprašování nanovrstviček zlata na vzorek, v tomto případě došlo k nanesení 10 nm zlata, viz obrázek č. 15.



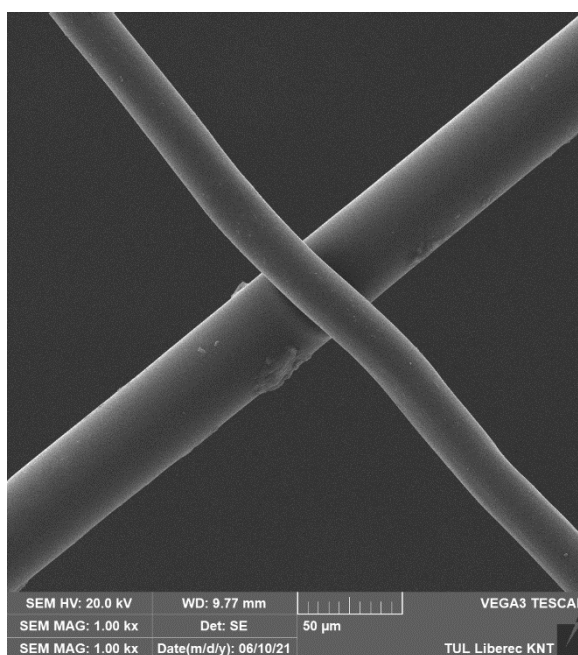
Obr. č. 15 - Pozlacené vzorky

Pozlacené vzorky byly dány do komory mikroskopu. Po vytvoření vakua v komoře a zapnutí žhavení na 20 kV bylo možné vzorky pozorovat pod různým zvětšením, a tedy i podrobněji zkoumat strukturu spoje. Díky tomu bylo možné zjistit o jakou strukturu pojení bikomponentními vlákny se jedná.



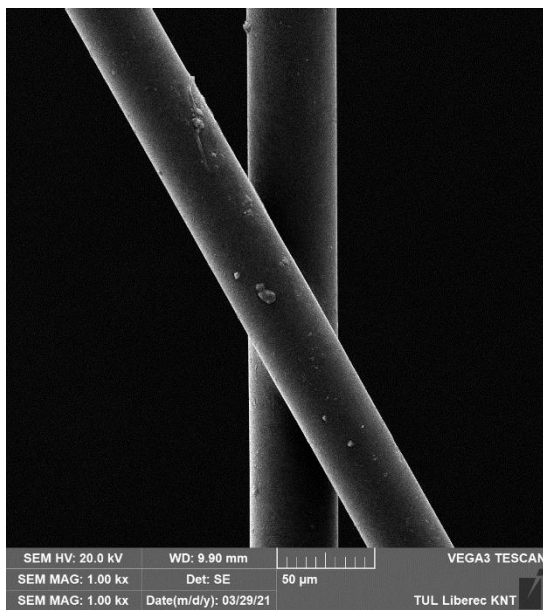
A

B

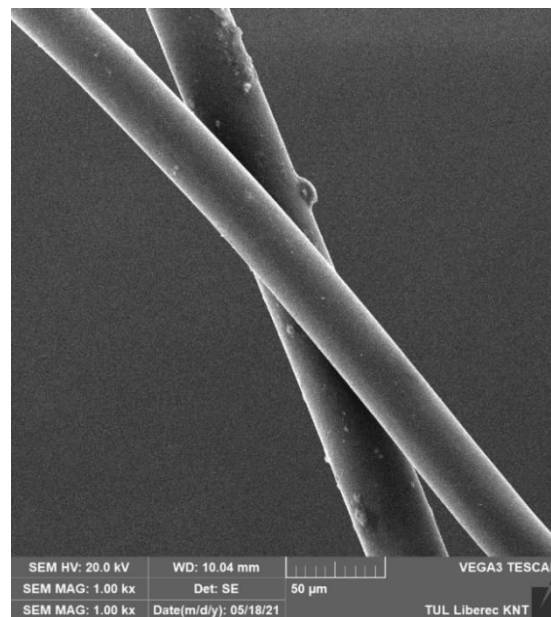


C

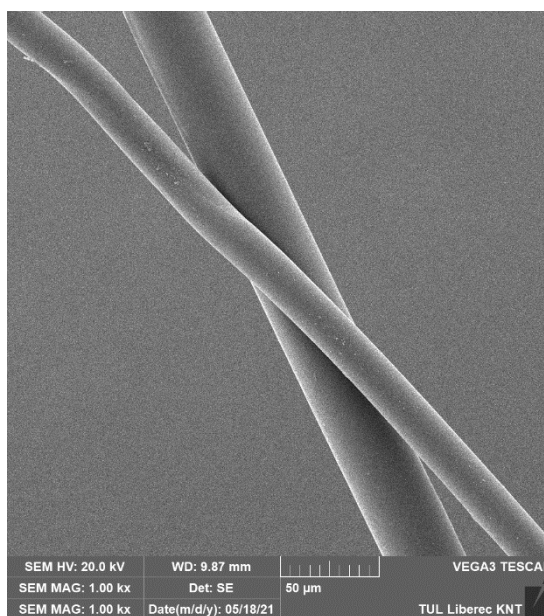
Obr. č. 16 - Porovnání pojených vláken: A – Biko x Biko s úhlem pojení 89°,
 B - Biko x PES (11 dtex) s úhlem pojení 83°, C - Biko x PES (5,5 dtex) s úhlem
 pojení 84°



A



B

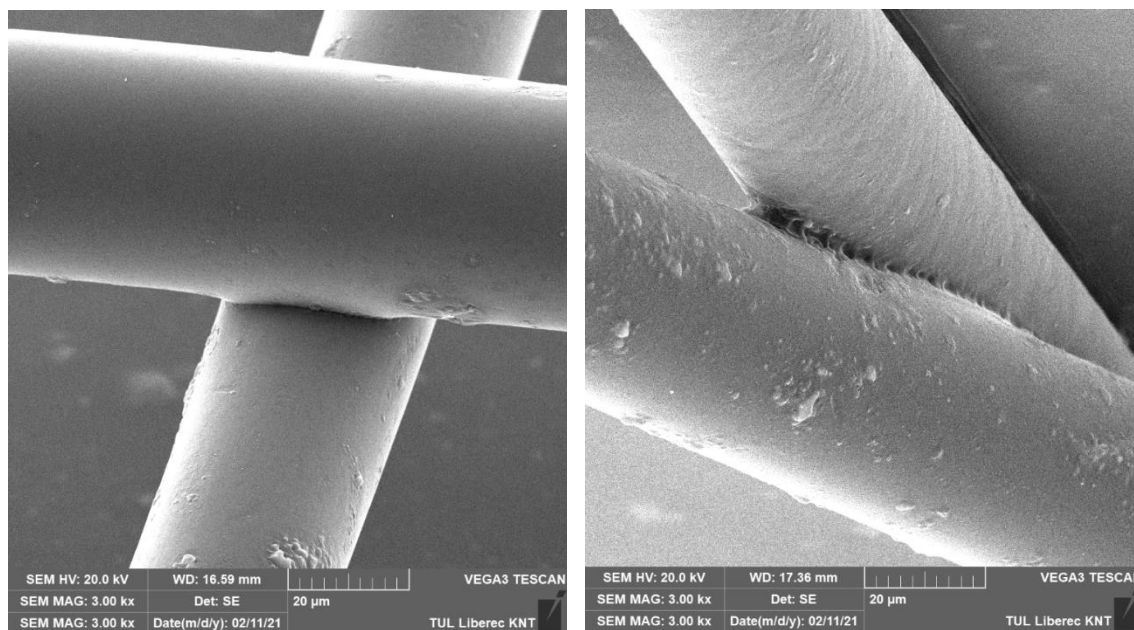


C

Obr. č. 17 - Porovnání pojených vláken: A – Biko x Biko s úhlem pojení 29°,
 B - Biko x PES (11 dtex) s úhlem pojení 20°, C - Biko x PES (5,5 dtex) s úhlem
 pojení 16°

Na řadě snímků z kolmého pohledu lze částečně pozorovat vzniklou strukturu okolo místa spoje vláken. Jedná se o prohlubeň vlákna, do které je položeno druhé vlákno. Těmito snímky byla potvrzena bodová struktura při termickém pojení pomocí bikomponentních vláken. Na některých snímcích se objevují vlákna značně zdeformovaná různými „výstupky“, což jsou s největší pravděpodobností prachové částice. Vzhledem k tomu, že výroba vzorků probíhala v poloprovozu katedry netkaných textilií, kde se vyskytuje množství prachu, tak se při působení horkého vzduchu částice prachu rozvířily a přichytily se na vláknech.

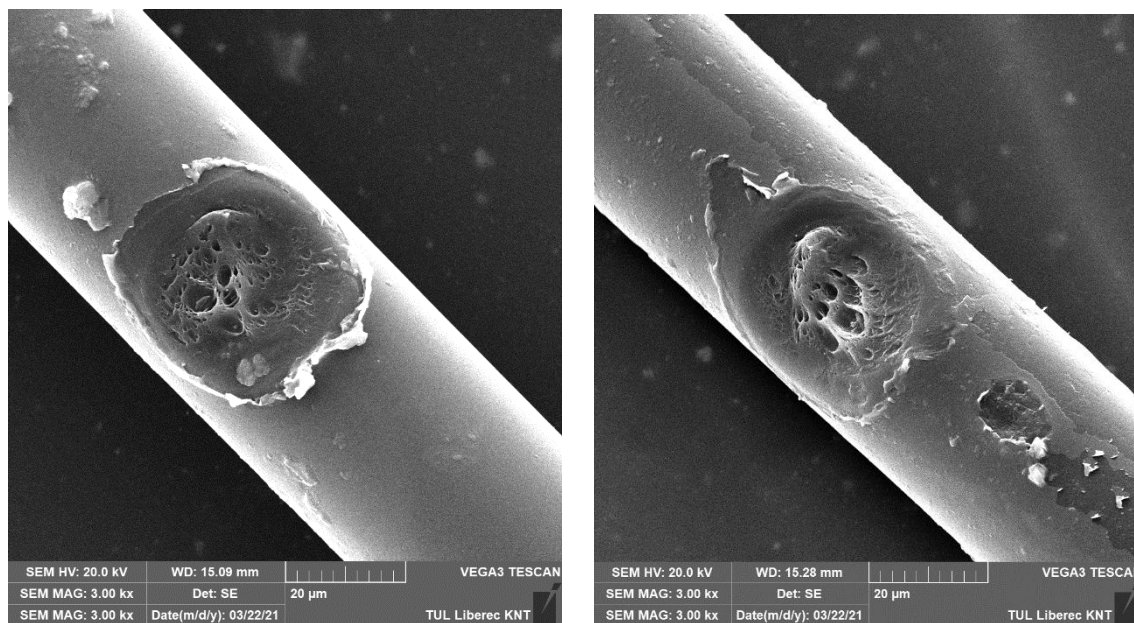
Jelikož při kolmém pohledu na pojená vlákna nebylo možné sledovat spoj detailněji, byly vzorky v komoře otáčeny o 50° z horizontální do vertikální polohy. Tímto otáčením bylo možné sledovat bodový spoj z jiného úhlu. Lepší by však bylo, kdyby se vzoreček mohl otočit ještě o něco více, ale to kvůli jeho velikosti a možnosti mikroskopu nebylo možné.



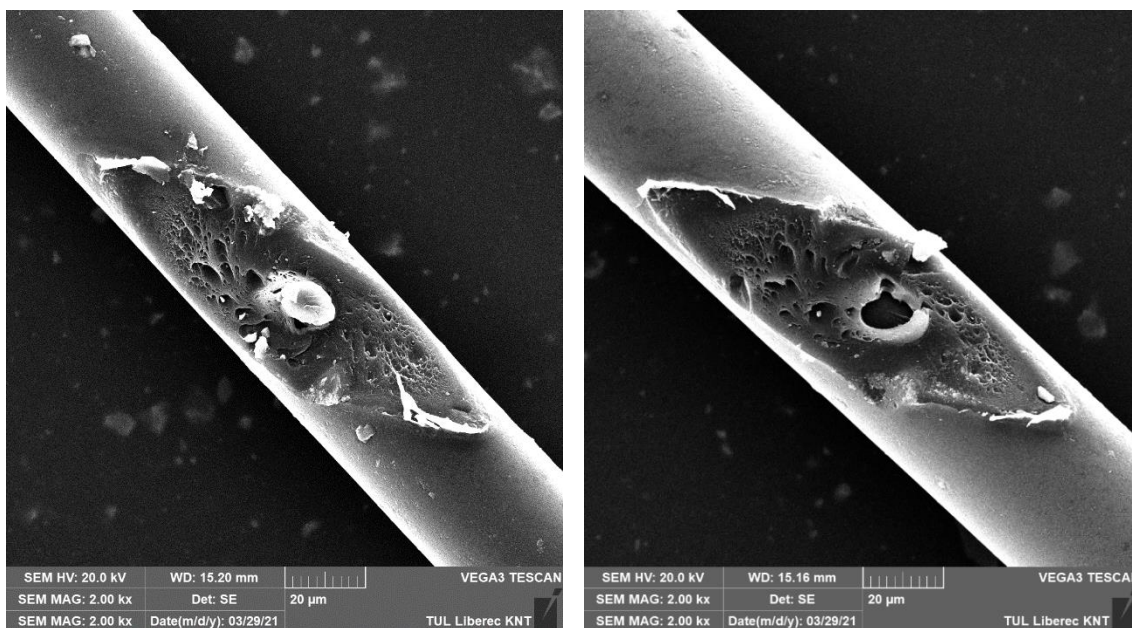
Obr. č. 18 - Struktura pojených dvou bikomponentních vláken

Díky otáčení vzorečku v komoře byla struktura spoje sice lépe viditelná, ale nebylo možné změřit velikost vniklého spoje. Z toho důvodu byl vzorek vyndán z mikroskopu a vlákna oddělena od sebe.

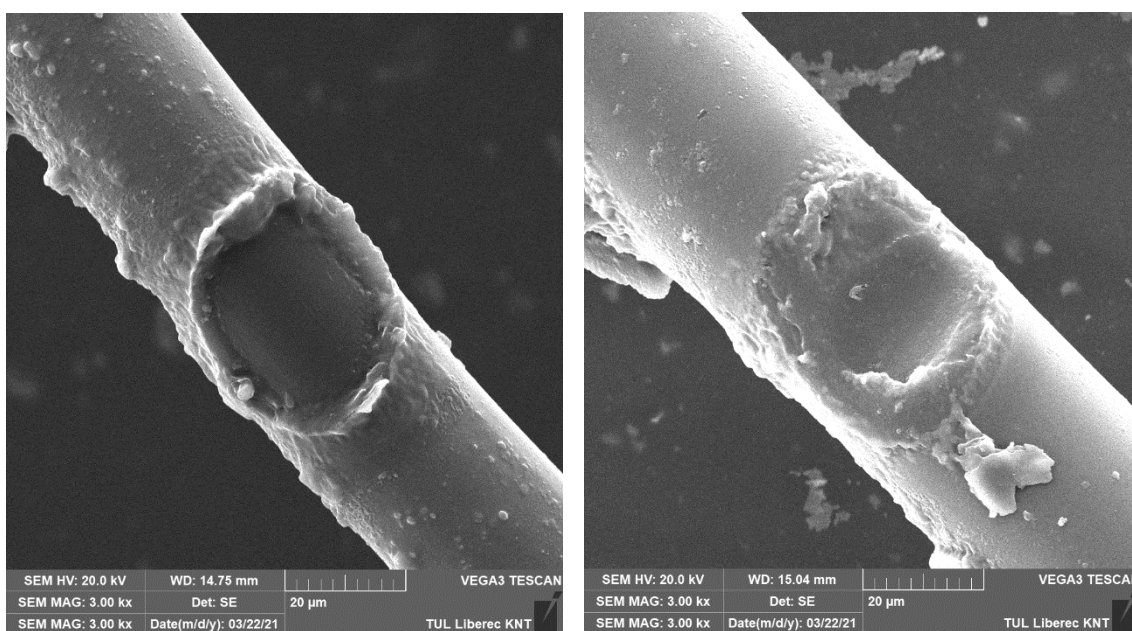
V případě sledování velikosti plochy bodového spoje, byl vzorek tedy odlepen z terčíku a následně vlákna oddělena od sebe. Poté byla obě vlákna upevněna na nový terčík. Nicméně natočení vláken bylo takové, aby případná struktura v místě spoje byla při kolmém pohledu viditelná. Takto připravený terčík byl opět pozlacen, poněvadž bodové spoje nebyly při prvním pozlacování pozlaceny a mikroskop by tak nedokázal zaostřit na dané místo. Při mikroskopování byla vlákna zkoumána jednotlivě, kdy byly hledány struktury vzniklé po pojení. I přes veškerou snahu u některých vzorků nebyla nalezena žádná struktura, čímž se stal vzorek nepoužitelný. Naopak v některých případech byly u jednoho vzorku nalezeny dvě struktury, na každém vlákně jedna.



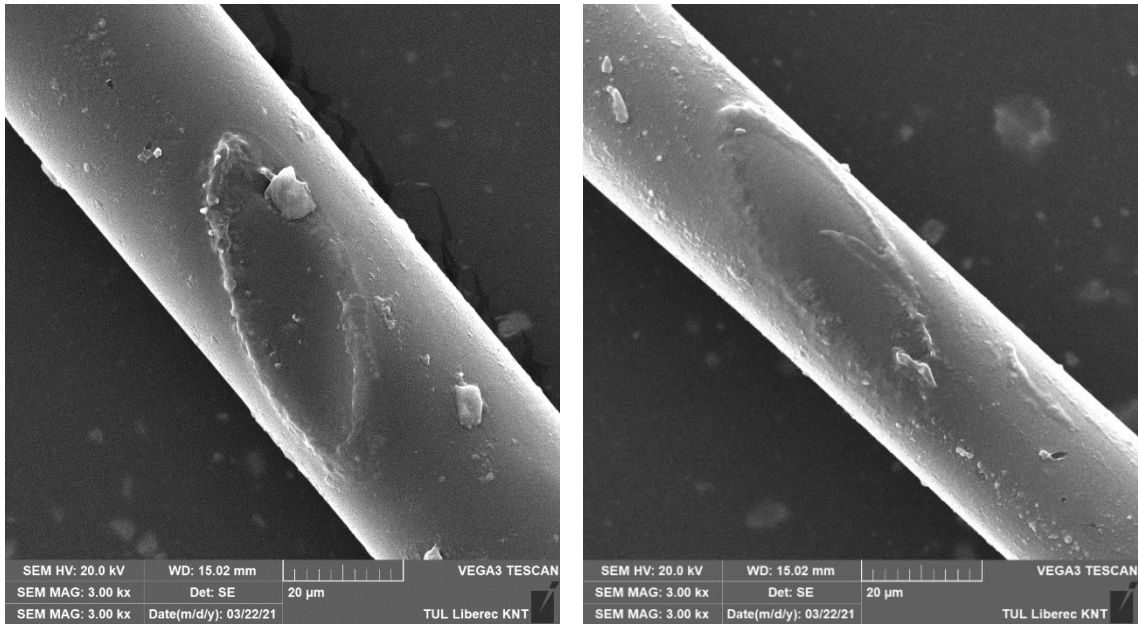
Obr. č. 19 - Vzniklá struktura po oddělení dvou bikomponentních vláken jejichž úhel pojení byl 88°



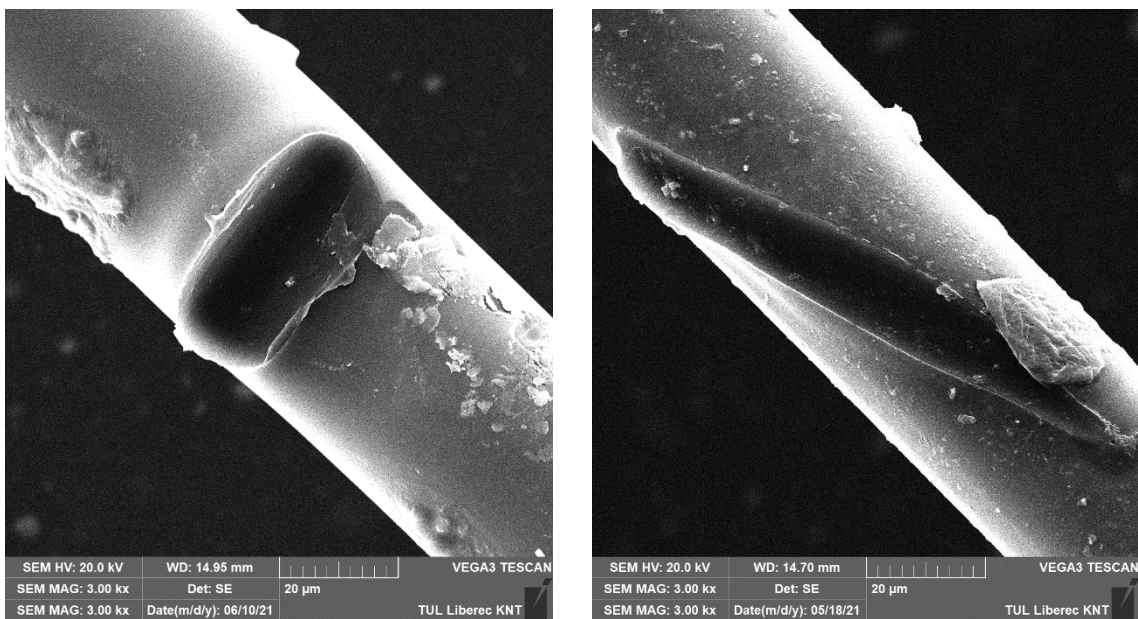
Obr. č. 20 - Vzniklá struktura po oddělení dvou bikomponentních vláken jejichž úhel pojení byl 29°



Obr. č. 21 - Vzniklá struktura po oddělení bikomponentního a polyesterového vlákna (11 dtex) jejichž úhel pojení byl 80°

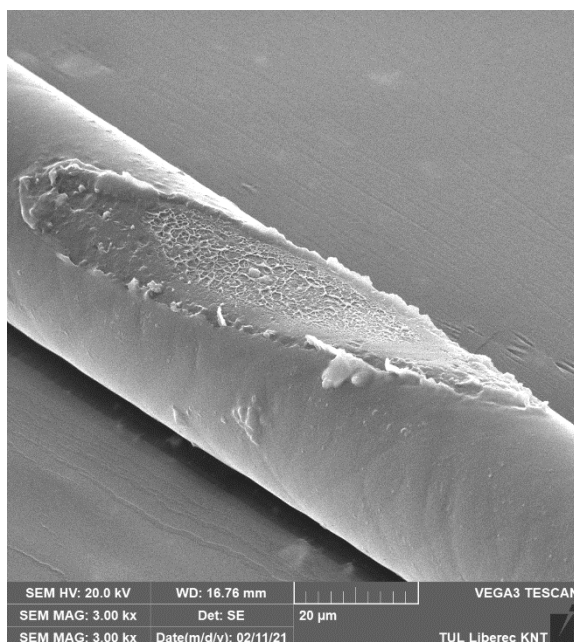
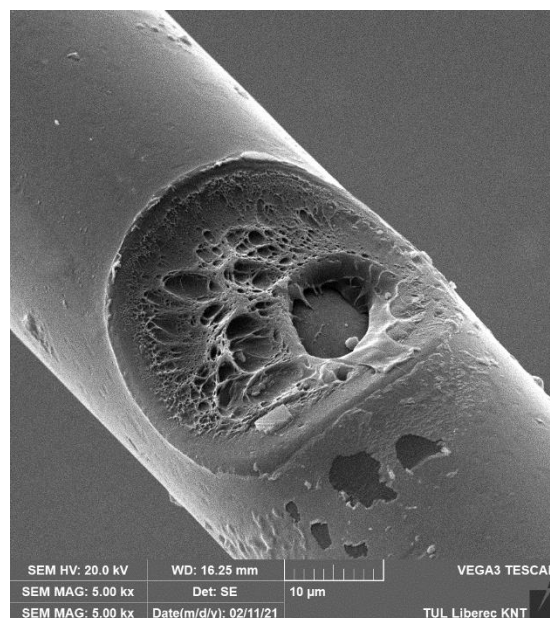
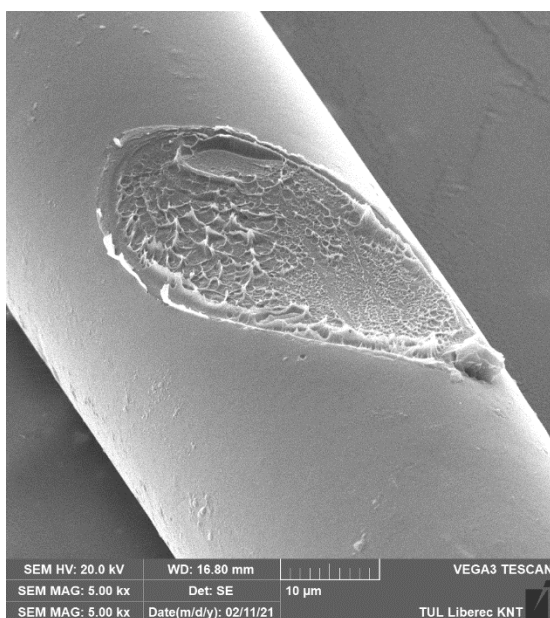


Obr. č. 22 - Vzniklá struktura po oddělení bikomponentního a polyesterového vlákna (11 dtex) jejichž úhel pojení byl 36°



Obr. č. 23 - Vzniklá struktura po oddělení bikomponentního a polyesterového vlákna (5,5 dtex) jejichž úhel pojení byl 84° a 16°

Některé vzorky, kde byly nalezeny struktury po pojení, byly v komoře otáčeny o 50° z horizontální do vertikální polohy. Díky otáčení bylo možné sledovat prohlubně vláken, které značí, jak moc se vlákna roztavila.

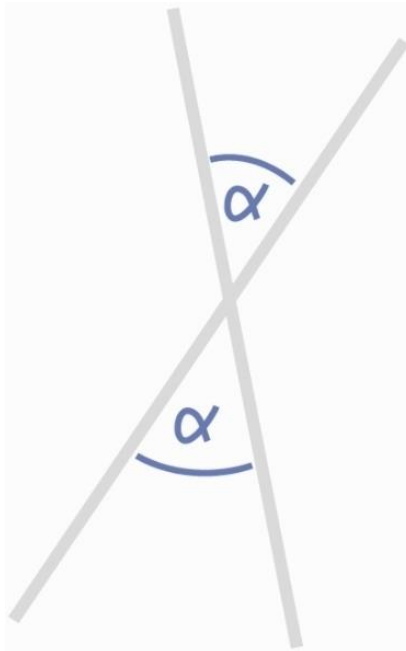


Obr. č. 24 - Vzniklá struktura dvou bikomponentních vláken při otáčení vláken

2.4. Měření pomocí programu NIS-Elements

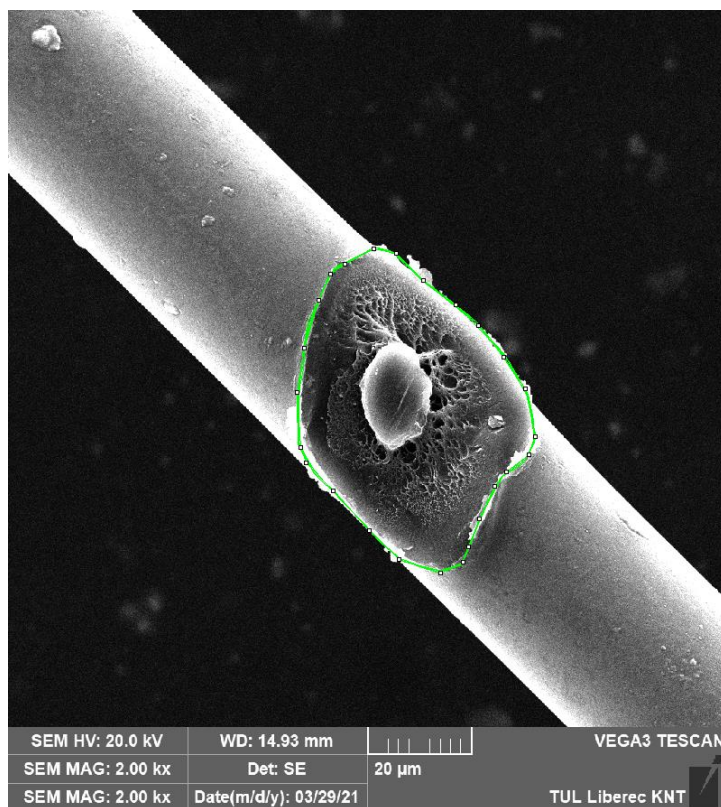
Fotografie vzorků pořízené skenovacím elektronovým mikroskopem byly vloženy do programu NIS-Elements pomocí něhož byla měřena plocha spoje tepelně spojených vláken a velikost úhlu mezi vlákny. U každého snímku bylo provedeno pět měření z čehož byl následně vypočítán aritmetický průměr.

Při překřížení vláken vznikly dohromady čtyři úhly, z nichž dva protilehlé byly stejně velké. Při měření úhlu v programu byly měřeny vždy ty menší, viz obrázek č. 25. Tudíž největší úhel, který mohl být změřen, byl o velikosti 90° .



Obr. č. 25 - Schéma měřeného úhlu

Obkreslením struktury, vzniklé při pojení, viz obr. č. 26, byla zjištěna velikost plochy spoje a také ekvivalentní průměr, který vyjadřuje průměr kruhu o stejné ploše jako je plocha sledované struktury.



Obr. č. 26 - Obkreslení struktury spoje

Tímto způsobem byly naměřeny hodnoty, které jsou zapsány celkem ve třech tabulkách. Tabulky jsou rozděleny podle toho, jaká vlákna byla spolu pojena. Hodnoty jsou dále seřazeny podle velikosti úhlu vláken, při němž byla pojena. V případě, že u jednoho vzorku byly nalezeny dvě struktury, hodnoty jsou uvedeny se stejným úhlem.

Tabulka č. 1: Hodnoty velikosti struktury spoje v závislosti na úhlu mezi dvěma bikomponentními vlákny

Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
26,715	1 738,180	47,044
29,333	2940,862	61,192
29,333	3193,246	63,763
47,655	1724,824	46,863
47,655	1254,366	39,964
48,579	907,406	33,990
53,356	453,623	24,033
61,362	1861,596	48,685
61,362	1475,334	43,341
78,917	545,628	26,357
86,036	1 019,664	36,032
86,603	1 064,611	36,817
88,858	1198,192	39,059
88,858	1196,201	39,026
89,036	1270,247	40,216

Tabulka č. 2: Hodnoty velikosti struktury spoje v závislosti na úhlu mezi bikomponentním vláknem a polyesterovým vláknem o jemnosti 11 dtex

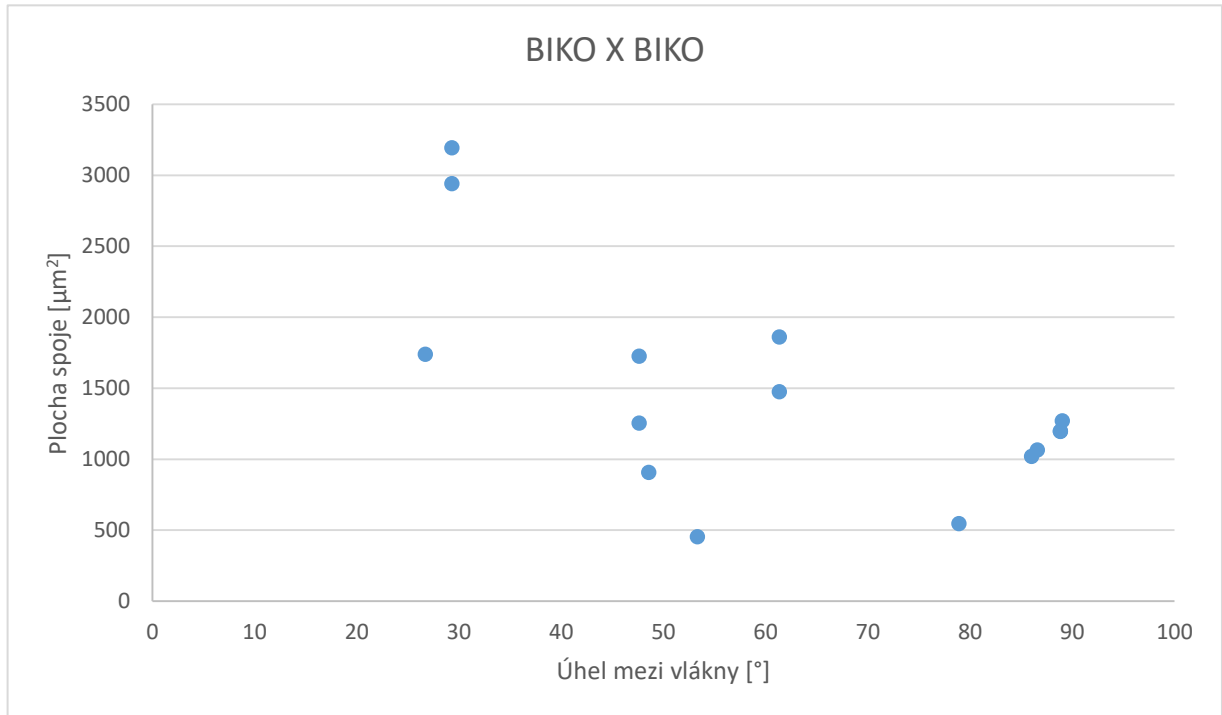
Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
20,842	1066,902	36,857
27,704	1339,653	41,3
33,777	999,152	35,667
36,629	875,676	33,391
36,629	781,759	31,549
38,558	944,707	34,682
51,005	1144,285	38,17
51,708	1141,335	38,121
74,543	888,875	33,641
80,788	1124,275	37,835
80,788	1296,355	40,627
83,015	601,036	27,663
83,486	783,041	31,575
84,774	1302,972	40,731
89,501	943,63	34,662

Tabulka č. 3: Hodnoty velikosti struktury spoje v závislosti na úhlu mezi bikomponentním vláknem a polyesterovým vláknem o jemnosti 5,5 dtex

Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
15,955	1028,272	36,183
35,41	1928,717	49,555
50,737	811,246	32,139
51,629	958,373	34,932
61,97	1276,603	40,316
75,046	772,842	31,369
83,896	711,23	30,093

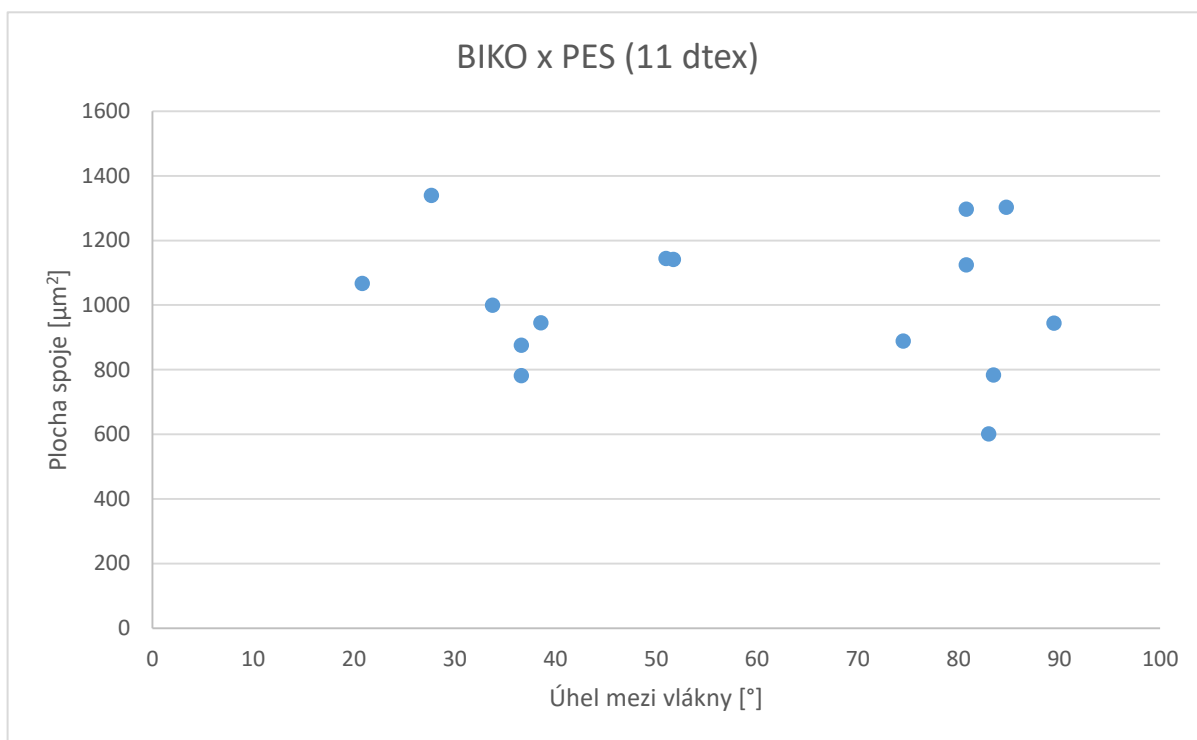
2.5. Vyhodnocení

V příloženém grafu č. 1 lze vysledovat, že zde není závislost mezi úhlem pojení dvou bikomponentních vláken a velikostí vzniklé struktury. I přesto, že body v grafu mají tendenci k poměrně strmému klesání, některé body značně vybočují z křivky.



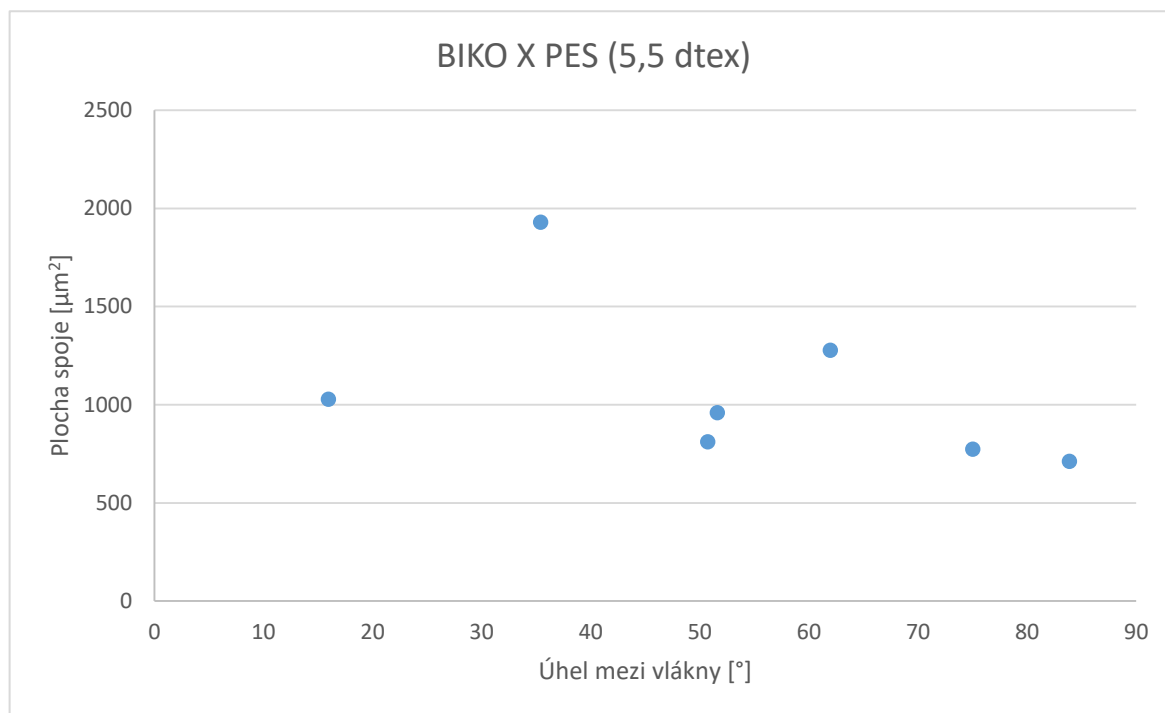
Graf č. 1 – Pojení dvou bikomponentních vláken

Graf č. 2 znázorňuje velikost struktury spoje v závislosti na úhlu pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex. Vzniklé body v grafu vytváří oproti předešlému grafu spíše vodorovnou křivku, tendence ke klesání je minimální. I v tomto případě jsou body odchýleny od sebe, čímž nevzniká závislost mezi veličinami.



Graf č. 2 – Pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex

Z grafu č. 3 lze vypořovat, že ani v tomto případě není žádná závislost mezi změnou úhlu bikomponentního a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex a plochy struktury vzniklé po pojení.



Graf č. 3 – Pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex

Na základě přiložených třech grafů, lze vyzorovat, že změna úhlu mezi pojenými vlákny nemá žádný vliv na velikost plochy spoje. Přestože mají některé body v grafu tendenci tvořit klesající křivku, a to zejména u grafu č. 2 a č. 3, tak některé body značně vybočují. Tímto je vyvrácené očekávání, že se zvětšujícím úhlem mezi vlákny bude narůstat velikost plochy spoje.

Při porovnání těchto grafů je patrné, že největší plochy $3193 \mu\text{m}^2$ bylo dosaženo, při pojení dvou bikomponentních vláken při úhlu zhruba 30° . Nejmenší plochy $453 \mu\text{m}^2$ je taktéž dosaženo při pojení bikomponentních vláken, tentokrát však při úhlu o velikosti 53° . Při pojení bikomponentního a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex se hodnoty pojící plochy pohybují od $800 \mu\text{m}^2$ do $1200 \mu\text{m}^2$. Stejně je to i u pojení bikomponentního a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex. Z čehož vyplývá, že pojení dvou bikomponentních vláken má největší rozsah velikostí pojící plochy.

3. Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh metodiky, díky které by bylo možné studovat vzniklé struktury pojených vláken po teplovzdušném pojení. Dále taky sledování velikostí struktur po pojení v závislosti na změně úhlu mezi vlákny.

Při výrobě vzorků byly vždy použity dvě vlákna, kdy polyesterové vlákno bylo považováno za základní a bikomponentní vlákno za pojivo. Jelikož při teplovzdušném pojení mohou být pojena i dvě bikomponentní vlákna, byly vytvořeny i takovéto vzorky. Po připravení vzorků byla vlákna pomocí horkého vzduchu spojena. Následně byl tento spoj zkoumán pod mikroskopem, nejprve kolmo a poté při otočení vzorku o 50°. Velikost struktury vzniklé po pojení byla měřena po odtrhnutí vláken od sebe, kdy vytvořený snímek byl vložen do programu NIS Element, ve kterém samotné měření probíhalo.

Na základě pořízených snímků, kde jsou vlákna překřížením spojena, byl potvrzen předpoklad, že při teplovzdušném pojení vzniká bodová struktura spoje. Při pootočení vzorku lze tuto bodovou strukturu lépe pozorovat, je možno i pozorovat, jak se plášť bikomponentního vlákna roztavil. Nejspíš by při větším otočení vzorečku bylo vidět více, ale kvůli velikosti vzorečku a možnostem mikroskopu to nebylo možné.

Dále byla sledována závislost velikosti struktury na změně úhlu pojených vláken. Na základě výsledků byl původní předpoklad, že s rostoucím úhlem pojení se bude zvětšovat plocha struktury, vyvrácen. U všech typů vzorků byla mezi těmito vlastnostmi zjištěna nezávislost. Nicméně bylo zjištěno, že největší rozptyl velikosti plochy spoje bylo u pojení dvou bikomponentních vláken.

Jelikož se touto problematikou nikdo nijak nezabýval, není tedy určen přesný postup, jak zkoumat takovéto struktury. Navržená metodika svůj účel splnila, avšak je mnoho věcí, co by se dalo zlepšit, například udržení vláken v napnutém stavu při působení horkého vzduchu, velikost vzorku či nahrazení magnetů něčím co by se dalo od sebe oddělit. Změnou postupu je pak možné, že bude předtím vyvrácený předpoklad potvrzen.

Touto metodikou lze zkoumat daleko více vlastností s měnícími se parametry. Například by bylo možné sledovat, jaký vliv má doba pojení s porovnáním jemnějších a hrubších vláken nebo velikost struktury v závislosti na změně pojených vláken ať už co se týče materiálu či jemnosti. Dále by mohla být sledována pevnost spoje v závislosti na teplotě pojení a případně na době působení horkého vzduchu.

Seznam použité literatury

- [1] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-746-2
- [2] Nonwovens markets, facts and figures. *EDANA* [online]. [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-markets>
- [3] GRISHANOV, S. Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing* [online]. 2011, 28-63 [cit. 2021-8-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845696955500027>
- [4] VIGNESWARAN, C., M. ANANTHASUBRAMANIAN a P. KANDHAVADIVU. Bioprocessing of synthetic fibres. *Bioprocessing of Textiles* [online]. 2014, 189-250 [cit. 2021-8-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9789380308425500044#!>
- [5] MILITKY, J. The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers. *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres* [online]. 2009, 223-314 [cit. 2021-8-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845693879500096>
- [6] JAFFE, Michel a Anthony J. EASTS. Polyester fibers. *Thermal Analysis of Textiles and Fibers* [online]. 2020, 133-149 [cit. 2021-8-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005729000082#!>
- [7] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [8] GOPALAKRISHNAN, D. Bicomponent Fibers. *Fibre2Fashion* [online]. 2009 [cit. 2021-8-15]. Dostupné z: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1587/bicomponent-fibers>
- [9] POURMOHAMMADI, A. Thermal bonding. *Handbook of Nonwovens* [online]. 2007, 298-329 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855736030500068#!>

- [10] MOCHIZUKI, Masatsugu a Nobuhiro MATSUNAGA. Bicomponent Polyester Fibers for Nonwovens. *High-Performance and Specialty Fibers* [online]. 2016, 395-408 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-55203-1_25
- [11] CHANG, Huibin a Jeffrey LUO. Structural and Functional Fibers. *Annual Review of Materials Research* [online]. 2016, **47**(1), 331-359 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/316199134_Structural_and_Functional_Fibers
- [12] Advantages Bicomponent Fibers Bring to Nonwoven Fabrics. *WPT Nonwovens Corp* [online]. 2020 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: <https://www.wptnonwovens.com/blog/advantages-bicomponent-fibers-bring-to-nonwoven-fabrics/>
- [13] NAEIMIRAD, Mohammadreza, Ali ZADHOUSH a Richard KOTEK. Recent advances in core/shell bicomponent fibers and nanofibers: A review. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2018, **135**(21) [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/323176339_Recent_advances_in_coreshell_bicomponent_fibers_and_nanofibers_A_review
- [14] CHAND, Subhash a Gajanan S. BHAT. Structure and properties of polypropylene fibers during thermal bonding. *Thermochimica Acta* [online]. 2001, 155-160 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603100006729#!>
- [15] MALIK, Tanveer. *Thermal bonded nonwoven-an overview* [online]. 2018 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326669036_THERMAL_BONDED_NONWOVEN-AN_OVERVIEW
- [16] WEI, K. Y., T. L. VIGO a B. C. GOSWAMI. Structure–property relationships of thermally bonded polypropylene nonwovens. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 1985, 30(4), 1523-1534 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.1985.070300417?saml_referrer

- [17] CHALOUPEK, J., *Výroba netkaných textilií - Přednáška č. 10: Netkané textilie – Technologie 7 (teplovzdušné pojení)*, Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2020
- [18] KALINOVÁ, K. *Thermal and chemical technologies of nonwovens production* 2/2 [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z:
https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/1017/mod_resource/content/1/tct%202.pdf
- [19] JÄGER, A. a V. GÄRTNEROVÁ. Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura. *Fyzikální ústav Akademie věd České republiky* [online]. 2017 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z:
<https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
- [20] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Skenovací elektronový mikroskop. *Multimediální Encyklopedie Fyziky* [online]. Copyright © 2006 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1675-skenovaci-elektronovy-mikroskop>
- [21] SWAPP, Susan. Scanning Electron Microscopy (SEM). *Geochemical Instrumentation and Analysis* [online]. [cit. 2021-8-18]. Dostupné z:
https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html

Seznam příloh

OBSAH

Příloha č. I: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken	54
Příloha č. II: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex	60
Příloha č. III: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex	67

Příloha č. I: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken

Tabulka č. 4: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 1

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	26,233	1 731,632	46,955
2	26,318	1 736,373	47,019
3	23,677	1 740,294	47,072
4	27,133	1 740,321	47,073
5	27,212	1 742,278	47,099
Průměr			
	26,715	1 738,180	47,044
Směrodatná odchylka			
	0,403	3,794	0,051
Maximum			
	27,212	1 742,632	47,099
Minimum			
	26,233	1 731,632	46,955

Tabulka č. 5: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 2

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	První vlákno		Druhé vlákno	
		Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	28,707	2929,857	61,077	3190,978	63,741
2	28,799	2936,197	61,143	3191,598	63,747
3	29,413	2938,547	61,168	3193,155	63,762
4	29,580	2948,542	61,272	3193,881	63,770
5	30,165	2951,165	61,299	3196,618	63,797
Průměr					
	29,333	2940,862	61,192	3193,246	63,763
Směrodatná odchylka					
	0,536	7,916	0,082	1,982	0,020
Maximum					
	30,165	2951,165	61,299	3196,618	63,797
Minimum					
	28,707	2929,857	61,077	3190,978	63,741

Tabulka č. 6: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 3

		První vlákno		Druhé vlákno	
Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	46,051	1716,027	46,743	1244,795	39,811
2	47,113	1719,180	46,786	1245,268	39,819
3	47,479	1727,770	46,903	1253,311	39,947
4	48,432	1728,598	46,914	1262,588	40,095
5	49,202	1732,535	46,967	1265,865	40,147
Průměr					
	47,655	1724,824	46,863	1254,366	39,964
Směrodatná odchylka					
	1,086	6,189	0,084	8,664	0,138
Maximum					
	49,202	1732,535	46,967	1265,865	40,147
Minimum					
	46,051	1716,027	46,743	1244,795	39,811

Tabulka č. 7: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 4

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	48,395	903,290	33,913
2	48,453	906,629	33,976
3	48,574	907,872	33,999
4	48,706	908,127	34,004
5	48,765	911,110	34,060
Průměr			
	48,579	907,406	33,990
Směrodatná odchylka			
	0,142	2,530	0,047
Maximum			
	48,765	911,110	34,060
Minimum			
	48,395	903,290	33,913

Tabulka č. 8: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 5

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	52,810	451,254	23,970
2	53,005	451,645	23,980
3	53,213	452,134	23,993
4	53,820	455,977	24,095
5	53,931	457,105	24,125
Průměr			
	53,356	453,623	24,033
Směrodatná odchylka			
	0,444	2,425	0,064
Maximum			
	53,931	457,105	24,125
Minimum			
	52,810	451,254	23,970

Tabulka č. 9: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 6

		První vlákno		Druhé vlákno	
Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	60,823	1857,707	48,634	1470,650	43,272
2	60,975	1860,562	48,672	1472,304	43,297
3	61,439	1860,710	48,674	1474,840	43,334
4	61,480	1863,907	48,716	1476,843	43,363
5	62,092	1865,096	48,731	1482,036	43,439
Průměr					
	61,362	1861,596	48,685	1475,334	43,341
Směrodatná odchylka					
	0,446	2,630	0,034	3,964	0,058
Maximum					
	62,092	1865,096	48,731	1482,036	43,439
Minimum					
	60,823	1857,707	48,634	1470,65	43,272

Tabulka č. 10: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 7

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	78,069	541,864	26,266
2	78,913	545,900	26,364
3	79,051	546,058	26,368
4	79,154	546,714	26,384
5	79,398	547,604	26,405
Průměr			
	78,917	545,628	26,357
Směrodatná odchylka			
	0,453	1,975	0,048
Maximum			
	79,398	547,604	26,405
Minimum			
	78,069	541,864	26,266

Tabulka č. 11: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 8

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	85,613	1 015,611	35,960
2	85,946	1 020,105	36,039
3	85,992	1 020,630	36,049
4	86,289	1 020,751	36,051
5	86,339	1 021,222	36,059
Průměr			
	86,036	1 019,664	36,032
Směrodatná odchylka			
	0,263	2,057	0,036
Maximum			
	86,339	1 021,222	36,059
Minimum			
	85,613	1 015,611	35,960

Tabulka č. 12: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 9

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	85,824	1 054,746	36,646
2	86,404	1 057,398	36,692
3	86,701	1 065,407	36,831
4	86,955	1 069,839	36,907
5	87,132	1 075,665	37,008
Průměr			
	86,603	1 064,611	36,817
Směrodatná odchylka			
	0,461	7,739	0,134
Maximum			
	87,132	1 075,665	37,008
Minimum			
	85,824	1 054,746	36,646

Tabulka č. 13: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 10

		První vlákno		Druhé vlákno	
Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	88,244	1192,693	38,969	1186,852	38,873
2	88,903	1194,399	38,997	1195,264	39,011
3	88,916	1198,337	39,061	1197,980	39,055
4	88,959	1199,453	39,079	1199,271	39,076
5	89,266	1206,079	39,187	1201,638	39,115
Průměr					
	88,858	1198,192	39,059	1196,201	39,026
Směrodatná odchylka					
	0,335	4,657	0,076	5,107	0,083
Maximum					
	89,266	1206,079	38,969	1201,638	39,115
Minimum					
	88,244	1192,693	39,187	1186,852	38,873

Tabulka č. 14: Hodnoty naměřené při pojení dvou bikomponentních vláken - vzorek č. 11

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	88,771	1266,543	40,157
2	88,843	1268,411	40,187
3	88,925	1270,478	40,220
4	89,261	1271,564	40,237
5	89,381	1274,242	40,279
Průměr	89,036	1270,247	40,216
Směrodatná odchylka	0,241	2,640	0,042
Maximum	89,381	1274,242	40,279
Minimum	88,771	1266,543	40,157

Příloha č. II: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex

Tabulka č. 15: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 1

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	18,258	1062,566	36,782
2	18,860	1062,609	36,783
3	21,968	1066,023	36,842
4	22,159	1070,194	36,914
5	22,967	1073,120	36,964
Průměr	20,842	1066,902	36,857
Směrodatná odchylka	1,904	4,184	0,072
Maximum	22,967	1073,120	36,964
Minimum	18,258	1062,566	36,782

Tabulka č. 16: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 2

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	25,790	1333,757	41,209
2	26,674	1335,373	41,234
3	27,864	1336,316	41,249
4	28,508	1338,135	41,277
5	29,681	1354,687	41,531
Průměr			
	27,704	1339,653	41,300
Směrodatná odchylka			
	1,364	7,649	0,118
Maximum			
	29,681	1354,687	41,531
Minimum			
	25,790	1333,757	41,209

Tabulka č. 17: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 3

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	32,749	993,053	35,558
2	33,673	997,063	35,630
3	33,868	998,497	35,656
4	34,046	1001,313	35,706
5	34,549	1005,834	35,786
Průměr			
	33,777	999,152	35,667
Směrodatná odchylka			
	0,591	4,273	0,076
Maximum			
	34,549	1005,834	35,786
Minimum			
	32,749	993,053	35,558

Tabulka č. 18: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 4

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	První vlákno		Druhé vlákno	
		Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	35,578	869,374	33,27	776,456	31,442
2	36,418	874,618	33,371	778,989	31,493
3	36,943	877,197	33,420	783,243	31,579
4	37,004	878,473	33,444	783,666	31,588
5	37,204	878,721	33,449	786,442	31,644
Průměr	36,629	875,676	33,391	781,759	31,549
Směrodatná odchylka	0,586	3,471	0,066	3,565	0,072
Maximum	37,204	878,721	33,449	786,442	31,644
Minimum	35,578	869,374	33,270	776,456	31,442

Tabulka č. 19: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 5

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	38,157	935,165	34,506
2	38,232	942,465	34,641
3	38,431	947,416	34,732
4	38,571	948,665	34,755
5	39,399	949,825	34,776
Průměr	38,558	944,707	34,682
Směrodatná odchylka	0,445	5,390	0,099
Maximum	39,399	949,825	34,776
Minimum	38,157	935,165	34,506

Tabulka č. 20: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 6

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	50,282	1141,600	38,125
2	50,389	1143,192	38,152
3	50,465	1143,875	38,163
4	51,898	1145,782	38,195
5	51,989	1146,976	38,215
Průměr	51,005	1144,285	38,170
Směrodatná odchylka	0,769	1,9	0,032
Maximum	51,989	1146,976	38,215
Minimum	50,282	1141,600	38,125

Tabulka č. 21: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 7

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	51,187	1135,473	38,023
2	51,602	1137,412	38,055
3	51,633	1144,077	38,167
4	51,718	1144,183	38,168
5	52,400	1145,529	38,191
Průměr	51,708	1141,335	38,121
Směrodatná odchylka	0,392	4,073	0,068
Maximum	52,400	1145,529	38,191
Minimum	51,187	1135,473	38,023

Tabulka č. 22: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 8

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	74,298	883,156	33,533
2	74,317	886,250	33,592
3	74,338	889,636	33,656
4	74,746	889,892	33,661
5	75,017	895,441	33,766
Průměr	74,543	888,875	33,641
Směrodatná odchylka	0,289	4,107	0,078
Maximum	75,017	895,441	33,766
Minimum	74,298	883,156	33,533

Tabulka č. 23: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 9

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	První vlákno		Druhé vlákno	
		Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	78,526	1118,376	37,735	1286,587	40,474
2	78,819	1124,679	37,842	1296,94	40,636
3	79,242	1125,244	37,851	1298,082	40,654
4	83,566	1125,6	37,857	1299,897	40,683
5	83,787	1127,475	37,889	1300,266	40,688
Průměr	80,788	1124,275	37,835	1296,355	40,627
Směrodatná odchylka	2,371	3,095	0,052	5,031	0,079
Maximum	83,787	1127,475	37,889	1300,266	40,688
Minimum	78,526	1118,376	37,735	1286,587	40,474

Tabulka č. 24: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 10

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	82,161	599,430	27,626
2	82,703	599,549	27,629
3	83,186	601,779	27,680
4	83,228	602,140	27,689
5	83,794	602,282	27,692
Průměr			
	83,015	601,036	27,663
Směrodatná odchylka			
	0,549	1,274	0,029
Maximum			
	83,794	602,282	27,692
Minimum			
	82,161	599,43	27,626

Tabulka č. 25: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 11

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	83,175	777,026	31,454
2	83,217	780,598	31,526
3	83,403	783,295	31,580
4	83,666	784,264	31,600
5	83,969	790,022	31,716
Průměr			
	83,486	783,041	31,575
Směrodatná odchylka			
	0,297	4,300	0,087
Maximum			
	83,969	790,022	31,716
Minimum			
	83,175	777,026	31,454

Tabulka č. 26: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 12

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	84,035	1299,316	40,674
2	84,088	1303,448	40,738
3	84,874	1303,705	40,742
4	84,941	1304,110	40,749
5	85,929	1304,279	40,751
<hr/>			
Průměr	84,774	1302,972	40,731
Směrodatná odchylka	0,691	1,851	0,029
Maximum	85,929	1304,279	40,751
Minimum	84,035	1299,316	40,674

Tabulka č. 27: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 11 dtex – vzorek č. 13

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	88.544	940,708	34,608
2	88.864	941,826	34,629
3	89.383	943,432	34,659
4	90.055	944,715	34,682
5	90.660	947,468	34,733
<hr/>			
Průměr	89.501	943,63	34,662
Směrodatná odchylka	0.773	2,355	0,043
Maximum	90.660	947,468	34,733
Minimum	88.544	940,708	34,608

Příloha č. III: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex

Tabulka č. 28: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 1

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	15,454	1023,543	36,100
2	15,574	1024,729	36,121
3	16,136	1025,091	36,127
4	16,222	1029,410	36,203
5	16,390	1038,587	36,364
Průměr	15,955	1028,272	36,183
Směrodatná odchylka	0,371	5,527	0,097
Maximum	16,390	1038,587	36,364
Minimum	15,454	1023,543	36,100

Tabulka č. 29: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 2

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	34,475	1919,473	49,436
2	34,765	1922,909	49,481
3	35,332	1925,897	49,519
4	35,474	1930,916	49,583
5	37,004	1944,389	49,756
Průměr			
	35,410	1928,717	49,555
Směrodatná odchylka			
	0,876	8,690	0,112
Maximum			
	37,004	1944,389	49,756
Minimum			
	34,475	1919,473	49,436

Tabulka č. 30: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 3

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	46,212	809,182	32,098
2	46,271	809,828	32,111
3	53,094	811,412	32,142
4	53,351	812,492	32,164
5	54,755	813,316	32,180
Průměr			
	50,737	811,246	32,139
Směrodatná odchylka			
	3,713	1,558	0,031
Maximum			
	54,755	813,316	32,180
Minimum			
	46,212	809,182	32,098

Tabulka č. 31: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 4

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	49,889	954,921	34,869
2	49,973	956,686	34,901
3	50,293	956,844	34,904
4	53,409	960,193	34,965
5	54,579	963,219	35,020
Průměr	51,629	958,373	34,932
Směrodatná odchylka	1,971	2,963	0,054
Maximum	54,579	963,219	35,020
Minimum	49,889	954,921	34,869

Tabulka č. 32: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 5

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	60,681	1273,283	40,264
2	61,243	1273,610	40,269
3	61,350	1274,569	40,284
4	62,983	1279,285	40,359
5	63,590	1282,268	40,406
Průměr	61,970	1276,603	40,316
Směrodatná odchylka	1,116	3,561	0,056
Maximum	63,590	1282,268	40,406
Minimum	60,681	1273,283	40,264

Tabulka č. 33: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 6

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	72,516	769,757	31,306
2	72,683	770,153	31,314
3	76,15	772,478	31,362
4	76,725	775,666	31,426
5	77,156	776,155	31,436
<hr/>			
Průměr	75,046	772,842	31,369
Směrodatná odchylka	2,024	2,677	0,054
Maximum	77,156	776,155	31,436
Minimum	72,516	769,757	31,306

Tabulka č. 34: Hodnoty naměřené při pojení bikomponentního vlákna a polyesterového vlákna o jemnosti 5,5 dtex – vzorek č. 7

Počet měření	Úhel mezi vlákny [°]	Plocha spoje [μm^2]	Ekvivalentní průměr [μm]
1	83,005	708,533	30,036
2	83,606	710,498	30,077
3	83,968	710,852	30,085
4	84,427	712,306	30,115
5	84,472	713,962	30,150
<hr/>			
Průměr	83,896	711,230	30,093
Směrodatná odchylka	0,547	1,821	0,039
Maximum	84,472	713,962	30,150
Minimum	83,005	708,533	30,036