TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

FILTRAČNÍ VLASTNOSTI TERMOPLASTICKY POJENÝCH TEXTILIÍ

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil

Studijní obor: 3107R012 – Technické textilie

Autor práce: **Anna Vydrová**

Vedoucí práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Liberec 2014

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

FILTRATION PROPERTIES OF THERMAL BONDING TEXTILES

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil

Study branch: 3107R012 – Technical textiles

Author: **Anna Vydrová**

Supervisor: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Liberec 2014

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní
Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Anna Vydrová**
Osobní číslo:	**T11000232**
Studijní program:	**B3107 Textil**
Studijní obor:	**Technické textilie**
Název tématu:	**Filtrační vlastnosti termoplasticky pojených textilií**
Zadávající katedra:	**Katedra netkaných textilií a nanovlákenných materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou výroby termicky pojených netkaných textilií a jejich použití ve filtraci. Vypracujte podrobnou rešerši k zadanému tématu.
2. Připravte sérii vzorků o různých parametrech. Zaměřte se zejména na změnu jemnosti vláken, poměru základních vláken a pojiva a na změnu objemové hmotnosti.
3. Na vyrobených vzorcích testujte jejich filtrační vlastnosti.
4. Diskutujte a porovnejte výsledky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

1. JIRSÁK,O.,WADSWORTH,L.C. Nonwoven Textiles. Durham: nakladatelství Carolina Academic Press, 1999. ISBN 0-89089-978-8
2. BROWN, R.C. Air filtration. Sheffield, 1993. ISBN 0-08-041274-2

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.**
Katedra netkaných textilií a nanovlákenných materiálů

Datum zadání bakalářské práce: **17. září 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2014**

Ing. Jana Drabarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 17. září 2013

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, 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 (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 13.5. 2014

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu Ing. Jiřímu Chaloupkovi Ph.D. za aktivní pomoc při výrobě vzorků na experiment a rady k vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Jakubovi Hrůzovi Ph.D., který mi ochotně pomohl s měřením filtračních vlastností vyrobených vzorků a poskytl mi cenné rady pro vyhodnocení těchto vlastností.

Chtěla bych také poděkovat všem, kteří mě podporovali během celého mého studia, a doufám, že dál budou.

Anotace

Téma: Filtrační vlastnosti termoplasticky pojených textilií

Tato bakalářská práce se věnuje filtračním vlastnostem termoplasticky pojených netkaných textilií a tomu, jaké vstupní parametry je mohou ovlivnit.

První část je věnována výrobě netkaných textilií s bližším zaměřením na technologie, kterými byly vytvořeny vzorky určené k měření. Druhá část je věnována termoplastům a surovinám k výrobě termoplasticky pojených netkaných textilií obecně. V poslední teoretické části je shrnuta teorie filtrace a filtračních vlastností a jsou uvedeny i typy filtrů.

V experimentální části bylo vyrobeno několik sérií vzorků termoplasticky pojených textilií s měnícími se parametry popsanými technologiemi a bylo provedeno měření filtračních vlastností pro vzduchovou filtraci. Zkoumanými vlivy byly jemnost základových vláken, poměr základových a pojivých vláken a objemová hmotnost resp. tloušťka filtru.

Klíčová slova:

filtrace

tlakový spád

efektivita záchytu

termoplasticky pojená netkaná textilie

Annotation

Topic: Filtration properties thermal bonding textiles

This bachelor thesis deals filtration properties of thermal bonding textiles and input parametres which would affect them.

The first part is generally devoted to production of nonwoven textiles with a closer focus on technologies which have been used to production of samples for the testing. The second part is dealt to thermoplastics and materials for production of thermal bonding nonwoven textiles. In the last theoretical part is summarized the filtration theory, filtration properties and there are shown types of filters.

In the experimental section were produced several series of thermal bonded nonwoven textile samples with varying parameters and were tested filtration properties for air filtration. The linear mass density of base fibres, the ratio of base and binding fibers and the bulk density, respectively the thickness of the filter were been studied as influences for the pressure drop and the filtration efficiency.

Keywords:

filtration

pressure drop

filtration efficiency

thermal bonding nonwoven textile

Obsah

Poděkování ... 5
Anotace ... 6
Annotation ... 7
1 Úvod ... 10
2 Výroba netkaných textilií - technologie ... 11
2.1 Příprava vlákenné vrstvy ... 11
2.1.1 Mechanická příprava vlákenné vrstvy ... 11
2.1.1.1 Tvorba vlákenné pavučiny ... 11
2.1.1.2 Vrstvení vlákenné pavučiny ... 13
2.2 Zpevňování vlákenné vrstvy ... 15
2.2.1 Mechanické zpevňování vlákenné vrstvy ... 15
2.2.1.1 Technologie vpichování ... 15
2.2.2 Termické zpevňování vlákenné vrstvy ... 17
2.2.2.1 Způsoby nanášení pojiv na vlákenné vrstvy ... 17
2.2.2.2 Pojení kalandrem ... 17
2.2.2.3 Teplovzdušné pojení ... 19
2.2.2.4 Pojení ultrazvukem ... 20
2.2.2.5 Pojení infračerveným zářením ... 21
2.2.2.6 Pojení pomocí mikrovln ... 21
3 Výroba netkaných textilií - suroviny ... 21
3.1 Termoplasty ... 21
3.1.1 Základní termoplasty ... 21
3.1.1.1 Polyolefiny ... 22
3.1.1.1.1 Polyethylen - PE ... 22
3.1.1.1.2 Polypropylen - PP ... 23
3.1.1.2 Polyestery - Polyethylenteleftalát ... 24
3.2 Formy pojiv ... 25
3.2.1 Prášky ... 25
3.2.2 Bikomponentní vlákna ... 25
3.2.2.1 Vlákna „jádro-plášť“ (core – sheath) ... 26
3.2.2.2 Vlákna „bok po boku“ (side by side) ... 27
3.2.2.3 Další typy bikomponentních vláken ... 27
4 Filtrace ... 27
4.1 Typy filtrace ... 28
4.1.1 Mechanismy filtrace ... 29

4.1.2 Typy filtrů podle tvaru ... 30
4.2 Parametry netkané filtrace ... 32
4.3 Filtrační vlastnosti ... 33
4.3.1 Efektivita filtru ... 33
4.3.2 Tlakový spád ... 33
4.3.3 Životnost filtru ... 34
4.3.4 Porózita a velikost pórů ... 34
4.4 Testování filtračních vlastností ... 34
5 Experimentální část ... 35
5.1 Příprava vzorků ... 35
5.1.1 Příprava vlákenné vrstvy ... 35
5.1.2 Zpevnění vlákenné vrstvy ... 38
5.2 Měření filtračních vlastností ... 39
5.2.1 Princip měření ... 40
5.2.2 Postup měření ... 41
5.3 Vyhodnocení ... 42
5.3.1 Výsledky tlakového spádu ... 42
5.3.2 Výsledky efektivity záchytu ... 44
6 Závěr ... 46
Seznam použité literatury ... 47

1 Úvod

Cílem této práce je otestování konstrukčního materiálu k vizi ideálního vzduchového filtru vyráběného konvenčními metodami výroby netkaných textilií, který obsahuje ve svém středu sorbent. Má se jednat prakticky o jakousi kapsu vyrobenou z netkaných textilií termoplasticky pojených, v níž má být granulovaný sorbent. To je původní zadaná vize, se kterou bylo pracováno a bylo ověřováno, zdali právě termoplasticky pojené netkané vrstvy jsou použitelné jako obstojné vzduchové filtry a jaké vstupní parametry výroby takovýchto netkaných filtrů ovlivňují jejich filtrační vlastnosti.

Tato bakalářská práce se věnuje jak výrobě termoplasticky pojených netkaných textilií -- od mykání až po lisování, tak i teorii filtrace a měření filtračních vlastností. Shrnuje též použité suroviny a jejich vlastnosti jak chemické, mechanické či termické. V pojivech se soustřeďuje speciálně na bikomponentní vlákna.

V experimentální části bylo vyhotoveno 60 sérií vzorků netkaných vzduchových filtrů, u kterých byly měněny některé vstupní parametry jako je jemnost základových vláken, poměr základových a bikomponentních (pojivých) vláken, plošná hmotnost vzorku a distance lisování, jež určovala tloušťku filtru.

2 Výroba netkaných textilií - technologie

Netkaná textilie je definovaná jako vrstva anizotropně nebo izotropně uspořádaných vláken spojených frikcí, adhezí a/nebo kohezí. Výjimku tvoří papír, tkaniny, pleteniny, netkané textilie všívané a proplétané nebo například plsti. [1]

Výroba netkaných textilií lze shrnout ve dvou blocích operací. Jde o přípravu vlákenné vrstvy a o zpevnění vlákenné vrstvy. Dalo by se připojit i zušlechťování netkané textilie, avšak to je zcela mimo předmět této práce.

2.1 Příprava vlákenné vrstvy

Vlákennou vrstvu lze připravovat několika způsoby - mechanicky, aerodynamicky, mechanicko-aerodynamicky, hydrodynamicky, z taveniny polymeru anebo elektrostatickým zvlákňováním. Detailněji bude uvedena pouze mechanická příprava vlákenné vrstvy.

2.1.1 Mechanická příprava vlákenné vrstvy

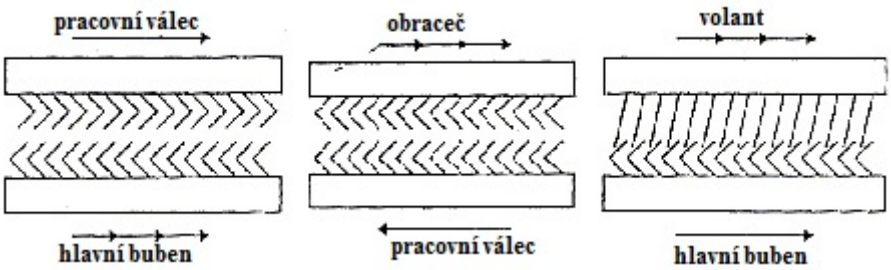
Příprava vlákenné vrstvy mechanickou cestou spočívá ve vytvoření pavučiny vláken pomocí mykacích strojů, případně mykacích zařízení zkonstruovaných speciálně pro výrobu netkaných textilií a vrstvením této pavučiny.

2.1.1.1 Tvorba vlákenné pavučiny

Mykací stroje se používají jak víčkové (bavlnářské), tak válcové (vlnařské), které jsou také častější a to díky své vyšší produktivitě, kdy mohou vyrobit až 1000 kg/ hod vlákenné pavučiny. Pokračování se týká výhradně mykacích strojů válcových..

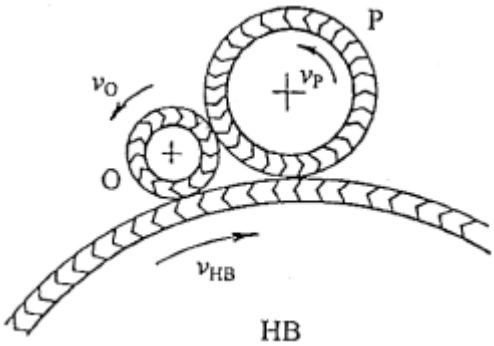
<u>Teorie mykání</u>

Principem mykání je ojednocení vlákenného materiálu, jeho promíchání, zrovnoměrnění výsledného produktu a tvorba jemné pavučinky s anizotropním uspořádáním. Tohoto je docíleno pomocí vzájemného působení mykacích povlaků (drátkové nebo pilkové) na pracovním ústrojí mykacího stroje. Díky vzájemnému postavení drátků resp. pilkových povlaků dochází k poloze na mykání (hlavní buben HB - pracovní válec), na snímání (pracovní válec P - obraceč O) a na povytažení (hlavní buben - volant).[1][16]



Obrázek 1: Vzájemné postavení mykacích povlaků [1]

Válcový mykací stroj je tvořen soustavou válců. Jeden pracovní uzel se skládá z hlavního bubnu (na obrázku 2 - HB), pracovního válce (P) a obraceče (O). Vlákenný materiál vstupuje do mykacího ústrojí pomocí dopravníku a rozvolňovacích válců. Rozvolňovací válce vlákenný materiál částečně ojednotí a předají jej díky vyšší obvodové rychlosti na hlavní buben. Hlavní buben nese vlákna k pracovnímu válci a právě zde, mezi hlavním bubnem a pracovním válcem, probíhá samotný proces mykání neboli poloha na mykání. Z pracovního bubnu vlákenný materiál putuje k obraceči, který materiál sejme z pracovního válce (poloha na snímání) a dodá je opět na hlavní buben. Pokud je vlákenný materiál dostatečně ojednocen, je přenesen hlavním bubnem k dalšímu pracovnímu uzlu a celý proces se opakuje. Když vlákenný materiál projde všemi pracovními cykly je pomocí volantu povytáhnut z mykacího povlaku (poloha na povytažení) hlavního bubnu a pomocí zčesávacího hřebenu je snímán na zbožový vál nebo k navádění do kladecího přístroje.[1][16]



Obrázek 2: Pracovní uzel na válcovém mykacím stroji [17]

Mykací povlaky

- **Drátkové - elastické**
  Jsou zhotoveny z oválných drátků ze stran obroušených a vyleštěných, jejichž podkladem je základní tkanina se silnou gumovou vrstvou.

- **Polotuhé**
  Ve výrobě netkaných textilií se nevyužívají. Od drátkového se liší tím, že namísto podkladové pogumované tkaniny je zde použita silná vrstva syntetického materiálu, ze kterého vystupují pouze hroty.

- **Celokovové - pilkové**
  Jsou využívány stále ve větší míře, především díky vyšší životnosti povlaků v porovnání s drátkovými, možnosti bližšího postavení pracovních orgánů a také díky tomu, že nižší výška zubů a jejich tvar zabraňuje přílišnému zaplnění hlavního bubnu - to usnadňuje i čištění celého stroje a snížení vlákenného odpadu.

Pro přesné určení, který typ mykacího povlaku je vhodný pro daný materiál neexistují přesná pravidla. Správný výběr je lepší konzultovat s výrobcem povlaků. [1]

2.1.1.2 Vrstvení vlákenné pavučiny

Pavučina vystupující z mykacího stroje má obvykle plošnou hmotnost cca 5 - 30 g/m^2. Tuto pavučinu můžeme buď již zpevňovat, anebo vrstvit. V této době jsou nám známy tři použitelné druhy kladení - podélné, příčné a kolmé.

Podélné kladení

Principem podélného kladení je odvádění vlákenných pavučin od několika mykacích strojů najednou a tím násobit jejich plošnou hmotnost. Tohoto se využívá u výroby netkaných textilií do 100 g/m^2. [1]

Příčné kladení

Jedná se o častěji používaný způsob kladení. Pavučina se klade příčným kladečem, který může být:

- **Výkyvný vertikální - Camel-back**

  Tento typ kladeče se skládá z dopravníkového pásu a dvou společně výkyvných pásů, které ukládají pavučinu na odváděcí pás. Vzniká tak vlákenná vrstva, která obsahuje sklady. Úhel těchto skladů je určován rychlostí odváděcího pásu a výkyvných pásů.

Obrázek 3: Výkyvný vertikální kladeč Camel-back - z poloprovozu KNT

- **Horizontální kladeč**

  Tento více používanější kladeč se skládá ze dvou kladecích dopravníků, jednoho kompenzačního dopravníku a odváděcího pásu. Dochází ke stejnému výsledku jako u předchozího typu kladeče.

Kolmé kladení

Tato nejnovější technologie kladení je vhodná na výrobu netkaných textilií, u kterých chceme dosáhnout vysoké odolnosti vůči jejímu stlačení.

U této technologie byly vyvinuty dva typy kladečů:

- Vibrační kolmý kladeč
- Rotační kolmý kladeč

[1]

Bližší specifikace ke kolmému kladení, zde uvedeny nebudou z důvodu nevyužití této technologie k zadané práci.

2.2 Zpevňování vlákenné vrstvy

Vytvořená vlákenná vrstva má velmi malou pevnost v tahu. Je to patrné především u netkaných textilií kladených podélně, kdy je pevnost v tahu po směru vláken výrazně vyšší než ve směru kolmém na vlákna, kdy je téměř nulová. Z tohoto důvodu se vlákenné vrstvy musí zpevňovat. Druh zpevnění se volí podle využití netkané textilie. Ve své práci se budu detailněji věnovat mechanickému zpevňování - speciálně vpichování a termickému spojování, které zde budou rozvedeny komplexněji.

Dalším typem zpevňování je chemické, kdy se využívá spojování impregnacemi, prášky, pastami, pěnou, aj.

2.2.1 Mechanické zpevňování vlákenné vrstvy

Ze skupiny technologií mechanického zpevňování vlákenné vrstvy bude následovně detailněji uvedena technologie vpichování. Níže jsou zmíněny další technologie zpevňování vlákenné vrstvy.

- Spunlaced - přeorientace vláken pomocí vodních paprsků
- Proplétání - jde prakticky o výplňkovou osnovní pleteninu, kdy vlákennou vrstvu proplétáme soustavou nití
- Plstění a valchování

2.2.1.1 Technologie vpichování

Principem technologie vpichování je provázání vlákenné vrstvy vlákny z této vrstvy přeorientováním kolmo ke směru vlákenné vrstvy. Soudržnost vlákenné vrstvy zajišťují třecí síly. K této přeorientaci dochází pomocí jehel s ostny nebo ve vidličkovém tvaru. Zároveň dochází k redukci tloušťky a zvětšení délkových a šířkových rozměrů.[1][2]

Na procesu vpichování mají důležitou roli následující parametry:

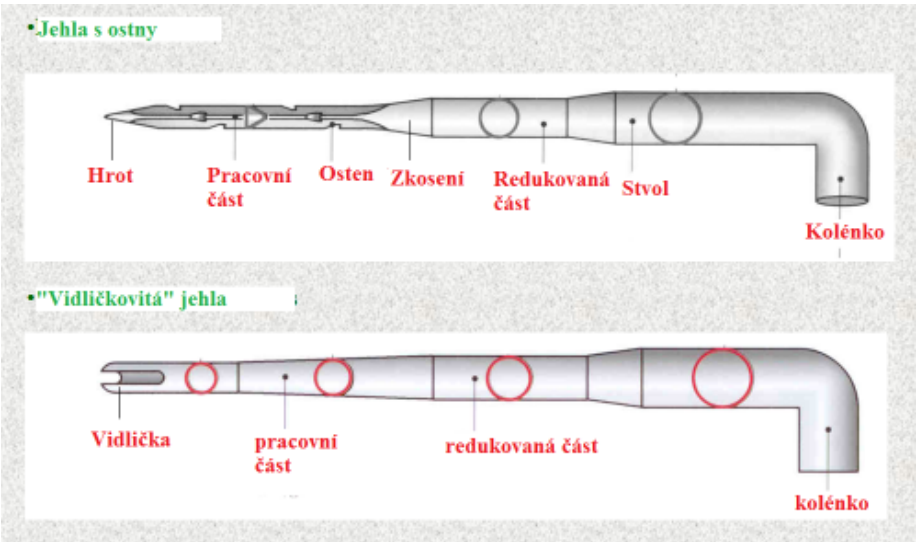
- parametry vláken - geometrické vlastnosti, mechanické vlastnosti a vlastnosti povrchu vláken
- parametry vlákenné vrstvy - orientace vláken, objemová hmotnost vlákenné vrstvy, tloušťka vlákenné vrstvy a stejnoměrnost vlákenné vrstvy.
- parametry vpichovacího stroje:
    - <u>hloubka vpichu</u>: jde o vzdálenost špiček jehel od opěrného roštu v místě, kdy je jehla nejníž. Hloubka vpichu se udává v milimetrech a její hodnota se pohybuje kolem 5 - 25 mm.
    - <u>počet vpichů na jednotku plochy textilie</u>: vyjadřuje se jako

$$V_p = \frac{a \times f \times p}{v} \; [m^{-2}], \qquad (1)$$

kde zmíněný vztah uvádí, že hloubka vpichu je podílem celkového počtu jehel na 1 m (a), frekvence pohybu desky (f), počet průchodů textilie strojem (p) a rychlosti odváděné textilie (v).

    - <u>parametry jehel:</u> rozměry jehel, tvar jednotlivých částí jehly, umístění na jehlové desce.

Máme dva různé typy jehel - jehlu s ohroceným hrotem a "vidličkovitou" jehlu. Jejich popis je uveden níže na obrázku.[1][2]



Obrázek 4: Vpichovací jehly[2]

2.2.2 Termické zpevňování vlákenné vrstvy

Technologie termického zpevňování vlákenné vrstvy využívají termoplastických vlastností některých syntetických materiálů. V některých případech se sama vlákenná vrstva působením tepla zpevní slepením jednotlivých vláken, avšak častěji se do základového materiálu - vláken, vlákenné vrstvy - přidávají pojiva. Jednotlivé typy pojiv budou detailněji probrány v kapitole 3.2.

2.2.2.1 Způsoby nanášení pojiv na vlákenné vrstvy

Prášky se nanášejí přímo na vlákennou vrstvu pomocí práškovacího zařízení, které se skládá z násypky dosedající na drážkovaný válec. K válci je přiřazen rotující kartáč, který z jeho povrchu uvolňuje zrnka ulpělá v drážkovaném válci. Bodový nános prášku se realizuje perforovanou rotační šablonou se stěrkou.

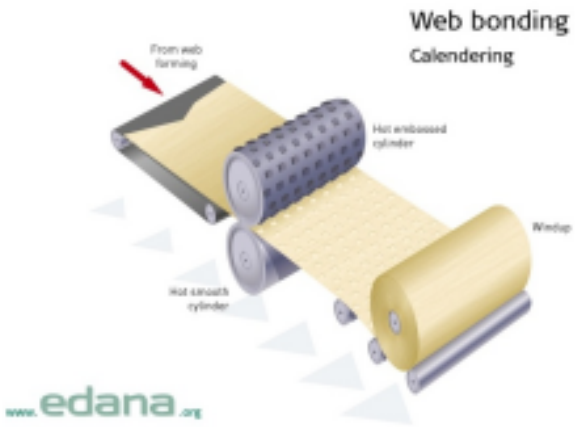
Pasty se nanášejí pomocí rotační šablony na připravenou vlákennou vrstvu. Pojivová vlákna se mísí se základovými vlákny v mísících agregátech, čechradlech nebo se mísí v mykacích strojích při přípravě vlákenných vrstev. Pěna z disperze polymeru se nanáší pomocí zpěňovacího zařízení. [1][3]

2.2.2.2 Pojení kalandrem

Termické zpevňování vlákenných vrstev pomocí kalandru můžeme rozdělit do třech hlavních typů:

- plošné pojení
- pojení za použití rastrovacího válce
- bodové pojení - využívá se především na jednorázové hygienické pomůcky.

Tato technologie je založena na průchodu vlákenné vrstvy mezi dvěma ocelovými válci, z nichž alespoň jeden je vyhřívaný na takovou teplotu, aby pojivo dosáhlo teploty tání nebo je ve viskoelastickém stavu. Na vlákennou vrstvu je vyvíjen tlak z obou válců a díky tomu je pojivo deformováno do pojivých míst. Ochlazením dochází ke ztuhnutí pojiva a ke zpevnění vlákenné vrstvy. [1]



Obrázek 5: Rastrovací kalandr [13]

Kalandry, které se používají ke zpevňování vlákenných vrstev jsou dvouválcové s průměry válců 150 - 300 mm. Tyto dvouválcové kalandry jsou vhodné pouze na netkané textilie s malou plošnou hmotností - do 100g/m^2. Při větších plošných hmotnostech se používají buď předehřívací zařízení, nebo víceválcové kalandry.

Válce jsou duté a jsou vyhřívány až do teploty 250°C olejem, vodou nebo jiným kapalným médiem. Přítlak mezi válci je až do 300 000 N/m. Tyto kalandry mají pracovní rychlosti kolem 150 m/min.

Z výše zmíněného je patrné, že proces kalandrování je závislý na několika faktorech. Teplota a tlak jako faktory jsou objasněny už dostatečně. Dále to je rychlost průchodu textilie mezi válci kalandru, která musí být dostatečně dlouhá, aby se pojivo rozpustilo a zpevnilo vlákennou vrstvu, avšak nesmí být tak dlouhá, aby pojivo degradovalo vlivem teploty. Důležitý je typ a koncentrace pojiva a plošná hmotnost vlákenné vrstvy. Dalším faktorem by mohla být kombinace povrchu válců kalandru, kdy na kalandrech bývá vždy alespoň jeden válec ocelový pro rovnoměrné dodání tepla a druhý válec může být plstěný. Plstěný válec umožňuje díky odolnosti svého povrchu rovnoměrnému rozprostření tlaku. U ocelových válců dochází k rozdílnosti vyvíjeného tlaku v různých částech válců. Na základě tohoto poznatku byly vyvinuty *Hy-Con* válce, které dokážou problém se stejnoměrností působícího tlaku kompenzovat pomocí hydrostatického tlaku. [1][4]

Rastrovací válce jsou válce, které mají na svém povrchu reliéfní povrch. Obvykle jsou to čtvercové plošky různých velikostí. Proti rastrovacímu válci musí být vždy hladký válec. Celková propojená plocha díky rastrovacímu válci tvoří 10 - 20% plochy textilie. Rastrovací válec je ukázán na obrázku 5.

2.2.2.3 Teplovzdušné pojení

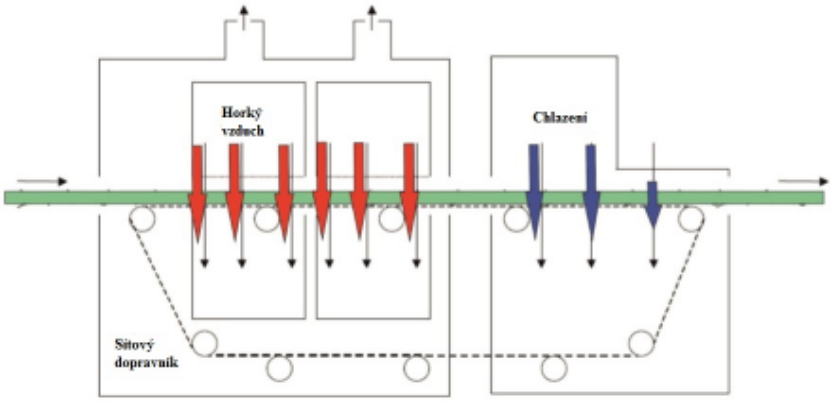
Touto technologií se zpracovává především směsová vlákenná vrstva. Můžou se však takto pojit i vrstvy s termoplastickou mřížkou nebo folií. V případě folie však musí jít o perforovanou folii, aby jí horký vzduch mohl prostupovat.

Připravená vlákenná vrstva prochází na dopravníku horkovzdušnou komorou, ve které cirkuluje horký vzduch díky ventilátoru, který jej prohání vlákennou vrstvou. Teplota cirkulujícího vzduchu se udržuje na hodnotě, která je dostatečná k roztavení pojiva. Teplovzdušné pojení je mimořádně rychlé. Nejpomalejším procesem v této technologii je transport tepla skrz vlákennou vrstvu, přes soustavu vláken a vzduch s nízkou tepelnou vodivostí. V porovnání s jinými konvenčními termickými kontaktními způsoby zpevňování s výjimkou kalandru, kdy je čas ohřátí vrstvy kolem 1 – 5 minut se v teplovzdušném pojení tento čas pohybuje kolem 10 sekund.

Teplovzdušné pojení probíhá tedy, jak již bylo zmíněno v teplovzdušných pojících komorách s horizontálním sítovým dopravníkem, nebo se využívají komory se sítovým bubnem. Komora může být doplněna i kalandrovacími válci, které jsou umístěny na výstupu z komory a zvyšují tak působením tlaku pojivý účinek. Dochází ale ke snížení objemnosti výsledného produktu.

Teplovzdušným pojením lze pojit jakákoliv základní vlákna. Jediné omezení je u pojení druhotných surovin, kdy musíme dbát na stupeň znečištění olejovými látkami, které se u teplovzdušného pojení odpařují, a tím znečišťují ovzduší. Tato technologie je tedy velmi vhodná pro výrobu tepelných a zvukových izolací pro automobily z druhotných vlákenných surovin s 25 hmotnostními procenty polypropylenových pojivých vláken.

[1][4]



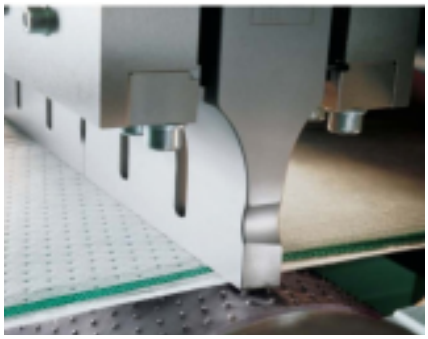
Obrázek 6: Schéma principu teplovzdušné komory [4]

2.2.2.4 Pojení ultrazvukem

Principem této technologie je rozkmitání molekul ve vlákenném materiálu a tímto tepelným kmitavým pohybem, ke kterému dochází přeměnou z kmitavé energie ultrazvukové sonotrody zařízení. Touto přeměnou dochází k zahřívání vlákenné vrstvy.

Hlavní částí zařízení je sonotroda vyrobená ze slitiny titanu, superduralu nebo nožířské oceli, na kterou se přenáší ultrazvukové kmitání z generátoru. Kmitočet ultrazvukového generátoru se pohybuje od 15 do 40 kHz. Vlákenná vrstva složená především z termoplastických vláken prochází mezi sonotrodou a podložkovým bubnem, kde je materiál stlačen nastavitelným tlakem. Místa svaru můžeme i vzorovat podle vzoru použitému na speciální sonotrodě nebo na přítlačném podložním bubnu.

Zařízení vzniklo původně jako náhrada šití. Přes počáteční celkem velké pořizovací náklady především na sonotrodu je pojení ultrazvukem velmi úsporné na energii, protože se teplo vytváří pouze v pojivém místě – ve svaru – a neohřívá celý materiál i přesto je velmi rychlé (150 m/min). [1][4]



Obrázek 7: Pojení ultrazvukem[17]

2.2.2.5 Pojení infračerveným zářením

K pojení infračerveným zářením se používají infrazářiče. Jsou to keramická tělesa, která jsou elektricky vyhřívána zabudovanými odporovými dráty na teplotu až 950°C. Energie infračerveného záření je tedy směřována do materiálu vedením. Pojená netkaná textilie musí obsahovat pojící látky, které budou aktivovány pomocí infračerveného záření.[1][4]

2.2.2.6 Pojení pomocí mikrovln

Jde o energetický ohřev pomocí vysoko frekvenčního elektromagnetického pole, které se přemění na tepelnou energii. Vlivem rychlého kmitání molekul a jejich tvaru dochází k intenzivnímu prohřátí celého objemu materiálu.[4]

3 Výroba netkaných textilií - suroviny

K výrobě netkaných textilií se dají použít všechny dostupné textilní materiály. V současnosti se nejvíce využívají polypropylénová a polyesterová vlákna. Přírodní vlákna mají už jen mizivý význam v produkci. Nejprve samostatná kapitola bude věnována obecně termoplastům, které se používají jako základový materiál i jako pojivo ve formě prášku, vláken, mřížek, folií, či jiných.

3.1 Termoplasty

Termoplast je makromolekulární látka, která při zvýšení teploty se uvede ze stavu tuhého do stavu plastického – kapalného. Tento jev je vratný.

Přechod je charakterizován teplotou toku (T_f). V oblasti T_f dochází zahříváním k náhlému a značnému růstu deformace. Začne se projevovat viskózní tok a nad touto teplotou je polymer v plastickém stavu.[12]

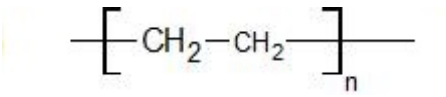
3.1.1 Základní termoplasty

Mezi základní termoplasty patří řada polymerů. V této práci je dán prostor pouze dvěma typům termoplastů - polyolefinům a lineárním termoplastickým polyesterům. Další termoplasty jsou například vinylové polymery, styrenové polymery, polyamidy a polyuretany

3.1.1.1 Polyolefiny

Polyolefiny jsou polymery alkenů. K nejvýznamnějším patří homopolymery a kopolymery ethylenu a propylenu.

3.1.1.1.1 Polyethylen - PE



Obrázek 8: Racionální vzorec PE

Výroba polyethylenu se provádí především radikálovou nebo koordinační polymerací. Existují dva základní typy PE, které se rozlišují podle hustoty. Hustota je mírou krystalinity a linearity polymeru. Přesnou hranici mezi těmito typy neznáme.

Lineární typ polymeru je PE-HD, což je vysokohustotní PE. Kdežto PE-LD je rozvětvený typ tohoto polymeru o nízké hustotě. Kromě těchto dvou existují ještě PE-MD, což je polyethylen se střední hustotu, PE-LLD - lineární polyethylen a o nízké hustotě a PE-UHMW - což vysokopevnostní polyethylen s velmi vysokou molekulovou hmostností. Vlastnosti základních typů PE jsou vyobrazeny v níže uvedené tabulce.[12]

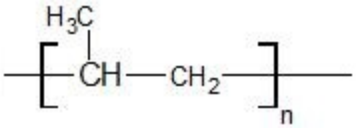
Vlastnosti	PE-LD	PE-HD
Hustota [kg/m^3]	do 930	do 960
Krystalinita [%]	do 64	do 93
Pevnost v tahu[MPa]	do 10	do 25
Tažnost [%]	do 1000	do 1000
Teplota vzplanutí [°C]	370	
Teplota tání[°C]	130	
Teplota skelného přechodu[°C]	-30	
Spalné teplo[MJ/kg]	45 - 46	
Možnost trvale používat, bez mechanického namáhání [°C]	do 70	

Tabulka 1: Vlastnosti PE[11][12]

Chemická odolnost PE se zvětšuje se stoupající krystalinitou. Při nižších teplotách je odolní vůči vodě a jiným polárním rozpouštědlům a neoxidujícím chemikáliím. Vůči polárním a nepolárním rozpouštědlům za vysoké teploty neodolává. [12][14]

Velmi dobře odolává nízkým teplotám, kdy je odolný až do -100°C a je tvarově stálý až do teplot 90 - 100°C.

3.1.1.1.2 Polypropylen - PP



Obrázek 9: Racionální vzorec polypropylenu

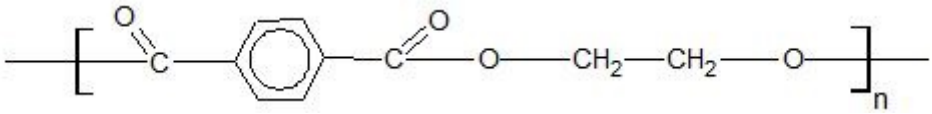
Vyrábí se koordinační polyreakcí propylenu s použitím Ziegler-Nattových katalyzátorů. Pro zvlákňování je požadován index izotakticity vyšší než 95. [14]

Polypropylen se od PE liší vyšší teplotou měknutí, menšímu stupni krystalinity, menší hustotou, menší odolností vůči mrazu, oxidaci a povětrnostními vlivy. Je méně propustný pro plyny, má větší pevnost, odolnost v oděru a je odolnější vůči chemikáliím.

Vlastnosti	PP
Hustota [kg/m^3]	900 - 910
Krystalinita [%]	60-70
Pevnost v tahu[MPa]	22-32
Tažnost [%]	120-700
Teplota vzplanutí [°C]	350-360
Teplota tání[°C]	160
Teplota skelného přechodu[°C]	-10
Spalné teplo[MJ/kg]	44 - 46
Možnost trvale používat, bez mechanického namáhání [°C]	100

Tabulka 2: Vlastnosti PP[12][14]

3.1.1.2 Polyestery - Polyethylenteleftalát – PET



Obrázek 10: Racionální vzorec PET

Společný znak polyesterových vláken je přítomnost esterových vazeb v hlavním řetězci.

Polyethylenteleftalát vzniká obecně polykondenzací kyseliny tereftalové a etylenglykolu. Výroba se dá provádět ve dvou fázích. Nejprve dimethyltereftalát tzv. transesterifikuje etylenglykolem za uvolnění metylalkoholu. Poté v druhé fázi vzniká polymer za vydestilování přebytečného etylenglykolu. Druhým způsobem výroby je přímá esterifikace etylenglykolu kyselinou teleftalovou.[12]

Vlastnosti	PET
Hustota [kg/m^3]	1380
Krystalinita [%]	30-50
Pevnost v tahu[MPa]	55-75
Tažnost [%]	50-70
Teplota tání[°C]	266
Teplota skelného přechodu[°C]	67

Tabulka 3: Vlastnosti PET[12][15]

Největším uplatněním pro využití polyethylentereftalátu je výroba polyesterových – PES vláken.

PES vlákna se zvlákňují z taveniny, rychlost zvlákňování může dosahovat až na 1500 m/min. K dloužení dochází při 75-90°C ve vodě – při dloužení probíhá krystalizace a orientace řetězců. Při dloužení za studena, které je taky možné dochází k tvorbě krčku a vznikají mikrotrhliny.[15]

3.2 Formy pojiv

Pojivé materiály můžeme využívat v mnoha formách. Pro chemické způsoby zpevňování vrstev se využívají:

- **roztoky polymerů** – buď s použitím vody jako rozpouštědla nebo s použitím organických rozpouštědel
- **vodné disperze polymeru**, které jsou nejpoužívanější formou chemických pojiv. Vysoká koncentrace polymeru při nízké viskozitě je velmi výhodnou vlastností pro pojivo. Vysoká koncentrace náklady na vodu a manipulaci s polymerem a nízká viskozita dobře dopraví polymer na vlákennou vrstvu a do mezivlákenných prostor.
- **zpěněné vodné disperze** přinášejí řadu výhod pro technologii chemického pojení, kdy například odpadá dlouhodobé sušení, protože množství vody v pěně je minimální. Tím, že snížíme dobu sušení materiálu, zabráníme i migraci pojiva zpátky na povrch textilie.
- **pasty**, které jsou vysoko viskózní disperze pojiv. Jsou to například zahuštěné vodné disperze polymeru. S pastami se dá velmi lehce manipulovat. Postup nanášení past je popsán v kapitole 2.2.2.1.
- a **tuhé polymery** v podobě prášku, vláken, nití, sítí, folií nebo vrstev z termoplastických vláken [1][3]

3.2.1 Prášky

Prášky polymerů se vyrábí drcením polymerního granulátu ve speciálních mlýnech – nožový, talířový. V těchto mlýnech se polymerní granulát drtí na rozměr 0,1 – 0,5 mm. K drcení musí docházet pod teplotou skelného přechodu Tg nebo je nutné granulát ochlazovat, aby vlivem tření ve mlýnu nedocházelo k měknutí. Například použijeme – li granulát kopolymerní s nízkou Tg, musíme využívat speciální agregát, který je během drcení granulátu ochlazován tekutým dusíkem.[3]

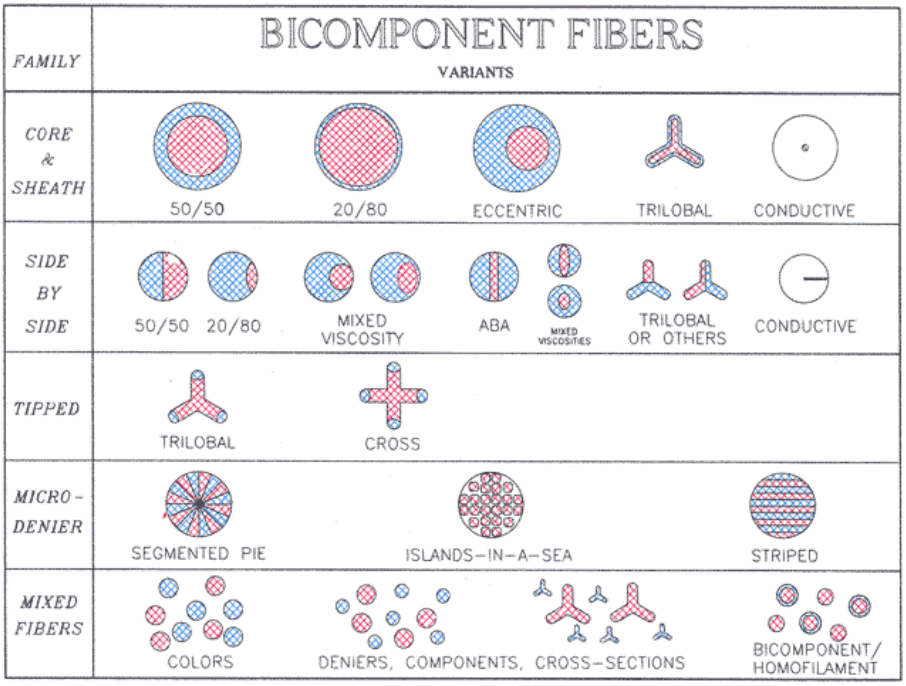
Způsob nanášení prášku je popsán v kapitole 2.2.2.1.

3.2.2 Bikomponentní vlákna

Pojivými vlákna mohou být i monokomponentní vlákna z termoplastických materiálů, které byly popsány v kapitole zabývající se termoplasty. Tato kapitola se zabývá

speciálními vlákny, která jsou velmi vhodná na pojení a to sice na teorii bikomponentních vláken.

Bikomponentní, již označení napovídá, že vlákna jsou složena ze dvou odlišných polymerů, které mají odlišné fyzikální nebo chemické vlastnosti. Bikomponentní vlákna se z hlediska pojení skládají z výše a níže tající složky. Nejčastěji je v roli výše tající složky polyester a v roli níže tající kopolyester nebo polypropylen. Může se však také pojit vlákny, kdy výše tající složka je polypropylen a níže tající polyethylen. Základní tvary řezů bikomponentních vláken a jejich specifické vlastnosti jsou popsány níže.



Obrázek 11: Tvary příčných řezů bikomponentních vláken[3]

3.2.2.1 Vlákna „jádro-plášť“ (core – sheath)

Můžeme je rozdělit do několika typů. První typ vláken „jádro-plášť“ je již zmíněná kombinace jádra s vyšší teplotou tání a pláště s nízkou teplotou tání. Tyto vlákna se nejčastěji mísí s monokomponentními základovými vlákny.

Dalším typem vláken „jádro-plášť“ jsou vlákna, která jako jádro mají recyklovaný materiál, vodivý materiál nebo jiný materiál specifických vlastností. Toto jádro je pokryto pláštěm, který disponuje svým vzhledem povrchu nebo jinými vlastnostmi.

Posledním třetím typem vláken „jádro-plášť“ jsou vlákna, která ve svém plášti obsahují speciální aditiva.[5]

3.2.2.2 Vlákna „bok po boku“ (side by side)

Vlákna „bok po boku“ se většinou používají také jako pojivý materiál. Jsou tvořena dvěma polymery, které mají různou úroveň deformace a sráživosti. [5]

3.2.2.3 Další typy bikomponentních vláken

Segmentovaná vlákna a vlákna „ostrovy v moři“ se zařazují do skupiny Microfibers (Mikrovlákna). Právě k výrobě mikro a submikrovláken se nejčastěji tyto techniky výroby bikomponentních vláken využívají. Vlákno je rozděleno na pruhy, „výseče koláče“ – v případě segmentovaných vláken, nebo je obalová polymerní matrice v následném zpracování rozpuštěna v případě vláken „ostrovy v moři“. Tohoto postupu se může využívat i při výrobě vysoce kvalitních syntetických usní.

V další skupině jsou směsi vláken. Například mísení mono a bikomponentních vláken nám mohou umožnit určování určitých vlastností textilie – přilnavost. [5]

4 Filtrace

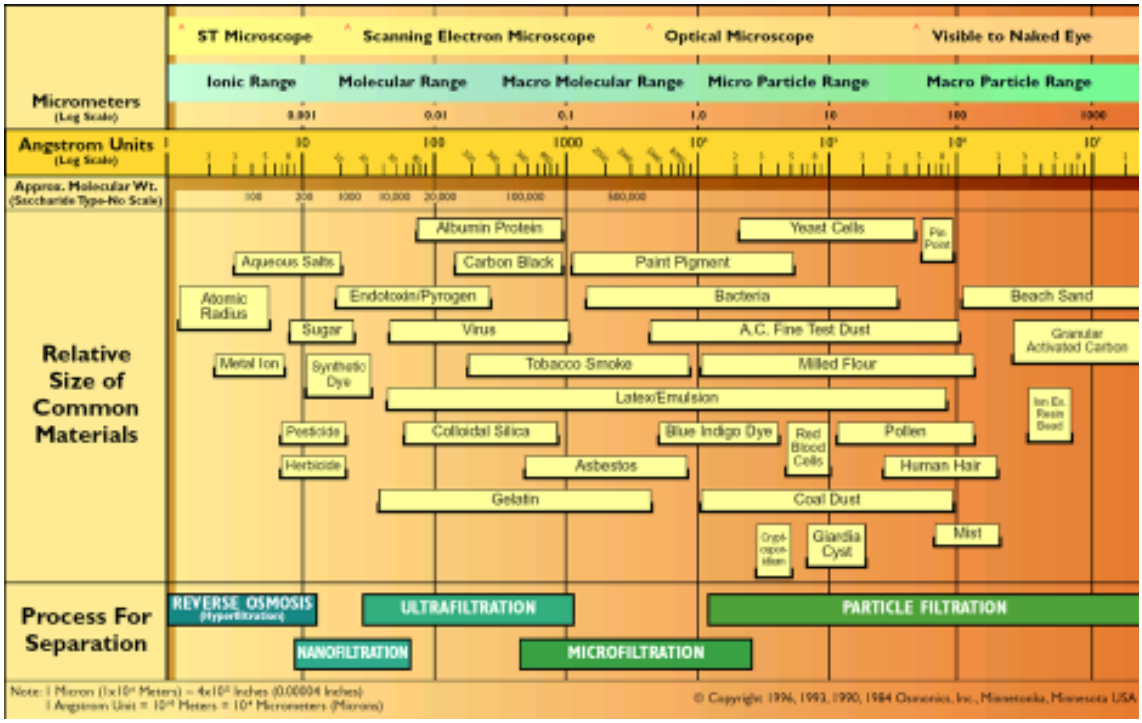
Existuje několik definicí filtrace, například INDA - Asociace výroby netkaných textilií definuje filtraci jako *"proces nebo zařízení na oddělování jedné části od jiných*"[9], jiné zdroje uvádějí jinak psané, ale podstatou totožné informace. Shrnuto tedy v obecné definici, která přímo uvádí možnosti filtrace. Filtrace je oddělování částic z disperze, která se skládá z:

- pevné a plynné části
- pevné a kapalné části
- jen pevné částice v různých velikostech
- kapalné části s různou viskozitou
- kapalné a plynné části
- a plynných částí

4.1 Typy filtrace

Filtraci tedy můžeme rozdělit podle filtrovaného média na kapalinovou a plynnou. Dále můžeme rozdělit filtraci podle velikosti filtrovaných částic na:

- hyperfiltraci - makrofiltraci
- mikro-filtraci
- ultra-filtraci
- nanofiltraci
- reverzní osmózu



Obrázek 12: Rozdělení filtrace podle velikosti procházejících částic[7]

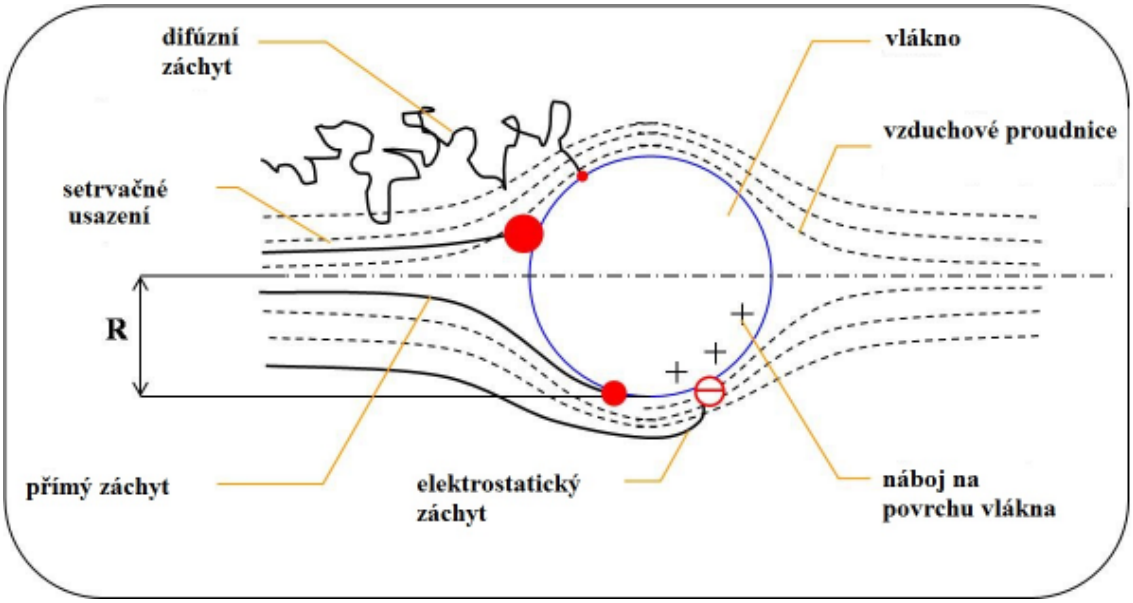
Filtrace je rovněž rozdělována podle místa, kde v/na textilii se zachytí filtrované částice. Dělí se tedy na povrchovou a hloubkovou.

Povrchová filtrace je charakterizována zachycením částic nebo aerosolů, jejichž průměr je větší než póry filtru, na povrchu filtru. Jednou variantou je, že částice ucpe nebo zablokuje filtr, což zvýší odolnost filtru proti průtoku kapalin přes filtr, a proto se filtr musí častěji čistit a měnit. Druhou variantou je zachycení částic na povrchu filtru a zformování vrstvy těchto částic, která má menší velikost pórů než filtr, což umožňuje

samotnou filtraci. Popsaná vrstva tvořená z částic se nazývá filtrační koláč. Tento filtrační jev se nazývá sítovým jevem. Podle velikosti částic můžeme odhadnout jaká bude efektivita filtru. Jediný problém je přesné určení velikosti pórů a během filtrování se velikost těchto pórů může měnit. Jde většinou o tenké filtrační média z papíru, termoplasticky pojených tenkých vrstev (lisovaných) nebo netkaných vrstev se zátěrem nebo laminovaných. [7][10]

Hloubková filtrace se využívá v aplikacích, kde je velký rozdíl ve velikostech filtrovaných částic. Částice se při hloubkové filtraci zachytávají v mezivlákenných pórech filtru díky silám mezi vláknem a částicí. Hloubková filtrace je velmi náročná na čištění a může být znovu použita pouze s dodržením specifických faktorů. Jedná se o objemných netkaných textilií vpichovaných, chemicky nebo teplovzdušně pojených textilií.[7][10]

4.1.1 Mechanismy filtrace



Obrázek 13: Mechanismy filtrace[7]

Způsob zachycení částic na vlákno především v hloubkové filtraci lze popsat čtyřmi hlavními mechanismy.

- Přímý záchyt

  Předpokládejme, že se částice pohybují shodně s průtokem disperzního prostředí. Částice bude zachycena, jakmile se dotkne povrchu vlákna v místě mezivlákenného póru.

- Setrvačné usazení

  Týká se částic s velkou rychlostí a hmotností, které přímo narážejí na povrch vlákna a nesledují proudnice disperzního prostředí.

- Difúzní záchyt

  Malé částice se usadí na povrch vlákna působením Brownova pohybu.

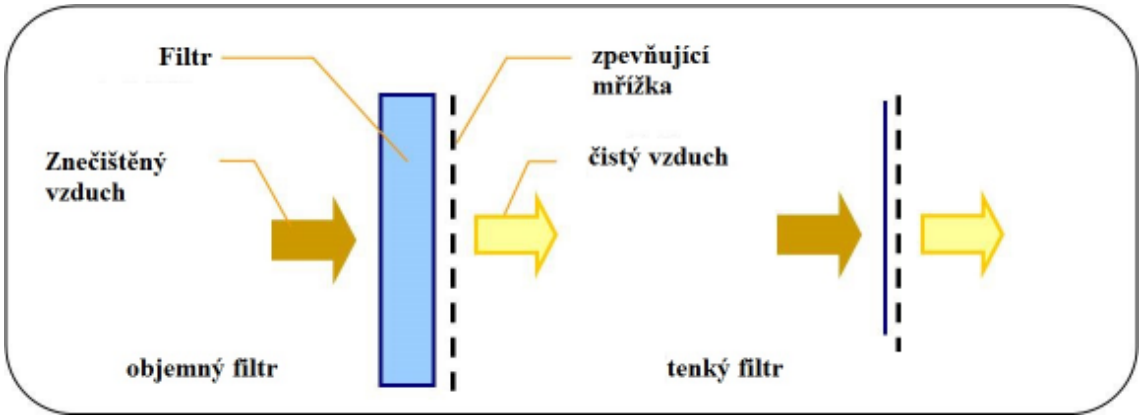
- Elektrostatický záchyt

  Částice jsou přitahovány přitažlivými silami danými opačným elektrickým nábojem vlákna.

  [7]

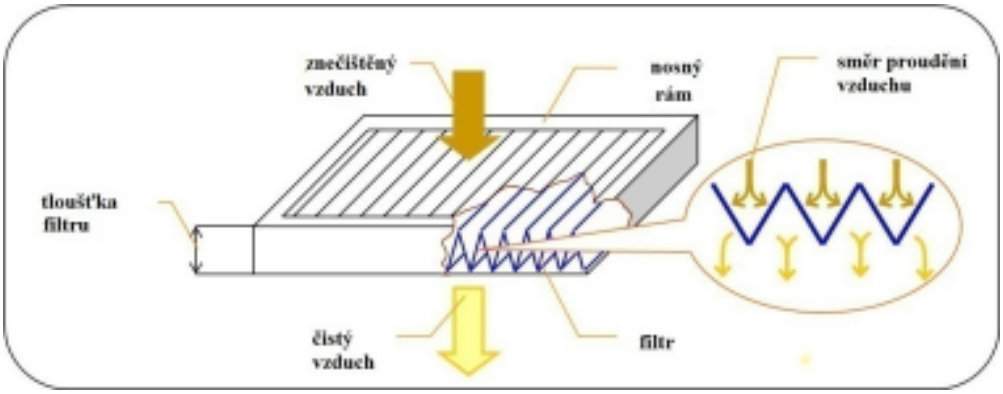
4.1.2 Typy filtrů podle tvaru

Ploché filtry jsou nejjednodušší na výrobu a zároveň nejlevnější. Jedná se o plochou netkanou vrstvu, která je umístěná v nosném rámu. Může být doplněna o zpevňující mřížku. Využívají se především jako předfiltry. Filtrační vlastnosti nejsou nijak zvlášť úžasné u těchto filtrů. [6][8]



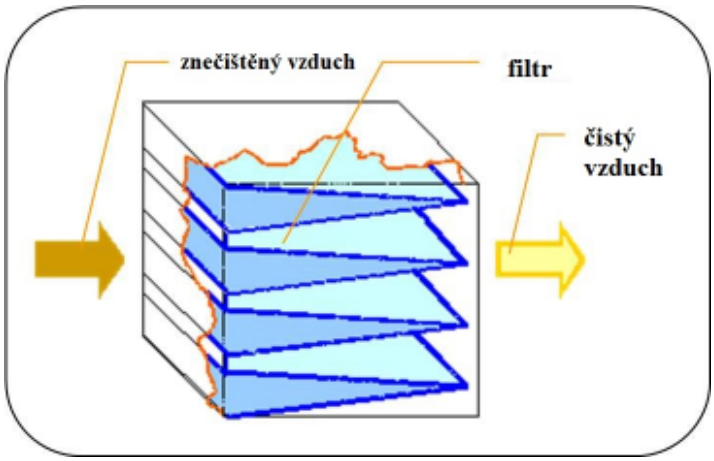
Obrázek 14: Plochý filtr[8]

Skládané filtry jsou vysoce účinné. Na jejich výrobu je vhodné použít materiál, který má vysokou efektivitu, tlakový spád a má tloušťku papíru. Složením této vrstvy se zmenší tlakový spád a zvýší se efektivita. Složená filtrační vrstva se uloží v neprodyšném rámu s tloušťkou 1-4 cm. Tyto filtry jsou dražší a musí se počítat s většími nároky na prostor pro filtr. Využívají se mimo jiné jako vzduchové filtry v motoru automobilů.[6][8]



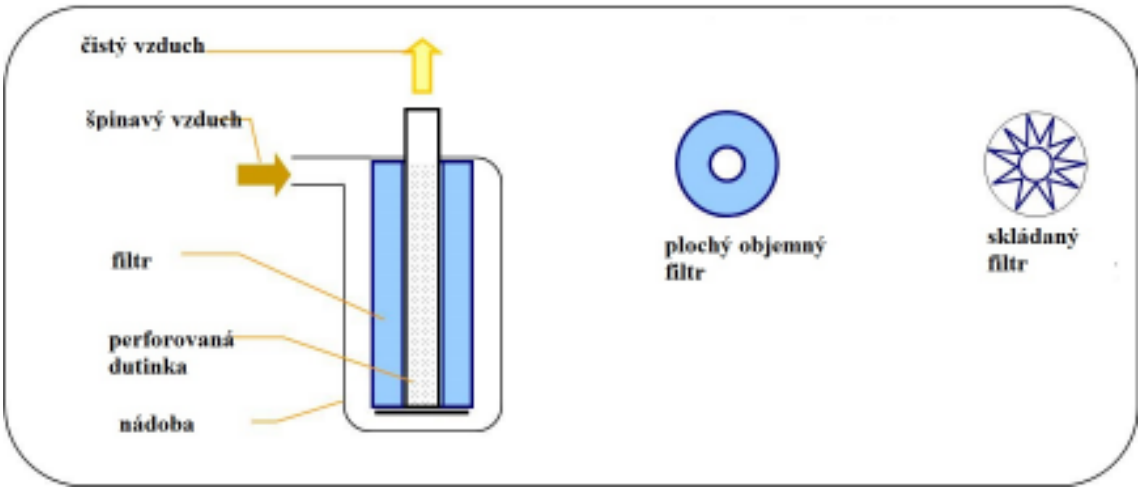
Obrázek 15: Skládaný filtr[8]

Kapsové filtry jsou principem a výhodami podobné skládaným filtrům. Je na ně možno použít všechen dostupný textilní materiál. Výroba je ale náročnější a nákladnější. Nejprve se musí ušít kapsa, která se ručně vsazuje do rámu filtrace. Kombinace kapsového a skládaného filtru vede k maximalizaci filtrační plochy a tím i zvýšení efektivity záchytu.[6][8]



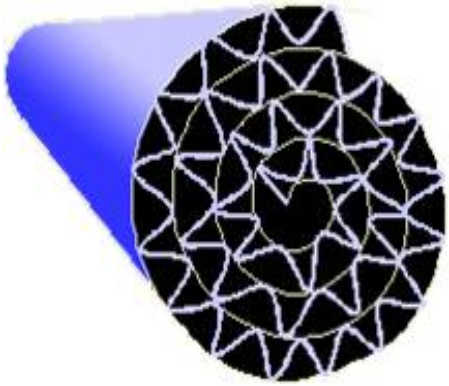
Obrázek 16: Kapsový filtr[8]

Patronové filtry, které se používají především na kapalinovou filtraci jsou složeny z ploché nebo skládané vrstvy navinuté na perforované dutince.[8]



Obrázek 17: Patronové filtry[8]

Lamelové obtékané filtry jsou odlišné od ostatních typů filtrů. Filtrovaná látka totiž neprochází skrz filtr, ale obtéká jej a proudí kolem jeho povrchu. Používají se na filtrování spalin. [8]



Obrázek 18: Lamelový obtékaný filtr[8]

4.2 Parametry filtrů z netkaných textilií

Netkané filtry se využívají v mnoha aplikacích. Správný filtr by měl být vybírán a umístěn v závislosti na procesních parametrech, aby byla dosažena co největší filtrační efektivita. Je tedy nutné přizpůsobit filtr požadavkům jeho aplikace. Pro tento účel je nutné vzít v úvahu použitý materiál a typ filtru. Pro výběr vlákenné vrstvy použité na netkané vrstvy musíme vzít v úvahu následující parametry:

- plošnou a objemovou hmotnost
- porózitu a velikost pórů
- strukturu povrchu a stejnoměrnost vrstvy
- tloušťku

- hořlavost
- elektrické vlastnosti
- kapacitu absorpce vlhkosti
- chemickou, termickou a biologickou stabilitu materiálu

Dále musíme brát v potaz jaké částice budeme filtrovat:

- velikost částic
- koncentrace částic
- tvar a povrch částic
- objemovou hmotnost částic
- elektrické vlastnosti částic

V neposlední řadě musíme brát v úvahu parametry vlastní filtrace:

- rychlost náletu částic na filtr
- viskozita protékajícího média
- teplota, tlak, vlhkost

[6][10]

4.3 Filtrační vlastnosti

Filtrační vlastnosti neboli vlastnosti filtrů, kterých chceme docílit. Tyto vlastnosti se během filtrace mohou měnit v důsledku zaplňování filtru a dalších důvodů, které jsou popsány v níže.

4.3.1 Efektivita filtru

Efektivita jinak také označována jako odlučivost vyjadřuje množství zachycení částic vztažené na celkové množství částic, které nalétaly na filtr. Lze ji vyjádřit jako

$$E = \left(1 - \frac{G_1}{G_2}\right) \times 100\ [\%], \qquad (2)$$

kde zlomek G_1/G_2 označuje propustnost filtru.

4.3.2 Tlakový spád

Většina metod na testování filtračních vlastností se zakládá na měření tlakového spádu. Tlakový spád se měří jako rozdíl tlaku před a za filtrem. Jinak řečeno tlakový spád

vyjadřuje odpor filtru vůči protékajícímu disperznímu prostředí. Tlakový spád se vztahuje k síle čerpadla nebo kompresoru nezbytné k průchodu tekutiny/plynu přes filtr.

Tlakový spád je opakem prodyšnosti a cílem je dosáhnout co nejnižšího tlakového spádu.

$$\Delta p = p_1 - p_2 \; [Pa], \tag{3}$$

kde p_1 vyjadřuje tlak před filtrem a p_2 tlak za filtrem.

4.3.3 Životnost filtru

Životnost neboli délka použitelnosti filtru se měří jako množství částic, které filtr zachytí než začne degradovat a naroste tak tlakový spád. Ten může vzrůst až na definovanou kritickou mez. Životnost je tedy vyjádřena jako rychlost zanášení filtru. A je dána rovnicí

$$J = E_s \times m_p, \tag{4}$$

kdy E_s je střední hodnota efektivity filtru a m_p je množství částic na filtru. [7]

4.3.4 Porózita a velikost pórů

Porózita je procento prostoru ve vlákenném materiálu, který je nezaplněn. Důležitější je ale velikost těchto pórů, které můžeme uvažovat jako válcové prostory mezi vlákny. Velikost pórů se dá měřit pomocí Bublinkové metody.[7]

4.4 Testování filtračních vlastností

Vlastnosti, které chceme testovat, jsou efektivita záchytu, tlakový spád a životnost filtru. Tyto vlastnosti se měří za pomoci prachu či aerosolu. Liší se pouze velikostí, koncentrací a disperzitou částic.

- <u>Měření pomocí syntetického prachu</u>

  Jde o prach na bázi křemíku, do něhož mohou být přidány částice sazí nebo krátká celulózová vlákna. Velikost částic se pohybuje až do 10μm. Měří se tak hrubé filtry či středně jemné. Částice se váží před a za filtrem a přepočtem se získá propustnost a efektivita filtru.[7]

- Měření pomocí atmosférického prachu

  Již zastaralá metoda založená na průtoku částic ve vzduchu. Pomocí počítače velikosti a množství částic byly detekovány před a za filtrem. Nyní se v této metodě používá aerosol DEHS.[7]

- Měření pomocí aerosolu NaCl

  Tento způsob měření filtračních vlastností je podrobně rozebrán v experimentální části.

5 Experimentální část

Experimentální část bude věnována výrobě a testování vzorků netkaných filtračních vrstev. Vyrobili jsme několik sérií vzorků s různými proměnnými. Vyráběli jsme technologiemi mykání, vpichování a lisování. Na základě konzultace byla zvolena polyesterová vlákna o jemnostech 3,3 dtex; 6,7 dtex a 11 dtex, která jsme doplnili o pojivá bikomponentní vlákna typu jádro-plášť o jemnosti 3,3 dtex a délce vláken 60 mm od společnosti *KOSA*, kdy jako jádro byl použit polypropylen a plášťový materiál je polyethylen.

5.1 Příprava vzorků

Nejprve jsme pomocí laboratorních vah navážili přesný poměr základových PES vláken a pojivých bikomponentních vláken podle zadání. Hmotnostní podíly jednotlivých složek jsou uvedeny níže.

Jemnost základových vláken	3,3 dtex	6,7 dtex	6,7 dtex	6,7 dtex	11 dtex
PES základová vlákna[%]	60	40	60	80	60
Bikomponentní vlákna[%]	40	60	40	20	40

Tabulka 4: Procentuální poměr základových a pojivých vláken

5.1.1 Příprava vlákenné vrstvy

Poloprovozním mykacím strojem bylo provedeno dostatečné promísení základových a pojivých bikomponentních vláken.

Obrázek 19: Poloprovozní mykací stroj - KNT

Poloprovozní válcový mykací stroj má jeden hlavní buben a dva pracovní mykací uzly. Válce na mykacím stroji jsou vybaveny drátkovými mykacími povrchy. Z hlavního bubnu je pavučina snímána pomocí sčesávacího hřebenu a musí být navedena na zbožový dřevěný vál.

Obrázek 20: Vnitřní část laboratorního mykacího stroje

Navážka 100 g směsi pojivých a nepojivých vláken byla umykána, když byla vzniklá vrstva navinutá na zbožovém válci, tuto navinutou vrstvu jsme přestřihli a po procesu vpichování jsme předběžným zvážením zjistili, že tímto postupem bylo dosaženo plošné hmotnosti podle uvedeného příkladu 100 g/m^2. Tento postup byl zvolen po vyzkoušení mykání na válcovém mykacím stroji, který je doplněn vertikálním výkyvným kladečem,

který přivádí nakladenou vlákennou vrstvu ke vpichovacímu stroji. Vzniklá vrstva byla nestejnoměrně nakladená. Tímto postupem nelze dosáhnout požadované plošné hmotnosti pro zadané účely.

Předmykaná, navinutá a odstřihnutá vrstva byla vpichována na poloprovozním vpichovacím stroji. Parametry vpichovacího stroje:

- použité jehly - s ostny
- hloubka vpichu - 5 mm
- počet vpichů na jednotku plochy byl spočten podle vzorce uvedeného již v teoretické části práce, kdy celkový počet jehel na 1 m (a) je 2200, frekvence pohybu desky (f) byla nastavena na 3,67 s^{-1} , rychlost odváděné textilie (v) byla nastavena na 0,5 m /min, což je 0,0083 m/s. Textilie prošla strojem pouze jednou (p).

$$V_p = \frac{a \times f \times p}{v} = \frac{2200 \times 3{,}67 \times 1}{0{,}0083} = 972771\ m^{-2}, \qquad (5)$$

Vpichovaná netkaná vrstva byla nastříhána na vzorky o velikosti 25×25 cm. A tyto vzorky byly kontrolně zváženy. Dohromady jsme takto připravili 60 sérií vzorků po třech kusech.

3,3 dtex 60/40		**6,7 dtex 40/60**		**6,7 dtex 60/40**		**6,7 dtex 80/20**		**11 dtex 60/40**	
100 g/m^2	0,5mm	100 g/m^2	0,5mm	100 g/m^2	0,5mm	100 g/m^2	0,5mm	100 g/m^2	0,5mm
	1 mm		1 mm		1 mm		1 mm		1 mm
	2 mm		2 mm		2 mm		2 mm		2 mm
	4 mm		4 mm		4 mm		4 mm		4 mm
200 g/m^2	0,5mm	200 g/m^2	0,5mm	200 g/m^2	0,5mm	200 g/m^2	0,5mm	200 g/m^2	0,5mm
	1 mm		1 mm		1 mm		1 mm		1 mm
	2 mm		2 mm		2 mm		2 mm		2 mm
	4 mm		4 mm		4 mm		4 mm		4 mm
300 g/m^2	0,5mm	300 g/m^2	0,5mm	300 g/m^2	0,5mm	300 g/m^2	0,5mm	300 g/m^2	0,5mm
	1 mm		1 mm		1 mm		1 mm		1 mm
	2 mm		2 mm		2 mm		2 mm		2 mm
	4 mm		4 mm		4 mm		4 mm		4 mm

Tabulka 5: Souhrn 60 sérií vzorků

5.1.2 Zpevnění vlákenné vrstvy

Zpevnění vlákenné vrstvy jsme prováděli pomocí laboratorního etážového lisu. Jde o dolnotlaký hydraulický lis, který kromě běžných dvou vytápěných přítlačných desek obsahuje v lisovacím prostoru ještě další topné desky neboli etáže. Vytápění přítlačných desek se provádí pomocí páry nebo tlakové kapaliny. [19]

Dostupný laboratorní etážový lis má následující parametry:

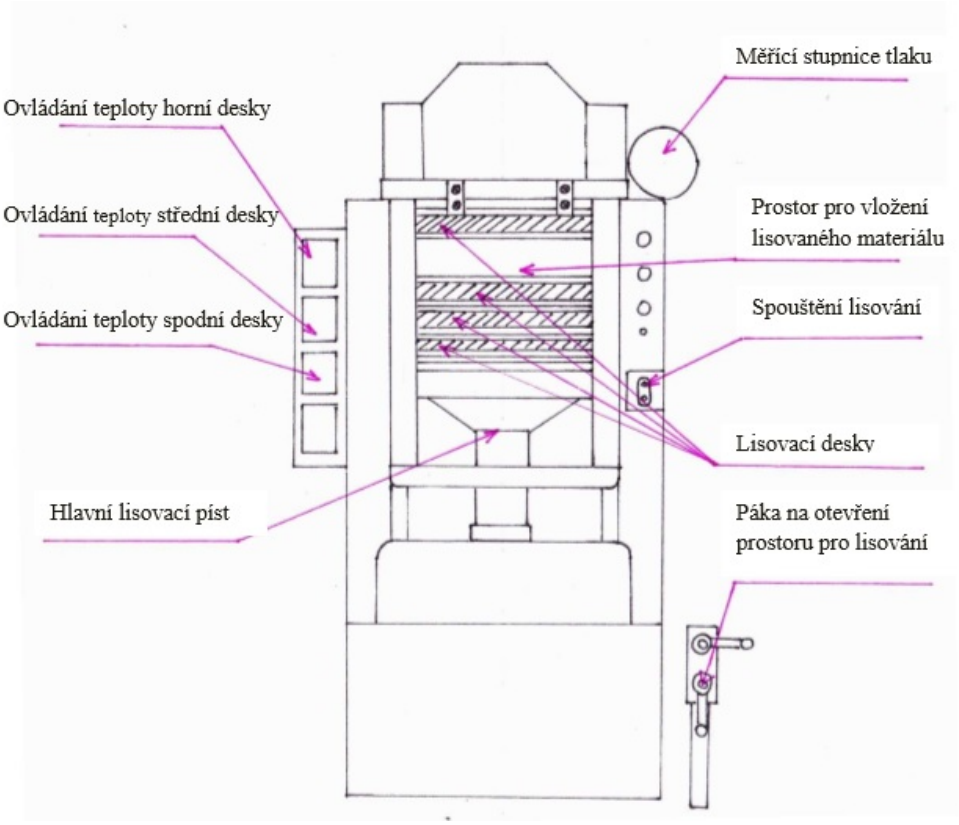
- teplota: 0-250 °C
- tlak: 0-10 MPa
- Povrch lisovacích desek - ocel

Pro zpevnění vzorků byly vybrány následující podmínky:

- teplota: 140°C
- distance lisování: 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm
- čas: 2 minuty

Lisování probíhalo následující postupem. Vzorek netkané vrstvy byl vložen mezi dva nerezové plechy a jako ochranu před přichycením vrstvy na plechy jsme netkané textilie vložili ještě mezi dva archy pečicího papíru. Plechy s vloženou netkanou vrstvou byly vloženy do lisovacího prostoru a lisovány za stanovených podmínek po dobu 2 minut.

Lisováním byly vyrobeny vzorky s aglomerační strukturou pojivých míst.



Obrázek 21: Schéma laboratorního etážového lisu

5.2 Měření filtračních vlastností

Filtrační vlastnosti - respektive měření tlakového spádu a efektivity filtru byly měřeny na přístroji *Bench Mounting Rig type 1100 P*. Tento přístroj měří filtrační vlastnosti metodou použití aerosolu chloridu sodného. Měří odlučivost částic polydisperzního prostředí o velikosti 0,02 - 2μm a tlakový spád při náletové rychlosti částic na filtr 1,5 - 9,5 m/min. Koncentrace částic je cca 13 mg/m^3. Tento přístroj měří v souladu s normami: *BS 4400, EN 143, EN 149, EN 779, EN 1822, ASHRE 52,2*[1]

[1] Norma BS 4400 - Metoda testování odlučivosti pomocí částic chloridu sodného pro filtry respirátorů.
Norma EN 143 - "Ochranné prostředky dýchacích orgánů - Filtry proti částicím"
Norma EN 149 - " Ochranné prostředky dýchacích orgánů - Filtrační polomasky k ochranně proti částicím"

Obrázek 22: Zařízení Bench Mounting Rig type 1100 P na měření filtračních vlastností

5.2.1 Princip měření

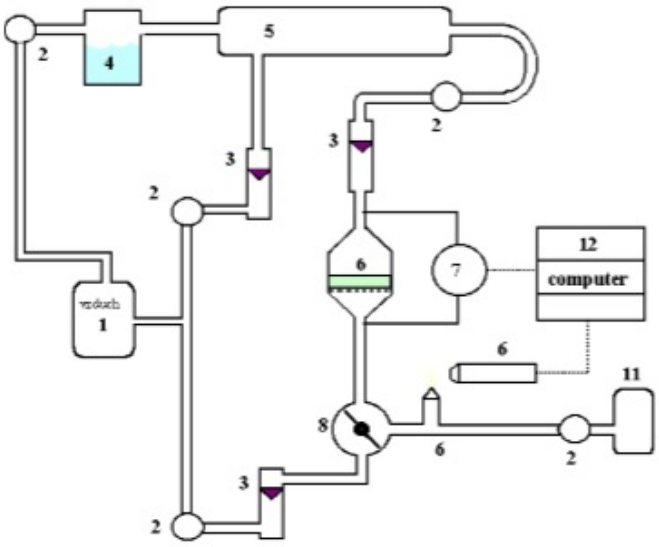
10% roztok NaCl je ve vypařovací trubici zbaven vody a rozprášen. Tímto vznikají částice soli definované velikosti. Ty nalétají určenou rychlostí na testovaný filtr. Při tomto je zároveň měřen tlakový spád. V hořáku hoří modrý vodíkový/vzduchový plamen. Částice, které projdou testovaným filtrem, tento plamen zbarvují do žluta. Intenzitu žlutého odstínu snímá spektrofotometr. Výstupem je hodnota napětí v mV, hodnota průniku částic testovaných vzorkem je určena níže uvedeným vzorcem.

$$P = \frac{U_1}{U_2}[\%] \qquad (6)$$

Vzorec uvádí, že propustnost filtru je podílem mezi napětím naměřeným na testovaném vzorku (U_1) a napětím naměřeným bez upnutého vzorku (U_2).

Tento výpočet provádí počítač. Pro přesné měření je nutné určit počáteční - nulový stav, kdy v hořáku je pouze vodíkový plamen. Vzduch přiváděný z kompresoru může v přístroji procházet třemi cestami:

I. cesta, která je určena pro určení nulového stavu přístroje a pro výměnu testovaného filtru - vzduch neprochází filtrem.
II. cesta pro určení tlakového spádu filtru a vyčistění přístroje - vzduch prochází filtrem, ale neobsahuje částice soli
III. cesta pro měření průniku částic filtrem [6]



1 přívod stlačeného vzduchu
2 regulační ventil
3 průtokoměr
4 rozprašovač
5 vypařovací trubice
6 měřicí cela se vzorkem filtru
7 měření tlakového spádu
8 přepínací ventil
9 hořák
10 spektrofotometr snímající intenzitu žlutého světla
11 láhev se stlačeným vodíkem
12 počítač

Obrázek 23: Schéma testu filtračních vlastností aerosolem NaCl [6]

5.2.2 Postup měření

Před samotným měřením musela být provedena kalibrace přístroje, neboli určení tzv. nulového stavu, kdy v hořáku hoří pouze vodíkový plamen. Průtok byl po konzultaci zvolen 50 l/min a náletová rychlost částic na filtr 5 m/min. Nulový stav pro snímání intenzity žlutého světla spektrofotometrem byl nastaven na 50 μm. Tyto parametry byly používány při všech měřeních.

Vlastní měření probíhalo následujícím způsobem. Do měřící cely byl umístěn měřený filtr (u objemných filtrů byl problém s tvorbou podtlaku, v takovýchto případech musely být testované filtry upraveny do tvaru přesně kopírujícího měřící celu), při tomto umisťování a následně při každé výměně musel být protékající vzduch naveden mimo měřící celu. Kdyby tomu tak nebylo, tak by přes otevřenou měřící celu vniklo do přístroje mnoho nečistot a výsledky by byly značně zkresleny a čistění plamene by trvalo déle. Po umístění filtru byl puštěn proud vzduchu přes vzorek a dále pokračovalo následování pokynů z počítače. Průtok musel být vyrovnáván na 50 l/min, jelikož

průtok, který byl předem nastaven, se po každém umístění vzorku mírně odchýlil. Poté probíhalo čištění plamene, které trvalo dobu závislou na efektivitě záchytu posledního měřeného filtru. Na měření jsme používali světelné filtry hodnoty 4 a 6, které zabraňovali spálení spektrofotometru. Pro vlastní měření byl puštěn atomizér, jenž způsobuje, že do měřeného filtru se pustí vzduch obsahující částice soli. Po ustálení naměřené hodnoty byl atomizér vypnut. Poté opět došlo k přepnutí vzduchové cesty mimo měřící celu a byla provedena výměna měřeného filtru. Další měření probíhalo ve stále stejném sledu.

Měření lze zhodnotit jako velmi jednoduché dodržování příkazů, které vypisoval počítač. Naměřené hodnoty počítač vytiskl na štítek.

5.3 Vyhodnocení

Po zkompletování a zorganizování naměřených hodnot bylo nutné ve všech měřeních dopočítat námi žádanou efektivitu záchytu. Jelikož měřicí přístroj spočítal pouze propustnost filtru, efektivitu záchytu lze dopočítat pouhým odečtením hodnoty propustnosti od 100 %. Toto odečtení je uvedeno v níže zobrazené rovnici.

$$E = 100 - P = [\%] \tag{7}$$

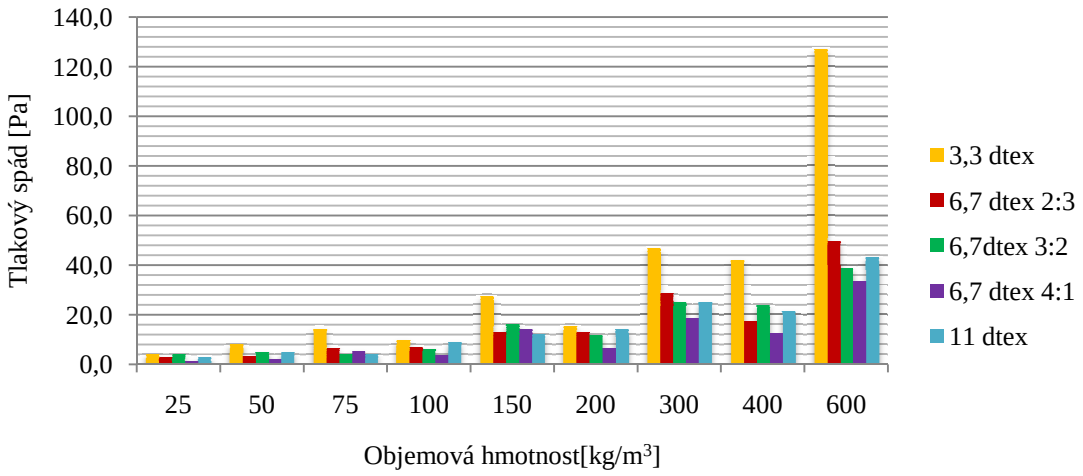
Na každou sérii vzorků byla provedena 3 měření. Z těchto 3 měření byla vypočtena střední hodnotu naměřeného tlakového spádu a efektivity záchytu a tyto hodnoty byly dále zpracovávány do grafů, kde se porovnávaly různé faktory na vliv efektivity filtru a tlakového spádu.

5.3.1 Výsledky tlakového spádu

V níže uvedeném grafu je zobrazeno, jak objemová hmotnost ovlivňuje tlakový spád. Je v něm patrné, jak se zvětšující objemovou hmotností se postupně zvětšuje i tlakový spád. Tudíž podle toho je zřejmé, že čím je objemová hmotnost nižší je nižší i tlakový spád tzn., že filtry s nižší objemovou hmotností lépe odolávají tlaku průtoku disperzního prostředí. Může to být zapříčiněno i tloušťkou filtru. Vliv tloušťky filtru v závislosti na filtračních vlastnostech je rozebrán v příloze.

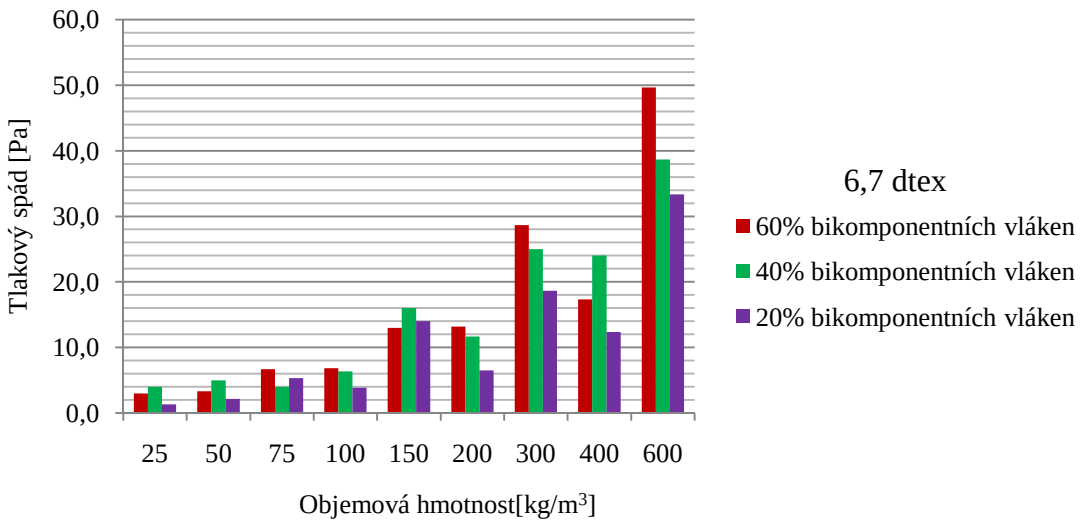
V grafu jsou taktéž porovnány různé jemnosti použitých základových vláken a jejich vliv na tlakový spád. Je možné, že materiály s malou jemností jsou pro tento filtr méně

vhodné, ale na takový závěr by muselo být provedeno více měření. Je patrné, že hodnoty tlakového spádu u jemností 6,7 dtex a 11 dtex se prakticky vůbec neliší. Je tedy sporné, zdali se hodnoty tlakového spádu u vzorků s jemností 3,3 dtex liší v důsledku chyb měření či zdali mezi jemnostmi 3,3 dtex a 6,7 dtex je opravdu nějaká zásadní změna.



Graf 1: Vliv jemnosti a objemové hmotnosti na tlakový spád

Dalším zkoumaným vlivem na tlakový spád je vliv poměru bikomponentních a základových vláken. Podle rozdílů výšek jednotlivých sloupců je patrné, že procentuální zastoupení bikomponentních vláken nehraje v naměřených hodnotách téměř žádnou roli. Toto porovnání poměrů bikomponentních a základových vláken bylo provedeno na vzorcích o jemnosti základových vláken 6,7 dtex.

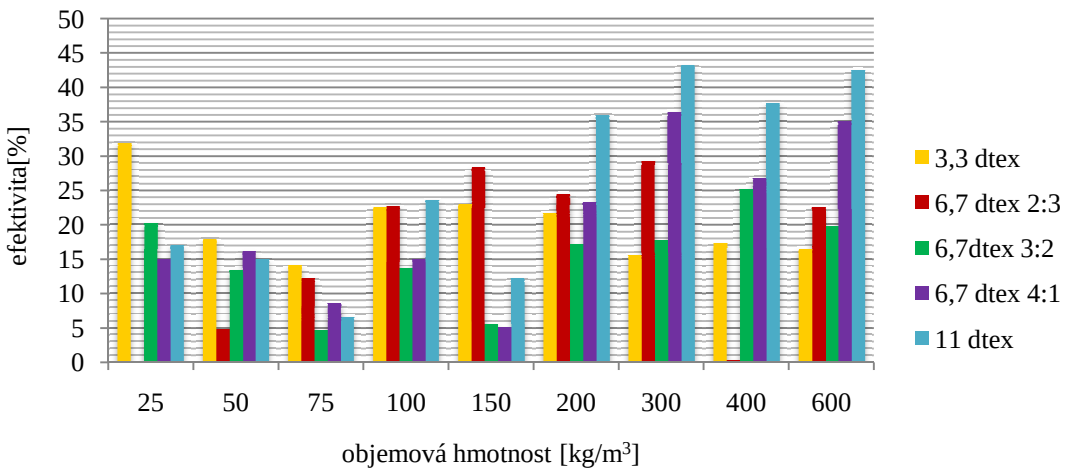


Graf 2: Vliv poměru základových/bikomponentních vláken

5.3.2 Výsledky efektivity záchytu

Naměřené hodnoty nám v tomto případě mnoho nevypovídají o vlivu objemové hmotnosti či jemnosti. Pouze můžeme vidět, že na vzorcích o jemnosti 6,7 dtex základového materiálu v poměru 4:1 a jemnosti 11 dtex základového materiálu u vyšších objemových hmotností efektivita skokově vzrostla. Tudíž by mohl být vliv objemové hmotnosti shrnut v závěru, že efektivita by eventuelně mohla mít rostoucí tendenci ve vyšších objemových hmotnostech, avšak na tento závěr by mělo být provedeno více měření na vzorcích s vyššími objemovými hmotnostmi.

U tohoto vyhodnocení se objevila i zvláštnost u měření vzorků o jemnosti 6,7 dtex základových vláken s poměrem 2:3 s pojivými vlákny (na grafu červený sloupec). U těchto vzorků byla naměřena dvakrát nulová efektivita záchytu. U objemové hmotnosti 25 kg/m^3 by to nebylo tak zvláštní. V tomto případě by se to mohlo jevit jako součástí stoupající tendence efektivity, avšak u objemové hmotnosti 400 kg/m^3 je to vyloučeno. V tomto případě by se mohlo jednat o nějaký druh chyby v měření nebo vysokou nestejnoměrnost vlákenné vrstvy.



Graf 3: Vliv jemnosti a objemové hmotnosti na efektivitu záchytu

5.3.3 Celkové vyhodnocení filtračních vlastností

Cílem je získat filtr, který má co nejnižší tlakový spád a co nejvyšší efektivitu. Efektivita podle naměřených hodnot u žádného vzorku nepřevýšila 50% hranici, což už samo o sobě vypovídá, že vhodný filtr mezi těmito vzorky není.

Avšak jednotlivé vzorky lze hodnotit i pozitivněji. Například i přes ostatní nepříznivější výsledky v rámci této jemnosti má vzorek o jemnosti základového materiálu 3,3 dtex a objemové hmotnosti 25 kg/m^3 velmi dobrý tlakový spád a efektivita, ač je pod 35 %, v rámci všech naměřených hodnot je příznivá. Dále lze poukázat na filtry o jemnosti základového materiálu 11 dtex s objemovou hmotností 200 - 400 kg/m^3, kdy zmíněné filtry mají vcelku nízký tlakový spád, který nepřesáhne 30 Pa a efektivita, která je obecně nízká tak v rámci našich vzorků je vysoká.

6 Závěr

Podle naměřených hodnot jsme mohli zjistit, že termoplasticky pojený netkaný filtr má velmi dobrý tlakový spád, to znamená, že jeho odpor proti průtoku disperzního prostředí je značný. Efektivita záchytu je ale mizivá, v některých měřeních dokonce naprosto nulová. Toto nám může značit, že protékající částice jsou velmi malé, nebo že náletová rychlost je moc vysoká. Pokud jde o první příčinu, tedy o příliš malé částice, tak bychom filtraci vyrobenou termoplastickým pojením mohli hodnotit jako makrofiltraci. Pokud bychom ovšem tuto vrstvu doplnili například nanovlákennou vrstvou vyrobenou elektrostatickým zvlákňováním a tuto vrstvu určili pouze jako krycí vrstvu, která dobře odolává okolnímu prostředí, mohli bychom získat velmi kvalitní a efektivní filtr.

Nicméně od začátku zpracovávání této bakalářské práce se původní vize trochu změnila. V původní vizi měly dvě vrstvy termoplasticky netkané textilie s přidáním určitého sorbentu mezi ně posloužit jako výkonný filtr. Pro tuto textilii mohu tedy vybrat i jiné využití. Takto zhotovené textilie mohou najít své uplatnění především v oděvním odvětví. Lze ho použít jako oboustranný výztužný materiál, a stejně tak výplňkový materiál. Díky nízkým teplotám tání bikomponentních vláken dojde při styku s žehlicím médiem k natavení povrchu výztuhy/výplňky, a tím i k dobrému spojení mezi vrchním a výztužným/výplňkovým materiálem. V rámci technických textilií lze materiál použít především jako obalový materiál, či kvůli vysoké odolnosti vůči povětrnostním vlivům jako nějaký druh agrotextilie.

Seznam použité literatury

[1] JIRSÁK, O.; KALINOVÁ, K. *Netkané textilie: elektronická skripta TUL*[online]. Liberec,2003. 131 s. [cit. 2014-03-10]. Dostupné na World Wide Web:<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-20/12-32-11.pdf>.

[2] *Mechanical technology of nonwovens: Needlepunching* [online]. Učební text FT TU Liberec. [cit. 2014-04-01] Dostupné na World Wide Web: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/web/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=18&Itemid=36>.

[3] *Termické a chemické technologie výroby netkaných textilií: druhá přednáška* [online]. Učební text FT TU Liberec. [cit. 2014-04-05] Dostupné na World Wide Web: <https://moodle.fp.tul.cz/nano/pluginfile.php/2263/mod_resource/content/0/druh%C3%A1%20p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka.pdf>.

[4] *Termické a chemické technologie výroby netkaných textilií: třetí přednáška* [online]. Učební text FT TU Liberec. [cit. 2014-04-05] Dostupné na World Wide Web: <https://moodle.fp.tul.cz/nano/pluginfile.php/2371/mod_resource/content/0/t%C5%99et%C3%AD%20p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka.pdf >.

[5] KALINOVÁ, K.: *Thermal and chemical technologies of nonwovens production 1/2* [online]. Učební text FT TU Liberec [cit. 2014-04-10]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/web/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=106&Itemid=36>.

[6] HRŮZA,J.: *Přednáška filtrace a filtrační materiály* [online]. Učební text FT TU Liberec [cit. 2014-04-10]. Dostupné na World Wide Web: < http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/filtr.pdf>.

[7] HRŮZA,J.: *Automobilové fitry 1* [online]. Učební text FT TU Liberec [cit. 2014-04-12]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/web/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=122&Itemid=36>.

[8] HRŮZA,J.: *Automobilové filtry 2* [online]. Učební text FT TU Liberec [cit. 2014-04-12]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/web/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=123&Itemid=36>.

[9] HUTTEN, I. M.: *Handbook of non-woven filter media.* Oxford: nakladatelství Elsevier Ltd., 2007. 473 s. ISBN 1-8561-7441-7, 978-1-85617-441-1.

[10] CHAPMAN, E. A. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*. Cambridge: nakladatelství Woodhead Publishing Ltd., 2010. 224 s. ISBN 978-1-84569-437-1.

[11] *Vlastnosti polypropylenu a polyethylenu* [online]. Prospekt firmy JUTA. [cit. 2014-04-20]. Dostupné na World Wide Web: < http://www.umela-trava.cz/download/cj-vlastnosti_polypropylenu_a%20polyetylenu.pdf>.

[12] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti a použití: skripta VŠCHT*. Praha: nakladatelství VŠCHT, 2006. 279 s. ISBN 80-7080-617-6

[13] *Web bonding calendering* [online]. Obrázek z firmy EDANA. [převz. 2014-04-20]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.edana.org/images/default-source/default-album/fig6_webbonding_calendering_004b.jpg?sfvrsn=0>.

[14] *Řetězové polymerace 2 ZS 2013[*online]. Učební text FT TU Liberec. [cit. 2014-04-20] Dostupné na World Wide Web: <https://moodle.fp.tul.cz/nano/pluginfile.php/1772/course/section/1044/retezove%20pol%20II%20-%20ZS2013.pdf >.

[15] MILITKÝ, J.: *Textilní vlákna: skripta TUL*. Liberec, 1995. 152 s.

[16] URSÍNY, P.: *Předení 1: skripta TUL*. Liberec, 2006. 173 s. ISBN 80-7372-077-9

[17] *Ultrasonic Quilting Machine* [online]. Obrázek firmy Super Ultrasonic Co., Ltd. [cit. 2014-04-20]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.supersonics.com.tw/Ultrasonic-Quilting-Machine-l.jpg>.

[18] Lisování [online]. Učební text FT UTB Zlín. Dostupné na World Wide Web: <web.ft.utb.cz/cs/docs/4._Lisov__n__.pdf >.

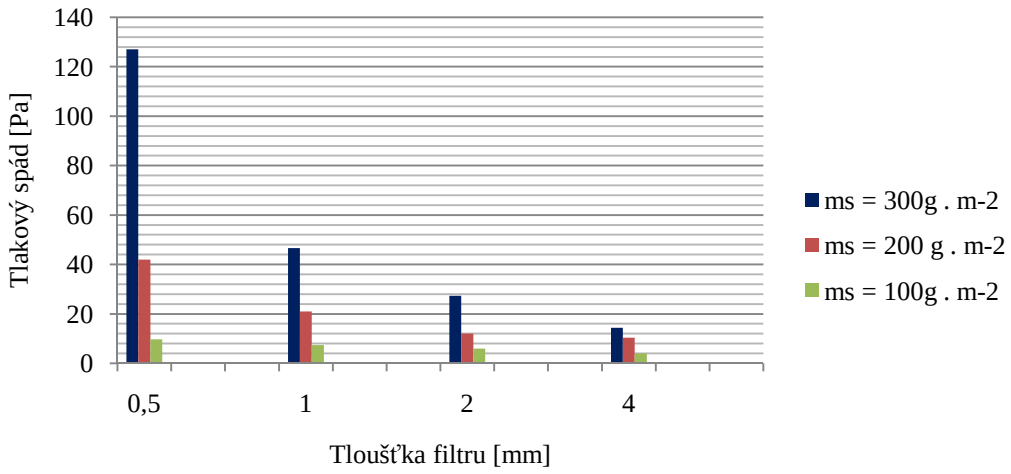
Příloha 1

V příloze jsou uvedeny tabulky naměřených hodnot a grafy závislosti tloušťky filtru na tlakovém spádu a efektivitě záchytu.

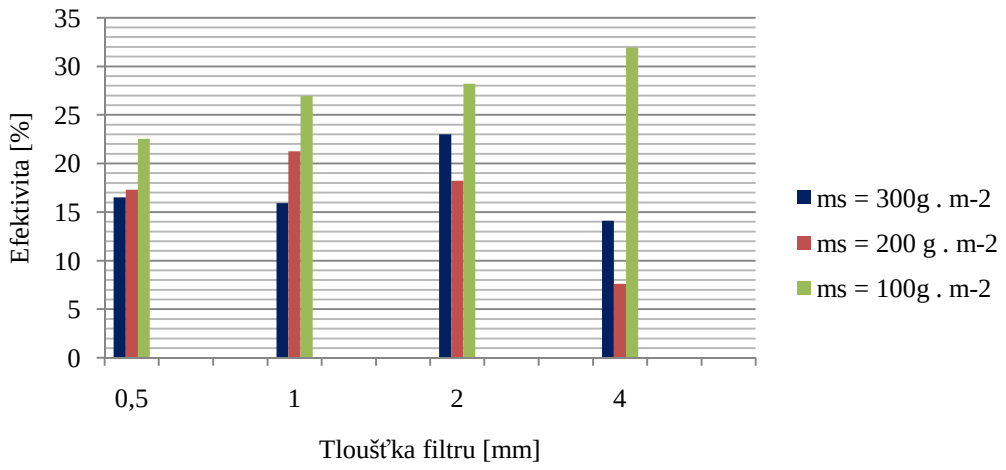
T nepojivého vlák. materiálu = 3,3 dtex - v poměru 3:2 s pojivými vlákny				
ms = 300g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	12,8	16,5	125	127
	19,3		97	
	17,4		159	
1	15,3	15,93	47	46,67
	14,6		43	
	17,9		50	
2	15,5	23	29	27,33
	27,6		32	
	25,9		21	
4	14,8	14,1	15	14,33
	14,7		13	
	12,8		15	
ms = 200 g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	24,3	17,3	37	42
	11,6		34	
	16		55	
1	24,7	21,26	22	21
	25,4		24	
	13,7		17	
2	13,2	18,23	12	12
	25,7		12	
	15,8		12	
4	5,8	7,6	12	10,33
	8		10	
	9		9	

ms = 100g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	23,3	22,53	9	9,66
	19		10	
	25,3		10	
1	27	26,96	7	7,3
	28,1		8	
	25,8		7	
2	24,9	28,2	6	6
	26,6		7	
	33,1		5	
4	34,3	31,93	4	4
	29,4		4	
	32,1		4	

Tabulka 1: Tabulka naměřených hodnot 3,3 dtex



Graf 1: Vliv tloušťky filtru na tlakový spád -- 3,3 dtex

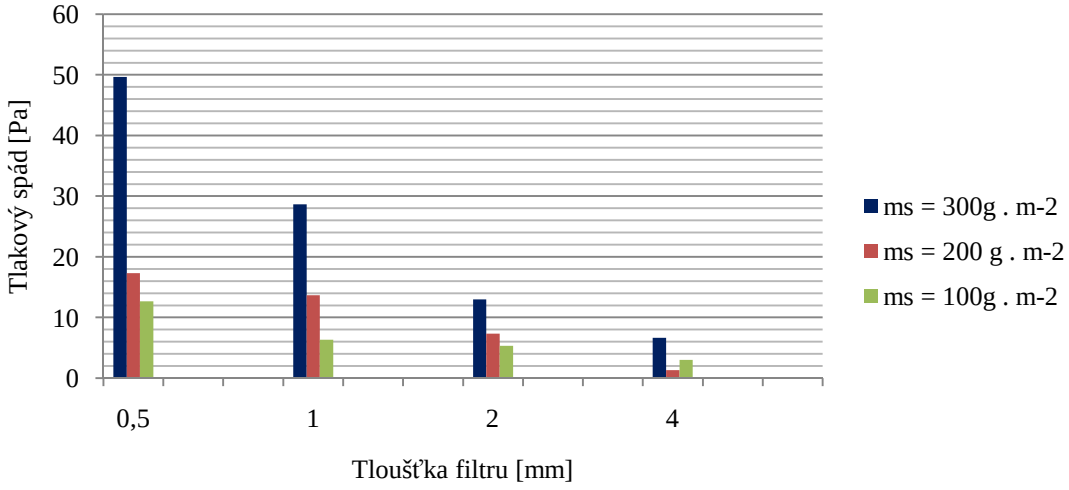


Graf 2: Vliv tloušťky filtru na efektivitě záchytu - 3,3 dtex

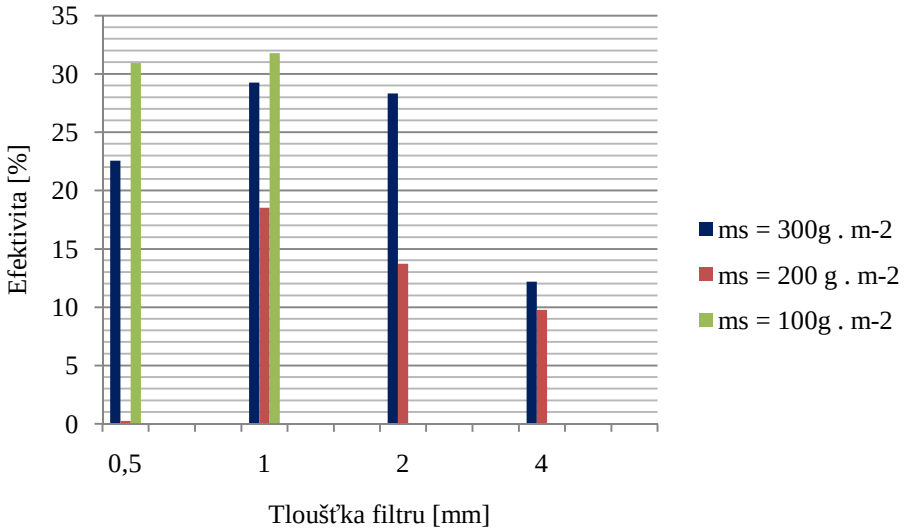
T nepojivého vlák. materiálu = 6,7 dtex - v poměru 2:3 s pojivými vlákny				
m_s = 300g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	21,6	22,56	53	49,66
	20,2		39	
	25,9		57	
1	27,6	29,27	28	28,67
	26,8		25	
	33,4		33	
2	28,5	28,33	13	13,00
	27,8		10	
	28,7		16	
4	12,8	12,2	11	6,67
	12,3		9	
	11,5		0	
m_s = 200 g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	0	0,23	22	17,33
	0,7		14	
	0		16	
1	13,2	18,53	10	13,66
	22,2		14	
	20,2		17	
2	16,8	13,73	10	7,33
	12,5		8	
	11,9		4	
4	7,6	9,76	0	1,33
	10,6		4	
	11,1		0	
m_s = 100g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	29,3	30,93	6	12,66
	32,6		22	
	30,9		10	
1	32,5	31,8	7	6,33
	33,2		6	
	29,7		6	
2	0	0	5	5,33
	0		6	
	0		5	

4	0	0	0	3
	0		4	
	0		5	

Tabulka 2: Naměřené hodnoty filtračních vlastností - 6,7 dtex 2:3



Graf 3: Vliv tloušťky filtru na tlakový spád - 6,7 dtex 2:3

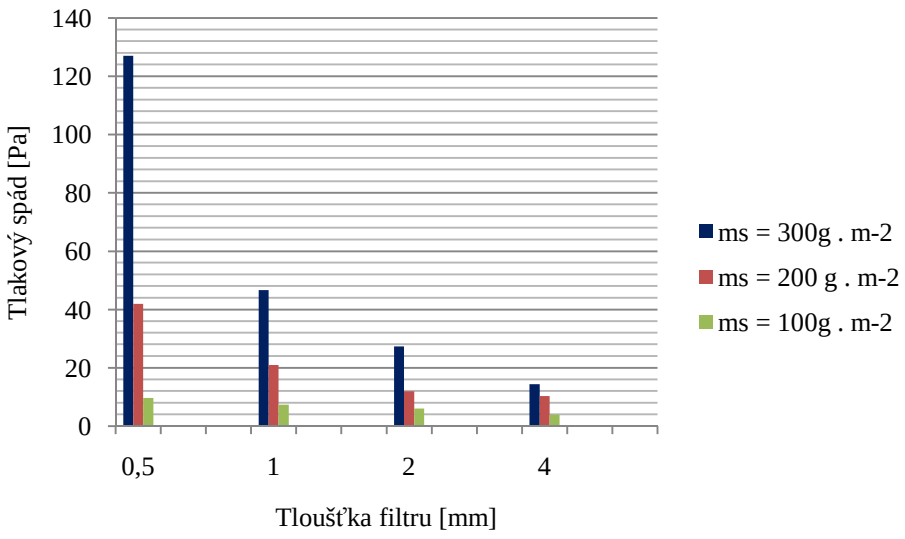


Graf 4: Vliv tloušťky filtru na efektivitě záchytu - 6,7 dtex 2:3

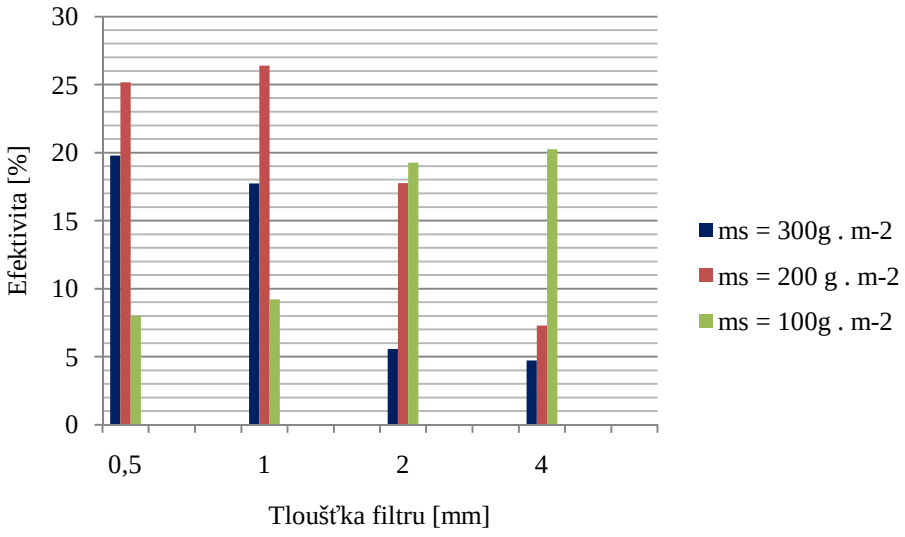
T nepojivého vlák. materiálu = 6,7 dtex - v poměru 3:2 s pojivými vlákny				
m_s = 300g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	16,9	19,8	24	38,66
	17,4		39	
	25,1		53	
1	18	17,73	19	25,00
	17,6		29	
	17,6		27	
2	2,4	5,56	18	16,00
	5,7		10	
	8,6		20	
4	6,4	4,73	6	4,00
	5,2		6	
	2,6		0	
m_s = 200 g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	29,5	25,16	26	24
	21,8		19	
	24,2		27	
1	24,9	26,4	15	12,66
	28,1		11	
	26,2		12	
2	20,6	17,76	7	8,33
	15,8		8	
	16,9		10	
4	7,3	7,3	0	3,33
	7,3		5	
	7,3		5	
m_s = 100g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	6,4	8,033	14	10,66
	5,6		11	
	12,1		7	
1	5,7	9,23	6	4,33
	6		7	
	16		0	

2	26,2	19,26	8	6,66
	30,3		7	
	1,3		5	
4	20,1	20,26	4	4
	18,9		4	
	21,8		4	

Tabulka 3: Naměřené hodnoty filtračních vlastností - 6,7 dtex 3:2



Graf 5: Vliv tloušťky filtru na tlakový spád - 6,7 dtex 3:2

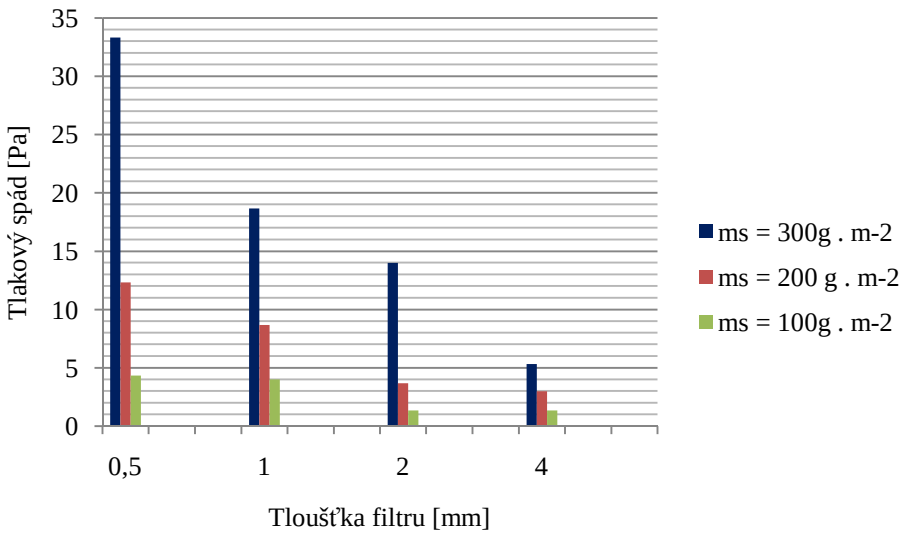


Graf 6: Vliv tloušťky filtru na efektivitu záchytu - 6,7 dtex 3:2

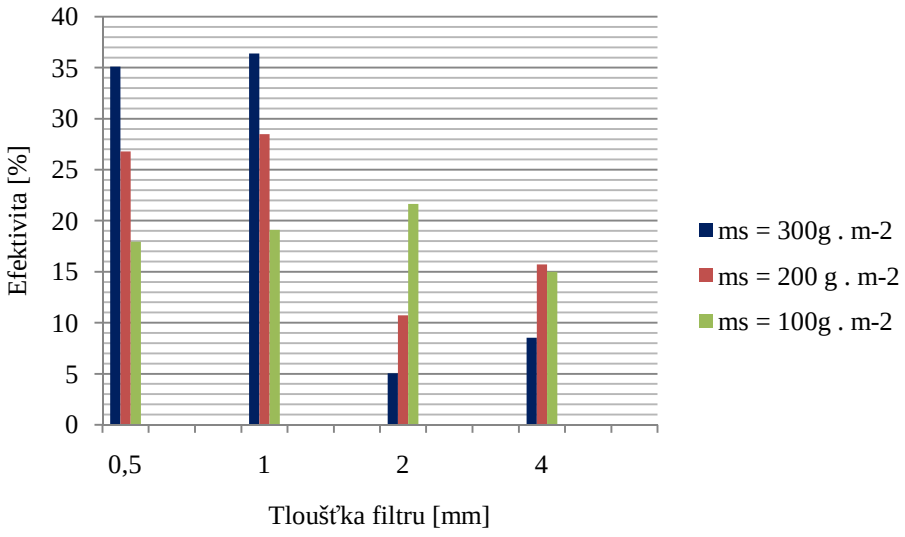
T nepojivého vlák. materiálu = 6,7 dtex - v poměru 4:1 s pojivými vlákny				
m_s = 300g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	35,1	35,1	38	33,33
	34,7		26	
	35,5		36	
1	38,5	36,40	20	18,67
	34,8		21	
	35,9		15	
2	0	5,06	21	14,00
	8,1		12	
	7,1		9	
4	6,1	8,53	5	5,33
	10,1		5	
	9,4		6	
m_s = 200 g. m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	25,8	26,8	14	12,33
	27,1		12	
	27,5		11	
1	27,5	28,5	7	8,66
	29,3		11	
	28,7		8	
2	7,5	10,73	0	3,66
	8,6		6	
	16,1		5	
4	14,1	15,73	0	3
	15,4		4	
	17,7		5	
m_s = 100g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	17,7	17,93	4	4,33
	17,6		4	
	18,5		5	
1	17,9	19,1	4	4
	19,9		4	
	19,5		4	

2	20,8	21,63	4	1,33
	22,1		0	
	22		0	
4	14,4	15	0	1,33
	15,8		4	
	14,8		0	

Tabulka 4: Naměřené hodnoty filtračních vlastností - 6,7 dtex 4:1



Graf 7: Vliv tloušťky filtru na tlakový spád - 6,7 dtex 4:1

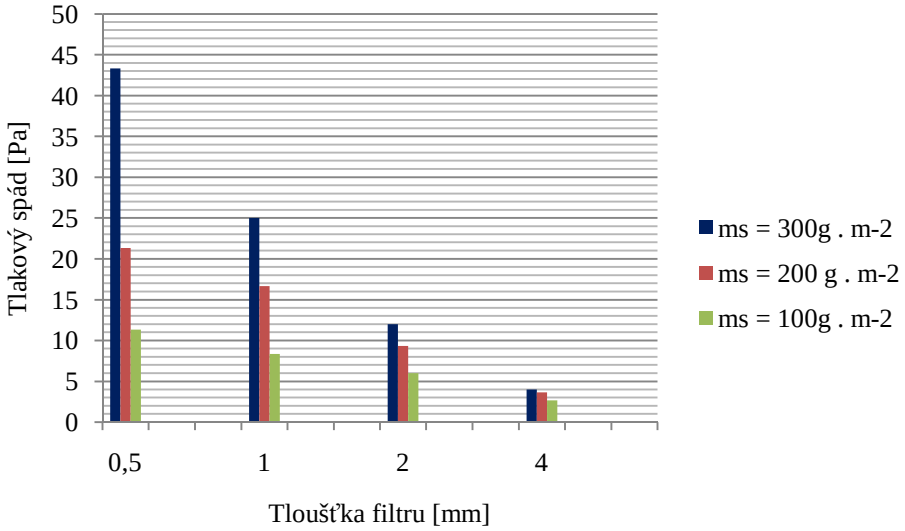


Graf 8: Vliv tloušťky filtru na efektivitu záchytu - 6,7 dtex 4:1

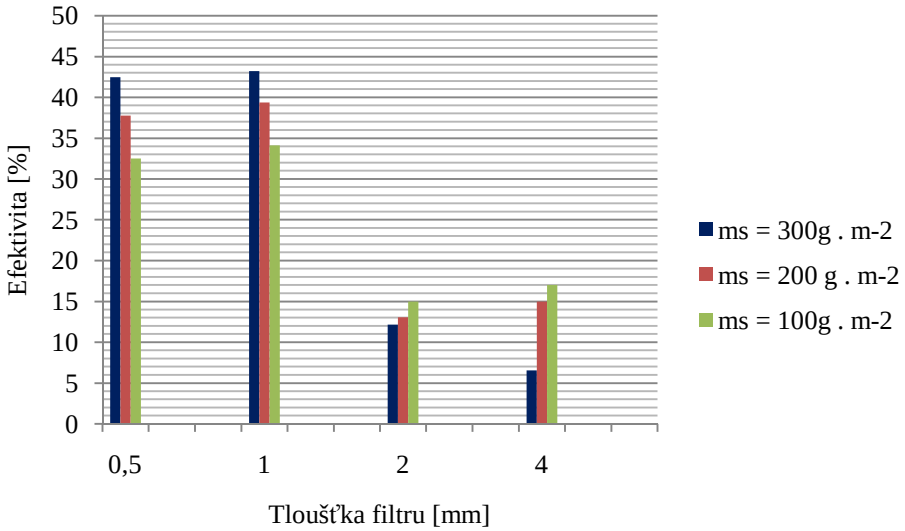
T nepojivého vlák. materiálu = 11 dtex - v poměru 3:2 s pojivými vlákny				
m_s = 300g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	42	42,46	39	43,33
	42,8		47	
	42,6		44	
1	43,6	43,23	29	25,00
	43,4		23	
	42,7		23	
2	10,8	12,16	10	12,00
	12,5		11	
	13,2		15	
4	7	6,53	0	4,00
	6,3		6	
	6,3		6	
m_s = 200 g. m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	38,5	37,76	25	21,33
	37,5		22	
	37,3		17	
1	39,2	39,36	19	16,66
	38,5		11	
	40,4		20	
2	10,6	13,06	10	9,33
	14,4		11	
	14,2		7	
4	13,7	15	0	3,66
	13,8		5	
	17,5		6	
m_s = 100g . m^{-2}				
tloušťka [mm]	efektivita [%]	střední hodnota efektivity [%]	tlakový spád [Pa]	střední hodnota tl.spádu [Pa]
0,5	32,2	32,5	12	11,33
	32,6		10	
	32,7		12	
1	33,8	34,1	9	8,33
	34,1		8	
	34,4		8	

2	35,1	15	5	6
	4		7	
	5,9		6	
4	12,7	17,03	4	2,66
	18,3		0	
	20,1		4	

Tabulka 5: Naměřené hodnoty filtračních vlastností - 11dtex



Graf 9:Vliv tloušťky filtru na tlakový spád - 11 dtex



Graf 10:Vliv tloušťky filtru na efektivitu záchytu - 11 dtex