



Studium hoření kolmo kladených netkaných textilií

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T018 – Netkané a nanovláknenné materiály
Autor práce: **Bc. Zdeňka Hodková**
Vedoucí práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Study of combustion of perpendicularly laid nonwovens

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T018 – Nonwoven and Nanomaterials
Author: **Bc. Zdeňka Hodková**
Supervisor: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.





Zadání diplomové práce

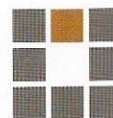
Studium hoření kolmo kladených netkaných textilií

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeňka Hodková**
Osobní číslo: T17000035
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Netkané a nanovláknenné materiály
Zadávající katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2017/2018**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou výroby kolmo kladených netkaných textilií a s problematikou hoření textilií.
2. Vyroberte sérii vzorků a vyberte vhodná nehořlavá vlákna. Zaměřte se především na jejich zpracovatelnost dostupnými technologiemi. Navrhněte technologický postup výroby vzorků o různých objemových hmotnostech a poměru hořlavých a pojivých vláken.
3. Na různě vyrobených vzorcích testujte jejich vlastnosti, zejména hořlavost.
4. Vypracujte metodiku experimentu a jeho hodnocení.
5. Diskutujte výsledky a navrhněte další postupy řešení daného problému.


Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 40-60 dle potřeby
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

1. RUSSELL, Edited by S.J. Handbook of nonwovens. Boca Raton, Fla. [etc.] : Cambridge: CRC press ; Woodhead, 2007. ISBN 978-185-5736-030.
2. W. Albrecht, H. Fuchs, W. Kittelmann: Nonwovens Fabrics, Wiley-VCH, Weinheim 2003, ISBN: 3-527-30406-1
3. Kilinc F., Handbook of Fire Resistant textiles, Woodhead Publishing 2013; pp. 03-22 ISBN:9780857091239, DOI:10.1533/9780857098931.1.3

Vedoucí práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovlákných materiálů
Datum zadání práce: 20. února 2018
Předpokládaný termín odevzdání: 18. dubna 2019


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci 20. února 2018

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou 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.

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

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

8. 4. 2019

Bc. Zdeňka Hodková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi Ph.D. za vedení mé diplomové práce, jeho čas, ochotu a odbornou pomoc. Dále mé díky patří panu Bc. Filipovi Sanetrníkovi za jeho cenné rady.

Ne méně důležité poděkování pak patří mé rodině - příteli Danielu Janovci a rodičům Zdeňce Hodkové a Jiřímu Hodkovi, kteří mě po celou dobu studia plně podporovali.

ANOTACE

Obsah této diplomové práce se zabývá studiem hoření kolmo kladených netkaných textilií s použitím různých směsí hořlavých bikomponentních vláken a dvou typů nehořlavých Panox vláken, se změnami objemových hmotností materiálu.

V teoretické části se nacházejí informace o vlákenných materiálech, principech výroby a zpevňování materiálu a následnými popisy testovacích metod netkaných textilií včetně spalovacích zkoušek. Experimentální část práce se zaměřuje na popis testování vlákenného materiálu a celého procesu výroby, zpevnění a úpravy vzorků. Dále následují popisy zjišťování tloušťek, plošných a objemových hmotností materiálu a testovacích metod pro zjištění ohybové tuhosti, odolnosti vůči stlačení a dvou metod testování hoření materiálu. V závěru experimentální části práce jsou porovnávány výsledky hmotnostních úbytků po testování hoření kolmo a podélně kladeného materiálu, návrhy dalšího testování a možného využití tohoto materiálu pro různé aplikace.

Klíčová slova: netkané textilie, kolmé kladení, termické pojení, Panox vlákna, bikomponent, hoření

ANNOTATION

Subject of this diploma thesis deals with studying of combustion of perpendicular-laid nonwoven fabrics with the use of variety of flammable bicomponent fibers and two types of non-flammable Panox fibers with different material densities.

The theoretical part of the thesis mentions information about types of fibers, principles of manufacturing and bonding of the material. Moreover, there are mentioned methods of testing nonwoven textiles including the flammability tests. The experimental part focuses on testing of fibers properties, the whole manufacturing process and bonding and adjustment of samples. Next, there is a description of measuring of thickness, basis weight, density and methods of testing flexural rigidity, compression resistance and two methods of flammability tests. At the end of the experimental part of the thesis there is a comparison of weight loss between perpendicularly and longitudinally laid fabrics after test of flammability. Moreover, there are suggestions for further testing and possible usage of this material for different kinds of applications.

Keywords: nonwoven textiles, perpendicular laying, thermal bonding, Panox fibers, bicomponent, combustion

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	11
ÚVOD	12
1. TEORETICKÁ ČÁST	13
1.1. Netkané textilie a materiály	13
1.1.1. Syntetická vlákna	14
1.1.1.1. Polyester	14
1.1.1.2. Polyakrylonitril	15
1.1.2. Speciální vlákna	16
1.1.2.1. Panox vlákna	17
1.1.3. Bikomponentní vlákna	18
1.2. Testování vlastností vláken	19
1.2.1. Mikroskopie a elektronová mikroskopie	19
1.2.1.1. Optická mikroskopie	19
1.2.1.2. Elektronová mikroskopie	20
1.2.2. Délka vláken	21
1.2.2.1 Kuličkový měřicí přístroj	21
1.2.3. Jemnost vláken	22
1.2.4. Obloučkovitost	23
1.2.5. Spalovací zkouška plamenem	23
1.3. Tvorba vlákenné vrstvy	24
1.3.1. Válcový mykací stroj	24
1.4. Kladení vlákenné pavučiny	25
1.4.1. Podélné kladení	26
1.4.2. Příčné kladení	26
1.4.3. Kolmé kladení	27

1.5. Pojení	28
1.5.1. Horkovzdušné pojení	28
1.5.2. Lisování	29
1.6. Testování netkaných textilií	30
1.6.1. Plošná hmotnost	30
1.6.2. Objemová hmotnost	30
1.6.3. Tloušťka materiálu	31
1.6.4. Ohybová tuhost	31
1.6.5. Odpor vůči stlačení	32
1.7. Hoření	33
1.7.1. LOI	34
1.8. Spalovací zkoušky	35
1.8.1. Testy šíření plamene	35
1.8.1.1. Norma ISO 3795	35
1.8.1.2. Norma VW 01000 (PV 3357)	37
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
2.1. Analýza vláken	38
2.1.1. Optická mikroskopie	39
2.1.1. Elektronová mikroskopie	40
2.1.3. Obloučkovitost	42
2.1.4. Délka vláken	43
2.1.2. Jemnost	44
2.1.8. Spalování vláken	45
2.2. Výroba materiálu	45
2.2.1. Navážka směsí vláken	45
2.2.2. Výroba pavučin	46
2.2.3. Kolmé kladení	46
2.2.4. Podélné kladení	47
2.2.5. Příprava vzorků	47
2.2.6. Lisování vzorků	48

2.3 Testování pavučiny	48
2.4. Testování vlastností vzorků	51
2.4.1. Odolnost vůči stlačení	51
2.4.5. Ohybová tuhost	53
2.4.2. Tloušťka materiálu	57
2.4.3. Plošná hmotnost	59
2.4.4. Objemová hmotnost	61
2.4.5. Objem vzduchu	63
2.5. Testování hořlavosti	64
2.5.1. Spalovací zkouška dle normy ISO 3795	65
2.5.1.1. Základní kolmo kladené vzorky	65
2.5.1.2. Kolmo kladené lisované vzorky	67
2.5.1.3. Podélně kladené vzorky	71
2.5.2. Spalovací zkouška dle normy VW 01000 (PV 3357)	73
2.5.2.1. Kolmo kladené lisované vzorky	74
2.5.2.2. Podélně kladené vzorky	75
2.6. Vyhodnocení spalovacích zkoušek	77
2.6.1. Vyhodnocení - Spalovací zkouška dle normy ISO 3795	77
2.6.2. Vyhodnocení - Spalovací zkouška dle normy VW 01000 (PV 3357)	80
3. ZÁVĚR	83
POUŽITÁ LITERATURA	84

Seznam zkratek

Bico/Biko – Bikomponent

coPES – Kopolyester

DMT – Dimethyltereftalát

NT – Netkaná textilie

PAN – Polyakrylonitril

PES – Polyester

SMS – Spunbond-Metlblown-Spunbond

Úvod

Netkané textilie jsou v nynější době velmi rozšířenou materiálovou surovinou v mnoha odvětvích. Ve spoustě z nich je kladen důraz na výrobu materiálů odolných proti hoření či různých prostředků fungujících jako retardanty hoření po aplikaci na vlákna či textilie. Důležitou oblastí je výroba nehořlavých vláken a jejich využití pro výrobu textilií použitelných v průmyslu.

Tato diplomová práce se zabývá studiem hoření kolmo kladených netkaných textilií za použití dvou typů oxidovaných polyakrylonitrilových vláken zvaných Panox odlišujících se v obloučkovitosti a délce vláken, která byla použita ve směsi s hořlavými bikomponentními vlákny, ze kterých byly vyrobeny materiály pro testování.

Teoretická část se zaměřuje na seznámení s problematikou netkaných textilií, metodami jejich výroby a pojení, a v neposlední řadě testovacími technikami pro zjištění jejich vlastností. V experimentální části této práce jsou popsány přesné postupy výroby kolmo kladených a podélně kladených vzorků pro testování, úpravy jejich objemových hmotností a uvedeny principy metod pro zjištění základních vlastností těchto materiálů, jako je ohybová tuhost, odolnost vůči stlačení a samotné spalovací zkoušky.

V závěrečné části se nachází výsledky těchto zkoušek spolu s vyhodnocením formou grafů.

1. Teoretická část

V teoretické části této diplomové práce jsou shrnuty všechny poznatky potřebné ke správnému pochopení následného experimentu a samotného testování. Jsou zde zmíněny materiály použité při výrobě, metody jejich zpracování až po výrobu finálních vzorků. Dále jsou zmíněné metody testování jednotlivých vlastností včetně spalovacích zkoušek, které jsou pro tuto práci primární.

1.1. Netkané textilie a materiály

Netkané textilie a jejich kombinace s jinými materiály jsou používány v mnoha aplikacích, jako jsou geotextilie, automobilový průmysl, letectví, medicína a v neposlední řadě například hygiena. Bez ohledu na možné aplikace jsou sledovány jejich vlastnosti, jako je mechanické chování, filtrační vlastnosti, vlastnosti mikrostruktury a použitých vláken apod, což vede k neustálým návrhům na zlepšení dosavadních vlastností či přidání nových charakteristik a dalším inovacím. Jedním z těchto nejrychleji rostoucích odvětví je výroba ohnivzdorných textilií, které se zabývá různými modifikacemi textilních vláken a materiálů, kam spadají například techniky ohnivzdorného potahování textilií a vláken, samozhášivé úpravy, ale také výroba samotných nehořlavých vláken, jako jsou anorganická, aramidová a oxidovaná vlákna [1] [2].

Suroviny pro výrobu netkaných textilií tvoří především textilní vlákna, a to jak přírodní, tak i syntetická. Oba tyto typy mají velmi obsáhlé zastoupení různorodých materiálů.

Přírodní vlákna

- rostlinná - bavlna, lýko, sisal, juta, konopí, kokos
- živočišná - ovčí vlna, kašmír, merino vlna, karakulská vlna, velbloudí srst, králičí srst, apod.

Přírodní polymery

- viskóza, acetátová vlákna, kaučuková vlákna

Syntetické polymery

- polyester, polyamid, polyethylen, polypropylen, polyakrylonitril apod

Speciální vlákna

- skleněná, čedičová, uhlíková, aramidová vlákna apod. [3].

1.1.1. Syntetická vlákna

Jako výrobní surovina syntetických vláken jsou používány polymerní látky, které jsou vytvářeny třemi různými principy - řetězovou polymerací, stupňovitou polykondenzací a stupňovitou polyadící. Syntetická vlákna se vyrábí zvláknováním z roztoku či taveniny těchto polymerů ve formě nekonečných monofilů či multifilů, které mohou být následně nařezány či nasekány na různé staplové délky. Mezi uměle vyráběnými vlákny se nachází také vysocefunkční vlákna s další přidanou hodnotou či vlákna speciální, která vykazují vyšší hodnoty pevností či odolností oproti ostatním materiálům [3].

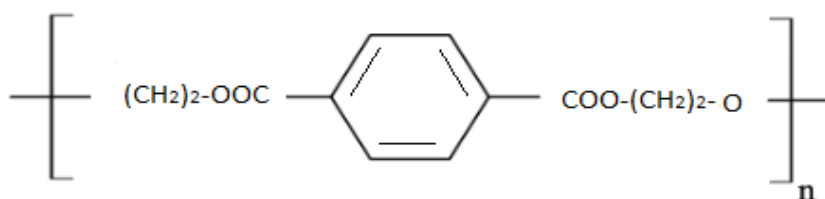
Tato diplomová práce se především zaměřuje na použití polyesterového bikomponentu a oxidovaných polyakrylonových vláken s výrobním názvem Panox.

1.1.1.1. Polyester

Polyesterová (PES) vlákna jsou na prvním místě mezi ostatními syntetickými vlákny, primárně co se týče jejich výroby, neboť zauímají největší podíl celkové produkce syntetických vláken. První patenty pocházejí již ze čtyřicátých let dvacátého století, kdy v roce 1941 přišli s prvním patentem britští vědci Whinfield a Dickson [4].

Polyestery jsou polymery s esterovou vazbou v hlavním řetězci. Mezi základní polyestery spadá například polyethyltereftalát (PET), který vzniká esterifikací kyseliny tereftalové a ethylenglykolu nebo možnou předesterifikací dimethyltereftalátu (DMT). Vedlejším produktem je diethylenglykol [5].

Polyethyltereftalátová (PET) vlákna (obr. č. 1) disponují obecně velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, nízkým koeficientem tření a dobrými elektroizolačními vlastnostmi se silnou náchylností k tvorbě elektrostatického náboje. Hustota vláken se pohybuje okolo $1380 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, teplota skelného přechodu se uvádí v rozmezí $77 - 80^\circ\text{C}$ a teplota tání je 256°C [5].



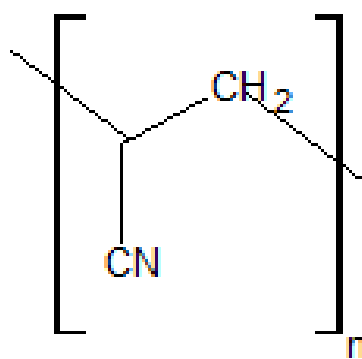
Obr. č. 1 - Vzorec polyethyltereftalátu (PET) [3]

1.1.1.2. Polyakrylonitril

První zmínka o vývoji polyakrylonitrilových (PAN) vláken (obr. č. 2) pochází ze čtyřicátých let 20. století, ovšem velkovýroba těchto vláken se datuje až na rok 1950. Po roce 2005 došlo ke značnému úpadku, ovšem od roku 2016 se výroba a následný prodej opět pohybuje okolo dvou milionů tun PAN vláken za rok [6].

Pro výrobu polyakrylonitrilu je důležitá výroba vstupní složky, kterou je akrylonitril. Postup výroby akrylu spočívá v amoxidaci (adici) propenu, při které dochází k odstranění násobných vazeb či otevření cyklické molekuly, s následným navazováním atomů pomocí kovalentní sigma vazby [7].

Výsledný akrylonitril se polymerizuje tzv. řetězovou polymerací s aniontovým mechanismem, polymer je rozpuštěn ve vhodném rozpouštědle a následně dochází ke zvláknění. Jsou známy dva druhy zvláknování polyakrylonitrilu, prvním příkladem je zvláknování za sucha, kdy dochází k vypaření rozpouštědla po průchodu zvláknovacími tryskami, druhý způsob je zvláknování za mokra, kdy houževnatá hmota vláken na vzduchu koaguluje a tvrdne, tento způsob zabírá až 95% výroby PAN vláken [7].



Obr. č. 2 - Vzorec polyakrylonitrilu (PAN) [8]

Podle procentuálního zastoupení akrylonitrilu, jsou vlákna rozdělována na dva typy:

- 50 - 85% akrylonitrilu (obchodní název modakryl)
- nad 85% akrylonitrilu (jednoduchý typ)

Jednoduchý typ polyakrylonitrilových vláken je často dále modifikován přidáním vinylchloridového roztoku o koncentraci 20 - 50 %, kterým se dosahuje snížení hořlavosti vyrobených vláken, neboť při hoření je uvolňován kyanovodík [9].

Mezi základní vlastnosti polyakrylonitrilu patří dobré tepelně-izolační vlastnosti, jednoduchá údržba a dobrá stálost na světle. Hustota polyakrylonitrilových vláken je 1150 kg/m^3 , teplota skelného přechodu se pohybuje okolo $95 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota tání okolo $300 \text{ }^\circ\text{C}$ [10].

Nejčastější využití polyakrylonitrilových vláken jsou textilie vrchních částí oděvů, bytový textil a příze na pletené textilie, v poslední době ovšem nastal rozmach v použití PAN vláken jako prekurzorů pro výrobu uhlíkových vláken (cca 150 000 tun ročně). Další možností využití polyakrylonitrilu jsou gely [6].

1.1.2. Speciální vlákna

Speciální vlákna bývají rozdělována z hlediska svého materiálového složení a především speciálních vlastností, jako je odolnost proti hoření, vysoká pevnost apod [3].

Z hlediska vlastností se jedná o:

- Vlákna s vysokým modulem
- Vysoce pevná vlákna
- Tepelně odolná vlákna

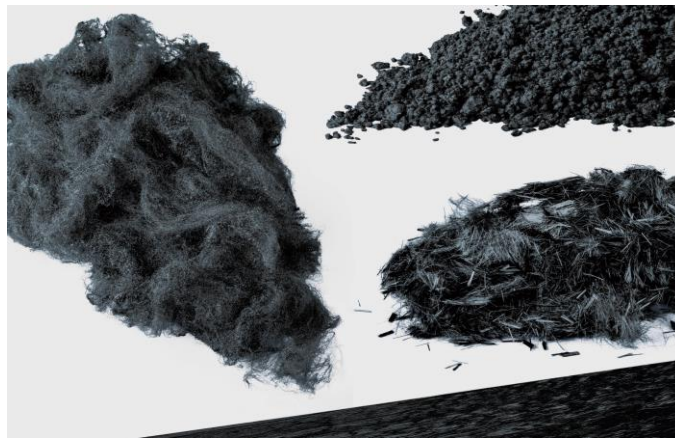
Z hlediska materiálového složení se jedná zejména:

- Skleněná vlákna
- Kovová vlákna
- Čedičová vlákna
- Keramická vlákna
- Uhlíková vlákna
- Aramidová vlákna
- Preoxidovaná vlákna

Vedle používaných již známých speciálních syntetických para-amidových vláken jako je Kevlar, Nomex či Technora, se začala objevovat i vlákna tzv. preoxidovaná. Preoxidovaná vlákna jsou vyráběna z polyakrylonitrilu, jehož povrch je částečně karbonizován. Nejznámější značkou vyrábějící tato vlákna je značka Panox od německé firmy SGL Group the Carbon Company [11].

1.1.2.1. Panox vlákna

Panox vlákna (obr. č. 3) jsou vyráběna tepelnou stabilizací polyakrylonitrilu (PAN) pomocí kyslíku při teplotě 300 °C, kdy vzniklá vlákna obsahují až 60% uhlíku, a proto nabývají velmi dobré odolnosti proti tepelnému namáhání, materiál se netaví a limitní kyslíkové číslo se pohybuje mezi 45 - 50 %. Hustota vláken se pohybuje v rozmezí 1,37-1,39 g/cm³, modul mezi 500-700 cN/tex, pevnost v tahu 15-20 cN/tex a navlhavost 6,5-10 % [12].



Obr. č. 3 - Panox vlákna [11]

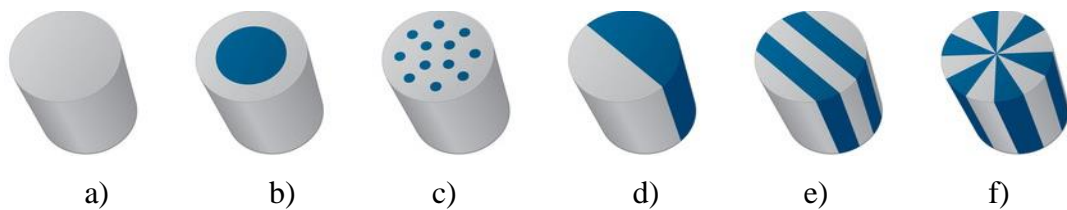
Panox materiál je vyráběn ve formě filament, které jsou často míchány s aramidovými vlákny pro tvorbu nehořlavých textilií s použitím pro automobilové a letadlové sedačky, dále stříže pro výrobu plstí a netkaných textilií s použitím na textilní izolace proti horku, staplové příze pro výrobu tkanin a pletenin na ochranné oděvy nebo mletých vláken k výrobě kompozitů na brzdové obložení [12].

Panox je kromě jiného používán také v automobilovém průmyslu jakožto vláknenná vrstva samonosných polyuretanových pěn [13].

Panoxová vlákna byla již zmíněna v bakalářských pracích [14] z roku 2011 pro své dobré vlastnosti odolnosti vůči hoření a v [15] z roku 2013, kde byla vlákna zmíněna ve směsi s Kevlarem - 70% Panox / 30% Kevlar a označena jako nehořlavá. V diplomové práci [16] z roku 2017 byla pak Panoxová vlákna testována na hořlavost podle normy ČSN ISO 3795 ve formě vpichovaných netkaných textilií ve směsi s polypropylenovými vlákny v poměru 1:1 a 8:2 ve prospěch polypropylenových vláken. V žádné publikaci do tohoto okamžiku nebyly objeveny testy materiálů s použitím Panox vláken ve formě kolmo kladených netkaných textilií.

1.1.3. Bikomponentní vlákna

Bikomponentní vlákna jsou vyráběna nejčastěji použitím dvou druhů syntetických vláken. Při výrobě je využívána speciální zvláknovací hubice, díky které jsou vyráběny různé tvary průřezů vláken (obr. č. 4) [3].



Obr. č. 4 - Příčné průřezy základního a bikomponentních vláken - a) základní vlákno, b) bikomponent jádro/plášť, c) ostrovy v moři, d) strana/strana, e) pruhy, f) koláčová struktura [17]

Bikomponent s příčným průřezem jádro/plášť je nejčastěji vyráběn z níže a výše tajícími složkami vláken, jako níže tající složka bývá používán polyester, jako výše tající kopolyester či polypropylen. Tato vlákna jsou posléze používána jako pojivo při výrobě tepelně pojených netkaných textilií [3].

1.2. Testování vlastností vláken

Při textilním zpracování vláken je velmi důležité znát i jejich nejdůležitější vlastnosti, jako je morfologie povrchu i příčného řezu, jemnost, délka, obloučkovitost ale i chování při spalování apod. V následujícím textu jsou tedy popsány jednotlivé testy a přístroje, pomocí kterých tyto vlastnosti zjišťujeme.

1.2.1. Mikroskopie a elektronová mikroskopie

Mezi základní formy pozorování morfologie vláken na povrchu i průřezu patří mikroskopie, která se zabývá zkoumáním struktur, které není možné pozorovat pouhým okem. Mikroskopy jsou rozdělovány dle počtu okulárů na monokulární s jedním okulárem, bikulární, kde paprsky odchází do dvou okulárů a trikulární, u kterého slouží třetí okulár k případnému připojení kamery či fotoaparátu.

Další rozdělení je na základě druhu záření, které prochází do objektivu, či uspořádání soustav optických mikroskopů. V případech, ve kterých je potřebné rozlišení větší než 200 nm, je používána mikroskopie atomárních sil či mikroskopie elektronová [18] [19].

1.2.1.1. Optická mikroskopie

Jednotlivé typy optických mikroskopů se primárně rozlišují dle druhu záření, které prochází do objektivu, sem spadá obyčejné světlo, fluorescenční a infračervené záření a podobně. Další rozdělení se určuje dle uspořádání soustavy optického mikroskopu, kde je rozlišována propustnost či nepropustnost světla zkoumanými materiály. Zvětšení u optických mikroskopů je omezeno velikostí vlnových délek viditelného světla [20] [21].

Světelné mikroskopy využívají tři druhy zobrazovacích metod:

- světelné pole - pozorovanými objekty prochází světlo, přičemž se sleduje skutečný zvětšený převrácený obraz objektu, který se nachází v tzv. světelném poli
- tmavé pole - dochází k osvětlení kondenzorem, díky kterému vstupují pouze šikmé paprsky světla, které jsou rozptýlené pozorovaným objektem, čímž se jeví jako světlý na tmavém podkladu

- fázový kontrast - principem jsou dva druhy vlnění procházejícími pozorovaným objektem s použitím tzv. fázové destičky, používá se k rozeznání nebarevných objektů, primárně organel v buňkách či histologických vzorků [20][21]

Jednotlivé typy optických mikroskopů jsou:

- Klasický laboratorní mikroskop
- Infračervený mikroskop
- Ultrafialový mikroskop
- Fluorescenční mikroskop
- Polarizační mikroskop
- Inverzní mikroskop
- Metalografický mikroskop
- Interferenční mikroskop
- Konfokální mikroskop (laserová mikroskopie) [22]

1.2.1.2. Elektronová mikroskopie

U elektronických mikroskopů jsou oproti optickým mikroskopům nahrazeny optické čočky čočkami elektromagnetickými, které vytvářejí různě tvarovaná magnetická pole, a pozorování objektů je umožněno použitím elektronů, které mají daleko nižší vlnovou délku, než viditelné světlo, proto je zvětšení oproti optickým mikroskopům i milionkrát větší. Elektronová mikroskopie se dělí na tři typy - transmisní, rastrovací a skenovací elektronová mikroskopie [23].

SEM - použití nepohyblivého svazku elektronů, povrch objektů je sledován pomocí odražených či sekundárních elektronů

TEM - použití pohyblivého svazku elektronů, kdy jsou detekovány elektrony procházející sledovaným velmi tenkým materiálem a sledována vnitřní struktura pozorovaného objektu

SPM - sledování povrchu materiálu za použití skenovací sondy pohybující se po povrchu zkoumaného objektu [24] [25]

1.2.2. Délka vláken

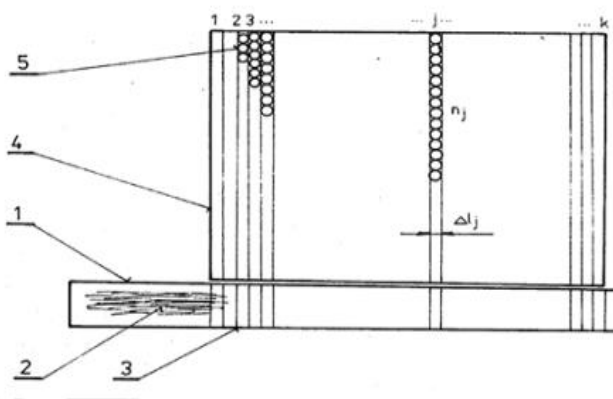
Délka vlákna bývá definována jako rozpětí mezi dvěma konci napřímeného nenapínaného vlákna bez obloučků.

Metody stanovení délky vláken bývají rozdělovány jako přímé, kde je přímo měřena délka jednotlivých vláken (měření na skleněné desce, kuličkový měřicí přístroj) a nepřímé (stanovení délek hmotnostním způsobem) [26].

1.2.2.1 Kuličkový měřicí přístroj

Přímá metoda měření délky vláken na kuličkovém měřicím přístroji podle normy ČSN 80 0201 „Stanovení délky vláken měřením délky jednotlivých vláken“, spočívá v ukotvení svazku narovnaných vláken destičkou před měřicím zařízením s klávesami, z kterého jsou postupně jednotlivá vlákna vytahována podél měřicích kláves přístroje (obr. č. 5).

V okamžiku, kdy je celé vlákno vytaženo, je zmáčknuta příslušná klávesa, na které se nachází vytahovaný konec vlákna. Po každém zmáčknutí klávesy do příslušné třídy zapadne kulička. Po testování jsou jednotlivé kuličky ze všech tříd sčítány a tvořen staplový diagram [26].



Obr. č. 5 - Kuličkový měřicí přístroj - 1) destička s vlákny, 2) vlákna, 3) klávesy, 4) příslušná třída, 5) kuličky [26]

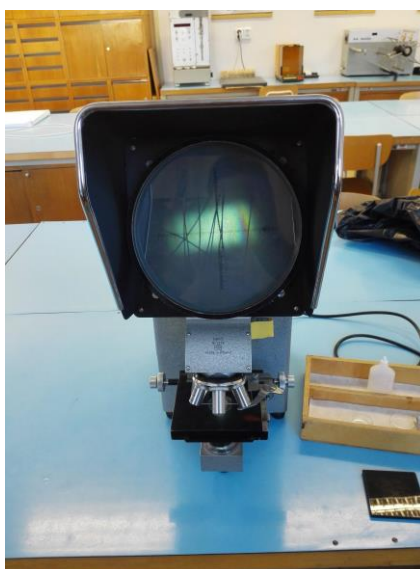
1.2.3. Jemnost vláken

Jemnost vláken je možné měřit několika způsoby, mezi které patří také měření podle normy ISO/DIS 137: „Wool; Determination of fibre diameter; Projection microscope method“, pomocí projekčního mikroskopu zvaného Lanametr (obr. č. 6).

Pro tento způsob měření jsou vhodná pouze vlákna s kruhovým průřezem, neboť se u této metody využívá měření průměrů vláken, které jsou pak pomocí vzorce č. 1. [27], předpokládajícího kruhový tvar průřezu, přepočítány při znalosti hustoty a délky vláken na jemnost T [tex]. Aby se dosáhlo přesného výsledku, musí být naměřené průměry násobené dvěma, neboť měřítko na přístroji odpovídá přesně na poloviční hodnotě průměru měřeného vlákna [26] [28].

$$T = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho \cdot k \quad ,(1)$$

kde d je naměřený průměr vlákna [m], ρ je hustota vláken [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], l je délka vlákna [m] a k je konstanta pro přepočet jednotek ($K = 10^6$).



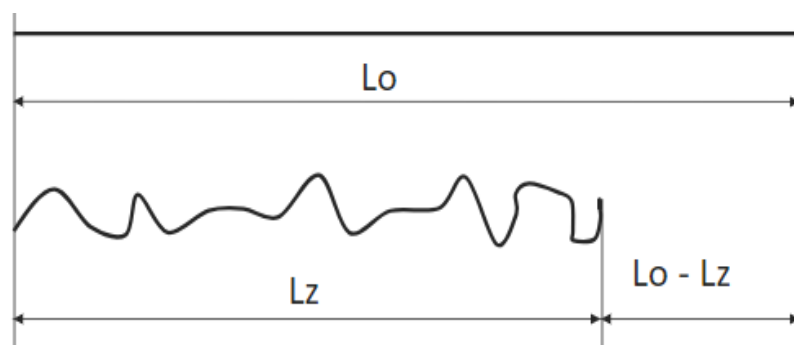
Obr. č. 6 - Projekční mikroskop Lanametr

1.2.4. Obloučkovitost

Obloučkovitost je možné vyjádřit obyčejným spočtením obloučků na 10 mm délky pozorovaného vlákna o celkové délce L_z . Další možnou metodou je výpočet míry zkadeření, kde se uvažuje podíl rozdílu délek napnutého (L_o) a nenapnutého (L_z) vlákna ku celkové délce napnutého vlákna (L_o), pro výsledek v procentech musí být celá rovnice č. 2 vynásobena stovkou. Schéma k výpočtu obloučkovitosti a míry zkadeření Z v procentech, je znázorněno na obr. č. 7 [29].

$$Z = [(L_o - L_z) / L_o] \cdot 100 \quad ,(2)$$

kde L_o je délka napnutého vlákna [m] a L_z je délka nenapnutého vlákna [m] [29].



Obr. č. 7 - Schéma k výpočtu obloučkovitosti a míry zkadeření vlákna [29]

Míra obloučkovitosti vláken má zásadní vliv na jejich tření mezi sebou a proto jsou vlákna s malým počtem obloučků hůře mykatelná a vlákna ulpívají na pilkových a drátkových povlacích válců mykacího ústrojí. Pavučiny vytvořené vlákny s touto tzv. plochou obloučkovitostí jsou málo soudržné, špatně zpracovatelné a trhají se [29].

1.2.5. Spalovací zkouška plamenem

Spalovací zkouška plamenem spadá mezi nejjednodušší metody klasifikace vláken. Zapálením malého svazku vláken je velmi rychle možné zjistit, zda se jedná o vlákna živočišná, rostlinná či chemická, neboť každý druh vláken vykazuje odlišné vlastnosti, co se týče rychlosti spalování, dýmu, změny skupenství, zápachu či zanechaného popela (viz tab. č. 1) [30].

Tab. č. 1 - Vlastnosti jednotlivých druhů vláken při spalovací zkoušce [30]

Druh vlákna	Rychlost spalování, dým	Změna skupenství	Zápach	Popel
Rostlinná vlákna	Hoří rychle, dým světlý	Shoří na popel	Po spáleném papíru	Jemný, šedobílý
Živočišná vlákna	Hoří pomalu, praská, dým	Škvaří se	Po spálených vlasech	Černý škvarek lze rozmělnit
Syntetická vlákna	Hoří, dým černý	Taví se, později tvoří plastickou	Po taveném asfaltu	Po vychladnutí tvoří tvrdou
Speciální vlákna	Nehoří	Taví se	Žádný	Černá kulička

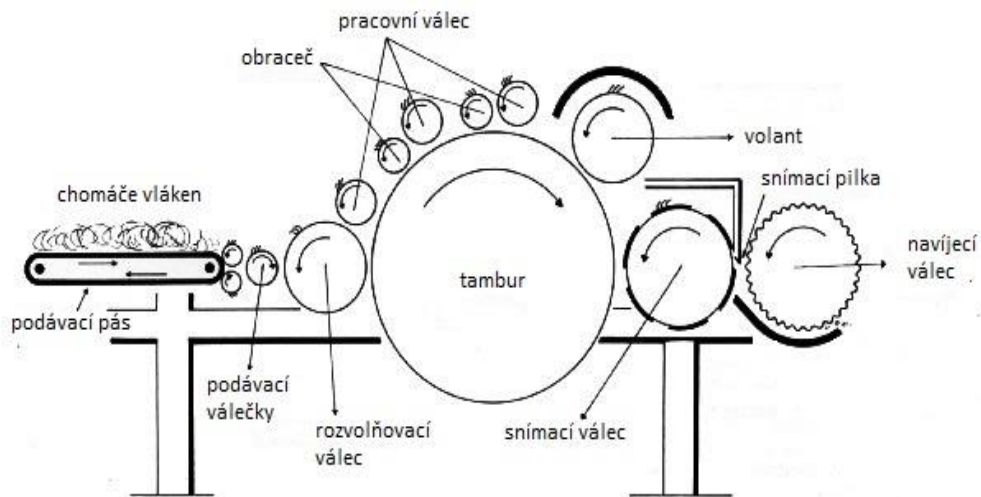
1.3. Tvorba vlákenné vrstvy

Tvorba vlákenné vrstvy je první a nejdůležitější fází výroby netkaných textilií, mezi základní principy spadá aerodynamický způsob tvorby vlákenné pavučiny či hydrodynamické naplavování vláken, nejčastěji používanou metodou je ovšem mechanická forma. Jednotlivé principy se mohou i propojit a vnikají principy mechanicko-aerodynamické výroby.

Do mechanického principu tvorby vlákenné vrstvy spadají tzv. mykací stroje, které se rozdělují na bavlnářské víčkové a vlnářské válcové. Válcové mykací stroje jsou používány i při výrobě netkaných textilií, neboť disponují větší šíří stroje a vyšším výrobním výkonem [31].

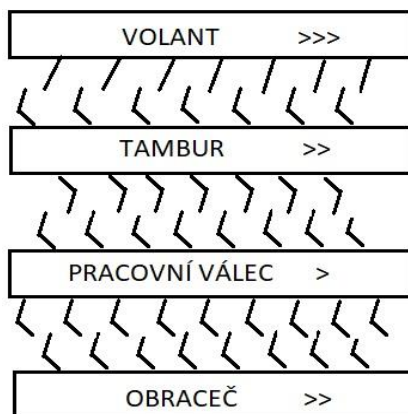
1.3.1. Válcový mykací stroj

Vstupním produktem válcového mykacího stroje jsou chomáče vláken či již předmykané vlákenné struktury, výsledným produktem je pak jednoduchá či vrstvená vlákenná pavučina ojednocených a urovnaných vláken. Pro dosažení dokonalého ojednocení a případného promísení směsi vláken, je důležité několikanásobné opakování mykacího procesu. Schéma mykacího stroje je zobrazeno na obr. č. 8 [31].



Obr. č. 8 - Schéma válcového mykacího stroje [32]

Hlavní pracovní ústrojí válcového mykacího stroje je složeno z několika válců, které jsou opatřeny povlaky s pilkami či drátky. Tyto povlaky jsou vůči sobě postaveny dle účelu, který mají splňovat - mykání (tambur - pracovní válec), snímání (pracovní válec - obraceč, nebo povytahování (tambur - volant), každý z těchto válců má odlišnou rychlost vůči válci protějším, které jsou znázorněny na obr. č. 9 [31].



Obr. č. 9 - Vzájemné postavení válců s pilkovými či drátkovými povlaky

1.4. Kladení vláknenné pavučiny

Vyrobené vláknenné pavučiny jsou velmi jemné a bez zpevnění i snadno deformovatelné o nízkých plošných hmotnostech, a proto je důležité jejich vrstvení a kladení. Jsou rozeznávány tři druhy kladení pavučin dle směru urovnání přivedené pavučiny - podélné, příčné a kolmé kladení [31].

1.4.1. Podélné kladení

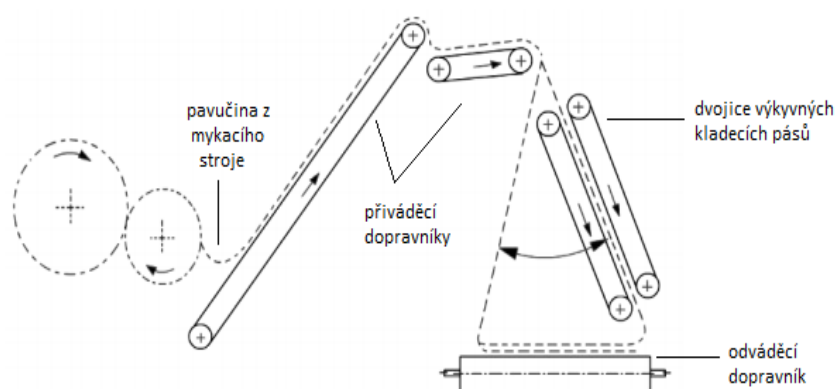
Podélného kladení může být dosaženo hned několika způsoby, nejjednodušším způsobem je navíjení vláknenné pavučiny vycházející z mykacího stroje na navíjecí válec, kde se tvoří několikavrstvá struktura, na tomto válci je poté vláknenná vrstva naskládaných pavučin opatrně po délce rozstřižena a sundána, nevýhodou jsou rozměry výsledné textilie, které závisí na rozměrech navíjecího válce.

Dalším způsobem je použití několika mykacích strojů za sebou, kdy dochází k vrstvení několika pavučin na sebe, tato metoda je využívána pouze pro netkané textilie s malými plošnými hmotnostmi pod $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ [31].

1.4.2. Příčné kladení

Příčné kladení se dá rozdělit na kladení horizontální a vertikální. Horizontální kladeče fungují na principu dvou dopravníkových pásů, z nichž vrchní výkyvný přiváděcí pás přivádí pavučinu a výkyvným pohybem zařizuje sklad pavučin na spodní pás, který navrstvenou textilií pouze odvádí.

Vertikální kladeče (obr. č. 10), někdy také nazývány camelback, se skládají z přiváděcího pásu a dvojice pásů, které vykonávají výkyvný pohyb a ukládají pavučinu na spodní odváděcí pás. Výsledná plošná hmotnost u obou těchto principů je dána původní plošnou hmotností přiváděné pavučiny, rychlostí výkyvu pásů, odvodové rychlosti odváděcího pásu a jeho rozměrech [31].



Obr. č. 10 - Vertikální kladeč [31]

1.4.3. Kolmé kladení

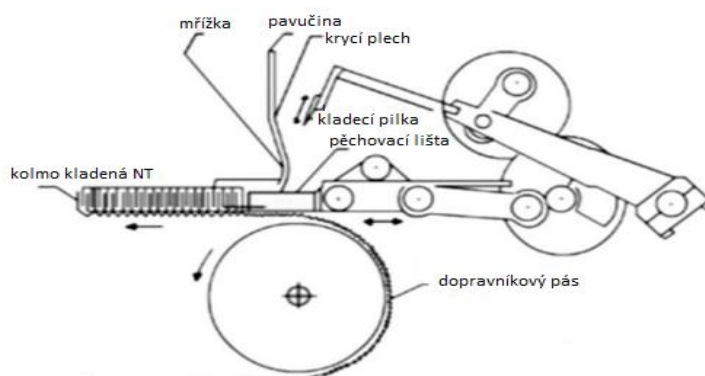
Hlavním cílem počátku výroby kolmo kladených netkaných textilií bylo získání materiálů vyšších objemových hmotností s dobrou odolností vůči stlačení, čehož bylo dosaženo právě kolmými sklady pavučiny vzhledem k rovině vyrobené textilie. Pro výrobu těchto materiálů byly zhotoveny dva typy strojů umožňujících tento princip skladů - rotační a vibrační kolmý kladeč [31].

Rotační kladeč

Pracovní ústrojí rotačního kladeče sestává ze soustavy pracovních kotoučů, které jsou opatřeny hroty. Hroty nabírají přiváděnou vláknennou pavučinu a skládají jí do kolmých skladů. Mezi pracovními kotouči se pak nachází soustava drátů roštu, díky kterému je naskládána pavučina snímána z hrotů kotoučů [31].

Vibrační kladeč

U vibračního kladeče (obr. č. 11) se v pracovním ústrojí místo pracovních kotoučů nachází vibrující pilka, která stahuje seshora přiváděnou pavučinu k pohyblivému dopravníku. V ústrojí se dále nachází soustava hladkých jehel upevněných na pěchovací vibrující liště, díky kterým je vzniklý pavučinový sklad sejmut z hrany vibrující pilky. Pěchovací lišta následně vzniklý sklad dorazí k již vytvořené nakladené textilii [31].



Obr. č. 11 - Vibrační kolmý kladeč [33]

U obou případů vytvořený materiál následně prochází horkovzdušnou komorou, kde jsou natavena termoplastická vlákna, která tvoří s ostatními vlákny bodové mikrostruktury pojivých míst. Při následném ochlazení materiálu a opětovném ztuhnutí pojivých vláken dochází ke zpevnění kolmo kladené vláknenné vrstvy [31].

1.5. Pojení

Při výrobě netkaných textilií je velmi důležitá část spojení vyrobených textilních materiálů do soudržného útvaru. Druhy pojení jsou rozdělovány na mechanické, termické a chemické.

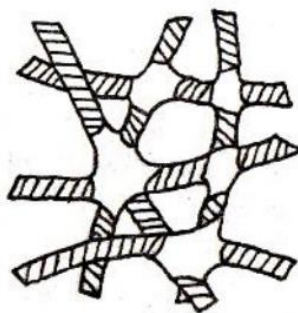
Druhy pojení:

- mechanické - vpichování, proplétání, spunlace
- termické - horkovzdušné pece, kalandrování, lisování, ultrazvuk, IR záření
- chemické - impregnace, postřik, pěna [34]

Při výrobě pojených netkaných textilií velmi záleží na mikrostruktuře pojivých míst, která je silně závislá na druhu použitého pojiva a druhu pojení.

Mikrostruktura pojivých míst:

- segmentová - impregnace, tisk, rakle - pokryta co největší plocha vláken
- aglomerační - prášky, mříž, folie, termoplasty - pojení závislé na materiálu
- bodová - bikomponentní vlákna - velké množství pojivých míst (obr č. 12) [34]

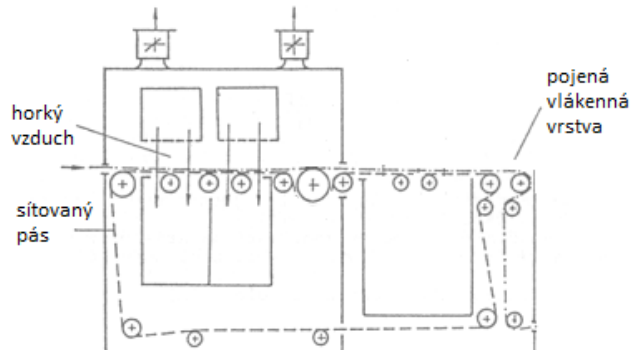


Obr. č. 12 - Bodová mikrostruktura pojivých míst za použití bikomponentu [34]

1.5.1. Horkovzdušné pojení

Pro metodu horkovzdušného pojení je důležité použití směsi vláken alespoň s částečným obsahem pojivých termoplastických vláken. Vlákněné vrstvy z těchto směsí procházejí horkovzdušnou komorou na perforovaném síťovaném pásu (obr. č. 13), kde je termoplastická část směsi natavena a tvoří pojivá místa v celé struktuře vlákněného materiálu.

Při východu ze stroje již dochází k ochlazování materiálu, opětovnému tuhnutí vláken a konečnému zpevnění vláknenné vrstvy. Kromě termoplastických vláken mohou být použity i různé tavitelné mřížky či folie [31].



Obr. č. 13 - Horkovzdušná komora s perforovaným odváděcím pásem [31]

1.5.2. Lisování

Lisování pomocí hydraulického vyhřívaného lisu (obr. č. 14) je další formou pojení netkaných textilií za použití nastavitelného tepla, tlaku a času, po který má být materiál namáhán. Touto metodou mohou být regulovány výsledné tloušťky materiálů.

Nevýhodou je omezený rozměr materiálu, který je závislý na rozměrech lisovacích desek. Stejně jako u horkovzdušného pojení, je i zde nutné zastoupení termoplastických vláken, mřížky či fólie, které jsou za vysoké teploty a tlaku roztaveny a tvoří pojivá místa ve struktuře vláknenného materiálu. Po ochlazení dochází k zatuhnutí termoplastického pojiva a vzniku pevných spojů ve struktuře vláknenného materiálu [35].



Obr. č. 14 – Hydraulický vyhřívaný lis

1.6. Testování netkaných textilií

U netkaných textilií bývají primárně zjišťovány vlastnosti, jako je plošná a objemová hmotnost, s tím spojená tloušťka materiálu, dále ohybová tuhost, testy pevnosti a tažnosti, odolnosti vůči stlačení a v neposlední řadě i hořlavost materiálu.

1.6.1. Plošná hmotnost

Plošná hmotnost netkaných textilií je stanovena dle normy ČSN EN 29073-1 [36], kdy je vzorek materiálu o daném rozměru zvážen na přesných vahách. Plošná hmotnost m_s [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] se nadále vypočítá pomocí rovnice č. 3:

$$m_s = m / s \quad ,(3)$$

kde m je hmotnost [g] a s je plocha měřeného vzorku [m^2] [36].

1.6.2. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost netkaných textilií ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], je udávána jako podíl hmotnosti zkoušeného vzorku a jeho celkového objemu, neboli plošná hmotnost vzorku m_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] podělená jeho tloušťkou h dle rovnice č. 4:

$$\rho = m_s / h \quad ,(4)$$

Řecké písmeno ρ zde nezastupuje jednotku hustoty ve fyzikálním smyslu, neboť u netkaných textilií nelze jednoduše určit přesný objem, což je dáno velmi nahodilou nepříliš orientovanou strukturou materiálu. Objemová hmotnost tedy nepřímou vyjadřuje pórovitost.

Objemová hmotnost nehořlavých netkaných textilií je velmi důležitou veličinou. U zkoumání nehořlavosti objemných materiálů je důležitou součástí i prostup tepla testovaným materiálem a s tím spojená tepelná izolace, přičemž zvýšení tepelné izolace roste především s přibývajícím tloušťkou materiálu a tedy snižující se objemovou hmotností izolačního materiálu. V mnoha případech je ovšem materiál ovlivněn dalšími parametry a vlastnostmi textilního materiálu, z kterého je textilní izolant vyroben - například použitými nehořlavými vlákny, pojivým materiálem, orientací vláken v materiálu, apod [37].

1.6.3. Tloušťka materiálu

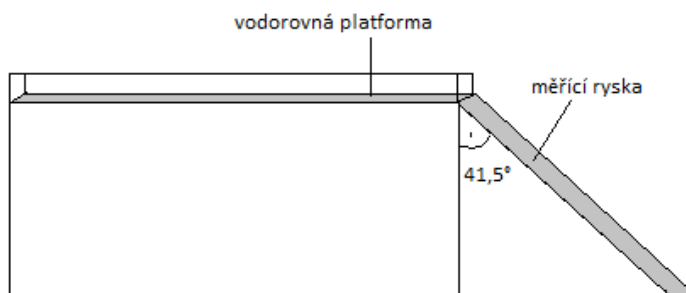
K měření tloušťky materiálů slouží velké množství tloušťkoměrů fungujících na různých principech s destruktivními i nedestruktivními metodami. Mezi základní patří tloušťkoměry s využitím klasického ručního měření či tloušťkoměry digitální. Jedním z digitálních tloušťkoměrů je i přístroj s názvem Elcometer 456 (obr. č. 15), který byl použit k měření tloušťky vzorků v této diplomové práci [38].



Obr. č. 15 - Tloušťkoměr Elcometer 456

1.6.4. Ohybová tuhost

Metoda měření ohybové tuhosti netkaných textilií spočívá v měření délky ohybu textilních vzorků na měřicím zařízení konzolového typu. Z naměřené délky ohybu je možné následně spočítat ohybovou tuhost. Tuhost pohybu se dá vyjádřit jako poměr malé změny momentu ohybu vztažené na jednotku šířky vzorku s úměrnými změnami zakřivení [39].



Obr. č. 16 - Přístroj pro měření délky ohybu vzorků

Pro měření ohybové tuhosti podle testovací metody WSP 090.5.R4 (obr. č. 16) jsou využívány vzorky o rozměrech 20 x 2,5 cm. Tyto vzorky jsou postupně vkládány na

vodorovnou platformu přístroje, po celé délce zatěžkány a posléze posunovány ve směru žlábků přístroje k měřicí části.

Testování ohybové tuhosti probíhá formou změření délky vysunuté části vzorku, který je vlastní vahou ohýbán až do fáze, kdy linie zkoušeného vzorku kopíruje linii měřicí rysky pod úhlem $41,5^\circ$ k vodorovné ploše. Tyto naměřené hodnoty jsou následně dosazovány do rovnice č. 5 pro ohybovou tuhost G [$\text{mg}\cdot\text{m}$] [39].

$$G = 0,1 \cdot W \cdot C^3 \cdot 10^{-2} \quad , (5)$$

kde W je plošná hmotnost vzorku [g/m^2] a C je vysunutá délka vzorku [cm] [39].

1.6.5. Odpor vůči stlačení

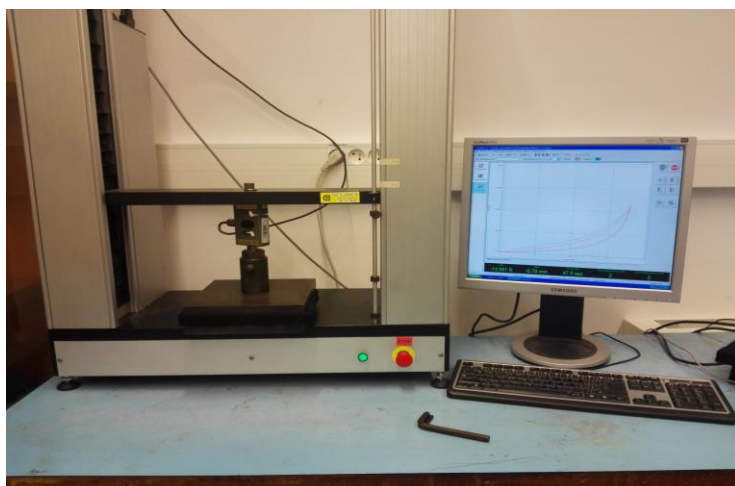
Tato vlastnost je vyjádřením závislosti tloušťky materiálu na působícím tlaku nebo také podle rovnice č. 6 pomocí funkce:

$$H = f(p) \quad , (6)$$

kde H je tloušťka materiálu [m] a $f(p)$ je působící tlak [Pa] [40].

Zkouška odporu vůči stlačení je prováděna na univerzálním přístroji LaborTech 2.050 (obr. č. 17), který je dále využíván pro namáhání tahové, tlakové a ohybové a je vhodný i pro stlačování objemnějších netkaných textilií.

U této zkoušky jsou vkládány vzorky textilií mezi dvě desky ve tvaru čtverce s hranou o délce 20 cm, z nichž je spodní deska statická a horní pohyblivá. Přístroj je propojený s počítačem, na kterém je nainstalován program LabTest, díky kterému je navolena rychlost stlačování, počet cyklů stlačování a relaxace (cyklické namáhání) a další parametry. Výsledkem testování je graf naměřených dat z průběhu zkoušky a příslušná tabulka s těmito daty [40].



Obr. č. 17 - Zkušební přístroj LaborTech 2.050

Testování odporu vůči stlačení je prováděno metodou, která je modifikací již neplatné normy DIN 54 305 s názvem „Pružnost v tlaku vlákných roun, netkaných textilií a vat“. Plocha testovaných vzorků nesmí přesáhnout plochu stlačovací desky, a proto musí vzorky splňovat rozměr maximálně 200 x 200 mm s tloušťkou minimálně 20 mm. Pokud vzorky takovou tloušťkou nedisponují, musí být zkoušené vzorky navrstveny na sebe, každý pootočen o 90 stupňů, v minimální tloušťce 4 cm [41].

1.7. Hoření

Hoření je podmíněno existencí tří důležitých složek, mezi které spadá dostatek kyslíku, tepelná energie a hořlavý materiál. Při samotném dodávání tepla nějakému materiálu za přístupu kyslíku dochází k několika procesům. Nejprve vlákna absorbují teplo a začnou ztrácet svou vlhkost, následuje tvorba hořlavých plynů při pyrolýze vláken (tepelný rozklad), které jsou následně zapáleny zapříčiněním reakce hořlavých plynů a kyslíku v plynném skupenství.

Poslední fází je další vývoj tepla hoření, které produkuje další hořlavé plyny. Při hoření tedy dochází pouze k hoření vyprodukovaných hořlavých plynů uvolněných při pyrolýze. Vyšší hořlavosti pak dosahují polymery, které mají ve svém řetězci větší množství vodíkových atomů - například celulóza nebo polyethylen. Méně naopak hoří materiálu, jejichž řetězec obsahuje halogeny, jako je chlor či fluor, nebo aromatické členy [42].

Nehořlavé úpravy spočívají v několika principech omezení, či úplného zastavení procesů, které vedou k hoření materiálů:

- tvorba silné uhlíkové vrstvy na povrchu vláken (příklad Panox vláken)
- produkce nehořlavých plynů při degradaci vláken
- snížení produkce hořlavých plynů, či ředění nehořlavými plyny
- oddělení tajícího vlákna od zdroje hoření jeho postupným odkapáváním
- úprava vláken za vzniku zvýšené tepelné odolnosti a omezení degradace vláken
- zajištění endotermního rozkladu za snížení tepelné energie s použitím nehořlavých materiálů [43]

1.7.1. LOI

U hořlavosti také velmi závisí na procentuálním množství kyslíku ve směsi kyslíku s dusíkem, které je potřebné k hoření určitého materiálu, neboť u každého materiálu se toho číslo liší. Toto číslo je označováno jako Limitní kyslíkové číslo (LKČ), nebo častěji v angličtině Limiting oxygen index (*LOI*), vyjadřované v procentech, které je možné vypočítat dle rovnice č. 7 [44].

$$LOI = \frac{O_2}{N_2 + O_2} \cdot 100 \quad ,(7)$$

kde O_2 je minimální koncentrace kyslíku a N_2 je minimální koncentrace dusíku v procentech.

Hodnota LOI, při které jsou materiály posuzovány jako nehořlavé, je 26 % a výše. V tabulce č. 2 jsou zmíněná limitní kyslíková čísla nejpoužívanějších textilních vláken. LOI číslo Panox vláken, používaných v experimentu této diplomové práce, které není vyznačeno v této tabulce, vykazuje $LOI > 45 \%$, jak už bylo zmíněno dříve, jedná se tedy o vysoce nehořlavý materiál. Polyester, který již je možné v této tabulce nalézt, má LOI číslo mezi 20 - 22 %, jedná se tedy o hořlavá vlákna [43].

Tabulka č. 2 - Limitní kyslíková čísla nejpoužívanějších textilních vláken [45]

klasifikace	vlákno	LOI [%]	T_m resp. T_R
nehořlavá	sklo	nehoří	800
tepelně odolná	nomex	30	400
	novoloid (Kynol)	30 – 40	350
	teflon (PTFE)	95	327
	uhlíková vlákna	> 60	–
	polybenzimidazol	41	450
	polyfenylénsulfid	34	285
odolná vůči hoření	modakrylová	27–31	160–190
	nehořlavý PES	28–32	259
	kevlar	28	480
	PVC (Vynilon)	35 – 37	210
	vlna	24 – 26	–
hořlavá	bavlna	17 – 19	–
	PP	19 – 20	164 – 170
	nylon	20 – 22	256
	polyester	20 – 22	258
	akrylová vlákna	20	rozklad
	viskóza	17 – 19	–

1.8. Spalovací zkoušky

Existuje mnoho testů podle daných norem, které slouží k testování hořlavosti, či nehořlavosti netkaných textilií. Pro tuto část práce byly prostudovány použité normy testování hoření v předchozích bakalářských a diplomových pracích [45] a [16] zabývajících se podobnou problematikou.

Nejčastěji používanou testovací metodou je test šíření plamene dle normy ISO 3795, která je vhodnou i pro tuto práci pro možné použití materiálu v automobilovém průmyslu. Další testovací metoda šíření plamene byla vybrána jako doplňková k původní metodě s odlišným principem testování dle normy VW 01000 (PV 3357).

1.8.1. Testy šíření plamene

V této části jsou popsány jednotlivé normy testovacích metod šíření plamene, podle kterých byly testovány vzorky v odolnosti proti hoření.

1.8.1.1. Norma ISO 3795

Spalovací zkouška podle této normy s názvem „Stanovení hořlavosti materiálů použitých v interiéru vozidla” probíhá ve spalovací komoře (obr č. 18), kde jsou všechny stěny tvořeny kovovými deskami a přední strana slouží jako průzor pro pozorování během spalovací zkoušky, který je tvořen z ohnivzdorného materiálu.

Po celém obvodu jsou umístěny větrací otvory a ve spodní části komory se nachází tzv. odpadní jímka, do které jsou zachytávány případné odkapávající zbytky hořícího materiálu [46].



Obr. č. 18 - Spalovací komora

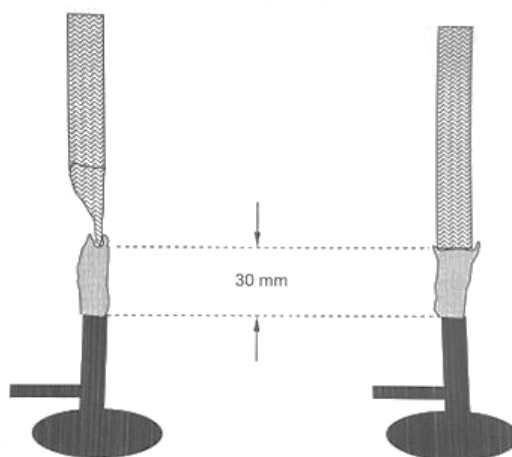
Vzorek o rozměrech 150 x 100 mm je upevňován do střední části komory na korozivzdorný rám opatřený drátky o průměru 0,25 mm, které jsou taktéž vyrobeny z ohnivzdorného materiálu a jsou od sebe vzdáleny 25 mm. Hořák je umístěn z boční strany komory na odklopných dvířkách, ke kterému je přiveden zdroj plynu o výhřevnosti přibližně 38 MJ/m³. Průměr hořáku by měl odpovídat 9,5 ± 0,5 mm a je umístěn takovým způsobem, aby byl střed trysky umístěn 19 mm pod střední okrajovou částí konce vzorku, který má být testován.

Důležitým faktorem jsou i rozměry digestoře, ve které je spalovací komora umístěna. Rozměry digestoře by měly být nejméně dvacetkrát, nejvýše však 110krát větší, než je objem samotné spalovací komory. Dalším předpokladem je to, že žádný z rozměrů digestoře nepřesáhne dvou a půl násobek jiného z rozměrů digestoře. Aby nešlo k ohrožení spalinami při hoření, musí být před testováním změřena rychlost vzduchu v digestoři ve vertikálním směru, tato hodnota by měla ležet někde mezi 0,10 a 0,30 m/s [46].

1.8.1.2. Norma VW 01000 (PV 3357)

Tato norma nese anglický název „Behavior during flame exposure with a burner surface and edge flame exposure”, která zkoumá chování materiálů po namáhání plamenem povrchu či hrany materiálu. Minimální rozměr vzorků pro toto testování by měl být 200 x 230 mm. Pro měření je též důležitá tloušťka vzorků, kde jsou potřebné nejméně dva testované vzorky s minimální tloušťkou a dva vzorky s maximální tloušťkou. Vzorky by měly být předem klimatizovány podle standardní normy DIN 50 014-23/50-2 [47] [48].

Norma rozlišuje dva způsoby testování - krátkou, kdy je vzorek namáhán plamenem po dobu 15 sekund a dlouhou, kdy je vzorek namáhán po dobu deseti minut. V normě jsou nadále uváděny dva typy namáhání vzorků - první princip spočívá v horizontálním upevnění vzorku, kdy je hořák s působícím plamenem umístěn uprostřed vzorku ze spodní strany, plamen musí dosahovat výšky 100 mm, přičemž 10 mm plamenu musí zasahovat do testovaného vzorku. Druhý typ spočívá ve vertikálním upnutí vzorku, kdy plamen hořáku působí na střed spodního kraje upnutého vzorku, zde musí plamen splňovat výšku 40 mm, přičemž 10 mm plamenu musí zasahovat do testovaného materiálu. Kraj materiálu je rozlišován na lisovaný okraj a okraj s otevřeným řezem (viz obr. č. 19) [48].



Obr. č. 19 - Hořák s vertikálně upnutými vzorky [48]

Během testování je sledována barva a intenzita dýmu, hoření s viditelným plamenem, velikost vypáleného otvoru, odkapávání materiálu a mnoho dalších potřebných vlastností, které se z tohoto principu pálení dají vypožorovat [48].

2. Experimentální část

Cílem experimentální části této diplomové práce je studium hoření kolmo kladených netkaných textilií za použití dvou typů Panoxových vláken, které se od sebe odlišují pouze délkou a obloučkovitostí, dále za použití různých poměrů směsí Panox vláken s pojivými bikomponentními polyesterovými vlákny a také odlišnými objemovými hmotnostmi, kterých bylo dosaženo lisováním.

Dle předchozí rešerše bylo zjištěno, že Panoxová vlákna byla dříve zkoumána pouze ve formě vpichovaných textilií bez následného tepelného pojení s použitím směsí Panox/Polypropylen a ve směsi Panox/Kevlar v různých poměrech, které byly testovány na hořlavost. Dalším cílem této práce bylo tedy ověřit, zdali by vliv struktury kolmo kladené netkané textilie mohl mít vliv na snížení hořlavosti těchto textilií, také z tohoto důvodu byl ke konci experimentu vyroben stejným principem další materiál Panox/bikomponent, odlišující se pouze ve formě podélného kladení vlákenné pavučiny.

Materiály byly testovány na hořlavost dvěma různými metodami, ke kterým byly doplněny zkoušky dalších vlastností, jako je ohybová tuhost materiálu a odolnost proti stlačení. Před samotným testováním vyrobených netkaných textilií byla vystavena analýze i samotná použitá Panoxová a bikomponentní vlákna, u kterých byla zjištěna jemnost, obloučkovitost, délka, byla studována jejich morfologie pomocí optické a elektronové mikroskopie a byla vystavena spalovací zkoušce.

2.1. Analýza vláken

Pro testování nehořlavosti byla po prostudování několika diplomových prací a dalších materiálů vybrána černá Panoxová vlákna, která vykazovala velmi dobré vlastnosti odolnosti vůči zapálení a hoření (odkazy zmíněné v teoretické části 1.1.2.1.). Pro porovnání byly vybrány dva typy Panox vláken, které se od sebe lišily pouze délkou a obloučkovitostí. Jakožto vhodný materiál do směsi s Panox vlákny pro následné termické pojení kolmo kladených vzorků byla vybrána polyesterová bikomponentní vlákna s totožnou hustotou.

Všechna tato vlákna byla podrobena testování, kam spadalo zjištění jemnosti vláken, obloučkovitosti, délky vláken, analýza morfologie vláken pomocí optické a elektronové mikroskopie a spalovací zkouška.

2.1.1. Optická mikroskopie

Vlákna byla vkládána pod optický mikroskop a na nich sledována struktura a tvar průřezu vláken. Průřez vláken byl sledován z důvodu možnosti použití Lanametru, na kterém je možné měřit průměry pouze kruhových vláken, z kterých je následně možné vypočítat jemnost vláken.

Pro pozorování průřezu vláken je potřebné si nejprve připravit destičku s kruhovými otvory (obr. č. 20), do kterých jsou napevno protažena vlákna a na obou koncích žiletkou odříznuta. Destička je následně vložena pod objektiv mikroskopu a skrze otvor pozorovány příčné průřezy.



Obr. č. 20 - Destička pro sledování příčných řezů pomocí optického mikroskopu

Na obrázcích č. 21, 22 a 23 je viditelné, že oba typy Panoxových vláken i polyesterový bikomponent mají kruhový průřez, a metoda testování jemnosti na Lanametru je pro ně tedy vhodná.



Obr č. 21 - I. typ Panox - tvar průřezu vláken, přiblížení 100x



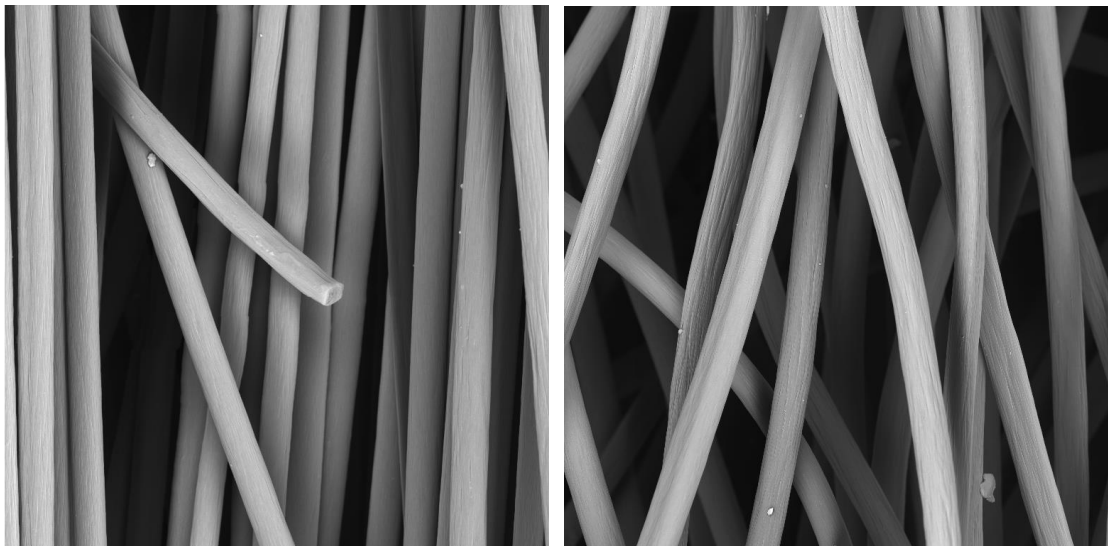
Obr č. 22 - I. typ Panox - tvar průřezu vláken, přiblížení 100x



Obr. č. 23 - Bikomponent, přiblížení 100x

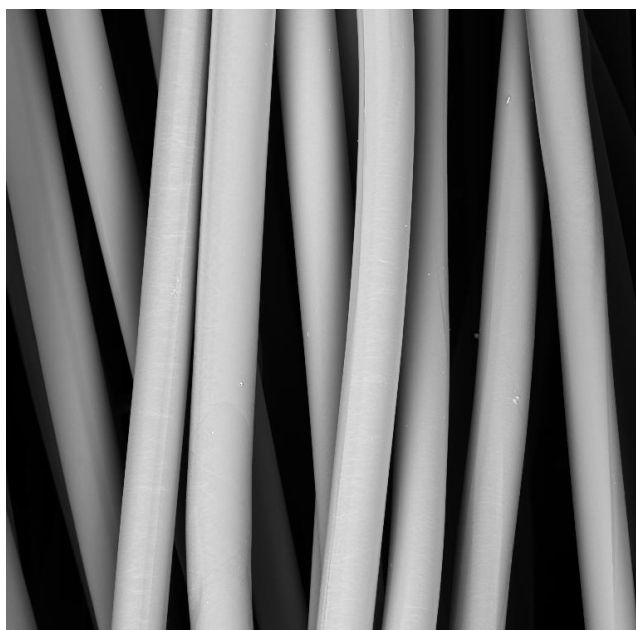
2.1.1. Elektronová mikroskopie

Vlákna byla dále pozorována i pod elektronovým mikroskopem. Na obrázcích Panoxových vláken č. 24 a) a b) jsou viditelné jemné drážky, které poukazují na uhlíkatý povrch vláken po jejich oxidaci, který snižuje hořlavost materiálu, který je z těchto vláken vyroben.



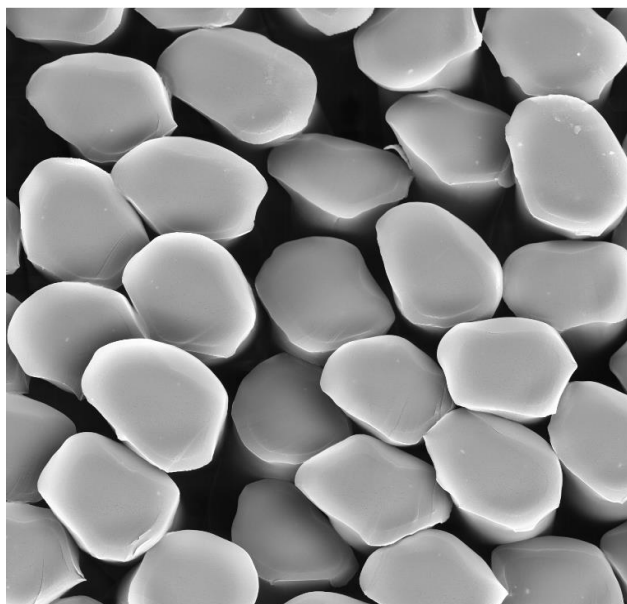
Obr. č. 24 a) I. typ Panox vláken, b) II. typ Panox vláken, přiblížení 1000x

Oproti zdrásněnému povrchu Panoxových vláken, je na obr. č. 25 viditelný pouze hladký povrch polyesterového bikomponentu. Také je znatelný rozdíl průměrů vláken při stejném přiblížení, což již nyní značí vyšší jemnost obou typů Panox vláken.



Obr. č. 25 - Bikomponent, přiblížení 1000x

Pro zjištění druhu použitého bikomponentu kopolyester/polyester, byly zhotoveny i snímky příčného řezu (obr. č. 26), na kterých je viditelná struktura jádro/plášť.



Obr. č. 26 - Příčný řez polyesterového bikomponentu jádro/plášť, přiblížení 2000x

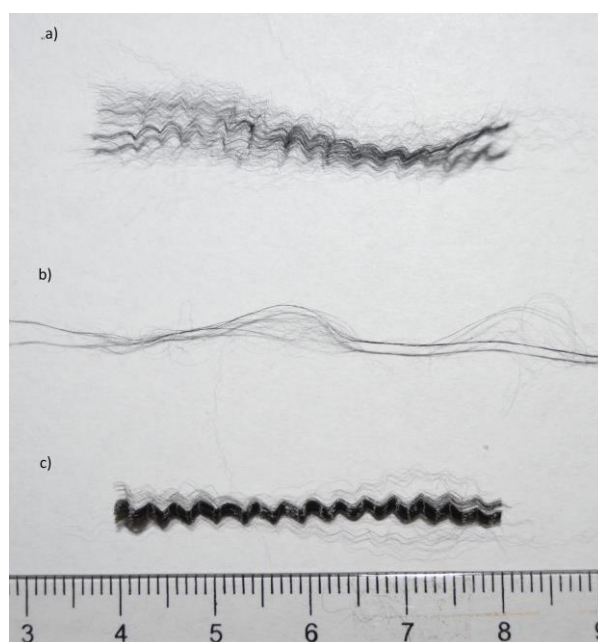
2.1.3. Obloučkovitost

Zkadeření vláken bylo vypočítáno pomocí vzorce č. 2 uvedeného v teoretické části - a to u všech typů vláken. Následně byla spočtena také obloučkovitost vláken na jeden centimetr, kde bylo vedle testovaných nenamáhaných vláken přiloženo měřidlo a počítán počet obloučků na danou délku. V tabulce č. 3 jsou uvedeny výsledné průměrné hodnoty zkadeření a obloučkovitosti od každého typu vlákna.

Tabulka č. 3 - Zkadeření a obloučkovitost vláken

Typ vlákna	Zkadeření [%]	Směr. odchylka	Počet obl. na cm	Směr. odchylka
I. Panox	19,85	0,78	8	0,63
II. Panox	3,72	0,36	0	0
Bikomponent	16,52	1,20	7	0,75

Na obrázku č. 27 jsou viditelné rozdíly v obloučkovitosti nenamáhaných vláken, kdy je zřetelné, že druhý typ Panoxových vláken nemá obloučky žádné, pouze na ojedinělých vláknech se objevily náznaky zkadeření, ale k celkovému počtu vláken bez obloučků šlo o zanedbatelné množství.



Obr. č. 27 - Obloučkovitost vláken a) I. typ Panox, b) II. typ Panox, c) Bikomponent

2.1.4. Délka vláken

Délka vláken byla testována na základě principu kuličkového přístroje pro měření délky vláken, u každého typu vláken bylo proměřeno 100 vláken. Jednotlivé třídy délek byly i se statistikou zaseny do tabulky č. 4.

Tab. č. 4 – Tabulka délek vláken

Typ vláken	Číslo třídy	Šířka třídy [mm]	Třídní znak [mm]	Absolutní četnost [1]	Relativní četnost [%]	Měrná relativní četnost [%]	Relativní součtová četnost [%]	Průměr délek vláken [cm]
I. typ Panox	1	2,5 - 3,5	3	10	10	0,1	100	4,14
	2	3,5 - 4,5	4	68	68	0,68	90	
	3	4,5 - 5,5	5	12	12	0,12	22	
	4	5,5 - 6,5	6	6	6	0,06	10	
	5	6,0 - 7,5	7	4	4	0,04	4	
II. typ Panox	1	8,5 - 9,5	8	8	8	0,08	100	9,84
	2	9,5 - 10,5	9	10	10	0,1	92	
	3	10,5 - 11,5	10	74	74	0,74	82	
	4	11,5 - 12,5	11	6	6	0,06	8	
	5	12,5 - 13,5	12	2	2	0,02	2	
Bikomponent	1	2,5 - 3,5	3	4	4	0,04	100	4,08
	2	3,5 - 4,5	4	87	87	0,87	96	
	3	4,5 - 5,5	5	6	6	0,06	9	
	4	5,5 - 6,5	6	2	2	0,02	3	
	5	6,0 - 7,5	7	1	1	0,01	1	

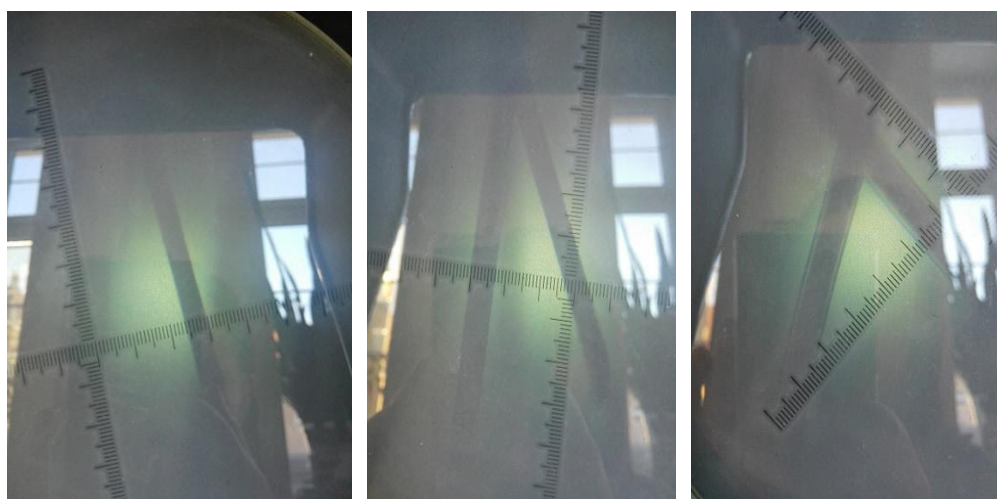
2.1.2. Jemnost

Jemnost vláken byla zjištěna pomocí měření průměrů vláken na přístroji zvaném Lanometr, které byly následně vynásobeny dvojkou, aby výsledné hodnoty odpovídaly skutečným průměrům vláken. Tyto průměry byly posléze pomocí vzorce č. 1, uvedeného v teoretické části, přepočítány na hodnoty jemnosti. V tabulce č. 5 jsou uvedeny průměry a vypočítané jemnosti obou typů Panoxových vláken a bikomponentu.

Tabulka č. 5 - Průměry a jemnosti vláken

Typ vlákna	Průměr vláken [μm]	Hustota [kg/m ³]	Průměrná jemnost [tex]	Průměrná jemnost [dtex]	Směrodatná odchylka
I. Panox	12,1567	1380	0,1602	1,6018	0,037
II. Panox	12,1667	1380	0,1604	1,6045	0,035
Bikomponent	16,3612	1380	0,2859	2,8589	0,046

Na obr. č. 28 a) a b) jsou viditelné oba druhy panoxových vláken, kde je zřejmé, že průměry jsou téměř totožné, u obr. č. 28 c) jsou polyesterová bikomponentní vlákna, kde je zřejmý větší průměr vláken.



Obr. č. 28 - Měření průměrů vláken na Lanometru, a) I. Typ Panox vláken, b) II. typ Panox vláken, c) bikomponent

2.1.8. Spalování vláken

Všechna použitá vlákna byla podrobena i spalovací zkoušce s použitím kahanu a digestoře. Výsledky tohoto měření jsou zaneseny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6 - Spalovací zkouška vláken

Typ vlákna	Hoří	Samozháší se	Taví se	Barva dýmu	Zápach	Zbytek
I. typ Panox	ne	ano	ne	bílý	žádný	vlákna
II. typ Panox	ne	ano	ne	bílý	žádný	vlákna
Bikomponent	ano	ne	ano	černý	nasládlý	tav. kulička

2.2. Výroba materiálu

V této části diplomové práce jsou popsány postupy výroby jednotlivých vzorků použitých pro testování. Jsou zde popsány jednotlivé operace od mykání směsí vláken, přes kolmé a podélné kladení, až samotnému lisování materiálu, při kterém byla měněna objemová hmotnost vláken.

2.2.1. Navážka směsí vláken

Pro výrobu vzorků byly připraveny tři různé směsi vláken pro oba typy Panoxových vláken a to 80% Panoxových / 20% bikomponentních, 60% Panoxových / 40% bikomponentních a 40% Panoxových / 60% bikomponentních vláken. Od každé směsi bylo připraveno deset hromádek po 80 g, pro které muselo být přepočítáno procentuální zastoupení jednotlivých složek směsí, které je uvedeno v tabulce č. 7.

Tab. č. 7 – Navážky vláken

Navážka [g]	Panox [%]	Panox [g]	Bico [%]	Bico [g]
80	80	64	20	16
80	60	48	40	32
80	40	32	60	48

Směs s vyšším procentuálním obsahem pojivých vláken nebyl vybrán z důvodu předpokladu hořlavosti směsi i při použití malého množství hořlavého polyesterového bikomponentu ve směsi. Proto také nebyl předpokládán problém s použitím černých hořlavých vláken, neboť byl uvažován viditelný efekt vyhoření vláken a měřitelné změny na vzorcích.

Dohromady bylo vytvořeno 10 hromádek od každé z těchto směsí, kdy každá navážka vážila 80 g (obr. č. 29). Pro navážení správného množství vláken do směsi bylo nutné přepočítat na tuto hmotnost procentuální hmotnosti obou zastoupených vláken u každé směsi (viz tab. č. 29).



Obr. č. 29 - Navážky směsí vláken

2.2.2. Výroba pavučin

Navážené hromádky směsovaných vláken byly vkládány do válcového mykacího stroje, odkud byla vzniklá pavučina snímána z odvodového válce a znovu promykána. Odtud již materiál kontinuálně odcházel po pásu ke kolmému kladení.

Jednotlivé hromádky vláken musely být před mykáním lehce navlhčeny, aby nedocházelo k tvorbě statického náboje a s tím spojených problémech výroby pavučiny.

2.2.3. Kolmé kladení

Kolmé kladení bylo provedeno na vibračním kolmém kladeči, ke kterému byl materiál přiváděn rychlostí 7 m/min. V samotném kladeči byl materiál skládán při 230 zdvizích za minutu při 5 Hz, po kterém byl materiál pokládán na síťovaný pás, který procházel horkovzdušnou komorou zahřátou na 140 °C rychlostí 0,25 m/min.

Posléze byl ochlazený materiál opatrně rolován. Takto vzniklá kolmo kladená netkaná textilie o plošné hmotnosti v průměru cca $425 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ byla následně stříhána na jednotlivé vzorky potřebné pro testování a lisována pro porovnání vlastností vzorků různých objemových hmotností.

2.2.4. Podélné kladení

V další fázi byl přivyroben další materiál s příčným kladením pavučiny, který sloužil k porovnání hořlavosti či nehořlavosti vůči kolmo kladeným textiliím. Tyto vzorky byly vyrobeny stejným způsobem jako kolmo kladené vzorky - tedy z obou typů Panox vláken a všech tří směsí Panox vláken s bikomponentními vlákny v různých poměrech, které byly posléze též lisovány pro porovnání vlastností materiálů s různými objemovými hmotnostmi.

Aby bylo dosaženo totožné plošné hmotnosti, jako u kolmo kladeného materiálu, tedy cca $425 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, musely být vypočítány potřebné navážky směsí vláken při znalosti průměru navíjecího válce $d = 0,27 \text{ m}$ a délce tohoto válce $l = 0,55 \text{ m}$. Pomocí těchto údajů byla vypočítána plocha tohoto válce

$$S = l \cdot \pi \cdot d = 0,27 \cdot 3,14 \cdot 0,55 = 0,466 \text{ m}^2 \quad . (8)$$

Při potřebě 425 g na 1 m^2 , byla zjištěna navážka 198 g . Z tohoto důvodu byly připraveny navážky vláken o hmotnosti 100 g , ze kterých byly vyrobeny pavučiny, které před druhým promykáním byly přeloženy napůl, aby bylo docíleno oné navážky okolo 200 g . Takto vyrobený materiál ovšem nebyl nijak propojen, a proto byl po přípravě vzorků lisován v etážovém lisu na požadované tloušťky.

2.2.5. Příprava vzorků

Z každého typu materiálu byly vystřiženy vzorky o rozměrech danými normami pro jednotlivé typy testování – $200 \times 25 \text{ mm}$ pro měření ohybové tuhosti, $200 \times 200 \text{ mm}$ odolnosti vůči stlačení, $150 \times 100 \text{ mm}$ pro spalování v horizontálním a $200 \times 230 \text{ mm}$ ve vertikálním směru.

2.2.6. Lisování vzorků

Z důvodu sledování změn vlastností a samotné hořlavosti, či nehořlavosti vzorků, byla měněna objemová hmotnost vzorků - a to pomocí etážového lisu. Všechny typy kolmo kladených vzorků od obou typů vláken byly tedy podrobeny lisování při 140 °C, síle 30 kN a tlakování 5 kN/s po dobu třiceti sekund na tloušťky 20, 15, 10 a 5 mm (obr. č. 30). Vzorky byly lisovány i na tloušťku 20 mm i přesto, že z výroby touto přibližnou tloušťkou disponovaly. Bylo tím dosaženo ucelení tlouštěk u všech vzorků a možnost porovnání s nelisovanými původními vzorky.

Jelikož u podélně vrstvených vzorků předem nedošlo k tepelnému spojení materiálu, musela být délka lisování prodloužena na jednu minutu, aby došlo k dostatečnému propojení, zbylé nastavené parametry byly ponechány totožné.



Obr. č. 30 - Lisované vzorky na 20, 15, 10 a 5 mm v porovnání s nelisovaným vzorkem o tloušťce cca 20 mm

2.3 Testování pavučiny

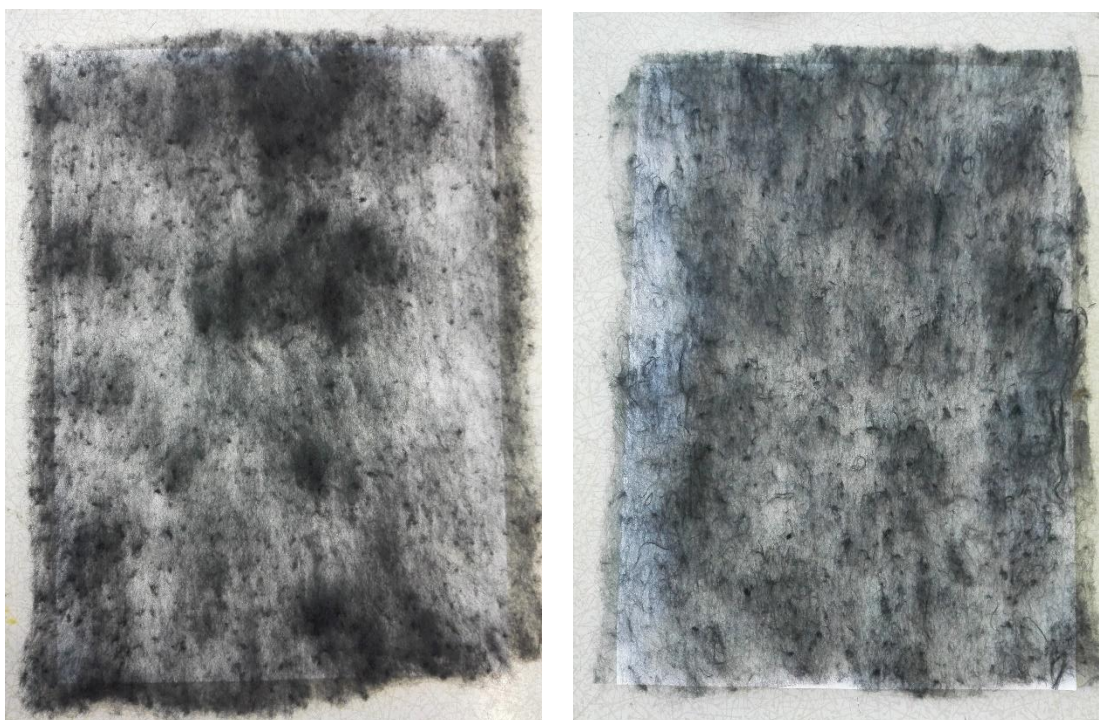
Jelikož byly k testování vybrány dva typy Panox vláken - s obloučky a bez obloučků o rozdílných délkách, byl sledován případný vliv těchto parametrů na tvorbu a soudržnost vyrobených pavučin po prostupu mykacím strojem. V tomto ohledu bylo sledováno množství nopků, uspořádanost vláken a celková soudržnost pavučiny. Jednotlivé vlastnosti byly vyhodnocovány ze snímků jednou promykaných pavučin obou typů vláken v navážkách 40, 60 a 80 g.



Obr. č. 31 – Pavučinky: navážka 40 g, a) I. typ Panox vl., b) II. typ Panox vl.



Obr. č. 32 – Pavučinky: navážka 60 g, a) I. typ Panox vl., b) II. typ Panox vl.



Obr. č. 33 – Pavučinky: navážka 80 g, a) I. typ Panox vl., b) II. typ Panox vl.

Na pořízených snímcích 31 a), b), 32 a), b) a 33 a), b) je viditelný značný rozdíl mezi prvním a druhým typem Panoxových vláken, kdy jsou u druhého typu viditelné značné nepromykané chomáče rovných vláken. To může při následné výrobě materiálu přinášet určité problémy – jako například obtížné směsování s pojivými vlákny, které může mít negativní vliv na vlastnosti výsledného materiálu, kdy při směsování nehořlavých vláken s hořlavými, nedojde k patřičnému promísení a části materiálu nemusí vykazovat dobré vlastnosti odolnosti vůči hoření.

Nerovnosti umykaného materiálu jsou dány chybným nahuštěním vláken na dopravní pás do mykacího stroje a je možné je omezit opětovným promykáním. U obou materiálů jsou na všech snímcích znatelné nopky, které jsou způsobeny smotáním jemných vláken v mykacím stroji.

2.4. Testování vlastností vzorků

Vyrobený kolmo kladený materiál byl prvotně testován v odolnosti vůči stlačení, kde bylo sledováno chování materiálu s ohledem na kolmé sklady vytvořené právě při výrobě.

Pro sledování změn vlastností u vzorků s různými objemovými hmotnostmi, byly následně vzorky lisovány z původní tloušťky 20 mm na tloušťky 15, 10 a 5 mm, a všechny podrobeny testování ohybové tuhosti. Následně byl vyroben odlišný materiál ve stejných poměrech Panoxových a bikomponentních vláken jako u původních vzorků, který se od původních vzorků lišil v kladení pavučiny vycházející z mykacího stroje - a to v podélném směru.

2.4.1. Odolnost vůči stlačení

Testování odolnosti vůči stlačení probíhalo podle zmíněné normy v teoretické části na laboratorním přístroji LaborTech 2.050 na základních nelisovaných vzorcích. Test spočíval ve stlačování materiálu o rozměrech 200 mm x 200 mm a tloušťce 20 mm o 70% jeho tloušťky při rychlosti stlačování 100 mm/min při čtyřech za sebou jdoucích cyklech.

Ke stlačování byly použity dvě čtvercové desky o rozměrech 200 mm x 200 mm, přičemž spodní byla ve statické poloze s položeným testovacím vzorkem a horní se dynamicky pohybovala. Pokud měl vzorek větší tloušťku než 20 mm, musela být výsledná tloušťka stlačování přepočítána, aby měření odpovídalo vždy požadovanému stlačení o 70% tloušťky materiálu. Jednotlivé výsledky odolnosti vůči stlačení jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8 - Odolnost vůči stlačení

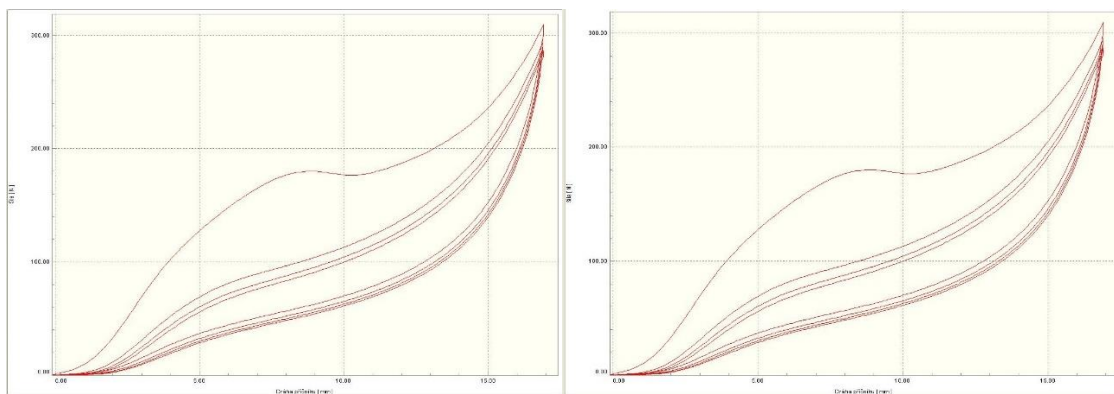
Typ vláken	Zastoupení panox vláken [%]	Tloušťka [mm]	1. cyklus [N]	4. cyklus [N]	rozdíl [N]
I. typ	80	20	116,398	102,642	13,756
	60	20	172,305	159,43	12,875
	40	20	306,155	291,322	14,833
II. typ	80	20	122,395	111,813	10,582
	60	20	149,907	136,151	13,756
	40	20	144,969	136,151	8,818

Z tabulky č. 8 je patrné, že v prvním cyklu se zvyšujícím se objemem pojivých vláken roste i odolnost vůči stlačení.

U posledního vzorku s 40% Panox vláken II. typu mohlo dojít k výrazně nižším hodnotám odolnosti vlivem střížení vzorku, kde mohlo dojít k ustřížení z kraje materiálu, kde nebyl vzorek dostatečně propojen.

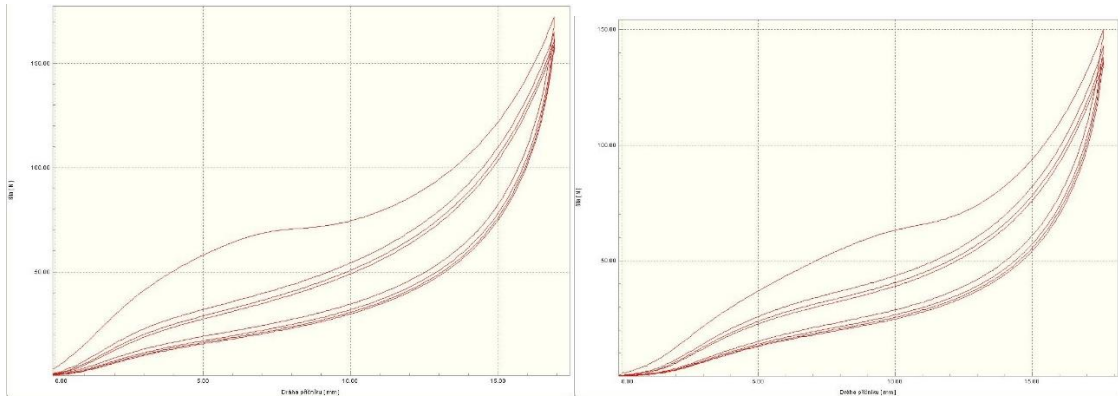
Z rozdílů maximálních hodnot z prvního a čtvrtého cyklu namáhání nejsou viditelné značné rozdíly v odolnosti vůči stlačení, kde by mohla být porovnána závislost zpevnění materiálu vyšším obsahem pojivých vláken – ale tato skutečnost je vypočítatelná ze samotných grafů průběhů stlačování.

Na obr. č. 34 a) a b) je viditelné zvláštní chování průběhu zkoušky namáhání vzorků se zastoupením pojivých vláken 60%. Je zřejmé, že na začátku zkoušky materiál stlačování značně odolával, ale na kritickém bodu došlo ke značnému poklesu – to mohlo být dáno položením skladů materiálu, které jsou charakteristické pro kolmo kladený materiál, které při prvním cyklu do kritického momentu setrvaly propojené a až po tomto momentu docházelo k položení těchto skladů.



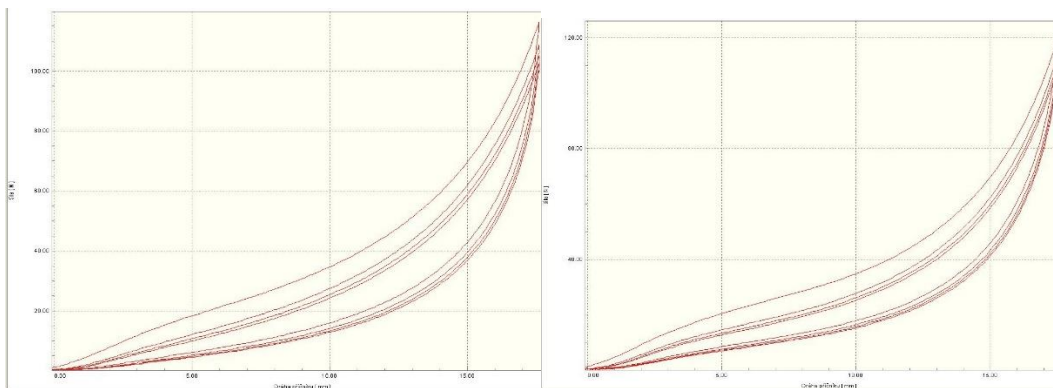
Obr. č. 34 - Graf průběhu zkoušky - 40% Panox / 60% bikomponent,
a) I. typ Panox vl., b) II. typ Panox vl.

Na obr. č. 35 a) a b) jsou grafy namáhání vzorků s nejnižším zastoupením pojivých vláken, kde se materiál jevil jako málo zpevněný a měkký – zde je viditelné odlišné chování než u grafů více zpevněných materiálů, zde je zřejmé postupné stlačování bez náznaku dlouhodobého odolávání skladů vůči stlačování a to již v prvním cyklu. Tento fakt může kromě jiného zapříčinit, že při tepelném lisování materiálu na menší tloušťky může docházet k dalšímu propojení mezi položenými sklady způsobené mechanickým namáháním při lisování, což může mít značný vliv na šíření plamene a hoření.



Obr. č. 35 - Graf průběhu zkoušky - 80% Panox / 20% bikomponent,
a) I. typ Panox vl., b) II. typ Panox vl.

Na obrázcích č. 36 a) a b) je pak viditelný střed mezi předchozími poměry, grafy se ovšem více blíží svým tvarem ke grafům vzorků s vyšším procentuálním obsahem pojivých vláken.



Obr. č. 36 - Graf průběhu zkoušky - 60% Panox / 40% bikomponent,
a) I. typ Panox vl., b) II. typ Panox vl.

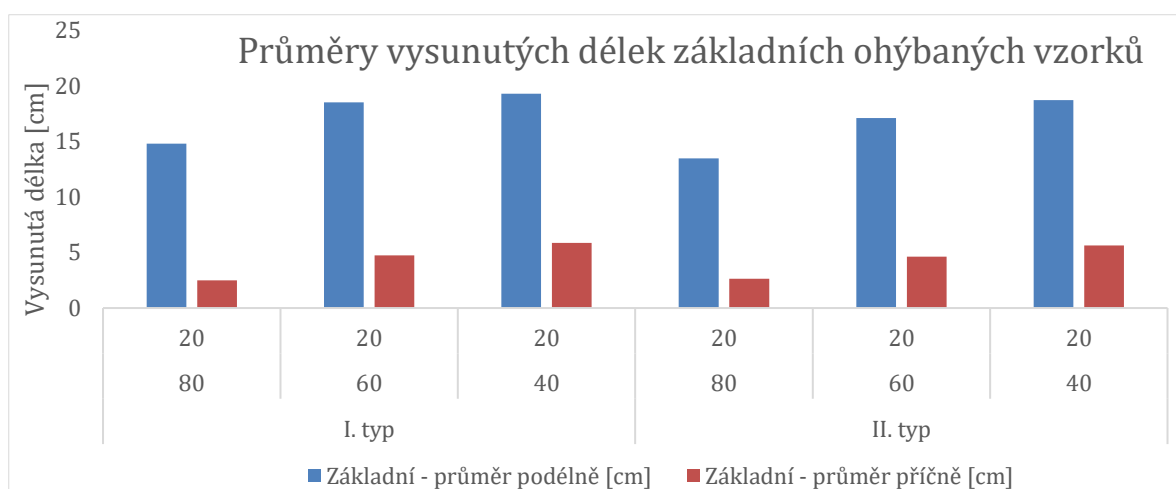
2.4.5. Ohybová tuhost

Od každé série vzorků, základních i lisovaných, od obou typů vláken, byly připraveny vzorky po pěti kusech pro měření ohybové tuhosti podle testovací metody WSP 090.5.R4 o rozměrech 200 mm x 25 mm.

Naměřené délky ohybu všech nelisovaných vzorků byly zaneseny do tabulky č. 9 a z těchto hodnot byl vytvořen graf č. 1. Následně byly tyto hodnoty pomocí vzorce č. 5 přepočítány na hodnoty ohybové tuhosti (tab. č. 10).

Tabulka č. 9 - Hodnoty naměřených délek ohybu nelisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Plošná hm. [g·m ⁻²]	Průměr podélně [cm]	Průměr příčně [cm]	Směrodatná odchylka podélně	Směrodatná odchylka příčně
I. typ	80	20	426,03	14,83	2,50	0,205	0,354
	60	20	422,24	18,53	4,75	0,327	0,250
	40	20	425,75	19,33	5,88	0,683	0,415
II. typ	80	20	427,83	13,50	2,63	0,608	0,415
	60	20	427,03	17,13	4,63	0,415	0,217
	40	20	427,20	18,75	5,63	0,250	0,303



Graf č. 1 – Průměrné hodnoty vysunutých délek ohýbaných vzorků

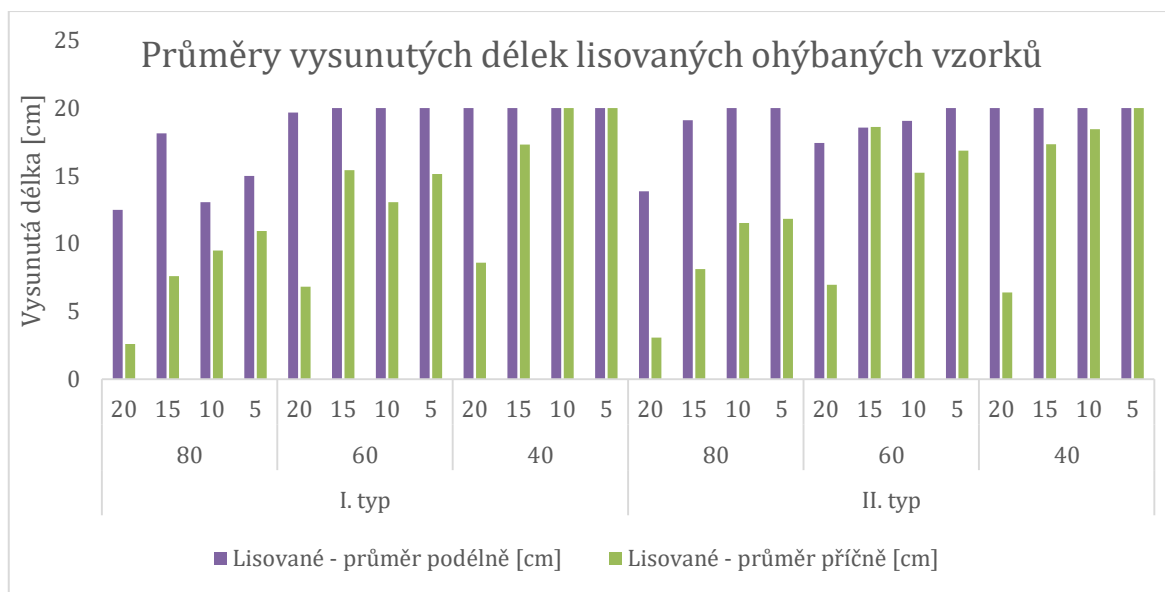
Tabulka č. 10 - Spočtené hodnoty ohybové tuhosti nelisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Plošná hmotnost [g·m ⁻²]	Průměr podélně [mg·m]	Průměr příčně [mg·m]	Směrodatná odchylka podélně	Směrodatná odchylka příčně
I. typ	80	20	426,03	1388,89	7,06	56,94	2,89
	60	20	422,24	2686,82	45,63	140,30	7,15
	40	20	425,75	3084,14	87,64	325,26	18,98
II. typ	80	20	427,83	1059,03	8,30	142,41	3,45
	60	20	427,03	2148,36	42,53	153,96	6,26
	40	20	427,20	2817,52	76,69	112,65	12,20

Zkoušce ohybové tuhosti byly vystaveny i lisované kolmo kladené vzorky. Naměřené délky ohybu byly zaneseny do tabulky č. 11 Z těchto hodnot byl vytvořen graf č. 2, na kterém jsou viditelné zvyšující se hodnoty ohybové tuhosti u vzorků s vyšším podílem pojivých vláken a které byly lisovány na nižší tloušťky. Poté byly tyto délky též přepočítány na hodnoty ohybové tuhosti a zaneseny do tabulky č. 12.

Tabulka č. 11 - Hodnoty naměřených délek ohybu lisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předp. [mm]	Plošná hmotnost [g·m ⁻²]	Průměr podélně [cm]	Průměr příčně [cm]	Směr. odch. podélně	Směr. odch. Příčně
I. typ	80	20	428,14	12,5	2,60	0,408	0,294
		15	423,38	18,13	7,60	0,189	0,141
		10	423,88	13,07	9,50	0,249	0,408
		5	421,56	15,00	10,93	0,408	0,094
	60	20	429,03	19,67	6,83	0,471	0,236
		15	423,14	20,00	15,43	0	0,33
		10	421,13	20,00	13,07	0	0,094
		5	420,70	20,00	15,13	0	0,262
	40	20	431,69	20,00	8,60	0	0,141
		15	423,73	20,00	17,30	0	0,283
		10	426,52	20,00	20,00	0	0
		5	420,24	20,00	20,00	0	0
II. typ	80	20	431,10	13,87	3,07	0,189	0,094
		15	424,79	19,10	8,13	0,535	0,189
		10	423,77	20,00	11,53	0	0,205
		5	422,22	20,00	11,83	0	0,236
	60	20	430,12	17,43	6,97	0,094	0,047
		15	422,75	18,57	18,60	0,249	0,141
		10	422,97	19,07	15,23	0,094	0,205
		5	418,79	20,00	16,87	0	0,094
	40	20	428,90	20,00	6,40	0	0,082
		15	422,62	20,00	17,33	0	0,236
		10	422,44	20,00	18,43	0	0,33
		5	419,99	20,00	20,00	0	0



Graf č. 2 – Průměrné hodnoty vysunutých délek ohýbaných vzorků

Tabulka č. 12 - Hodnoty spočtených hodnot ohybové tuhosti lisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl ádaná [mm]	Plošná hmotnost [$g \cdot m^{-2}$]	Průměr podélně [$mg \cdot m$]	Průměr příčně [$mg \cdot m$]	Směrodatná odchylná podélně	Směrodatná odchylná příčně
I. typ	80	20	428,14	940,63	7,82	81,998	2,713
		15	423,38	2469,14	186,05	79,335	10,513
		10	423,88	888,94	365,44	54,567	46,918
		5	421,59	1569,97	551,12	116,242	14,168
	60	20	429,03	2942,72	137,38	230,764	13,829
		15	423,14	3385,09	1557,59	0	99,176
		10	421,13	3369,01	939,67	0	20,441
		5	420,69	3365,53	1459,35	0	76,705
	40	20	431,69	3453,49	274,80	0	13,705
		15	423,73	3389,83	2195,70	0	106,379
		10	426,52	3412,17	3412,17	0	0
		5	420,24	3361,93	3361,93	0	0
II. typ	80	20	431,10	1182,95	12,47	0	1,172
		15	424,79	2689,63	228,92	250,965	16,161
		10	423,77	3390,17	650,74	0	34,904
		5	422,22	3377,76	700,45	0	41,225
	60	20	430,12	2227,02	145,45	36,833	2,938
		15	422,75	2590,82	2720,81	109,628	62,386
		10	422,97	2901,16	1496,00	43,644	60,708
		5	418,79	3350,32	2009,67	0	33,831
	40	20	428,90	3431,18	112,49	0	4,304
		15	422,62	3380,93	2202,08	0	88,928
		10	422,44	3379,49	2648,43	0	141,378
		5	420,00	3359,98	3359,98	0	0

Z výsledků ohybové tuhosti základních nelisovaných vzorků je viditelné, že vzorky s vyšším obsahem pojivých vláken vykazovaly vyšší hodnoty ohybové tuhosti, což značí, že při použití více pojivých vláken je vytvořeno více pojivých míst a materiál posléze vykazuje tvrdší omak a pevnější strukturu oproti materiálům s nižším množstvím pojivých vláken.

U lisovaných vzorků je viditelný vzrůst ohybové tuhosti jak s použitím vyššího obsahu pojivých vláken, ale hodnoty ohybové tuhosti rostou i s klesající tloušťkou materiálu, na kterou byl lisován. Vyšší hodnoty ohybové tuhosti vykazují vzorky s použitím II. typu Panoxových vláken, které nemají obloučky a mají větší staplovou délku než vlákna I. typu.

2.4.2. Tloušťka materiálu

Při výrobě vzorků nebylo vždy dosaženo přesné tloušťky 20 mm a ani po lisování vzorky ne vždy odpovídaly tloušťce, na kterou byly lisovány (20, 15, 10 a 5 mm), a tak bylo provedeno následné měření tloušťky u každé série vzorků pro oba typy vláken - a to pomocí nedestruktivního měřicího přístroje Elcometer 456.

Jednotlivé průměrné tloušťky vzorků z pěti měření, jsou uvedeny v tabulkách č. 13, 14 a 15. Měření tloušťky vzorků bylo důležité pro pozdější výpočet objemové hmotnosti, která může výrazně ovlivňovat hořlavost materiálu.

Tab. č. 13 - Průměrné tloušťky kolmo kladených nelisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	22,20	0,815
	60	20	22,34	0,321
	40	20	22,72	0,626
II. typ	80	20	21,84	0,230
	60	20	21,46	0,167
	40	20	22,72	0,217

Tab. č. 14 - Průměrné tloušťky kolmo kladených lisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	20,13	0,205
		15	16,33	0,33
		10	12,23	0,33
		5	7,73	0,386
	60	20	19,73	0,094
		15	16,20	0,294
		10	11,63	0,236
		5	7,33	0,45
	40	20	20,20	0,294
		15	15,53	0,189
		10	11,03	0,499
		5	6,80	0,245
II. typ	80	20	19,93	0,125
		15	16,30	0,408
		10	12,23	0,249
		5	7,77	0,34
	60	20	20,47	0,094
		15	16,23	0,125
		10	11,57	0,464
		5	7,16	0,287
	40	20	20,00	0,216
		15	15,27	0,464
		10	10,70	0,45
		5	6,67	0,403

Tab. č. 15 - Průměrné tloušťky podélně kladených vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťky reálné [mm]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	20,37	0,047
		5	7,33	0,094
	60	20	19,73	0,094
		5	6,50	0,245
	40	20	19,37	0,205
		5	5,30	0,141
II. typ	80	20	20,17	0,047
		5	7,733	0,170
	60	20	19,87	0,170
		5	6,53	0,094
	40	20	19,63	0,170
		5	5,12	0,125

2.4.3. Plošná hmotnost

Plošné hmotnosti byly vypočítány dle vzorce č. 3 vždy u pěti vzorků. Hodnoty plošných hmotností lisovaných kolmo kladených vzorků jsou uvedeny v tabulce č. 16, kolmo kladených základních nelisovaných vzorků v tabulce č. 17 a podélně kladených lisovaných vzorků v tab. č. 18.

Tab. č. 16 - Průměrné plošné hmotnosti kolmo kladených lisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťky předpokládané [mm]	Plošná hmotnost [g·m ⁻²]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	428,14	0,056
		15	423,38	0,047
		10	423,88	0,113
		5	421,60	0,067
	60	20	429,03	0,03
		15	423,14	0,096
		10	421,13	0,095
		5	420,70	0,024
	40	20	431,69	0,044
		15	423,79	0,104
		10	426,52	0,105
		5	420,24	0,029
II. typ	80	20	431,10	0,046
		15	424,79	0,086
		10	423,77	0,087
		5	422,22	0,051
	60	20	430,12	0,053
		15	422,75	0,088
		10	422,97	0,091
		5	418,79	0,038
	40	20	428,90	0,06
		15	422,62	0,075
		10	422,44	0,079
		5	419,99	0,041

Celková průměrná plošná hmotnost podélně kladených vzorků: 424,318 g.m⁻².

Tab. č. 17 - Průměrné plošné hmotnosti kolmo kladených nelisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Předpokládaná tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g·m ⁻²]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	426,03	0,089
	60	20	422,24	0,077
	40	20	425,75	0,085
II. typ	80	20	427,83	0,095
	60	20	427,03	0,056
	40	20	427,20	0,086

Celková průměrná plošná hmotnost podélně kladených vzorků: 426,011 g.m⁻².

Jednotlivé plošné hmotnosti se od sebe lehce liší, což bylo způsobeno použitím různých směsí Panoxových a pojivých vláken ve vyrobeném materiálu, kdy při nízkém procentuálním obsahu pojivého bikomponentu nebylo dosaženo tak výrazného propojení kolmých skladů v materiálu, jako tomu bylo u vysokého procenta pojivých vláken ve směsi.

U nižšího procentuálního zastoupení pojivých vláken jsou tedy plošné hmotnosti nižší než u ostatních směsí, průměrná plošná hmotnost ovšem nabývá téměř totožných hodnot u všech typů směsí. V tab. č. 18 jsou již viditelné velmi podobné hodnoty plošných hmotností, neboť se jedná o podélně kladený materiál, u kterého nedocházelo ke změnám vlivem kolmého kladení, které zde neprobíhalo.

Tab. č. 18 - Plošná hmotnost podélně kladených vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Předpokládaná tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g·m ⁻²]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	423,73	3,600
		5	424,40	3,467
	60	20	424,20	0,067
		5	422,67	1,067
	40	20	426,53	3,600
		5	427,87	0,800
II. typ	80	20	426,27	3,200
		5	427,47	3,333
	60	20	425,53	0,733
		5	426,00	0,133
	40	20	429,07	3,600
		5	426,07	3,267

Celková průměrná plošná hmotnost podélně kladených vzorků: 425,817 g.m⁻².

2.4.4. Objemová hmotnost

Pomocí průměrů vypočítaných plošných hmotností a naměřených tloušťek materiálů mohla být vypočítána objemová hmotnost všech testovaných vzorků. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách č. 19, 20 a 21. Na obr. č. 37 jsou viditelné vzorky s různými plošnými hmotnostmi.

Tab. č. 19 - Objemová hmotnost podélně kladených lisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokládaná [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	20,37	20,90	0,316
		5	7,33	57,87	0,571
	60	20	19,73	21,50	0,283
		5	6,50	65,03	0,912
	40	20	19,37	22,02	0,270
		5	5,30	80,73	1,314
II. typ	80	20	20,17	21,14	0,233
		5	7,73	55,28	0,789
	60	20	19,87	21,42	0,299
		5	6,53	65,20	0,861
	40	20	19,63	21,85	0,318
		5	5,27	80,90	1,437

Tabulka č. 20 - Objemová hmotnost kolmo kladených nelisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	22,20	19,21	0,267
	60	20	22,34	18,90	0,230
	40	20	22,72	18,74	0,251
II. typ	80	20	21,84	19,59	0,290
	60	20	21,46	19,90	0,175
	40	20	22,72	18,80	0,252

Tabulka č. 21 - Objemová hmotnost kolmo kladených lisovaných vzorků

Typ vláken	Zastoupení Panox. [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Směrodatná odchylka
I. typ	80	20	20,13	21,27	0,185
		15	16,33	26,13	0,195
		10	12,23	38,42	0,685
		5	7,73	54,28	0,572
	60	20	19,73	21,45	0,100
		15	16,20	25,91	0,392
		10	11,63	36,20	0,546
		5	7,33	61,87	0,240
	40	20	20,20	21,09	0,144
		15	15,53	27,76	0,456
		10	11,03	34,87	0,573
		5	6,80	57,31	0,266
II. typ	80	20	19,93	21,63	0,153
		15	16,30	26,17	0,355
		10	12,23	39,36	0,537
		5	7,77	54,56	0,439
	60	20	20,47	21,29	0,174
		15	16,23	25,94	0,360
		10	11,57	36,57	0,525
		5	7,17	62,81	0,377
	40	20	20,00	21,74	0,203
		15	15,27	27,21	0,323
		10	10,77	34,53	0,430
		5	6,67	58,60	0,384



Obr. č. 37 – Kolmo kladené vzorky různých objemových hmotností

2.4.5. Objem vzduchu

V této části byl vypočítán objem vzduchu ve vzorcích před a po lisování. Jednotlivé průměrné hodnoty vždy z pěti vzorků jsou zaneseny v tabulce č. 22.

Tabulka č. 22 - Objem vzduchu v lisovaných vzorcích

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Plocha vzorku [m ²]	Hustota vláken [kg/m ³]	Průměrná hmotnost [g]	Objem vzorku [m ³ ·10 ³]	Objem vláken [cm ³]	Objem vzduchu [cm ³]	
I. typ	80	20	0,015	1380	6,42	0,30	4,65	295,35	
		15	0,015	1380	6,35	0,23	4,60	220,40	
	60	10	0,015	1380	6,36	0,15	4,61	145,39	
		5	0,015	1380	6,32	0,08	4,58	70,42	
	40	20	0,015	1380	6,44	0,30	4,66	295,34	
		15	0,015	1380	6,35	0,23	4,60	220,40	
	80	10	0,015	1380	6,32	0,15	4,58	145,42	
		5	0,015	1380	6,31	0,08	4,57	70,43	
	60	20	0,015	1380	6,48	0,30	4,69	295,31	
		15	0,015	1380	6,36	0,23	4,61	220,39	
	40	10	0,015	1380	6,40	0,15	4,64	145,36	
		5	0,015	1380	6,30	0,08	4,57	70,43	
	II. typ	80	20	0,015	1380	6,47	0,30	4,69	295,31
			15	0,015	1380	6,37	0,23	4,62	220,38
60		10	0,015	1380	6,36	0,15	4,61	145,39	
		5	0,015	1380	6,33	0,08	4,59	70,41	
40		20	0,015	1380	6,45	0,30	4,68	295,32	
		15	0,015	1380	6,34	0,23	4,60	220,40	
80		10	0,015	1380	6,35	0,15	4,60	145,40	
		5	0,015	1380	6,28	0,08	4,55	70,45	
60		20	0,015	1380	6,43	0,30	4,66	295,34	
		15	0,015	1380	6,34	0,23	4,59	220,41	
40		10	0,015	1380	6,34	0,15	4,59	145,41	
		5	0,015	1380	6,30	0,08	4,57	70,43	

V tabulce č. 23 jsou zaneseny přepočítané hodnoty objemu vláken a vzduchu na procenta.

Tab. č. 23 – Procentuální objem vzduchu ve stlačených vzorcích

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Plocha vzorku [m ²]	Hustota vláken [kg/m ³]	Průměrná hmotnost [g]	Objem vzorku [m ³ ·10 ³]	Objem vláken [%]	Objem vzduchu [%]	
I. typ	80	20	0,015	1380	6,42	0,30	1,55	98,45	
		15	0,015	1380	6,35	0,23	2,04	97,96	
	60	10	0,015	1380	6,36	0,15	3,07	96,93	
		5	0,015	1380	6,32	0,08	6,11	93,89	
	40	20	0,015	1380	6,44	0,30	1,55	98,45	
		15	0,015	1380	6,35	0,23	2,04	97,96	
	80	10	0,015	1380	6,32	0,15	3,05	96,95	
		5	0,015	1380	6,31	0,08	6,09	93,90	
	60	20	0,015	1380	6,48	0,30	1,56	98,44	
		15	0,015	1380	6,36	0,23	2,04	97,95	
	40	10	0,015	1380	6,40	0,15	3,09	96,90	
		5	0,015	1380	6,30	0,08	6,09	93,91	
	II. typ	80	20	0,015	1380	6,47	0,30	1,56	98,44
			15	0,015	1380	6,37	0,23	2,05	97,95
		60	10	0,015	1380	6,36	0,15	3,07	96,93
			5	0,015	1380	6,33	0,08	6,11	93,88
40		20	0,015	1380	6,45	0,30	1,55	98,44	
		15	0,015	1380	6,34	0,23	2,04	97,96	
80		10	0,015	1380	6,35	0,15	3,06	96,94	
		5	0,015	1380	6,28	0,08	6,06	93,93	
60		20	0,015	1380	6,43	0,30	1,55	98,45	
		15	0,015	1380	6,34	0,23	2,04	97,96	
40		10	0,015	1380	6,34	0,15	3,06	96,94	
		5	0,015	1380	6,30	0,08	6,08	93,91	

Z výsledků je patrné, že vzorky kolmo kladených netkaných textilií obsahují velké množství vzduchu, které se pohybuje až v hodnotách nad 90% celkového objemu ze vzorku - a to i při lisování na tloušťky nižších hodnot. Je znatelné, že při lisování vzorku z 20 na 5 mm, ubude pouze kolem 5% objemu vzduchu v materiálu. Z tohoto důvodu je zřejmé, že i ve stlačených vzorcích je dostatečné množství vzduchu pro hoření materiálu.

2.5. Testování hořlavosti

Testování hořlavosti probíhalo dle normy ISO 3795, a to jak u kolmo kladených základních, tak i lisovaných vzorků na 20, 15, 10 a 5 mm, posléze došlo i k testování a následného porovnání změn při použití podélně kladeného materiálu lisovaného na 20 a 5 mm.

Jako doplňující byla vybrána testovací zkouška hoření dle normy VW 01000 (PV 3357), pro kterou byly vybrány kolmo kladené i podélně kladené vzorky lisované již pouze na 20 a 5 mm.

Neboť bylo zjištěno, že materiál i při vysokém procentuálním obsahu hořlavých vláken odolával hoření, byly primárně zkoumány hmotnostní úbytky materiálu po spalovacích zkouškách, práce ale obsahuje i textový popis chování materiálu při testování hoření.

2.5.1. Spalovací zkouška dle normy ISO 3795

Pro tuto spalovací zkoušku byly vyrobeny vzorky kolmo kladeného nelisovaného, lisovaného a podélně kladeného lisovaného materiálu v rozměrech 150 x 100 mm v podélném a příčném směru vzhledem ke skladům kolmo kladeného materiálu či výstupu podélně kladeného materiálu ze stroje vždy po pěti kusech.

Materiál byl umístěn v horizontálním směru do spalovací komory, kde byl z jedné strany vystaven otevřenému plamenu hořáku po dobu 15 sekund (obr. č. 38). Po odstavení hořáku z dosahu materiálu bylo sledováno chování materiálu, šíření plamene a dým.

2.5.1.1. Základní kolmo kladené vzorky

V tabulkách č. 24 a 25 jsou uvedeny průměry jednotlivých úbytků hmotností základních vzorků po tepelném namáhání v podélném a příčném směru, v tabulkách č. 26 a 27 jsou poté zmíněné popisy chování materiálu při hoření, jako je čas hoření, barva a intenzita dýmu, který v průběhu měnil svou barvu z bílé na černou a další parametry.



Obr. č. 38 – Spalovaný vzorek

Tab. č. 24 – Základní kolmo kladené nelisované vzorky – podélný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Obj. hm. [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]	Směr. odchylka
I. typ	80	20	22,20	19,18	6,38	0,35	0,004
	60	20	22,34	18,83	6,31	0,41	0,003
	40	20	22,72	18,60	6,34	0,58	0,005
II. typ	80	20	21,84	19,56	6,41	0,41	0,005
	60	20	21,46	20,07	6,46	0,50	0,007
	40	20	22,72	18,34	6,42	0,59	0,007

Tab. č. 25 – Základní kolmo kladené nelisované vzorky – příčný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Obj. hm. [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]	Směr. odchylka
I. typ	80	20	22,20	19,24	6,40	0,36	0,006
	60	20	22,34	18,97	6,36	0,46	0,004
	40	20	22,72	18,88	6,43	0,62	0,006
II. typ	80	20	21,84	19,62	6,43	0,38	0,008
	60	20	21,46	19,73	6,35	0,64	0,007
	40	20	22,72	18,76	6,39	0,72	0,005

Tab. č. 26 – Chování kolmo kladeného nelisovaného materiálu – podélný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	bíle	+
	60	20	ne	0	bíle	++
	40	20	ne	0	bíle, černě	+++
II. typ	80	20	ne	0	bíle	++
	60	20	ne	0	bíle	++
	40	20	ne	0	bíle, černě	+++

Tab. č. 27 – Chování kolmo kladeného nelisovaného materiálu – příčný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	bíle	++
	60	20	ne	0	bíle	++
	40	20	ne	0	bíle, černě	+++
II. typ	80	20	ne	0	bíle	++
	60	20	ne	0	bíle, černě	+++
	40	20	ne	0	bíle, černě	+++

2.5.1.2. Kolmo kladené lisované vzorky

V tabulkách č. 28 a 29 jsou uvedeny průměry jednotlivých úbytků hmotností základních vzorků po tepelném namáhání v podélném a příčném směru, v tabulkách č. 30 a 31 jsou poté zmíněné popisy chování materiálu při hoření, jako je čas hoření, barva a intenzita dýmu a další parametry.

Tab. č. 28 – Kolmo kladené lisované vzorky – podélný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Obj. hm. [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]	Směr. odchylka
I. typ	80	20	20,13	21,19	6,40	0,35	0,040
		15	16,33	26,30	6,39	0,53	0,042
		10	12,23	38,28	6,34	0,60	0,111
		5	7,73	53,98	6,29	0,74	0,042
	60	20	19,73	21,50	6,45	0,44	0,038
		15	16,2	26,00	6,37	0,50	0,088
		10	11,63	36,13	6,30	0,63	0,089
		5	7,33	61,72	6,30	0,79	0,024
	40	20	20,20	21,15	6,49	0,43	0,030
		15	15,53	27,74	6,35	0,65	0,077
		10	11,03	34,71	6,37	0,81	0,094
		5	6,80	56,91	6,26	1,00	0,019
II. typ	80	20	19,93	21,69	6,49	0,32	0,046
		15	16,30	26,12	6,36	0,50	0,084
		10	12,23	39,45	6,37	0,59	0,091
		5	7,77	54,48	6,32	0,79	0,026
	60	20	20,47	21,29	6,45	0,38	0,045
		15	16,23	25,91	6,34	0,55	0,079
		10	11,57	36,44	6,32	0,77	0,073
		5	7,17	62,81	6,28	0,96	0,043
	40	20	20,00	21,77	6,44	0,44	0,061
		15	15,27	27,13	6,32	0,67	0,068
		10	10,77	34,64	6,36	0,80	0,100
		5	6,67	58,77	6,32	1,03	0,030

Tab. č. 29 – Kolmo kladené lisované vzorky – příčný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Obj. hm. [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]	Směr. odchylka
I. typ	80	20	20,13	21,35	6,45	0,41	0,071
		15	16,33	25,97	6,31	0,47	0,052
		10	12,23	38,55	6,38	0,60	0,116
		5	7,73	54,59	6,36	0,78	0,091
	60	20	19,73	21,41	6,42	0,44	0,022
		15	16,2	25,81	6,32	0,54	0,104
		10	11,63	36,27	6,33	0,66	0,101
		5	7,33	62,01	6,33	0,81	0,025
	40	20	20,2	21,03	6,46	0,45	0,059
		15	15,53	27,77	6,36	0,67	0,132
		10	11,03	35,02	6,43	0,78	0,117
		5	6,8	57,70	6,35	0,96	0,039
II. typ	80	20	19,93	21,57	6,45	0,41	0,046
		15	16,3	26,22	6,38	0,48	0,089
		10	12,23	39,27	6,34	0,59	0,083
		5	7,77	54,72	6,35	0,80	0,076
	60	20	20,47	21,30	6,45	0,42	0,061
		15	16,23	25,96	6,35	0,53	0,096
		10	11,57	36,69	6,37	0,70	0,109
		5	7,17	62,83	6,28	0,94	0,033
	40	20	20	21,71	6,43	0,44	0,059
		15	15,27	27,29	6,36	0,66	0,082
		10	10,77	34,42	6,32	0,86	0,058
		5	6,67	58,44	6,28	1,06	0,053

Tab. č. 30 - Chování kolmo kladeného lisovaného materiálu – podélný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle	+
		10	ne	0	bíle, černě	+
		5	ne	0	bíle, černě	++
	60	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle, černě	+
		10	ne	0	bíle, černě	++
		5	ano	14	bíle, černě	++
	40	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle, černě	++
		10	ne	0	bíle, černě	+++
		5	ano	20	bíle, černě	+++
II. typ	80	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle	+
		10	ne	0	bíle, černě	+
		5	ne	0	bíle, černě	+
	60	20	ne	0	bíle	++
		15	ne	0	bíle, černě	++
		10	ano	5	bíle, černě	++
		5	ano	18	bíle, černě	+++
	40	20	ne	0	bíle, černě	++
		15	ano	5	bíle, černě	++
		10	ano	25	bíle, černě	++
		5	ano	23	bíle, černě	+++

Tab. č. 31 - Chování kolmo kladeného lisovaného materiálu – příčný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas hoření [s]	Dým – barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle	+
		10	ne	0	bíle	++
		5	ne	0	bíle, černě	++
	60	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle	+
		10	ne	0	bíle, černě	++
		5	ano	5	bíle, černě	+++
	40	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle	+
		10	ne	0	bíle, černě	++
		5	ano	15	bíle, černě	+++
II. typ	80	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle	+
		10	ne	0	bíle, černě	+
		5	ne	0	bíle, černě	++
	60	20	ne	0	bíle	+
		15	ne	0	bíle, černě	++
		10	ano	11	bíle, černě	++
		5	ano	21	bíle, černě	+++
	40	20	ne	0	bíle, černě	++
		15	ano	4	bíle, černě	++
		10	ano	14	bíle, černě	+++
		5	ano	18	bíle, černě	+++

2.5.1.3. Podélně kladené vzorky

V tabulkách č. 32 a 33 jsou uvedeny průměry jednotlivých úbytků hmotností základních vzorků po tepelném namáhání v podélném a příčném směru a v tabulkách č. 34 a 35 jsou uvedené popisy chování materiálu při hoření.

Tab. č. 32 – Podélně kladené lisované vzorky – podélný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Obj. hm. [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]	Směr. odchylka
I. typ	80	20	20,37	20,83	6,36	0,47	0,098
		5	7,33	57,40	6,31	0,38	0,059
	60	20	19,73	21,50	6,36	0,44	0,118
		5	6,50	64,86	6,32	0,70	0,064
	40	20	19,37	22,21	6,45	0,93	0,065
		5	5,30	80,58	6,41	1,19	0,105
II. typ	80	20	20,17	21,30	6,44	0,59	0,091
		5	7,73	54,85	6,36	0,88	0,111
	60	20	19,87	21,38	6,37	0,75	0,094
		5	6,53	65,18	6,39	1,01	0,09
	40	20	19,63	22,04	6,49	1,17	0,094
		5	5,27	81,52	6,44	1,18	0,098

Tab. č. 33 – Podélně kladené lisované vzorky – příčný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox [%]	Tloušťka předpokl. [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Obj. hm. [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]	Směr. odchylka
I. typ	80	20	20	20,98	6,41	0,31	0,095
		5	7	58,35	6,42	0,47	0,067
	60	20	20	21,49	6,36	0,54	0,049
		5	7	65,19	6,36	0,79	0,114
	40	20	19	21,84	6,34	0,85	0,092
		5	5	80,88	6,43	1,12	0,104
II. typ	80	20	20	20,98	6,35	0,54	0,050
		5	8	55,71	6,46	0,84	0,072
	60	20	20	21,46	6,39	0,91	0,084
		5	7	65,22	6,39	1,00	0,079
	40	20	20	21,67	6,38	1,22	0,094
		5	5	80,28	6,34	1,48	0,129

Tab. č. 34 - Chování podélně kladeného lisovaného materiálu – podélný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	bíle, černě	+
		5	ne	0		++
	60	20	ne	0		++
		5	ano	3		+++
	40	20	ano	8		+++
		5	ano	21		+++
II. typ	80	20	ne	0		++
		5	ano	5		+++
	60	20	ano	5		++
		5	ne	0		+++
	40	20	ano	5		+++
		5	ano	25		+++

Tab. č. 35 - Chování podélně kladeného lisovaného materiálu – příčný směr

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	bíle	++
		5	ne	0	bíle, černě	+++
	60	20	ne	0	bíle	+++
		5	ano	5	bíle, černě	++
	40	20	ano	3	bíle	+++
		5	ano	9	bíle, černě	+++
II. typ	80	20	ne	2	bíle	++
		5	ne	5	bíle	+++
	60	20	ne	5	bíle, černě	+++
		5	ano	9	bíle, černě	+++
	40	20	ano	6	bíle, černě	+++
		5	ano	34	bíle, černě	+++

V některých případech se ukázalo, že materiál po spalovací zkoušce v podélném směru ke skladům materiálů po hoření zvětšil svou tloušťku (obr. č. 39), kdežto u materiálu tepelně namáhaného v příčném směru vzhledem ke skladům se tloušťka zmenšila.



Obr. č. 39 - Změna tloušťky v podélném směru vzhledem ke skladům materiálu

2.5.2. Spalovací zkouška dle normy VW 01000 (PV 3357)

Pro tuto metodu spalovací zkoušky testování šíření plamene byly vybrány pouze vzorky extrémních parametrů - vzorky s tloušťkou 20 a 5 mm od obou typů Panox vláken ve všech třech směrovacích poměrech kolmo i podélně kladených vzorků a to vždy po jediném vzorku, proto se u hodnot úbytků hmotností nenalézají směrodatné odchylky.

Podle metody VW 01000 (PV 3357) byly vyrobeny vzorky o rozměrech 20 x 23 mm, které byly uchyceny do upínacího zařízení v digestoři ve svislé pozici a vystaveny externímu plamenu působícímu ve spodní části upnutého materiálu (obr. č. 40).

Vzorky byly testovány spalovací zkoušce pouze v jednom ze směrů - a to ve směru podél skladů materiálu, neboť z předchozích testů spalovacích zkoušek bylo zjištěno, že nebyl znatelný značný rozdíl mezi působením plamene ve směru skladů, či kolmo ke skladům kolmo kladeného materiálu ani v podélném či kolmém směru u podélně kladených vzorků.

V tabulkách č. 36 a 38 jsou uvedeny průměry jednotlivých úbytků hmotností vzorků po spalovací zkoušce. V tabulkách č. 37 a 39 je zaznamenáno chování materiálu při hoření, jako například dým, který měnil svou barvu z bílé na černou.



Obr. č. 40 – Uchycený vzorek

2.5.2.1. Kolmo kladené lisované vzorky

Tab. č. 36 – Kolmo kladené lisované vzorky

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokládaná [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]
I. typ	80	20	20,10	22,20	22,00	0,9
		5	7,70	17,20	17,00	1,16
	60	20	19,70	21,20	20,90	1,42
		5	7,30	18,20	17,60	3,3
	40	20	20,20	20,60	20,00	2,91
		5	6,80	18,00	16,93	5,94
II. typ	80	20	19,90	22,80	22,40	1,75
		5	7,80	17,20	17,00	1,16
	60	20	20,50	21,10	20,80	1,42
		5	7,20	17,60	16,80	4,55
	40	20	20,00	20,90	20,40	2,39
		5	6,70	18,20	17,10	6,04

Tab. č. 37 - Chování kolmo kladeného lisovaného materiálu

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas začátku [s]	Čas konce [s]	čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	0	0	bíle	+
		5	ne	0	0	0	bíle	++
	60	20	ne	0	0	0	bíle	+
		5	ano	0	1	1	bíle	++
	40	20	ano	0	2	2	bíle	++
		5	ano	0	5	5	bíle,	+++
II. typ	80	20	ne	0	0	0	bíle	+
		5	ne	0	0	0	bíle	+
	60	20	ano	0	1	1	bíle	++
		5	ano	0	5	5	bíle, poté černě	+++
	40	20	ano	0	4	4		+++
		5	ano	0	7	7		+++

2.5.2.2. Podélně kladené vzorky

Tab. č. 38 – Podélně kladené lisované vzorky

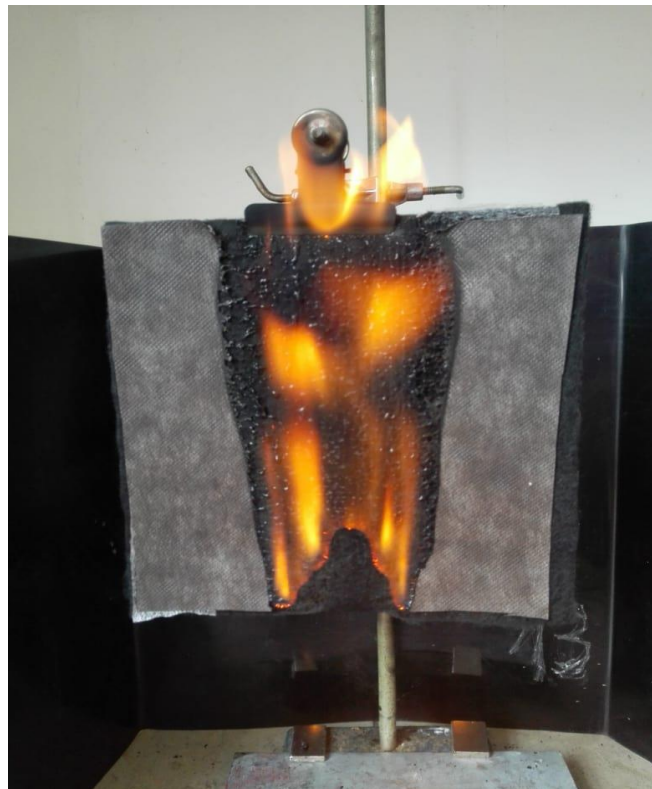
Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka předpokládaná [mm]	Tloušťka reálná [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Hmotnost [g]	Úbytek [%]
I. typ	80	20	20,20	19,8	19,6	0,65
		5	7,33	19,1	18,5	1,94
	60	20	19,73	20,1	19,6	1,61
		5	6,50	19,0	17,8	3,87
	40	20	19,37	19,4	18,2	3,87
		5	5,30	18,8	16,2	8,39
II. typ	80	20	20,17	20,5	20,2	0,97
		5	7,73	19,3	17,2	6,77
	60	20	19,87	20,4	19,5	2,90
		5	6,53	19,2	17,0	7,10
	40	20	19,63	19,2	18,0	3,87
		5	5,27	19,0	15,2	12,26

Tab. č. 39 - Chování podélně kladeného lisovaného materiálu

Typ vláken	Zastoupení Panox vl. [%]	Tloušťka [mm]	Hořelo	Čas začátku [s]	Čas konce [s]	čas hoření [s]	Dým - barva	Dým - intenzita
I. typ	80	20	ne	0	0	0	bíle, poté černě	+
		5	ne	0	0	0		++
	60	20	ano	0	2	2		++
		5	ano	0	2	2		+++
	40	20	ano	0	5	5		+++
		5	ano	210	450	240		+++
II. typ	80	20	ne	0	0	0		++
		5	ne	0	0	0		++
	60	20	ano	0	5	5		+++
		5	ano	0	287	287		+++
	40	20	ano	0	30	30		+++
		5	ano	0	220	220		+++

V závěru praktické části došlo i k experimentu, kdy se ke kolmo kladenému materiálu stlačenému na 5 mm přilaminovala vrstva textilie SMS (Spunbond/Meltblown/Spunbond) a takto upravený vzorek byl následně vystaven plamenu.

Materiál při tomto pokusu ihned vzplál a plamen se velmi rychle šířil po ploše, kde byl přilaminován. Po testu byl vzorek zkroucený a vykazoval natavení části bikomponentního materiálu, ale byl zachován celistvý tvar bez vypálení děr díky použití Panoxových vláken (obr. č. 41).



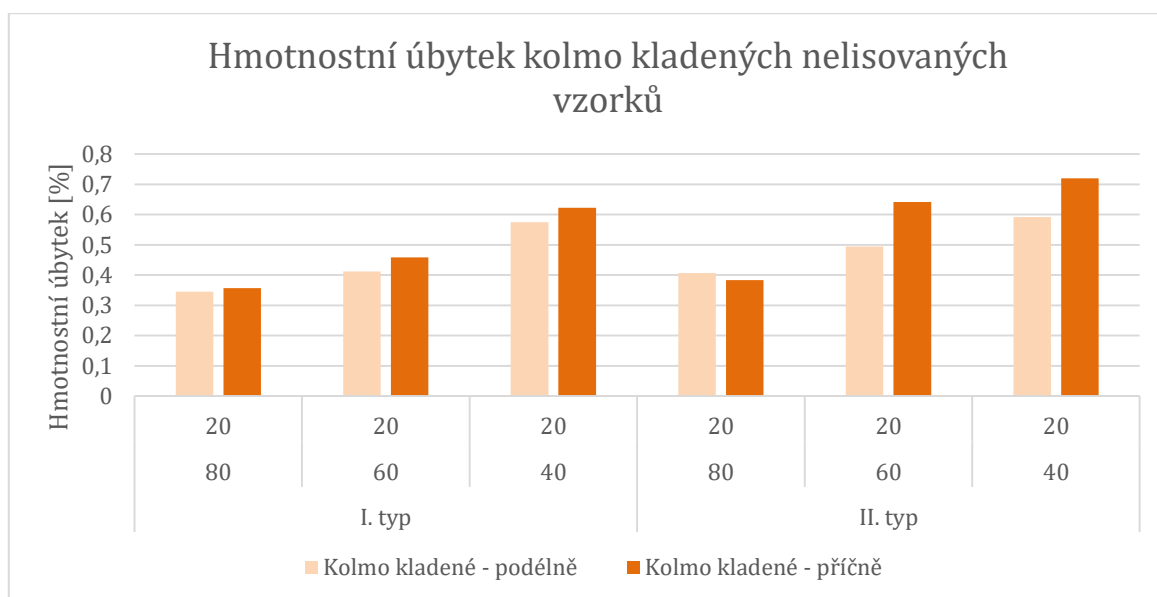
Obr. č. 41 – Kolmo kladený vzorek s nalaminovanou textilií meltblown

2.6. Vyhodnocení spalovacích zkoušek

V této části práce se nachází vyhodnocení obou typů spalovacích zkoušek formou histogramů porovnávajících jednotlivé hmotnostní úbytky spalovaných materiálů.

2.6.1. Vyhodnocení - Spalovací zkouška dle normy ISO 3795

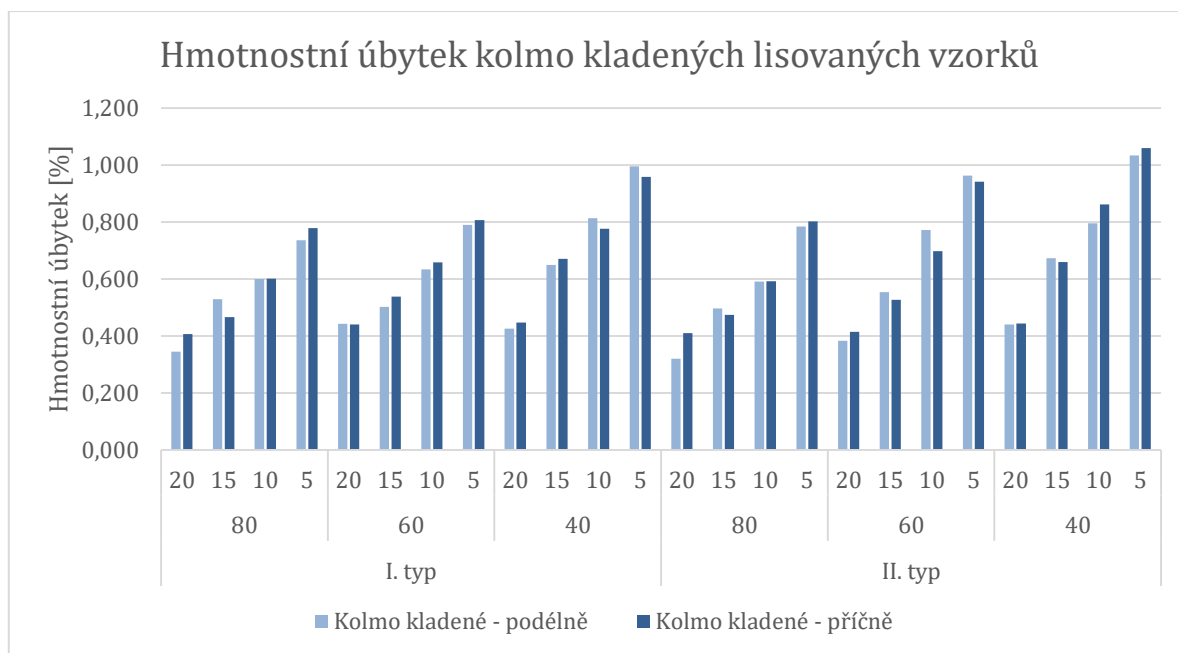
Z naměřených výsledků uvedené spalovací zkoušky byly vytvořeny histogramy s procentuálními úbytky hmotností vzorků po spalování. V jednotlivých grafech jsou uvedeny hodnoty úbytků pro každý typ vlákna, procentuální zastoupení Panox vláken (80, 60 a 40 %) a tloušťka (20, 15, 10 a 5 mm).



Graf č. 3 - Hmotnostní úbytek kolmo kladených nelisovaných vzorků

U základních vzorků v grafu č. 3 je viditelný vzrůst úbytku hmotností s vyšším obsahem pojivých vláken. Je znatelné, že vyšší hodnoty úbytku vykazovala Panoxová vlákna II. Typu, tedy s větší staplovou délkou a bez obloučků. Základní nelisované vzorky nevykazovaly kromě hmotnostního úbytku žádné další změny vlastností.

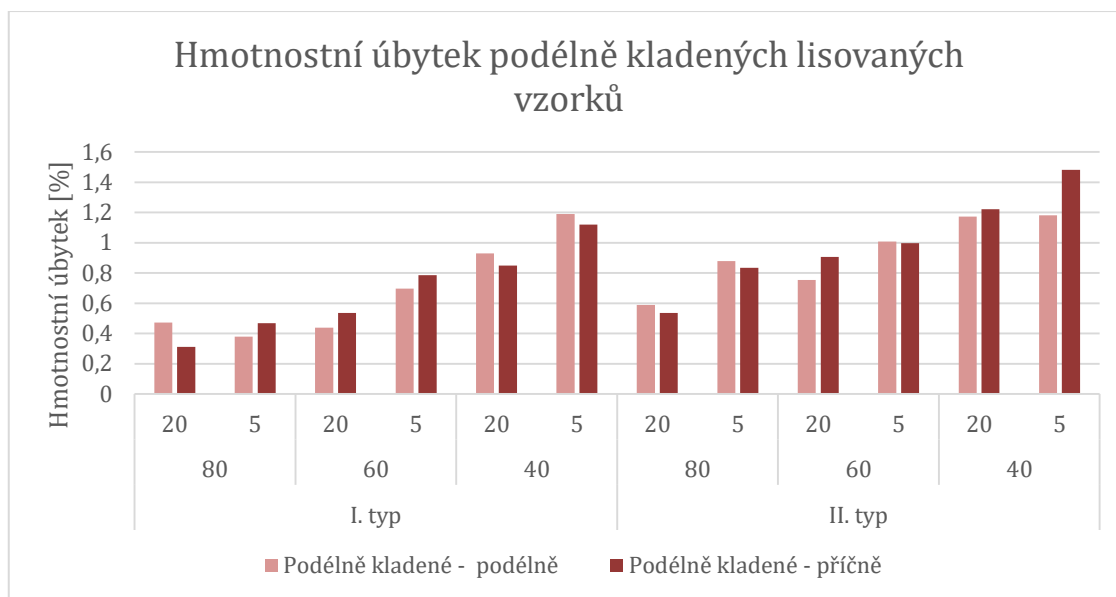
U každého vzorku v podélném i příčném směru docházelo pouze k částečnému vypálení bikomponentních vláken, ale nedošlo k šíření plamene. Dým nebyl příliš výrazný a jeho barva byla nejdříve bílá, přecházející v černou.



Graf č. 4 - Hmotnostní úbytek kolmo kladených lisovaných vzorků

Hmotnostní úbytky u kolmo kladených lisovaných vzorků byly v grafu č. 4 znatelnější, než u vzorků základních nelisovaných. S klesající tloušťkou a vyšším obsahem pojivých vláken jsou pozorovatelné zvyšující se hmotnostní úbytky materiálu po hoření. To může být dáno strukturou materiálu, kde se vlákna po lisování nacházejí ve větším kontaktu a dochází tak ke snadnějšímu přenesení zdroje hoření. Z uvedených hmotnostních úbytků je možné dále vypořadovat, že směr, ve kterém byly vzorky vystaveny plamenu, nemá značný vliv na úbytek hmotnosti.

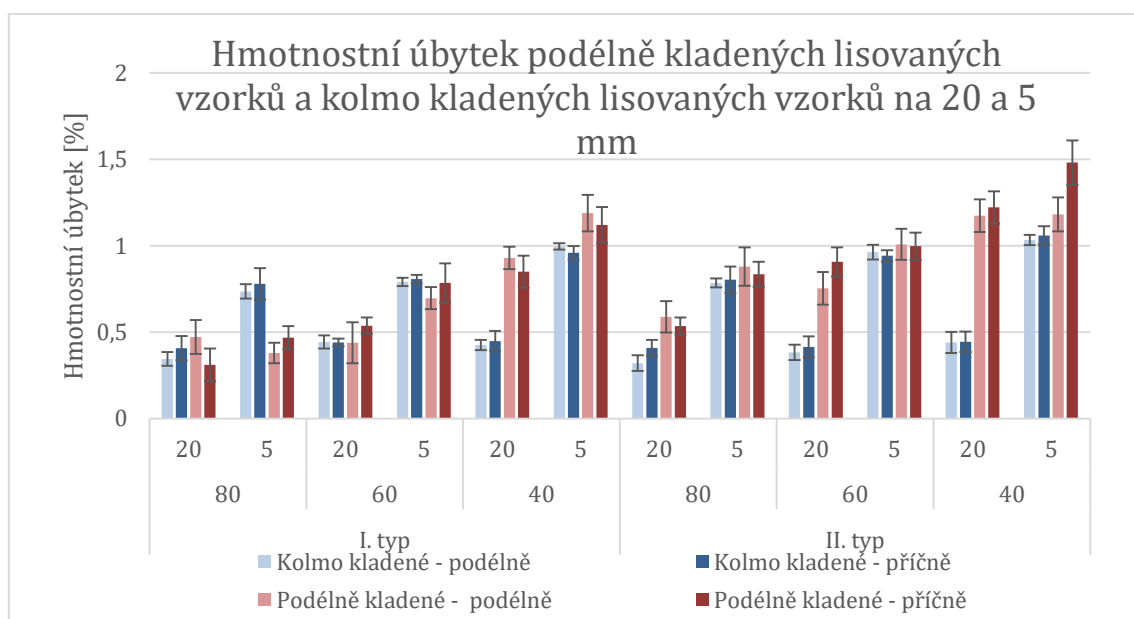
Lisované kolmo kladené vzorky v podélném i příčném směru vykazovaly u tloušťek 20 a 15 mm podobné pozorovatelné hodnoty jako u vzorků základních, nelisovaných a nedocházelo k téměř žádným pozorovatelným změnám během patnáctisekundového tepelného namáhání. Pouze u vzorků stlačených na 10 a 5 mm a převážně u II. typu Panoxových vláken docházelo ke krátkému vzplanutí, ale téměř okamžitému samozhášení. U vzorků s vysokým obsahem bikomponentu se čas do samozhášení prodloužil, ale opět se jednalo o řád několika sekund. Pokud byl vzorek zapálen, plamen se šířil pouze po lisovaném povrchu materiálu.



Graf č. 5 - Hmotnostní úbytek podélně kladených lisovaných vzorků

Podélně kladené stlačené vzorky na 5 mm vykazovaly v grafu č. 5 o něco málo nižší odolnost vůči hoření než vzorky kolmo kladené a jsou znatelné vyšší úbytky hmotnosti, což je viditelné ve sloučeném grafu č. 6.

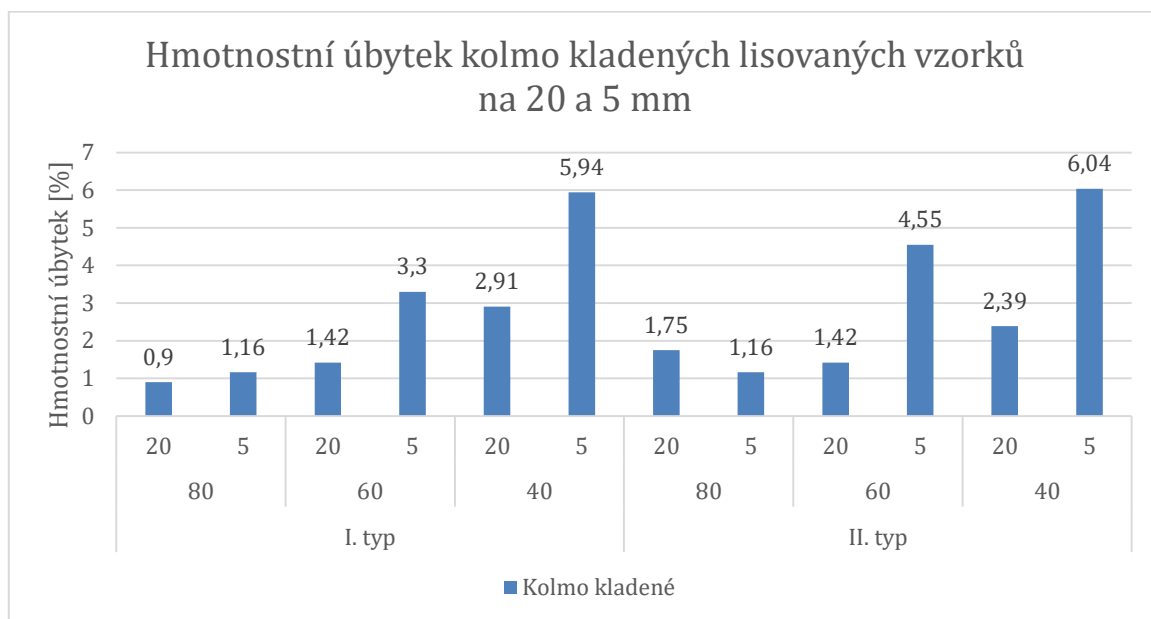
Vyšší úbytky jsou opět viditelné u II. typu Panoxových vláken bez obloučků a s větší staplovou délkou. I zde je viditelné, že směr, ve kterém byly vzorky tepelně namáhány, nemají zásadní vliv na rozsah hoření, ani hmotnostní úbytek materiálu.



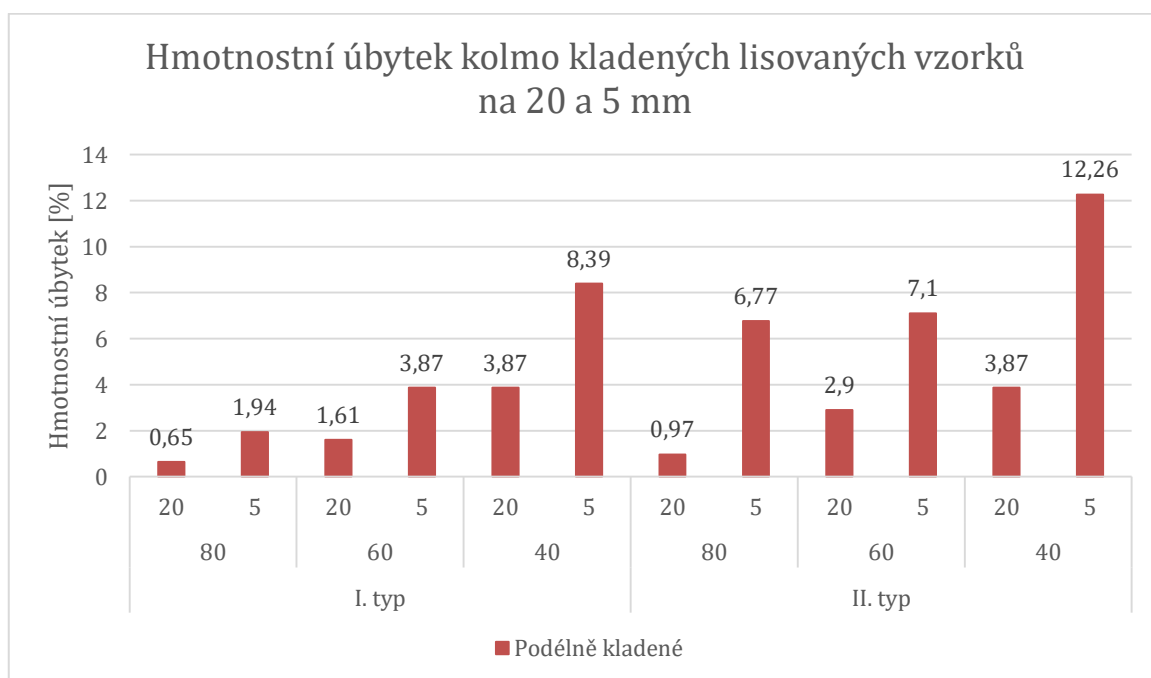
Graf č. 6 - Hmotnostní úbytek podélně kladených lisovaných vzorků a kolmo kladených lisovaných vzorků na 20 a 5 mm

2.6.2. Vyhodnocení - Spalovací zkouška dle normy VW 01000 (PV 3357)

Z výsledků této spalovací zkoušky byly též vytvořeny histogramy s procentuálními úbytky hmotností vzorků po spalování. V jednotlivých grafech jsou uvedeny hodnoty úbytků pro každý typ vlákna, procentuální zastoupení Panox vláken (80, 60 a 40 %) a lisovanou tloušťku 20 a 5 mm.

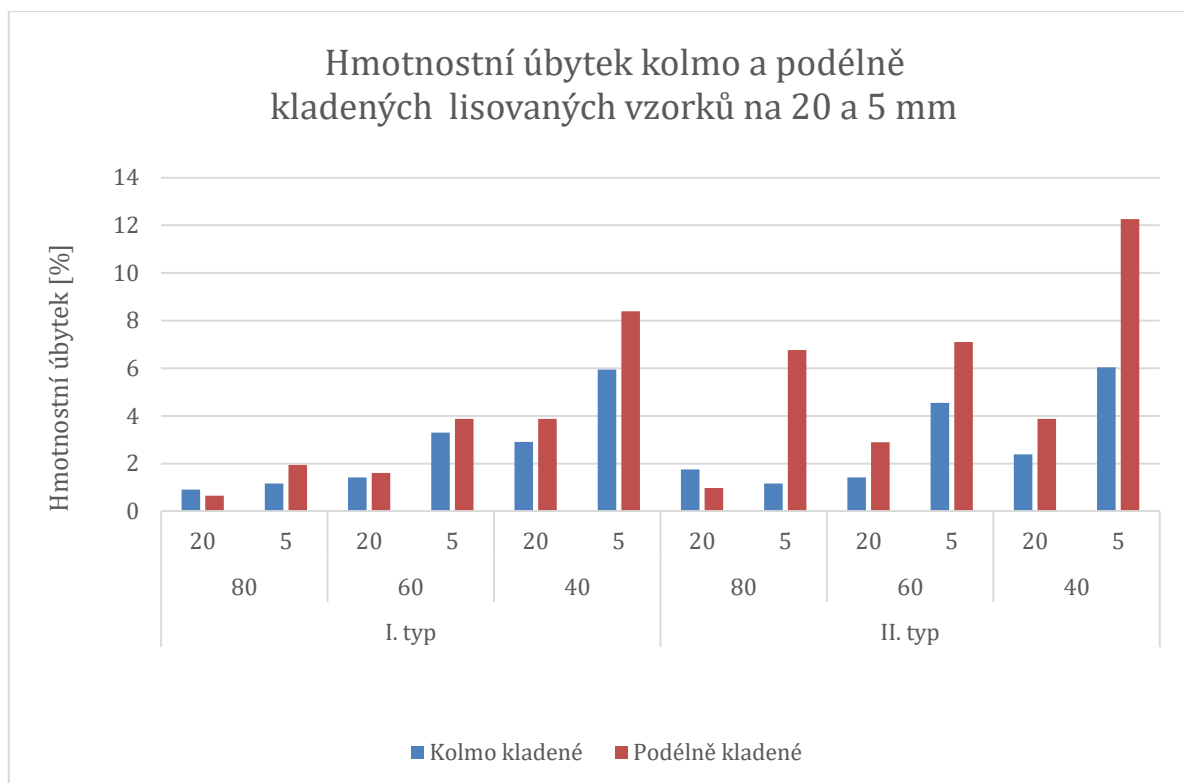


Graf č. 7 - Hmotnostní úbytek kolmo kladených lisovaných vzorků na 20 a 5 mm



Graf č. 8 - Hmotnostní úbytek kolmo kladených lisovaných vzorků na 20 a 5 mm

Z grafů č. 7 a 8 je zřejmé, že hmotnostní úbytky byly jak u kolmo kladených, tak i podélně kladených vzorků daleko vyšší než u předchozí spalovací zkoušky, to bylo dáno primárně delším trvání působení plamene na materiál, který místo 15 sekund působil deset minut



Graf č. 9 - Hmotnostní úbytek kolmo a podélně kladených lisovaných vzorků na 20 a 5 mm

Ze sloučeného grafu č. 9 je ovšem znatelné, že podélně kladený materiál má procentuální hmotnostní úbytky vyšší než materiál kladený kolmo. I zde platí, že hmotnostní úbytky rostou u vyšších procentuálních zastoupení pojivých vláken a u II. typu Panox vláken.

Při pozorování během spalovací zkoušky byl u podélně kladených vzorků stlačených na 5 mm znatelný značný rozdíl oproti ostatním dříve namáhaným vzorkům, kdy se na povrchu vzorku objevil plamen, který postupoval téměř po celém povrchu testovaného vzorku bez okamžitého samozhašení.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že kolmo kladený materiál vykazoval vyšší odolnost vůči hoření než materiál kladený podélně. Tento fakt může být odůvodněn strukturou materiálu, kdy u podélného kladení jsou jednotlivá vlákna v těsnějším uspořádání a kontaktu, než vzorky s kolmými sklady, tudíž může docházet ke snadnějšímu přestupu zdroje plamene na další vlákna ve struktuře. Stejný princip by se dal popsat u typů Panoxových vláken, kdy typ bez obloučků s delší staplovou délkou je hůře mykatelný a tvoří v pavučině nepromísené úseky s bikomponentními vlákny, ale i méně objemnou strukturu, kde všechna vlákna z důvodu chybějících obloučků jedné z komponent směsi přicházejí do většího kontaktu, oproti pavučinám vytvořených z obloučkovitých vláken, která mají vyšší tendenci k tvorbě načechraného materiálu s nižším počtem kontaktních míst. Tomu odpovídá i fakt, že všechny vzorky lisované na 5 mm vykazovaly vyšší hmotnostní úbytky materiálu a v některých případech docházelo i k šíření plamene, což opět odkazuje, že se snižující se tloušťkou rostl počet kontaktů mezi vlákny a tedy docházelo ke snadnějšímu přenesení plamene na okolní vlákna.

3. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá studiem hoření kolmo kladených netkaných textilií s obsahem nehořlavých vláken typu Panox v různých směsovacích poměrech s hořlavými bikomponentními vlákny a různými objemovými hmotnostmi vzorků.

Jelikož se touto problematikou s danými souvislostmi doposud nikdo nezabýval, nebyla do této chvíle zpracována žádná studie podobná této rozsáhlé práci, která může být značným přínosem k rozšíření vědomostí na toto téma.

Nejprve byly zjištěny základní vlastnosti vláken, jako je jejich morfologie, jemnost, délka, obloučkovitost a chování během spalování. Zároveň byla před samotnou výrobou vzorků testována jejich zpracovatelnost a soudržnost vyrobených pavučin, přičemž byla vlákna vyhodnocena jako vhodná pro výrobu. Následně vyrobené kolmo kladené vzorky s různými obsahy Panox a bikomponentních vláken, byly lisovány pro získání odlišných objemových hmotností. Takto vyrobené materiály byly testovány na odolnost vůči stlačení, ohybovou tuhost a hořlavost dle dvou norem. Pro porovnání vlivu struktury na hoření byl přivyroben ke kolmo kladenému i podélně kladený materiál.

Výsledky dle původního předpokladu prokazují, že jak ohybová tuhost, tak i odolnost vůči stlačení velmi závisí nejen na množství bikomponentních vláken ve směsi, ale i objemové hmotnosti materiálu. U obou norem testování hoření materiálu pak byly prokázány totožné výsledky, a to takové, že kolmo kladený materiál vykazoval vyšší odolnost vůči hoření než materiál kladený podélně. Vyšších odolností vůči hoření pak bylo dosaženo u vzorků s nižším obsahem pojivých bikomponentních vláken o nižších objemových hmotnostech.

Pro zajímavost byla k tomuto kolmo kladenému materiálu přilaminována vrstva SMS, přičemž se ukázalo, že u takto upraveného materiálu je výrazně snížena odolnost vůči hoření na jeho povrchu. Testování těchto laminací a dalších úprav povrchu kolmo kladeného materiálu s použitím Panox vláken, by tedy mohlo být předmětem dalšího zkoumání.

Vzhledem k prokazatelným výsledkům nehořlavosti kolmo kladeného materiálu s využitím Panox vláken, by mohl být tento materiál použit v nejrůznějších aplikacích mnoha odvětví, jako je automobilový průmysl, letectví, stavebnictví, apod., kde by se uplatnil ve formě izolací. Z tohoto důvodu by mohl být materiál podroben testování ke zjištění i dalších vlastností, jako je například prostup tepla či zvuku.

Použitá literatura

- [1] ALBRECHT, W., FUCHS, H., KITTELMANN, W. *Nonwovens Fabrics*, Wiley-VCH, Weinheim 2003. ISBN: 3-527-30406-1
- [2] KILINC, F. S. *Handbook of fire resistant textiles*. Manchester: Textile Institute, Woodhead Publishing series in textiles, 2013. ISBN 978-0-85709-123-9.
- [3] PAKOSTOVÁ, V. *Textilní vlákna* [online] Věra Pakostová, 2010 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2017/C5985/um/Textilni_vlakna-text_k_prednasce.pdf
- [4] SCHEIRS, J., LONG, T. E. *Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters*. John Wiley & Sons, 2005. ISBN 978-04-7009-067-1
- [5] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [6] Acrylic Fiber, *Definition of Acrylic Fiber*. [online]. Merriam, 2019 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/acrylic%20fiber>
- [7] Production processes, *The detailed production process* [online]. Dralon, 2019 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: <https://www.dralon.com/en/fiber-types/production-processes/>
- [8] Organická chemie, *Makromolekulární látky* [online]. Moje chemie, 2012 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: https://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1_Chemie:Makromolekul%C3%A1rn%C3%AD_1%C3%A1tky#Polyakrylonitril_PAN
- [9] POSPÍŠIL, Z. *Průručka textilního odborníka*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury (SNTL), 1981.
- [10] The first innovation and technology center dedicated for researching Polyacrylonitrile, *Polyacrylonitrile Properties* [online] IGTPAN, 2016 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: <http://www.igtpan.com/Ingles/propriedade-poli.asp>
- [11] PANOX®, *Oxidized PAN Fibers* [online] SGL Carbon, 2019 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: <https://www.sglcarbon.com/loesungen/material/panox-oxidierte-pan-fasern/>
- [12] LOY, W., *Chemiefasern für technische Textilprodukte*, Deutscher Fachverlag, 2008, ISBN 978-3-86641-197-5

- [13] HYNEK, M. a kolektiv, *Ka 03 - Pohledové díly* [online]. Plzeň: ZCU, Fakulta strojní, 2019 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_03_publikace/KA03.POHLEDOV-DLY.pdf
- [14] VONDRUŠKA, J. *Vliv finálních úprav na nehořlavé a fyziologické vlastnosti vybraných pletenin na bázi nehořlavých vláken*, Liberec, 2011. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [15] KRČMÁŘ, O. *Metody měření a vyhodnocení elektrostatických vlastností textilií*, Plzeň, 2013. Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [16] CMÍRALOVÁ, V. *Studium procesu hoření netkaných textilií*, Liberec, 2017. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [17] Figure, *Bicomponent fibers with different cross-sections*, [online] Researchgate, 2017 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: https://www.researchgate.net/figure/Bicomponent-fibers-with-different-cross-sections_fig3_316199134
- [18] Mikroskopické metody, *Mikroskopické metody*, [online] Wikiskripta, 2013 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: <https://www.wikiskripta.eu/w/Mikroskopické%20metody>
- [19] Popis mikroskopu, *Slovníček pojmů*, [online] Mikroskopy-Arsenal, 2018 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: <http://www.mikroskopy-arsenal.cz/jak-vybrat-mikroskop/slovnicek-pojmu/>
- [20] FUKA J., HAVELKA, B.: *Optika (fyzikální kompendium)*. SPN, Praha 1961.
- [21] ZERNIKE F.: *Physica I* (1934), 689-704. ISSN: 0031-8914
- [22] Mikroskopie, *Rozdělení mikroskopů*, [online] Juryko, 2013 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: <http://juryko.cz/mikroskopie/item/7-rozd%C4%9Blen%C3%AD-mikroskop%C5%AF>
- [23] KUO, John. *Electron microscopy: methods and protocols*, Methods in molecular biology. N. J.: Humana Press, 2007. ISBN 9781588295736.
- [24] REIMER L. *Scanning Electron Microscopy — Physics of Image Formation and Microanalysis*, Springer Series in Optical Sciences č. 45., Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1985. ISBN: 3-540-13530-8

- [25] VALENTA, Jan, *Spektroskopie jednotlivých molekul v blízkém optickém poli*, [online]. Vesmír [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1995/cislo-4/spektroskopie-jednotlivych-molekul-blizkem-optickem-poli.html>
- [26] TOMKOVÁ, B. *Zkoušení textilií - Přednáška č. 5: Geometrické charakteristiky vláken*, Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2015
- [27] ISO 137:2015 *Wool, Determination of fibre diameter, Projection microscope method*, International Organization for Standardization. American National Standards Institute, 2015
- [28] STANĚK, Jaroslav. *Standardizace textilních výrobků: učební text pro magisterská studia FT*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 92 s. ISBN 80-7372-030-2.
- [29] OCHERETNA, Larysa, *Přednáška č. 7*. [online]. SlidePlayer [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2437668/>
- [30] Tradiční lidový oděv na Moravě, *Příloha č. 2: Identifikace vláken*, [online]. Konzervovani.sci.muni, 2015 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <http://konzervovani.sci.muni.cz/?page=identifikace-vlaken>
- [31] JIRSÁK, O. a KALINOVÁ, K. *Netkané textilie*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003. 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- [32] ROGERS, G. L. *The Scholfield Wool-Carding Machines* [online]. Gutenberg, 2008 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: <https://www.gutenberg.org/files/27137/27137-h/27137-h.htm>
- [33] RUSSEL, S. J. *Handbook of nonwovens*. North America: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 2007. ISBN 1-85573-603-9.
- [34] CHVOJKA, J. *Termické a chemické technologie výroby netkaných textilií, Přednáška č. 2*, [online]. Technická univerzita v Liberci, Nanoed, 2018 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné online: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/9314/mod_resource/content/0/2.pdf
- [35] RIEDEL, John E. *Principles of nonwovens*. Cary, N. C.: INDA, Association of the Nonwoven Fabrics Industry, 1993.
- [36] ČSN EN 29073-1 (806131), *Textilie. Zkušební metody pro netkané textilie. Část 1: Zjišťování plošné hmotnosti*, Praha: Český normalizační institut, 1994
- [37] MACHÁŇ, J. *Nauka o materiálu pro 1. a 2. ročník SPŠG, studijní obor obalová technika*. Praha: SPN, 1990. Učebnice pro střední školy. ISBN 80-04-23455-0.

- [38] Elcometer, *Digitální tloušťkoměr Elcometer 456*, [online] Elcometer, 2019 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <https://www.elcometer.cz/elcometer-456/>
- [39] EDANA WSP 090.5.R4 (12), *Stiffness, Nonwovens Bending Length, Harmonized Test Methods Nonwovens and Related Industries*, 2012
- [40] *Hydraulické lisy, Vyhřívané lisy* [online] Pracovní stroje, 2019 [cit. 03. 04. 2019] Dostupné online: <http://www.pracovnistroje.cz/hydraulicke-lisy/vyhrivane-lisy/#vyhrivanelisy>
- [41] DIN 54305:1976-02. *Testing of textiles; determination of the compression elastic behaviour of fibrous webs and nonwovens*, DIN Standards Committee Materials Testing, 1976
- [42] VIK, M., VIKOVÁ, M. *Finální úpravy textilií V*, [online]. Liberec: TUL, Fakulta textilní, 2019 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <https://anzdoc.com/finalni-upravu-textilii-v-doc-ing-michal-vik-phd-ing-martina.html>
- [43] MILITKÝ, J. *Textilní vlákna: Klasická a speciální*. Liberec: TUL, Fakulta textilní, 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [44] Fire Resistance of Plastics, *Limiting Oxygen Index (LOI)*, [online]. Omnexus, 2019 [cit. 03. 04. 2019]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/fire-resistance-loi>
- [45] MASNICOVÁ, K. *Studium hoření kolmo kladených netkaných textilií upravených vodním sklem*, Liberec, 2017. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [46] ČSN ISO 3795:1989. *Stanovení hořlavosti materiálů použitých v interiéru vozidla*. 2. Praha: Český normalizační institut, 1994
- [47] DIN 50 014, *Standard atmospheres for conditioning and/or testing*, DIN Standards Committee Materials Testing, 2006
- [48] VW 01000 (PV 3357:2000-12), *Insulating Material, Behavior during Flame Exposure with a Burner Surface and Edge Flame Exposure*, 2000