

Studium hoření termicky spojených netkaných textilií

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Ondřej Novák

Vedoucí práce:

Ing. Klára Masnicová

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání bakalářské práce

Studium hoření termicky pojených netkaných textilií

Jméno a příjmení: **Ondřej Novák**
Osobní číslo: T18000106
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou hoření netkaných textilií a s dosud získanými výsledky v oblasti studia hoření netkaných textilií v závislosti na strukturních a materiálových parametrech.
2. Vypracujte rešerši na dané téma se zaměřením na termicky pojené netkané textilie, polyesterová a pojivá vlákna a vlákna se sníženou hořlavostí.
3. Navrhněte postup výroby a vhodnou řadu objemových hmotností sledované netkané textilie.
4. Vyrobené vzorky testujte dle norem na reakci na oheň.
5. Diskutujte získané výsledky a navrhněte další postup řešení problematiky.

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

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



Seznam odborné literatury:

- [1] ALBRECHTS, W., H. FUCHS, W. KITTELMAN and J. LÜNENSCHLOSS. *Nonwoven fabrics*. B.m.: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.
- [2] RUSSELL, S.J. *Handbook of nonwovens*. B.m.: Woodhead Publishing, 2007. ISBN 9781845691998.
- [3] BALTUŠNIKAITE, J., R. ŠUMINSKIENE, and R. MILAŠIUS. Influence of Woven Fabrics Structure upon Flammability Properties. *Materials Science*. 2006, 12(2), 167–170. ISSN 2029-7289.
- [4] FREIVALDE, L., S. KUKLE, M. ANDŽS, E. BUKŠANS and J. GRAVITIS. Flammability of raw insulation materials made of hemp. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2014, 67, 510–514. ISSN 13598368. Available at: doi:10.1016/j.compositesb.2014.08.007
- [5] HORROCKS, A. R. and D. PRICE. *Fire retardant materials*. B.m.: Woodhead Publishing Ltd, 2001. ISBN 0849338832.

Vedoucí práce:

Ing. Klára Masnicová
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

1. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

30. srpna 2021

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

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

30. srpna 2021

Ondřej Novák

Poděkování

Tímto bych chtěl velmi poděkovat Ing. Kláře Masnicové za cenná doporučení a hlavně množství volného času obětovaného během vedení této bakalářské práce. Taktéž bych rád poděkoval Bc. Filipu Sanetrníkovi za jeho pomoc v poloprovoze a konečně děkuji i mé rodině za podporu během studia.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je zmapovat změnu trendu v hořlavosti termicky pojené netkané textilie z čistě termoplastického materiálu v závislosti na změně hodnoty její objemové hmotnosti. Samotná spalovací zkouška byla prováděna na základě normy VW 01000 (PV 3357). Testované vzorky byly následně vyhodnocovány na základě velikosti prohořelé a plamenem zasažené plochy obrazovou analýzou prostřednictvím počítačového programu.

Klíčová slova

Hoření, netkané textilie, termické pojení, polyesterová vlákna, kopolyesterová vlákna, spalovací zkouška, mykání, příčné kladení.

Annotation

The aim of this bachelor thesis is to chart a change of flammability of thermally bonded nonwoven textile made of thermoplastic material according to change of its density. The combustion test itself was carried out according to VW 01000 (PV 3357) standard. Tested samples were then evaluated on the basis of the size of the burnt and affected area of by image analysis.

Key words

Burning, nonwoven textiles, thermal bonding, polyester fibers, copolyester fibers, combustion test, carding, perpendicular laying.

Obsah

Seznam jednotek a zkratk	9
1. Úvod.....	10
2. Teoretická část	11
2.1 Proces hoření	11
2.1.1. Definice hořlavosti	11
2.1.2. Proces hoření a jeho podmínky	11
2.2. Hoření polymerních materiálů	11
2.3. Hoření textilních materiálů	12
2.3.1 Vliv struktury netkaných textilií na jejich hořlavost	12
2.4 Nehořlavé úpravy netkaných textilií	13
2.4.1 Funkce zpomalovačů hoření	13
2.4.1.1 Fyzický způsob	13
2.4.1.2 Chemický způsob.....	14
2.5 Testování hořlavosti	14
2.5.1 Metody testování	14
2.5.1.1 LOI.....	14
2.5.1.2 Metody s vodorovným umístěním vzorku	15
2.5.1.3 Metody se svislým umístěním vzorku	16
2.5.1.4 Sálavé teplo.....	17
2.6 Netkané textilie	18
2.6.1 Definice netkaných textilií	18
2.6.2 Způsoby výroby NT	18
2.6.2.1 Příprava vláknenné vrstvy	18
2.6.2.2 Zpevnění vláknenné vrstvy	21
2.7 Použité materiály.....	23
2.7.1 Polyesterová vlákna.....	23
2.7.2 Pojivá vlákna	23
2.7.3 Pojivá kopolyesterová vlákna.....	24
3. Experimentální část.....	25
3.1. Cíl experimentu.....	25
3.2. Materiály a výroba vzorků	25
3.2.1 Použitý postup výroby vzorků.....	25

3.2.1.1 Příprava směsi	25
3.2.1.2 Mykání a kladení	27
3.2.1.3 Lisování	28
3.2.1.4 Příprava vzorků pro testování	28
3.2.2 Vytvoření testovací škály	29
3.2.2.1 Prvotní řada vzorků.....	29
3.2.2.2 Finální řada vzorků	30
3.3 Metodika zkoušky	32
3.3.1 Metodika vyhodnocování výsledků.....	33
3.3.2 Metodika vyhodnocování velikosti ploch	35
4. Výsledky	36
5. Závěr	42
6. Použitá literatura	44
7. Přílohy.....	46

Seznam jednotek a zkratek

mm	milimetr
cm	centimetr
g	gram
g/m^2	gram na metr čtvereční
kg/m^3	kilogram na metr krychlový
s	sekunda
kn	kilonewton
°C	stupně celsia
dTex	decitex
NT	netkaná textilie
PES	polyester
coPES	kopolyester
MD	machine direction
CD	cross direction
tzv.	takzvaný
obj.	objemový

1. Úvod

Netkané textilie mohou být při svém používání vystaveny situacím, kdy jsou více či méně tepelně namáhány a kdy může dojít k jejich vznícení. Takové situaci je samozřejmě silná snaha zabránit a to různými způsoby, ať už jde o aplikování zpomalovačů hoření na daný materiál, nebo přidávání nehořlavých vláken do vlákenné směsi.

Náchylnost textilního materiálu k jeho vznícení je ovlivněna množstvím faktorů jako je právě přítomnost nehořlavých vláken, náchylnost samotného základního materiálu textilie ke vznícení nebo samotná struktura vlákenné vrstvy. Experimenty předchozích prací zabývající se hořlavostí netkaných textilií zkoumaly závislost jejich hořlavosti, kromě změny hustoty, vzhledem ke změně koncentrace nehořlavých vláken ve směsi. Taktéž se zde měnil parametr hustoty vlákenné vrstvy i plošné hmotnosti. [7,13]

Hlavním cílem této práce bylo pozorovat závislost náchylnosti termicky pojené netkané textilie, vyrobené čistě z termoplastického materiálu, k jejímu hoření pouze na hodnotě její objemové hmotnosti, tedy zaplnění. Zároveň, protože byla vlákenná vrstva připravena mykáním s následným příčným kladením, byla zohledněna i prostorová orientace zkoušeného vzorku.

V teoretické části práce bude přiblížen proces hoření polymerních a textilních materiálů, možnosti jejich protipožární ochrany, způsoby testování hořlavosti a způsoby výroby netkaných textilií.

V části experimentální pak bude podrobně popsána výroba použitých vzorků, metodika provádění spalovacích zkoušek a způsob vyhodnocování výsledků.

Samotné výsledky pak budou prezentovány samostatně v poslední části práce.

2. Teoretická část

2.1 Proces hoření

2.1.1. Definice hořlavosti

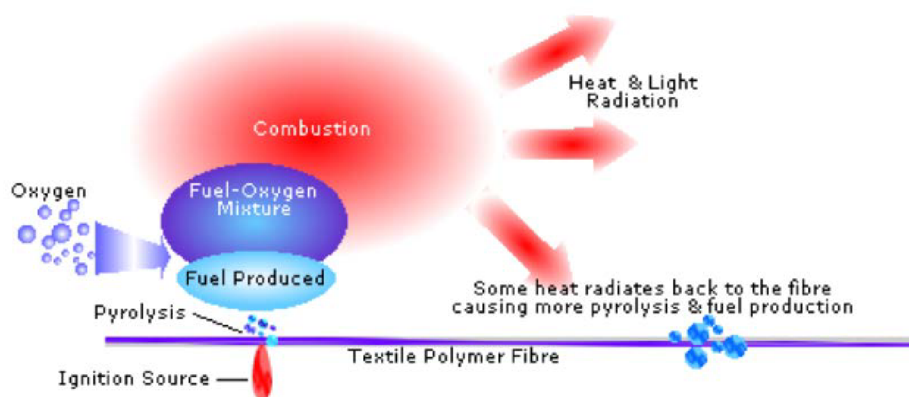
Za hořlavé materiály lze považovat takové, které se za běžných teplot, relativně snadno vznítí a jsou schopny dále hořet v běžné atmosféře (např. po krátkodobém vystavení plameni). Kromě chemického složení daného materiálu ovlivňuje jeho hořlavost také těkavost (hlavně u kapalných látek) a jeho struktura (u látek pevných). Bude rozdílně obtížné zapálit sirkovým plamenem např. papír, třísky a velké dřevěné poleno, přestože všechny tyto objekty jsou si svým chemickým složením velmi podobné. Hořlavost je zejména u konstrukčních materiálů velmi důležitou vlastností, která značně ovlivňuje kde a za jakých podmínek je lze či nelze využít, a je zjišťována různými normalizovanými zkouškami. [1]

2.1.2. Proces hoření a jeho podmínky

Hoření je redoxní exotermní reakce, tedy taková, která probíhá za vzniku světla a tepla. K tomu, aby mohl proces hoření probíhat, je nutné dodržet určité podmínky, konkrétně je nutná přítomnost hořlaviny/paliva, oxidačního prostředku (nejčastěji vzdušný kyslík), zdroj iniciace (plamen, jiskra apod.) a dosažení teploty hoření, tedy nejnižší teploty, kdy materiál po zapálení trvale hoří. [2]

2.2. Hoření polymerních materiálů

Jsou-li polymerní materiály, ať už syntetické či přírodní, vystaveny dostatečnému množství tepla, začnou se rozkládat na hořlavé složky. Pokud se tyto složky smísí se vzduchem resp. vzdušným kyslíkem a okolní teplota je dostatečně vysoká, dojde k jejich vznícení. Je-li pak tepelná energie uvolněná spalováním těchto hořlavých složek dostatečně velká k tomu, aby se polymerní materiál dostatečně rychle dále rozkládal na hořlavé produkty, je proces hoření samo udržitelný a může dále nabývat na síle (viz. obr. 1). [3]



Obr. 1: Schéma procesu šíření ohně [4]

2.3. Hoření textilních materiálů

Hoření textilních materiálů je poměrně složitý proces ve kterém hraje roli velké množství faktorů. Kromě charakteristiky zdroje zápalu a době, po kterou je mu materiál vystaven je to především charakteristická struktura textilních materiálů. Dále ale také teplota materiálu, teplota okolního prostředí, rychlost proudění okolního vzduchu nebo samotné místo zápalu (zda se nachází na hraně či v ploše). U samotných vláken je jejich náchylnost ke vzplanutí dána především teplotou, kdy u materiálu dochází k pyrolýze a také teplotou vznícení. Čím jsou tyto teploty nižší, tím lze vlákno považovat za více hořlavé. Svou roli hraje taktéž i geometrie vlákna, především jeho průměr. U textilních materiálů je však jejich chování při hoření dáno ne zcela chováním samotných vláken, ale spíše jejich uspořádáním v textilií. Zde hraje roli jejich orientace (zda je vůči postupu plamene příčná, podélná nebo isotropní) a také to jak je jimi prostor v textilií zaplněn, což ovlivňuje přístup vzduchu a tedy kyslíku k hoření. Zde ovšem také hraje roli, zda materiál hoří na povrchu nebo v objemu. [3]

2.3.1 Vliv struktury netkaných textilií na jejich hořlavost

Proces hoření netkaných textilií je značně ovlivněn jejich mikrostrukturou a makrostrukturou. Za mikrostrukturu lze považovat samotná vlákna resp. jejich vlastnosti a makrostruktura pak označuje způsob uspořádání textilie jako celku. U nehořlavých netkaných textilií závisejí jejich vlastnosti na tloušťce a plošné hmotnosti. Stejně tak bude mít výrazný vliv přítomnost nehořlavých vláken ve vlákenné vrstvě dané textilie a také jejich prostorová orientace ve vlákenné vrstvě. [5]

2.4 Nechořlavé úpravy netkaných textilií

V současné době nacházejí netkané textilie stále více využití v oblastech, kde je nutné použít nehořlavou úpravu. Tyto textilie se vyrábí z pravidla ze syntetických vláken, zejména z polyolefinů, polyesterů a nylonů, což jsou samy o sobě materiály vysoce hořlavé. Tento fakt je nutné vzít v potaz obzvláště dnes, kdy jsou ve spoustě technických řešení polymerními materiály nahrazovány materiály tradiční a dražší. [6]

Nechořlavých úprav netkaných textilií lze dosáhnout primárně dvěma způsoby a to buď za použití chemických přípravků zpomalujících hoření, jež jsou aplikovány na povrch vláken použitých při výrobě nebo na povrch samotné textilie, nebo je modifikován přímo materiál samotných vláken při jejich výrobě (modifikace vláken ve hmotě). [6]

2.4.1 Funkce zpomalovačů hoření

V procesu hoření existuje několik na sebe navazujících fází. Ohřátí paliva, jeho zapálení, šíření plamene a vzniku spalin, přičemž teplo uvolněné ze spalování dále rozkládá polymerní materiál na hořlavé produkty, jež dále podporují hoření a plamen se tak šíří. Zpomalovače hoření jsou tedy látky, které jsou schopny zasáhnout do jednoho nebo několika těchto kroků ve spalovacím procesu. Konkrétně se tak děje několika různými způsoby, jež lze rozdělit do dvou základních skupin. U polymerních materiálů je cílem těchto látek podstatně ztížit možnost zapálení daného materiálu a/nebo pokud k němu dojde, pak učinit proces hoření co nejméně efektivní. [6]

2.4.1.1 Fyzický způsob

- Vytvořením ochranné vrstvy, při vystavení teple, o malé tepelné vodivosti, která je tak schopna omezit prostup tepla od zdroje dále do materiálu.
- Ochlazením spalovaného materiálu pod teplotu, kdy se proces hoření není schopen udržet. Toho lze dosáhnout tím, že reakce při níž daný zpomalovač hoření degraduje je endotermní.
- Rozptýlení paliva. Při vystavení teple se ochranná látka rozkládá na nehořlavé plyny, které tak mohou ztížit podmínky pro hoření jak v samotném materiálu, tak i snížením kyslíkového čísla v bezprostředním okolí spalování. [6]

2.4.1.2 Chemický způsob

- Reakce v pevné fázi, kterých se zde mohou odehrávat dva druhy. Buď dojde k tomu, že vlivem zpomalovačů hoření, polymer při hoření degraduje výrazně rychleji a tím se zbývající polymerní materiál vzdálí od dosahu plamene, který následně vlivem nedostatku paliva uhasne nebo daný zpomalovač vytvoří na povrchu textilie, pod působením plamene, zuhelnatělou izolační vrstvu.
- Reakce v plynné fázi, kdy je zpomalovačem hoření narušen proces uvolňování rozkladných plynných hořlavých produktů reakce a tím se zamezí hoření v jeho šíření.

[6]

2.5 Testování hořlavosti

Způsobů testování hořlavosti textilních materiálů existuje poměrně velké množství, které je dáno různým použitím textilních materiálů v různých prostředích. Jednotlivé druhy zkoušek se pak snaží napodobit nejpravděpodobnější podmínky pro případné vzplanutí daného výrobku, ke kterému by mohlo dojít během jeho užívání. Průběh každé zkoušky se tedy může lišit místem zapálení vzorku (nahraň nebo v ploše), jeho geometrickým uspořádáním v prostoru (svislé, vodorovné, šikmé nebo obloukové) nebo způsobem samotného zapálení (plamen, jiskra, cigareta, infračervené záření apod.). [3]

2.5.1 Metody testování

Každý test je pak přesně definován příslušnou normou, které se i u testování stejného typu mohou více či méně lišit pro každou část světa (např. v EU, USA, Číně apod. jsou často používány různé normy, přestože se věnují shodné problematice). V následujících odstavcích jsou stručně popsány vybrané způsoby testování hořlavosti textilních materiálů. [7]

2.5.1.1 LOI

Limitní kyslíkové číslo (LKČ) resp. LOI (Limiting oxygen index) udává hodnotu minimální procentuální koncentrace kyslíku ve směsi s dusíkem při které je daný materiál schopen hořet, přičemž je tato hodnota vyjádřena v objemových procentech. Tato hodnota se od 60. let využívá k určení relativní hořlavosti materiálů pomocí normalizované zkoušky dle normy ISO 4589. [8]

Materiály, jež mají LOI nižší než 21% (koncentrace kyslíku v zemské atmosféře), jsou považovány za hořlavé. Naproti tomu ty materiály, jejichž LOI je vyšší než 21%, jsou považovány za samozhášivé, pokud je jejich proces hoření, při pokojové teplotě, dále neudržitelné bez přispění externího energetického zdroje, tedy materiál se sám "zahasí". Hodnota LOI je však u téměř každého materiálu závislá také na teplotě daného materiálu a okolního prostředí, kdy s rostoucí teplotou se hodnota LOI snižuje. To znamená, že materiály, které se za pokojové teploty jeví jako samozhášivé, se mohou při zvýšených teplotách (např. požár v místnosti) chovat jako hořlavé. Nutné je také podotknout, že pokud se testovaný polymerní vzorek při zkoušce taví a tato tavenina z něj dále odkapává, může tím dojít k zahašení plamene a zkreslení výsledků dané zkoušky. [8]

I přes to ale metoda hodnocení hořlavosti materiálů stanovením hodnoty LOI zůstává v současnosti nejdůležitějším způsobem, jak charakterizovat odolnost materiálu proti vzplanutí a jeho hoření. [8]

2.5.1.2 Metody s vodorovným umístěním vzorku

Tento způsob orientace vzorku se používá pro zjištění hořlavosti textilních materiálů velmi často.

ČSN ISO 3795 - Stanovení hořlavosti materiálů použitých v interiéru vozidla

Vzorky se ze zkoušeného materiálu připravují nejméně v pěti kusech a pokud se rychlost hoření v závislosti na směru liší, zhotoví se vzorky tak, aby se měřila nejvyšší rychlost hoření. Rozměry vzorku jsou 356 mm x 100 mm, přičemž tloušťka nesmí přesáhnout 13 mm a nesmí v délce nebo šířce kolísat (pokud nevyhovuje, musí se vhodně upravit). Nakonec je nutné vzorky ponechat klimatizovat po dobu nejméně 24 hodin při teplotě $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti 50%. Vzorek je uchycen ve spalovací komoře v tzv. U držáku ve vodorovné poloze a následně je vystaven definovanému nízkoenergetickému plameni po dobu 15 sekund. Pokud vzorek začne hořet, určuje se, zda a kdy plamen zhasne, popř. čas, za který urazí určitou vzdálenost. Pokud vzorek hořet nezačne nebo v hoření, po zhasnutí hořáku, dále nepokračuje, nebo plamen zhasne před tím, než dosáhne prvního měřícího bodu, je rychlost hoření vyhodnocena jako 0 mm/min. Doba, po kterou se měří rychlost hoření, je započata ve chvíli, kdy plamen dosáhne prvního měřícího bodu a končí se okamžikem, kdy dosáhne druhého měřícího bodu. Z poměru velikosti této dráhy a času je vypočtena rychlost hoření [mm/min]. [9]

Velmi obdobně pak probíhá zkouška hořlavosti u materiálů použitých v interiérech vozidel např. i u často používané normy **TL 1010**. [9]

Tabletový test

U této metody je zdrojem plamene methenaminová tableta, která je umístěna na vodorovně orientovaný vzorek do jeho středu, jež je následně zapálena přiblížením zápalky a ponechá se vyhořet. Po jejím vyhasnutí, případně úplném vyhasnutí zkoušeného vzorku, je měřen maximální průměr vyhořelé plochy na zkoušeném materiálu. Průběh této metody je blíže definován normou **BS 6307**. [10]

Obdobně pak probíhá i tzv. maticový test dle normy **BS 4790**, kdy je do středu orientovaného vzorku umístěna zahřátá nerezová matice M16. [11]

Cigaretový test

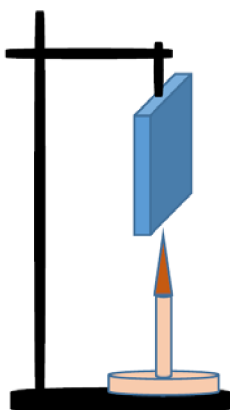
Používá se zpravidla pro stanovení informativní hořlavosti bytových textilií. Zdrojem ohně je zde běžně dostupná cigareta, která je před zapálením označena 5 a 55mm od místa zápalu a poté je položena na zkoušený vzorek. Je zaznamenáván čas, po který hoří označená oblast a po šedesát minut od ukončení zkoušky (dohoření cigarety ke druhé značce) je vzorek pozorován, zda nedojde k progresivnímu doutnání. Metodu popisuje norma **BS 5852**. [12]

2.5.1.3 Metody se svislým umístěním vzorku

VW 01000 (PV 3357)

Tato norma popisuje způsob provedení zkoušky hořlavosti textilních a kompozitních materiálů používaných v interiérech silničních vozidel a v motorovém prostoru a to konkrétně jejich vystavením účinkům plamene po krátký nebo dlouhý čas. Dále lze zkoušku provádět vertikálně nebo horizontálně. V experimentu této práce byla zvolena zkouška vertikální s vystavením vzorku plameni po krátký čas.

Aparatura pro vertikální zkoušku hořlavosti se skládá ze stojanu s mechanismem pro uchycení vzorku, plynového kahanu a mechanismu pro jeho přiblížení a oddálení od vzorku (viz. obr. 2). Jako palivo se používá propan případně plyn o stejné výhřevnosti. Vzorek musí být umístěn tak, aby jeho spodní strana byla 30 mm nad vrškem kahanu, přičemž výška plamene je stanovena na 40 mm. Rozměry vzorku jsou stanoveny na 200 x 230 mm a test musí probíhat minimálně dvakrát na různých vzorcích. [13]



Obr. 2: Schéma testovací aparatury dle normy VW 01000 [13]

Při samotné zkoušce je vzorek vystaven plameni po dobu 15 s a poté je plamen oddálen. Stěžejní hodnotou je zde čas po který vzorek hoří. Ten je definován jako čas mezi vzplanutím vzorku (nikoli čas od vystavení vzorku plameni) a úplným vyhasnutím ohně. Zároveň je pozorováno chování vzorku (výskyt kouře, odkapávání materiálu apod.). [13]

Zápalkový test

Tato zkouška slouží k určení informativní hořlavosti textilií všeobecně. Pod svisle umístěný vzorek je 10 mm pod jeho spodní okraj umístěna klasická dřevěná zápalka, jež se ponechá ve vodorovné poloze vyhořet asi do jedné třetiny své délky. Pokud vzorek začne hořet, je zápalka oddálena. V takovém případě je vyhodnocena délka zuhelnatění, jež je stanovena jako rozdíl hodnot délky vzorku před zkouškou a délky od horního okraje k místu úplného zuhelnatění. Tuto metodu popisuje norma **ČSN 80 0824**. [14]

2.5.1.4 Sálavé teplo

Tento typ zkoušek se používá např. pro materiály k výrobě oděvů chránících před teplem a materiálů používaných ve stavebnictví. Podstatou zkoušky je vystavení materiálu sálavému teplu o definovaném energetickém toku. [15]

2.6 Netkané textilie

2.6.1 Definice netkaných textilií

Netkaná textilie (Dále jen NT) je v současnosti definována jako vlákenná vrstva, která je vyrobena z jednosměrně či náhodně orientovaných vláken jež jsou spojena třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí. Mezi tyto materiály se neřadí papír nebo výrobky nebo výrobky zhotovené tkaním, pletením, všíváním, proplétáním či plstěním. [16]

2.6.2 Způsoby výroby NT

Proces výroby NT se dělí na tři základní kroky. Prvním krokem je vytvoření vlákenné vrstvy, následuje její zpevnění a na závěr lze aplikovat různé finální úpravy. V následujícím stručném přehledu způsobů výroby NT se pak budu nejpodrobněji věnovat popisu toho způsobu, jež byl použit k vytvoření textilních vzorků použitých v experimentální části této práce. [16]

2.6.2.1 Příprava vlákenné vrstvy

Aerodynamická výroba

Při této výrobě je vlákenná surovina rozvolněna pracovním povlakem šhubacího válce a ojednocená vlákna jsou pak proudem vzduchu přiváděna a ukládána na pohybující se síťový dopravník. Tím vzniká vlákenná struktura s nahodile orientovanými vlákny a tedy velkou mírou isotropie mechanických vlastností. Dále je také možné vytvářet vrstvy velmi objemné. Naopak nevýhodou je zde nízký stupeň ojednocení vláken šhubacím válcem a tedy možnost jejich vzájemného zaplétání. [16]

Hydrodynamická výroba

Tento způsob výroby, také nazývaný jako mokrý, je odvozen od výroby papíru. Podstata procesu je ve smočení a dispergaci vláken ve vodě, následném dopravení suspenze k nekonečnému pohyblivému síťovému pásu, na kterém dojde filtrací suspenze k vytvoření vlákenné vrstvy. Takto vzniklá vrstva se dále suší a je připravena k případnému následnému zpevnění. Tento proces je velmi nákladný nejen díky ceně používaných zařízení ale i z důvodu vysokých nároků na filtraci použité vody. [16]

Příprava vrstev z taveniny

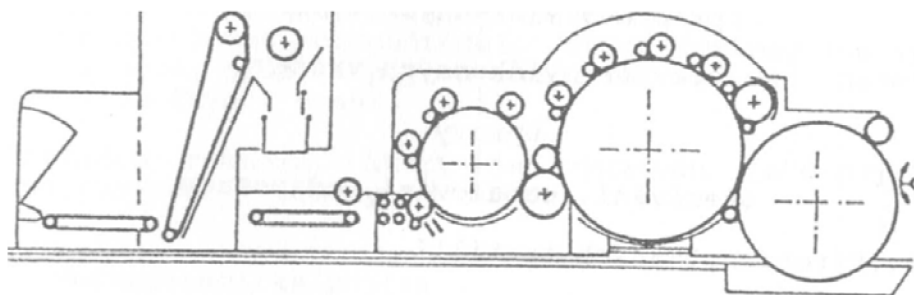
Zde se vlákenná vrstva vytváří přímo z taveniny polymeru, což lze provést několika způsoby. Nejvíce používaným z těchto procesů je technologie **spun-bond**, kdy se v extrudéru roztaví polymerní granulát a tavenina je následně protlačena zvlákňovacími tryskami. Následuje dloužení a ochlazování vzniklých filamentů, které jsou ukládány na sítový dopravník. Dalším způsobem výroby je technologie **melt-blown**, kdy je vlákenná vrstva tvořena na porézním sběrném pásu či bubnu rozfukováním taveniny polymeru horkým proudem vzduchu. Tavenina je protlačena zvlákňovacími otvory a stržena proudem vzduchu. K tvorbě krátkých vláken dochází za letu mezi zvlákňovací hubicí a sběrným válcem. Posledním z často používaných způsobů je technologie **elektrostatického zvlákňování**, kdy je tavenina nebo roztok polymeru formován do podoby vláken působením silného elektrostatického pole. Při dosažení tzv. kritického napětí překonají elektrické síly sílu kapilární a dojde k vytvoření tzv. Taylorova kužele prostřednictvím kterého je polymer dopraven na sběrný materiál. [16]

Mechanický způsob výroby

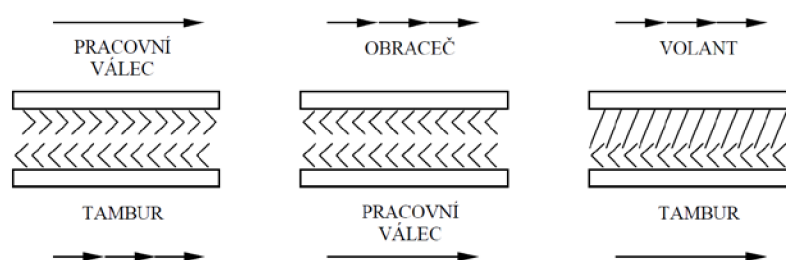
Mykání

Podstatou tohoto způsobu přípravy vlákenné vrstvy je vytvoření vlákenné pavučiny, jež se dále vrství. K tomuto účelu se využívají válcové mykací stroje a to jak víčkové (bavlnářské) tak válcové (vláňářské) (viz. obr.3). Z pravidla se však více využívají stroje válcové, neboť mají oproti víčkovým podstatně vyšší výrobnost. V současnosti se jejich výrobnost pohybuje mezi 200 - 1000 kg/hod (u víčkových strojů je výrobnost zhruba 5 - 30 kg/hod). [16]

Základem válcového mykacího stroje je soustava válců, jejichž povrchy jsou opatřeny pilkovými či drátkovými pracovními povlaky. Hroty těchto povlaků jsou vůči sobě na válcích ve vzájemném postavení **na mykání** (hlavní válec - pracovní válec), **na snímání** (obraceč - pracovní válec) nebo **povytažení** (volant - hlavní válec) (viz. obr. 4). Během mykání dochází mezi hlavním a pracovním válcem k ojednocování a napřimování jednotlivých vláken do podélného směru. Takto vzniklá vrstva vláken přechází na snímací válec, odkud je sčesávána sčesávacím hřebenem, čímž vzniká vlákenná pavučina. [16]



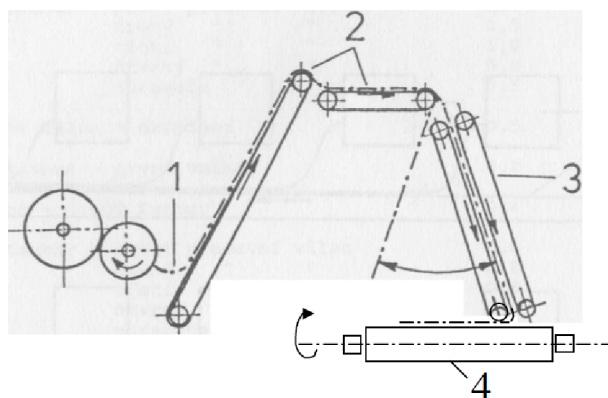
Obr. 3: Schéma válcového mykacího stroje [16]



Obr. 4: Znárodnění postavení pracovních povlaků na válcích mykacího stroje [16]

Vrstvení vláknenné pavučiny

Pavučina vystupující z mykacího stroje má plošnou hmotnost běžně 5 - 30 g/m² a pro výrobu lehkých NT je možné takovou pavučinu přímo navést do zpevňovacího zařízení. Pokud je ale potřeba dosáhnout vyšších plošných hmotností budoucí NT, lze toho dosáhnout vrstvením této výchozí pavučiny. U lehkých NT je možné uspořádat několik mykacích strojů za sebou a plošnou hmotnost pavučiny tak násobit (asi do 100g/m²). Pro dosáhnutí vyšších plošných hmotností a vyšší isotropie se využívá tzv. příčné kladení, kdy se pavučina vrství na odváděcí pás, jež se pohybuje ve směru kolmém ke směru přívodu pavučiny. To lze provádět pomocí horizontálního nebo vertikálního příčného kladeče (viz. obr. 5). [16]



Obr. 5: Schéma vertikálního příčného kladeče pavučiny. 1-pavučina z mykacího stroje, 2- přiváděcí dopravníky, 3-dvojice výkyvných kladečích pásů, 4-odváděcí dopravník [16]

2.6.2.2 Zpevňování vláknenné vrstvy

Mechanický způsob zpevňování

Podstata tohoto způsobu zpevňování vláknenných vrstev spočívá ve vzájemném provázání jednotlivých vláken jejich přeorientováním a soudržnost dané vrstvy je tak dána třecími silami mezi vlákny. Velmi používaným a starým procesem je technologie **vpichování**, kdy je vláknenná vrstva propichována soustavou vpichovacích jehel, čímž dochází v místě vpichu k přeorientaci a zapletení vláken do sebe. Během tohoto procesu dochází kromě zpevnění i k výrazné redukci tloušťky materiálu. Dále lze vláknennou vrstvu zpevnit **paprsky vody**. V podstatě jde o podobný princip jako u technologie vpichování, ovšem na místo jehel prochází materiálem vodní paprsky. Po samotném zpevnění tak vždy následuje odždímání vody zachycené v textilií a její sušení v bubnových horkovzdušných sušárnách. Díky tomu je tento proces sterilnější a lze jej využít např. pro výrobu různých zdravotnických textilií apod. Výhodou je velká výrobnost (10 - 50 m/min), ovšem opět je zde nutnost recyklace použité provozní vody, vysoké investiční náklady a proces je díky nutnosti sušení i velmi energeticky náročný. [16]

Chemický způsob zpevňování

U chemického pojení je proces složen vždy z aplikace pojiva na vláknennou vrstvu, zpevnění pojiva, odstranění disperzního prostředí a nakonec ztužení pojiva. Jednotlivé technologie se pak liší ve způsobu nanášení pojiva na vrstvu a způsobu jeho zpevnění. Pojiva lze nanášet **impregnací** - vrstva prochází nádobou s disperzí pojiva, **stříkáním** - využívá se stříkacích

pistolí a pojivo ulpívá na vláknech převážně v blízkosti povrchu, **tiskem a raklí** - dochází k vytvoření spojitě vrstvy pojiva na povrchu textilie a **nanášením zpěněných pojiv** - dochází ke zpěnění pojiva, což přináší řadu výhod jako např. zvýšení objemu pojiva napěněním vede ke snížení jeho spotřeby a pojivo v textilií nevytváří typické segmentové struktury. Výsledkem to je pak vyšší tažnost a ohebnost vzniklé textilie. [16]

Dalším důležitým krokem je zpevnění pojiva naneseného na vlákenné vrstvě. To lze provést jeho koagulací nebo síťováním. Koagulace se dnes dosahuje nejčastěji odstraněním (vypařením) disperzního prostředí nebo využitím termosenzibilizátorů. Při síťování vzniká trojrozměrná struktura pojiva a provádí se zpravidla až po vysušení vodné složky zvýšením teploty vrstvy na potřebnou hodnotu. [16]

Termický způsob zpevňování

Podstatou tohoto způsobu zpevňování vlákenné vrstvy je v roztavení termoplastického pojiva zaneseného do prostoru mezi pojená vlákna, čímž dojde k formování pojicích míst a jejich následném zpevnění ochlazením zpevňované vrstvy. Jako pojivo může být použit termoplastický prášek, folie, mřížka a nebo tavitelná bikomponentní vlákna, jež jsou během přípravy vlákenné vrstvy smíšena se základním materiálem. Stěžejním faktorem je zde adheze pojidla k pojenému materiálu, na kterém závisí především mechanická pevnost vzniklé textilie. Obecně pak lze říci, že adheze mezi různými polymerními materiály je tím vyšší, čím si jsou tyto materiály chemicky podobnější. Pro pojení polyesterových vláken tak jsou nejvhodnější pojidla z kopolyesteru. [16]

Způsoby ohřevu materiálu mohou být **kalandrem** - vrstva prochází mezi dvěma vyhřívanými válci, kdy dojde k jejímu stlačení a ohřevu pojidla, **teplovzdušně** - vrstva prochází horkovzdušnou komorou, **ultrazvukem** - materiál je sevřen mezi sonotrodu a podložku a kmitavá energie sonotrody je v materiálu přeměňována na tepelný kmitavý pohyb molekul a konečně **infračerveným zářením** - na povrch materiálu se nechá dopadat infračervené záření z něhož se část odrazí a část pohltí. Pohlcením záření se zvyšuje teplota materiálu. [16]

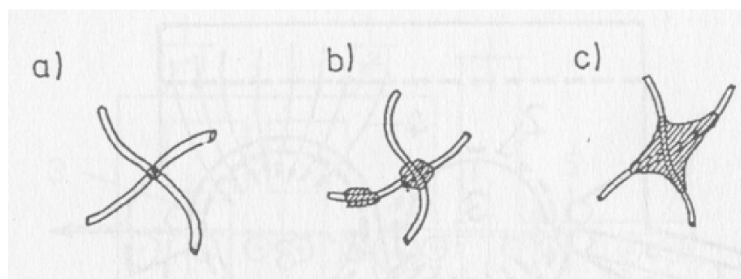
2.7 Použité materiály

2.7.1 Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna jsou polymerní vlákna, která ve své struktuře obsahují esterovou funkční skupinu. Mají dlouhodobě největší hmotnostní podíl ve výrobě syntetických vláken. Z nich jsou pak nejvíce vyráběna vlákna z polyethylentereftalátu a to nejen díky svým dobrým uživatelským vlastnostem a přijatelným ekonomickým nákladům na výrobu, ale zejména díky širokým možnostem modifikace vlastností tohoto materiálu i v oblasti protipožární ochrany.[17] I z tohoto důvodu dnes polyesterová vlákna mají největší zastoupení ve výrobě syntetických vláken a tento podíl se stále zvyšuje. [18] Běžně se kyslíkové číslo neupravovaných vláken pohybuje v rozmezí 20% - 23%, tedy jsou považována za hořlavá, [4] ovšem aplikací různých zpomalovačů hoření lze kyslíkové číslo zvýšit až nad 30%. [19]

2.7.2 Pojivá vlákna

Tato vlákna jsou vyrobena z termoplastického materiálu a při zahřátí vlákně vrstvy dojde k jejich částečnému nebo úplnému roztavení a vytvoření pojivých míst. Tato místa se následně zpevní ochlazením vrstvy. Pojivá vlákna mohou být bikomponentní, kdy je pouze část vlákna tvořena materiálem pojiva nebo monokomponentní, kdy je celé vlákno tvořeno pojivem. K promísení pojivých vláken s vlákny základního materiálu dochází během přípravy vlákně vrstvy v mísících komorách, mísících čechradlech, mykacích strojích apod. Během toho je důležité, aby bylo dosaženo vysokého stupně ojednocení pojivých a pojených vláken podobně jako při zpracovávání vlákně směsí v přádelnách. Pokud by tak nabylo učiněno dostatečně, mohly by se v základním materiálu vyskytnout celé neojednocené shluky pojivých vláken, což by vedlo k nižšímu využití pojiva a zhoršení mechanických i uživatelských vlastností textilie. Pojením těmito vlákny pak vzniká tzv. aglomerační struktura (viz. obr. 6). [16]



Obr. 6: Typy aglomerační struktury při pojení termoplastickými vlákny. a) bikomponentními, b) monokomponentními, c) pojení za tlaku

1.7.3 Pojivá kopolyesterová vlákna

Kopolyesterová pojivá vlákna, ať už bikomponentní či nikoli, jsou u termicky pojených netkaných textilií vhodným pojivem pro vlákna polyesterová. Díky chemické podobnosti obou materiálů má toto pojivo k základním vláknům velmi dobrou adhezi, která je stěžejní vlastností pro dobré mechanické vlastnosti zpevněné vrstvy. [16]

Samotný kopolyester je kopolymerní materiál, tedy polymer, jehož hlavní řetězec je složen nejméně ze dvou druhů monomerů. Tím lze značně modifikovat nejen mechanické vlastnosti materiálu ale např. i jeho chemickou nebo tepelnou odolnost. V případě materiálu pro pojivá vlákna je tedy vhodné modifikovat materiál tak, aby jeho teplota tání byla nižší, než u klasického polyesteru. [20]

3. Experimentální část

3.1. Cíl experimentu

Cílem experimentu této práce je zmapovat, zda a případně jakým způsobem je hořlavost netkané textilie závislá na její měrné hmotnosti a zaplnění. Cílem je vytvořit dostatečné množství vzorků termicky pojené netkané textilie s různými hodnotami objemové hmotnosti, jež budou následně podrobeny spalovací zkoušce dle normy VW 01000 (PV 3357). Zohledněna bude také prostorová orientace vzorku, z důvodu použití příčného kladení při výrobě. Míra, kterou daný vzorek podléhá procesu hoření je stanovena jako procento plochy daného vzorku zasažené plamenem.

Požadovaná objemová hmotnost daného vzorku bude dána mírou slisování resp. jeho tloušťkou za předpokladu, že vlákenná vrstva, z níž je vyroben, má známou a konstantní plošnou hmotnost. Po zvolení vhodného rozmezí hodnot měrných hmotností pak budou vyrobeny série vzorků o různých tloušťkách.

3.2. Materiály a výroba vzorků

Pro tento experiment byly vyrobeny vzorky z netkané textilie, jejíž vlákenná vrstva byla připravena mechanickým způsobem, konkrétně mykáním a následným příčným kladením, a jež byla termicky pojena za použití etážového lisovacího stroje. Jako základní materiál byl použit polyester, který tvořil 90% hm. směsi a zbylých 10% pak tvořila pojivá copolyesterová vlákna.

3.2.1 Použitý postup výroby vzorků

V následujícím textu je podrobněji popsán postup výroby testovacích vzorků.

3.2.1.1 Příprava směsi

Na samotném počátku bylo nutné obě vlákenné komponenty důkladně navázat, aby se dosáhlo co nejpřesněji požadovaného poměru mezi nimi. To se provádělo po menších množstvích, kdy bylo ke 450g základního materiálu (PES) vždy naváženo 50g pojivá (coPES). Vlákna základního materiálu měla délkovou hmotnost 5,3 dTex, délku 60 mm a míru zkadeření 6 obloučků na 1 cm. Vlákna pojivá pak měla délkovou hmotnost 2 dTex, délku 40 mm a míru zkadeření 4 obloučky na 1 cm. Vlákna byla v požadovaném poměru uložena na dopravníkový

pás rozvolňovače (viz. obr. 7 a 8), odkud byla již ve směsi vynášena do mísící komory, kde docházelo k promíchávání komponent. Tento proces se prováděl vždy dvakrát a po druhém mísení pokračovala vlákenná směs kontinuálně do mykacího stroje.



Obr. 7: Vlákenné komponenty před prvním mísením



Obr. 8: Vlákenná směs po prvním mísení

3.2.1.2 Mykání a kladení

Pro operaci mykání byl použit válcový mykací stroj DILO. Z vlákenné pavučiny vystupující z mykacího stroje byla pak příčným kladením vytvořena konečná vrstva (viz. obr. 9 a 10), jež dále sloužila k výrobě vzorků na etážovém lisu. Cílem bylo dosáhnout toho, aby se plošná hmotnost vzniklé vrstvy v délce měnila co nejméně, ideálně vůbec, a proto první a poslední zhruba dva metry vlákenné vrstvy nebyly využity k výrobě vzorků. Materiál k lisování byl získáván rozstříháním vrstvy na úseky o délce 40 cm, přičemž její šířka byla 50 cm.



Obr. 9: Počátek vlákenné vrstvy vzniklé vertikálním příčným kladením



Obr. 10: Konečná příčně kladená vlákenná vrstva

3.2.1.3 Lisování

Lisování byl klíčový krok pro pojení vlákně vrstvy a dosažení požadované objemové hmotnosti. Etážové lisování je nekontinuální a poměrně nestandardní technologie, kdy je nutné mezi každým procesem lisovaný materiál ručně vyjmout a vložit následující (viz. obr. 11). V sériové výrobě by tedy tato technologie velmi pravděpodobně použita nebyla a v tomto případě byla zvolena proto, že v horkovzdušné komoře v poloprovozu nelze vhodně regulovat tloušťku pojeného materiálu.

Tento proces má několik technologických parametrů a to konkrétně: teplotu lisovacích desek, minimální dosaženou hodnotu vzdálenosti mezi deskami při lisování, velikost přitlačné síly a čas lisování. Požadovaná tloušťka vrstvy byla dosažena změnou parametrů minimální vzdálenosti mezi deskami a doby lisování. Naopak teplotu desek a velikost přitlačné síly byly zvoleny jako parametry neměnné, kdy teplota desek byla nastavena na 140°C a přitlačná síla na 20 kN.



Obr. 11: Vlákněná vrstva mezi deskami etážového lisu před lisováním

Pro dosažení nejnižších potřebných hodnot tloušťky vzorků byl materiál po vyjmutí z lisu ještě, během svého ochlazování, stlačen mezi dvěma dřevěnými deskami. Tím se, jak bylo experimentálně zjištěno, dosáhlo lepší stabilizace hodnoty tloušťky i po ochlazení materiálu.

3.2.1.4 Příprava vzorků pro testování

Ze vzniklých kusů netkané textilie o rozměrech 40 x 50 cm bylo možné vyrobit vždy dva vzorky pro spalovací zkoušku.

3.2.2 Vytvoření testovací škály

Tato část blíže popisuje návrh rozsahu testovací škály a následně i konečné parametry vyrobených zkušebních vzorků.

3.2.2.1 Prvotní řada vzorků

Před výrobou řad zkušebních vzorků byly vyrobeny 4 vzorky o nominálních objemových hmotnostech 20, 30, 40 a 50 kg/m³ a následně byly podrobeny spalovací zkoušce. Ze získaných dat pak byla dotvořena konečná škála objemových hmotností pro měření. Zároveň bylo možné si na této první skupině vzorků vyzkoušet průchod výrobním procesem a vyřešit tak případné nedokonalosti a potíže při výrobě nebo samotném průběhu spalovací zkoušky.

Pro tento účel byly vyrobeny 4 vzorky s cílem dosáhnout hodnot objemových hmotností: 20, 30, 40 a 50 kg/m³ o rozměrech 200 x 230 mm a následně je podrobit spalovací zkoušce dle normy VW 01000 (PV 3357). Tato norma byla zvolena z důvodu možnosti vertikálního umístění vzorku během spalovací zkoušky, na rozdíl od často používané normy TL 1010, což bylo pro tento účel vhodnější, zejména při pozorování rozdílného chování hořlavosti v závislosti na orientaci vzorku (ve směru výstupu ze stroje či ve směru k němu kolmém). Tento způsob testování je tedy více invazivní, než pokud by byl vzorek orientován horizontálně, což bylo vhodné v souvislosti s chováním termoplastického materiálu vzorků, který se při vystavení plameni rychle taví a pokud by byl vzorek orientován vodorovně, materiál by se od plamene rychle oddálil a k zahoření by pravděpodobně vůbec nemuselo dojít.

U každého vzorku byly měřeny jeho rozměry a hmotnost, ze kterých se pak vždy dopočítala hmotnost plošná a objemová (viz. tab. 1).

Tab. 1 - Naměřené parametry zkušební série

Parametr	Jedn.	1	2	3	4
Hmotnost	g	20,8	20,6	22	20,6
Plošná hmot.	g/m ²	452	448	478	448
Tloušťka	mm	27,5	15,6	12,7	9,4
Měrná hmot.	kg/m ³	16,4	28,7	35,6	47,6

3.2.2.2 Finální řada vzorků

Na základě provedených měření na zkušební skupině vzorků byla prvotní škála posunuta do nižších hodnot a dále ještě rozšířena v oblasti hodnot nejnižších objemových hmotností, kde by se mohla zkoumaná závislost projevit nejvíce. Konečná škála byla tedy stanovena takto: 8, 10, 15, 20, 25, 30 a 40 kg/m³, kdy ze skupiny každé hodnoty plošné hmotnosti bylo vyrobeno a testováno vždy 8 vzorků, přičemž 4 byly při zkoušce orientovány ve směru výstupu ze stroje (machine direction - MD) a další 4 ve směru kolmém k výstupu ze stroje (cross direction - CD).

V následující tabulce jsou zaznamenány hodnoty parametrů každého vyrobeného vzorku, který byl následně podroben spalovací zkoušce. Konkrétní hodnoty nastavení proměnných parametrů lisu jsou uvedeny v tab. 18 (viz. přílohy).

Nakonec tedy bylo vyrobeno 7 sérií po osmi kusech, kdy pro přesnou identifikaci všech vzorků byla každá série označena písmenem a z ní pak každý vzorek pořadovou číslicí. Každá série je označena přímo hodnotou objemové hmotnosti, které bylo cílem dosáhnout. (viz. tab. 2-8).

40 kg/m³

Tab. 2 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 40 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	19,7	19,7	20	20,8	18,6	19,2	18,2	18,2
Plošná hmot.	g/m²	492,5	492,5	500	520	520	480	455	455
Tloušťka	mm	11,5	11,5	12	12	12,2	12	12,3	12,3
Měrná hmot.	kg/m³	42	42	43	43	38,2	40	37	37
Hoří/nehoří		N	N	N	A	N	N	N	N

30 kg/m³

Tab. 3 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 30 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	19,6	19,6	19,5	19,5	19,9	19,9	20,8	21
Plošná hmot.	g/m²	490	490	487,5	487,5	497	497,5	520	525
Tloušťka	mm	17,4	17,5	17,6	17,6	16,4	16,4	17,9	17
Měrná hmot.	kg/m³	28,2	28	27,7	27,7	30,3	30,3	29,1	30,9
Hoří/nehoří		A	A	N	N	N	N	A	N

25 kg/m³

Tab. 4 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 25 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	20,8	20	21	20,2	20,4	20,6	21,3	21,3
Plošná hmot.	g/m²	520	500	525	505	510	515	532,5	532,5
Tloušťka	mm	20,5	20,5	21	20	20,5	20,5	22,1	22,1
Měrná hmot.	kg/m³	25,4	24,4	25	25,3	24,9	25,1	24	24
Hoří/nehoří		N	A	N	A	A	N	N	A

20 kg/m³

Tab. 5 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 20 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	20,6	20,6	18,3	18,3	18,5	18,5	19,8	19,6
Plošná hmot.	g/m²	515	515	457,5	457,5	462,5	462,5	495	490
Tloušťka	mm	23,6	23,6	23,1	23,1	24,5	24,5	24,2	24,1
Měrná hmot.	kg/m³	21,8	21,8	19,8	19,8	18,9	18,9	20,5	20,3
Hoří/nehoří		N	N	N	N	A	A	A	N

15 kg/m³

Tab. 6 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 15 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	19,6	19,6	19	20,4	20,2	20,2	21,6	19,4
Plošná hmot.	g/m²	490	490	475	510	505	505	540	485
Tloušťka	mm	31,3	31	28,1	28,5	26,5	26,7	28,1	26,4
Měrná hmot.	kg/m³	15,6	15,8	16,9	17,9	19,1	18,9	19,2	18,4
Hoří/nehoří		A	A	A	N	A	N	N	N

10 kg/m³

Tab. 7 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 10 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	20,6	20	19,2	18,2	19,8	20	20,6	18,8
Plošná hmot.	g/m²	515	500	480	455	495	500	515	470
Tloušťka	mm	46,6	46,7	44,3	43,9	43	42,9	42,8	43
Měrná hmot.	kg/m³	11	10,7	10,8	10,4	11,5	11,7	12,0	10,9
Hoří/nehoří		A	N	A	A	A	A	A	N

8 kg/m³

Tab. 8 - Naměřené hodnoty parametrů vzorků ze série 8 kg/m³ použitých při zkoušce

Číslo vzorku	Jedn.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hmotnost	g	16,8	15,4	20	20,6	19,6	20,6	17,4	17,2
Plošná hmot.	g/m²	420	385	500	515	490	515	435	430
Tloušťka	mm	60	57	56	57	55	56	54	54
Měrná hmot.	kg/m³	7	6,8	8,9	9	8,9	9,2	8	8
Hoří/nehoří		A	A	A	A	A	A	N	A

3.3 Metodika zkoušky

Hořlavost textilních vzorků byla prováděna na základě normy VW 01000 (PV 3357), kdy pro potřeby experimentu byla tato metodika lehce upravena. Konkrétně se jednalo o rozměr zkoušeného vzorku, kdy na místo normovaného rozměru 200 x 230 mm jsme zvolili finální rozměr pouze 200 x 200 mm. Takto bylo učiněno proto, aby bylo možné z jednoho vyliisovaného polotovaru vystříhnout dva vzorky pro testování, které mají dostatečný odstup od okrajů polotovaru.

Vzorek byl uchycen do držáku uprostřed svého horního okraje a pod něj byl umístěn plynový kahan. Velikost plamene a vzdálenost spodního okraje vzorku od něj byla v souladu s normou VW 01000 a stejně tak i čas po který byl vzorek účinkům plamene vystaven (aparatura viz. obr. 12).

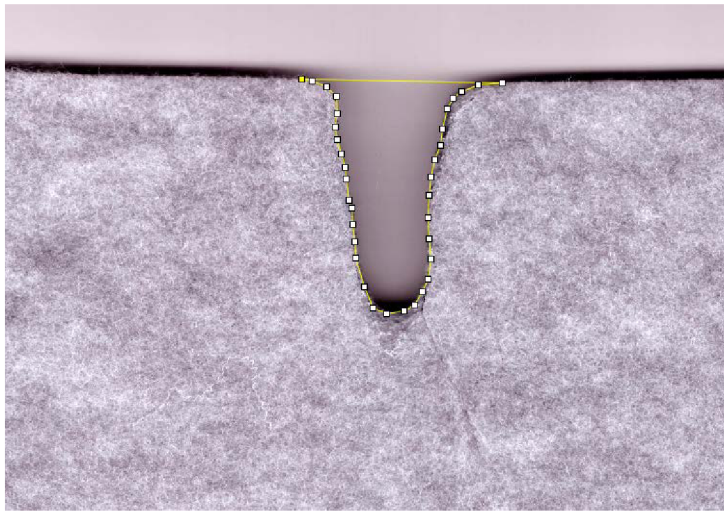


Obr. 12: Aparatura použitá ke spalovacím zkouškám

3.3.1 Metodika vyhodnocování výsledků

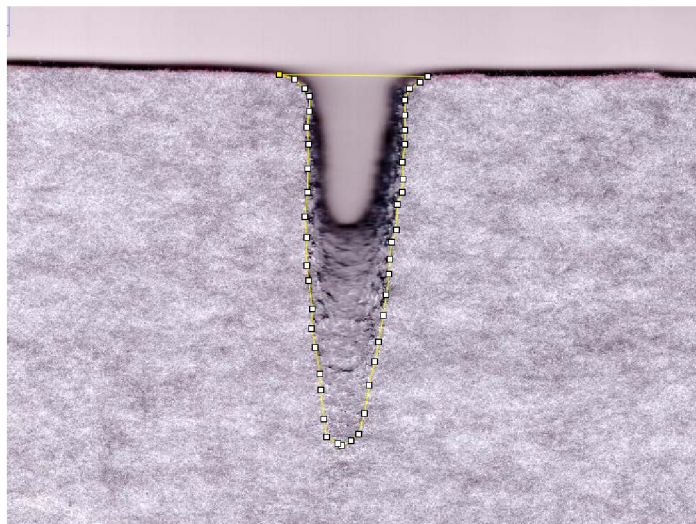
Jako zásadní kritérium pro schopnost vzorku podlehnout procesu hoření byla stanovena plocha daného vzorku, jež byla zasažena plamenem a to konkrétně ve dvou parametrech. Tento postup vyhodnocování se taktéž oddaluje od normy VW 01000 (PV 3357), kde je jako zásadní kritérium čas, po který vzorek hoří. Časy hoření však byly u prováděných zkoušek natolik různorodé, že bylo rozhodnuto použít jako vhodnější kritérium to, zda vzorek začal hořet a případně jak moc jej oheň byl schopen zasáhnout.

První parametr byl pracovně nazván jako "plocha skrz". Jedná se o prohořelou plochu vzorku, skrze kterou je v průmětu daného vzorku vidět plocha podložky (viz. obr. 13). Pokud plamen postupoval po vzorku tak, že v něm vzniklo takovýchto prohořelých otvorů více, stanovila se finální hodnota plochy prohořelé skrze vzorek jako součet těchto dílčích ploch.



Obr.13: Odečítání velikosti plochy prohořelé skrze vzorek

Druhý parametr byl pracovně nazván jako "plocha zasažená plamenem". Zde se jedná nejen o velikost plochy prohořelé skrze vzorek, ale o velikost celkové plochy, která byla plamenem poškozena (viz. obr. 14). Hodnoty plochy celkově zasažené je pak vždy větší, než hodnota plochy prohořelé, neboť plocha prohořelá skrze vzorek je vždy doprovázena plochou svého okolí poškozeného plamenem.



Obr. 14: Odečítání velikosti plochy zasažené plamenem

Velikost těchto ploch byla následně vždy vztažena k velikosti plochy celého vzorku, tedy jaké procento z celkové plochy vzorku je plamenem zasažené a jaké procento prohořelé. Pokud plamen vzorkem prostupoval převážně jeho vnitřkem (u vzorků s menší objemovou hmotností), byly tyto plochy vyhodnoceny po jeho rozstřížení. Dalším zkoumaným

ukazatelem také bylo, zda materiál vzorku po vystavení plameni skutečně začal hořet nebo zda se v žáru plamene pouze škvařil.

3.3.2 Metodika vyhodnocování velikosti ploch

K vyhodnocení velikosti vzniklých ploch byl použit počítačový program ImageJ, ve kterém je tento typ měření možný provést na vložené fotografii vzorku. Po ručním vymezení obvodu (viz. obr. 13 a 14) celkové plochy a plochy vzniklé při spalovací zkoušce pak software vypočítá jejich velikost. Samotný poměr těchto ploch byl následně vypočítáván v programu Microsoft Excell.

4. Výsledky

Výsledné hodnoty poměrů velikostí zkoumaných ploch jsou zaznamenány v tab. 9-16 vždy pro každou sérii.

40 kg/m³

Tab. 9: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 40 kg/m³

č. vzorku	Machine direction				[%]	Cross direction				[%]
	1	2	3	4	Průměr	5	6	7	8	Průměr
Plocha skrz	0,56	1,52	2,30	2,73	1,78	N/A	2,75	2,44	2,30	2,50
Plocha zas. Plamenem	5,19	4,77	4,17	7,76	5,47	N/A	3,18	4,12	4,52	3,94

30 kg/m³

Tab. 10: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 30 kg/m³

č. vzorku	[%]				Průměr	[%]				Průměr
	1	5	6	8		2	3	4	8	
Plocha skrz	8,15	1,54	2,33	2,19	3,55	4,48	2,62	1,52	2,19	2,70
Plocha zas. Plamenem	13,19	6,56	6,20	4,27	7,56	6,26	4,05	5,02	4,27	4,90

25 kg/m³

Tab. 11: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 25 kg/m³

č. vzorku	[%]				Průměr	[%]				Průměr
	3	4	5	6		1	2	7	8	
Plocha skrz	2,62	3,80	4,39	2,02	3,21	1,58	N/A	0,90	0,77	1,08
Plocha zas. Plamenem	3,92	9,14	9,07	5,68	6,95	6,92	N/A	6,29	5,86	6,36

20 kg/m³

Tab. 12: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 20 kg/m³

č. vzorku	[%]					[%]				
	1	2	3	4	Průměr	5	6	7	8	Průměr
Plocha skrz	0,17	1,00	0,99	2,19	1,09	0,47	2,65	N/A	1,43	1,51
Plocha zas. Plamenem	7,01	5,84	6,36	4,63	5,96	11,97	6,03	N/A	4,28	7,43

15 kg/m³

Tab. 13: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 15 kg/m³

č. vzorku	[%]					[%]				
	2	3	4	7	Průměr	1	5	6	8	Průměr
Plocha skrz	0,00	4,01	1,14	0,66	1,45	0,00	1,49	0,17	0,24	0,47
Plocha zas. Plamenem	4,76	7,93	4,94	6,28	5,98	9,35	11,88	4,65	4,50	7,59

10 kg/m³

Tab. 14: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 10 kg/m³

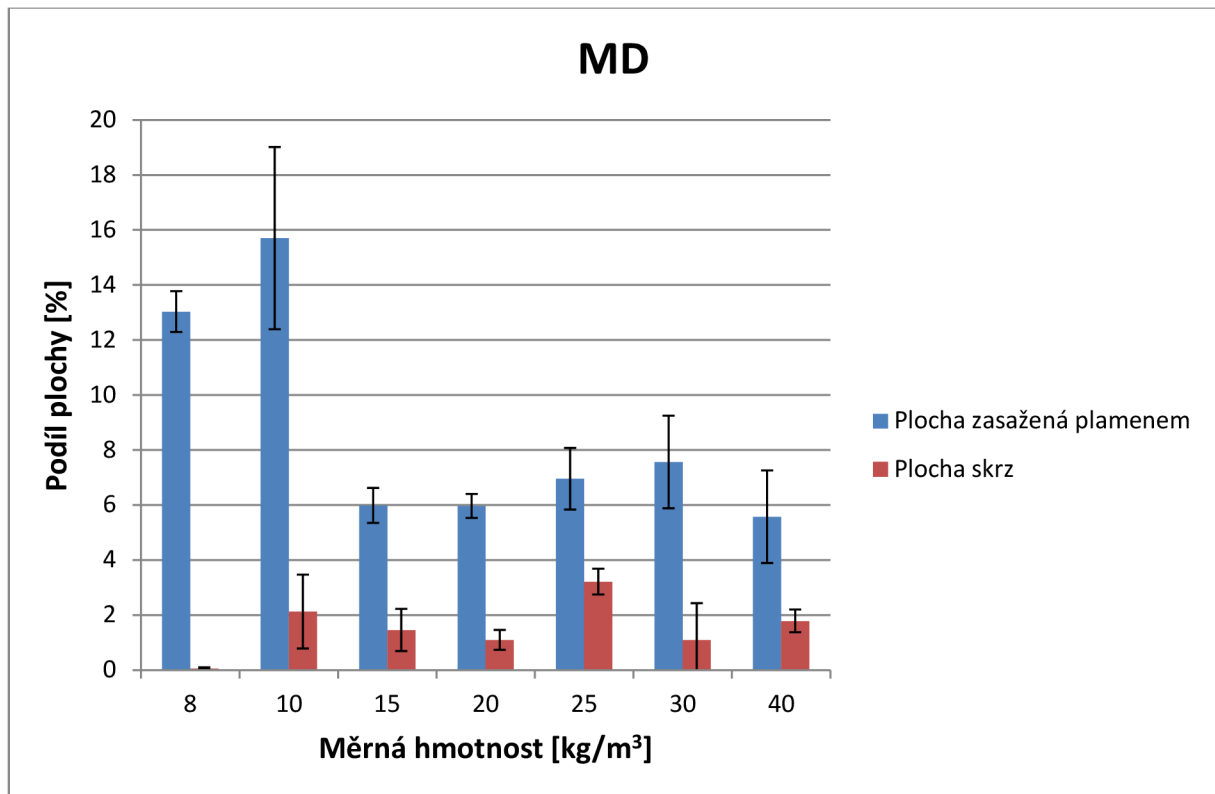
č. vzorku	[%]					[%]				
	3	4	5	6	Průměr	1	2	7	8	Průměr
Plocha skrz	0,00	0,21	1,62	6,64	2,12	4,11	N/A	3,49	0,35	2,65
Plocha zas. Plamenem	8,76	9,66	20,36	24,03	15,70	23,80	N/A	8,20	5,73	12,58

8 kg/m³

Tab. 15: Hodnoty poměrů ploch pro oba směry u série 8 kg/m³

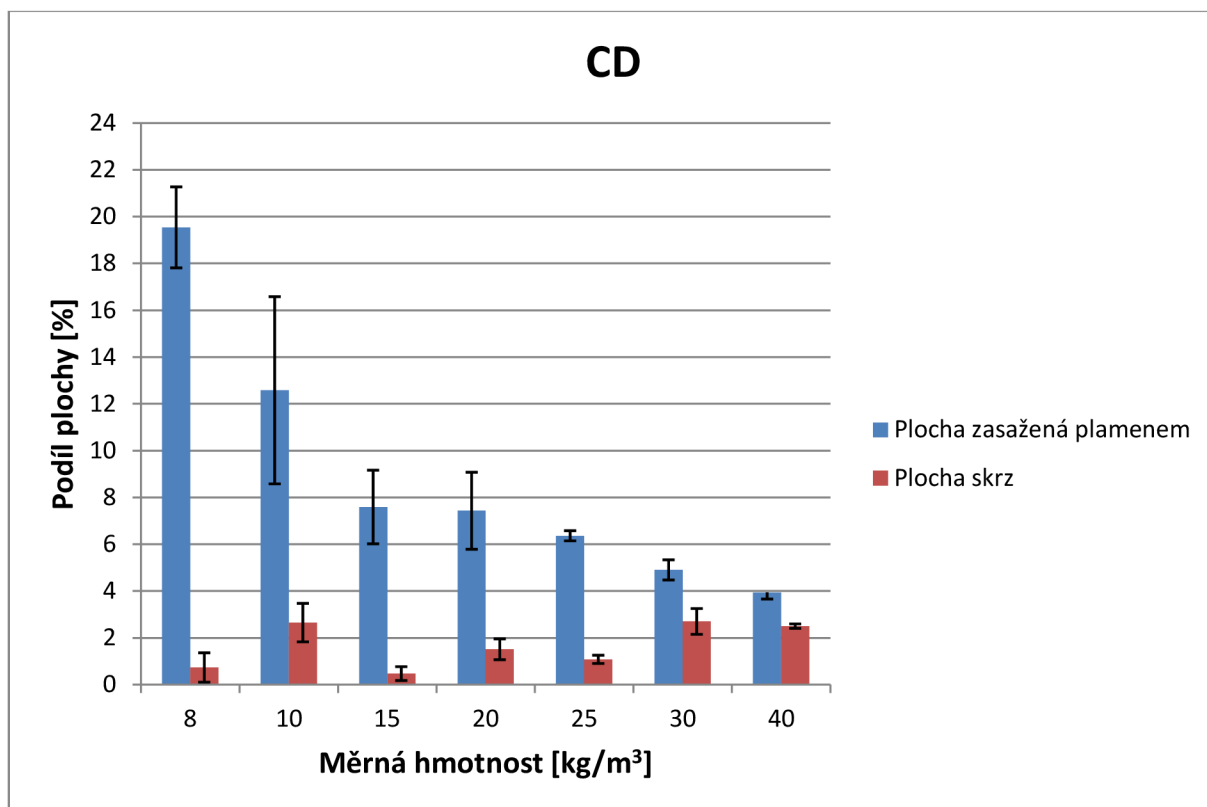
č. vzorku	[%]					[%]				
	5	6	7	8	Průměr	1	2	3	4	Průměr
Plocha skrz	0,00	0,00	0,00	0,19	0,05	0,00	0,00	0,00	2,91	0,73
Plocha zas. Plamenem	13,12	11,97	11,63	15,42	13,03	17,41	15,86	19,91	24,99	19,54

Dále následuje grafické znázornění výsledků procentuálního zasažení ploch vzorků plamenem a ploch prohořelých skrze vzorek a to pro každý směr zvlášť (CD a MD). Dále se nachází graf znázorňující procentuální podíl počtu vznícených vzorků pro každou sérii a na závěr je spíše informativní graf vyznačující průměrnou dobu hoření vzorků v každé sérii.



Graf 1 - Zastoupení podílu ploch pro směr výstupu materiálu ze stroje

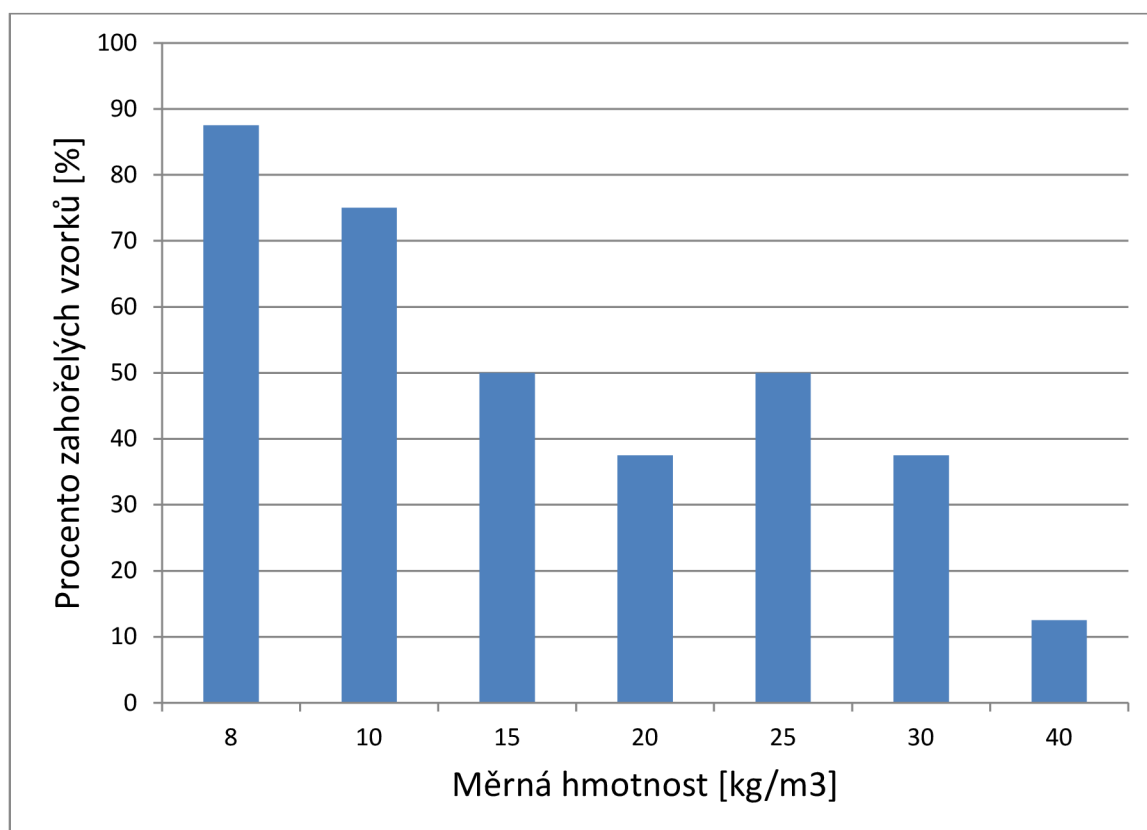
V grafu 1 je možné pozorovat výrazný pokles velikosti podílu plochy zasažené plamenem mezi sériemi 10 a 15 kg/m³, kdy následně s rostoucí hodnotou obj. hmotnosti velikost této plochy mírně roste až k sérii 30 kg/m³ a konečně u série 40 kg/m³ opět klesá. Tato hodnota je u série 10 kg/m³ zcela nejvyšší, ovšem také s největší statistickou odchylkou. Velikost podílu plochy prohořelé skrze vzorek pak v závislosti na obj. hmotnosti pouze kolísá v intervalu nižších hodnot s výjimkou u série 8 kg/m³, kde je nulová.



Graf 2 - Zastoupení podílu ploch pro směr kolmý k výstupu materiálu ze stroje

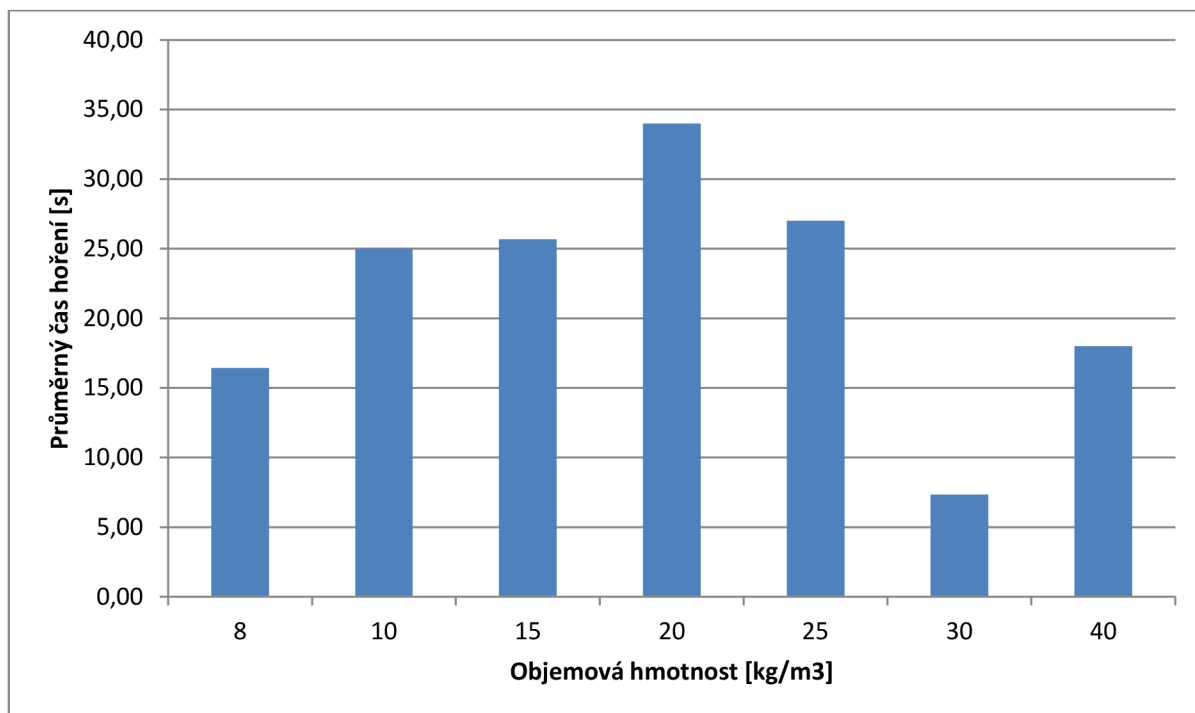
Z grafu 2 pro směr kolmý k výstupu ze stroje je závislost mezi objemovou hmotností a velikostí plochy zasažené plamenem mnohem více patrná, kdy se s její zvyšující se hodnotou snižuje velikost této plochy. U plochy prohořelé skrz data kolísají v obdobném rozmezí jako v grafu 1, ovšem u daných sérií se velikost této plochy liší.

Nízké procento prohořelé plochy u méně hustých vzorků zřejmě souvisí s jejich poměrně velkou tloušťkou, kdy se plamen mohl šířit např. převážně na jedné straně vzorku nebo v něm vytvářel jakési dutiny.



Graf 3 - Závislost náchylnosti vzorků k zahoření vzhledem k jejich objemové hmotnosti

Z grafu 3 lze vypočítat poměrně výraznou závislost mezi hodnotou objemové hmotnosti a tím, zda daný vzorek hoří nebo se jeho materiál v plameni pouze tepelně degraduje (škvaří se). Podobně jako u schopnosti plamene se po vzorku šířit, i zde se procento zahořelých vzorků s rostoucí hodnotou objemové hmotnosti v zásadě snižuje.



Graf 4 - Průměrná délka hoření zahořelých vzorků pro každou sérii v závislosti na objemové hmotnosti

U průměrných časů hoření se na první pohled zdá, že nejdéle průměrně hoří vzorky ze sérií 15, 20 a 25 kg/m³. U těchto sérii jsou však průměrné hodnoty značně ovlivněny výskytem vzorků, které se chovaly anomálně a hořely výrazně déle, než ostatní. Série 40 kg/m³ je pak zastoupena pouze jednou hodnotou. Z důvodů rozdílné dynamiky hoření v závislosti na odlišné tloušťce a zaplnění vzorků, není čas hoření vhodným hodnotícím kritériem.

5. Závěr

Cílem této práce bylo sledovat, zda a do jaké míry má faktor objemové hmotnosti netkané textilie vliv na její hořlavost, pokud se jedná čistě o termoplastický materiál. Konkrétně se jednalo o termicky pojenou netkanou textilií z polyesterových vláken obsahující 10 %hm. vláken pojivých, která byla pojena na etážovém lisu. Byly vyrobeny testovací řady zkušebních vzorků o různých objemových hmotnostech v rozmezí od 8 do 40 kg/m³. Samotné spalovací zkoušky pak byly prováděny dle normy VW 01000 (PV 3357).

Provedením spalovacích zkoušek byla odhalena určitá míra závislosti mezi hodnotou objemové hmotnosti netkané textilie a její náchylností k vzplanutí po vystavení plameni. S klesající hodnotou objemové hmotnosti, a s tím související hodnotou zaplnění vlákenné struktury, rostla schopnost plamene procházet materiálem a to i po delší čas, čímž byl schopen zasáhnout větší část plochy vzorku. Naopak u vzorků s vyšší objemovou hmotností se plamen šířil pouze obtížně, případně takový vzorek vůbec nezahořel a polymerní materiál pouze tepelně degradoval. Tento trend pravděpodobně souvisí s tím, že při vyšší míře zaplnění textilie se k plameni hůře dostává vzdušný kyslík a proces hoření tak není déle udržitelný.

Dále lze z výsledků spalovacích zkoušek pozorovat, že u vzorků testovaných ve směru kolmém ke směru výstupu vlákenné vrstvy ze stroje (CD) je plocha zasažená plamenem mírně větší, než u vzorků testovaných ve směru druhém (MD). Toto však neplatí pro série 30 a 40 kg/m³, kde jsou tyto hodnoty v obou směrech podobné. Pro MD pak byla pozorována nelineární závislost velikosti této plochy na hustotě vzorku, kdy data tvoří výrazný pokles její velikosti mezi sériemi 10 a 15 kg/m³. U parametru plochy prohořelé skrze vzorek hodnoty v obou směrech poměrně kolísají a výrazná závislost na směru postupu plamene vzorkem zde není pozorovatelná.

Nejvýraznější limitací experimentu je měnící se tloušťka vzorků u napříč sériemi, což je způsobeno tím, že byly všechny série vzorků vyráběny z vlákenné vrstvy o shodné plošné hmotnosti a výsledná objemová hmotnost pak byla dosažena jejím adekvátním stlačením. Je tedy možné, že na hořlavost testovaných vzorků měla větší či menší vliv právě i jejich samotná tloušťka. Tento postup výroby vzorků byl zvolen z důvodu časové a technologické náročnosti přípravy vlákenné vrstvy pro každou sérii zvlášť.

Vzhledem k výraznému poklesu hodnot velikosti zasažené plochy v MD mezi sériemi 10 a 15 kg/m³ by mohlo být zajímavé detailněji prozkoumat zde sledovanou závislost právě

v této oblasti pohybující se v okolí hodnoty obj. hmotnosti 10 kg/m^3 , kdy byl právě u této hodnoty pozorován největší podíl velikosti plamenem zasažené plochy.

6. Použitá literatura

- [1] VOLF, Oldřich. *Požární taktika: Základy požární taktiky. Proces hoření*. MV - Ředitelství hasičského záchranného sboru ČR, [online]. [cit. 2021-07-20]. Dostupné z: http://metodika.cahd.cz/konspekty/1_1_01.pdf
- [2] *Proces hoření*, [online]. Guard7, [cit. 2021-07-20] Dostupné z: <https://www.guard7.cz/lexikon/proces-horeni>
- [3] HORROCKS A. R., PRICE D. *Fire retardant materials*, ©2001, Woodhead publishing Ltd, ISBN 0-8493-3883-2
- [4] *Fibres and Flammability* [online]. Textiles F. R. Limited, ©2021, [cit. 2021-07-22]. Dostupné z: <http://textilesfr.co.uk/technical/fibres-and-flammability/>
- [5] KERÉKES Szuszanna, KOPECSKÓ Katalin, LUBLÓY Éva, SZÉP János. *The effect of macrostructure and stability on the flammability of non-woven fabrics*, Journal of industrial textiles, [online]. Budapest University of Technology and Economics, 2020 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1528083720908803>
- [6] *An Overview of Flame Retardant Nonwoven Fabrics* [online]. ©2021, [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <https://www.technicaltextile.net/articles/an-overview-of-flame-retardant-nonwoven-fabrics-7125>
- [7] CMÍRALOVÁ, Veronika. *Studium procesu hoření netkaných textilií*. Liberec, 2017[cit. 2021-08-05]. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Textilní fakulta. Ing. Jiří Chaloupek Ph. D.
- [8] JOHN J. Maya. *Flammability performance of biocomposites*, [online]. [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/limiting-oxygen-index>
- [9] *Hořlavost materiálů použitých v interiérech vozidla* [online]. Textilní zkušební ústav, ©2021, [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <https://www.tzu.cz/horlavost-materialu-pouzitych-v-interierech-vozidel>
- [10] *BS 6307:1982 Method for determination of the effects of a small source of ignition on textile floor coverings (methenamine tablet test)* [online]. European standards, ©2021, [cit. 2021-07-03].
Dostupné z: <https://www.en-standard.eu/bs-6307-1982-method-for-determination-of-the-effects-of-a-small-source-of-ignition-on-textile-floor-coverings-methenamine-tablet-test/>
- [11] *Method for determination of the effects of a small source of ignition on textile floor coverings (hot metal nut method)* [online]. British Standards Institution, ©2021, [cit. 2021-07-03].
Dostupné z: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000000167428>

[12] BS 5852 *Testování čalounění v čalouněných sedadlech a sedadlech* [online]. Eurolab, ©2017, [cit. 2021-07-04].

Dostupné z: <https://www.eurolab.com.tr/cs/sektorel-test-ve-analizler/tekstil-testleri/bs-5852-dosemeli-koltuk-ve-oturma-yerlerinde-yanmazlik-testi>

[13] VČELIŠ, David. *Hoření vpichovaných netkaných textilií*. Liberec, 2020 [cit. 2021-07-27]. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Textilní fakulta. Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

[14] ČSN 80 0824 (800824 *Zkoušení hořlavosti plošných textilií*) [online]. Technor, ©2018, [cit. 2021-07-04].

Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/800824-csn-80-0824_4_5752.html

[15] ČSN EN ISO 6942 (832744) *Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu* [online]. Technor, ©2018, [cit. 2021-07-04].

[16] JIRSÁK Oldřich, KALINOVÁ Klára. *Netkané Textilie*, ©2003, ISBN 80-7083-746-2.

[17] MILITKÝ Jiří. *The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers*, [online]. Technical University of Liberec, 2014. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/polyester-fiber>

[18] MILITKÝ Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. V liberci: Technická Univerzita, 2002. ISBN 80-7083-644-X.

[19] BASYIGIT Ö. Zeynep, KUT Dilek. *Application of low-frequency oxygen plasma treatment to polyester fabric to reduce the amount of flame retardant agent*, [online]. Textile research journal, ©2012 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/LOI-of-the-treated-polyester-fabric_tbl2_258196562

[20] WEIL D. Edward, LEVCHIK V. Sergei. *Flame Retardants for Plastics and Textiles*, ©2009, Munich: Carl Hansen Verlag, ISBN 978-3-446-41652-9

7. Přílohy

Tab. 16: Hodnoty zaplnění pro každý vzorek s průměrnou hodnotou pro danou sérii [%]

Série	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměr
40 kg/m ³	3,09	3,09	3,16	3,16	2,81	2,94	2,72	2,72	2,96
30kg/m ³	2,07	2,06	2,04	2,04	2,23	2,23	2,14	2,27	2,13
25kg/m ³	1,87	1,79	1,84	1,86	1,83	1,85	1,76	1,76	1,82
20kg/m ³	1,60	1,60	1,46	1,46	1,39	1,39	1,51	1,49	1,49
15kg/m ³	1,15	1,16	1,24	1,32	1,40	1,39	1,41	1,35	1,30
10kg/m ³	0,81	0,79	0,79	0,76	0,85	0,86	0,88	0,80	0,82
8kg/m ³	0,51	0,50	0,65	0,66	0,65	0,68	0,59	0,59	0,60

Tab. 17: Hodnoty časů hoření pro každý zahořelý vzorek s průměrnou hodnotou pro danou sérii [s]

Série	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměr
40 kg/m ³	-	-	-	18,00	-	-	-	-	18,00
30kg/m ³	5,00	7,00	-	-	-	-	10,00	-	7,33
25kg/m ³	-	69,00	-	24,00	13,00	-	-	2,00	27,00
20kg/m ³	-	-	-	-	9,00	13,00	80,00	-	34,00
15kg/m ³	-	3,00	18,00	-	56,00	-	-	-	25,67
10kg/m ³	24,00	-	13,00	11,00	47,00	38,00	17,00	-	25,00
8kg/m ³	11,00	5,00	12,00	37,00	12,00	26,00	-	12,00	16,43

Tab. 18: Hodnoty proměnných parametrů lisování

Série	Čas lisování [s]	Vzdálenost desek [mm]	Přítlak při chladnutí
40 kg/m ³	90	3	ANO
30kg/m ³	90	10	ANO
25kg/m ³	90	11	NE
20kg/m ³	90	13	NE
15kg/m ³	90	24	NE
10kg/m ³	90	34	NE
8kg/m ³	140	55	NE