

Studium jevů spojených s hořením termicky pojených netkaných textilií

Diplomová práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Bc. Vendula Burešová

Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání diplomové práce

Studium jevů spojených s hořením termicky pojených netkaných textilií

Jméno a příjmení: **Bc. Vendula Burešová**
Osobní číslo: T20000014
Studijní program: N0723A270001 Textilní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovlákných materiálů
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou hořlavosti netkaných textilií obecně. Vypracujte rešerši na dané téma.
2. Navrhněte postup výroby netkané textilie s různým materiálovým složením a o různých objemových hmotnostech.
3. Takto vyrobené vzorky dle norem testujte. Sledujte teplotní změny v různých materiálech během procesu hoření.
4. Diskutujte výsledky a navrhněte další postupy řešení daného problému.

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

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



Seznam odborné literatury:

1. ALBRECHT, Wilhelm, FUCHS, Hilmar, KITTELMANN, Walter. *Nonwovens Fabrics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.
2. RUSSELL, Stephen J. *Handbook of nonwovens*. Cambridge, 2007. ISBN 978-185-5736-030.
3. JIRSAK, Oldřich, WADSWORTH, Larry. *Nonwoven Textiles*. Durham: Carolina Academic Press, 1999. ISBN 0-89089-978-8.

Vedoucí práce:

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

Datum zadání práce:

1. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

16. května 2022

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

L.S.

doc. Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2020

Prohlášení

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

Jsem si vědoma toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

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

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

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

12. května 2022

Bc. Vendula Burešová

Poděkování

Mé poděkování patří především panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a cenné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Jakubovi Hružovi, Ph.D. za pomoc při měření prodyšnosti. Děkuji také Ing. Kláře Masnicové za rady při testování a vyhodnocování hořlavosti.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá studiem jevů spojených s hořením termicky pojených netkaných textilií. Cílem je studovat vliv objemové hmotnosti na hoření netkané textilie. Na vyrobených vzorcích se stejným obsahem vláken o různých objemových hmotnostech je testováno chování při hoření. Testování je prováděno na kónickém kalorimetru, vzorky jsou vystaveny působení plamene kahanu. V práci jsou zaznamenány naměřené výsledky.

Klíčová slova

Netkaná textilie, objemová hmotnost, termické pojení, hoření, kónický kalorimetr

Annotation

This thesis studies phenomena related to combustion of thermally bonded nonwoven textiles. The goal is to study the influence of textile density on its combustion. Samples manufactured for the testing share the same fiber content, but the density of fibers used for each sample differs. The behaviour during combustion of said samples is then studied. Conical calorimeter is used for testing, where the samples are subjected to the effects of a flame. Measured results of the testing are recorded in the thesis.

Keywords

Nonwoven textile, density, thermal bond, combustion, conical calorimeter

Obsah

Úvod	12
1 Hoření	13
1.1 Plamen	13
1.2 Hoření polymerů	14
1.3 Vznícení	14
1.3.1 Vznícení polymeru	15
1.4 Šíření plamene	15
1.5 Průběh hoření	16
2 Nechtěné požáry	17
3 Hořlavost materiálů	18
3.1 Hoření netkaných textilií	18
3.2 Hořlavost vláken	19
3.3 Chemické a fyzikální procesy v hoření	19
3.3.1 Tepelné přechody a rozklad polymerů	20
4 Zpomalovače hoření	21
4.1 Fyzické působení	21
4.2 Chemické působení	21
5 Limitní kyslíkové číslo	23
6 Testování hořlavosti	24
6.1 Testování hořlavosti NT	25
6.2 Testovací norma PV3357	25
6.2.1 Rozsah normy	25
6.2.2 Vybavení	26
6.2.3 Vzorky	26
6.2.4 Záběr testu	26
6.2.5 Průběh testu	26

6.2.6	Vystavení působení plamene	27
6.2.7	Vyhodnocení.....	27
6.3	Kónický kalorimetr	27
6.3.1	Testování na kónickém kalorimetru	28
6.4	Bunsenův kahan	29
6.5	Rychlost uvolňování tepla	31
6.6	Celkové uvolněné teplo	31
6.7	Intenzita vyzařování tepla – průměrná rychlost emise tepla.....	31
7	Vliv objemové hmotnosti na průběh hoření	32
8	Použité materiály	34
8.1	Polyesterová vlákna	34
8.2	Viskózová vlákna.....	34
9	Experiment první část.....	35
9.1	Výroba vzorků	35
9.2	Měření prodyšnosti	36
10	Měření hořlavosti.....	38
10.1	Metodika měření	38
10.2	Teploty z termočlánku	39
11	Experiment druhá část	40
11.1	Výroba vzorků	40
12	Vlastnosti vyrobených vzorků	43
12.1	Tloušťka vzorků.....	43
12.2	Plošná hmotnost.....	44
12.3	Objemová hmotnost.....	45
12.4	Prodyšnost vzduchu	46
12.5	Přehled vyrobených vzorků	47
13	Měření na kónickém kalorimetru	48

13.1	Příprava vzorků pro měření na kónickém kalorimetru	48
13.2	Průběh měření na kónickém kalorimetru	48
13.3	Celkové množství uvolněného tepla	49
13.4	Rychlost uvolňování tepla	52
13.5	Intenzita vyzařování tepla	55
14	Metoda měření hořlavosti	59
14.1	Příprava vzorků pro měření hořlavosti	59
14.2	Zařízení pro měření hořlavosti	59
14.3	Měření hořlavosti	61
14.4	Čas vzplanutí	62
14.5	Rychlost hoření na prvních 10 cm vzorku	63
14.6	Testování vzorku 5 mm	65
14.7	Testování vzorku 10 mm	67
14.8	Testování vzorku 15 mm	69
14.9	Testování vzorku 20 mm	71
14.10	Plocha zasažená plamenem	73
15	Přehled naměřených hodnot	76
16	Závěr	77
17	Bibliografie	79
	Přílohy	82

Seznam obrázku

Obrázek 1 – Schéma hoření.....	18
Obrázek 2 - Kónický kalorimetr [11]	28
Obrázek 3 - Bunsenův kahan [18]	30
Obrázek 4 - Přístroj na měření hořlavosti.....	38
Obrázek 5 - Porovnání hořlavosti u vzorků s odlišným složením.....	41
Obrázek 6 – Tloušťkoměr.....	43
Obrázek 7 - Přístroj na měření prodyšnosti [20]	46
Obrázek 8 - Modifikované zařízení pro měření hořlavosti.....	60
Obrázek 9 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 5 mm	65
Obrázek 10 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 10 mm	67
Obrázek 11 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 15 mm	69
Obrázek 12 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 20 mm	71

Seznam grafů

Graf 1 - Prodyšnost vzduchu [$l/m^2.s$]	37
Graf 2 - Záznam teploty v průběhu hoření [$^{\circ}C$]	39
Graf 3- Prodyšnost vzduchu [l/m^2s]	47
Graf 4 - Celkové množství uvolněného tepla [MJ/m^2].....	49
Graf 5 - Průměrné celkové množství uvolněného tepla [MJ/m^2]	50
Graf 6 - Rychlost uvolnění tepla [kW/m^2].....	52
Graf 7 - Porovnání rychlosti uvolňování tepla [kW/m^2]	53
Graf 8 - Průměrná rychlost uvolňování tepla [kW/m^2]	54
Graf 9 - Závislost vyzářeného tepla na čase [kW/m^2].....	55
Graf 10 - Intenzita vyzářeného tepla [kW/m^2]	56
Graf 11 - Průměrné vyzářené teplo [kW/m^2].....	57
Graf 12 - Průměrný čas vzplanutí [s]	63
Graf 13 - Rychlost šíření plamene [cm/s].....	64
Graf 14 - Průběh teplot u vzorku 5 mm [$^{\circ}C$].....	66
Graf 15 - Průběh teplot u vzorku 10 mm [$^{\circ}C$].....	68
Graf 16 - Průběh teplot u vzorku 15 mm [$^{\circ}C$].....	70
Graf 17 - Průběh teplot u vzorku 20 mm [$^{\circ}C$].....	72
Graf 18 - Průměrná plocha zasažená plamenem [mm^2]	74

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Měření prodyšnosti [l/m^2s].....	36
Tabulka 2 - Tloušťka vzorků [mm]	44
Tabulka 3 - Plošná hmotnost [g/m^2].....	45
Tabulka 4 - Objemová hmotnost	46
Tabulka 5 - Přehled vyrobených vzorků	47
Tabulka 6 – Množství uvolněného tepla [MJ/m^2]	51
Tabulka 7 - Rychlost uvolňování tepla [kW/m^2].....	54
Tabulka 8 - Maximální intenzita vyzařování tepla [kW/m^2].....	58
Tabulka 9 - čas vzplanutí [s]	62
Tabulka 10 - Rychlost hoření na prvních 10 cm [cm/s]	63
Tabulka 11 - Plocha zasažená plamenem [mm^2].....	73
Tabulka 12 - Průměrná zasažená plocha plamenem [mm^2]	74
Tabulka 13 - Přehled naměřených hodnot.....	76

Úvod

Tato práce se zaměřuje na studium jevů spojených s hořením termicky pojených netkaných textilií. Velká pozornost je kladena na rozdílnou objemovou hmotnost vzorků se stejným složením. Obecně je známo, že změna složení materiálu ovlivní průběh hoření, není však prozkoumáno, jak ovlivní průběh hoření rozdílný obsah vzduchu. Cílem práce je tento vliv více prozkoumat. Dané téma jsem si vybrala, protože se mi líbila možnost nalézt způsob, jak ekologicky a levně ovlivnit hořlavost materiálů.

Teoretická část práce se zaměřuje na popis hoření obecně. Jsou zde popsány druhy plamenů. Konkrétně je zde přiblíženo chování polymerních materiálů při hoření. V práci je vysvětleno, jak probíhá šíření plamene. Práce popisuje možné následky nechtěných požárů a také možnosti zpomalování hoření. V závěru teoretické části jsou popsána zařízení použitá při testování hořlavosti v experimentu a vlákna použitá pro výrobu vzorků. Je zde popsán kónický kalorimetr a Bunsenův kahan.

V experimentální části práce je navrhnut postup výroby netkané textilie o různé objemové hmotnosti. Protože byly vyrobeny vzorky nejen o různé objemové hmotnosti, ale i o jiném poměrovém složení materiálů, je experimentální část rozdělena na dvě části. První z nich není tolik obsáhlá a popisuje prvotní experiment. Je zde popsána výroba vzorků a testování jejich prodyšnosti. Dále je navržena metodika testování hořlavosti vzorků nad Bunsenovým kahanem se snímáním teplot uprostřed měřeného vzorku. Druhá část vychází z poznatků získaných při prvotním experimentu a vylepšuje metody zkoumání. Pro větší názornost rozdílů mezi vzorky, jsou vyrobeny vzorky o více rozdílných objemových hmotnostech a mírně odlišném složení v porovnání s prvními vyrobenými vzorky. Pro usnadnění upevnění vzorku přesně nad Bunsenův kahan je vylepšen držák vzorku. Z testování hořlavosti nad Bunsenovým kahanem je pořízen videozáznam. Z tohoto videozáznamu jsou pořízeny fotografie v přesně daných časech. Díky fotografiím je možné vyhodnotit plochu zasaženou plamenem v daném čase. V práci jsou graficky znázorněny teploty během testování. V práci jsou také uvedeny časy vzplanutí a rychlosti šíření plamene u jednotlivých vzorků. Druhá série vyrobených vzorků je testována na kónickém kalorimetru. Data získaná tímto testováním jsou zaznamenána a okomentována.

1 Hoření

Hořením se nazývá každá chemická reakce, při které se uvolňuje teplo a vyzařuje světlo. Z tohoto tvrzení vyplývá, že hoření nemusí být pouze slučovací reakce, ale může se jednat i reakce rozkladné. Hoření vzniká a probíhá za určitých podmínek. Tyto podmínky jsou tři, konkrétně se jedná o přítomnost hořlavé látky, kyslíku a zdroje hoření. Reagujícími látkami jsou kyslík a hořlavá látka, aby látka vůbec začala hořet musí být ohřáta na určitou teplotu. Ohřátí látky zajišťuje zdroj hoření. Zdrojem hoření může být například plamen, jiskra, rozžhavené těleso, exotermní reakce, úder, stlačení, tření a další [1].

Oheň je složitý proces a žádné dva skutečné ohně nejsou totožné. Ve vývoji materiálů se zvýšenou požární bezpečností, jako je například nižší vznětlivost, či nižší rychlost uvolňování tepla během hoření a nižší požární toxicita, je nezbytné uvést do souvislosti požadované vlastnosti ke scénáři konečného použití. Obvykle je to úloha regulátorů, vybrat vhodné zkušební metody k ochraně osob a majetku před nejpravděpodobnějším možným výskytem scénáře požáru [2; 3].

1.1 Plamen

Plamen je proces spalování v plynné fázi. Vyskytují se dva typy plamenů. První typ je předmíchaný plamen, ve kterém se před spalováním mísí plynné palivo a kyslík. Nejlepšími příklady jsou Bunsenův kahan a plynové plameny domácího sporáku. Druhý typ je difúzní plamen, který své označení nese, protože kyslík nezbytný pro hoření difunduje do plynné směsi z okolní atmosféry. Nejznámějším příkladem difúzního plamene je plamen svíčky. Vosk roztavený teplem vyzařovaným z plamene migruje nahoru knotem díky kapilárnímu působení a následně je pyrolyzován na svém povrchu při teplotách mezi 600 a 800 °C. Plynné produkty z této pyrolýzy migrují dále a buď zůstávají ve vnitřní části plamene, nebo dosáhnou vnějšího plamenného pláště. Vnitřní oblast plamene má tedy nedostatek kyslíku. Fragmenty uhlovodíků z pyrolýzy migrují do oblastí, kde teploty dosahují 1000 °C. Pod touto teplotou dochází ke vzniku uhlíkových částic, tedy sazí. Ty jsou transportovány dále, začnou svítit a způsobující luminiscenci plamene. Částice sazí jsou spotřebovávány v této světélkující oblasti reakcí s vodou za vzniku oxidu uhelnatého. Pyrolýzové plyny jsou unášeny ven a setkávají se s kyslíkem difundujícím dovnitř. V této vnější zóně plamenové reakce se při teplotách kolem 1400 °C generují volné radikály, které udržují spalovací reakci. Pokud je proces nepřerušovaný a je k dispozici dostatečný přísun kyslíku, konečným

produktem spalování svíčky plamenem jsou oxid uhličitý a voda. Procesy, které probíhají při spalování plastů, jsou v principu podobné jako u plamene svíčky [2].

1.2 Hoření polymerů

Spalovací reakce u polymerních materiálů uvolňují energii uloženou v chemických vazbách molekuly paliva. Palivo je jakákoli látka, která uvolňuje energii během reakce s kyslíkem, obvykle ve vzduchu, iniciované externím zdrojem tepla. Typickými palivy jsou dřevo, uhlí a živočišné tuky. V podstatě jsou to organické materiály, stejně jako většina syntetických polymerů. Spalování polymerů je složitý proces zahrnující mnoho kroků. K zahájení spalování jsou zapotřebí tři základní fáze: zahřívání, tepelný rozklad nebo pyrolýza a zapálení. Vznícení je normálně způsobeno přítomností vnějšího zdroje tepla, jako je plamen nebo jiskra, či pokud je teplota dostatečně vysoká, proběhne vznícení spontánně. Teplota pevného polymeru je zvýšena buď v důsledku vnějšího prostředí tedy zdrojem tepla, jako je záření nebo plamen, nebo tepelnou zpětnou vazbou. Při prvotním vystavení termoplastů působení tepla měknou nebo tají a začínají téci ty, které mají lineární řetězcovou strukturu. Na druhé straně termosety mají trojrozměrnou zesíťovanou molekulární strukturu, která zabraňuje měknutí nebo tání. Přídavné teplo způsobuje, že oba typy polymerů podléhají pyrolýze a vytvářejí menší těkavé molekuly. Kvůli jejich struktuře k tomu dochází při vyšších teplotách pro termosety v porovnání s termoplastickými polymery. Pyrolýza je endotermický proces, který vyžaduje dostatečné množství energie k uspokojení disociačních energií jakýchkoli vazeb, které mají být rozbity plus energii potřebnou na aktivaci procesu. Jelikož se jednotlivé polymery liší strukturou, jejich rozkladem i teplotní rozsahy se mění v určitých mezích. Vlastnosti se změň, když je polymer smíchán s různými přísadami a následně zpracován za vzniku toho, co je běžně známé jako plasty [2].

1.3 Vznícení

Pro vznik a průběh hoření se musí vzduch a hořlavá látka nacházet v určitém vzájemném kvantitativním poměru. Zapalování je proces kdy, hořlavé produkty, tedy palivo, které vznikly z rozkládajícího, se polymeru se mísí s kyslíkem z okolního vzduchu. Když je dosaženo spodní meze hořlavosti, směs buď vzplane v důsledku přítomnosti vnějšího plamene nebo jiskry, nebo se samovznítí, pokud je teplota vyšší než teplota samovznícení [1; 2].

1.3.1 Vznícení polymeru

Během fáze vznícení způsobuje vliv tepla na polymerní materiál zvýšení teploty. Pokud je dosaženo dostatečně vysoké teploty, pak se chemické vazby přerušují a vznikají těkavé výpary. Tyto horké výpary se vznášejí nad povrchem polymeru. Pokud jsou výpary hořlavé, jakmile je dosaženo dostatečné koncentrace, mohou výpary vzplanout. Zapálení výparů může být buď řízeno plamenem nebo jiskrou, nebo také může být samovolné. K samovznícení nejčastěji dochází, pokud je povrch polymeru o 200 °C teplejší než výpary. Nad plamenem bude proudit konvekční teplo a ve všech směrech se bude šířit teplo sáláním, včetně směru dolů [3].

1.4 Šíření plamene

Procesy přenosu tepla jsou kritické pro chování vznícení a požáru. Po zapálení oheň zpočátku roste procesem šíření plamene. Povrchy v blízkosti pyrolýzy a zóny plamene se zahřívají a tím se rozkládají za vzniku dalších hořlavých produktů. Plamen se šíří kontaktem se zapálenou oblastí. Šíření plamene je tedy v podstatě proces opakovaného zapalování [3].

Horizontální šíření plamene je relativně pomalé, protože materiál v blízkosti plamene je ohříván pouze vedením tepla v plynné fázi, zesílené sálavým teplem směrem dolů. Šíření plamene směrem nahoru je rychlejší, protože materiál je zahříván sáláním, prouděním i vedením tepla. Během rané růstové fáze je plamen obvykle nejprve omezen na zapálený předmět. Když plameny dosahují výšky více než 1 nebo 2 m, sálavé teplo působící na sousední předměty se stává důležitým, a to i pro předměty vzdálené několik metrů od plamene. Tyto předměty se rozkládají převážně v důsledku sálavého tepla a poté se mohou samovolně vznítit. Pokud se plamen šíří v místnosti, tak jakmile plamen dosáhne stropu, šíří se přes něj a dramaticky zvyšuje zářivý tok na další předměty v místnosti. Ty následně pyrolyzují, čímž se místnost naplní hořlavinou, nebo dokonce výbušnou směsí paliva se vzduchem. Když k tomu dojde, pak celá místnost vzplane a dochází k rapidnímu přenosu plamene na všechny hořlavé předměty. V tomto okamžiku bude rychlost šíření plamene rychlejší než rychlost běhu člověka. V tuto chvíli již oheň nemůže být ovládán. Hoření bude pokračovat, dokud nebude spotřebováno všechno dostupné palivo [3].

1.5 Průběh hoření

Spalování je katalytická exotermická reakce udržovaná vnitřně generovanými volnými radikály a teplem. Za předpokladu, že přísun radikálů a tepla překročí energii potřebnou pro spalování, spalování probíhá rostoucí rychlostí, dokud nedojde k explozi. Pokud je dodávka energie stálá a rovná se poptávce, vznikne stacionární rovnováha, tedy ustálený plamen. Pokud je dostupná energie pod úrovní potřebnou k udržení rovnováhy, pak se bude rychlost spalování snižovat, dokud plamen nezhasne [2; 3].

Pokud teplota těkání pevné látky je vyšší než její spalovací teplota, ke spalování dochází přímo na povrchu. Při nízkých teplotách za přítomnosti dostatečného množství kyslíku dochází k rozžhavení, tj. bezplamennému spalování. Při nedostatečném přívodu kyslíku dochází k doutnání a neobjeví se plameny ani žhavení [2].

2 Nechtěné požáry

Nechtěné požáry způsobují velké ztráty na životech i majetku. V roce 2020 zemřelo na následky požáru 107 osob na území české republiky. V témže roce vzniklo přes 17 000 požárů, které způsobily škody za více než 2 500 000 000 Kč [4].

Analýza požárních statistik ukazuje, že většina úmrtí při požárech je způsobena vdechnutím toxických plynů. Chování při hoření a vzniklé množství zvláště toxických produktů nejvíce závisí na několika faktorech. Hlavním z nich je složení materiálu, dále má vliv teplota a koncentrace kyslíku v okolním vzduchu. Při neúplném spalování vzniká oxid uhelnatý, který bývá často považován za nejtoxičtější významný požární plyn. Neúplné spalování a následný vznik oxidu uhelnatého může být způsoben, pokud není dostatečné teplo v plynné fázi, což můžeme pozorovat například jako doutnání. Další možností vzniku oxidu uhelného je přítomnost stabilních aromatických molekul, které přežívají déle v zóně plamene, a tak poskytují vysoké výtěžky oxidu uhelného v dobře větraných podmínkách, ale pokud bude hoření probíhat v nevětraných podmínkách, výnosy budou nižší než očekávané výnosy. Oxid uhelný může také vzniknout pyrolýzou paliva, nebo pokud není dostatek kyslíku pro hoření [3].

Vysoká produkce dusivého oxidu uhelného z nedostatečně větraných požárů je odpovědná za většinu úmrtí v důsledku vdechování kouře a toxických plynů. Nedostatečně větrané hoření je nejobtížnější vytvořit v laboratorních podmínkách. Mezi další toxické druhy vzniklých plynů patří kyanovodík obsahující dráždivé látky, které způsobují oslepující bolest očí a zahlcení plic a dýchacích cest, které brání dýchání a tím brání úniku [2; 3].

Drtivá většina nechtěných požárů je poháněna organickými polymery a tím, jak pokročila výrobní technologie, došlo k rychlému přechodu od přírodních polymerů (obsažených ve dřevě, bavlně, kůži a vlně) k syntetickým polymerům. Syntetické polymery jsou obecně hořlavější než jejich přírodní protějšky – polyetylen, polypropylen a polystyren mají výhřevnost srovnatelnou s ropou. Avšak na rozdíl od přírodních polymerů, u kterých může být hoření zpomaleno pouze nátěry nebo jinými povrchovými úpravami, pro většinu syntetických materiálů je výrobní proces ideální pro začlenění retardérů hoření [3].

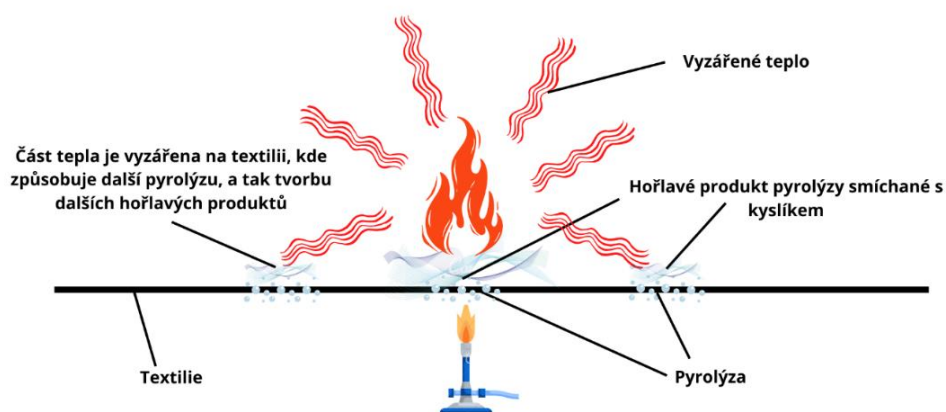
3 Hořlavost materiálů

Hořlavost materiálu není jejich vnitřní vlastností, jako je jejich hustota, nebo tepelná kapacita, ale závisí na podmínkách požáru. Hořlavost dvou různých materiálů může být ve dvou různých prostředích zcela opačná. Změna příměsí či složení materiálu, může velmi ovlivnit jeho chování v průběhu hoření. Do syntetických materiálů je možné přidat retardéry hoření. Protože hoření úzce závisí na přísunu kyslíku, teple a zdroji hoření, je velmi obtížné jej testovat v laboratorních měřících a z výsledků odhadovat chování reálného požáru [1; 2].

Tepelný rozklad polymerů je složitý proces, který může postupovat řadou různých cest v závislosti na materiálu a podmínkách. Polymery hoří rozpadem struktury jejich dlouhých řetězců, které uvolňují palivo do plynné fáze, kde dochází k samotnému hoření. Mechanismus rozpadu je často jedinečný pro konkrétní polymer. Metody zpomalující hoření nelze přímo exportovat z jednoho polymerního systému na jiný polymerní systém [2; 3].

3.1 Hoření netkaných textilií

Aby textilie hořela, musí být k dispozici dostatečné množství kyslíku, dostatek tepelné energie a hořlavý materiál. Když se ohřívají vlákna v přítomnosti kyslíku dochází k absorpci tepla a ztrátě vlhkosti ve vláknech. Vlivem tepelného rozkladu, neboli pyrolýzou vláken dochází ke vzniku hořlavých plynů. Radikálovou reakcí mezi plynným kyslíkem a hořlavým plynem dochází k zapálení. Hořením vzniká další teplo, které zvyšuje generování hořlavých plynů. Tento proces je znázorněn na obrázku 1. Polymery obsahující vysoké množství vodíkových můstků mají vysokou hořlavost, jedná se třeba o celulózová vlákna, či vlákna polyethylenová. Naopak polymery obsahující halogeny a aromatická jádra mají hořlavost menší [2; 5].



Obrázek 1 – Schéma hoření

3.2 Hořlavost vláken

Vlákná jsou tvořena dlouhými polymerními molekulami, jejichž povaha určuje vlastnosti vlákná. Polymery jsou tvořeny z menších molekul nazývaných monomery, jde o spojení mnoha monomerních jednotek ve formě dlouhého řetězce, který tvoří polymery. Když se textilní vlákna zahřejí zápalným zdrojem, začnou se molekuly polymeru rozpadat (proces zvaný pyrolýza) na menší molekuly. Některé z těchto produktů pyrolýzy jsou schopné hoření. Vzhledem k tomu, že vlákna v různých textiliích jsou vyrobena z různých polymerů, typ a množství produkovaných paliv se pro každý typ textilie liší. To může být důležité s ohledem na to, jak intenzivně hoří určitý typ textilie, jak veliké je množství produkovaného kouře a typ systému zpomalujícího hoření potřebného k ošetření látky. Vlivem radikálové reakce dochází k tepelnému rozkladu, zároveň s oxidací. Volný radikál se uvolňuje z peroxidických skupin. Následně je tvořen hořlavý plyn přerušením vazeb mezi uhlíky. V případě že vzniknou radikály brómu nebo chlóru dochází k omezení tvorby hořlavých plynů a tím i k omezení hořlavosti. Zobecněné znázornění cyklu zapalování je zobrazeno výše na obrázku 1 [6; 7].

3.3 Chemické a fyzikální procesy v hoření

Chemické složení polymerního materiálu a přítomnost zpomalovačů hoření či aditiv jsou parametry důležité pro určení míry uvolňování hořlavých produktů při zvýšení teploty. Neupravené přírodní materiály, jako je dřevo, bavlna a papír, mají tendenci uvolňovat hořlavé látky, které se vznítí při relativně nízkých teplotách ve srovnání se syntetickými materiály jako je polyethylen, polyvinylchlorid a další. Nicméně fyzická povaha materiálu také hraje důležitou roli při určování, zda materiál dosáhne teploty rozkladu, a to někdy i více, než chemické složení materiálu. Tepelná setrvačnost je součinem tepelné vodivosti, hustoty materiálu a měrné tepelné kapacity dané látky. Tepelná setrvačnost určuje čas pro dosažení povrchové teploty vznícení. Používá se k popisu vlastností materiálů podle jejich tepelné izolace. Tepelná setrvačnost je nízká pro izolační materiály a vysoká pro tepelně vodivé materiály. Polymery ve formě pěny jednoduše vzplanou a hoří velmi rychle, jako například polyuretanová pěna, ve srovnání s jejich pevnými protějšky, u kterých díky jejich tepelné izolaci dochází k šíření tepla pouze na povrchu materiálu. Tento jev je možné pozorovat i na obecně známém příkladu zapalování dřeva. Dřevěné piliny vzplanou zřetelně snadněji než dřevěné polínko [3].

Různé polymery se rozkládají různými způsoby a zpomalovače hoření inhibují procesy rozkladu nebo hoření. Když je polymer dostatečně zahřátý, jeho polymerní řetězce se začnou rozpadat, což nakonec vede k tvorbě těkavých molekul paliva. V některých případech se z řetězce uvolňují skupiny z konců nejnáze, v jiných případech se řetězce přerušují v náhodných bodech podél své délky, třetí možností je proces, kdy se z polymerního řetězce uvolňují postranní řetězce. Odštěpení postranních řetězců je často preferovaným mechanismem chemického zpomalení hoření. Tato možnost je zvláště vyhledávána, pokud je možné výslednému řetězci zabránit ve štěpení řetězce za vzniku těkavé látky [3; 7].

Rozklad polymerů je možné studovat pomocí termogravimetrické analýzy, která poskytuje cenný pohled na rozklad polymerů za řízených podmínek. Teplota, při které dochází k významné ztrátě hmoty během rozkladu na vzduchu udává teplotu vznícení, protože to je bod, kdy se z polymeru ztrácí značné množství hmoty. To může být ovlivněno inhibitory plamene v plynné fázi a do určité míry i produkcí oxidu uhelnatého na povrch, což současně snižuje koncentraci kyslíku. Jakmile dojde ke vznícení, hmotnostní ztráta dusíku je více reprezentativní pro rychlost výroby paliva, protože koncentrace kyslíku pod plamen se blíží 0 % [3].

3.3.1 Tepelné přechody a rozklad polymerů

Když se polymer zahřeje, tak může nastat celá řada tepelných přechodů za různých teplot, které ovlivňují hořlavost vláken, tedy i hořlavost textilií z nich vyrobených. Před vzplanutím polymeru je nutný rozklad polymeru na hořlavé látky. Čistě polymerní materiály se rozkládají štěpením koncových skupin, nebo odštěpením jednotlivé části v náhodném místě řetězce, odštěpením části polymeru, která není součástí hlavního řetězce nebo síťování. Polymery mohou degradovat jedním nebo kombinací více těchto možností. Syntetické polymery můžeme rozdělit do tří skupin podle druhu rozkladu při zvýšení teploty. První skupinu tvoří termoplasty, které změknou a roztají před degradací. Druhou skupinou jsou termosety, které netají, ale degradují uhelnatěním. Třetí skupinou jsou elastomery. Rozklad polymeru nastává v přítomnosti kyslíku ve většině případů rychleji [2; 5].

4 Zpomalovače hoření

V plastikářském a textilním průmyslu není hlavní důraz kladen na to, aby produkty dobře hořely, ale naopak na to, jak snížit pravděpodobnost jejich vznícení a pokud se již zapálí, aby hořely co nejméně. Tomuto jevu se říká retardace plamene. Zpomalovače hoření působí tak, že přeruší samoudržovací cyklus spalování polymeru, a tím uhasí plamen nebo sníží rychlost hoření. Většina dnes používaných systémů zpomalujících hoření byla vyvinuta empiricky. Současný zájem o lepší pochopení spalování polymerů a interakce retardérů hoření s ním je motivována požadavkem vyvinout systémy zpomalující hoření šetrné k životnímu prostředí se zvýšeným výkonem. Tato práce musí být založena na spolehlivých vědeckých zásadách. Strategie zpomalující hoření lze rozdělit na ty, které oheň fyzicky blokují a ty, které používají alternativní chemické reakce k zastavení hoření materiálu [2; 3].

4.1 Fyzické působení

Existuje několik způsobů, jak lze proces spalování zpomalit fyzikálním způsobem. První z nich je chlazení, kterého lze docílit endotermickou reakcí. Dalším fyzikálním principem zpomalení hoření, je vytvořením ochranné vrstvy, která brání toku tepla a kyslíku k polymeru. Třetí možností, jak zpomalit hoření, je takzvané ředění, což znamená uvolňování vodních par nebo oxidu uhličitého, které zředí radikály v plameni a ten zhasne. Nejpoužívanějším retardérem hoření je hydroxid hlinitý, který se rozkládá endotermicky za vzniku vodní páry, která ředí radikály v plameni, zatímco zbytek oxidu hlinitého vytváří ochrannou vrstvou. Bohužel, aby se dosáhlo požadovaných výsledků, je zapotřebí poměrně velké množství hydroxidu hlinitého, až 70% [2; 5; 7].

4.2 Chemické působení

Radikální reakce plamene mohou být přerušeny retardérem hoření. Koncentrace radikálů klesne pod kritickou hodnotu a plamen zhasne. Procesy, které uvolňují teplo, jsou tím zastaveny a systém se ochladí. Nicméně, zasahování do reakce plamene často vede ke vzniku vysoce toxických plynů a zvyšuje toxicitu ohně, ale zároveň omezuje růst požáru. Další možností je zpomalení hoření vznikem kapaliny, která odtéká pryč z plamene. Kapalina vznikne rozkladem polymeru. Tento jev si můžeme představit, jako když se snažíme zapálit vosk na svíčke bez knotu. Značnou nevýhodou může být vznik hořlavých kapek. Lepší retardéry hoření v pevné fázi jsou ty, které způsobují vytvoření vrstvy zuhelnatělého materiálu na povrchu polymeru. K tomu může dojít například odštěpením

zpomalovače hoření ve formě postranních řetězců, a tím generování dvojných vazeb v polymeru. Další možností je zavádění sloučenin do plastových směsí, které budou, pokud se polymer zahřeje na teplotu blízkou teplotě vzplanutí, uvolňovat atomy chloru nebo brom. Atomy chloru a zejména bromu jsou velmi účinné inhibitory plamene [2; 7].

5 Limitní kyslíkové číslo

Množství kyslíku potřebného k podpoře spalování se u každého paliva liší. Obsah kyslíku v zemské atmosféře je asi 21 %. Limitní kyslíkové číslo vyjadřuje míru hořlavosti. Jedná se procentuální hodnotu kyslíku ve směsi s dusíkem potřebnou pro hoření daného materiálu. Materiály s limitním kyslíkovým číslem pod 21 hoří snadno, zatímco materiály s hodnotou vyšší snadno nehoří. Materiály s hodnotou vyšší než 26 se označují jako nehořlavé. Kromě množství kyslíku, které různá paliva vyžadují k podpoře spalování, se také mění teplota, při které se různá paliva vznítí [7; 6].

6 Testování hořlavosti

Požární testy, které se zaměřují na konkrétní fáze požáru, by se měly zakládat na přiměřených podmínkách. Chceme-li simulovat účinky ohně pro vývoj a testování materiálů, testovací podmínky by měly co nejvíce souviset s příslušným scénářem. Je možné testovat zápalnost materiálů, šíření ohně a zkoumat hoření. Při zapalování je obtížnější získat opakovatelné výsledky ze spontánních zapalování, proto je obecně preferovaným scénářem pro posouzení počátku hoření řízené zapálení. Při spontánním vzplanutí může docházet k prvotnímu doutnání, před samotným vzplanutím. Řízené zapálení závisí na zdroji zapálení (plamen, cigareta, žhavicí drát a jiné). Šíření a růst ohně ovlivňuje množství vydaného tepla, proto je vhodné testovat větší vzorky, přibližně 10 až 100 cm. Pro zkoumání plně rozvinutého ohně je vhodné použít vzorky o velikosti až několik metrů. Pro materiály, které musí dobře fungovat při rozvinutých požárech je obvykle nutné testování za těchto extrémních podmínek, protože se mohou chovat odlišně v testovacích podmínkách v malém měřítku a rozsáhlých požárech [3].

V konečném důsledku se většina požární vědy, a tudíž většina požárních zkoušek, z dobrých důvodů zaměřuje na konkrétní cíle ochrany před požárem. Mezi běžné cíle ochrany patří zabránění trvalému vznícení, omezení šíření požáru, či vytvoření protipožární bariéry. Většina lépe zavedených požárních testů se snaží simulovat konkrétní realistický scénář požáru a monitorovat konkrétní požární riziko, nebo nebezpečí konkrétního exempláře v rámci tohoto scénáře, více než určení vlastností materiálu. Způsob, jakým vzorek reaguje v ohni nebo při požární zkoušce, může významně přispět k celkovému vývoji požáru. Porovnat chování při požáru v různých požárních testech je obtížné. Přesné předpovědi často selhávají, protože určují různé vlastnosti materiálu v různých scénářích. Nicméně hrubé korelace nebo korelace omezené na konkrétní třídy materiálů jsou úspěšné. Velikost vzorku hraje při testování hlavní roli. Empirické přístupy typicky nedokáží uspokojivě předpovědět chování požáru, zejména pokusy o pokrytí několika řádů velikostí. Byly vyvinuty pokročilé prediktivní modely, které jsou posunem směrem ke spolehlivým předpovědím chování požáru. Interakce mezi vlastnostmi komponent a vnitřní vlastností materiálu jsou složité a variabilní [2; 3; 5].

Analýza nebezpečí požáru vyžaduje údaje, které popisují rychlost spalování materiálu a údaje, které popisují výtěžek toxického produktu z materiálu. Toho lze nejlépe dosáhnout použitím trubkové pece v ustáleném stavu, ve kterém jsou přívod vzduchu a rychlost hoření pevně dané, když je vzorek vložen do pece, a poté vystaven rostoucímu aplikovanému

tepelnému toku. Toxicita ohně je také závislá na scénáři hoření, ale při použití této techniky byl prokázán vztah mezi výtěžností toxických produktů (například v gramech toxické látky na gram polymeru) a podmínkami hoření pro dané složení materiálu [2; 3; 5].

Spalování je složitý proces chemické oxidace, který je těžko předvídatelný za skutečných podmínek hoření. Hlavní parametry charakterizující povahu požáru a hoření materiálů jsou doba vznícení a celkové uvolněné teplo. Celkové uvolněné teplo je nejdůležitějším ukazatelem povahy hoření materiálu a má zásadní vliv na celkový rozvoj požáru. Okamžik, kdy kapacita hoření dosáhla maximálního limitu, se nazývá maximální rychlost uvolňování tepla. Čím vyšší je maximální rychlost uvolňování tepla, tím je pravděpodobnější, že se plameny rozšíří po vzorku. Hodnoty celkového uvolněného tepla i hodnoty rychlosti uvolňování tepla, je možné získat při měření na kónickém kalorimetru [8].

6.1 Testování hořlavosti NT

U netkaných textilií patří mezi důležité faktory, které je potřeba vzít v úvahu při charakterizaci vznícení a spalování, vlhkost a hustota netkaného materiálu, rozmanitost vláken, tloušťka elementárních vláken a chemické přísady, které mají také významný vliv. Například při vyšším obsahu ligninu lze urychlit zapalování. Je třeba také poznamenat, že i průměr vláken hraje významnou roli. Například prvky malého průřezu, jako jsou konopná vlákna, se aktivně účastní spalování a uvolňují velké množství tepla. Pro pochopení hořlavosti netkaných textilií jsou diskutovány parametry, jako je doba vznícení, maximální rychlost uvolňování tepla, doba do maximální rychlosti uvolňování tepla a celkové uvolňování tepla získané z testů [8].

6.2 Testovací norma PV3357

Tato norma se využívá při testování vzorků u klasické standardní produkce [9].

6.2.1 Rozsah normy

Norma zahrnuje testování chování při hoření materiálů a komponent pro tlumící a absorpční části v motoru vozidel, také pro podvozek vozidel se zážehovým či diesellovým motorem. Vzorky materiálu jsou vystaveny povrchovému i bočnímu plameni. Norma je vhodná pro testování kompozitních i jednodruhových materiálů. Testování probíhá v laboratorních podmínkách, čemuž je uzpůsobena i podoba testovaných vzorků, to znamená, že se testované vzorky liší od finálního výrobku [9].

Kompozitní materiály

Pokud není uvedeno jinak, pro bavlněné netkané kompozity se testování provádí z obou stran materiálu, nebo se každá část kompozitu testuje odděleně. Testování je možné provádět horizontálně i vertikálně [9].

Individuální materiály

Specifické testování je využíváno pro hoření jednotlivých materiálů, jako například pro jednotlivé složky kompozitů [9].

6.2.2 Vybavení

Hořák – kahan

Kahan pro tento test je Bunsenův kahan, vybavený regulací plynu a posuvnou regulací přísunu vzduchu. Kahan je připojen gumovou hadicí ke zdroji hořlavého plynu [9].

Palivo

Pro testování se využívá propanu [9].

Držák vzorku

Držák vzorku musí umožňovat umístění vzorku nad kahan vertikálně nebo horizontálně [9].

6.2.3 Vzorky

Rozměry vzorků musí být 230×200 mm. Tloušťka vzorků je měřena uprostřed vzorku, ne na okraji. Čtyři vzorky největší tloušťky a čtyři vzorky nejmenší tloušťky se vystaví působení plamene na spodní hranu. Před testováním je nutné nechat vzorky 24 hodin aklimatizovat dle normy DIN 50 014-23/50-2 [9].

6.2.4 Záběr testu

Od každé varianty testovaného vzorku musí být testovány alespoň dva samostatné vzorky. Pokud není výsledek testu jednoznačný dle testového hlášení, je nutné otestovat další dva vzorky [9].

6.2.5 Průběh testu

Test by měl být prováděn v klimatizovaných podmínkách dle normy DIN 50 014-23/50-2. Konstrukce pro upevnění vzorku by měla mít pokojovou teplotu $18 - 28$ °C před začátkem testování. V první fázi testování je vzorek vystaven působení plamene na 15 sekund. V druhé

fázi je vzorek vystaven působení plamene 10 minut. Během testování může být připojen odvod vzniklých plynů. Odvod však nijak nesmí ovlivnit hoření [9].

6.2.6 Vystavení působení plamene

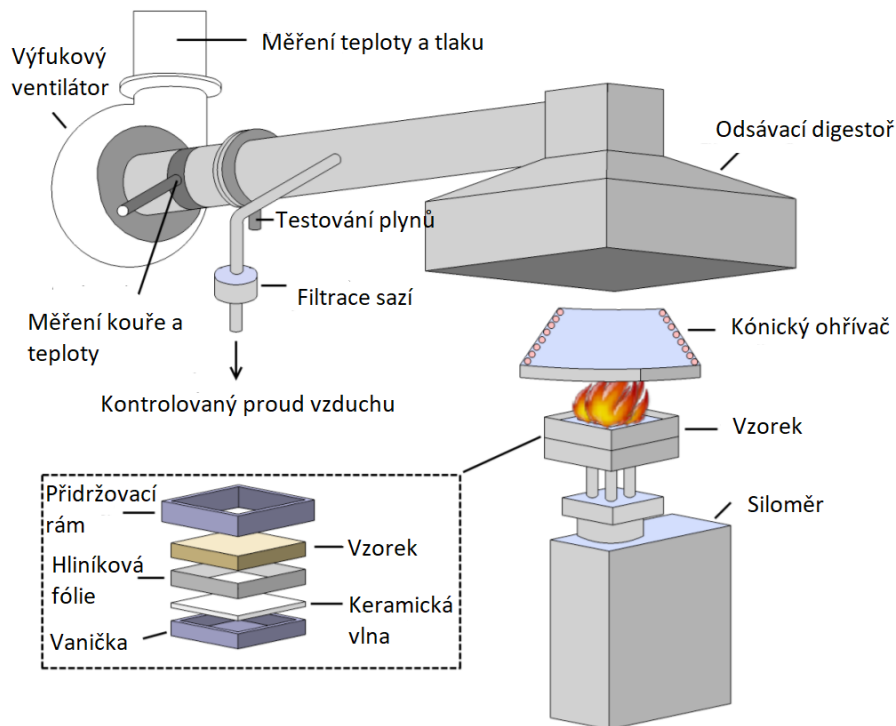
Vzorek je vystaven plamenu o výšce 40 mm. Kahan musí hořet konstantně alespoň minutu po nastavení výšky plamene. Následně je uchycen vzorek do držáku a vystaven působení plamene. Vzdálenost mezi kahanem a okrajem vzorku je 30 mm [9].

6.2.7 Vyhodnocení

Vyhodnocení testu se zaznamenává do zprávy. Doba hoření je čas od vzplanutí vzorku po vyhasnutí plamene. Zpráva z testování uvádí informace o daném vzorku například jeho šířku. Dále musí být ve zprávě uvedeno, jakým způsobem bylo testování provedeno. Ve zprávě se hodnotí, zda došlo ke vzplanutí a za jak dlouho, zda se ze vzorku kouřilo, jak dlouho vzorek hořel, jak velká byla zasažená oblast, doba hoření po ukončení působení plamene, v neposlední řadě se také zaznamenává, zda ze vzorku odpadávají části a zda dále hoří [9].

6.3 Kónický kalorimetr

Kónický kalorimetr je trefně pojmenovaný podle tvaru topného tělesa a způsobu využití kalorimetrie spotřeby kyslíku. Hlavními částmi kónického kalorimetru jsou kuželové topné těleso pro vytváření sálavého tepla, jiskrový zapalovač pro zažehnutí vzorku, siloměr pro měření úbytku hmotnosti a výfukový systém, ve kterém se odebírají vzorky plynů a probíhá v něm měření obsahu dýmu. Vzorek plynu pak prochází analyzátozem kyslíku, na základě čehož se určuje uvolňování tepla. Na obrázku 2 dále je vidět náčrt kónického kalorimetru [10].



Obrázek 2 - Kónický kalorimetr [11]

Kónický kalorimetr vyvinula Fire Research Group v National Institute of Research and Technology (Národní institut výzkumu a technologií) v roce 1982. Dlouhou dobu je norma ASTM E1354 ctěná, jako jeden z nejvýznamnějších požárních testů malého rozsahu. Kónický kalorimetr se také používá jako náhradní metoda, pokud se materiál nedá testovat běžnými metodami kvůli jeho vlastnostem (například se tak testují roztékající se materiály) [10].

6.3.1 Testování na kónickém kalorimetru

Testování se provádí dle normy ASTM E1354. Vzorky pro testování musejí mít velikost 100×100 mm s maximální povolenou tloušťkou 50 mm. Vzorky by měly odpovídat konečnému výrobku a měly by být pokud možno ploché a rovné. Před testováním se vzorky přesně naváží v prostředí o 23 stupních celsia a za 50% relativní vlhkosti vzduchu. Vzorky se pak zabalí na zadní straně a též po stranách do hliníkové fólie a uchytí se v kovovém držáku. Před začátkem testování se vybavení denně kalibruje. Topné těleso lze nastavit na tepelné sálání o výkonu mezi 0 až 100 kW/m^2 . Nastaví se předem určený a stálý výfukový odtok vzduchu a naměří se počáteční koncentrace kyslíku [10].

Test začíná naložením vzorku na siloměr pod kuželové topné těleso. Poté se nad vzorek umístí jiskrový zapalovač, dokud celá plocha vzorku nevzplane. Test se může provést

i bez zapalovače. Produkty spalování projdou výfukovým systémem, v jehož trubici se měří parametry dýmu za použití laseru v jeho potrubí. Dále se odebere vzorek plynů a změří se míra přítomnosti kyslíku. Test pokračuje dvě minuty po jedné z následujících událostí: po poslední známce ohně, pokud míra ztráty hmotnosti spadne pod 150 g/m², veškerá hmota vzorku shořela, koncentrace kyslíku se vrátí do původních hodnot před začátkem testu, nebo až proběhne 60 minut. Test se může přerušit také v případě, že vzorek do třiceti minut od zahájení testu nevzplane a nejeví známky reakce na teplo [10].

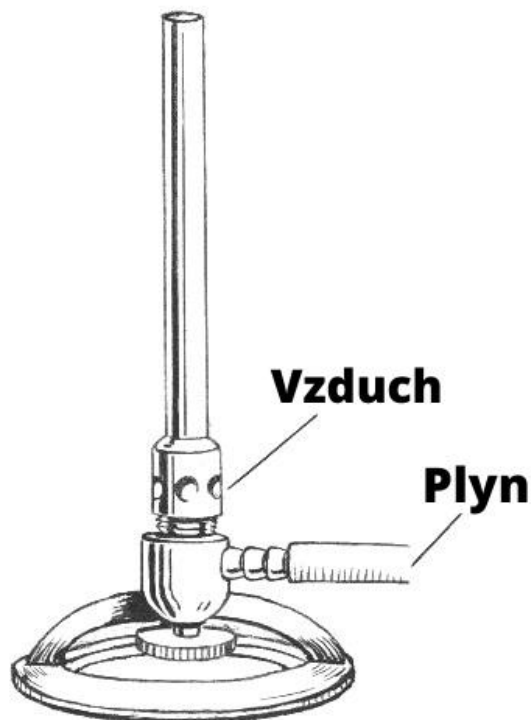
Metoda využívá kónický kalorimetr a kalorimetrii spotřeby kyslíku pro určení množství uvolněného tepla při pálení produktu. Tato testovací metoda se běžně používá pro testování nových produktů, které jsou stále ve vývoji, aby se dokázalo dodržení nařízení pro vstup produktu na trh. Také se tato metoda používá pro určení a držení kvality zboží. Rychlost uvolňování tepla a množství tepla produktem uvolněného přímo korelují se závažností, intenzitou a šířením ohně [10].

Informace získané během zkoušky provedené v kónickém kalorimetru jsou: čas do vzplanutí, doba do zhasnutí plamene, nejvyšší míra uvolňování tepla, doba do nejvyšší míry uvolňování tepla, průměrná míra uvolňování tepla (v 60, 180, 300 sekundách), celkové uvolněné teplo, průměrná efektivní teplota vzplanutí, počáteční a konečná hmotnost, míra ztráty hmotnosti, průměrný obsah kouře a čas do nejvyššího obsahu kouře [10].

Protože kónický kalorimetr představuje pouze malorozměrovou zkoušku, nemusí být vždy výsledky dostačující. Proto je někdy nutné provádět zkoušky velkorozměrové či středorozměrové. Nejběžnější středorozměrovou metodou je nábytkový kalorimetr, na kterém je možné testovat chování a vlastnosti stojících předmětů. Pro velkorozměrové zkoušky se využívá Room corner test [10; 12; 13].

6.4 Bunsenův kahan

Kahan dostal jméno podle německého chemika Roberta Wilhelm Eberhard Bunsena. Jedná se o druh plynového hořáku používaný jako laboratorní vybavení. Může být využit pro spalování, sterilizaci, zahřívání či ke zkoušce barvení plamene. Plyn může být použit zemní (například metan), nebo zkapalněný ropný plyn (například propan či butan). Dosažená spalovací teplota závisí částečně na teplotě adiabatického plamene zvolené palivové směsi. K zapálení kahanu se běžně využívají zápalky nebo jiskrový zapalovač [14; 15; 16; 17].



Obrázek 3 - Bunsenův kahan [18]

Na obrázku 3 je znázorněn Bunsenův kahan. Kahan má tvar úzké vertikálně postavené trubice. Ve spodní části je do trubice přiváděn hořlavý plyn, nejčastěji pryžovou hadicí. Plyn pak proudí vzhůru skrz trubicí. Na boční straně dna trubice jsou otevřené štěrbinové otvory pro vstup vzduchu do proudu pomocí Venturiho efektu a plyn hoří v horní části trubice. Množství vzduchu smíchaného s proudem plynu ovlivňuje úplnost spalovací reakce. Méně vzduchu vede k neúplné, a tedy chladnější reakci. Proud vzduchu lze ovládat otevíráním nebo zavíráním štěrbinových otvorů na základně hlavně. Pokud je límec ve spodní části trubice nastaven tak, aby se s plynem před spalováním mohlo smíchat více vzduchu, plamen bude hořet více a v důsledku toho bude vypadat modře. Pokud jsou otvory uzavřeny, plyn se smísí s okolním vzduchem pouze v místě spalování, to znamená až poté, co opustí trubicí nahore. Toto snížené míchání vytváří neúplnou reakci a vytváří chladnější plamen s jasnější žlutou barvou. Žlutý plamen je svítivý díky malým částicím sazí v plamenu, které se rozžhaví. Žlutý plamen je považován za „špinavý“, protože zanechává vrstvu uhlíku na čemkoli, co ohřívá. Když je hořák regulován tak, aby produkoval horký modrý plamen, může být na některých pozadích téměř neviditelný. Nejžhavější částí plamene je špička vnitřního plamene, zatímco nejchladnější je celý vnitřní plamen. Zvýšením průtoku palivového plynu trubicí se zvětší velikost plamene. Pokud však není upraveno také

proudění vzduchu, teplota plamene se sníží, protože zvýšené množství plynu se nyní mísí se stejným množstvím vzduchu, čímž se plamen ochudí o kyslík [14; 15; 16; 17].

6.5 Rychlost uvolňování tepla

Rychlost uvolňování tepla se používá jako jeden z nejpodstatnějších parametrů pro hodnocení, jak se daný materiál bude chovat během požáru. Konkrétně se využívá k předpovědi a hodnocení, jak se požár šíří. Vyjadřuje míru hořlavosti zkoumaného materiálu. Rychlost uvolňování tepla může sloužit při modelaci zkoumání rozvoje požáru. Tato požární charakteristika bývá využívána také k simulaci požárních scénářů. Celkově značí velikost požárního nebezpečí. Rychlost uvolňování tepla ovlivňuje kvantifikovatelné charakteristiky požáru. Jednotkou rychlosti uvolňovaného tepla je joule za sekundu, tedy watt. Výhodou této veličiny je, že neudává pouze množství uvolněného tepla, ale množství uvolněného tepla vztahované na čas. Tedy víme, kdy se kolik tepla uvolnilo. Protože hodnoty uvolněného tepla jsou vysoké, častěji se používají kW, eventuálně MW. Bylo zjištěno, že při zvyšování rychlosti uvolňovaného tepla dochází k rapidnímu snížení doby, po kterou je pro lidský organismus bezpečný pobyt v místě zasaženém. Experimentálně byla odhalena závislost spotřebovaného kyslíku na uvolněném teple při hoření. Pro většinu látek platí, že při spotřebě jednoho kilogramu kyslíku se uvolní teplo přibližně 13 MJ. Nejpoužívanější metodou ke zjištění rychlosti uvolňování tepla je měření na kónickém kalorimetru [12].

6.6 Celkové uvolněné teplo

Celkové uvolněné teplo udává hodnotu tepla uvolněného během celého procesu hoření. Vlastně se jedná o plochu pod křivkou rychlosti uvolňování tepla. Hodnota celkového uvolněného tepla se využívá při hodnocení reakce daného výrobku na oheň podle normy ČSN EN 13501-1. Pokud se hodnota uvolněného tepla vztahuje na plochu, která jej uvolnila, je možné pomocí ní hodnotit požární otevřenost fasád [12].

6.7 Intenzita vyzařování tepla – průměrná rychlost emise tepla

Intenzita vyzařování tepla udává průměrné množství uvolněného tepla za určitý časový úsek. Jedná se tedy o průměrnou hodnotu mezi časovými úseky rychlosti uvolňování tepla. V literatuře může být intenzita vyzařování tepla označena jako průměrná rychlost emise tepla [12].

7 Vliv objemové hmotnosti na průběh hoření

V práci týkající se hořlavosti izolačních materiálů z konopných vláken bylo zkoumáno 6 různých vzorků. Díky pojení třemi různými technologiemi byly vyrobeny vzorky o různých objemových hmotnostech a různých tloušťkách. Každou technologií byly vyrobeny dva vzorky, z nichž každý byl z jiného druhu konopí. Technologie se lišily ve způsobu pojení mykaného rouna. Jedním ze způsobu pojení bylo vpichování. Dalšími způsoby pojení bylo tepelné pojení a pojení pomocí paprsků vody. Vzorky měly tloušťku od 3,3 mm do 17,7 mm. Objemové hmotnosti těchto vzorků se pohybovaly v rozmezí od 24,3 do 114,5 kg/m³. Vzorky byly testovány na kónickém kalorimetru v souladu s metodikou normy LVS ISO 5660-1. Kuželový kalorimetr je přístroj pro testování hořlavosti, který měří inherentní hořlavost materiálu pomocí kalorimetrie spotřeby kyslíku. Princip metody je založen na vystavení povrchu vzorku rovnoměrnému tepelnému záření. V tomto případě bylo zvoleno sálání 50 kW/m². Zkušební vzorky byly vyrobeny ve tvaru čtverce o délce jedné hrany 100 mm. Testovány byly v rámu vymezující vzorek z pěti stran, přičemž přístup kyslíku ke vzorku zespodu a stran byl omezen. Rám zajišťuje rovnoměrnou vzdálenost od topného tělesa a konstantní povrch vystavený tepelnému záření. Všechny vzorky byly testovány za stejných podmínek. Aby se zabránilo poškození zařízení a rámu požárem, a aby se usnadnilo odstranění zbytků po ukončení zapálení, byla kolem vzorku umístěna fóliová skořepina, která nechala horní povrch otevřený, takže skořepina neovlivnila zkoumané účinky. Zkouška je ukončena po zhasnutí plamene [8].

Bylo zjištěno, že skupina vzorků pojená vodními paprsky, tedy skupina vzorků s největší objemovou hustotou, má nejdelší čas do zapálení a nejdelší dobu dosažení maximální rychlosti uvolňování tepla. Čím vyšší je hustota materiálu, tím více vláken a méně kyslíku obsahuje na jednotku objemu a déle trvá, než se zapálí. Proto všechny vzorky vyrobené technologií tepelného pojení a vpichování, které mají menší hustotu než vzorky pojené vodními paprsky, se vznítí rychleji. Protože je známo, že vyšší hustota zvyšuje odolnost proti ohni, je to nejpravděpodobnější vysvětlení rozdílu výsledků získaných mezi vzorky. Z výsledků experimentu je vidět, že čas do zapálení se zvyšuje se zvyšující se hustotou izolace a má tendenci se stát lineárním vztahem. Šíření plamene je určeno především hustotou materiálu. Při stejných hustotách může být distribuce plamene více ovlivněna pozicí vláken [8].

Celkové vyzářené teplo vykazovalo nelineární závislost na hustotě. Maximálních hodnot je dosaženo ve vzorcích pojených vodními paprsky. Tepelně pojené materiály vykazovaly silnější vliv druhu vlákna na rychlost uvolňování tepla a celkové množství uvolňovaného tepla. Vpichované materiály byly o něco méně citlivé na druh vlákna při stejných parametrech. Vodou pojené vzorky byly podstatně méně ovlivněny druhem vláken použitých na výrobu [8].

V závěru práce je uveden podnět k provedení dalších studií s netkanými textiliemi s úpravou zpomalující hoření, zlepšující ochranu proti hoření a zabraňující šíření plamene a také hledající nejlepší kompromis mezi hustotou, mechanickými vlastnostmi a požární odolností [8].

8 Použité materiály

8.1 Polyesterová vlákna

Polyester je částečně krystalický polymer s lineárním řetězcem. Typickou chemickou strukturní skupinou pro polyestery je $-\text{CO}-\text{O}-$. Nejrozšířenějším polyesterem je polyethyltereftalát, který vzniká z kyseliny teraftalové a ethylenglykolu. V čistém stavu jsou polyestery vysoce hořlavé. Limitní kyslíkové číslo se pohybuje od 20 – 22. Hustota polyesteru je 1360 kg/m^3 . Teploty měknutí jsou úzce závislé na přesném složení polyesteru. Teplota pyrolýzy polyesterů se pohybuje mezi $420 \text{ }^\circ\text{C}$ a $447 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota měknutí je kolem 80 až $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota tání polyesteru je $255 \text{ }^\circ\text{C}$. Když se polyethyltereftalát zahřeje nad $300 \text{ }^\circ\text{C}$ nastane tepelná degradace, při které vznikne řada těkavých produktů, spousta z nich je i hořlavých, například se jedná o metan, ethan, diethyléter a další [5; 2; 6].

Vlákna z polyesteru se označují jako syntetická vlákna. Polyesterová vlákna jsou významná pro technické i oděvní aplikace. Pokud se polyester přiblíží k ohni, dochází k jeho tavení. Když polyester hoří, zároveň se taví. Roztavená hmota může odkapávat. Při hoření se uvolňuje černý kouř s mírně nasládlým zápachem. Po zhasnutí plamene zbyde tmavá kulička, kterou je možné rozdrtit na popel [6; 19].

8.2 Viskóзовá vlákna

Viskóзовá vlákna jsou hojně využívána v oděvním průmyslu i v technických aplikacích. Jedná se o vlákna uměle vytvořená z přírodních polymerů. Konkrétně se jedná o regenerovanou celulózu. Průměrný polymerační stupeň viskóзовých vláken je 300. Pevnost viskóзовých vláken se pohybuje mezi $2 - 3 \text{ cN/dTex}$. Pevnost vláken za mokra klesá. Tažnost vláken za sucha je $15 - 30 \%$. Tažnost vláken za mokra je $20 - 40 \%$. Při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu 65% obsahuje viskóza přibližně 13% vlhkosti. Limitní kyslíkové číslo může být $17 - 19 \%$. Hustota viskózy je 1520 kg/m^3 . Teplota uvolňování hořlavých plynů z polymerního řetězce nastává při teplotě $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Pokud se viskóza přiblíží ke zdroji ohně, netaví se. Je hořlavá. Hoří i po oddálení zdroje hoření. Zápach kouře připomíná pálení papíru či dřeva. Popel vzniklý z viskózy je šedý a velmi jemný, zůstane ho pouze malé množství [2; 6; 5; 19].

9 Experiment první část

Pro prvotní experiment byla zvolena směs polyesterových a viskóзовých vláken. Viskóзовá vlákna byla vybrána pro svoje snadné zapálení, jejich množství bylo voleno několikanásobně menší než množství vláken polyesterových. Pro nejpřesnější pozorování bylo důležité, aby vznikly modelové vzorky se stejnou hmotností a stejným složením. Pro docílení různé objemové hmotnosti vyrobených vzorků, avšak jejich stejného složení a tím i stejné plošné hmotnosti, bylo vybráno pojení na tepelném lisu s vyhříványými deskami. Tepelný lis umožňuje různé nastavení vzdáleností mezi vyhříványými deskami během pojení, čímž bylo možné docílení odlišné tloušťky vyrobených vzorků.

9.1 Výroba vzorků

Všechny vzorky byly vyrobeny téměř shodným postupem výroby. Vzorky se lišily pouze v objemové hmotnosti, kterou ovlivnila vzdálenost mezi vyhříványými deskami lisu při pojení. Jako první byla vytvořena směs vláken. Směs byla tvořena ze 70 % hmotnosti polyesterovými vlákny o jemnosti 5,3 dTex. Pro lepší vzplanutí vzorku tvořila 10 % hmotnosti směsi viskóзовá vlákna s jemností 6,7 dTex. Jako pojivo byla vybrána pojivá vlákna. Posledních 20 % hmotnosti směsi tvořila vlákna pojivá bikomponentní z polyesteru a kopolyesteru. Po přesném navážení jednotlivých vlákenných komponent byla vytvořena směs. Směs byla vytvořena ručním promísením vláken. Vytvořená směs vláken byla předložena válcovému mykacímu stroji. Proběhlo mykání. Následovalo podélné vrstvení. Podélným vrstvením vlákenné pavučiny vzniklo rouno. Mykací proces byl následně zopakován z důvodu dosažení lepší homogenity. Pro lepší ojednocení a promísení vláken, bylo rouno vyrobené prvním procesem mykání, předloženo válcovému mykacímu stroji v kolmém směru ke směru výroby. Výsledné rouno bylo rozstříháno na kusy vhodné velikosti pro pojení na daném tepelném lisu. Pro pojení byl použit tepelný lis od firmy Pracovní stroje Teplice. Lisovací síla tohoto lisu byla 150 kN. Rouno bylo pojeno pomocí lisu s nastavenou teplotou 130 °C. Doba pojení byla jedna minuta. Teplota byla vybrána v závislosti na teplotě tání pojivých vláken. Pro dosažení rozdílných objemových hmotností byla nastavena různá vzdálenost lisu – 13 mm, 10 mm, 7 mm, 3 mm. Vzorky jsou dále v práci označovány podle vzdálenosti mezi pojivými deskami tepelného lisu.

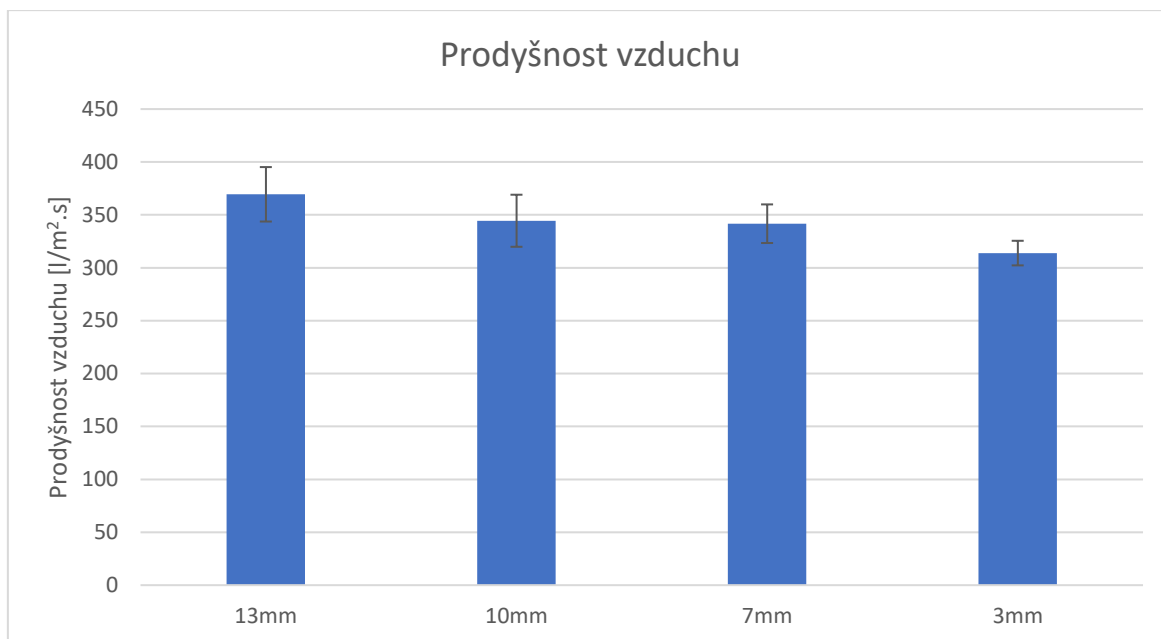
9.2 Měření prodyšnosti

Na vyrobených vzorcích byla měřena prodyšnost vzduchu pomocí přístroje Metefem typ FF – 12/A. Prodyšnost byla měřena při tlakovém spádu 2 mm vodního sloupce. Pokud převedeme 2 mm vodního sloupce na tlak, dostaneme hodnotu 19,6 Pa. Přístroj neumožňoval měřit přesné hodnoty. Aby se zamezilo stlačení vzorku a tím ovlivnění jeho prodyšnosti, byl pro měření použit speciální nástavec vyrobený z kartonu. Hodnoty naměřené prodyšnosti jsou uvedeny v příloze A. Tabulka 1 zaznamenává statistické vyhodnocení dat z měření. Pro každý vzorek bylo měření provedeno desetkrát.

Tabulka 1 - Měření prodyšnosti [$l/m^2.s$]

	13 mm [$l/m^2.s$]	10 mm [$l/m^2.s$]	7 mm [$l/m^2.s$]	3 mm [$l/m^2.s$]
Aritmetický průměr	369,44	344,44	341,67	313,89
Směrodatná odchylka	39,38	37,68	27,92	17,79
Dolní hranice 95% IS	345,04	321,09	324,36	302,86
Horní hranice 95% IS	393,85	367,80	358,97	324,91

V tabulce 1 jsou zaznamenány hodnoty prodyšnosti testovaných vzorků. Hodnoty naměřené přístrojem bylo nutné přepočítat. Z přístroje bylo možné odečítat hodnoty v litrech za hodinu. Bylo tedy nutné převést hodnoty na litry za sekundu a pro získání prodyšnosti započítat plochu v metrech čtverečných, přes kterou vzduch procházel.



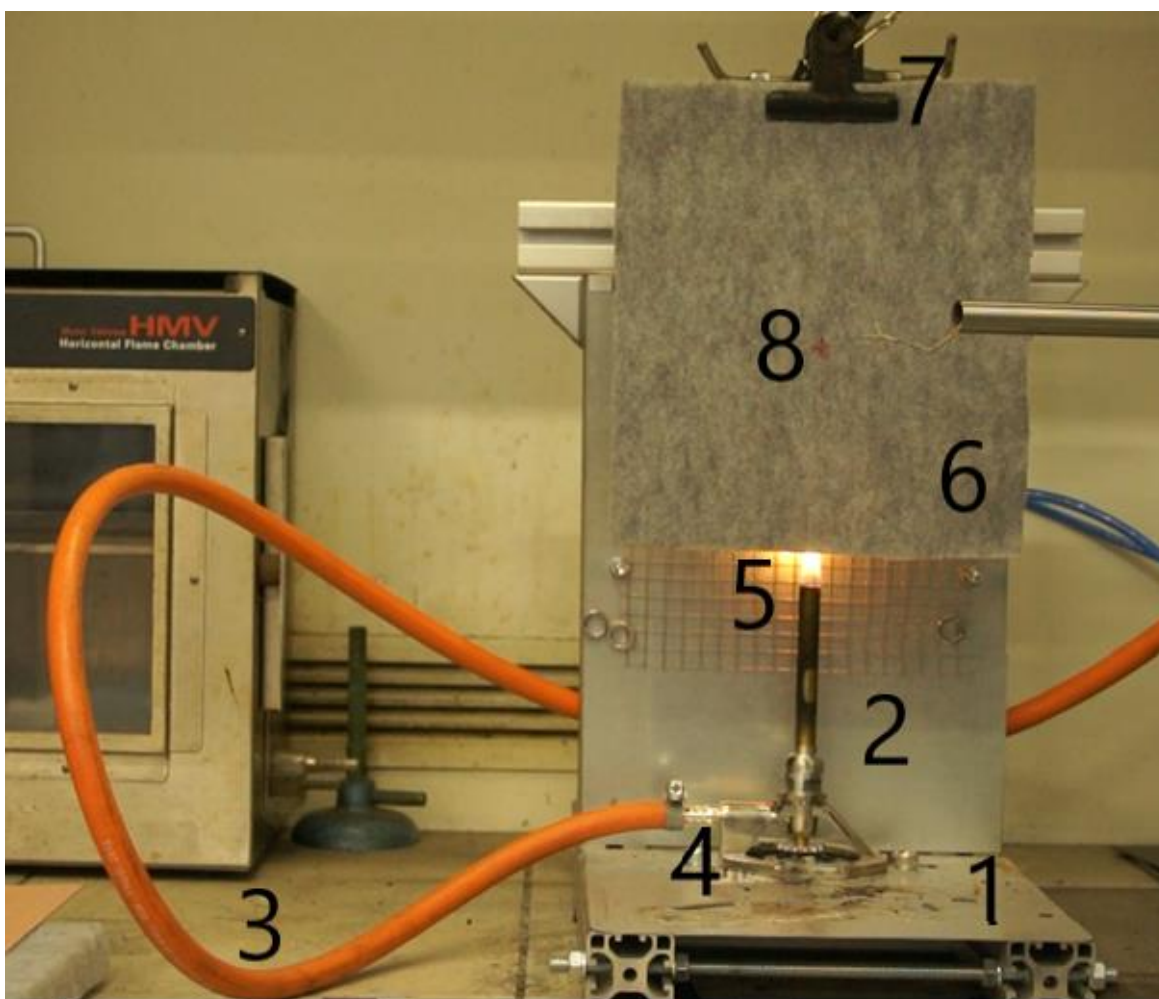
Graf 1 - Prodyšnost vzduchu [l/m².s]

V grafu 1 jsou zaznamenány průměrné hodnoty naměřené na přístroji Metefem typ FF – 12/A. Hodnoty prodyšnosti jsou vztaženy na plochu. V prvním sloupci je zaznamenán průměr pro naměřené hodnoty pro vzorek s nejmenší objemovou hmotností, tedy vzorek označený 13 mm. U vypočítaných průměrných hodnot můžeme sledovat klesající trend pro hodnotu prodyšnosti spolu s klesající tloušťkou materiálu. Tento jev je způsoben menšími prostory mezi vlákny u materiálů slisovaných na menší tloušťku. Díky většímu slisování vláken nemohl vzduch proudit v takové míře, jako u vzorků, kde byla vlákna dále od sebe. Statisticky nejsou rozdíly mezi průměry prodyšnosti významné. Jediný statisticky významný rozdíl je mezi nejtlustším a nejtenčím testovaným materiálem.

10 Měření hořlavosti

10.1 Metodika měření

Měření hořlavosti vycházelo z normy PV 3357. Velikost vzorků byla 230×200 mm. Vzorek byl umístěn 30 mm nad ústí kahanu. Výška plamene kahanu byla nastavena na 40 mm. Vzorky byly uchyceny nad kahan pomocí skřípce zavěšeného na kovové konstrukci. Do středu vzorku do výšky 100 mm od spodního okraje testovaného vzorku byl umístěn termočlánek. Byl vybrán termočlánek typu K se zaznamenáváním teplot jednou za vteřinu.



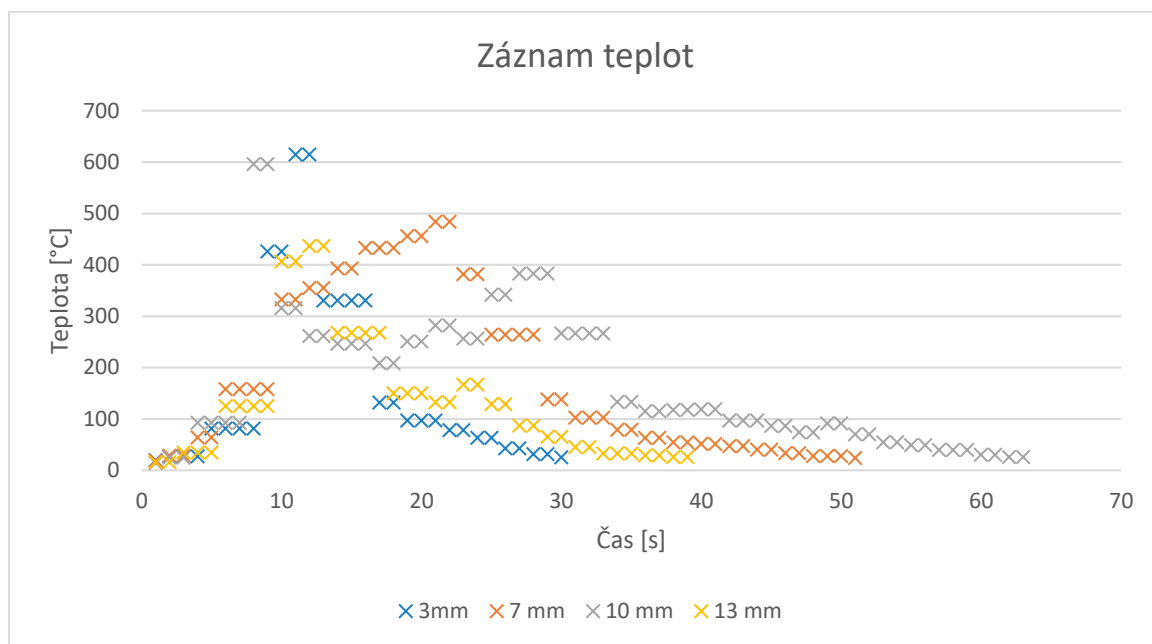
Obrázek 4 - Přístroj na měření hořlavosti

Měření bylo realizováno na zařízení pro měření hořlavosti obrázek 4. Na spodní vodorovné pohyblivé desce (1) je pevně umístěn kahan (2). Pohyblivá deska byla při měření hořlavosti umístěna na 15 s do přední polohy. Na obrázku 4 je pohyblivá deska v zadní poloze. Oranžová hadice (3) přivádí propan do kahanu (2). Přívod plynu byl nastaven ventilem (4) tak, aby plamen (5) dosahoval velikosti 40 mm. Ve vertikální vzdálenosti 30 mm od kahanu je umístěna spodní strana testovaného vzorku (6). Testovaný vzorek byl

umístěn do kovového skřípce (7). Doprostřed testovaného vzorku byl umístěn termočlánek (8), termočlánek byl umístěn 100 mm od spodního okraje, 100 mm od pravého i levého okraje měřeného vzorku.

10.2 Teploty z termočlátku

V průběhu testování vzorků nad kahanem, byla měřena teplota pomocí termočlátku umístěného uprostřed vzorku 100 mm od spodního okraje.



Graf 2 - Záznam teploty v průběhu hoření [°C]

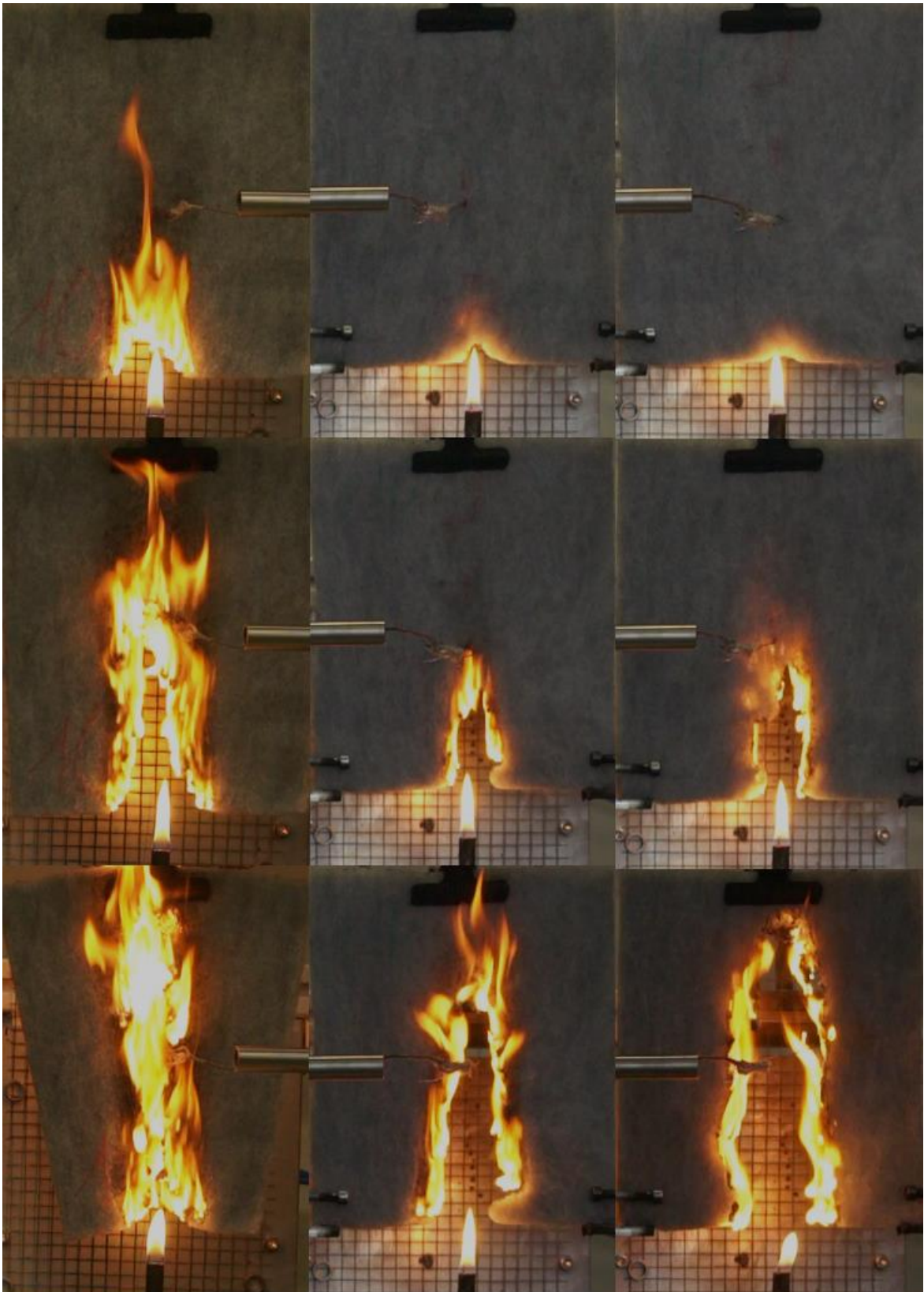
V grafu 2 jsou zaznamenány teploty z termočlátku. Modrou barvou jsou zaznamenány teploty naměřené u vzorku s největší objemovou hmotností. Oranžová barva zaznamenává průběh teplot při testování vzorku označeného 7 mm. Vzorek 10 mm je v grafu vyznačen šedivou barvou. Žlutou barvou jsou v grafu zaznamenány průběhy teplot naměřených na termočlátku pro materiál s nejmenší objemovou hmotností. Pro měření byl použit termočlánek s nízkou frekvencí snímání dat. Z důvodu nejistoty teplotního chování mezi jednotlivými zaznamenanými teplotami není vhodné vytvořit spojitý graf. Bylo nutné upravit metodiku měření.

11 Experiment druhá část

Ve druhé části experimentu bylo vhodné změnit složení vyrobených vzorků, aby byla snížena, ale zachována hořlavost materiálů. Byla nutná vylepšit metodiku měření hořlavosti, aby bylo vždy dodrženo stejných podmínek měření. Pro lepší záznam teplot bylo důležité zajištění termočlánku s větší intenzitou snímání teplot. Pro měření prodyšnosti byl zvolen přístroj M021A od firmy SDL Atlas.

11.1 Výroba vzorků

Všechny vzorky byly vyrobeny téměř totožným postupem výroby, jako prvotní vyrobené vzorky. Vzorky se lišily pouze v objemové hmotnosti, kterou ovlivnila vzdálenost lisu při pojení a poměrové složení materiálu. Jako první byla vytvořena směs vláken. Směs byla tvořena ze 75 % hmotnosti polyesterovými vlákny o jemnosti 5,3 dTex. Pro snížení rychlosti hoření bylo použito pouze 5 % z hmotnosti směsi viskóзовých vláken s jemností 6,7 dTex. Posledních 20 % směsi tvořila vlákna pojivá bikomponentní z polyesteru a kopolyesteru, jemnost těchto vláken byla 2,2 dTex, jejich procentuální poměr zůstal zachován, protože propojení materiálu bylo vyhovující. Jednotlivé komponenty byly naváženy pro výrobu směsí. Pro jednu směs bylo naváženo vždy 75 g polyesterových vláken, 20 g pojivých bikomponentních vláken a 5 g viskóзовých vláken. Po přesném navážení jednotlivých vlákenných komponent byla vytvořena směs. Prvotní směs byla vyrobena ručním promísením vláken. Vytvořená směs vláken byla předložena válcovému mykacímu stroji. Mykací proces byl dvakrát zopakován, z důvodu dosažení lepší homogenity směsi. Podélným vrstvením vlákenné pavučiny, vyrobené válcovým mykacím strojem, vzniklo rouno. Pro druhý proces mykání bylo rouno předloženo válcovému mykacímu stroji v kolmém směru ke směru výroby z důvodu lepšího ojednocení a promísení vláken. Výsledné rouno bylo pojeno pomocí tepelného lisu s nastavenou teplotou 130 °C pro spodní i horní přítlačnou desku. Doba lisování byla nastavena na jednu minutu. Tento postup výroby byl shodný pro všechny vzorky. Pro dosažení rozdílných objemových hmotností byla nastavena různá vzdálenost pojivých desek lisu, a to konkrétně 5 mm, 10 mm, 15 mm a 20 mm. Pro větší názornost vlivu objemové hmotnosti na vliv hoření materiálu, byl zvolen větší rozsah tloušťky vzorků oproti první sérii vyrobených vzorků. Vzdálenost mezi pojivými deskami tepelného lisu, během procesu výroby vzorků je použita pro značení vzorků. Tedy vzorky označené 5 mm, byly pojeny právě při vzdálenosti 5 mm mezi pojivými deskami tepelného lisu.



Obrázek 5 - Porovnání hořlavosti u vzorků s odlišným složením

V obrázku 5 jsou v prvním sloupečku zleva fotografie z průběhu hoření vzorku, ve kterém 10 % hmotnosti tvořila viskózová vlákna, 70 % hmotnosti tvořila polyesterová

vlákna a posledních 20 % tvořila bikomponentní pojivá vlákna. V dalších dvou sloupečcích je možné vidět fotografie z průběhu hoření vzorků složených pouze z 5 % viskózových vláken z celkové hmotnosti vzorku. Tyto vzorky obsahovaly také 20 % vláken pojivých a zbylých 75 % tvořila vlákna polyesterová. Všechny vzorky na fotografiích v obrázku zachycují vzorky vyrobené a spojené totožným způsobem. Všechny vzorky byly spojeny na vyhřívaném deskovém lisu, při vzdálenosti 10 mm mezi deskami tohoto lisu. První řádek obsahuje fotografie pořízené 5 s po příjezdu kahanu pod testovaný vzorek. Ve druhém řádku můžeme pozorovat fotografie pořízené 10 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. Ve třetím řádku jsou k vidění fotografie pořízené o dalších 5 s později, tedy 15 s od příjezdu kahanu pod materiál. V každém řádku je plamenem nejvíce zasažen vzorek s nejvyšším obsahem viskózových vláken. Jak je z fotografií patrné, snížení množství viskózy v testovaných vzorcích značně snížilo hořlavost vzorků. Průběh hoření byl vyhovující, a proto nebylo nutné více snižovat procentuální poměr viskózových vláken, či jinak měnit složení vyrobených vzorků.

12 Vlastnosti vyrobených vzorků

12.1 Tloušťka vzorků

U vyrobených vzorků byla změřena tloušťka na tloušťkoměru, viz obrázek 6. Každá tloušťková kategorie vyrobených vzorků, byla změřena deseti měřeními, která jsou zaznamenána v příloze B. Změření tloušťky jednotlivých vzorků bylo důležité pro následné vypočítání objemové hmotnosti vzorků.



Obrázek 6 – Tloušťkoměr

Na obrázku XXX. Je tloušťkoměr použitý pro měření tloušťky vyrobených vzorků. Pod průhlednou kruhovou destičku (1) se umístil testovaný vzorek, následně byla zvednuta a lehce spuštěna tyčka (2) a nakonec byla z ciferníku přístroje (3) odečtena naměřená hodnota. Pro další měření byl vzorek posunut a postup opakován.

Tabulka 2 - Tloušťka vzorků [mm]

	5 mm [mm]	10 mm [mm]	15 mm [mm]	20 mm [mm]
Aritmetický průměr	7,57	12,47	14,92	16,39
Směrodatná odchylka	0,48	0,24	0,33	0,55
Dolní hranice 95 % IS	7,28	12,32	14,71	16,05
Horní hranice 95 % IS	7,87	12,62	15,12	16,73

V tabulce 2 jsou zaznamenány hodnoty z měření tloušťky vzorků. První sloupec hodnot je označen 5 mm, jedná se o vzdálenost mezi pojivými deskami tepelného lisu během pojení. Průměrná tloušťka tohoto materiálu je 7,57 mm. Větší tloušťka vzorku, než byla vzdálenost mezi pojivými deskami tepelného lisu, je způsobena pružností vláken a jejich snahou o narovnání se do původního tvaru. Tento jev je možné pozorovat i u vzorků označených 10 mm. Průměrná hodnota tloušťky pro tyto vzorky byla 12,47 mm. Naopak u vzorků pojených při vzdálenosti 15 a 20 mm mezi pojivými deskami tepelného lisu byla naměřená tloušťka menší než vzdálenost pojivých desek. Tento jev je způsoben slehnutím materiálu. Vlákněného materiálu ve vzorku také nebylo dostatečné množství, aby si udržel svoji tloušťku. Naměřené hodnoty pro vzorky s nižší tloušťkou, než byla vzdálenost pojivých desek během pojení na tepelném lisu, jsou zaznamenány v posledních dvou sloupcích. Rozdíly v tloušťkách jednotlivých vzorků jsou statisticky významné, to je pro další měření zásadní.

12.2 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost vyrobených materiálů byla spočítána z hmotnosti jednotlivých vzorků. Pro vážení byly vyrobeny vzorky o velikosti 10 × 10 cm, tedy o ploše 100 cm². Pro větší přesnost měření a eliminaci hrubých chyb byla zhotovena kartonová šablona o přesné velikosti 10 × 10 cm, která byla na jednotlivé materiály obkreslena. Vzorky byly podle obrysů rozstříhány na požadovanou velikost. Vzorky byly váženy na váze udávající hmotnost s přesností na desetiny gramu. Hmotnosti jednotlivých vzorků jsou zaznamenány v příloze C.

Tabulka 3 - Plošná hmotnost [g/m²]

	5 mm [g/m ²]	10 mm [g/m ²]	15 mm [g/m ²]	20 mm [g/m ²]
měření č. 1	240	260	280	280
měření č. 2	240	260	260	220
měření č. 3	220	260	260	260
měření č. 4	240	260	260	260
měření č. 5	280	260	260	260
měření č. 6	260	260	260	240
měření č. 7	260	260	260	260
Aritmetický průměr	248,57	260	262,86	254,29
Směrodatná odchylka	19,52	0,00	7,56	19,02
Dolní hranice 95 % IS	234,11	260	257,26	240,19
Horní hranice 95 % IS	263,03	260	268,46	268,38

V tabulce 3 jsou uvedeny vypočítané plošné hmotnosti v g/m². Rozdíly mezi plošnými hmotnostmi jednotlivých vzorků jsou statisticky nevýznamné. Tento jev byl požadovaný. Díky téměř shodné plošné hmotnosti mohly vzniknout modelové vzorky o různých objemových hmotnostech potřebné pro možnost porovnání vlivu obsahu vzduchu na hoření netkaných textilií. Podobné hodnoty plošné hmotnosti jsou způsobeny totožným způsobem výroby a shodným množstvím vláken použitých na výrobu jednotlivých vzorků. Shodná plošná hmotnost byla cílem shodného postupu výroby. Drobné rozdíly ve hmotnosti jsou zapříčiněny způsobem výroby, například během procesu mykání mohla některá vlákna vypadnout, či být mírně nerovnoměrně rozmístěna. Nejnižší plošná hmotnost u vzorku označeného 5 mm, to může být způsobeno právě malou vzdáleností mezi pojivými deskami, která způsobila, že byl vlákenný materiál vytlačen do větší plochy než, kterou zaujímal před lisováním.

12.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost materiálu odpovídá jeho hustotě. Protože pro výrobu vzorků byl zvolen stejný postup výroby se shodným množstvím vstupního materiálu, pouze se lišila vzdálenost vyhřívaných desek lisu při lisování vzorků, vznikly cíleně materiály o jiné objemové hmotnosti. Vzorky obsahují téměř totožné množství vlákenného materiálu, liší se obsahem vzduchu. Objemová hmotnost byla spočítána z plošné hmotnosti a tloušťky jednotlivých vzorků.

Tabulka 4 - Objemová hmotnost

	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
g/m³	32819,04	20848,37	17621,31	15518,47
kg/m³	32,82	20,85	17,62	15,52

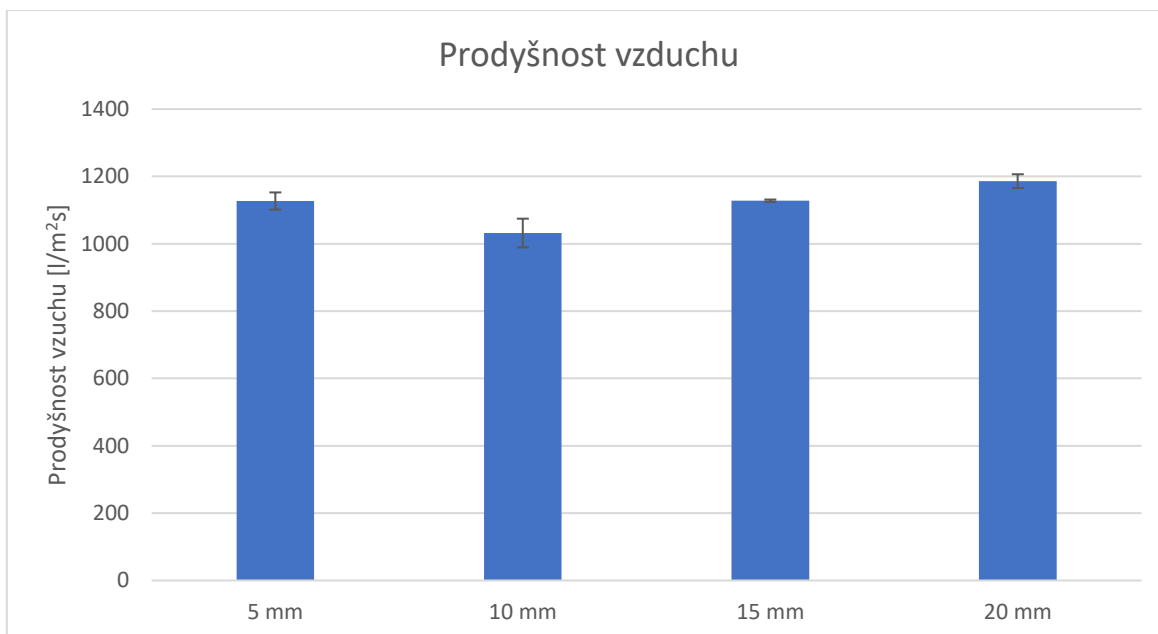
V tabulce 4 jsou uvedeny spočítané objemové hmotnosti pro jednotlivé druhy materiálů. Vypočítané hodnoty jsou zaokrouhleny na dvě desetinná místa. Názvy sloupců označují vzdálenost mezi deskami tepelného lisu při pojení. Objemové hmotnosti mají klesavý trend s rostoucí vzdáleností mezi pojivými deskami tepelného lisu v průběhu pojení daných materiálů, tedy čím větší byla vzdálenost mezi deskami při pojení, tím nižší je objemová hmotnost. Tento jev je způsobený shodným obsahem vláken, ale rozdílnou tloušťkou materiálu a tím i rozdílným obsahem vzduchu v jednotlivých materiálech.

12.4 Prodyšnost vzduchu

Na přístroji M021A (obrázek 7) od firmy SDL Atlas byla měřena prodyšnost vyrobených vzorků. Z důvodu velké prodyšnosti materiálu, bylo nutné upravit metodu měření. Pro měření byl zvolen tlakový spád 50 Pa. Byly měřeny vždy tři vzorky najednou. Vzorky byly umístěny při měření nad sebe, tím bylo eliminováno stlačení vzorku. Měřením více vzorků najednou se také zamezilo vlivu slabých míst na měření.



Obrázek 7 - Přístroj na měření prodyšnosti [20]



Graf 3- Prodyšnost vzduchu [l/m²s]

V grafu 3 jsou zaznamenány hodnoty prodyšnosti vzduchu při tlakovém spádu 50 Pa. Každý sloupec značí průměr ze tří měření jednoho druhu materiálu. U vzorků označených 10 mm, 15 mm a 20 mm můžeme s přibývajícím tloušťkou vzorku pozorovat nárůst prodyšnosti. Tento jev je způsobený nižší hustotou materiálu a tím i většími mezivláčennými prostory, kterými může proudit vzduch. Vybočující hodnoty pro vzorek s největší objemovou hmotností mohou být způsobeny nižší plošnou hmotností daného materiálu.

12.5 Přehled vyrobených vzorků

V tabulce 5 jsou zaznamenány průměrné hodnoty vyrobených materiálů. Prodyšnost vzduchu se velmi liší od prodyšnosti vzorků z prvního experimentu. Výrazná odlišnost naměřených hodnot je způsobena odlišným tlakovým spádem při měření.

Tabulka 5 - Přehled vyrobených vzorků

Označení vzorku	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
Průměrná tloušťka vzorků [mm]	7,57	12,47	14,92	16,39
Průměrná plošná hmotnost [g/m ²]	248,57	260	262,86	254,29
Průměrná objemová hmotnost [kg/m ³]	32,82	20,85	17,62	15,52
Prodyšnost vzduchu [l/m ² s]	1127	1032	1128	1186

13 Měření na kónickém kalorimetru

13.1 Příprava vzorků pro měření na kónickém kalorimetru

Nejprve byla zhotovena kartonová šablona ve tvaru čtverce o velikosti jedné hrany 100 mm. Šablona byla obkreslena na jednotlivé vzorky materiálů a následně byl vzniklý čtverec vystříhnut. Každý vzorek byl označen číslem, které se vždy shodovalo s nastavením vzdáleností mezi vyhřívanými deskami lisu během pojení tohoto vzorku. Tedy vzorky označovala čísla 5, 10, 15 a 20. Protože na každém druhu materiálu s jinou objemovou hmotností bylo měření prováděno opakovaně, byly vzorky také označeny písmeny. Vzorek označený písmenem A se testoval jako první. Vzorek s přiřazeným písmenem B byl testován druhý. Z důvodu cenové náročnosti měření, byl každý materiál testován pouze třikrát. Poslední testovaný vzorek byl označen písmenem C. Pro měření bylo tedy zhotoveno dvanáct vzorků o velikosti 100 × 100 mm.

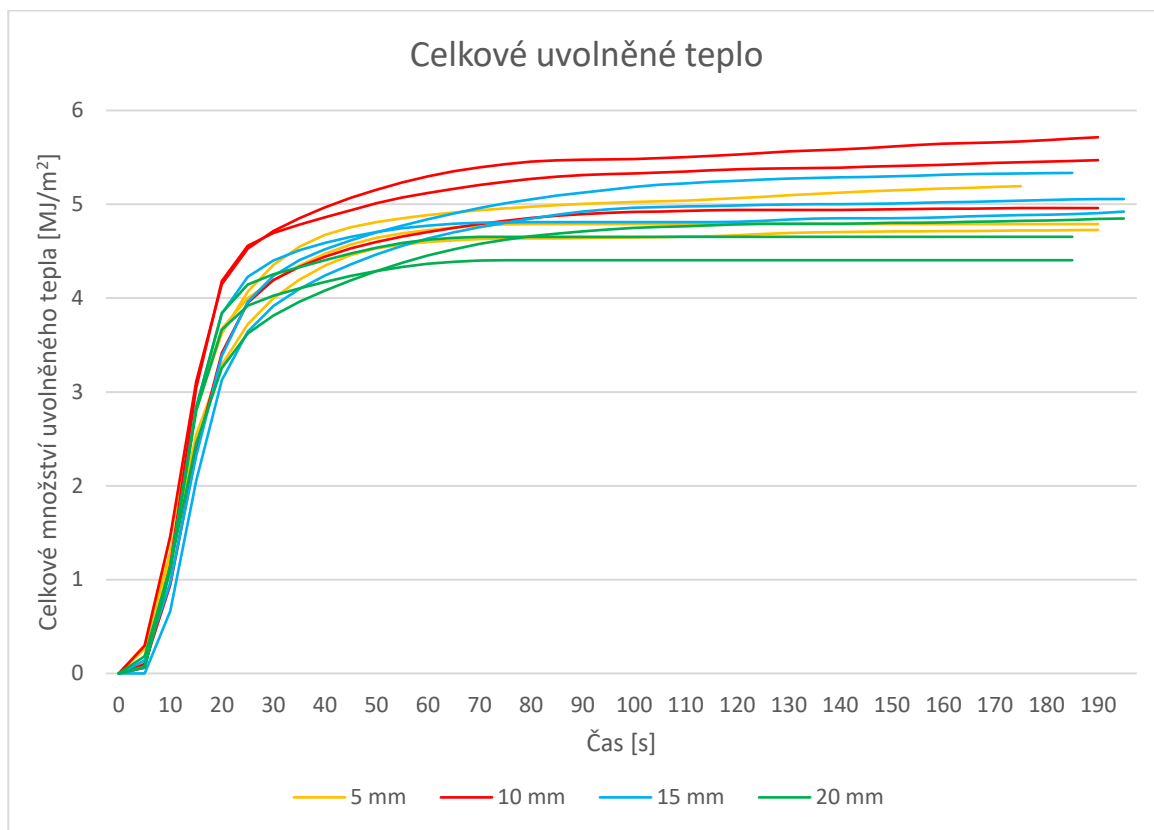
13.2 Průběh měření na kónickém kalorimetru

Před měřením byly všechny vzorky umístěny do speciální komory s klimatizovanými podmínkami. V komoře bylo 23 °C a 50% relativní vlhkost. Dle normy byly vzorky do komory umístěny na více než 24 hodin. Aby se co nejvíce zamezilo znečištění přístroje, byl každý vzorek ze spodní strany a všech bočních stěn obalen hliníkovou folií. Obalení vzorku hliníkovou folií bylo provedeno v souladu s normou. Vzorek obalený v hliníkové fólii byl zvážen s přesností na setiny gramu. Do přístroje byly zadány hodnoty měřeného vzorku, a to konkrétně jeho váha včetně hliníkového obalu a jeho tloušťka v milimetrech. Do počítače kónického kalorimetru se nezadávaly pouze hodnoty měřeného vzorku, ale také aktuální hodnoty prostředí, ve kterém se měření provádělo, tedy relativní vlhkost a teplota vzduchu. Dále byla nastavena hodnota 50 kW/m², jednalo se o hodnotu sálavého tepelného toku z nažhaveného topného šneka. Tato hodnota byla zvolena na základě konzultace s odborníkem po jeho předchozích zkušenostech s podobnými vzorky. Nižší hodnota nažhavení šneku by vlákna nejprve roztavila na jednodlitou hmotu, čímž by se testování znehodnotilo, protože všechny objemové hmotnosti by tvořily stejnou vrstvu. Hodnota 50 kW odpovídala přibližně 750 °C. Dalším krokem po zadání všech údajů bylo dvouminutové čekání, než se přístroj připravil na měření dalšího vzorku. Když byl přístroj připravený, mohl se do něj umístit měřený vzorek. Vzorek bylo nutné do přístroje umířovat kvůli vysoké teplotě v hasičské rukavici, tento krok prováděl odborník k tomu vyškolený. Po zpozorování vzplanutí vzorku bylo nutné zmáčknout tlačítko

indikátoru začátku a konce měření. Stejně tlačítko bylo nutné stlačit po vyhoření celého materiálu.

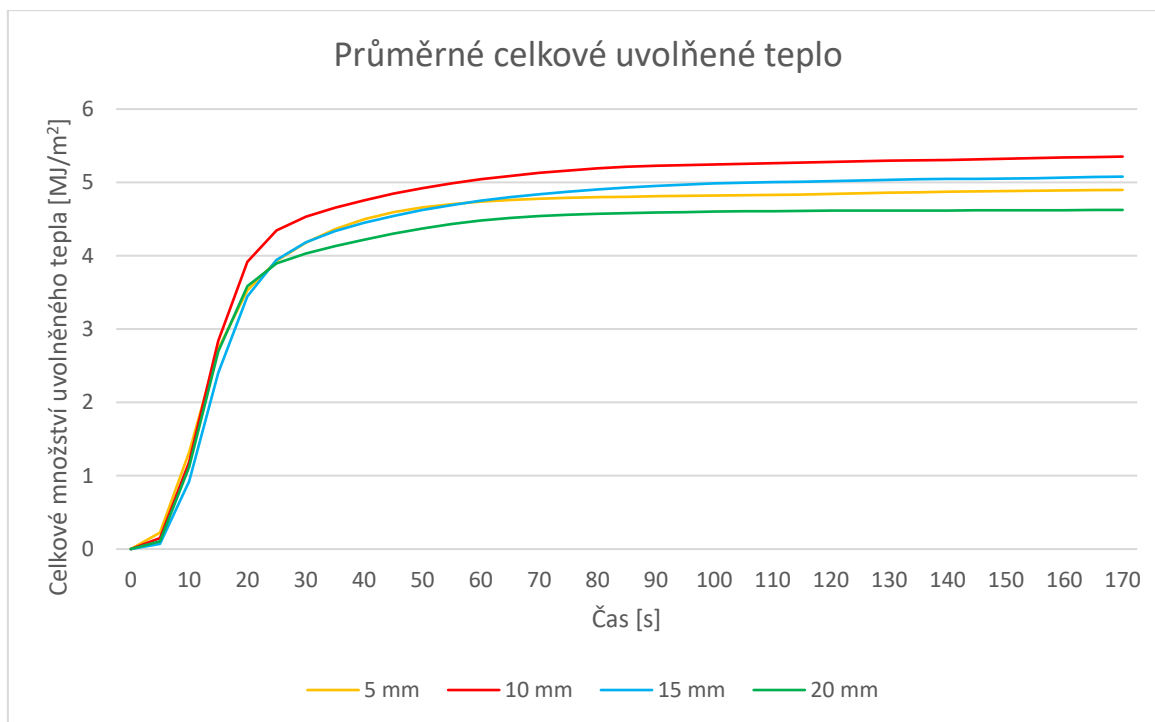
13.3 Celkové množství uvolněného tepla

Hodnota celkového uvolněného tepla uvádí dosavadní součet uvolněného tepla během hoření vztažený na jednotku plochy.



Graf 4 - Celkové množství uvolněného tepla [MJ/m²]

V grafu 4 je vyznačeno množství uvolněného tepla v MJ/m². Na vodorovné ose je vyznačena časová linie od počátku měření. Vertikální osa značí celkové množství uvolněného tepla během testování na kónickém kalorimetru. Žlutá barva označuje měření provedená na vzorcích s největší objemovou hmotností. Z grafu je patrné, že průběh všech měření uvolněného tepla je pro všechny testované vzorky velmi podobný. Nejvyšší množství uvolněné tepla v grafu vyznačují červené křivky, které značí průběh testování pro vzorky označené 10 mm. Pro křivky je charakteristický prvotní prudký růst přibližně do 20. vteřiny od začátku hoření. Prudký růst je způsoben rychlým vzplanutím celého vzorku. Následně roste uvolněné teplo pozvolným tempem, jedná se o dohořívání vzorku, kdy teplo uvolňované vzorkem bylo výrazně menší, než když vzorky hořely.



Graf 5 - Průměrné celkové množství uvolněného tepla [MJ/m²]

V grafu 5 jsou zaznamenány průměrné křivky celkového množství uvolněného tepla. Každá křivka znázorňuje průměrné hodnoty ze tří měření jednotlivých materiálů. Křivky, z nichž byl vypočítán průměr, jsou zaznamenány v grafu 4. Materiály s největší a nejmenší objemovou hmotností dosahovaly v průměru nižších hodnot celkového množství uvolněného tepla v porovnání s průměrným množstvím uvolněného tepla u testovaných materiálů se střední objemovou hmotností. Při porovnání množství uvolněného tepla můžeme pozorovat závislost na prodyšnosti daných materiálů. Čím byla nižší prodyšnost vzorku, tím více tepla vyzářil.

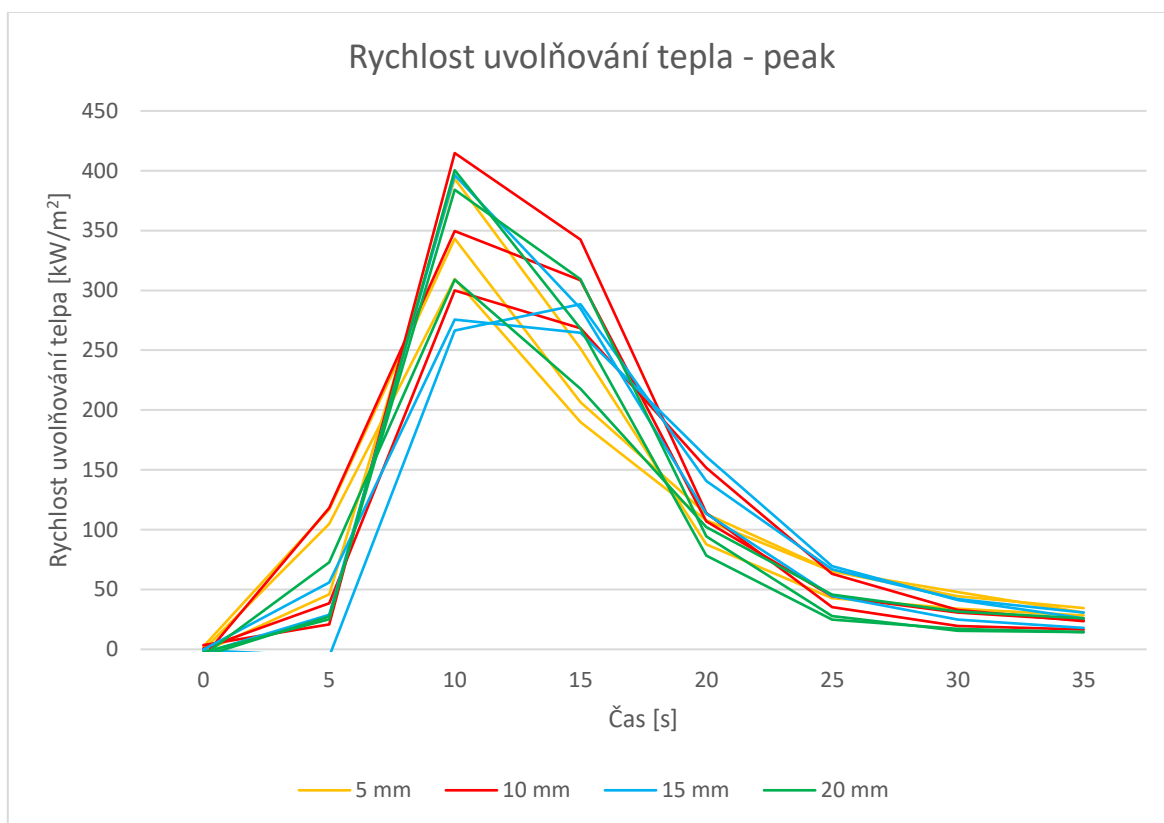
Tabulka 6 – Množství uvolněného tepla [MJ/m²]

	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
Měření č.1	4,67	5,41	5,06	4,34
Měření č.2	4,46	5,42	4,85	4,58
Měření č.3	4,89	4,86	5,19	4,67
Aritmetický průměr	4,67	5,23	5,03	4,53

V tabulce 6 jsou zaznamenány hodnoty uvolněného tepla během testování na kónickém kalorimetru pro jednotlivá měření. Hodnoty uvolněného tepla jsou uvedeny v MJ/m². Označení sloupečků 5 mm, 10 mm, 15 mm a 20 mm označuje vzdálenost mezi pojivými deskami tepelného lisu v průběhu pojení. Protože vzorky obsahují stejné množství vlákněného materiálu, pouze se liší jejich tloušťka, liší se i jejich objemová hmotnost. Sloupeček označený 5 mm obsahuje hodnoty pro materiál s největší objemovou hmotností, naopak sloupeček označený 20 mm zaznamenává data z měření materiálu s nejnižší objemovou hmotností. V posledním řádku tabulky je spočítán aritmetický průměr z naměřených hodnot uvolněného tepla pro daný materiál. Průměrná hodnota uvolněného tepla pro vzorky označené 20 mm byla 4,53 MJ/m². Tedy vzorky označené 20 mm uvolnily nejméně tepla. Naopak nejvíce tepla uvolnily v průměru vzorky označené 10 mm. Průměrné hodnoty se shodují s maximem grafu 5.

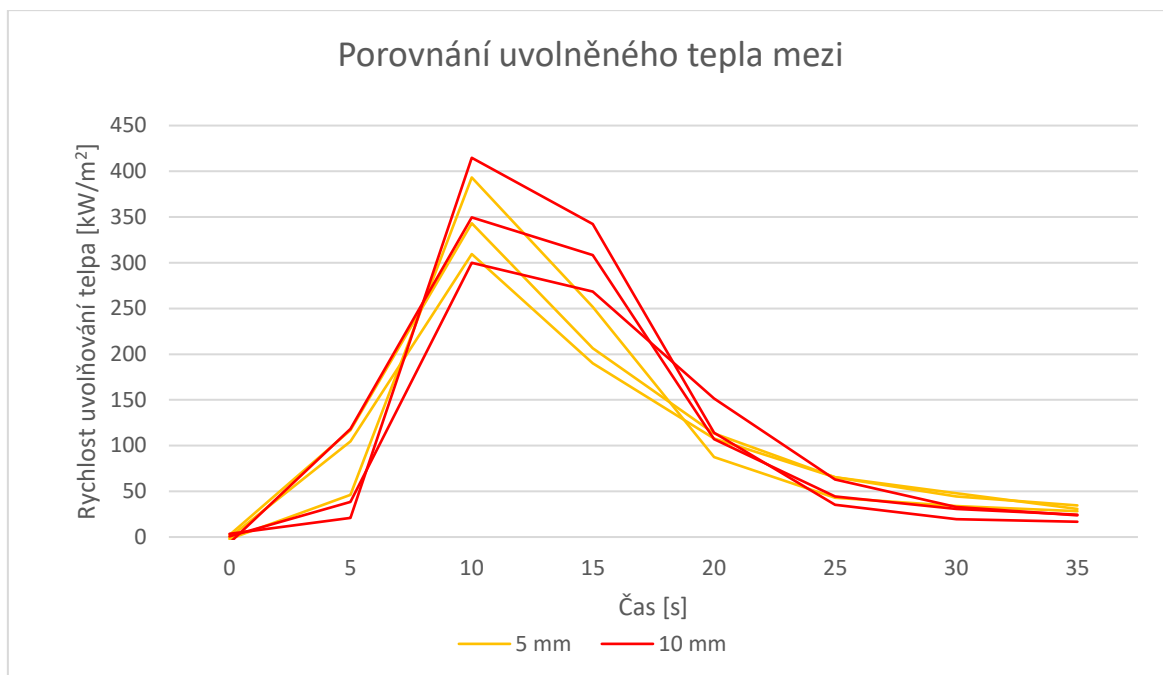
13.4 Rychlost uvolňování tepla

Rychlost uvolňování tepla je jeden z nejdůležitějších parametrů pro hodnocení, jak se daný materiál bude chovat během požáru. Vyjadřuje míru hořlavosti zkoumaného materiálu. Jednotkou rychlosti uvolňovaného tepla je joule za sekundu, tedy watt.



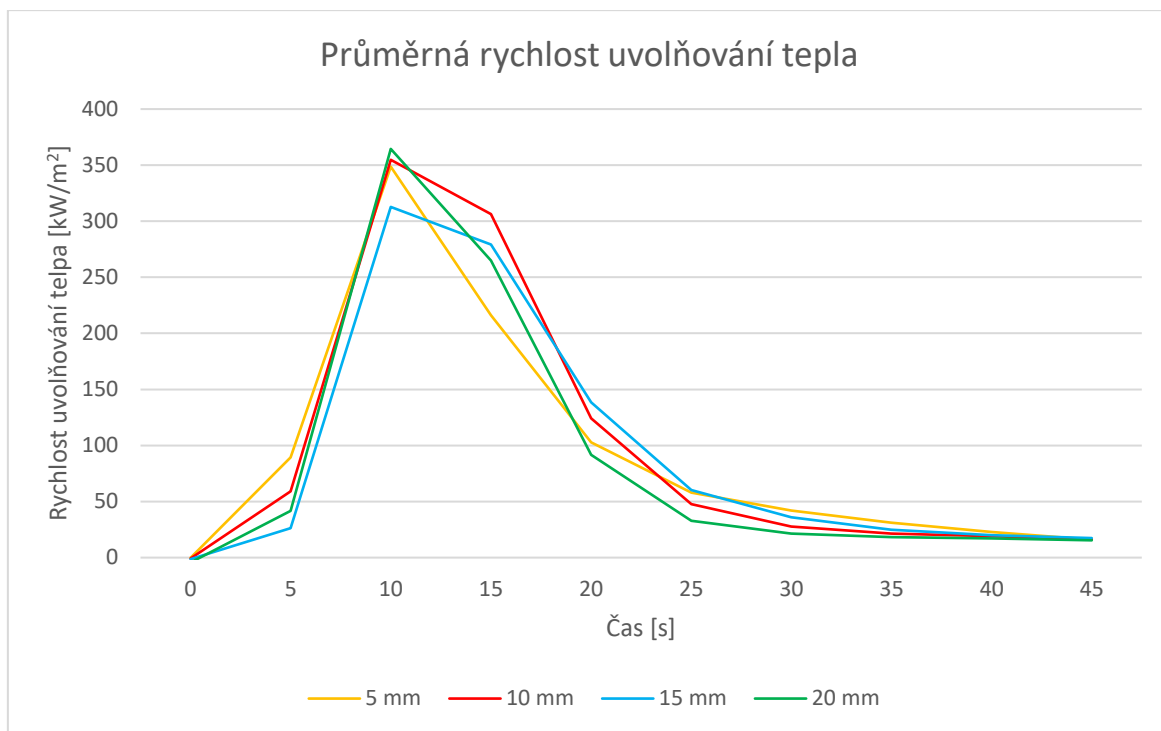
Graf 6 - Rychlost uvolnění tepla [kW/m²]

V grafu 6 je znázorněna rychlost uvolňování tepla během zkoušky na kónickém kalorimetru. V grafu není znázorněn celý průběh testování, ale pouze prvních 35 sekund testování, je to z důvodu lepší přehlednosti. Celý průběh zkoušky je zaznamenán v příloze D této práce. Stejně jako v předchozích grafech, jsou žlutou barvou značeny vzorky označené 5 mm. Červená barva označuje vzorek označený 10 mm. Modrá a zelená barva značí vzorky označené 15 mm a 20 mm. Z grafu je patrné, že peaky jednotlivých křivek probíhaly přibližně ve stejný čas. Z grafu je patrné, že nejvíce odlišné průběhy měly křivky pro materiál s největší objemovou hmotností a křivky materiálu označeného 10 mm, proto byl vytvořen speciální graf 7. Rychlost uvolňování tepla byla od 35. sekundy téměř konstantní.



Graf 7 - Porovnání rychlosti uvolňování tepla [kW/m²]

V grafu 7 jsou znázorněny průběhy rychlostí uvolňování tepla pro materiály označované 5 mm a 10 mm. Testování rychlosti uvolněného tepla bylo provedeno na kónickém kalorimetru, pro každý druh materiálu třikrát. Pro porovnání byly vybrány tyto dva materiály pro jejich nejodlišnější průběh. Oba druhy materiálů uvolňovaly teplo v 10. sekundě od vzplanutí nejvyšší rychlostí. Pro tenčí vzorky je charakteristický prudký pokles rychlosti uvolňování tepla od 10. sekundy od zapálení, zatímco u tlustších vzorků klesala rychlost uvolňování tepla značně pomaleji. Tento jev souvisí s celkovým uvolněným teplem při testování, které bylo pro vzorky označené 10 mm nejvyšší.



Graf 8 - Průměrná rychlost uvolňování tepla [kW/m²]

V grafu 8 je znázorněna průměrná rychlost uvolňování tepla. Každá křivka značí průměrné hodnoty ze tří měření provedených na jednom druhu materiálu měřeném na kónickém kalorimetru. Všechny materiály uvolňovaly průměrně teplo nejvíce v 10. sekundě od začátku hoření. Průměrná rychlost uvolňování tepla od 10. s do 25. s prudce klesala. Od 25. s klesala rychlost uvolňování tepla velmi pozvolna. Pro materiál označený 15 mm, značený v grafu modrou barvou, můžeme pozorovat nejnižší průměrnou maximální rychlost uvolňování tepla. Nejrychleji se v průměru uvolňovalo teplo u vzorků s nejnižší objemovou hmotností. Konkrétní hodnoty maximálních hodnot pro jednotlivé materiály včetně hodnot jejich průměrů jsou zaznamenány v tabulce 7.

Tabulka 7 - Rychlost uvolňování tepla [kW/m²]

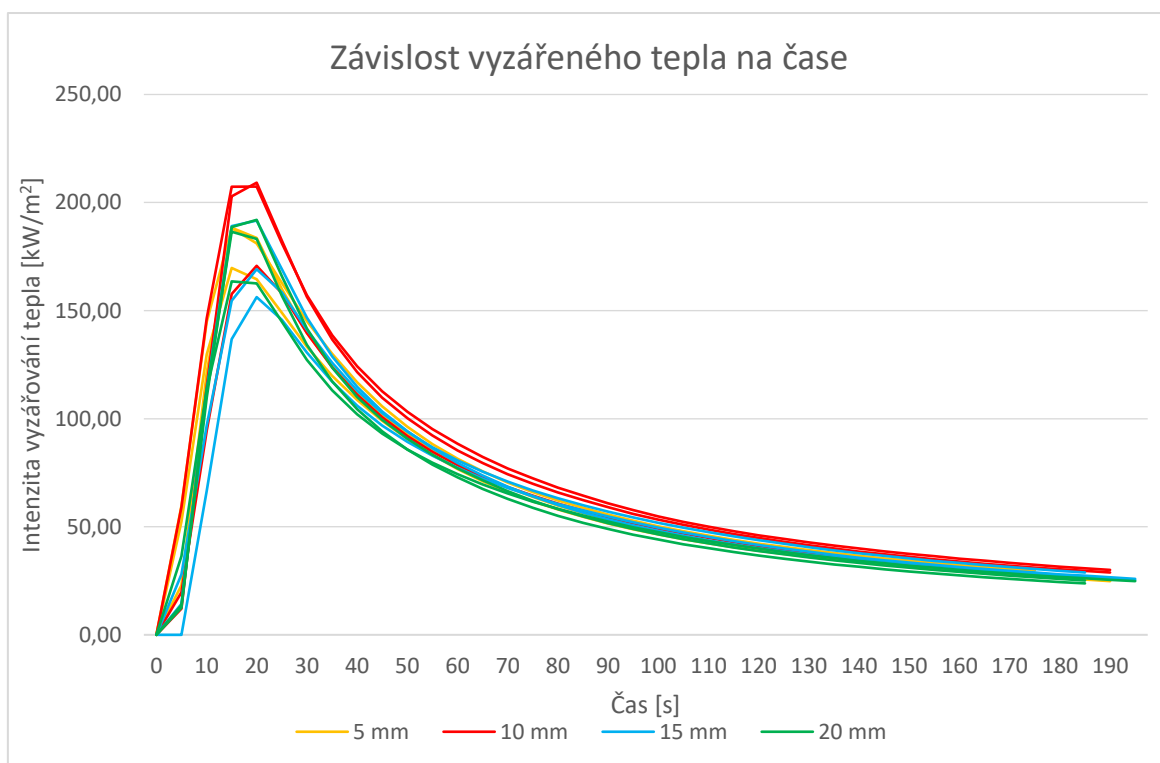
	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
Měření č.1	393,24	414,76	288,41	400,4
Měření č.2	309,46	349,58	396,3	384,1
Měření č.3	343,17	299,92	275,57	308,95
Aritmetický průměr	348,62	354,75	320,09	364,48

V tabulce 7 jsou zaznamenány maximální hodnoty rychlosti uvolňování tepla v kW/m². Stejně jako v předchozích tabulkách jsou v jednotlivých sloupcích uvedena data pro jednotlivé materiály. Sloupce jsou seřazeny vzestupně podle vzdálenosti pojivých desek

tepelného lisu, tedy první sloupec udává hodnoty pro vzorky s nejvyšší objemovou hmotností, zatímco poslední sloupec udává hodnoty pro materiál s nejnižší objemovou hmotností. Čtvrtý řádek tabulky udává aritmetický průměr z hodnot maximální rychlosti uvolňování tepla pro jednotlivé druhy materiálů. Nejvyšší maximální průměrná rychlost uvolňování tepla byla vypočítána pro materiál s nejnižší objemovou hmotností. Tento jev může být způsoben největším obsahem vzduchu v materiálu, díky čemuž bylo umožněno rychlé šíření plamene.

13.5 Intenzita vyzařování tepla

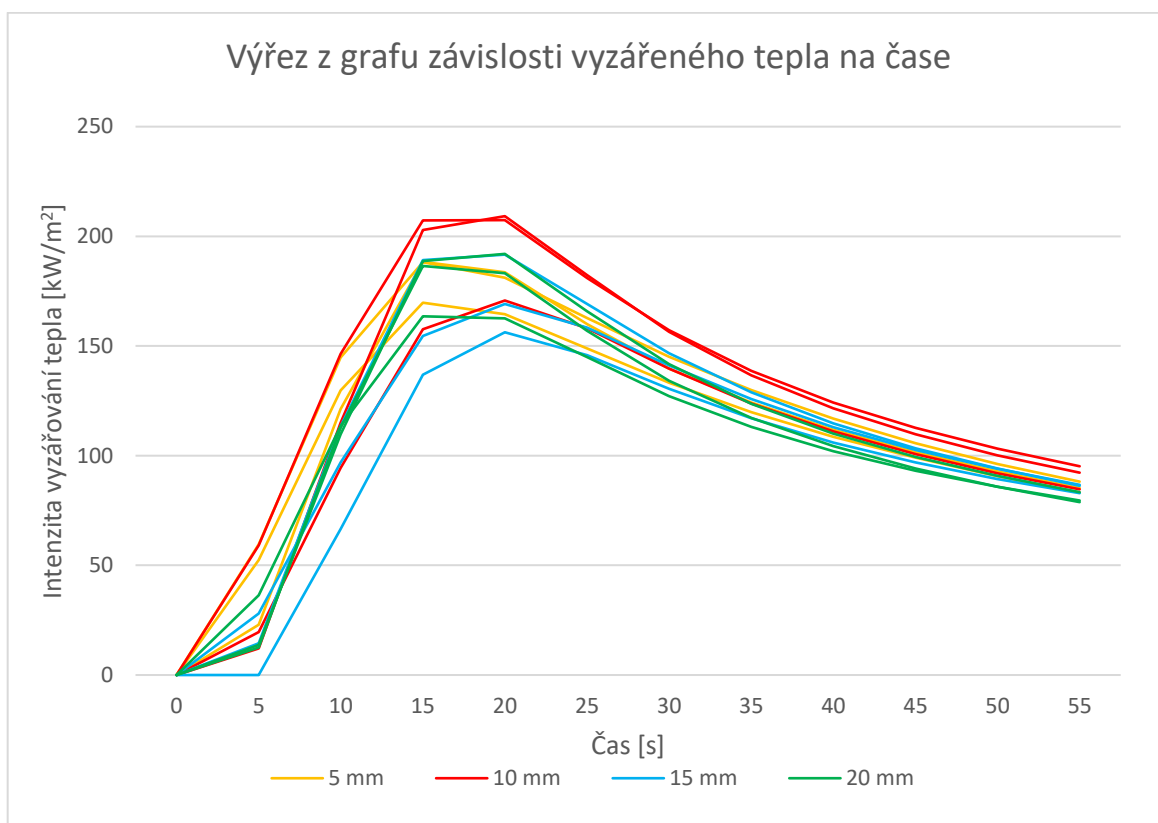
Dalším parametrem, který zjistíme pomocí měření na kónickém kalorimetru, je intenzita vyzařovaného tepla. Tato hodnota vyjadřuje množství uvolněného tepla v daném časovém úseku. V tomto případě se jednalo o uvolněnou teplotu za 5 s. Množství vyzářeného tepla je vztaženo na jednotku plochy.



Graf 9 - Závislost vyzářeného tepla na čase [kW/m²]

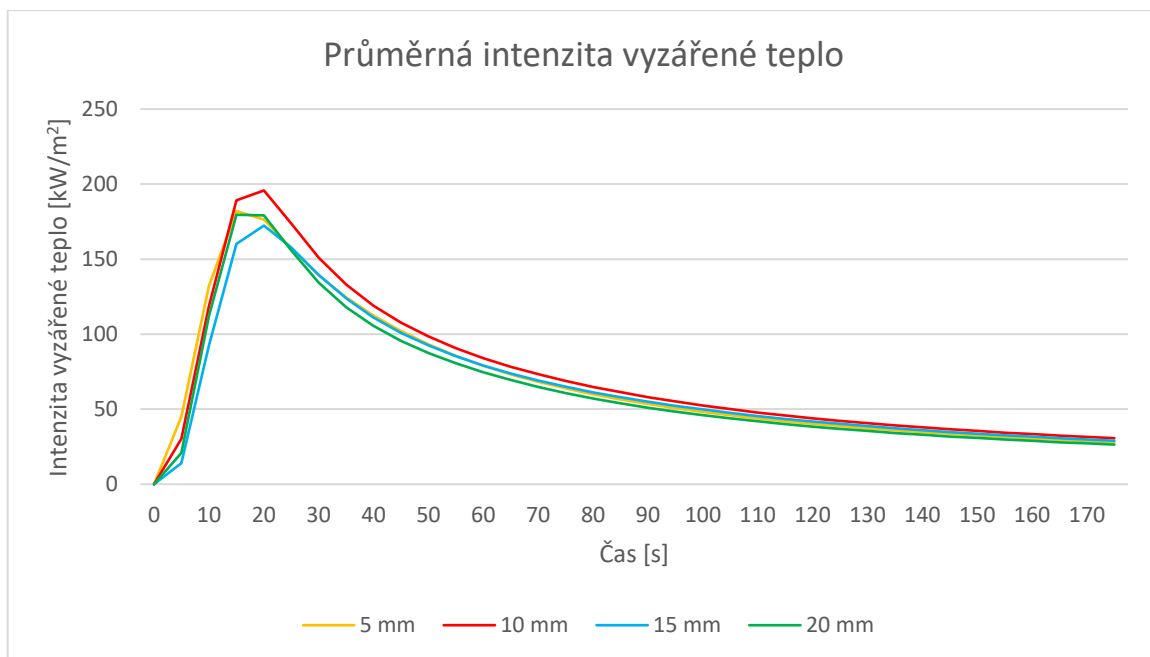
V grafu 9 je znázorněna intenzita vyzářeného tepla v časovém průběhu testu. Intenzita vyzářování tepla je vyjádřena v kW/m². Na vodorovné ose je vyznačen čas v sekundách. Z grafu je patrné, že v průběhu testování nejprve intenzita vyzářeného tepla prudce roste. Rostoucí tendence křivek značících intenzitu vyzářeného tepla lze sledovat od počátku testování až do 15. vteřiny testování. Mezi 15. a 25. vteřinou testování dosáhly všechny

testované materiály maximální intenzity vyzářeného tepla, která je zaznamenána v tabulce 8. S rostoucím časem od 25. vteřiny všechny křivky vykazují pozvolnou klesající tendenci, tedy od 25. vteřiny platí pravidlo, čím déle vzorek hořel, tím menší byla intenzita tepla, kterou vyzářil. Ukončení každé křivky se odvíjelo od konce hoření. Vzorek sice po vyhasnutí plamene nadále vyzařoval teplo, ale hodnota již nebyla zaznamenávána, proto je každá křivka ukončena v jiném čase.



Graf 10 - Intenzita vyzářeného tepla [kW/m²]

V grafu 10 je možné pozorovat detailněji peak závislosti vyzářeného tepla na čase. Jedná se o první část grafu 9. Z grafu je patrné, že vzorky značené 10 mm dosahovaly vyšších intenzit vyzářeného tepla. V grafu průběh vyzářeného tepla tohoto materiálu označují červené křivky. Ostatní materiály vykazují v porovnání mezi sebou velmi podobné chování. Všechny materiály přesáhly intenzitou vyzářeného tepla hodnotu 150 kW/m². U všech testovaných materiálů klesala s rostoucím časem od 20. vteřiny měření intenzita vyzářeného tepla.



Graf 11 - Průměrné vyzářené teplo [kW/m²]

V grafu 11 jsou vyznačeny křivky průměrných hodnot vyzářeného tepla pro jednotlivé materiály v časovém průběhu testování na kónickém kalorimetru. Z grafu je patrné, že červená křivka, zaznamenávající průměrný průběh vyzářeného tepla pro materiál označený 10 mm, dosahuje nejvyšších hodnot. Žlutá křivka zaznamenává průběh průměrných hodnot vyzářeného tepla pro vzorek s největší objemovou hmotností, tedy vzorek označený 5 mm. U tohoto materiálu můžeme pozorovat klesající tendenci křivky již od 15. sekundy. Tento trend si můžeme vysvětlit rychlým rozšířením plamene po celém vzorku, na který mají vliv vlákna umístěna v největší blízkosti mezi sebou z měřených vzorků. U vzorků s nejmenší objemovou hmotností, tedy vzorku označených 20 mm, byla průměrná hodnota vyzářeného tepla mezi 15. a 20. sekundou téměř konstantní. V grafu je křivka představující průměrnou hodnotu tohoto vzorku značená zelenou barvou.

Tabulka 8 - Maximální intenzita vyzařování tepla [kW/m²]

	5 mm [kW/m ²]	10 mm [kW/m ²]	15 mm [kW/m ²]	20 mm [kW/m ²]
Měření č.1	188,33	209,19	156,26	186,48
Měření č.2	169,73	207,39	191,66	191,99
Měření č.3	188,18	170,74	169,15	163,53
Aritmetický průměr	182,08	195,77	172,36	180,67

V tabulce č 8 jsou zaznamenány maximální naměřené hodnoty vyzařování tepla v kW/m² pro jednotlivá měření. Ve druhém sloupci zleva jsou zaznamenána data pro testované vzorky s nejvyšší objemovou hmotností tedy vzorky, které jsou označeny 5 mm. Třetí sloupec zaznamenává data pro vzorky označené 10 mm. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zaznamenány hodnoty naměřené u vzorků, které jsou označeny 15 mm a 20 mm. Průměrné hodnoty pro jednotlivé typy testovaných materiálů jsou vypočítány v řádku označeném aritmetický průměr. Průměrné hodnoty maximálního vyzářeného tepla se pro jednotlivé materiály mírně liší. Rozdíly jsou však velmi malé, z čehož vyplývá, že všechny vzorky měly podobnou hodnotu maximálního vyzářeného tepla. Tento jev je způsobený totožným složením materiálu.

14 Metoda měření hořlavosti

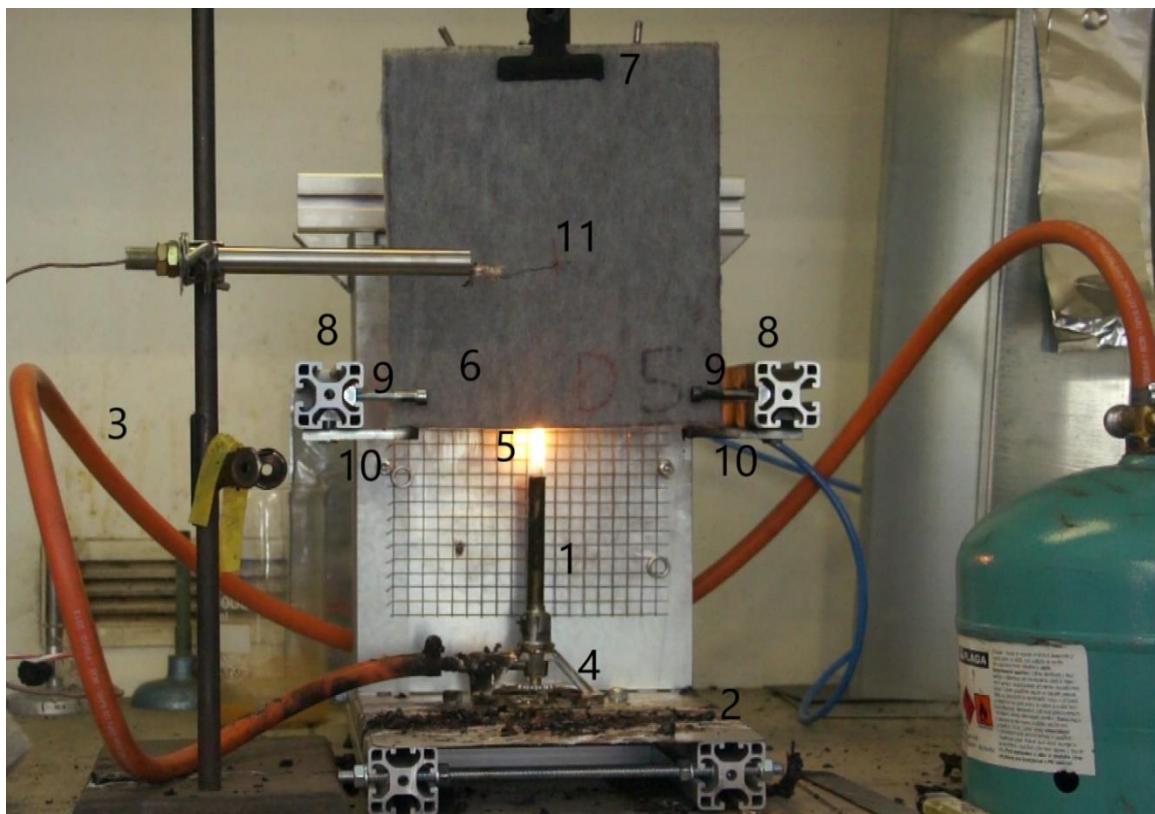
Metoda měření hořlavost vycházela z normy PV 3357. Dále byl navíc při měření použit termočlánek typu K, vyrobený z kovů Chromel-Alumen. Průměr termočláčku byl 1 mm.

14.1 Příprava vzorků pro měření hořlavosti

Nejprve byla vyrobena šablona z kartonu o velikosti 230 × 200 mm. Dle této šablony byly zhotoveny vzorky určené k testování hořlavosti. Nejprve byla šablona na daný vzorek obkreslena a následně byl dle obrysu vzorek vystřižen. Z každé tloušťky materiálu byly zhotoveny 4 vzorky, všechny vzorky byly orientovány stejným směrem vůči směru výroby vzorků. Delší strana vzorku se shodovala se směrem výroby daného vzorku. Každý vzorek byl označen číslem podle tloušťky, na kterou byl vzorek lisován během pojení, tedy čísla 5, 10, 15 a 20. Dále pro odlišení vzorků v jedné tloušťce byla jednotlivým vzorkům přidělena písmena A, B, C a D. Na každý vzorek byla udělána značka 100 mm od spodního okraje, 100 mm od pravého okraje a 100 mm od levého kraje. Tato značka určovala místo pro umístění senzoru termočláčku. Velikost vzorků se shodovala s normou PV 3357.

14.2 Zařízení pro měření hořlavosti

Zařízení pro měření hořlavosti bylo v návaznosti na prvotní experiment modifikováno. Hlavní modifikace zařízení spočívala v pevných lištách určujících umístění testovaného vzorku.



Obrázek 8 - Modifikované zařízení pro měření hořlavosti

Na obrázku 8 je fotografie upraveného zařízení pro měření hořlavosti. Jedná se o vylepšené zařízení oproti zařízení pro měření hořlavosti na obrázku 4. Hlavní rozdíl spočívá v možnosti korektního umístění vzorků při každém měření. Kahan (1) je pevně umístěn na spodní vodorovné pohyblivé desce (2). Pohyblivá deska byla při měření hořlavosti umístěna na 15 sekund do přední polohy. Na obrázku 8 je pohyblivá deska v zadní poloze. Oranžová hadice (3) přivádí propan do kahanu (1). Přívod plynu byl nastaven ventilem (4) tak, aby plamen (5) dosahoval velikosti 40 mm. Ve vertikální vzdálenosti 30 mm od kahanu je umístěna spodní strana testovaného vzorku (6). Testovaný vzorek byl umístěn do kovového skřípce (7). Díky pevným lištám (8) s umístěnými zarážkami (9) bylo zajištěno svislé umístění vzorku, bez možnosti vychýlení dopředu či dozadu. Podložky (10) zajišťovaly přesné umístění vzorku ve vzdálenosti 30 mm od kahanu. Na podložkách jsou vidět rysky, které označují umístění boční hrany vzorku, díky čemuž bylo zamezeno vyosení vzorku doprava či doleva. Doprostřed testovaného vzorku byl umístěn termočlánek (11). Termočlánek byl umístěn 100 mm od spodního okraje, 100 mm od pravého i levého okraje měřeného vzorku.

14.3 Měření hořlavosti

Nejprve bylo nutné nastavit velikost plamene na 40 mm. Plamen se dále nechal minutu ustálit. Vybraný zhotovený vzorek byl umístěn do modifikovaného zařízení pro měření hořlavosti tak, aby střed spodní hrany testovaného vzorku byl umístěn přesně 30 mm nad ústím kahanu v jeho přední pozici. Následně byl do vzorku umístěn termočlánek, a to na vyznačenou pozici. Termočlánek byl umístěn tak, aby byl ve středu testovaného materiálu. Když byl vzorek připraven, mohl být spuštěn pohyb desky s kahanem vpřed. Současně se spuštěním pohybu desky vpřed, bylo zahájeno snímání teplot termočlánekem. Plamen z kahanu působil 15 sekund na daný vzorek a následně byl spuštěn pohyb desky zpět do výchozí pozice. Vzplanutý vzorek se nechal dohořet. Z přístroje bylo nutné odstranit zbytky materiálů. Po vychladnutí skřipce do pokojové teploty bylo možné do něj umístit další vzorek a provést další testování. Z každého měření byl pořízen videozáznam. Umístění vzorku vůči kahanu, velikost plamene i doba působení plamene se shodovalo s normou.

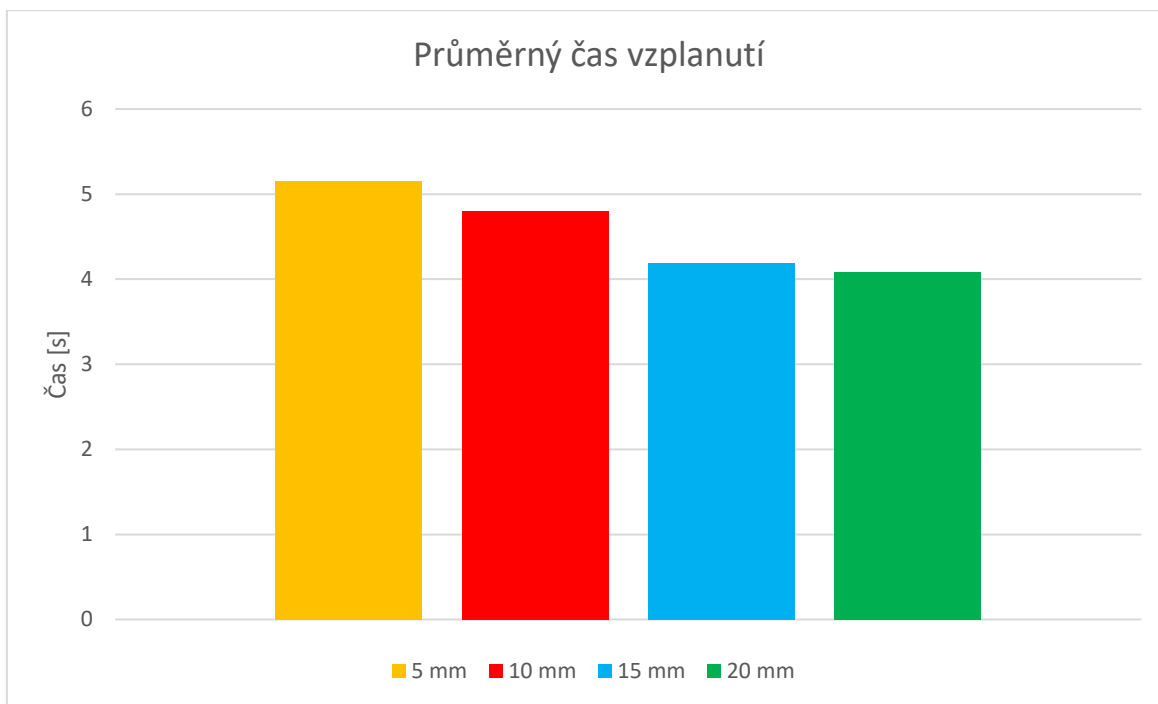
14.4 Čas vzplanutí

Čas vzplanutí byl určen pomocí videozáznamu z testování hořlavosti. Čas vzplanutí byl dán rozdílem časů mezi vzplanutím a příjezdem kahanu pod vzorek.

Tabulka 9 - čas vzplanutí [s]

vzorek	čas vzplanutí [s]
5 mm A	4,2
5 mm B	4
5 mm C	8,3
5 mm D	4,2
10 mm A	Vzorek nehořel
10 mm B	3,4
10 mm C	6,2
10 mm D	Vzorek nehořel
15 mm A	Vzorek nehořel
15 mm B	4,2
15 mm C	6,7
15 mm D	1,7
20 mm A	1,8
20 mm B	5,9
20 mm C	5,5
20 mm D	3,1

V tabulce 9 jsou uvedeny časové hodnoty od umístění kahanu na správnou pozici po čas, kdy testovaný vzorek vzplanul. Časové hodnoty jsou uvedeny v sekundách. Vzorky, které nevzplanuly za celou dobu testování, jsou označeny „Vzorek nehořel“.



Graf 12 - Průměrný čas vzplanutí [s]

V grafu 12 jsou znázorněny průměrné časy vzplanutí vzorků. Průměrné časy jsou vypočítány pouze z času vzplanutí vzorků, které vzplanuly. Žlutou barvou je v grafu zaznamenán průměrný čas vzplanutí pro vzorek s nejvyšší objemovou hmotností, tedy vzorek označený 5 mm. Jak je z grafu patrné, čím nižší byla objemová hmotnost vzorku, tím rychlejší byl čas vzplanutí. Tedy, čím méně vzduchu bylo obsaženo ve vzorku a čím byla větší objemová hmotnost vzorku, tím delší byl čas potřebný k jeho zapálení.

14.5 Rychlost hoření na prvních 10 cm vzorku

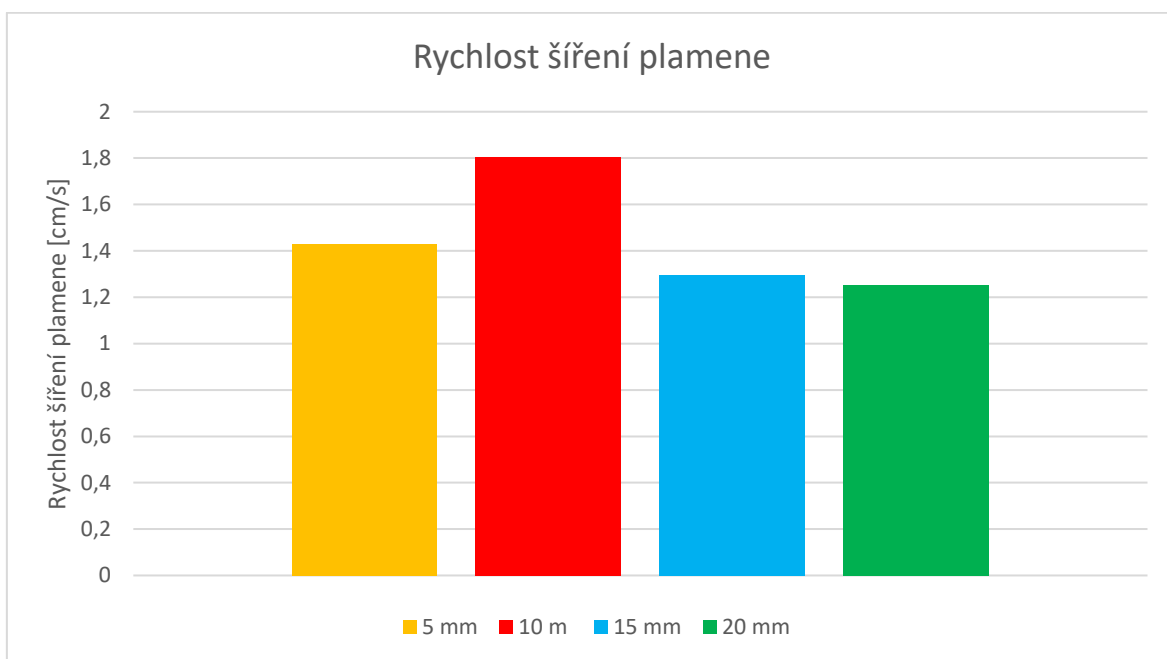
Rychlost šíření plamene byla vypočtena z rozdílu času od vzplanutí vzorku po dohoření plamene k termočládku.

Tabulka 10 - Rychlost hoření na prvních 10 cm [cm/s]

	5 mm [cm/s]	10 mm [cm/s]	15 mm [cm/s]	20 mm [cm/s]
Měření č.1	2,34			1,35
Měření č.2	1,08	1,45	1,09	0,71
Měření č.3	0,89	2,16	1,17	0,87
Měření č.4	1,40		1,62	2,07
Aritmetický průměr	1,43	1,80	1,29	1,25

V tabulce 10 jsou zaznamenány rychlosti hoření v cm/s. Tato netypická jednotka byla zvolena pro její vhodnou velikost a tím získání větší přehlednosti tabulky. Kdyby byla

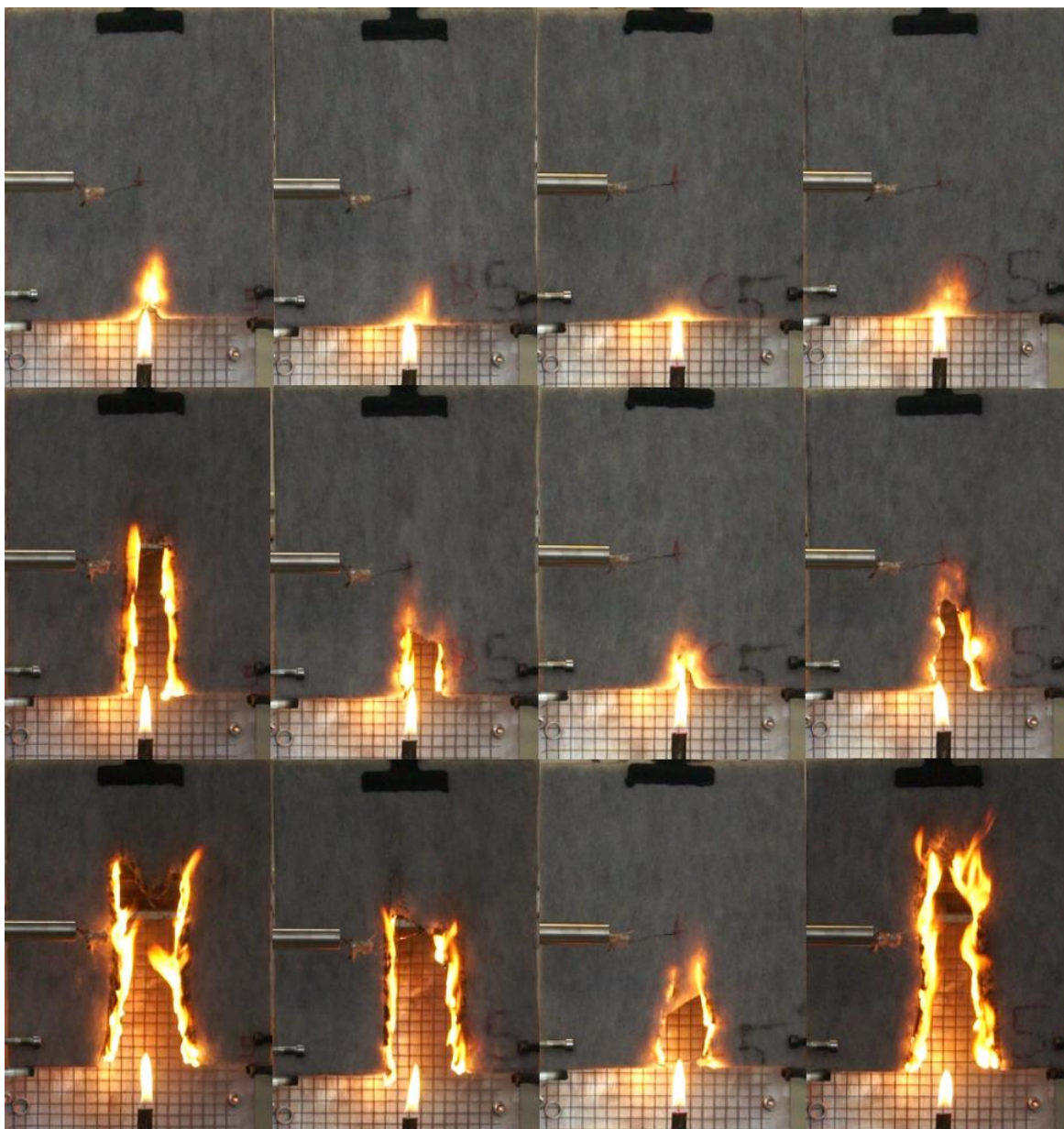
udávána rychlost hoření v m/s, jednalo by se o velmi malá čísla a byla by zhoršena orientace v tabulce. Jedná se o rychlost v prvních 10 cm vzorku. Pro výpočet rychlosti hoření byly důležité časové hodnoty při vzplanutí vzorku po hodnoty dohoření plamene k termočlátku, který byl umístěn 10 cm od spodního okraje vzorku. Prázdná políčka v tabulce znamenají, že vzorek vůbec nevzplanul. Nejpomaleji hořel vzorek s nejnižší objemovou hmotností, tedy vzorek s největším obsahem vzduchu. Nejrychleji hořel vzorek označený 10 mm.



Graf 13 - Rychlost šíření plamene [cm/s]

V grafu 14 je znázorněna průměrná rychlost šíření plamene ve vertikálním směru u vzorků, které vzplanuly. Žlutá barva značí materiál označený 5 mm. Červená barva je zvolena pro vzorek 10 mm. U tohoto vzorku můžeme pozorovat nejvyšší rychlost šíření plamene. Vzorek 15 mm je v grafu znázorněn modře. Zelená barva značí vzorek 20 mm. Vyjma vzorku označeného červeně, můžeme pozorovat klesající trend rychlosti v závislosti na klesající objemové hmotnosti.

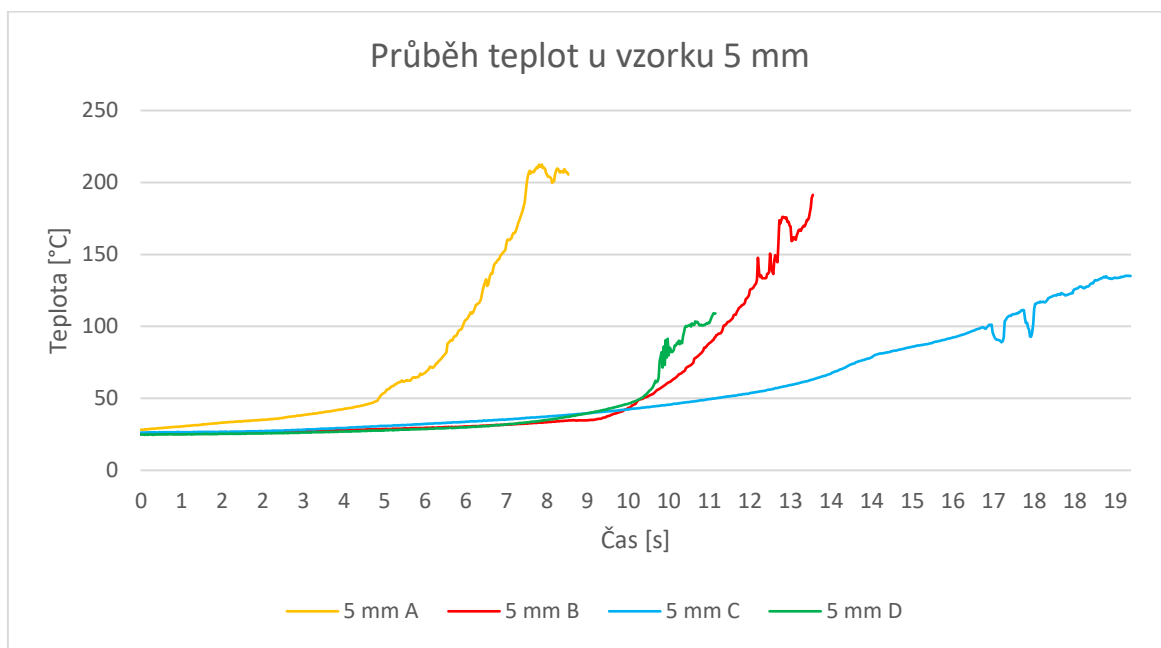
14.6 Testování vzorku 5 mm



Obrázek 9 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 5 mm

V obrázku 9 jsou zaznamenány fotografie z průběhu testování hořlavosti materiálu s největší objemovou hmotností, jedná se tedy o materiál pojený na tepelném lisu se vzdáleností 5 mm mezi pojivými deskami lisu. Objemová hmotnost tohoto materiálu byla necelých 33 kg/m^3 . Fotografie jsou pořizovány po pětisekundových intervalech. V prvním řádku jsou fotografie z 5. sekundy od příjezdu kahanu pod vzorek. Druhý řádek obsahuje fotografie z 10. sekundy od příjezdu kahanu a v posledním řádku jsou snímky z 15. sekundy od příjezdu kahanu. V jednotlivých sloupečcích jsou vždy fotografie stejného vzorku. Červený křížek, který můžeme nejlépe pozorovat v prvním řádku, přibližně v prostředku každého snímku, označuje místo umístění termočláňku. Termočláňek byl vždy

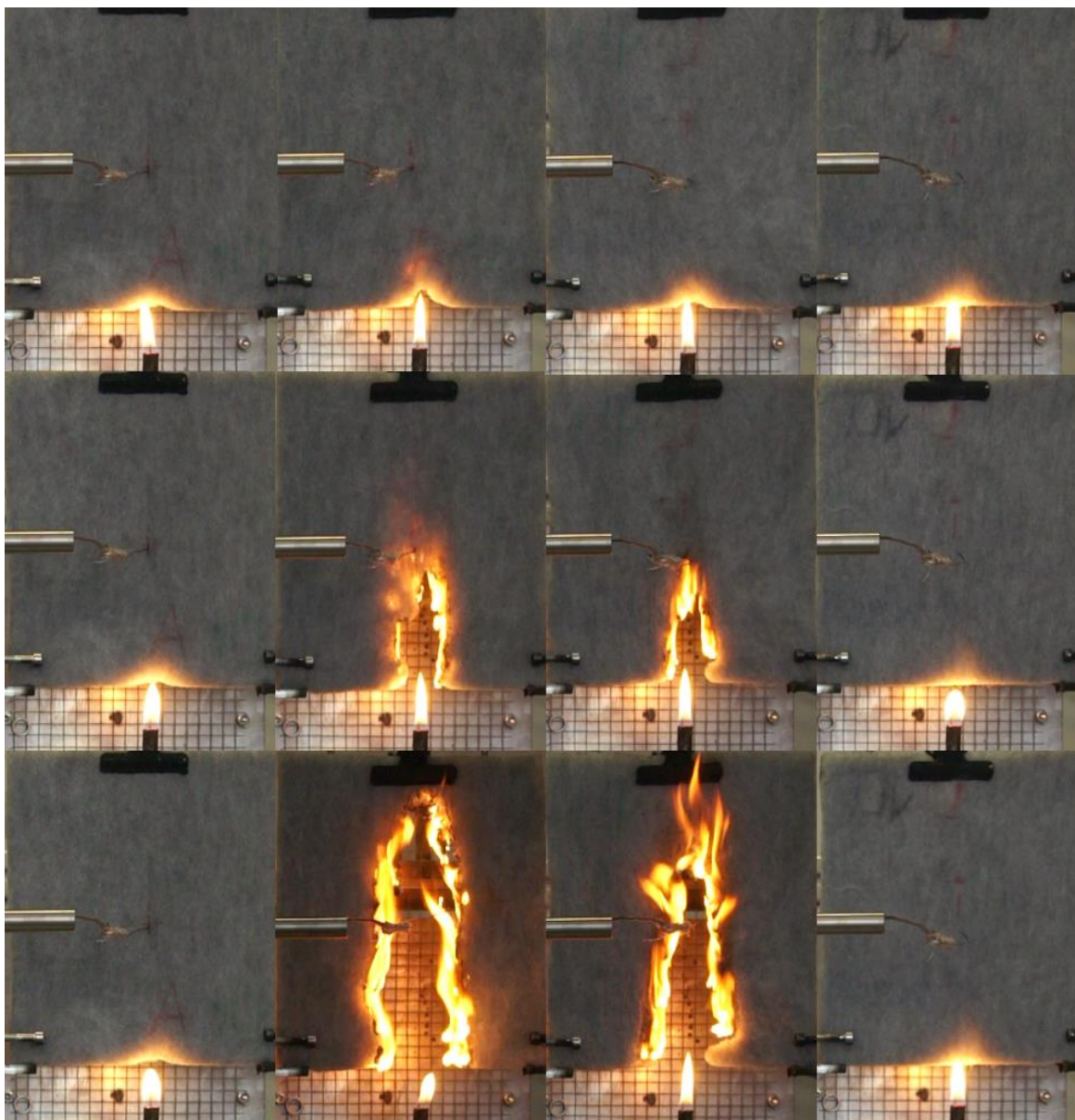
umístěn přesně 100 mm od spodního okraje testovaného vzorku. Jak je z fotografií patrné všechny vzorky vzplanuly a následně hořely. Vzorky shořely celé, proto nebylo možné zkoumat vyhořelou plochu po konci testování. U vzorků byla tedy měřena plocha zasažená plamenem během testování právě z těchto fotografií. Nejrychleji vzplanul vzorek v levém sloupci, dále v práci označovaný 5 mm A.



Graf 14 - Průběh teplot u vzorku 5 mm [°C]

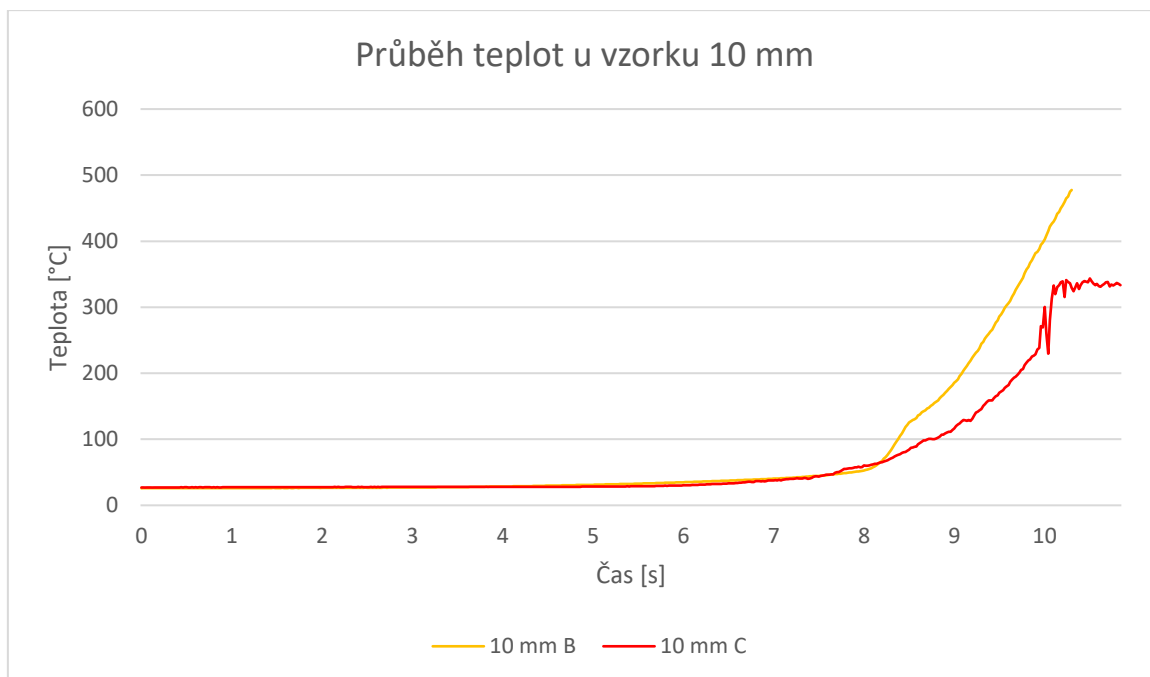
V grafu 14 je zaznamenán teplotní růst v časové závislosti od příjezdu kahanu, přes vzplanutí vzorku po prohoření vzorku k termočlátku umístěnému 10 cm od spodního okraje přímo nad kahanem. Prvotní pozvolný růst u vzorků je způsoben ohříváním vzorku od kahanu. První 3,5 vteřiny nehořel žádný ze vzorků, viz tabulka 9 s časy vzplanutí. Vzorek označený 5 mm A měl nejvyšší rychlost hoření na prvních 10 cm vzorku, proto je grafický záznam průběhu teplot ukončen již před 9. sekundou, to je patrné i z tabulky 10 rychlosti hoření na prvních 10 cm vzorku. Výkyvy teplot jsou způsobeny kmitáním plamene a vysokou přesností termočlátku. Jak je patrné i z obrázku 9 vzorek označený 5 mm C, v obrázku zaznamenaný ve třetím sloupečku, vzplanul nejpomaleji. Ani na posledním snímku z 15. sekundy od příjezdu kahanu plameny stále nedosáhly k místu umístění termočlátku. Teplota snímaná termočlátkem u tohoto vzorku díky pomalejšímu vzplanutí měla pozvolnější nárůst křivky zaznamenávající její průběh. Teploty všech vzorků značených 5 mm přesáhly 100 °C v místě měření termočlátkem, než jej zasáhl plamen.

14.7 Testování vzorku 10 mm



Obrázek 10 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 10 mm

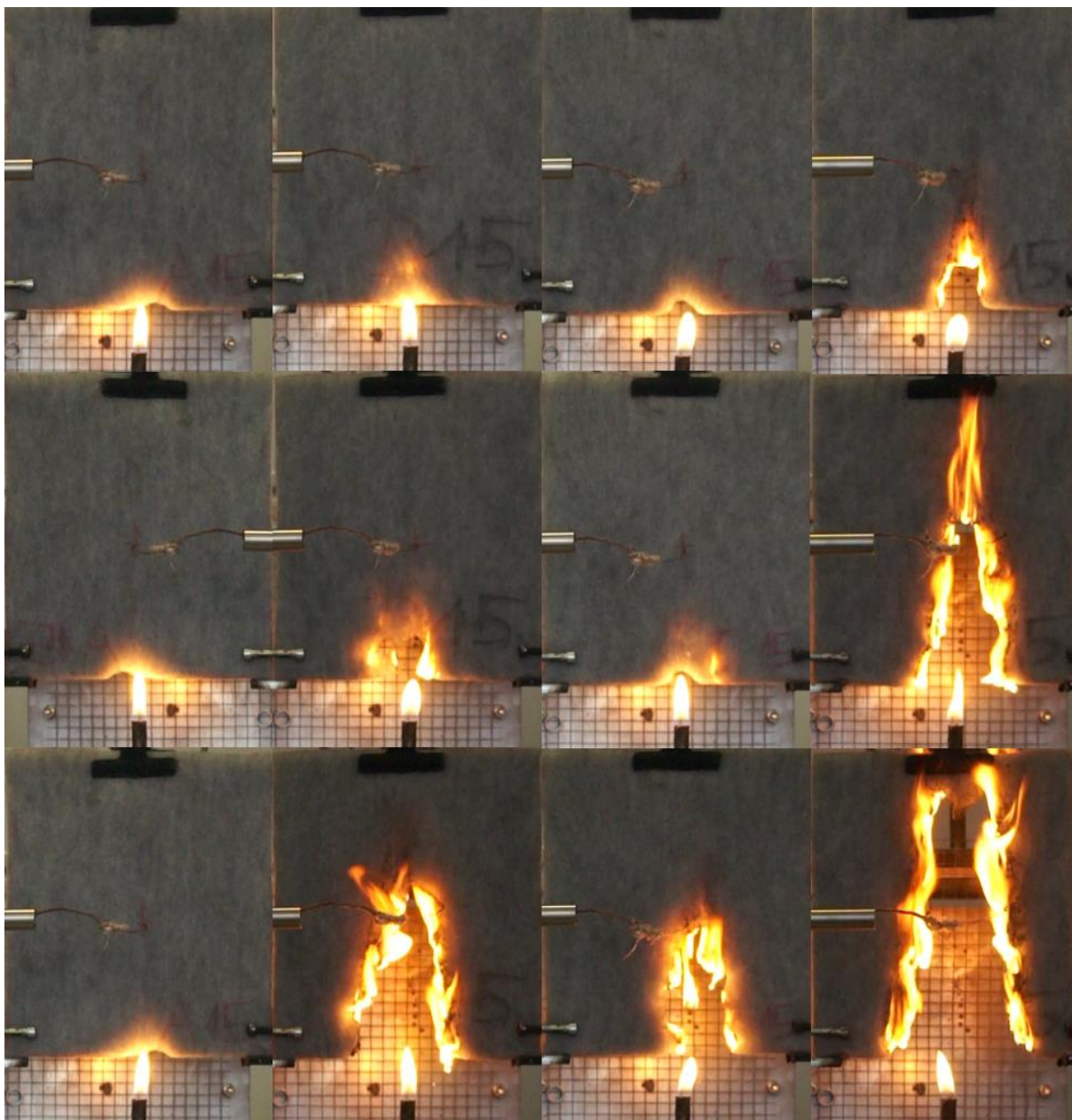
Na obrázku 10 jsou zaznamenány fotografie z průběhu testování hořlavosti vzorku s druhou největší objemovou hmotností. Objemová hmotnost testovaného materiálu byla lehce přes 20 kg/m^3 . První řádek obsahuje fotografie pořízené 5 sekund od příjezdu kahanu. Na druhém řádku jsou fotografie z 10. sekundy testování. Poslední řádek obsahuje fotografie z 15. sekundy od příjezdu kahanu, tedy z poslední chvíle, kdy na vzorek působil kahan. Dva z testovaných vzorků nevzplanuly. Důvodem může být hrubá chyba při testování, a to konkrétně nemožnost zabránění kmitání plamene díky rotaci vzduchu v místnosti. Tato chyba by však ovlivňovala všechny materiály. Vzorky, které vzplanuly, hořely velmi podobně, což je možné v obrázku pozorovat.



Graf 15 - Průběh teplot u vzorku 10 mm [°C]

V grafu 15 jsou zaznamenány teploty v závislosti na čase od příjezdu kahanu po dohoření plamenů k termočlátku umístěnému 100 mm od spodního okraje testovaných vzorků. V grafu jsou zaznamenány pouze dva průběhy měření, protože další dva testované vzorky nehořely. Křivky vzorků, které nevzplanuly, by byly téměř lineární. Jak je patrné již z obrázku 10, průběh hoření byl pro oba vzorky, které vzplanuly, velmi podobný. Kolísavý konec průběhu záznamu teploty pro vzorek označený 10 mm C je způsoben kmitáním plamene kolem termočlátku, nikoliv však v místě umístění jeho senzoru. Díky tomu také nedosahuje teplotní křivka tak vysokých hodnot jako křivka pro vzorek označená 10 mm B, kde plamen stoupal přímo vzhůru k čidlu termočlátku.

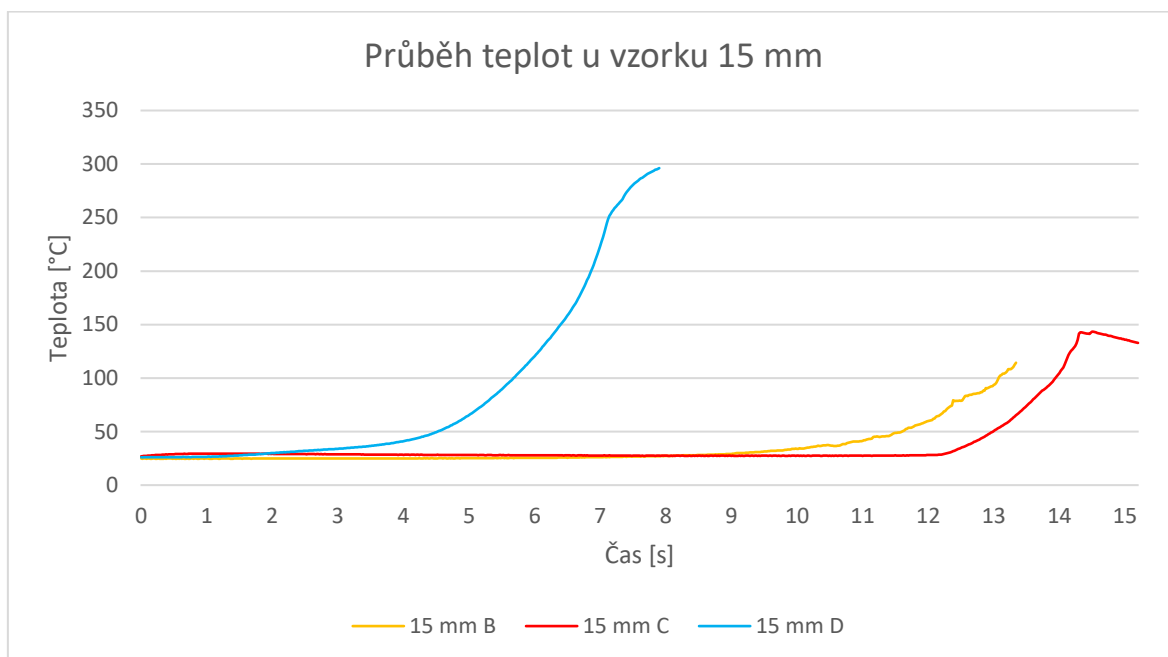
14.8 Testování vzorku 15 mm



Obrázek 11 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 15 mm

Na obrázku 11 jsou umístěny fotografie zachycující průběh hoření vzorku s druhou nejnižší objemovou hmotností. Objemová hmotnost testovaného materiálu byla necelých 18 kg/m^3 . Jedná se o materiál značený 15 mm. Postup hoření je chronologicky zaznamenán na fotografiích pod sebou v jednotlivých sloupečcích. Tedy v prvním řádku jsou fotografie nejstarší. Časový rozdíl mezi jednotlivými řádky fotografií činí 5 sekund. První řádek obsahuje fotografie pořízené 5 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. U posledního testovaného vzorku daného materiálu můžeme pozorovat nejrychlejší rozšíření plamene. Nejen, že vzorek vzplanul nejrychleji, ale také na prvních 10 cm vzorku nejrychleji hořel.

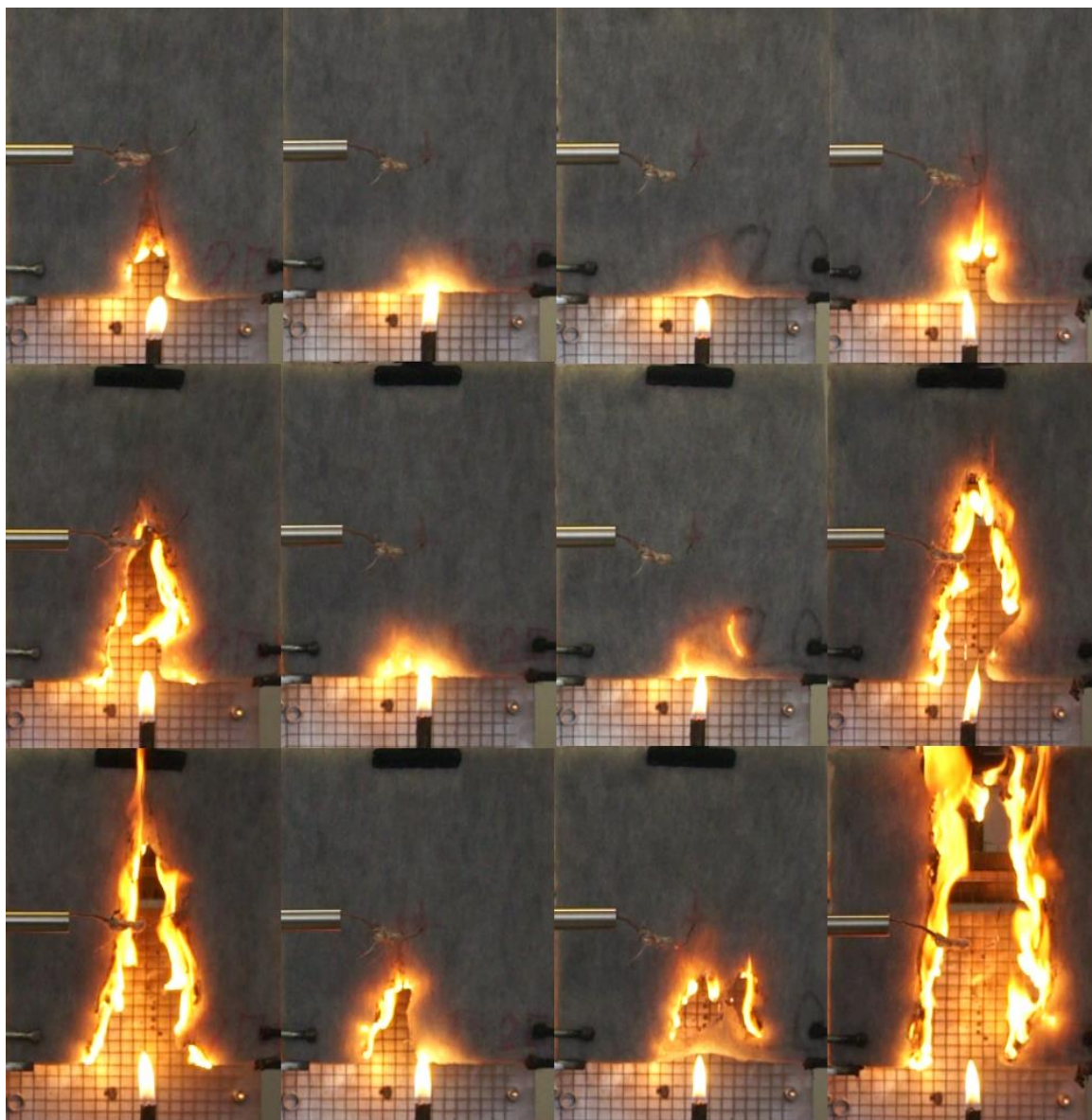
Rychlost hoření byla na prvních 10 cm vzorku 1,62 cm/s. Testovaný vzorek v prvním sloupci vůbec nehořel. Protože fotografie tohoto vzorku z 15. sekundy od příjezdu kahanu vypadá velmi podobně jako fotografie z 5. sekundy třetího testovaného vzorku daného materiálu, je možné předpokládat, že kdyby byl materiál vystaven působení kahanu delší dobu, možná by také vzplanul.



Graf 16 - Průběh teplot u vzorku 15 mm [°C]

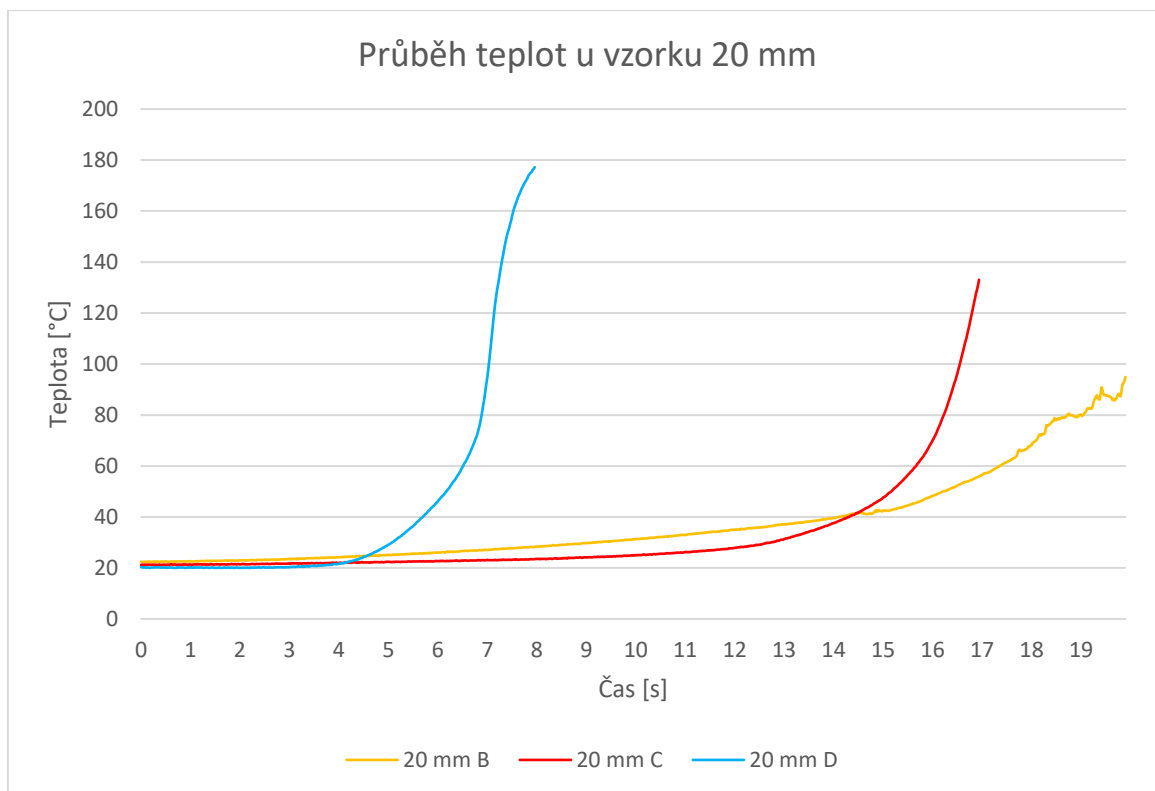
V grafu 16 jsou zaznamenány průběhy teplot při testování hoření. Počátek grafu se shoduje s příjezdem kahanu pod testovaný vzorek. Konec jednotlivých křivek určuje čas, kdy plameny zasáhly termočlánek. Tento čas je stanoven pro možnost porovnání naměřených hodnot, protože po zasažení termočlátku plamenem docházelo k výrazným odlišnostem chování. Teplota byla snímána 100 mm od spodního okraje testovaných vzorků. Růst teplotních křivek úzce závisí na šíření plamene, jak je patrné z obrázku 11. První vzplanul vzorek v posledním sloupci obrázku, v grafu označený jako 15 mm D. Křivka zaznamenávající narůst teplot během testování hořlavosti vzorku označeného 15 mm D má modrou barvu. U této křivky můžeme pozorovat, že se její průběh časově velmi lišil od dalších dvou křivek, které začaly hořet později. Všechny vzorky překonaly teplotu 100 °C, než dohořel plamen k termočlátku. Nejvyšších teplot dosáhl vzorek označený 15 mm D, protože jak je patrné z obrázku 11, plamen stoupal přímo vzhůru a tím vyzařoval nejvíce tepla na místo, kde byl umístěn termočlánek.

14.9 Testování vzorku 20 mm



Obrázek 12 - Fotografie z průběhu hoření vzorku 20 mm

V obrázku 12 jsou umístěny fotografie z průběhu měření hořlavosti nejobjemnějších vzorků. Fotografie nejsou umístěny nahodile, ale uspořádaně stejně, jako u předešlých obrázků s fotografiemi z průběhu hoření. V prvním řádku jsou zaznamenány stavy vzorků v čase 5 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. Druhý řádek obsahuje fotografie v čase 10 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. Poslední řádek zobrazuje materiály těsně před odjezdem kahanu tedy v 15. sekundě od příjezdu kahanu pod vzorek. Všechny vzorky tohoto materiálu hořely. Vzorky v prvním a čtvrtém sloupci označované jako 20 mm A a 20 mm D vzplanuly výrazně rychleji než vzorky, které můžeme vidět ve druhém a třetím sloupci označované jako 20 mm B a 20 mm C. Jak je v obrázku vidět, při měření vzorku 20 mm A v prvním sloupečku se vyskytla chyba, kdy nebyl správně umístěn termočlánek.



Graf 17 - Průběh teplot u vzorku 20 mm [°C]

V grafu 17 jsou zaznamenány teplotní průběhy během zkoušky hoření u materiálu s nejmenší objemovou hmotností. Objemová hmotnost toho materiálu byla přibližně $15,5 \text{ kg/m}^3$. Přestože byly testovány čtyři vzorky a všechny vzplanuly, jsou v grafu pouze tři křivky. Důvodem vyřazení dat prvního měřeného vzorku označeného 20 mm A bylo špatné umístění termočlánku. Křivka označená 20 mm D, v grafu znázorněná modrou barvou, dosahovala nejvyšších teplot před zasažením termočlánku plamenem. Tato hodnota je způsobena přímým působením plamene vzhůru, jak je patrné z obrázku 12. U ostatních vzorků plamen působil převážně mimo osu termočlánku. U vzorku označeného 20 mm B nedosáhla teplota ani 80 °C . Plamen se u tohoto vzorku šířil převážně vlevo od svislé osy vzorku, čímž se k termočlánku nedostávalo tolik tepla stoupajícího vzhůru. Plamen se také u tohoto vzorku šířil velmi pomalu, konkrétně $0,71 \text{ cm/s}$, což je nejpomaleji nejen pro tento testovaný materiál, ale nejpomaleji ze všech testovaných materiálů. Z obrázku 12 lze usuzovat, že teplotní křivka pro vzorek označený 20 mm A by ležela mezi křivkou označenou 20 mm D a 20 mm C, blíže ke křivce modré tedy 20 mm D.

14.10 Plocha zasažená plamenem

Při měření hořlavosti vzorků byl pořízen videozáznam průběhu každé zkoušky. Pomocí programu VSDC Free Video Editor byly vytvořeny snímky v přesném čase. Pro měření plochy zasažené plamenem byly vytvořeny snímky v časech 5, 10 a 15 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. Dále byly v programu ImageJ vypočítány plochy zasažené plamenem. Pro měření bylo nutné nastavit měřítko a následně označit plochu zasaženou plamenem. Data naměřená programem jsou zaznamenána v následující tabulce 11.

Tabulka 11 - Plocha zasažená plamenem [mm²]

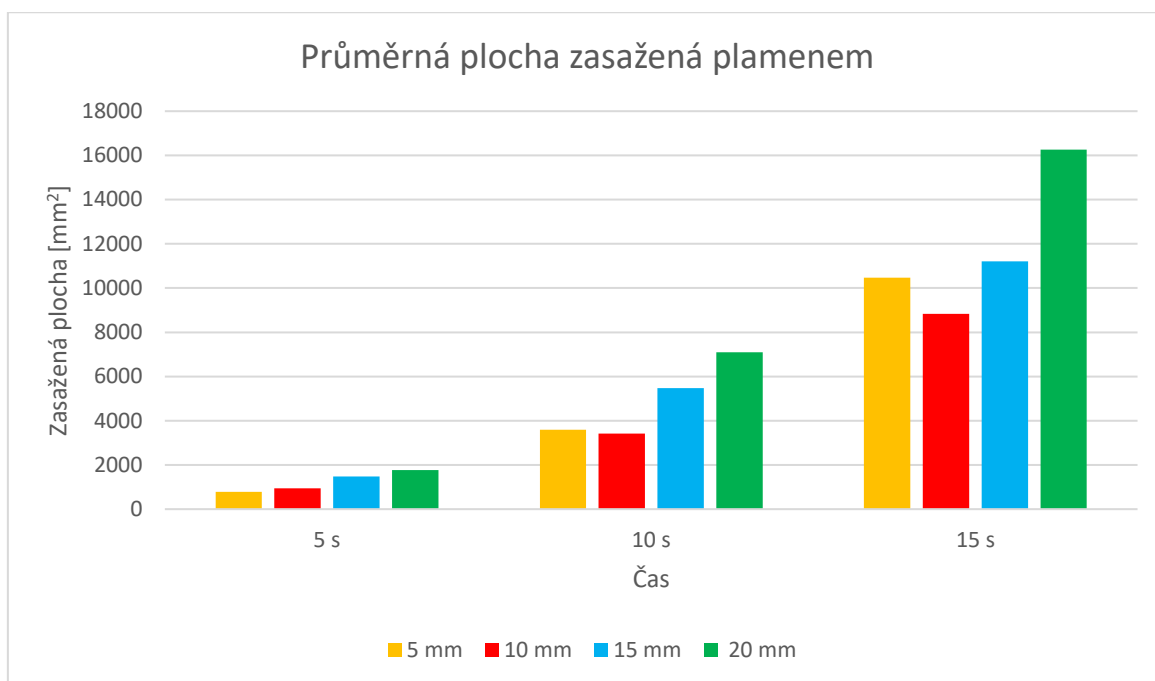
	5 s [mm²]	10 s [mm²]	15 s [mm²]
5 mm A	1010	4816	13297
5 mm B	565	3478	9913
5 mm C	435	1522	4726
5 mm D	1150	4565	13935
10 mm A	640	1198	1293
10 mm B	1251	7327	18971
10 mm C	1004	4048	13848
10 mm D	905	1098	1197
15 mm A	836	1287	1496
15 mm B	1550	4548	12721
15 mm C	857	2834	8392
15 mm D	2644	13223	22211
20 mm A	1964	9036	15140
20 mm B	1245	2975	5497
20 mm C	937	3497	14732
20 mm D	2922	12892	29660

V tabulce 11 jsou zaznamenány plochy zasažené plamenem v mm². Zaznamenaná data jsou značně subjektivní, protože plocha, která byla označena jako zasažená, je volena člověkem podle jeho úsudku. Pro přesnější data by bylo zapotřebí přesnějšího vyhodnocení zasažené plochy, například podle změny barvy. Jak je z tabulky patrné, zasažená plocha plamenem se zvětšovala s rostoucím časem působení plamene. Plamen působil na vzorky 15 sekund. Vzorky, které nevzplanuly během těchto 15 sekund, nevzplanuly vůbec, a díky tomu se plocha zasažená plamenem nemohla více zvětšit. Proto byl poslední čas pro zkoumání plochy zasažené plamenem určen na 15 s od příjezdu kahanu. I vzorky, které nevzplanuly, byly plamenem zasaženy, většinou docházelo k natavení vláken. Vzorky, které vzplanuly, shořely vždy úplně celé.

Tabulka 12 - Průměrná zasažená plocha plamenem [mm²]

	5 s [mm ²]	10 s [mm ²]	15 s [mm ²]
5 mm	790,32	3595,28	10467,75
10 mm	949,93	3417,58	8827,57
15 mm	1471,75	5473,30	11205,30
20 mm	1767,06	7099,96	16257,17

V tabulce 12 jsou zaznamenány průměrné plochy zasažené plamenem v daných časech pro konkrétní materiály. Největší průměrnou zasaženou plochou plamenem měl pro všechny časy měření vždy vzorek značený 20. Jednalo se tedy o nejobjemnější testovaný materiál s nejnižší objemovou hmotností. Zasažená plocha rostla s časem působení plamene.



Graf 18 - Průměrná plocha zasažená plamenem [mm²]

V grafu 18 jsou zaznamenány průměrné plochy zasažené plamenem. Každý sloupeček v grafu znázorňuje průměr ze 4 měření zasažené plochy pomocí programu Image J pro jednotlivé materiály v různých časech. První čtveřice sloupečků značí průměrnou zasaženou plochu plamenem 5 sekund od začátku působení kahanu. Druhý shluk sloupečků zaznamenává průměrnou plochu zasaženou plamenem 10 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. Poslední čtveřice sloupečků znázorňuje průměrnou plochu zasaženou plamenem 15 sekund od příjezdu kahanu pod vzorek. Jak je předvídatelné, s pozdějším časem se zvětšovala průměrná plocha zasažená plamenem. Při měření zasažené průměrné plochy plamenem v 5. sekundě můžeme pozorovat, že čím nižší byla objemová hmotnost daného

materiálu, tím větší byla průměrná zasažená plocha plamenem. V 10. a 15. sekundě toto pravidlo neplatí pro vzorky označené červeně, jejichž průměrná zasažená plocha plamenem byla nižší než plocha označená žlutě, tedy než plocha vzorků s největší objemovou hmotností. Nízká hodnota zasažené plochy plamenem je způsobena nevzplanutím dvou vzorků ze čtyř testovaných.

15 Přehled naměřených hodnot

V následující tabulce jsou zaznamenány průměrné hodnoty z jednotlivých měření pro testované vzorky.

Tabulka 13 - Přehled naměřených hodnot

	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
Průměrná tloušťka vzorků [mm]	7,57	12,47	14,92	16,39
Průměrná plošná hmotnost [g/m²]	248,57	260	262,86	254,29
Průměrná objemová hmotnost [kg/m³]	32,82	20,85	17,62	15,52
Prodyšnost vzduchu [l/m².s]	1127	1032	1128	1186
Množství uvolněného tepla [MJ/m²]	4,67	5,23	5,03	4,53
Rychlost uvolňování tepla [kW/m²]	348,62	354,75	320,09	364,48
Max. intenzita vyzařování tepla [kW/m²]	182,08	195,77	172,36	180,67
Čas vzplanutí [s]	5,16	4,8	4,19	4,08
Rychlost šíření plamene [cm/s]	1,43	1,8	1,29	1,25
Plocha zasažená plamenem 5 s [mm²]	790,32	949,93	1471,75	1767,06
Plocha zasažená plamenem 10 s [mm²]	3595,28	3417,58	5473,3	7099,96
Plocha zasažená plamenem 15 s [mm²]	10467,8	8827,57	11205,3	16257,2

16 Závěr

Cílem práce bylo studovat jevy spojené s hořením termicky pojené netkané textilie na vzorcích o různých objemových hmotnostech. Bylo nutné navrhnout postup výroby a vhodné složení těchto vzorků netkaných textilií. Na vyrobených vzorcích mělo být testováno jejich chování během hoření.

První část práce pojednává o problematice hoření. Je zde konkrétně popsáno vznícení, šíření plamene a průběh hoření. Dále se práce zaměřuje na hořlavost materiálů, konkrétně textilií a vláken. V práci jsou také popsány možnosti zpomalování hoření. Další část práce je zaměřena na možnosti testování hořlavosti, zde je například popsána norma, ze které se vycházelo při experimentu. Také jsou zde popsána zařízení využitá k testování vyrobených materiálů, konkrétně kónický kalorimetr a Bunsenův kahan.

Experimentální část práce je rozdělena na dvě části. První část obsahuje prvotní experiment. Pro výrobu vzorků o různé objemové hmotnosti zde byla zvolena směs vláken, kde 10 % hmotnosti směsi tvořila viskózová vlákna, 70 % tvořila vlákna polyesterová a zbylých 20 % vlákna pojivá. Vlákna byla ručně promísena. Pro tvorbu rouna bylo zvoleno mykání na válcovém mykacím stroji zakončené podélným kladením. Pro pojení byl zvolen tepelný lis, který umožňoval výrobu různě objemných netkaných textilií. Pro dosažení rozdílných objemových hmotností byly při pojení různých vzorků nastaveny vzdálenosti mezi pojivými deskami tepelného lisu na 13 mm, 10 mm, 7 mm a 3 mm. Na vyrobených vzorcích byla měřena prodyšnost na přístroji Metefem typu FF – 12/A. Dále byla testována hořlavost při vystavení vzorků plamenu Bunsenova kahanu. Do testovaných vzorků byl umístěn termočlánek pro sledování teplotního chování vzorků.

Druhá část experimentu vycházela z poznatků prvotního experimentu. Byly vyrobeny vzorky rozdílného složení od prvních vyrobených vzorků. Nové vzorky obsahovaly o 5 % hmotnosti méně viskózových vláken a naopak o 5 % více vláken polyesterových, z důvodu snížení hořlavosti. Výroba rouna zůstala zachována. Během pojení na tepelném lisu byly nastaveny vzdálenosti mezi pojivými deskami na 5 mm, 10 mm, 15 mm a 20 mm. U vzorků byla změřena tloušťka. Vzorky byly zváženy a následně byla dopočítána objemová hmotnost. Na vzorcích byla také měřena prodyšnost, ale pro měření bylo využito přístroje M021A od firmy SDL Atlas, který umožňoval přesnější měření. Vzorky byly měřeny na kónickém kalorimetru. Z měření na kónickém kalorimetru bylo zjištěno celkové množství uvolněného tepla, rychlost uvolňování tepla a intenzita vyzařování tepla. Vzorky byly také

testovány nad Bunsenovým kahanem. Pro usnadnění přesného umístění vzorků, byl vylepšen držák vzorků nad kahanem, oproti prvotnímu experimentu. Pro přesnější záznam teplot byl zvolen termočlánek s větší frekvencí měření. Z testování byl pořízen videozáznam. Díky videozáznamu bylo možné určit čas vzplanutí testovaných materiálů a také rychlost šíření plamene ve vertikálním směru. Z videozáznamu byly vytvořeny fotografie v časech 5, 10 a 15 vteřin od příjezdu kahanu pod vzorek. Z těchto fotografií bylo možné vyhodnotit plochu zasaženou plamenem v daném čase. Vzorky během testování nevykazovaly přímou úměru mezi chováním v průběhu hoření a jejich tloušťkou.

Cíl práce byl naplněn. Práce přispívá k poznání chování netkaných textilních materiálů zasažených plamenem. Snahou bylo nejen naměřit a popsat hodnoty, ale také pochopit proces hoření textilních materiálů.

Další výzkum vlivu objemové hmotnosti na hoření netkaných textilií by mohl přinést levné a ekologické řešení, jak zvýšit požární ochranu například u materiálů používaných jako tepelné izolace. Pro další výzkum by bylo vhodné zaměřit se na růst teploty v různých místech materiálů. Bylo by vhodné zaměřit se na proudění vzduchu v testovaném materiálu.

17 Bibliografie

- [1] DEMIDOV, Petr Georgijevič. *Horenie a vlastnosti horľavých látok*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1963.
- [2] HORROCKS, A. a Dennis PRICE. *Fire retardant materials*. Boca Raton: CRC Press, 2003. ISBN 0-8493-3883-2.
- [3] *Fire retardancy of polymers: new strategies and mechanisms*. Editor T. Richard HULL, editor Baljinder K. KANDOLA. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2009. ISBN 978-0-85404-149-7.
- [4] KUBÍKOVÁ, Pavlína. Požáry v Jihočeském kraji v roce 2020. In: *Český statistický úřad: Krajská správa ČSÚ v Českých Budějovicích* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xc/pozary-v-jihoceskem-kraji-v-roce-2020>
- [5] KILINC, F. Selcen, ed. *Handbook of fire resistant textiles*. 1. [Manchester]: Textile Institute, 2013. Woodhead Publishing series in textiles. ISBN 978-0-85709-123-9.
- [6] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. 1. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [7] Textiles F.R. Limited: Flame Retardancy Finishers & Consultants. In: *TFR* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <http://textilesfr.co.uk/technical/fibres-and-flammability/>
- [8] FREIVALDE, Līga, Silvija KUKLE, Mārtiņš ANDŽS, Edgars BUKŠĀNS a Jānis GRĀVĪTIS. Flammability of raw insulation materials made of hemp. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2014, **67**, 510-514 [cit. 2022-05-08]. ISSN 13598368. Dostupné z: doi:10.1016/j.compositesb.2014.08.007
- [9] PV 3357. *Insulating Material: Behavior during Flame Exposure with a Burner Surface and Edge Flame Exposure*. 2000.

- [10] ASTM E1354 CONE CALORIMETER TESTING. In: *Capital testing* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.capitaltesting.org/astm-e1354-cone-calorimeter-laboratory-testing>
- [11] Cone Calorimeter: Predicting fire and smoke behaviour accurately and cost-effectively. In: *Efectis* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://efectis.com/app/uploads/2017/08/Leaflet_ConeCalori.pdf
- [12] NAJMANOVÁ, Hana, Petr HEJTMÁNEK a Libor ŠEVČÍK. Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálů při požáru. *Imaterialy* [online]. 2015 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/rychlost-uvolnovani-tepla-jako-parametr-pro-hodnoceni-chovani-materialu-pri-pozaru_42776.html
- [13] POŽÁRNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH. 112: *Odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva* [online]. 2019, (5), 16-19 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xviii-cislo-5-2019.aspx?q=Y2hudW09Nw%3d%3d>
- [14] SANDERS, Erin R. Aseptic Laboratory Techniques: Volume Transfers with Serological Pipettes and Micropipettors. *Journal of Visualized Experiments* [online]. 2012, (63) [cit. 2022-05-08]. ISSN 1940-087X. Dostupné z: doi:10.3791/2754
- [15] KOHN, Moritz. Remarks on the history of laboratory burners. *Journal of Chemical Education* [online]. 1950, **27**(9) [cit. 2022-05-08]. ISSN 0021-9584. Dostupné z: doi:10.1021/ed027p514
- [16] JENSEN, William B. The Origin of the Bunsen Burner. *Journal of Chemical Education* [online]. 2005, **82**(4) [cit. 2022-05-08]. ISSN 0021-9584. Dostupné z: doi:10.1021/ed082p518
- [17] LOCKERMANN, Georg. The centenary of the Bunsen burner. *Journal of Chemical Education* [online]. 1956, **33**(1) [cit. 2022-05-08]. ISSN 0021-9584. Dostupné z: doi:10.1021/ed033p20

- [18] Bunsenův kahan. In: *Wikipedia: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2022-05-12].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bunsen%C5%AFv_kahan
- [19] GROVER, Taruna, Asimananda KHANDUAL a Ameersing LUXIMON. Fire Protection: Flammability and textile fibres. *Colourage* [online]. (61), 39-45 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/287938487>
- [20] Air permeability tester M021A. In: *SDL Atlas* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/sdl-atlas/product-172487-1858201.html>

Přílohy

Příloha A – Tabulka prodyšnosti

	13 mm [l/m ² s]	10 mm [l/m ² s]	7 mm [l/m ² s]	3 mm [l/m ² s]
měření č. 1	361,11	333,33	361,11	305,56
měření č. 2	388,89	333,33	333,33	305,56
měření č. 3	333,33	305,56	305,56	305,56
měření č. 4	361,11	333,33	333,33	305,56
měření č. 5	333,33	333,33	333,33	305,56
měření č. 6	444,44	333,33	416,67	305,56
měření č. 7	388,89	416,67	333,33	361,11
měření č. 8	305,56	416,67	333,33	333,33
měření č. 9	361,11	305,56	333,33	305,56
měření č. 10	416,67	333,33	333,33	305,56

Příloha B – Tabulka tloušťky vzorků

	5 mm [mm]	10 mm [mm]	15 mm [mm]	20 mm [mm]
měření č. 1	7,58	12,39	14,87	16,32
měření č. 2	7,56	12,65	14,64	15,64
měření č. 3	7,59	12,38	15,06	16,63
měření č. 4	7,27	12,64	14,39	15,57
měření č. 5	7,35	12,19	14,99	16,49
měření č. 6	7,57	12,29	14,97	16,39
měření č. 7	7,71	12,83	15,4	17,29
měření č. 8	8,82	12,61	14,5	16,01
měření č. 9	7,18	12,07	15,05	16,47
měření č. 10	7,11	12,66	15,3	17,05

..

Příloha C – Tabulka hmotnost vzorku 10 × 10 cm

	5 mm [g]	10 mm [g]	15 mm [g]	20 mm [g]
měření č. 1	2,4	2,6	2,8	2,8
měření č. 2	2,4	2,6	2,6	2,2
měření č. 3	2,2	2,6	2,6	2,6
měření č. 4	2,4	2,6	2,6	2,6
měření č. 5	2,8	2,6	2,6	2,6
měření č. 6	2,6	2,6	2,6	2,4
měření č. 7	2,6	2,6	2,6	2,6
Aritmetický průměr	2,49	2,60	2,63	2,54
Směrodatná odchylna	0,20	0,00	0,08	0,19
Dolní hranice 95 % IS	2,34	2,60	2,57	2,40
Horní hranice 95 % IS	2,63	2,60	2,68	2,68

Příloha D – Graf rychlosti uvolňování tepla

