



# Studium hoření kolmo kladených netkaných textilií upravených vodním sklem

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B3107 – Textil  
*Studijní obor:* 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály  
*Autor práce:* **Klára Masnicová**  
*Vedoucí práce:* Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.





# Study of combustion of perpendicular laid nonwovens adjusted with water glass

## Bachelor thesis

*Study programme:* B3107 – Textil  
*Study branch:* 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials  
*Author:* **Klára Masnicová**  
*Supervisor:* Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.



Tento list nahradte  
originálem zadání.

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

## **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce je studium hoření kolmo kladených netkaných textilií upravených vodním sklem. Práce je rozdělena do čtyř částí a to úvodu, teoretické části, experimentální části a závěru. Teoretická část obsahuje informace o vodním skle, povrchovém napětí a mechanické výrobě netkaných textilií. Dále je zde uvedena rešerše vybraných metod testování hoření textilií. V experimentální části jsou popsány jednotlivé testy a jejich logická návaznost. Je zde popsán průběh experimentu, který obsahuje měření úhlu smáčení vodních skel, úpravu povrchového napětí vodního skla, výrobu netkané textilie, volbu vhodného typu vodních skel a testy hoření, dále mechanické namáhání textilie stlačením a obrazovou analýza s použitím opticky zjasňujícího prostředku. V experimentální části jsou vyhodnoceny výsledky, z nichž plyne, že aplikace vodního skla jako retardantu hoření je proveditelná. Nakonec jsou zde navrženy postupy pro další řešení dané problematiky.

## **Abstract**

Subject of this bachelor thesis is study of combustion of perpendicular laid nonwoven textiles adjusted with water glass. The thesis is divided into four parts, namely the introduction, the theoretical part, experimental part and conclusion. The theoretical part includes informations about water glass, surface tension and mechanical nonwoven textiles. Moreover there is mentioned search of flammability testing methods. In the experimental part, there are described individual tests and also their logical continuity. There is described the process of the experiments, namely contact angle test, adjustment of surface tension, production of nonwoven textile, choice of suitable type of water glass and flammability tests. There are also described mechanical stress of nonwovens by compression and pictorial analysis with use of optically brightener agent. In experimental part the results are evaluated. The results shows the application of water glass as flame retardant agent is feasible. In conclusion, the possible procedures for further solutions are designed.

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu ing. Jiřímu Chaloupkovi, PhD za odborné vedení mé bakalářské práce. Děkuji tímto za jeho velkou ochotu a cenný čas, který mi věnoval, za poskytnuté materiály a věcné připomínky.

## Osnova

1. Úvod.....	8
2. Teoretická část.....	9
2.1. Vodní sklo.....	9
2.1.1. Vlastnosti.....	9
2.1.2. Výroba.....	10
2.2. Povrchové napětí.....	10
2.3. Úhel smáčení.....	11
2.3.1. Měření úhlu smáčení.....	12
2.4. Netkané textilie.....	13
2.5. Příprava vlákenné vrstvy – Mykání.....	13
2.6. Vrstvení vlákenné pavučiny.....	14
2.6.1. Podélné vrstvení.....	14
2.6.2. Příčné kladení.....	15
2.6.3. Kolmé kladení.....	15
2.7. Teplovzdušné pojení.....	17
2.8. Suroviny pro netkané textilie.....	18
2.8.1. Viskózová vlákna.....	18
2.8.2. Polyesterová vlákna.....	19
2.9. Pojiva.....	20
2.9.1. Formy pojiv.....	20
2.9.2. Bikomponentní vlákna.....	21
2.10. Teorie hoření.....	21
2.11. LOI.....	22
2.12. Standardní testovací metody hoření textilních materiálů.....	23
2.12.1. Jednoduchý test zapálení.....	23
2.12.2. Test šíření plamene.....	23
2.12.2.1. Norma ISO 3795:1989.....	24
2.12.2.2. VW TL 1010.....	26
2.12.3. Test šíření plamene pod externím tepelným tokem.....	27
2.12.4. Testy uvolňování tepla.....	28
3. Experiment.....	29
3.1. Úhel smáčení.....	29
3.1.1. Úprava povrchového napětí.....	31
3.2. Výběr vodních skel.....	31
3.3. Předběžná zkouška hořlavosti.....	31
3.4. Výroba netkané textilie I.....	32
3.5. Příprava vzorků I.....	33
3.6. Zkouška hoření I.....	33
3.7. Výroba netkané textilie II.....	34
3.8. Příprava vzorků II.....	34
3.9. Mechanické namáhání.....	34
3.10. Zkouška hoření II.....	35
3.11. Obrazová analýza.....	35
3.12. Opticky zjasňující prostředek ve vodním skle.....	36
3.13. Výsledky.....	38
3.13.1. Výsledky testu hoření I.....	38
3.13.2. Výsledky testu hoření II.....	41

4. Závěr.....	44
5. Literatura.....	45



## 1. Úvod

Tato práce se zabývá nehořlavou povrchovou úpravou kolmo kladených netkaných textilií, jejíž hlavní složku tvoří vodní sklo.

Vodní sklo je velice univerzální chemikálie používaná v mnoha odvětvích a aplikacích. V textilu je jeho využití omezené avšak potenciál použití právě v textilu a to hlavně v netkaných textiliích je podle všeho veliký. Budoucnost může mít vodní sklo díky svým nehořlavým vlastnostem. V kombinaci s objemnou netkanou textilií může fungovat velice dobře jako nehořlavá izolace, a to jak tepelná, tak zvuková. Na materiály k těmto aplikacím jsou kladeny bezpečnostní a zároveň ekologické nároky. Stále více oblíbené recyklované či přírodní vlákenné materiály bývají vysoce hořlavé. V kombinaci s vodním sklem, které hořlavost snižuje, by takové materiály mohly být právě v technických aplikacích zajímavým řešením.

Cílem této práce bylo zjistit proveditelnost aplikace roztoků vodního skla jako retardantu hoření, a to na kolmo kladenou netkanou textilií. Proměnnými testů byla plošná hmotnost netkané textilie a koncentrace vodního skla ve vodném roztoku.

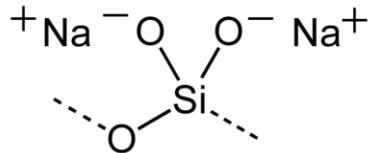
Teoretická část se věnuje představení vodního skla a uvedení základní problematiky mechanických a z části termických principů výroby netkaných textilií a materiálů vhodných k jejich výrobě. Jsou zde vysvětleny základní pojmy týkající se experimentální části. Dále je zde uvedena krátká rešerše vybraných testů hoření textilií.

V experimentální části jsou podrobně popsány postupy a logická návaznost jednotlivých experimentů, jsou zde zmíněny parametry výroby netkané textilie a průběh testů. Závěrem jsou prezentovány výsledky testů a jejich vyhodnocení.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Vodní sklo

Vodní sklo je vodný roztok křemičitanu, přičemž hlavní složku tvoří dle konkrétního typu vodního skla křemičitan sodný, sodno-lithný, draselno-lithný či křemičitan draselný [1] [2].



Obr. 1: Část řetězové struktury křemičitanu sodného [3].

Vodní sklo má široké využití v oblasti odmašťovacích, pracích a čisticích prostředků, používá se také jako odstraňovač těžkých kovů v čistírnách odpadních vod, jako pojivo při výrobě svářečských drátů či jako lepidlo v papírenském průmyslu. Další velkou skupinou použití jsou nátěrové hmoty, tmely a suché maltové směsi. Pro tyto běžné aplikace jsou nejčastěji využívána skla draselná. Pro náročnější aplikace v protipožárních materiálech, barvách a podlahových krytinách v průmyslu, se používá vodní sklo lithné, sodno-lithné, draselno-lithné.

#### 2.1.1. Vlastnosti

U komerčně dostupných typů vodních skel se pohybuje obsah sušiny v rozmezí 30-45 hm. % sušiny. Výjimku tvoří lithná skla, kde je obsah sušiny 20 – 30 hm. %. Vodní sklo bývá charakterizováno křemičitým modulem M, který udává molární poměr  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  u sodného skla a  $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$  u draselného skla. Hodnoty křemičitého modulu běžných vodních skel se pohybují v rozmezí 1,6 – 4,1. K dalším charakteristikám vodních skel patří hustota, viskozita a pH. Viskozita je závislá na koncentraci a současně hodnotě křemičitého modulu M. Vodní sklo se chová jako newtonská kapalina. Hodnoty pH vodního skla jsou závislé na jejich koncentraci a složení, jako roztoky solí silné kyseliny a slabé zásady jsou silně alkalická. Vodní sklo se vytvrzuje a to v důsledku tvorby gelu kyseliny křemičité, která vzniká reakcí alkalického křemičitanu s oxidem uhličitým, resp. kyselinou uhličitou. Tento průběh je znázorněn v následující rovnici. [1, 2]



Vedlejším produktem [1] vytvrzování je dle typu vodního skla oxid sodný (soda) či oxid draselný (potaš).

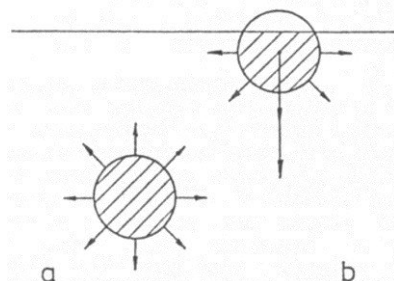
### 2.1.2. Výroba

Výrobu vodního skla lze rozdělit na dva základní postupy. Prvním možným postupem je výroba z pevného křemičitanu sodného/draselného (PKS/D), který se vyrábí ze sklářského písku s obsahem oxidu křemičitého mezi 70 a 75%. Písek se roztaví ve sklářské vanové peci při teplotě 1400 - 1600°C. Tavitelnost sklářského písku se usnadňuje pomocí alkalických tavidel oxidu sodného či draselného. Roztavená sklovina se prudce zchladí, tak vzniknou malé částice, které se následně rozpouštějí pomocí hydroxidu sodného/draselného v autoklávu (kde působí voda, teplo, tlak). Tímto způsobem lze vyrábět všechny typy vodních skel.

Druhý způsob výroby vodního skla je hydrotermální reakce. Při tomto postupu se křemičitý písek rovnou rozpouští v autoklávu s hydroxidem sodným. Parametry a vlastnosti jednotlivých typů vodních skel lze upravovat přidávkem organických či anorganických aditiv přímo do autoklávu. Tímto způsobem lze ale vyrábět jen některé typy sodných vodních skel [1].

### 2.2. Povrchové napětí kapalin

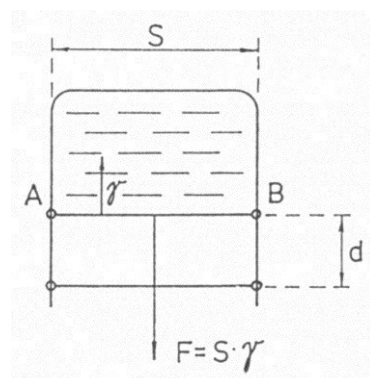
Pokud na kapalinu nepůsobí vnější síly, zaujímá kulový tvar, tj. tvar, který má při daném objemu minimální povrch. Tento jev je způsoben kohezními silami mezi molekulami kapaliny; kohezní síly jsou uvnitř kapaliny totožné, a proto je jejich součet nulový. Na rozhraní kapaliny a okolního prostředí kohezní síly převažují nad adhezními silami mezi kapalinou a okolím, viz obr. 2. Důsledkem toho jsou molekuly vtahovány z povrchu do kapaliny a dochází k zaoblování kapaliny do kulového tvaru. Chování kapaliny lze zjednodušeně popsat tak, jako by její povrch byl tenkým pružným filmem, který se snaží stáhnout kapalinu do nejmenšího možného tvaru [4] [5].



Obr. 2: Schema k pojmu povrchové napětí; a - molekula uvnitř, b - molekula u povrchu [4].

Ke zvětšení povrchu kapaliny dojde tehdy, je-li zvýšena energie částic, tzv. povrchová energie. Povrch kapaliny se tedy zvětší působením vnější síly. Práce  $W$  potřebná ke zvětšení povrchu kapaliny o jednotkovou plochu se nazývá povrchová energie kapaliny [4].

Velikost povrchového napětí lze vysvětlit jednoduchým pokusem, viz Obr. 3. Do drátěného rámečku s pohyblivou stranou AB je umístěna vrstva kapaliny. Síla  $F$  potřebná ke zvětšení povrchu kapaliny je úměrná povrchovému napětí  $\gamma$  a vzdálenosti  $AB = s$ . [4] [5]



Obr. 3: Schema k odvození síly způsobené povrchovým napětím [4].

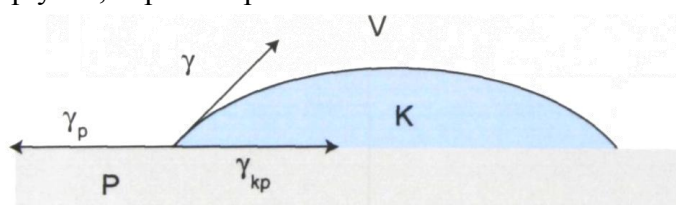
Povrchové napětí lze tedy vyjádřit rovnicí

$$\gamma[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] = \frac{F[\text{N}]}{2 s[\text{m}]} \quad (1)$$

Povrchové napětí kapaliny je možné upravovat povrchově aktivními látkami (PAL). Povrchové napětí kapalin [4] ovlivňuje rovnoměrnost rozmístění roztoků ve struktuře textilií a na samotných vláknech, resp. mezi svazky vláken a stejně tak ovlivňuje adhezi roztoků k vláknům.

### 2.3. Úhel smáčení

Úhel smáčení úzce souvisí s povrchovým napětím. Podle velikosti úhlu smáčení je možné určit, zda kapalina smáčí pevný povrch či ne. Prakticky se setkáváme se soustavou [5] tří fází – plynné, kapalná a pevná viz Obr. 4.



Obr. 4: Kapka na rovinném pevném povrchu s vyznačením rovnovážných sil povrchového napětí na obvodu smáčení. V značí plyn, K kapalinu a P pevnou látku [5].

Jestliže je v takové soustavě povrchové napětí mezi pevnou P a plynnou fází V větší než mezi pevnou P a kapalnou fází K, bude snaha soustavy zvětšovat povrch pokrytý kapalinou na úkor povrchu pevná látka P – vzduch V. Úhel mezi rozhraním kapalina – plyn a pevná látka – kapalina se nazývá Úhel smáčení  $\theta$ . Vztah mezi úhlem smáčení  $\theta$  a jednotlivými mezifázovými energiemi je dán Youngovou rovnicí

$$\gamma_p = \gamma_{kp} + \gamma \times \cos\theta . \quad (2)$$

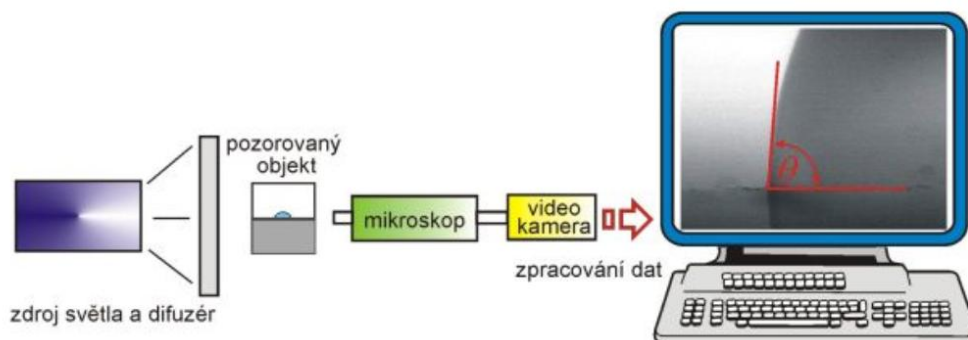
Pro úhel smáčení z Youngovi rovnice plyne, že

$$\cos\theta = \frac{\gamma_p - \gamma_{kp}}{\gamma} . \quad (3)$$

Kapaliny smáčejí pevný povrch tvoří ostrý úhel smáčení,  $0 < \theta < 90^\circ$ , v tomto případě je  $\gamma_p > \gamma_{kp}$ . Kapaliny tvořící tupý úhel smáčení,  $90^\circ < \theta < 180^\circ$ , nesmáčí pevný povrch a platí zde  $\gamma_p < \gamma_{kp}$ . [6]

### 2.3.1. Měření úhlu smáčení

Metody měření se dělí na přímé a nepřímé. Mezi přímé metody patří měření na naklánějí se destičce. Nejčastěji používanou technikou pro rovné povrchy je ale metoda měření na přisedlé kapce nebo přilnavící bublině, viz Obr. 5. Kontaktní úhel smáčení je měřen z profilu kapky, která je snímán mikroskopem a kamerou. Vyhodnocovací software na základě 3 ručně určených bodů na snímku automaticky úhel smáčení vypočítá [6].



Obr. 5: Schéma uspořádání měřicího zařízení pro úhel smáčení [6].

## 2.4. Netkané textilie

NT zahrnují širokou škálu výrobků získaných nejrůznějšími technologiemi a odlišujícími se strukturou. Vzhledem k tomu, že vznikají stále nové technologie a s tím spojené výrobky a struktury, podléhá definice NT vývoji. V současné době jsou NT definovány následovně:

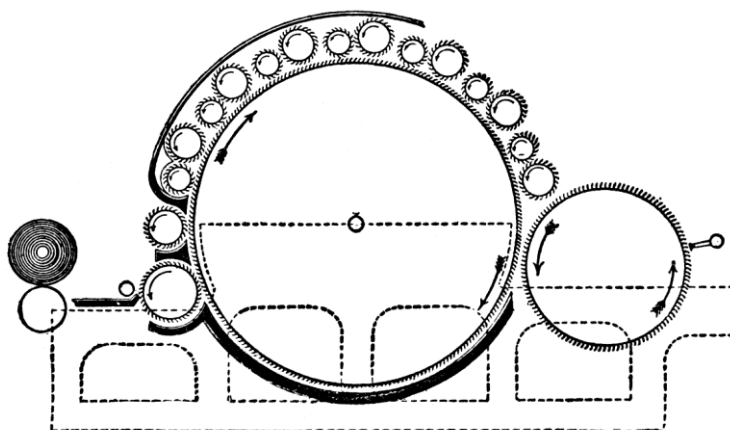
Netkaná textilie je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním.[4]

V následující části budou popsány základní principy výroby netkaných textilií s ohledem na použité technologie a materiály v experimentální práci.

## 2.5. Příprava vláknenné vrstvy - Mykání

Mechanické způsoby přípravy vláknenných vrstev spočívají v tvorbě vláknenné pavučiny a jejím následném vrstvení.

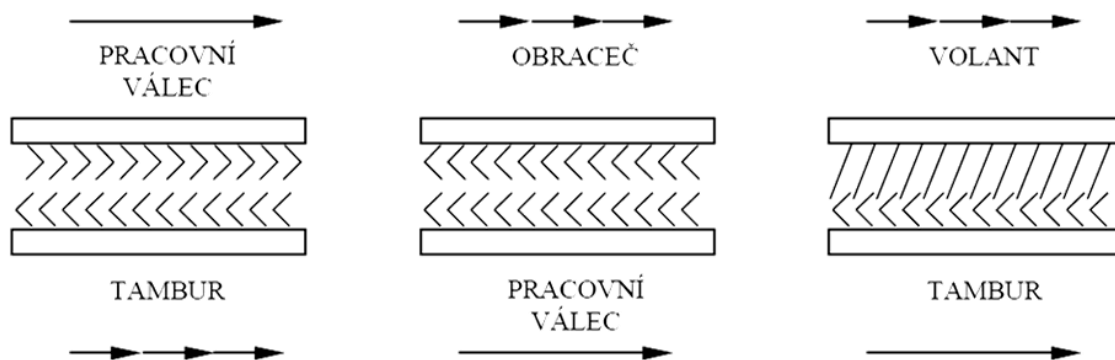
K přípravě vláknenné pavučiny se používají mykací stroje, případně mykací zařízení vyvinutá speciálně pro výrobu netkaných textilií. Běžně jsou využívány klasické mykací stroje víčkové a válcové. Častější využití mají stroje vlnařské, viz Obr. 6, a to pro vyšší výrobní rychlosti, větší výrobní šíři a výkon. [4]



Obr. 6: Schema válcového mykacího stroje [7].

Účelem mykání je rozvolnit a promísit vláknenný materiál a vytvořit homogenní rouno o jednotné plošné hmotnosti. Klasický válcový mykací stroj postupně ojednocuje vlákna, jejichž konečné uspořádání ve vláknenné pavučině je převážně v podélném směru výstupu ze stroje. Důsledkem anizotropní struktury jsou rozdílné vlastnosti v různých směrech a to jak pavučiny, tak výsledné vláknenné vrstvy [8, 4].

Základem vlnářského mykacího stroje je soustava válců opatřených drátkovými nebo pilkovými pracovními povlaky. Drátky, resp. hroty pilkových povlaků jsou na válcích ve vzájemném postavení na mykání (tambur – pracovní válec), na snímání (obraceč – pracovní válec) nebo povytažení (volant – tambur), viz Obr. 7. Účinek mykacího zařízení se zvyšuje počtem pracovních drátků či hrotů na plochu, rozdílem obvodových rychlostí tamburu a pracovních válců a těsností sesazení pracovních povrchů. [4]



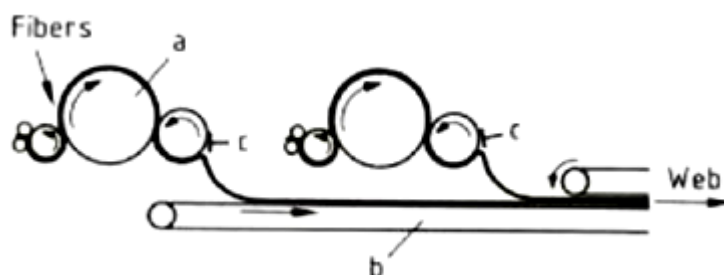
Obr. 7: Vzájemné postavení pracovních potahů mykacího stroje s vyznačením rychlostí [4].

## 2.6. Vrstvení vlákně pavučiny

### 2.6.1. Podélné vrstvení

Při uspořádání několika mykacích strojů za sebou, viz Obr. 8, lze jednotlivé pavučiny podélně vrstvit a násobit tak plošnou hmotnost výrobku. Tato uspořádání se využívají k výrobě pojených textilií nízkých plošných hmotností do 100g/m.

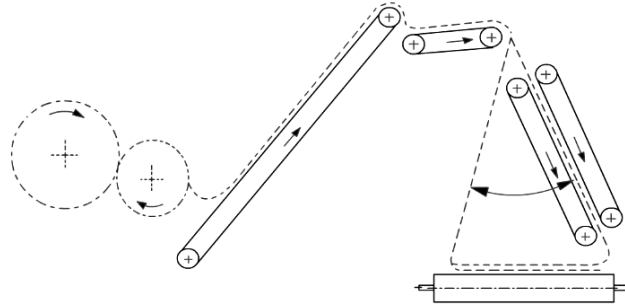
Častějším způsobem přípravy vlákně vrstvy je tzv. příčné kladení na odváděcí pás, který se pohybuje ve směru kolmém ke směru přívodu pavučiny.[4]



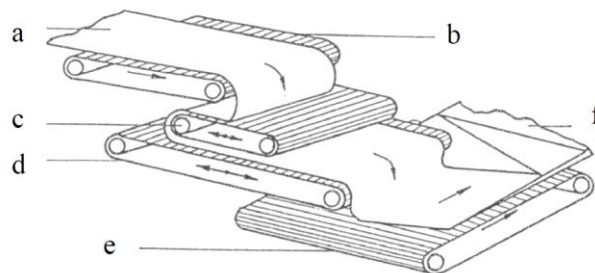
Obr. 8: Dva mykací stroje v tandemu; a) mykací stroj b) dopravníkový pás c) sčesávací pilka [9].

### 2.6.2. Příčné kladení

Pro příčné kladení jsou nejčastěji využívány dva typy zařízení, a to vertikální (Obr. 9) a horizontální kladeč (Obr. 10). Úhel křížení pavučiny v příčně vrstveném kladeném rounu je dán rychlostmi ukládacího a odváděcího pásu. Výsledná plošná hmotnost výrobku závisí na plošné hmotnosti vstupního rouna, šířce vznikající vrstvy a rychlosti jejího odvodu. [4]



Obr. 9: Vertikální příčný kladeč pavučiny: 1 - pavučina z mykacího stroje, 2 - přiváděcí dopravníky, 3 - dvojice výkyvných kladecích pásů 4 - odváděcí dopravník [4].



Obr. 10: Horizontální příčný kladeč pavučiny: a) pavučina, b) kladecí dopravník, c) kompenzační dopravník, d) kladecí dopravník, e) odváděcí dopravník, f) příčně vrstvené rouno [4].

### 2.6.3. Kolmé kladení

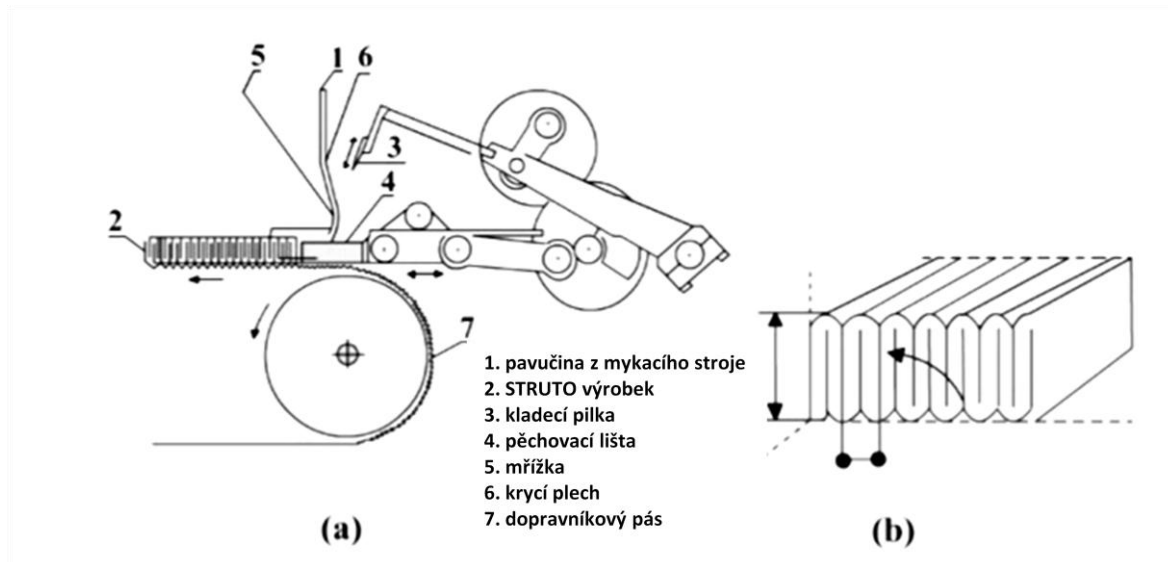
Výroba vlákněných vrstev kolmým kladením pavučiny byla vyvinuta na katedře netkaných textilií VŠST v Liberci v letech 1988 – 1992. [4]

Kolmo kladené netkané textilie získávají uznání v rostoucím počtu aplikací. Tyto materiály jsou využívány jako náhrada pěn v automobilu, v hloubkové filtraci či tepelné izolaci. V průběhu let bylo vyvinuto mnoho různých metod k vrstvení kolmo kladených netkaných textilií. Výstupem těchto metod je harmoniková třídímenzionální struktura, která po termickém pojení vykazuje vysokou míru zotavení po kompresním namáhání [8].

Pro výrobu vlákněných vrstev kolmým kladením byla na Technické univerzitě v Liberci vyvinuta dvě zařízení. U tzv. vibračního kolmého kladeče, na Obr. 11, je shora

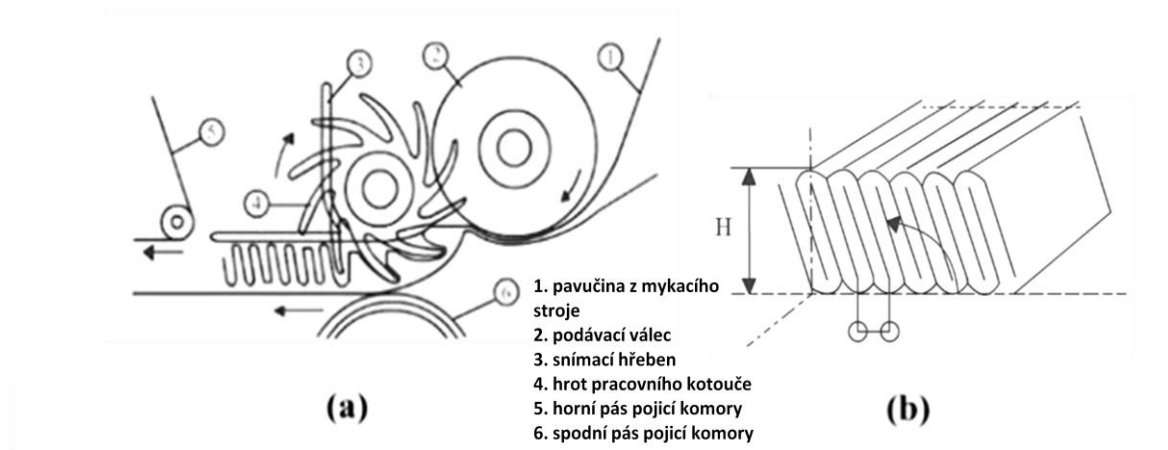


přiváděná pavučina stahována vibrující pilkou k pohybujícímu se dopravníku. Tím se vytvoří sklad pavučiny, který je z hrany pilky sejmuto soustavou hladkých jehel, umístěných na vibrující pěchovací liště. Sejmutý sklad je pěchovací lištou doražen k vlákně vrstvě tvořící se a postupující mezi dopravníkem a drátovým roštem. Dopravník s vláknou vrstvou prochází teplovzdušnou pojicí komorou, kde je vrstva spojena roztažením podílu termoplastických pojivých vláken a jejich přeměnou na pojivo. [4]



Obr. 11: a) Schéma vibračního kolmého kladeče b) Schéma skladů vlákně pavučiny [8].

Druhým zařízením pro kolmé kladení je tzv. rotační kladeč na Obr. 12. Vlákně pavučina je přiváděna k soustavě pracovních kotoučů, jejichž hroty je formována do vlákně vrstvy tvořené kolmými sklady. Sklady jsou snímány z hrotů soustavou drátů roštu, umístěných mezi jednotlivými pracovními kotouči. Následuje zpevnění vrstvy v teplovzdušné pojicí komoře. [4]



Obr. 12: a) Rotační kolmý kladeč pavučiny b) Schéma skladů vlákně pavučiny [8].

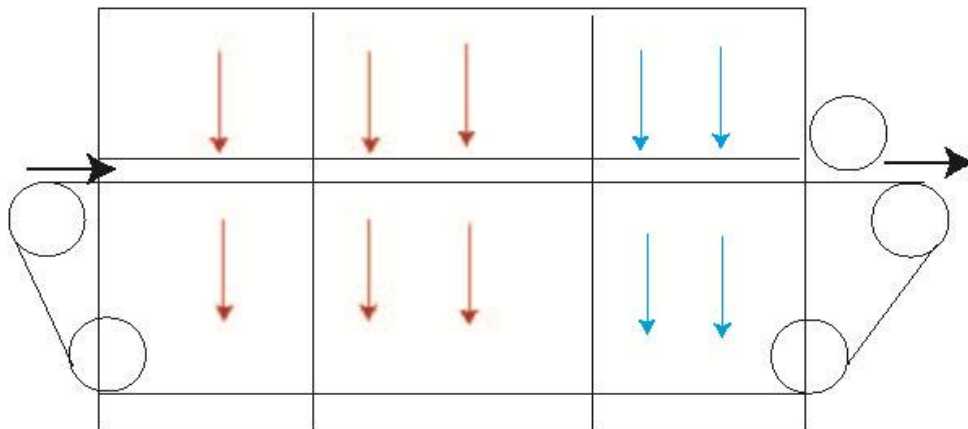
## 2.7. Teplovzdušné pojení

Teplovzdušné pojení je jedním z termických způsobů výroby vlákněných vrstev, a používá se pro zpevňování kolmo kladených textilií. Dalšími termickými způsoby pojení jsou pojení kalandrem, ultrazvuky, infračervený a vysokofrekvenční ohřev.

Při teplovzdušném pojení se nejčastěji zpracovává směšová vlákněná vrstva připravená ze směsi základních a pojivých vláken. Jsou však možné i jiné varianty, např. folie nebo mřížka z termoplastického polymeru vložená mezi dvě vrstvy ze základních vláken.

Podmínkou teplovzdušného pojení je propustnost zpracovávané vlákněné vrstvy pro vzduch. Vlákněná vrstva s pojivem prochází horkovzdušnou pojící komorou s cirkulujícím horkým vzduchem. Horký vzduch, jehož teplota je udržována vhodným ohřevným a regulačním systémem na hodnotě postačující k roztavení pojiva, je pomocí ventilátoru proháněn vlákněnou vrstvou. Teplo je tak velmi rychle transportováno k povrchu všech vláken a k ohřevu vrstvy dojde velmi rychle. Čas potřebný k ohřátí vrstvy na teplotu pojení je při teplovzdušném pojení zhruba 10s.

K pojení kolmo kladených netkaných textilií se používají komory s horizontálním síťovým pásem, viz Obr. 13. Jejich výhodou je rovnoměrnost teplot a proudění vzduchu.



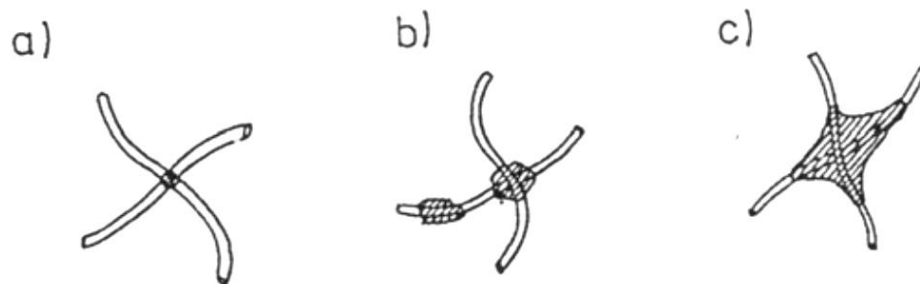
Obr. 13: Teplovzdušná pojící komora s horizontálním síťovým pásem.

Teplovzdušným pojením lze zpevňovat téměř jakákoliv základní vlákna. Omezení je dáno zejména stupněm znečištění povrchu vláken u druhotných vlákněných surovin olejovými látkami, které se v průběhu ohřevu odpařují, znečišťují ovzduší a způsobují výrazné snížení adheze pojiva k povrchu vláken. Po roztavení se pojivo přeskupuje a formuje spoje mezi vlákny v závislosti na [4]

- viskozitě taveniny, která je funkcí teploty, typu a molekulové hmotnosti polymeru
- povrchovém napětí mezi základními vlákny a pojivem

- vzájemném uspořádání vláken ve vrstvě (objemnost, míra předzpevnění, orientace vláken), a s tím spojených kapilárních efektech
- rychlosti proudění ohřevného vzduchu a propustnosti vrstvy, to je mírou mechanického působení vzduchu na vrstvu a tím vyvolanými pohyby vláken.

Typické tvary pojících míst kalandrovaných a teplovzdušně pojených textilií jsou uvedeny na Obr. 14.



Obr. 14: Tvarové spojení vláken při pojení termoplastickými vlákny (aglomerační struktura)  
 Pojení: a) bikomponentními, b) monokomponentními vlákny, c) pojení za tlaku [4].

## 2.8. Suroviny pro netkané textilie

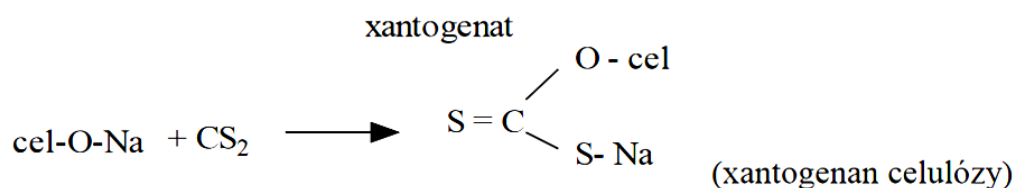
Výrobě netkaných textilií dominují umělá vlákna, která představují více než 90% celkové produkce. Umělá vlákna lze rozdělit do tří skupin a to na vlákna z přírodních polymerů, ze syntetických polymerů a anorganických materiálů. Použití vláknenných materiálů v netkaných textiliích ve světovém měřítku je následující [8] :

- polypropylen 63%
- polyester 23%
- viskóza 8%
- acryl 2%
- polyamid 1,5%
- jiná 3%

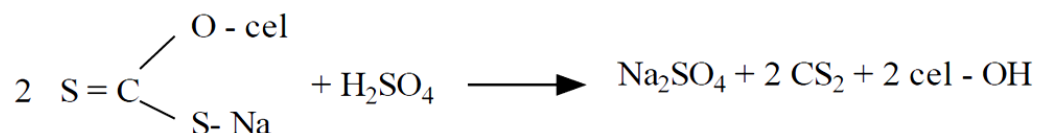
### 2.8.1. Viskózová vlákna

Viskózová vlákna tvoří 80% chemických vláken z přírodních polymerů. Vlákna jsou levná, přičemž jejich základní nevýhodou je neekologický způsob výroby. Vlákna existují v mnoha různých modifikacích, které upravují pevnost, navlhavost a další.

Výroba obnáší nejprve předezení celulózy, při kterém dochází ke zkracování řetězců z PPS 2000 na 300 – 600. Předezení probíhá za působení 17% roztoku NaOH po dobu 1 až 3 hodin při 20°C. Po zrání následuje xantogenace, tedy působení sirouhlíku CS<sub>2</sub> (přechodná esterifikace):



Rozpuštěním xantogenátu v 4% NaOH a naředění na 7 - 8% celulózy vzniká viskózní roztok. Následuje zrání viskózy, při kterém roste podíl viskózní složky, probíhá 50 – 60 hodin při 12 – 20 °C ve vakuu. Po zrání probíhá samotné zvláknění a to do roztoku s obsahem 12% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Nastává koagulace xantogenátu, rozklad na celulózu a sirouhlík:



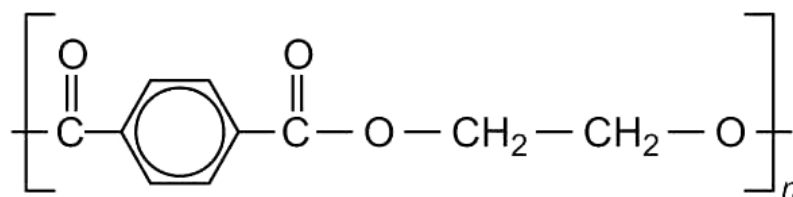
Při procesu zvláknění a koagulace vznikají ve vláknech plyny (CS<sub>2</sub>) které zapříčiňují rozdíly tlaku ve vláknech. Důsledkem podtlaku a přetlaku v průběhu zvláknění je laločnatý průřez vláken [10].

Viskózní vlákna se vyznačují vlastnostmi blízkými bavlně s výjimkou odolnosti vůči alkáliím, která je velice nízká. Jejich pevnost za mokra klesá, špatně odolávají vlhkosti, ohybu a hydrolyze. Měrná hmotnost vláken je 1500 -1520 kg.m<sup>-3</sup> navlhavost 11 – 13 %. Destrukce při tepelném působení začíná při 174 – 190 °C, LOI = 0.197 [10, 4].

### 2.8.2. Polyesterová vlákna

Zaujímají první místo mezi syntetickými vlákny (zhruba 47,5% produkce), tvoří velkou skupinu polymerů, jejichž společným znakem je esterová vazba v hlavním řetězci. Jsou to syntetická vlákna z lineárních polymerů vznikající esterifikací, zejména aromatických dikarbonových kyselin s glykoly.

Výroba polyethyltereftalátu je možná dvěma způsoby a to buď přímou esterifikací kyseliny tereftalové a etylenglykolu či předesterifikací dimethyltereftalátu. Vzniká polymer s následující strukturální jednotkou [10].



Polyetylentereftalátová vlákna mají dobrou schopnost zotavení, dobrou odolnost vůči chemikáliím s výjimkou silných kyselin a zásad. Jsou relativně pevná, mají sklon ke žmolkování. Navlhavost je velice nízká 0,3 – 0, 4%. Měrná hmotnost vláken je 1380 kg.m<sup>-3</sup>. Teplota tání je T<sub>m</sub> = 256 °C, teplota měknutí T<sub>g</sub> = 230 °C, hořlavost LOI=0.206. [10, 4]

## 2.9. Pojiva

Pojivo je jednou ze dvou základních složek spojených textilií. Forma pojiva a jeho vlastnosti předurčují

- technologii a podmínky procesu pojení
- způsob rozmístění pojiva ve vlákně vrstvě a tím i zčásti strukturu textilie
- mechanické vlastnosti a chemickou odolnost výrobku

### 2.9.1. Formy pojiv

Formou pojiva se rozumí jeho fyzikální (roztok, disperze, pevná látka, pěna) či geometrická forma. Pojiva lze rozdělit na [4]:

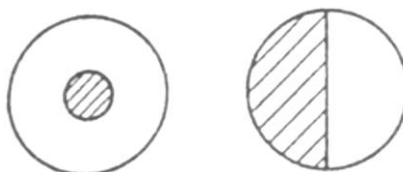
- Roztoky polymerů
  - ve vodě
  - v organických rozpouštědlech
- Vodné disperze polymerů
- Zpěněné vodné disperze polymeru
- Pasty
- Tuhé polymery v podobě
  - prášku
  - vláken
  - nití
  - síťovin
  - folií
  - vrstev z termoplastických vláken (např. vyrobených pod hubicí)

### 2.9.2. Bikomponentní vlákna

Bikomponentní vlákna sestávají z výše tající a níže tající složky. Výše tající složkou je většinou polyester, níže tající kopolyester či polypropylen. Jejich využití v netkaných textiliích je obvyklé v tepelném pojení, kde plní funkci pojiva. Níže tající složka se působením tepla nataví, a vytvoří spoje mezi pojenými vlákny a více tající složkou bikomponentního vlákna. Výhodou jejich použití je vznik bodových pojicích míst a zachování objemnosti, ohebnosti a propustnosti textilie. Kvůli malé kontaktní ploše spojů je kladen důraz na dostatečnou adhezi pojených materiálů, tím je výběr materiálů velice zúžený[4].

Vlákna se vyrábí pomocí speciální hubice v různých podobách. Nejpoužívanějšími typy bikomponentních vláken pro tepelné pojení jsou zobrazeny níže na Obr. 15:

- jádro - plášť a)
- bok po boku b)



Obr. 15: Průřez bikomponentního vlákna typu a) jádro – plášť b) bok po boku [4].

### 2.10. Teorie hoření

Proces hoření je podmíněn existencí tří základních složek, kterými jsou hořlavý materiál, kyslík a dodané teplo. Fáze hoření lze rozdělit na reakce materiálu do zapálení, zapálení a samotné hoření.

Během reakce do zapálení dochází k uvolňování mezimolekulových vazeb (u polymerních materiálů popsaných teplotami  $T_g$ ,  $T_m$ ,  $T_f$ ). Při dalším ohřívání materiál degraduje, dochází k přerušování polymerních řetězců, k pyrolýze, kdy vznikají tuhé, kapalné a plynné složky. Při zapálení se zapalují hořlavé plyny zplodin pyrolýzy. Samotný proces hoření je pak exotermní proces, během kterého dochází k vyvíjení tepelné energie a světelného záření [11].

Vysokou hořlavost mají polymery obsahující větší množství vodíkových atomů (PE, celulóza). Menší hořlavost mají polymery s aromatickými články a ty, co obsahují halogeny (Cl, F). Principem nehořlavých úprav je omezení nebo zastavení některých procesů vedoucích k hoření. Základní jsou:

- zabránění nebo omezení tvorby hořlavých plynů
- omezení rozkladu vláken zvýšením jejich tepelné odolnosti

- generace nehořlavého plynu při rozkladu vláken a tím blokování kontaktu s kyslíkem
- ředění hořlavých plynů pomocí nehořlavých plynů
- podpora odkapávání vláken při tání tak, že je vlákno odděleno od zóny hoření
- snížení dodávky tepelné energie (endotermní rozklad) s využitím nehořlavých materiálů
- vytvoření silné, izolující porézní (uhlíkové) vrstvy na povrchu vláken (intumescence).

K tepelnému rozkladu dochází vlivem radikálové reakce, která probíhá paralelně s oxidací. Nejdříve se tvoří peroxidické skupiny, z nichž se uvolňuje volný radikál kyslíku. Následně dochází k řetězové reakci, kdy postupně praskají C-C vazby a tvoří se hořlavý plyn. [10]

## 2.11. LOI

Limitní kyslíkové číslo, neboli Limiting Oxygen Index, je veličina sloužící k vyjádření hořlavosti materiálů. LOI vyjadřuje kritickou procentuální koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem, při které ještě materiál hoří. Výpočet je znázorněn v následující rovnici [11], kde  $O_2$  je koncentrace kyslíku a  $N_2$  koncentrace dusíku [10]

$$LK\check{C} = \frac{[O_2]}{[N_2]+[O_2]} \cdot 100 [\%] \quad . \quad (4)$$

Vlákna, která jsou označována za nehořlavá, mají hodnotu LOI=26 a výše. Pro ilustraci jsou v následující tabulce 1 uvedeny hodnoty LOI vybraných vláken [10].

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

Tab. 1: Přehled hodnot LOI pro různá vlákna [10].

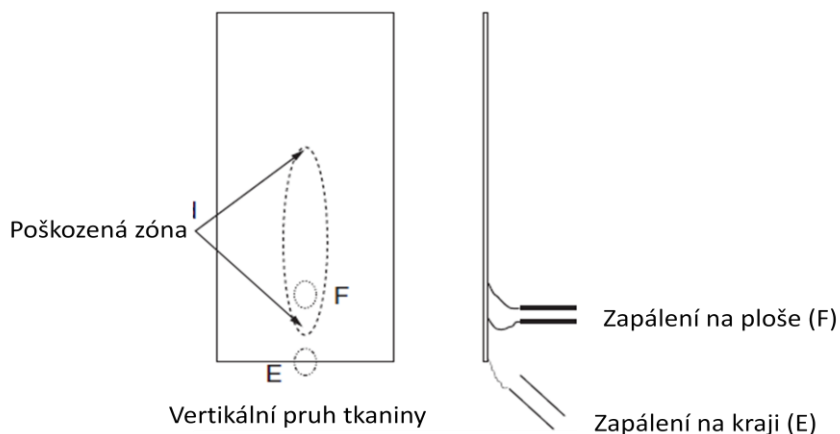
## 2.12. Standardní testovací metody hoření textilních materiálů

Testovací metody by měly být ideálně navrženy tak, aby parametry hořlavosti jako čas do zapálení, rychlost šíření plamene, čas vyhasnutí, atd., mohly být získány reprodukovatelným a opakovatelným způsobem. Principy hořlavosti, na kterých jsou založeny standardní testovací metody, by měly být přímočaré a snadno přeměnitelné na prakticky jednoduché a prosté testy.

Některé z hlavních metodik testů budou popsány níže spolu s názornými příklady testovacích metod [12].

### 2.12.1. Jednoduchý test zapálení

Ve standardních testovacích metodách je zapálení textilie měřeno ve smyslu minimálního času zapálení, tj. jak dlouho musí být aplikován plamen, aby bylo docíleno zapálení vzorku. Při jednoduchém testu zapálení je vertikálně upevněný textilní vzorek vystaven plameni normovaného plynového kahanu. Jak je znázorněno na Obr. 16, plamen je aplikován na plochu vzorku či na jeho spodní okraj. Zapálení je monitorováno vizuálním pozorováním při čemž je zaznamenáván čas potřebný k zapálení vzorku.



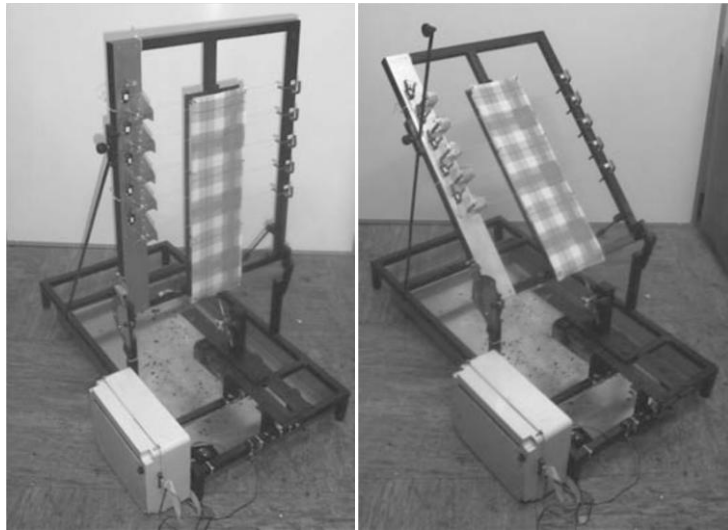
Obr. 16: Schema jednoduchého testu zapálení vertikálně orientovaného vzorku [12].

### 2.12.2. Test šíření plamene

Test šíření plamene lze rozdělit na dvě metody a to na vertikální a horizontální. Zařízení pro vertikální test je zobrazeno na Obr. 17. Rám držící textílii lze sklonit pod požadovaným úhlem tak, aby simuloval sklon textilie v dané aplikaci. Vzestupné šíření plamene je mnohem rychlejší, nežli šíření plamene ze shora dolů či horizontálně. Proto je verti-



kální test hoření obecně přijímán za lepší způsob měření pro textilie náchylné na vznik požáru [12].



*Obr. 17: Vertikální test šíření plamene [12].*

Textilní materiály se chovají odlišně v závislosti na jejich orientaci, složení a struktuře. Horizontální test šíření plamene je vhodný pro aplikace tam, kde bude textilní materiál použitý v podlahách, stropích, či jiných méně nebezpečných horizontálních aplikacích.

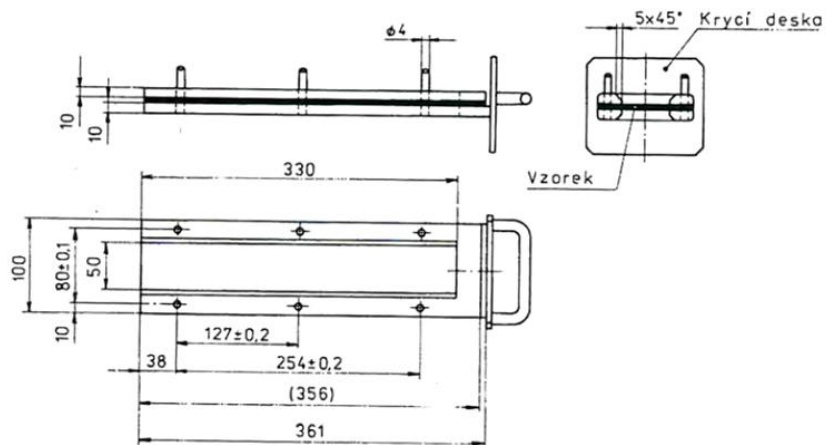
Vzorek uchycený ve vodorovné poloze v držáku ve tvaru U, je vystaven účinku definovaného nízkoenergetického plamene. Plamen působí na volném konci vzorku. Zkouška určuje, zda a kdy plamen zhasne, nebo dobu za kterou plamen urazil měřenou vzdálenost. Tento test je používán v mnoha normách pro určení rychlosti horizontálního šíření plamene v kabinách silničních vozidel, například v US normách FMVSS 302 či ISO 3795:1989[12].

S ohledem k použití této testovací metody v experimentu, budou v následující části popsány jednotlivé parametry testu včetně normy.

#### **2.12.2.1. Norma ISO 3795:1989**

Spalovací komora [13] na Obr. 18, stojí na čtyřech patkách o výšce 10 mm. Přední stěna komory slouží jako pozorovací okénko, které může zaujímat celou přední stěnu, a může sloužit jako přístupový panel. Okénko je vyrobeno z ohnivzdorného materiálu. Ve dně komory a po celém obvodu její horní části se nachází větrací otvory.





Obr. 20: Příklad držáku vzorku [13].

Zdroj zážehu tvoří hořák s vnitřním průměrem  $9,5 \pm 0,5$  mm. Ve zkušební komoře je umístěn tak, aby střed jeho trysky byl 19 mm pod středem spodního okraje volného konce vzorku. Zkušební plyn, kterým je hořák napájen, by měl mít výhřevnost přibližně  $38 \text{ MJ/m}^3$  (např. zemní plyn).

Spalovací komora může být umístěna v digestoři za předpokladu, že vnitřní objem digestoře je alespoň 20krát, avšak nejvýše 110krát větší než objem spalovací komory, a za předpokladu, že žádný z rozměrů digestoře (výška, šířka ani délka) není větší než 2,5násobek některého ze zbývajících dvou rozměrů. Před zkouškou se změří rychlost vzduchu v digestoři ve svislém směru, a to 100 mm před a za konečným umístěním spalovací komory. Musí být mezi 0,10 a 0,30 m/s, aby obsluha nebyla ohrožována spaliny. Je možné použít digestoř s přirozeným větráním a vhodnou rychlostí vzduchu.

Tloušťka vzorku nesmí přesahovat 13 mm a průřez by měl být po celé délce vzorku stejný. Tloušťka vzorku by měla odpovídat tloušťce zkoušeného výrobku.

#### 2.12.2.2. VW TL 1010

Norma koncernu Volkswagen pro materiály vnitřního vybavení úzce navazuje a vychází právě z horizontálního testu hoření ve spalovací komoře, která je uvedena v kapitole 2.12.2.1. Norma se zabývá charakteristikou hoření jednotlivých i kompozitních materiálů, jejichž povrch je ve styku se vzduchem prostoru pro cestující vozidla. Týká se všech materiálů typu čalounění, opěrek, všech typů obložení, bezpečnostních pásů, polštářů sedadel, atd. Norma pracuje s výslednými daty horizontálního testu hoření a jejím účelem je zařadit jednotlivé výsledky do níže uvedených kategorií v tabulce 2 [14].

Rychlost hoření (Burning Rate) BR [mm/min] lze vyjádřit rovnicí

$$BR \left[ \frac{mm}{min} \right] = 60 \times \frac{D[mm]}{T[s]}, \quad (5)$$

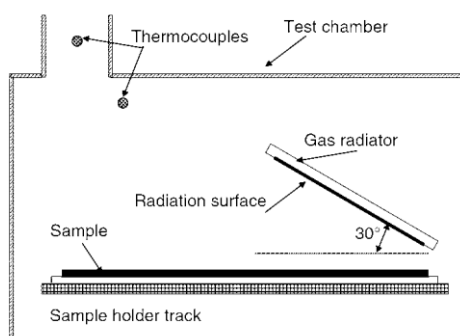
kde D [mm] je spálená délka a T [s] čas, za který plamen spálenou délku urazil.

charakteristika hoření	kategorie	údaj v protokolu
hořící po celé délce měření BR < 100	<b>1.</b>	Např. BR...[mm/min]
samozhášivé zkušební vzorky	<b>2.</b>	
trasa hoření > 50 mm, BR < 100	<b>2.1.</b>	Např. SE/BR...[mm/min]
trasa hoření <= 50 mm, doba hoření < 60 s	<b>2.2.</b>	

Tab. 2: Tabulka kategorií charakteristik hoření; BR: rychlost hoření (burning rate); NBR: samozhášivé až k 1. měrné značce (no burning rate); SE: samozhášivé (self extinguishing[14]).

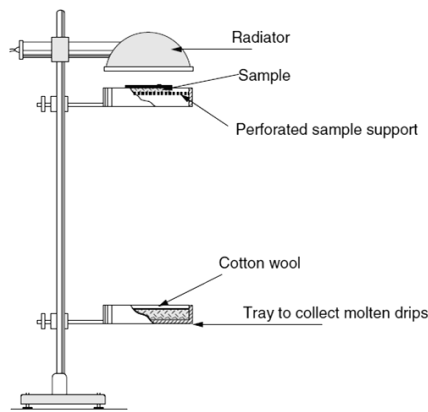
### 2.12.3. Test šíření plamene pod externím tepelným tokem

Tento test je nezbytný v případě, kde bude textilní materiál pravděpodobně vystaven tepelnému záření, například v podlahových krytinách budov či dopravních prostředků, jejichž povrch je zahříván plameny, plyny či obojím. Pro simulaci takového prostředí zahrnuje test horizontálně orientovaný testovaný vzorek, který je umístěn pod úhlem k sálavému zdroji tepla, viz Obr. 21. Vzorek je vystaven sálavému teplu vzduchem či plynem vytápěnému panelu. Textilní vzorek je typicky instalován k čelní stěně panelu pod úhlem 30°.



Obr. 21: Schema zařízení pro test šíření plamene pod externím tepelným tokem [12].

Tato testovací metoda je běžně požadovaným standardem např. u testování obkladů stěn v budovách či železničních vozech, kde může být textilní materiál instalován ve vertikální poloze. V případě, že se materiál pod působením tepla smrští, lze ho dále testovat na test odkapávání za působení zářivého tepelného toku zobrazeném na Obr. 22.

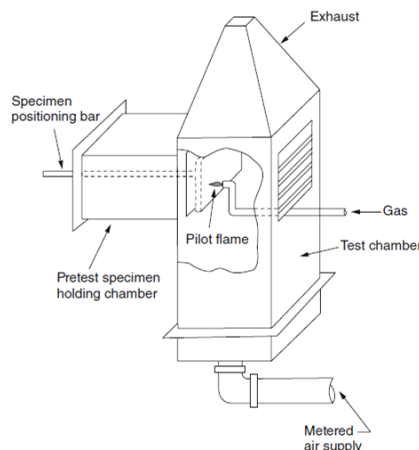


Obr. 22: Schéma zařízení kapkového testu s radiant panelem [12].

#### 2.12.4. Testy uvolňování tepla

Při posuzování materiálů pro využití v budovách a transportu je test rychlosti uvolňování tepla jeden z nejdůležitějších parametrů charakterizujících nebezpečí nechtěných požárů. Tento test je důležitým indikátorem např.: rychlosti šíření plamene, velikosti plamene, poranění kůže popálením či efektivity retardačních úprav materiálu.

Požární kalorimetry pro stanovení rychlosti uvolňování tepla pracují na různých principech. Zahrnují analýzu produktů spalování jako oxidu uhličitého nebo míru vyčerpaného kyslíku. Jeden z testů je zobrazen níže na Obr. 23. Testovaný vzorek je vystaven tepelnému záření  $35\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$  topného tělesa a zároveň je na jeho spodní konec aplikován plamen. Pomocí termočlánků je měřen vzestup teploty, zplodiny a rychlost uvolňování tepla [14].



Obr. 23: Schéma OSU kalorimetru [14].

K dalším spalovacím zkouškám patří například figurínové testy, full-product testy či testy kompozitů dále pak cigaretový, tabletový či zápalkový test.

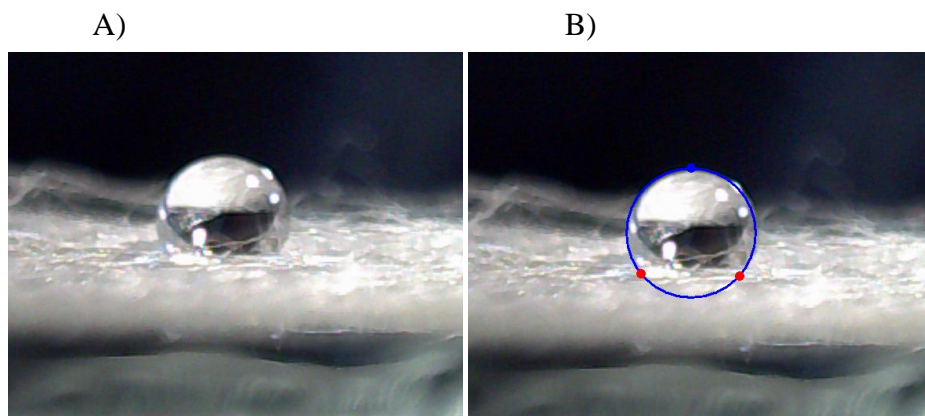
### 3. Experiment

#### 3.1. Úhel smáčení

Předpoklad k měření úhlu smáčení je takový, že nejvhodnější vodní sklo pro nehořlavou úpravu objemné netkané textilie bude tekutina s co možná nejnižším povrchovým napětím respektive úhlem smáčení. Tekutina s nízkým povrchovým napětím smočí vlákna po celém povrchu a vytvoří na nich ochranný film. Stejně tak pronikne lépe do objemné struktury kolmo kladené textilie, kde pomůže k transportu jednosměrné uspořádání vláken.

K dispozici bylo 7 typů vodního skla a to Na 52-55; Bi 1430; Li 7,4/7,7; Li 2,6; LiNa; K 3,8-4,1; K 1,7. K zúžení výběru pro další testování byla použita zkouška úhlu smáčení.

Jednotlivé vzorky vodního skla byly podrobeny nejdříve testu úhlu smáčení na sklíčku ve 100% koncentraci. S ohledem na následující použití pro nástřik na NT byl test zopakován ve dvou nižších koncentracích a to 50/50 vodní sklo/voda a 10/90 vodní sklo/voda. Pro ilustraci je níže přiložen obrázek 24 demonstrující průběh samotného měření.



Obr. 24: Vodní sklo s největším naměřeným úhlem smáčení: Na 52 - 55 na viskóznou NT v 100% c. Obrázek A) kapka před vytyčením 3 bodů pro výpočet úhlu smáčení B) kapka s vypočítaným úhlem smáčení (v pravém spodním rohu).

Pro přesnější představu chování vodního skla na textilním materiálu byly zkoušky zopakovány na 100% viskóznou netkanou textilii, viz Obr. 24, opět ve třech výše uvedených koncentracích.

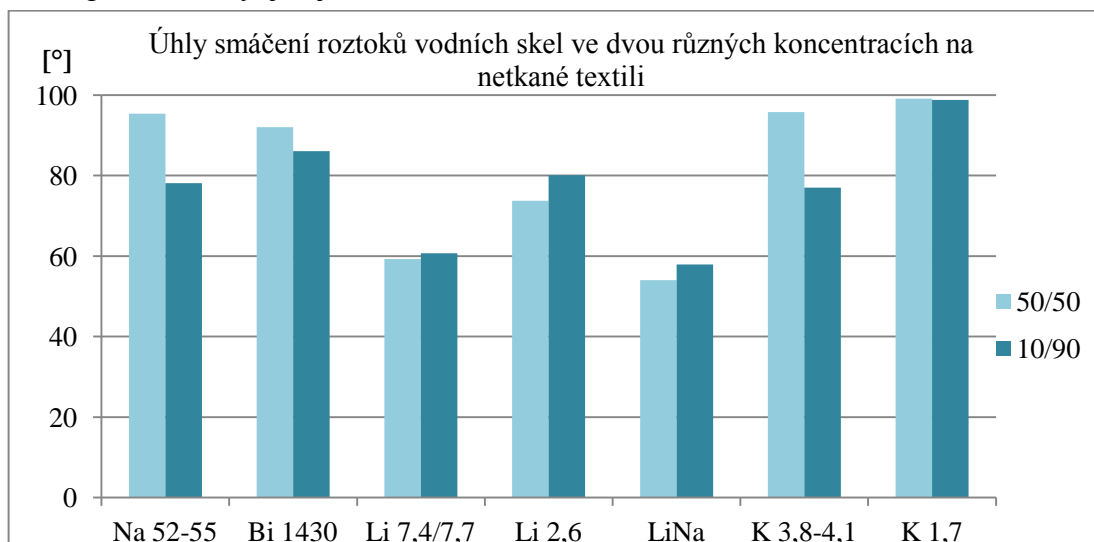
Jako další faktor, který byl pro následné vytipování vhodného vodního skla podstatný, byl čas od ulpění kapky po úplné vsáknutí do netkané textilie, viz Tab. 3.

úhel smáčení [°]								
	koncentrace 100%		koncentrace 50 voda /50 vod. Sklo			koncentrace 10/90		
název skla	sklíčko	NT 100% VS	sklíčko	NT 100% VS	čas [s]*	sklíčko	NT 100% VS	čas [s]*
NaVb 52-55	41,7	130,4	27,4	95,4	3	5,5	78,1	3
BiVb 1430	28,8	–	10,6	92	1,5	5,4	86,1	3,5
LiVb 7,4/7,7	17,7	–	22,1	59,3	1	4,9	60,7	2
LiVb 2,6	15,5	–	21,7	73,7	1	5,3	80,1	2
LiNaVb	23	–	19,1	54	1,5	18,8	57,9	1,5
KVb 3,8-4,1	44,2	65,5	25,6	95,8	2	10,8	77	1,5
KVb 1,7	46	–	25,8	99,1	13,5	16	98,8	2

\* čas od kápnutí po vsáknutí kapky do netkané textilie

Tab. 3: Úhly smáčení vodních skel ve třech koncentracích na sklíčko a NT. U dvou nižších koncentrací jsou uvedeny časy vsáknutí kapky do NT.

Výsledky testů úhlu smáčení na sklíčko a na netkané textilii se výrazně lišily. Vodní sklo s nejnižším úhlem smáčení na sklíčko ve 100% koncentraci bylo Li 2,6 a sklo Li 7,4/7,7. Vzhledem k následnému použití vodního skla jako nástřiku na netkanou textilii, byla za nejvýznamnější kategorii testu úhlu smáčení zvolena zkouška na netkané textilii a to v koncentracích 50% a 10%. Nejnižší úhel smáčení vykazovaly v obou koncentracích vzorky skel Li 7,4/7,7 a LiNa. Naměřené hodnoty se v obou případech příliš nelišily, jak je vidět na obrázku 25.



Obr. 25: Úhel smáčení vodních skel v 50% a 10% koncentraci na netkané textilii. Nejnižších úhlů smáčení dosahovalo sklo LiNa. Jeden sloupec grafu znázorňuje jedno pozorování.

### 3.1.1. Úprava povrchového napětí

Během testu úhlu smáčení byla všechna vodní skla podrobena dalšímu experimentu, jehož cílem bylo snížit povrchové napětí [4]. Opět z důvodu rovnoměrnějšího rozmístění vodního skla ve struktuře netkané textilie.

Všech 7 typů vodních skel bylo míseno s povrchově aktivní látkou Slovasol 258/9. Výsledek nebyl uspokojivý. Ve všech vzorcích se objevily sraženiny, v některých případech došlo naopak k vysokému nárůstu viskozity. Z těchto důvodů se dále pokračovalo jen s vodným roztokem vodního skla bez dalších příměsí.

### 3.2. Výběr vodních skel

Následujícím krokem po naměření úhlu smáčení, bylo zvolit vhodné typy vodního skla pro další práci. Test úhlu smáčení umožnil zúžit původní výběr 7 typů vodních skel na 3. Cílem testu bylo vybrat skla, jejichž hodnoty úhlu smáčení budou velice nízké, a proto vytvoří na vláknech požadovaný ochranný film, nikoliv kapky. V následujících zkouškách nehořlavosti bylo možné pozorovat závislost retardačních účinků hoření na povrchovém napětí jednotlivých vodních skel.

Jak je vidět v tabulce 3, nejnižší hodnoty byly naměřeny u skla LiNa. Druhé nejnižší hodnoty byly naměřeny u skla Li 7,4/7,7. Třetím sklem s uspokojivými hodnotami úhlu smáčení bylo vodní sklo LiVb 2,6.

### 3.3. Předběžná zkouška hořlavosti

Předběžná zkouška hořlavosti napomohla k dalšímu zúžení škály vodních skel ze 3 typů na 2. Při počtu vzorků a dvou různých koncentrací by bylo nutné použít pro 3 typy vodního skla velké množství materiálu. Proto byla provedena předběžná spalovací zkouška.

Vodní sklo bylo naneseno na textilní vzorek z vysoce hořlavého materiálu v množství 4, 10 a 25 nástřiků z každé strany v 1% koncentraci a následně v koncentraci 10%. Vzorky byly průběžně sušeny v sušičce při 100°C. Po nástřiku vodním sklem a zasušení, byly vzorky postupně přikládány k plamenu plynového kahanu. Sklo LiNa se ukázalo jako nejúčinnější retardant hoření. Vzorky nastříkané sklem LiNa 10 a 25 nástřiky hořely nejméně. Po chvíli hoření nastal samozhášivý efekt.

Během předběžné spalovací zkoušky se ukázalo, že vodní sklo Li 7,4/7,7 nepůsobí jako retardant hoření příliš efektivně. I při vyšších koncentracích skla v roztoku textilní vzorek stále hořel, na rozdíl od čistého vzorku ale neodkapával a plamen byl o poznání menší.



I přes velice dobré výsledky úhlu smáčení skla Li 7,4/7,7 byl nakonec jako druhý typ vodního skla zvolen Li 2,6, tedy lithné vodní sklo s nižším křemičitým modulem. Při spalovací zkoušce vykazovalo sklo Li 2,6 velice podobné vlastnosti, stejně jako sklo LiNa.

Co se týče omakových vlastností, povrch vzorků s nástřikem 10% vodního skla byl výrazně hrubší, nežli povrch čistého vzorku. 1% sklo naopak omak a mechanické vlastnosti příliš nezměnilo a vzorky takto nástřikované byly téměř k nerozeznání od neošetřené textilie.

Vzorky s 25 nástřiky z každé strany byly příliš tuhé v ohybu, ale téměř nehořely. Naproti tomu vzorky se 4 nástřiky hořely všechny. Pro finální vzorky byl zvolen počet nástřiků na stranu 15. Při tomto počtu nástřiků zůstaly zachovány textilní vlastnosti vzorku a retardační účinky vodních skel byly pozorovatelné.

### 3.4. Výroba netkané textilie I

Jako hlavní složka směsi pro výrobu netkané textilie byla zvolena viskóza. A to z důvodu vysoké hořlavosti, díky které lze demonstrovat funkčnost vodního skla jako retardantu hoření.

Pro první zkoušku hořlavosti byly vyrobeny dvě gramáže pohybující se zhruba kolem 410 a 600 g.m<sup>-2</sup>. Dvě gramáže netkané textilie byly zvoleny tak, aby bylo možné pozorovat změnu v hoření ovlivněnou nejen vodním sklem, ale i hustotou struktury, tedy objemem vzduchu v netkané textilii. Základní směs materiálu se skládá z viskózových a polyesterových bikomponentních vláken v poměru 70/30. Viskózová vlákna byla zvolena kvůli vysoké hořlavosti. Polyesterová bikomponentní vlákna zajišťují ve struktuře pojivovou složku. Vláknenný materiál byl nejprve navážen a ve správném poměru dávkován do mykacího stroje. Mykacím cyklem prošel materiál třikrát, aby došlo k dostatečnému ojednocení vláken a k homogenizaci směsi.

Výroba kolmo kladené netkané textilie tedy zahrnovala výrobu mykaného rouna, které vystupovalo z mykacího stroje rychlostí 7 m.min<sup>-1</sup>. Takto bylo přiváděno k podávacímu ústrojí kolmého vibračního kladeče. Frekvence pýchovací pilky byla pro obě gramáže stejná (5Hz). Jedinou proměnnou byla v případě změny gramáže rychlost pásu teplovzdušné pojící komory. Pro gramáž 410 g.m<sup>-2</sup> byla odvodová rychlost 0,22 m.min<sup>-1</sup>, pro 600 g.m<sup>-2</sup> zhruba 0,15 m.min<sup>-1</sup>. Teplota v pojící komoře dosahovala 140°C.

Výsledkem výše uvedeného postupu byla objemná netkaná textilie s kolmým uspořádáním vláken. Tloušťka netkané textilie byla zhruba 25 mm, plošná hmotnost 410 g.m<sup>-2</sup> a 600 g.m<sup>-2</sup>.

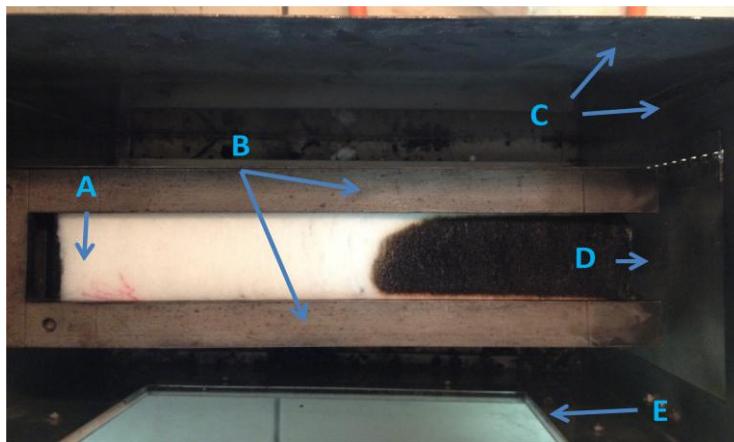
### 3.5. Příprava vzorků I

Z netkané textilie byly zhotoveny vzorky o velikosti 10x30cm. Velikost vzorků byla zvolena dle následného použití horizontálního testu hoření ve spalovací komoře [13]. Na jednotlivé vzorky bylo nanášeno postříkem vodní sklo v příslušné koncentraci. Po nánosu vodního skla na jednu stranu vzorku následovalo sušení v sušičce při cca 100°C, poté se celý postup opakoval na druhé straně vzorku. Průměrné množství vodního skla na jednom vzorku v kapalném skupenství činilo zhruba 10,5 g a odpovídalo 15 nástřikům z jedné strany, tedy 30 nástřiků na vzorek. V přepočtu na  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  činí množství vodního skla před vyschnutím zhruba  $350 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Vzorky byly rozděleny do kategorií dle použitého typu vodního skla, plošné hmotnosti netkané textilie a koncentraci vodního skla, viz tabulky 5 a 6. Pro skupinu jednoho vodního skla vznikly čtyři kategorie vzorků.

### 3.6. Zkouška hoření I

Zkoušce hoření předcházela rešerše možných způsobů spalovacích testů. Bylo nutné najít způsob spalování objemných textilií, při kterém bude znatelný postup šíření plamene a rozeznatelná doba zapálení vzorku. V případě iniciace zapálení na ploše textilie byl vzorek značně znečištěn kouřem a bylo proto těžké určit rozsah prohoření i přesný čas počátku hoření. Nejvhodnější a zároveň nejdostupnější metodou testu hořlavosti bylo použít horizontální test hoření ve spalovací komoře, viz Obr. 26, dle normy ISO 3795:1989 [13]. Tento test je normovaný, nicméně výsledky níže uvedených zkoušek hořlavosti nelze použít jako normovaná data. Textilní vzorky totiž nesplňovaly jeden parametr normy a to výšku vzorku, která byla větší, než 13mm. K demonstraci záměrů této práce jsou ale výsledky dostačující a ve všech dalších ohledech byly normované postupy zkoušky dodrženy.



Obr. 26: Pohled na otevřenou spalovací komoru shora s upevněným textilním vzorkem. A – textilní vzorek; B – držák vzorku; C – stěny komory; D – plynový hořák; E - okénko

Po iniciaci plamenem plynového kahanu většina vzorků začala hořet. Referenční vzorek bez nánosu vodního skla o plošné hmotnosti  $410\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  hořel 1:10 min., vzorek  $600\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  hořel 1:03 min.

Některé ze vzorků prohořely po stranách upevňovací lišty a vzplanuly i na druhém konci. Následně hořely z obou stran z vnějších okrajů ke středu, nebo začaly hořet z jedné strany, na které následně samovolně zhasly, z druhého konce ale prohořely celé. Z tohoto důvodu byla pro měření definována kratší vzdálenost, nikoliv od rysky k rysce definovaných přímo na liště, ale od rysky ke středu mezi ryskami, tzn. 127 mm.

Všechny vzorky s nástřikem 1% roztoku vodního skla, hořely od rysky k rysce, tedy žádný z těchto vzorků nezhasnul samovolně. Naproti tomu vzorky s nástřikem 10% roztoku hořely pomaleji a 13 z 20 (65%) vzorků buď zhaslo samovolně, nebo nezačalo hořet vůbec, viz Tab. 4 a 5.

### **3.7. Výroba netkané textilie II**

Kvůli spotřebě netkané textilie v předchozí části experimentu bylo nutné vyrobit další textilní vzorky kolmo kladené netkané textilie. Složení i výrobní rychlosti zůstaly nezměněné. Výsledky zkoušky hoření I ukázaly, že textilie s plošnou hmotností  $600\text{g}/\text{m}^2$  má nejdelší časy hoření. Proto se pro další testování vyrobil materiál jen o jedné plošné hmotnosti, a to právě  $600\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Cílem následujících testů bylo zjistit, zda má na hořlavost vzorků vliv předchozí mechanické namáhání. Další plošná hmotnost vzorků by tedy byla proměnnou navíc.

### **3.8. Příprava vzorků II**

Textilní vzorky II se nelišily od vzorků I. STRUTO bylo v tomto případě vyrobeno jen v plošné hmotnosti  $600\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Množství vodního skla na vzorku bylo opět zhruba 10,5 g v kapalné formě.

Vodní sklo bylo v tomto případě použito pouze v koncentraci 10%. Počet vzorků činil celkem 10 kusů, tentokrát pouze ve dvou skupinách podle dvou typů vodního skla. Postup nánosu vodního skla byl stejný jako v případě vzorků I.

### **3.9. Mechanické namáhání**

Mechanické namáhání mělo v tomto případě simulovat manipulaci s již upravenou netkanou textilií (například rolování rouna do stůček, jejich obalování, převoz či pří-

padnou instalaci). Vzorky byly proto vystaveny jen krátkodobému mechanickému namáhání, které zajistil vpichovací stroj bez jehelní desky.

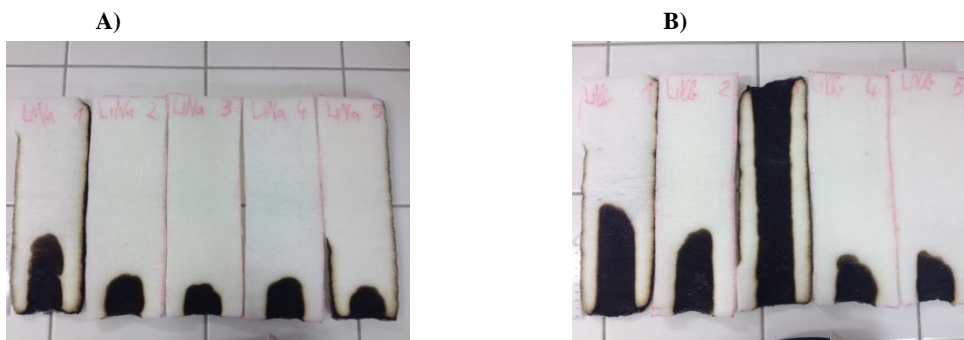
Vzorky byly postupně upevněny do vpichovacího stroje, který je stlačoval na 40% původní tloušťky, tedy ze 2,5 cm na 1 cm. Vzorek byl vystaven namáhání 200 zdvihů v minutě po dobu 10 minut. Každý vzorek tedy prošel cyklem namáhání 2000 zdvihů.

Váhový úbytek po mechanickém namáhání nebyl znatelný. Textilie byla ale na omak měkčí a ohebnější.

### 3.10. Zkouška hoření II

Zkouška probíhala totožným způsobem, jako zkouška I s použitím horizontální spalovací komory.

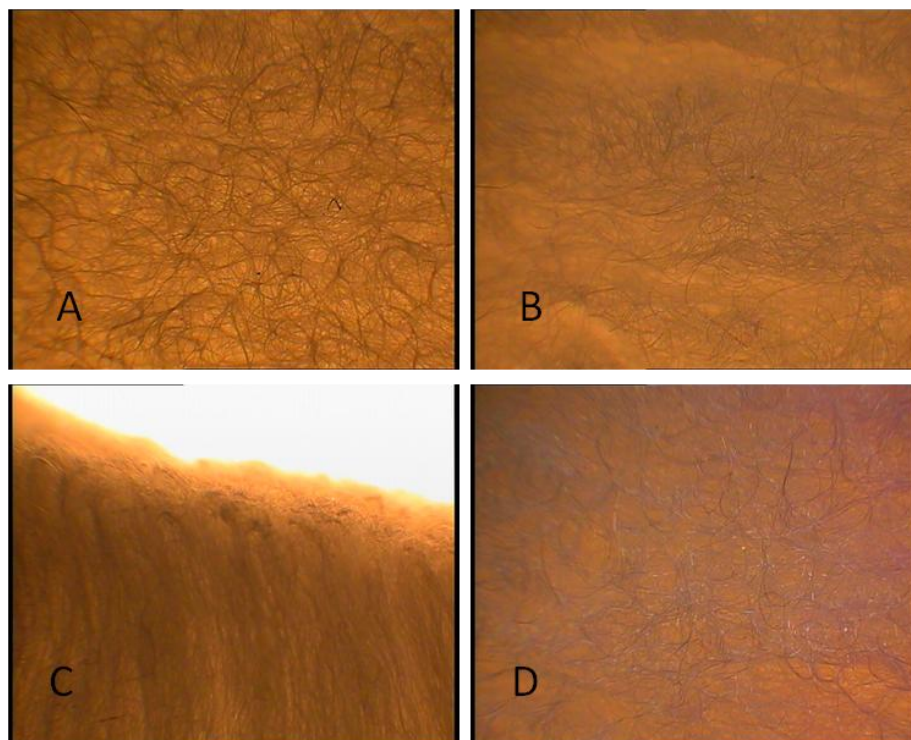
Vzorky II hořely pomaleji než vzorky I, které nebyly vystaveny před zkouškou hořlavosti mechanickému namáhání. 9 vzorků z 10 zhaslo samo a to ještě před prohořením do poloviny vzorku. Jediný vzorek prohořel po okrajích a následně z obou stran.



Obr.č.27: Vzorky s nástřikem 10% vodního skla mechanicky namáhané stlačením, po zkoušce hoření: A) vodní sklo LiNa; B) vodní sklo Li<sub>2,6</sub>.

### 3.11. Obrazová analýza

Všechny typy vzorků byly vloženy pod makroskop. Ve struktuře a na povrchu vláken u vzorků s nástřikem vodního skla nebyly znatelné žádné kapky či silnější místa, které by indikovaly shluky vodního skla. U vzorků s nánosem roztoku vodního skla bylo možné pozorovat shluky vláken na povrchu struktury, které byly způsobeny slepením vláken po nanesení roztoku a jeho zasušení. Vodní sklo v této poloze vlákna zafixovalo.



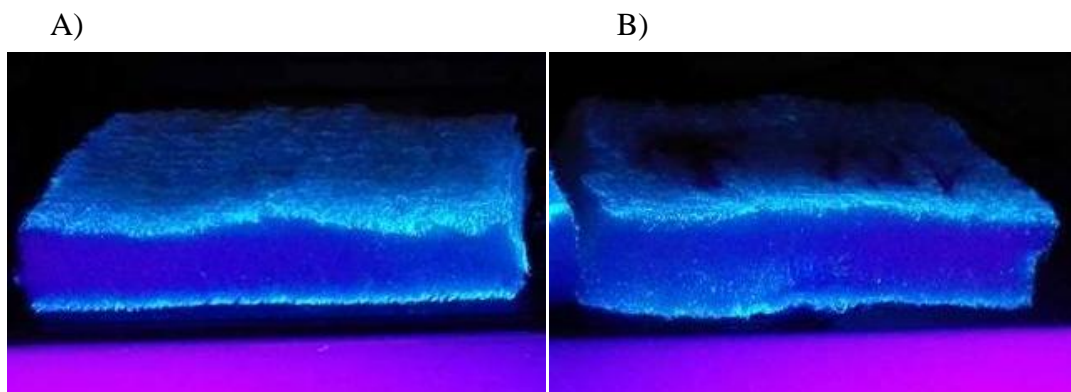
*Obr. 28: Snímky z makroskopu; A – vzorek po mech. namáhání s 10% LiNa B – referenční vzorek bez vodního skla C – příčný řez referenčním vzorkem D – vzorek s 1% sklem Li<sub>2,6</sub> bez mechanického namáhání*

Ze snímků na makroskopu na Obr. 28, nebylo možné určit rozmístění vodního skla ve struktuře netkané textilie a na jednotlivých vláknech. Proto byl zvolen následující experiment s opticky zjasňujícím prostředkem (OZP), který měl pod UV lampou zvýraznit již zasušené vodní sklo na vláknech.

### **3.12. Opticky zjasňující prostředek ve vodním skle**

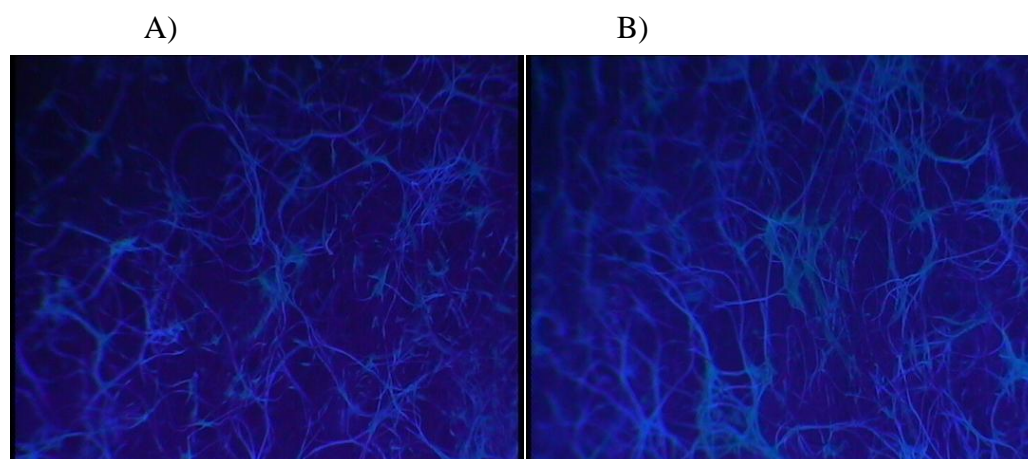
Do 10% roztoku vodního skla LiNa byly přidány 4 g.l<sup>-1</sup> opticky zjasňujícího prostředku Rylux PRS 50%. Následoval nástřik na dva vzorky a následně zasušení standardním postupem v sušičce na 100°C. Jeden vzorek byl pak mechanicky namáhán 2000 zdvihy ve vpichovacím stroji bez jehelní desky, opět stejným postupem, jako u vzorků II.

Takto připravené vzorky byly vloženy pod makroskop, kde byly pozorovány pod různými úhly za nasvícení UV lampou, viz Obr. 29 a 30.



*Obr. 29: Pohled na příčný řez vzorky A) bez mechanického namáhání a B) po mechanickém namáhání.*

Obrazová analýza potvrdila předpoklad, že vodní sklo je rozvrstveno na vláknech v podobě filmu, nikoliv kapek. Mezi mechanicky namáhaným a nenamáhaným vzorkem nebyl znatelný rozdíl jak v průřezu, tak v podélném pohledu, viz Obr. 30. Díky nasvícení příčného řezu UV lampou bylo možné pozorovat, do jaké míry proniklo vodní sklo do objemu textilie. Ze snímků na obrázku 30 je patrné, že roztok zůstal pouze na povrch NT. Do objemu v průřezu textilie se vodní sklo dostalo zhruba do 3 mm.



*Obr. 30: Netkaná textilie s nástřikem 10% vodního skla s příměsí OZP pod makroskopem – pohled shora. Vzorek A) mechanicky nenamáhaný, vzorek B) po mechanické namáhání*

*2000 cyklů stlačení na 40% tloušťky.*

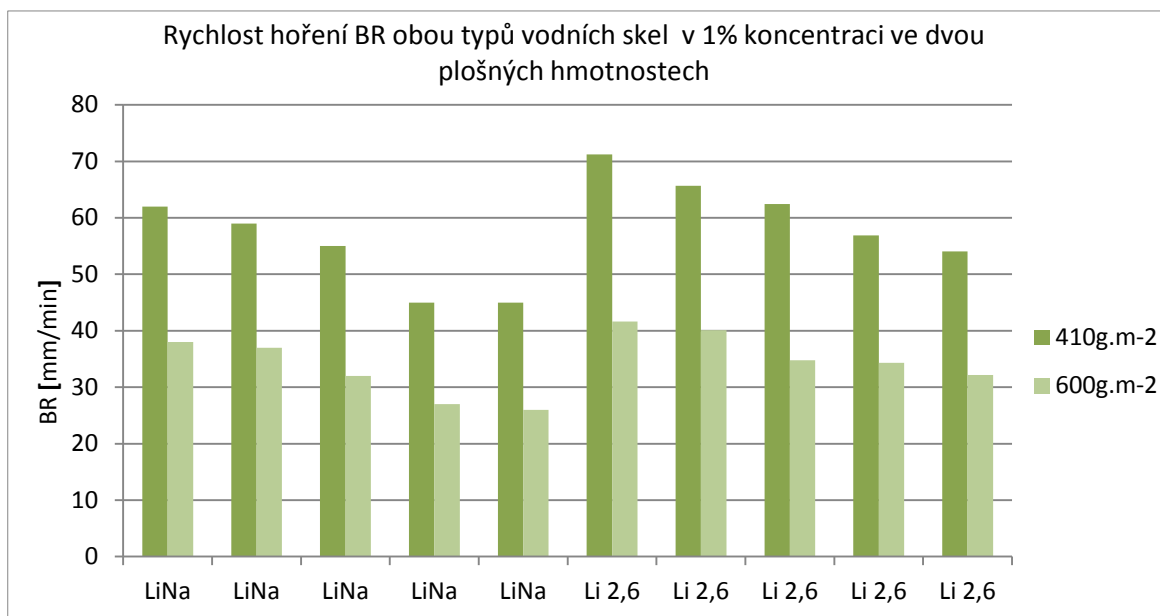
### 3.13. Výsledky

#### 3.13.1. Výsledky testu hoření I

Výsledky testu hoření vzorků s nástřikem 1% roztoků vodních skel ukázaly, že žádný ze zkoušených vzorků nespadá do kategorie zamozhášivý či nehořlavý. Všech 20 vzorků prohořelo celou měřenou vzdálenost. Nicméně znatelný rozdíl mezi retardačními účinky hoření dvou typů vodních skel existuje. Z tab. 4 vyplývá, že vzorky s nástřikem 1% vodního skla LiNa, hořely pomaleji, resp. hodnoty rychlosti hoření BR jsou nižší, než u vzorků s nástřikem vodního skla Li 2,6. Pro ilustraci jsou tyto výsledky vykresleny na obrázku 31. Referenční vzorek bez úpravy vodním sklem vážící  $410\text{g.m}^{-2}$  hořel 70 s, a vzorek vážící  $600\text{g.m}^{-2}$  hořel 63 s. V obou případech byla hodnota BR větší než  $100\text{mm.min}^{-1}$ . Po aplikování t-testu na porovnání hodnot BR skla LiNa a Li 2,6 se ukázalo, že statistický rozdíl ve výsledcích testu na hladině  $\alpha=0,05$  není významný. Hodnoty směrodatných odchylek dvou výběrů byly 12,2 pro LiNa a 13,7 pro Li 2,6. Hodnota studentova dvouvýběrového t-testu je 0,29. Lze ale předpokládat, že při větším objemu dat by statistický rozdíl významný byl.

		%O	čas prohoření poloviny vzorku [s]	čas samozhasnutí vzorku [s]	dráha plamene [mm]	Rychlost hoření BR [mm/min]	kategorie BR	průměr BR pěti vzorků [mm/min]
LiNa	$410\text{g.m}^{-2}$	1%	170		127	45	1.	
		1%	129		127	59	1.	
		1%	138		127	55	1.	
		1%	123		127	62	1.	
		1%	168		127	45	1.	53,28
	$600\text{g.m}^{-2}$	1%	241		127	32	1.	
		1%	290		127	26	1.	
		1%	199		127	38	1.	
		1%	279		127	27	1.	
		1%	207		127	37	1.	32,06
Li 2,6	$410\text{g.m}^{-2}$	1%	116		127	66	1.	
		1%	122		127	62	1.	
		1%	134		127	57	1.	
		1%	107		127	71	1.	
		1%	141		127	54	1.	62,05
	$600\text{g.m}^{-2}$	1%	222		127	34	1.	
		1%	219		127	35	1.	
		1%	190		127	40	1.	
		1%	183		127	42	1.	
		1%	237		127	32	1.	36,60

Tab. 4: Výsledky testu hoření vzorků kolmo kladené netkané textilie s nástřikem 1% roztoku vodního skla.



Obr. 31: Hodnoty rychlosti hoření BR jednotlivých vzorků. Jeden sloupec na obrázku znázorňuje jedno měření.

Hodnoty u vzorků s nástřikem vodního skla LiNa jsou ve všech případech nižší (hodnoty jdou seřazeny sestupně dle velikosti hodnot BR a typu vodního skla).

Vztah mezi rychlostí hoření a plošnou hmotností textilie je také znázorněn na obrázku 31. V případech 1% roztoků vodních skel hořely rychleji vzorky s plošnou hmotností

410 g.m<sup>-2</sup>. Příčinou rychlejšího hoření vzorků s plošnou hmotností 410 g.m<sup>-2</sup> je větší zastoupení vzduchu v objemu kolmo kladené netkané textilie. Vzduch napomáhá šíření plamene a proto vzorky nižší plošné hmotnosti a současně téměř stejné tloušťce jako vzorky 600 g.m<sup>-2</sup>, hořely mnohem rychleji. Tmavě vybarvené sloupce znázorňují jednotlivá měření BR pro netkanou textilií o plošné hmotnosti 410 g.m<sup>-2</sup>. Světle vybarvené sloupce pak znázorňují hodnoty BR pro ploš. hmot. 600 g.m<sup>-2</sup>.

Rozdíl v účinnosti 1% a 10% roztoku vodních skel je patrný. Rychlost hoření BR je výrazně nižší u vzorků s nástřikem 10% vodního skla, výsledky pro 10% roztoky jsou uvedeny níže v tabulce 5. Pro vyhodnocení časů hoření byla použita ve všech případech tabulka 2 z kapitoly 2.12.2.2, která pracuje s hodnotami rychlosti hoření BR [mm/min].

charakteristika hoření	kategorie	údaj v protokolu
hořící po celé délce měření BR < 100	1.	Např.BR...[mm/min]
samozhášivé zkušební vzorky	2.	
trasa hoření > 50 mm, BR < 100	2.1.	Např.SE/BR...[mm/min]
trasa hoření <= 50 mm, doba hoření < 60 s	2.2.	

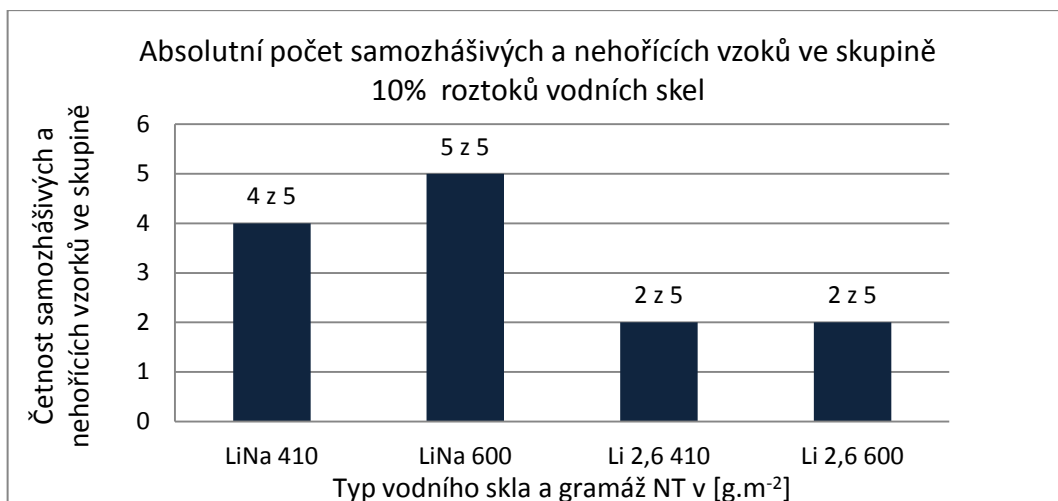
Tab 2: Tab. 2: Tabulka kategorií charakteristik hoření; BR: rychlost hoření (burning rate); NBR: samozhášivé až k 1. měrné značce (no burning rate); SE: samozhášivé (self extinguishing [14]).



		%O	čas prohoření poloviny vzorku [s]	čas samozhasnutí vzorku [s]	dráha plamene [mm]	Rychlost hoření BR [mm/min]	kategorie BR	průměr BR pěti vzorků [mm/min]
LiNa	410 g.m <sup>-2</sup>	10%		78	36	27,8	2.	
		10%		85	42	29,6	2.	
		10%	201		127	37,9	1.	
		10%	–	–		–	2.	
		10%		104	68	39,2	2.1.	33,6
	600 g.m <sup>-2</sup>	10%	–	–		–	2.	
		10%		274	120	26,3	2.1.	
		10%		180	92	30,7	2.1.	
		10%	–	–	–	–	2.	
		10%		173	89	30,9	2.1.	29,3
Li 2,6	410 g.m <sup>-2</sup>	10%	–	–		–	2.	
		10%	254		127	30,0	2.1	
		10%	186		127	41,0	2.1	
		10%	–	–		–	2.	
		10%	243		127	31,4	2.1.	34,1
	600 g.m <sup>-2</sup>	10%	312		127	24,4	2.1.	
		10%	269		127	28,3	2.1.	
		10%	–	–		–	2	
		10%		232	117	30,3	2.1.	
		10%	301		127	25,3	2.1.	27,1

Tab. 5: Výsledky testu hoření vzorků kolmo kladené netkané textilie s nástřikem 10% roztoku vodního skla.

Stejně jako v případě výsledků 1% roztoků, i zde je ke statistickému vyhodnocení zapotřebí větší počet pozorování. Hodnoty ale indikují, že vodní sklo LiNa může působit jako retardační prostředek efektivněji. Nasvědčuje tomu skutečnost, že 90% vzorků s nástřikem 10% vodního skla LiNa, nehořelo vůbec, či zhaslo ještě před dosažením měřené vzdálenosti 127 mm. Naproti tomu vzorky s 10% vodním sklem Li2,6 zhasly samovolně nebo nezačaly hořet pouze ve 40% měřených pokusů, jak je zobrazeno na Obr. 32.



Obr. 32: Absolutní počet samozhášivých a nehořících vzorků ve skupině jedné gramáže a jednoho typu vodního skla v 10% koncentraci.

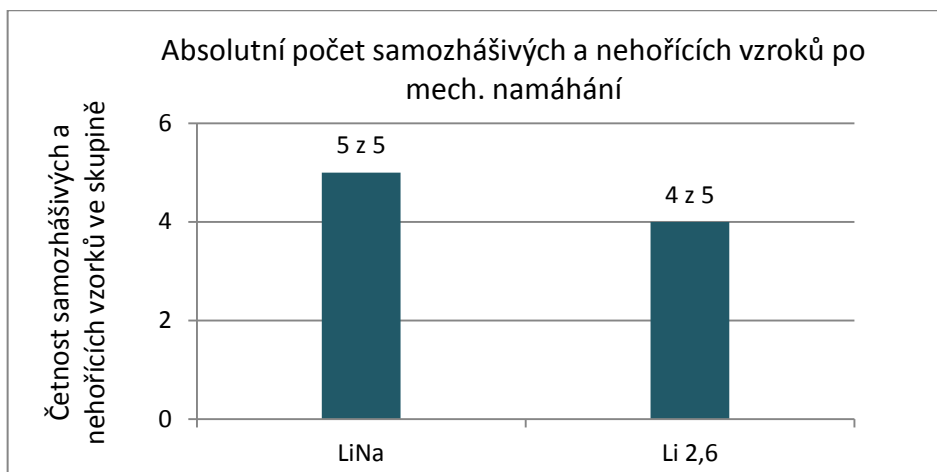
### 3.13.2. Výsledky testu hoření II

Výsledky testu hoření vzorků II jsou uvedeny v Tab. 6. Předpoklad, že hoření bude urychleno mechanickým namáháním vzorků, následkem kterého by se měl film vodního skla na vláknech porušit a částečně vydrolit, se nepotvrdil. Úbytek váhy vzorků po mechanickém namáhání nebyl znatelný. Sklo tedy zůstalo ve struktuře netkané textilie, a jak se ukázalo na obrazové analýze, film skla zůstal na vláknech i po mechanickém namáhání a vlákna tak byla dále chráněna před plameny. Jak vyplývá z obrázku 31 a z tabulky 6, pouze 1 vzorek z 10 hořel v celé měřené dráze 127 mm.

č. vzorku	Typ skla	c Ø [%]	Plošná hmotnost [g/m]	dráha hoření [mm]	čas hoření dráhy 127 mm [min]	čas samozhasnutí vzorku [s]	Rychlost hoření BR [mm/min]	Průměr BR	zařazení dle VW normy
1	LiNa	10	600	70		118	<b>35,6</b>	28,4	<b>2.1.</b>
2	LiNa	10	600	28		49	<b>34,3</b>		<b>2.2.</b>
3	LiNa	10	600	15		45	<b>20,0</b>		<b>2.2.</b>
4	LiNa	10	600	30		68	<b>26,5</b>		<b>2.</b>
5	LiNa	10	600	18		42	<b>25,7</b>		<b>2.2.</b>
6	Li 2,6	10	600	125		297	<b>25,3</b>	29,9	<b>2.1.</b>
7	Li 2,6	10	600	72		144	<b>30,0</b>		<b>2.1.</b>
8	Li 2,6	10	600	127	200		<b>38,1</b>		<b>1.</b>
9	Li 2,6	10	600	33		62	<b>31,9</b>		<b>2.</b>
10	Li 2,6	10	600	36		90	<b>24,0</b>		<b>2.</b>

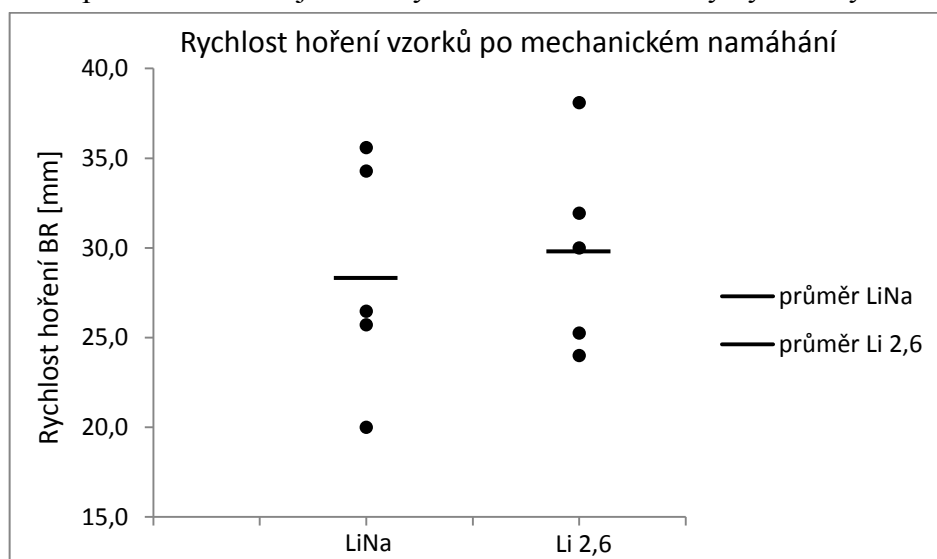
Tab. 6: Výsledky testu hoření vzorků II, které byly vystaveny mechanickému namáhání.

Z následujícího obrázku 33 plyne, že účinnost nánosu vodního skla je vyšší po mechanickém namáhání vzorků, tedy že vzorky I hoří v absolutním poměru více, nežli vzorky II (při srovnávání 10% roztoků). V absolutních číslech lze poměry vyjádřit tak, že v případě vzorků I nehořelo či samo zhaslo 13 z 20 vzorků, což je 65 %, viz obrázek 32. V případě vzorků II, které byly před testem hoření mechanicky namáhány stlačením, samo zhaslo 9 z 10 vzorků, což činí 90 %, viz obrázek 33. Proto je zajímavé podívat se na výsledky testu hoření II blíže a zaměřit se na jednotlivé rychlosti hoření BR, které jsou vykresleny níže na obrázku 34.



Obr. 33: Absolutní počet samozhášivých vzorků, které byly před hořením podrobeny mechanickému namáhání stlačením.

Na obrázku 34 jsou vykresleny hodnoty BR pro jednotlivá měření a průměrné hodnoty z pětice pozorování pro skupinu jednoho typu vodního skla. Průměrné hodnoty jsou nepatrně nižší, než v případě vzorků I. Stejně jako u předchozích hodnocení testů, i zde není rozdíl v průměrech ani v jednotlivých měřeních statisticky významný.



Obr. 34: Rychlost hoření mechanicky namáhaných vzorků s nástřikem 10% roztoků vodních skel LiNa a Li 2,6 s vyznačením průměrů.

Možné vysvětlení proč mechanicky namáhané vzorky II hořely méně, než vzorky I, může být takové, že sklo se díky mechanickému namáhání částečně porušilo a z vláken na povrchu objemné textilie migrovalo do jejího objemu, kde ulpělo na vlákných spojích. Vlákná vrstva byla tedy prosycena sklem více, nežli v prvním případě, kdy k mechanickému namáhání nedošlo a sklo nebylo v objemu textilie rovnoměrně rozmístěno.

Dalším faktorem, který mohl ovlivnit rychlost hoření, byla tloušťka materiálu. Po mechanickém namáhání se materiál pravděpodobně nepatrně stlačil. To znamená, že objem vzduchu ve struktuře textilie byl po mechanickém namáhání nižší, než před mechanickým namáháním stlačením. Vzduch je jednou ze tří základních podmínek [11] hoření. Vzhledem k tomu, že vzduchu bylo pravděpodobně v NT po mechanickém namáhání méně, hořel materiál pomaleji.

#### 4. Závěr

Celá práce mapuje použití vodního skla v oblasti objemných kolmo kladených netkaných textilií. Účelem aplikace vodných roztoků vodních skel mělo být zjištění možnosti v oblasti použití nehořlavých úprav textilií. Lze říci, že vodní sklo může mít v textilu potenciál jako retardant hoření, zvláště pak v aplikacích technických textilií a hořlavých recyklovaných materiálů, kde může několikanásobně snížit rychlost hoření.

Proměnnými celého testu byly typ vodního skla, koncentrace vodního skla, plošná hmotnost materiálu a v poslední části experimentu mechanické namáhání stlačením. V prvním kroku experimentu bylo zjištěno, že úhly smáčení různých typů vodních skel se výrazně liší a to i v závislosti na testovacím povrchu, kterým bylo sklo, papír a netkaná textilie. Na základě výsledků testu byly zvoleny vhodné typy vodních skel pro nehořlavou úpravu. Při předběžné zkoušce hoření se ukázalo, že jako retardant hoření fungují nejlépe dva konkrétní typy vodního skla s velice nízkými úhly smáčení.

V dalším kroku byl vyroben vlákenný materiál v podobě kolmo kladené netkané textilie, která byla následně upravena nánosem vodního skla v různých koncentracích. Část vzorků byla dále cyklicky namáhána stlačením, aby se ukázala i mechanická odolnost úpravy.

Testy hoření pak potvrdily prvotní předpoklady a proveditelnost použití vodního skla jako nehořlavé úpravy textilií. Výsledkem testů byly hodnoty rychlostí hoření jednotlivých koncentrací a typů vodních skel. Výsledky lze velmi zjednodušeně shrnout tak, že nejúčinnější úpravou netkané textilie bylo použití 10% roztoku lithno-sodného vodního skla LiNa.

Součástí experimentu byla i obrazová analýza, jejíž výsledky potvrdily předpoklad rozložení vodního skla na vláknech v podobě filmu. Obrazová analýza dále ukázala rozvrstvení vodního skla v průřezu netkané textilie, které bylo pouze na povrchu, nikoliv v celé struktuře.

Pro další řešení výše popsané problematiky navrhuji zaměřit se na způsob nanášení roztoku. Zde by mohlo být zajímavé aplikovat rozprašovač s podtlakovým odsáváním tak, aby se roztok dostal do celého objemu kolmo kladené netkané textilie. Následně by mohly být pozorovány změny rychlosti hoření. V případě prosycení netkané textilie vodním sklem v celém objemu, by mohlo být zpomalení hoření mnohonásobně výraznější. V této práci se ukázalo, že vzorky namáhané stlačením 2000 cykly zdvihů, hořely ve výsledku méně. Dalším návrhem je zaměřit se na mechanické namáhání již povrstvených vzorků a zjistit, zda další mechanické namáhání nadále zlepšuje odolnost proti hoření, či ji naopak zhoršuje. Popřípadě najít hranici v míře mechanického namáhání, kdy ještě působí jako efektivní jev na nehořlavost a kdy už nehořlavost oslabuje. Další zajímavou otázkou je již možná aplikace v praxi.

## 5. Literatura

- [1] Základní informace o vodním skle. *Vodní sklo* [online]. 2014 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/cz/clanky/zakladni-informace-o-vodnim-skle>
- [2] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty* [online]. 3. Praha, 2013 [cit. 2017-04-12]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodasl/sh/SH3v1.pdf>
- [3] Část řetězové struktury křemičitanu sodného. In: *Wikipedie* [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Sodium-metasilicate-repeating-unit-2D.png>
- [4] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-746-2.
- [5] CHALOUPEK, Jíří. *Smáčení vláknenných útvarů*. Liberec, 2007. Disertace. Technická univerzita v Liberci.
- [6] KRÁSNÝ, Ivo. *Měření kontaktních úhlů smáčení a určování povrchové energie plastů* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14169/kr%C3%A1sn%C3%BD\\_2010\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14169/kr%C3%A1sn%C3%BD_2010_dp.pdf?sequence=1). Diplomová práce.
- [7] Carding Machine. In: *ClipArt ETC* [online]. Univerzity of South Florida, 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [https://etc.usf.edu/clipart/87700/87792/87792\\_carding-machine.htm](https://etc.usf.edu/clipart/87700/87792/87792_carding-machine.htm)
- [8] RUSSEL, S.J., ed. *Handbook of nonwovens*. North America: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 2007. ISBN 1-85573-603-9.
- [9] Two carding machines aligned in tandem. In: *Tex Note: Technical Textiles* [online]. 2014 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://texnoteblog.files.wordpress.com/2013/08/ff636-untitled.jpg?w=500>
- [10] MILITKÝ, Jíří. *Textilní vlákna: Klasická a speciální*. Liberec: Fakulta textilní, 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [11] VIK, Michal a Martina VIKOVÁ. *Zušlechťování textilií: Finální úpravy textilií V* [online]. 2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://dirk.kmi.tul.cz/depart/ktc/sylaby/ZUT/ZUT%2017.pdf>

[12] HU, Jinlian, ed. *Fabric Testing*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008. ISBN 978-1-84569-506-4.

[13] ČSN ISO 3795:1989. *Stanovení hořlavosti materiálů použitých v interiéru vozidla*. 2. Praha: Český normalizační institut, 1994.

[14] TL 1010. *Materiály vnitřního vybavení: Charakteristiky hoření, požadavky na materiál*. TL 1010. © VOLKSWAGEN, 2008.