

Hodnocení hořlavosti spodní vrstvy oděvů pro hasiče

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Výroba oděvů a management obchodu s oděvy

Autor práce:

Markéta Kurková

Vedoucí práce:

Ing. Petra Komárková, Ph.D.

Katedra oděvnictví





Zadání bakalářské práce

Hodnocení hořlavosti spodní vrstvy oděvů pro hasiče

Jméno a příjmení: **Markéta Kurková**
Osobní číslo: T15000374
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Výroba oděvů a management obchodu s oděvy
Zadávací katedra: Katedra oděvnictví
Akademický rok: **2016/2017**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte marketingový průzkum trhu zaměřený na materiály a typy výrobků určené jako spodní oděvní vrstva oblečení pro hasiče.
2. Vypracujte rešerši zaměřenou na metody objektivního hodnocení vybraných užitečných vlastností zabezpečujících funkčnost těchto oděvů a fyziologický komfort.
3. Navrhněte a realizujte experiment pro hodnocení hořlavosti a komfortu spodní vrstvy oděvů pro hasiče se stěžejním zaměřením na sálavé teplo, přímou odolnost plamenu a tepelně izolační vlastnosti.
4. Vyhodnoťte experiment a diskutujte výsledky.

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

dle rozsahu dokumentace
cca 40 stran
tištěná
Čeština



Seznam odborné literatury:

- L. Hes, P. Sluka (2005) Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL
- S. Petrusic, E. Onofrei, G. Bedek, C. Codau, D. Dupont & D. Soulat (2015) Moisture management of underwear fabrics and linings of firefighter protective clothing assemblies, The Journal of The Textile Institute, 106:12, 1270-1281, DOI: 10.1080/00405000.2014.995457
- S. H. Eryuruk, V. Koncar, F. Kalaoglu, H. Gidik and X. Tao. (2018) Thermal comfort properties of firefighters' clothing with underwear. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering459 (2019) 012040. doi:10.1088/1757-899X/459/1/012040

Vedoucí práce:

Ing. Petra Komárková, Ph.D.
Katedra oděvnictví

Datum zadání práce:

16. ledna 2017

Předpokládaný termín odevzdání:

10. ledna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry

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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si 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.

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

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

10. ledna 2020

Markéta Kurková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Petře Komárkové, Ph.D. za konzultace, odborné vedení i trpělivost při zpracování této bakalářské práce. Také děkuji Ing. Michalu Chotěborovi a Ing. Pavle Těšinové, Ph.D. za rady a pomoc při měření vzorků v experimentální části práce.

Anotace

Bakalářská práce se zaměřuje na metody měření hořlavosti a fyziologických vlastností nehořlavého materiálu s využitím pro hasiče. V první části jsou popsána vybraná funkční trika a jejich materiálové složení. Dále je popsán vnější oděv pro hasiče a zvolené vlastnosti. Ve druhé části je popsáno propojení a rozdíly mezi propustností vodních par, výparným odporem, vystavení sálavému teplu a zapálením. Pomocí vybraných přístrojů k měření. A následně jsou porovnány a vyhodnoceny jednotlivé materiály.

Klíčová slova

Hořlavost, komfort, sálavé teplo, vodní páry

Abstrakt

The bachelor's work focuses on methods of measuring the flammability and physiological properties of non-flammable material using for firefighters. The first part describes the selected functional tricks and their material composition. As well as the external clothing for firefighters and the chosen properties. The second part describes the interconnection and differences between water vapour permeability, vapour resistance, exposure to radiant heat and ignition. Using selected instruments to measure. And subsequently, individual materials are compared and evaluated.

Keywords

Flammability, comfort, radiant heat, water vapours

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	10
Úvod.....	12
Rešeršní část	13
1 Vrchní vrstva oděvu	13
1.1 Tepelná vložka	14
1.2 Bariéra proti vlhkosti.....	14
1.3 Vnější plášť	14
1.4 Podmínky pro výběr materiálu.....	15
2 Spodní vrstva oděvu	16
3 Materiály používané na funkční trika pro hasiče	16
3.1 Materiály použitých vzorků	17
3.1.1 LENZING™ FR.....	17
3.1.2 Merino vlna.....	17
3.1.3 Kermel®	17
3.1.4 Belltron®	18
3.1.5 Modakrylová vlákna	18
4 Průzkum trhu	19
4.1 Devold SPIRIT triko s dlouhým rukávem	19
4.2 Portwest FR11 triko s dlouhým rukávem.....	20
4.3 DR Comazo triko s dlouhým rukávem a spodky dlouhé	20
4.4 PROKOP – triko s dlouhým rukávem.....	21

5	Komfortní vlastnosti textilie.....	22
5.1	Komfort.....	22
5.2	Propustnost vodních par.....	22
5.3	Prodyšnost.....	23
5.4	Tepelná vodivost.....	24
5.4.1	Přenos tepla.....	24
5.5	Transport vlhkosti.....	25
6	Užitné vlastnosti textilie zabezpečující funkčnost.....	26
6.1	Hořlavost.....	26
6.2	Limitní kyslíkové číslo.....	27
6.3	Sálání.....	27
7	Normy pro nehořlavé a těžce hořlavé oděvy.....	28
7.1	Normy pro vrchní vrstvy oděvu pro hasiče.....	28
7.2	Normy spodní vrstvy oděvu pro hasiče.....	28
7.2.1	ČSN EN ISO 17493.....	28
7.2.2	ČSN EN ISO 13688 (832701).....	28
7.2.3	ČSN EN ISO 14116.....	29
7.2.4	ČSN EN 6941 (80 0806).....	29
7.2.5	ČSN EN ISO 11612.....	29
7.2.6	ČSN EN 15025 (83 2800).....	29
	Experimentální část.....	30

8	Popis použitých materiálů	30
8.1	Test hodnocení prodyšnosti.....	31
8.2	Test tepelné vodivosti textilie	34
8.3	Test regulace a transportu vlhkosti	38
8.4	Test hodnocení výparného odporu R_{et}	47
8.5	Test odolnosti vůči plamenu	49
8.6	Test odolnosti proti sálavému teplu	51
8.7	Hodnocení výparného odporu	54
	Diskuze výsledků	57
9	Závěr.....	59
	Použitá literatura	60
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek	64
	Seznam vzorců.....	64
	Seznam příloh	64

Seznam použitých zkratk a symbolů

ΔHe	opravný faktor výhřevnosti pro Ret
$12/(t_{24} - t_{12})$	průměrná míra nárůstu teploty kalorimetru [$^{\circ}\text{C/s}$]
A	plocha [m^2]
a3 –a4	změna hmotnosti zkušební sestavy za hodinu [g/h]
Cp	měrné teplo mědi 0,385 [$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$]
H	výhřevnost dodávaná měřicí jednotce [Watt]
M	hmotnost měděné destičky [kg]
MMT	moisture management tester
Pa	parciální tlak vodních par ve vzduchu [Pa]
PA2	propustnost vodní páry [$\text{g/m}^2.\text{h}$]
Pm	parciální tlak nasycených vodních par [Pa]
PTFE	PolyTetraFluoroEthylene
Qc	hustota tepelného toku [kW/m^2]
R	průměr R [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
R	míra nárůstu teploty kalimetru v lineárním průběhu [$^{\circ}\text{C/s}$]
Ret	výparný odpor [$\text{m}^2\text{Pa/W}$]
Ret0	konstanta přístroje, určená na 4,77 [$\text{m}^2\text{Pa/W}$]
SA2	měřená plocha [m^2]
t12	teplota vzrostlá o 12 $^{\circ}\text{C}$ [s]
t24	doba potřebná k navýšení o 24 $^{\circ}\text{C}$ [s]
TCi	ThermalConductivityAnalyzer
UV	ultrafialové záření
V	variační koeficient [%]
v	průměrné objemové množství vzruchu
WVTR	WaterVapotTransmissionRate [$\text{g/m}^2/\text{d}$]

α	součinitel absorpce nabarveného povrchu kalimetru
σ	směrodatná odchylka

Úvod

Pod pojmem funkční triko si většinou představíme trika pro sportovce, kteří je využívají pro dobrou termoregulaci při běhu, pro odvedení potu od těla například při lyžování nebo při jiných sportech s využitím hlavně jako ochrana před podchlazením. Funkční trika mají využití i jako ochranné oděvy, respektive, jako ochrana pokožky pod vrchním ochranným oděvem. I pod ochranné oděvy se musí nosit ochranná vrstva, co se fyziologického pohodlí týče. V této bakalářské práci se zabýváme i tématem odolnosti proti hořlavosti.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na vrchní vrstvy oděvů pro hasiče a normy pro ně určené, stejně tak na normy, která musí splňovat funkční trika pro hasiče. Hlavní důraz teoretické části je kladen na popis vybraných materiálů (triček s dlouhým rukávem), na jejich použití, vlastnosti a materiálové složení. V další části jsou popsány potřebné normy, které určují, zda je textilie vhodná pro hasičský oděv nebo jiný ochranný oděv. Na závěr je v této části uveden přehled metod a přístrojů pomocí, kterých se jednotlivé vlastnosti hodnotí.

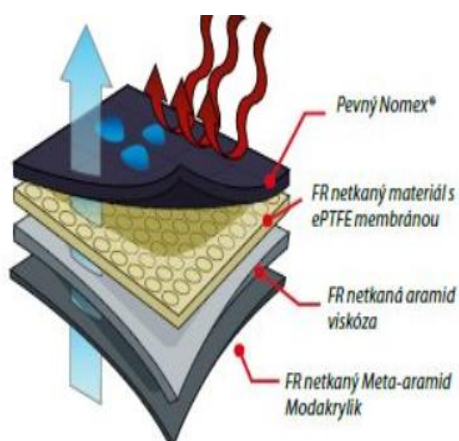
V experimentální části jsou testovány vybrané užité a fyziologické vlastnosti vybraných materiálů. U testovaných materiálů jsou naměřené hodnoty porovnány mezi sebou na základě jejich technických parametrů. Hodnocení materiálů je provedeno na přístrojích SDL M021S, TCI, MMT, sweating guarded hotplate, M233B- shirley flammability tester, X637B protective clothing equipment a FX 3180 cup master.

Rešeršní část

Když se řekne hasič a jeho vybavení, většina z nás si asi představí těžší oblek s odrazovými páskami, helmu, rukavice a případně hadici, všechny tyto věci jsou samozřejmě důležité a každý hasič je má. Málo z nás se, ale zamyslí nad tím, že neméně důležitou částí je také spodní vrstva, která je snad ještě důležitější v oblasti komfortu hasiče, odvodu potu a tepla. Stejně tak, ale i co se týče ochrany před ohněm a vysokými teplotami. Je zde také kladen velký důraz na materiál a výdrž i po několika použití a vyprání.

1 Vrchní vrstva oděvu

Oděvy pro profesionální hasiče se skládají většinou ze tří vrstev, vnější vrstva chrání uživatele proti teplu, plamenu, potřísnění vodou, chemickými látkami, oděrem, říznutím a poskytuje ochranu vnitřních složek. Materiál je lehký, ohebný s relativně dobrými tepelně ochrannými vlastnostmi. Vlhkostní vložka brání proniknutí vody, vodní páry a jiných kapalin do tepelné vložky (membrány). Tepelná vložka je většinou tlustá k zajištění tepelně izolačních účinků. Většinou má podšívku ke zvýšené pevnosti vrstvy tepelné vložky. [1]



Obrázek 1-tepelné vrstvy



Obrázek 2-hasičský oděv

1.1 Tepelná vložka

Tepelná vložka je nejdůležitější součástí výstroje, protože má největší vliv na tepelnou ochranu a snížení tepelného napětí. Spolu s bariérou proti vlhkosti představují tyto dvě vrstvy až 75% tepelné ochranné výkonnosti oděvů. Tepelná vložka zachycuje vzduch v nebo mezi vrstvami netkaného materiálu.[1]

Stejně jako ostatní vrstvy je materiálový doplněk tepelné vložky rozhodující pro pohodlí a bezpečnost hasičů. Ideální obličejová tkanina nabízí pohodlí a hladkost, zlepšuje mobilitu oděvu, pohodlí a řízení vlhkosti. Tepelné vložky, které obsahují vícevrstvé netkané materiály, absorbují méně vlhkosti a zůstávají suché, tenčí a lehčí.

Hasičská výstroj musí být odolná a zároveň udržovat pohodlí a prodyšnost, aby se minimalizoval únavový a tepelný stres.

Jako nejdůležitější bod ochrany pro hasiče by měla výbava poskytnout dostatečnou ochranu před zraněním při spálení v širokém spektru podmínek a minimalizovat tepelné namáhání. [1]

1.2 Bariéra proti vlhkosti

Zatímco účelem vnějšího pláště je ochrana vnitřních součástí, bariéra proti vlhkosti poskytuje odolnost proti vodě, chemikáliím a virovým činitelům. Aby tyto funkce sloužily, bariéra proti vlhkosti je zkonstruována z expandované PTFE propustné fóliové bariéry laminované na tkaný nebo netkaný materiál substrátu odolný proti plameni.

I když je bariéra proti vlhkosti kritická pro úspěch oděvu, je to nejkřehčí součást systému a prvek s největší pravděpodobností poškození. Aby byla zajištěna správná funkčnost bariéry proti vlhkosti a aby bylo zajištěno přiměřené množství podpory, je třeba je rutinně kontrolovat. [1]

1.3 Vnější plášť

Vnější plášť hasičské výzbroje je první linie obrany, která poskytuje 25 až 30 procent celkové tepelné ochrany a stíní vnitřní součásti. Ačkoli vnější plášť neposkytuje většinu tepelné ochrany, je životně důležitý.

Vnější plášť zajišťuje odolnost proti plameni a také chrání hasiče proti škrábancům a odřeninám, i když jsou na scéně, ať už jde o konstrukční požár nebo

požár keřů. Nejdůležitější je, že vnější plášť udržuje účinnost tepelné vložky a bariéry proti vlhkosti.[1]

Hasiči závisejí na výkyvných systémech, aby je chránili před spálením a zraněním, ale hasiči si mohou také pomoci sami tím, že si vybírají to, co nosí pod výstrojí.

Aby se zvýšila jejich tepelná ochrana, měly by požárníci nosit základní vrstvy, které obsahují vlákna odolná vůči teple a plameni. Ačkoli jsou podmínky, v nichž pracují, často radikálně odlišné, mohou všichni hasiči, bez ohledu na jejich specifickou práci, pomáhat si svým výběrem základních vrstev, které jsou aditivní a nabízejí zvýšenou tepelnou ochranu. Použitá literatura

[1]

1.4 Podmínky pro výběr materiálu

Materiály musí být odolné vůči roztržení, zátrhu a oděru vzhledem k fyzikálnímu prostředí, pevnost švů a uzávěrů musí být stejná jako pevnost materiálu, také musí poskytovat vysokou viditelnost v noci a materiál musí být prodyšný a komfortní při nošení po delší dobu musí odolávat popálení při působení a kontaktu s plamenem a při působení tepla prouděním nebo sáláním materiály musí odolávat přestupu a vedení tepla, které by mohlo popálit kůži nositele oděvu. [2]

Materiály se v horkém prostředí nesmí srážet a musí udržovat původní velikost a rozměry po opakovaném praní stejně tak jako musí brzdit hromadění elektrostatického náboje.

Doplňkové vložky musí být zajištěny k zabránění penetrace chemických látek, tělesných a biologických tekutin, které se při požáru běžně vyskytují. [2]

2 Spodní vrstva oděvu

Tato vrstva se dá také nazvat spodním prádlem, nebo funkční vrstvou. V čem tedy spočívá funkčnost prádla, především je lehké, prodyšné a užitý materiál odvádí pot mimo pokožku, takže jste v suchu a nehrozí vám prochladnutí ani v extrémních podmínkách.

Při případném namočení nezvyšuje hmotnost a rychle schne. Funkční prádlo také v závislosti na materiálu v zimě hřeje a v létě chladí. Oproti běžnému funkčnímu prádlu spodní vrstva u oděvů pro hasiče, která se dá brát jako pracovní nebo ochranný oděv, musí mít více ochranných vlastností a splňovat určité normy.[3]

3 Materiály používané na funkční trika pro hasiče

Existuje zhruba pět různých základních materiálů, které výrobci používají k výrobě ohnivzdorného funkčního prádla.

- Oxidovaný polyakrylonitril.
- Meta-aramid (Nomex) – který má dlouhodobou tepelnou stabilitu. Můžeme ho používat po dlouhé hodiny při vysoké teplotě až 204 ° C a udržuje vynikající rozměrovou stabilitu. Při dočasném vystavení vysokým teplotám až 300 ° C. Nomex nebude křehnout, změkčovat se ani tát. Je odolný vůči plamenům a nespaluje se ani není hořlavý a má vlastnost samozhášivosti. Začíná se karbonizovat při teplotě 400 ° C [4]
- Modakrylová vlákna - vyráběná vlákna, ve které je vláknotvorná látka složena z méně než 85%, ale více než 35% hmotnostních akrylonitrilových jednotek. ygTaké mají samozhášející vlastnost.
- Para-aramid (Kevlar) – je odolný vůči teple a žáru, je nevodivý a má špatnou zápalnost.
- Polybenzimidazol (PBI).

3.1 Materiály použitých vzorků

Uvedené materiály jsou ty, které jsou ve složení zakoupených funkčních trik, které jsme testovali.

3.1.1 LENZING™ FR

Vlákna odolná proti plamenům, z celulózového vlákna založená na výrobě vláken Modal. LENZING™ FR vlákna splňují definici "neodmyslitelně hořlavých a odolných vláken", LENZING™ FR se běžně mísí s jinými vysoce výkonnými vlákny a vytváří tak jedinečná ochranná řešení pro řadu průmyslových aplikací.

Vlákna LENZING™ FR typicky přispívají k těmto směsím látek jak ochranným vlastnostem, tak zvýšeným komfortem. V horkém klimatu je důležitou vlastností zvýšená prodyšnost tkaniny, která nabízí výrazné snížení tepelného stresu.[5]

3.1.2 Merino vlna

Pochází ze speciálního druhu ovcí. Oděvy vyrobené z tohoto materiálu jsou velmi příjemné na dotek a neškrábou. Technologie tkaní a struktura vytvářejí více "vzduchových kapes" a zaručují tak tepelný komfort. Tyto kapsy udržují vzduch zahřátý na těle a tvoří velmi účinnou izolaci. Merino vlna neutralizuje pot, přirozeně eliminuje zápach, je odolná vůči nečistotám a má samočisticí vlastnosti. Vlákna absorbují velké množství vlhkosti, přičemž udržuje povrch suchý a teplý. Mezi výhody patří vysoký stupeň izolace, perfektní prodyšnost, schopnost odvádět vlhkost pryč od pokožky a UV ochrana. Oblečení z merino vlny je vhodné hlavně pro lidi trpící na alergie a astma. [6]

3.1.3 Kermel®

Je jedním z takzvaných meta-aramidových vláken, která jsou tepelně odolná a trvale samozhášivá bez chemických úprav. Vlákno Kermel® se při vysokých teplotách netaví pouze karbonizuje. Na rozdíl od jiných kevlarových vláken je Kermel® dobře prodyšný. Výhody tohoto vlákna jsou trvalá ochrana bez impregnace, žádné riziko, že po několika vyprání účinek pomine, dále hladká a kulatá struktura neboli kolo struktura, která snižuje žmolkování. Barva zůstává svěží i po opakovaném praní a tkaniny s Kermel® vlákny jsou v současnosti hojně využívány po celém světě jak hasiči, tak i policíi, armádou nebo v průmyslu. [7]

3.1.4 Belltron®

Díky své povaze antistatických impregnovaných prvků poskytuje vynikající odolnost proti otěru. Struktura vlákna Belltron® má vynikající antistatické vlastnosti a stejně tak vynikající fyzikální vlastnosti.[7]

3.1.5 Modakrylová vlákna

Mají samozhášecí schopnost, modakrylová vlákna karbonizací vytvářejí bariéru, která zabraňuje dalšímu šíření plamene. Jejich vlastnosti jsou permanentní a nemění se po opakovaném praní.

U modakrylových vláken se neprojevuje fotodegradace. [8]

4 Průzkum trhu

Při hledání jsem se soustředila na triko s dlouhým rukávem a spodky s dlouhými nohavicemi. Na našem trhu se prodávají ochranné obleky hlavně ze společnosti VOCHOC, nebo GoodPRO, která jsou také pod společností VOCHOC. Ti nabízejí stejné typy oblečení jako internetový obchod PROBO-NB.

4.1 Devold SPIRIT triko s dlouhým rukávem, Devold SPIRIT spodky dlouhé[9]

Materiál: 50 % Merino wool / 50 % Lenzing FR,
gramáž 230 g/m², dvouvrstvý úplet, vis. Obrázek 3 a obrázek 4



Obrázek 3-triko Devold SPIRIT[9]



Obrázek 4-spodky Devold SPIRIT[9]

Popis:

Nehořlavé funkční prádlo z přírodního, inherentně a trvale nehořlavého dvouvrstvého úpletu: Lenzing FR® viskóza / Merino vlna. Chrání proti tepelným rizikům a současně efektivně odvádí veškerou vlhkost od těla.

Využití nemusí být jen pro hasiče ale i ve strojírenství, metalurgie, sklářský průmysl, ADR přeprava, plynárenství, energetika, rafinérie, petrochemie, záchranáři, policie, armáda.[9]

Splňuje: EN ISO 11612 - A1 A2 B1C1, EN ISO 14116, EN 61482-1-2[9]

4.2 Portwest FR11 triko s dlouhým rukávem

Materiál: 60% modakrylových / 39% bavlněných / 1% uhlíkových vláken,

Popis:

Nehořlavé antistatické triko s dlouhým rukávem. Je ideální pro hasiče a pracovníky, kteří jsou vystaveni teple. Tento materiál poskytuje nehořlavost a antistatickou ochranu. Vysoká pevnost v tahu nabízí dlouhou životnost a bavlna pohodlí. vidíme na obrázku 5. [10]

Splňuje: EN 1149 EN ISO 11612 IEC 61482-2



Obrázek 5-portwest[10]

4.3 DR Comazo triko s dlouhým rukávem a spodky dlouhé

Materiál: 48,5% Kermel / 48,5% Lenzing FR / 3% Belltron

Popis:

Funkční nehořlavé triko, které je určeno především jako první základní ochranná a komfortní vrstva. [11] vidíme na Obrázku 6 a Obrázku 7.

Splňuje: EN ISO 11612 A1, B1, C1, EN1149-5 a EN 14116 index 3



Obrázek 6-triko DR Comazo[11]



Obrázek 7-spodky Comazo [11]

4.4 PROKOP – triko s dlouhým rukávem

Materiál: modakrylová vlákna

Popis:

Nehořlavé funkční triko určené pod zásahový oblek. Funkční prádlo tvoří první tepelnou bariéru a odvádí pot od těla.[21]zobrazeno na Obrázku 8.

splňuje: ČSN EN ISO 13688:2014, ČSN EN ISO 14116:2008



Obrázek 8-triko PROKOP[21]

5 Komfortní vlastnosti textílie

Vlastnosti, které ovlivňují naše pohodlí. V této práci jsou vybrány vlastnosti pro extrémní podmínky, při velkém teple a fyzické zátěži.

5.1 Komfort

Je to stav organismu, kdy jsou filologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly.

Komfort lze zjednodušeně definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů.

Komfort dělíme na psychologický, senzorický, termofyziologický a patofyziologický. [24]

V této práci se zabýváme termofyziologickým komfortem.

5.2 Propustnost vodních par

Propustnost pro vodní páry je charakterizovaná jako schopnost textilního materiálu propouštět vodu ve formě vodních par z prostoru omezeným daným materiálem [13]

Metody měření

Určen pro hodnocení odolnosti vůči vodním parám - zkouška pocení vyhřívanou destičkou [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$] a tepelnou odolnost [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], Zařízení určené k přenosu vodních par, použitelné na oděvy, plastové folie, membrány, podložky, patozábrany a jiné materiály.

Podle norem ISO 11092, ISO 13029, EN 31092 [32] a ISO 2528, ISO 12572, EN 1931 [35]

Propustnost vodních par je měřena pomocí přístrojů Sweating Guarded Hotplate, který měří tepelný a výparný odpor, v našem případě je zjišťován odpor výparný R_{et} což je rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu dělený výsledným teleným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu a TexTest FX 3180 cup master, jsou zobrazeny na obrázcích 9 a 10.



Obrázek 9-sweating guarded hotplate[32]



Obrázek 10-TexTest FX 3180 cup master[35]

5.3 Prodyšnost

Je ukazatel toho, jak rychle dokáže oblečení odvádět tělesnou vlhkost pryč od těla. Čím více se potíme, tím vyšší prodyšnost potřebujete. Udává se v jednotkách $g/m^2/24$ hod., tzn. kolik vlhkosti v gramech propustí jeden čtvereční metr látky za den.[25]

Metoda měření

Test hodnocení prodyšnosti, prostupu tepla, splňuje normy ČSN EN ISO 9237, ČSN EN ISO 7231, ISO 5085-1, ISO 11092, ČSN EN 31092, ISO 811, ČSN EN 29865.

Měří se na přístroji **SDL M 021 S**, vidíme na Obrázku 11.



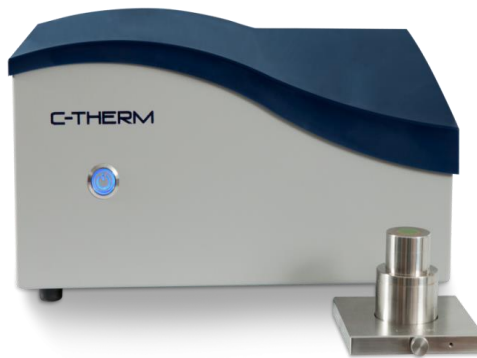
Obrázek 11-SDL M 021 S[32]

5.4 Tepelná vodivost

Je to schopnost látky vést a přenášet teplo. Tato veličina ukazuje rychlost, jakou se teplo šíří a přenáší z jedné zahřáté části materiálu do jiné části.[26]

Metoda měření

Test tepelné vodivosti textílie, měří se na přístroji TCi Thermal Conductivity Analyzer, viz. Obrázek 12. Měří jak pěny, protože je to nejpodobnější ke struktuře textílie a nemusí se používat žádné pomocné roztoky. Tento přístroj dokáže měřit teploty od -50 až do + 200 °C. Modul tepelné konduktivity C-Therm TCi využívá techniku Modified Transient Plane Source (MTPS) pro určení tepelné vodivosti materiálů. Používá jednostranný snímač odrazivosti tepla, který využívá pro vzorek momentální konstantní zdroj tepla.[33]



Obrázek 12- TCI [33]

5.4.1 Přenos tepla

Jde o určitý mechanismus přesunu tepla a to organismus-oděv-prostředí

Všechny mechanismy: odpařování jsou dýcháním, pokožkou, pocením

- játra- hlavní zdroj tepla
- tepelný odpor textilních vrstev
- tepelný odpor vzduchových vrstev
- přenos tepla vedením
- ztráty tepla ventilací
- přenos tepla radiací
- přenos tepla konvekce [24]

5.5 Transport vlhkosti

Při vniku kapaliny do textilie může být vlhkost přenášena nasáním nebo vzlínáním, nasákavost je schopnost textilie absorbovat plynnou nebo kapalnou vlhkost od pokožky a přepravovat ji z vnitřní strany na povrch textilie. [13]

Metoda měření

Hodnocení schopností textilie transportovat a regulovat vlhkost. Tato zkušební metoda poskytuje objektivní měření schopnosti pletených, tkaných i netkaných textilií přenášet a regulovat vlhkost. Podle normy AATCC 195-2009, GB/T 21655.2-2009. Měří se na přístroji Tester MMT, viz Obrázek 13. Který slouží ke zkoušení vlastností managementu vlhkosti u textilií. Přístroj se skládá z horních a dolních soustředně umístěných čidel vlhkosti, mezi něž se vkládá testovaná textilie. Předem stanovené množství zkušebního roztoku syntetický pot se aplikuje na horní stranu textilie, poté se sleduje šíření roztoku materiálem ve třech směrech:

- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na horní straně textilie
- Přenos roztoku tkaninou z horní strany na spodní
- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na spodní straně textilie[12]



Obrázek 13-tester MMT[34]

6 Užité vlastnosti textilie zabezpečující funkčnost

6.1 Hořlavost

Hořlavost je schopnost textilie hořet po zapálení. Jestli po zapálení bude materiál samostatně hořet, závisí na spotřebované energii. Na základě toho rozlišujeme procesy hoření, při kterých se energie spotřebovává nebo procesy, při kterých se energie uvolňuje. Pokud je uvolněná energie větší než spotřebovaná znamená to, že materiál hoří. Naopak materiál je nehořlavý nebo samozhášející, když je uvolněná energie menší než spotřebovaná.

Metody hodnocení

Omezení šíření plamene - test hořlavosti svisle a test hořlavosti v horizontální poloze podle norem ISO 1210, ISO 9770, ISO 9773, ISO 9772 a ISO 3795.

Měří se na přístrojích M233B – shirley flammability tester viz. obrázek 14 a M233F-atlas hmv horizontal flammability tester viz. Obrázek 15.



Obrázek 14-shirley flammability tester[31]



Obrázek 15-hmv horizontal flammability tester[31]

6.2 Limitní kyslíkové číslo

Minimální koncentrace (%) kyslíku ve směsi s dusíkem, při které materiál ještě hoří. [22]

Výpočet koncentrace následuje podle vzorce

$$LKČ = \frac{O_2}{O_2+N_2} \cdot 100 \text{ [%]}$$

kde O_2 značí objem kyslíku a N_2 objem dusíku.

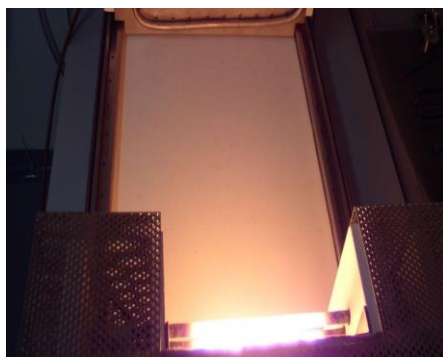
Dá se tedy říci, že čím vyšší je tato hodnota, tím větší je odolnost materiálu proti vznícení a hoření.

6.3 Sálání

K sálání tepla dochází vyzařováním elektromagnetických vln. Tyto vlny unášejí energii pryč od vyzařujícího tělesa. K sálání dochází i ve vakuu nebo v libovolném průsvitném materiálu (pevném i tekutém). Sálání je přímým důsledkem náhodných pohybů atomů a molekul v hmotě. Pohyb nabitých protonů a elektronů vede k vyzařování elektromagnetického záření.[23]

Metoda hodnocení

Test materiálu pod vlivem sálavého tepla. Měří se na přístroji X637B- protective clothing equipment, který vidíme na Obrázku 16. Tento přístroj měří odolnost vůči sálavému tepla, kde měříme hustotu tepelného toku a součinitel proudu tepla. Na začátku je ovšem potřeba přístroj kalibrovat.



Obrázek 16-hmv horizontal flammability tester[31]

7 Normy pro nehořlavé a těžce hořlavé oděvy

Každý oděv využívaný v určitých podmínkách musí splňovat i určité stanovy, daný úřadem pro normalizaci a měření. Oděvy pro hasiče se řadí do kategorie ochranných oděvů.

7.1 Normy pro vrchní vrstvy oděvu pro hasiče

Ochranný oděv musí splňovat požadavky ČSN EN 469 a ČSN EN 1149-1. Požadavky a zkušební metody pro ochranné oděvy pro hasiče - ČSN EN 469.

Dále se normy specifikují na jednotlivé části oděvu:

- zapínání zdrhovadlem překrytým krycí částí jištěným stuhovým uzávěrem - zapínání zdrhovadla je umožněno v ochranných rukavicích, které splňují požadavky ČSN EN 659
- reflexní pás, s parametry odpovídajícími požadavkům ČSN EN 471

nebo také specifika způsobu namáhání:

- Šíření plamene podle EN 532 Při zkoušce musí být splněny následující požadavky: Zkouška tepelné odolnosti EN 471[20]

7.2 Normy spodní vrstvy oděvu pro hasiče

Spodní vrstva oděvu pro hasiče, neboli funkční prádlo pro hasiče musí také splňovat určité normy, těmi jsou:

7.2.1 ČSN EN ISO 17493

Testování odolnosti proti teplu při teplotě $180 \pm 5\%$ – textilie ani žádné technické vybavení použité v oděvu nebo v oděvní soupravě, se nesmí vznítit nebo roztavit a nesmí se smrštít o více než 5 %.

7.2.2 ČSN EN ISO 13688 (832701)

Ochranné oděvy – Obecné požadavky. V této normě jsou stanoveny obecné požadavky na provedení ochranných oděvů z hlediska ergonomie, nezávadnosti, označení velikostí, stárnutí, kompatibility a značení ochranných oděvů a na informace, které jsou dodávány výrobcem spolu s ochrannými oděvy.[14]

7.2.3 ČSN EN ISO 14116

Ochranné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni - Materiály a sestavy materiálů s omezeným šířením plamene. Tato mezinárodní norma specifikuje funkční požadavky na vlastnosti materiálů, materiální sestavy a ochranný oděv určené pro omezené šíření plamene, za účelem snížení možnosti hoření oděvu. [16]

7.2.4 ČSN EN 6941 (80 0806)

Rychlost šíření plamene- se používá k posuzování vlastností plošných textilií a průmyslových výrobků ve formě jednokomponentních nebo vícekomponentních textilií při kontaktu s plamenem za stanovených podmínek. Je možné jí rovněž zjišťovat vliv švů nebo součástí ozdob na chování plošných textilií. [17]

7.2.5 ČSN EN ISO 11612

Hořlavost ochranných pracovních oděvů, stanoví technické požadavky oděvů vyrobených z ohebných materiálů, které jsou určeny k ochraně těla nositelů s výjimkou rukou, před teplem a/nebo ohněm. Pro ochranu hlavy a nohou nositelů spadají do rozsahu této mezinárodní normy pouze prvky ochranného oblečení. [18]

7.2.6 ČSN EN 15025 (83 2800)

Specifikuje metodu pro stanovení vlastností při omezeném šíření plamene svisle orientovaných textilií a průmyslových výrobků ve formě jednoduchých nebo vícesložkových textilií, když jsou vystaveny malému definovanému plameni. [19]

Experimentální část

Cílem experimentální části bylo vyhodnotit materiály, na vybrané vlastnosti, jak z hlediska fyziologických vlastností, tak z hlediska užitných vlastností důležitých pro první vrstvu oděvu pro hasiče. Byly testovány čtyři dostupné materiály, vybrané z možností na trhu, jsou testovány jak na fyziologické vlastnosti, ze kterých bylo vybráno hodnocení prodyšnosti, hodnocení tepelné vodivosti, hodnocení regulace a transportu vlhkosti, hodnocení regulace a transportu vlhkosti, hodnocení výparného odporu R_{et} , tak užité vlastnosti jako hodnocení odolnosti vůči plameni, hodnocení odolnosti proti sálavému teplu.

8 Popis použitých materiálů

Tabulka 1-použité materiály

Vzorek	Materiál	Plošná měrná hmotnost (g/m ²)	Vazba	Tloušťka (mm)	Hustota sloupku Na 1cm	Hustota řádků Na 1cm
1	48,5%meta-aramidová vlákna/48,5%viskózová vlákna/3% belltron	200	Obouliční interloková hladká pletenina	0,95	19	20
2A	50%merino/50%viskózová vlákna	245	Dvouvrstvá obouliční interloková pletenina	1,04	26	32
2B	50%merino/50%viskózová vlákna	245	Dvouvrstvá obouliční interloková pletenina	1,04	26	32
3	Modakrylová vlákna	200	obouliční hladká pletenina	0,79	19	20
4	60%modakrylová vlákna/39% bavlna	220	jednolichní hladká pletenina	0,67	15	16

8.1 Test hodnocení prodyšnosti

Měření rychlosti proudu vzduchu proudícího kolmo danou plochou ploché textilie při stanoveném tlakovém spádu. Měřeno pomocí přístroje SDL M021S, který se řídí normou EN ISO 9237:1995

Postup měření

Každý materiál byl měřen na deseti místech a pomocí aritmetického průměru a vzorců vypočítáme prodyšnost R. Plocha na které bylo měřeno je 20 cm², na kterou se upevní materiál, aby neproudil vzduch okolo. Pomocí pedálu a vývěvy se odsává vzduch a tím se vytvoří podtlak. Byl měřen tlakový spád, rozdíl v místnosti a v prostoru měření. Ideální výsledek by měl být 100 Pa ale ne v případě pletenin. Zde měříme na 5 Pa v ml/s, měřeno na TUB3 pro první tři vzorky i pro materiál 2B a TUB4 použito pro materiál 4. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2.

Vzorec:

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} \cdot 167 \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

\bar{q}_v – průměrné objemové množství vzduchu

167 – přepočítávací faktor z dm³/min,

kde dále cm² na mm•s⁻¹

Naměřené hodnoty jsou v l•m, prodyšnost R ale musí být v ml•s

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$95\% \text{ IS} = \bar{x} \pm 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

K vyhodnocení je nutné vypočítat tyto statistické parametry:

Prodyšnost R

Variační koeficient

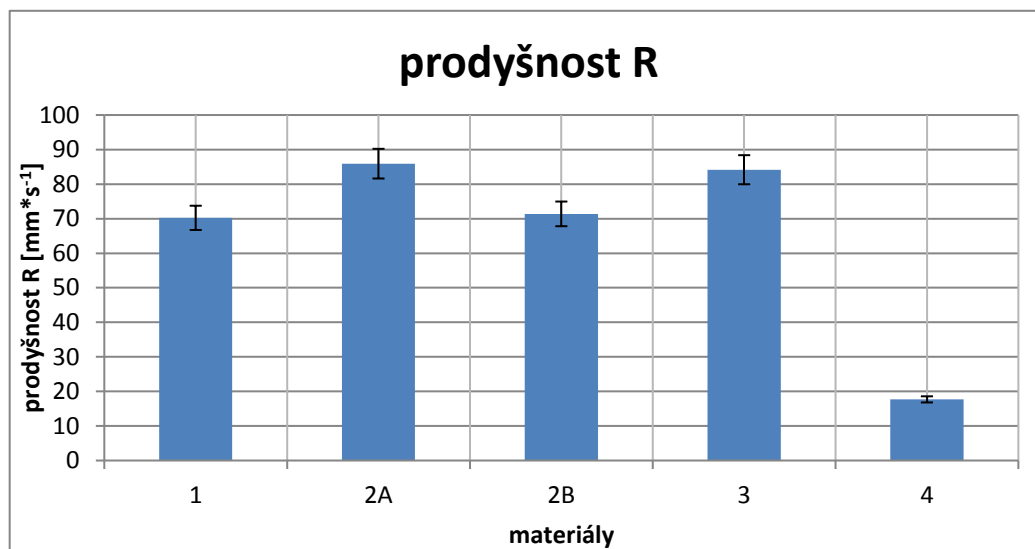
95% interval spolehlivosti

Tabulka 2-statistické hodnoty k prodyšnosti a prodyšnost R

Měření	Prodyšnost (l•m)				
	1	2A	2B	3	4
1	160	155	130	170	35
2	145	180	150	167,7	35,5
3	147	160	135	165	36,5
4	132,5	190	150	160	35
5	137,5	190	140	177,5	35,75
6	145	175	150	172,5	36,5
7	140	145	150	177,5	32
8	137,5	167,5	135	155	34,5
9	122,5	182,5	150	165	36
10	135	170	135	170	36,5
průměr	140,2	171,5	142,5	168	35,33
V (%)	7,1	8,7	5,5	4,3	3,9
95%IS	[134;146]	[162,2;180,8]	[137,6;147,4]	[163,6;172,4]	[34,5;36,2]
σ (l•m)	9,9	14,9	7,8	7,2	1,4
Prodyšnost R(mm•s⁻¹)	70,24	85,92	71,39	84,17	17,7

Hodnocení výsledků prodyšnosti

Hodnocený parametr je zde prodyšnost, což znamená rychlost proudu vzduchu proudícího kolmo na vzorek. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v grafu na Obrázku. 17.



Obrázek 17-průměr R

Z grafu na Obrázku .17 jde vidět, že Materiály 2A a 3 mají největší hodnoty, tedy jsou nejvíce prodyšné, vytváří nejmenší odpor proudu vzduchu, což znamená, že mají nejméně hustou vazbu. Jenom o trochu méně prodyšné jsou materiály 1 a 2B, které se neliší o nijak významné hodnoty a mají střední naměřené hodnoty, jediný materiál který je podstatněji neprodyšný je materiál 4, ten má naměřený průměr R jen 17,7 m•s-1 Hodnoty se pohybují jen v desítkovém hodnocení, zde byla potřeba měřit na jiné tubě, jde tedy jednoznačně říci že materiál 4 je nejméně propustný proti proudu vzduchu, což pro naše účely použití v extrémních podmínkách znamená, že by byl z hlediska fyziologického komfortu nejméně vhodný.

8.2 Test tepelné vodivosti textilie

Bylo měřeno na přístroji Thermal Conductivity Analyzer TCI, více o stroji viz. kapitola 6.4

V tomto případě je měřena tepelná vodivost ($W/m\cdot K$) a tepelná jímavost ($W\cdot m\cdot s^2/m^2\cdot K$). Měřena i okolní teplota, která byla $19,7\text{ }^\circ\text{C}$.

Postup měření

Teplota musí být více než $2\text{ }^\circ\text{C}$, na každém materiálu měřeno 5 míst, na kterém se naměřily 3 hodnoty.

Určený proud je aplikován na topné těleso senzorů, které poskytují malé teplo. poskytnuté teplo má za následek teplotu prostoru na rozhraní mezi senzorem a vzorkem obvykle menší než $2\text{ }^\circ\text{C}$. Tato teplota na rozhraní vyvolá změnu poklesu napětí snímacího prvku. Rychlost zvýšení napětí snímače se používá pro stanovení termo-fyzikálních vlastností materiálu vzorku. Termo-fyzikální vlastnosti materiálu vzorku jsou nepřímo úměrné rychlosti zvýšení napětí snímače. Čím více tepelně izoluje materiál tím je strmější napětí prostoru. Výsledky jsou zobrazeny v systémovém přenosném počítači v reálném čase. Naměřené hodnoty vidíme na tabulce 3. a Tabulce. 4.

Tabulka 3 - tepelná jímavost

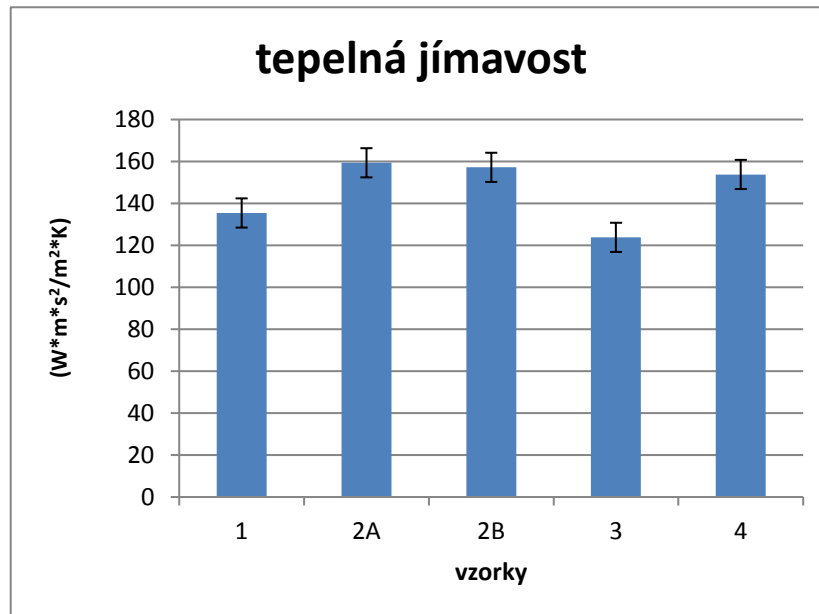
Měření	Tepelná jímavost ($W \cdot m \cdot s^2 / m^2 \cdot K$)				
	1	2A	2B	3	4
1	139,1	167	152,8	121,6	155,1
2	138	152,4	150,3	119,7	154,9
3	139,2	152,3	152,7	119,6	156,5
4	138,7	156,9	150	127,2	155,7
5	138,9	148,5	150,7	122,7	155
6	137,3	149,9	150,1	122,8	155,1
7	134,8	158,8	160,2	126,6	160,6
8	129,9	158,6	159,7	124,9	152,6
9	129	163,8	160,2	123,8	150,8
10	144,1	161,2	162,3	125,1	151,2
11	134,5	158,4	162,2	123,9	151,8
12	133,5	165,3	162,2	123,9	149,4
13	132,2	161,6	161,1	124	152,6
14	132,4	161,4	160,9	126,3	152,8
15	130,2	174,3	162,7	125,9	152,7
průměr ($W \cdot m \cdot s^2 / m^2 \cdot K$)	135,4	159,4	157,2	123,8	153,8
V (%)	3,2	4,3	3,3	1,9	1,8
95% IS	[133,3; 137,6]	[155,9; 162,9]	[154,6; 159,8]	[122,7; 124,9]	[152,4; 155,2]
$\sigma(W \cdot m \cdot s^2 / m^2 \cdot K)$	4,3	6,9	5,2	2,4	2,8

Tabulka 4- tepelná vodivost

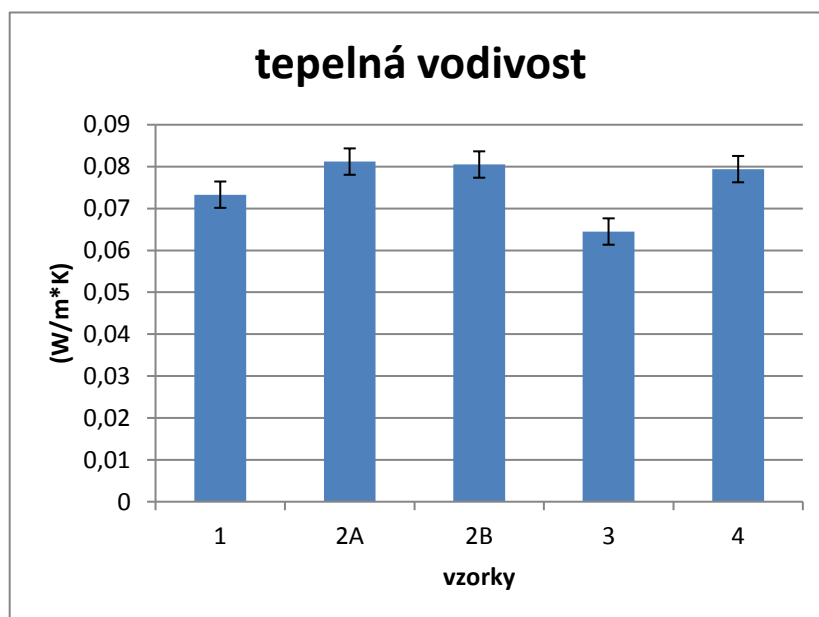
Měření	Tepelná vodivost (W/m•K)				
	1	2A	2B	3	4
1	0,075	0,084	0,079	0,069	0,08
2	0,074	0,079	0,078	0,068	0,08
3	0,075	0,079	0,079	0,068	0,08
4	0,074	0,08	0,078	0,07	0,08
5	0,074	0,077	0,078	0,069	0,08
6	0,074	0,078	0,078	0,069	0,08
7	0,073	0,086	0,081	0,07	0,082
8	0,072	0,081	0,081	0,07	0,079
9	0,071	0,081	0,081	0,069	0,078
10	0,076	0,083	0,082	0,07	0,079
11	0,073	0,082	0,082	0,07	0,079
2	0,073	0,081	0,082	0,07	0,078
13	0,072	0,083	0,082	0,07	0,079
14	0,072	0,082	0,082	0,07	0,079
15	0,072	0,082	0,082	0,07	0,079
průměr(W/m•K)	0,073	0,081	0,080	0,065	0,079
V (%)	1,900	3,200	2,250	1,100	1,100
95% IS	[0,072; 0,074]	[0,079; 0,082]	[0,079; 0,081]	[0,064; 0,065]	[0,078; 0,080]
σ (W/m•K)	0,0014	0,0026	0,0018	0,0007	0,0009

Vyhodnocení výsledků tepelné vodivosti textilie

Parametry, které byly měřeny jsou tepelná vodivost, neboli schopnost daného materiálu vést teplo, tedy rychlost s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté plochy na jinou chladnější. A tepelná jímavost textilie, tedy schopnost materiálu s danou vlhkostí akumulovat teplo a opět ho postupně uvolňovat.



Obrázek 18-graf- tepelné vodivosti



Obrázek 19-graf - tepelné jímavosti

Z grafů na obrázcích 18. a 19. jde vidět, že hodnoty vyšli v obou případech u všech materiálů stejně. Tepelná vodivost se pohybovala v rozmezí 0,065 až 0,081 (W/m•K) a tepelná jímavost v rozmezí 123,8 až 159,4 (W•m•s²/m²•K).

U Materiálů 2A, 2B a 4 jsou hodnoty srovnatelné tedy nejvyšší. Materiál 1 se liší jen nevýznamně, jediný Materiál 3 má menší tepelnou jímavost i tepelnou vodivost. Správnost naměřených hodnot je potvrzena statistickými hodnotami v tabulce 3. A Tabulce 4.

8.3 Test regulace a transportu vlhkosti

Byla měřena schopnost textilie transportovat a regulovat vlhkost, řídí se normami ISO 2528, ISO 12572, EN 1931 měřeno pomocí přístroje MMT.

Měřeno od každého materiálu 3 vzorky, kromě materiálu číslo 2. Kde jsme měřili zvlášť ještě šedý bok 2B. Vzorky velikosti 9x9, byly 24h klimatizovány.

Postup měření

Vzorek byl položen na snímače rubní stranou, nejprve byla odebrána voda, vlhkost od posledního měření. Potom byla zavřena čelist, aby byl vzorek měřen z obou stran, uzavrou se dvířka stroje. Celý proces je zaznamenán v programu v počítači. Po dokončení měření je vyjmut vzorek, osušen a vložen nový. Pouhým okem můžeme vidět, kde se vzorek promočil. V našem případě se voda držela v mírné elipse u všech vzorků.

Přístroj MMT měří horní a spodní čidla zvlášť, kde horní strana přichází do kontaktu s kůží rubní strana a spodní je vystavena klimatickým podmínkám lící strana, proto můžeme porovnávat i tyto měření odděleně, savost i navlhčení, společně pak schopnost jednosměrného přesunu kapaliny na látce a celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie OMMC. Tyto hodnoty se dají určit podle bodovacího systému. Průměrné výsledky vidíme na Tabulkách 5 - 10.

Tabulka 5-hodnoty navlhavosti

Vzorky	Doba navlhčení (s)	
	Horní	Spodní
1	4	3,83
2A	3,5	2,83
2B	3,17	3,17
3	2,5	3,5
4	2,5	3,67

Tabulka 6-hodnoty savosti

Vzorky	Savost (%/s)	
	horní	spodní
1	2,5	2,3
2A	1,67	3
2B	1,5	3,5
3	1,83	2,3
4	1,3	2,67

Tabulka 7-max.radius

Vzorky	Max. radius navlhčením	
	Horní	Spodní
1	4	4
2A	3	2
2B	2	2
3	3	3
4	3,3	3,3

Tabulka 8- rychlost šíření kapaliny

Vzorky	Rychlost šíření kapaliny (mm/s)	
	Horní	Spodní
1	3,67	3,3
2A	1,3	1
2B	1	1
3	1	1,3
4	1	1,5

Tabulka 9-přesun kapaliny

Vzorky	Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny
1	3,3
2A	1,3
2B	2,83
3	3,87
4	4,17

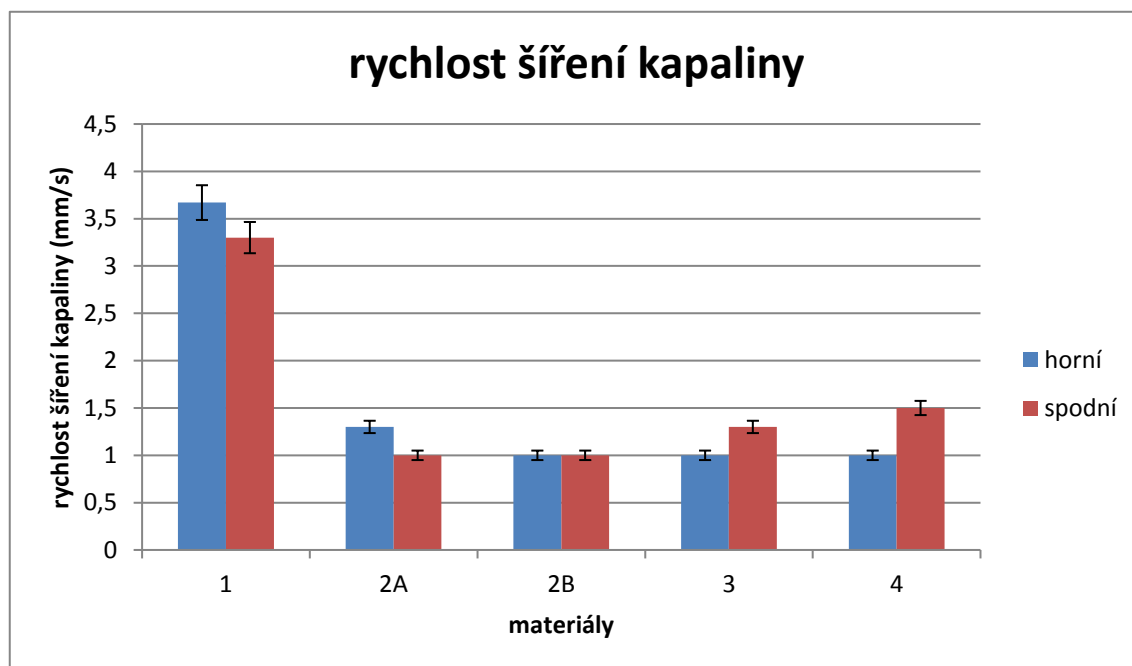
Tabulka 10-OMMC

Vzorky	OMMC
1	3
2A	1
2B	2,17
3	2,5
4	3

Vyhodnocení výsledků regulace a transportu vlhkosti

Rychlost šíření kapaliny

Během měření byla zjišťována rychlost šíření roztoku na horní a spodní straně. Hodnocení rychlosti šíření kapaliny znázorňuje graf na Obrázku. 20.

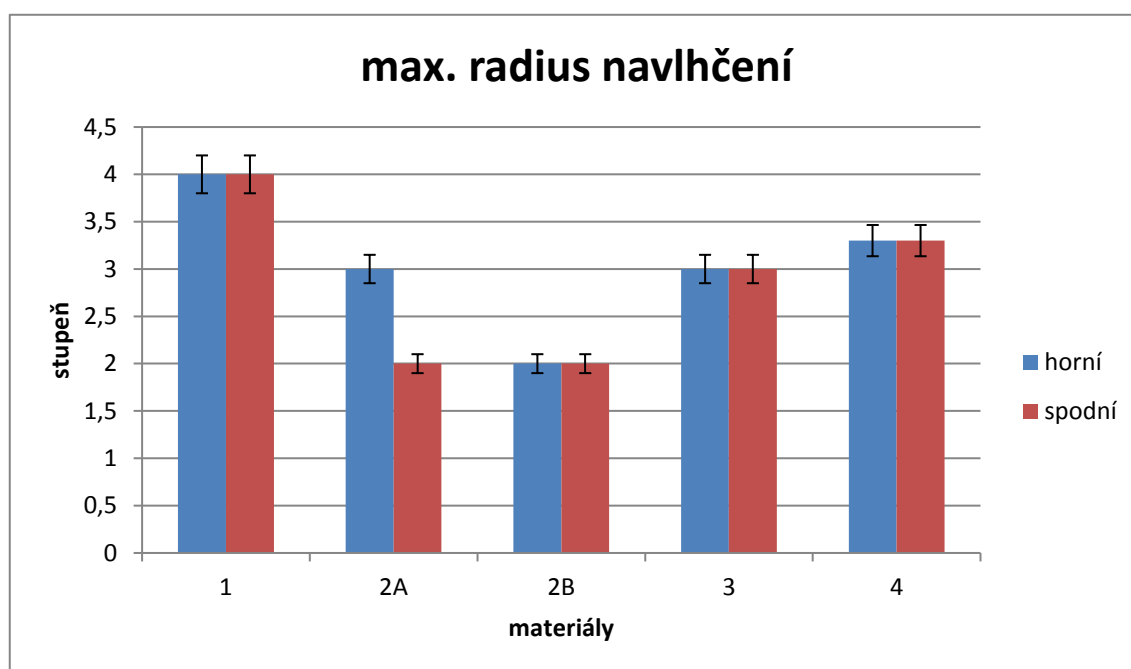


Obrázek 20-graf rychlost šíření kapaliny

Nejnižší hodnotu, tzn. Velmi pomalou rychlost šíření kapaliny textilií, vykazuje na obou stranách materiál 2A, což znamená, že textilie dostatečně neabsorbovala roztok do své struktury. U materiálu 3 a 4 se na horní straně (rub) kapalina šíří velmi pomalu a na spodní (líc) pomalu a u materiálu 2A je efekt opačný velmi pomalu se šíří na spodní straně a pomalu na straně horní, tedy stejně jako u materiálu 2A to znamená, že se kapalina také dostatečně neabsorbovala do struktury. Pouze u materiálu 1 se roztok šířil rychle na obou stranách. U tohoto vzorku byla zjištěna největší hustota pleteniny, což je možnou příčinou rychlejšího šíření roztoku.

Maximální rádius navlhčení

Stupeň hodnocení maximálního rádiusu navlhčení na horní (rub) a spodní (líc) straně vzorků byl dalším měřeným parametrem. Výsledky jsou zobrazeny v grafu na Obrázku. 21. Grafické zobrazení najdeme v příloze C.



Obrázek 21-graf max.radius navlhčení

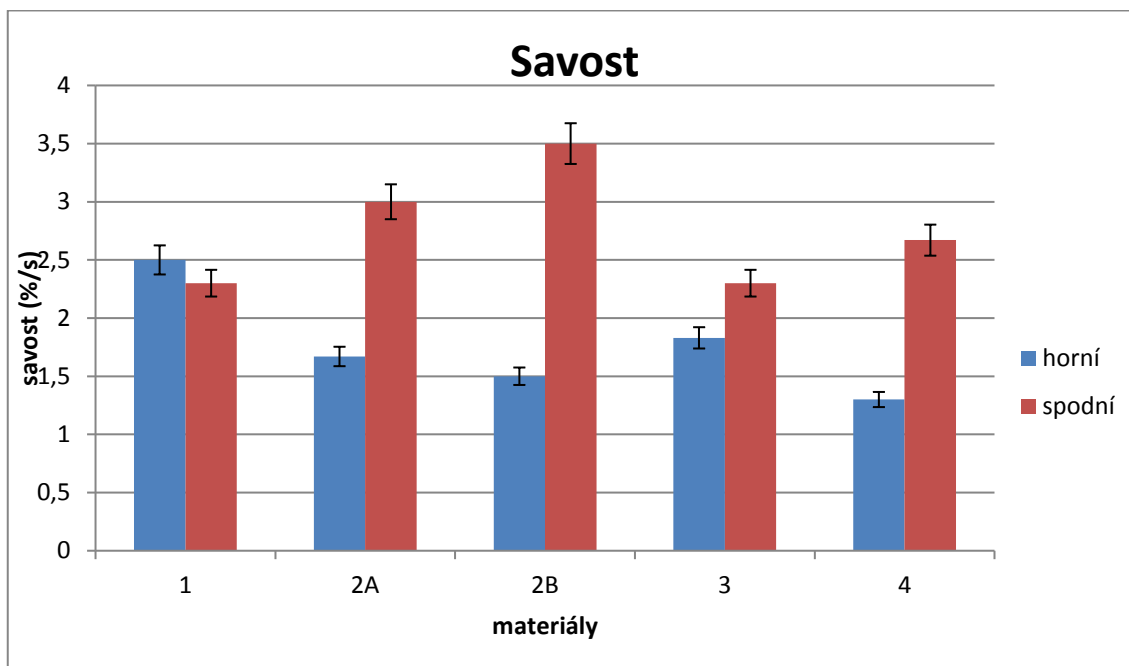
Nejnižší stupeň, který znamená žádné navlhčení nebyl zjištěn u žádného materiálu. Ale materiál 2B má stupeň malé navlhčení, což znamená, že textilie roztok do své struktury absorbovala minimálně.

Střední rádius navlhčení mají materiály 2a, 3 a 4. U materiálu 3 a 4 dochází k šíření kapaliny na obou stranách rovnoměrně.

Největší plochu navlhčení vykazuje materiál 1, tedy stupeň rychlé. Také rovnoměrně na obou stranách.

Savost

Také byla sledována savost materiálu na horní (rub) a spodní (líc). Výsledné hodnocení savosti je zobrazeno v grafu viz Obrázek. 22.



Obrázek 22-graf savost

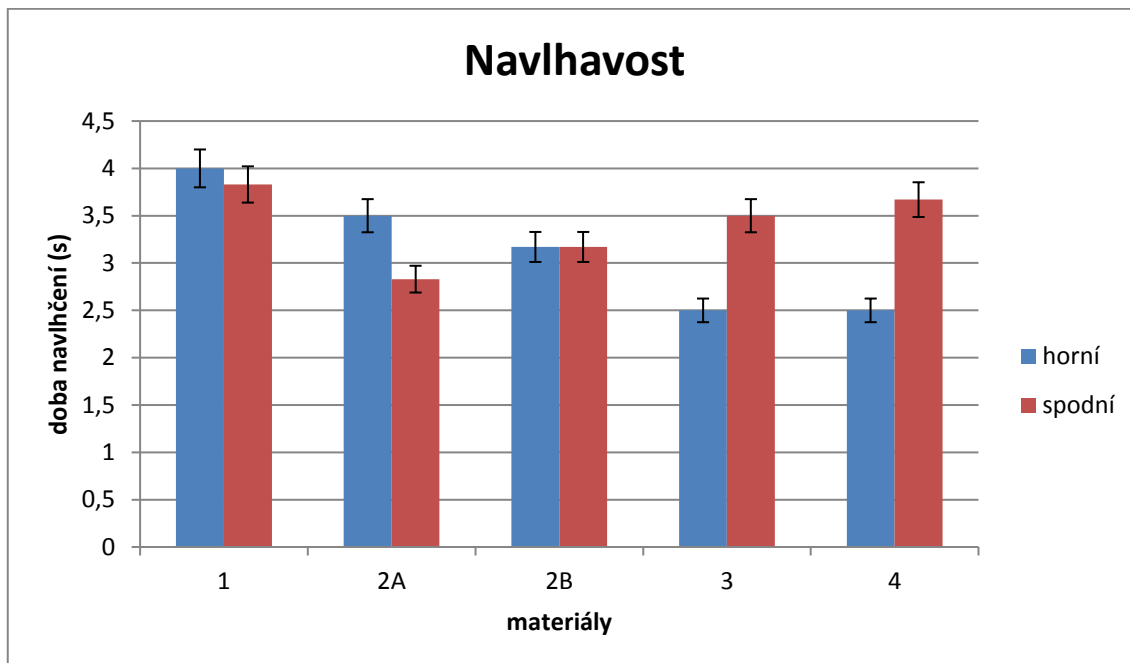
Z grafu je zřejmé, že savost jednotlivých materiálů na spodní straně (líc) je velmi rozdílná. Hodnoty se pohybují okolo hranice střední, za to horní strana (rub) se pohybuje v rozmezí velmi pomalá – pomalá.

Jenom u Materiálu 1 došlo k opačnému efektu, zde materiál vykazuje nižší stupeň savosti na horní straně, i tak jsou ale obě strany v hodnotách pomalá. Tedy jediný materiál který má skoro stejné hodnoty jak na horní tak spodní straně.

Nejmenší savost vykazuje Materiál 4 horní strana, tedy nejhorší protože vlhkost zůstává na rubní straně, tedy v kontaktu s pokožkou. Naopak nejvyšší hodnotu průměrně v rozmezí střední – rychlá, je Materiál 2B jeho spodní strana, tedy líc. Kde je tedy lepší absorpce vlhkosti a díky tomu zůstává sušší horní strana (rub), která je v kontaktu s pokožkou.

Doba navlhčení

Další zjišťovaná hodnota byla doba navlhčení na horní (rub) a spodní (líc) straně textilie. Výsledky jsou zobrazeny v grafu na Obrázku. 23.



Obrázek 23 graf-doba navlhčení

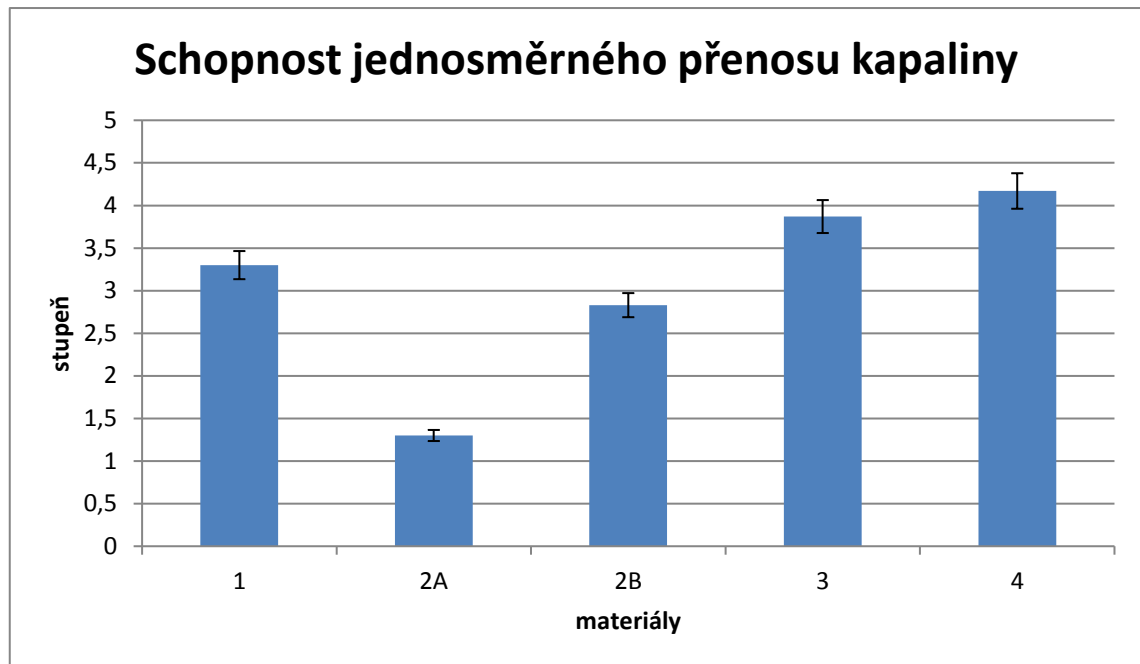
Z grafu je patrné, že doba navlhčení na obou stranách všech materiálů se pohybuje v rozmezí pomalé – rychlé. Nejvyšší stupeň na obou stranách vykazuje Materiál 1, tedy nejrychlejší doba navlhčení, u tohoto materiálu došlo k rychlému proniknutí kapaliny z rubu na líc.

Dále je z grafu viditelné že Materiály 3 a 4 mají dobu navlhčení na spodní straně (líc) vyšší než na horní straně (rub). Doba navlhčení na spodní straně je střední. Jediný Materiál 2B má stejné hodnoty na obou stranách v hodnotách střední.

Naopak u Materiálu 1 a 2A mají dobu navlhčení vyšší na horní straně v rozmezí střední – rychlé. Žádný materiál ale nemá extrémní výkyvy hodnot.

Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny

Další parametr, který byl sledován, ukazuje schopnost odvádět vlhkost z jedné strany textilie na druhou. Stupeň schopnosti jednosměrného přenosu kapaliny jsou zobrazeny na Obrázku. 24.



Obrázek 24-graf schopnost jednosměrného přenosu kapaliny

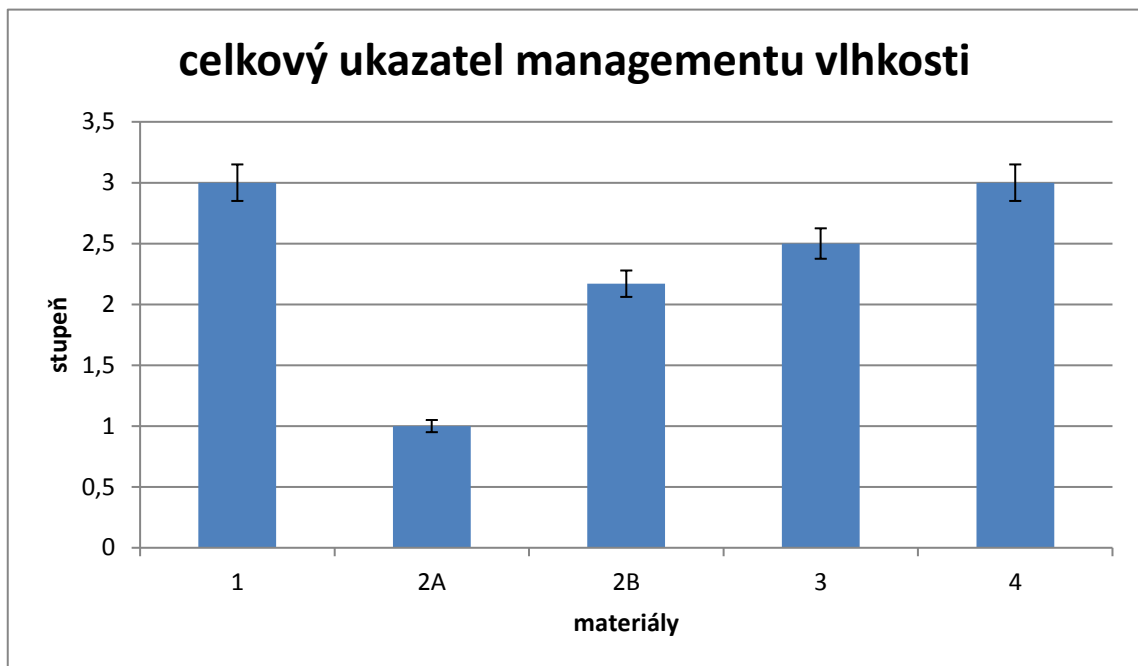
U všech materiálů došlo k přenosu vlhkosti mezi horní a dolní stranou textilie. V grafu na Obrázku. 24. Jde vidět, že Materiál 3 a 4 vykazují velmi dobrou schopnost šíření, což znamená, že materiál 3 a hlavně Materiál 4 se kapalina aplikovaná na horní stranu (rub) přenáší na povrch spodní strany (líc) lépe než u ostatních testovaných materiálů. Za to materiál 2A má opačné hodnoty tedy velmi slabá, kapalina se z horní strany (rub) přenáší na povrch spodní strany (líc) hůře než u ostatních materiálů.

Střední hodnoty, tedy dobrá vykazuje materiál 1 a 2B, mají tedy průměrnou absorpci kapaliny do materiálu.

Celkový ukazatel managementu vlhkosti

Posledním měřeným parametrem je celkový ukazatel managementu vlhkosti. Ten vyjadřuje celkovou schopnost materiálu rozvádět absorbovanou vlhkost. Vychází

z hodnot parametrů: savost spodní stranou, schopnost jednosměrného přenosu vlhkosti a rychlosti šíření kapaliny spodní stranou textilie.



Obrázek 25- graf-OMMC

Nejlépe dopadly Materiály 1 a 4, u kterých je celkový managementu vlhkosti charakterizován jako dobrý. Což není zrovna nejlepší výsledek, je ovšem nejlepší z naměřených hodnot. Nejhorše dopadl Materiál 2A který lze charakterizovat stupněm velmi slabý.

V následující tabulce 12, je znázorněno hodnocení dle stupňů.

Tabulka 11-stupnice hodnocení

Index \ Stupeň		1	2	3	4	5
Doba navlhčení (s)	horní i spodní strana	>=120	20-119	5-19	3-5	<3
		Žádné navlhčení	pomalé	střední	Rychlé	Velmi rychlé
Savost (%/s)	Horní i spodní strana	0~10	10~30	30~50	50~100	>100
		Velmi pomalé	pomalé	střední	rychlé	Velmi rychlé
Maximální rádius navlhčení	Horní i dolní strana	0~7	7~12	12~17	17~22	>22
		Žádné navlhčení	Pomalé	střední	rychlé	Velmi rychlé
Rychlost šíření kapaliny (mm/s)	Horní i dolní strana	0~1	1~2	2~3	3~4	>4
		Velmi pomalé	pomalé	střední	rychlé	Velmi rychlé
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		<-50	-50~100	100~200	200~400	>400
		Velmi slabá	slabá	dobrá	Velmi dobrá	Výborný
OMMC		0~0,2	0,2~0,04	0,4~0,6	0,6~0,8	>0,8
		Velmi slabá	slabá	dobrá	Velmi dobrá	Výborný

8.4 Test hodnocení výparného odporu R_{et}

Podle normy ČSN EN ISO 11092 Vyjadřuje odpor, který klade materiál průchodu vodních par, měřeno na přístroji Sweating guarded hotplane, více o stroji vis 6.2 *propustnost vodních par*.

Byly použity dva vzorky od každého materiálu 31x31 cm, každé měření trvalo 30 minut, za teploty 35 °C a vlhkosti 40%

Postup měření

Zkušební vzorek se umístil na elektricky vyhřívanou desku, přičemž klimatizovaný vzduch proudí napříč a rovnoběžně s jeho povrchem. Pro zjištění výparného odporu se vyzhřívající porézní deska zakryje membránou, která je propustná pro vodní páry, ale nepropustná pro vodu. Voda přiváděná k vyhřívané desce se vypařuje a ve formě páry prochází membránou, přičemž zkušební vzorek nepřijde do styku s vodou.

Vzorec:

$$R_{et} = \frac{(p_m - p_a) \cdot A}{H - \Delta H_e} - R_{et0} \quad (4)$$

R_{et} - výparný odpor [m^2Pa/W]

p_a - parciální tlak vodních par ve vzduchu [Pa]

p_m - parciální tlak nasycených vodních par [Pa]

ΔH_e - opravný faktor výhřevnosti pro R_{et}

H - výhřevnost dodávaná měřicí jednotce [Watt]

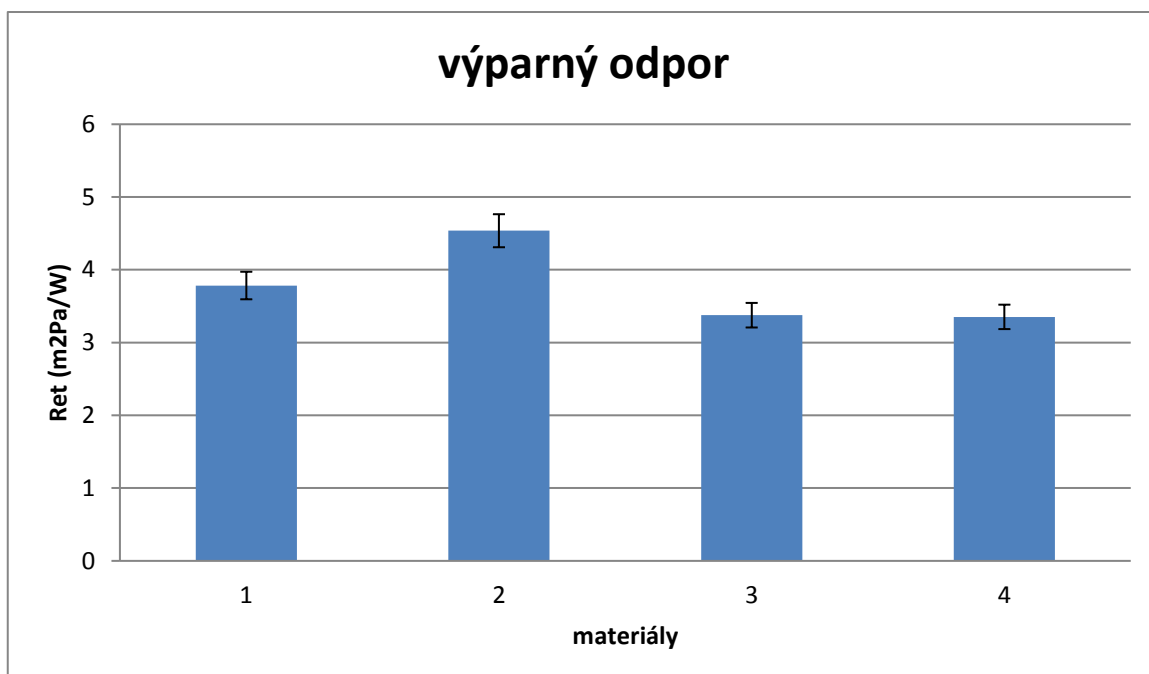
R_{et0} - konstanta přístroje, určená na 4,77 [m^2Pa/W]

Tabulka-12 naměřené hodnoty výparný odpor

Vzorky	Výparný odpor (m ² Pa/W)			
	1	2	3	4
R _{et} (m ² Pa/W)	3,784	4,537	3,376	3,535

Vyhodnocení výsledků výparného odporu

Byl měřen výparný odpor R_{et} vyjadřuje odpor, který klade materiál průchodu vodních par. Výsledky jsou zobrazeny v grafu na Obrázku .27.



Obrázek 26-graf výparný odpor

Z grafu je zřejmé, že všechny materiály mají podobné hodnoty, Materiály 3 a 4 mají hodnoty nejmenší tedy nejlepší, neboť čím je hodnota menší tím má materiál lepší paropropustnost. Nejhorší, tedy největší hodnotu má Materiál 2, je to jediný dvouvrstvý materiál, je tedy možné, že jsou tím zapříčiněny vyšší naměřené hodnoty.

8.5 Test odolnosti vůči plamenu

Podle normy ČSN EN ISO 15025, M233B – shirley flammability tester tento přístroj měří hořlavost

Byli použity vzorky 20x17 cm, od každého materiálu měřeny 3 vzorky, z toho dva zapálení povrchu a jeden zapálením spodní hrany.

Teplota může být mezi 10 °C až 30 °C, relativní vlhkost mezi 15 % a 80%, proudění vzduchu méně než 0,2 m/s.

Jako plyn byl použit propan.

Postup měření

Do držáků o potřebných rozměrech byly připevněny vzorky, tato konstrukce byla vložena do rámu, poté nastavena vzdálenost a výška hořáku. Definovaný plamen ze specifikovaného hořáku působí 10 s na plochu nebo na spodní hranu textilních zkušebních vzorků umístěných ve svislé poloze.

Nebyl použit filtrační papír, jinak je umístěn pod nástavcem.

Odpovědi na otázky zvolené podle normy jsou zobrazeny v tabulce 13. Kde je ukázáno, jak a jestli materiál hořel, zda odpadávali částičky a zda se v materiálu objevila díra.

Tabulka 13- výsledky hořlavosti

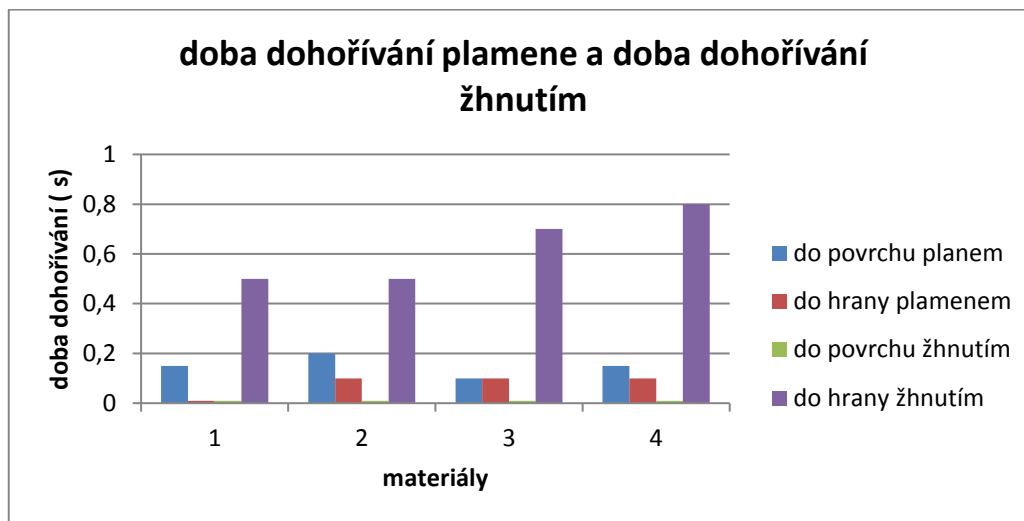
Hodnocení	1		2		3		4	
	do povr.	do hr.	do povr.	do hr.	do povr.	do hr.	do povr.	do hr.
Zapálení horní hranice, nebo svislé hrany	N	N	N	N	N	N	N	N
Doba dohořívání plamene	0,15	0	0,20	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10
Rozšíření doh. Plamene mimo oblast	N	N	N	N	N	N	N	N
Doba dohořívání žhnutím	0	0,5	0	0,5	0	0,7	0	0,8
Výskyt odpadlé částice	N	N	N	N	N	N	N	N
Opadlé části zapálí filtrační papír	N	N	N	N	N	N	N	N
Zda se objeví díra	N	N	N	N	N	N	N	N

Vyhodnocení výsledků odolnosti proti plamenu

Z Tabulky 13. Můžeme vidět, že všechny materiály dopadly dobře a odpověď na otázku byla NE. Můžeme tedy říct, že je potvrzené, že měřené materiály jsou nehořlavé, za daných podmínek. Fotografie najdeme v příloze A a B.

V číselných hodnotách zde byla naměřena jako parametr doba dohoříváním plamene, tedy za jakou dobu dohořel plamen po odstavení hořáku. Po uplynutí 10

sekund. A druhým parametrem je doba dohořívání žhnutí, tedy zda se vytvořili žhnoucí kusy a v jaké době vyhasli. Výsledky jsou znázorněny v grafu na Obrázku 27.



Obrázek 27-doba dohořívání plamene a žhnutí

Na grafu na Obrázku. 27. vidíme, že co se týče doby dohořívání žhnutí, do povrchu jsou časy nulové, tedy žádné žhnutí u žádného materiálu nenastává, v případě do hrany se žhnutí ukázalo ale jen velice krátké, přiměřené na oděvy se sníženou hořlavostí. U doby dohořívání plamene je u všech materiálů doba do hrany vždy stejná nebo menší než do povrchu. Obě doby jsou ale velice krátké, okolo 0,1 s.

8.6 Test odolnosti proti sálavému teplu

podle normy ISO 6942

měří se na přístroji X637B protective clothing equipment.

Byli použity 3 vzorky od každého materiálu, pomocí metody B, jejíž podstata je zachycena v postupu měření, kde se použila hustota tepelného toku 10 Kw/m^2 a vzdálenost 36,1 cm.

Postup měření

Zkušební vzorek je upevněn k volně stojící konstrukci (držáku vzorku) a vystaven určité úrovni sálání (tepla). Doby potřebné k dosažení nárůstu teploty v kalorimetru o 12 °C a 24 °C se zaznamenají a vyjádří jako indexy přestupu sálavého tepla. Procentní součinitel prostupu tepla se spočítá z údajů o nárůstu teploty a zaznamená se. Výsledné hodnoty vidíme v tabulce 14.

Použité vzorce:

Kalibrace

$$Q_0 = \frac{M \cdot C_p \cdot R}{A \cdot \alpha} \quad (5)$$

$$Q_0 = 9,859 \text{ kW/m}^2$$

$$R = 1,6 \text{ }^\circ\text{C/s}$$

Hustota tepelného toku Q_{c1} v kW/m^2

$$Q_c = \frac{M \cdot C_p \cdot 12}{A \cdot (t_{24} - t_{12})} \quad (6)$$

Součinitel prostupu tepla TF

$$TF_{(Q_0)} = \frac{Q_c}{Q_0} \quad (7)$$

Kde:

M - hmotnost měděné destičky [kg]

C_p - měrné teplo mědi 0,385 [kJ/kg $^\circ\text{C}$]

$12/(t_{24} - t_{12})$ - průměrná míra nárůstu teploty kalorimetru [$^\circ\text{C/s}$]

t_{12} - teplota vzrostlá o 12 $^\circ\text{C}$

t_{24} - doba potřebná k navýšení o 24 $^\circ\text{C}$

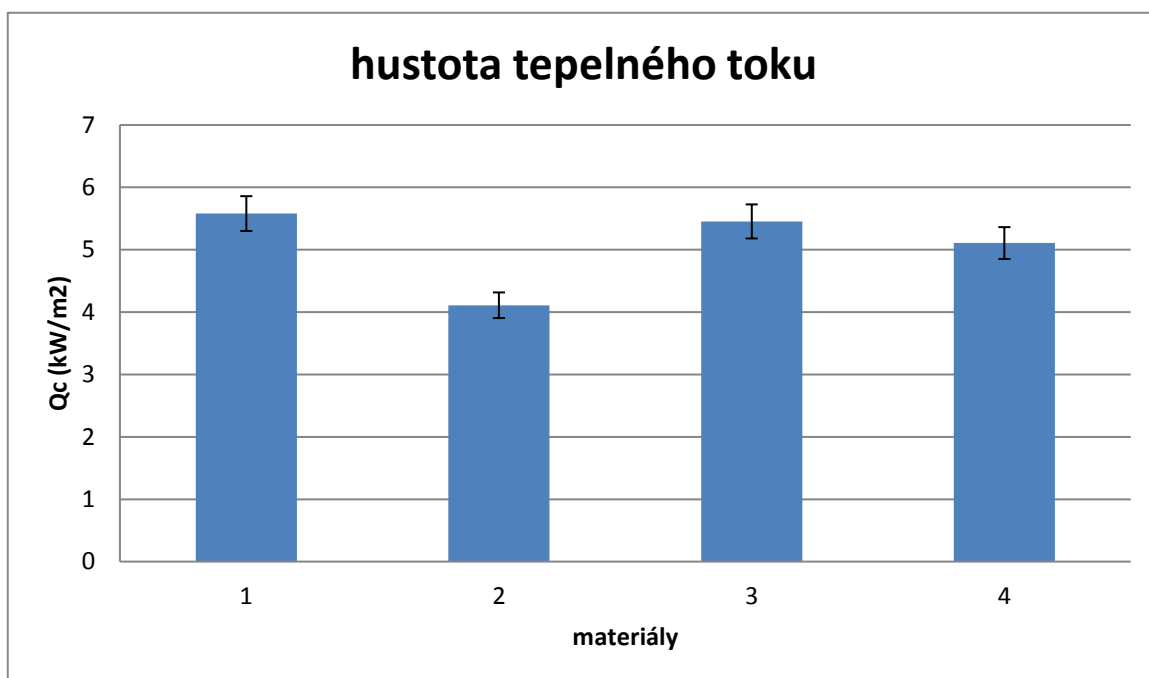
TF-součinitel proudu tepla

Tabulka 14-vypočítané hodnoty Q_c a TF

Hodnoty	1	2	3	4
t_{12} (s)	12,87	16,10	13,77	14,7
t_{24} (s)	24,60	32,33	25,97	27,73
Q_c (kW/m ²)	5,58	4,11	5,454	5,107
TF	0,58	0,415	0,553	0,518

Vyhodnocení výsledků odolnosti vůči sálavému teplu

Měřeným parametrem je hustota tepelného toku Q_c (kW/m²) množství energie které propustí materiál skrze textílii. Hodnoty jsou zobrazeny v grafu na Obrázku. 28.

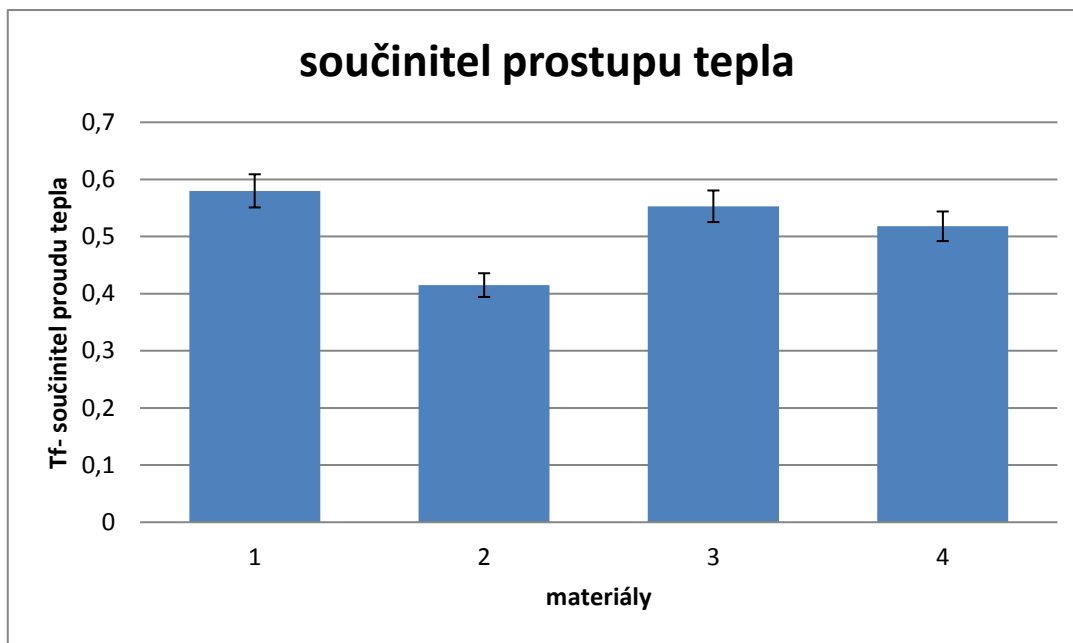


Obrázek 28-hustota tepelného toku

Na grafu můžeme vidět, že Materiál 1, 3 a 4 mají hodnoty nad 5 (kW/m²), jediný Materiál 2 má hodnotu lehce nad 4 (kW/m²), je to tedy jen malý rozdíl.

Součinitel prostupu tepla

Druhým naměřeným parametrem je součinitel prostupu tepla TF, což je hodnota poměru prostupujícího tepla materiálem, který je vystaven zdroji sálavého tepla. Výsledky jsou zobrazeny v grafu na Obrázku. 29.



Obrázek 29-součinitel prostupu tepla

Z grafu se dá usoudit, že stejně jako u hustoty tepelného toku mají hodnoty značně vyrovnané. Materiály 1, 3 a 4 jsou nad hranicí 0,5. Jediný Materiál 2 má hodnotu menší nad 0,4.

8.7 Hodnocení výparného odporu

Podle normy JIS L 1099, měřeno na přístroji FX 3180 cup master kde jsme použili metodu A-2.

Byly použity od každého materiálu tři vzorky, jde o hodnocení stejné vlastnosti výparného odporu, jako na hot plane, proto nebylo použito více vzorků.

Na každou misku bylo použito přesně 42 ml vody, rychlost vzduchu 0,8 m/s, vlhkost vzduchu 50% a teplota 40 °C.

Postup měření

Do každé misky byla dána voda a vzorek, který je připevněný víčkem, najednou mohou být měřeny maximálně 12 vzorků, proto mi vystačilo od každého materiálu tři zkušební vzorky. Všechny najednou se vloží do přístroje a každý zvlášť se měří po určitých sekcích. Výsledky se ukládají přímo v přístroji a pak pomocí počítače přenášíme do pdf souboru. Naměřené hodnoty vidíme v Tabulce 15.

Použitý vzorec:

$$P_{A2} = \frac{a_3 - a_4}{S_{A2}} \quad (8)$$

Kde:

P_{A2} - propustnost vodní páry [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]

$a_3 - a_4$ - změna hmotnosti zkušební sestavy za hodinu [g/h]

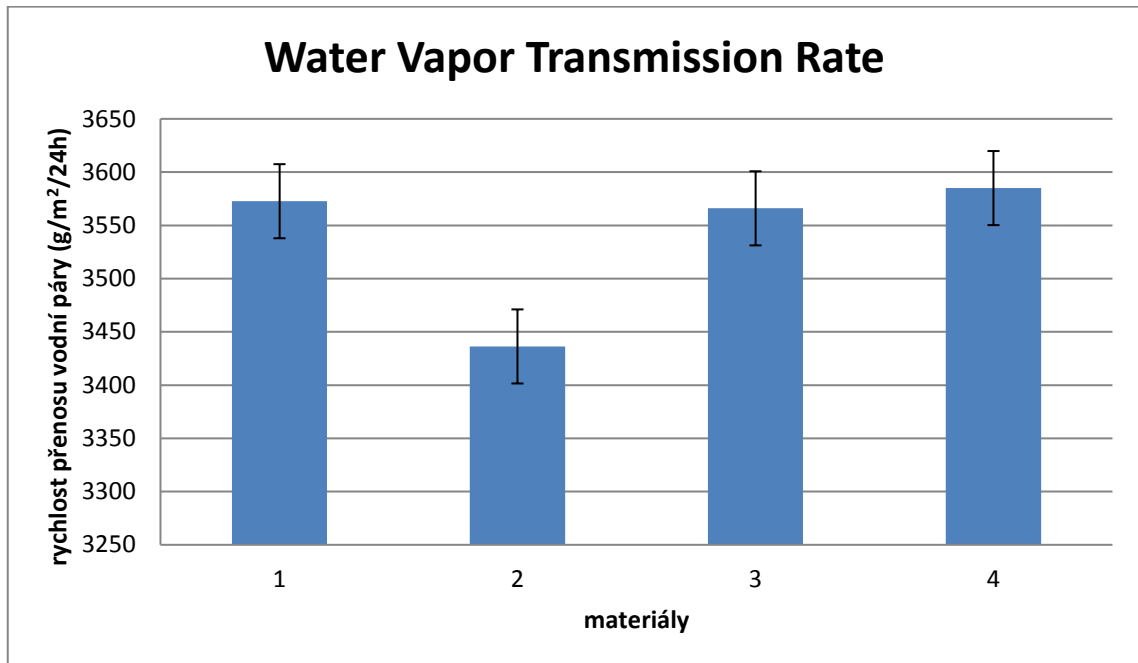
S_{A2} - měřená plocha [m^2]

Tabulka 15-výsledky WVTR ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$)

Materiál	WVTR ($\text{g}/\text{m}^2/24\text{h}$)			
	1	2	3	4
A	3524	3492	3489	3679
B	3589	3340	3527	3288
C	3605	3477	3682	3788
průměr	3572,67	3436,3	3566	3585

Vyhodnocení výsledků výparného odporu

Měřeným parametrem byla rychlost přenosu vodní páry, měřená v hodnotách ($\text{g}/\text{m}^2/24\text{h}$). Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v grafu na Obrázku .30.



Obrázek 30- Water Vapor Transmission Rate

Z grafu na Obrázku. 30. Jde vidět, že Materiály 1, 3 a 4 mají téměř stejné všechny hodnoty tedy nad $3550 \text{ (g}/\text{m}^2/24\text{h)}$. Materiál 2 má sníženou hodnotu, jediný dvouvrstvý materiál, což je možnou příčinou menší naměřené hodnoty.

Tento výparný odpor potvrzuje výparný odpor měřený na přstroji sweating guarded hotplane.

Diskuze výsledků

V předchozím průzkumu byly k měření výparného odporu, odolnosti vůči plamenu, odolnosti vůči sálavému teplu, transportu a regulaci vlhkosti, tepelné vodivosti a prodyšnosti použity varianty komerčně dostupných oděvních materiálů.

U prodyšnosti vykazovali nejvyšší hodnoty materiály 2A a 3, které jsou velice prodyšné, oba materiály obsahují viskózní vlákna. Je tedy možné, že je to jedna z příčin větší prodyšnosti. Naproti tomu materiál 4, byl výrazně v nižších hodnotách, na pleteninu výrazně neprodyšný.

Z hlediska tepelné vodivosti a tepelné jímavosti byly v horních hodnotách materiály 2A, 2B a 4. Malý rozdíl byl u materiálu 1. A nejnižší materiál 4, lze ale říci že všechny materiály vykazují dobrou vodivost i jímavost.

Regulace a transport vlhkosti měřený na přístroji MMT, byly hodnoceny několika aspekty, kde se u materiálů dostávalo výsledků na celé škále stupňů, z celkového šíření kapaliny lze ale říci, že materiály 3 a 4, vykazují velmi dobrou schopnost šíření roztoku horní strany na spodní stranu. Ve středních hodnotách vyšli materiály 1 a 2B, nejhorší schopnost šíření kapaliny ukazuje materiál 2A. U celkového ukazatele managementu vlhkosti vykazovaly nejlepší hodnoty materiály 1 a 4, i tak pouze ve stupni hodnocení dobrý, tedy ne úplně nejlepší výsledek. Nejhuře dopadl materiál 2A s hodnotícím stupněm velmi slabá.

U výparného odporu měřeného pomocí dvou přístrojů, se ukázalo, že nejhorší paropropustnost má materiál 2, je možné, že je to zapříčiněno tím, že jako jediný je dvouvrstvá oboustranná pletenina. Všechny ostatní materiály mají podobné, téměř shodné výsledky.

Z hlediska hořlavosti, tedy odolnosti vůči plameni, se prokázalo, že všechny materiály jsou nehořlavé, jejich dohořívání bylo v podstatě okamžité, netvořili se odpadlé částice ani nedošlo k hoření horní hrany. Pouze u zkoušky - vystavení plamene do hrany materiálu byla doba dohořívání žhnutím krátká. Doba dohořívání byla největší u materiálu 4, zde byla naměřena na 0,8 s.

Poslední parametr tedy odolnost vůči sálavému teplu, vyšla také u všech materiálu podobně, tedy dobře. Nedošlo k žádnému poškození materiálu, jak u hustoty

tepelného toku, tak u součinitele prostupu tepla. Nejlépe vyšel materiál 2 tedy velmi dobře, materiály byly při zvolené vzdálenosti vystaveny teplotě 205 °C.

Materiál 1 z metaaramidových/ viskóзовých vláken je po zhodnocení všech provedených testování dobře prodyšný, má lepší tepelnou vodivost i tepelnou jímavost. Stejně tak se řadí průměrně i u hodnocení regulace a transportu vlhkosti. Velice dobré hodnoty vykazuje u výparného odporu, odolnosti vůči plameni i sálavému teplu.

Materiál 2A z merino vlny/ viskóзовých vláken, nejlépe vyšel u hodnocení prodyšnosti, kde vyšel velice prodyšný, dále u tepelné vodivosti a tepelné jímavosti a u odolnosti vůči plameni, stejně jako u ostatních materiálů. Střední hodnoty vykazuje materiál u výparného odporu a nejlepší u odolnosti vůči sálavému teplu. Nejhorší hodnoty vykazuje tento materiál u regulace a transportu vlhkosti.

Materiál 2B byl hodnocen pouze u třech měřených parametrů, tedy prodyšnost, tepelná vodivost a tepelná jímavost, regulace a transport vlhkosti. V porovnání s ostatními materiály jako nejlepší vyšel u tepelné vodivosti, u zbylých parametrů je tento materiál hodnocený jako průměrný.

Materiál 3 z modakrylových vláken, má nejlepší hodnocení ze všech zkoušek oproti ostatním materiálům. Pouze u tepelné vodivosti byly výsledky horší. Materiál je velmi dobře odolný vůči plamene, sálavému teplu, dobře prodyšný, má na dobrém stupni regulaci vlhkosti i výparný odpor.

Materiál 4 z modakrylových/ bavlněných vláken má nejhorší výsledek u prodyšnosti, což je překvapivé, protože u všech jiných parametrů je na stupni nejlepší. Stejně jako materiál 3, má velmi dobrou odolnost vůči plamenu, sálavému teplu, výparnému odporu a regulaci a transport vlhkosti. Oproti materiálů 3, je ale i nejlepší u tepelné vodivosti a tepelné jímavosti.

9 Závěr

Cílem této práce byla analýza a hodnocení materiálů určených jako spodní vrstva pod ochranné kombinézy pro hasiče. U spodní vrstvy jsou speciální požadavky na komfort a odolnost vůči plamenu. Rešeršní část této práce byla zaměřena na jednotlivé vrstvy zášahového oděvu, na průzkum trhu cenově dostupných materiálů.

Experimentální část byla zaměřena na hodnocení těchto vybraných vlastností: propustnost vzduchu dle ČSN EN ISO9237, regulace a transport vlhkosti dle ČSN EN ISO 12572, výparný odpor ČSN EN ISO 11092, tepelná vodivost, odolnost vůči plamenu ČSN EN ISO 15025 a odolnost vůči sálavému teplu dle ČSN EN ISO 6942. Pro měření těchto vlastností bylo použito pět komerčně dostupných materiálů, u některých pouze čtyři dostupné materiály pod obchodním názvem: COMAZO, DEVOLD SPIRIT, PROKOP, PORTWEST.

Z dosažených výsledků vyplývá, že všechny testované materiály mají dobrou až výbornou odolnost vůči plamenu a odolnost vůči sálavému teplu. U těchto dvou testů se prokázali vlastnosti, které i dané materiály slibují. Z hlediska vybraných užitných vlastností tedy dopadli všechny materiály velmi dobře.

Z hlediska vybraných fyziologických vlastností, lze jako spodní vrstvu pro hasiče doporučit všechny vybrané materiály. Materiál PROKOP se jeví jako nejlepší možnost, protože dopadl ve všech zkouškách na vysoké úrovni. U materiálu DEVOLD SPIRIT určeného pro hasiče, byla prokázána nejlepší schopnost vůči sálavému teplu ale za to nejhorší regulace a transport vlhkosti u vzorku A i u vzorku B však byla také na úrovni dobrý. O materiálu DEVOLD SPIRIT se dá říct, že je prostřední variantou, stejně jako materiál COMAZO, který se ve všech zkouškách jevil jako průměrný, pouze u výparného odporu a zkoušky plamenem byl velmi dobrý. Materiál PORTWEST, kromě prodyšnosti, kde byl výrazně neprodyšný oproti ostatním materiálům, se také jeví jako nejlepší.

Zjištění subjektivního měření pomocí dotazníků přímo na hasičích a spojení testování s určitými typy ochranného hasičského oděvu, může být námětem pro další práci.

Použitá literatura

- [1] Young, Rich, Understanding Turnout Gear. In: fireapparatusmagazine.com [online]. 10.1.2010 [cit.28.11.2018]. Dostupné z:
<https://www.fireapparatusmagazine.com/articles/print/volume-15>
- [2] TVRDÁ, Pavlína. *Oděvy používané v extrémních podmínkách*. Liberec, 2006. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [3] bellinda.cz, k čemu slouží funkční prádlo [online] 19.1.2015 [cit.25.11.2018]. Dostupné z: <https://www.bellinda.cz/poradna/zeny/k-cemu-slouzi-funkcni-pradlo>
- [4] Newstar, Meta-aramid, vlastnosti produktu, In: tayho.com [online]. [cit.15.12.2018]. Dostupné z: <http://en.tayho.com.cn>
- [5] LEZING, pro ochranné oblečení In: www.lezingindustrial.com [online], [cit.12.01.2019] Dostupné z: <https://www.lenzingindustrial.com/AboutUs>
- [6] kilpi, merino vlna, In: kilpi.cz [online], [cit.26.01.2019]. Dostupné z: <http://www.kilpi.cz/cs/o-kilpi/siberium-kilpi/merino-wool>
- [7] DUFEK S. R. O., In: vystroje-vystroje.cz, [online], [cit.28.12.2018] Dostupné z: <https://www.vystroj-vyzbroj.cz/103-detail-zasahove-obleky-tricko-dr-comazo-nehorlave>
- [8] redakce požáry.cz, zásahový oděv firehorse [online] 10.03.2012 [cit.3.1.2019] Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/52901-zasahovy-odev-firehorse-pulrok-nezavisleho-testovani-primo-s-hasici/>
- [9] vochoc, s. r. o. In: goodpro.cz [online] [cit.03.01.2019] Dostupné z:
<http://www.goodpro.cz/detail-vyrobku.php?idVyrobku=4967>
- [10] vochoc, s. r. o., In: vochoc.cz [online], [cit.05.01.2019] Dostupné z:
<https://www.vochoc.cz/>
- [11] hasicskavyzbrojna [online], nehořlavé funkční spodní prádlo [cit. 05.01.2019] Dostupné z: <https://www.hasicskavyzbrojna.cz/nehorlave-funkcni-spodni-pradlo-comazo-spodky-dlouhe/d-477829/>
- [12] Sdlatlas, mmt [manuál]
- [13] Delljová, R.A., a kol.: Hygiena odívání : SNTL, 1984. Praha
- [14] ČSN EN ISO 13688 (832701) ochranné oděvy – obecné požadavky. Praha: úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [15] ČSN ISO 80 0831. Savost plošných textilií. Stanovení nasákavosti. Praha: úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.

- [16] ČSN EN ISO 14116. Ochranné oděvy-ochrana proti teplu a ohni-Materiály a sestavy materiálů s omezeným šířením plamene, Praha: úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,2008.
- [17] ČSN EN ISO 6941. Textilie-hořlavost-měření rychlosti šíření plamene u svisle umístěných zkušebních vzorků. Praha: úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,2004.
- [18] ČSN EN ISO 11612-Ochranné oděvy-oděvy na ochranu proti teplu a plameni, Praha: úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.2009
- [19] ČSN EN ISO 15025. Ochranné oděvy-ochrana proti teplu a ohni- omezené šíření plamene. Praha: úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,2003
- [20] textilní zkušební ústav [online].TZU [cit 07.01.2019]Dostupné z: <https://www.tzu.cz/>
- [21] clevertex,funkční triko prokop[online],[cit 10.1.2019]Dostupné z: <http://www.clevertex.cz/nehor-prokop-triko-dlouhy-rukav-detail-38>
- [22] Test Method for Measuring the Oxygen Index [online]. KUPDF, 2017-05-02 [cit. 2019-01-15]
- [23] e-konstrukter, [online],[cit 11.01.2019]Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/>
- [24] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [25] kilpi, vodní sloupec a prodyšnost 29.06.2016,[online],[cit13.01.2019] Dostupné z: <https://www.kilpi.cz/cs/aktualne/blog/vodni-sloupec-a-prodysnost>
- [26] tepelna-izolace, co je tepelná izolace[online],[cit 13.01.2019]Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/co-je-tepelna-vodivost.html>
- [27] Ka-po Maggie TangChi-wai Ka, In:sprinter.com/article, [online] 28.03.2017 [cit 05.02.2019]Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-017-1268>
- [28] McCarthy, Lee K ,In:spring.com/article,[online]12.11.2011[cit05.02.2019] Dostupné z:<https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-011-0248-3>
- [29] Hasičský záchranný sbor olomouckého kraje [prezentace] [cit 15.01.2019]
- [30] clevertex speciální, ochranný a funkční textil, legislativa HZS ČR: jaké podmínky musí nehořlavé prádlo splňovat ? [online],16.12.2015[cit 19.01.2019] Dostupné z: <http://www.clevertex.cz/magazin/legislativa-hzs-cr-jake-podminky-musi-nehorlave-pradlo-splnovat-detail-746>
- [31] laboratoře FT tul, Liberec,[online],[cit 20.01.2019]Dostupné z:

<http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-pro-testovani-nehorlavosti-textilnich-materialu>

[32] laboratoře FT tul, Liberec,[online],[cit 20.01.2019]Dostupné z:

<http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-fyziologickeho-komfortu-a-specialnich-mereni>

[33] bonsai advanced technologies[online], [cit22.01.2019]Dostupné z:

<https://www.bonsaiadvanced.com/en/producto/ciencia-de-materiales/tci-2/>

[34] sdatlas,[online],[cit 22.01.2019]Dostupné z:

<https://sdatlas.com/products/mmt-moisture-management-tester>

[35] cupmaster.brochure.pdf [brožura],[cit.22.01.2019]Dostupné z:

<https://dutest.co.za/wp-content/uploads/2018/07/FX-3180-CUPMASTER-Brochure.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1-tepelné vrstvy	13
Obrázek 2-hasičský oděv	13
Obrázek 3-triko Devold SPIRIT[9]	19
Obrázek 4-spodky Devold SPIRIT[9]	19
Obrázek 5-portwest[10]	20
Obrázek 6-triko DR Comazo[11]	21
Obrázek 7-spodky Comazo [11]	21
Obrázek 8-triko PROKOP[21].....	21
Obrázek 9-sweating guarded hotplate[32]	23
Obrázek 10-Test FX 3180 cup master[35]	23
Obrázek 11-SDL M 021 S[24].....	23
Obrázek 12- TCI [25]	24
Obrázek 13-tester MMT[26].....	25
Obrázek 14-shirley flammability tester[23]	26
Obrázek 15-hmv horizontal flammability tester[23]	26
Obrázek 16-hmv horizontal flammability tester[23]	27
Obrázek 17-průměr R	33
Obrázek 18-graf- tepelné vodivosti	37
Obrázek 19-graf - tepelné jímavosti	37
Obrázek 20-graf rychlost šíření kapaliny.....	40
Obrázek 21-graf max.radius navlhčení	41
Obrázek 22-graf savost	42
Obrázek 23graf-doba navlhčení	43
Obrázek 24-graf schopnost jednosměrného přenosu kapaliny	44
Obrázek 25- graf-OMMC	45
Obrázek 26-graf výparný odpor.....	48
Obrázek 27-doba dohořívání plamene a žhnutí	51
Obrázek 28-hustota tepelného toku	53
Obrázek 29-součinitel prostupu tepla	54
Obrázek 30- Water Vapor Transmission Rate	56

Seznam tabulek

Tabulka 1-použité materiály	30
Tabulka 2-statistické hodnoty k prodyšnosti a prodyšnost R	32
Tabulka 3 - tepelná jímavost.....	35
Tabulka 4- tepelná vodivost.....	36
Tabulka 5 - hodnoty navlhavosti	39
Tabulka 6 - hodnoty savosti.....	39
Tabulka 7 - maximální radius	39
Tabulka 8- rychlost šíření kapaliny	39
Tabulka 9 - přesun kapaliny.....	40
Tabulka 10-OMMC.....	40
Tabulka 12-stupnice hodnocení	46
Tabulka-13 naměřené hodnoty výparný odpor	48
Tabulka 13- výsledky hořlavosti.....	50
Tabulka 14-vypočítané hodnoty Qc a TF	53
Tabulka 15-výsledky WVTR (g/m ² /d)	55

Seznam vzorců

prodyšnost R (1).....	31
variační koeficient (2)	31
95% interval spolehlivosti (3).....	31
výparný odpor Ret (4).....	47
kalibrace hustoty tepelného toku (5).....	52
hustota tepelného toku(6).....	52
součinitel prostupu tepla (7)	52
propustnost vodní páry (8).....	55

Seznam příloh

- Příloha A: fotografie k hodnocení hořlavosti do plochy
- Příloha B: fotografie k hodnocení hořlavosti do hrany
- Příloha C: grafy přístroje MMT-maximální radius navlhčení
- Příloha D: vzorky testovaných materiálů

Příloha A: fotografie k hodnocení hořlavosti do plochy



Materiál 1- vzplanutí



materiál 1- dohoření



Materiál 2- vzplanutí



materiál 2- dohoření



Materiál 3- vzplanutí



Materiál 3- dohoření



Materiál 4- vzplanutí



Materiál 4- dohoření

Příloha B: fotografie k hodnocení hořlavosti do hrany



Materiál 1- vzplanutí



Materiál 1- dohoření



Materiál 2- vzplanutí



Materiál 2- dohoření



Materiál 3- vzplanutí



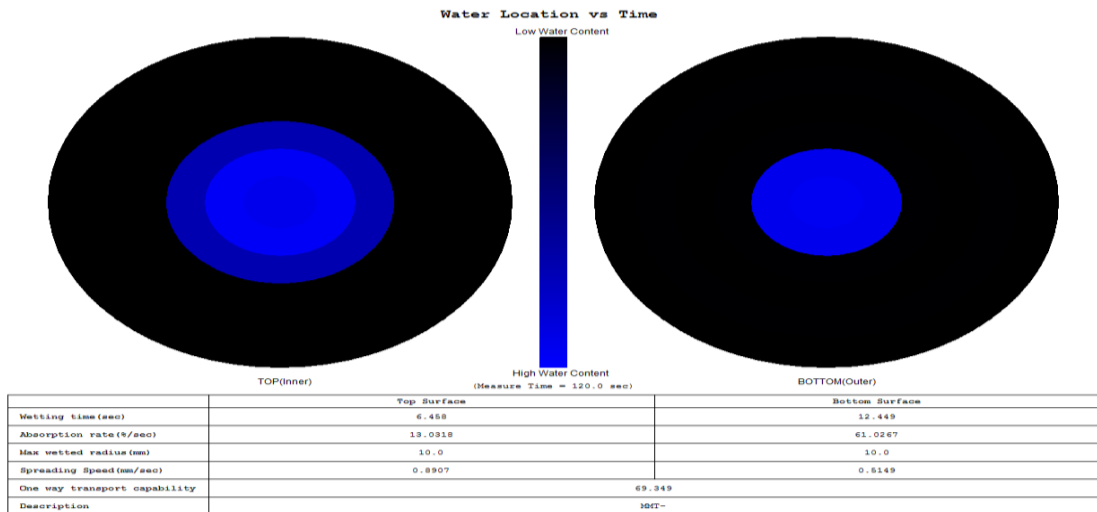
Materiál 3- dohoření



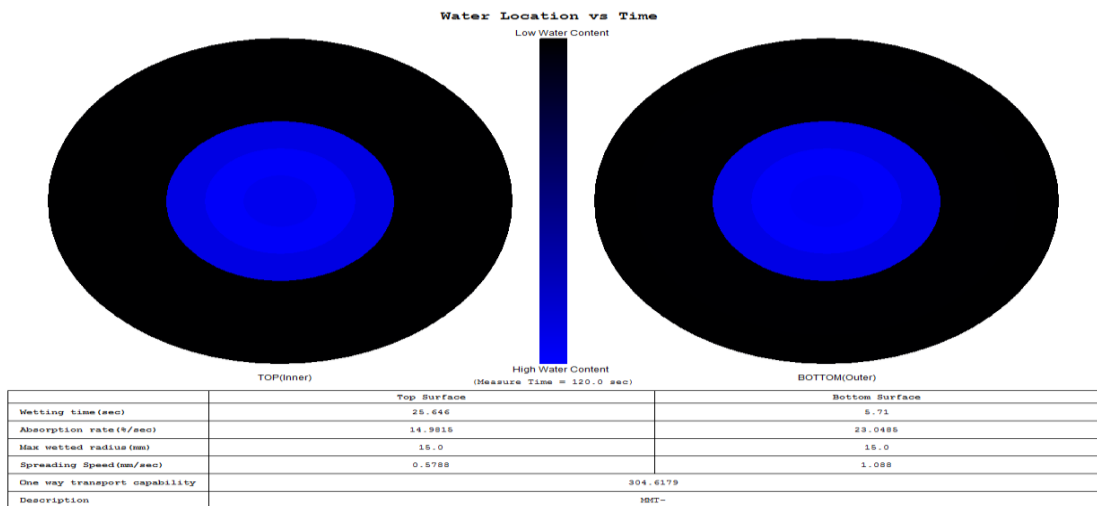
Materiál 4- vzplanutí



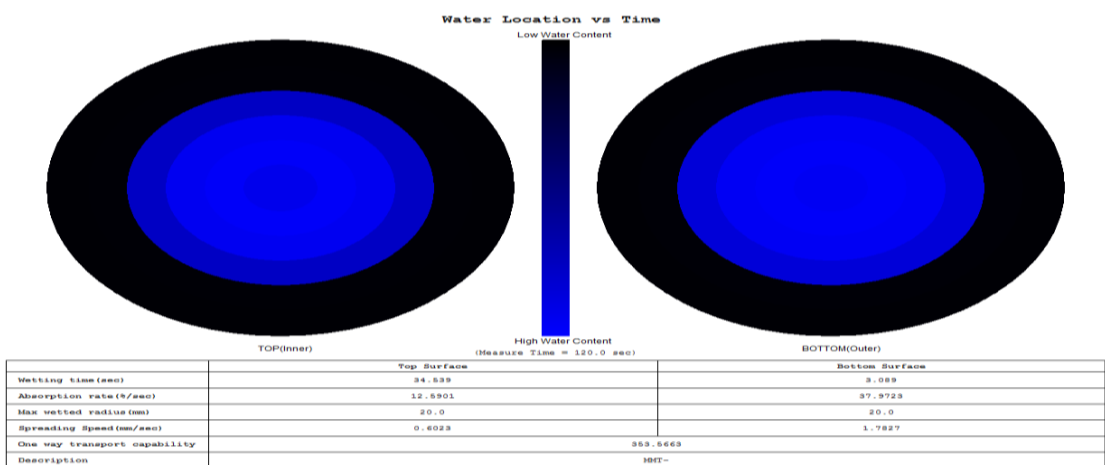
Materiál 4- dohoření



ukázka materiálu 2B

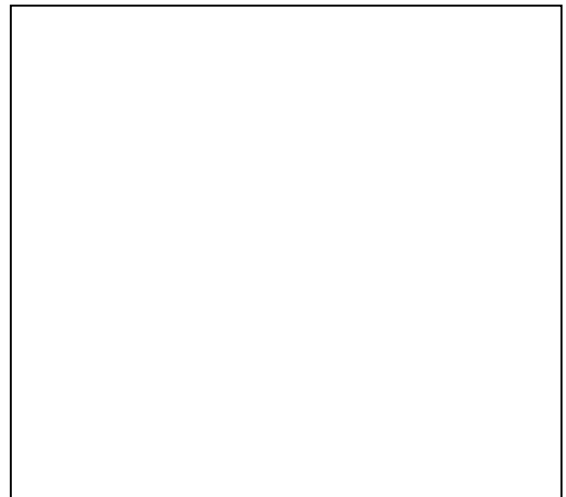


Ukázka materiálu 3.



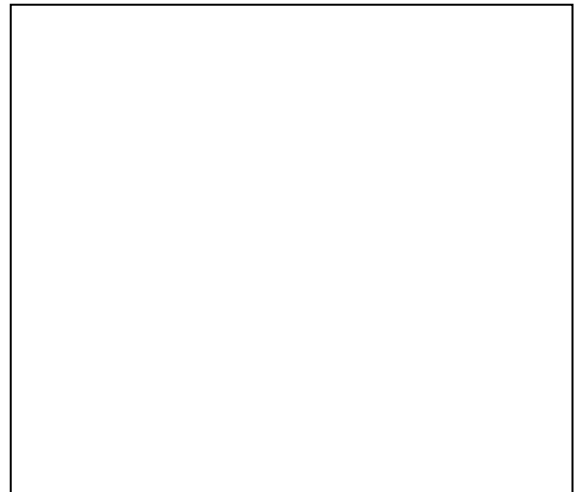
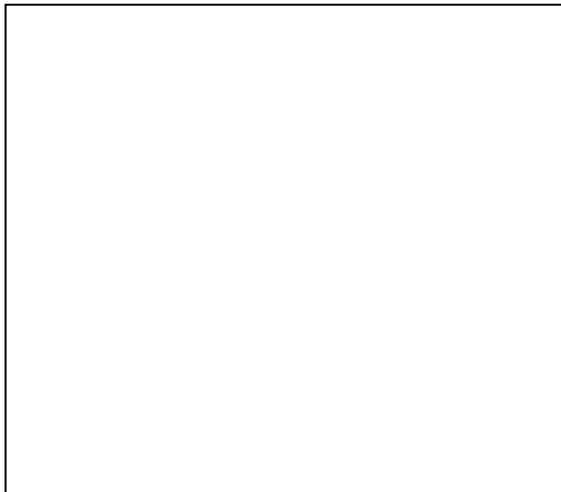
Ukázka materiálu 4.

Příloha D: vzorky testovaných materiálů



Materiál 1.- comazo

Materiál 2A.- devold spirit



Materiál 2B. – devold spirit

Materiál 3. –prokop



Materiál 4.- Portwest