TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

PŘESTUP VODNÍCH PAR MEZI VRSTVAMI ZÁSAHOVÉ HASIČKÉ UNIFORMY

WATER VAPOUR TRANSFER BETWEEN THE LAYERS OF FIRE RESCUE UNIFORMS

Lenka Tomková

KHT-754

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu ...45

Počet obrázků 31

Počet tabulek 3

Počet grafů.....12

Počet stran příloh..3

Zásady pro vypracování:

- Zpracujte literární rešerši na téma přestupu vlhkosti textilním materiálem se zaměřením na výhody a nevýhody přítomnosti polopropustné membrány.
- Proveďte měření paropropustnosti na různých druzích hasičských uniforem bez praní a po praní. Otestujte různé položení jednotlivých vrstev.
- Zhodnoťte výsledky měření se důrazem na přítomnost membrány.

Seznam odborné literatury:

MOUREK, Jindřich. Fyziologie : Učebnice pro studenty zdravotnických oborů. Praha : Grada, Avicenum, 2005. 204 s. ISBN 80-247-1190-7.

Dvořák, O.; Štefková, E.: Ochranné oděvy pro hasiče: vlastnosti, zkoušení, praktické používání a certifikace. Příloha časopisu 150-Hoří, Praha, květen 2002.

ČSN 80 0855 (800855) : Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií. Praha : Československá státní norma, 1976. 4s.

HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash. Handbook of technical textiles. Bolton, UK : CRC Press, Woodhead, 2000. 576 s. ISBN 1 85573 385 4

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) 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 vědom 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 vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Pavle Těšinové, Ph.D za rady a pomoc, při tvorbě této práce. Také bych chtěla poděkovat rodině za podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zaměřuje na přestup vodních par mezi vrstvami zásahové hasičské uniformy. Především se zabývá výhodami a nevýhodami přítomnosti polopropustné membrány. Také zjišťuje hodnoty výparného odporu a relativní paropropustnosti na různých druzích hasičských zásahových uniforem. Testuje různé položení jejich vrstev. Následně je zjišťována změna komfortních vlastnosti jednotlivých materiálu po praní.

KLÍČOVÁ SLOVA:

paropropustnost, mikroporézní membrány, hydrofilní membrány, zátěry, výparný odpor

ANNOTATION

This bachelor thesis focuses on the transfer of water vapour between the layers of fire rescue uniforms. First of all deals with the advantage and disadvantage of the presence of semi-permeable membranes. It also determines the value of absolute water vapour permeability and relative water vapour permeability of different types of fire rescue uniforms. Testing different positioning materials in layer. Subsequently is detected changes in comfort properties of the material after washing.

KEY WORDS:

Water vapour permeability, microporous membranes, hydrophilic membranes, coathing, Absolute water vapour permeability

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek ... **8**
Seznam veličin ... **9**
Úvod ... **10**
1. Fyziologické reakce lidského organismu ... **11**
2. Odvod vlhkosti z lidského těla ... **12**
2.1 Kapilární odvod potu ... 12
2.2 Migrace potu ... 13
2.3 Difuze ... 13
2.4 Sorpce ... 14
3. Voděodolné a zároveň parám propustné textilie: ... **15**
3.1 Způsoby vodoodpudivých úprav [2]: ... 15
3.2 Druhy paropropustných a vodoodpudivých textilií: ... 15
3.2.1 Tkanina s hustou dostavou ... 15
3.2.2 Membrány ... 16
3.2.2.1 Hydrofobní mikroporézní membrána ... 17
3.2.2.2 Hydrofilní membrány ... 17
3.2.3 Způsoby včlenění membrány do oděvního systému ... 18
3.2.3.1 Druhy laminování: ... 18
3.2.3.2 Konstrukční provedení membrán [2]: ... 18
3.2.4 Zátěry ... 20
3.2.4.1 Mikroporézní zátěry ... 20
3.2.4.1.1 Způsoby výroby zátěrů [3]: ... 21
3.2.4.2 Hydrofilní zátěr ... 21
4. Výhody a nevýhody polopropustných membrán ... **22**
5. Vlákna používaná k výrobě ochranných oděvů ... **22**
6. Experimentální část ... **24**
6.1 Popis materiálů ... 24
6.1.1 Textilie použité při měření ... 25
6.1.2 Vzhled testovaných materiálů ... 27
6.1.2.1 Vrchové materiály ... 27
6.1.2.2 Membrány ... 28
6.1.2.3 Podšívky ... 29
6.2 Měření relativní paropropustnosti a výparného odporu ... 31
6.2.1 Měření pomocí Permetestu ... 31
6.3 Vyhodnocení měřených vzorků ... 33
6.3.1 Měření vrchových materiálů ... 33
6.3.2 Měření podšívek ... 34
6.3.3 Měření membrán ... 35

6.3.4 Měření vzorků v sendviči 36
6.3.5 Měření membrány z rubu 37
6.3.6 Měření vzorků v sendviči s membránou obráceně 38
7. Diskuze 40
8. Závěr 42
9. Literatura 43
Seznam obrázků 44
Seznam grafů 45
Seznam tabulek 45

Seznam použitých symbolů a zkratek

DWR	durable water repellency
např.	například
obr.	obrázek
PBI	polybenzimizol
PL	polyester
PTFE	polyterafluoethylen
PU	polyuretan
tab.	tabulka
v. s.	vodní sloupec
VS	viskóza

Seznam veličin

zkratka	název	jednotka
m	hmotnost	[kg]
p	relativní paropropustnost	[%]
p_a	parciální tlak	[Pa]
p_m	nasycený parciální tlak	[Pa]
p_k	parciální tlak páry u pokožky	[Pa]
p_o	parciální tlak páry v okolí	[Pa]
q_o	tepelný tok nezakryté plochy	[W/m^2]
q_v	tepelný tok zakryté plochy	[W/m^2]
Δp	parciální tlak	[Pa]
R_{ct}	tepelný odpor	[m^{2}K/W]
R_{et}	výparný odpor	[m^{2}Pa/W]
R_{dif}	difuzní odpor	[m/s]
S	plocha	[m^2]
T	teplota	[°C]
v	rychlost	[m/s]

Úvod

Během posledních desetiletí změnil textilní průmysl celkovou strategii ve prospěch inovací a vytvoření nových textilních produktů s vysokou kvalitou a novými funkcemi. Dnes textilie s vyšší užitnou hodnotou poskytují rozsáhlé využití ve všech oděvních odvětvích. Uplatňují se při aktivním sportu, pro ochranné i módní oděvy. Jedním z důvodů je, že mohou kombinovat více vlastnosti, kterými jsou odolnost proti větru, termoizolační vlastnosti, vysoká pevnost v protažení a oděru, splývavost, nemačkavost [2]. Hlavním cílem pro výrobu textilií je pocit komfortu a pohody.

V bakalářské práci bude zkoumán přestup vodních par mezi vrstvami hasičské zásahové uniformy. Ochranné oděvy pro hasiče jsou určeny do extrémních podmínek a zároveň by měly splňovat komfortní vlastnosti. Ke komfortu v hasičských uniformách přispívá membrána, která nepropouští kapky vody a zároveň propouští vodní páru.

V práci je uvedeno, v čem spočívá termoregulace lidského organismu, jakými způsoby odchází vlhkost z lidské pokožky. Rozdělení vodoodpudivých a zároveň parám propustných textilií. Výhody a nevýhody polopropustných membrán.

V druhé části budou zjišťovány komfortní vlastnosti vzorků na přístroji Permetest. Jejich změna před a po praní, různé položení materiálů ve vrstvě.

1. Fyziologické reakce lidského organismu

Lidské tělo si udržuje různými termoregulačními mechanismy stálou teplotu vnitřního prostředí, kolísající v rozmezí +/- 4 °C kolem průměrné hodnoty (36-37 °C). Kolísání způsobují zevní i vnitřní vlivy. Teplota lidského těla závisí na teplotě jádra i na teplotě zevního prostředí, jako je vlhkost, proudění vzduchu a tepelné záření. Teplota kožní odráží zevní prostředí i úroveň teploty tělesného jádra. Zprvu teplota klesá. Příčnou je přesunutí krve k činným orgánům (svalům), při současném smrštění kožního cévního řečiště. Později teplo, vznikající ve svalech přenášené krví k povrchu lidského těla, způsobuje opětné roztažení kožních cév. Velkým prokrvením kožní teplota stoupá, což je pouze přechodně přerušeno začátkem odpařování potu. Při různě velké produkci tepla se výdej zářením a vedením nemění, avšak pokud teplota okolí stoupá množství tepla odváděné těmito způsoby, se snižuje. Nedostačují- li k odstraňování tepla mechanismy fyzikální termoregulace (záření, vedení, proudění) nastupuje odpařování potu. Úbytek tepla pocením stoupá, jak při zvýšené zátěži, tak i při stoupající teplotě zevního prostředí [1].

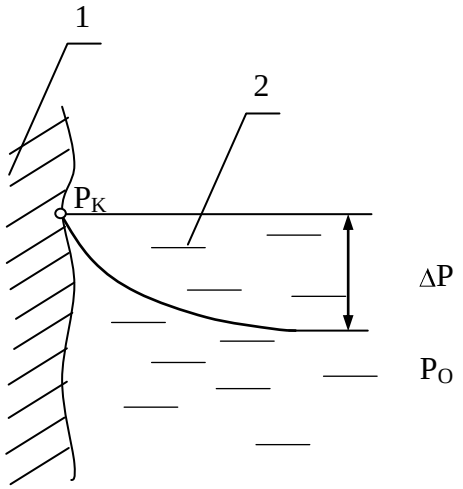
Fyzická práce v horkém prostředí tedy nutí tělo zvýšenou teplotu odvádět pomocí potu. Pokud se však normální procesy pocení zastaví, nebo se pot přestane vypařovat, může se organismus přehřát. Způsobit to mohou neprodyšný ochranný oděv nebo vysoká vlhkost [3]. To může vést u některých profesí až ke smrti. Např. jednou z nejčastějších příčin úmrtí mezi hasiči je srdeční selhání, způsobené ztrátou tělesné tekutiny potřebné k výrobě potu. Dle statistiky státu USA v roce 1982 usmrtil oheň v důsledku popálenin 2,6% a infarktu 46,1% hasičů. Hasiči mohou ztratit až 4 litry tekutiny za hodinu, když jsou v blízkosti požáru [4]. Proto je důležitý transport vlhkosti mezi pokožkou a oděvem.

Činnost organismu:	*Tvorba tepla* $[J/s]$
Klid na lůžku	81,4
Stoj	116,3
Chůze	314,0
Těžká fyzická práce	348,9
Běh	918,7

Tab. 1 Výdej tepla při denních činnostech [2]

2. Odvod vlhkosti z lidského těla

Základem odpařování vlhkosti je schopnost okolí přijímat toto množství vodních par. To znamená, rozdíl parciálních tlaků určující rychlost odvodu vlhkosti musí být co největší (obr. 1). Pokud se snižuje tento rozdíl, odvod vlhkosti klesá. V tom případě ochlazovací účinek mizí, platí to v případě neoblečeného organismu [2].



1- pokožka

2- venkovní vzduchová vrstva

$\Delta P = P_K - P_O$

spád parciálního tlaku páry

P_K- parciální tlak páry u pokožky

P_O- parciální tlak páry v okolním vzduchu

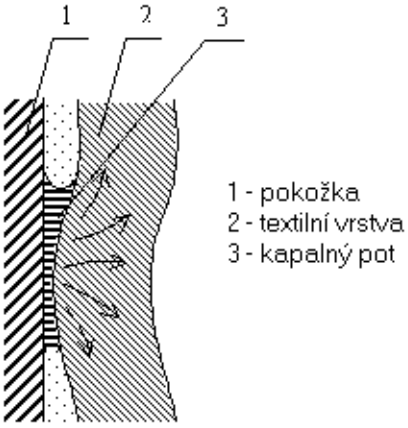
Obr. 1 Odvod vlhkosti s povrchu kůže [6]

U oblečeného organismu je situace poněkud složitější. Vlhkost z těla je odváděna několika způsoby [2]:

- kapilárně
- migračně
- difuzí
- sorpčně

2.1 Kapilární odvod potu

Kapilární odvod potu spočívá v odsávání kapalného potu do první vrstvy textilie (obr. 2), přičemž kapilárně vzlíná všemi směry. Knotovým efektem je transportovaná do dalších vrstev oděvu. Intenzita prostupu potu je dána parciálním tlakem Δp [2].



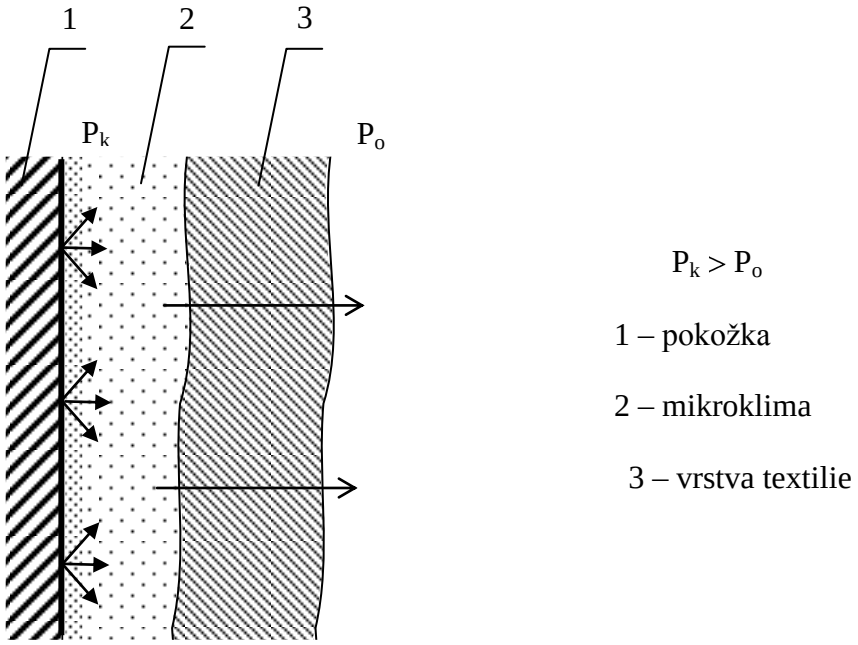
Obr. 2 Odvod kapalného potu první textilní vrstvou [6]

2.2 Migrace potu

Vlhkost na povrch vláken vniká několika způsoby. Při rozdílu teploty těla (mikroklima) a vnější teploty může dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrch vláken. Takto vzniklá voda, je buď odvedená do kapilár, nebo migruje na povrch vláken. Princip je funkční pouze u hydrofobních vláken [2].

2.3 Difuze

Prostup vlhkosti je realizován pomocí pórů, které se svou velikostí a tvarem podílejí na kapilárním odvodu (obr. 3). Tato vlhkost prostupuje ve směru parciálního tlaku. U oděvu složeného s více vrstev (vrchový materiál, výplň, podšívka) není difusní odpor stejný pro všechny vrstvy. Dochází tedy k zbrzdění prostupu vodních par. Vliv vlákenné suroviny není určující, až do chvíle změny geometrických vlastností např. botnání [2].



Obr. 3 Difuzní odvod [6]

Difuzní odpor pro více vrstvé textilie je dán výrazem [2]:

$$R_{dif} = \frac{k}{m} \Delta p \quad (1)$$

Základní vztah pro přenos vodních par je odvozený z Fickova zákona pro stacionární děje [2]:

$$M_{pf} = \quad (2)$$

2.4 Sorpce

Předpokládá vznik kapalného potu, jenž vniká do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následné navazování na hydrofilní skupiny. Tento způsob je nejpomalejší z uvedených postupů a předpokládá částečný podíl sorpčních vláken v textilii [2].

Všechny čtyři typy transportu vlhkosti reagují současně. Kapilární způsob odvádí pot jako kapalinu. Způsoby difuzní, migrační a sorpční uskutečňují odvod jak kapaliny, tak vodní páry. Hromadění potu v mikroklimatu způsobuje pocit diskomfortu. K nejrychlejším odvodům patří kapilární, migrační a difuzní, nejpomalejší je sorpční. Nejlepší pro organismus a pocit komfortu, je kombinace způsobů difuzní a sorpční. U hydrofobních vláken lze použít pouze kapilární, migrační a difuzní způsob [2].

3. Voděodolné a zároveň parám propustné textilie:

Nepromokavé a parám propustné materiály poskytují ochranu před nepřízní počasí. Nepromokavé tkaniny zabraňují zcela průniku vody z vnější strany. Na rozdíl od vodu odpuzujících materiálů, které zpomalují pronikání vody [3].

3.1 Způsoby vodoodpudivých úprav [2]:

Water-repelent: jedná se o úpravu povrchu, která je prováděna impregnací, kalandrováním nebo napuštěním. Při kratším dešti se tvoří kapičky vody a stékají plynule po oděvu. Pokud se zátěž zvětší, voda proteče (cca 0,5 m v. s.).

Water-resistant: jsou to vrstvené materiály, zatěrované (materiály zátěrů jsou polyuretan, fluorkarbon, teflon a akryl). Materiály jsou voděodolné, vydrží výšku vodního sloupce je cca 1,1m.

Waterproof: voděodolné textilie velmi odolné vydrží výšku vodního sloupce 1,3 m.

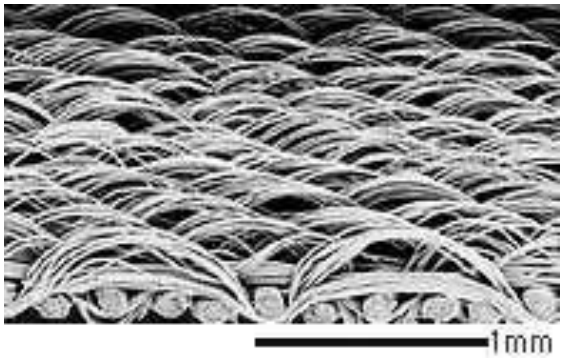
3.2 Druhy paropropustných a vodoodpudivých textilií:

Existuje několik metod, díky kterým získáme tkaniny paropropustné i vodoodpudivé. Mohou být rozděleny do tří skupin [3]:

- Tkanina s hustou dostavou
- Laminování užitím membrán
- Zátěry

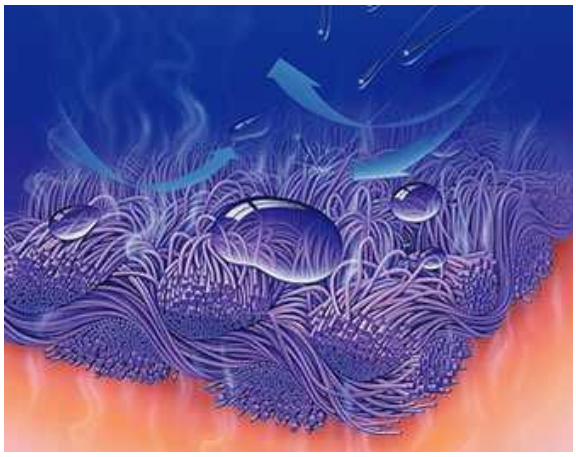
3.2.1 Tkanina s hustou dostavou

Pravděpodobně první efektivní nepromokavé-prodyšné textilie byly vyvinuty pro vojenské účely. Pod názvem Ventile, se vyráběly pro spojenecké letce od roku 1940. Pro zajištění nepromokavosti je textilie konstruována s malými póry. Proto se vyrábí ze staplových vláken bavlny, které jsou rovnoběžné s osou tkaniny. Tká se v oxford vazbě schéma obr. 4, s dostavou 98 nití/cm. To minimalizuje zvlnění nití při vysokém stupni provázanosti. Po namočení se póry zmenší z 10μm na 3-4μm, způsobuje to příčné botnání vláken. Tkanina se tudíž stává nepromokavá bez použití water-repellent úpravy. Tkaniny se stále vyrábějí a pro svou ekologickou výrobu jsou velmi aktuální [3].



Obr. 4 Vazba textilie Ventile [15]

Textile, se dnes běžně vyrábějí z polyesteru a polyamidu. Vlákna jsou velmi vhodné z důvodu water-repellent vlastnosti. Jednotlivé vlákna jsou v průměru 10µm tlusté. Použití mikrovláken zabezpečuje menší pórovitost ve srovnání s běžnými tkaninami. Typická velikost pórů pro nepromokavé materiály je asi 10µm u běžných materiálu se pohybuje kolem 60µm. Mikrovlakené tkaniny se vyrábějí až se 7000 vláken/cm. Tkaniny Ventile má asi 6000 vláken/cm. Jejich nepromokavost je vylepšena použitím silikonové nebo fluorouhlíkové finální úpravy [3].



Obr. 5 Schéma tkaniny s velmi hustou dostavou [7]

3.2.2 Membrány

Membrány jsou vyrobené z velmi tenké vrstvy polymerního materiálu. Proto mají vysokou odolnost proti průniku kapalné vody, avšak umožňují průchod vodní páry. Obvykle je membrána 10µm silná a laminovaná na vhodný textilní materiál. Po této úpravě membrána získává nezbytnou mechanickou pevnost [3].

Jednou z hlavních aplikací membrán je odvětví sportovního oblečení a jejich doplňků. Jsou dva druhy membrán: hydrofobní mikroporézní a hydrofilní [3].

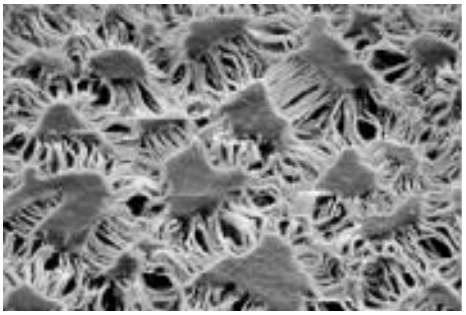
3.2.2.1 Hydrofobní mikroporézní membrána

První a asi nejznámější mikroporézní membránu vyvinul a zavedl v roce 1976 W. Gore. Podle nějž byla registrována značka GORE-TEX®. Materiál Gore-tex je složený z úzké pórovité membrány z expandovaného PTFE, laminovaný je mezi jiné textilie nejčastěji nylon nebo polyester. Membrána má okolo 1,4 miliardy pórů na centimetr čtvereční. Póry o velikosti 20 000 krát menší než kapka vody a zároveň asi 700 krát větší než molekula páry, která poté může projít skrz [3, 10].

PTFE membrány se vyrábějí protlačováním přes štěrbinu. Následným natahováním ve dvou směrech se v membráně vytvářejí mikropóry. Natahování se provádí při vysokých rychlostech a pod teplotou tání [8].

Jiným výrobním mechanismem je perforování neprodyšné membrány pomocí elektronového mikropaprsku. Ten je schopen vytvořit otvory skrz membránu [8].

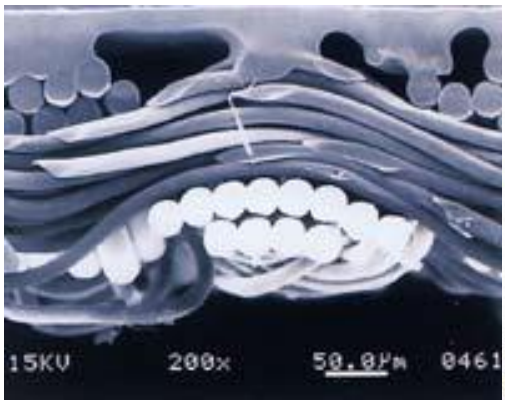
Neméně známým způsobem výroby je koagulace, je většinou uplatňována u PU nebo PAR polymeru. Póru je dosahováno pomocí rozpouštědla, jež se odpaří z povrchu membrány [8].

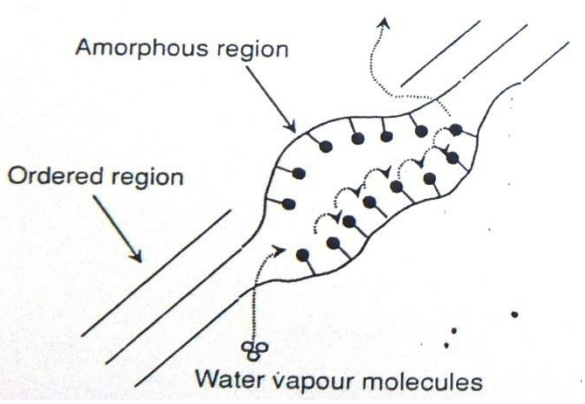


Obr. 6 Membrána Gore-Tex pod elektronovým mikroskopem [13]

3.2.2.2 Hydrofilní membrány

Hydrofilní membrány jsou velmi tenké vrstvy chemicky modifikovaného polyesteru nebo polyuretanu. PL nebo PU jsou modifikovány polyetylenoxidem. Na rozdíl od hydrofobních membrán neobsahují žádné póry, proto se také nazývají neporézní. Membrána funguje na principu molekulárního mechanismu absorpce - desorpce - difuze. Znamená to, že absorbuje vlhkost a ta se na povrchu membrány odpařuje. Tohoto jevu je docíleno také pomocí amorfních oblastí znázorněných na obr. 8. Na obr. 7 příčný řez neporézní membránou [3].





obr. 7 Příčný řez neporézní membránou [15]

obr. 8 Amorfní oblast [3]

3.2.3 Způsoby včlenění membrány do oděvního systému

Včlenění membrány do oděvního systému je nezbytné, jelikož samostatné zpracování membrán je velmi obtížné. Začlenění by nemělo mít nepříznivý vliv na základní textilní vlastnosti (omak, splývavost, vzhled) [3,2].

3.2.3.1 Druhy laminování:

Spojení membrány s nosným materiálem [2]:

- Pomocí pasty v bodovém nánosu na šablonu kalandru
- Spojování membrány pomocí PU lepidla s textilním materiálem
- Ultrazvukem
- Kašírováním

3.2.3.2 Konstrukční provedení membrán [2]:

- Membrána je laminována na vrchový materiál (dvouvrstvý systém)
- Konstrukce volně vložené vrstvy (Z-liner)
- Laminování membrány na vhodný materiál (třívrstvý systém)

Membrána je laminována na vrchový materiál

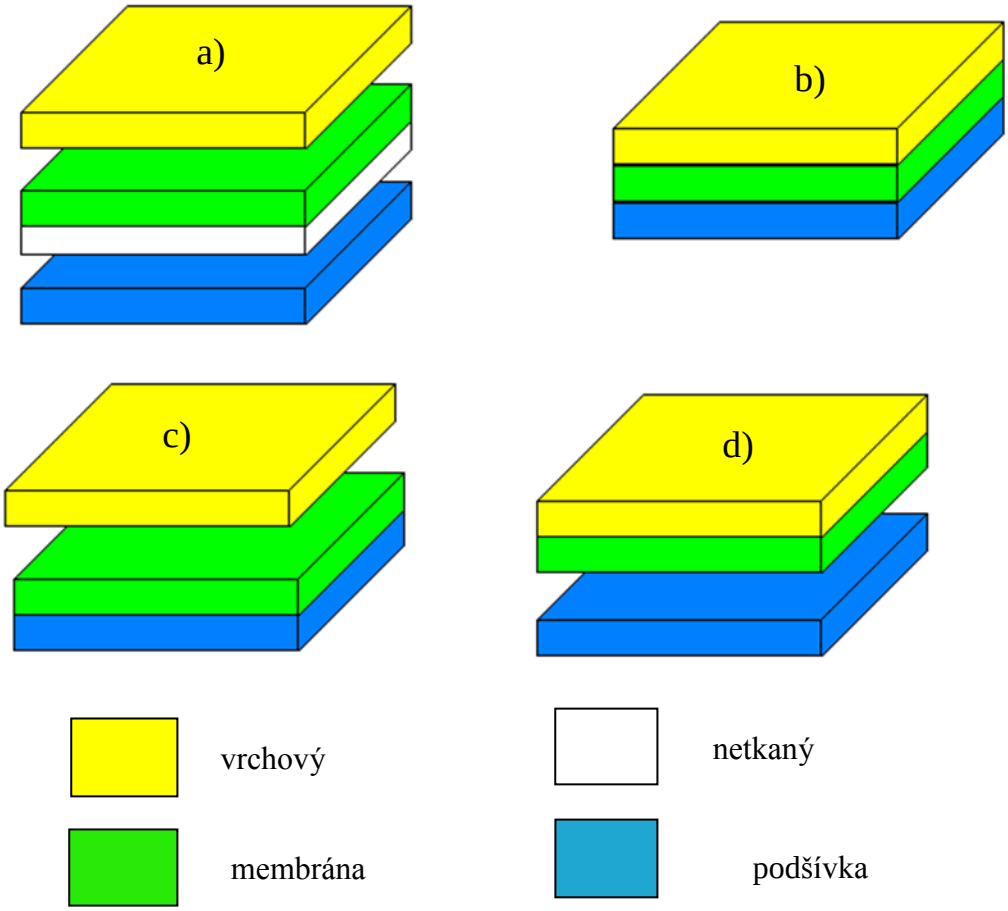
Membrána je přichycena na rubní straně vrchového materiálu (obr. 9 d) a chráněna podšívkou. Podšívka může sloužit jako nosič membrány (obr. 9 c) a vrchový materiál jako ochranná část. Nevýhodou této metody je snížení estetických vlastností. Proto se systém používá především pro výrobu ochranných oděvů [2,3].

Konstrukce volně vložené vrstvy (Z-liner)

Na obr. 9 a) je membrána volně vložena mezi vrchový materiál a podšívku. Pro zlepšení funkčních vlastností se membrána laminuje na lehké pleteniny nebo tkaniny. U metody se kladně hodnotí měkký omak a dobrá splývavost. Využívá se pro módní oděvy [2,3].

Laminování membrány na vrchový materiál i podšívku

Takzvaný třívrstvý systém není běžně používaný pro své neatraktivní estetické vlastnosti [2,3]. Znázorňuje obr. 9 b)



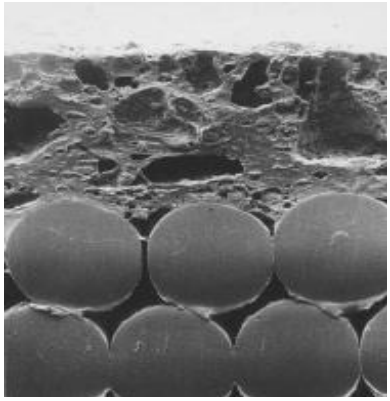
Obr. 9 a) Z-liner, b) třívrstvý laminát), c) a d) dvouvrstvý laminát [3]

3.2.4 Zátěry

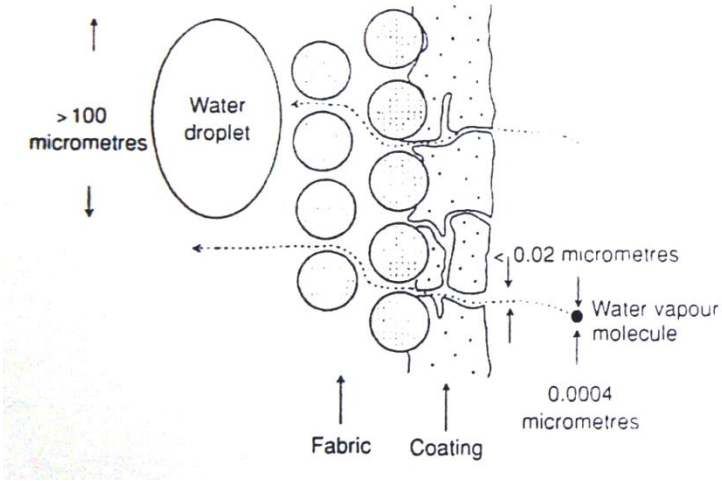
Zátěry jsou mnohem účinnější než membrány. Tvoří se nanesením polymeru na jednu stranu textilního materiálu. Pro povrchovou úpravu se používá PU. Stejně jako membrán jsou dva druhy povrchových úprav porézní a hydrofilní [3]:

3.2.4.1 Mikroporézní zátěry

Mikroporézní zátěr má podobnou strukturu jako mikroporézní membrány. Zátěr obsahuje póry, které jsou menší než kapka vody, ale větší než molekula páry [3]. Příčný řez mikroporézním PU zátěrem znázorňuje obrázek 10. Schéma prostupu par mikroporézním PU zátěrem je na obr. 11.



Obr. 10 Příčný řez mikroporézním PU zátěrem[15]



Obr. 11 Schéma prostupu par mikroporézním zátěrem[3]

3.2.4.1.1 Způsoby výroby zátěrů [3]:

- Mokrá koagulace
- Tepelná koagulace
- Pěnové zátěry

Mokrá koagulace

Tkanina je pokryta PU rozpuštěném v organickém rozpouštědle. Roztok není rozpustný ve vodě. Takto upravená tkanina projde klimatizační komorou, ve které se pára smísí s organickým rozpouštědlem. Dochází ke koagulaci PU. Tkanina je vyprána a přebytečné rozpouštědlo odstraněno. Sušení ukončuje celý proces. Metoda není v praxi velmi používaná pro svou finanční náročnost [3].

Tepelná koagulace

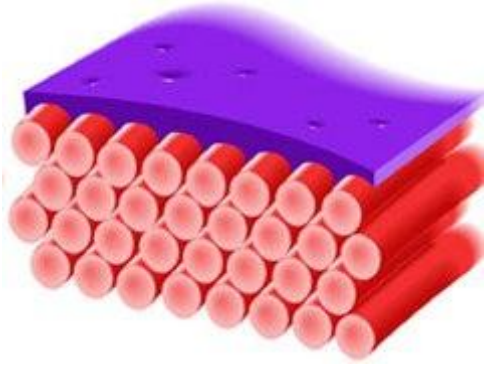
PU se rozpustí v organickém rozpouštědle a vzniklý roztok vytvoří emulzi. Emulzí se pokryje jedna strana tkaniny. Poté tkanina projde přes dvoustupňový proces sušení. V první fázi nízká teplota odstraní z emulze rozpouštědlo. Ve druhé fázi se voda mění v páru, která prochází skrz vytvořené póry [3].

Pěnové zátěry

Pěna ze směsi PU a akrylu se aplikuje na jednu stranu tkaniny. Následuje vysoušení PU zátěru, ve kterém se při sušení vytvářejí póry. Póry musí být dostatečně velké, aby jimi prošla molekula páry, ale neprošla kapka vody. Z tohoto důvodu se používá water-repellent úprava. Tato metoda je šetrná k životnímu prostředí, jelikož nepoužívá rozpouštědla [3].

3.2.4.2 Hydrofilní zátěr

Hydrofilní zátěr používá stejnou základní paropropustnost vodních par jako hydrofilní membrány. Zátěrem prochází vodní pára přes molekulární mechanismus absorpce - desorpce - difuze. Zátěry jsou na bázi PU, který se chemicky modifikuje polyoxidem nebo PVA. Ty mají afinitu pro vodní páry a umožňují difuzi vodních par skrz amorfní oblasti. Hydrofilní a hydrofobní složky polymerního systému musí být v rovnováze. Musí poskytnout optimální paropropustnost, pružnost, nepromokavost, stálost a nerozpustnost ve vodě a chemickém čištění [3].



Obr. 12 Průřez tkaninou s hydrofilním zátěrem [12]

4. Výhody a nevýhody polopropustných membrán

Membrána napodobuje lidskou pokožku, chrání před větrem a deštěm a zároveň propouští molekuly páry. Nelze být použitá samostatně, proto se vkládá mezi textilní vrstvy. Malá tloušťka membrány je výhodná pro včlenění [2].

Po laminování má dobrou mechanickou pevnost. Některé se vyrábí z materiálů, které jsou nehořlavé. Uvádí se propustnost pro Gore-tex membrány vodní páry 10.000-18.000 g/m^2/24hod. Odolnost proti pronikání vody od 40-80 m v. s. Odolnost proti větru, při jeho rychlosti 75 km/ hod je 2x větší než u běžně používaných textilií pro sportovní bundy [2].

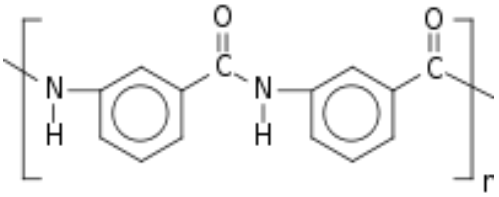
Nevýhodou u hydrofobních membrán jsou paradoxně póry, které se znečišťují v průběhu používání různými nečistotami. Následkem je snížení jejích funkčních vlastností. Vnější část je proto povrstvená hydrofobním přípravkem DWR. Membrána se musí včlenit do textilních vrstev, tím se zhoršují její pozitivní vlastnosti. Po více násobném praní se zhoršuje propustnost vodních pár [3].

5. Vlákna používaná k výrobě ochranných oděvů

Oděvy musí poskytnout na omezenou dobu ochranu před plamenem a sálavým teplem. Stejně důležité je, aby byly lehké, komfortní a nebránily pohybu. Pro výrobu jsou v současné době používány [4].

M-aramidy (meta-aramidy) jsou velmi rozšířené pro svou tepelnou odolnost a pevnost. Našly velké uplatnění ve výrobě ochranných oděvů proti ohni. Důvodem je, že se nevzněcují, neodkapávají, netaví se. Při zvýšených teplotách udržují mechanickou

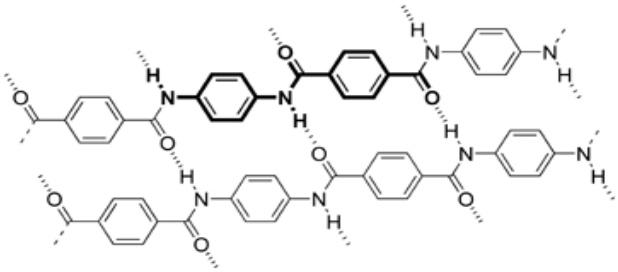
pevnost. Výrobci vláken jsou např. DuPond, vyrábí vlákno pod značkou Nomex® nebo Teijin, vyrábí TeijinConex® [4].



Obr. 13 Schéma M-aramidů [14]

P-aramidy (para-aramidová vlákna)

Provozní teploty jsou stejné jako u m-aramidů. Proti nim jsou 3krát až 7krát pevnější v tahu, proto se používají především k vyztužování a ochranným aplikacím. Nevýhoda je jejich nižší chemická odolnost a oděru vzdornost. Pro zlepšení vlastností se často směsují s jinými vlákny např. Kevlar/PBI (60/40). Výrobci pro p-aramidy jsou DuPond s vláknem KEVLAR®, Acordis vyrábí Twaron® [4].



Obr. 14 Schéma P-aramidy [14]

PTFE (polytetrafluorethylény)

PTFE vlákno je vhodné zejména pro svou chemickou i tepelnou odolnost. Navíc má nízký součinitel tření. Jeho nevýhodou je špatné směsování a obtížné zpracování. Výrobci DuPont s vláknem Teflon®, nebo Toray a vlákno s názvem Toyoflon® [4].

$$-CF_2-CF_2-$$

Obr. 15 Vzorec PTFE vlákna [16]

6. Experimentální část

Bylo prováděno měření na přístroji Permetest, za účelem zjištění výparného odporu a relativní paropropustnosti. Přístroj splňuje normu ISO 11092 pro měření propustnosti vodních par.

6.1 Popis materiálů

Vzorky byly dodány firmou Deva-Fm zabývající se výrobou ochranných oděvů. Jejich výrobky jsou určeny pro profese, které vyžadují mimořádnou ochranu v extremních podmínkách. Oděvy musí být maximálně pohodlné a jednoduché na údržbu. Oděvy využívají hasiči, záchranáři, policie, armáda, pracovníci v plynárenství [9].

Poskytnuté vzorky jsou materiály k výrobě hasičských zásahových uniforem. Pro výběr materiálu existují následující pravidla [4]:

- *nesmí přispívat /zvyšovat nebezpečí,*
- *působením přímého plamene nebo kapek tekutého kovu se nesmí zapálit a dále hořet,*
- *působením plamene se nesmí tavit a vytvářet otvory,*
- *nesmí se srážet působením tepla,*
- *na nositele mají působit příjemným dotykem,*
- *musí vydržet opakované čištění /praní,*
- *musí zabraňovat penetraci vody nebo jiných kapalin,*
- *musí mít antistatické vlastnosti.*

Vzhled zásahového hasičského oděvu

Oděv pro hasiče znázorněný na obr. 16, je složen ze svrchního ošacení kalhot a bundy. Bunda je opatřená reflexními pásky dvěma na hlavicových rukávech a dvěma na trupové části bundy typu: Scotchlite™ - žluto-stříbrná páska (75mm) a Reflexite™ - žlutá páska (50mm). Přední díl je opatřen čtyřmi nakládanými kapsami s patkou. Na zadním díle je reflexní nápis žlutý nebo stříbrný připevněný formou tepelné fixace to zajišťuje vyšší životnost. Přední díl je opatřen kovovým bezpečnostní uzávěr se sníženou hořlavostí. Kalhoty s dvěma kapsami s patkou taktéž opatřeny reflexními

pásky v pasu ukončeny zvýšeným pasovým límcem. Kolena zesílená tkaninou KEVLAR® . Redukce hmotnosti a objemu díky odlehčeným materiálům [9].

Obr. 16 Hasičský zásahový oblek [9]

Úprava hasičské uniformy:

SOFIGUARD®: Nová úprava tkaniny splňující EN ISO 6530 (Ochrana proti kapalným chemikáliím) po 30 cyklech praní při 60°C a sušení nebo chemického čištění bez nutnosti další reimpregnace tkaniny [9].

6.1.1 Textilie použité při měření

Měření bylo prováděno na 4 vzorcích, které jsou uvedeny v tab. 2 pod obchodními názvy. Vzorky se skládají z vrchového matriálu, membrány na nosné textilii a podšívky. V tabulce je uvedena jejich plošná hmotnost, název a vazba. Podšívkové materiály Zürich a Fireman III jsou vrstvené ze dvou textilií, z důvodu tepelné izolace.

Obchodní názvy vzorků		Vrchový materiál	membrána	podšívka
Zürich	materiál	Nomex®	GORE-TEX®	Nomex®
	Vazba/ druh laminování	3/3 keprová	Z-liner	plátnová/netkaná textilie
	Plošná hmotnost g/m^2	260	140	230
Tiger Plus	materiálu	Nomex®	GORE-TEX®	Nomex®
	Vazba/druh laminování	plátnová	Z-liner	plátnová
	Plošná hmotnost g/m^2	215	140	200
Fireman III	materiál	Nomex®	PU	Nomex® 50%/VS 50%
	Vazba/druh laminování	3/3keprová	Z-liner	plátnová/netkaná textilie
	Plošná hmotnost g/m^2	195	120	250
Fireman V	materiál	Nomex®	GORE-TEX®	Nomex®
	Vazba/druh laminování	plátnová	Z-liner	plátnová
	Plošná hmotnost g/m^2	220	200	140

Tab. 2 Materiály použité při měření

Zjišťována byla relativní paropropustnost a výparný odpor na různých druzích hasičských uniforem. Otestováno bylo různé položení jednotlivých vrstev. Měření bylo prováděno na nevypraných i vypraných vzorcích a to po 5 pracích cyklech. Praní probíhalo podle doporučeného pracího postupu a ČSN EN ISO (80 0821). Vzorky byly prány v automatické pračce a sušeny podle stanovených postupů. Materiály byly prány nespojeny šitím jako ve skutečném oděvu.

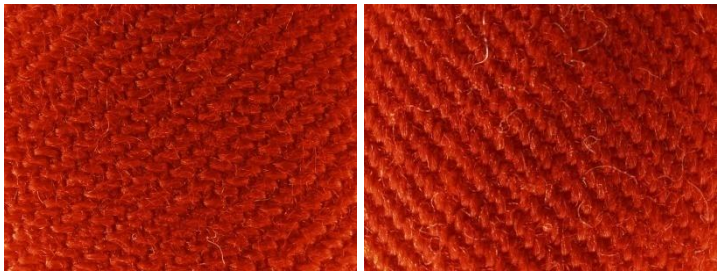
6.1.2 Vzhled testovaných materiálů

Všechny vzorky byly snímány na mikroskopu při zvětšení 12,5x. Byl sledován vzhled vzorků před a po praní. Především změny po praní jakými jsou stálobarevnost, pevnost vazby, žmolkovitost. U membrán po praní struktura nosného materiálu a povrch membrány.

6.1.2.1 Vrchové materiály

U vzorku Zürich a Tiger Plus není po praní patrná žádná žmolkovitost, jak lze vidět na obr. 17 b). Vazba je po praní pevná, příze udržují původní tvar. Fireman III, Fireman V mají po praní znaky mírné žmolkovitosti zobrazené na obr.19 a 20 b). Všechny vzorky před praním jsou na dotek tužší než po praní. Jiné změny na vzorcích po praní nejsou patrné.

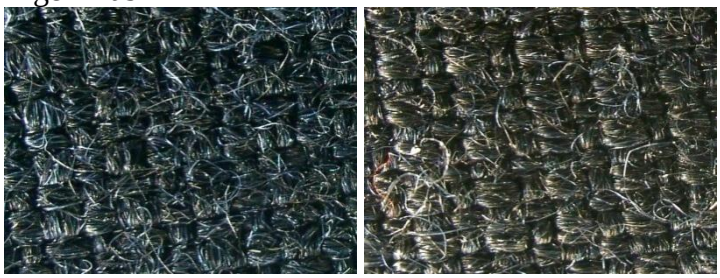
Zürich



a) b)

Obr. 17 Vzorek Zürich a) nepraný, b) praný

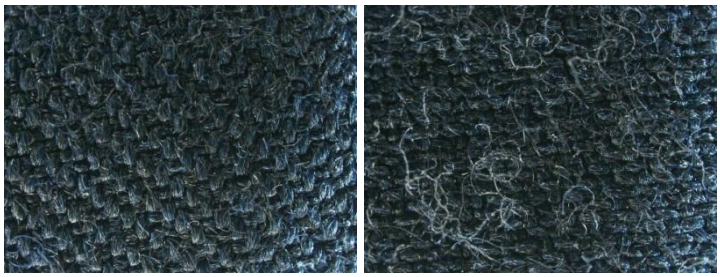
Tiger Plus



a) b)

Obr. 18 Vzorek Tiger Plus a) nepraný, b) praný

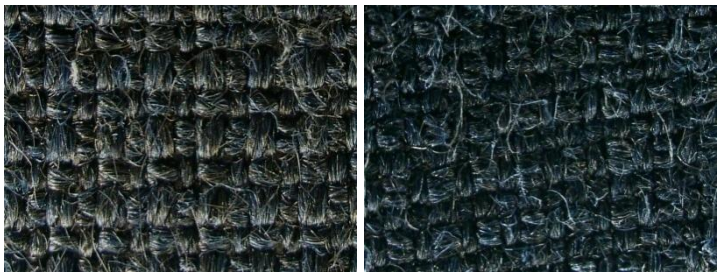
Fireman III



a) b)

Obr. 19 Vzorek Fireman III a) nepraný, b) praný

Fireman V



a) b)

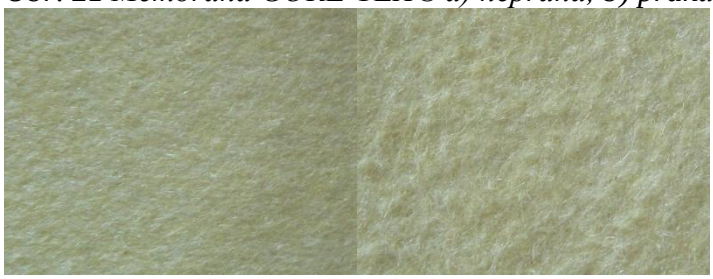
Obr. 20 Vzorek Fireman V a) nepraný, b) praný

6.1.2.2 Membrány

U membrán po praní netkaná textilie použitá jako nosný materiál, se začala žmolkovat a jednotlivé vlákna se začaly uvolňovat z textilie.

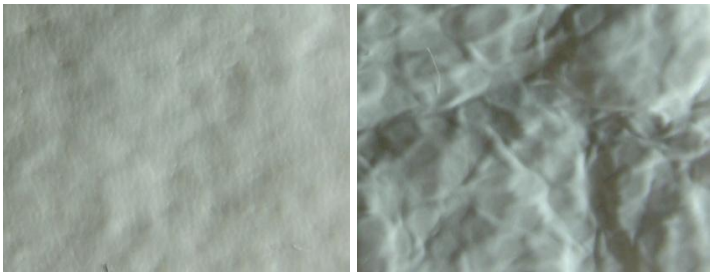
a) b)

Obr. 21 Membrána GORE-TEX® a) nepraná, b) praná



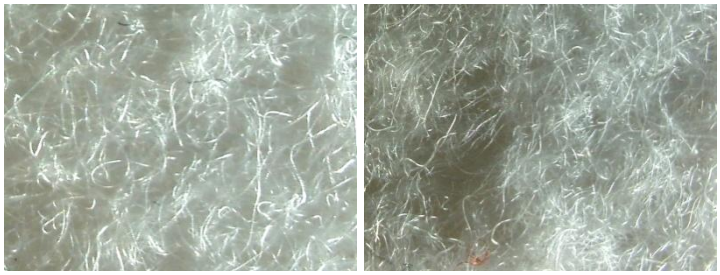
a) b)

Obr. 22 Nosná textilie membrány a) nepraná, b) praná



a) b)

Obr. 23 PU- membrána a) nepraná, b) praná



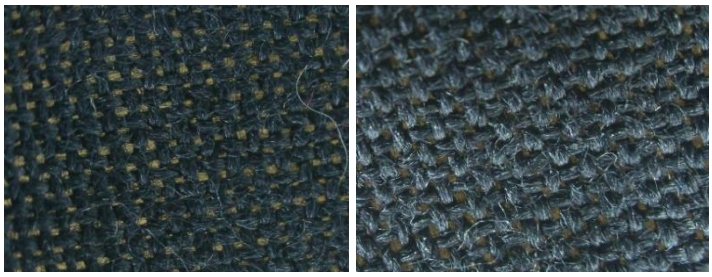
a) b)

Obr. 24 Nosná textilie membrány a) nepraná, b) praná

6.1.2.3 Podšívky

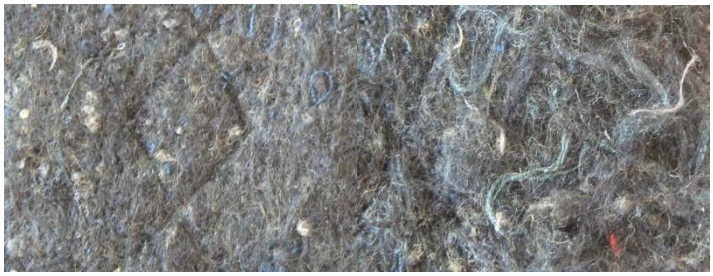
Podšívkové materiály si po vyprání zachovaly původní vzhled. Zachována byla sytost barvy, pevnost vazby. U vzorků Tiger Plus, Fireman III, se místy objevovala mírná žmolkovitost (obr. 27 b, 28 b). U vzorků Zürich a Fireman III podšívku tvoří netkaná textilie spojená šitím s tkaninou v plátnové vazbě. Netkaná textilie (z druhotných surovin) u vzorku Zürich po prání se vlákna uvolňovaly z tkaniny a změnila se povrchová struktůra (obr. 26 b).

Zürich



a) b)

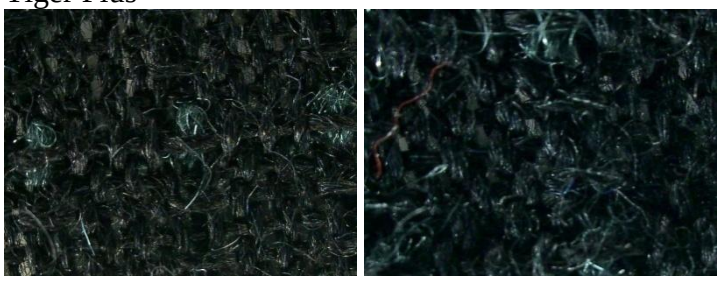
Obr. 25 Vzorek Zürich a) nepraný, b) praný



a) *b)*

Obr. 26 Vzorek Zürich Rub a) nepraný, b) praný

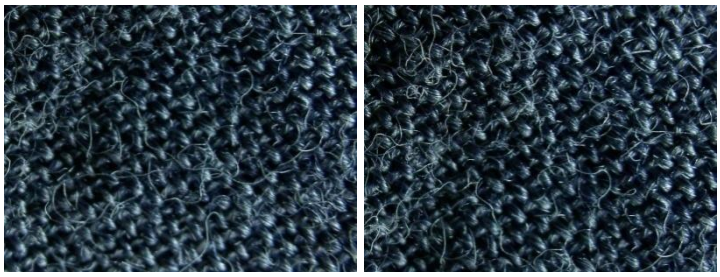
Tiger Plus



a) b)

Obr. 27 Vzorek Tiger Plus a) nepraný, b) praný

Fireman III



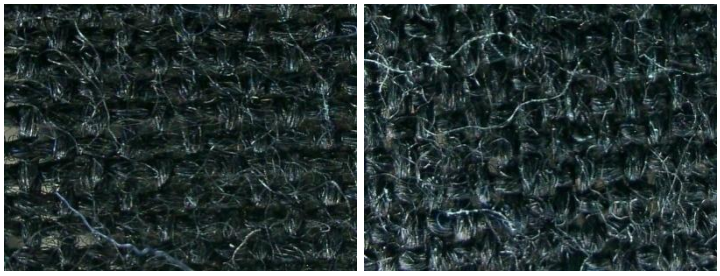
a) b)

Obr. 28 Vzorek Fireman III a) nepraný, b) praný

a) *b)*

Obr. 29 Vzorek Fireman III Rub a) nepraný, b) praný

Fireman V



a) b)

Obr. 30 Vzorek Fireman V a) nepraný, b) praný

6.2 Měření relativní paropropustnosti a výparného odporu

Přenos tepla a vlhkosti lze hodnotit pomocí přístrojů [6]:

1. Respektující příslušný fyzikální děj a nevztahující se k systému pokožka - oděv - prostředí,
2. Za podmínek blízkým fyziologickému systému lidského těla.

První způsob měření založený na tzv. „skin modelu“ (modelu lidské pokožky), charakterizují dva parametry tepelný a výparný odpor.

Výparný odpor hraje důležitou roli při ochlazování lidského těla. Rychlost ochlazování závisí na rozdílu parciálních tlaků, povrchu pokožky, vnějším prostředí a propustnosti oděvu pro vodní páry. Parametr paropropustnosti lze zaměnit za výparný odpor, který simuluje podmínky vnímané člověkem při nošení oděvu a následném odparu potu. Rozlišujme celkový výparný odpor a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu (mezní vrstvy) [6].

Metody měření [6]:

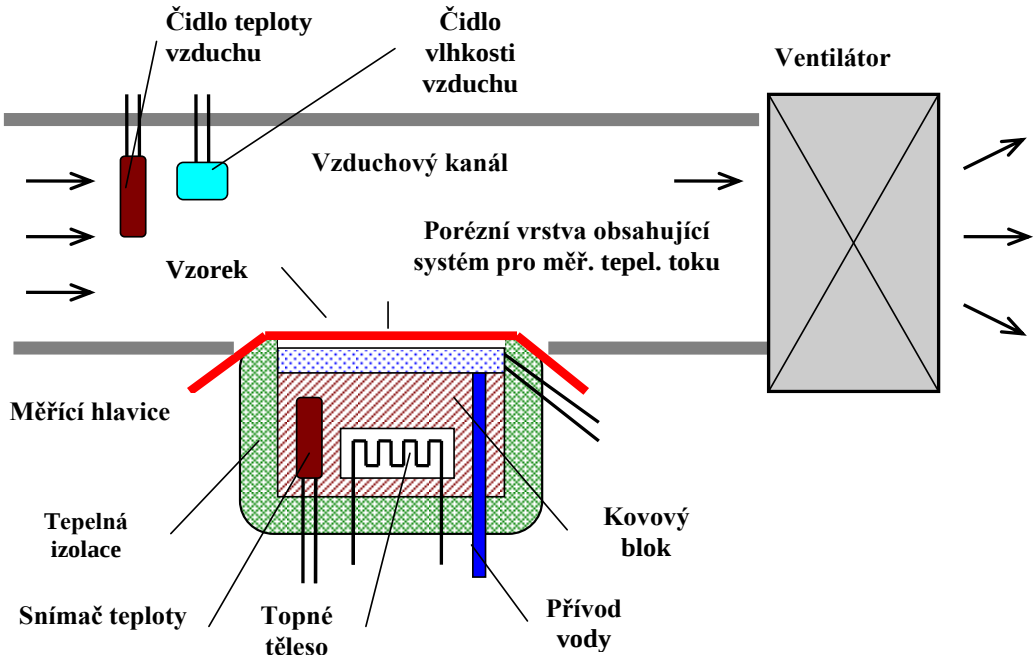
- Gravimetrická
- DREO
- SKIN MODEL
- Permetest

6.2.1 Měření pomocí Permetestu

Měří se výparný odpor, paropropustnost a tepelný odpor. Výhodou je krátká doba měření a možnost provádět měření v běžných klimatických podmínkách.

Přístroj založený na přímém měření tepelného toku q procházejícího povrchem tohoto tepelného modelu lidské pokožky. Měřený vzorek je přiložen přes separační folii, na

porézní povrch modelu, který je zvlhčován čímž stimuluje ochlazování pokožky. Vnější strana je ochlazována vzduchem [6]. Znázorněno na obr. 31.



Obr. 31 Schéma Permetestu[6]

Měříme-li výparný odpor a paropropustnost, je měřící hlavice udržována na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20-30°C) a to za pomocí elektrické topné spirály a regulátoru. Přiváděná vlhkost se v porézní části proměňuje v páru, která prochází skrz separační folii. Výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem. Měření tepelného toku je prováděno nejprve bez vzorku a poté se vzorkem v obou případech se registrují příslušné tepelné toky q_o a q_v [6].

Naměřené hodnoty jsou přímo úměrné paropropustnosti nebo nepřímo úměrné jejímu výparnému odporu.

Tepelný odpor se měří při teplotě vyšší o 10-20°C než je teplota okolního vzduchu, hlavice je suchá. Tepelný tok odváděný konvencí je registrován [6].

Relativní paropropustnost pro páry

Měří se schopnost textilie propustit vodní páry. Přičemž 100% propustnost pro vodní páry se rovná hodnotě tepelného toku q_v získaného odparem z vodní hladiny.

Textilní vzorek je stejné velikosti jako vodní hladina, a tudíž je hladina celá zakrytá textilní vrstvou [6].

Platí [6]: $p = 100\% (q_v / q_o)$ [%] (3)

Pro výparný odpor [6]:

$$R_{et} = (P_m - P_a)(q_v^{-1} - q_o^{-1}) \qquad (4)$$

Výparný odpor lze klasifikovat jednotkou R_{et}, pro úplnost je uvedena i jednotka g/m^2 za 24 hodin, obě jsou normované [6].

Ret	< 6	- velmi dobrá	(nad 20 000g/m^2.24h)
Ret	6 - 13	- dobrá	(9 000-20 000g/m^2.24h)
Ret	13 -20	- uspokojivá	(5 000-9 000g/m^2.24h)
Ret	> 20	- neuspokojivá	(pod 5 000g/m^2.24h)

Tato klasifikace pro hasičské zásahové uniformy zcela neodpovídá. Jejich uniformy musí být odolné vůči mnoha vlivům, jako jsou teplo, chemikálie. Hodnoty R_{et} do 30 m^2 Pa/W jsou dobré, nad 40 m^2 Pa/W neuspokojivé.

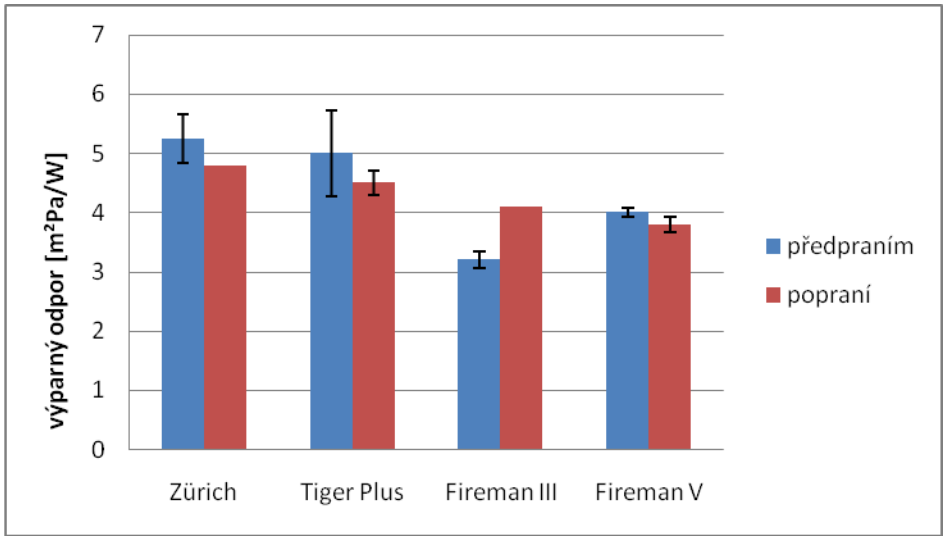
6.3 Vyhodnocení měřených vzorků

Měření probíhalo při teplotě 25°C a vlhkosti vzduchu 34%, vzorky měly teplotu okolního vzduchu.

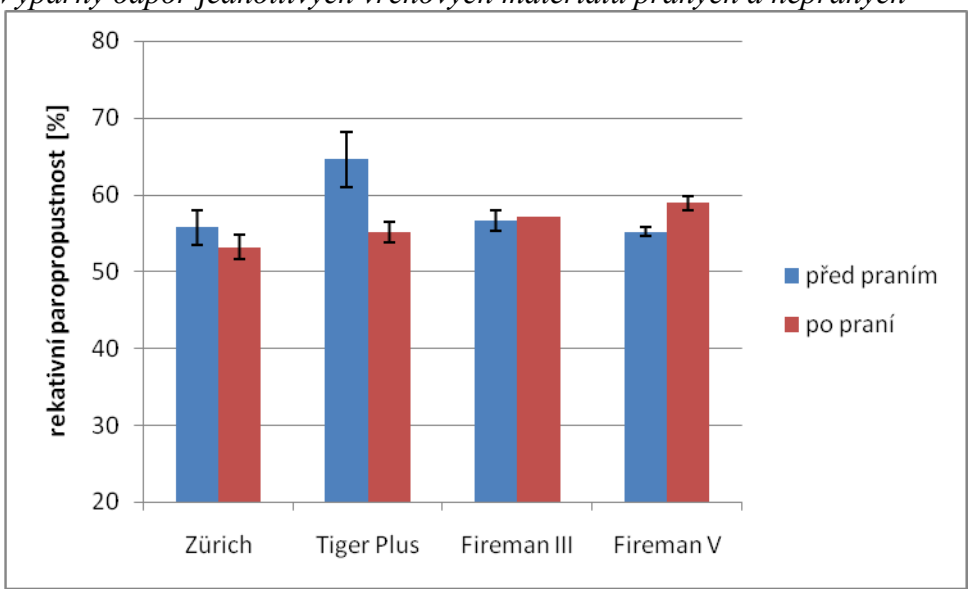
Vzorky byly měřeny zvlášť i dohromady, měření bylo provedeno 5x . Z naměřených hodnot byly vypočítány statistické charakteristiky, které jsou uvedeny v příloze.

6.3.1 Měření vrchových materiálů

Graf 1 popisuje rozdíl mezi výparným odporem praného a nepraného vzorku. Čím nižší je hodnota výparného odporu, tím více je vzorek propustný pro vodní páry. Všechny vzorky dosáhly velmi dobré hodnoty R_{et}. Nejpropustnější pro vodní páry se ukázal vzorek Fireman III. Porovnání před praním a po praní prokázalo mírné zlepšení R_{et} u všech vypraných vzorků. Jedinou výjimkou byl Fireman III, který po praní R_{et} zhoršil.



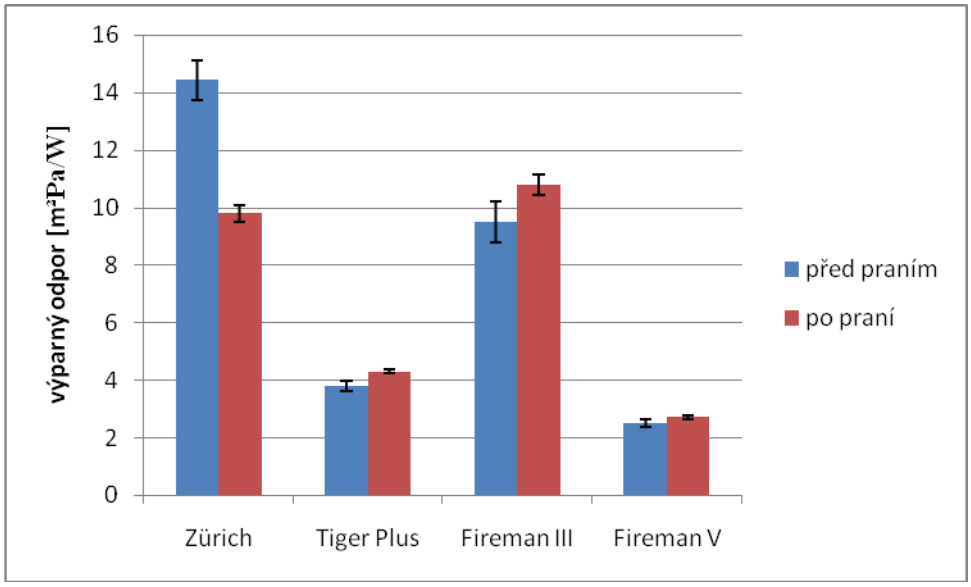
Graf 1 Výparný odpor jednotlivých vrchových materiálů pranych a nepranych



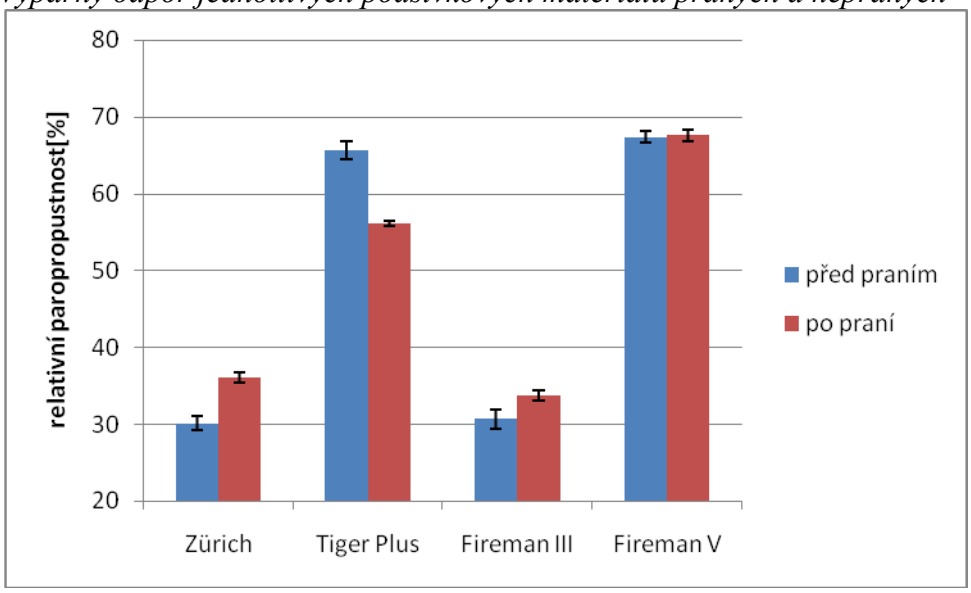
Graf 2 Relativní paropropustnost jednotlivých vrchových materiálů pranych a nepranych

6.3.2 Měření podšívek

Podšívky jsou na Grafu 3 rozděleny do dvou skupin, je to způsobeno tloušťkou tkaniny. Vzorky Zürich a Fireman III jsou objemnější, protože podšívky se skládají z tkaniny a netkané textilie. Po praní se výparný odpor mírně zhoršil u všech vzorků, výjimkou je Zürich, u kterého se po praní R_{et} výrazně zlepšil.



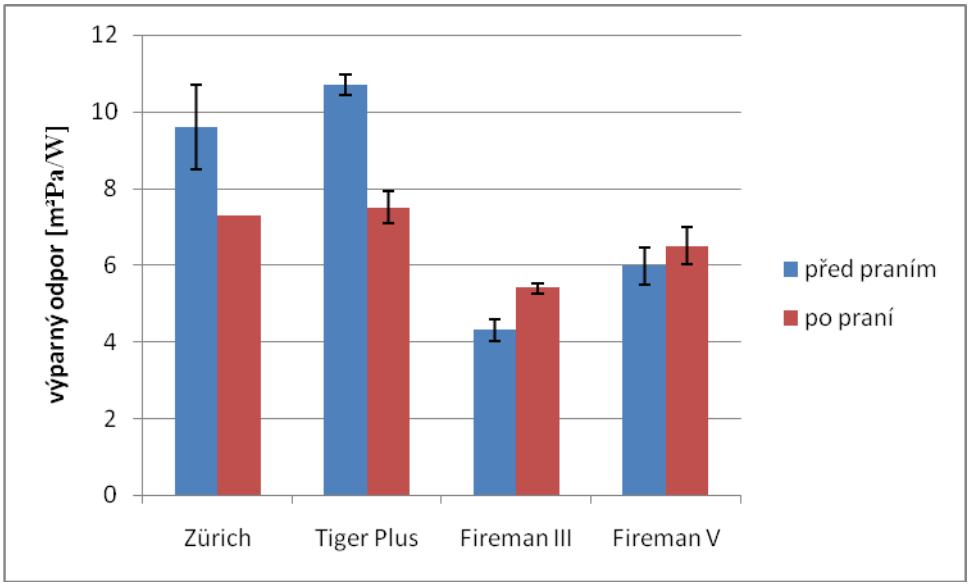
Graf 3 Výparný odpor jednotlivých podšívkových materiálů praných a nepraných



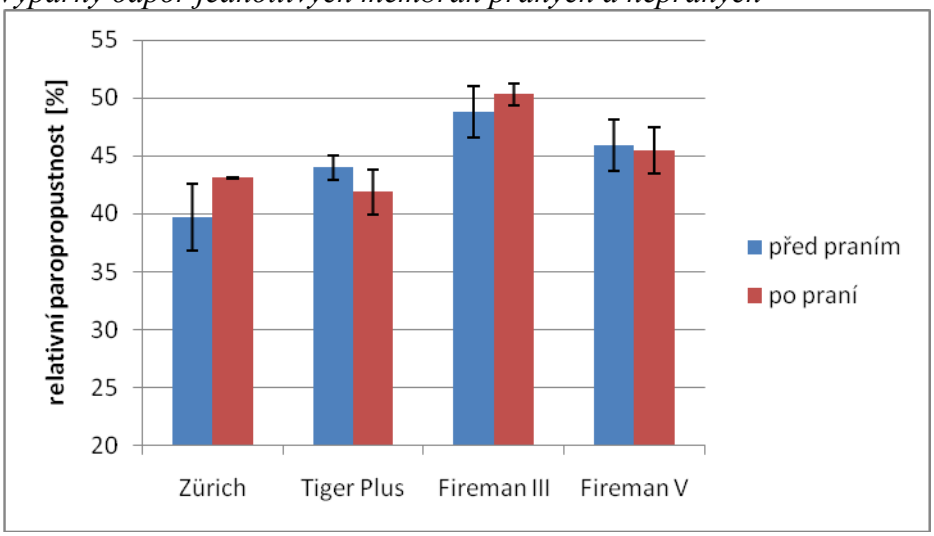
Graf 4 Relativní paropropustnosti jednotlivých podšívkových materiálů praných a nepraných

6.3.3 Měření membrán

Měření samostatných membrán potvrdilo jejich velmi dobrou paropropustnost. Nejlepší výsledky měl vzorek Fireman III, jež je vybaven PU-membránou. Nejhorší se stal Tiger Plus s membránou GORE-TEX® Fireblocker N. Prané vzorky Zürich a Tiger Plus vykazují zlepšení výparného odporu. U Fireman III a Fireman V byla změna statisticky nevýznamná.



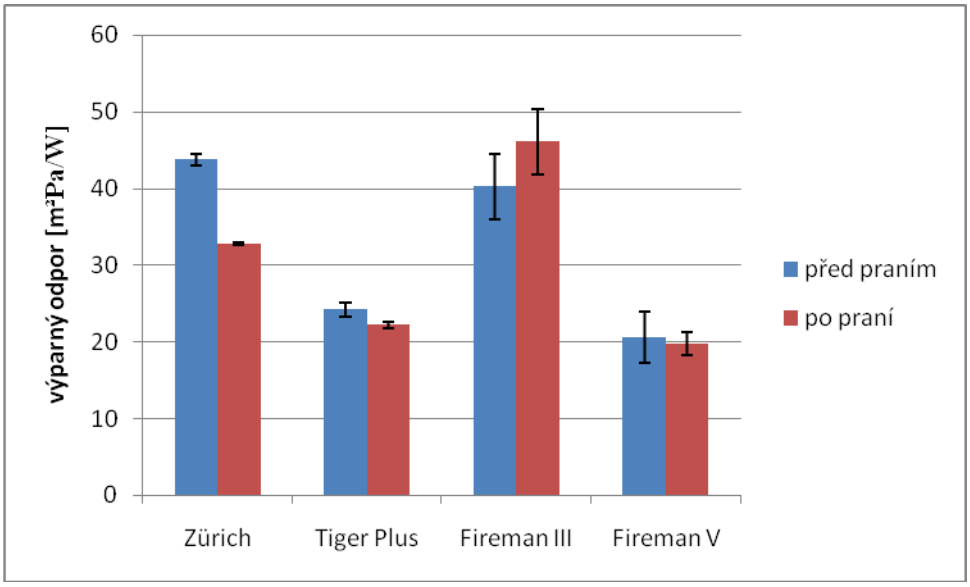
Graf 5 Výparný odpor jednotlivých membrán praných a nepraných



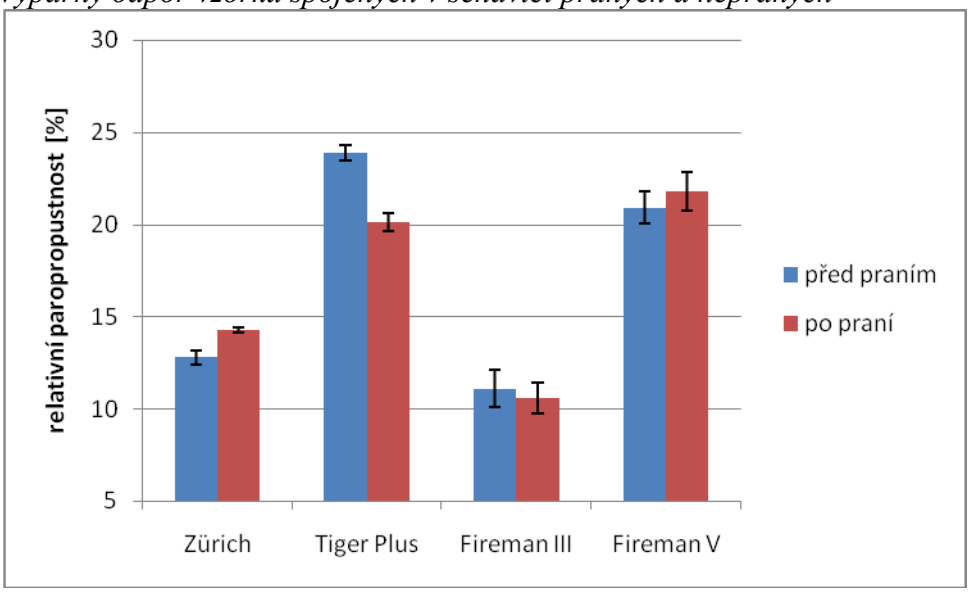
Graf 6 Relativní paropropustnosti membrán praných a nepraných

6.3.4 Měření vzorků v sendviči

Spojení všech materiálů do sendviče ukázalo zvýšení hodnoty R_{et}. Z grafu 7 lze vyčíst, že zásahové uniformy Fireman V a Tiger Plus dosahují dobrých hodnot. Oděvní sestava Zürich je na hranici uspokojivých hodnot. Fireman III má podle našich měření velmi nevhodné hodnoty paropropustnosti, je to způsobeno podšívkou s tepelnou vložkou. Podšívka s tepelnou vložkou má za následek zhoršení komfortních vlastností z hlediska paropropustnosti. Překvapující je sestava Tiger Plus, jejíž výsledky v samostatných měřeních nebyly převratné, ale po spojení jsou hodnoty dobré.



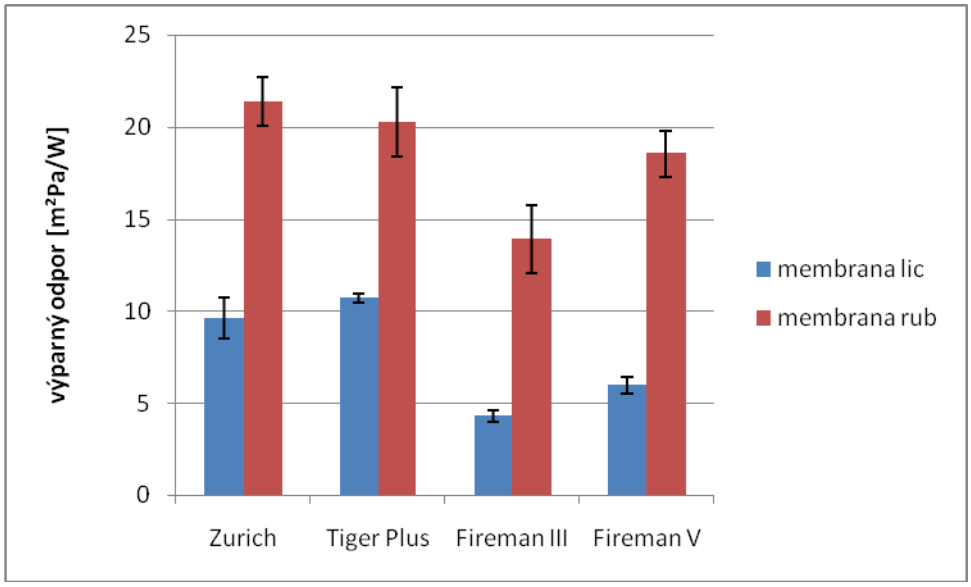
Graf 7 Výparný odpor vzorků spojených v sendviči praných a nepraných



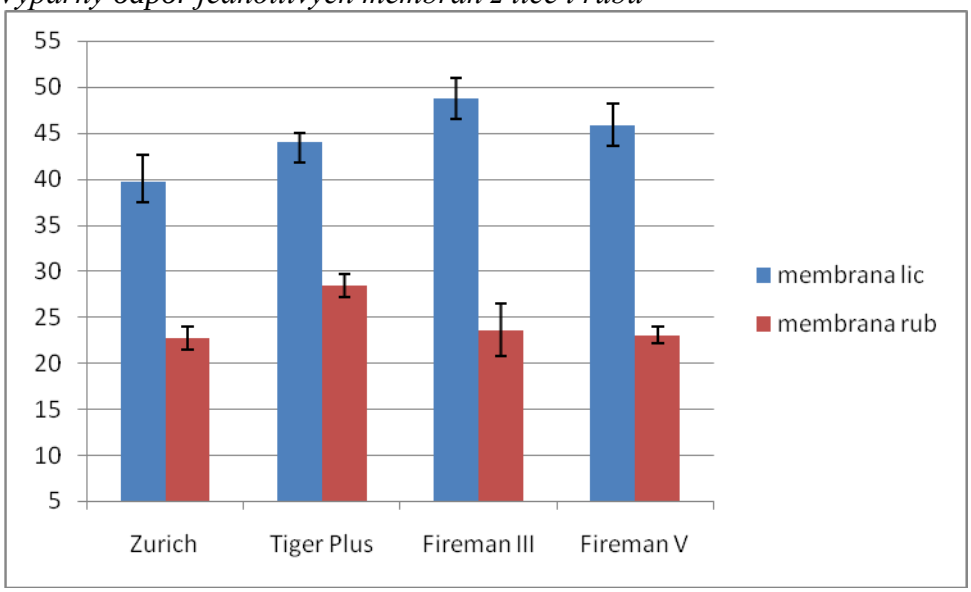
Graf 8 Relativní paropropustnosti vzorků spojených v sendviči praných a nepraných

6.3.5 Měření membrány z rubu

Při testování jednotlivých vrstev byla membrána měřena z rubní strany, aby bylo zjištěno, jestli se výparný odpor líce membrány a rubu liší. A potvrzeno správné položení membrány v oděvní vrstvě. Výparný odpor vzorků Zürich a Tiger Plus se dostal do neuspokojivých hodnot. Fireman III a Fireman V velmi zhoršily hodnoty R_{et}.



Graf 9 Výparný odpor jednotlivých membrán z líce i rubu

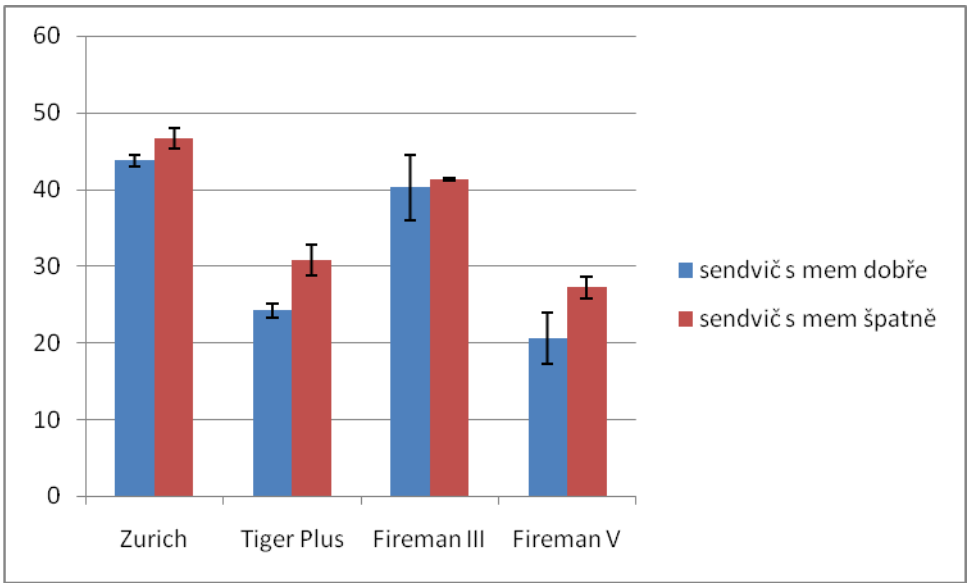


Graf 10 Relativní paropropustnosti jednotlivých membrán z líce i rubu

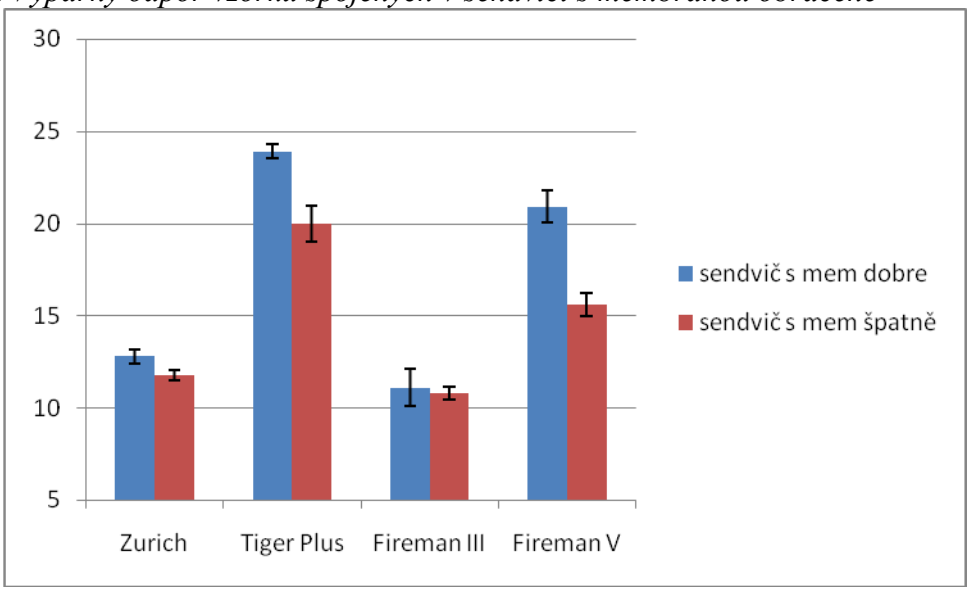
6.3.6 Měření vzorků v sendviči s membránou obráceně

Po proměření jednotlivých vrstev byly spojeny do sendviče. Vněm byla membrána obrácená oproti původnímu položení.

Graf 11 znázorňuje jaký dopad má obrácení membrány v sendviči. Nedošlo k výraznému zvýšení hodnot R_{et}, ale v původním uspořádání byly hodnoty lepší.



Graf 11 Výparný odpor vzorků spojených v sendviči s membránou obráceně



Graf 12 Relativní paropropustnosti vzorků spojených v sendviči s membránou obráceně

7. Diskuze

Byly zjišťovány komfortní vlastnosti s důrazem na paropropustnost vzorků. Měření probíhalo v souladu ČSN EN 31092. Získány byly hodnoty výparného odporu a relativní paropropustnosti u jednotlivých materiálů a jejich vrstev.

Dále bylo prováděno praní podle postupů doporučených výrobcem a ČSN praní zahrnovalo 5 pracích cyklů a jednotlivé vrstvy vzorků byly prány spolu. Jeden cyklus praní se skládá ze standardní prací lázně o teplotě 40°C, byla použita mezní teplota 60°C, pro zkoušení největšího možného opotřebení. Po praní bylo provedeno sušení kvůli obnovení úpravy proti tekutým chemikáliím.

Měření ukázalo velmi dobrou paropropustnost u nevypraných vrchových materiálů vyrobených z meta-aramidového vlákna Nomex®. Nejlepší výparný odpor ukázal Fireman III v keprové vazbě před praním. Po praní se výparný odpor zhoršil o 1bod na stupnici grafu. Ostatní vzorky po praní paropropustnost nepatrně zlepšily.

Podšívkové materiály byly při měření rozděleny do dvou skupin: s tepelnou izolační vrstvou a bez ní. Zürich a Fireman III vzorky s tepelnou izolační vrstvou před praním mají hodnoty paropropustnosti dobré. Po praní Fireman III byly hodnoty nepatrně horší, hodnoty Zürich lepší o 4 body na stupnici grafu. U vzorku Zürich je podšívka tvořena netkanou textilií z druhotných surovin, špatné rozvolnění přízí může mít za následek tvoření hluchých míst v tkanině. Ve vzorcích Tiger Plus a Fireman V, ve kterých podšívku tvoří tenká textilie v plátnové vazbě, se výparný odpor pohybuje ve velmi dobrých hodnotách.

Membrány tvořeny laminováním na netkanou textilii měly dobré hodnoty výparného odporu před praním. Nejlepší výparný odpor byl naměřen před i po praní Fireman III s PU-membránou. Nejhorší byl vzorek Tiger plus s membránou GORE-TEX® Fireblocker N. Vzorky Tiger Plus a Zürich po praní mírně zlepšily paropropustnost.

U materiálů uspořádaných stejně jako ve skutečném oděvu se paropropustnost držela na hranici uspokojivých hodnot. Nejlepší výparný odpor byl naměřen u vzorku Fireman V před i po praní. Jež tvoří vrchový materiál - Nomex® v plátnové vazbě, membrána GORE-TEX® Airlock, podšívka- Nomex® v plátnové vazbě. Druhým vzorkem s upokojivým výparným odporem se stal Tiger Plus, který si i po praní zachoval stejné komfortní vlastnosti. Zürich před praním získal neuspokojivé hodnoty, to bylo způsobeno tepelnou izolační vrstvou. Avšak po praní se hodnoty dostaly mezi

upokojivé. Bylo to způsobeno nejenom podšívkou, která po praní zlepšovala své komfortní vlastnosti, taktéž u membrány se projevil stejný jev. Neuspokojivé hodnoty byly naměřeny u vzorku Fireman III před i po praní. Materiály samy o sobě byly dobře paropropustné, ale spojení do sendviče ukázalo neuspokojivé hodnoty. Pro úplnost byly membrány položeny obráceně na senzor přístroje. Paropropustnost takto měřených membrán se zhoršila až o polovinu. U vzorků Zürich a Tiger Plus byly naměřeny neuspokojivé hodnoty. Srovnání ve vrstvách prokázalo, že otočením membrány se komfortní vlastnosti zhorší. Proto se původní uspořádání ukázalo jako správné.

Při malém počtu pracích cyklů, nebylo zjištěno výrazné zhoršení komfortních vlastností materiálů použitých pro výrobu zásahových hasičských uniforem. Některé matriály prokázaly zlepšení. Za následek to má rozvolnění rouna u membrán a tepelných izolačních vrstev podšívek. Po zřídnutí struktury rouna se paropropustnost zlepšila. Avšak pokud bude řídnutí pokračovat, mohou membrány ztratit ochrannou vrstvu, což může vést k poškození membrány. Avšak materiály nebyly prány spojené šitím, jako ve skutečném oděvu. Bylo by dobré ověřit vliv praní na komfortní vlastnosti hotového oděvu. Dále bylo potvrzeno, že stávající uspořádání materiálů ve vrstvě je správné a funkce membrány je tím lepší, čím blíže je k pokožce.

Vliv vzduchové mezery na paropropustnost materiálů spojených ve vrstvě. Sečtení jednotlivých výparných odporů [m^2Pa/W] materiálů (vrchový, membrána, podšívka) v tab. 3, je uvedeno pod názvem vypočítané hodnoty. Rozdílem mezi hodnotami sečtených jednotlivých výparných odporů a naměřenými hodnotami získáme vliv vzduchové mezery na komfortní vlastnosti oděvu. Rozdíly mezi hodnotami naměřenými a spočítanými hodnotami jsou uvedeny v tab. 3. Z toho vyplývá, že vzduchová mezera má velký vliv na paropropustnost.

Vzorky	Naměřené hodnoty výparného odporu [m^2Pa/W] vzorků v sendviči před praním	Vypočítané hodnoty výparného odporu [m^2Pa/W]	Rozdíl hodnot
Zürich	43,7	29,2	13,8
Tiger Plus	24,2	19,5	11,3
Fireman III	40,2	17	23,3
Fireman V	20,6	12,4	7,6

Tab. 3 Vliv vzduchové mezery na paropropustnost vrstvy

8. Závěr

Cílem práce bylo provést měření paropropustnosti na různých druzích hasičských uniforem bez praní a po praní. Zhodnotit výsledky měření s důrazem na polopropustné membrány.

Prostup vlhkosti mezi vrstvami zásahového hasičské uniformy je realizován pomocí membrány. V textu jsou kromě membrán uvedeny i zátěry, jež fungují na stejném principu jako membrány. Rozdíl nastává mezi hydrofobními membránami/zátěry a hydrofilními.

U hydrofobních membrán měření prokázalo jejich vhodnost pro použití do zásahových hasičských uniforem.

U samostatných membrán byly naměřeny dobré paropropustnosti, hodnoty výparného odporu nepřesáhly 11[m^2Pa/W].

Měření vrstev prokázalo neuspokojivé hodnoty výparného odporu u vzorku Fireman III, který je vybaven PU-membránou. Taktéž u vzorku Zürich s membránou Gore-tex fireblocker. Nejlepší hodnoty výparného odporu 20 [m^2Pa/W] byly naměřeny u vzorku Fireman V s membránou GORE-TEX® Airlock. Uspokojivý hodnot dosáhl Tiger Plus s membránou GORE-TEX® Fireblocker N. Neuspokojivé hodnoty jsou u vzorků zapříčiněny tepelnou izolační vrstvou.

Po 5 cyklech praní nebyly u membrán výrazné negativní změny komfortních vlastností. Zürich zlepšil výparný odpor a tím se dostal na hranici uspokojivých hodnot. Při větším počtu pracích cyklů se bude nejspíše paropropustnost zhoršovat.

Z hlediska naměřených hodnot byla shledána jako nejvhodnější membrána vzorku Fireman V GORE-TEX® Airlock nebo Tiger Plus s membránou GORE-TEX® Fireblocker N.

9. Literatura

[1] MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, Avicenum, 2005. 204 s. ISBN 80-247-1190-7.

[2] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Vyd.1. Liberec: TU Liberec, 2003. 221 s. ISBN 80-7083682-2.

[3] HORROCK, A. Richard; ANAND, Subhash. Handbook of technical textiles. Bolton, UK; CRC Press, Woodhead, 2000. 576 s. ISBN 1 85573 385 4.

[4] DVOŘÁK, Otto; ŠTEVKOVÁ, Erika; KOTINSKÝ, Petr. *Ochranné oděvy pro hasiče: vlastnosti, zkoušení, praktické používání a certifikace*. Praha: MV- generální ředitelství HZS ČR jako přílohu časopisu 150-HOŘÍ, 5/2002. 15 s.

[5] ČSN EN ISO 6330 (80 0821): *Textilie - Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií.* Praha: Český normalizační institut, 2002. 20 s.

[6] HES, Luboš; SLUKA, Petr. *Úvod do komfortu textilií.* Liberec: TU v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.

[7] Products [online]. [cit. 2011-03-12]. Dostupné z WWW: <http://www.torayentrant.com/index.html>.

[8] BRZEZIŃSKI, Stefan, et al. Structure and properties of microporous polyuretane membranes design for textil-polymetric composite systém. *Fibres & Textiles in Eastrn Europe. 2005, 13, s, 53-58*

[9] Deva s.r.o. *Your smart solution* [online]. 2010 [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.deva-fm.cz/index.html>

[10] W. L. Gore & Associates GmbH. GORE-TEX. *Gore-tex* [online]. 2010 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW:<http://www.gore-tex.cz/>.

[11] ČSN 80 0855 (800855): Zjišťování relativní paropropustnosti vodních par plošnou textilií. Praha: Československá státní norma, 1976. 4s.

[12] MACHÁČEK, Petr, HOFMAN, Jan. *Víte, co si oblékáte?* [online]. 2007 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW:<http://jumpsport.cz/vite-co-si-oblekate/>.

[13] Sambar. *Asolo power matic 400 GV -dámské boty* [online]. [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http://sambarsport.cz/trekove/asolo-power-matic-400-gv-damske-boty/>

[14] Wikipedie otevřená encyklopedie. *Aramidová vlákna* [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http//cs.wikipedia.org/wiki/Aramidová_vlákna/>

[15] Textilní univerzita v Liberci. *Funkční textilie, sport, outdoor* [online]. [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http//www.ft.tul.cz/depard/kde/studium/predmetyPRILOHY/6_sport0.pdf/>

[16] Wikipedie otevřená encyklopedie. *Polyterafluorethylen* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/PTFE/>

Seznam obrázků

Obr. 1 Odvod vlhkosti s povrchu kůže [6] 12
Obr. 2 Odvod kapalného potu první textilní vrstvou [6] 13
Obr. 3 Difuzní odvod [6] 14
Obr. 4 Vazba textilie Ventile [15] 16
Obr. 5 Schéma tkaniny s velmi hustou dostavou [7] 16
Obr. 6 Membrána Gore-Tex pod elektronovým mikroskopem [13] 17
obr. 7 Příčný řez neporézní membránou [15] 18
obr. 8 Amorfní oblast [3] 18
Obr. 9 a) Z-liner, b) třívrstvý laminát), c) a d) dvouvrstvý laminát [3] 19
Obr. 10 Příčný řez mikroporézním PU zátěrem[15] 20
Obr. 11 Schéma prostupu par mikroporézním zátěrem[3] 20
Obr. 12 Průřez tkaninou s hydrofilním zátěrem [12] 22
Obr. 13 Schéma M-aramidů [14] 23
Obr. 14 Schéma P-aramidy [14] 23
Obr. 15 Vzorec PTFE vlákna [16] 23
Obr. 16 Hasičský zásahový oblek [9] 25
Obr. 17 Vzorek Zürich a) nepraný, b) praný 27
Obr. 18 Vzorek Tiger Plus a) nepraný, b) praný 27
Obr. 19 Vzorek Fireman III a) nepraný, b) praný 28

Obr. 20 Vzorek Fireman V a) nepraný, b) praný 28
Obr. 21 Membrána GORE-TEX® a) nepraná, b) praná 28
Obr. 22 Nosná textilie membrány a) nepraná, b) praná 28
Obr. 23 PU- membrána a) nepraná, b) praná 29
Obr. 24 Nosná textilie membrány a) nepraná, b) praná 29
Obr. 25 Vzorek Zürich a) nepraný, b) praný 29
Obr. 26 Vzorek Zürich Rub a) nepraný, b) praný 30
Obr. 27 Vzorek Tiger Plus a) nepraný, b) praný 30
Obr. 28 Vzorek Fireman III a) nepraný, b) praný 30
Obr. 29 Vzorek Fireman III Rub a) nepraný, b) praný 30
Obr. 30 Vzorek Fireman V a) nepraný, b) praný 31
Obr. 31 Schéma Permetestu[6] 32

Seznam grafů

Graf 1 Výparný odpor jednotlivých vrchových materiálů praných a nepraných 34
Graf 2 Relativní paropropustnost jednotlivých vrchových materiálů praných a nepraných 34
Graf 3 Výparný odpor jednotlivých podšívkových materiálů praných a nepraných 35
Graf 4 Relativní paropropustnosti jednotlivých podšívkových materiálů praných a nepraných 35
Graf 5 Výparný odpor jednotlivých membrán praných a nepraných 36
Graf 6 Relativní paropropustnosti membrán praných a nepraných 36
Graf 7 Výparný odpor vzorků spojených v sendviči praných a nepraných 37
Graf 8 Relativní paropropustnosti vzorků spojených v sendviči praných a nepraných.. 37
Graf 9 Výparný odpor jednotlivých membrán z líce i rubu 38
Graf 10 Relativní paropropustnosti jednotlivých membrán z líce i rubu 38
Graf 11 Výparný odpor vzorků spojených v sendviči s membránou obráceně 39
Graf 12 Relativní paropropustnosti vzorků spojených v sendviči s membránou obráceně 39

Seznam tabulek

Tab. 1 Výdej tepla při denních činnostech [2] 10
Tab. 2 Materiály použité při měření 24
Tab. 3 Vliv vzduchové mezery na paropropustnost vrstvy 40