

Vliv doby měření a kontaktní oděvní mezivrstvy na experimentálně stanovený výparný odpor textilních laminátů obsahujících hydrofilní polopropustné membrány

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní marketing

Autor práce:

Anastasiya Kharchenkova

Vedoucí práce:

prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
Katedra hodnocení textilií





Zadání bakalářské práce

Vliv doby měření a kontaktní oděvní mezivrstvy na experimentálně stanovený výparný odpor textilních laminátů obsahujících hydrofilní polopropustné membrány

Jméno a příjmení: Anastasiya Kharchenkova
Osobní číslo: T18000277
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní marketing
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: 2020/2021

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte základní poznatky o termofyziologickém komfortu textilií a způsobech hodnocení jejich paropropustnosti. Stručně popište strukturu a vlastnosti polo-propustných zejména pak hydrofilních membrán používaných k výrobě ochranných a sportovních oděvů.
2. Opatřete vzorky textilních laminátů s hydrofilními polopropustnými membránami od různých výrobců a jeden vzorek s PTFE mikroporézní membránou. Na přístroji PERMETEST pak měřte jejich výparný odpor a relativní paropropustnost za sucha při postupně vzrůstajících dobách měření až do 15 minut. Podobně změřte jejich výparný odpor i pro případ, kdy měřené lamináty jsou podloženy hydrofobní textilií oděvní mezivrstvou mezi kůží a měřeným laminátem.
3. Výsledky měření zpracujte pomocí statistických metod, zobrazte graficky a vyhodnoťte vliv doby měření a výparného odporu oděvní mezivrstvy na výparný odpor hodnocených vzorků. Získané poznatky doplňte jednoduchým modelem představujícím do serie zapojené výparné odpory, který umožní přibližné stanovení stupně zavlhčení hydrofilní vrstvy. Na závěr navrhněte postup měření paropropustnosti hydrofilních membrán v porovnání s měřením paropropustnosti membrán mikroporézních.

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

tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

Hes L. Sluka, P. Úvod do komfortu textilií. Skriptum TULFT, Liberec 2005. Kuneš J. a kol. Tepelné bariéry, Academia 2003 Hes L. Bogusławska, Baczek M. Analysis and experimental determination

Vedoucí práce: prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce: 29. října 2020
Předpokládaný termín odevzdání: 16. května 2022

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

L.S.

Ing. Roman Knížek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 4. dubna 2022

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

15. května 2022

Anastasiya Kharchenkova

PODĚKOVÁNÍ

Při této příležitosti bych ráda poděkovala panu prof. Ing. Lubošovi Hesovi, DrSc., za odbornou pomoc a věcné rady při zpracování bakalářské práce.

Také chci velmi poděkovat své rodině, partnerovi a přátelům za fyzickou i psychickou podporu po dobu mého studia a při psaní této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je vliv doby měření a vliv kontaktní oděvní mezivrstvy na experimentálně stanovený výparný odpor textilních laminátů obsahujících hydrofilní polopropustné membrány. V bakalářské práci byl proveden výzkum a analýza těchto membrán a jejich paropropustnosti. Studovány byly vzorky dvouvrstevných textilních laminátů s hydrofilními polo-propustnými membránami od různých výrobců a dále vzorek s mikroporézní membránou. Měření bylo realizováno na stroji Permetest. Hlavním cílem práce bylo analyzování empirických výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA:

komfort, vodní pára, paropropustnost, hydrofilní polopropustná membrána, experiment, analýza, Permetest, materiál, textil.

ABSTRACT

The topic of this work is the influence of measurement time and contact clothing interlayer on experimentally determined vapor resistance of textile laminates containing hydrophilic semipermeable membranes. The presented work focused on research and analysis of the nature of membranes and vapor permeability. Measurements of the samples of two-layer textile laminates with hydrophilic semipermeable membranes from various manufacturers and a sample with a microporous membrane were performed. The measurement was studied using Permetest instrument. The analysis of empirical results is the aim of the work.

KEY WORDS:

comfort, vapor, vapor permeability, hydrophilic semipermeable membrane, experiment, analysis, Permetest, material, textile.

OBSAH:

ÚVOD	9
TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TEXTILNÍ KOMFORT, ROLE KOMFORTU PŘI VÝBĚRU ODĚVU A JEHO TYPŮ	10
1.1 Psychologický komfort.....	10
1.2 Senzorický komfort.....	11
1.3 Termofyziologický komfort.....	11
1.4 Patofyziologický komfort	12
2 SOUSTAVA ORGANISMUS-ODĚV-PROSTŘEDÍ	13
2.1 Oděv.....	13
2.2 Prostředí	13
2.3 Základy tepelné fyziologie lidského těla	14
3 TERMOREGULACE	15
3.1 Přenos tepla mezi člověkem a okolím	15
3.2 Odvod plynné vlhkosti z povrchu lidského těla.....	16
3.3 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla	16
4. SPORTOVNÍ OBLEČENÍ	17
4.1 Hlavní vlastnosti sportovního oblečení.....	17
4.2 Klasifikace oblečení podle ročních období:.....	17
4.3 Charakteristika polopropustných textilií a typy membrán.....	18
4.4 Konstrukce membrán.....	21
4.5 Způsoby nanášení membrány na látku.....	23
4.6 Hlavní vlastnosti membrán	24
4.7 Doporučení pro péči o membránu	24
5. HODNOCENÍ TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU	25
5.1. Tepelný odpor	25
5.2 Výparný odpor	25
5.3 Zjišťování relativní propustnosti vodních par pomocí přístroje PERMETEST	25
PRAKTICKÁ ČÁST	28
6. MATERIÁLY A METODY	28
6.1 Měření textilních laminátů na přístroji Permetest.....	28

6.2 Princip měření.....	29
6.3 Popis vzorků	29
6.4 Analýza problému.....	43
ZÁVĚR	50
LITERATURA	52
PRILOHY	55

ÚVOD

V souvislosti s transformací ekonomiky země se zvyšuje důležitost efektivních marketingových aktivit a adaptace fungování textilních podniků vzhledem ke změnám spotřebitelské poptávky. Při výrobě textilního oděvu tudíž hraje zvláštní roli jeho kvalita a subjektivní pohodlí při výběru daného produktu.

Spotřebitel především dbá na přijatelnou cenu a zároveň na kvalitu. Fyzická analýza kvality je důležitým faktorem, na kterém závisí i cena produktu. Spotřebitel věnuje pozornost dvěma bodům: jaká je jedinečnost produktu a exploatace. V této práci byla zkoumána paropropustnost materiálů, a dále jejich kvalita a jedinečnost. Inovativní v této práci je také měření časové závislosti paropropustnosti a analýza chování vrstev materiálu. Experimentální část odpovídá na řadu otázek týkajících se odolnosti materiálů a také uživatelského komfortu.

Účelem práce je studovat teoretická stanoviska, zdůvodnit metodické přístupy a vypracovat praktická doporučení o vlivu doby měření a vlivu kontaktní oděvní mezivrstvy na experimentálně stanovený výparný odpor textilních laminátů obsahujících hydrofilní polopropustné membrány.

V současné době je výzkum paropropustnosti realizován pokročilými technologiemi. Významné příspěvky k tomuto tématu přinesli: C.J. Painter, B. Das, A. Das, R. Fanguiero, I. Ozen, L. Hes, A. Razzaque, J. Kuneš, V. Kothari, D.A. Holms, P. Sluka, J. Salacová a H. Affan Abid. Profesor Luboš Hes je jedním z vynálezců zařízení „Permetest“, používaném v této bakalářské práci.

Cílem výzkumu bylo experimentální ověřování relativně nové metody stanovení paropropustnosti polopropustných laminátů (používaných ve sportovních a ochranných bundách resp. oděvech) s použitím rychle měřicího přístroje Permetest.

TEORETICKÁ ČÁST

1 TEXTILNÍ KOMFORT, ROLE KOMFORTU PŘI VÝBĚRU ODĚVU A JEHO TYPŮ

Definice uživatelského komfortu ovlivňuje poptávku spotřebitelů. Podstatou komfortu je stav živého organismu, ve kterém má prostředí malý vliv na fyzikální vlastnosti organismu. V případě osob se používá ošacení. Oblečení chrání před nepříjemnými pocity vnímanými našimi smysly při ochraně před okolním prostředím. Komfort nejčastěji spočívá v rozložení teplot přibližně pěti stupňů. V tomto stavu se člověk cítí bezpečně. Nehrozí mu žádná nemoc a neprožívá teplotní stres.

Vnímání pohody nebo pohodlí je dosahováno různými smysly, hmatem, zrakem, sluchem a čichem. Opakem je nepohodlí – pocity tepla nebo chladu. Pocit tepla se objevuje při velké námaze nebo v horkém a vlhkém klimatu. Chlad se projevuje především v reakci na nízké klimatické teploty nebo malou pracovní zátěž ve vlhkém prostředí. Komfort lze zjednodušeně definovat jako absenci znepokojujících či bolestivých vjemů.

Komfort dělíme na:

- Psychologický
- Senzorický
- Termofyziologický
- Patofyziologický

1.1 Psychologický komfort

Psychologický komfort zahrnuje různá hlediska, ekonomické: historické, kulturní, sociální, skupinové a individuální. Tato hlediska patří do oboru oděvního návrhářství a zahrnují módní vlivy a styl, barvu a lesk, trendy a osobní preference.

Hlavním hlediskem můžeme nazvat pohodlí. Ten ve srovnání s ostatními je dobře patrný například u zvířat. Směrem k pólům velikost jedince roste a zároveň se zmenšují vyčnívající části těla - roste poměr objemu těla k povrchu těla [1-3].

1.2 Senzorický komfort

Definice sensorického komfortu: sensorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky s první vrstvou oděvu. Pocity vznikající při styku pokožky a textilie mohou být příjemné (jako pocit měkkosti, splývavosti) nebo naopak nepříjemné a dráždivé (jako je tlak, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, píchání, lepení apod.) [1-3].

Senzorický komfort lze rozdělit na komfort nošení a na omak.

a) Komfort nošení zahrnuje:

- Povrchovou strukturu použitých textilií
- Vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému
- Schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou či kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti. V tomto posledním bodě sensorický komfort souvisí s komfortem fyziologickým.

b) Omak je veličina značně subjektivní a špatně reprodukovatelná, založená na vjemech prostřednictvím prstů a dlaně. Při jistém zjednodušení lze omak charakterizovat těmito vlastnostmi:

- Hladkost (součinitel povrchu tření)
- Tuhost (ohybová a smyková)
- Objemnost (lze nahradit stlačitelností)
- Tepelně-kontaktní vjem

1.3 Termofyziologický komfort

Jedním z důležitých faktorů je termofyziologický komfort. Tělu je v prostředí příjemně, i když se přísun a výdej tepla neustále mění.

Stav, ve kterém člověk vydrží pracovat neomezeně dlouho, stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a okolím. Tento stav vyjadřuje stav tepelné pohody nebo jinými slovy termofyziologického komfortu [1-3].

Termofyziologický komfort nastává za těchto optimálních podmínek:

- Teplota pokožky 33-35 °C
- Relativní vlhkost vzduchu 50 ± 10 %
- Rychlost proudění vzduchu 25 ± 10 cm/s
- Obsah CO₂ 0,07 %

- Nepřítomnost vody na pokožce

Naším cílem je navrhovat oblečení tak, aby jeho schopnost přenášet teplo, kapalné i plynné a někdy i vzduch, tyto optimální hodnoty při nošení poskytovala. Studium prostupu par dává odpověď na otázky.

1.4 Patofyziologický komfort

Jedná se o působení chemických substancí obsažených v materiálu, ze kterého je oděv vyroben a mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce. Působení patofyziologických vlivů je závislé na odolnosti člověka proti účinkům chemických látek.

2 SOUSTAVA ORGANISMUS-ODĚV-PROSTŘEDÍ

2.1 Oděv

Po celou dobu existence člověka byl oděv vždy přítomný. Úlohou oděvu je podporovat lidský život při kontaktu s okolím. Jedná se o šitý materiál, který chrání člověka před teplotními vlivy a vlhkostí. Oblečení se může skládat z jedné nebo několika vrstev. Mezi vrstvami oblečení se vytvoří vzduchová mezera. Tak je získána struktura sendvičového typu, kde se střídají vrstvy tkaniny a vzduchové vrstvy. To má pozitivní vliv na přenos tepla, což má vliv i na komfort.

Existují čtyři typy procesů:

- Fyzikální procesy v oděvu a okolním prostředí, jako transport tepla a vlhkosti oděvem a mechanické chování textilie během nošení.
- Neurofyzilogické procesy, což jsou mechanismy systému senzorkého příjmu těla a jejich interakce s oděvem během nošení.
- Termofyzilogické procesy těla, tj. tepelná rovnováha a komfort těla.
- Psychologické procesy, což jsou procesy tvořící subjektivní vnímání komfortních pocitů.

2.2 Prostředí

Vnější prostředí jsou podmínky, ve kterých se člověk a jeho organismus pohybuje. Prostředí se dělí na: podmínky ve vnitřním prostředí a zeměpisné podnebí [4,5].

Studená oblast je prostředí, ve kterém člověk bez speciálního oděvu nachází v nebezpečí života. Akcentuje vlastnosti ochrany oděvu proti větru, záporným teplotám a vlhkosti. Oděvy musí chránit tělo před chladem z okolí dostatečnou tepelnou izolací a současně umožnit odvod vodních par, které vznikají pocením. Velmi často se v dnešní době používají vrstvené oděvy.

Teploty ve středních zeměpisných šířkách se pohybují v rozmezí přibližně $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. V této oblasti leží i Česká republika. Opět je v této oblasti možné použít princip vrstvení oblečení. V letním období se počasí ve střední klimatické oblasti podobá oblastem horkým.

Oblasti s horkým a suchým klimatem jsou charakteristické nízkou vlhkostí vzduchu. Teploty zde dosahují až 43 °C, avšak v noci mohou v některých oblastech klesnout až na -10 °C.

Tělo se při vysokých teplotách hodně potí. Kvůli takovým teplotám je důležité zajistit odvod potu od pokožky a využít chladícího účinku vznikajícího odpařováním potu z povrchu textilie.

V horkých a suchých oblastech je lepší používat přírodní materiály, protože zajišťují pomalé odpařování a chladivost. V takových chvílích je důležitá ochrana před slunečním zářením například hlavy, obličeje, a očí. Horká vlhá oblast má vysokou vlhkost vzduchu s velkým množstvím srážek. To je způsobeno prouděním vlhkého oceánského vzduchu směrem do vnitrozemí, které obsahuje vysokou vlhkost vzduchu a velké množství srážek. Teploty se pohybují v rozmezí od 12 °C do 35 °C.

Největším problémem v této oblasti je vysoká vlhkost vzduchu, proto je transport vlhkosti od pokožky do okolí prakticky nemožný. Následkem toho zůstává pokožka těla i oděv vlhký. Dokonalého komfortu většinou nelze snadno dosáhnout [4,5].

2.3 Základy tepelné fyziologie lidského těla

Pocity tepla: Tyto pocity se vytažují při větší fyzické zátěži nebo při působení tepelného či vlhkého klimatu. Mírné teplo se projevuje zvýšením teploty periferních oblastí (čelo, dlaň, chodidlo) doprovázené pocením. Oděv, který při nošení způsobuje tyto pocity, má vyhovující fyziologicko-hygienické vlastnosti pro použití.

Pot se objevuje na periferních oblastech, na zádech i hrudníku. Oděvy, které v nás vyvolávají takové pocity, jsou na rozhraní mezi stavy vyhovující a nevhovující. Pocity horka se vytažují při celkovém přehřátí organismu doprovázeném pocením a ztíženým dýcháním. Stékající pot nestačí být z povrchu pokožky odsáván [6].

Pocity chladu: Pocity chladu se vytažují především jako reakce na nízkou teplotu klimatu nebo nízké pracovní zatížení v oděvu. Mírné chladno se projevuje pocity lokálního mrazení na některých místech těla, nezakrytých nebo nedostatečně oblečených. Mohou být vyvolány zvýšeným prouděním vzduchu nebo nečinností po fyzické námaze.

3 TERMOREGULACE

Schopností těla udržovat stálou tělesnou teplotu je termoregulace. K této akci dochází, i když produkce tepla plynule kolísá. Pomocí různých termoregulačních mechanismů člověk udržuje stálou teplotu v místnosti, která uvnitř je 36-37 °C s odchylkou v ± 4 °C. Termoregulace je také proces, který kombinuje fyziologické procesy řízené centrálním nervovým systémem, udržování tělesné teploty na optimální hodnotě, při které dochází k metabolickým přeměnám.

Na tomto základě existuje termoregulace dvojího druhu:

- Chemická tvorba tepla
- Fyzikální výdej tepla

Chemická termoregulace představuje látkovou přeměnu a tvorbu tepla. Je závislá na fyzické zátěži organismu. Fyzikální termoregulace zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu, tedy tvorbu a výdej tepla.

3.1 Přenos tepla mezi člověkem a okolím

K přenosu tepla mezi živými organismy a okolím dochází způsoby: kondukcí (vedením), konvekcí (prouděním), radiací (zářením) [1-3].

Kondukcce

Kondukcí ztrácíme teplo tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Jde o přenos tepla chodidly, zadní části těla při sezení či spánku, ale vedení tepla je také hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách oděvních systémů.

Konvekce

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Teplo je transportováno částicemi tekutin pohybujícími se rychlostí v [m/s]. Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tepelná mezní vrstva, ve které se realizuje teplotní spád.

Radiace

Záření představuje elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti $c = 300\,000\,000$ m/s. Podle vlnových délek rozlišujeme záření gama, rentgenové záření, ultrafialové aj.

3.2 Odvod plynné vlhkosti z povrchu lidského těla

Vlhkost ve formě vodní páry může být v oděvních systémech přenášena vedením a prouděním. Důležité veličiny jsou nasycený tlak P_{wsat} [Pa] a parciální tlak P_{we} [Pa].

3.3 Odvod kapalně vlhkosti z povrchu lidského těla

Lidský organismus produkuje vodu ve formě potu. Ochlazovací efekt vznikne kůže pouze při odpaření potu. U volného povrchu kůže je jedinou podmínkou odparu dostatečný rozdíl parciálních tlaků páry. U oblečeného člověka se transport vlhkosti řídí jinými principy: difúzí, kapilárně, sorpčně [1-3].

Difuze

Difúzní prostup vlhkosti z povrchu kůže přes textílii je realizován pomocí pórů. Vlhkost prostupuje textílií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difúzní odpor jednotlivých oděvních vrstev se pak sčítá. Velkou roli hraje také odpor vzduchových mezivrstev [1-3].

Kapilární odvod

Kapalný pot ulpívající na kůži je v kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry. Jde o knotový efekt. Kapilární tlak P způsobuje tok kapalně vlhkosti obecně od velkých pórů o poloměru R k malým pórům o poloměru r [1-3].

Sorpce

Sorpční proces předpokládá nejdříve vznik vlhkosti či kapalněho potu do neuspořádaných oblastí ve struktuře vlákna a následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Tento proces je nejpomalejší a je podmíněn použitím textilie alespoň částečně obsahující sorpční vlákna [1-3].

4. SPORTOVNÍ OBLEČENÍ

Sportovní oblečení - to je pohodlí, lehkost a styl. Umožňuje nám cítit se pohodlně v každém ročním období s různou zátěží, chrání před nepřízní počasí a zraněními.

4.1 Hlavní vlastnosti sportovního oblečení

- Použití technologických materiálů (soft shell, membrány, fleecce, termo tkaniny);
- Anatomický střih, poskytující pohodlí a svobodu pohybu (bezešvé oblečení, ploché švy);
- Nízká hmotnost a objem (v zimě tenké termooblečení hřeje lépe než obrovská pěťová bunda);
- Vsadky ve strategicky důležitých oblastech (vyztužená pevnost, elasticita, ventilace, odolnost proti vlhkosti a větru, reflexnost).

4.2 Klasifikace oblečení podle ročních období:

Letní sportovní oblečení

Letní tílka, trička a šortky pro sportovce dokonale odvádějí vlhkost a jsou příjemné na tělo. Na místech, kde je to nutné (podpaží, vnitřní strana rukou) se vkládá síťka nebo hmota s velkými póry pro lepší ventilaci [6,7].

Mezisezónní oblečení (podzim a jaro)

V tomto ročním období je počasí proměnlivé, proto na jaře a na podzim potřeba věci, které budou pohodlné, bez ohledu na přírodu.

Zimní sportovní oblečení

Sportovní zimní oblečení - velmi lehké a teplé. Účinek je dosažen použitím speciálních materiálů [6,7].

1. vrstva _ termoprádlo. Jeho úkolem je odvádět vlhkost z těla při fyzické námaze, zabraňující podchlazení. V termoprádle zůstane prádlo suché, jelikož věci z technologických tkanin rychle schnou.

2. Vrstva fleecové působící jako ohřívač. Měkký, příjemný materiál plní termoizolační funkci a vytváří efekt suchého tepla. Fleecové oblečení je odolné a elastické, perfektně drží teplo i za mokra a rychle schne.

3. Vrstva - membránové oblečení pro ochranu proti větru a vodě. V membránové bundě nebude při fyzické aktivitě horko jako v běžné pláštěnce, protože mikropóry membrány propouštějí přebytečnou páru z těla ven a zároveň nedovolí kapkám deště dostat se dovnitř. Obvykle se nepromokavé oblečení označuje anglickým pojmem „hard-shell“.

4.3 Charakteristika polopropustných textilií a typy membrán

Polopropustné textilie - jedná se o textilie, které mají schopnost propouštět vlhkost ve formě vodní páry, produkovanou organismem. Současně však zabraňují prostupu vlhkosti z okolního prostředí k pokožce člověka a také odolávají působení větru, tím snižují ztrátu tepla konvekcí. Často označovány jako inteligentní textilie.

Základní rozdělení polopropustných textilií:

- Tkaniny s hustou dostavou, která dosahuje až 7000 nití/cm a velikost pórů se pohybuje mezi 3-10 μm .
- Povrstvené tkaniny, které se dělí na:
 - a. tkaniny s mikroporézní vrstvou o velikosti pórů v rozmezí 2-3 μm .
 - b. tkaniny povrstvené koagulační technikou, tedy srážením, které může probíhat za sucha nebo za vlhka.
 - c. tkaniny obsahující hydrofilní povrstvení o velikosti pórů menší než 0,001 μm .
- Tkanina laminovaná za pomoci membrán, které se vyrábí jako samostatné folie a následně se laminují na základní materiál.

Membránové materiály

Potřeba ochrany před povětrnostními podmínkami v podobě deště a sněhů je nepochybná a je relevantní jak při horské túře, tak při pohybu po městě. A pokud lze tento problém v

každodenním životě vyřešit pomocí deštníku, celofánové pláštěnky nebo bundy se speciální voděodolní úpravou, pak v polních podmínkách tato řešení nejsou vhodná.

V horských podmínkách lze často pozorovat prudký pokles teplot a je velmi důležité, aby využitelné oblečení pomáhalo našemu tělu se na takové změny efektivně a rychle adaptovat. K vyřešení tohoto problému se používají různé membrány. Díky své struktuře membrány účinně chrání před srážkami a zároveň přes sebe lépe procházejí vodní páry.

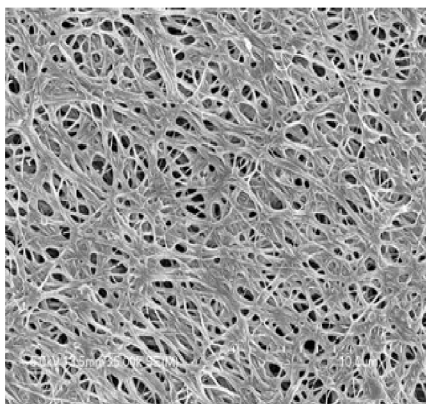
Další výhodou membrán je téměř 100% vzduchotěsnost, zabraňující ztrátám konvekčního tepla pod oblečením.

Druhy polopropustných membrán

1. Mikroporézní membrány

V současnosti máme tři základní typy nepromokavých prodyšných membrán. Jednou z nich je hydrofobní mikroporézní membrána. Je to membrána z expandovaného PTFE (teflonu) s velkým množstvím pórů, které prochází membránou. Zjednodušeně funguje tak, že v membráně jsou velmi malé otvory (viz Obrázek 1), které jsou menší než nejmenší kapička vody v kapalném skupenství a větší než molekula páry. Pára dírkami snadno proniká, molekula vody už ne [9].

Membrána je skutečně nepromokavá, lehká, odolná a extrémně prodyšná, ale nevýhodou mikroporézních membrán je to, že se postupem času póry zanášejí, komplikovaná údržba a materiál přestává vykonávat svoji funkci. Nejznámějším představitelem tyto membrány je Gore-tex a eVent.



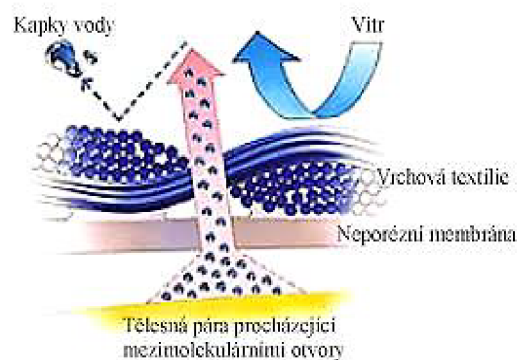
Obrazek 1 Mikroporézní membrána [9]

2. Neporézní membrány

Druhým typem jsou neporézní hydrofilní membrány. Hydrofilní membrány funguje na jiném principu, než membrány mikroporézní. Hydrofilní (neporézní) membrány nemají žádné póry a pára je vyvedena na molekulární úrovni - molekuly páry jsou přenášeny uvnitř těla membrány podél řetězce z jedné hydrofilní částice na druhou (princip difuze). Důležitým detailem je, že molekuly páry se budou pohybovat z vlhčího prostředí do suššího. Z tohoto důvodu hydrofilní membrány pracují s malým „zpožděním“ – dokud se uvnitř pod bundou nevytvoří vlhčí prostředí („parní lázeň“) až do vzniku kondenzátu. Membrána začne bobtnat a absorbovat páru. Pod vlivem vyšších teplot se molekuly par začnou rychleji pohybovat, nakonec se hydrofilní polymery rozšíří, a difúze se urychlí - čím vyšší zatížení, tím více vlhkosti membrána dokáže odvést. Přitom dešťové kapky o velikosti 1 až 200 mikrometrů nemohou fyzicky proniknout hydrofilním povrchem. Výhodou tohoto typu membrán je jejich elasticito-hydrofilní zátěr se dokáže natahnout o více než 200 %, bez úhony voděodolné a paropropustné vlastnosti.

Při výrobě tohoto typu nejčastěji používán materiál polyuretan (PU). Hlavní výhody hydrofilních membrán jsou relativně nízká cena, trvanlivost a jednoduchá údržba prání při teplotě 30 °C. Nevýhodou je prakticky nulový transfer plynů.

Hydrofilní membrány vyrábí téměř všechny známé značky: Marmot, The North Face, Patagonia, Black Diamond. Kromě toho je třeba zvlášť poznamenat membrány japonských výrobců Dermizax a Gelanots.



Obrázek 2. Schéma prostupu vodní páry neporézní membrány [11]

Kromě dvou hlavních popsaných typů existuje ještě třetí - kombinovaný typ membrán, kombinující mikroporézní a hydrofilní povlak. Tento druh se objevil jako výsledek objevu nedostatků mikroporézních membrán.

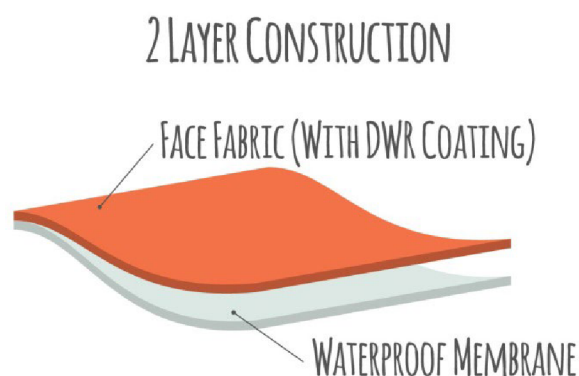
4.4 Konstrukce membrán.

Materiál pro membránu se nejčastěji používá polytetrafluoretylen (PTFE), polyester (PES) nebo polyuretan (PU). Membránové materiály se dále dělí podle provedení spojení membrány se s vrchním či podšívkovým materiálem, případně může být membrána volně vložena mezi vnější materiál a podšívku. Membránové materiály se také často označují jako lamináty. Třídění je následující:

a) Dvouvrstvé lamináty

První membrány měly jednoduchou konstrukci, kdy byla membrána připojena k vnější ochranné látce a již neměla žádný ochranný povrch. Tato konstrukce se nazývá dvouvrstvá.

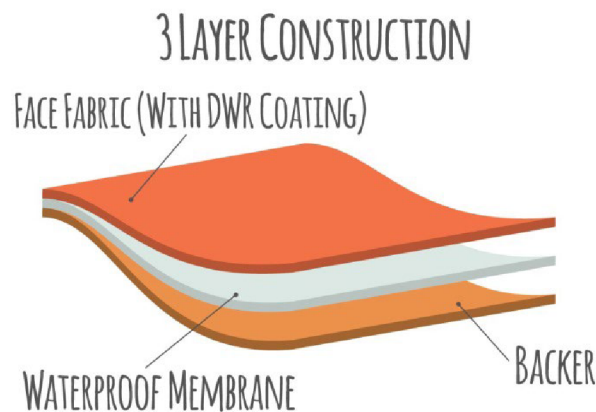
Brzy byla objevena významná chyba této konstrukce - bez ochrany se membrána snadno poškodila v důsledku opotřebení mechanického vlivů. Pro ochranu membrány byla k takovým bundám přidána ochranná tkanina nebo síťovina, které nebyly spojeny přímo s membránou. Laminací se samozřejmě sníží parametry nepromokavosti a prodyšnosti původní samotné membrány, ale zlepši se odolnost vůči poškození, která je dána odolností svrchní tkaniny. Výsledkem je obvykle příjemný, komfortní a poddajný materiál. U turistických bund a kalhot se tato konstrukce prakticky nepoužívá.



Obrázek 3. Dvouvrstvé lamináty [12]

b) Třívrstvé lamináty

Nejodolnějším provedením jsou třívrstvé membrány. Stejně jako ve dvouvrstvé byl membránový povrch připojen k vnější vrstvě, ale poté byla na něj nanášena ochranná vrstva tkaniny. Jde o mechanicky nejvíce odolnou kombinaci pro extrémní použití s často pevnějšími a méně poddajnými materiály. Hlavními nevýhodami tohoto provedení jsou vysoké náklady na výrobu a relativně vysoká hmotnost výrobků. Hlavními spotřebiteli produktů jsou horolezci, horští turisté.



Obrázek 4. Třívrstvé lamináty [12]

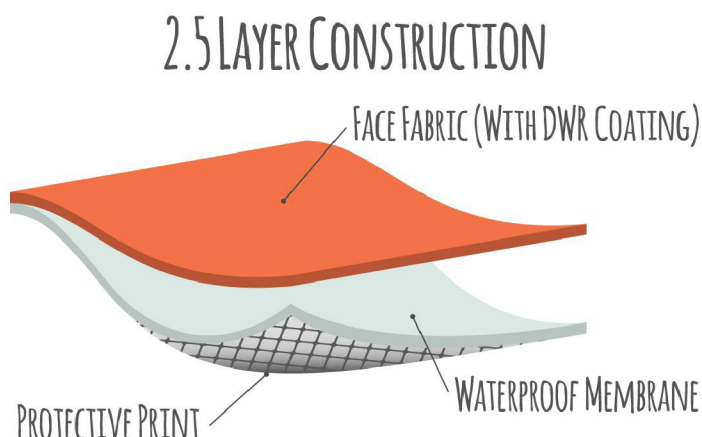
c) Dvouapůlvrstvé lamináty

Nejnovější provedení laminátu. Ve snaze o příjemný, poddajný, ale zároveň odolný materiál došlo k odlehčení třívrstvého laminátu o podšívku a ta byla nahrazena vrstvou ochranného nánosů. Toto provedení je výrazně levnější na výrobu a výsledné produkty mají oproti předchozím výrazně nižší hmotnost. Nevýhoda je v menší mechanické odolnosti při porovnání s třívrstvým laminátem. Dvouapůlvrstvé provedení s vnitřní ochrannou vrstvou je možno použít u zátěrových materiálů.

Kromě výše popsaných struktur existují i další:

- Konstrukce, ve které je membrána spojená s velmi tenkou tkaninou jako základ není spojena s vnější tkaninou a podšívku.
- Membránový povrch se přilepí k ochranné vložce, aniž by se přilepil k vnější látce.

V průmyslu horolezeckého a turistického vybavení prakticky se nepoužívají.



Obrázek 5. Dvouapůlvrstvé lamináty [12]

4.5 Způsoby nanášení membrány na látku

Kromě membrány u bund a kalhot má velký význam svrchní látka. Obvykle se pro tyto účely používá odolný a lehký nylon nebo polyester s polymerním voděodpudivým povrchem (DWR). Hlavním cílem vnějšího materiálu je minimalizovat přímé pronikání vlhkosti na membránu, přičemž je důležité nebránit průchodu páry materiálem. Existují dvě technologie pro připojení membrány k vnější tkáni:

Zátěr (coating) - membrána je navinuta na podšívkovou stranu svrchní látky ve formě tekutého roztoku. Tato technologie je mnohem levnější na výrobu a často poskytuje nízkou hmotnost produktu. Nevýhodou takové membrány je nízká odolnost proti opotřebení. Nejčastěji se používá ve dvouapůlvrstveních provedeních.

Laminace (laminated) - u této technologie má membrána podobu jedné vrstvy připevněné k vnitřní straně vnější ochranné tkaniny. Toto provedení, i když je výrobně dražší, je výrazně odolnější. Lamináty mají často vyšší voděodolnost a paropropustnost. Laminátové membrány jsou k dnešnímu dni nejrozšířenější v celém oboru a setkáváme se s nimi nejčastěji.

4.6 Hlavní vlastnosti membrán

Nepromokavost – vyjadřuje schopnost materiálu odolávat tlaku vody. Čím vyšší vodní sloupec, tím je větší i nepromokavost. Obecně lze za nepromokavý považovat materiál s vodním sloupcem už od 1,3 m v. s. ale v praxi u oblečení je to spíše mezi 10 m v. s. a 20 m v. s. Nejčastěji se měří pomocí statického testu na vodní sloupec podle ISO 811 a udává se přepočtený hydrostatický tlak definovaný metry vodního sloupce. Do jisté míry je tvrzení výrobce o 100% nepromokavosti nepřesné - při silném tlaku vody začne membrána protékat nebo se úplně roztrhne.

Prodyšnost – jedná se o schopnost materiálu propustit ven parní výpary, které způsobují nepříjemné pocení. Nejvíce se setkáváme se dvěma metodami udávání prodyšnosti – R_{et} a MVTR. R_{et} udává odpor proti průniku vodních par. R_{et} má fyzikální rozměr [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. Čím nižší R_{et} , tím lepší prodyšnost membrány.

4.7 Doporučení pro péči o membránu

Šetrné praní při teplotě 30 až 40 °C (bez ždímání), nežehlit ani nepoužívat aviváž a bělidla. Pro praní je ideální používat tekutých pracích prášků, které jsou přímo určeny k praní těchto materiálů. Oděv nechat samovolně vykapat a dosušit při pokojové teplotě. Nesušit na přímém slunci. Membránové věci je třeba pravidelně ošetřovat regenerační vodoodpudivou impregnací

5. HODNOCENÍ TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla (ten umožňuje hodnotit termofyziologický komfort věrněji). První způsob měření založený na použití tzv. „skin modelu“ – modelu lidské pokožky.

Termofyziologický komfort textilií lze zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu. Tento druhý parametr má mimořádně důležitou úlohu při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky. Místo parametru paropropustnost můžeme zde použít parametr výparný odpor, který u měření simulujících reálné přenosové jevy při nošení oděvu přímo charakterizují tepelné účinky vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu [10].

5.1. Tepelný odpor

Tvoří rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu, který je určen konečným tepelným tokem na jednotku plochy. Je výsledkem přenosu tepla kondukcí, konvekcí a radiací. Jde tedy o suchý tok tepla procházející danou plochou – materiálem. Značíme jako R_{ct} a vyjadřujeme v jednotkách $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$.

5.2 Výparný odpor

Představuje rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, který je dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy. Je výsledkem přenosu vodních par difúzí, kapilárně a sorpcí. Jde tedy o takzvaný „latentní“ výparný tepelný tok, který prochází danou plochou. Výparný odpor se značí jako R_{et} a vyjadřuje se v jednotkách $[m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}]$.

5.3 Zjišťování relativní propustnosti vodních par pomocí přístroje PERMETEST

Podstatou zkoušky je přímé měření tepelného toku procházejícího povrchem tepelného modelu lidské pokožky – skin modelu. Povrch modelu je porézní a je zavlhčován, čímž

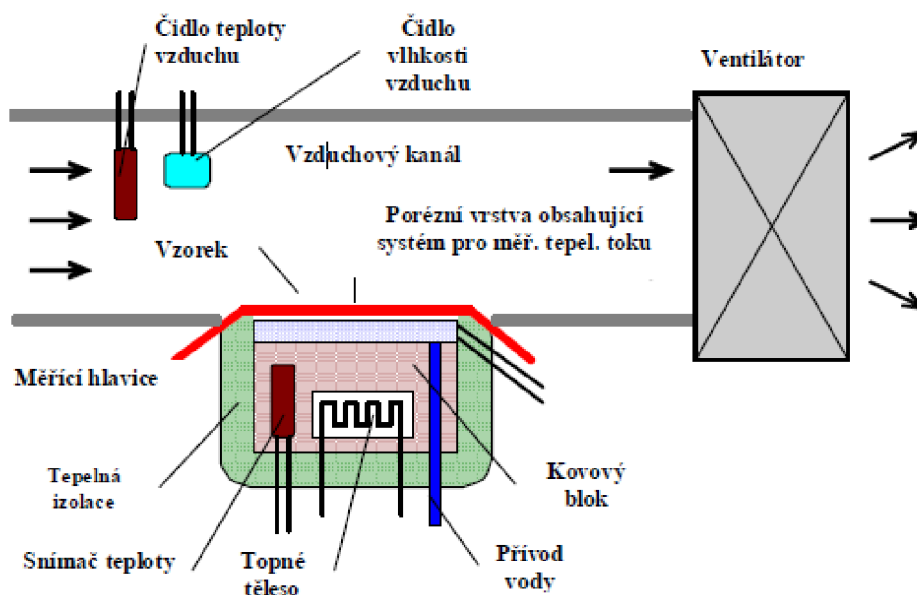
se simuluje funkce ochlazování pocením. Na tento povrch je přiložen přes separační fólii měřený vzorek a jeho vnější strana je ofukována.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice (skin model) pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržován na teplotě okolního vzduchu (20 – 23°C), který je do přístroje nasáván. Tím jsou zajištěny izometrické podmínky měření. Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační fólii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté znovu se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky.

Při měření tepelného odporu textilního vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na teplotě o 10-20 °C vyšší než je teplota okolního vzduchu. Tepelný tok odváděný ze vzorku konvekcí do okolního proudícího vzduchu je opět registrován. Velkou výhodou přístroje Permetest je krátká doba měření a možnost provádět měření v běžných klimatických podmínkách.



Obrázek 6. Přístroj PERMETEST



Obrázek 7. Schéma měření na přístroji PERMETEST [3]

Hodnocení propustnosti textilií pro vodní páry poté probíhá za pomoci výparného odporu – R_{et} [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. Čím je hodnota R_{et} nižší, tím je propustnost textilie vyšší. Níže uvedená Tabulka 1 udává i hodnoty odpovídající dříve používaným jednotkám [g/m^2] v 24 hod měřené podle ASTM E96-BEa [1].

Můžeme uvést následující klasifikace prodyšnosti materiálů podle R_{et} .

Tabulka 1. Klasifikace paropropustnosti materiálů podle R_{et} [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]

$R_{et} < 6$	paropropustnost je velmi dobrá
$R_{et} 6-13$	je dobrá
$R_{et} 13-20$	je uspokojivá
$R_{et} > 20$	je neuspokojivá

Pro srovnání, nejlepší materiály dosahují hodnoty R_{et} nižší než 4 [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$].

PRAKTICKÁ ČÁST

6. MATERIÁLY A METODY

V dnešní době je výzkum marketingových tendencí velice důležitý. Zákazník reaguje na reklamu stylem, kdy pro něj mohou být důležitější data a statistiky, než jen asociace na barvy či loga.

V této práci ukazujeme srovnávací analýzu různých vzorků tkanin. Tímto výzkumem chceme zjednodušit proces hodnocení a výběru textilních výrobků. Správný nákup je klíčem k rozšíření informací o produktech a podpoře kvalitních nápadů.

Tato otázka je závažná i pro oblast životního prostředí. Moderního člověka již nelákají levné věci kvůli ceně nebo drahé kvůli značce. Cílem mnohých je sestavit osobní ošacení z potřebných věcí, kde se potká kvalita a trvanlivost.

V diplomové práci jsou klíčovými kupci lidé z outdoorového sektoru, turisté, kteří tráví nejvíce času venku. Jejich oblečení je nejvíce vystaveno životnímu prostředí. Hydrofobizace je faktor při výběru oblečení, má vliv na mnoho vlastností textilií. Různé tkaniny získávají vlivem vody či vlhkosti různé vlastnosti, zhoršuje se jejich pevnost a začínají se deformovat. Je také nepříjemné být v mokřém oblečení. Člověk může zmraznout a onemocnět. Je tedy potřeba najít oblečení, ve kterém se člověk bude cítit pohodlně a ve kterém se může pohybovat i v extrémních podmínkách.

V této práci je studována paropropustnost vybraných textilních laminátů jako funkce doby měření a vlivu přídavného výparného odporu (podložky) na tento parametr.

V této části bakalářské práce bylo provedeno měření 11 vzorků dvouvrstevných textilních laminátů s hydrofilními polo-propustnými membránami od různých výrobců a jeden vzorek s PTFE mikroporézní membránou v laboratoři na KHT na TUL na přístroji PERMETEST.

6.1 Měření textilních laminátů na přístroji Permetest.

Měření probíhalo v laboratoři při teplotě vzduchu v rozmezí 22-26 °C a vlhkosti vzduchu mezi 32 a 43 %. Na přístroji byl proměřen výparný odpor a relativní paropropustnost

vzorků za sucha při nejméně sedmi postupně vzrůstajících dobách měření až do maximální doby 20 minut. Každý vzorek byl změřen třikrát. U vybraných vzorků byl stejným způsobem proměřen jejich výparný odpor i pro případ, kdy jsou měřené lamináty podloženy hydrofobní textilí o známém výparném odporu, představující oděvní mezivrstvu mezi kůží a měřeným laminátem.

6.2 Princip měření.

Před začátkem samotného měření byl přístroj nakalibrován. Kalibrace byla provedena pomocí referenční textilie. Referenční textilie - modrá polypropylenová tkanina, byla předem proměřena. Přístroj poté ukazuje správné hodnoty a podle nich pak nastavíme zesílení (citlivost) přístroje. Výparný odpor referenční textilie činí $R_{et} = 4,62 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, po zobrazení výše uvedených hodnot byl přístroj pomocí tlačítka „calibrate“ zkalibrován.

Měření probíhalo vždy nejdříve bez vzorku a poté se vzorkem, tento proces byl opakován třikrát. Z měřených výsledků byla data zpracována pomocí statistických metod. Dále měření probíhalo s 2 podložkami. Ze statistiky byly zjištěny tyto hodnoty:

Relativní paropropustnost – p [%]

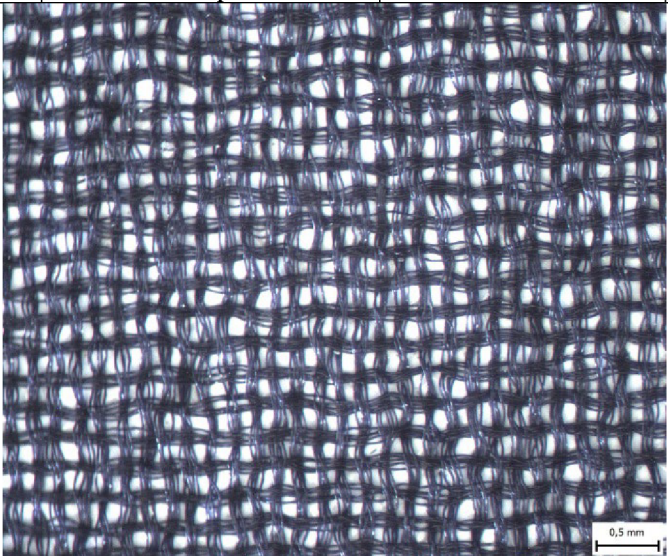
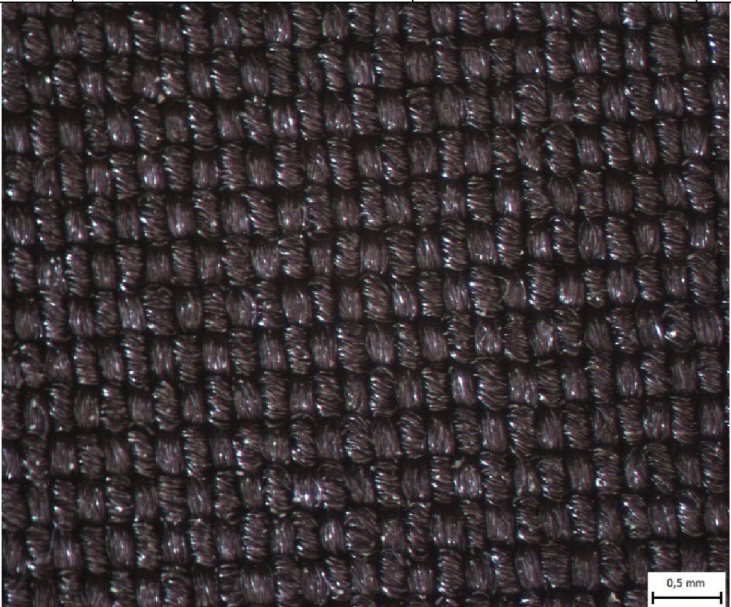
Variační koeficient relativní paropropustnosti – CV [%]

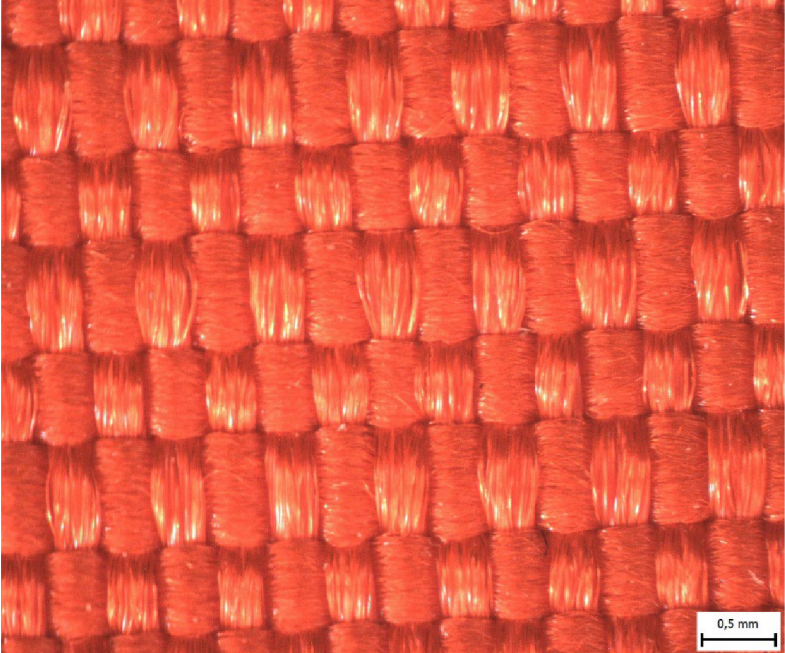
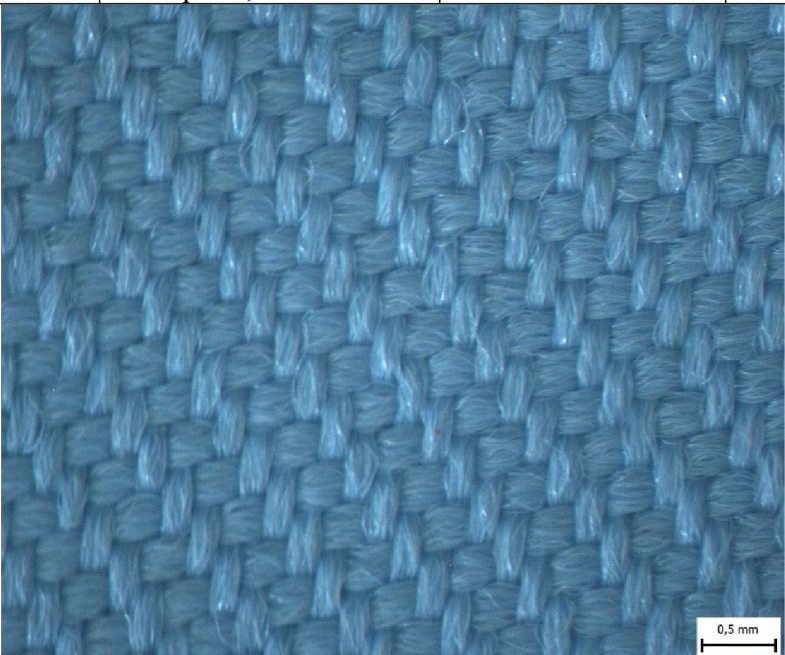
Výparný odpor – R_{et} [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]

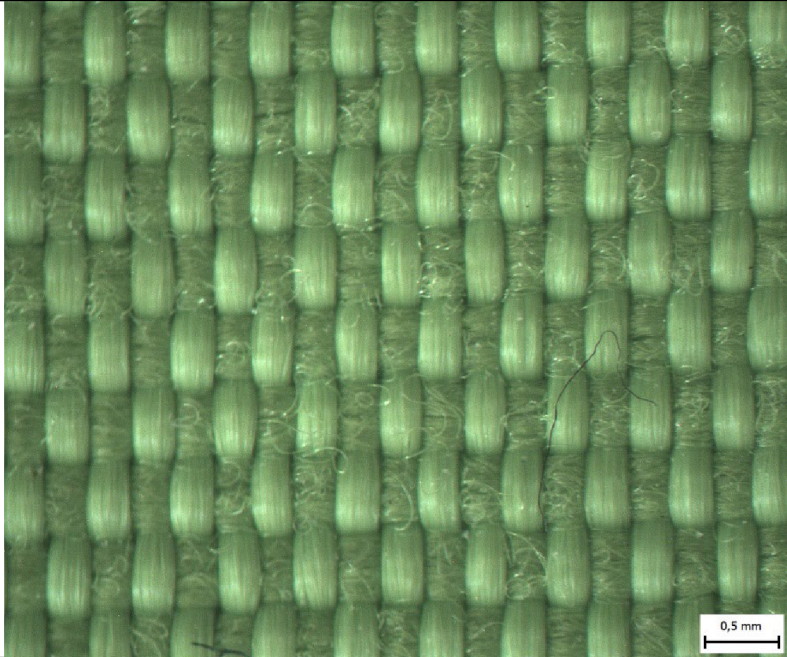
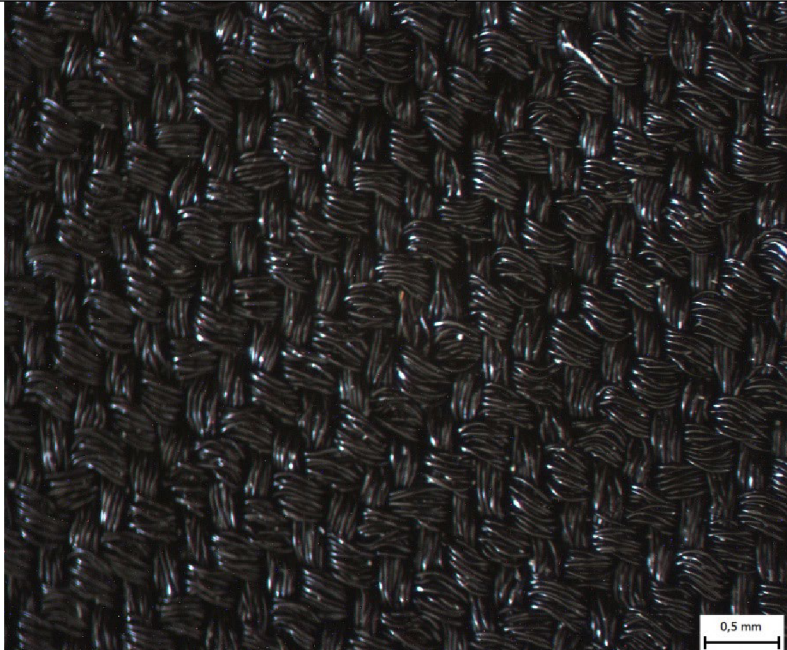
6.3 Popis vzorků

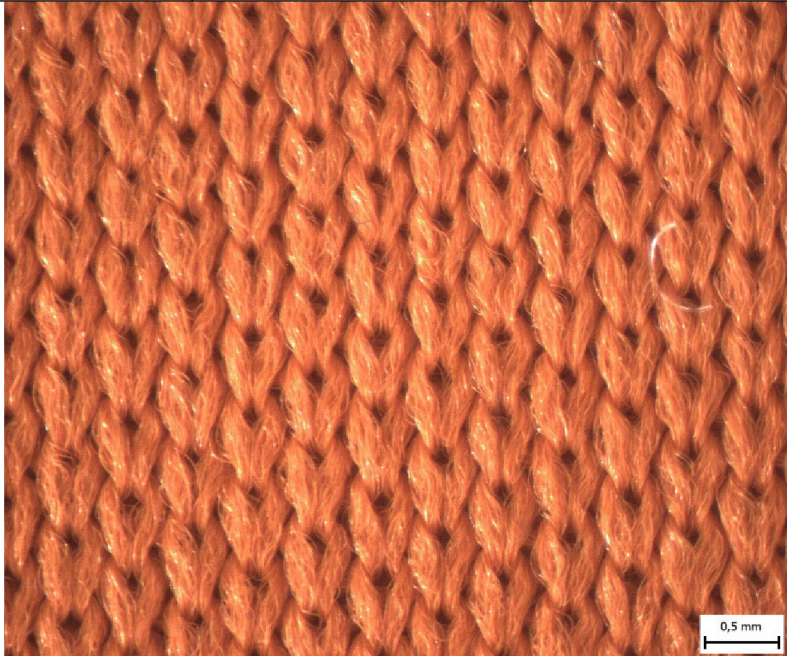
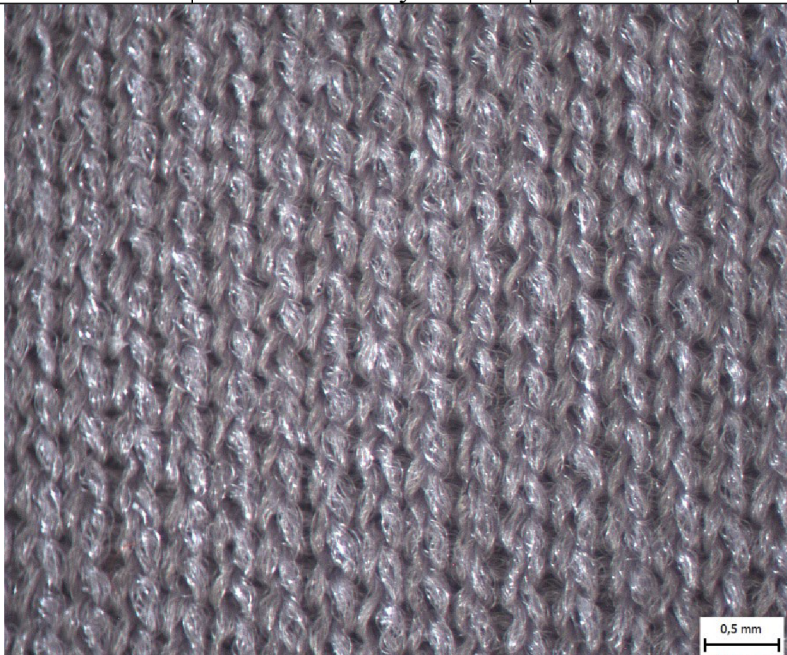
Testované vzorky membrán byli k dispozici na katedře KHT od různých firem věnujících se výrobou a prodejem outdoorového oblečení. Jedná se o tyto české výrobce Tilak a.s., Alpine Pro, a. s., Direct Alpine s.r.o. atd. Snímky vzorků byly vytvořeny pomocí mikroskopu značky Olympus (tabulka 2).

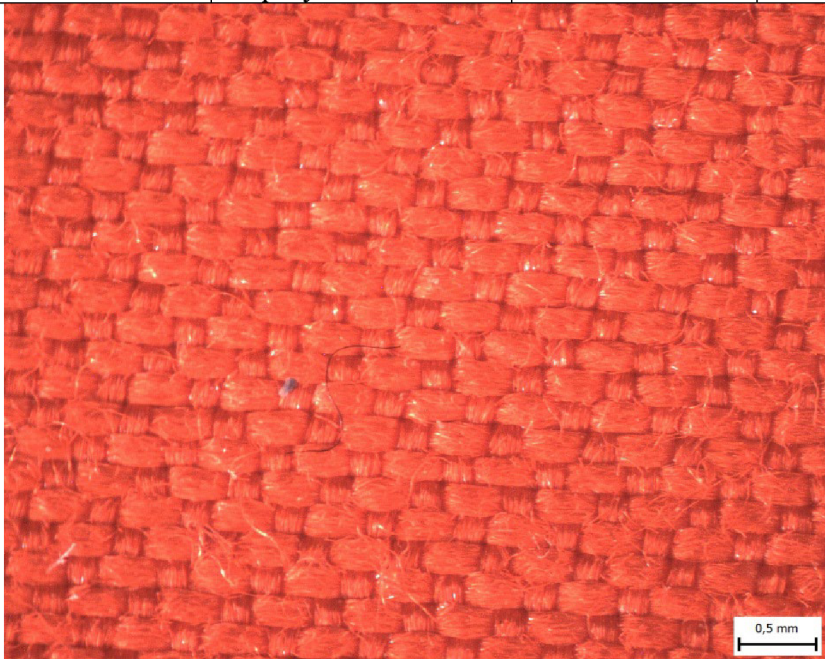
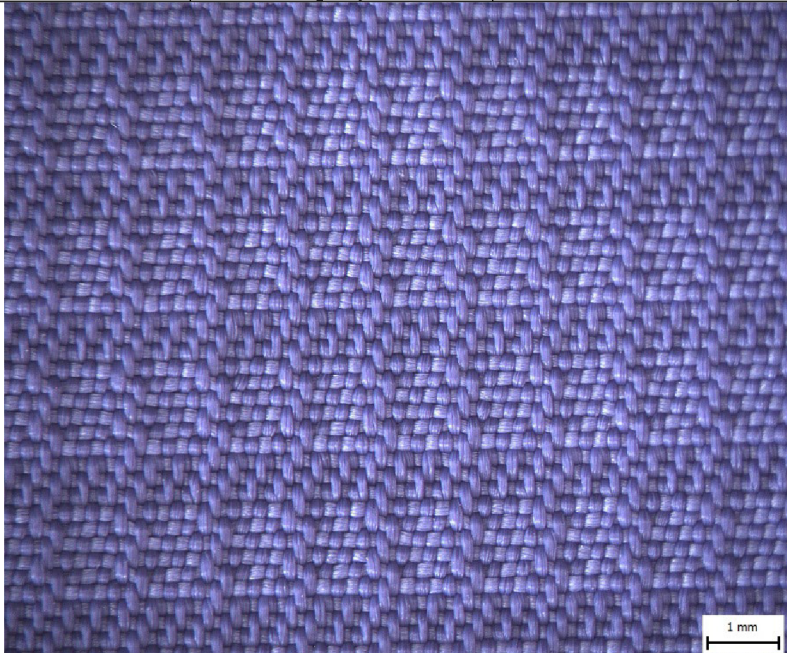
Tabulka 2 Vzorky

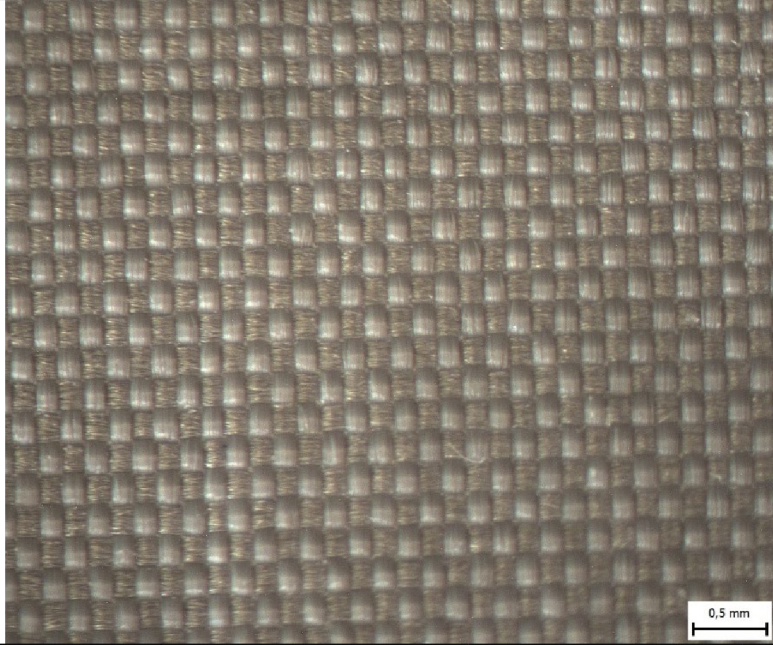
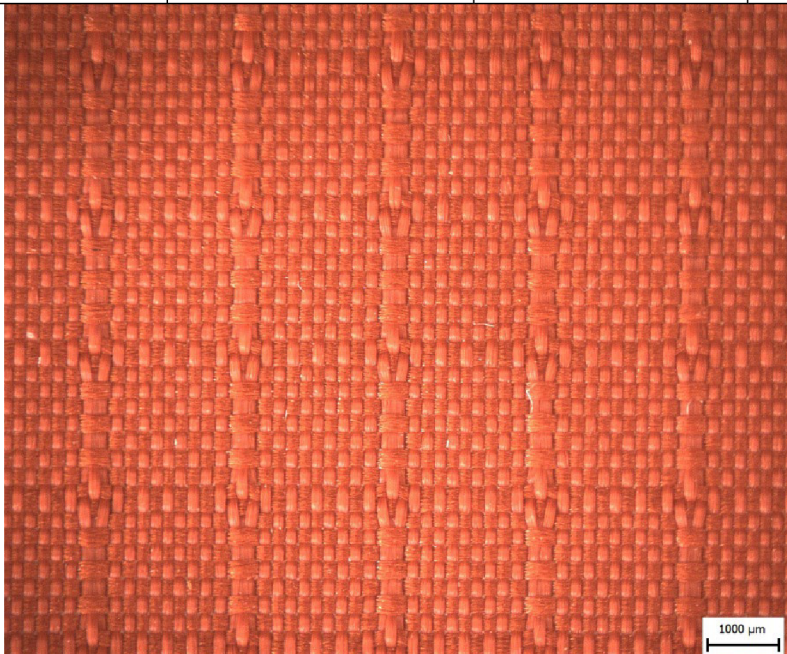
Číslo vzorku	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Tloušťka [mm]
1	Gore-tex	Tkanina Nylon 100% , multifil bez zákrutu vazba: plátno	150 g/m ²	0,17 mm
				
2	Dermizax STR1780DX	Tkanina, polyester 100% , vazba: plátno mechanical stretch	154 g/m ²	0,24 mm
				

Číslo vzorku	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Tloušťka [mm]
3	Dermizax 1461DX	Tkanina, PES 100% vazba: plátno Shiny Dobby	196 g/m ²	0,25mm
				
4	Dermizax PD1519DX	Tkanina, polyester 100% , vazba: keprová mechanical stretch, plain, fulldull	163 g/m ²	0.19 mm
				

Číslo vzorku	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Tloušťka [mm]
5	Dermizax NL621DX	Tkanina, nylon 100% vazba: plátno	173 g/m ²	0,28 mm
				
6	Dermizax P15HDX	Tkanina, nylon 100% , vazba: Osnovní třívazný kepr mechanical stretch	136 g/m ²	0,26 mm
				

Číslo vzorku	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Tloušťka [mm]
7	INTERLOCK	Pletenina polyester 100% Full-Dull	286 g/m ²	0,78 mm
				
8	KB-205 (SSK 2657)	Pletenina Interlock 46% PU 54%Polyester	104 g/m ²	0,25 mm
				

Číslo vzorku	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Tloušťka [mm]
9	Agata PUR	Tkanina, vazba: plátno polyester 100%	190 g/m ²	0,21 mm
				
10	PLT	Tkanina vazba: plátno+kepr 59% polyester	158 g/m ²	0,19 mm
				

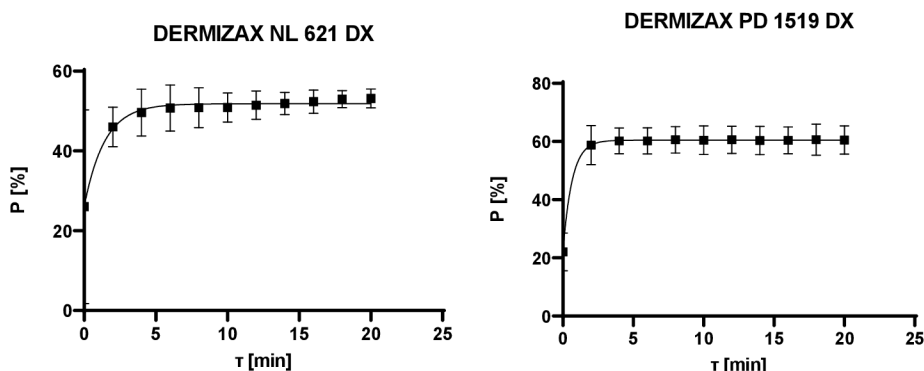
Číslo vzorku	Popis	Složení a struktura	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Tloušťka [mm]
11	5655 MF	Tkanina, vazba: plátno PA/PU 56/44 %	90 g/m ²	0,07 mm
				
12	3662 MF	Tkanina, vazba: RipStop PA/PU 58/42%	90 g/m ²	0,08 mm
				

Fotografie, složení a plošná hmotnost měřících vzorků převedeno v tabulce v dodatku číslo 1.

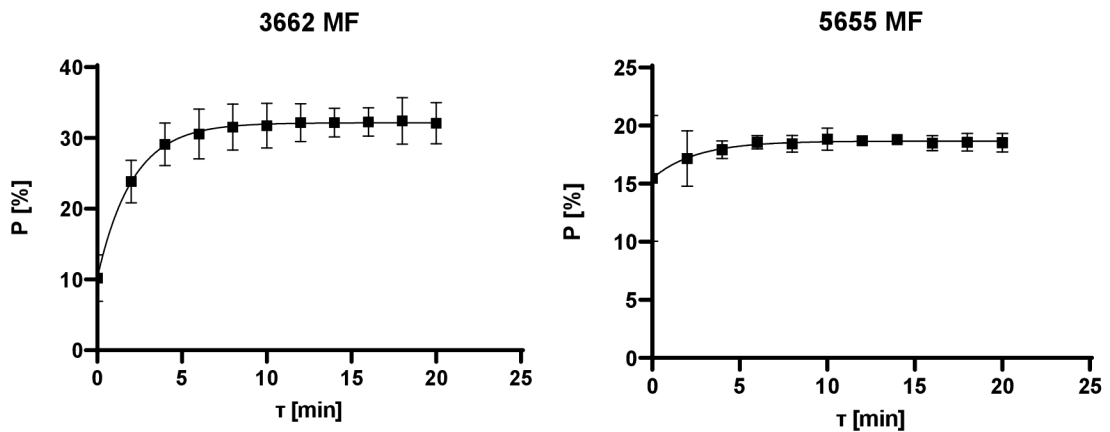
Výpočet velikostí výparného odporu proměřovaných polopropustných textilií z hodnot relativní paropropustnosti naměřených na přístroji PERMETEST

Z důvodu potřeby průběžného časového záznamu úrovně paropropustnosti zkoumaných polopropustných laminátů nelze použít přístroj PERMETEST v digitálním režimu, který stanoví pouze hodnoty R_{et} a P v daném časovém okamžiku. Proto byl použit režim analogový, který průběžně zobrazuje hodnoty relativní paropropustnosti P v procentech. Příslušné hodnoty výparného odporu R_{et} musí být z hodnot P stanoveny následujícím výpočtem.

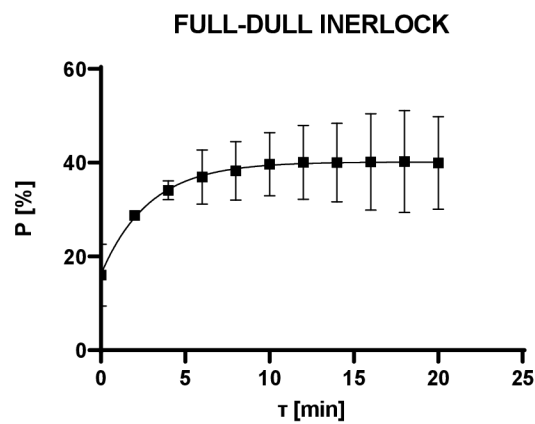
Níže jsou uvedeny grafická znázornění experimentálních výsledků, ve kterých je patrna závislost relativní paropropustnosti P na době měření.



Graf 1. Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti měření pro DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX



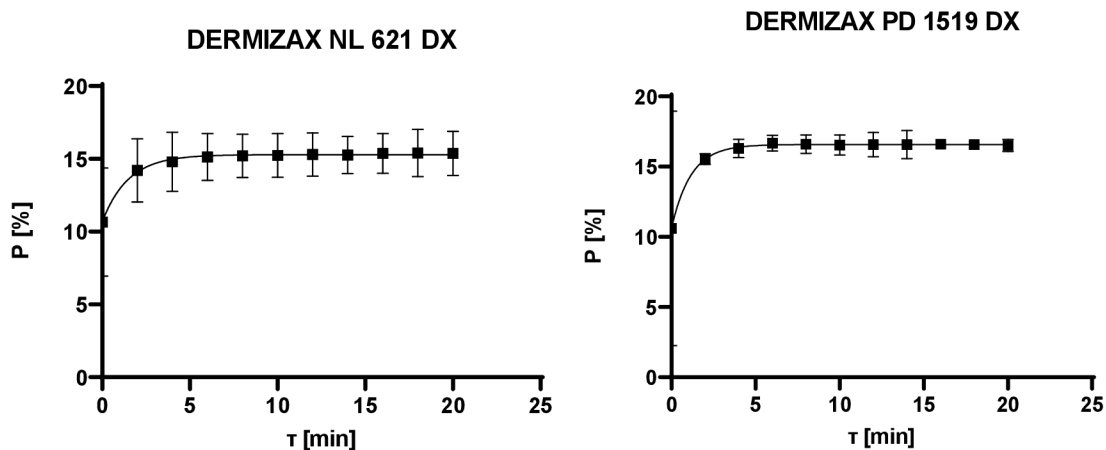
Graf 2. Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti materiálu 3662 MF a 5655 MF



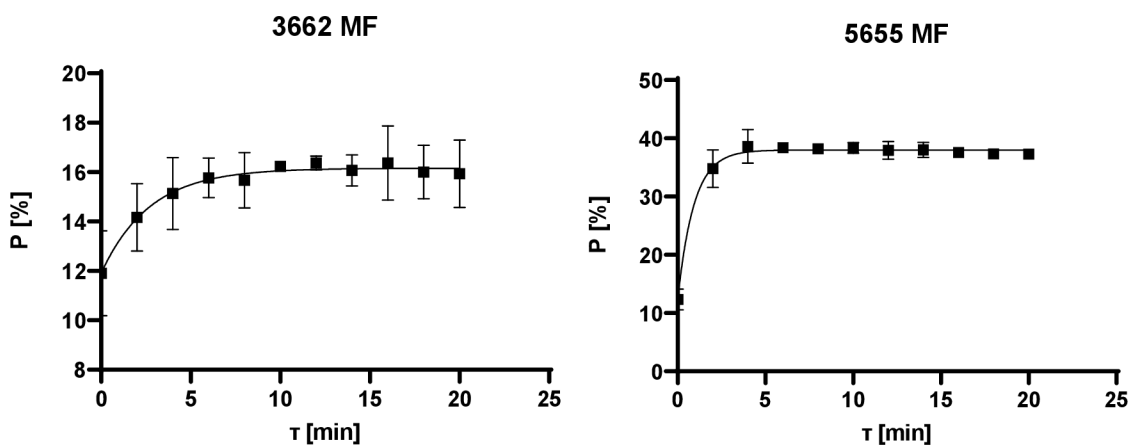
Graf 3. Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti měření materiálu FULL-DULL INTERLOCK

Tato měření byla provedena několikrát. Pro statistickou analýzu byl vytvořen error bar (95 % intervalu spolehlivosti). Je také vytvořena exponenciální křivka.

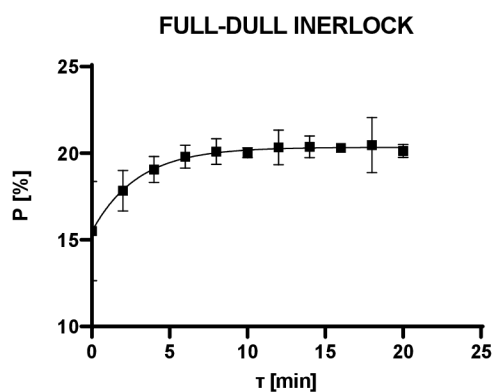
Níže jsou grafy závislosti prostupu paropropustnosti na čase již s membránou.



Graf 4. Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti s podložkou materiálu DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX



Graf 5. Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti s podložkou materiálu 3662 MF a 5655 MF



Graf 6. Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti s podložkou materiálu FULL-DULL INERLOCK

Tyto grafy vizuálně představují změny v hodnotách relativní paropropustnosti s membránou a bez membrány.

Z definice plyne, že relativní paropropustnost P je dána poměrem tepelných toků q [W/m^2] procházejících měřicí hlavicí přístroje:

$$P [\%] = 100p = 100 \frac{q_s}{q_0} \quad (1)$$

kde q_s – tepelný tok hlavicí s vloženým vzorkem,
 q_0 – tepelný tok hlavicí bez vloženého vzorku.

Platí:

$$q_0 = \frac{\Delta p_{\text{parc}}}{R_{et_0}}, \quad q_s = \frac{\Delta p_{\text{parc}}}{R_{et} + R_{et_0}} \quad (2)$$

kde Δp_{parc} je rozdíl parciálních tlaků vodní páry v hlavicí přístroje a ve vzduchu proudícím nad hlavicí v [Pa]. R_{et} je hledaný výparný odpor [$\text{m}^2\text{Pa}/\text{W}$]. Celkový výparný odpor se vzorkem je $R_{et} + R_{et_0}$, kde R_{et_0} je výparný odpor samotné mezní vrstvy nad měřicí hlavicí nebo vzorkem v přístroji.

Potom

$$P = \frac{R_{et_0}}{R_{et} + R_{et_0}}, \quad R_{et_0} = R_{et} \frac{P}{1 - P} \quad (3)$$

Tento vztah použijeme k výpočtu velikosti R_{et_0} z individuálního měření v digitálním režimu, kdy přístroj PERMETEST zobrazí velikosti R_{et} i P . Hodnota R_{et_0} zůstává stejná pro všechna měření hodnot P na přístroji PERMETEST v analogovém režimu.

Hledané hodnoty R_{et} potom stanovíme ze vztahu:

$$R_{et} = R_{et_0} \frac{1 - P}{P} \quad (4)$$

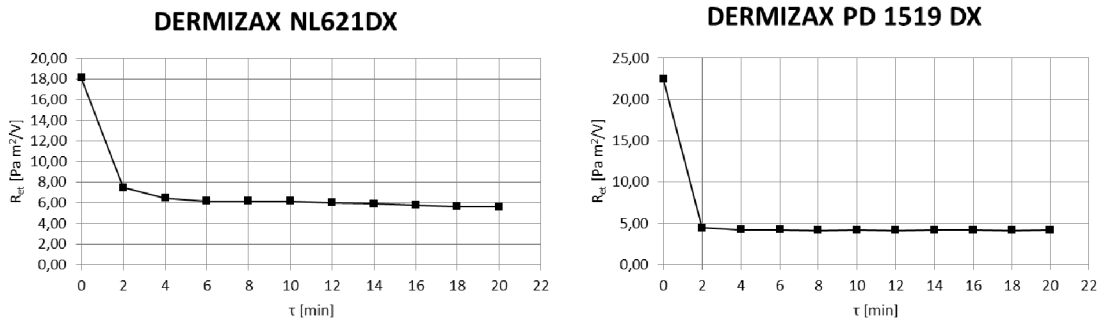
V případě vložené mezivrstvy R_{etm} simulující vliv ostatních oděvních vrstev mezi pokožkou a membránou (spodní prádlo, svetr a pod).

$$q_0 = \frac{\Delta p_{\text{prac}}}{R_{et_0}}, \quad q_s = \frac{\Delta p_{\text{parc}}}{R_{etm} + R_{et} + R_{et_0}} \quad (5)$$

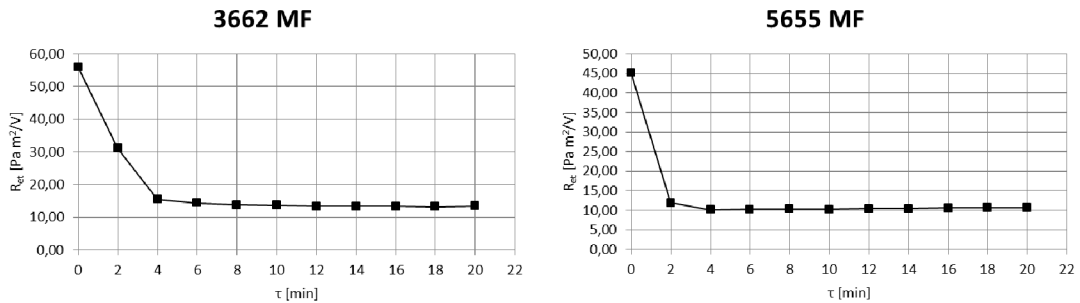
Potom:

$$P = \frac{R_{et_0}}{R_{et_m} + R_{et} + R_{et_0}}, \quad R_{et} = R_{et_0} \frac{1-P}{P} - R_{et_m} \quad (6)$$

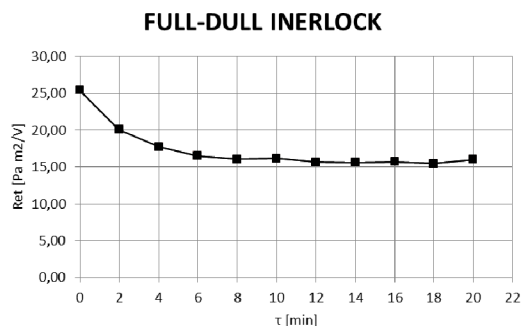
Níže jsou uvedeny grafy s hodnotami vypočteného výparného odporu R_{et} . Měření proběhla bez přidaného výparného odporu.



Graf 7. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby měření materiálu DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX



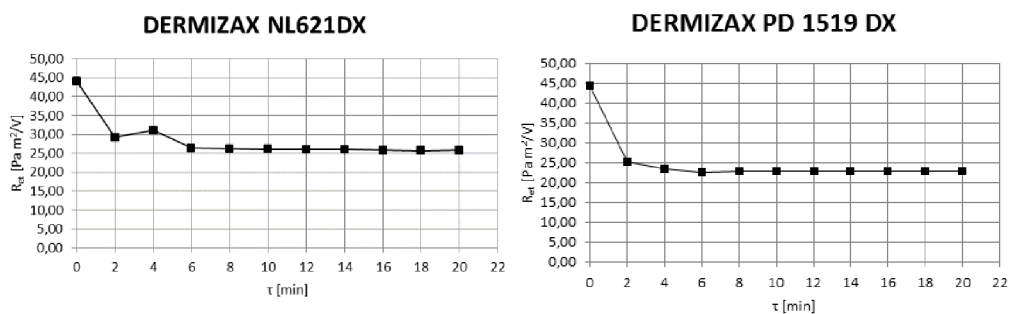
Graf 8. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby měření materiálu 3662 MF a 5655 MF



Graf 9. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby měření materiálu

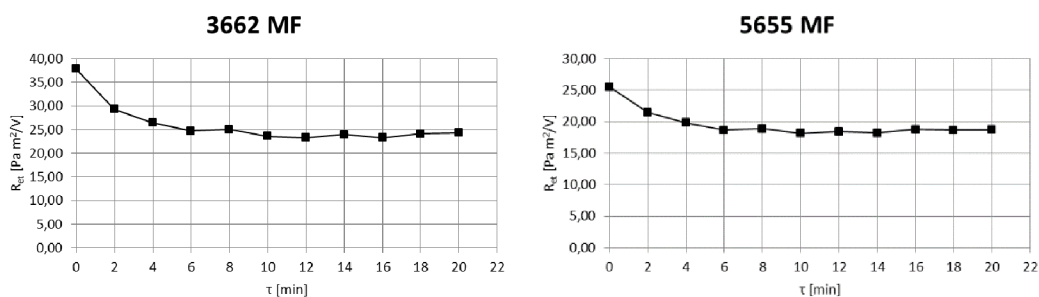
FULL-DULL INTERLOCK

Následují ngrafy s hodnotami vypočteného výparného odporu R_{et} . Měření proběhla s přidáním výparným odporem 9,24 [m²Pa/W].



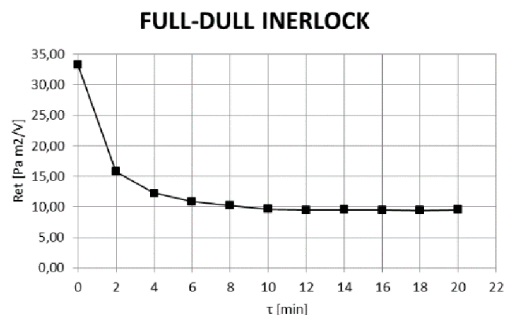
Graf 10. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a dob měření s podložkou materiálu

DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX



Graf 11. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a dob měření s podložkou materiálu

3662 MF a 5655 MF



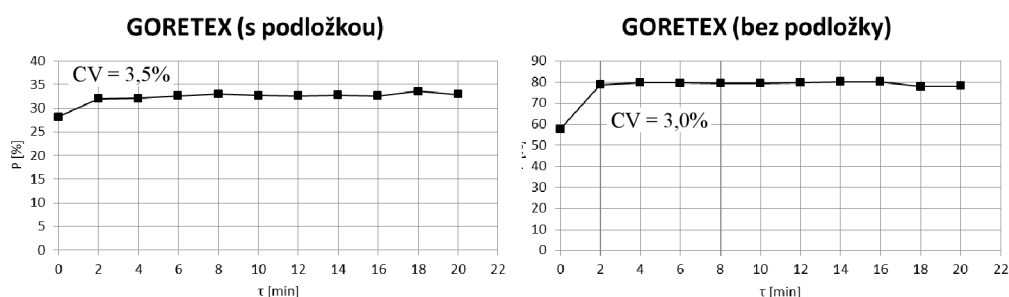
Graf 12. Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a dob měření s podložkou materiálu FULL-DULL INTERLOCK

Výše uvedené experimentální výsledky představují jen část provedených experimentů, všechny výsledky měření jsou uvedené v Tabulce 2.

Uvedené křivky odporu paropropustnosti jsou odvozeny z křivek s paropropustnosti. Ale přílohy 2 a 3 obsahují také výsledky měření všech předchozích provedených experimentů, aby bylo možno porovnat jejich vzájemné rozdíly.

V příloze č. 3 jsou také uvedeny všechny výpočty výparních odporů membrán R_{etm} kde (m znamená membrána).

Na Grafu jsou uvedeny hodnoty variačních koeficientů pro relativní paropropustnost P pro laminát GORETEX bez podložky a s podložkou stanovaných pro výchozí (velmi krátký) čas měření.



Graf 13. Variační koeficient relativní paropropustnosti pro laminát GORETEX bez podložky a s podložkou

Měření na přístroji Permetest proběhla při následujících klimatických podmínkách:

Tabulka 3. Teplota a vlhkost při měření na přístroji Permetest

	Bez podložku		S podložkou	
	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Teplota [°C]	Vlhkost [%]
GORETEX	23,43	32,7	24,04	32,1
DERMIZAX STR 1780DX	24,93	43,8	23,57	34,8
DERMIZAX 1461 DX	26,04	40,9	23,32	35,1
DERMIZAX PD1519 DX	23,57	36,14	23,73	35,7
DERMIZAX NL 621 DX	22,7	40,2	23,22	36,8
DERMIZAX P15HDX	24,64	36,6	24,57	34,1
FULL-DULL INTERLOCK	23,21	39,8	22,39	39,3
KB-205 (SSK 2657)	23,84	38,5	23,25	33,8
AGATA PUR, TECO PLATZ	24,25	37,3	25,0	34,1
5655 MF	23,96	37,4	24,29	37,1
3662 MF	23,75	38,4	23,92	37,3

6.4 Analýza problému

Nevýhody hydrofilních membrán: jejich výparný odpor R_{et} klesá se stupněm nasycení membrány vlhkostí. Hodně zavlhčená membrána má nižší výparný odpor než relativně suchá membrána. Základem následného hodnocení paropropustnosti hydrofilních membrán je předpoklad, že stupeň zavlhčení membrány bude přímo úměrný úrovni parciálního tlaku uvnitř membrány. Skutečné rozložení vlhkosti ve směru tloušťky membrány je nezjistitelné, proto se za referenční bod bude považováno místo uprostřed tloušťky membrány, s hodnotou výparného odporu R_{et} (ustáleného po 10 minutách měření) rovnou $0,5 R_{et}$.

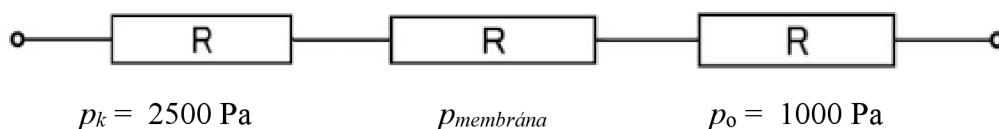
Výparné odpory pevných vnějších tkanin mívají hodnoty $R_{et,f}$ (fabric) 2,5 až 3,5 m^2Pa/W , v průměru je to 3,0 m^2Pa/W . Výparné odpory tenkých řídkých vnitřních úpletů $R_{et,i}$ (interlinen) chránících membránu bývají nižší než 1 m^2Pa/W , zde například 0,8 m^2Pa/W . Výparný odpor tepelně-zolační kontaktní vrstvy simulující v našem výzkumu například spodní prádlo a košili byl 9,2 m^2Pa/W , společný výparný odpor při testování na Skin modelu uložený mezi měřícím povrchem a membránou $R_{et,k}$ činil 10 m^2Pa/W . Hodnoty výparných odporů budou u tohoto zjednodušeného modelu seriového zařazení těchto odporů dle obrázku 8-13 uvažovány jako nepřímo úměrné příslušnému parciálnímu tlaku uvnitř textilie nebo membrány.

$$R_{et}(\text{bez podložky}) = 6.36 \frac{1-P}{P}, \quad R_{et}(\text{s podložkou}) = 6.36 \frac{1-P}{P} - 9.24 \quad (7)$$

Tabulka 3. Hodnoty výparných odporů zjištěných po 6 a 10 minutách po vložení vzorku do přístroje Permetest

Nazev	R_{et} (6 min)	P (10min)	R_{et} (10 min) bez podložky / s podložkou
GORETEX	2,40	0,794	1,65/3,85
DERMIZAX STR 1780DX	5,55	0,598	4,28/15,73
DERMIZAX 1461 DX	10,29	0,56	5,00 /14,54
DERMIZAX PD1519 DX	3,38	0,66	3,28/15,58
DERMIZAX NL 621 DX	6,59	0,413	9,04 / 17,02
DERMIZAX P15HDX	5,75	0,526	5,73/13,57
FULL-DULL INTERLOCK	11,16	0,345	12,07/17,10
KB-205 (SSK 2657)	25,92	0,204	24,82/37,85
AGATA PUR, TECHO PLATZ	6,23	0,602	4,20/22,71
5655 MF	16,68	0,284	16,03/18,97
3662 MF	27,11	0,213	23,50/32,22

Na dalším obrázku 14 je ilustrativní model sloužící k výpočtu hodnot výparných odporů hydrofilních membrán v závislosti na velikosti celkového výparného odporu $R_{et,k}$ kontaktní vrstvy. V tomto modelu platí, že kontaktní měřící plocha uvnitř přístroje PERMETEST představuje volnou vodní hladinu, kde se při teplotě testování přibližně 22 °C nachází nasycená vodní pára s parciálním tlakem $p_m = 2500$ Pa. Ve vzduchovém kanálu přístroje proudí vzduch o stejné teplotě, s 40 % relativní vlhkostí, což odpovídá parciálnímu tlaku vodní páry $p_o = 1000$ m²Pa/W.



Obrázek 8. Lineární model pro laminát full dull s výparným odporem $12 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ (bez podložky, zaokrouhleno)

Kontaktní podšívka bez podložky $R_{et,k} = 0,776 \text{ m}^2\text{Pa/W}$.

Celková podložka $R_{et,p} = 10 \text{ m}^2\text{Pa/W}$

Hydrofilní fólie $R_{et} = 6+6 \text{ m}^2\text{Pa/W}$

Vrchní tkanina $R_{et,f} = 3 \text{ m}^2\text{Pa/W}$

Parciální tlak uprostřed hydrofilní fólie p_h v případě, že není použita podložka, teoreticky bude:

$$p_h = p_0 + \frac{(p_k - p_0) \cdot (0.5R_{et} + R_{et,f})}{R_{et,k} + R_{et} + R_{et,f}} \quad (8)$$

V konkrétním případě:

$$p_h = 1000 + \frac{1500 \cdot (6+3)}{0,8+12+3} = 1856 \text{ [Pa]} \quad (9)$$

Parciální tlak uprostřed hydrofilní fólie p_h v případě, že je použita podložka, teoreticky bude:

$$p_{h,p} = p_0 + \frac{(p_k - p_0) \cdot (0.5R_{et} + R_{et,f})}{R_{et,m} + R_{et} + R_{et,f}} \quad (10)$$

V konkrétním případě

$$p_{h,p} = 1000 + \frac{1500 \cdot (6+3)}{10+12+3} = 1540 \text{ [Pa]} \quad (11)$$

Pokud budeme předpokládat, že výparný odpor R_{et} folie je nepřímo úměrný parciálnímu tlaku vodní páry p_h uvnitř hydrofilní fólie, pak výparný odpor folie s podložkou (mezivrstvou) $R_{et,m}$ bude:

$$R_{et} = R_{et} \frac{p_0 + \frac{(p_k - p_0) \cdot (0.5R_{et} + R_{et,f})}{R_{et,k} + R_{et} + R_{et,f}}}{P_{h,p}} \quad (12)$$

konkrétně $12 \cdot 1856 / 1540 = 14,46$ [m²Pa/W]. Experimentálně zjištěná hodnota $R_{et,m}$ zde činí 17,10 [m²Pa/W]. Je tedy vyšší než vypočtená hodnota, ale tendence uvedeného postupu je zřejmě správná.

Kdybychom předpokládali kvadratickou závislost R_{et} na vnitřním parciálním tlaku v membráně, dostaneme:

$$R_{et} = R_{et} \left(\frac{P_h}{P_{h,p}} \right)^2 = 12 \left(\frac{1856}{1540} \right)^2 = 17,42 \left[\frac{m^2 Pa}{W} \right] \quad (13)$$

Tato hodnota již lépe odpovídá hodnotě naměřené: 17,10 m²Pa/W.

Pomocí tohoto modelu budou v dalším textu vypočteny výparné odpory textilních laminátů s kontaktní podložkou a porovnány s hodnotami stanovenými experimentálně. Pro jednoduchost budou vždy použity stejné hodnoty $R_{et,f}$ (fabric) = 3,0 m²Pa/W, $R_{et,k}$ = 0,8 m²Pa/W a $R_{et,p}$ = 10 m²Pa/W a stejné hodnoty parciálních tlaků vodní páry. Pro výpočet budou použity následující vztahy:

Parciální tlak vodní páry uvnitř měřené folie při měření bez podložky:

$$p_h = p_0 + (p_k - p_0) \frac{0.5 \cdot R_{et} + R_{et,f}}{R_{et,k} + R_{et} + R_{et,f}} = 1000 + 1500 \frac{0.5 \cdot R_{et} + 3}{0,776 + R_{et} + 3} \quad (14)$$

Parciální tlak vodní páry uvnitř měřené folie při měření s podložkou (mezivrstvou):

$$p_{h,p} = p_0 + (p_k - p_0) \frac{0.5 \cdot R_{et} + R_{et,f}}{R_{et,m} + R_{et} + R_{et,f}} = 1000 + 1500 \frac{0.5 \cdot R_{et} + R_{et,f}}{10 + R_{et} + 3} \quad (15)$$

Výpočet výparného odporu hydrofilní fólie při měření s podložkou (mezivrstvou):

$$R_{et,m} = R_{et} \left(\frac{P_h}{P_{h,p}} \right)^n \quad (17)$$

Obecná rovnice pro výpočet výparného odporu hydrofilní fólie při měření s podložkou (mezivrstvou):

$$R_{et,m} = R_{et} \left(\frac{p_0 + (p_k - p_0) \frac{0.5 \cdot R_{et} + R_{et,f}}{R_{et,k} + R_{et} + R_{et,f}}}{p_0 + (p_k - p_0) \frac{0.5 \cdot R_{et} + R_{et,f}}{R_{et,m} + R_{et} + R_{et,f}}} \right)^n \quad (18)$$

Exponent „n“ může představovat experimentální statisticky stanovený koeficient umožňující výpočet vlivu textilních mezivrstev na výparný odpor textilních laminátů obsahujících polopropustné zejména hydrofilní membrány, pokud je laminát nošen jako součást oděvního systému. Tento koeficient bude ale záviset nejen na výparném odporu mezivrstev, ale také na podmínkách nošení oděvu.

Výpočet $R_{et,m}$ pro laminát 3662 MF (R_{et} 23,50/32,22)

$$p_h = 1000 + 1500 \frac{11,8 + 3}{0,776 + 23,5 + 3} = 1811 \text{ [Pa]} \quad (19)$$

$$p_h = 1000 + 1500 \frac{11,8 + 3}{10 + 23,5 + 3} = 1634 \text{ [Pa]} \quad (20)$$

$$R_{et,m} = 23,5 \left(\frac{p_h}{p_{h,p}} \right)^2 = 28.875 \text{ [m}^2\text{PaW}^{-1}\text{]} \quad (21)$$

Experimentálně zjištěná hodnota, $R_{et,m} = 32,22 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ je shodou okolností také velmi podobná vypočtené hodnotě.

Nicméně, pro membrány typu DERMIZAX, kde byl pozorován velmi silný negativní vliv podložené mezivrstvy na hodnoty $R_{et,m}$ ani náhodně vybraná kvadratická závislost nebude postačovat, viz následující výpočet pro DERMIZAX STR 1780 DX ($R_{et} = 4,28$, $R_{et,m}$ 15,73).

$$p_h = 1000 + 1500 \frac{2,14 + 3}{0,776 + 4,28 + 3} = 1957 \text{ [Pa]} \quad (22)$$

$$p_h = 1000 + 1500 \frac{2,4 + 3}{10 + 4,28 + 3} = 1567 \text{ [Pa]} \quad (23)$$

$$R_{et,m} = 4,28 \left(\frac{1957}{1567} \right)^2 = 6,674 \text{ [m}^2\text{PaW}^{-1}\text{]} \quad (24)$$

Experimentálně stanovaná hodnota $R_{et,m}$ činí $15,73 \text{ m}^2\text{Pa/W}$. Nicméně, tendence vzrůstu $R_{et,m}$ při aplikaci textilních mezivrstev mezi zavlhčenou kůží nositele oděvu a hydrofilními membránami je potvrzena.

Rozdělení analyzovaných textilních laminátů podle vlivu doby měření bez podložky na výparný odpor $R_{et,m}$ [m^2Pa/W]. Uvedené časové údaje představují dobu, kdy dojde k ustálení hodnot těchto výparných odporů.

Tabulka 4. Rozdělení analyzovaných textilních laminátů podle vlivu doby měření bez podložky na výparný odpor

4 min	6 min	10 min	15min
GORETEX	DERMIZAX PD1519	DERMIZAX NL621DX	3662 MF
	DERMIZAX STR1780DX	5655 MF	AGATA PUR
	DERMIZAX 1461DX	FULL-DULL INTERLOCK	KB-205 (SSK-2657)
	DERMIZAX P15HDX		

Textilní lamináty, jejichž přepočtený výparný odpor $R_{et,m}$ [m^2Pa/W] po 10 minutovém měření s podložkou přibližně závisí na kvadrátu hodnoty parciálního tlaku vodní páry uprostřed hydrofilní membrány.

Tabulka 5. Textilní lamináty, jejichž přepočtený výparný odpor po 10 minutovém měření s podložkou

Měřené lamináty	R_{et} (bez podložky)	$R_{et,m}$ (s podložkou)	$R_{et,m}$ (výpočet)
GORETEX	1,65	3,85	3,376
FULL-DULL INTERLOCK	12,07	17,1	16,735
KB-205 (SSK 2657)	24,82	37,85	29,929
5655 MF	16,03	18,97	21,446
3662 MF	23,5	32,22	28,875

Textilní lamináty, jejichž přepočtený výparný odpor $R_{et,m}$ [m^2Pa/W] po 10 minutovém měření s podložkou nezávisí na kvadrátu hodnoty parciálního tlaku vodní páry uprostřed hydrofilní membrány, ale řídí se jinou závislostí.

Tabulka 6. Textilní lamináty, jejichž přepočtený výparný odpor po 10 minutovém měření s podložkou

Měřené lamináty	R_{et} (bez podložky)	$R_{et,m}$ (s podložkou)	$R_{et,m}$ (výpočet)
DERMIZAX STR 1780DX	4,28	15,73	6,674
DERMIZAX 1461 DX	5	14,54	7,739
DERMIZAX PD1519 DX	3,28	15,58	5,275
DERMIZAX NL 621 DX	9,04	17,02	12,880
DERMIZAX P15HDX	5,73	13,57	8,815
AGATA PUR, TECHO PLATZ	4,2	22,71	6,274

Je patrné, že ani kvadratický vliv snížení parciálního tlaku vodní páry uvnitř tohoto laminátu neposkytuje citelně zvýšenou hodnotu $R_{et,m}$ při použití této polopropustné membrány v oděvním systému. Cílem této práce však není detailní analýza nově zjištěného chování laminátů s hydrofilními membránami. Provedené originální experimenty dostatečně prokazují doposud nepublikované „nelineární“ chování těchto laminátů při jejich konkrétním používání.

ZÁVĚR

Cílem výzkumu bylo experimentální ověření relativně nové metody stanovení paropropustnosti polopropustných laminátů (používaných ve sportovních a ochranných bundách resp. oděvech) s použitím rychle měřicího přístroje Permetest.

Z experimentů vyplynulo, že u všech zkoumaných hydrofilních laminátů (včetně Goretexu s tenkou vrstvou nalaminovanou na PTFE fólii) výparný odpor R_{et} je na počátku vysoký a postupně klesá k minimální (nejlepší) hodnotě. U některých laminátů je tento efekt dosažen již po 6 minutách, u jiných po 10-12 minutách po vložení vzorku do přístroje Permetest typu skin model, který simuluje přenos tepla a vodní páry mezi lidskou kůží a oděvem nositele.

U klasického "pomalého" skin modelu, kde každé měření výparného odporu R_{et} trvá nejméně 40 minut, standardní experimentální postupy neumožnily zjištění této překvapivé skutečnosti. Proto publikace k tomuto jevu v dostupných časopisech chybí. Dokonce i u klasického Goretexu plný stupeň paropropustnosti nastane až po 4 minutách.

Větší překvapení poskytla měření na přístroji Permetest v případech, kde se mezi měřicí plochou přístroje simulující kůži a měřeným laminátem nachází textilní mezivrstva se známým výparným odporem, nahrazující například košili a příslušné vzduchové mezery. S tímto přídatným výparným odporem 9,24 [m²Pa/W] byly znovu proměřeny všechny lamináty. Bylo zjištěno, že časová prodleva nástupu nejvyšší paropropustnosti (nejnižších hodnot výparného odporu) se téměř nezměnila, ale hodnoty výparného odporu laminátů významně vzrostly.

Jako logické vysvětlení byl přijat předpoklad, že paropropustnost hydrofilních (nanoporézních) filmů roste se stupněm vnitřního zvlhčení filmu (membrány).

Pokud se mezi zdrojem plně nasyceného parciálního tlaku vodní páry (lidskou kůží nebo měřicí plochou permetestu) a membránou nachází textilie či vzduchová vrstva s vyšším výparným odporem, klesne úměrně množství vodní páry vstupující do membrány, a tím i stupeň zavlhčení membrány. Konečným důsledkem je pak vzrůst výparného odporu této membrány.

Byl vytvořen jednoduchý model stupně rozdělení parciálních tlaků vodní páry v měřeném oděvním systému, závisující na výparných odporech jednotlivých oděvních vrstev a membrán (včetně vrchní textilie) zapojených do série. Dle tohoto modelu výparný odpor R_{et} uprostřed membrány bude úměrný parciálnímu tlaku p_{parc} vodní páry v tomto místě, oproti místnímu tlaku p_{parc} bez přítomnosti podložky.

Z prvních výpočtů lineární závislosti R_{et} na p_{parc} vyplulo, že vzrůst R_{et} je podstatně vyšší než odpovídá lineární závislosti.

Zkusmo byla zvolena závislost kvadratická, která poměrně dobře vyhověla pro 4 zkoumané lamináty. Výzkum závislosti R_{et} na místním parciálním tlaku p_{parc} vodní páry u ostatních laminátů by měl být předmětem dalšího pokračování této studie.

Z posledních experimentů vyplynul významný negativní závěr pro uživatele levných sportovních bund a oděvů s hydrofilními membránami (lamináty). Pokud si nositel takové bundy obleče příliš mnoho textilních vrstev mezi kůží a bundy, může očekávat nelineární (neúměrný) vzrůst výparného odporu této bundy a tudíž velmi zhoršený transport parní vlhkosti od kůže do vnějšího prostředí. To se projeví vysokým tepelným diskomfortem.

Tento první nezobecněný poznatek do dnešní doby nebyl v dostupné literatuře popsán. V navazujícím výzkumu by měl být tento jev hlouběji analyzován respektive potvrzen a stanoven vliv konkrétních hodnot výparného odporu oděvních mezivrstev i vliv vlhkosti a teploty vnějšího prostředí na celkový výparný odpor oděvů s hydrofilními lamináty.

LITERATURA

- [1] Hes L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, Liberec 2005.
- [2] Kuneš J. a kol.: Tepelné bariéry, Academia 2003
- [3] Čapková V. Paropropustnost denimových tkanin za vlhka. 2012. Bakalářská práce. TUL
- [4] Hes L., Bogusławska-Baczek M.: Analysis and experimental determination of effective water vapour permeability of wet woven fabrics. *J. of TATM*, Vol. 8, Issue 4, p. 1-8, 2014.
- [5] Macoun D. Porovnání metod pro testování propustnosti pro vodní páry 2015. Bakalářská práce. TUL
- [6] Mansoor T., Hes L., Bajzik V., Noman M.T. Novel method on thermal resistance prediction and thermo-physiological comfort of socks in a wet state (2020) *Textile Research Journal*, 90 (17-18), pp. 1987-2006.
- [7] Ziemele I., Šroma I., Kakarane A. Comfort in sportswear (2018) *Key Engineering Materials*, 762, pp. 402-407.
- [8] Razzaque A., Tesinova P., Hes L., Salacova J., Abid H.A. Investigation on hydrostatic resistance and thermal performance of layered waterproof breathable fabrics (2017) *Fibers and Polymers*, 18 (10), pp. 1924-1930
- [9] Sybilska W., Korycki R. Analysis of coupled heat and water vapour transfer in textile laminates with a membrane (2010) *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 80 (3), pp. 65-69.
- [10] Thermal comfort - an important quality for industrial clothing (1995) *Technical Textiles International*, 4 (4), pp. 20-22.
- [11] Kombez nova [online]. [cit. 2021-12-10]. Dostupné z: <http://www.paraclub.ru/odegda/kombez-nova.shtml>
- [12] How waterproof jackets work [online]. [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://us.alpkit.com/blogs/spotlight/how-waterproof-jackets-work>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Mikroporézní membrána

Obr. č. 2 – Schema prostupu vodní pary neporeyní mem, rany

Obr. č. 3 – Dvouvrstvé lamináty

Obr. č. 4 – Třívrstvé lamináty

Obr. č. 5 – Dvouapůlvrstvé lamináty

Obr. č. 6 – Přístroj PERMETEST

Obr. č. 7 – Schéma měření na přístroji PERMETEST

Obr. č. 8 – Lineární model pro laminát full dull s výparným odporem $12 \text{ m}_2\text{Pa/W}$ (bez podložky, zaokrouhleno)

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – Klasifikace prodyšnosti materiálů podle R_{et}

Tabulka č. 2 – Vzorok

Tabulka č. 3 – Teplota a vlhkost při měření na Permetest

Tabulka č. 3 – Hodnoty výparných odporu po 6 a 10 minut

Tabulka č. 4 – Rozdělení analyzovaných textilních laminátů podle vlivu doby měření bez podložky na výparný odpor

Tabulka č. 5 – Textilní lamináty, jejichž přepočtený výparný odpor po 10 minutovém měření s podložkou

Tabulka č. 6 – Textilní lamináty, jejichž přepočtený výparný odpor po 10 minutovém měření s podložkou

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti materiálu DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX

Graf č. 2 – Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti materiálu 3662 MF a 5655 MF

Graf č. 3 – Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti materiálu FULL-DULL INTERLOCK

Graf č. 4 – Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti s podložkou materiálu DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX

Graf č. 5 – Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti s podložkou materiálu 3662 MF a 5655 MF

- Graf č. 6 – Grafické znázornění střední hodnoty P s intervaly spolehlivosti s podložkou materiálu FULL-DULL INTERLOCK
- Graf č. 7 – Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby materiálu DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX
- Graf č. 8 – Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby materiálu 3662 MF a 5655 MF
- Graf č. 9 – Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby materiálu FULL-DULL INTERLOCK
- Graf č. 10 – Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby s podložkou materiálu DERMIZAX NL 621 DX a DERMIZAX PD 1519 DX
- Graf č. 11 – Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby s podložkou materiálu 3662 MF a 5655 MF
- Graf č. 12 – Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} a doby s podložkou materiálu FULL-DULL INTERLOCK
- Graf č. 13 – Variační koeficient relativní paropropustnosti pro GORETEX bez podložku a s podložkou