



Diplomová práce

**Analýza možnosti měření propustnosti vodních par
různými laboratorními metodami**

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

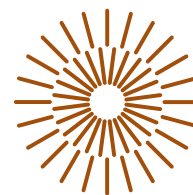
N0723A270001 Textilní inženýrství

Bc. Štěpán Kotek, DiS.

doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Katedra oděvnictví

Liberec 2023



Zadání diplomové práce

Analýza možnosti měření propustnosti vodních par různými laboratorními metodami

Jméno a příjmení:

Bc. Štěpán Kotek, DiS.

Osobní číslo:

T20000049

Studijní program:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Zadávající katedra:

Katedra oděvnictví

Akademický rok:

2020/2021

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši zaměřenou na význam propustnosti vodních par pro fyziologický komfort oděvů.
2. Analyzujte možnosti měření propustnosti vodních par u textilií podle různých metod a norem.
3. Proveďte experimentální ověření měření propustnosti vodních par na vytipovaném souboru plošných textilií
4. Porovnejte výsledky a navrhnete optimální variantu měření propustnosti vodních par pro dané vzorky plošné textilie

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- Mattila, H.R. Intelligent textiles and clothing, Woodhead Publishing in Textiles, Abington Hall, Cambridge CB1 6AH, England, ISBN-13:978-1-84569-005-2.
- Fairhurst, C. Advances in apparel production, Woodhead Publishing in Textiles, Abington Hall, Cambridge CB1 6AH, England, ISBN 978-1-84569-295-7.
- Hes, L., Williams, J. Laboratory measurement of thermophysiological comfort, Technical University of Liberec, Czech Republic and De Montfort University, UK, Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge CB22 3HJ, United Kingdom, ISBN 978-1-84569-539-2.

Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví
Datum zadání práce: 5. května 2021
Předpokládaný termín odevzdání: 2. června 2023

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

L.S.

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. května 2023

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

1. června 2023

Bc. Štěpán Kotek, DiS.

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat zejména vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc. za jeho trpělivost, ochotu a odbornou pomoc při psaní této práce.

Stejně tak musím poděkovat své manželce a dětem za podporu a shovívavost v průběhu celého mého studia.

Anotace

Tato práce se zabývá analýzou možnosti měření propustnosti vodních par různými laboratorními metodami. Tato vlastnost textilií má zcela zásadní vliv na komfort oděvu. Rešeršní část proto pojednává nejprve o oděvním komfortu a jeho jednotlivých složkách. Dále se věnuje různým metodám měření propustnosti vodních par. Závěrem rešeršní části je vytipování jednotlivých metod pro účely experimentu.

Experimentální část popisuje reálné měření propustnosti vodních par na vzorcích konkrétních textilií pomocí vytipovaných metod.

V závěru jsou testované metody vyhodnoceny vzhledem ke své pracnosti, časové náročnosti a přesnosti měření. Tím je umožněno i jejich vzájemné porovnání.

Klíčová slova

Komfort oděvu, propustnost vodních par, gravimetrické metody, výparný odpor.

Anotation

This work deals with the analysis of the possibility of measuring water vapor permeability by various laboratory methods. This attribute of textiles has a fundamental influence on the comfort of clothing. Therefore, the research part first deals with clothing comfort and its individual components. It also deals with various methods of measuring water vapor permeability. The conclusion of the research part is the selection of individual methods for the purposes of the experiment.

The experimental part describes the real measurement of water vapor permeability on samples of specific textiles using selected methods.

In the conclusion, the tested methods are evaluated with respect to their laboriousness, time-consuming and measurement accuracy. This also enables their mutual comparison.

Key Words

Clothing comfort, water vapor permeability, gravimetric methods, evaporative resistance.

Obsah

Seznam zkratk.....	11
Úvod.....	12
1 Komfort.....	14
1.1 Rozdělení komfortu	14
1.1.1 Psychologický komfort	14
1.1.2 Funkční komfort	14
1.2 Fyziologický komfort.....	16
1.2.1 Termoregulace.....	16
1.2.2 Transportní vlastnosti oděvu	17
1.2.3 Hodnocení transportních vlastností.....	17
2 Hodnocení propustnosti vodních par	18
2.1 Gravimetrické metody.....	18
2.1.1 Misková metoda přímá (FX3180 CupMaster)	19
2.1.2 Misková metoda s absorbentem	21
2.1.3 Metoda s octanem draselným.....	23
2.1.3 Alternativní metoda 1 (k metodě s octanem draselným)	25
2.1.4 Alternativní metoda 2 (k metodě s octanem draselným).....	26
2.2 Metody měření výparného odporu.....	28
2.2.1 Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP).....	28
2.2.2 Permetest.....	30
2.2.3 Hlava 2 (H2).....	32
2.3 Další alternativní metody měření propustnosti vodních par.....	35
2.3.1 Metoda DREO.....	35
2.3.2 Metoda LYSSY	36
3 Shrnutí poznatků řešerše	37

3.1	Volba metod pro experiment	37
3.2	Vzorky pro měření	39
3.1.1	Základní vrstva (V1).....	40
3.1.2	Střední vrstva (V2).....	40
3.1.3	Svrchní vrstva (V3)	41
4	Laboratorní měření.....	42
4.1	Misková metoda přímá	43
4.1.1	Postup měření	43
4.1.2	Výsledky měření	44
4.2	Misková metoda s absorbentem.....	48
4.2.1	Postup měření	48
4.2.2	Výsledky měření	49
4.3	Metoda s octanem draselným	50
4.3.1	Postup měření	50
4.3.2	Výsledky měření	51
4.4	Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP8_2)	53
4.4.1	Postup měření	53
4.4.2	Výsledky měření	54
4.5	SGHP (SDL Atlas M259B).....	55
4.5.1	Postup měření	55
4.5.2	Výsledky měření.....	56
5	Porovnávání výsledků měření	57
5.1	Srovnání naměřených hodnot.....	57
5.1.1	Porovnání gravimetrických metod	57
5.1.2	Porovnání metod měření výparného odporu	59
5.1.3	Korelační analýza testovaných metod	60
5.2	Srovnání pracnosti a časové náročnosti jednotlivých metod.....	63

5.2.1 Pracnost testovaných metod	63
5.2.2 Časová náročnost testovaných metod.....	64
Závěr	65
Reference	67
Seznam obrázků.....	69
Seznam tabulek.....	70
Seznam grafů	71

Seznam zkratk

ISO – mezinárodní norma

EN – evropská norma

ČSN – česká norma

JIS – japonská norma

PES – polyester

Potaš – nasycený roztok octanu draselného

SGHP – sweating guarded hot plate

R_{et} – výparný odpor

R_{ct} – tepelný odpor

WVTR – propustnost vodních par

KOD – katedra oděvnictví

SVOČ – studentská vědecká a odborná činnost

Úvod

Cílem této práce je navrhnout optimální metodu měření propustnosti vodních par pro vzorky plošných textilií. Tento návrh se opírá o podrobnou analýzu možností měření propustnosti vodních par za pomoci různých laboratorních metod. Vytipované metody jsou prověřeny praktickými zkouškami a následně porovnány vzhledem k výsledkům i nárokům těchto zkoušek.

Téma „Analýza možnosti měření propustnosti vodních par různými laboratorními metodami“ jsem si pro svou práci zvolil hned z několika důvodů. Především proto, že pracuji ve firmě zabývající se výrobou sportovních oděvů, pro něž je propustnost vodních par jednou z nejdůležitějších charakteristik. Avšak také díky své vlastní náklonnosti k nejrůznějším sportovním aktivitám dobře vím, že zejména při zvýšené zátěži, hraje schopnost jednotlivých vrstev oděvu odvádět od těla vodní páry zásadní roli.

Lidské tělo neustále produkuje vlhkost formou potu. Odpařování potu z povrchu pokožky způsobuje její ochlazování. Propustnost vodních par textilií je proto zcela zásadní atribut pro komfort oděvů. A to nikoliv pouze sportovních, ale i oděvů pro každodenní nošení.

Měření propustnosti vodních par se dosud v textilním průmyslu nevěnuje dostatečná pozornost. Pokud se vůbec na štítku oděvu dočteme nějakou hodnotu propustnosti vodních par, její spolehlivost je často vzdálená od reality.

Propustnost vodních par se dá měřit mnoha způsoby. Poměrně početná skupina metod spočívá na bázi sledování množství vody odpařené skrz textilií za určitou dobu. Tyto metody lze souhrnně označovat jako gravimetrické.

Další skupina metod pracuje přímo na bázi simulace potíci se lidské pokožky. Tyto metody sledují výparný odpor dané textilie a lze je shrnout pod názvem skin model. Existují však i další metody měření propustnosti vodních par textilií.

V této práci jsou tyto metody pojednány. Zároveň jsou některé vytipované metody měření propustnosti vodních par podrobeny podrobnější analýze i praktickému otestování s cílem zhodnotit jejich aspekty z hlediska pracnosti, časové náročnosti i

přesnosti naměřených dat. Na základě těchto aspektů je také možné mezi sebou metody měření propustnosti vodních par určitým způsobem porovnat.

Vytipování metod je definováno současnými možnostmi realizace měření v rámci laboratoří na katedře oděvnictví Technické Univerzity v Liberci. Cílem bylo vyzkoušet, pokud možno veškeré možnosti, které laboratoře nabízí.

Vzorky pro testování byly voleny spíše s ohledem na jejich rozdílné vlastnosti. Experiment má za úkol prověřit metodu, nikoli vzorky samotné. Nicméně měření bylo provedeno na materiálech, pro které je informace o jejich schopnosti propouštět vodní páry relevantní, tedy na materiálech pro takzvané funkční oděvy. Právě tyto funkční oděvy by se měly nejlépe podílet na dosažení co nejlepší úrovně oděvního komfortu, a to i při zvýšené zátěži organismu.

Tato práce se zabývá hledáním optimální metody pro měření propustnosti vodních par textiliemi.

1 Komfort

Pokud nošení oděvu přináší příjemné pocity a pohodlí, hovoříme o oděvním komfortu. Je to stav, jenž vyžaduje optimální soulad fyziologických a psychologických funkcí nositelova organismu.

1.1 Rozdělení komfortu

Oděvní komfort se vždy skládá z více vrstev. Rozlišujeme komfort psychologický a komfort funkční.

1.1.1 Psychologický komfort

Psychologický komfort je dán individualitou člověka, promítají se do něj kulturní a sociální vlivy, geografické a klimatické podmínky, tradice, zvyky a náboženství, ale také věk, vzdělání či sociální vrstva. V neposlední řadě také barvy a móda. [1]

1.1.2 Funkční komfort

Funkční komfort tvoří vlivy dané především konstrukcí oděvu a vlastnostmi použitého materiálu. Lze jej dále rozdělit na senzorický komfort, patofyziologický komfort a termofyziologický komfort. [1]

Senzorický komfort je dán vjemy z pokožky a jejího fyzického kontaktu se všemi vrstvami oděvu. Vyplývá jednak z konstrukce, velikosti a hmotnosti oděvu, také však z kvality omaku použitého materiálu.

Patofyziologický komfort určuje reakce organismu nositele na chemické látky a mikroorganismy obsažené v použitém oděvním materiálu. Je možné minimalizovat podráždění pokožky různými hygienickými finálními úpravami.

Termofyziologický komfort vyplývá ze schopnosti oděvu transportovat teplo a plynou i kapalnou vlhkost skrz své jednotlivé vrstvy dovnitř a ven. Oděv se totiž zásadním způsobem podílí na termoregulaci svého nositele. Jeho ústřední snahou je vyvážená tepelná bilance organismu. [1]

Tato snaha o vyváženou tepelnou bilanci organismu je pro tuto práci klíčová.

1.2 Fyziologický komfort

Fyziologického komfortu je dosaženo tehdy, pokud organismus produkuje a přijímá takové množství tepla, které současně beze zbytku transportuje do okolí. [1]

Na tom se podílí jednak termoregulační schopnost organismu, tedy schopnost udržovat stálou tělesnou teplotu, přesto že produkce tepla, jeho příjem i ztráty nepřetržitě kolísají. Nedílnou součástí jsou však také prostředky, jak schopnost termoregulace podpořit, jako například vhodná výživa, úměrná aktivita, ale především vhodný oděv. Oděv působí jako aktivní složka termoregulace organismu v daném prostředí. [1]

1.2.1 Termoregulace

Lidský organismus v rámci své termoregulační činnosti produkuje vlhkost ve formě vodních par a potu. Odpařování potu je důležitý termoregulační faktor, který má na tělo ochlazující účinek. [2]

Produkce tělesné vlhkosti závisí na okolní teplotě a na fyzické zátěži. V běžném režimu činí produkce tělesné vlhkosti cca 30 ml/hod potu. V extrémních podmínkách však může dosahovat i 4 l/hod potu. Přitom odpařením 1 l potu je z organismu odvedeno cca 2,4 MJ tepla. [2]

Pro potřeby termoregulace a tím tak zachování fyziologického komfortu je schopnost transportu vodních par do okolí zcela zásadní. [2]

1.2.2 Transportní vlastnosti oděvu

Transportní vlastnosti oděvu neboli propustnosti, lze rozdělit podle druhu prostupujícího média:

- Propustnost vzduchu, prodyšnost - R [m/s]
- Propustnost vodních par MWRT, VWTR [g/m². 24 hod], P [%], Ret [m².Pa/W]
- Propustnost tepla – tepelně izolační vlastnosti λ [W/m.K], Rct [m².K/W]
- Propustnost vody – nasákavost, smáčivost, vzlínavost [%], st. et.,[mm]

[2]

Předpokladem pro uskutečnění transportu je skutečnost, že se zkoumaný materiál nachází ve fyzikálním prostředí s různou intenzitou po obou jeho stranách. V reálných podmínkách působí vždy několik médií najednou z obou stran textilie. [2]

1.2.3 Hodnocení transportních vlastností

Pro hodnocení transportních vlastností oděvních materiálů existují jednak standardní metody, podle norem ISO, EN, ČSN. Jedná se o objektivní měření za stacionárních normovaných podmínek. Představují zkoumání jednotlivých transportních vlastností převážně odděleně. Vykazují menší časovou náročnost měření a také menší spotřebu vzorků. Chybí zde však přítomnost lidského subjektu – neoddělitelná část reálného prostředí. [2]

Proto také existují i modifikované metody simulující reálné podmínky (teplota, déšť, proudící vzduch, vlhkost), pro které jsou testované oděvní výrobky určeny. Jedná se o zkoumání transportních vlastností v kombinaci s vyššími časovými i materiálními náklady. Lépe však odráží realitu. [2]

Tato práce se soustřeďuje na hodnocení propustnosti vodních par.

2 Hodnocení propustnosti vodních par

Hovoříme-li o propustnosti vodních par, jedná se o schopnost textilie neklást odpor prostupu vodních par, ale naopak napomáhat jejich transportu. Předpokladem tohoto jevu je rozdílný parciální tlak vodních par na obou stranách textilie. [2]

Závisí na struktuře zkoumané textilie, materiálovém složení, povrchové úpravě, klimatických podmínkách a dalších faktorech. V souvislosti s tím měříme několik veličin:

- Relativní propustnost vodních par P_x [%]
 - Odolnost vůči vodním parám, Výparný odpor R_{et} [$m^2 \cdot Pa/W$]
 - Index propustnosti vodních par i_{mt} [-]
 - Navlhavost – schopnost pohlcovat vlhkost ze vzduchu
 - Vysýchavost – schopnost odevzdávat vlhkost
- [2]

2.1 Gravimetrické metody

Gravimetrické metody patří mezi nejstarší způsoby měření propustnosti vodních par. Zjišťují množství páry v gramech, která projde danou textilií za daný časový interval. [3]

Princip vážení analytickými váhami zde spočívá například v úbytku hmotnosti obsahu nádoby uzavřené zkoušeným vzorkem. Jedná se o takzvanou přímou metodu, příkladem přístroje pracujícího s touto metodou je FX 3180 CupMaster.

Jiná z těchto metod (metoda s absorbentem) měří přírůstek hmotnosti vysoušedla uvnitř nádoby uzavřené zkoušeným vzorkem.

Postupy jednotlivých testů jsou definovány zejména normou JIS L 1099, kde jsou popsány jako metody A a B.

2.1.1 Misková metoda přímá (FX3180 CupMaster)



Obrázek 1: FX 3180 CupMaster [4]

Norma: JIS L 1099 A-2 [4]

Princip: Přes misku s vodou je upnutý vzorek zkoušené textilie. Miska je umístěna v klimatizované komoře. Voda uvnitř misky se odpařuje přes zkoušenou textili. Po skončení testu se množství vody v misce porovná s původním množstvím před začátkem testu. Rozdíl obou hodnot definuje parametr WVTR (Water Vapour Transmission Rate) v [g/m².24h]. [2]

$$WVTR = \frac{a_2 - a_1}{S_A} \text{ [g/m}^2\text{.24h]}$$

a_2 – původní hmotnost vody [g]

a_1 – hmotnost vody po testu [g]

S_A – plocha vzorku [m²]

[2]



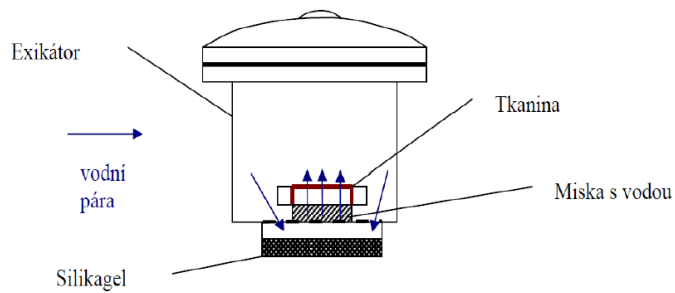
Obrázek 2: Misky uvnitř přístroje CupMaster [4]

Podmínky měření jsou definovány různými normami, podle zkoušených vzorků a účelů zkoušek.

Možnosti nastavení stroje jsou následující:

- rozsah teplot $t = 10^{\circ}\text{C}$ pod okolní teplotu až do 40°C
 - relativní vlhkost $\varphi = 40 - 90\%$ (23°C), $20 - 90\%$ (38°C)
 - rychlost proudícího vzduchu $v = 0,02 - 4 \text{ m/s}$
 - doba měření = zpravidla 24 h
 - v přístroji je možné testovat až 12 vzorků najednou
- [4]

2.1.2 Misková metoda s absorbentem



Obrázek 3: Schéma miskové metody s absorbentem [2]

Norma: ČSN 80 0855 (již není platná – zrušena bez náhrady), JIS L 1099 A-1

Princip: Norma JIS L 1099 A-1 definuje tuto metodu jako Metodu s chloridem vápenatým (A-1). Zjišťuje se množství páry absorbované silikagelem (chloridem vápenatým), tedy přírůstek jeho hmotnosti, za přesně stanovených podmínek v klimatizované komoře a za definovaný časový úsek. Poměr přírůstku hmotnosti vysoušedla ve zkušební misce s textilií a přírůstku hmotnosti vysoušedla ve zkušební misce bez textilie tak definuje parametr - (Relativní) Propustnost vodních par, P_X [%] [2]

$$P_X = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \cdot 100 [\%]$$

G_1 - přírůstek hmotnosti vysoušedla s textilií [g]

G_0 - přírůstek hmotnosti vysoušedla bez textilie [g]

[2]

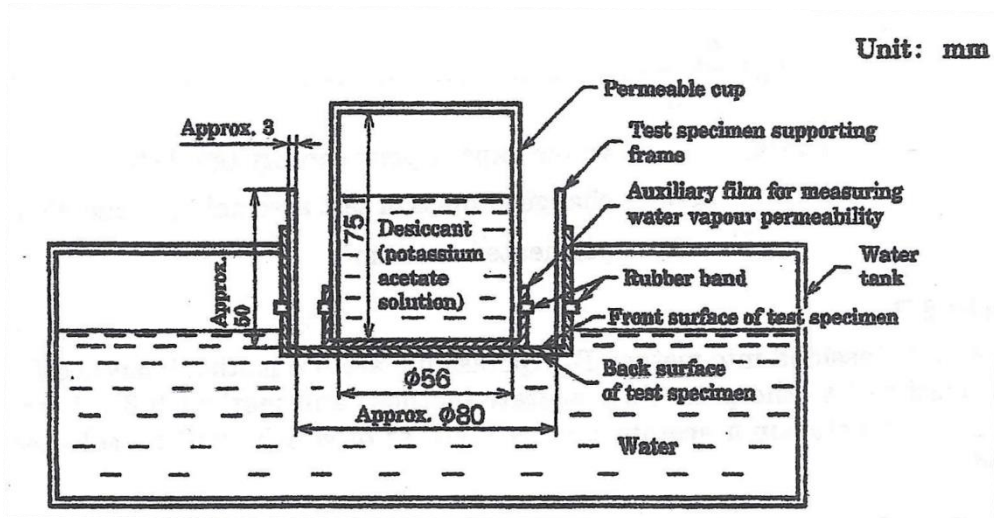
Popis zařízení:

- Klimatizační skříň – teplotu musí dodržet s přesností ± 2 °C a maximální rychlost proudění vzduchu musí být 0,2 m/s.
- Analytické váhy – přesnost vah musí být 10⁻⁴ g.
- Exikátor – slouží pro manipulaci s miskami poté, co se vyjmou z klimatizační skříň.
- Lehké hliníkové eloxované zkušební misky – mají kruhový tvar, o průměru 61,9 mm.
- Víčka a matice s těsnícím kroužkem – pro utěsnění vzorku.
- Raznice – průměr 71,4 mm.
- Vysoušedlo – silikagel T středně porézní o zrnitosti 0,4 - 1,6 mm.

[5]

Jedná se o starou metodu považovanou za nepřesnou především z důvodu nelineární sorbce absorbentu. [6]

2.1.3 Metoda s octanem draselným



Obrázek 4: Schéma metody s octanem draselným B-1 [7]

Norma: JIS L 1099 B-1

Postup: Zkoušená textilie je umístěna mezi dvě vodotěsné, ale jinak dobře propustné pro vodní páru, mikroporézní membrány uzavírající pohárek naplněný nasyceným roztokem octanu draselného. Vytvoří se pohárky se všemi testovanými vzorky, plus navíc jeden pohárek uzavřený pouze membránami bez vzorku textilie. Tyto pohárky jsou zváženy a následně ponořeny do vodní lázně tak, aby vrchní membrána byla v kontaktu s vodou.

Po daném časovém úseku (15 minut) jsou opět vyjmuty a znovu zváženy. Přírůstky hmotností pohárků se vzorky se pak odečítají od přírůstku hmotnosti pohárku bez vzorku. [7]

Měří se parametr propustnosti pro vodní páry P_{B1} (Water Vapour Permeability) v $[g/(m^2 \cdot h)]$ [7]

$$P_{B1} = \frac{a_6 - a_5}{S_{B1}} [g/(m^2 \cdot h)]$$

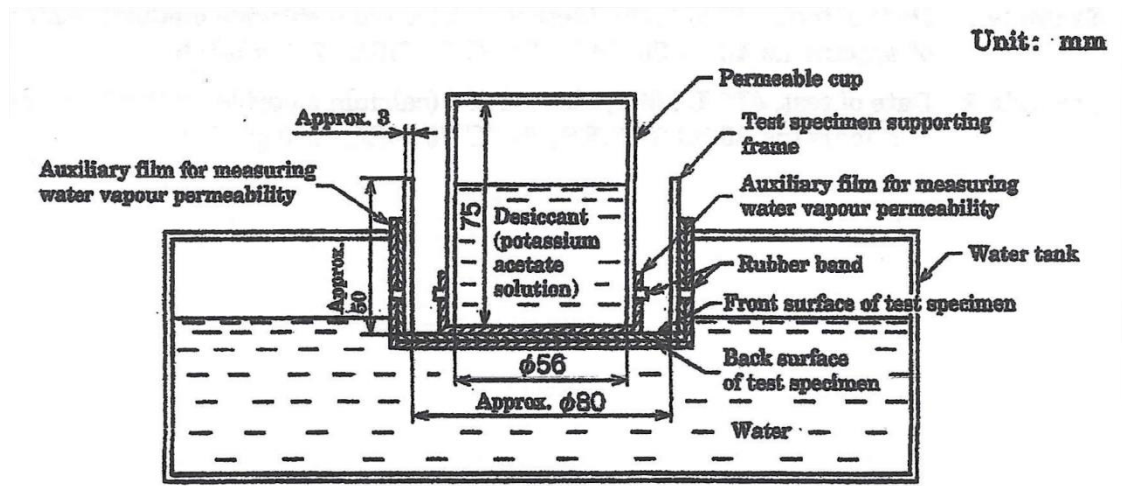
P_{B1} - propustnost pro vodní páry $[g/m^2 \cdot h]$

$a_6 - a_5$ - změna hmotnosti pohárku $[g/h]$

S_{B1} - plocha vzorku $[m^2]$

[7]

2.1.3 Alternativní metoda 1 (k metodě s octanem draselným)



Obrázek 5: Schéma metody s octanem draselným B-2 [7]

Norma: JIS L 1099 B-2

Postup: Obdobně jako u JIS L 1099 B-1. Polopropustné membrány jsou v tomto případě doplněny o pomocný film pro měření propustnosti vodních par.

Měří se parametr propustnosti pro vodní páry P_{B2} (Water Vapour Permeability) v $[g/(m^2 \cdot h)]$ [7]

$$P_{B2} = \frac{a_8 - a_7}{S_{B2}} [g/(m^2 \cdot h)]$$

P_{B2} - propustnost pro vodní páry $[g/(m^2 \cdot h)]$

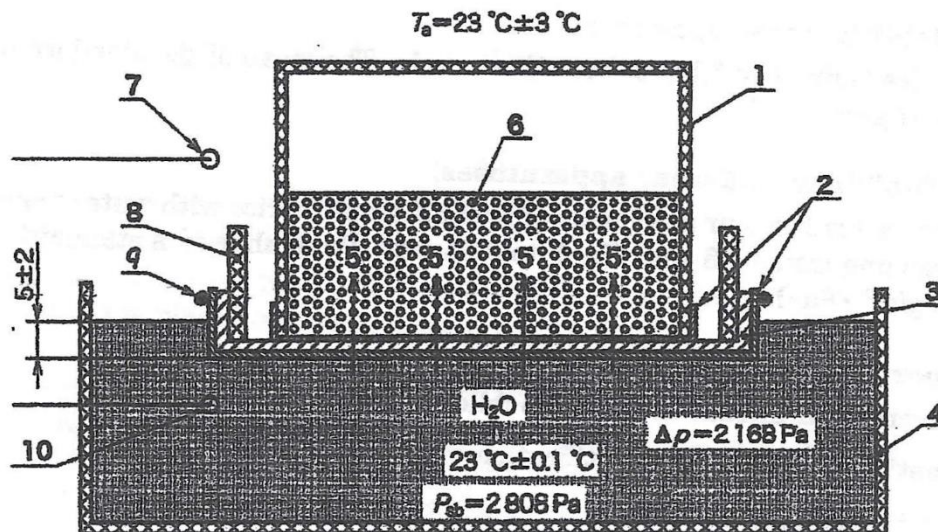
$a_8 - a_7$ - změna hmotnosti pohárku $[g/h]$

S_{B2} - plocha vzorku $[m^2]$

[7]

2.1.4 Alternativní metoda 2 (k metodě s octanem draselným)

Unit: mm



- 1 Measuring cup
- 2 Membrane
- 3 Test specimen
- 4 Water tank
- 5 Water vapour
- 6 Saturated potassium acetate solution
- 7 Temperature sensor of the test room
- 8 Specimen holder
- 9 Rubber ring
- 10 Water temperature sensor

Obrázek 6: Schéma metody s octanem draselným B-3 [7]

Norma: JIS L 1099 B-3

Postup: Testovaný vzorek je spolu s vodotěsnou, ale pro vodní páru snadno propustnou membránou upnut na kruhový rámeček a ponořen do vodní lázně tak, že membrána je v kontaktu s vodou. Takto je ponechán 15 minut. Pohárek naplněný nasyceným roztokem octanu draselného (o relativní vlhkosti 23 %) a zakrytý stejnou membránou je zvážen a následně umístěn dnem vzhůru do rámečku se vzorkem tak, že membrána na pohárku je v kontaktu se vzorkem. Vodní páry prochází skrz vzorek a obě membrány do pohárku. Po dalších 15 minutách je pohárek opět zvážen.

Je nutné provést alespoň jedno měření bez vzorku, aby bylo možné odečíst vliv membrán.

Měří se propustnost vodních par WVP (Water Vapour Permeability) v [g/m².Pa.h] [7]

$$\Delta m = m_{15} - m_0 \text{ [g]}$$

$$WVP_{app} = \frac{\Delta m_{app}}{a \cdot \Delta p \cdot \Delta t} \text{ [g/m}^2\text{.Pa.h]}$$

$$WVP = \left(\frac{a \cdot \Delta p \cdot \Delta t}{\Delta m} - \frac{1}{WVP_{app}} \right)^{-1} \text{ [g/m}^2\text{.Pa.h]}$$

Δm – změna hmotnosti pohárku v průběhu periody Δt [g]

Δm_{app} – změna hmotnosti pohárku bez vzorku v průběhu periody Δt [g]

a – plocha kontaktu pohárku se vzorkem [m²]

Δt – doba měření [h]

Δp – rozdíl tlaku vodní páry pod a nad vzorkem [Pa]

[7]

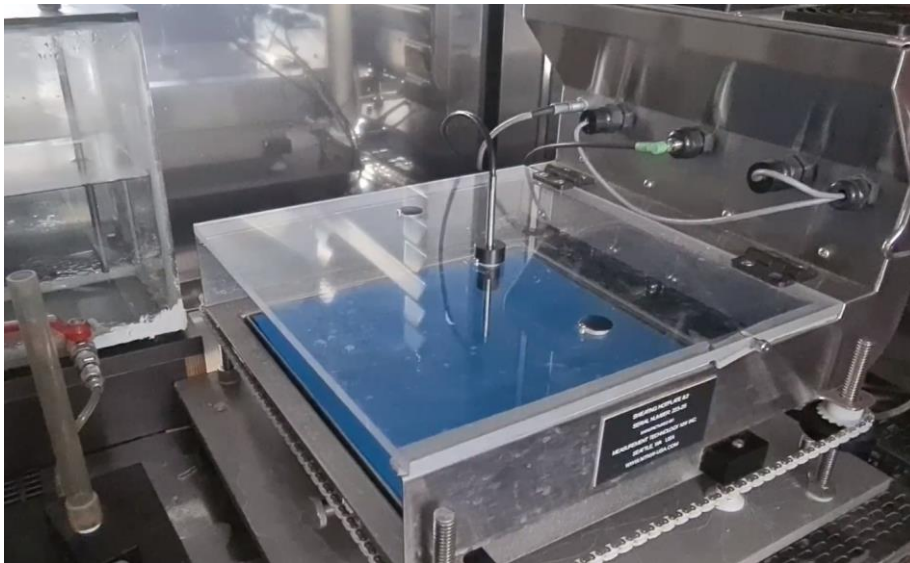
2.2 Metody měření výparného odporu

Elektricky vyhřívaná porézní destička zakrytá polopropustnou membránou (propouští vodní páry, nepropouští vodu) a vzorkem zkoumané plošné textilie. Voda přiváděná k destičce se odpařuje a vodní páry prochází membránou a následně textilií. Tepelný tok, nutný pro zachování teploty na destičce, je mírou rychlosti vypařování. [2]

Vyhřívaná destička zde simuluje lidskou kůži a voda, která je k ní přiváděna, princip pocení. Proto jsou tyto metody nazývány skin model.

Postupy jednotlivých testů jsou definovány také normou JIS L 1099, kde jsou popsány jako metody C.

2.2.1 Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP)



Obrázek 7: Přístroj SGHP (laboratoře KOD)

Norma: ČSN EN ISO 11092, JIS L 1099 C

Princip: Elektricky vyhřívaná porézní destička zakrytá polopropustnou membránou (propouští vodní páry, nepropouští vodu) a vzorkem zkoumané plošné textilie. Voda

přiváděná k destičce se odpařuje a vodní páry prochází membránou a následně textilií. Tepelný tok, nutný pro zachování teploty na destičce, je mírou rychlosti vypařování.[2] Přístroj je umístěn v automatické klimatizované komoře, která kolem něho udržuje podmínky stanovené konkrétní normou, jako jsou teplota, relativní vzdušná vlhkost, rychlost proudění vzduchu a další.

Přístroj určený k měření tepelného odporu R_{ct} a výparného odporu R_{et} .

Výparný odpor R_{et} [$m^2 \cdot Pa/W$] je rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu.

$$R_{ct} = \frac{(p_m - p_a) \cdot A}{H - \Delta H_e} - R_{et0} \quad [m^2 \cdot Pa/W]$$

p_m – nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící hlavičky [Pa]

p_a – parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]

A – plocha měřící jednotky [m^2]

H – výhřevnost dodávaná měřící jednotce [W]

ΔH_e – korekce pro výhřevnost při měření odolnosti vůči vodním parám R_{et} [W]

[2]

Index propustnosti vodních par i_{mt} [-] je poměr tepelného odporu a výparného odporu.

$$i_{mt} = S \cdot \frac{R_{ct}}{R_{et}} \quad [-]$$

S – koeficient, 60 Pa/K

Index propustnosti vodních par je bezrozměrný a nabývá hodnot od 0 do 1. Hodnota 0 znamená, že materiál je nepropustný pro vodní páry. Hodnota 1 vykazuje jak tepelný, tak výparný odpor totožný se vzduchovou vrstvou stejné tloušťky.

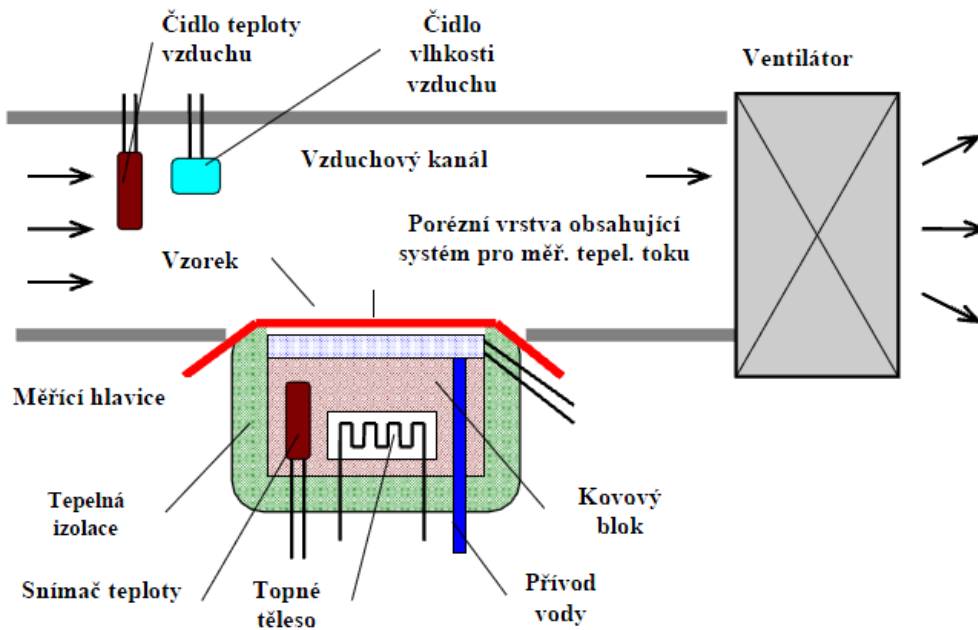
[2]

Propustnost vodních par W_d [$g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot Pa^{-1}$] je vlastnost textilního materiálu nebo sestavy, závislá na výparném odporu a teplotě.

$$W_d = \frac{1}{\Phi_{T_m} \cdot R_{et}} \quad [g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot Pa^{-1}]$$

Φ_{T_m} – latentní teplo vypařování vody při teplotě měřící jednotky T_m [2]

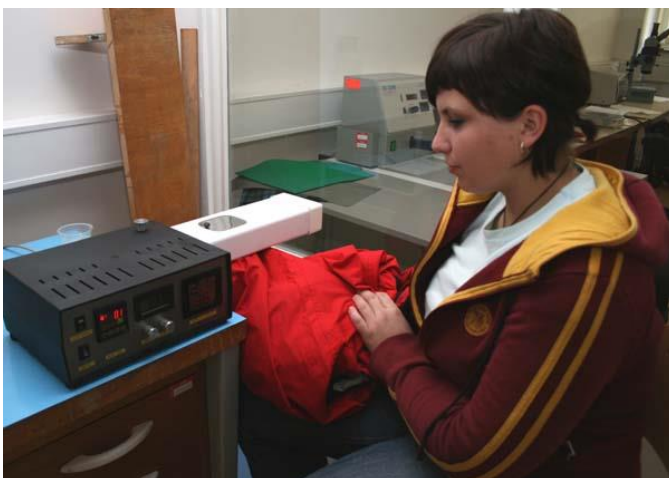
2.2.2 Permetest



Obrázek 8: Schéma Permetestu [8]

Norma: ČSN EN ISO 11092

Princip: Tento přístroj v roce 1990 patentoval profesor Luboš Hes z Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci. Je to pravděpodobně jediný přístroj na trhu, který umožňuje nedestrukční testování výparného a tepelného odporu oděvů. [9]



Obrázek 9: Měření s přístrojem Permetest [9]

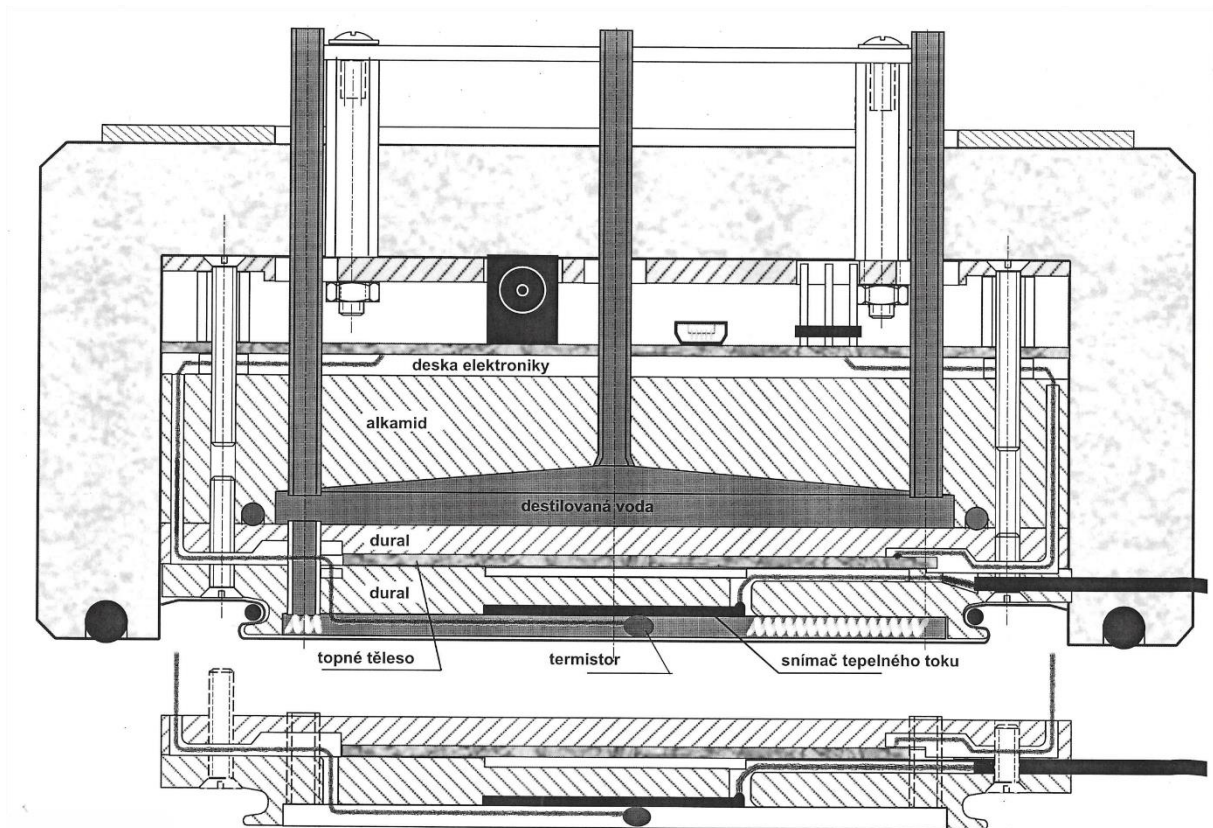
Jedná se o zmenšenou verzi skin modelu. Přístrojem se měří relativní propustnost vodních par P , tepelný tok q a výparný odpor R_{et} . Zkouška je časově méně náročná, malé rozměry usnadňují měření.

Měřený vzorek se přikládá na mikroporézní membránu napnutou na hlavici přístroje. Hlavice je zvlhčována, aby bylo docíleno efektu ochlazování lidské pokožky pocením, membrána propouští vlhkost ke vzorku jen ve formě páry.

Vzorek je z vnější strany ovíván proudem vzduchu pomocí ventilátoru.

Při výpočtu se vychází z hodnoty tepelného toku q_0 , který se odpařuje z nezakryté vodní hladiny o průměru totožném s průměrem měřeného vzorku. Hodnota q_0 pak představuje 100 % propustnost. Po zakrytí vodní hladiny vzorkem se tepelný tok sníží na hodnotu q_v . [8]

2.2.3 Hlava 2 (H2)



Obrázek 10: Schéma měřící hlavy H2 [10]

Norma: ČSN EN ISO 11092 (přibližně)

Princip: Přístroj vyvinutý na katedře oděvnictví Technické univerzity v Liberci. Jeho účelem je orientační měření výparného odporu plošných textilií a potahů, i celých struktur automobilových sedaček. [10]

Přístroj byl určen jak pro měření uvnitř klimatizované komory (obdobně jako SGHP), tak pro použití v klimatizované místnosti pro měření objemnějších objektů. V roce 2018 byla na tomto přístroji v rámci SVOČ provedena řada experimentů s cílem nalézt metodu měření, jež by poskytla co možná nejpřesnější výsledky.

Jako taková se nakonec ukázala metoda měření uvnitř klimatizované komory bez použití polyuretanové pěny, která měla tendenci zadržovat v sobě vlhkost a ovlivňovat tak výsledky měření. Tento fakt v podstatě vyřadil z testování celou

strukturu sedáku autosedačky a omezil možnosti měření pouze na plošné textilie (v rámci experimentu tedy na sendvičové struktury potahů). [10]

Vzorek se položil na soustavu kovových mřížek, v níž je umístěno čidlo pro měření teploty a vlhkosti pod vzorkem. Mřížka zároveň definuje minimální mezeru mezi čidlem a vzorkem. Také nad vzorkem je čidlo pro měření teploty. Dále se nad vzorkem nachází polopropustná membrána, k níž přístroj přivádí ohřátou destilovanou vodu.

Data z čidel sbírá a vyhodnocuje počítač.

Pro stanovení výparného odporu je nutno znát:

- tepelný tok při ustáleném stavu
- teplotu nad vzorkem
- vlhkost nad vzorkem
- teplotu pod vzorkem
- vlhkost pod vzorkem
- teplotu a vlhkost okolního prostředí

[10]

Výparný odpor:

$$H_{et} = ((P_m - P_a) / q_m) - H_{et0} \text{ [m}^2\text{Pa/W]}$$

P_m - parciální tlak páry nad vzorkem [Pa]

P_a - parciální tlak páry pod vzorkem [Pa]

q_m - tepelný tok [W/m^2]

H_{et0} - konstanta přístroje [$\text{m}^2\text{Pa/W}$]

Výparný odpor H_{et} je vyjádřen v Pascalech na metr čtvereční na Watt [$\text{m}^2\text{Pa/W}$] [10]

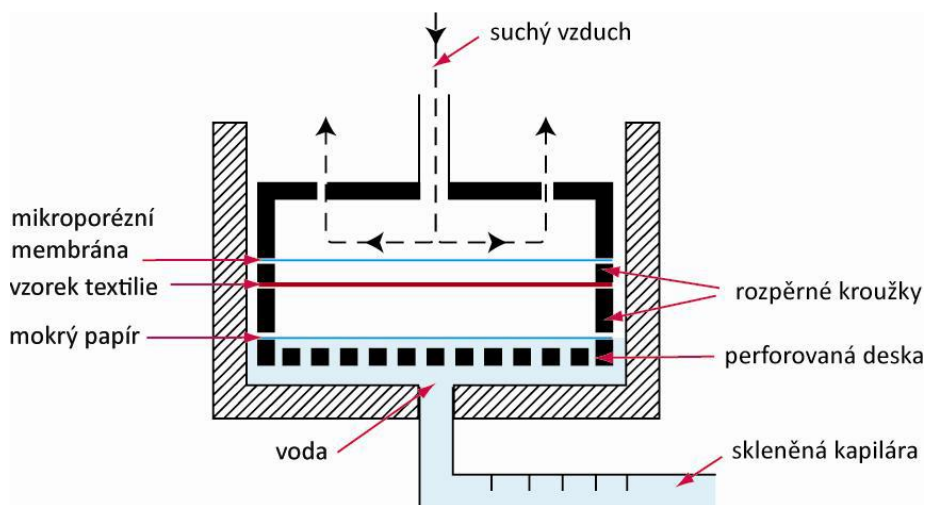
H_{et0} - Pro nejvyšší přiblížení měření podle normy ISO 11 092, byla hodnota H_{et0} zjišťována následujícím způsobem. Nulové měření probíhalo v klimatizované komoře Fisher, kdy místo vzorku byla použita deska z polystyrenu. Měření pak probíhalo standardně s měřicí hlavou naplněnou vodou. Jakmile došlo k největšímu možnému

snížení tepelného toku a jejímu ustálení, měření bylo ukončeno a hodnota byla zaznamenána. Tímto experimentem bylo zjištěno, že hodnota H_{et0} je hodnota tepelného toku $3,72 \text{ W/m}^2$. [10]

2.3 Další alternativní metody měření propustnosti vodních par

Existují ještě další metody, jak měřit propustnost vodních par.

2.3.1 Metoda DREO



Obrázek 11: Farnworthův difuzimetr [8]

Postup: Testovaný vzorek je třeba upevnit mezi dvě folie, které jsou polopropustné. Nad vrchní vrstvou proudí suchý vzduch, tato vrstva zajišťuje ochranu před jeho prouděním. Spodní polopropustná vrstva zajišťuje ochranu před vodou, umístěnou pod vzorkem. Dle toho, jak je materiál propustný pro vodní páry, prochází určité množství vodní páry nejprve skrz první polopropustnou vrstvu, textilií a poté skrz druhou polopropustnou vrstvu pryč z celé měřicí soustavy. Celé měření trvá 15 minut a množství prošlé páry se stanovuje odečítáním na stupnici skleněné kapiláry. [8]

2.3.2 Metoda LYSSY



Obrázek 12: Lyssy L80-6000 Water Vapor Permeation Analyzer [11]

Norma: ASTM E398-3

Princip: Přístroj obsahuje 2 komory. Spodní je naplněna vodou, přes ní je umístěn měřený vzorek. Nad vzorkem je potom horní komora, v níž se nachází kapacitní sensor pro měření relativní vlhkosti.

Měření začíná vysušením horní komory na předepsanou relativní vlhkost. Následně se uzavře proudění vzduchu a vodní pára ze spodní komory prochází skrz vzorek do horní komory, kde dochází k nárůstu relativní vlhkosti.

Přístroj měří čas potřebný k dosažení předepsané hranice relativní vlhkosti v horní komoře. Čím větší je tak schopnost vzorku propouštět vodní páru, tím kratší je doba měření. [3]

Měří se parametr přenosové rychlosti vyjádřený v $[g/m^2 \cdot 24h]$.

Rozsah měření je $0,03 - 10000 g/m^2 \cdot 24 h$. [11]

3 Shrnutí poznatků rešerše

Cílem této rešeršní části práce bylo zmapovat v současné době používané metody pro měření propustnosti pro vodní páry. Výsledkem je zejména zjištění, že různých metod je velké množství. Jednotlivá měření ovlivňují přesné podmínky té které zkoušky, do níž se navíc často promítá celá řada rušivých okolních faktorů. [12]

3.1 Volba metod pro experiment

Vytipování metod pro praktické testování vychází z možností realizace experimentu v laboratořích KOD. Volbu tak přímo definuje přístrojové vybavení laboratoří, stejně jako aplikace jednotlivých metod v prostředí těchto přístrojů.

Laboratoře KOD v současnosti disponují hned třemi specializovanými přístroji pro měření propustnosti vodních par:

- FX3180 CupMaster
- Sweating Guarded Hot Plate systém SGHP8_2
- SDL Atlas M259B

Tyto stroje se pro tento experiment přímo nabízí. FX3180 CupMaster reprezentuje metodu A-2 dle japonské normy JIS L 1099, zde popsanou jako Miskovou metodu přímou.

Další dva stroje shodně zastupují metodu C téže japonské normy. V této práci jsou popsány jako SGHP. Oba stroje pracují sice podle stejné metody, liší se však mezi sebou svou konstrukcí i velikostí měřeného vzorku. Porovnání práce na těchto dvou strojích mezi sebou bude jistě zajímavé.

Laboratoře KOD však disponují také zařízeními, které umožňují realizaci dalších dvou metod. Nejedná se již o automatické specializované přístroje, ale ruční měření času, teploty a hmotnosti, které rovněž vyhovuje podmínkám experimentu popsaných v normě.

Jednak se v laboratořích nachází specializované normované misky pro metodu A-1 též japonské normy výše popsané jako Misková metoda s absorbentem. Pro tuto metodu je potřeba ještě klimatizovaná komora, přesné laboratorní váhy a onen absorbent, které jsou také dostupné na KOD.

Dále laboratoře disponují speciální vodní lázní s topným tělesem a míchací vrtulkou. Lázeň obsahuje výškově nastavitelný stojan na zkušební misky pro metodu B-3 opět výše zmíněné normy JIS L 1099. Tato metoda je v této práci popsána jako Metoda s octanem draselným. Také zde jsou potřeba v podstatě už jen přesné laboratorní váhy a spotřební materiál jako membrány a samotný octan draselný. I tento experiment je možné v laboratořích KOD provést.

Tím je definováno těchto pět experimentálních metod:

- Misková metoda přímá (FX3180 CupMaster)
- Misková metoda s absorbentem
- Metoda s octanem draselným
- Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP)
- Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP) – Atlas

3.2 Vzorky pro měření

Jak již bylo uvedeno výše, cílem měření není v tomto případě ani tak prověřit kvality zkoumaných materiálů, jako právě prověřit kvality zvolených testovacích metod. Vzorky pro měření jsou tak vybírány spíše s ohledem na jejich rozdílnost, která rovněž může dokreslit práci se zvolenými metodami měření.

Kvalita schopnosti textilií propouštět vodní páry se nejvíce projeví u oděvů určených pro zvýšenou aktivitu. Tyto oděvy jsou proto často označovány jako funkční.

Funkční oděv se může skládat ze tří různých vrstev. Základní vrstva, která je přímo na těle a jejím úkolem je právě odvádět vlhkost od těla. Dále prostřední vrstva, jejíž účel je především termoizolační, avšak schopnost propouštět vodní páry je neméně významná. A nakonec třetí vrstva, vystavené větru a dešti, a přesto stále propustné pro vodní páry odcházející od těla. Jednotlivé vrstvy funkčního oděvu jsou schopné spolu účelně spolupracovat v zájmu komfortu.

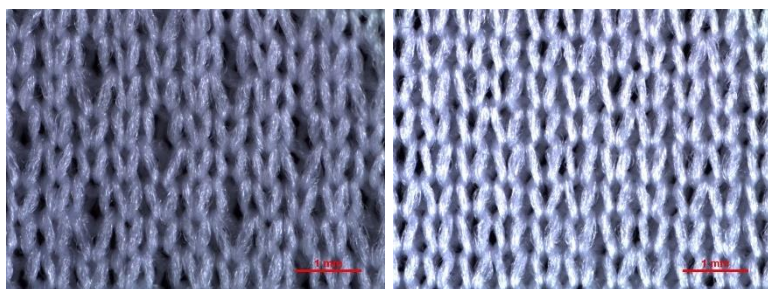
Jako vzorky pro měření byly proto vybráni zástupci každé z těchto tří funkčních vrstev.

Samotný materiál laskavě poskytla firma Danielson s.r.o. jakožto textil určený pro výrobu sportovních oděvů. Jedná se o bílý textil určený pro potisk sublimační technologií.

3.1.1 Základní vrstva (V1)

Zástupce základní vrstvy zaujímá materiál pro výrobu sportovních dresů.

- Název: Torino 140
- Výrobce: Nanotec s.r.o.
- Materiál: 100% PES
- Plošná hmotnost: 140 g/m²
- Zátěžná, jednolící, interlokovaná pletenina

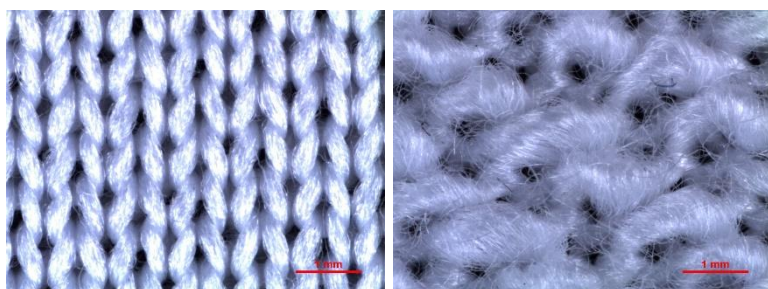


Obrázek 13: Torino 140 líc a rub v detailu

3.1.2 Střední vrstva (V2)

Zástupce střední vrstvy zaujímá materiál pro výrobu sportovních mikin a tepláků.

- Název: Terry 300
- Výrobce: Nanotec s.r.o.
- Materiál: 100% PES
- Plošná hmotnost: 300 g/m²
- Zátěžná, jednolící, výplňková pletenina

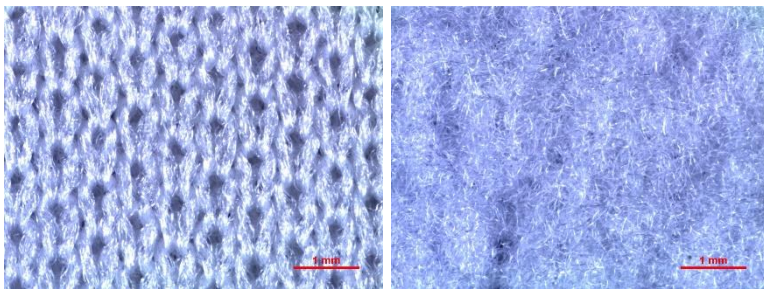


Obrázek 14: Terry 300 líc a rub v detailu

3.1.3 Svrchní vrstva (V3)

Zástupce střední vrstvy zaujímá materiál pro výrobu sportovních mikin a tepláků.

- Název: Softshell 300
- Výrobce: Nanotec s.r.o.
- Plošná hmotnost: 280 g/m²
- Třívrstvý materiál:
 - Lícni materiál: Zátěžná, oboulícni pletenina, 100% PES
 - Semipermeabilní membrána TEK Series 1085
Vodní sloupec > 10000 mm
Propustnost vodních par > 11000 g/m²/24hod
 - Rubový materiál: Zátěžná, jednolícni, plyšová. počesaná pletenina, 100% PES



Obrázek 15: Softshell 300 líc a rub v detailu

4 Laboratorní měření

Pro experimentální část bylo vybráno těchto 5 metod popsaných výše a dostupných v laboratořích na KOD:

- Misková metoda přímá (FX3180 CupMaster)
- Misková metoda s absorbentem
- Metoda s octanem draselným
- Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP)
- Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP) – Atlas

Zvolenými metodami byly proměřeny vždy 3 ks od každého typu materiálu.

V průběhu měření byla sledována mimo jiné také pracnost a časová náročnost zvolené metody.

4.1 Misková metoda přímá

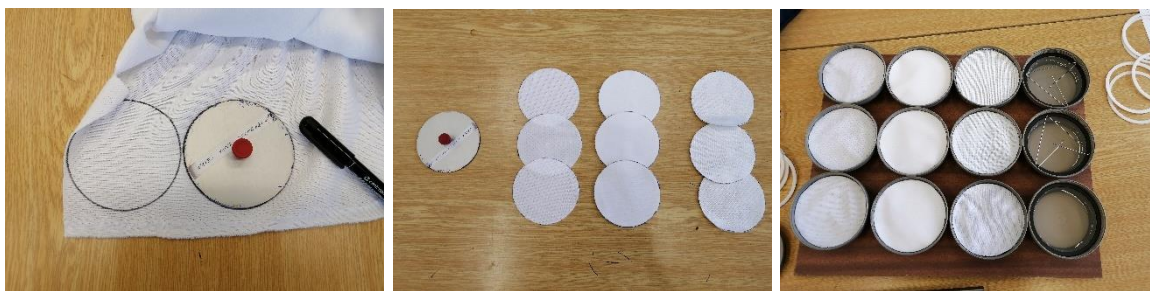
Jak již bylo uvedeno výše, tuto metodu popisuje japonská norma JIS L 1099 jakožto metodu A-2. Měřený vzorek je upnut přes misku s destilovanou vodou, která je umístěna v klimatizované komoře, kde za konkrétní teploty, vzdušné vlhkosti a proudění vzduchu nad miskou dochází k odpařování destilované vody z misky skrze měřenou textilií. Tato miska je vážena v průběhu experimentu a je sledován úbytek její hmotnosti díky odpařování vody z misky.

4.1.1 Postup měření

V laboratoři KOD je pro tuto metodu specializovaný přístroj FX3180 CupMaster, ve kterém probíhá měření automaticky dle nastavených parametrů.

Je třeba pro něj pouze připravit misky se vzorky a tyto pak vložit do přístroje.

Vzorky jsou kruhy o průměru 90 mm, 3 ks od každého z testovaných materiálů. Do každé misky je před začátkem experimentu odměřeno 42 ml destilované vody o teplotě 40°C. Aby se měkké textilie neprověšovaly do misky, je pod měřené vzorky umístěn drátěný rastr.



Obrázek 16: příprava vzorků pro metodu A-2

Takto připravené misky se vzorky se již umístí do přístroje. Potřebnou teplotu vody (40°C) i klimatické podmínky testu (teplota vzduchu 40°C, relativní vlhkost 50%, rychlost proudění vzduchu pod 0,8 m/s) si přístroj nastaví sám. Jakmile je uvnitř přístroje dosaženo předepsaných podmínek, začne samotné měření.

Přístroj provádí každou hodinu převážení misek s vodou a upnutým vzorkem a zaznamenává tak úbytek vody, která se odpařuje z misky skrze upnutý vzorek.



Obrázek 17: přístroj FX3180 CupMaster, v detailu prostor pro misky s váhou

4.1.2 Výsledky měření

Výstupem z přístroje CupMaster je dokument ze softwaru TexTest, který je generován pro každý jednotlivý vzorek zvlášť. Dokument obsahuje především graf a tabulku se záznamem průběhu měření.

I na základě konzultace s výrobcem přístroje se jako relevantní naměřená hodnota propustnosti vodních par považuje páté měření od začátku testu (po 5 hodinách).

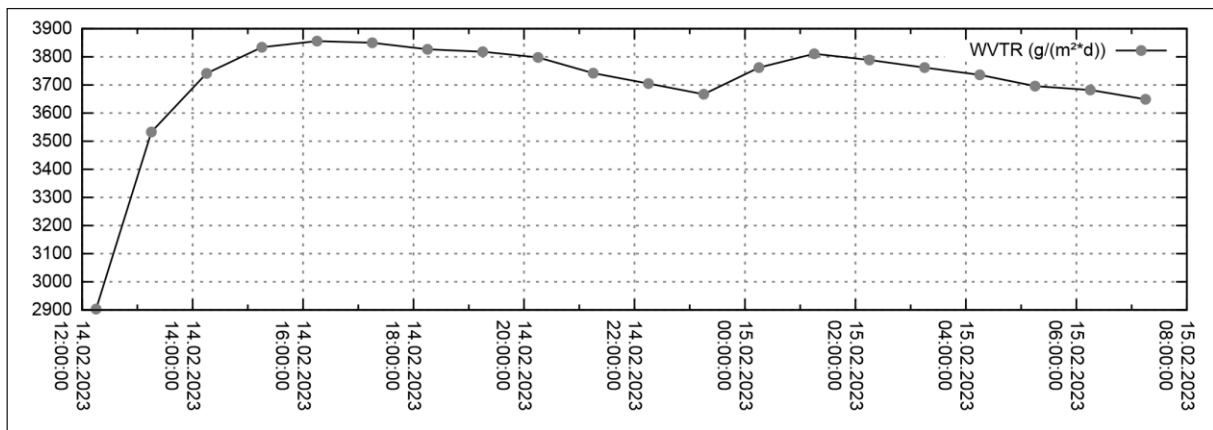
Jedná se o situaci, kdy je již vnitřní prostředí stroje zcela stabilizované, a přitom z misky ještě nebylo příliš mnoho vody tak, aby významným způsobem ovlivnilo vzdálenost hladiny v misce od měřeného vzorku. Výsledné hodnoty znázorňuje Tabulka 1. Průběh měření znázorňují následující grafy.

Tabulka 1: Průměrné hodnoty ze 3 měření CupMaster

vzorek	měření WVTR [g/m ² .24h]			průměr
	1	2	3	
V1	3856	4098	4071	4008,333333
V2	3665	3665	3749	3693
V3	2117	2134	2077	2109,333333

Reason for Stop:

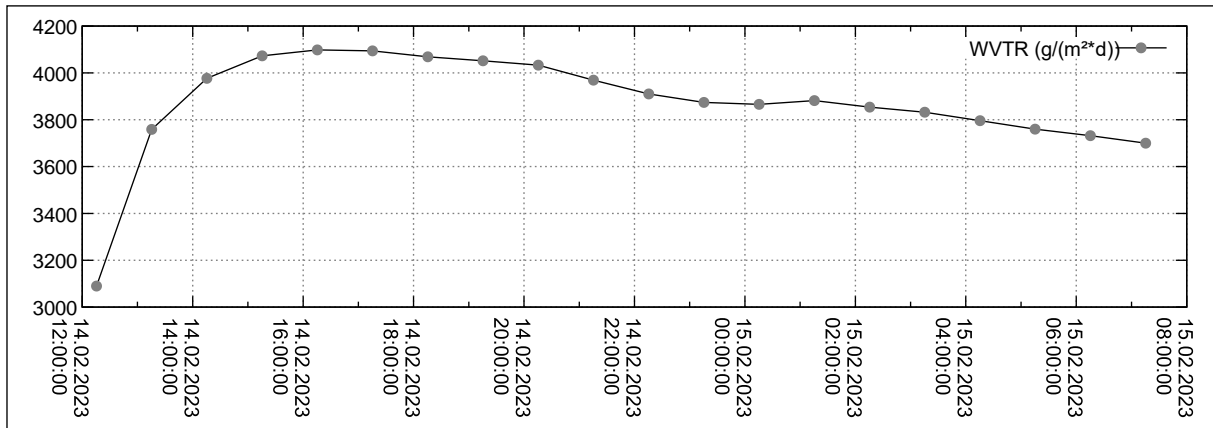
Test Criterion Reached



Graf 1: Průběh měření vzorku V1 – 1

Reason for Stop:

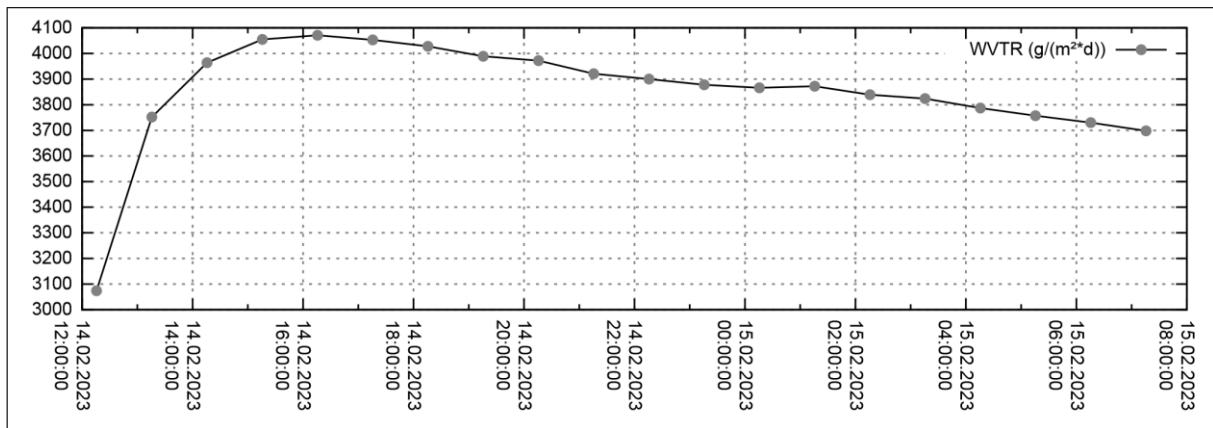
Test Criterion Reached



Graf 2: Průběh měření vzorku V1 – 2

Reason for Stop:

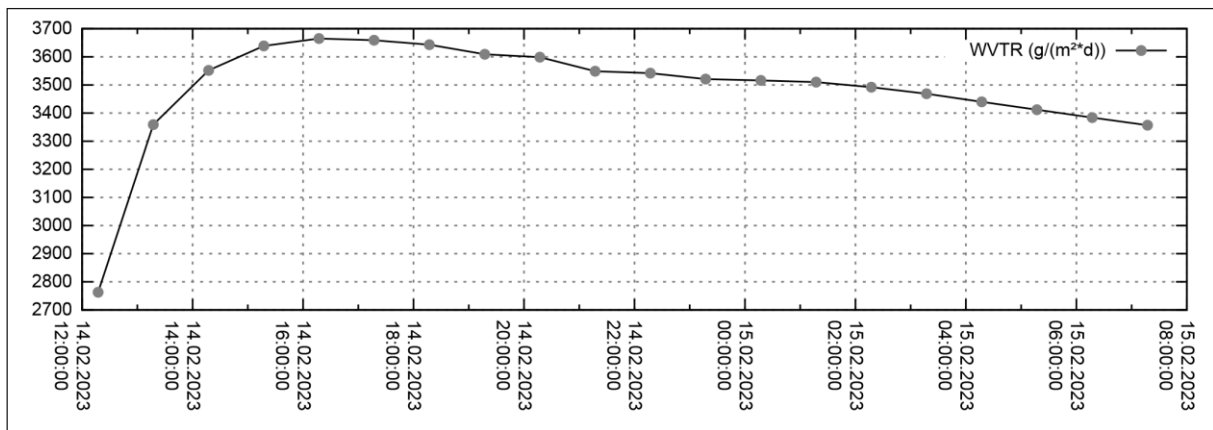
Test Criterion Reached



Graf 3: Průběh měření vzorku V1 – 3

Reason for Stop:

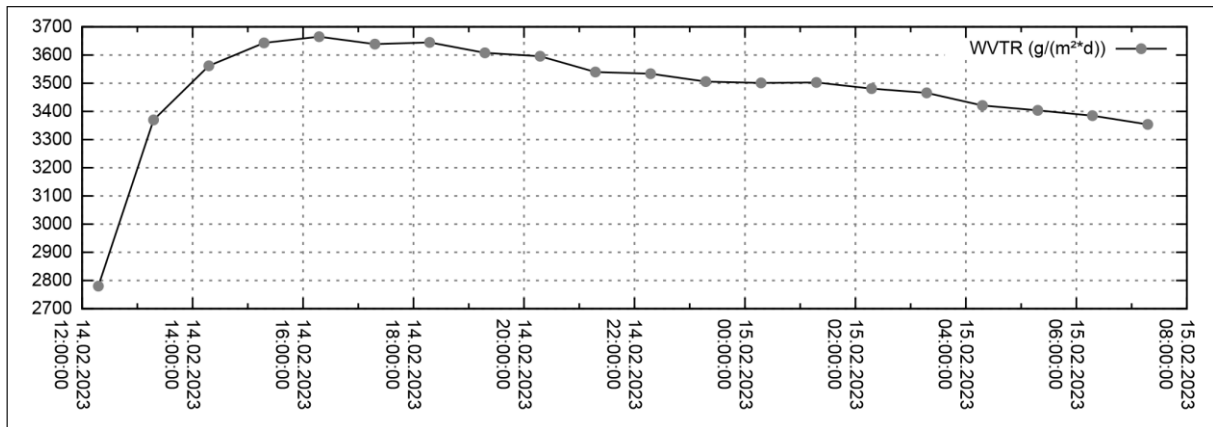
Test Criterion Reached



Graf 4: Průběh měření vzorku V2 – 1

Reason for Stop:

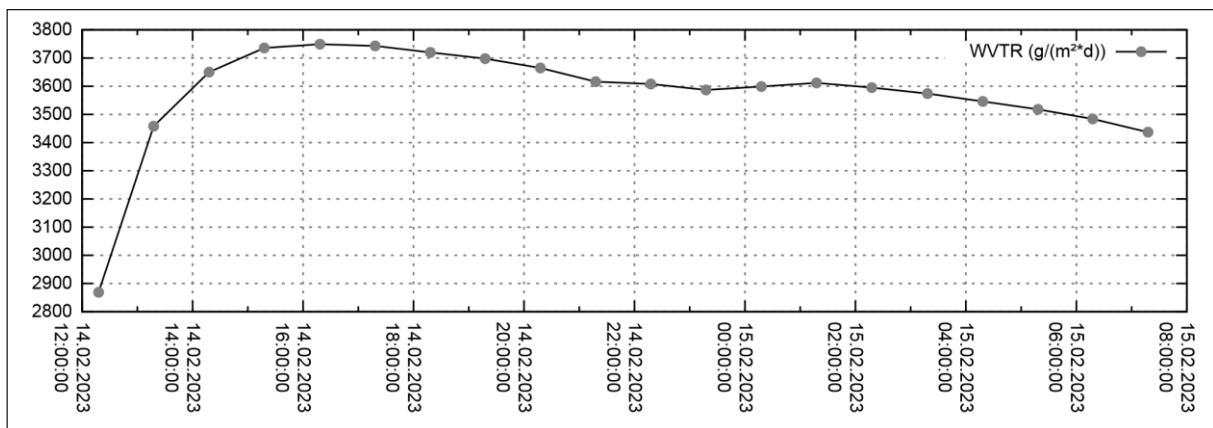
Test Criterion Reached



Graf 5: Průběh měření vzorku V2 – 2

Reason for Stop:

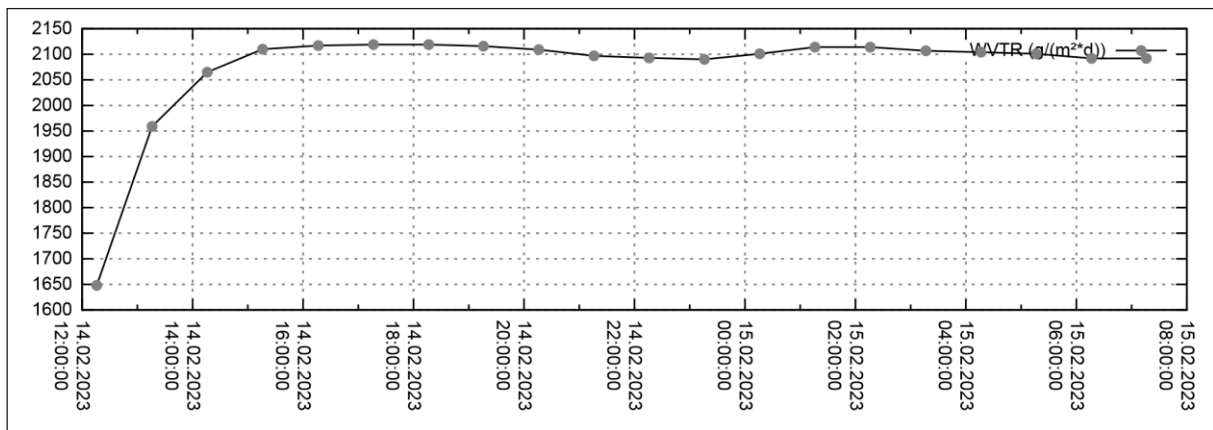
Test Criterion Reached



Graf 6: Průběh měření vzorku V2 – 3

Reason for Stop:

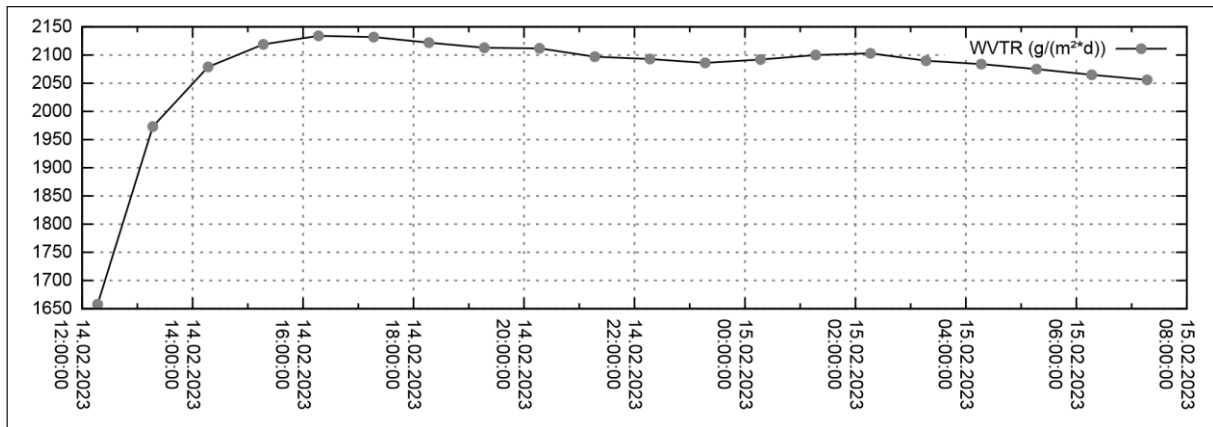
Test Criterion Reached



Graf 7: Průběh měření vzorku V3 - 1

Reason for Stop:

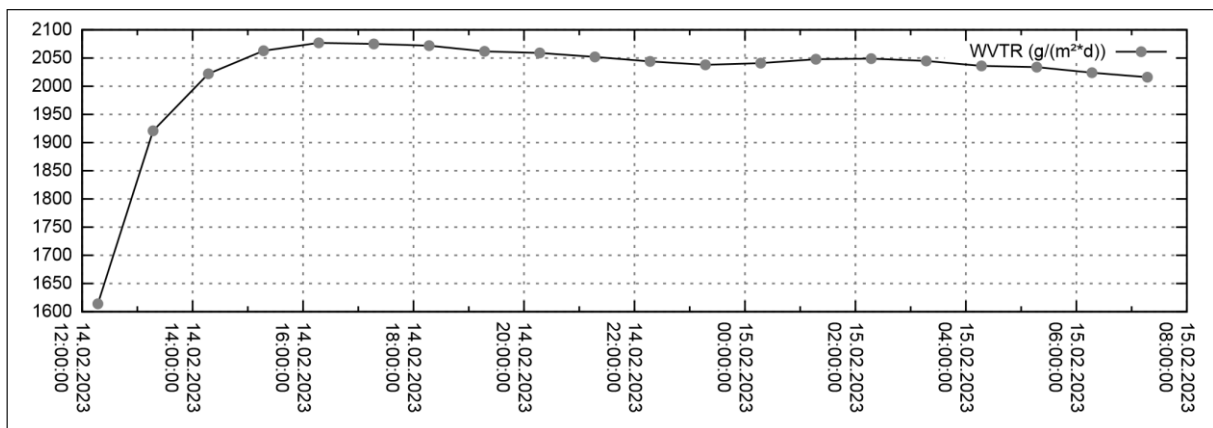
Test Criterion Reached



Graf 8: Průběh měření vzorku V3 - 2

Reason for Stop:

Test Criterion Reached



Graf 9: Průběh měření vzorku V3 - 3

4.2 Misková metoda s absorbentem

Také tuto metodu popisuje japonská norma JIS L 1099, a to jako metodu A-1.

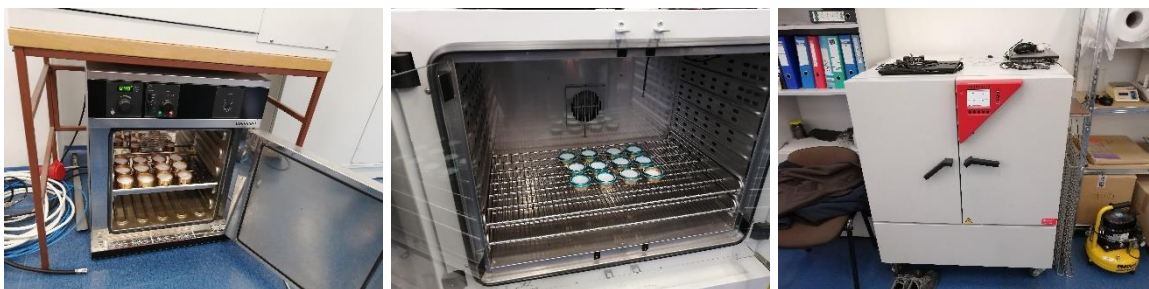
4.2.1 Postup měření

Vzorky mají opět kruhový tvar tentokrát o průměru 70 mm. Je nutné je nejprve vystříhat ze zvolených textilií. Opět 3 ks od každého materiálu.

Jako absorbent je zde použit chlorid vápenatý. Do speciálních misek je na laboratorních vahách odváženo přesně 33 g chloridu vápenatého. Misky s chloridem jsou nejprve v sušárně vysušeny a předehřáty na 40°C. Misky jsou následně překryty měřenou textilií. Misky se vzorky jsou umístěny do klimatizované komory, kde jsou vystaveny teplotě 40°C, relativní vlhkosti 90% a rychlosti proudění vzduchu pod 0,8 m/s. Po uplynutí jedné hodiny je měřen přírůstek hmotnosti v miskách v důsledku vodních par pronikajících skrz měřenou textilií do absorbentu. Ihned po zvážení jsou misky navraceny zpět do klimatizované komory a ponechány další hodinu ve stejném prostředí. Poté jsou misky opět zváženy a měření je ukončeno.



Obrázek 18: Příprava vzorků a vážení chloridu draselného do misek pro metodu A-1



Obrázek 19: Sušárna a klimatizační komora

4.2.2 Výsledky měření

Naměřené hodnoty je následně nutné podrobit ručním výpočtům, jak znázorňuje Tabulka 2.

Tabulka 2: Misková metoda s absorbantem – průměrné hodnoty ze 3 měření

Metoda A1 - Misky a chlorid vápenatý						
	a1 [g/h]	a2 [g/h]	Δa [g/h]	průměr [g/h]	S_{A1} [m ²]	P_{A1} [g/m ² .h]
V1 - 1	79,49	80,289	0,799	0,719333333	0,003847	187,0098358
V1 - 2	79,117	79,824	0,707			
V1 - 3	79,258	79,91	0,652			
V2 - 1	80,39	81,037	0,647	0,628666667		163,4386239
V2 - 2	80,238	80,95	0,712			
V2 - 3	79,664	80,191	0,527			
V3 - 1	79,598	79,922	0,324	0,321666667	83,62580701	
V3 - 2	81,724	82,058	0,334			
V3 - 3	79,642	79,949	0,307			

4.3 Metoda s octanem draselným

Třetí měřená metoda je taktéž popsána normou JIS L 1099. Laboratorní vybavení KOD umožňuje pracovat s metodou uvedenou v této normě jako B-3.

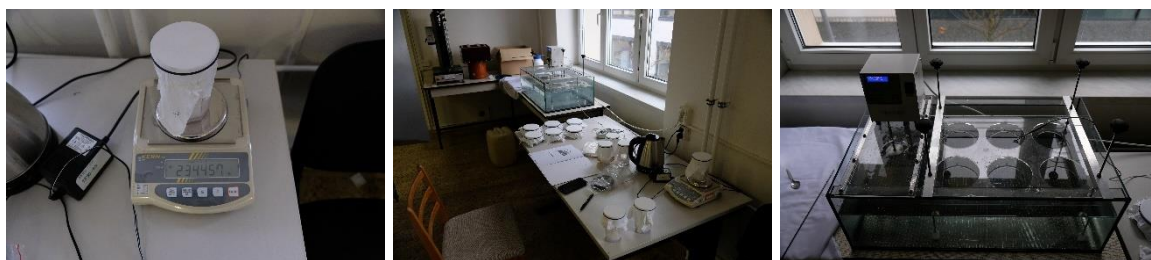
4.3.1 Postup měření

Dle normy je nutné připravit nejprve nasycený roztok octanu draselného smícháním 100 ml vody a 300 g octanu draselného. Tento roztok má být ponechán v klidu 24 h před začátkem měření.

Dále se připraví kruhové vzorky testovaných textilií o průměru 200 mm. Opět se nastříhají 3 ks od každého z měřených materiálů.

Následně je 120 g nasyceného roztoku octanu vápenatého pomocí laboratorních vah přesně naváženo do příslušných misek. Tyto misky jsou uzavřeny polopropustnou membránou (nepropustnou pro vodu, ale propouštějící vodní páry).

Měřená textilie se překryje stejnou membránou a upne se na kruhový rámeček o větším průměru než miska s octanem draselným. Rámečky se vzorkem a membránou se poté umístí do držáku v nádobě s na 23,0°C předehřátou destilovanou vodou tak, že v rámečku napnutý vzorek s membránou na povrchu je do přesně stanovené hloubky 5 mm ponořen pod hladinu v nádobě. Na takto umístěný vzorek se následně dnem vzhůru postaví miska s octanem draselným. Vzorek se nyní nachází mezi dvěma membránami. Jedna membrána je v kontaktu s vodou a druhá s octanem draselným.



Obrázek 20: příprava vzorků a prostředí

Voda v nádobě se udržuje na předepsané teplotě a misky s octanem draselným jsou po uplynutí daného časového intervalu 15 min váženy. Je sledován přírůstek hmotnosti v miskách s octanem draselným v důsledku pronikání vodních par skrze membrány a měřenou textilií z vody do roztoku octanu. Po zvážení se misky opět vrací na své místo na dalších 15 minut. Vážení misek s octanem draselným se v průběhu měření opakuje celkem 4x. Jedna z misek musí být měřena bez zkušebního vzorku (tedy pouze se dvěma membránami), aby bylo možné ve výpočtech následně odečíst propustnost vodních par samotných membrán.



Obrázek 21: Průběh měření B-3

4.3.2 Výsledky měření

Průběh měření znázorňuje Tabulka 3. Vzorky V2 vykazovaly jen minimální odchylku, z úsporných důvodů proto proběhla jen 2 měření. Samotné výpočty jsou v Tabulce 4.

Tabulka 3: Výsledky měření metodou B-3

	0	1	Δm_1	2	Δm_2	3	Δm_3	4	Δm_4	průměr Δm [g]
V1 - 1	234,824	236,377	1,553	237,954	1,577	239,52	1,566	241,109	1,589	1,475833333
V1 - 2	235,616	237,096	1,48	238,564	1,468	239,993	1,429	241,441	1,448	
V1 - 3	235,26	236,673	1,413	238,101	1,428	239,493	1,392	240,86	1,367	
V2 - 1	235,05	235,924	0,874	236,771	0,847	237,577	0,806	238,405	0,828	0,835375
V2 - 2	234,515	235,37	0,855	236,218	0,848	237,022	0,804	237,843	0,821	
V3 - 1	235,366	235,575	0,209	235,761	0,186	235,938	0,177	236,119	0,181	0,183916667
V3 - 2	234,951	235,138	0,187	235,31	0,172	235,475	0,165	235,648	0,173	
V3 - 3	234,817	235,05	0,233	235,284	0,234	235,43	0,146	235,574	0,144	
app	235,541	242,465	6,924	249,242	6,777	255,584	6,342	261,876	6,292	6,58375

Tabulka 4: Data pro měření

a [m ²]	0,006359
Δp [Pa]	2168
Δt [h]	0,25
WVP _{app} [g/m ² .Pa.h]	1,910378
V1 WVP [g/m².Pa.h]	2,35415
V2 WVP [g/m².Pa.h]	0,45145
V3 WVP [g/m².Pa.h]	0,059425

4.4 Sweating Guarded Hot Plate systém (SGHP8_2)

Tato metoda vychází z jiné podstaty než předchozí tři, které spočívají v měření přírůstku či úbytku hmotnosti vody pod měřenou textilií. Avšak i tato metoda je popsána normou JIS L 1099 jakožto metoda C.

4.4.1 Postup měření

Vzorky jsou čtvercového tvaru o straně 250 mm. Z časových a úsporných důvodů byly měřeny 2 ks od každého materiálu.

Mezi vzorkem a přístrojem je polopropustná membrána (vodotěsná, ale propustná pro vodní páru). Příklad simuluje ochlazující efekt pocení na povrchu lidského těla. Pod membránou je přiváděna destilovaná voda, kde se odpařuje a pára prochází skrz membránu a vzorek. Tento proces způsobuje ochlazování soustavy, pro zachování stálé teploty na povrchu vzorku je nutné dodávat na povrch přístroje teplo.

Klimatizační komora udržuje v okolí přístroje předepsané podmínky (teplotu, vlhkost a rychlost proudění vzduchu). Jakmile je uvnitř komory dosaženo normovaných podmínek, přístroj začne s měřením.



Obrázek 22: Příklad přístroje SGHP uvnitř klimatizační komory s upnutým zkušebním vzorkem

4.4.2 Výsledky měření

Výstupem z přístroje je protokol informující o průběhu a podmínkách měření každého jednoho vzorku. Výsledky měření jsou znázorněny v Tabulce 5.

Tabulka 5: Průměrné výsledky ze dvou měření SGHP

	SGHP8_2 R_{et} [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$]	průměr R_{et} [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa}/\text{W}$]
V1 - 1	1,8924	1,7261
V1 - 2	1,5598	
V2 - 1	4,4515	4,62025
V2 - 2	4,789	
V3 - 1	21,0387	20,98685
V3 - 2	20,935	
Ret 0	4,77	4,77

4.5 SGHP (SDL Atlas M259B)

V prostorách laboratoří KOD se nachází ještě jeden přístroj pracující na principu metody C popsané normou JIS L 1099.

Jde o SDL Atlas M259B Sweating Guarded Hotplate. Nejedná se však o malý přístroj umístěný uvnitř klimatizační komory, ale velký stroj, kde je klimatizační komora jeho integrovanou součástí.

4.5.1 Postup měření

Vzorky pro měření jsou zde taktéž čtvercového tvaru, jsou však podstatně větší. Tento stroj pracuje se vzorky o straně 500 mm. I zde byla realizována 2 měření pro každý z materiálů.



Obrázek 23: SDL Atlas

Měření probíhá obdobným způsobem jako na menším stroji. Po uzavření komory se nejprve musí ustálit vnitřní normované podmínky. Jakmile je dosaženo požadovaných hodnot teploty, vlhkosti a proudění vzduchu, začne měření, které se opakuje dle zadaných parametrů.



Obrázek 24: Probíhající měření na SDL Atlas

4.5.2 Výsledky měření

Výstupem z měření tohoto stroje je opět protokol s podrobnostmi o jednotlivých měřeních. Je vytvořen pro každý měřený vzorek zvlášť. Souhrnné výsledky znázorňuje Tabulka 6.

Tabulka 6: SDL Atlas – průměrné výsledky ze dvou měření

	SDL ATLAS R_{et} [$m^2 \cdot Pa/W$]	průměr R_{et} [$m^2 \cdot Pa/W$]
V1 - 1	0,3297	0,4222
V1 - 2	0,5147	
V2 - 1	neúspěšné měření	2,9867
V2 - 2	2,9867	
V3 - 1	14,5249	13,998
V3 - 2	13,4711	
Ret 0	9,3088	9,3088

5 Porovnávání výsledků měření

Porovnání testovaných metod je možné provést jednak z hlediska naměřených hodnot. Nabízí se však také srovnání jejich pracnosti a časové náročnosti.

5.1 Srovnání naměřených hodnot

Srovnání naměřených hodnot se nabízí přinejmenším dílčí. Metody gravimetrické pracují na podobném principu, měly by tak být porovnatelné minimálně mezi sebou.

Stejně tak metody typu skin model jsou vlastně dva stejné stroje pracující na stejném principu, lišící se jen svými rozměry a stavbou.

5.1.1 Porovnání gravimetrických metod

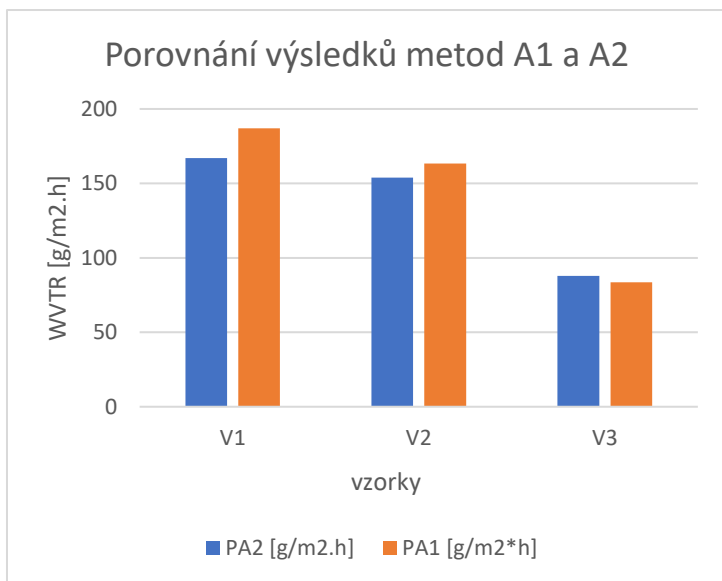
Dvě z testovaných gravimetrických metod pracují s podobnými veličinami. Je proto možné přepočítat výsledky tak, aby bylo možné je mezi sebou porovnat:

- Metoda A-1 (s absorbentem) počítá výsledky v jednotkách [g/m².h].
- Metoda A-2 (CupMaster) v jednotkách [g/m².24h].
(přepočtením tohoto výsledku na 1h získáme výsledek ve stejných jednotkách jako metoda A-1)

Jejich srovnání je znázorněno v Tabulce 7.

Tabulka 7: Porovnání výsledků gravimetrických metod

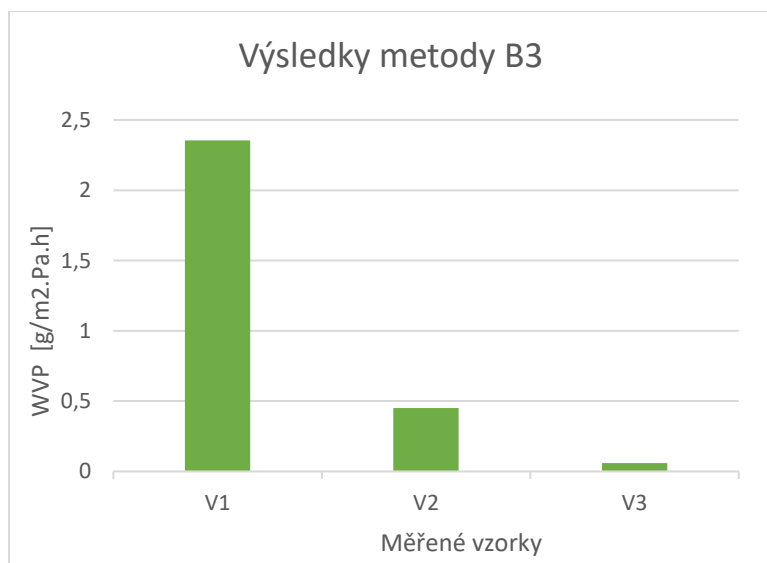
	P_{A2} [g/m².h]	P_{A1} [g/m².h]
V1	167,0138889	187,0098358
V2	153,875	163,4386239
V3	87,88888889	83,62580701



Graf 10: Porovnání výsledků metod A1 a A2

Testovaná metoda B-3 je složitější a pracuje s jinými jednotkami [g/m².Pa.h]. Jejich hodnotu nelze jednoduše přepočítat, jako u předchozích dvou metod, protože se do výpočtu promítá navíc tlak vodní hladiny na spodní membránu a také schopnost propouštět vodní páru samotné membrány.

Souhrnné výsledky metody B-3 znázorňuje Graf 11.



Graf 11: Výsledky metody B3

5.1.2 Porovnání metod měření výparného odporu

Oba stroje pracující s metodou C měří stejnou veličinu, jejich srovnání je tak snazší.

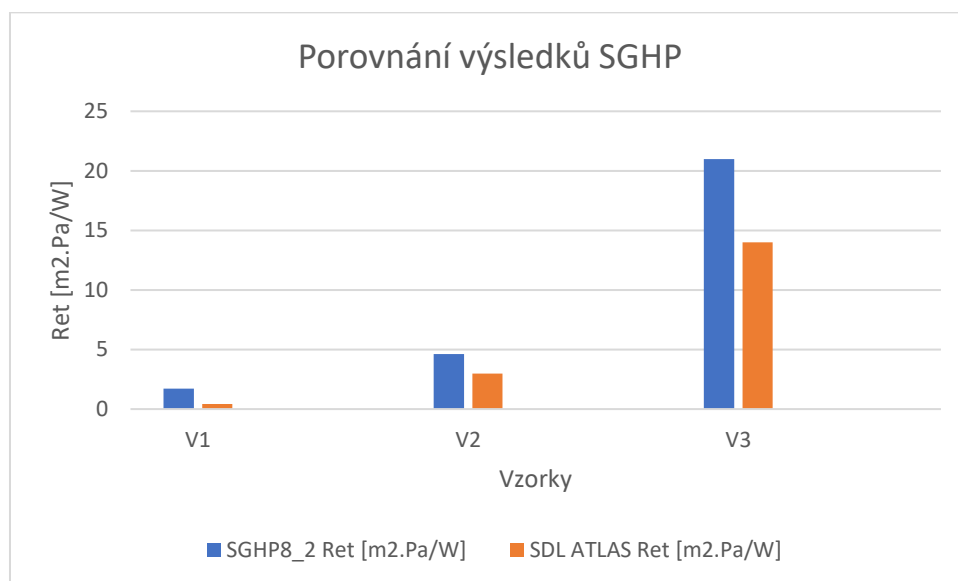
Jediné aspekty, které tyto dva stroje od sebe reálně odlišují, jsou rozměry.

SDL Atlas pracuje s násobně větší měřicí plochou, potažmo s násobně většími vzorky měřené textilie. Samotná klimatizovaná komora integrovaná v tomto přístroji je ve výsledku menší, než v případě stroje SGHP8_2.

Srovnání obou strojů znázorňuje Tabulka 8 a Graf 12.

Tabulka 8: Porovnání průměrných výsledků SGHP8_2 a SDL Atlas

	SGHP8_2 Ret [m ² .Pa/W]	SDL ATLAS Ret [m ² .Pa/W]
V1	1,7261	0,4222
V2	4,62025	2,9867
V3	20,98685	13,998
Ret 0	4,77	9,3088



Graf 12: Srovnání průměrných výsledků přístrojů SGHP

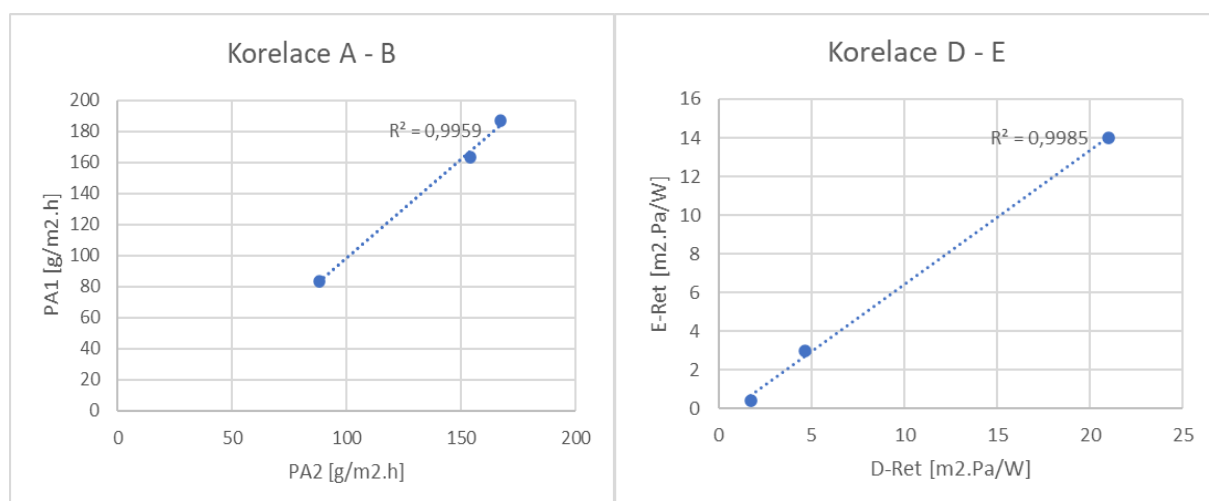
5.1.3 Korelační analýza testovaných metod

Jak již bylo uvedeno v několika odborných člancích, existuje korelační vztah mezi jednotlivými zkušebními metodami. A to do té míry, že je teoreticky možné například ze znalosti hodnoty výparného odporu R_{et} dopočítat hodnotu propustnosti vodních par WVTR a naopak [13]. Proto je i vzájemná korelace výsledků jednotlivých metod předmětem této práce.

Pro přehlednost jsou výsledky testovaných metod shrnuty v Tabulce 9. Jednotlivé metody jsou zastoupeny písmeny A, B, C, D a E.

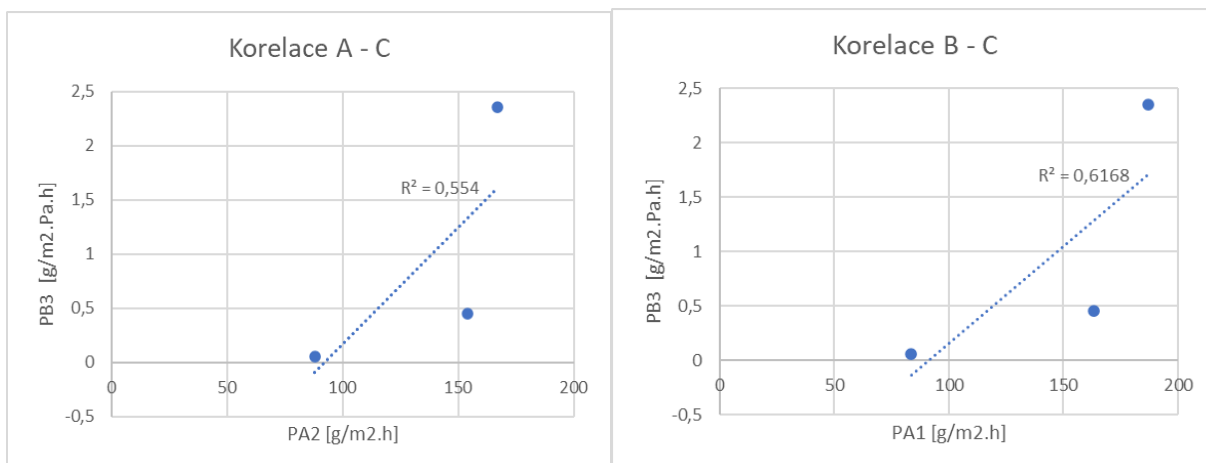
Tabulka 9: Shrnutí výsledků testovaných metod

	A CupMaster	B absorbent	C potaš	D SGHP8_2 D- R_{et}	E SDL ATLAS E- R_{et}
vzorky	P_{A2} [g/m².h]	P_{A1} [g/m².h]	P_{B3} [g/m².Pa.h]	[m².Pa/W]	[m².Pa/W]
V1	167,0138889	187,0098358	2,35415008	1,7261	0,4222
V2	153,875	163,4386239	0,451450403	4,62025	2,9867
V3	87,88888889	83,62580701	0,059424635	20,98685	13,998



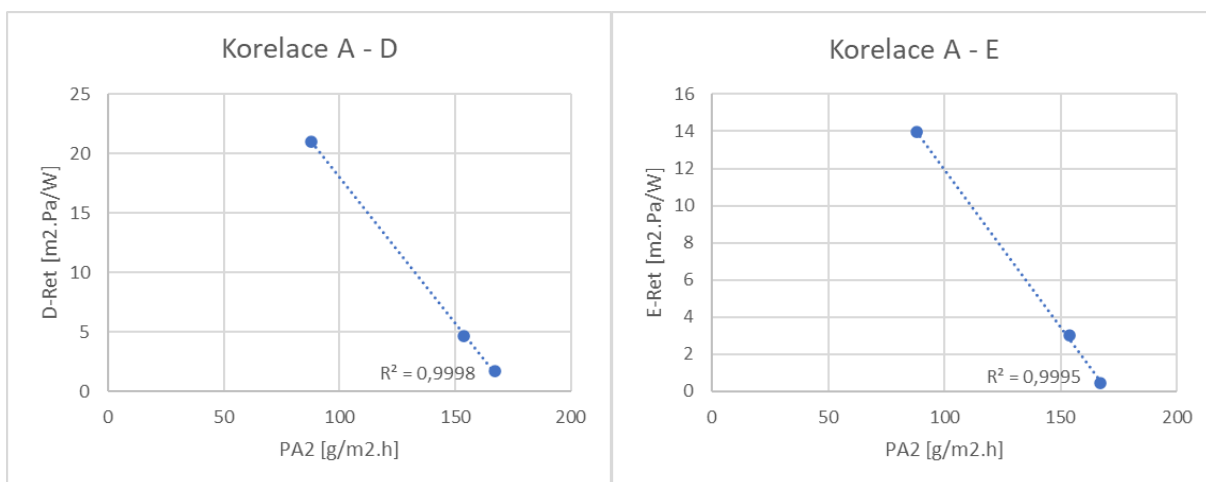
Graf 13: Vzájemná korelace metod A-B a D-E

Vzájemný vztah obou gravimetrických metod se shodnými jednotkami výsledků a obou metod typu skin model zobrazuje Graf 13.

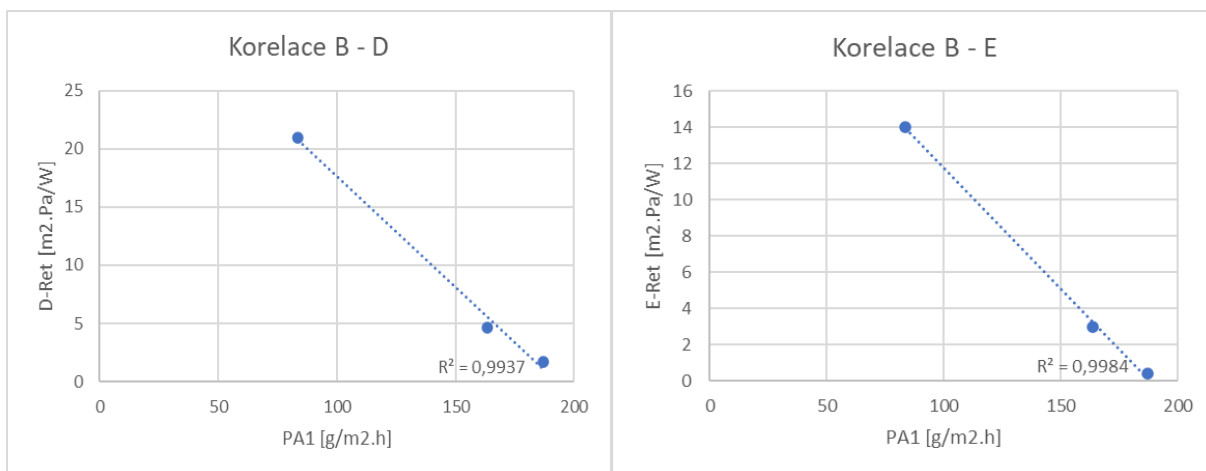


Graf 14: Gravimetrické metody A-C a B-C

Poměrně překvapivé je srovnání třetí gravimetrické metody (potaš) s oběma dalšími (absorbent a voda). Jejich korelace znázorňuje Graf 14.

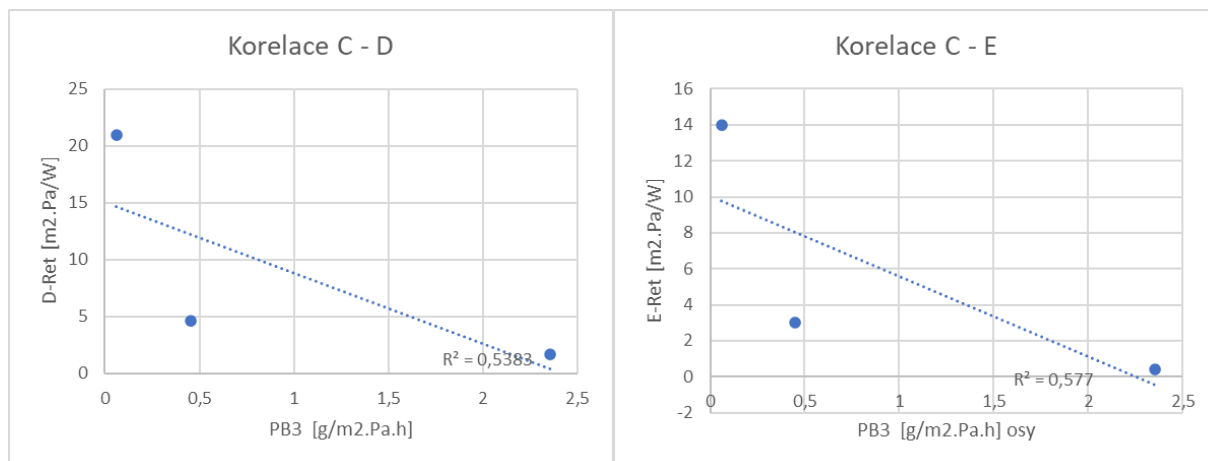


Graf 15: Vzájemná závislost metod A-D a A-E



Graf 16: Vzájemná závislost metod B-D a B-E

Silnou vzájemnou závislost skutečně vykazují metody gravimetrické metody A a B na metodách skin model D a E. Jejich závislosti vykreslují Grafy 15 a 16.



Graf 17: Korelace metody C a metodami D a E

Naopak slabá závislost mezi metodou C (potaš) a oběma metodami typu skin model je znázorněna v Grafu 17.

5.2 Srovnání pracnosti a časové náročnosti jednotlivých metod

Neméně důležité pro určení optimální metody měření propustnosti vodních par je schůdnost a průběh jejího provedení.

5.2.1 Pracnost testovaných metod

Pro posouzení pracnosti zvolených metod byla vytvořena jednotlivá hodnotící kritéria, jak uvádí Tabulka 10.

Tabulka 10: Kritéria pracnosti testovaných metod

metoda	formátování textilů	upínání do stroje	příprava média	sestavování stroje	ruční vážení
A1	ano	ano miska	ano (absorb.)	ne	ano
A2	ano	ano miska	ano (voda)	ne	ne
B3	ano	ano miska	ano (potaš)	ano	ano
SGHP	ano	ano stroj	ne	ne	ne
SGHP Atlas	ano	ano stroj	ne	ne	ne

Tabulka 10 jasně ukazuje fakt, že nejméně práce je s metodami, které provádí automatizované stroje, naopak nejvíce práce je s metodou B-3.

5.2.2 Časová náročnost testovaných metod

Časovou náročnost znázorňuje Tabulka 11.

Tabulka 11: Časová náročnost testovaných metod

metoda	aktivní čas [h]	celkový čas [h]
A1	2,5	2,5
A2	0,5	20
B3	6	6
SGHP	0,5	24
SGHP Atlas	0,5	24

Jak je patrné z Tabulky 11, metody probíhající na automatických strojích vyžadují minimum práce obsluhy stroje, samotné měření pak probíhá na stroji samovolně dle nastavených parametrů, ale trvá dlouho. Paradoxně nejméně pracné metody jsou ve výsledku časově nejnáročnější.

Na obou přístrojích SGHP lze měřit současně pouze jediný vzorek, doba potřebná pro jedno měření se tak násobí počtem vzorků.

Naopak ručním metodám je nutné se aktivně věnovat po celou dobu měření, ta je však oproti automatickým strojům o poznání kratší.

Závěr

Cílem této práce je návrh optimální metody pro měření propustnosti vodních par určených vzorků plošné textilie. K tomuto účelu byly tři různé materiály, s rozdílnou hodnotou propustnosti vodních par, podrobeny praktickým zkouškám pěti různými laboratorními metodami.

Ačkoli měření probíhalo na stále stejných materiálech (V1, V2 a V3), naměřené hodnoty jednotlivými metodami se mezi sebou přeci jen liší. Přesto se však všechny metody shodují v tom, který materiál je nejlépe propustný pro vodní páru a který naopak nejhůře. Problém vzájemného srovnání představují především rozdílné veličiny měřené popsány metodami.

V případě gravimetrických metod první dvě metody A (voda) a B (absorbent) vykazují velmi podobné výsledky, metoda C (potaš) se od výsledků předchozích dvou významně liší. Obě měření D a E založená na metodě skin model by se mezi sebou měla teoreticky lišit nejméně. I zde však rozdíly nejsou zanedbatelné.

Určení, které výsledky lze považovat za ty přesné a které za ty zkreslené je přinejmenším diskutabilní. Každá ze zkoumaných metod podléhá do jisté míry lidskému faktoru i aktuálním klimatickým podmínkám testu. Teoretická možnost přesného matematického přepočtu mezi výparným odporem R_{et} a propustností vodních par WVTR [13] tak vykazuje zásadní trhliny.

Jako optimální varianta měření propustnosti vodních par daných vzorků plošných textilií vychází na základě předložených hodnocení nejvíce metoda A (FX3180 CupMaster). Tato měřicí metoda je nenáročná na přípravu celé zkoušky, nevyžaduje zacházení s citlivými a nákladnými chemickými sloučeninami. Po začátku testování se jedná po celou dobu o automatický bezobslužný provoz. Na konci testu je automaticky generována podrobná zpráva o průběhu a výsledcích provedených měření. Velkou výhodou je i možnost testovat až dvanáct vzorků najednou. Coby nevýhodu této metody lze uvažovat dostupnost (pořizovací náklady) zařízení CupMaster.

Z tohoto úhlu pohledu by se tak jako optimální varianta měření jevila metoda C (potaš), která se jediná obejde pouze s minimem nákladného laboratorního vybavení. Vystačí si vlastně jen s váhou a teploměrem. Měření zcela nepochybně prodražuje nutnost použití velice choulostivých membrán, v porovnání s pořizovacími náklady automatických měřících zařízení se tato metoda jeví jako nejdostupnější.

Reference

1. **Viera, Glombíková.** Oděvní komfort, Fyziologie odívání, Termoregulace (přednáška 6). *Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů*. [Online] 2021. <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=9142>.
2. —. Hodnocení fyziologického komfortu II (přednáška 7). *Zpracovatelské a užité vlastnosti oděvních materiálů*. [Online] 2021. <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=9142>.
3. **Peichlová, Tereza.** Hodnocení paropropustnosti smart textilií pro sport. *diplomová práce*. místo neznámé : Technická Univerzita v Liberci, 2011.
4. **TexTest Instruments.** portfolio - items. *www.textest.ch*. [Online] 2022. <https://textest.ch/en/portfolio-items/fx-3180-cupmaster/>.
5. **ÚNM.** ČSN EN 80 0855. *Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošných textilií*. Praha : autor neznámý, 1976.
6. **Minářová, Veronika.** Fyziologický komfort ponožek. *diplomová práce*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2019.
7. **JTETC/JSA.** JIS L 1099 : 2012 (B). *Testing methods for water vapour permeability of textiles*. 2012.
8. **Luboš Hes, Petr Sluka.** *Úvod do komfortu textilií*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005.
9. **Kočárková, Jaroslava.** Na TUL měří komfortní vlastnosti textilií. *T-UNI Online zpravodaj Technické univerzity v Liberci*. [Online] 2008. <https://tuni.tul.cz/archiv/id:30867/na-tul-meri-komfortni-vlastnosti-textilii>.
10. **Jana, Kaiserová.** Komfort automobilových sedaček. *svoc.tul.cz*. [Online] 2018. http://svoc.tul.cz/svoc_2018/Res/SVO%C4%8C_2018_Textil.pdf.
11. **Industrial Physics.** Lyssy L80-6000 Water Vapor Permeation Analyzer. *industrialphysics.com*. [Online] 2021. <https://industrialphysics.com/product/lyssy-l80-6000-water-vapor-permeation-analyzer/>.

12. **Hayriye Gidik, Oly Vololonirina, Rita Maria Ghantous, Andreas Ankou.** Impact of test parameters on the water vapor permeability of textiles. *International Journal of Clothing Science and Technology*. [Online] 2019.
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJCST-02-2018-0018/full/html>.
13. **Teodor-Cezar Codau, Elena Onofrei, Stojanka Petrusic, Gauthier Bedek, Daniel Dupont, Damien Soulat.** Mathematical correlation of test methods for measuring water-vapor transmission through fabrics. *Journal of Porous Media*. [Online] 2015. <http://www.researchgate.net/publication/274975699>.
14. **MTNW USA.** Sweating Guarded Hotplate. *www.thermetric.com*. [Online] 2022.
<https://thermetrics.com/wp-content/uploads/2020/09/SGHP-Hotplate-Thermetrics.pdf>.
15. **Zemanová, Marie.** Termo-fyziologický komfort materiálů určených pro první vrstvu. *diplomová práce*. Liberec : Technická Univerzita v Liberci, 2021.
16. **ÚNMZ.** ČSN EN ISO 11092. *Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující pocení)*. Praha : autor neznámý, 2015.

Seznam obrázků

Obrázek 1: FX 3180 CupMaster [4].....	19
Obrázek 2: Misky uvnitř přístroje CupMaster [4].....	20
Obrázek 3: Schéma miskové metody s absorbentem [2]	21
Obrázek 4: Schéma metody s octanem draselným B-1 [7].....	23
Obrázek 5: Schéma metody s octanem draselným B-2 [7].....	25
Obrázek 6: Schéma metody s octanem draselným B-3 [7].....	26
Obrázek 7: Přístroj SGHP (laboratoře KOD)	28
Obrázek 8: Schéma Permetestu [8].....	30
Obrázek 9: Měření s přístrojem Permetest [9].....	30
Obrázek 10: Schéma měřící hlavy H2 [10].....	32
Obrázek 11: Farnworthův difuzimetr [8].....	35
Obrázek 12: Lyssy L80-6000 Water Vapor Permeation Analyzer [11].....	36
Obrázek 13: Torino 140 líc a rub v detailu	40
Obrázek 14: Terry 300 líc a rub v detailu.....	40
Obrázek 15: Softshell 300 líc a rub v detailu	41
Obrázek 16: příprava vzorků pro metodu A-2.....	43
Obrázek 17: přístroj FX3180 CupMaster, v detailu prostor pro misky s váhou.....	44
Obrázek 18: Příprava vzorků a vážení chloridu draselného do misek pro metodu A-1	48
Obrázek 19: Sušárna a klimatizační komora	49
Obrázek 20: příprava vzorků a prostředí	50
Obrázek 21: Průběh měření B-3.....	51
Obrázek 22: Přístroj SGHP uvnitř klimatizační komory s upnutým zkušebním vzorkem	53
Obrázek 23: SDL Atlas	55
Obrázek 24: Probíhající měření na SDL Atlas	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrné hodnoty ze 3 měření CupMaster	44
Tabulka 2: Misková metoda s absorbantem – průměrné hodnoty ze 3 měření	49
Tabulka 3: Výsledky měření metodou B-3.....	51
Tabulka 4: Data pro měření	52
Tabulka 5: Průměrné výsledky ze dvou měření SGHP	54
Tabulka 6: SDL Atlas – průměrné výsledky ze dvou měření	56
Tabulka 7: Porovnání výsledků gravimetrických metod	57
Tabulka 8: Porovnání průměrných výsledků SGHP8_2 a SDL Atlas	59
Tabulka 9: Shrnutí výsledků testovaných metod	60
Tabulka 10: Kritéria pracnosti testovaných metod	63
Tabulka 11: Časová náročnost testovaných metod	64

Seznam grafů

Graf 1: Průběh měření vzorku V1 – 1	45
Graf 2: Průběh měření vzorku V1 – 2	45
Graf 3: Průběh měření vzorku V1 – 3	45
Graf 4: Průběh měření vzorku V2 – 1	46
Graf 5: Průběh měření vzorku V2 – 2	46
Graf 6: Průběh měření vzorku V2 – 3	46
Graf 7: Průběh měření vzorku V3 - 1	47
Graf 8: Průběh měření vzorku V3 – 2	47
Graf 9: Průběh měření vzorku V3 – 3	47
Graf 10: Porovnání výsledků metod A1 a A2	58
Graf 11: Výsledky metody B3	58
Graf 12: Srovnání průměrných výsledků přístrojů SGHP	59
Graf 13: Vzájemná korelace metod A-B a D-E	60
Graf 14: Gravimetrické metody A-C a B-C	61
Graf 15: Vzájemná závislost metod A-D a A-E	61
Graf 16: Vzájemná závislost metod B-D a B-E	61
Graf 17: Korelace metody C a metodami D a E	62