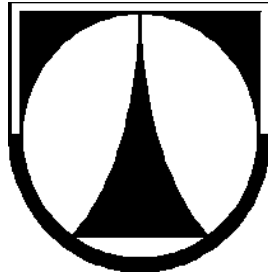


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní



**EXPERIMENTÁLNÍ METODA PRO HLEDÁNÍ
SOUVISLOSTÍ MEZI PRODYŠNOSTÍ A STRUKTURÁLNÍ
ZMĚNOU TEXTILIE**

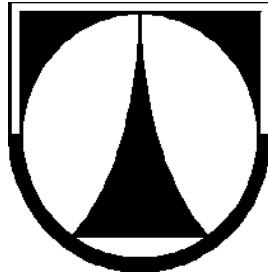
DISERTAČNÍ PRÁCE

Liberec 2016

Ing. Daniela Veselá

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní



**EXPERIMENTÁLNÍ METODA PRO HLEDÁNÍ
SOUVISLOSTÍ MEZI PRODYŠNOSTÍ A STRUKTURÁLNÍ
ZMĚNOU TEXTILIE**

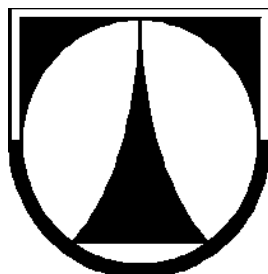
DISERTAČNÍ PRÁCE

Studijní program: P3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106V008 – Textilní technika

Autor práce: **Ing. Daniela Veselá**
Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs

Liberec 2016

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



**EXPERIMENTAL METHOD FOR INVESTIGATING THE
CONNECTIONS BETWEEN THE AIR PERMEABILITY
AND THE STRUCTURAL CHANGES IN TEXTILE**

DISSERTATION

Study programme: P3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106V008 – Textile technics

Author: **Ing. Daniela Veselá**
Supervisor: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs

Liberec 2016

Prohlášení autora

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

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

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

Disertační práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé disertační práce.

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

Datum:

Podpis:

Anotace:

Disertační práce je zaměřena na problematiku měření prodyšnosti plošných textilií. Cílem této práce je vývoj nového přístroje na měření prodyšnosti, který poskytuje možnost sledovat a popsat souvislosti mezi prodyšností a strukturální změnou textilie v průběhu měření. V rámci práce je popsán vývoj tohoto přístroje, který autorka práce sestavila a otestovala. Tento přístroj se od standardních zařízení liší možností provádět dynamické měření prodyšnosti a možností sledovat strukturální změny textilie během měření prodyšnosti. Všechny měřicí a řídicí prvky zařízení jsou elektronického typu a je zajištěn sběr jejich dat pro další zpracování.

V práci jsou představeny funkce zařízení, které mohou být využity v dalším výzkumu v oblasti chování textilie během měření prodyšnosti. Součástí práce je ukázka využití zařízení k sledování souvislostí mezi prodyšností a změnou struktury, ke které dochází při měření prodyšnosti.

Klíčová slova:

Prodyšnost, zařízení, změna struktury, dynamické měření, textilie.

Annotation:

This dissertation thesis is focused on the problems of the textile air permeability measurement. The aim of this thesis is to develop a new measuring instrument for the air permeability evaluation that will offer the possibility to observe and to describe the connections between the air permeability and the structural changes in textile that occur during its measurement. Within the scope of this thesis the development of the new instrument is described, which the author designed and tested. This instrument differs from others as it enables also to perform dynamical measurement of the air permeability, furthermore, it offers the possibility to observe the structural changes in textile during the air permeability measurement. All measuring and control elements are of the electronic type and thus provide data that is collected and stored for its further evaluation.

Various functions of this instrument are introduced in this thesis. These functions can be used within the further research that is aimed on the textile behavior during the air permeability measurement. One part of this thesis is dedicated to an example that describes the possibility to observe the connections between the air permeability and the structural changes that are present during the air permeability measurement.

Keywords:

Air permeability, instrument, structural change, dynamic measurement, textile.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala školiteli profesoru Zdeňku Kůsovi za podnětné rady při vývoji nového přístroje, který je podstatou práce, a za připomínky při zpracovávání disertační práce. Velké díky patří také panu Gerhardu Gaislerovi, který vyrobil specifické konstrukční prvky nového přístroje.

Mé poděkování dále patří panu profesoru Jiřímu Militkému a docentu Antonínu Havelkovi za cenné připomínky ke zpracování dat, a také panu inženýru Petru Nasdilovi z Textilního zkušebního ústavu v Brně za spolupráci při získávání dat pro ověření funkčnosti přístroje.

Tato práce by nebyla dokončena bez psychické podpory kolegyň a hlavně mé rodiny. Ráda bych poděkovala svým rodičům za podporu během celé doby studia a manželovi, který měl velkou trpělivost a byl mi psychickou oporou při zpracování této práce.

Obsah

I.	ÚVOD.....	9
II.	REŠERŠNÍ ČÁST.....	11
1.	PROUDĚNÍ TEKUTIN A JEHO MĚŘENÍ.....	11
1.1.	ZÁKLADY PROUDĚNÍ TEKUTIN	12
1.2.	TYPY PROUDĚNÍ TEKUTIN	14
1.3.	OBTÉKÁNÍ TĚLES.....	17
1.4.	PRŮTOK PORÉZNÍM MÉDIEM.....	18
1.5.	MĚŘENÍ PRŮTOKU VZDUCHU	19
1.5.1.	Stanovení průtoku pomocí clony	20
1.5.2.	Rotametr.....	21
1.5.3.	Průtokoměr s laminárními průtočnými elementy.....	21
1.5.4.	Tepelný hmotnostní průtokoměr s obtokem	22
1.6.	MĚŘENÍ DIFERENČNÍCH TLAKŮ VZDUCHU.....	23
1.6.1.	Manometry.....	23
1.6.2.	Membránové snímače	25
2.	PŘESNOST MĚŘENÍ.....	26
2.1.	CHYBY MĚŘENÍ A PŘESNOSTI PŘÍSTROJŮ	26
2.2.	NEJISTOTY MĚŘENÍ	27
2.2.1.	Standardní nejistoty typu A – u_a	28
2.2.2.	Standardní nejistoty typu B – u_b	28
2.2.3.	Kombinovaná standardní nejistota – u_c	29
2.2.4.	Rozšířená standardní nejistota U	29
2.2.5.	Záznam nejistot	29
3.	STRUKTURA A VLASTNOSTI TEXTILIÍ.....	30
3.1.	STRUKTURA VLÁKEN.....	30
3.2.	STRUKTURA NITÍ.....	31
3.3.	STRUKTURA PLOŠNÝCH TEXTILIÍ	32
3.3.1.	Tkaniny a jejich vazby.....	32
3.3.2.	Parametry tkanin.....	34
3.4.	ZAPLNĚNÍ	36
3.5.	PÓR, POROSITA A JEJÍ MODELOVÁNÍ	37
3.5.1.	Modely pórů dle geometrických parametrů.....	38
3.5.1.1.	Backerovy typy pórových buněk.....	38
3.5.1.2.	2-D model porosity	39
3.5.1.3.	Gooijerův model porosity	39
3.5.1.4.	3-D model porosity stanovený Luem.....	41
3.5.1.5.	3-D model porosity podle Havrdové.....	42
3.5.2.	Modely dle principů mechaniky tekutin	44
3.5.2.1.	Pórový model.....	44
3.5.2.2.	Otvorový model	45
3.5.2.3.	Odporový model	46
4.	PRODYŠNOST TEXTILIÍ	47

4.1.	DEFINICE PRODYŠNOSTI	48
4.2.	MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI	48
4.2.1.	Měření statické prodyšnosti	49
4.2.2.	Měření dynamické prodyšnosti	49
4.3.	ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI.....	50
4.3.1.	Standardní zařízení na měření prodyšnosti	50
4.3.2.	Zařízení pro měření dynamické prodyšnosti a její hodnocení.	51
4.3.2.1.	Standard pro hodnocení airbagů	51
4.3.2.2.	Gniotkův přístroj pro hodnocení dynamické prodyšnosti	51
4.3.2.3.	Zařízení pro hodnocení prodyšnosti při velkých tlakových rozdílech.	53
4.4.	PREDIKCE PRODYŠNOSTI	54
4.4.1.	Predikce prodyšnosti na základě struktury textilie a proudění vzduchu	54
4.4.2.	Predikce prodyšnosti pomocí neuronových sítí	56
4.4.3.	Predikce prodyšnosti počítačovou simulací.....	56
4.5.	STRUKTURÁLNÍ ZMĚNY PŘI MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI	57
4.5.1.	Horizontální nárůst porosity	57
4.5.2.	Vertikální nárůst porosity	58
4.5.1.	Smyková deformace tkanin	59
4.5.2.	Zohlednění strukturálních změn v modelech porosity.....	59
III.	PRAKTICKÁ ČÁST	60
5.	ZAŘÍZENÍ MPT 01.....	61
5.1.	PRINCIP ZAŘÍZENÍ MPT 01	62
5.2.	VÝVOJ ZAŘÍZENÍ MPT 01	62
5.3.	PODROBNÝ POPIS ZAŘÍZENÍ MPT 01.....	63
5.3.1.	Popis jednotlivých prvků zařízení.....	64
5.3.2.	Řídicí program – uživatelské prostředí	65
5.3.2.1.	LabVIEW	65
5.3.2.2.	Řídicí program.....	66
5.3.2.3.	Ukládání dat	68
5.3.2.4.	Postup měření na zařízení	69
5.4.	SLEDOVÁNÍ STRUKTURY TEXTILIE.....	69
5.4.1.	Sledování struktury pomocí kamery	69
5.4.2.	Měření vydutí vzorku laserovým snímačem vzdálenosti	71
5.4.2.1.	Přírůstek plochy vzorku vlivem vydutí vzorku	72
5.5.	ROZSAH ZAŘÍZENÍ MPT 01	73
5.6.	PŘESNOST MĚŘENÍ NA MPT 01	74
5.7.	MĚŘENÍ NA MPT 01 V POROVNÁNÍ SE STANDARDY	76
6.	MOŽNOSTI VYUŽITÍ FUNKCÍ ZAŘÍZENÍ MPT 01.....	82
6.1.	PLYNULÉ MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI	82
6.2.	VYUŽITÍ MPT 01 PŘI HLEDÁNÍ SOUVISLOSTÍ PRODYŠNOSTI A ZMĚNY STRUKTURY.....	83
6.2.1.	Chování textilie v průběhu měření.....	83
6.2.1.	Změna struktury textilie během měření prodyšnosti.....	84
6.3.	VYUŽITÍ EXPERIMENTÁLNÍCH TYPŮ MĚŘENÍ	85
7.	VLIV STRUKTURY TEXTILIE NA JEJÍ CHOVÁNÍ PŘI MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI	86
7.1.	CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	86

7.2. HLEDÁNÍ SOUVISLOSTÍ MEZI VYDUTÍM TEXTILIE A PRODYŠNOSTÍ	87
7.2.1. Porosita a vydutí textilií.....	87
7.2.2. Vazba a vydutí vzorku.....	89
7.3. PŘÍRŮSTEK PLOCHY VZORKU VLIVEM VYDUTÍ	90
7.4. SOUHRN POZNATKŮ Z PROMĚŘENÉ SADY VZORKŮ	92
8. SHRUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	93
8.1. DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝVOJ ZAŘÍZENÍ MPT 01.....	94
IV. ZÁVĚR.....	95
CITOVANÁ LITERATURA.....	97
VLASTNÍ PUBLIKACE SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM PRÁCE	102
ZKRATKY A SYMBOLY	103
SEZNAMY.....	108
PŘÍLOHY.....	110

I. Úvod

Tato práce je zaměřena na měření prodyšnosti textilií a hledání souvislostí mezi prodyšností a strukturální změnou, ke které dochází při měření prodyšnosti.

Prodyšnost textilie je jedna z vlastností ze skupiny charakterizující propustnost textilií. Propustnost charakterizuje schopnost prostupu částic nebo záření z jedné strany textilie na druhou. Prodyšnost je schopnost textilie propouštět vzduch a je jedna ze složek zajišťující fyziologický komfort oděvního výrobku. Fyziologický komfort je sledován s cílem zajistit pohodu a hygieničnost při užívání oděvu.

Prodyšnost textilie se řadí do popisu funkčního komfortu oděvního výrobku, to znamená, že ovlivňuje mikroklima organismu. V případě, že je člověk oblečený do oděvu vystaven proudícímu vzduchu, nejčastěji v podobě větru, tak u velkých rychlostí vzduchu dochází k prostupu proudícího vzduchu k organismu. Studený vzduch z okolí ochladí vzduch mezi jednotlivými vrstvami pod svrchním oděvem a tím narušuje fyziologickou pohodu organismu. Ta je narušena také v opačném případě, kdy textilie neumožňuje prostupy vzduchu, vodních par a tepla od organismu směrem do okolí.

Prodyšnost textilií je také hodnocena u technických textilií a to například u airbagů, filtračních textilií, padáků atd. Zde je prodyšnost požadována s ohledem na užití daného typu textilie.

Nositelem prodyšnosti je porosita materiálu, kdy vstup vzduchu umožňují póry, kterými vzduch prochází z jedné strany textilie na druhou. Chování vstupujícího vzduchu póry je možné popsat na základě vztahů mechaniky tekutin, stěžejní částí je popis struktury textilie a jejích pórů, které vstupujícímu vzduchu kladou odpor. Je-li na protějších stranách textilie rozdílný tlak, tak s cílem tento rozdíl vyrovnat dochází k prostupu vzduchu z jedné strany textilie na druhou. Na tomto principu vyvolání tlakových rozdílů na stranách měřené textilie pracují standardní přístroje pro měření prodyšnosti.

Měření prodyšnosti s výjimkou airbagů se standardně hodnotí pomocí statické prodyšnosti, tj. při ustálené hodnotě tlakového rozdílu na protějších stranách textilie a ustálené rychlosti prostupu vzduchu textilií.

Silové účinky vzduchu působící na textilií během měření prodyšnosti vyvolávají změny ve struktuře textilie. Ty se projevují vydutím vzorku v upínací čelisti a také změnami v oblasti chlupatosti nitě, kdy dochází k pohybu volných konců vláken nití.

Při deformaci textilie dochází ke strukturálním změnám, které mohou zpětně ovlivnit měřené hodnoty prodyšnosti textilie. Obzvláště u pružných textilií dochází k výraznému vyduťtí vzorku vlivem proudění a je tak zkreslena výsledná hodnota prodyšnosti měřeného vzorku.

Cílem práce je navrhnout experimentální metodu pro hledání souvislostí mezi prodyšností a změnou struktury. K tomuto účelu je autorkou práce sestaven přístroj na měření prodyšnosti textilií, který kromě standardního statického měření umožní i dynamické měření prodyšnosti a současné sledování chování v textilie v průběhu měření prodyšnosti. Získané poznatky tak napomohou popsat strukturální změny v textilií a jejich vliv na měřené hodnoty prodyšnosti.

II. Rešeršní část

Tato část disertační práce shrnuje informace, které souvisí s prodyšností textilií a s popisem změn struktury textilie, ke kterým dochází během měření prodyšnosti.

Podstatou měření prodyšnosti textilií je stanovení množství prošlého vzduchu otevřenými prostory v textilním materiálu z jedné strany na druhou při konkrétním tlakovém rozdílu na protějších stranách textilie. Přesně je měření prodyšnosti definováno normami, v České republice se uplatňuje nejčastěji norma ČSN EN ISO 9237 [1].

S cílem charakterizovat vlastnosti a chování vzduchu při měření prodyšnosti je zpracován výtah ze základů mechaniky tekutin. Jsou uvedeny základní vlastnosti tekutin a jejich chování při obtékání těles a průchodu porózním materiálem. Součástí kapitoly je také popis vybraných snímačů, které se uplatňují u přístrojů určených k měření prodyšnosti textilií. Zahrnuta je také kapitola o přesnostech a nejistotách měření.

Pro možnost charakterizovat změny struktury textilií, konkrétně tkanin, je popsána struktura textilních útvarů se zdůrazněním porosity a jejího modelování.

V rešeršní části je také proveden souhrn poznatků o způsobech měření prodyšnosti. Jsou uvedeny vybrané standardní a experimentální přístroje na měření prodyšnosti a poznatky z prací zabývajících se změnami struktury, ke kterým dochází při měření prodyšnosti. Je uvedeno také stručné seznámení s predikcí prodyšnosti.

1. Proudění tekutin a jeho měření

Prodyšnost je vlastnost textilie propustit vzduch. Její měření je prováděno na základě změření průtoku vzduchu při stanoveném tlakovém rozdílu vzduchu na protějších stranách textilie. V případě měření i modelování toku vzduchu textilií je nutné nejprve pochopit vlastnosti vzduchu a jeho chování. Prouděním vzduchu se zabývá mechanika tekutin popisující vlastnosti a chování plynů.

K základním vlastnostem plynů patří, že obecně nedrží svůj tvar, nevytváří volný povrch a jsou snadno stlačitelné či rozpínavé. Plyny jsou hmotné objekty v plynném skupenství, přičemž se částice pohybují neuspořádaně [2]. Stlačitelnost plynu je jeho schopnost změnit svůj objem a tím svoji hustotu.

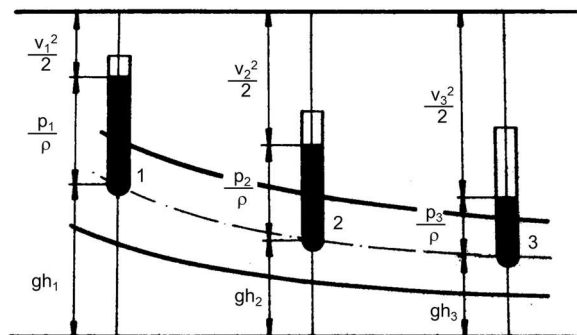
Ideální plyny jsou dokonale tekuté a stlačitelné, jsou bez vnitřního tření.

1.1. Základy proudění tekutin

Při proudění tekutin platí fyzikální zákon o zachování hmotnosti charakterizovaný rovnicí kontinuity, kdy je hmotnost tekutiny konstantní.

Rovnováhu sil v proudící ideální tekutině charakterizuje Eulerova rovnice hydrodynamiky, jedná se o síly hmotnostní, tlakové a setrvačné. [3]

Bernoulliho rovnice (1.) pro tekutiny, jak bylo prokázáno, je i přes svoji jednoduchost silným nástrojem v oblasti mechaniky tekutin [4]. Bernoulliho rovnice (1.) popisuje princip zachování energie proudící tekutiny [3]. Znárodnění jednotlivých členů jako úseků je na Obr. 1.



Obr. 1. Grafické znázornění Bernoulliho rovnice [3].

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gh_2 = \dots = \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = konst., \quad (1.)$$

kde:

- v rychlost proudící tekutiny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- $v_{1,2,3}$ rychlost proudící tekutiny v úseku (1,2 nebo 3) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- p tlak tekutiny [Pa],
- $p_{1,2,3}$ tlak tekutiny v úseku (1,2 nebo 3) [Pa],
- g gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- ρ hustota tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
- h tlaková výška tekutiny [m],
- $h_{1,2,3}$ tlaková výška tekutiny v úseku (1,2 nebo 3) [m].

Bernoulliho rovnice pro dokonalé plyny v diferenciálním tvaru (2.) vyjadřuje rovnováhu tlakové, kinetické a polohové energie v jedné a téže proudové trubici. Pro plyny s poměrně malou hustotou převládá tlaková a kinetická energie a polohová energie se dá vůči nim zanedbat. U plynů je nutno určit tlakovou energii se zřetelem na stlačitelnost tekutiny. [3]

$$\frac{dp}{\rho} + v \cdot dv = 0. \quad (2.)$$

Zavedením rychlosti zvuku a_v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] je možné vyjádřit Machovo číslo Ma [-] (3.) a následnou úpravou vztahů získáme rovnici (2.) ve tvaru (4.). [3]

$$Ma = \frac{v}{a_v}, \quad (3.)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = -(Ma)^2 \frac{dv}{v}. \quad (4.)$$

Díky rovnici (4.) je možné charakterizovat změny hustoty vzduchu, kdy $Ma=1$ je změna hustoty téhož řádu. Pro $Ma \ll 1$ je změna hustoty plynu zanedbatelná a plyn lze považovat za nestlačitelný. [3]

Pro ustálené proudění stlačitelné tekutiny platí rovnice kontinuity (5.) a v technické dynamice plynů se pracuje s představou, že tekutiny spojitě vyplňují prostor. Tato představa umožňuje pracovat s hodnotami veličin v bodech prostoru proudového pole. [5]

$$Q_M = \rho S_P v = \text{konst.}, \quad (5.)$$

kde:

Q_M hmotnostní průtok [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$],
 S_P plocha průtočného průřezu [m^2].

Zlogaritmováním diferenciálního tvaru rovnice (5.) a dosazením rovnice (4.) získáme vztah, díky kterému můžeme vyjádřit vliv změny průřezu na rychlost proudění:

$$\frac{dv}{v} = -\frac{\frac{dS_P}{S_P}}{1-(Ma)^2}. \quad (6.)$$

Pro malá Ma blíží se 0 se zmenšením průtočného průřezu vyvolá úměrné zvýšení rychlosti, pro $Ma < 1$ je zvýšení rychlosti ve větší míře, při nadzvukových rychlostech $Ma > 1$ zvětšení průřezu způsobí zvětšení rychlosti. [3]

Skutečné tekutiny jsou stlačitelné a viskózní. Viskozita, označována také jako vazkost tekutin, se projevuje při proudění skutečných tekutin a to odporem proti pohybu částic tekutin. Viskozita tekutiny vyvolává třecí síly. Rovnováha sil při proudění skutečné tekutiny je vyjádřena Navier-Stokesovými rovnicemi. Kromě sil vnějších, tlakových a setrvačných jsou zahrnuty také síly třecí. [3]

Vzorec viskozity byl na základě Newtonova zákona vazkosti zobrazen na proudové pole ovlivněné blízkostí stěn, kdy se vytváří obecně zakřivený rychlostní profil [2]. V jednorozměrném poli u Newtonových tekutin, mezi které patří i vzduch [4], může být smykové napětí τ [Pa] v proudící tekutině vyjádřeno lineárním vztahem (7.), kde dynamická viskozita η [Pa.s] je označována také jako konstanta proporcionality či koeficient viskozity [2].

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}. \quad (7.)$$

Viskozita tekutin je závislá na teplotě. V případě plynů s rostoucí teplotou roste jejich viskozita, u kapalin je tento jev opačný, Obr. 2 . Na základě

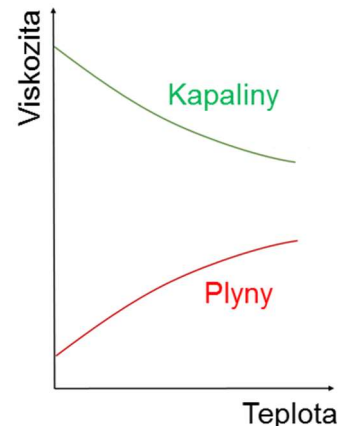
vztahů definovaných v publikaci [4] je možné stanovit viskozitu z teploty tekutiny, pro plyny je definována tzv. Sutherlandovým vztahem.

O hustotě tekutin můžeme obecně říci, že je závislá na teplotě a tlaku, Obr. 3. Hustota většiny plynů je přímo úměrná tlaku a nepřímo úměrná teplotě. Vztah mezi hustotou, tlakem a teplotou je možné u ideálních plynů sledovat na základě stavové rovnice [4]. Hustota tekutin je definována [4]:

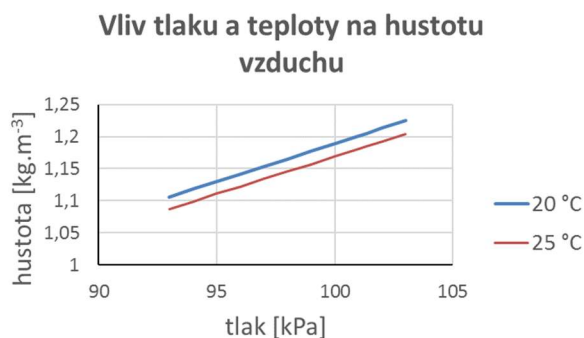
$$\rho = \frac{p}{rT}, \quad (8.)$$

kde:

r měrná plynová konstanta [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 T teplota [K].



Obr. 2. Vliv teploty na viskozitu tekutin [4].



Obr. 3. Vliv tlaku a teploty na hustotu vzduchu [6].

Stlačitelnost tekutin vyjadřuje změnu objemu vlivem stlačení. Stlačitelnost se popisuje empirickým součinitelem stlačitelnosti δ_i [$\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$] tj. [Pa^{-1}] při konkrétní termodynamické změně stlačení [2]:

$$\delta_i = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right) = -\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right) = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right). \quad (9.)$$

1.2. Typy proudění tekutin

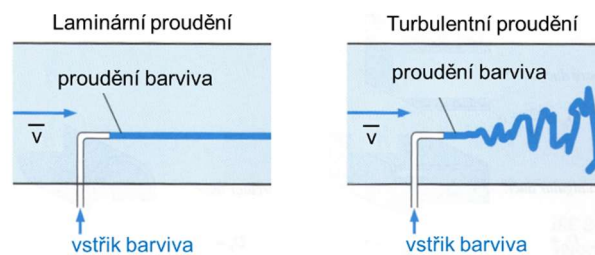
Z pohledu závislosti na čase rozlišujeme [3]:

- Stacionární proudění, které není závislé na čase, označované také jako ustálené.
- Nestacionární proudění, nebo též označováno neustálené proudění, se mění v čase.

U skutečných tekutin s vnitřním třením rozdělujeme proudění dle chování proudící tekutiny [3]:

- Laminární proudění, kdy se částice pohybují ve vrstvách a nepřemísťují se v rámci průřezu.
- Turbulentní proudění, při kterém se částice kromě posouvání ve vrstvách přemísťují i v průřezu.

Tyto dva významné základní typy proudění skutečných tekutin byly rozlišeny na základě Reynoldsova pokusu a teorie podobnosti. Jsou definovány klíčovým parametrem pro proudění tekutin v uzavřeném potrubí, označeným jako Reynoldsovo číslo. Chování barviva vstříknutého do proudící tekutiny v potrubí (Obr. 4) umožňuje sledovat rozdíly mezi laminárním a turbulentním prouděním.



Obr. 4. Chování barviva vstříknutého do laminárního a turbulentního toku v potrubí [4].

Reynoldsovo číslo je podobnostní číslo Re [-], které vyjadřuje fyzikální podobnost jevů charakteristických setrvačnými a třecími silami (viskozitou). [4].

Můžeme jej vyjádřit [4]:

$$Re = \frac{\bar{v} D_{kp}}{\nu_k}, \quad (10.)$$

kde v případě proudění v potrubí je:

D_{kp} vnitřní průměr kruhového potrubí [m],

ν_k kinetická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$],

\bar{v} průměrná rychlost tekutiny [$m \cdot s^{-1}$].

Při proudění v potrubí dochází k přechodu, kdy se mění rychlostní profil (Obr. 5) a velikosti ztrát, tento přechod je vyjádřen kritickým Reynoldsovým číslem Re_k . Hodnota tohoto čísla je rozdílná dle geometrie potrubí a podmínek proudění. [4]

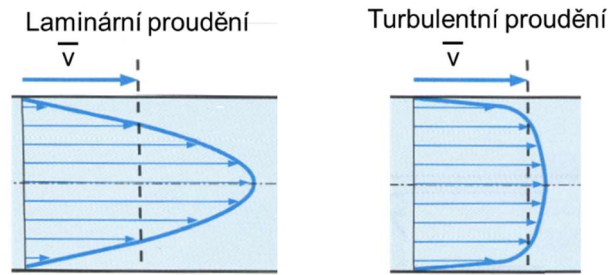
Pro hladké potrubí kruhového průřezu je $Re_k=2300$. Pro libovolný tvar průřezu potrubí vychází stanovení Reynoldsova čísla z hydraulického průměru d_h [m] (11.), který je funkcí plochy průřezu potrubí S_c [m²] a „omocného“ obvodu potrubí O_o [m]. [4]

$$d_h = \frac{4S_c}{O_o}. \quad (11.)$$

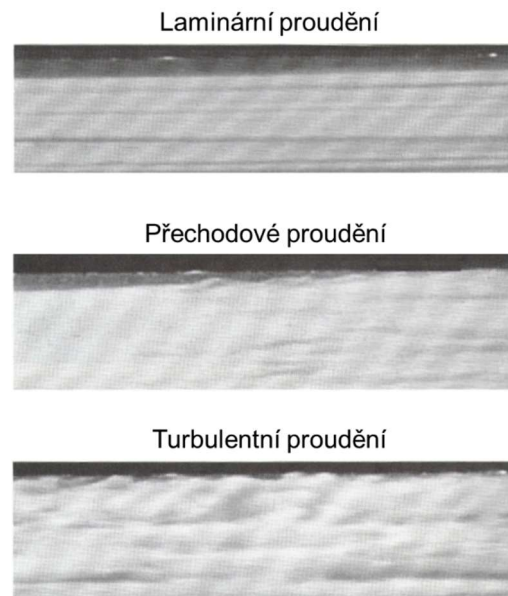
Když je $Re < Re_k$, je proudění laminární. V tomto případě je profil proudění v potrubí ve tvaru rotačního paraboloidu (Obr. 5 vlevo). Pohyb částic se děje ve vrstvách a částice se nepromíchávají. Při hodnotách Re vyšších než Re_k začíná docházet k turbulencím uvnitř proudění. V případě, že hodnoty Re při proudění v potrubí kruhového průřezu překročí přibližně hodnotu 4000, jde o proudění turbulentní [4]. Turbulentní proudění má rychlostní profil podobný obdélníku (Obr. 5 vpravo). To je způsobeno tím, že se částice vyrovnávají intenzivním přemísťováním spojeným s výměnou kinetické energie [3]. Tvar profilu je tím více obdélníkový, čím větší je Reynoldsovo číslo. Při změně typu proudění z laminárního na turbulentní je tento stav označován za přechodový, Obr. 6 [4].

Pro laminární proudění v kruhovém potrubí za předpokladu konstantní teploty, rychlosti a hustoty platí Hagen-Poiseuillova rovnice vyjadřující objem toku Q_V [m³.s⁻¹] proudění jako funkci průměru potrubí a délky L [m] [3], [4]:

$$Q_V = \frac{\Delta p \pi D_{kp}^4}{128 \eta L}. \quad (12.)$$



Obr. 5. Rychlostní profily laminárního a turbulentního proudění [4].



Obr. 6. Laminární, přechodové a turbulentní proudění [4].

1.3. Obtékání těles

Při obtékání těles skutečnou tekutinou se oproti ideální tekutině, kde je odpor nulový, mění směr i rychlost tekutiny, která obtéká těleso.

Viskozita tekutiny způsobuje silové účinky mezi proudící tekutinou a obtékaným tělesem. Silové účinky jsou dvojího druhu, a to vztlaková síla a odporová síla, které působí proti sobě. Důsledkem obtékání tělesa dochází ke vzniku třetího odporu tělesa, jehož stanovení vychází z teorie mezních vrstev. Následně vlivem odtržení mezní vrstvy dochází k deformaci tlakového profilu na povrchu tělesa. [3]

Deformace mezní vrstvy je závislá na rychlosti proudění.

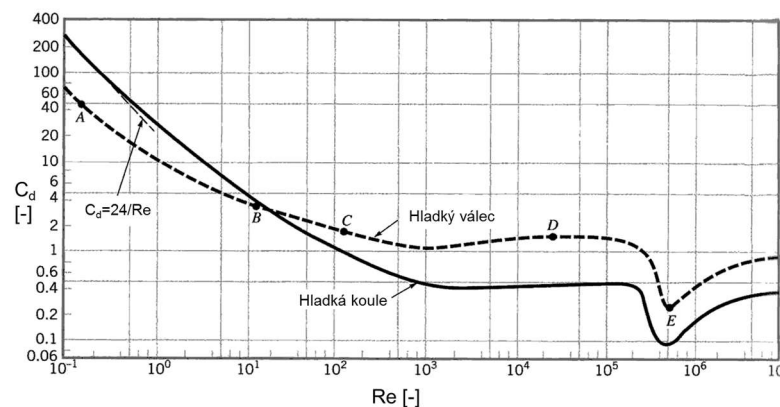
Pro různé tvary obtékaného tělesa je možné proudění kolem tělesa charakterizovat pomocí součinitele odporu C_d [-] [7]:

$$C_d = \frac{D_T}{\frac{1}{2} \rho v^2 S_{TP}}, \quad (13.)$$

kde:

S_{TP} .. charakteristická plocha tj. čelní plocha průřezu [m^2],

D_T ... odpor tělesa [N].

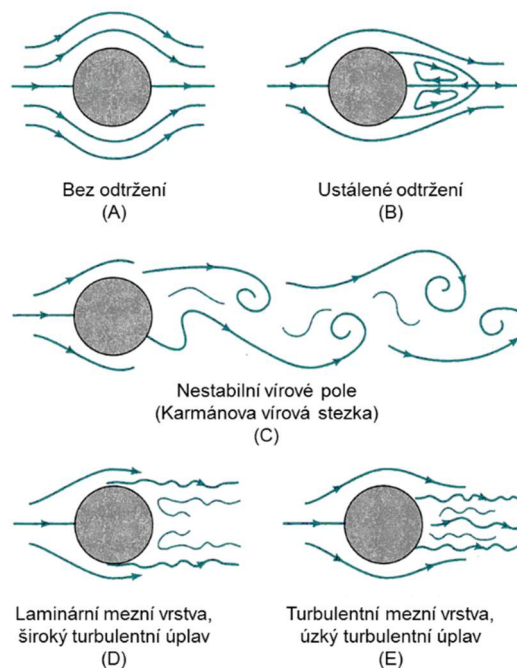


Obr. 7. Součinitel odporu jako funkce Re pro proudění kolem hladkého válce a koule [7].

Na Obr. 7 je uvedena závislost součinitele odporu C_d na Reynoldsově čísle Re , které je funkcí hustoty proudícího média, jeho rychlosti, viskozity a charakteristického rozměru obtékaného tělesa pro hladký váleček a hladkou kouli. [7]

Obr. 8 ukazuje různé vývoje proudění kolem válce při různých hodnotách Re dle označení na Obr. 7 [7]. Oblast $1 < Re < 10^3$ je označována jako přechodová. V této oblasti se tok začíná oddělovat a přechází z ustáleného odtržení do nestabilního vírového pole, kde dochází k periodickému odtrhávání, označovanému jako Karmánova vírová cesta či stezka Obr. 8.

Frekvenci odtrhávání je možné charakterizovat tzv. Strouhalovým číslem, které je funkcí frekvence kmitání toku, rychlosti toku a charakteristické délky obtékaného tělesa. [7]



Obr. 8. Vývoj proudění kolem válce dle označení na Obr. 7 [7].

1.4. Průtok porézním médiem

Průtok tekutiny porézním médiem bývá v souvislosti s dynamikou proudění aplikován v mnoha oborech, např. průtok půdním podložím, betonem, izolačními vrstvami atd. [8]. U textilií lze za porézní médium uvažovat textilní materiál, který je vystaven proudícímu vzduchu. Proudění porézním médiem je možné rozdělit na dvě oblasti [8].

První oblast se zabývá málo porézními materiály, kdy převládá množství uzavřených částí nad otevřeným prostorem (póry). Při nízkých rychlostech průtoku přes tato média je vztah mezi rychlostí průtoku a tlakovým rozdílem lineární, toto popisuje Darcyho zákon (14.), ve tvaru ignorujícím gravitační efekt [8]:

$$\bar{v} = -\frac{\kappa \Delta p}{\eta t_p}, \quad (14.)$$

kde:

Δp tlakový rozdíl [Pa],

t_p tloušťka porézního média, kterým protéká tekutina [m],

κ propustnost - koeficient prodyšnosti [m^2].

Druhá oblast se zabývá porézními materiály, u kterých se porosita blíží k jedné, to znamená materiály, které mají vysokou porositu. V tomto případě již není vztah mezi silami a rychlostí lineární a musí být stanoven na základě experimentů. [8]

1.5. Měření průtoku vzduchu

Pro měření množství tekutiny, která prošla daným průřezem za časovou jednotku, se používají průtokoměry. Rozlišují se dva způsoby určení množství tekutiny [9]:

1. objemové množství:

$$Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \bar{v}S, \quad (15.)$$

2. hmotnostní množství:

$$Q_M = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \bar{v}S, \quad (16.)$$

kde:

- Q_V objemové množství protečené tekutiny [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
- ΔV přírůstek objemu [m^3],
- Δt přírůstek času [s],
- S plocha průřezu [m^2],
- Q_M hmotnostní množství protečené tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],
- Δm přírůstek hmotnosti [kg],
- ρ měrná hmotnost tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Zaměříme-li se na snímače pro měření průtoku v uzavřených prostorách jako je potrubí, tak dle druhu měřeného množství rozlišujeme dvě skupiny snímačů, a to snímače pro určení objemového množství a hmotnostního množství. [9]

Objemový průtok umožňuje měřit několik skupin snímačů na principu tlakové diference nebo stanovením rychlosti proudící tekutiny či přímým měřením prošlého objemu. [9]

Hmotnostní průtokoměry měří hmotnost proteklého množství za jednotku času. Podstata měření je na principu Coriolisova zrychlení a nebo tepelných rozdílů při průchodu tekutiny snímačem. [9]

V této kapitole jsou dále popsány vybrané snímače měřící průtočné množství vzduchu na principu tlakové diference, aby byly zdůrazněny rozdíly měření a jejich výhody a nevýhody s ohledem na přesnost výsledků měření. Tyto snímače obecně využívají k výpočtu průtoku odečet tlakové ztráty způsobené zúžením potrubí. Tyto principy měření průtoku jsou využívány při měření prodyšnosti na zařízeních využitých v praktické části této práce. Každý typ snímače na principu tlakového rozdílu má své silné i slabé stránky [10]. V příloze 1 je přehled snímačů u jednotlivých typů standardních přístrojů určených k měření prodyšnosti, které budou uvedeny v kapitole 4.3.1.

Dále je zmíněn princip hmotnostního průtokoměru, který měření průtoku stanovuje na základě ohřátí tekutiny. Na tomto principu pracuje regulátor průtoku použitý na zařízení prezentovaném v praktické části této práce.

1.5.1. Stanovení průtoku pomocí clony

V případě stanovení průtoku tekutiny pomocí clony je do toku tekutiny vložena překážka s otvorem. Obecně může mít otvor libovolný tvar. Jestliže tekutina protéká zúžením, tak zrychluje, čímž dochází k poklesu statického tlaku tekutiny, Obr. 9. Odběry tlaků se provádí hned před a za deskou s clonou. [10]

Pro stanovení objemových průtoků se vychází ze zákona o zachování hmotnosti, tj. rovnice kontinuity toku a ze zákona zachování energie v podobě Bernoulliho rovnice. [11]

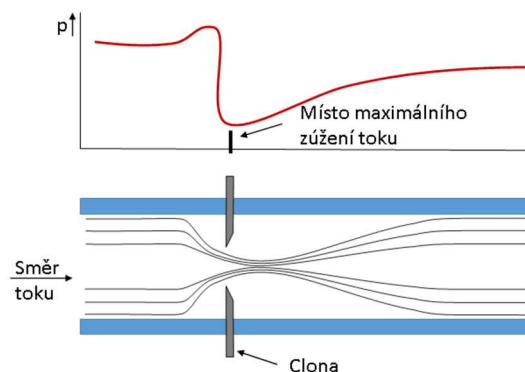
Objemový průtok plynů a par je definován pro kruhové clony vztahem [11]:

$$Q_V = \alpha d_{KC} \varepsilon \sqrt{\frac{2(p_{S1} - p_{S2})}{\rho}}, \quad (17.)$$

kde:

- α průtokový součinitel [-],
- ε expanzní součinitel [-],
- d_{KC} průměr otvoru kruhové clony [m],
- p_{S1} statický tlak před zúžením toku [Pa]
- p_{S2} statický tlak v místě zúžení toku [Pa].

Průtokový součinitel je závislý především na poměru zúžení a dále také v daných případech na Reynoldsově čísle. Expanzní součinitel zohledňuje izotermický exponent, měřený tlakový rozdíl, poměr zúžení a typ měřidla. Jen tyto dva součinitelé značně komplikují stanovení objemového průtoku a stanovují se na základě tabulek a grafů. [11]



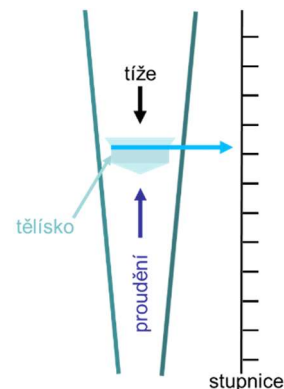
Obr. 9. Chování tlaku tekutiny při vložení clony do toku [10].

Přesnost výpočtu je ovlivněna správnou volbou clony pro konkrétní podmínky měření, její instalací včetně umístění a označení stavu odběrů. Mezi nevýhody těchto měřidel patří požadavek na dostatečně dlouhé přímé délky potrubí, případné otupování hrany clony postupem času používání

a vliv usazenin na povrchu clon. Při normálních pracovních podmínkách s typickou clonou bývá přesnost 2% - 5% z měřené hodnoty. [10]

1.5.2. Rotametr

Základem rotametru je svislá trubice rozšiřující se směrem vzhůru (Obr. 10), ve které je vloženo rotační tělísko (označované i jako plováček). Trubicí proudí měřené médium, v našich případech zesponu nahoru, které nadnáší rotační tělísko. Při rovnováze sil (tíha tělíska zmenšená o vztlak je rovna síle nadnášející) dojde k ustálení rotačního tělíska. Pohyb tělíska způsobuje rozdíl tlaků pod a nad tělískem Δp . Hustota tělíska musí být větší než hustota měřené veličiny. Poloha tělíska se snímá přímo na stupnici nebo elektronicky. [11] [12]



Obr. 10. Řez rotametrem [9].

Většina rotametrů je poměrně málo citlivá na změny viskozity, ale poloha plováku je citlivá na změny hustoty tekutiny. Při velkých hodnotách Re převládají hlavně síly setrvačné, zatímco při malých hodnotách Re jsou setrvačné síly malé a uplatňují se hlavně síly třecí. Ty ovlivňuje hlavně viskozita měřené tekutiny a vliv hustoty je malý. Způsoby obtékání lze ovlivnit tvarem tělíska. [10] [11]

Výhodou je měřicí rozsah (10:1), malá tlaková ztráta, snadná instalace, relativně nízká cena a schopnost měřit i malé průtoky [9]. Rotametry pro průmyslové použití mají typickou přesnost 1 – 2 % z měřeného rozsahu při poměru rozpětí rozsahu 10:1 [10].

1.5.3. Průtokoměr s laminárními průtočnými elementy

Tyto průtokoměry jsou založeny na principu přesného měření objemového průtoku plynu pomocí tlakového poklesu na vnitřních přepážkách označených jako laminární průtočné elementy, na kterých se provádí měření tlakové diference, Obr. 11. Molekuly měřeného plynu se pohybují paralelně podélnými kanálky stejné délky. V těchto kanálcích je laminární proudění a tak není požadavek na dlouhé úseky potrubí před a za průtokoměrem. [10] Tyto průtokoměry využívají k stanovení průtoku diferenční tlak, absolutní tlak a teplotu v prostoru laminárního proudění. Pomocí mikroprocesoru je následně provedena tlaková a teplotní kompenzace na normální podmínky. V oblasti laminárního průtoku je vztah mezi tlakovým poklesem a tokem lineární a platí Hagen-Poiseuillova rovnice (12.) [10]

Protože průměr a délka laminárních průtočných elementů je konstantní, vztah (12.) můžeme upravit [13]:

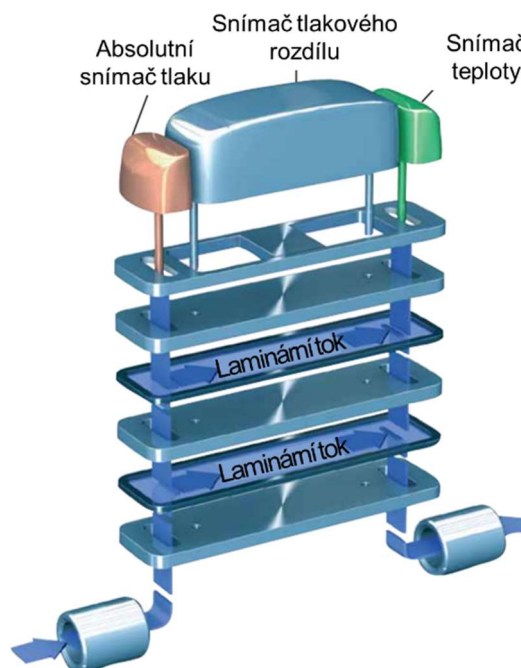
$$Q_V = K_E \frac{\Delta p}{\eta}, \quad (18.)$$

kde:

K_E faktor určený geometrií laminárních průtočných elementů [m³].

Změřený objemový průtok na rozdíl od výše uvedených průtokoměrů zohledňuje teplotu a tlak měřeného média a operativně provádí přepočítání na definované podmínky. Takto je snížena nepřesnost zanesená změnou parametrů měřeného média procházejícího průtokoměrem. [10]

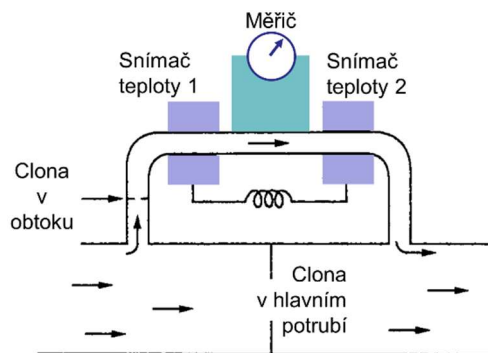
Přesnost měření snímačů s laminárními průtočnými elementy od firmy Omega, která tento princip představuje, se pohybuje do 0,8 % stanovené hodnoty plus 0,2% z rozsahu konkrétního snímače. U starších verzí snímačů výrobce uvádí přesnost měření jako 1% z rozsahu konkrétního snímače. [10] [13]



Obr. 11. Řez průtokoměrem FMA1600 fy Omega [13].

1.5.4. Tepelný hmotnostní průtokoměr s obtokem

Tyto snímače pracují na principu výměny tepla mezi zdrojem a měřenou tekutinou. Vypočtený objemový průtok zohledňuje parametry okolí a všechny parametry měřené tekutiny (viskozita, tlak, teplota a hustota). [10] Tento typ snímačů, označovaný také jako diferenční anemometr, využívá tenkostěnnou trubici s dobrou tepelnou vodivostí. Část proudící tekutiny do této trubice odbočuje (Obr. 12). Na této trubici jsou navinuté odporové měřiče teploty s vlastním ohřevem (a nebo je ohřev mezi nimi), uvnitř trubice je laminární proudění. Odporové měřiče měří výsledný nárůst teploty. Je sledován rozdíl na snímačích teploty a spolu s dodanou energií na ohřev je stanovena hodnota průtoku, která je přímo úměrná velikosti měřené změny teploty. [9] [10]



Obr. 12. Schéma teplotního snímače s obtokem dle [10].

Tyto snímače vyžadují čistá měřená média, nevýhodou je velký pokles tlaku pro dosažení laminárního proudění v obtokové části. Přesnost snímače je malá (2% z plného rozsahu), snímač je však ekonomicky dostupný a nenáročný na údržbu. [10]

1.6. Měření diferenčních tlaků vzduchu

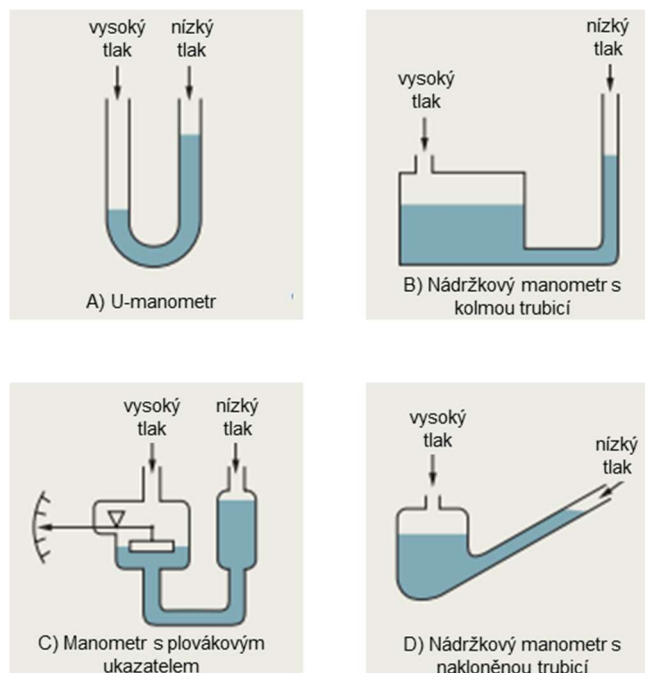
Snímače tlakové difference, jak je zmíněno v předchozí kapitole, se využívají u některých typů snímačů průtoku. Při měření prodyšnosti je stanovována hodnota prodyšnosti pro konkrétní normou stanovený rozdíl tlaků na protějších stranách textilie.

Pro měření tlaku se využívá řada měřicích přístrojů. Konkrétně pro měření tlakových rozdílů na protějších stranách textilie se u starších přístrojů na měření prodyšnosti využívají manometry. U modernějších přístrojů na měření prodyšnosti, které jsou propojené s počítačem, se uplatňují elektronická snímací zařízení s deformačními prvky. Níže jsou popsány vybrané snímače na měření tlakové difference, které jsou uvedeny u standardních přístrojů na měření prodyšnosti textilií (příloha 1). Snímače s deformačním prvkem jsou také využity v praktické části této práce u nového zařízení uvedeného v kapitole 5.

1.6.1. Manometry

Manometry jsou kapalinové snímače, které využívají vertikální nebo nakloněné hladiny kapaliny, (Obr. 13) [7]. Na základě výšky hladiny se určuje hodnota tlaku.

Manometry patří mezi jedny z nejstarších tlakoměrů a to v podobě U-manometru, které jsou využívány i pro měření diferenčního tlaku. Tyto převodníky diferenčního tlaku se často využívají pro měření průtočného množství. Měřený diferenční tlak je funkcí rychlosti tekoucího média. Mnoho moderních snímačů tlaku vychází právě z principu těchto U-manometrů. [14]



Obr. 13. Příklady manometrů [14].

Princip U-manometru je znázorněn na Obr. 13a. Rozdíl tlaku vychází ze základní diferenční rovnice [4]:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho_K g h_R, \quad (19.)$$

kde:

- ρ_K hustota měřicí kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
- h_R rozdíl výšek hladin [m].

Tyto manometry mají rozsah měření závislý na velikosti měřicí trubice, právě velikost trubice určuje velikost manometru. U-manometry mají nevýhodu nutnosti odečtu obou výšek hladin pro stanovení jejich rozdílu. Nevýhodu nutnosti odečtu dvou výšek hladin odstraňují manometry s nádržkou. Nádržkové manometry jsou použity u starších přístrojů na měření prodyšnosti. Rozlišují se nádržkové manometry se svislou a šikmou trubicí.

Pro tlakoměry s nádržkou je tlakový rozdíl určen ze vztahu [15]:

$$\Delta p = (\rho_K - \rho) g l \left(\frac{S_T}{S_N} + \sin \phi \right), \quad (20.)$$

kde:

- l délka hladiny v trubici vychýlená od nulového tlakového rozdílu [m],
- S_T plocha průřezu trubice [m^2],
- S_N plocha průřezu nádržky [m^2],
- ϕ úhel naklonění trubice (pro kolmou trubicí roven $\pi/2$) [rad].

Nádržkové manometry s nakloněnou trubicí umožňují měřit i malé tlakové rozdíly. Jejich nevýhodou je nutnost kalibrace trubic. [14]

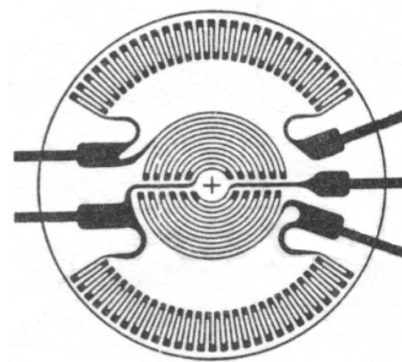
Manometry mají za měřicí kapalinu vodu, líh, rtuť či tetrachlor. Každá tato kapalina má svoje výhody a nevýhody. Nevýhodou kapalin je jejich závislost na teplotě. Odečet je prováděn na stupnici umístěné u trubice či na ní, popřípadě může být doplněn o plovákový ukazatel, (Obr. 13d). [11]

Výhodou manometrů je obecně jejich levné pořízení, spolehlivost a relativní přesnost. Mezi nevýhody patří jejich robustnost a neposkytnutí výstupní hodnoty v elektronické podobě pro další zpracování. [11] [14]

1.6.2. Membránové snímače

Jsou snímače, které řadíme do skupiny deformačních snímačů s pružným členem. Podstatou snímače je deformace membrány, kdy na její protější strany jsou přivedeny měřené tlaky. Tlakový rozdíl je definován velikostí deformace membrány snímače, ke které dochází při působení rovnoměrně rozloženým tlakem tak, že je možné změřit radiální a tangenciální složky napětí. Toto napětí je možné měřit pomocí čtyř aktivních tenzometrů umístěných na membráně. Ideálním tenzometrem pro membrány je fóliová rozeta (Obr. 14) se dvěma senzory na okraji pro radiální a dvěma uprostřed pro tangenciální složku napětí, která je vytvořená na fólii a nalepená na snímací element, v tomto případě membránu. [9] [16]

Mezi výhody těchto snímačů patří schopnost odolávat vibracím, měřit velmi rychlé pulzující tlaky, snímače jsou levné, jednoduché na nastavení, malé a přizpůsobivé v různých technických aplikacích. Výhodou je také elektronické snímání. Mezi nevýhody můžeme zařadit výrobní problémy s připojením fólie s rozetou na membránu. Přesnost tenzometrů se pohybuje v rozsahu 0,1 – 0,25% z plného rozsahu přístroje a umožňují měřit jak malé, tak i vysoké tlaky. [11] [14] [16]



Obr. 14. Ukázka fóliové rozety [16].

Tento typ elektronických snímačů je využit u nového zařízení, které je popsáno v praktické části této práce.

2. Přesnost měření

Každý přístroj je charakterizován přesností měření. Odchytky naměřené hodnoty od skutečné označujeme jako chybu měření [17]. Každé měření je charakterizováno nejistotou měření, která je určena na základě informací od výrobce a z naměřených dat, následně je vypočtena dle stanovených pravidel [18].

2.1. Chyby měření a přesnosti přístrojů

Chyba charakterizuje přesnost měření. Chyba měření je možná odchylka měřené hodnoty od skutečné hodnoty, její součástí je velikost a znaménko. Rozlišujeme [17]:

- **Absolutní chyby** – vyjadřuje rozdíl hodnoty naměřené a skutečné (21.). Nehodí se pro vyjádření přesnosti měřicího přístroje, protože je definována v konkrétních jednotkách měřené veličiny.

$$\Delta = x_{nam.} - x_{skut.}, \quad (21.)$$

kde:

Δ absolutní chyba,
 $x_{skut.}$ skutečná hodnota x ,
 $x_{nam.}$ naměřená hodnota x .

- **Relativní chyby** – jde o poměrové vyjádření chyby (22.), tj. podíl absolutní chyby a skutečné hodnoty, nejčastěji v procentech. Redukovaná relativní chyba (23.) je vyjádřena podílem absolutní chyby a rozmezím měření, opět vyjádřena v procentech.

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{x_{skut.}}, \quad (22.)$$

$$\delta_R = 100 \frac{\Delta}{x_{max} - x_{min}}, \quad (23.)$$

kde:

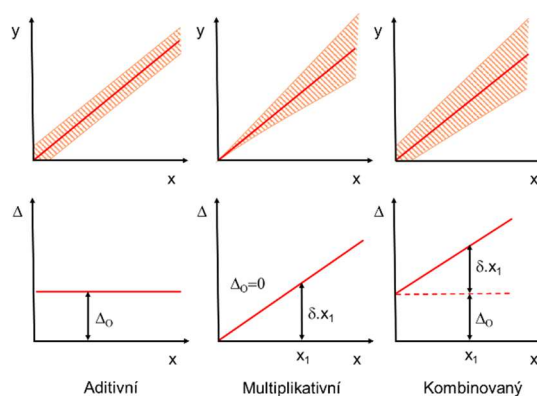
δ relativní chyba,
 δ_R redukovaná relativní chyba.

- **Systematické chyby** jsou složky chyby měření, které při opakovaných měřeních téže veličiny zůstávají stálé, nebo se předvídatelně mění. Ví se, co tyto chyby způsobuje, je známa příčina. Oprava je možná korekcí. Jsou to chyby metody, chyby nuly nebo offsetu, chyby zesílení. Systematické chyby měřicího přístroje se dělí na chyby aditivní (nastavení nulové hodnoty) a multiplikatívni (chyby citlivosti).

- **Chyby náhodné** jsou složky chyby měření, které se při opakování měření nepředvídatelně mění. Nelze ji odstranit korekcí, ale lze ji snížit zvýšením počtu měření a výsledky zpracovat statistickými metodami. Příčinou náhodné chyby může být šum, neznámá změna podmínek měření, zaokrouhlování výsledku měření, nepřesný odečet např. na ukazateli. Opakovaná chyba při měření téhož vzorku je chybou přístroje. V případě měření různých vzorků se jedná o rozptyl parametrů vzorku a chyby přístroje.
- **Chyby hrubé** jsou chyby nevyzpytatelné, znehodnocující celý experiment. Tyto chyby se ze zpracování výsledku vyřazují a označují se jako vybočující.

Při kalibraci přístrojů se pro řadu hodnot vstupních veličin získá řada hodnot výstupních veličin. Opakovaným proměřením získáme soustavu bodů, kdy tyto body leží v tzv. pásu neurčitosti. Střední linie tímto pásem se nazývá nominální charakteristika a bývá uváděna výrobcem. Nominální charakteristika se liší od reálné právě o chybu měřicího přístroje. [17] Rozlišujeme tři základní modely chyb měřicích přístrojů (Obr. 15) [17]:

- Aditivní model
- Multiplikační model
- Kombinovaný model



Obr. 15. Pásky neurčitosti a základní modely chyb měřicích přístrojů [17].

2.2. Nejistoty měření

Nejistoty měření se stanovují při vyhodnocování ve výzkumu a technické praxi. Nejistota měření charakterizuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze zdůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Stanovování nejistot měření se řídí „Pokyny pro vyjadřování nejistoty měření“ (GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [18].

Dle způsobu odhadu lze nejistotu výsledku měření rozdělit na dvě základní části. a to standardní nejistota typu A a typu B. Na jejich základě se dále dá stanovit kombinovaná nejistota a případně rozšířená nejistota s činitelem rozšíření. [18]

2.2.1. Standardní nejistoty typu A – u_a

Standardní nejistoty typu A – u_a jsou charakterizovány odhady rozptylů (nebo odhadnutými směrodatnými odchylkami) a počtem stupňů volnosti (v případě, že je to vhodné, uvádí se také kovariance). Pro správný odhad této veličiny musí být všechna pozorování provedena za stejných podmínek měření. Jednotlivá pozorování měřené veličiny se pak liší ve svých hodnotách v důsledku kolísání ovlivňujících veličin a nebo z důvodu náhodných vlivů. [18]

Standardní nejistota typu A pro experimentální měření vychází z experimentálního výběrového rozptylu a počtu měření. Standardní nejistota typu A u_a je určena [18]:

$$u_a = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{(n-1)n}}; \quad \bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{n}, \quad (24.)$$

kde:

n počet měření,

q_j j -té nezávislé měření veličiny q .

Počet stupňů volnosti je roven $n-1$, a to v případě, že $x_i = \bar{X}_i$ a $u(x_i) = s(\bar{X}_i)$ je vypočten z n nezávislých pozorování dle postupů definovaných v pokynech [18], a který je také uplatněn ve vztahu (24.).

2.2.2. Standardní nejistoty typu B – u_b

Standardní nejistoty typu B - u_b jsou způsobené známými příčinami vzniku. Nejčastěji se vychází z odborného úsudku založeného na všech dostupných informacích, které se týkají měřené veličiny. Těmito informacemi jsou např. dřívější naměřená data, zkušenosti či znalosti chování relevantních materiálů a přístrojů, specifikace přístrojů od výrobce, kalibrační data, údaje z certifikátů či referenční data převzatá z technických příruček. [18]

Standardní nejistoty typu B mohou být stejně spolehlivé jako nejistoty typu A a to obzvláště v případech, kdy hodnocení způsobem A je založeno na poměrně malém počtu statisticky nezávislých pozorování. [18]

Vyjádření standardní nejistoty typu B se liší dle interpretace odhadu vstupní veličiny. V případě odhadování dolní a horní meze měřené veličiny X_i je střední bod intervalu s rozptylem [18]:

$$u_b^2(x_i) = \frac{(a_+ - a_-)^2}{12}, \quad (25.)$$

kde:

a_+ horní mez (hranice) vstupní veličiny X_i ,

a_- dolní mez (hranice) vstupní veličiny X_i ,

přičemž se předpokládá, že je pravděpodobné, že X_i leží kdekoli uvnitř tohoto intervalu.

2.2.3. Kombinovaná standardní nejistota – u_c

V případě nekorelovaných vstupních veličin, tj. nezávislých, je standardní nejistota u_c měřené veličiny Y získána vhodnou kombinací standardních nejistot odhadů vstupů x_1 až x_N . Tato standardní nejistota $u_c(y)$ je kladná hodnota druhé odmocniny kombinovaného rozptylu $u_c^2(y)$, který je získán z rovnice (26.), kde f je dáno z $Y=f(X_1, X_2 \dots X_n)$ a každá $u(x_i)$ je standardní nejistota vyhodnocená dle postupů pro hodnocení u_a a u_b . Pro případ významně korelovaných veličin X_i musí být brána v úvahu korelace a jejich stupeň charakterizovaný odhadem korelačního koeficientu. [18]

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i). \quad (26.)$$

2.2.4. Rozšířená standardní nejistota U

Rozšířená standardní nejistota U (27.) se používá pro zvýšení pravděpodobnosti správného výsledku a to jako dvojnásobek kombinované standardní nejistoty v případě 95% konfidenční úrovně (hodnota měřené veličiny ležící z 95% v uvedeném intervalu), až trojnásobek standardní kombinované, kde se vytvoří interval, který má konfidenční úroveň přibližně 99% [18]:

$$U = K_R \cdot u_c(y), \quad (27.)$$

kde:

U rozšířená standardní nejistota měření,
 K_R koeficient rozšíření <2;3>.

2.2.5. Záznam nejistot

Při interpretaci výsledků musí být jasně popsány použité metody pro výpočet výsledků měření a jeho nejistot. Musí být uveden seznam všech složek nejistot a jejich určení. Měly by být prezentovány analýzy dat a měly by být uvedeny všechny korekce a konstanty při nich použité. [18]

Při záznamu výsledku měření nejistot se má podávat definice měřené veličiny, určit hodnoty odhadu vstupních veličin a uvést určení standardních nejistot typu A a B. Dále se uvádí hodnocení kovariancí příslušných odhadů vstupních hodnot v případě, že jsou korelované. Součástí záznamu je výpočet výsledků měření a určení kombinované standardní nejistoty. Pokud je vyjadřovanou mírou nejistoty rozšířená nejistota U , uvádí se výsledek měření jako $Y=y \pm U$ spolu s jednotkami, přičemž je také uvedena hodnota K_R a přibližná konfidenční úroveň včetně jejího určení. [18].

3. Struktura a vlastnosti textilií

Základními stavebními prvky všech textilií jsou vlákna. Jejich vlastnosti a uspořádání ovlivňují výsledné délkové a plošné textilie.

Prodyšnost textilie je vlastnost plošných textilií, která je závislá na množství a velikosti pórů, tj. otevřených prostorů, které umožňují prostup vzduchu z jedné strany textilie na druhou. Prodyšnost textilie nejvýznamněji ovlivňují mezinitné póry. Toto je dokazováno v řadě prací, které např. cituje Gooijer a sám tento předpoklad následně na základě experimentů potvrzuje [19].

Prodyšnost textilií lze předpovídat bez měření, avšak pro co nejlepší predikci je nutné co nejpřesněji definovat strukturu a vlastnosti textilie.

Pro modelování a možnost popisu porosity je nutno pohlédnout do struktury dané textilie. Popis struktury netkaných textilií a pletenin je velice složitý ve srovnání s tkaninami. Nejvhodnější pro modelování struktury jsou tkaniny.

Opomeneme-li pohled do oblasti molekul, micel a fibril, tak nejmenší sledovanou strukturou textilie je struktura vláken. [20]

3.1. Struktura vláken

Struktura vláken je dána druhem vláken. Vlákna mohou být přírodního či chemického původu, různých geometrických tvarů a mohou být různě zpracována.

Z geometrického hlediska se vlákna liší svou délkou a průměrem včetně různých tvarů v řezu vlákna.

Jemnost vláken T_V [tex] je jejich délková hmotnost:

$$T_V = \frac{m_V}{l_V} = s_V \rho_V, \quad (28.)$$

Kde:

- T_V jemnost vlákna [tex],
- m_V hmotnost vlákna [g],
- l_V délka vlákna [km],
- s_V plocha příčného řezu vlákna [mm^2],
- ρ_V hustota vlákna [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Přidáme-li do vztahu jemnosti plošnou měrnou hmotnost vláken a plochu příčného řezu, můžeme díky ekvivalentnímu průměru d_{ekv} [mm] stanovit jemnost vláken na základě geometrických vlastností a hustoty vláken [20]:

$$d_{ekv} = 2 \sqrt{\frac{T_V}{\pi \rho_V}}, \quad (29.)$$

Ze znalosti tvaru příčného řezu lze stanovit velikost plochy povrchu vlákna a_P [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$] [20]:

$$a_p = 4 \frac{(q+1)}{d_{ekv} \cdot \rho_V} 10^3, \quad (30.)$$

kde q [-] je stupeň rozvinutí tvaru vycházející z obvodu vlákna o_V [mm] a jeho ekvivalentního průměru d_{ekv} [mm] [20]:

$$q = \frac{o_V}{\pi d_{ekv}} - 1, \quad (31.)$$

Mechanické vlastnosti popisujeme nejčastěji prodloužením, pevností a tažností vláken. Z tahových křivek je možné určit mimo jiné i jednotlivé deformace a reologické vlastnosti vláken. [20]

3.2. Struktura nití

Nitě jsou vlákněné útvary, ve kterých jsou jednotlivá vlákna orientována převážně podélně, nejčastěji spojená zákrutem. [20]

Jemnost nitě je vyjádřena lineární hmotností, která vychází z plochy měrné hmotnosti použitého materiálu a součtu ploch vláken v příčném řezu [20]. Jemnost nitě lze určit experimentálně dle vztahu:

$$T_N = \frac{m_N}{l_N}, \quad (32.)$$

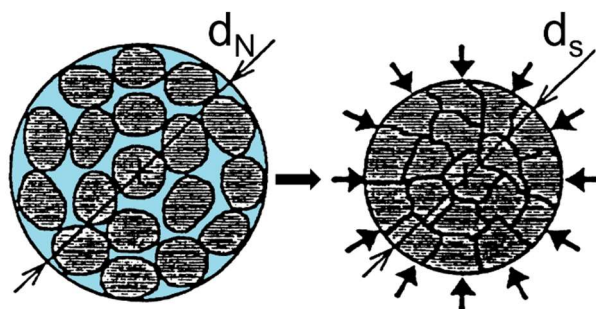
kde:

- T_N jemnost nitě [tex],
- m_N hmotnost nitě [g],
- l_N délka nitě [km].

Průměr nitě je složité jednoznačně definovat. Nit obecně není homogenním válcem, mezi vlákny se objevují vzduchové mezery a hustota průměru není rovnoměrná a směrem k povrchu přechází do oblasti chlupatosti. Průměr nitě můžeme charakterizovat pomocí substančního průměru nitě d_s [mm] (33.), který vychází ze souhrnné plochy vláken v příčném řezu nitě, Obr. 16. [21]

$$d_s = \sqrt{\frac{4T_N}{\pi\rho_V}}. \quad (33.)$$

Substanční průřez je teoreticky nejmenší možný průměr. Ve skutečnosti má reálná nit průměr větší [21]. Zohledníme-li zaplnění μ [-] (kapitola 3.4) nitě, můžeme průměr d_N [mm] stanovit jako:



Obr. 16. Substanční průměr nitě [22].

$$d_N = \sqrt{\frac{4T_N}{\pi\mu\rho_V}}. \quad (34.)$$

Místo zaplnění nitě můžeme přistoupit ke stanovení průměru nitě (36.) pomocí využití koeficientu proporcionality A_K (35.), kde je hustota nitě ρ_N [g.cm⁻³]. Macovei jej definoval pro jednotlivé klasicky vyrobené nitě z přírodních materiálů [23].

$$A_K = \sqrt{\frac{4}{\pi\rho_N}}. \quad (35.)$$

Průměr nitě d_N [mm] se pak stanoví na základě vztahu [23]:

$$d_N = K_d A_K \sqrt{T_N} \quad (36.)$$

kde:

K_d konstanta $31,623 \cdot 10^{-3}$ [-].

Při monotónním kroucení nití je nitím udělován zákrut, což je vkládání otáček do délky nitě. Parametry zákrutu souvisí s jemností a průměrem příze. [21]

3.3. Struktura plošných textilií

Plošné textilie členíme do tří základních skupin podle způsobu vzniku [24]:

- Tkaniny, které vznikají zpravidla provázáním osnovních a útkových nití křížením.
- Pleteniny, to jsou plošné textilie vyrobené vytvářením a propletením oček.
- Netkané textilie, což jsou textilie, ve kterých jsou jednotlivá vlákna zpevněna mechanicky, chemicky či termicky.

Na popis a modelování jsou nejvhodnějšími tkaniny, avšak i při popisu struktury tkanin se setkáváme s mnoha zjednodušujícími předpoklady, aby bylo možné modely definovat.

3.3.1. Tkaniny a jejich vazby

Tkanina zpravidla vzniká provázáním osnovních a útkových nití křížením. Podle toho, jaký je vzájemný způsob provázání obou soustav nití, vytvářejí se různé vazby. Základní typy vazeb jsou plátňová, keprová a atlasová [24].

Plátňová vazba je nejjednodušší a vzniká pravidelným střídáním skupin osnovních a útkových vazných bodů. Střída vazby základní plátňové vazby je 2 x 2 vazné body (Obr. 17), kdy všechny vazné vlny (osnovních a útkových nití) jsou zakříženými úseky.

Vazba keprová je charakteristická pravidelným šikmým řádkováním. U základního třívazného kepru se pravidelně střídá jeden vazný bod útkový a dva a více bodů osnovních (u kepru osnovního, Obr. 18), přičemž každá následující řada je posunuta o jeden vazný bod doprava (popřípadě doleva).

Vazba atlasová je charakteristická pravidelným rozmístěním vazných bodů tak, že se sebou v případě osnovního atlasu vazné body útkové nesousedí. Pravidelně se střídá jeden vazný bod útkový a dva a více bodů osnovních (v případě osnovního atlasu, Obr. 19) a každá následující řada začíná posunuta o uvedené číslo postupné.

Rozšířením a odvozením od základních vazeb vzniká široká škála dalších vazeb.

S ohledem na provázání tkaniny lze jednotlivé vazby popsat opravným činitelem f^m [-], který u vazby charakterizuje počty průchodů nití z líce na rub a posun nití od sebe ve volných vazbách. [25]

Stupeň provázání tkaniny f [-] je [25]:

$$f = \frac{p_r}{\frac{p_p}{p_n}},$$

kde:

p_r počet řádků ve střídě vazby [-],

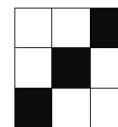
p_p počet průchodů útku mezi rubem a lícem [-],

p_n počet vazných bodů ve střídě vazby [-].

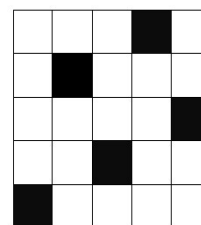
Veličina m [-] je vazebním exponentem, který vystihuje možnost podsouvání nití pod sebe ve volných vazbách a tak u volnějších tkanin dochází k vyšším hodnotám dostav tkaniny. S rostoucím počtem volných vazných bodů roste vazební exponent m . Vazební exponenty m byly stanoveny Brierleyem na základě experimentů. [25]



Obr. 17. Střída
plátnové vazby.



Obr. 18. Střída
keprové vazby $K \frac{1}{2} Z$



Obr. 19. Střída
atlasové vazby

$$A \frac{4}{1} (2)$$

(37.)

3.3.2. Parametry tkanin

Základním prvkem tkaniny je vazná buňka. Každá buňka obsahuje vazný bod, který může být osnovní či útkový. V případě, že je na lící straně osnovní nit, tak se jedná o osnovní vazný bod.

Vazná buňka tkaniny je okolí zakřížení osnovní a útkové nitě, které obsahuje kromě samotného překrytí osnovní a útkové nitě také část oblasti útkových a osnovních nití viz. Obr. 20 [25].

Na základě velikosti vazné buňky můžeme vyjádřit rozestupy osnovních a útkových nití, které vychází z dostavy osnovy D_o [m^{-1}] a dostavy útku D_U [m^{-1}] dle vztahů [25]:

$$l_o = \frac{1}{D_o}, \quad (38.)$$

$$l_U = \frac{1}{D_U}, \quad (39.)$$

kde:

l_o skutečný rozestup osnovních nití [m],

l_U skutečný rozestup útkových nití [m].

Dostava nití v tkanině charakterizuje počet nití na jednotku délky. Nejčastěji se určuje na 1cm či 10 cm, s ohledem na jemnost nití.

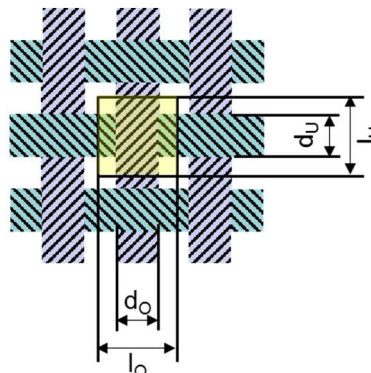
Vazná buňka a její půdorysné plochy nití slouží k charakteristice stupně zakrytí Z [-] tkaniny [25]:

$$Z = \frac{d_U l_o + d_o l_U - d_o d_U}{l_U l_o}. \quad (40.)$$

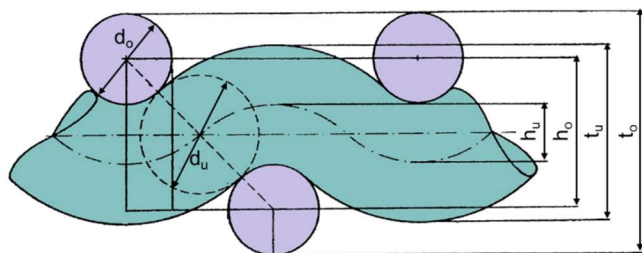
Průměry nití osnovních d_o [m] a útkových d_U [m], jak už bylo uvedeno výše, jsou problematické stanovit. Existuje řada postupů pro určení průměrů nití [20], [25]. Jejich stanovení vychází ze zjednodušujících předpokladů, kdy některé práce předpokládají i jejich deformace v místě vazného bodu [25], [26].

Problémům se stanovením průměrů nitě při výpočtu zakrytí nabízí řešení Piercův faktor zakrytí CF [-] [25]. Ten vychází z průměrné dostavy D_p [m^{-1}] a jemnosti nitě T_N [tex].

$$CF = \frac{D_p}{\sqrt{\frac{1000}{T_N}}}. \quad (41.)$$



Obr. 20. Vazná buňka tkaniny [25].



Obr. 21. Obecné uspořádání tkaniny [23].

Setkání nití ve tkanině je parametr, který poukazuje na míru zkrácení osnovních a útkových nití vlivem provázání. Jednou z veličin, kterou je nutné definovat, je úhel provázání nití a také vyčíslení délky nitě ve tkanině před setkáním a po setkání. Toto je obtížné numericky vyčísřit [25]. Vztahy vychází z modelů řezů vaznou buňkou ve směru osnovy a ve směru útku. Nejznámější je Piercova vazná vlna [27].

V případě, že známe míru setkání a parametry osnovních a útkových nití, můžeme vypočítat hmotnost tkaniny vztaženou na plochu měřené textilie, označovanou jako plošnou hmotnost m_p [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]. [23]:

$$m_p = \left[D_o \left(1 + \frac{s_o}{100} \right) T_o + D_u \left(1 + \frac{s_u}{100} \right) T_u \right] \cdot 10^{-6}, \quad (42.)$$

kde:

- s_o setkání osnovy [%],
- s_u setkání útku [%].

Tloušťka tkaniny t_T [m] je kolmá vzdálenost mezi horní a spodní stranou textilie, jsou-li obě soustavy nití v jedné rovině, tak tloušťka tkaniny odpovídá součtu průměrů osnovních a útkových nití (43.) za předpokladu kruhových průřezů nití [23].

$$t_T = d_o + d_u. \quad (43.)$$

V praxi však vystupuje na povrch pouze jedna ze soustav a to ta, která má větší hodnotu součtu výšky obloučku provazující nitě a průměru nitě viz. Obr. 21. Tloušťka tkaniny t_T (pro $t_o > t_u$) je [23]:

$$t_T = t_o = h_o + d_o, \quad (44.)$$

kde:

- h_o výška obloučku osnovní nitě [m],
- h_u výška obloučku útkové nitě [m],
- t_o tloušťka obloučku osnovní nitě [m],
- t_u tloušťka obloučku útkové nitě [m].

Výšky zvlnění (obloučků) h_o a h_u lze stanovit na základě Smirnových výšek vln [23], ale vztahy jsou poměrně složité a nepřehledné. Autoři příručky [23] uvádí graficko-výpočetní metodu pro snadnější určení.

3.4. Zaplnění

Zaplnění textilních útvarů je obecně dáno objemem vláken ku objemu celého textilního útvaru. Objem vláken uvnitř útvaru je roven nebo menší než objem celého útvaru. Rozdíl těchto objemů vyjadřuje objem vzduchu mezi vlákny. [20]

Zaplnění můžeme vyjádřit několika způsoby [21]:

- Objemová definice zaplnění

$$\mu = \frac{V_f}{V_c}, \quad (45.)$$

kde:

μ zaplnění [-],
 V_f objem vláken [m^3],
 V_C objem celkový [m^3].

- Plošná interpretace zaplnění

$$\mu = \frac{s_v}{s_c}, \quad (46.)$$

kde:

s_v plocha řezů vláken [mm^2],
 s_C celková řezná plocha útvaru [mm^2].

- Hmotnostní interpretace zaplnění

$$\mu = \frac{\gamma}{\rho_v}, \quad (47.)$$

kde:

γ měrná hmotnost vlákenného útvaru [$kg \cdot m^{-3}$].

Míru zaplnění je možné vyjádřit několika typy zaplnění, které ve své práci uvádí Neckář [21]. Ten vychází z hexagonální vlákenné struktury a řezu paralelním svazkem válcových vláken. Uvádí čtyři typy struktur [20][21]:

- Limitní struktura – ve které se vlákna vzájemně dotýkají a vzdálenost vláken od sebe je nulová. V této struktuře jsou vlákna zcela omezena ve svém pohybu. Zaplnění limitní struktury, vycházející z hexagonální vlákenné struktury, je $\mu \cong 0,907$.
- Kompaktní struktura – v níž je vzdálenost vláken od sebe menší než polovina jejich průměru. Vlákna mají omezený individuální pohyb

a vlákno, které se snaží projít mezi jinými vlákny musí na ně vyvinout takovou sílu, že posune dvě a více vláken, které mu brání v pohybu. Zaplnění kompaktní struktury, vycházející z hexagonální vlákenné struktury, je $\mu \cong 0,403$.

- Volná struktura – je charakteristická tím, že vzdálenost mezi vlákny je větší než průměr vláken. V této struktuře může vlákno projít strukturou mezi ostatními vlákny, aniž by došlo k posuvu ostatních vláken. Zaplnění volné struktury, vycházející z hexagonální vlákenné struktury, je $\mu \cong 0,227$.
- Přechodová struktura – je strukturou mezi kompaktní a volnou, z čehož také vycházejí vlastnosti pro prohyb vláken. Zaplnění přechodové struktury, vycházející z hexagonální vlákenné struktury, je v intervalu $\mu \in \langle 0,227; 0,403 \rangle$.

3.5. Pór, porosita a její modelování

Prostor, který v textilií nevyplňují vlákna, ale je vyplněný vzduchem, označujeme jako pór.

V plošné textilií můžeme mít několik druhů pórů:

- V případě, že se pór objevuje mezi jednotlivými nitěmi, jde o mezinitný pór.
- Jestliže jde o pór uvnitř nitě, je označován jako mezivláknový pór.
- Póry uvnitř vláken, které jsou ve vlákně uzavřené.

Podle tvaru a umístění můžeme póry rozdělit na otevřené a uzavřené. Otevřené póry jsou takové, co umožňují průchod vzduchu textilií z jedné strany na druhou. Uzavřené, jak je patrné z názvu, jsou zcela ohraničeny vlákny či jsou uvnitř vláken a vzduch je v nich uzavřen.

Pro prodyšnost textilií jsou významné otevřené póry, co umožňují prostup vzduchu z jedné strany textilie na druhou.

Porosita vyjadřuje podíl objemu vlákenného útvaru vyplněného vzduchem a je definována v případě definice vyplývající z velikostí objemů jako [21]:

$$P = \frac{V_U - V_{VL}}{V_U}, \quad (48.)$$

kde:

- P porosita [-],
- V_U celkový objem vlákenného útvaru [m^3],
- V_{VL} objem vláken v útvaru [m^3].

Tento způsob vyjádření porosity vychází ze znalosti objemů vlákenných útvarů a je odvozen z objemového zaplnění definovaného vztahem (45.).

Další možností interpretace porosity je hmotnostní vyjádření, které se odvodí jako doplněk hmotnostního zaplnění stanoveného vztahem (47.).

Avšak ani jedno z výše uvedených vyjádření porosity nic neříká o rozmístění a tvaru pórů v útvaru. Přičemž dvě textilie se shodným množstvím pórů, ale jinak rozloženými a o jiné velikosti, mohou mít různou prodyšnost.

Stanovení porosity textilie je možné mnoha způsoby a to buď přímo a nebo nepřímo. Přímé metody jsou takové, kdy měříme vlastnosti textilie, které přímo souvisí s porositou materiálu. Mezi přímé metody patří hustoměrná metoda, metoda objemová či metoda optická. Nepřímé metody určení pórovitosti jsou metody stanovené na základě experimentálního zjištění prodyšnosti pomocí zkušebních přístrojů a následné stanovení porosity vycházející z modelů popisujících proudění tekutiny. Přehledný popis těchto metod ve své práci uvádí Halasová. [28]

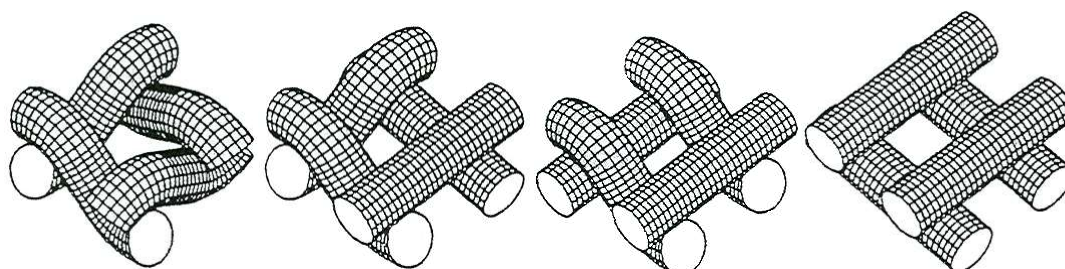
3.5.1. Modely pórů dle geometrických parametrů

Definováním porosity a pórů textilií, konkrétně tkanin, na základě modelů se zabývalo mnoho vědeckých pracovníků. Bylo navrženo několik teoretických modelů, které stanovují velikosti a tvary pórů v textilií na základě konstrukčních parametrů nití použitých vazeb a vzorů. Většina prací, které se zabývají popisem porosity a prodyšnosti, zanedbává prodyšnost nití. Nítě se uvažují jako monofil nebo multifil, v některých případech je tkanina nahrazována kovovou mřížkou.

3.5.1.1. Backerovy typy pórových buněk

Backer se zabýval geometrií struktury tkaniny. Provedl studii geometrie pórů. Ve své práci uvádí 4 základní pórové buňky (Obr. 22). Přijímá Piercovu hypotézu zakřivení a válcových částí nitě, kdy nitě ve tkanině se skládají z úseků a to kruhového válce a dvou zakřivených válců. [27]

Vazba tkaniny určuje počet typových pórů, každá vazba se skládá z jednoho až čtyř (což je ojedinělé) typových pórů, které Backer uvádí.



typ 1

Obr. 22.

typ 2

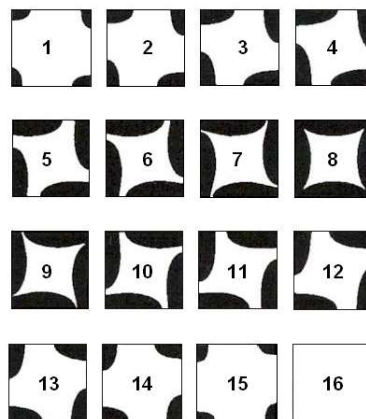
typ 3

typ 4

Typy jednotlivých pórových buněk ve tkanině podle Backera [27].

Uvažuje prostup vzduchu textilií pouze mezi jednotlivými nitěmi, ne nití. Možnost přijetí tohoto předpokladu potvrdil svou prací již Robertson. [29] Backer udělal horizontální řezy tkaninou pro všechny 4 typy pórových buněk, na Obr. 23. je ukázka řezů pórovou buňkou typu 1. Obdobně jako Bailey, který uvádí fotografie řezů tkaninou tkanou třemi barevnými nitěmi [30].

Typ 1 má nejmenší průřez póru, naopak typ 4 největší. Podle velikosti plochy póru může být předpokládána velikost odporu, který tkanina klade prostupujícímu vzduchu. S rostoucí plochou póru klesá odpor prostupujícímu vzduchu. [27]



Obr. 23. Řezy Backerovou pórovou buňkou typu 1 [27].

3.5.1.2. 2-D model porosity

U 2-D modelu porosity plocha póru vychází z kolmého promítnutí tkaniny do roviny. 2-D porosita P_{2D} [-] je tedy v tomto případě chápána jako doplněk k podílu plošného zakrytí tkaniny CF [31]:

$$P_{2D} = 1 - CF, \quad (49.)$$

kde CF můžeme vyjádřit z rovnice (41.) při znalosti jemnosti nitě nebo na základě parametrů nitě v tkanině (40.) [31]:

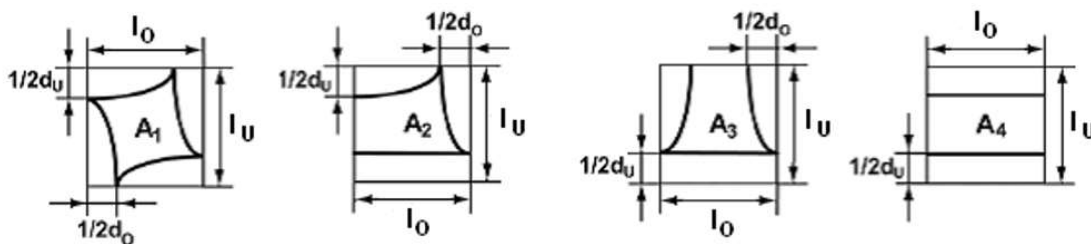
$$CF = Z = D_o d_o + D_u d_u - D_o D_u d_o d_u \quad (50.)$$

Tento model zcela zanedbává třírozměrnou strukturu a tvarové odlišení pórů tkaniny. V případě hustě dostavených tkanin z tohoto stanovení póru vyplývá nulová velikost průmětů pórů, tzn. nulová porosita. [31]

3.5.1.3. Gooijerův model porosity

Třírozměrným zanedbáním struktury u klasického 2-D pórového modelu a tvarovým zohledněním odlišností póru tkanin se ve své práci zabýval Gooijer [19]. Svoji úvahu založil na šikmém průchodu vzduchu póry textilie.

Vycházel z Backerova rozdělení pórů v tkanině, Obr. 22. Uvedený model je pro monofilové tkaniny, čili také nepředpokládá průchod vzduchu mezinitnými póry. Tento model předpokládá šikmý průchod vzduchu póry mezi nitěmi.



Obr. 24. Průměty jednotkových pórových buněk typu 1 – 4 podle Gooijera [19].

Gooijer provedl průmět průřezů „šikmých“ pórů do roviny tkaniny (Obr. 24), pro jednotlivé typy pórových buněk stanovuje plochu póru a obvod póru. [19]

Plochy pórů typu 1 až 4 jsou [19]:

$$A_1 = l_U l_O - \frac{\pi \cdot d_U}{4} \left(l_O - \frac{d_O}{2} \right) - \frac{\pi \cdot d_O}{4} \left(l_U - \frac{d_U}{2} \right), \quad (51.)$$

$$A_2 = l_U l_O - \frac{\pi \cdot d_U}{8} \left(l_O - \frac{d_O}{2} \right) - \frac{\pi \cdot d_O}{8} \left(l_U - \frac{d_U}{2} \right) - \frac{d_U}{2} l_O, \quad (52.)$$

$$A_3 = l_U l_O - \frac{d_U}{2} l_O - \frac{\pi \cdot d_O}{4} \left(l_U - \frac{d_U}{2} \right), \quad (53.)$$

$$A_4 = l_U l_O - l_O d_U, \quad (54.)$$

kde:

$A_{1,2,3,4} \dots$ plocha průměru póru typu 1 (2, 3 nebo 4) [m²].

Obvod póru typu 1 je [19]:

$$O_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{d_O}{2}\right)^2 + \left(l_U - \frac{d_U}{2}\right)^2}{2}} + \pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{d_U}{2}\right)^2 + \left(l_O - \frac{d_O}{2}\right)^2}{2}}, \quad (55.)$$

kde:

$O_1 \dots$ obvod póru typu 1 [m].

Obdobně odvozuje vztahy obvodu póru pro typy 2 až 4 [19].

Porositu dle modifikovaného Gooijerova modelu póru je možno stanovit jako [31]:

$$P_G = \frac{m_1 A_1 + m_2 A_2 + m_3 A_3 + m_4 A_4}{l_O n_{SO} l_U n_{SU}}, \quad (56.)$$

kde:

$P_G \dots$ porosita podle Gooijera [-],

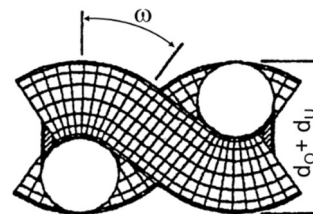
$m_{1,2,3,4} \dots$ počet pórů typu 1 (2, 3 nebo 4) obsažených ve střídě [-],

$n_{SO} \dots$ počet vazných bodů ve střídě ve směru osnovy [-],

$n_{SU} \dots$ počet vazných bodů ve střídě ve směru útku [-].

3.5.1.4. 3-D model porosity stanovený Luem

Dalším, kdo se zabýval modelováním pórů, je Lu a kolektiv [32]. Vychází z definice 4 pórů stanovených Backerem [27]. Porositu stanovuje pro monofilové nitě. Objem zakřivené nitě V_{ZN} typu 1 stanovuje (Obr. 25), za předpokladu rovnosti průměru nití $d_o=d_u$, a rovnosti vzdálenosti nití $l_o=l_u$, jako [32]:



Obr. 25. Boční pohled na pórovou buňku typu 1 [32].

$$V_{ZN} = \frac{\pi d_o^2 \sqrt{l_o^2 - 3d_o^2}}{4} + \frac{\pi \omega d_o^3}{2}, \quad (57.)$$

kde:

V_{ZN} celkový objem zakřivené nitě [m^3],
 ω úhel provázání [rad].

Plocha zakřivené nitě A_c [m^2] je [32]:

$$A_c = \pi d_o \sqrt{l_o^2 - 3d_o^2} + 2\pi \omega d_o^2. \quad (58.)$$

Porositu stanovuje jako [32]:

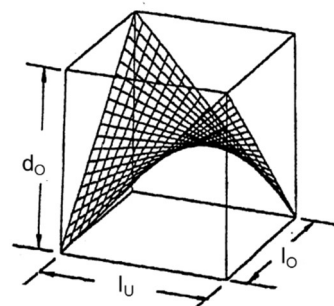
$$P_L = \frac{2d_o l_o^2 - 2V_{ZN}}{2d_o l_o^2}, \quad (59.)$$

kde:

P_L porosita dle Lu [-].

Ve své práci [32] také uvádí postup pro stanovení porosity a objemu zakřivené nitě pro typ č. 2 Backerových buněk.

Dále obecně popisují tvar 3-D modelu póru (Obr. 26), kdy podíl otevřené plochy póru umožňující vstup vzduchu pro první typ pórové buňky definované Backerem je [32]:



Obr. 26. Tvar plochy póru plátňové vazby [32].

$$\alpha_P = \frac{\sqrt{\left(\frac{l_u}{d_o}\right)^2 + 1}}{2 \frac{l_u}{d_o}} + \frac{l_u}{2d_o} \ln \left(\frac{1 + \sqrt{\left(\frac{l_u}{d_o}\right)^2 + 1}}{\frac{l_u}{d_o}} \right) - \frac{1}{\frac{l_u}{d_u}} - \frac{\sqrt{\left(\frac{l_u}{d_o}\right)^2 + 1}}{\frac{l_u}{d_o} \frac{l_o}{d_o}} \left(1 - \frac{1}{\frac{l_u}{d_u}} \right), \quad (60.)$$

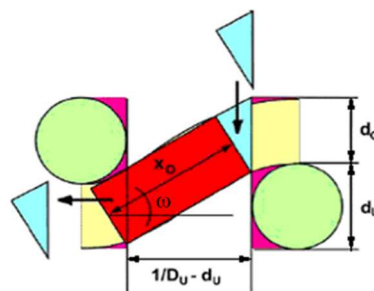
kde:

α_P podíl otevřené plochy póru [-].

V práci [32] uvádí velikosti Backerovy pórové buňky typu 2.

3.5.1.5. 3-D model porosity podle Havrdové

Havrdová – Havlová uvádí jiné zpracování jednotlivých Backerových rozlišení buněk. Opět je zanedbávána porosita uvnitř nitě a model je navrhnut pro oděvní tkaniny ze staplových přízí. [31]



Obr. 27. Schéma modelu buňky dle Havrdové [31].

Schéma modelu je uvedeno na Obr. 27.

Celkový objem V_C libovolné pórové buňky stanovuje Havrdová jako [31]:

$$V_{OC} = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} (d_o + d_u), \quad (61.)$$

kde:

V_{OC} celkový objem libovolné pórové buňky [m^3].

Tento celkový objem pórové buňky je však vyplněn několika částmi osnovních a útkových nití. Část nití zaujímá objem [31]:

$$V_{VB} = d_o d_u (d_o + d_u), \quad (62.)$$

kde:

V_{VB} objem hmoty nitě, který zasahuje do celkového objemu pórové buňky [m^3].

Dále část objemu pórové buňky vyplňuje polovina objemu nezakříženého spojovacího úseku osnovní nitě ve tvaru válce [31]:

$$V_{ZO-} = \frac{\pi d_o^2}{8} \left(\frac{1}{D_u} - d_u \right), \quad (63.)$$

kde:

V_{ZO-} objem nezakříženého úseku osnovní nitě [m^3].

V pórové buňce se také objevuje zakřížený spojovaný úsek osnovní nitě, který lze modelovat válcem. Polovina objemu tohoto válce je objem, který vyplňuje část celkového objemu pórové buňky [31]:

$$V_{ZO+} = \frac{\pi d_o^2}{8} \frac{\left(\frac{1}{D_u} - d_u \right)}{\cos \omega_o}, \quad (64.)$$

kde:

V_{ZO+} objem zakříženého úseku osnovní nitě [m^3],

ω_o úhel provázání osnovní nitě [rad].

Obdobně stanovuje zaplňující objemy útkových nití.

Havrdová nově zavedla rozlišení orientace pórové buňky Backerova typu 3 [31]:

Pór 3A: 2 nezakřížené osnovní úseky a 2 zakřížené útkové úseky.

Pór 3B: 2 zakřížené osnovní úseky a 2 nezakřížené útkové úseky.

Z uvedených vztahů lze vypočíst pro jednotlivé pórové buňky objemy nevyplněné hmotou nitě a na jejich základě stanovit porositu tkanin s libovolným typem vazby jako [31]:

$$P_H = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2 + m_{3A} V_{3A} + m_{3B} V_{3B} + m_4 V_4}{V_{OC} n_{SO} n_{SU}}, \quad (65.)$$

kde:

P_H porozita 3-D zjednodušeného modelu podle Havrdové [-],

$V_{1,2,4}$ objem nevyplněný hmotou nitě pro buňku typu 1, 2 nebo 4 [m³],

$V_{3A,3B}$ objem nevyplněný hmotou nitě pro buňku typu 3A nebo 3B [m³],

$m_{3A,3B}$ počet typů pórů 3A nebo 3B obsažených ve střídě [-].

Havrdová ve své práci [31] provedla porovnání svého 3-D modelu s modelem 2-D a modelem podle Gooijera. Korelace mezi naměřenými hodnotami prodyšnosti a hodnotami odhadovanými, podle výše uvedených vztahů, se ukázala nejvyšší u 3-D modelu Havrdové.

Výše uvedené modely pro stanovení pórovitosti tkaniny však nezohledňují rozmístění jednotlivých typů pórových buněk v tkanině s ohledem na druh vazby. Pro prodyšnost je druh vazby velmi důležitý a tak Havrdová ve své práci [31] navrhuje souhrnný parametr S_{PT} [-]:

$$S_{PT} = P \cdot f^u, \quad (66.)$$

kde:

u relativní posunutí provázání sousedních útkových nití [-].

Havrdová vychází z teorie publikované Noskem [25], který uvádí opravné činitele f^m , kapitola 3.3.2 Parametry tkanin. Definuje pro relativní posunutí provázání sousedních útkových nití vztah [31] v podobě:

$$u = \frac{n_{pos}}{n_{OS}}, \quad (67.)$$

kde:

n_{OS} počet osnovních nití ve střídě vazby [-],

n_{pos} počet vazných bodů, o které je vzájemně posunuto zakřížení sousedních útkových nití [-].

3.5.2. Modely dle principů mechaniky tekutin

Modely textilií při měření prodyšnosti je možné charakterizovat na základě zákonů mechaniky tekutin. Těmito typy modelů se ve své práci rozsáhle zabýval Gooijer [19].

3.5.2.1. Pórový model

U pórového modelu je plošná textilie pojata jako deska s válcovými otvory, které jsou kolmé na její povrch. U tohoto modelu může být obecně aplikován Darcyho zákon [4] z mechaniky tekutin (14.) uvedený v kapitole 1.4. Tento vztah vyjadřuje tlakové ztráty na délce otvoru, kterým tekutina protéká. Pórový model je popsán propustností κ [19].

Nejdůležitějšími předpoklady pro pórové modely je laminární tok a pórový materiál, který je považován za rovinu s válcovými póry kolnými k ploše. Pro laminární tok a tlakové ztráty válcovým pórem platí Hagen-Poiseuillova rovnice vycházející ze vztahu (68.). Průměrná rychlost laminárního toku v póru chápaném jako horizontálním potrubím je [4]:

$$\bar{v} = \frac{\Delta p d_{por}^2}{32 \mu L}, \quad (68.)$$

kde:

d_{por} průměr póru [m].

Z výše uvedených vztahů a přijutím předpokladu, že póry, kterými prochází vzduch, nejsou přímé a kruhové, stanovuje Carman-Kozényho vztah pro koeficient prodyšnosti (69.). Kozényho konstanta je ve většině případů v intervalu 5,5 – 6. [19]

$$\kappa = \frac{P d_{por}^2}{16 \cdot k_0}, \quad (69.)$$

kde:

k_0 Kozényho konstanta [-].

Gooijer [19] uvedl průměr póru jako funkci průměru nitě d_N [m] a porosity P [-]:

$$d_{por} = \frac{P}{1-P} d_N. \quad (70.)$$

Kulichenko na základě Darcyho a dalších zákonů mechaniky tekutin uvádí model určující rychlost proudu vzduchu procházejícího textilií (71.). Jeho model má kruhové válcové póry a rovnice platí pro laminární tok vzduchu. [33]

$$v = \frac{\Delta p}{80 \eta} K_K, \quad (71.)$$

kde konstanta K_K [m] je zavedena jako strukturální souhrnný index (72.) charakterizující hydraulický průměr pórů d_h [m], tloušťku textilie t_T [m] a porositu P [-] [33]:

$$K_K = \frac{d_h^2 P}{t_T}. \quad (72.)$$

Kulichenko tento model ověřuje na základě tří metod stanovení strukturálních parametrů (d_h a P) a jejich užití při výpočtu rychlosti vzduchu procházejícího textilií. Tuto vypočtenou rychlost porovnávají s experimentálními daty. [33]

3.5.2.2. Otvorový model

Tento typ modelů je charakterizován otvory, které se zužují a následně rozšiřují. Robertson [29], Gooijer [19] [34], Lu [32] a další tyto modely prezentovali pomocí výtokového koeficientu.

Výtokový koeficient stanovený již Pedersenem (73.) a využitý v práci např. Gooijera [19], Lua [32], zohledňuje mimo jiné velikost otevřené plochy póru a tlakové ztráty vzduchu při jeho průtoku pórem:

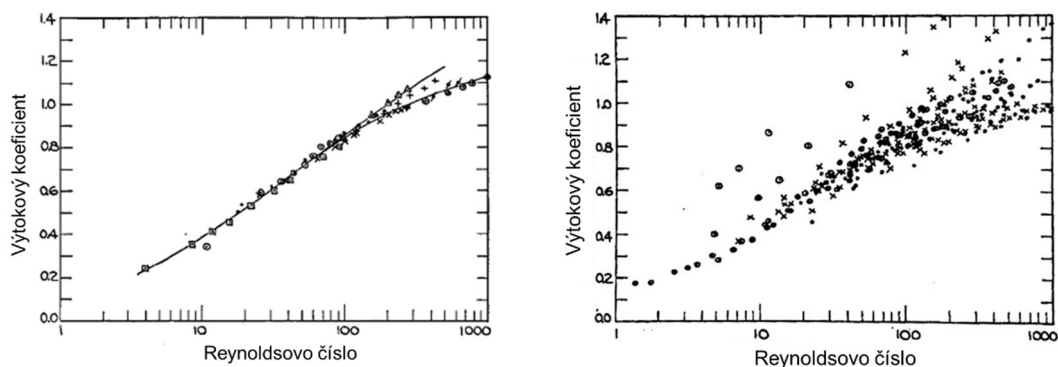
$$C_D = \sqrt{\frac{\rho v^2 (1 - \alpha_p^2)}{2 \Delta p \alpha_p^2}}, \quad (73.)$$

kde:

C_D průtokový koeficient [-],
 ρ hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Výtokový koeficient lze také vyjádřit jako funkci Reynoldsova čísla. Nalezením přesného vztahu výtokového koeficientu jako funkce Reynoldsova čísla pro textilní materiály se zabývala řada autorů, např. [19] [32].

Robertson se zabýval porovnáním měření průtoků mezi kovovou mřížkou a skutečnou textilií. Na základě empirického vztahu stanovuje výtokový



Obr. 28. Závislost výtokového koeficientu na Re pro kovové mřížky (vlevo) a textilie (vpravo) dle [29].

koeficient pro kovovou mřížku a provádí proměření různých mřížek (Obr. 28 vlevo). Následně tuto metodu aplikuje také na textilní materiály (Obr. 28 vpravo). [29]

Lu a kolektiv [32] se zabývali průtokem vzduchu a jeho modelováním pomocí softwaru Fluent. Stanovili výtokový koeficient jako funkci Reynoldsova čísla pro monofilové nitě v tkaninách na základě experimentu ve tvaru [32]:

$$C_D = 0,18Re^{0,49}. \quad (74.)$$

Gooijer a kolektiv definoval vztah mezi výtokovým koeficientem a Reynoldsovým číslem pro strukturu tkanin z monofilových nití při laminárním proudění a $Re < 25$ [34]:

$$C_D = 0,08Re^{0,5}. \quad (75.)$$

U multifilových nití je přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním při nižších hodnotách Re a to již v oblasti 1 až 10, protože povrch nitě je hrubší. Pro multifilové nitě byl skupinou Gooijera nalezen vztah (76.) na základě experimentálních měření ve tvaru [35]:

$$C_D = B.Re^{0,5}, \quad (76.)$$

kde:

B číselná konstanta [-] (pro vzorky měřené v [35] je v rozsahu 0,075 až 0,16).

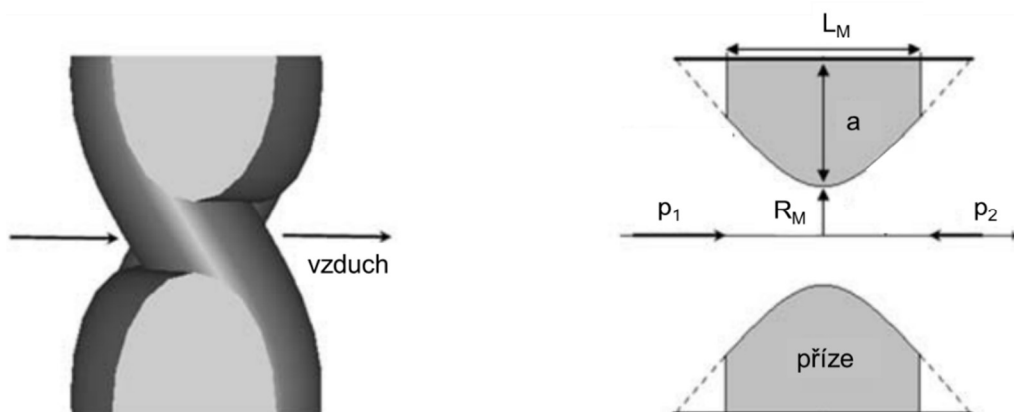
3.5.2.3. Odporový model

Odporový model popisuje proudění tekutiny textilním materiálem, který nemá přímé válcové póry celou tloušťkou textilie kolmé na její rovinu. Nitě vytvářejí překážky proudící tekutině. V těchto modelech je uvažováno obtékání válců, kapitola 1.3, kdy obtékaný válec klade toku odpor. Je tu významný vliv sousedních válců, který by neměl být zanedbán. Někteří řešitelé tento vliv zanedbávají, jiní se jím zabývají a to vede k složitým vztahům. Podrobnou studii uvádí Gooijer [19].

Mezi tento typ modelů se nabízí zařadit také model Xiao s kolektivem [36]. Ti se zabývali tvarem průtokového kanálu a definovali model vycházející z tvaru nitě při provedení řezu tkaninou ve středu póru, Obr. 29 vlevo. Nitě v oblasti póru, kterým prochází vzduch, mají parabolický tvar, Obr. 29 vpravo.

Vzduch natlakovaný pod tlakem p_1 prochází textilií do otevřeného prostředí s atmosférickým tlakem p_2 . Model nepředpokládá pohyb nití, nitě jsou neprodyšné a na jejich povrchu je rychlost nulová, zatím co ve středu kanálu

je maximální. Pro proud tekutiny se předpokládá ustálené laminární proudění v kolmém směru k textilii, kdy příčná složka rychlosti je zanedbatelná. [36]



Obr. 29. Hranice tvaru průtokového kanálu mezi dvěma nitěmi [37].

Rychlost vzduchu je definována dle vztahu [36]:

$$v = \frac{2\Delta p}{5\pi\eta} \frac{R_M^4}{\sqrt{\beta a R_M (a + R_M)^2}}, \quad (77.)$$

kde:

- β parametr rozevření paraboly – tvaru nitě [-],
- R_M polovina vzdálenosti mezery mezi nitěmi (poloměr póru) [m],
- a polovina průměru nitě [m].

Parametr β charakterizuje tvar, rozevření paraboly, tedy velikost zploštění nitě v textilii. Tento parametr je úměrný poměru druhých mocnin šířky nitě L_M [m] ve směru toku vzduchu a poloměru nitě a na něj kolmém [37]:

$$\beta \propto \frac{L_M^2}{a^2}. \quad (78.)$$

Tento model autoři dále využívají pro predikci prodyšnosti uvedenou níže v kapitole 4.4.1.

4. Prodyšnost textilií

Prodyšnost je vlastnost textilie, u které se posuzuje množství prošlého vzduchu textilií. Prodyšnost je také nazývána jako propustnost vzduchu [Air permeability, die Luftdurchlässigkeit]. K prostupu vzduchu textilií dochází na základě rozdílných tlaků na protějších stranách textilie, kdy vzduch textilií prochází mezinitnými a mezivláknennými prostory ve směru od tlaku vyššího k nižšímu s cílem jejich rozdíl snížit. Velikost prodyšnosti je závislá na množství a velikosti prostorů, označovaných jako póry, které umožňují vstup vzduchu z jedné strany textilie na druhou.

Jde o významnou užitnou vlastnost textilií. Prodyšnost textilie ovlivňuje termoregulaci lidského organismu, izolační vlastnosti textilií. U textilií

určených pro oděvní účely má vliv na komfort při užívání a ovlivňuje hygienickou složku. Je také důležitou užitnou vlastností nejen u textilií pro oděvní účely, ale i u textilií pro technické účely. S ohledem na užití dané textilie je požadována různá hodnota prodyšnosti, u některých je tato vlastnost vyžadována, u jiných je považována za nežádoucí. Prodyšnost je důležitým faktorem například u airbagů, padáků či filtračních textilií.

4.1. Definice prodyšnosti

Prodyšnost je definována jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo vzorkem textilie při definovaném rozdílu tlaků na protějších stranách textilie, době a zkušební ploše. [1]

Měření je stanoveno normami, v České republice se nejčastěji užívá česká norma ČSN EN ISO 9237 [1], která je identická s EN ISO 9237:1995 [38] a nahrazuje již neplatnou normu ČSN 800817. Měření mohou probíhat i podle norem jiných zemí, např. britská [39], německá [40], americká [41] či norma pro měření prodyšnosti netkaných textilií WSP 70.1 [42] atd.

Prodyšnost R je definována vztahem [1]:

$$R = \frac{Q_V}{A} \cdot k, \quad (79.)$$

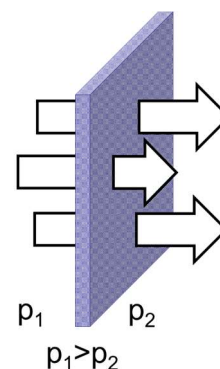
kde:

- R prodyšnost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$],
- Q_V průtok objemový [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
- A plocha vzorku, kterou prochází vzduch [m^2],
- k koeficient převodu jednotek [-].

4.2. Měření prodyšnosti

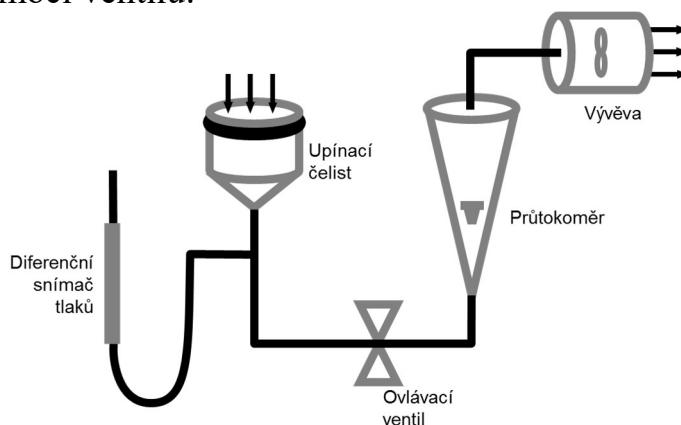
Podstata měření spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi protějšími stranami textilie. Důsledkem vzniklého rozdílu tlaku je snaha tento rozdíl snížit a tak dochází k průchodu vzduchu přes otevřené prostory v textilií, Obr. 30. [43]

Na Obr. 31 je schematicky zakresleno zařízení na měření prodyšnosti, na kterém k vytvoření rozdílu tlaku oproti tlaku atmosférickému slouží vývěva. Ta nasává vzduch a tak vytváří podtlak pod textilií. Druhou možností vytvoření tlakového rozdílu je využití kompresoru, který vytváří přetlak pod textilií a tak „protlačuje“ vzduch textilií.



Obr. 30. Směr prostupu vzduchu textilií.

Obecné schéma zařízení na Obr. 31., jak už bylo uvedeno, pracuje na základě vývěvy nasávající vzduch přes textilií upnutou v upínací čelisti. V závislosti na prodyšnosti textilie je vytvořen tlakový rozdíl měřený diferenčním snímačem tlaků. Množství vzduchu je měřeno průtokoměrem a je regulováno pomocí ventilu.



Obr. 31. Obecné schéma zařízení na měření prodyšnosti (s vývěvou). [43]

4.2.1. Měření statické prodyšnosti

U statické prodyšnosti jsou textilní materiály hodnoceny při konstantním rozdílu tlaků, tzn. že množství vzduchu, které upnutou textilií v upínací čelisti prochází, je odečteno po ustálení tlakového rozdílu. Po celou dobu vzduch prochází textilií jedním směrem konstantní rychlostí. Na tomto způsobu měření prodyšnosti jsou postaveny normy pro měření prodyšnosti textilií uvedené v kapitole 4.1.

4.2.2. Měření dynamické prodyšnosti

Na rozdíl od statického měření prodyšnosti textilií dynamické měření zohledňuje změny rozdílu tlaku vzduchu působícího na textilií v průběhu měření. Tyto změny jsou při užívání textilií běžné a je tedy vhodné textilie hodnotit i dle dynamické prodyšnosti. Dynamická prodyšnost se hodnotí např. u airbagů [44], její měření by mohlo mít své opodstatnění také u padáků a dalších technických textilií, a mohlo by být přínosné ji měřit i u oděvních textilií určených např. pro outdoorové oděvy.

4.3. Zařízení na měření prodyšnosti

4.3.1. Standardní zařízení na měření prodyšnosti

V současné době je na trhu dostupná široká škála zařízení, která jsou standardy a měří dle norem.

Na Fakultě textilní je několik zařízení na měření prodyšnosti. Zařízení včetně rozsahů měření jsou uvedena v Příloze 1. Nejnovějším typem je zařízení firmy FX 3300 [45]. Toto zařízení je automatizované, kdy dle zvoleného tlakového rozdílu a požadovaných jednotek měření je zobrazena hodnota prodyšnosti. Uživatel musí manuálně provádět případné změny rozsahů průtokoměru tak, jak zařízení během měření vyžaduje. Další dva typy zařízení dostupné na Fakultě textilní jsou Metefem FF – 12A [46] a M 021 S [47] od společnosti Atlas. Tyto přístroje jsou ovládány manuálně plně obsluhou. Ta nastavuje požadovaný tlakový rozdíl ručním ventilem, provádí odečet hodnot ze snímačů a zpracování získaných dat. Do měření je tak zanášeno několik chyb kromě nepřesnosti snímačů, hlavně nepřesné nastavení a odečty hodnot. Zařízení jsou významně omezena rozsahy snímačů tlaků a průtokoměrů.

Na trhu je řada dalších zařízení k měření prodyšnosti. Za zmínku určitě stojí zařízení měřící podle standardů, např. zařízení FX3320 [48] a FX 3360 [49] jako další ze série řady FX, která jsou uzpůsobena svou konstrukcí k přenosu, zařízení FX 3360 [49] nabízí měřit i tloušťku textilie a uplatňuje se při kontrole kvality plošných textilií přímo při výrobě. Firma Atlas nabízí následníka zařízení M 021 S a to M 021 A [50], který již disponuje elektronickými prvky a uživatel jej může připojit k počítači a díky originálnímu analytickému softwaru je možné mít data v elektronické podobě přímo v počítači. Zařízení také má ve srovnání s předchůdcem větší rozsahy snímačů průtoku i rozdílu tlaků. Firma Mesdan nabízí zařízení na měření prodyšnosti Air Tronic 3240A, B and C [51]. Společnost Wira nabízí také přístroj na měření prodyšnosti a to WIRA Electronic Air Permeameter [52].

Rozsahy uvedených zařízení včetně jejich možností jsou pro porovnání uvedeny v Příloze 1.

Využití výše uvedených zařízení je však omezené s ohledem na jednoúčelovost, kdy umožňují měření pouze statické prodyšnosti při konstantním tlakovém rozdílu a nenabízí možnost pozorovat další jevy spojené s měřením prodyšnosti.

Firma Textest Instruments kromě výše uvedených zařízení série FX nabízí i zařízení pro speciální měření jako je např. měření v ploše [53] nebo měření textilií s velmi drsným – strukturovým povrchem [54]. Ve světě se prodává řada dalších zařízení na měření prodyšnosti, která měří dle různých norem tak, jak jsou uznávány v jednotlivých státech.

4.3.2. Zařízení pro měření dynamické prodyšnosti a její hodnocení.

4.3.2.1. Standard pro hodnocení airbagů

Pro dynamické měření prodyšnosti airbagů je na trhu k dispozici zařízení FX 3350 Dynamic air permeability tester [44]. Toto zařízení simuluje podmínky, kterým je airbag vystaven během vystřelení při nárazu automobilu. Princip měření spočívá v rychlém nafouknutí prostoru na jedné straně textilie a následném poklesu tlaku v čase. Pokud není k dispozici připojení k počítači, tak jsou k dispozici výsledky na display, popřípadě po připojení tiskárny přehledně vytištěny. Po připojení přístroje k počítači máme k dispozici grafické znázornění závislosti tlakového rozdílu na čase a výšku vydutí airbagu v závislosti na rozdílu tlaků. Výstupem jsou také závislosti prodyšnosti na tlakovém rozdílu a zobrazení závislosti normálového napětí na relativním prodloužení v osách x , y . Při standardním testování airbagu jsou tlaky pod textilií v rozsahu 30 – 70 kPa nárazového natlakování airbagu. [44]

4.3.2.2. Gniotkův přístroj pro hodnocení dynamické prodyšnosti

Dynamickým hodnocením prodyšnosti se ve své práci zabývá Gniotek. Ve své práci [55] popisuje zařízení a metodu hodnocení dynamické prodyšnosti. Využívá zařízení, které má v prostoru upínací čelisti umístěný pohyblivý píst ovládaný elektromagnetickými pulzy. Pohybem pístu dochází k prostupu vzduchu vzorkem textilie, která je upnuta v upínací čelisti. Gniotek analyzuje jednotlivé fáze pohybu a klidového stavu pístu. Na základě porovnání měření textilie a kovové mřížky s kapilárními trubičkami stanovuje vztah pro určení hypotetického tlakového impulzu při konstantní („statické“) změně tlaku (80.) [55]:

$$p'_i(t) = 0,665 p_m(t), \quad (80.)$$

kde:

$p'_i(t)$ tlak při měření textilie v konkrétním čase t při konstantní změně tlaku [Pa],

$p_m(t)$ tlak při měření kovové mřížky v konkrétním čase t při konstantní změně tlaku [Pa].

V tomto případě předpokládá, že nedochází ke změnám ve vzorku v průběhu měření [55].

„Dynamickou prodyšnost“ v podobě tlakové charakteristiky $p_d(t)$ vyjadřuje vztahem :

$$p_d(t) = p'_i(t) - p_i(t), \quad (81.)$$

kde:

$p_i(t)$ tlak při měření textilie v konkrétní čase t při pulsním („dynamickém“) nárůstu tlaku [Pa].

Na základě „statického“ a „dynamického“ měření stanovuje Gniotek index dynamické propustnosti [55]:

$$DP = \frac{\sum_{i=1}^s \left| \int_{t_i}^{t_{i+1}} p'_i(t) dt - \int_{t_i}^{t_{i+1}} p_i(t) dt \right|}{\int_{0_i}^{\tau} p'_i(t) dt}, \quad (82.)$$

kde:

DP index dynamické propustnosti [-],
 s počet měřených společných bodů [-],
 t čas [s].

Toto zařízení je podkladem pro několik dalších prací. Index dynamické propustnosti je využitelný při srovnání vlastností textilií z hlediska chování při statickém a dynamickém zatížení [56].

Tokajská modernizuje tento index navržený Gniotkem a stanovuje index vlivu propustnosti [57]:

$$IP = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{\max_{t>0} p'_i(t)}{\max_{t \geq 0} p_i(t) + \max_{t \geq 0} p'_i(t)} - 0.5, \quad (83.)$$

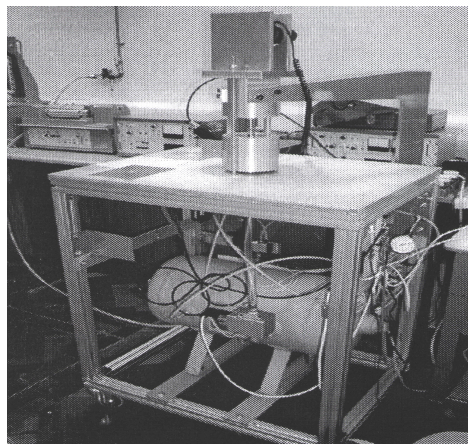
kde:

IP index vlivu propustnosti [-],
 $p'_i(t)$ tlak i -tého měření textilie v konkrétním čase t při konstantní změně tlaku [Pa],
 $p_i(t)$ tlak i -tého měření textilie v konkrétní čase t při pulsním („dynamickém“) nárůstu tlaku [Pa].

Hodnoty indexu IP jsou v rozsahu $\langle -0.5, 0.5 \rangle$. Záporné hodnoty IP poukazují na zvýšení průtoku při dynamické pulzní změně oproti konstantní - statické a objevují se u tkanin s volnými strukturami (tkaniny s výrazně menším počtem útkových nití v porovnání s počtem osnovních). Naopak kladné hodnoty IP poukazují na snížení průtoku vzduchu při náhlé změně v porovnání s konstantní změnou tlaku a jsou u tkanin řídkých, ale silných a pevných. Hodnoty blízké nulové hodnotě IP svědčí o tom, že tlakový rozdíl je konstantní i při dynamické pulzní změně průtoku a tvary póru tak nepodléhají změnám při změnách průtoku, toto se objevuje u tkanin tenkých, hustých a tuhých. [57]

4.3.2.3. Zařízení pro hodnocení prodyšnosti při velkých tlakových rozdílech

Zařízení měřící prodyšnost při vysokých tlacích (Obr. 32) s možností stanovit prodyšnosti v závislosti na čase na základě tlakového rozdílu popisuje ve své práci Bandara a kolektiv [58]. Toto zařízení má velký zásobník tlaku, otevřením ventilu mezi zásobníkem a upínací čelistí se zkoušenou textilií dojde k prostupu vzduchu póry v textilií. Zařízení je automatizované a řízené počítačem. Podstatou je natlakování prostoru pod textilií a sledování jeho postupného vyprazdňování. Zásobník může být natlakován v rozsahu 0,05 – 3 bar. Zařízení je také vybaveno laserovým zaměřovačem středu upnuté textilie, kdy zaměřený střed snímá pod úhlem 45° snímač vzdálenosti umístěný na horní části upínací čelisti.



Obr. 32. Měřicí zařízení pro měření při vysokých tlacích [58].

Je měřen pokles tlaku vzduchu pod textilií v důsledkem jeho prostupu textilií a na základě stavové rovnice je stanoven prošlý objem [58]:

$$V_t = \frac{\left(V_Z \frac{dp}{dt} \right)}{p_{atm}}, \quad (84.)$$

kde:

- V_t prošlý objem [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- V_Z objem zásobníku [m^3]
- p_{atm} atmosférický tlak [Pa]
- p tlak [Pa]

Prodyšnost textilie je stanovena z rovnice (84.) a testovací plochy A [m^2], která má standardní velikost 50 cm^2 . Pro hodně prodyšné textilie se může zvolit menší velikost upínací plochy čelisti. Prodyšnost R [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je vypočtena z rovnice:

$$R = \frac{V_t}{A}. \quad (85.)$$

Výstupem jsou grafy tlakových poklesů a vypočtené prodyšnosti v závislosti na čase. V článku [58] je uvedena ukázka stanovení rovnice regresní křivky pro tlakové poklesy a prodyšnost měřených textilií pro konkrétní textilií. Stručně je také uveden výpočet vydutí textilie při natlakování prostoru ve

spodní části upínací čelisti a graficky znázorněn průběh vydutí v závislosti na čase a velikosti postupného tlakového poklesu.

Dále se dynamickou prodyšností zabývá Xiao s kolektivem, ve své práci [37] popisují experimentální studii dynamické prodyšnosti u tkanin. V práci je využito a popsáno zařízení navržené Bandarou a kolektivem [58]. Porovnávají statické a dynamické měření prodyšnosti. Dynamické měření prodyšnosti probíhá při počátečním tlakovém rozdílu 120 kPa a statické při normou stanovených 100 Pa, popřípadě nižších hodnotách, pokud to vlastnosti tkaniny požadovaly. Ve své práci [37] ukazují, jakou roli hraje struktura tkaniny a velikost deformace upnutého vzorku textilie při počátečních vysokých tlacích během dynamického měření prodyšnosti.

4.4. Predikce prodyšnosti

Stanovením prodyšnosti bez nutnosti ji měřit za zabývá řada autorů.

4.4.1. Predikce prodyšnosti na základě struktury textilie a proudění vzduchu

Všechny výše uvedené modely (kapitola 3.5.1) se týkají porosity vzorku. Pro následné stanovení prodyšnosti je nutné definovat vztah mezi porositou a prodyšností textilie. Tímto se ve své práci zabýval Militký s Havrdovou [59]. Ti, za využití znalostí zákonů o proudění vzduchu otvory a využití předchozích publikovaných poznatků jiných autorů zabývajících se prouděním vzduchu a tlakovými ztrátami, odvozují vztah pro predikci prodyšnosti R textilií při měření za podmínek stanovených normami na měření prodyšnosti textilií.

Militký s Havrdovou vychází z principů standardních přístrojů, kde hodnota Reynoldsova čísla Re je přibližně 200. Celkový koeficient tlakového poklesu LP [-] popisují jako funkci porosity P [-] a Re [59]:

$$LP = \frac{1-P}{P} \left(\frac{40}{Re^{0,75}} + (1-P) \right). \quad (86.)$$

Tento vztah je platný pro Re v rozsahu 1 až 10^3 a porositu textilie P menší než 0,5, kdy hodnota Reynoldsova čísla je definována vztahem [59]:

$$Re = \frac{wd_{por}}{P\nu_k}, \quad (87.)$$

kde:

w povrchová rychlost proudění [$m \cdot s^{-1}$],

V případě měření dle standardních norem, kdy tlakový rozdíl je v intervalu od 50 do 200 Pa a měřená plocha vzorku A je 20 cm^2 , lze definovat koeficient pro tlakový pokles LP jako [59]:

$$LP = \frac{2}{R_p^2 \rho A^2 \Delta p}, \quad (88.)$$

kde predikovanou prodyšnost R_p lze vyjádřit ze vztahu (88.) a (86.) [59]:

$$R_p = \sqrt{\frac{2}{A^2 \rho \Delta p \frac{1-P}{P} \left(\frac{40}{\text{Re}^{0,75}} + (1-P) \right)}}. \quad (89.)$$

Jak už bylo uvedeno, tak za daných podmínek lze tento vztah využít k předpovědi prodyšnosti textilie při stanovené porositě vypočtené např. jedním z výše uvedených postupů uvedených v kapitole 3.5.1.

Predikcí prodyšnosti se zabývala také Zupin, Hladík a Dimitrovsky [60]. Na základě multilineární regrese stanovili prodyšnost jako funkci hydraulického průměru póru d_h [m], počtu pórů N_p [-] a porosity P [-] [60]:

$$R_Z = -5736,1 + 103,078P - 3,10815N_p + 4,8396d_h. \quad (90.)$$

Tento model následně zjednodušili na tvar [60]:

$$R_Z = -9692,2 + 127,595P + 8,28244d_h. \quad (91.)$$

Byla použita sada 36 tkanin různých vazeb bavlněných nití. Z jejich studie vyplývá, že velkou roli hraje vazba, dostava a s nimi související distribuce pórů [60].

Predikce prodyšnosti dle Xiao s kolektivem vychází v modelu uvedeného v kapitole 3.5.2.3, kdy pro předpověď prodyšnosti R_X [m²] uvádí vztah [36]:

$$R_X = \frac{2R_M^4}{5\pi} \frac{L_M}{\sqrt{\beta a R_M (a + R_M)^2}}. \quad (92.)$$

Model je vhodný pro volné struktury, které mají evidentní mezinitné póry. V případě textilie z drátěných monofilů v plátňové vazbě se tento model ověřil jak pro stanovení hodnoty prodyšnosti statické, tak dynamické. V případě textilního materiálu se rozdíly mezi predikcí prodyšnosti a naměřenými hodnotami vysvětlují změnou struktury textilie během měření. [37]

Obzvláště při vysokých tlakových rozdílech, kterých vzduch dosahuje během počátečních tlaků při dynamickém měření prodyšnosti, dochází ke změně struktury v podobě rozevírání pórů. Při dynamickém měření prodyšnosti s vysokými počátečními tlaky cca 120 kPa dochází k zvětšení rozestupů mezi nitěmi a k poklesu velikosti tloušťky a tvarového faktoru, čímž roste prodyšnost textilie. [37]

4.4.2. Predikce prodyšnosti pomocí neuronových sítí

Užitím neuronových sítí, jako výpočetního modelu, pro předpověď prodyšnosti textilních materiálů se zabývala také řada autorů.

Např. Militký a kolektiv ve své práci [61] vychází ze souvislosti pórovitosti a prodyšnosti (odporu textilie při průtoku vzduchu), který je definován na základě Darcyho zákona. Pro predikci prodyšnosti vybraných vzorků se ukázal jako vhodný vztah pro vyjádření lineárního regresního modelu [61]:

$$R_N = c_0 + c_1 D_U + c_2 T_U + c_3 T_O, \quad (93.)$$

kde:

$c_{0,1,2,3}$ odhadnuté parametry multilineárního modelu [-],

T_O jemnost osnovních nití [tex],

T_U jemnost útkových nití [tex].

S aplikací algoritmu FS2 bylo vybráno jako optimální 8 neuronů. Vytvoření neuronových sítí u neparametrických modelů je relativně jednoduché a ukazuje se jako vhodnější pro vyjádření předpovědi prodyšnosti pomocí neuronových sítí.

Cay s kolektivem ve své práci [62] podrobně popisují výběr modelů a jejich aplikaci na sadu textilií v plátňové vazbě s cílem stanovit hodnotu prodyšnosti textilií pomocí neuronových sítí. Přesnost předpovědi je u konkrétních textilií ovlivněna strukturou textilie, textilie s větší pórovitostí vykazuje větší chybu stanovené prodyšnosti pomocí neuronových sítí v porovnání s naměřenými hodnotami. Toto vysvětlují tak, že textilie husté mají menší póry a jsou více kompaktní a bez změn struktury při prostupu vzduchu textilií. [62]

Neuronové sítě využívá ve své práci související s měřením prodyšnosti také Tokarska [63] či Matusiak [64].

Matusiak provedl modelování prodyšnosti pomocí neuronových sítí na velkém souboru textilií a s širokým výběrem proměnných na základě znalosti jednotlivých parametrů textilií. Ukázalo se, že kromě konstrukčních parametrů má na přesnost predikce prodyšnosti značný vliv i použitá finální úprava. [64]

4.4.3. Predikce prodyšnosti počítačovou simulací

Výpočtem geometrických a fyzikálních parametrů tkanin pomocí počítačových programů se zabýval Adanur a Vakalapudi [65]. Ti prezentují simulační program k rozvoji projektování 2D a 3D struktur tkanin. Početné struktury jsou vytvářeny na základě typu tkanin a parametrů (např.

osnovních a útkových nití, dostavy, zákrutu příze). Pro každou strukturu mohou být vypočítány geometrické a fyzikální parametry, např.: zakrytí, hustota, porosita a prodyšnost, procento zobloučkování, hmotnost a tloušťka a další.

Pro modelování toku tekutin a souvisejících fyzikálních jevů slouží matematicko-fyzikální numerická řešení označována jako CFD simulace. Tyto simulace nabízí jak víceoborové softwary, např. moduly softwaru Ansys [66], tak i specializované programy vyvinuté pro textilní oblast. Např. Software Wise-Text pro modelování struktury a následnou importaci modelů do softwaru Flow-Text, který umožňuje predikci prodyšnosti, v článku [67] prezentuje Verleye s kolektivem. Delerue s kolektivem se zabývá modelováním kompozitních materiálů [68].

V poslední době se přistupuje k popisu struktury za využití počítačové tomografie (CT přístroje) s cílem získat přesný popis uspořádání pórů v textilií a následné simulace toku vzduchu textilií pomocí CFD simulací. Např. Rief se spoluautory [69] uvádí několik způsobů k získání popisu struktury.

4.5. Strukturální změny při měření prodyšnosti

Změně velikosti pórů v průběhu měření prodyšnosti se ve své práci věnuje Havrdová - Havlová [31], [70]. Zabývá se změnou velikosti póru způsobenou prostupujícím vzduchem.

Deformaci struktury tkanin při měření prodyšnosti způsobené silovým účinkem proudícího vzduchu rozděluje na horizontální a vertikální nárůst porosity a rozhrnování vnějších vrstev nití, které má však u relativně otevřených běžných tkanin malý význam. [31]

4.5.1. Horizontální nárůst porosity

Horizontální porositu Havrdová – Havlová označuje jako změnu velikosti plochy vzorku vlivem jejího vydutí. Vlivem vydutí vzorku v upínací čelisti při měření prodyšnosti dochází k nárůstu horizontální porosity. Na zkušebním vzorku se rozevírají póry, které mohou významně ovlivnit výsledky měření. Vydutí vzorku je simulováno pomocí kulového vrchlíku. [31]

Na základě plochy průměru póru A_1 , definované Gooijerem (51.) pro plátňovou vazbu je porosita vzorku deformovaného účinkem proudu vzduchu P_{def} [-] Havrdovou stanovena [31]:

$$P_{def} = \frac{(A_{def} - A) + A_1 D_O D_U A}{A_{def}}, \quad (94.)$$

kde:

A_{def} plocha deformovaného vzorku [m²].

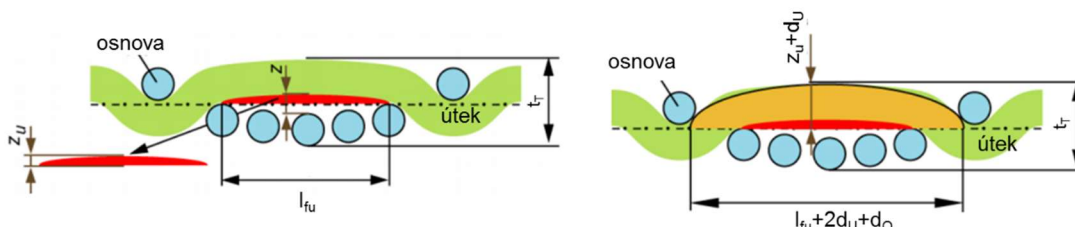
Pro stanovení teoretického vlivu nárůstu deformace na změnu prodyšnosti využívá 2-D porosity tkanin stanovené na základě obrazové analýzy, kdy měří velikosti průmětů pórů. Vydutí vzorku nemá možnost měřit a tak jej odhaduje.

Havrdová [31] navrhuje přídatné podepření měřeného vzorku, kdy na základě experimentu posuzuje jeho vliv na hodnoty prodyšnosti.

Velikostí deformace v podobě vydutí vzorku při dynamickém měření prodyšnosti se ve své práci [71] zabývá Tokarská a Gniotek. Vydutí vzorku se snaží určit na základě Maxwellova reologického modelu. Velikost deformace zohledňují při stanovení hypotetického tlakového poklesu vzduchu vzniklého pohybem pístu v přístroji na měření prodyšnosti uvedeném v kapitole 4.3.2.2. Jako zjednodušení je opět přijat předpoklad, že tvar vydutí vzorku je ve tvaru kulového vrchlíku. [71]

4.5.2. Vertikální nárůst porosity

U tkanin s delšími úseky nití dochází při měření prodyšnosti vlivem prostupu vzduchu k oddálení těchto úseků. Tímto oddalováním vznikají nové póry, které se v průběhu měření mohou měnit. Havrdová tento jev podrobně popisuje ve své práci [70], a modeluje tyto přídatné póry.



Obr. 33. Základní geometrie modelu vertikálního póru [70].

Vertikální pór vzniká deformací z [m], která je dána součtem deformace útkové z_u [m] a osnovní z_o [m] nitě v délce flotáže osnovní l_{fo} [m] (útkové l_{fu}) nitě, Obr. 33. Deformaci z [m] Havrdová - Havlová definuje také jako [70]:

$$z = t_r - (d_o + d_u). \quad (95.)$$

Vertikální porositu P_{ver} [-] uvádí ve tvaru [70]:

$$P_{ver} = \frac{E_O + E_U}{S_{FO} + S_{FU}}, \quad (96.)$$

kde:

E_O plocha vertikálního póru pod osnovní nití [cm²],

E_U plocha vertikálního póru pod útkovou nití [cm²],

- S_{FO} celková plocha flotážních úseků osnovních nití v 1cm² tkaniny [cm²],
 S_{FU} celková plocha flotážních úseků útkových nití v 1cm² tkaniny [cm²].

Vztahy pro výpočet výše uvedených proměnných jsou podrobně uvedeny v [70].

4.5.1. Smyková deformace tkanin

Loix, Badel a kolektiv [72] provedli studii vlivu smykové deformace tkanin na prodyšnost textilie. Namáhání textilie smykem je prováděno v rozsahu 0° - 53° vychýlení osnovních nití od útkových z počátečního kolmého stavu. Při velkých úhlech deformace provázání osnovních a útkových nití se prodyšnost snižuje [72]. Při měření prodyšnosti lze však předpokládat, že smyková deformace je malá. Při malých deformacích tento jev snižování prodyšnosti není pro proměřené struktury jednoznačný a blíží se k nule [72].

4.5.2. Zohlednění strukturálních změn v modelech porosity

Šindelková [73] ve své diplomové práci dále propracovala vertikální a horizontální porozitu navrženou Havrdovou. Ve své práci definuje modifikovanou plošnou porozitu P_{sm} [-], která zohledňuje deformaci průměru nitě v oblasti vazného bodu s ohledem na vazbu tkaniny a předpokládá prostorovou strukturu tkaniny místo zjednodušujícího předpokladu kruhového průměru nitě, který byl zaveden u předchozích modelů tkaniny. [73]

Šindelková dále navrhuje nový konstrukční parametr, který nazvala parametr vazby X [-], který zahrnuje flotážní faktor FF [-] a relativní posunutí vazných bodů ve střídě vazby tkaniny. V rámci vybrané sady vzorků pak ukazuje, že navržený parametr vazby X má silnější závislost prodyšnosti oproti výše uvedeným modelům. [73]

Čapková se ve své práci [74] snaží ověřit přesnost predikce prodyšnosti dle pórovitosti plátnových tkanin vybraných výše popsanych modelů (kapitola 3.5.1). Při hodnocení také zohledňuje chlupatost nitě a to v podobě odstávajících vláken od průměru nitě. Závěrem její práce je, že dle zvoleného souboru tkanin s plátnovou vazbou je pro řídké vazby nejlépe reprezentující Gooijerův model pórovitosti, pro hustě dostavené tkaniny pak plošná porosita. [74]

III. Praktická část

Na základě zpracování rešeršní části práce, ve které byly zohledněny výsledky výzkumu a poznání z literárních zdrojů [1] až [74], byl získán následující soubor poznatků, který je podkladem pro zpracování Praktické části této disertační práce:

- Standardní zařízení na měření prodyšnosti uvedená v kapitole 4.3.1 jsou určena převážně na měření statické prodyšnosti. Tato zařízení jsou jednoúčelová a s omezenými rozsahy měření bez možnosti dalšího rozšíření.
- Experimentální zařízení pro měření dynamické prodyšnosti pracují s relativně vysokými rozdíly tlaků, které na textilií působí během měření a nebo s pulzními nárůsty tlakového rozdílu, kdy na základě vzniklých tlaků se hodnotí textilie z hlediska prodyšnosti.
- Tlakové rozdíly na protějších stranách textilie běžné pro testování prodyšnosti oděvních a technických textilií jsou 100 a 200 Pa [1]. Již při těchto rozdílech tlaků při měření prodyšnosti dochází k deformaci textilie a hlavně u textilií pružných nejsou vzniklé změny zanedbatelné.
- Současné práce zabývající se změnami struktur, ke kterým dochází při měření prodyšnosti, popisují tyto změny na základě matematických modelů. Bylo by vhodnější sledovat a popsat skutečné změny struktury textilie.

Cíle disertační práce:

- Sestavit nový přístroj na měření statické a dynamické prodyšnosti, aby se rozšířila možnost měření prodyšnosti na Fakultě textilní a tak byl přínosem pro další vědecké práce z oblasti měření prodyšnosti.
- Pomocí nového přístroje umožnit sledování chování vzorku, ke kterému dochází při měření prodyšnosti při nízkých tlakových rozdílech, tj. 100 Pa či popřípadě 200 Pa, jak definuje norma [1], a to obzvláště u pružných textilií, kde tyto změny nejsou zanedbatelné.
- Ukázat možnosti využití nového zařízení v oblasti sledování chování textilií se zaměřením na hledání souvislostí mezi prodyšností a strukturální změnou, ke které dochází při měření prodyšnosti.

Byl stanoven následující postup k zajištění cílů práce:

- Navrhnout hardwarové uspořádání a následně sestavit zařízení na měření prodyšnosti, které umožní statické a dynamické měření prodyšnosti se současným sledováním chování textilie.

- Vytvořit řídicí program, který bude obsahovat uživatelské prostředí pro jednoduchou obsluhu měření na zařízení.
- Ověřit funkčnost zařízení včetně všech funkcí.
- Stanovit metodiku měření na novém zařízení.
- Verifikovat správnost výsledků získaných na novém zařízení.
- Zaměřit se na sledování a popis změn struktury, ke kterým dochází při měření prodyšnosti.

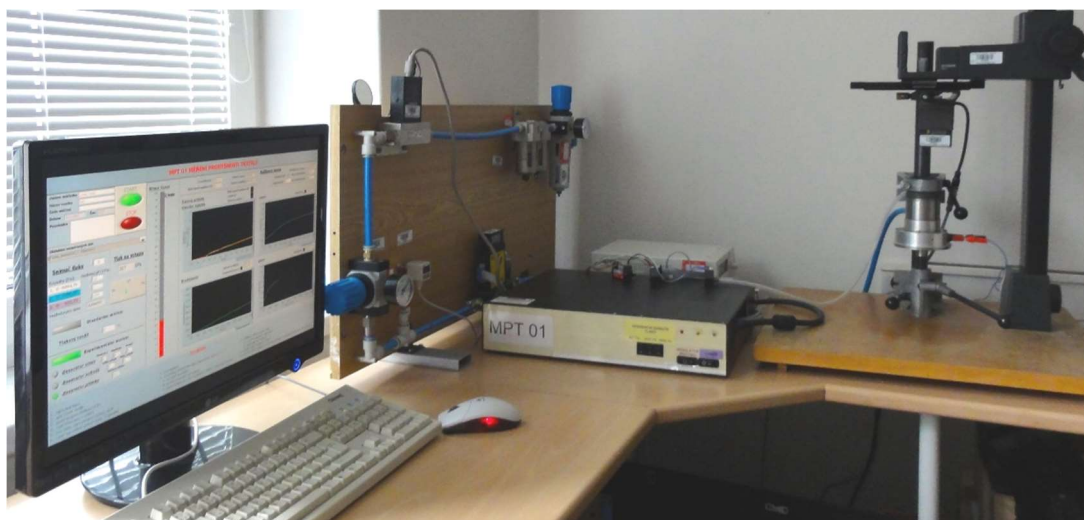
Autorka práce sestavila nové zařízení z inteligentních snímačů a prvků komunikujících s PC. Navržené zařízení umožňuje dynamicky měnit tlakový rozdíl v závislosti na průchodu vzduchu textilií a to plynule dle požadavků obsluhy a možností jednotlivých prvků. Dále je zařízení rozšířeno o prvky umožňující sledování struktury textilie v průběhu měření.

Zařízení dostalo pracovní název MPT 01. Funkčnost zařízení byla ověřena a bylo provedeno porovnávací měření s měřeními na standardech.

Součástí praktické části této práce je také představení konkrétních rozšířených funkcí zařízení MPT 01 a ukázka měření změn textilie v podobě vydutí textilie včetně zpracování získaných dat.

5. Zařízení MPT 01

Toto zařízení bylo vyvinuto za účelem měřit prodyšnost textilií a sledovat chování struktury textilie, která je upnutá v upínací čelisti. Zařízení nabízí měření statické a dynamické prodyšnosti. Přístroj měří ve velkém rozsahu tlakových rozdílů a je rozšířen o prvky umožňující sledování struktury a měření změn textilie při měření prodyšnosti. Cílem bylo co nejvíce zautomatizovat celé měření prodyšnosti a tak minimalizovat chyby měření,

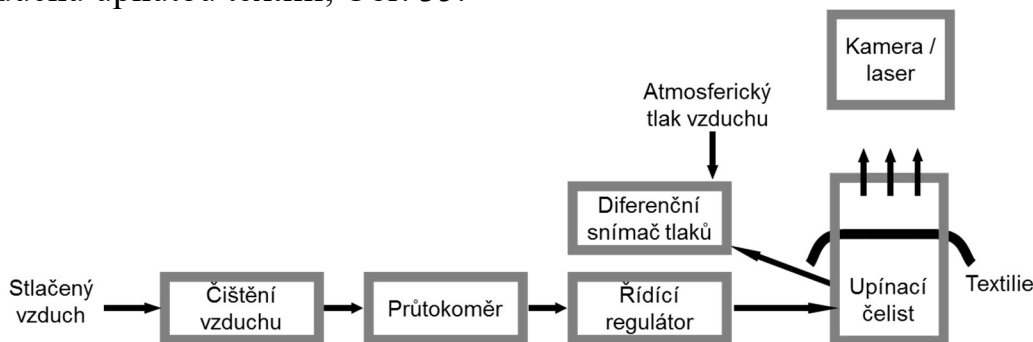


Obr. 34. Zařízení MPT 01.

kteřé mohou vznikat nesprávným manuálním nastavením a odečtem měřených hodnot. Vytvořený program zpracovává získaná data a přehledně je ukládá do textového souboru, kde jsou přístupná k dalšímu vyhodnocování. Na Obr. 34 je vidět zařízení MPT 01 v laboratoři.

5.1. Princip zařízení MPT 01

Princip měření je ve vytvoření přetlaku pod textilií a tak protlačování vzduchu upnutou textilií, Obr. 35.



Obr. 35. Blokové schéma zařízení MPT 01[75].

Stlačený a vyčištěný vzduch je přiveden přes průtokoměr na vstup regulátoru, ten řídí množství vzduchu prošlého vzorkem. Množství vzduchu procházejícího textilií je měřeno průtokoměrem. V čelisti je upnut vzorek zkoušené textilie. Hodnota tlakového rozdílu je snímána diferenčním snímačem tlaků, který má jeden vstup upevněn pod vzorkem textilie a porovnává jej s druhým, který snímá velikost atmosférického tlaku vzduchu nad upínací čelistí (nad vzorkem textilie). Na základě změřeného množství vzduchu prošlého textilií při konkrétním tlakovém rozdílu je vypočtena prodyšnost textilie.

Konstrukce upínací čelisti a přilehlé sestavy v podobě stativu umožňuje sledovat chování textilie během měření a to dvěma způsoby:

- Kamerou, která umožňuje sledovat chování nití, vláken a pórů.
- Snímačem vzdálenosti, který měří pohyb vzorku ve směru osy z v průběhu měření.

5.2. Vývoj zařízení MPT 01

Zařízení prošlo rozsáhlým vývojem v průběhu několika roků. Autorka první podobu zařízení navrhla a sestavila již v rámci diplomové práce.

V prvním kroku vývoje zařízení [76] byl, dle možností pracoviště, použit regulátor tlaku, kdy byla regulována hodnota tlaku za regulátorem. Pro sledování průtoku byl použit objemový průtokoměr a pro měření rozdílu tlaku byl využit jeden snímač tlaku s rozsahem 0 - 622 Pa. Upínací čelisti byl prvek, který neměl velikost plochy pro upnutý vzorek odpovídající

normě. Takto sestavené zařízení bylo ověřeno. Ukázalo se, že regulace tlaku vzduchu je možná jen v malém rozsahu regulátoru, a tak není možno využít zařízení na širší škálu materiálů. Měření a zpracování dat bylo prováděno v prostředí Matlab. Během sestavování se dále objevily problémy s použitou multifunkční kartou, které musely být řešeny přidáním dalších elektronických prvků.

V pozdější době, v rámci této práce, byla provedena změna multifunkční karty za kartu jiného výrobce s parametry vyhovujícími připojení všech snímačů. Spolu s novým hardware byl pro snadnější komunikaci využit software LabVIEW.

Byl rozšířen rozsah diferencí tlaků a to dalšími snímači až po rozsah cca 0 - 6894 Pa. Místo regulátoru tlaku byl použit regulátor průtoku, ten umožňuje využití pro širší škálu textilií a při měření je možné přímo regulovat množství prošlého vzduchu textilií v závislosti na tlakovém rozdílu, který je stanoven z tlaku měřeného pod a nad zkoušenou textilií. Upínací čelist byla nahrazena novou upínací čelistí s plochou pro upnutí vzorku odpovídající normě [1], kdy čelist byla vyrobena dle čelisti standardu M 021 S. Stávající objemový průtokoměr byl zaměněn za „hmotnostní“ průtokoměr, který zajišťuje přesnější měření, které není závislé na tlaku procházejícího vzduchu a jeho teplotě, respektive tyto veličiny zohledňuje a přepočítává na hodnoty referenční. Referenčními hodnotami jsou hodnoty stanovené normou pro Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení [80]. Upínací čelist byla v dalším vývoji přizpůsobena možnosti sledovat strukturu upnuté textilie. Na základnu upínací čelisti byl upevněn stativ. Pozorování struktury a chování textilie je možné dvěma způsoby. První způsob je pozorování struktury kamerou s makrooptikou. Kamera je propojena s počítačem, ve kterém je zpracováván získaný obraz. Druhý způsob sledování je prostřednictvím laserového snímače vzdálenosti, který měří velikost vydutí vzorku.

Všechny snímače a regulátor jsou tzv. inteligentní prvky a jsou propojeny s PC a komunikují s ním prostřednictvím software LabVIEW. Software LabView zajišťuje celé měření prodyšnosti a program vytvořený v jeho prostředí řídí měření, ukládá snímané hodnoty, zpracovává a vyhodnocuje snímané hodnoty a v neposlední řadě sleduje celý průběh měření a elektronicky zajišťuje ochranu všech prvků.

5.3. Podrobný popis zařízení MTP 01

Měřicí zařízení MTP 01 má několik dílčích částí. Zařízení se skládá z části pro upnutí textilie spolu se stativem, měřicí aparatury a jednotky PC s řídicím programem. Funkčnost zařízení je podmíněna připojením na zdroj stlačeného vzduchu.

5.3.1. Popis jednotlivých prvků zařízení

Základní specifikace jednotlivých prvků zařízení jsou uvedeny v příloze 2. Parametry snímačů a regulátorů zařízení MPT 01.

Měřicí aparatura zařízení MPT 01 se skládá ze sady filtrů pro čištění vzduchu přiváděného přes kulový ventil k měřicím prvkům. Kulový ventil umožňuje mechanické uzavření přívodu vzduchu v případě poruchy na zařízení. Jeden z filtrů je s redukčním ventilem, další dva slouží k čištění přiváděného vzduchu. Redukční ventil snižuje hodnotu tlaku přiváděného vzduchu k zařízení na velikost odpovídající jednotlivým následujícím prvkům. Vyčištěný vzduch prochází průtokoměrem FMA 1610A společnosti Omega, který měří množství vzduchu prošlého vzorkem. Průtokoměr FMA 1610A je průtokoměr s laminárními průtočnými elementy a automaticky přepočítává množství prošlého vzduchu k referenční hodnotě. Za průtokoměrem je umístěn redukční ventil, tento ventil snižuje tlak na tlak o hodnotě odpovídající požadavkům regulátoru průtoku FMA 5542A společnosti Omega, tj. 325 kPa dle výrobního nastavení. Velikost tlaku před regulátorem průtoku je sledována elektronicky pomocí snímače tlaku ISE 40 od společnosti SMC. Regulátor průtoku reguluje množství vzduchu procházejícího textilií. Měření a regulace průtoku prvkem FMA 5542A je na základě měření hmotnostního průtoku s principem tepelné výměny. Vzduch z regulátoru průtoku směřuje do upínací čelisti, ve které je upnuta zkoušená textilie. K upínací čelisti je připevněn jeden ze tří snímačů tlaku série PX od společnosti Omega. Vhodný snímač se volí dle odhadovaného rozdílu tlaku, doporučením je začít se snímačem s největším rozsahem. Tento snímač měří velikost tlaku pod textilií a porovnává jej s tlakem nad textilií, tj. atmosférickým tlakem.

Textilie je upnuta v upínací čelisti, která má velikost upínací plochy 20 cm². Tato čelist je konstrukčně řešena tak, aby umožňovala sledování chování upnuté textilie.

Na základně upínací čelisti je připevněn stativ, s úchytem pro prvky, které sledují chování textilie během měření. Pro vizuální sledování textilie slouží kamera Progres od společnosti Jenoptic, která komunikuje se softwarem Nis-Elements společnosti Laboratory Imaging, s. r. o. Na dnu upínací čelisti je zabudováno osvětlení, které prosvětluje textilií při snímání. Kamera je umístěna na stativu nad upínací čelistí a její sestava makrooptiky je doplněna o osvětlení.

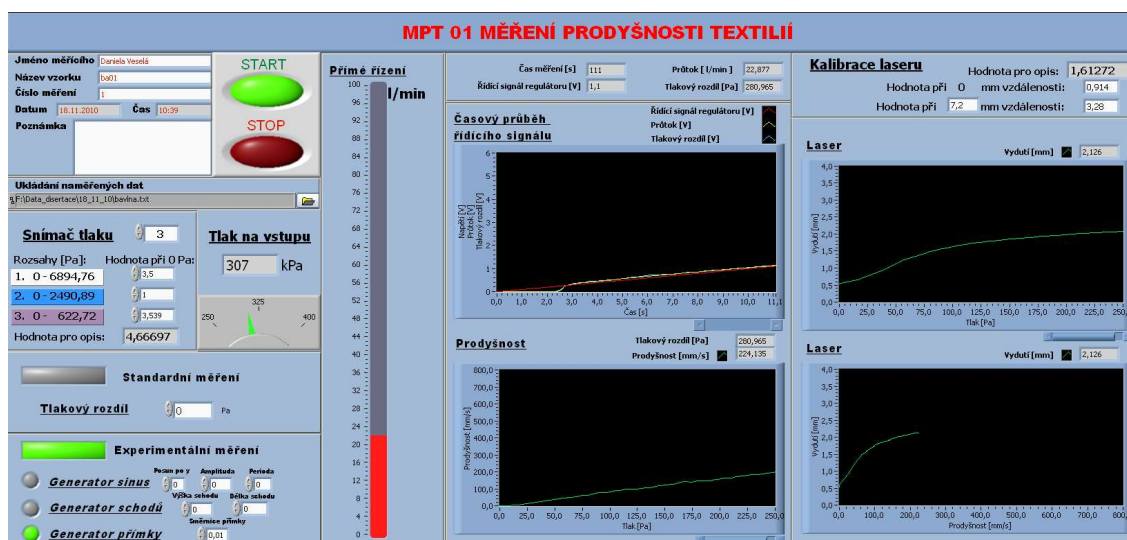
Pro měření vydutí textilie ve směru proudu vzduchu je součástí zařízení laserový snímač vzdálenosti série L-Gage. Konstrukční vlastnosti stativu a jeho příslušenství umožňují posuv upnuté kamery či laseru ve směru *x*, *y* a *z*.

Upínací čelist má obdobné parametry jako upínací čelist standardního zařízení M021 S [47] a upínání textilie je řešeno tak, že horní část čelisti je

pevně umístěna a pohyblivá je spodní část. Hrana spodní a horní části upínací čelisti je opatřena pryží, která zajišťuje dostatečnou fixaci měřené textilie a minimalizuje úniky proudícího vzduchu v místě sevření vzorku.

Další ucelenou částí zařízení je přístrojová skříň, která zajišťuje napájení jednotlivých snímačů a jejich připojení k řídicímu PC. K jedné přístrojové skříni jsou připojeny všechny snímače a regulátor. Na přístrojové skříni jsou ovládací prvky snímačů a regulátoru. Komunikace zařízení je realizována prostřednictvím software LabVIEW v řídicím PC.

5.3.2. Řídicí program – uživatelské prostředí



Obr. 36. Uživatelské rozhraní pro řízení zařízení MPT 01.

Komunikaci uživatele se zařízením a zpracování dat zajišťuje PC jednotka s řídicím programem. Ten je vytvořen v prostředí LabVIEW. Pomocí tohoto řídicího programu je realizováno celé měření včetně zpracování dat. Pro uživatele je navrženo vizuální prostředí tohoto programu tak, aby bylo uživatelsky přívětivé (Obr. 36). Tento program prošel vývojem, první podoba [77] byla přepracována dle průběžných potřeb v rámci přestavby zařízení.

5.3.2.1. LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je obecným vývojovým prostředím s bohatými knihovnami pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech fázích tohoto procesu. Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami v grafické podobě - tzv. G jazyk (Graphical language). [78]

V tomto případě využívá připojení pomocí zásuvné multifunkční karty na jejíž svorkovnici jsou připojeny všechny elektronické snímače a regulátor.

Za uživatelským prostředím celého řídicího softwaru je blokové schéma, ve kterém jsou specifikována propojení všech řídicích a snímaných dat z měřicí karty. Prostřednictvím tohoto prostředí se také zpracovávají všechny řídicí a snímané signály a provádí se přepočty snímaných hodnot na odpovídající měřené veličiny. Data jsou dále zpracována pro uložení a další práci k vyhodnocení celého měření. V jednotlivých blocích jsou specifikovány požadované rozsahy jednotlivých řídicích a snímaných dat, aby nedošlo k poškození snímačů a regulátoru.

5.3.2.2. Řídicí program

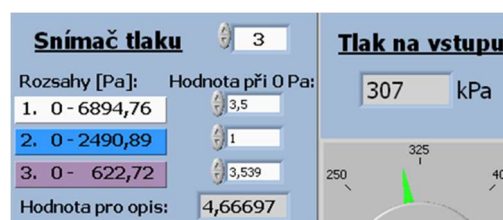
Řídicí program umožňuje měřit v několika módech. Současně zabezpečuje celé měření, aby nedošlo k poškození jednotlivých prvků zařízení, které by mohlo vzniknout překročením některé z mezních hodnot. V uživatelském rozhraní je možnost několika voleb měření, současně je graficky znázorňován průběh řídicího signálu a hodnot snímaných signálů v průběhu měření. Získávaná data jsou přímo zpracovávána, ukládána do textového souboru a jsou současně vypisována a graficky zobrazována na obrazovce.

Uživatelské rozhraní se dělí do několika částí:

- Část pro zadávání informací o měření (Obr. 37), tj. jméno laboranta, název vzorku, číslo měření, datum a čas měření, popřípadě poznámka je vyplněna uživatelem před zahájením měření. Laborant volí soubor pro uložení změřených dat.



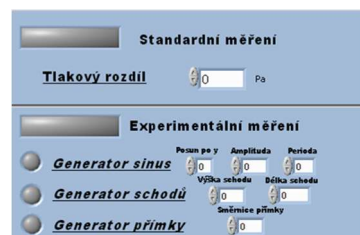
Obr. 37. Část panelu pro zadávání informací o měření.



Obr. 38. Část panelu pro volbu snímače a pro kontrolu tlaku.

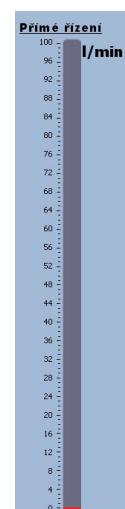
- Volba a definice počátečních hodnot pro snímače rozdílu tlaku a také ukazatel tlaku na vstupu před regulátorem průtoku („na vstupu“) je na Obr. 38. K dispozici máme 3 snímače tlakového rozdílu, které lze připojit k upínací čelisti. V případě, že bude probíhat standardní měření dle normy při 100 Pa, popřípadě 200 Pa, volíme snímač tlaku č. 3 s nejnižším rozsahem. Pro experimentální měření volíme snímač podle předpokládaného tlakového rozdílu. Doporučením je začít od snímače

s největším rozsahem, ale nižší citlivostí a podle požadavků rozsah případně snižovat. Dle zvoleného snímače v řídicím programu je na přístrojové desce zapnut příslušný snímač, který je připojen k upínací čelisti vzorku. Pro přesné hodnoty je dle zvoleného snímače zadána hodnota napětí odpovídající nulové hodnotě tlakového rozdílu. Tato hodnota je důležitá pro nulování tlakových rozdílů.



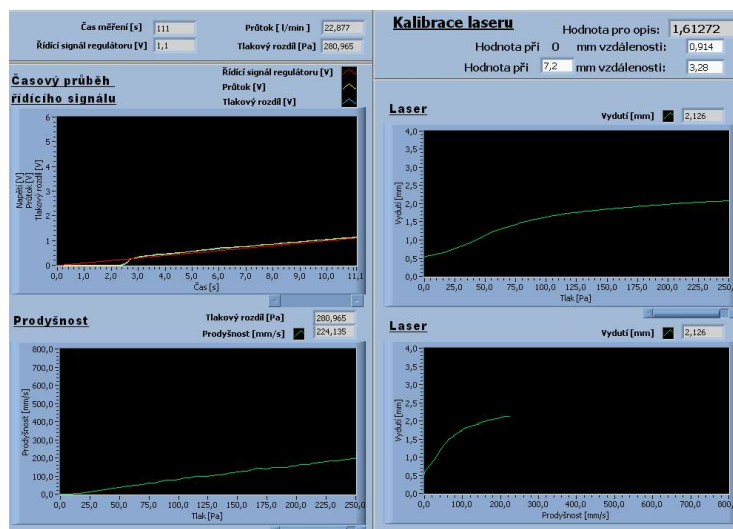
Obr. 39. Část panelu pro standardní a experimentální měření.

- Část pro volbu a zadání parametrů měření, ve které má uživatel možnost výběru z několika průběhů měření [77]:
 - Standardní měření – jde o měření dle zvolené normy, kdy je zadána požadovaná hodnota rozdílu tlaků a při jejím dosažení je odečtena hodnota průtoku. (Obr. 39 nahoře) Stoupání přímky je pod úhlem 14° .
 - Experimentální měření – uživatel volí z 3 nabídek řídicího signálu (lineární nárůst, schodový nárůst a sinusový průběh). (Obr. 39 dole)
 - Ruční ovládání řídicího signálu – přímé řízení – pomocí posuvníku je nastavována hodnota řídicího signálu – průtoku vzduchu libovolně v průběhu měření. (Obr. 40)



Obr. 40. Část ovládacího panelu pro ruční - přímé řízení.

- Oblast získaných dat a kalibrace laseru je na druhé polovině obrazovky. Jde o grafické a numerické zobrazení naměřených hodnot Obr. 41. V první části (Obr. 41 vlevo nahoře) je zobrazován průběh měření v závislosti na čase. Zobrazuje se jak řídicí signál, tak všechny snímané signály. V druhé části (Obr. 41 vlevo dole) je znázornována závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu. Ve třetí části je blok pro provedení kalibrace laseru (Obr. 41 vpravo nahoře) a dvě podoby grafického vyjádření výsledků měření vydutí (Obr. 41 vpravo dole). Pravý horní graf nabízí průběh vydutí vzorku na tlakovém rozdílu a dolní graf vydutí v závislosti na prodyšnosti. V případě, že je prováděno měření vydutí textilie, je na přístrojové desce zapnut laser a jako první měření je provedena jeho kalibrace.



Obr. 41. Část ovládacího panelu – grafické zobrazení výsledků v průběhu měření.

Jestliže není prováděno měření vydutí vzorku laserem, může být vizuálně sledována struktura pomocí kamery. Pro komunikaci kamery s PC je na PC spuštěn software Nis-Elements, který umožňuje zobrazit snímaný obraz. Nis-Elements umožňuje zpracování obrazu, průběžné ukládání v podobě sekvencí či jednotlivých snímků uložených uživatelem. Tento software je nutné mít spuštěný souběžně s řídicím programem pro MPT 01.

5.3.2.3. Ukládání dat

V průběhu celého měření jsou snímaná data zaznamenávána do textového souboru. Konkrétně jsou ukládána data z vybraného snímače tlaků, průtokoměru a laseru, dále řídicí hodnoty pro regulátor, čas a datum měření včetně dalších informací zadaných dle potřeb uživatele. Data jsou ukládána každou sekundu. Takto uložená data jsou k dispozici pro další zpracování např. v software MS Office či v jiném kalkulátoru. Ukázka části dat z měření je na Obr. 42.

Jméno měřícího: Daniela
Název vzorku: kanina
Číslo měření:
Datum: 19.8.2013
Čas: 14:05
Poznámka: ukázka

Čas[s]	Napětí na regulátoru[V]	Rozdíl tlaků [Pa]	Průtok [l/min]	Prodyšnost[mm/s]	Vydutí [mm]
0	0,0	0	0,01811	0,1509	0,60901
.
25	0,68	21	14,27561	118,96339	1,00045
26	0,7	22	14,7519	122,93248	1,01772
27	0,72	23	16,33525	136,12709	1,03953
40	0,98	29	19,8152	165,12665	1,13739
.
99	2,16	69	43,06479	358,87321	1,61368
100	2,18	70	43,08331	359,02758	1,61606
101	2,2	71	43,77098	364,75817	1,63082
102	2,22	72	45,17484	376,45704	1,64935

Obr. 42. Ukázka souboru dat uložených při měření prodyšnosti.

5.3.2.4. Postup měření na zařízení

Postup měření se skládá z několika částí:

1. Zapnutí měřicí aparatury.
2. Zadání informací o měření.
3. Kalibrace.
4. Vlastní měření prodyšnosti a vydutí / sledování pomocí kamery.

Podrobný postup je uveden v příloze 3. Postup měření na MPT 01.

5.4. Sledování struktury textilie

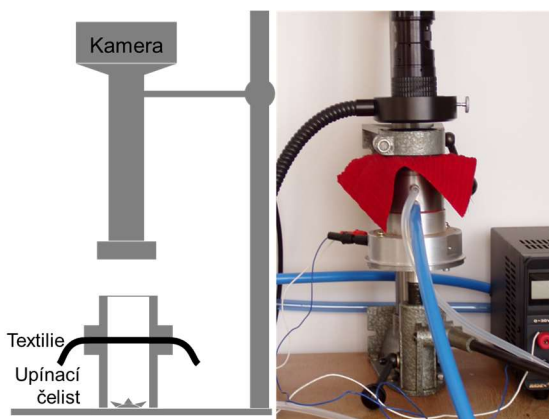
Během měření dochází k pohybu textilie, přístroj umožňuje sledování pohybu textilie a to ve dvou podobách:

- Sledování struktury kamerou – toto umožňuje v průběhu měření sledovat vizuální změnu povrchu.
- Měření velikosti vydutí vzorku – laser měří velikost vydutí vzorku v průběhu měření.

Obsluha musí volit mezi těmito možnostmi, technicky zatím není možné realizovat současné vizuální sledování a měření vzdálenosti.

5.4.1. Sledování struktury pomocí kamery

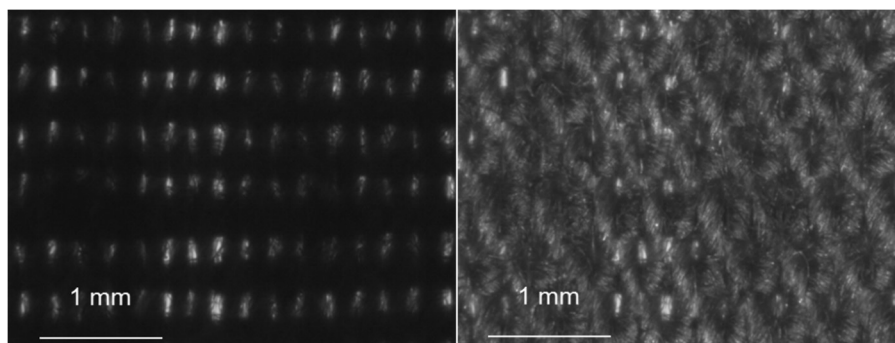
Aby bylo možné sledovat chování struktury textilie během měření, byla čelist pro upnutí vzorku rozšířena o podsvícení textilie. Na dně čelisti je připevněno osvětlení (Obr. 43) s možností nastavení intenzity světla. Intenzita osvětlení je dána velikostí napětí přivedeného na diodu a to manuálním nastavením na laboratorním zdroji. Intenzita světla je však



Obr. 43. Upínací čelist uzpůsobená sledování struktury [75].

tlumena sítem, které bylo v průběhu testování¹ vloženo do prostoru upínací čelisti, aby zajišťovalo usměrnění proudění v upínací čelisti a pro budoucí vývoj bude nutné tento problém odstranit.

Sledování struktury textilie zajišťuje kamera s příslušenstvím upnutá nad upínací čelisti. Ta komunikuje s PC prostřednictvím softwaru Nis-Elements. Příslušenství kamery je tvořeno objektivy a předsádkami, z kterých volíme podle požadavků na zobrazení. Součástí sestavy je osvětlení shora. Je zajištěno osvětlovacím kruhem, který rovnoměrně osvětluje plochu textilie. Celá sestava kamery je upevněna do stojanu, který má mikro-posuv. Mikro-posuv je v současné době využit při manuálním doostřování obrazu v důsledku pohybu textilie.



Obr. 44. Pohled na textilii jen se spodním a s obojím osvětlením [75].

Struktura je sledována průběžně během měření. Je možno vytvářet sekvence, nebo uložit jednotlivé snímky pro další zpracování.

Na Obr. 44 je tkanina s plátňovou vazbou. Levý obraz je bez horního osvětlení a bylo by u něj možné měřit velikosti pórů pomocí 2-D průmětu. V případě pohledu vpravo je textilie osvětlena i shora, aby bylo možné pozorovat chování vláken a případné chlupatosti nitě, např. zda při velkých průtocích dochází k odchylování volných konců vláken v oblasti póru. Snímky byly pořízeny před umístěním síta do prostoru upínací čelisti.

V současné době není podsvícení textilie přínosné, protože je tlumeno sítem. Tento způsob pozorování textilie ještě také není dořešen po stránce softwarové a konstrukční. Pro sledování chování textilie kamerou je nutné souběžně aktivovat software Nis-Elements, protože není přímo zaimplementovaný do řídicího softwaru zařízení MPT 01. Sledování struktury pomocí kamery je pojato tedy okrajově, protože samotná upínací čelist a sestava makrooptiky kamery vyžaduje rozsáhlejší úpravy, aby mohla být přímo začleněna do řídicího softwaru. Také pohyb vydutí textilie ve

¹ Na základě experimentálních měření rovnoměrnosti proudění vzduchu v průřezu upínací čelisti bylo přistoupeno k vložení síta do upínací čelisti nad výtokový přívod vzduchu. Síto zajišťuje usměrnění proudu vzduchu přiváděného do upínací čelisti.

směru prostupu vzduchu přináší komplikace v podobě rozostření obrazu, znovu zaostření musí být prováděno manuálně během měření prodyšnosti a do budoucna je nutné upravit sestavu makrooptiky o řízené doostřování obrazu automaticky. Tak bude možné využít snímky z měření pro další vědecké práce a ne jen pro pozorování bez využití objektivního vyhodnocení např. změny velikosti póru.

5.4.2. Měření vydutí vzorku laserovým snímačem vzdálenosti

Pro přesné měření vydutí vzorku textilie během měření je použit laserový snímač vzdálenosti. Tento snímač je umístěn na mikro-posuvech, které umožňují pohyb laseru ve směru os x a y . Mikro-posuvy jsou umístěny na stativu zajišťujícím pohyb ve směru osy z .

Laserový snímač vzdálenosti je napájen a jeho výstup je snímán přes připojení v přístrojové skříni zařízení. Snímací vzdálenost laseru je od 46 do 60 mm, tzn. laser měří změnu v maximálním rozsahu do 14 mm.

Měření je velice citlivé na přesnost upnutí textilie do upínací čelisti. Laser je zaměřen na střed plochy upínací čelisti, Obr. 45., ale jeho polohu lze pomocí mikro-posuvu změnit dle požadavku měření.

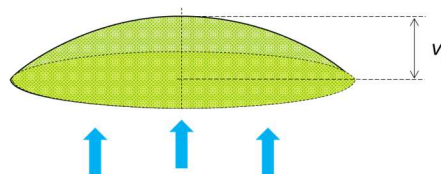
Před každou novou sadou měření je nutné laser nakalibrovat (viz. Kapitola 5.3.2.4).

Při měření prodyšnosti dochází vlivem silových účinků vzduchu k deformaci textilie, která se vydouvá ve směru průtoku vzduchu. Vydutím vzorku textilie dochází ke zvětšení plochy vzorku, což ovlivňuje celkovou prodyšnost vzorku. Některé výzkumné práce tento předpoklad deformace textilie během měření uvažují, ale výšku vydutí vzorku pouze odhadují [31] a nebo se jej snaží stanovit na základě známých vlastností textilií [71].

K pohybu textilie v upínací čelisti dochází ve směru toku vzduchu vzorkem (vertikální směr zespuhu nahoru) (Obr. 46). S využitím laserového snímače vzdálenosti je možné pozorovat i relaxaci textilie po ukončení fáze měření.



Obr. 45. Měření vydutí vzorku laserovým snímačem.



Obr. 46. Vydutí vzorku.

Některé přístroje mají upínací čelist konstrukčně upravenou tak, aby byl průhyb textilie při měření prodyšnosti zmírněn. K tomuto je použita podpůrná mřížka v podobě kříže ve středu upínací čelisti. Vydutí vzorku je tak menší a nemá tvar kulového vrchlíku [31]. I s podpůrnou mřížkou však dochází k deformaci textilie, ale popsát tuto deformaci je značně složitější.

5.4.2.1. Přírůstek plochy vzorku vlivem vydutí vzorku

Jestliže u textilie nedochází k vydutí vzorku, tak plocha vzorku odpovídá velikosti upínací čelisti a je rovna:

$$A = \pi r_{\check{c}}^2, \quad (97.)$$

kde:

A plocha vzorku, kterou prochází vzduch [m^2],
 $r_{\check{c}}$ poloměr upínací čelisti [m].

Pokud dojde k vydutí vzorku (viz. Obr. 46), a budeme-li předpokládat tvar vydutí v podobě kulového vrchlíku, plocha vzorku se zvětší a má velikost [79]:

$$S_{VR} = 2\pi r_K v_V, \quad (98.)$$

kde:

S_{VR} plocha pláště kulového vrchlíku [m^2],
 v_V výška kulového vrchlíku - velikost vydutí vzorku [m],
 r_K poloměr koule [m].

Poloměr podstavy příslušné kulové úseče je znám velikostí upínací čelisti. Poloměr koule tedy stanovíme ze vztahu [79]:

$$r_{\check{c}} = \sqrt{v_V(2r_K - v_V)}. \quad (99.)$$

Z tohoto vztahu (99.) získáme r_K , po dosazení do (98.) a za předpokladu, že známe výšku kulového vrchlíku, je plocha vydutého vzorku A_{def} [m^2]:

$$A_{def} = S_{VR} = \pi(r_{\check{c}}^2 + v_V^2). \quad (100.)$$

Přírůstek plochy je na základě vztahů (97.) a (100.):

$$P_P = A_{def} - A = \pi v_V^2, \quad (101.)$$

kde:

P_P přírůstek plochy po vydutí vzorku [m^2].

S ohledem na to, že objem nitě je v měřené oblasti během měření konstantní, je přírůstek plochy důsledkem změny velikosti pórů. Osnovní a útkové nitě se napínají, vytvářejí větší prostor mezi sebou.

Plocha upínací čelisti [mm ²]		2000
v_v [mm]	P_p [mm ²]	P_p [%]
1	3,14	0,16
2	12,57	0,63
3	28,27	1,41
4	50,27	2,51
5	78,54	3,93
6	113,10	5,65
7	153,94	7,70
8	201,06	10,05
9	254,47	12,72
10	314,16	15,71
11	380,13	19,01
12	452,39	22,62
13	530,93	26,55
14	615,75	30,79
15	706,86	35,34

Tab. 1. Přírůstek plochy vzorku v závislosti na velikosti vydutí.

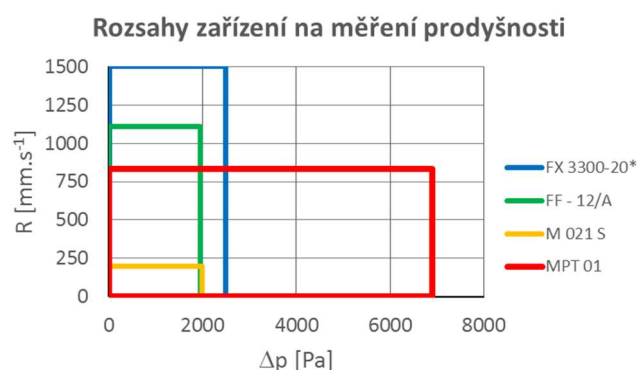
Velikost přírůstku plochy vzorku tak můžeme přičítat velikosti přírůstku pórovitosti měřené textilie způsobené vydutím vzorku textilie během měření. Vlivem vydutí vzorku je ovlivněna plocha vzorku, která se zvětšuje. Přírůstek plochy roste s druhou mocninou velikosti vydutí, a tak zatímco při vydutí vzorku 0 - 2mm je velikost přírůstku plochy vzorku, tedy zvětšení pórů, zanedbatelná, při vydutí 8mm je již 10% nárůstek plochy vzorku, Tab. 1.

Takto zvětšená plocha vzorku o mezinítné póry umožňuje lepší vstup vzduchu textilií, z čehož vyplývá zvýšení prodyšnosti. V případě pletenin a pružných textilií (s obsahem pružných vláken a nití) je vydutí během měření velké a mělo by být zohledněno při stanovení

objektivní hodnoty prodyšnosti textilie.

5.5. Rozsah zařízení MPT 01

Nové zařízení nabízí měření prodyšnosti s rozsahem tlakových rozdílů, které výrazně převyšují tlakové rozdíly dostupné na standardních zařízeních na měření prodyšnosti na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci, ale



Obr. 47. Rozsah MPT 01 v porovnání s dalšími přístroji na měření prodyšnosti textilií.

* FX 3300-20 měří prodyšnost v rozsahu 1 – 10000 mm.s⁻¹.

i dalších, která jsou uvedena v příloze 1 (vyjma zařízení FX 3350, které slouží pro dynamické měření prodyšnosti airbagů).

Měření tlakových rozdílů na MPT 01 je možné v rozsahu 0 – 6895 Pa. Rozsah použitého průtokoměru umožňuje měření prodyšnosti v intervalu 0 – 833 mm. s⁻¹. Pro lepší názornost je rozsah zařízení MPT 01 graficky znázorněn na Obr. 47 v porovnání s rozsahy standardů dostupných na Fakultě textilní při velikosti upínací čelisti 20 cm².

5.6. Přesnost měření na MPT 01

Pro úplný popis měřicího zařízení a jeho návrh pro užití v praxi při laboratorních měřeních byly provedeny výpočty pro stanovení jednotlivých nejistot měření. V této kapitole je uveden výpočet standardní nejistoty typu B a je uveden postup pro stanovení rozšířené nejistoty U. Tu si uživatel dopočítá na základě dat získaných z konkrétního měření a již stanovené standardní nejistoty typu B*, která je pro danou sestavu zařízení neměnná (za předpokladu dodržování zásad pro kalibraci a certifikaci jednotlivých prvků zařízení).

Standardní nejistota typu B je získána na základě informací z dokumentací jednotlivých snímačů, regulátorů, použitých měřicích karet a zkonstruovaných prvků. Pro jednotlivé části je vypočtena každá nejistota $u_b(x_i)$ dle vztahu (102.), který byl získán upravením vztahu (25.). Souhrnná nejistota typu B* - u_b^* je stanovena na základě vztahu (103.), tak aby byla uživateli poskytnuta jedna hodnota, která vychází z výpočtu standardní nejistoty typu C, vztah výše (26.), a kdy jsou do výpočtu zahrnuty pouze nejistoty $u_b(x_i)$.

$$u_b(x_i) = \sqrt{\frac{a_i^2}{3}}, \quad (102.)$$

kde:

a_i poloviční šířka obdélníkového rozdělení možných hodnot vstupní veličiny X_i .

$$u_b^* = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} u_b(x_i) \right]^2}. \quad (103.)$$

S ohledem na skutečnost, že měření je prováděno v klimatizované místnosti za konstantních podmínek, je během stanovování nejistot měření zanedbán vliv teploty a vlhkosti na jednotlivé nejistoty měření.

V tabulce Tab. 2 jsou uvedeny nejistoty měření u_b^* jednotlivých snímačů tlakového rozdílu č. 1 – 3, ze kterých si uživatel volí ten nejvhodnější snímač pro dané měření prodyšnosti dle zásad, které jsou výše uvedeny. Pro standardní měření je nejvhodnější snímač č. 3 s nejnižším rozsahem. Dále je

v této tabulce uvedena nejistota měření pro měření prodyšnosti. Ta vychází nejen z nejistot měření na průtokoměru, ale také zohledňuje nejistotu měření při stanovování velikosti plochy upínací čelisti pro upnutí vzorku a to dle funkční závislosti $R=f(Q,A)$ definované dle vztahu (79.).

Veličina	Senzor / Prvek	Měřicí rozsah	u_b^*
Tlakový rozdíl	Diferenční snímač tlaku č. 3	0-2,5 in H ₂ O (0 - 622 Pa)	2 Pa F.S.O.
	Diferenční snímač tlaku č. 2	0 - 10 in H ₂ O (0 - 2490 Pa)	15 Pa F.S.O.
	Diferenční snímač tlaku č.1	0 - 1 psi (0-6895 Pa)	20 Pa F.S.O.
Prodyšnost	Průtokoměr (0-100 l.min ⁻¹)	0 - 833 mm.s ⁻¹	5,7 mm.s ⁻¹ F.S.O. (6,2 mm.s ⁻¹ F.S.O. ¹)
	Velikost plochy upínací čelisti (0,002 m ²)		
Vydutí vzorku	Laserový snímač vzdálenosti	0 - 14 mm	0,004 mm F.S.O.

¹ Manuální odečet dat v průběhu měření obsluhou přístroje.

Tab. 2. Souhrnná standardní nejistota typu B - u_b^* .

Podrobný výpočet včetně uvedení jednotlivých složek ovlivňujících nejistotu měření typu B* je uveden v příloze 4.

Uživatel zařízení pro stanovení kombinované nejistoty a popřípadě i rozšířené nejistoty měření má tak usnadněnou práci. Jen stanoví na základě opakujících se měření za stejných podmínek (klimatické podmínky, podmínky měření a kalibrace přístroje MPT 01) standardní nejistoty typu A - u_a dle vztahu (24.), přičemž měření by se mělo řídit obecnými zásadami pro měření textilií [80] a vzorky textilií by měly být upínány do upínací čelisti se stejnou orientací rub-líc a to volně bez záhybů, napínání či jiného mechanického namáhání.

Následně je využita standardní nejistota typu A - u_a spolu se souhrnnou standardní nejistotou typu B* - u_b^* pro stanovení kombinované nejistoty měření C - u_c a to dle již jednoduchého vztahu (104.). Ten vznikl vyčleněním všech standardních nejistot typu B pro stanovení souhrnné standardní nejistoty typu B označené hvězdičkou u_b^* .

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + (u_b^*)^2} . \quad (104.)$$

V případě, že chceme stanovit rozšířenou nejistotu U s 95% konfidenční úrovní, je zvolen koeficient rozšíření $K_R=2$, a její hodnota je vypočtena dle rovnice (105.):

$$U = u_c K_R \quad (105.)$$

Tabulka (Tab. 3) uvádí příklad vypočtených výše uvedených nejistot u_a , u_c a U pro konkrétní měření, kdy bylo provedeno 12 měření na textilním vzorku s číslem 3, který je definovaný v příloze 7. Celé měření probíhalo dle podmínek normy [1] pro měření prodyšnosti textilií při tlakovém rozdílu

100 Pa a z toho důvodu byl zvolen diferenční snímač tlaku č. 3. Při měření byly dodrženy podmínky prostředí dle normy [80]. Během měření prodyšnosti textilního vzorku bylo také měřeno vydutí vzorku pomocí laserového snímače vzdálenosti. Jak je z tabulky patrné, zvolený snímač umožňuje měřit i malé změny ve vydutí vzorku s velkou přesností.

V příloze 4 části o konkrétním měření jsou uvedeny tabulky s naměřenými daty a jejich zpracováním, ze kterých vychází Tab. 3.

Měřená veličina	Nejistoty typu				Výsledek měření s U ($K_R=2$)
	u_a	u_b^*	u_c	U ($K_R=2$)	
Tlakový rozdíl	0 Pa	2 Pa	2 Pa	4 Pa	(100±4) Pa
Prodyšnost	1,3 mm.s ⁻¹	5,7 mm.s ⁻¹	5,8 mm.s ⁻¹	11,7 mm.s ⁻¹	(123±12) mm.s⁻¹
Vydutí vzorku	0,019 mm	0,004 mm	0,020 mm	0,039 mm	(0,88±0,04) mm

Tab. 3. Příklad výsledků se zahrnutím nejistot konkrétního proměření prodyšnosti a vydutí vzorku.

U jednotlivých snímačů bychom se mohli pozastavit nad velikostmi rozšířených nejistot měření. V případě snímačů tlaku je zvolen snímač s nejmenší nejistotou měření u_b^* , pro snížení této nejistoty měření by bylo zapotřebí upravit zaokrouhlování dat, popřípadě pořídit snímače s lepšími technickými parametry. V případě prodyšnosti je nutné vzít v potaz, že měření průtoku plynu je složité měření s ohledem na stlačitelnost a další vlastnosti plynu.

Velmi často se v praxi při měření na měřicích přístrojích chyba měřicího přístroje takto komplexně nezohledňuje, je však nutné si uvědomit, že toto opomenutí není správné a když už jej děláme, tak bychom měli provést dostatečně velké počty měření vzorků, abychom co možná nejvíce eliminovali chybu měřicího přístroje.

5.7. Měření na MPT 01 v porovnání se standardy

S cílem porovnat měření na zařízení MPT 01 se standardem na měření prodyšnosti byla vytvořena sada vzorků tak, aby pokud možno co nejvíce pokryla rozsah přístroje MPT 01 v rozsahu průtokoměru. V prvním kroku bylo provedeno orientační měření na zařízení FX 3300 a byl proveden výběr 20 vzorků tak, aby intervaly prodyšnosti byly pokud možno pravidelné. Sada vzorků byla z bavlněných tkanin v plátňové, keprové a atlasové vazbě. Celé měření probíhalo při normou stanovených podmínkách prostředí [80] a za normou definovaného tlakového rozdílu 100 Pa [1].

Aby byl minimalizován vliv nerovnoměrnosti struktury textilie na měření prodyšnosti, byla všechna měření provedena ve stejném místě vzorku. Na každém vzorku byly označeny středy pro upnutí do upínací čelisti.

Měření bylo realizováno na 3 přístrojích:

- Přístroj na měření prodyšnosti² v Textilním zkušebním ústavu, s. p. v Brně (data označována dále jako TZU).
- Přístroj na měření prodyšnosti Textest FX 3300 - 20 Air Permeability Tester III dostupný na Katedře hodnocení textilií (označeno dále jako FX 3300).
- Nový přístroj pro měření prodyšnosti MPT 01 vyvíjený v rámci této práce na Katedře oděvnictví (označeno dále jako MPT 01).

číslo vzorku	R [mm.s ⁻¹]		
	TZU	FX 3300	MPT 01
1	81,54	91,35	82,21
2	118,30	128,90	117,75
3	150,30	171,00	156,09
4	195,92	215,00	193,61
5	222,70	251,40	230,42
6	256,08	294,50	265,61
7	290,90	343,40	304,76
8	319,54	365,70	341,47
9	358,98	431,50	377,87
10	390,82	464,40	413,36
11	406,78	498,80	444,78
12	433,64	547,00	487,80
13	471,80	571,50	525,73
14	498,48	613,30	557,96
15	523,26	666,80	586,94
16	538,04	686,10	606,97
17	551,14	745,60	639,31
18	561,42	780,10	660,97
19	615,12	839,20	725,03
20	626,30	858,10	740,69

Tab. 4. Průměrné hodnoty prodyšnosti na jednotlivých přístrojích při $\Delta p = 100 \text{ Pa}$.

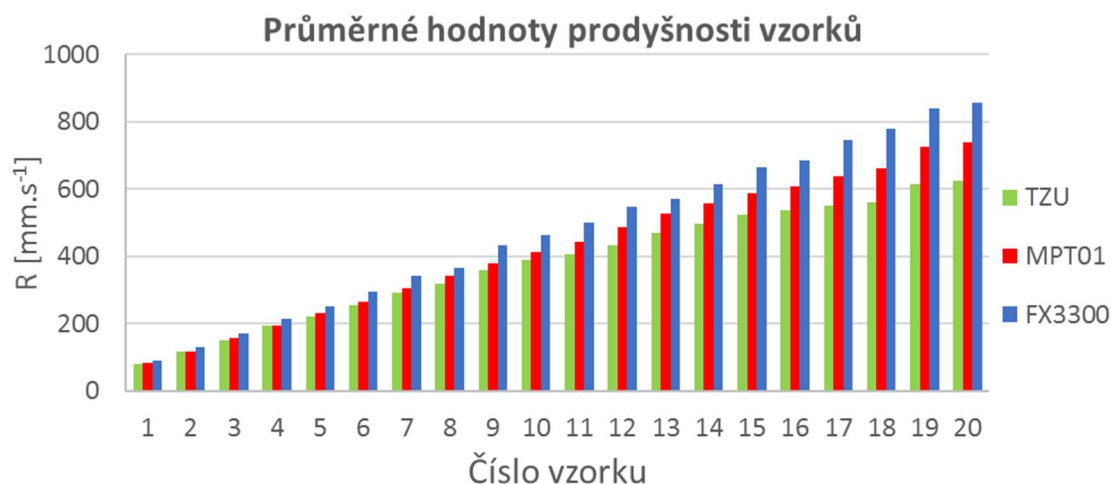
V Tab. 4 jsou uvedeny průměry hodnot prodyšnosti vzorků naměřené na jednotlivých přístrojích.

V příloze 5 jsou tabulky kompletní, které obsahují jednotlivá měření včetně statistického zpracování dat.

Pro lepší názornost jsou na Obr. 48 graficky znázorněny naměřené průměrné hodnoty prodyšnosti na jednotlivých přístrojích.

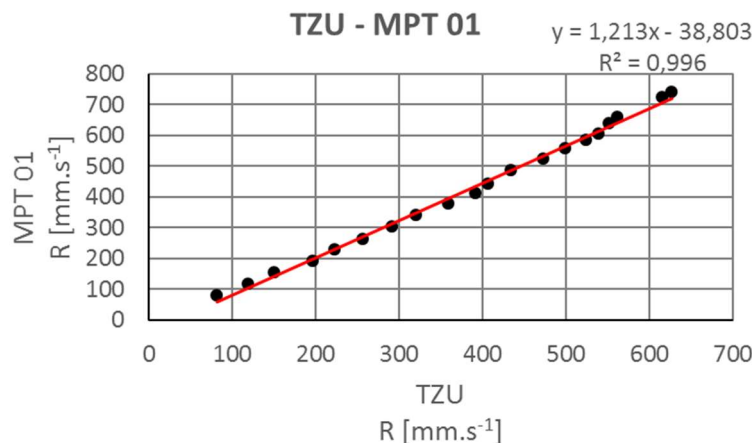
Z grafů je patrné, že měření na jednotlivých přístrojích se liší i přesto, že byly proměřovány textilie v jednom místě a během měření byla zohledněna orientace textilie vzhledem ke směru proudícího vzduchu.

² Měření probíhalo na modernizovaném zařízení FF – 12A Metefem, na kterém je snímání tlakového rozdílu zajištěno pomocí elektronického snímače tlakové diference. Parametry zařízení jsou uvedeny v příloze 1.



Obr. 48. Průměrné hodnoty prodyšnosti vzorků naměřené na jednotlivých přístrojích.

Měření, které bylo provedeno v Textilním výzkumném ústavu, bylo realizováno v akreditované zkušebně a z toho důvodu je tato sada měření stanovena jako výchozí pro porovnání s dalšími měřeními. Z měření na jednotlivých přístrojích je patrné, že odchylka jednotlivých měření na různých přístrojích roste s rostoucí prodyšností. Hodnoty naměřené v akreditované zkušebně Textilního zkušebního ústavu jsou nejnižší. Hodnoty získané při měření na FX 3300 jsou naopak nejvyšší.



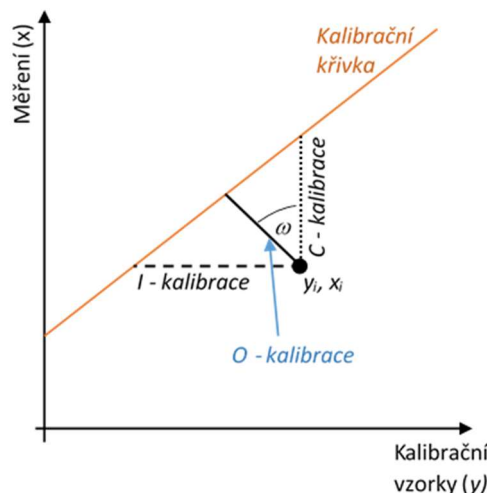
Obr. 49. Lineární regrese metodou nejmenších čtverců pro data z měření na TZU a MPT 01.

Provedeme-li porovnání hodnot prodyšnosti TZU a MPT 01 graficky (Obr. 49) a proložíme-li daty regresní přímkou metodou nejmenších čtverců, získáme její rovnici ve tvaru $y=1,213x-38,803$, kdy proměnné jednotlivých měření x_i jsou hodnoty prodyšnosti naměřené na TZU a proměnné jednotlivých měření y_i jsou hodnoty prodyšnosti naměřené na MPT 01. Koeficient determinace, charakterizující spolehlivost regresní přímky, je $R^2=0,996$.

V případě aplikace metody nejmenších čtverců však pomíjíme fakt, že obě sady dat MPT 01 i TZU jsou zatíženy experimentální chybou.

Podle toho, jaké chyby připouštíme u měřených veličin x_i a y_i , jsou obecně rozlišovány tři typy „kalibrací“ pro stanovení regresních křivek (Obr. 50) [81]:

- **C kalibrace** – měřené hodnoty y se považují za deterministické nebo měřené s minimální chybou a veličina x je považována za náhodnou. Jedná se o standardní metodu nejmenších čtverců, kdy se minimalizují odchylky e_{x_i} měření x_i od kalibrační funkce.
- **I kalibrace** – měřené hodnoty x se považují za deterministické nebo měřené s minimální chybou a veličina y je považována za náhodnou. Jedná se o minimalizaci odchylek e_{y_i} měření y_i od kalibrační funkce.
- **O kalibrace** – předpokládá, že obě proměnné x_i i y_i jsou náhodné a obecně s rozdílnými rozptyly. V tomto případě se minimalizují odchylky e_{c_i} bodů x_i, y_i od kalibrační funkce. Na základě poměru rozptylů $P_R = \sigma_y^2 / \sigma_x^2$ rozlišujeme pro poměr rozptylů $P_R=1$, že jde o minimalizaci „kolmých“ vzdáleností, a pro $P_R \neq 1$ jde o „vážené“ odpovídajícími rozptyly.



Obr. 50. Rezidua pro různé typy kalibrace [81].

Pro přesnější stanovení regresní přímky v oblasti měření na zařízeních je vhodnější stanovit regresní přímku pomocí zobecněné „O kalibrace“, protože rozptyly posuzovaných skupin dat x a y jsou $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$.

Pro známé rozptyly můžeme stanovit hodnotu proměnné P_R jako poměr rozptylů $P_R = \sigma_y^2 / \sigma_x^2$, kdy odhadujeme velikost veličiny \widehat{y}_0 pro velikost x a stanovujeme odhad směrnice kalibrační přímky na základě znalostí směrodatných odchylek a výběrové kovariance [81]:

$$\widehat{b}_1 = C + \text{sign}(\text{cov}_{xy}) \sqrt{C^2 + P_R}, \quad (106.)$$

kde:

$$C = \frac{s_y^2 - P_R s_x^2}{2 \text{cov}_{xy}}, \quad (107.)$$

$$\text{cov}_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}), \quad (108.)$$

kde:

P_R poměr rozptylů,

σ_x^2 rozptyl sady dat x ,

σ_y^2 rozptyl sady dat y ,

s_x^2 výběrový rozptyl sady dat x ,

s_y^2 výběrový rozptyl sady dat y ,

cov_{xy} výběrová kovariance dat x a y .

Hledaná rovnice regresní („kalibrační“) přímky má tvar [81]:

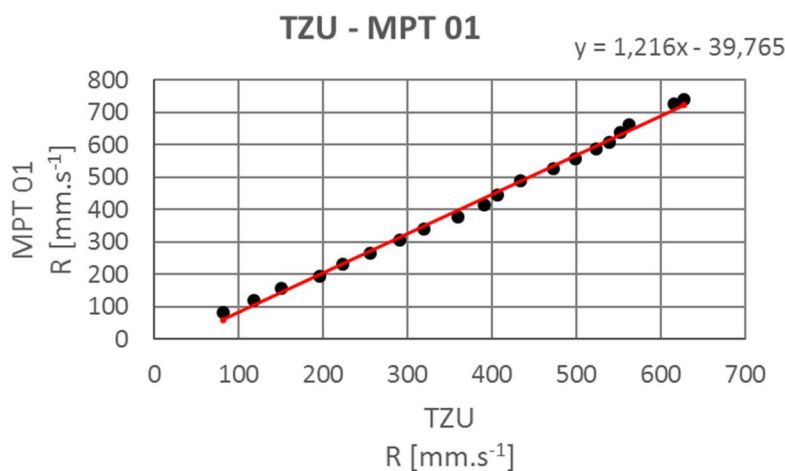
$$y = b_1 x + b_2 \quad (109.)$$

kde:

$$b_2 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (110.)$$

kde:

$b_{1,2}$ parametry přímky.

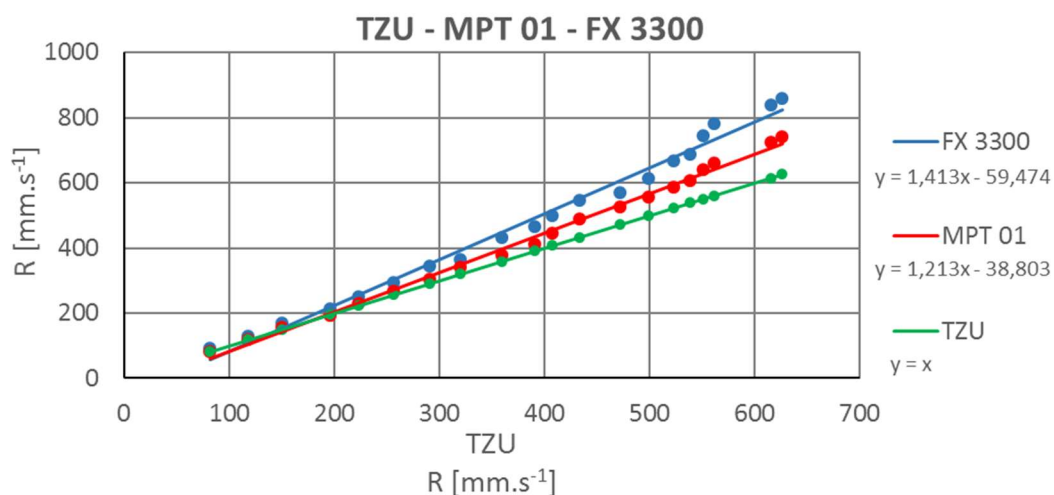


Obr. 51. Lineární regrese dle metody kalibrace pro obě proměnné zatížené náhodnými chybami pro data z měření na TZU a MPT 01.

Na základě aplikace kalibrace pro obě proměnné zatížené náhodnými chybami, která zohledňuje možnost, že obě sady dat jsou zatíženy experimentální chybou a kdy poměr rozptylů je $P_R=1,479$, byla pro data sad TZU a MPT 01 získána rovnice regresní přímky $y=1,216x-39,765$ (Obr. 51). Porovnáme-li regresní přímky stanovené metodou nejmenších čtverců

a aplikací kalibrace pro obě proměnné zatížené náhodnými chybami, tak z podobnosti přímk a na základě nepatrných rozdílů směrnice můžeme přijmout přímkou stanovenou metodou nejmenších čtverců za vhodnou pro porovnání dat naměřených na TZU a MPT 01.

Obdobný postup byl aplikován i na data sad TZU a FX 3300 a je uveden v příloze 6. I v tomto případě lze přijmout metodu nejmenších čtverců za vyhovující pro posouzení dat získaných na TZU a FX 3300. Rovnice regresní přímky získaná metodou nejmenších čtverců má tvar: $y=1,413x-59,474$, kdy proměnné jednotlivých měření x_i jsou hodnoty prodyšnosti naměřené na TZU a proměnné jednotlivých měření y_i jsou hodnoty prodyšnosti naměřené na FX 3300. Hodnoty prodyšnosti naměřené na MPT 01 jsou zhruba ve středu intervalu vytvořeného měření na TZU a FX 3300 Obr. 52.



Obr. 52. Regresní přímky získané metodou nejmenších čtverců pro sady měření TZU, MPT 01 a FX 3300.

Vzniklé rozdíly mezi jednotlivými sadami dat je možné vysvětlit konstrukčními odlišnostmi přístrojů. Použité přístroje měří snímači, které pracují na rozdílném principu. Také konstrukce upínací čelisti, vedení vzduchu ke snímačům a v případě MPT 01 i přetlaku vzduchu pod textilií mohou způsobit odlišnost dat. Přístroj MPT 01 provádí přepočítání z měřeného „hmotnostního“ průtoku na objemový průtok, kdy na základě parametrů vzduchu a podmínek měření je vypočten skutečný prošlý objem vzduchu vztažený na normální podmínky v laboratoři. S ohledem na výše uvedené poznatky a porovnání měření na uvedených přístrojích lze konstatovat, že zařízení MPT 01 se může používat na měření prodyšnosti textilií, ale naměřené hodnoty prodyšnosti textilií se doporučují porovnávat s hodnotami měření opět na tomto zařízení. Toto pravidlo by mělo platit i při měření na standardních přístrojích.

Jednotlivá měření by měla také zohledňovat nejistoty měření jednotlivých přístrojů. K přístroji TZU však nemáme dostupné výrobní parametry zařízení a při zpracování dat v laboratořích se upřednostňuje proměření dostatečného množství vzorků, kdy při opakovaném proměření nedochází k výrazným odchylkám mezi měřeními.

Výše uvedené posouzení správnosti měření bylo provedeno v rámci rozsahu prodyšnosti $80 - 750 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, regulátor průtoku na zařízení MPT 01 však umožňuje měření v širším rozsahu. V dalších pracích by bylo vhodné ověřit správnost měření celého rozsahu přístroje.

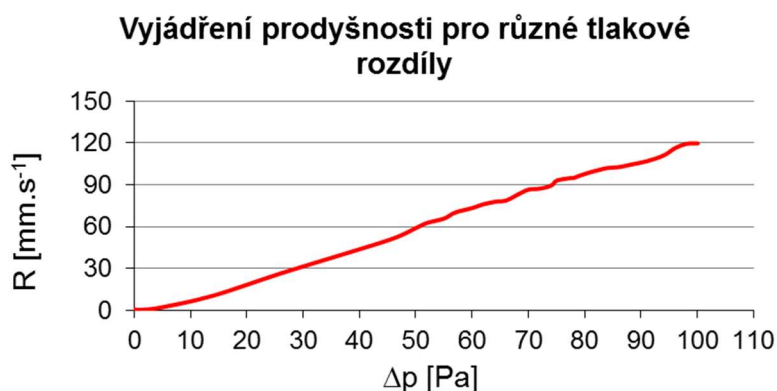
6. Možnosti využití funkcí zařízení MPT 01

Zařízení MPT 01 nabízí kromě standardního měření prodyšnosti při tlakovém rozdílu definovaném normou [1] širší využití v oblasti vědy a výzkumu.

Zařízení provádí ukládání dat do předdefinovaného souboru. V souboru jsou uložena data z průběhu celého měření. Snímání a ukládání dat probíhá každou sekundu měření. Soubor uložených dat tedy obsahuje celý časový průběh měření bez ohledu na volbu typu měření a tato data jsou dostupná pro další zpracování a vyhodnocení.

6.1. Plynulé měření prodyšnosti

V průběhu měření je možné na obrazovce PC v řídicím programu sledovat časové průběhy jednotlivých snímaných a řídicích signálů. Bez ohledu na čas je přínosné zobrazení změny tlakového rozdílu a odpovídající prodyšnosti pro konkrétní tlakový rozdíl na protějších stranách textilie. Základní závislosti získáme již při standardním měření nebo při výběru experimentálního typu měření s variantou generátoru přímky, kdy si uživatel sám volí směrnici přímky a tak plynulost nárůstu průtoku vzduchu upnutým vzorkem textilie.



Obr. 53. Vyjádření prodyšnosti vzorku pro různé tlakové rozdíly.

S rostoucím průtokem vzduchu roste tlakový rozdíl na protějších stranách textilie.

Na Obr. 53 je znázorněno, jak se mění hodnota prodyšnosti v závislosti na změně tlakového rozdílu pro vzorek č. 3 definovaný v příloze 7. Jednotlivá data měření jsou propojena do spojitě křivky tak, jak jí zobrazuje řídicí program na obrazovce počítače. Při zpracování dat v některém z kalkulátorů např. Excelu sady MS Office je možné daty proložit regresní křivku, či proloženou křivku vyhladit díky funkci klouzavého průměru.

Přínosem je, že ze zařízení MPT 01 máme k dispozici měření v celém rozsahu tlakového rozdílu od 0 Pa po zadanou hodnotu tlakového rozdílu obsluhou. Můžeme tak provést odečet pro konkrétní tlakový rozdíl nižší než maximální měřený.

6.2. Využití MPT 01 při hledání souvislosti prodyšnosti a změny struktury

Zařízení MPT 01 nabízí sledování chování textilie buď pomocí kamery nebo pomocí snímače vzdálenosti (kapitola 5.4).

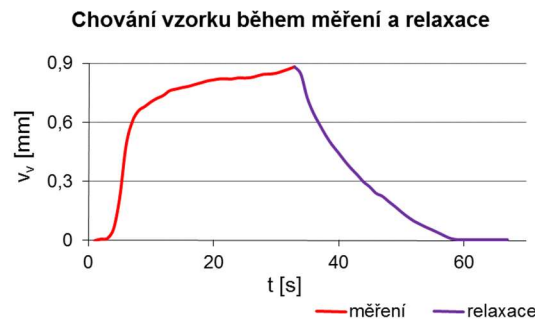
Sledování struktury textilie pomocí kamery, která snímá chování textilie v průběhu měření vizuálně, není v současné době přínosné. Jak již bylo popsáno výše, příslušenství kamery a upínací čelist vyžadují nutné úpravy, aby kromě získání snímaného obrazu textilie v klidovém stavu mohlo být provedeno snímání i v průběhu měření a byl získán kvalitní obraz s odpovídajícími parametry pro další zpracování a posouzení změn struktury textilie.

Významnou funkcí zařízení MPT 01 je měření velikosti vydutí vzorku v průběhu měření prodyšnosti. Jak už bylo popsáno v kapitole 5.4.2, snímač vzdálenosti je umístěný nad upnutým vzorkem textilie a je zaostřen na střed textilie, takže měří maximální vydutí vzorku. Nasnímané hodnoty vydutí vzorku jsou ukládány do souboru s ostatními daty a je možné je využít při sledování chování textilie během měření prodyšnosti. Zařízení umožňuje měřit velmi přesně i malé změny ve velikosti vydutí. Na ukázkou je v této kapitole uvedeno proměření vzorku č. 3 ze sady textilií uvedené v příloze 7.

6.2.1. Chování textilie v průběhu měření

Na Obr. 54 je zobrazeno chování textilie v čase během plynulého měření prodyšnosti. Textilie byla vystavena zvyšujícímu se průtoku vzduchu, kdy tlakový rozdíl na protějších stranách se zvyšoval až na 100 Pa a následně byl průtok vzduchu zastaven, čímž došlo k poklesu tlakového rozdílu na nulovou hodnotu.

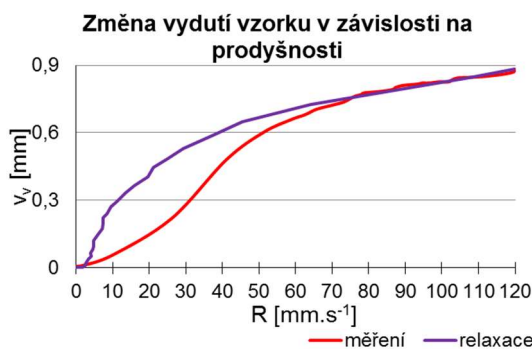
Z grafu na Obr. 54 je vidět, že po ukončení zatěžování textilie dochází k postupné relaxaci vzorku až na nulovou hodnotu vydutí. Tento graf má spíše ilustrativní charakter popisu chování textilie během měření, protože z grafu není patrné, jak se mění tlakový rozdíl a prodyšnost textilie odpovídající konkrétnímu tlakovému rozdílu.



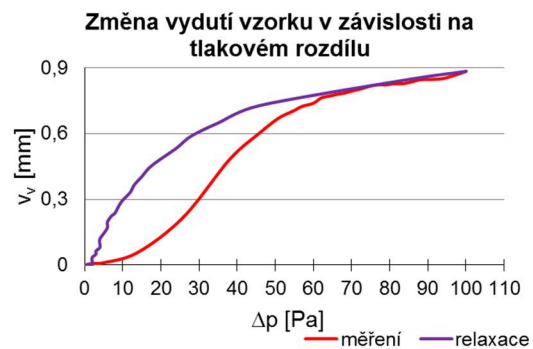
Obr. 54. Sledování vydutí vzorku v závislosti na čase.

6.2.1. Změna struktury textilie během měření prodyšnosti

Při měření prodyšnosti textilií můžeme pozorovat, jak se se změnou rychlosti vzduchu mění struktura textilie.



Obr. 55. Změna vydutí vzorku při měření prodyšnosti při $\Delta p = 0 - 100 \text{ Pa}$.



Obr. 56. Změna vydutí vzorku v závislosti na tlakovém rozdílu při měření prodyšnosti.

Na Obr. 55. je znázorněna změna vydutí vzorku jako funkce prodyšnosti. S rostoucí prodyšností roste vydutí vzorku, tento nárůst není lineární.

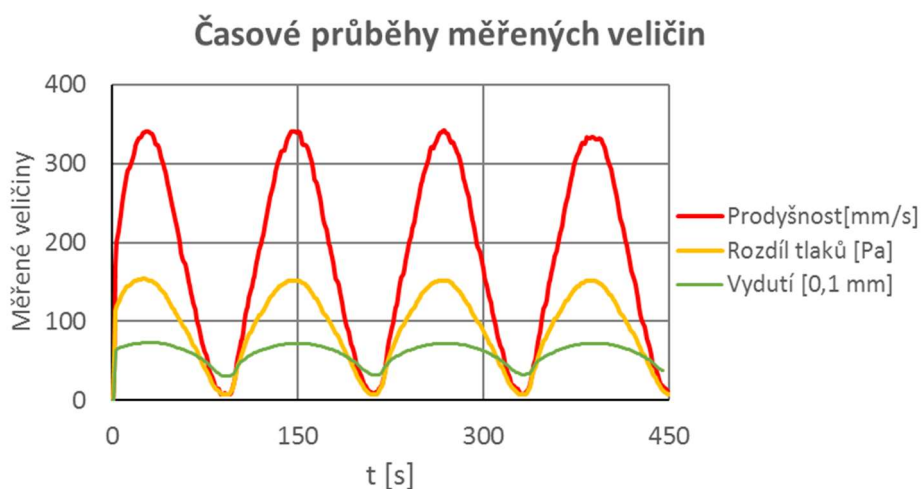
Změna vydutí vzorku jako funkce tlakového rozdílu při měření prodyšnosti textilie je na Obr. 56.

Při zatěžování vzorku silovými účinky vzduchu v průběhu měření dochází k jeho vydouvání. Po následném ukončení měření je vidět, že s poklesem silových účinků vzduchu je relaxace textilie pomalejší a křivky měření a relaxace se významně liší. Tento jev hlavně souvisí s tažností a pružností textilie, kdy tažnost textilie ovlivňuje hlavně velikost vydutí a pružnost její schopnost návratu do původního stavu.

6.3. Využití experimentálních typů měření

Experimentální měření dále nabízí možnosti řízení průtoku vzduchu schodovitě s definovanou délkou a výškou schodu. Tyto typy měření nacházejí uplatnění v souvislosti se sledováním chování textilií během měření skokovitě. Takto prováděné měření nabízí možnost sledovat např. vyboulení textilie při náhlé změně tlakového rozdílu a průtoku, kdy v každém kroku, po této změně, dojde ke zvětšení vydutí. Textilie se při ustálení tlakového rozdílu a průtoku snaží zrelaxovat, čímž se vydutí snižuje. Tento jev však není totožný u všech druhů textilií a je dán vlastnostmi textilie. Bylo by zcela určitě zajímavé sledovat vliv struktury a materiálového složení na chování textilie v průběhu měření.

Sinusový průběh řídicího signálu umožňuje sledovat opakované zatěžování textilie tlakovým rozdílem při měření prodyšnosti a vydutí textilie cyklicky. Tento průběh ryze experimentálního měření je jako návrh pro další výzkumy. Na Obr. 57 je zakreslen časový průběh z měření pleteniny s podílem elastických vláken. Pletenina byla periodicky zatěžována tlakovým rozdílem se sinusovou změnou průtoku vzduchu textilií. Současně bylo sledováno chování textilie ve smyslu změny velikosti vydutí.



Obr. 57. Grafické znázornění prodyšnosti, tlakového rozdílu a vydutí při experimentálním módu měření s využitím generátoru sinusového řídicího signálu pro regulátor průtoku.

Z grafu na Obr. 57 je vidět, že periodické změně průtoku vzduchu textilií v rozsahu 0 – 340 mm.s⁻¹ odpovídá rozsah tlakového rozdílu 0 – 153 Pa a vydutí vzorku se pohybuje v intervalu 3,2 – 7,2 mm. Měřený vzorek pleteniny s obsahem elastických vláken není schopen tak rychlé relaxace v rámci jedné sinusové periody. Na základě získaných dat by bylo možné vykreslit další grafy např. opakující se periody působení tlakového rozdílu a odpovídajících změn vydutí měřeného vzorku.

Toto experimentální měření bylo provedeno jen pro inspiraci a jako námět na další vědecké práce.

Díky přívětivému uživatelskému prostředí LabVIEW je popřípadě možné doplnit či změnit vytvořený řídicí program dle požadavků obsluhy a dalších vědeckých prací, samozřejmě s ohledem na jednotlivé prvky zařízení.

7. Vliv struktury textilie na její chování při měření prodyšnosti

Hledáním souvislostí mezi strukturou textilií a jejich prodyšností se zabývá řada vědeckých prací a to nejen diplomových a bakalářských [74], [82], [83]. Většinou je proměřena statická prodyšnost na souboru textilií s různými parametry a je vyhodnoceno, jak mění se parametry např. dostav, průměru nití a vazeb prodyšnosti ovlivňují.

V průběhu měření prodyšnosti textilií působí tlakový rozdíl na její protější strany. Důsledkem tlakového rozdílu prochází textilií vzduch ze strany s vyšším tlakem na stranu s tlakem nižším. Textilie se díky silovým účinkům vzduchu na její povrch vydouvá ve směru průchodu vzduchu. Vydutím textilie dochází ke změně velikosti zkoušené plochy. Vydutý vzorek má větší plochu, čím více se vydouvá, tím více plocha vzorku roste. Přírůstek plochy lze přisoudit přírůstku pórovitosti a vypočíst dle vztahu (101.). S rostoucí pórovitostí vzorku roste jeho prodyšnost.

Cílem kapitoly je představit využití přístroje MPT 01 a z něj získaných dat při hledání souvislostí mezi prodyšností textilie a strukturálními změnami, ke kterým dochází v průběhu měření prodyšnosti.

Všechna data, která jsou podkladem pro tuto kapitolu, jsou uvedena v příloze 7 až 11. Měření probíhalo při normou definovaných podmínkách [1] pro měření prodyšnosti tak, aby na všechny textilie působil stejný tlakový rozdíl na jejich protějších stranách. Při měření byly dodržovány podmínky ovzduší pro klimatizování a zkoušení definované normou [80].

7.1. Charakteristika použitých materiálů

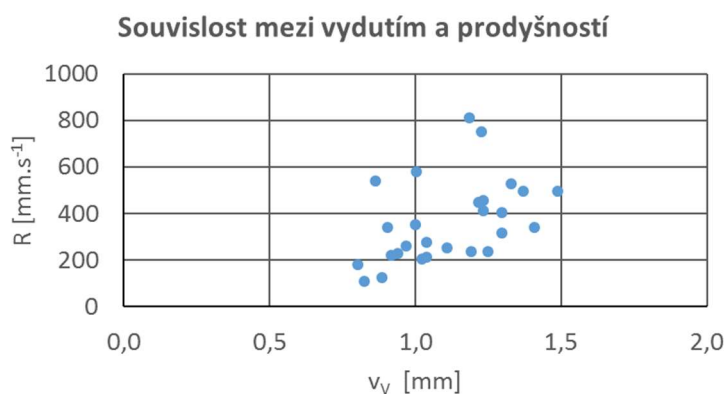
Dostupná sada textilií (specifikovaná v příloze 7) byla rezná, bez úprav, ze 100% bavlněné česané příze, kdy se měnila jemnost a dostava útkových nití a vazba tkaniny. Byly zvoleny 4 typy základní vazby:

- Plátnová: $P \frac{1}{1}$.
- Keprová:

- Třívazný kepr $K \frac{1}{2}$.
- Pětivazný kepr $K \frac{1}{4}$.
- Pětivazný atlas: $A \frac{1}{1}^4(2)$.

7.2. Hledání souvislostí mezi vydutím textilie a prodyšností

Na základě naměřeného souboru dat uvedeného v příloze 8 je na Obr. 58 graficky znázorněna velikost vydutí a odpovídající hodnota prodyšnosti textilií s různými parametry při stanoveném tlakovém rozdílu 100 Pa. Korelační koeficient o hodnotě 0,461 stanovený pro uvedený soubor dat 27 tkanin (příloha 8) poukazuje na slabou pozitivní lineární závislost mezi prodyšností a vydutím vzorku. S ohledem na rozptýlení dat bude vhodné zjistit, jaký vliv má struktura tkaniny na velikost vydutí.



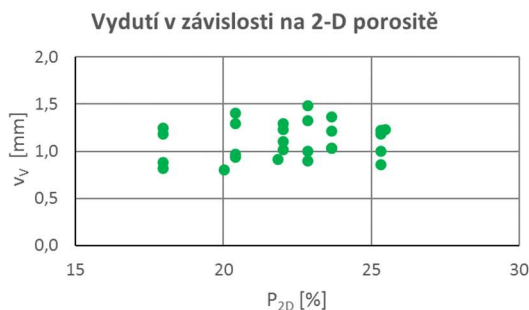
Obr. 58. *Souvislost mezi vydutím vzorku a hodnotami prodyšnosti při $\Delta p=100$ Pa.*

Na základě těchto předběžných studií na proměřené sadě vzorků je v následující kapitole posuzován vliv porosity textilie, jako funkce struktury i prodyšnosti textilie, na její chování během měření prodyšnosti.

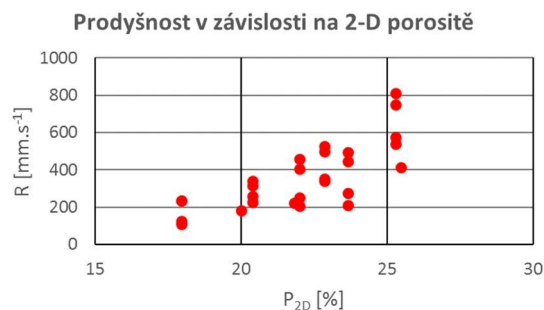
7.2.1. Porosita a vydutí textilií

Provedeme-li znázornění vypočtené 2-D porosity textilie dle vztahu (49.) na základě známých parametrů (uvedených v příloze 7 a 8) a vydutí vzorku textilie, Obr. 59, tak není patrný vliv 2-D porosity na vydutí textilie během měření prodyšnosti, což také charakterizuje korelační koeficient 0,170 vycházející z proměření 27 vzorků. V případě vlivu 2-D porosity textilie na její prodyšnost (při Δp 100 Pa) je možné pozorovat na Obr. 60, že se zvyšující se 2-D porositou se zvyšuje prodyšnost. Korelační koeficient 0,752 ukazuje na téměř silnou pozitivní lineární závislost prodyšnosti na 2-D

porositě textilie. Tento vypočtený typ modelu 2-D porosity tkaniny však zcela zanedbává třírozměrnou strukturu tkaniny, stanovuje se pouze z průmětu průměru a dostavy přízí do roviny tkaniny, kdy předpokládá kruhový průřez přízí.



Obr. 59. Vyduť vzorků
v závislosti na 2-D porositě
textilie.



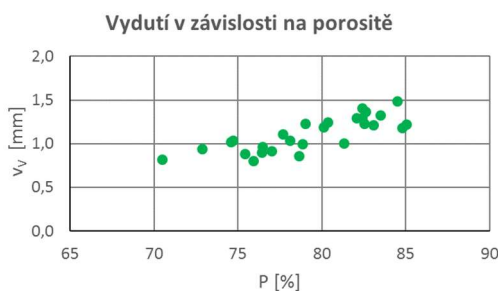
Obr. 60. Prodyšnost vzorků
v závislosti na 2-D porositě
textilie.

Vhodnějším se nabízí hledat souvislost u porosity textilií P [-], která se vypočte z interpretace hmotnostního zaplnění, na základě naměřených parametrů, dle vztahu:

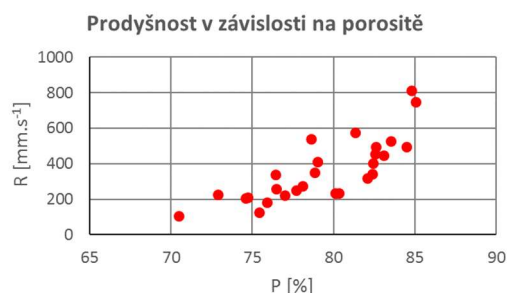
$$P = 1 - \frac{m_p}{t_T \rho_{CO}}, \quad (111.)$$

kde:

- m_p plošná hmotnost textilie [kg.m^{-2}],
- t_T tloušťka textilie [m],
- ρ_{CO} hustota bavlněných vláken [kg.m^{-3}].



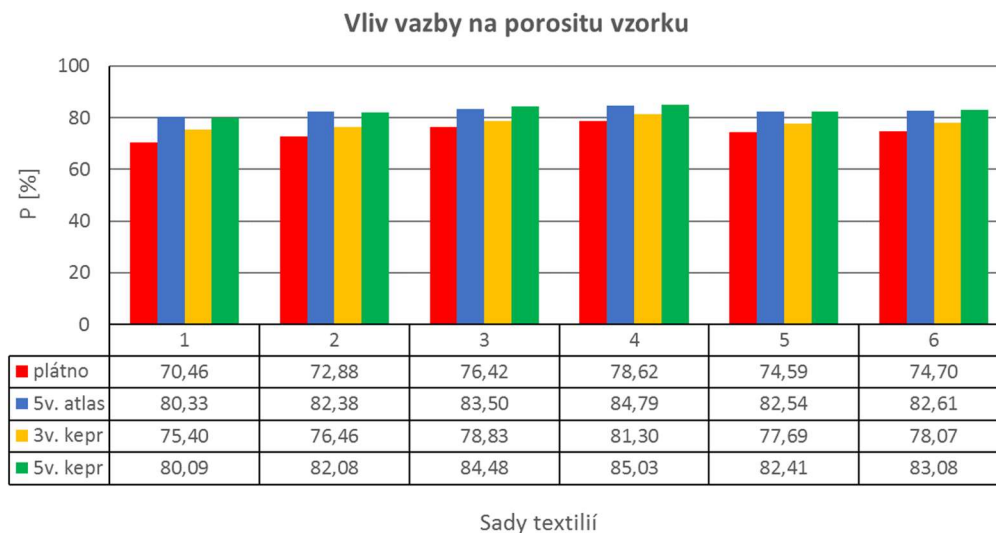
Obr. 61. Vyduť vzorků
v závislosti na porositě textilie.



Obr. 62. Prodyšnost vzorků
v závislosti na porositě textilie.

Přijmeme-li přesnější charakteristiku textilie v podobě porosity stanovené na základě skutečné tloušťky a plošné hmotnosti textilie, je z grafu na Obr. 61 vidět, že s rostoucí porositou roste vyduť vzorku, obdobně jako prodyšnost (Obr. 62). Korelační koeficient v případě vyduť a porosity vzorku je 0,805, takže se jedná o silnou pozitivní lineární závislost posuzovaných vlastností.

Korelační koeficient mezi prodyšností a porositou textilie je 0,794, což také charakterizuje silnou pozitivní lineární závislost dat mezi sebou. Takto stanovená porosita však kromě množství vzduchu v textilií nic neříká o jeho rozložení a o struktuře textilie.



Obr. 63. Vliv vazby na porositu textilií.

Vyčleníme-li a uspořádáme data do sad dle použité vazby, můžeme sledovat souvislost mezi vazbou a porositou vzorku textilie (Obr. 63). Každá skupina vzorků (kapitola 9 uvádí seznamy jednotlivých sad textilií) má stejné výrobní parametry a liší se pouze vazbou.

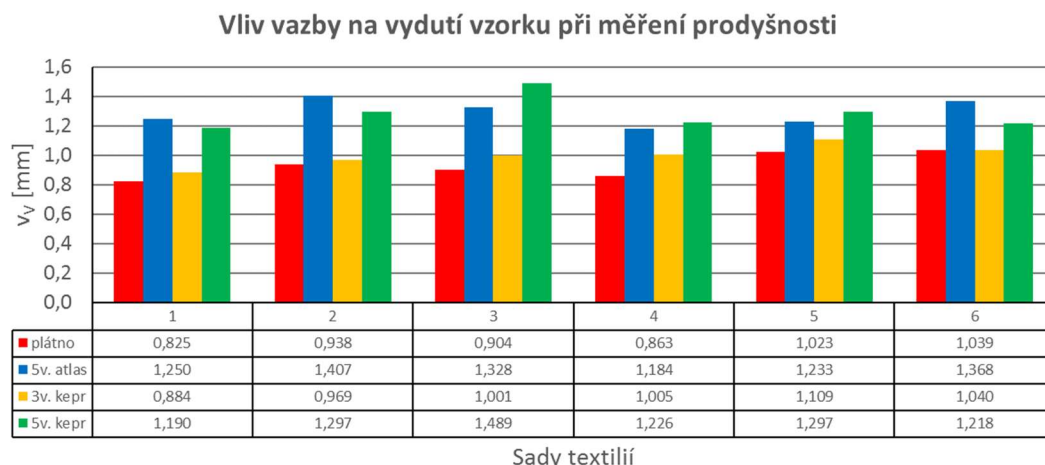
Graf (Obr. 63) potvrzuje, že u porosity textilie hraje roli způsob provázání nití. Plátňová vazba je nejméně provázaná a vyznačuje se nejmenší porositou. Nejmenší provázání je u vazeb pětivazných (keprové a atlasové). Skutečné porosity u pětivazných vazeb (kepru a atlasu) vypočtené na základě naměřených hodnot tloušťky textilie a její plošné hmotnosti si jsou velmi podobné.

7.2.2. Vazba a vydutí vzorku

Protože porosita textilie je ovlivněna provázáním, jak bylo potvrzeno v předchozí kapitole 7.2.1., je otázkou zda vazba také souvisí s vydutím vzorku.

S využitím naměřených dat (kapitola 8) a jejich uspořádáním do skupin se stejnými parametry struktury (kapitola 9 uvádí seznamy jednotlivých sad textilií) je možné graficky znázornit vliv vazby na vydutí vzorku textilie během měření prodyšnosti, jak je uvedeno na Obr. 64.

I přes velmi malé hodnoty vydutí textilií je možné pozorovat rozdílné velikosti vydutí v závislosti na vazbě tkaniny.



Obr. 64. Vliv vazby na vydutí textilií během měření prodyšnosti při $\Delta p = 100 \text{ Pa}$.

Nejpevnější vazbou je vazba plátnová, která se během měření nejméně vydouvá. Trívazný kepr je také odolný vydutí. Výrazně více se vydouvají tkaniny s volnějšími vazbami, které mají dlouhé flotáže nití. V případě pětivazného kepru a pětivazného atlasu jsou délky a počet flotáží ve vazbě jedné sady stejné. Z grafu na Obr. 64, v případě těchto vazeb, je vidět, že na vydutí nemá jednoznačný vliv počet relativních posunutí provázání sousedních útkových nití.

Prodyšnost je funkcí porosity, jak bylo dokázáno v řadě výzkumných prací, které jsou uvedeny v rešeršní části této práce. Výsledky naznačují, že velikost vydutí vzorku souvisí s velikostí porosity.

7.3. Přírůstek plochy vzorku vlivem vydutí

Stanovení přírůstku plochy vzorku vlivem vydutí vzorku při měření prodyšnosti je popsáno v kapitole 5.4.2.1. Na základě změřené velikosti vydutí je možné dopočítat, o kolik se zvětší plocha vzorku textilie během měření prodyšnosti. Jednoduchou úpravou vztahu (79.), kdy plochu vzorku A nahradíme zdeformovanou plochou A_{def} , můžeme upravit naměřenou hodnotu prodyšnosti textilie, tak aby vycházela ze skutečné plochy vzorku, kterou vzduch prochází. Upravená hodnota prodyšnosti R^* [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$] pak je:

$$R^* = \frac{Q_v}{A_{def}} \cdot k. \quad (112.)$$

V příloze 10 je aplikován tento vzorec na úpravu naměřených hodnot prodyšnosti na měřené sadě vzorků. S ohledem na malé hodnoty vydutí vzorku rozdíly mezi naměřenou a přepočtenou hodnotou prodyšnosti nepřesahují 0,35 % od naměřené hodnoty.

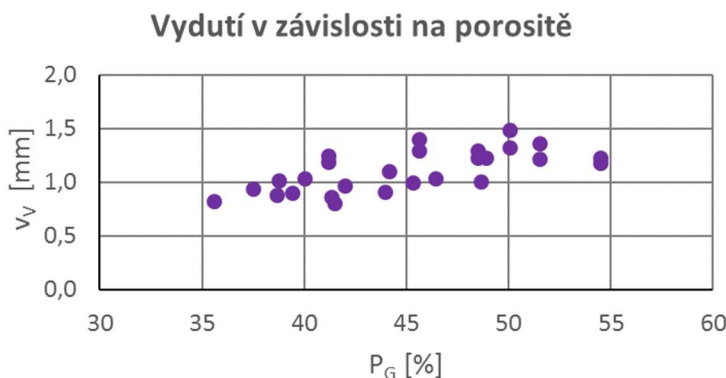
Přírůstek zvětšení plochy lze přičítat zvětšení porosity materiálu a tak prostoru, který umožňuje vstup vzduchu při měření prodyšnosti. Zvětšení plochy znamená zvětšení průtoku vzduchu a tedy zvýšení prodyšnosti textilie.

Pro vyčíslení změny porosity v oblasti zvětšení plochy pórů, kterými prochází vzduch, je nutné definovat jednotlivé póry, jejich velikost a tvar. Jak se při zpracování naměřených dat na uvedené sadě vzorků ukázalo, tak 2D porosita nevykazovala závislost na vydutí vzorku. Významná byla závislost skutečné porosity materiálu a vydutí vzorku, kde svoji roli hrála vazba tkaniny (kapitola 7.2.1 a 7.2.2). Pro stanovení velikosti pórů u jednotlivých tkanin bylo tedy přistoupeno k modelu porosity stanovené pro jednotlivé typy buněk obsažených v použitých tkaninách dle Gooijera (kapitola 3.5.1.3), která zohledňuje vazbu tkanin.

Pro vyjádření změny velikosti pórů v tkanině vlivem vydutí vzorku při měření prodyšnosti jsou přijaty následující předpoklady:

- Nitě mají kruhový průřez.
- Veškerý vzduch prochází mezinitnými póry.
- Porosita je stanovena jako průmět šikmých mezinitných pórů do roviny tkaniny dle Gooijera (kapitola 3.5.1.3).
- Změnou plochy vlivem vydutí vzorku se deformují všechny póry stejnou mírou ve směru osnovy a ve směru útku.
- Smykové deformace jsou zanedbány.
- Změny průměru nitě vlivem deformace jsou zanedbány.

Pro jednotlivé typy tkanin byly definovány typy a počet jednotlivých pórových buněk obsažených v souboru tkanin, jak je definoval Backer (Obr. 22). Pro jednotlivé typy buněk byla vypočtena velikost šikmého póru dle Gooijera (Příloha 11). Následně byla stanovena porosita vzorku dle vztahu (56.).



Obr. 65. Vydutí vzorku v závislosti na porositě vyjádřené z Gooijerových šikmých pórů.

Na Obr. 65 je graficky znázorněno vydutí vzorku v závislosti na porositě vypočtené na základě Gooijerových průmětů jednotlivých mezinitných šikmých pórů tkanin. Korelační koeficient pro proměřených 27 vzorků tkanin je 0,676, což je uspokojující v porovnání s 2D porositou, která nezohledňuje typ vazby a tedy tvar pórů.

Na základě zvětšení plochy vzorku vlivem vydutí je stanovena změna dostavy osnovních a útkových nití v upnutém vzorku. Počet osnovních a útkových nití se nemění, ale mění se vzdálenost mezi nimi. V tabulce přílohy 11 jsou uvedeny dostavy před a po deformaci vzorku vlivem vydutí. Díky novým hodnotám dostav lze vypočíst nové hodnoty jednotlivých pórových buněk obsažených v měřených tkaninách.

Porovnáním velikostí pórových buněk bez a s vydutím vzorků v případě proměřené sady vzorků se pohybují změny velikosti plochy pórových buněk obsažených v použitých vazbách tkanin v intervalu 0,15 – 0,53 %. Celková změna velikostí pórů v měřených textiliích při zohlednění počtu jednotlivých tvarů pórů je maximálně 0,49 %, což lze považovat za zanedbatelné.

Vybraná data z analýzy vlivu vydutí vzorku na změnu porosity textilie jsou uvedena v příloze 11.

V případě pletenin či textilií s obsahem pružných (elastických) vláken může docházet při měření prodyšnosti, při tlakovém rozdílu 100 Pa, k vydutí textilie kolem 5 či 8 milimetrů. Změna velikosti plochy vzorku při ploše upínací čelisti 20 cm² a vydutí 5 mm dosahuje téměř 4%, v případě vydutí 8 mm již 10%.

Velikost vydutí více jak 2,54 mm přináší změnu velikosti upnutého vzorku překračující 1%, což způsobuje změnu prodyšnosti také o více jak 1%. U textilií, které se vydouvají více jak 2,5 mm, by již mělo být řešeno, jak zabránit (např. dostatečnou oporou) či jak zohlednit toto vydutí do naměřených hodnot prodyšnosti.

7.4. Souhrn poznatků z proměřené sady vzorků

Kapitola 7. Vliv struktury textilie na její chování při měření prodyšnosti byla zpracována s cílem nastínit uplatnění nového zařízení MPT 01 při hledání souvislostí mezi prodyšností a strukturální změnou.

Změny struktury textilie v podobě vydutí jsou velmi malé, ale i tak ukazují, že měření na MPT 01 je přínosné v oblasti sledování chování struktury textilie během měření prodyšnosti.

Naměřená data byla získána na dostupné sadě vzorků stejného materiálového složení, v rezném stavu bez finálních úprav. Všechny uvedené závěry platí pouze pro proměřený soubor textilií. Na těchto výsledcích není možné stavět obecná tvrzení pro popis souvislostí mezi velikostí vydutí vzorku a prodyšností, respektive porositou.

8. Shrnutí dosažených výsledků

V rámci této disertační práce bylo vyvinuto nové zařízení na měření prodyšnosti a sledování chování textilie, které nabízí výrazně širší uplatnění v oblasti vědy a výzkumu.

Zařízení, které dostalo pracovní název MPT 01, umožňuje kromě standardního měření statické prodyšnosti měřit i dynamickou prodyšnost. To znamená, že v průběhu měření prodyšnosti textilie je možné provádět změny v závislosti na čase a sledovat souvislost mezi hodnotami prodyšnosti a tlakovým rozdílem. Řídicí program uživateli umožňuje pohodlnou obsluhu zařízení a sběr dat. V nabídce programu je několik módů měření a již v průběhu měření jsou k dispozici na obrazovce počítače grafická vykreslení vybraných naměřených dat.

Přínosnou funkcí zařízení je možnost sledovat chování textilie v průběhu měření. K dispozici je kamera, která vizuálně sleduje změnu velikosti pórů a chování volných vláken na povrchu nití. Sledování struktury textilie je v současné době omezeno. Větší uplatnění při posuzování strukturálních změn má nyní měření velikosti vydutí textilie, ke kterému dochází vlivem silových účinků vzduchu při měření prodyšnosti, pomocí laserového snímače vzdálenosti.

Pro měření na zařízení MPT 01 byla stanovena nejistota měření na základě dostupných informací k jednotlivým prvkům zařízení. Ta je k dispozici uživateli pro následné stanovení kombinované a rozšířené nejistoty měření v případě, že není provedeno dostatečné proměření vzorků tak, aby stačilo určení nejistoty typu A z naměřených dat a nebo běžné statistické zpracování v podobě určení intervalů spolehlivosti měření.

Pro ověření správnosti měření bylo provedeno proměření vytipované sady textilií a porovnáno s měřením na standardních přístrojích. Jeden z přístrojů byl přístroj pro měření prodyšnosti dostupný na Fakultě textilní a druhý přístroj z akreditované zkušebny Textilního zkušebního ústavu v Brně. Na základě zpracování dat se potvrdilo, že nové zařízení MPT 01 může být využito na měření prodyšnosti. Závěrem je nutno podotknout, že rozdíly mezi jednotlivými sadami měření potvrzují to, že při posuzování prodyšnosti textilií se musí porovnávat hodnoty prodyšnosti získané na jednom přístroji.

Na ukázkou bylo v práci provedeno proměření sady tkanin se známými parametry. Jak bylo ukázáno, tak zařízení umožňuje měřit i velmi malé změny ve velikosti vydutí a to s velkou přesností v řádech μm . Celé měření a zpracování výsledků má informativní charakter pro nastínění využití zařízení pro posuzování souvislostí mezi prodyšností, respektive porositou a změnou struktury, ke které dochází vlivem vydutí vzorku během měření prodyšnosti.

V případě, že je vydutí vzorku nad 2,5 mm (při použití upínací čelisti o velikosti 20 cm²), je vhodné tuto změnu struktury při měření prodyšnosti zohlednit při stanovení konečné hodnoty prodyšnosti. Vydutá textilie má větší plochu, což je způsobeno zvětšením pórů. Zvětšená porosita způsobuje prostup většího objemu vzduchu textilií a tak zkreslení výsledků prodyšnosti. V případě, že jsou pak porovnávány textilie s různou vydouvavostí, může vydutí znehodnotit správnost výsledku.

Na základě informací z laserového snímače vzdálenosti spolu s kombinací obrazového výstupu z kamery by mohla získaná data umožnit rozlišit složky horizontální a vertikální porozity [31], [70].

Náplní dalších prací by mělo být proměření rozsáhlého souboru textilií s různým materiálovým složením, s různými technologiemi provázání, s různou technologií výroby a konstrukcí délkových textilií, s různými finálními úpravami, atd. tak, aby mohlo být sledováno co nejvíce faktorů, které mohou změny struktury v podobě vydutí ovlivnit.

Zařízení MPT 01 by mohlo najít uplatnění:

- Při posuzování změn struktury v průběhu měření v podobě vydutí vzorků.
- Při posuzování chování volných konců vláken v průběhu měření prodyšnosti.
- Při měření technických textilií, obzvláště málo prodyšných.
- Při experimentálních dynamických měřeních prodyšnosti.

8.1. Doporučení pro další vývoj zařízení MPT 01

Celé zařízení prošlo rozsáhlým vývojem a jak se v průběhu používání a ověřování ukázalo, tak by bylo přínosné provést další jeho úpravy:

- Ověřit měření na MPT 01 mimo zatím verifikovaný rozsah.
- Vyrobit novou upínací čelist, tak aby mohlo být obnoveno využití kamery pro sledování chování textilie.
- Upravit makrooptiku kamery a řídicí program zařízení, aby bylo zajištěno souběžné sledování obrazu s měřením prodyšnosti a získané snímky poskytly data pro posouzení změn velikosti pórů a chování vláken a nití při měření prodyšnosti.
- Popřípadě rozšířit rozsah přístroje v oblasti umožňující měřit větší hodnoty prodyšnosti než 833 mm.s⁻¹ a zajistit přívod stlačeného vzduchu s konstantními parametry teploty a vlhkosti.

IV. Závěr

Disertační práce se zaměřuje na prodyšnost textilií a změny struktury, ke kterým dochází při měření prodyšnosti. Konkrétní cíle disertační práce byly určeny na základě rešerše literárních zdrojů. Podstatou praktické části práce je návrh nového přístroje na měření prodyšnosti, který umožňuje sledování chování textilie v průběhu měření prodyšnosti.

V rešeršní části práce jsou obsaženy základy oblasti proudění tekutin a jeho měření. Dále je uveden způsob stanovení nejistot měření, který je aplikován v praktické části práce. Významná část rešerše je věnována struktuře vlákněných útvarů se zdůrazněním porosity a jejím modelováním, které se uplatňuje u predikce prodyšnosti. Prodyšnost textilií a její měření je zpracováno do samostatné kapitoly, jsou uvedeny standardní i experimentální přístroje a metodiky pro měření této vlastnosti. Následně jsou popsány teoretické změny struktury, ke kterým dochází během měření prodyšnosti.

Během měření prodyšnosti dochází vlivem silových účinků vzduchu k vydutí textilie ve směru ze strany textilie, kde působí tlak vzduchu vyšší směrem ke straně s tlakem nižším. V oblasti chlupatosti příze také dochází k pohybu volných částí vláken a to ve směru proudícího vzduchu. Tyto změny, pokud jsou výrazné, mohou ovlivňovat výslednou hodnotu prodyšnosti měřené textilie.

V praktické části práce je popsáno, jak autorka navrhla a postupně vyvíjela přístroj umožňující sledování chování textilie během měření prodyšnosti. Tento přístroj umožňuje kromě měření standardní statické prodyšnosti i experimentální měření v několika módech v podobě dynamické prodyšnosti. V průběhu každého měření je možné sledovat chování textilie a všechna naměřená data ukládat pro další zpracování.

Zařízení s pracovním názvem MPT 01 bylo ověřeno na sadě vzorků, kdy měření byla porovnána s měřeními na dalších dvou standardních přístrojích na měření prodyšnosti.

Toto nové zařízení poskytuje informace o chování textilie v průběhu měření prodyšnosti. Sledování textilie v průběhu měření je realizováno kamerou anebo laserovým snímačem vzdálenosti. Uplatnění kamery je v práci pojato okrajově, protože jak se při ověřování funkčnosti ukázalo, sestava zařízení s využitím kamery vyžaduje konstrukční úpravy. Detailněji je popsáno měření vydutí vzorku textilie pomocí snímače vzdálenosti, který dokáže měřit i velmi malé změny v rádech μm . Na základě získaných dat z měření je možné charakterizovat změny struktury textilie.

Ukázková měření obsažená v práci nastiňují uplatnění zařízení v oblasti vědy a výzkumu.

V rámci dalších prací by bylo přínosné se zaměřit na textilie s obsahem pružných vláken, u kterých je vydutí vzorku tak velké, že výsledný přírůstek plochy vlivem vydutí dosahuje i 10% z velikosti plochy upínací čelisti. Protože tento přírůstek lze přičítat změně velikosti porosity, měly by se práce věnovat problematice, jak se mění prodyšnost textilií právě vlivem změny porosity způsobené strukturální změnou textilie v průběhu měření. Přínosné by mělo být i pozorování struktury textilie během měření kamerou. Získané obrazy by poskytly informace o chování volných konců vláken na povrchu nití a o změně velikosti sledovaných pórů v průběhu měření prodyšnosti textilie.

Zařízení MPT 01 nabízí několik experimentálních měření dynamické prodyšnosti, cílem dalších prací by mohlo být navržení nových metodik pro posuzování dynamické prodyšnosti textilie.

S ohledem na velikost rozsahů snímačů by zařízení mohlo najít uplatnění při stanovování prodyšnosti málo prodyšných textilií, obzvláště technických textilií.

Všechny stanovené cíle praktické části disertační práce byly naplněny. Nové zařízení MPT 01 je funkční a umožňuje měřit statickou a dynamickou prodyšnost textilií. Významným přínosem je možnost sledovat a popsat chování textilie během měření její prodyšnosti.

Citovaná literatura

- [1] Norma ČSN EN ISO 9237. *Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Český normalizační institut, 1996.
- [2] NOŽIČKA, Jiří. *Dynamika plynů*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, 155 s. ISBN 80-01-03300-7.
- [3] NOSKIEVIČ, Jaromír. *Mechanika tekutin*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 354 s.
- [4] ÇENGEL, Yunus A a John M CIMBALA. *Fluid mechanics: fundamentals and applications*. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2006, 956 s. ISBN 0-07-247236-7.
- [5] VESTFÁLOVÁ, Magda a Ivo STŘEDA. *Technická dynamika plynů*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004, 122 s. ISBN 80-7083-801-9.
- [6] *Tabulky fyzikálních konstant* [online]. Ústavu fyziky Stavební fakulty, VUT v Brně. [vid. 20.1.2016], dostupné na: http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/tabulky.pdf
- [7] MUNSON, Bruce R, Theodore H. OKIISHI a Donald F. YOUNG. *Fundamentals of fluid mechanics*. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2002, xvii, 840 s. ISBN 0-471-38195-0.
- [8] ZIENKIEWICZ, O, Robert L TAYLOR a Perumal NITHIARASU. *The finite element method for fluid dynamics*. 6th ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 435 s. ISBN 0-7506-6431-2.
- [9] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1996, 315 s. ISBN 80-01-01500-9.
- [10] *Zpravodaj pro oblast měření a regulace*. Měření průtoku & měření výšky hladiny, číslo 4 [online]. Omega. [vid. 2.1.2016], dostupné na: http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_4.pdf
- [11] KMÍNEK, Miloš. *Měřicí a řídicí technika* [online]. Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Ústav počítačové a řídicí techniky. [vid. 2.1.2016], dostupné na: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4-ram.htm>
- [12] VDOLEČEK, František. *Technická měření* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Ústav automatizace a informatiky. Brno, 2002, 64 s. [vid. 2.1.2016], dostupné na: <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/ETC.pdf>.
- [13] Manuál a firemní informace k přístrojům série FMA1600 [online]. Omega. [vid. 18.1.2016], dostupné na: <http://www.omega.com/pptst/FMA1600.html>.
- [14] *Zpravodaj pro oblast měření a regulace*, Měření síly a odvozených veličin, číslo 3 [online]. Omega. [vid. 4.1.2016], dostupné na: http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_3.pdf.
- [15] JENČÍK, Josef a Jaromír VOLF. *Technická měření*. 1. vyd. dotisk. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02138-6.
- [16] RIPKA, Pavel a Alois TIPEK. *Modern sensors handbook*. London: ISTE, 2007. 518 s. ISBN 978-1-905209-66-8.
- [17] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Interaktivní statistická analýza dat*. Vyd. 3., V nakl. Karolinum 1. Praha: Karolinum, 2012, 953 s. ISBN 978-80-246-2173-9.
- [18] *JCGM 100:2008 - Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. JCGM, 2008. 120 s.
- [19] GOOIJER, Henk. *Flow Resistance of Textile Materials*; Thesis UT Enschede, 1998, 125s. ISBN 90-36511240.
- [20] NECKÁŘ, Bohuslav. *Příze: Tvorba, struktura, vlastnosti*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990, 449 s. ISBN 80-03-00213-3.

- [21] NECKÁŘ, Bohuslav. *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, 1998, 243 s. ISBN 80-7083-318-1.
- [22] Interní norma č. 12-108-01/01 – *Geometrické vlastnosti staplových přízí* [online]. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. 8 s. [vid. 2.1.2016] dostupné na: http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2012-108-01_01.pdf
- [23] *Příručka textilního odborníka*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981, 775-1294 s.
- [24] DOSTALOVÁ, Mirka a Mária KŘIVÁNKOVÁ. *Základy textilní a oděvní výroby*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita, Fakulta textilní, 1998, 159 s. ISBN 80-7083-306-8.
- [25] NOSEK, Stanislav. *Struktura a geometrie tkanin*. Ústí nad Orlicí: Výzkumný ústav bavlnářský. 1974, 86 s.
- [26] DRAŠAROVÁ, Jana. *Analýza příčných řezů tkaniny*. Liberec: TUL, 2004, Disertační práce. 77 s., [17] s. příl.
- [27] BACKER, Stanley. The Relationship Between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties. Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability. *Textile Research Journal*, October 1951, s. 703 – 714. ISSN 0040-5175.
- [28] HALASOVÁ, Andrea. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu*. Liberec: TUL, 2007. Disertační práce 128 s., [18] s. příl.
- [29] Robertson, A. F. Air Porosity of Open Weave Fabric. *Textile Research Journal*, December 1950, s. 838 – 857. ISSN 0040-5175.
- [30] Bailey, T. L. W. Longitudinal Sectioning of Cords and Fabrics. *Textile Research Journal*, December 1947, s. 655 – 663. ISSN 0040-5175.
- [31] HAVRDOVÁ, Marie. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin*. Liberec: TUL, 2004, Disertační práce, 120 s., 21 s. příl.
- [32] LU, Wen-Min, Kuo-Lun TUNG a Kuk-Jin HWANG. Fluid Flow Through Basic Weaves of Monofilament Filter Cloth. *Textile Research Journal*, 1996. Vol. 66, No. 5, s. 311 – 323. ISSN: 0040-5175.
- [33] KULICHENKO, A. V. Theoretical analysis, calculation, and prediction of the air permeability of textiles. *Fibre Chemistry*. 2005, Vol. 37, No. 5, s. 371-380. ISSN 0015-0541.
- [34] GOOIJER, Henk, MMCG WARMOESKERKEN a JG WASSINK. *Flow resistance of textile materials - Part I: Monofilament fabrics*. *Textile Research Journal*. 2003, Vol. 73, No. 5, s. 437-443. ISSN 0040-5175.
- [35] GOOIJER, Henk, MMCG WARMOESKERKEN a JG WASSINK. *Flow resistance of textile materials - Part II: Multifilament fabrics*. *Textile Research Journal*. 2003, Vol. 73, No. 6, s. 480-484. ISSN 0040-5175.
- [36] XIAO, Xueling, Xuesen ZENG A Andrew LONG. *An analytical model for through-thickness permeability of woven fabric*. *Textile Research Journal*. 2012, Vol. 82, No. 5, s. 492-501. ISSN 0040-5175.
- [37] XIAO, Xueliang, Xuesen ZENG, Palitha BANDARA and Andrew LONG. *Experimental Study of Dynamic air Permeability for Woven Fabrics*, *Textile Research Journal*. 2012, Vol. 82, No. 9, s. 920-930. ISSN 0040-5175.
- [38] Norma EN ISO 9237:1995 – *Textiles – Determination of the permeability of fabrics to air*. Belgium:1995.
- [39] Norma BS 5636:1990 – *Method for determination of permeability of fabrics to air*. 1990.

- [40] Norma DIN EN ISO 9237:1995-12 *Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von textilen Flächengebilden*. 1995.
- [41] Norma ASTM D 737 – Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics. ASTM International, 2012.
- [42] Norma WSP 70.1 – *Air Permeability of Nonwoven Materials*.
- [43] STANĚK, Jaroslav. *Nauka o textilních materiálech*. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988, 151 s.
- [44] TextTest Instruments [online]. *Zařízení pro dynamické měření prodyšnosti FX 3350 AIRBAG-TESTER*. [vid. 2.1.2016] dostupné na: <http://www.textest.ch/en/FX3350-Airbag.html>
- [45] Textest Instrument. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3300 Lab Air*. Manuál dostupný na Katedře hodnocení textilií – Technická univerzita v Liberci.
- [46] Metefem. *Zařízení pro měření prodyšnosti FF – 12 A*. Manuál dostupný na Katedře materiálového inženýrství – Technická univerzita v Liberci.
- [47] SDL Atlas. *Zařízení pro měření prodyšnosti M 021 S*. Manuál dostupný na Katedře oděvnictví – Technická univerzita v Liberci.
- [48] TextTest Instruments [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3320 MOBILAIR*. [vid. 2.1.2016] dostupné na: <http://www.textest.ch/en/FX3320-Mobiliar.html>
- [49] TextTest Instruments [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3360 PORTAIR*. [vid. 2.1.2016] dostupné na: <http://www.textest.ch/en/FX3360-Portair.html>
- [50] SDL Atlas [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti M 021 A*. [vid. 2.1.2016] dostupné na: <http://www.sdlatlas.com/product/58/Air-Permeability-Tester>
- [51] Masdan [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti Air Tronic 3240*. [vid. 2.1.2016] dostupné na: http://www.mesdan.it/pdf/395_3240A_Leaflet_ita.pdf
- [52] Wira [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti WIRA Electronic Air Permeameter*. [vid. 2.1.2016] dostupné na <http://176.32.230.29/wira.com/wp-content/uploads/2013/08/Electronic-Air-Permeameter.pdf>
- [53] TextTest Instruments [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3500 COMBISCAN*. [vid. 2.1.2016] dostupné na: <http://www.textest.ch/en/air-permeability.html>
- [54] TextTest Instruments [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3300-PNA* [vid. 2.1.2016] dostupné na: <http://www.textest.ch/en/FX3300-PNA.html>
- [55] GNIOTEK, Krzysztof. Dynamic Permeability of Textiles. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 1996, Vol. 4, No 2 (13), s. 54-55. ISSN 1230-3666.
- [56] GNIOTEK, Krzysztof a Pawel TOKARSKI. New Metod of Assessing Static a Dynamic Flow Characteristics of Textiles. *Textile Research Journal*. 2000, Vol. 16, No. 1, s. 53 - 58. ISSN 0040-5175.
- [57] TOKARSKA, Magdalena: Analysis of Impact Air-permeability of Fabrice. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, Vol. 16, No 1 (66), s. 76 - 80. ISSN 1230-3666.
- [58] BANDARA Palitha, Carl LAWRENCE a Mohmmad MAHMOUDI. Instrumentation for the measurement of fabric air permeability at higher pressure levels. *Measurement Science and Technology*. 2006, Vol.17, No. 8, s. 2247–2255. ISSN: 0957-0233.
- [59] MILITKÝ, Jiří a Marie HAVRDOVÁ. Porosity and air permeability of composite clean room textiles. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2001, Vol. 13, Iss: 3/4, s. 280 – 289. ISSN 0955-6222.

- [60] ZUPIN, Živa, Aleš HLANDÍK a Krste DIMITROVSKI. Prediction of one-layer Woven Fabrics air Permeability Using Porosity Parameters. *Textile Research Journal*. 2012, Vol. 82, No. 2, s. 117-128. ISSN 0040-5175.
- [61] MILITKÝ, Jiří, Dana KŘEMENÁKOVÁ, Michal VIK a Martina VIKOVÁ. Neural Network for porosity and air permeability prediction [online]. *4 th International Conference Innovation and Modelling of Clothing Engineering*. Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Slovenia. October 9-11, 2003. [vid. 20.12.2015] dostupné na: <http://centrum.tul.cz/centrum/sekceB/publikace/2003/1316.pdf>
- [62] CAY, Ahmet, Savvas VASSILIADIS a Maria RANGOOSI a kol. Prediction of the air permeability of woven fabrics using neural networks. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2007, Vol. 19 Iss: 1, s. 18-35. ISSN 0955-6222.
- [63] TOKARSKA, Magdalena. Neural Model of the Permeability Features of Woven Fabrics, *Textile Research Journal*. 2004, Vol. 74, No. 12, s. 1045-1048. ISSN 0040-5175.
- [64] MATUSIAK, Malgorzata. Application of Artificial Neural Networks to Predict the Air Permeability of Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2015, Vol. 23, No 1 (109), s. 41-48. ISSN 1230-3666.
- [65] ADANUR, Sabid a Jaget Sathendra VAKALAPUDI. *Yarn and Fabric Design and Analysis System in 3D Virtual Reality*. [online]. NTC Project: S00-AE06. October 2003. [vid. 20.6.2005] dostupné na: <http://www.eng.auburn.edu/department/te/ntc/2003/S00AE06.pdf>
- [66] *Software Ansys* [online]. Ansys. [vid. 21.1.2016] dostupné na: <http://www.ansys.com>
- [67] VERLEYE, Bart. Gend MORREN Stepan Vladimirovitch LOMOV a kol. Userfriendly permeability predicting software for technical textiles. *Conference: 5th International Industrial Simulation Conference*. Univ Technol, Delft, Netherlands. JUN 2007. (s. 455-458).
- [68] DELERUE, J.F. S.V LOMOV, R.S. PARNA a kol. Pore network modelling of permeability for textile reinforcements. *Polymer Composites*. 2007, Vol. 24, No. 3, s. 344-357. ISSN 1548-0569.
- [69] RIEF S., E. GLATT, E. LAOURINE a kol. Modelling and CFD simulation of woven textiles to determine permeability and retention properties. *Autex Research Journal*, 2011. Vol. 11, No. 3, s.78-83. ISSN 2300-0929.
- [70] HAVLOVÁ, Marie. Model of Vertical Porosity Occurring in Woven Fabrics and its Effect on Air Permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2014; Vol. 22, No 4 (106), s. 58-63. ISSN 1230-3666.
- [71] TOKARSKA, Magdalena a Krzysztof GNIOTEK. Method of Predicting the Pressure Drop on Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005, Vol. 13, No 4 (52), s. 48 - 51. ISSN 1230-3666.
- [72] LOIX, F. P. BADEL, L. ORGEAS a kol. Woven fabric permeability: From textile deformation to fluid flow mesoscale simulations. *Composites Science and Technology*. 2008, Vol. 68, No. 7-8, s. 1624-1630. ISSN: 0266-3538.
- [73] ŠINDELKOVÁ, Lucie. *Hodnocení vztahu mezi prodyšností a strukturou tkaniny*: Liberec: TUL, 2007, Diplomová práce, 72 s., 14 s. příl.
- [74] ČAPKOVÁ, Lucie. *Hodnocení prodyšnosti bavlnářských tkanin s plátňovou vazbou*: Liberec: TUL, 2010, Diplomová práce, 81 s., [18] s. příl.
- [75] VESELÁ, Daniela a Zdeněk KÚS. Device for measurement of static and dynamic air permeability and deformation changes in textile materials. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2016, Vol. 24, No 1 (115), str. 120 – 126. ISSN 1230-3666.

- [76] LONKOVÁ, Daniela. *Zařízení pro měření prodyšnosti plošných textilií*. Liberec: TUL, 2004, Diplomová práce. 68 s., 25 s. příl.
- [77] SOMEROVÁ, Lenka. *Řízení přístroje pro hodnocení prodyšnosti*. Liberec: TUL, Diplomová práce. 2006, 72 s., 4 příl.
- [78] ŽÍDEK, Jan. *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW* [online]. Katedra elektrických měření, Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB-TU Ostrava, 2002, 214 s. [vid. 20.12.2015] dostupné z: http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/VI_Skripta.pdf
- [79] MIKULČÁK, Jiří, Jura CHARVÁT, Martin MACHÁČEK a František ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2003, 276 s. ISBN 80-7196-264-3.
- [80] Norma ČSN EN 20139 – *Textilie – Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení*. Český normalizační institut. 2005.
- [81] MILITKÝ, Jiří a Dana KŘEMENÁKOVÁ. *Metrologie a řízení jakosti*. Liberec: TUL, 2015, 373 s. ISBN 978-80-7494-242-6.
- [82] HAVLOVÁ, Marie. Air Permeability and Constructional Parameters of Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2014; Vol. 22, No 4 (106), s. 84-89. ISSN 1230-3666.
- [83] BUČKOVÁ, Petra. *Faktory ovlivňující prodyšnost a její měření*. Liberec: TUL, 2009, Bakalářská práce. 43 s., [12] s. příl.

Vlastní publikace související s tématem práce

- VESELÁ, Daniela a Zdeněk KŮS. Device for measurement of static and dynamic air permeability and deformation changes in textile materials. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2016. Vol. 24, No 1 (115), s. 120 – 126. ISSN 1230-3666.
- VESELÁ, Daniela a Zdeněk KŮS. Přístroj pro měření prodyšnosti textilií – MPT 01. *Textilie v novém tisíciletí VIII*. Liberec: TUL duben 2010, ISBN - 978-80-7372-590-7.
- LONKOVÁ, Daniela. Observing of the Fabric Structure during the Air Permeability Measuring. *Mezinárodní konference studentů vysokých škol v Euroregionu Nisa*. Poland: Akademia Ekonomiczna im. Oskara Langego we Wrocławiu, 2007. s. 128 – 132. ISBN 978-83-60975-00-8.
- LONKOVÁ, Daniela a Zdeněk KŮS. The instrument for the fabric air permeability measurement and structure observing. *13th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles STRUTEX*, TU Liberec, 2006. s. 285 – 288. ISBN 80-7372-135-X.
- LONKOVÁ, Daniela, Zdeněk KŮS a Lenka SOMEROVÁ. Controlled measuring of textile air permeability. *Proceedings of the 20th Scientific Conference Hanoi University of Technology*. Vietnam: Hanoi University of Technology, 2006. s. 70 – 73.
- LONKOVÁ, Daniela a Zdeněk KŮS. Computer controlled fabric air permeability measurement. *12th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles STRUTEX*. Liberec: TUL, 2005. s. 291 – 296. ISBN 80-7372-002-7.
- LONKOVÁ, Daniela. *Zařízení pro měření prodyšnosti plošných textilií*. Liberec: TUL, 2004. Diplomová práce. 68 s., 25 s. příl.

Zkratky a symboly

A	.....plocha vzorku, kterou prochází vzduch [m ²]
A_c	.....plocha zakřivené nitě [m ²]
A_{def}	..... plocha deformovaného vzorku [m ²]
$A_{1,2,3,4}$	..... plocha průměru póru typu 1 (2, 3 nebo 4) [m ²]
a	..... polovina průměru nitě [m]
a_i	..... poloviční šířka obdélníkového rozdělení možných hodnot vstupní veličiny X_i
a_p	..... plocha povrchu vlákna [m ² .kg ⁻¹]
a_v	..... rychlost vzduchu [m.s ⁻¹]
a_+	..... horní mez (hranice) vstupní veličiny X_i
a_-	..... dolní mez (hranice) vstupní veličiny X_i
B	..... číselná konstanta [-] (pro měřené vzorky je v rozsahu 0,075 až 0,16)
$b_{1,2}$	..... parametry přímky
C_D	..... průtokový koeficient [-]
C_d	..... součinitel odporu [-]
CF	..... Piercův faktor zakrytí [-]
COV_{xy}	..... výběrová kovariance dat x a y
$c_{0,1,2,3}$	..... odhadnuté parametry multilineárního modelu [-]
D_{kp}	..... vnitřní průměr kruhového potrubí [m]
D_O	..... dostava osnovy [m ⁻¹]
DP	..... index dynamické propustnosti [-]
D_p	..... průměrná dostava [m ⁻¹]
D_T	..... odpor tělesa [N]
D_U	..... dostava útku [m ⁻¹]
d_{ekv}	..... ekvivalentní průměr vláken [mm]
d_h	..... hydraulický průměr [m]
d_{KC}	..... průměr otvoru kruhové clony [m]
d_N	..... průměr nitě [mm], [m]
d_O	..... průměr osnovních nití [m]
d_{por}	..... průměr póru [m]
d_s	..... substanční průměr nitě [mm]
d_U	..... průměr útkových nití [m]
E_o	..... plocha vertikálního póru pod osnovní nití [cm ²]
E_U	..... plocha vertikálního póru pod útkovou nití [cm ²]
FF	..... flotážní faktor [-]
f	..... stupeň provázání tkaniny [-]
f^m	..... opravný činitel vazby [-]
g	..... gravitační zrychlení [mm.s ⁻²]
h	..... tlaková výška tekutiny [m]
h_o	..... výška obloučku osnovní nitě [m]
h_R	..... rozdíl výšek hladin [m]
h_u	..... výška obloučku útkové nitě [m]
$h_{1,2,3}$	..... tlaková výška tekutiny v úseku (1,2 nebo 3) [m]
IP	..... index vlivu propustnosti [-]
K_d	..... konstanta $31,623 \cdot 10^{-3}$ [-]
K_E	..... faktor určený geometrií laminárních průtočných elementů [m ³]

K_K	.....	strukturální souhrnný index [m]
K_R	.....	koeficient rozšíření <2;3>
k_o	.....	Kozényho konstanta [-]
k	.....	koeficient převodu jednotek [-]
L	.....	délka potrubí [m]
L_M	.....	šířka nitě [m]
LP	.....	koeficient tlakového koeficientu [-]
l	.....	délka hladiny v trubici vychýlená od nulového tlakového rozdílu [m]
l_{fo}	.....	délka flotáže osnovní nitě [m]
l_{fu}	.....	délka flotáže osnovní nitě [m]
l_N	.....	délka nitě [km]
l_O	.....	skutečný rozestup osnovních nití [m]
l_U	.....	skutečný rozestup útkových nití [m]
l_V	.....	délka vlákna [km]
Ma	.....	Machovo číslo [-]
m	.....	vazební exponent [-]
m_N	.....	hmotnost nitě [g]
m_p	.....	plošná hmotnost textilie [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]
m_V	.....	hmotnost vlákna [g]
$m_{1,2,3,4}$	.....	počet pórů typu 1 (2, 3 nebo 4) obsažených ve střídě [-]
$m_{3A,3B}$	.....	počet typů pórů 3A nebo 3B obsažených ve střídě [-]
N_P	.....	počet pórů [-]
n	.....	počet měření [-]
n_{OS}	.....	počet osnovních nití ve střídě vazby [-]
n_{SO}	.....	počet vazných bodů ve střídě ve směru osnovy [-]
n_{SU}	.....	počet vazných bodů ve střídě ve směru útku [-]
n_{pos}	.....	počet vazných bodů, o které je vzájemně posunuto zakřížení sousedních útkových nití [-]
O_O	.....	omočený obvod potrubí [m]
O_1	.....	obvod póru typu 1 [m]
O_V	.....	obvod vlákna [mm]
P	.....	porosita [-]
P_{def}	.....	teoretická porosita deformovaného vzorku [-]
P_G	.....	porosita podle Gooijera [-]
P_H	.....	porosita 3-D zjednodušeného modelu podle Havrdové [-]
P_L	.....	porosita dle Lu [-]
P_P	.....	přírůstek plochy po vydutí vzorku [m^2]
P_R	.....	poměr rozptylů [-]
P_{sm}	.....	modifikovaná plošná porosita [-]
P_{ver}	.....	vertikální porosita [-]
P_{2D}	.....	2-D porosita [-]
p	.....	tlak [Pa]
p_{atm}	.....	atmosférický tlak [Pa]
$p_i(t)$	.....	tlak i-tého měření textilie v konkrétní čase t při pulsním („dynamickém“) nárůstu tlaku [Pa]
$p'_i(t)$	.....	tlak i-tého měření textilie v konkrétním čase t při konstantní změně tlaku [Pa]

- $p_m(t)$...tlak při měření kovové mřížky v konkrétním čase t při konstantní změně tlaku [Pa]
- p_n počet vazných bodů ve střídě vazby [-]
- p_p počet průchodů útku mezi rubem a lícem [-]
- p_f počet řádků ve střídě vazby [-]
- p_{s1} statický tlak před zúžením toku [Pa]
- p_{s2} statický tlak v místě zúžení toku [Pa]
- $p_t(t)$ tlak při měření textilie v konkrétní čase t při pulsním („dynamickém“) nárůstu tlaku [Pa]
- $p'_t(t)$ tlak při měření textilie v konkrétním čase t při konstantní změně tlaku [Pa]
- $p_{1,2,3}$ tlak tekutiny v úseku (1,2 nebo 3) [Pa]
- q stupeň rozvinutí tvaru vlákna [-]
- Q_M hmotnostní množství protečené tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
- Q_V objemové množství protečené tekutiny [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]
- q_j j -té nezávislé měření veličiny q
- R prodyšnost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
- R^* přepočtená prodyšnost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
- Re Reynoldsovo číslo [-]
- Re_k kritické Reynoldsovo číslo [-]
- R_M polovina vzdálenosti mezery mezi nitmi (poloměr póru) [m]
- R_N predikovaná prodyšnost dle Milirkého a kol. s využitím neuronových sítí
- R_P predikovaná prodyšnost dle Militkého a kol.
- R_X predikovaná prodyšnost dle Xiao a kol.
- R_Z predikovaná prodyšnost dle Zupin a kol.
- r měrná plynová konstanta [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
- $r_{\check{c}}$ poloměr upínací čelisti [m]
- r_K poloměr koule [m]
- S plocha průřezu [m^2]
- S_C plocha průřezu potrubí [m^2]
- S_{FO} celková plocha flotážních úseků osnovních nití v 1cm^2 tkaniny [cm^2]
- S_{FU} celková plocha flotážních úseků útkových nití v 1cm^2 tkaniny [cm^2]
- S_N plocha průřezu nádržky [m^2]
- S_P plocha průtočného průřezu [m^2]
- S_{PT} souhrnný parametr tkanin [-]
- S_T plocha průřezu trubice [m^2]
- S_{TP} charakteristická plocha tj. čelní plocha průřezu [m^2]
- S_{VR} plocha pláště kulového vrchlíku [m^2]
- s počet měřených společných bodů [-]
- s_C celková řezná plocha útvaru [mm^2]
- s_o setkání osnovy [%]
- s_u setkání útku [%]
- s_V plocha příčného řezu vlákna [mm^2]
- s_v plocha řezů vláken [mm^2]
- s_x^2 výběrový rozptyl sady dat x
- s_y^2 výběrový rozptyl sady dat y
- T teplota [K]

T_Njemnost nitě [tex]
 T_Ojemnost osnovních nití [tex]
 T_Ujemnost útkových nití [tex]
 T_Vjemnost vlákna [tex]
 tčas [s]
 t_otloušťka obloučku osnovní nitě [m]
 t_ptloušťka porézního média, kterým protéká tekutina [m]
 t_Ttloušťka tkaniny [m]
 t_utloušťka obloučku útkové nitě [m]
 Urozšířená standardní nejistota měření
 urelativní posunutí provázání sousedních útkových nití [-]
 u_astandardní nejistota typu A
 u_bstandardní nejistota typu B
 u_b^*souhrnná standardní nejistota typu B
 u_cstandardní nejistota typu C
 V_Ccelkový objem libovolné pórové buňky [m³]
 V_fobjem vláken [m³]
 V_{OC}objem celkový [m³]
 V_tprošílý objem [m³.s⁻¹]
 V_Ucelkový objem vlákenného útvaru [m³]
 V_{VB}objem hmoty nitě, který zasahuje do celkového objemu pórové buňky [m³]
 V_{VL}objem vláken v útvaru [m³]
 V_Zobjem zásobníku [m³]
 V_{ZN}celkový objem zakřivené nitě [m³]
 V_{ZO-}objem nezakříženého úseku osnovní nitě [m³]
 V_{ZO+}objem zakříženého úseku osnovní nitě [m³]
 $v_{1,2,3}$rychlost proudící tekutiny v úseku (1,2 nebo 3) [m.s⁻¹]
 $V_{1,2,4}$objem nevyplněný hmotou nitě pro buňku typu 1, 2 nebo 4 [m³]
 $V_{3A,3B}$objem nevyplněný hmotou nitě pro buňku typu 3A nebo 3B [m³]
 vrychlost proudící tekutiny [m.s⁻¹]
 \bar{v}průměrná rychlost tekutiny [m.s⁻¹]
 v_Vvelikost vydutí vzorku [m]
 wpovrchová rychlost proudění [m.s⁻¹]
 Xparametr tkanin [-]
 x_{skut}skutečná hodnota x
 x_{nam}naměřená hodnota x
 Zstupeň zakrytí [-]
 Zdeformace při vzniku vertikálního póru [m]
 Z_odeformace osnovní nitě při vzniku vertikálního póru [m]
 Z_udeformace útkové nitě při vzniku vertikálního póru [m]

αprůtokový součinitel [-]
 α_ppodíl otevřené plochy póru [-]
 βparametr rozevření paraboly – tvaru nitě [-]
 γměrná hmotnost vlákenného útvaru [kg.m⁻³]
 Δabsolutní chyba
 Δmpřírůstek hmotnosti [kg]

Δp	..... tlakový rozdíl [Pa]
Δt	..... přírůstek času [s]
ΔV	..... přírůstek objemu [m ³]
δ	..... relativní chyba
δ_i	..... součinitel stlačitelnosti [Pa ⁻¹]
δ_R	..... redukovaná relativní chyba
ε	..... expanzní součinitel [-]
η	..... dynamická viskozita [Pa.s]
κ	..... propustnost - koeficient prodyšnosti [m ²]
μ	..... zaplnění [-]
ν_k	..... kinetická viskozita [m ² .s ⁻¹]
ρ	..... hustota tekutiny [kg.m ⁻³]
ρ_{CO}	..... hustota bavlněných vláken [kg.m ⁻³]
ρ_K	..... hustota měřicí kapaliny [kg.m ⁻³]
ρ_N	..... hustota nitě [kg.m ⁻³]
ρ_V	..... hustota vlákna [kg.m ⁻³]
σ_x^2	..... rozptyl sady dat x
σ_y^2	..... rozptyl sady dat y
τ	..... smykové napětí [Pa]
ϕ	..... úhel naklonění trubice (pro kolmou trubici roven $\pi/2$) [rad]
ω	..... úhel provázání [rad]
ω_0	..... úhel provázání osnovní nitě [rad]
CFD	..... Computational Fluid Dynamics
F.S.O.	..... full scale output
MPT 01	..... název nového zařízení na měření prodyšnosti

Seznamy

A. Seznam obrázků

OBR. 1. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ BERNOULLIHO ROVNICE [3].	12
OBR. 2. VLIV TEPLoty NA VSKOZITU TEKUTIN [4].	14
OBR. 3. VLIV TLAKU A TEPLoty NA HUSTOTU VZDUCHU [6].	14
OBR. 4. CHOVÁNÍ BARVIVA VSTRÍKNUTÉHO DO LAMINÁRNÍHO A TURBULENTNÍHO TOKU V POTRUBÍ [4].	15
OBR. 5. RYCHLOSTNÍ PROFILY LAMINÁRNÍHO A TURBULENTNÍHO PROUDĚNÍ [4].	16
OBR. 6. LAMINÁRNÍ, PŘECHODOVÉ A TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ [4].	16
OBR. 7. SOUČINITEL ODPORU JAKO FUNKCE RE PRO PROUDĚNÍ KOLEM HLADKÉHO VÁLCE A KOULE [7].	17
OBR. 8. VÝVOJ PROUDĚNÍ KOLEM VÁLCE DLE OZNAČENÍ NA OBR. 7 [7].	18
OBR. 9. CHOVÁNÍ TLAKU TEKUTINY PŘI VLOŽENÍ CLONY DO TOKU [10].	20
OBR. 10. ŘEZ ROTAMETREM [9].	21
OBR. 11. ŘEZ PRŮTOKOMĚREM FMA1600 FY OMEGA [13].	22
OBR. 12. SCHÉMA TEPLotNÍHO SNÍMAČE S OBTOKEM DLE [10].	23
OBR. 13. PŘÍKLADY MANOMETRŮ [14].	24
OBR. 14. UKÁZKA FÓLIOVÉ ROZETY [16].	25
OBR. 15. PÁSY NEURČITOSTI A ZÁKLADNÍ MODELy CHYB MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ [17].	27
OBR. 16. SUBSTANČNÍ PRŮMĚR NITĚ [22].	31
OBR. 17. STRÍDA PLÁTNOVÉ VAZBY.	33
OBR. 18. STRÍDA KEPROVÉ VAZBY $K \frac{1}{2} Z$	33
OBR. 19. STRÍDA ATLASOVÉ VAZBY $A \frac{4}{1} (2)$	33
OBR. 20. VAZNÁ BUŇKA TKANINY [25].	34
OBR. 21. OBECNÉ USPOŘÁDÁNÍ TKANINY [23].	35
OBR. 22. TYPY JEDNOTLIVÝCH PÓROVÝCH BUNĚK VE TKANINĚ PODLE BACKERA [27].	38
OBR. 23. ŘEZY BACKEROVOU PÓROVOU BUŇKOU TYPU 1 [27].	39
OBR. 24. PRŮMĚTY JEDNOTKOVÝCH PÓROVÝCH BUNĚK TYPU 1 – 4 PODLE GOOIJERA [19]	40
OBR. 25. BOČNÍ POHLED NA PÓROVOU BUŇKU TYPU 1 [32].	41
OBR. 26. TVAR PLOCHY PÓRU PLÁTNOVÉ VAZBY [32].	41
OBR. 27. SCHÉMA MODELU BUŇKY DLE HAVRDOVÉ [31].	42
OBR. 28. ZÁVISLOST VÝTOKOVÉHO KOEFICIENTU NA RE PRO KOVOVÉ MŘÍŽKY (VLEVO) A TEXTILIE (VPRAVO) DLE [29].	45
OBR. 29. HRANICE TVARU PRŮTOKOVÉHO KANÁLU MEZI DVĚMA NITĚMI [37].	47
OBR. 30. SMĚR PROSTUPU VZDUCHU TEXTILIÍ.	48
OBR. 31. OBECNÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI (S VÝVĚVOU). [43]	49
OBR. 32. MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ PŘI VYSOKÝCH TLACÍCH [58].	53
OBR. 33. ZÁKLADNÍ GEOMETRIE MODELU VERTIKÁLNÍHO PÓRU [70].	58
OBR. 34. ZAŘÍZENÍ MPT 01.	61
OBR. 35. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ MPT 01 [75].	62
OBR. 36. UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ PRO ŘÍZENÍ ZAŘÍZENÍ MPT 01.	65
OBR. 37. ČÁST PANELU PRO ZADÁVÁNÍ INFORMACÍ O MĚŘENÍ.	66
OBR. 38. ČÁST PANELU PRO VOLBU SNÍMAČE A PRO KONTROLU TLAKU.	66
OBR. 39. ČÁST PANELU PRO STANDARDNÍ A EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.	67
OBR. 40. ČÁST OVLÁDACÍHO PANELU PRO RUČNÍ - PŘÍMÉ ŘÍZENÍ.	67
OBR. 41. ČÁST OVLÁDACÍHO PANELU – GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ V PRŮBĚHU MĚŘENÍ.	68
OBR. 42. UKÁZKA SOUBORU DAT ULOŽENÝCH PŘI MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI.	68
OBR. 43. UPÍNACÍ ČELIST UZPŮSOBENÁ SLEDOVÁNÍ STRUKTURY [75].	69
OBR. 44. POHLED NA TEXTILII JEN SE SPODNÍM A S OBOJÍM OSVĚTLENÍM [75].	70
OBR. 45. MĚŘENÍ VYDUTÍ VZORKU LASEROVÝM SNÍMAČEM.	71
OBR. 46. VYDUTÍ VZORKU.	71

OBR. 47. ROZSAH MPT 01 V POROVNÁNÍ S DALŠÍMI PŘÍSTROJI NA MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI TEXTILÍ.....	73
OBR. 48. PRŮMĚRNÉ HODNOTY PRODYŠNOSTI VZORKŮ NAMĚŘENÉ NA JEDNOTLIVÝCH PŘÍSTROJÍCH.....	78
OBR. 49. LINEÁRNÍ REGRESE METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ PRO DATA Z MĚŘENÍ NA TZU A MPT 01.....	78
OBR. 50. REZIDUA PRO RŮZNÉ TYPY KALIBRACE [81].	79
OBR. 51. LINEÁRNÍ REGRESE DLE METODY KALIBRACE PRO OBĚ PROMĚNNÉ ZATÍŽENÉ NÁHODNÝMI CHYBAMI PRO DATA Z MĚŘENÍ NA TZU A MPT 01.....	80
OBR. 52. REGRESNÍ PŘÍMKY ZÍSKANÉ METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ PRO SADY MĚŘENÍ TZU, MPT 01 A FX 3300.	81
OBR. 53. VYJÁDRĚNÍ PRODYŠNOSTI VZORKU PRO RŮZNÉ TLAKOVÉ ROZDÍLY.	82
OBR. 54. SLEDOVÁNÍ VYDUTÍ VZORKU V ZÁVISLOSTI NA ČASE.	84
OBR. 55. ZMĚNA VYDUTÍ VZORKU PŘI MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI PŘI $\Delta P = 0 - 100 \text{ PA}$	84
OBR. 56. ZMĚNA VYDUTÍ VZORKU V ZÁVISLOSTI NA TLAKOVÉM ROZDÍLU PŘI MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI.....	84
OBR. 57. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRODYŠNOSTI, TLAKOVÉHO ROZDÍLU A VYDUTÍ PŘI EXPERIMENTÁLNÍM MÓDU MĚŘENÍ S VYUŽITÍM GENERÁTORU SINUSOVÉHO ŘÍDICÍHO SIGNÁLU PRO REGULÁTOR PRŮTOKU.....	85
OBR. 58. SOUVISLOST MEZI VYDUTÍM VZORKU A HODNOTAMI PRODYŠNOSTI PŘI $\Delta P=100 \text{ PA}$	87
OBR. 59. VYDUTÍ VZORKŮ V ZÁVISLOSTI NA 2-D POROSITĚ TEXTILIE.	88
OBR. 60. PRODYŠNOST VZORKŮ V ZÁVISLOSTI NA 2-D POROSITĚ TEXTILIE.	88
OBR. 61. VYDUTÍ VZORKŮ V ZÁVISLOSTI NA POROSITĚ TEXTILIE.	88
OBR. 62. PRODYŠNOST VZORKŮ V ZÁVISLOSTI NA POROSITĚ TEXTILIE.....	88
OBR. 63. VLIV VAZBY NA POROSITU TEXTILÍ.	89
OBR. 64. VLIV VAZBY NA VYDUTÍ TEXTILÍ BĚHEM MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI PŘI $\Delta P=100 \text{ PA}$	90
OBR. 65. VYDUTÍ VZORKU V ZÁVISLOSTI NA POROSITĚ VYJÁDRĚNÉ Z GOOIJEROVÝCH ŠIKMÝCH PÓRŮ.	91
B. Seznam tabulek	
TAB. 1. PŘÍRŮSTEK PLOCHY VZORKU V ZÁVISLOSTI NA VELIKOSTI VYDUTÍ.....	73
TAB. 2. SOUHRNNÁ STANDARDNÍ NEJISTOTA TYPU B - U_B^*	75
TAB. 3. PŘÍKLAD VÝSLEDKŮ SE ZAHNUTÍM NEJISTOT KONKRÉTNÍHO PROMĚŘENÍ PRODYŠNOSTI A VYDUTÍ VZORKU.	76
TAB. 4. PRŮMĚRNÉ HODNOTY PRODYŠNOSTI NA JEDNOTLIVÝCH PŘÍSTROJÍCH PŘI $\Delta P=100 \text{ PA}$	77

Přílohy

Seznam příloh:

1.	SEZNAM STANDARDNÍCH ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI TEXTILÍ.....	I
2.	PARAMETRY SNÍMAČŮ A REGULÁTORŮ ZAŘÍZENÍ MPT 01	II
3.	POSTUP MĚŘENÍ NA MPT 01	IV
4.	VÝPOČET NEJISTOT MĚŘENÍ NA MPT 01	VI
5.	MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI NA FX 3300, TZU A MPT 01.....	VIII
6.	POROVNÁNÍ MĚŘENÍ NA STANDARDECH FX 3300 A TZU	X
7.	VÝROBNÍ PARAMETRY TEXTILÍ.....	XI
8.	NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ PARAMETRY TEXTILÍ.....	XII
9.	VÝBĚR DAT PRO GRAFY	XV
10.	PŘEPOČET PRODYŠNOSTI DLE VELIKOSTI VYDUTÍ VZORKŮ	XVI
11.	VYJÁDŘENÍ VELIKOSTI PÓRŮ A JEJICH ZMĚNY VLIVEM VYDUTÍ VZORKŮ	XVII

1. Seznam standardních zařízení na měření prodyšnosti textilií

Zařízení	Měření tlakového rozdílu		Měření průtoku		Upínací čelist plocha [cm ²]	Připojení k PC	Poznámka
	Tlakový rozdíl [Pa]	Typ snímače	Rozsahy průtokoměrů [ml.s ⁻¹]	Typ snímače			
M 021 S	100, 500, 1000 a 2000	kapalinový manometr	0,1 - 400	4 rotametry	20	NE	V laboratoři KOD FT-TUL, kapalinový manometr pro měření tlakové diference byl nahrazen membránovým diferenciálním snímačem tlaků 0 - 1250 Pa
FF-12/A	0 - 1960	3 kapalinové manometry	1,1 / 2222,2	4 rotametry	10, 20, 50, 100	NE	V laboratoři KMI FT-TUL a v Textilním zkušebním ústavu v Brně, kde jsou manometry nahrazeny digitálním ručním tlakoměrem GDH
FX 3300-20	20 - 2500	elektronický snímač tlakového rozdílu*	2 - 20000	8 clon	20	Je možné, ale nevyžívá se.	V laboratoři KHT FT-TUL. Je možnost výběru zobrazení v různých jednotkách objemu vzduchu za čas. Další modely nabízí velikosti upínací čelisti 5, 25, 38 a 100 cm ² .
FX 3320	20 - 1000	*	1,5 - 40000	*	5	Umožňuje	Přenosný typ přístroje
FX 3360	98 - 500	*	2 - 10000	*	20	Umožňuje	Přenosný typ přístroje, umožňuje měřit tloušťku textilie
SDL M 021 A	10 - 2500	*	až 20000	*	20	Umožňuje	Další dostupné velikosti upínací čelisti 5, 25, 50 a 100 cm ²
Air Tronic 3240A	0 - 900	*	13,8 - 1612	*	2, 5, 10, 20, 50	*	Typ B nabízí rozsah 0 - 2500 Pa, a typ C u tohoto rozšířeného rozsahu i větší rozsah průtoku 180,6 - 27777,8 ml.s ⁻¹
WIRA Elektronik air permeametr	až 200	manometr	0,05 - 500	*	5	*	
FX 3350	0 - 100 000 (dle standardu 30 - 70 kPa)	elektronický snímač tlakového rozdílu*	1000 - 30000 (při standardu 30 - 70 kPa)	*	50	Umožňuje	Měření dynamické prodyšnosti airbagů

Všechna uvedená zařízení pracují na principu nasávání vzduchu textilií pomocí pumpy - vývěvy s výjimkou FX 3350.

* přesný typ nebyl zjištěn / možnost připojení nebyla uvedena

2. Parametry snímačů a regulátorů zařízení MPT 01

Snímače tlakových rozdílů série PX 140 a 160 společnosti Omega

Série PX 140

Model PX143-01BD5V – diferenční snímač tlaků:

Rozsah: ± 1 psid (± 6894 Pa)

Napěťový výstup: 1-6 Vss

Napájení: 8 Vss

Další informace dostupné na

<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=PX140&Nav=preb05> (citováno 14.2.2016)

Série PX 160

Model PX163-2.5BD5V – diferenční snímač tlaků:

Rozsah: $\pm 2,5$ In. H₂O (± 622 Pa)

Napěťový výstup: 1-6 Vss

Napájení: 8 Vss

Model PX164-010D5V – diferenční snímač tlaků:

Rozsah: 0 - 10 In. H₂O (0 - 2494 Pa)

Napěťový výstup: 1-6 Vss

Napájení: 8 Vss

Další informace dostupné na

<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=PX160&Nav=preb05> (citováno 14.2.2016)

Snímač tlaku série ISE40/ZSE40 společnosti SMC

Model ISE40-01-22L – snímač tlaku:

Rozsah: 0 – 1000 MPa

Napěťový výstup: 1-5 Vss

Napájení: 12 Vss

Další informace dostupné na

<https://content.smcetech.com/pdf/ISE40.pdf> (citováno 14.2.2016)

Snímač průtoku série FMA 1600 společnosti Omega

Model FMA 1610A snímač průtoku s tlakovou a teplotní kompenzací:

Rozsah: 0 – 100 l.min⁻¹

Napěťový výstup: 0 - 5 Vss

Napájení: 12 Vss

Další informace obecně dostupné k těmto typům na:
<http://www.omega.com/pptst/FMA1600.html#description>
(citováno 14.2.2016), pro přesný typ s ohledem na rok výroby
jsou parametry snímače a jeho kalibrace uvedeny v dodaném
manuálu a kalibrační listině.

Regulátor průtoku série FMA5500 společnosti Omega

Model FMA 5542A regulátor průtoku:

Rozsah: 0 – 100 l.min⁻¹

Napěťový výstup: 0 - 5 Vss (není využíván)

Napájení: 12 Vss

Další informace dostupné obecně k těmto typům na:

<http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M2898.pdf>

(citováno 14.2.2016).

Laserový snímač vzdálenosti L-Gage™ společnosti Banner

Model LG5B65PI snímač vzdálenosti:

Rozsah: 46 – 60 mm

Analogový proudový výstup: 4 – 20 mA

Napájení: 12 - 30 Vss

Další informace dostupné v dokumentaci snímače uložené na
Katedře oděvnictví.

Kamera ProgRes společnosti Jenoptik

Model ProgRes CT3:

Rozlišení: 3,2 Mpix

Napájení a připojení: rozhraní FireWire

Další informace dostupné na:

[https://www.jenoptik.com/cms/jenoptik.nsf/res/ProgRes_CMO_S_en.pdf/\\$file/ProgRes_CMOS_en.pdf](https://www.jenoptik.com/cms/jenoptik.nsf/res/ProgRes_CMO_S_en.pdf/$file/ProgRes_CMOS_en.pdf) (citováno 15.2.2016)

Měřicí karta skupiny NI 6034E/6035E/6036E společnosti National Instrument

Model NI PCI-6036E

16 analogových vstupů

2 analogové výstupy

Další informace dostupné na:

<http://www.ni.com/pdf/manuals/370721c.pdf> (citováno
15.2.2016)

3. Postup měření na MPT 01

V případě, že se nejedná o spustitelný soubor s příponou exe, je po otevření řídicího programu v prostředí LabVIEW nutné spustit aplikaci ručně odkliknutím ikony na panelu nástrojů.

V první fázi je nutné zapnout měřicí aparaturu:

- Napájení aparatury.
- Ujistit se o připojení aparatury na přívod vzduchu, otevřít vstupní ventil.
- Provést kontrolu tlaku na manometru na vstupu a na manometru před regulátorem.
- Zapnout jednotlivé prvky na přístrojové desce:
 - Pojistný spínač přepnout do pozice 0 (je vypnuta pojistka pro samovolné spuštění).
 - Zvolit snímač rozdílu tlaků (doporučení je pro první měření, v případě, že není známa přibližná hodnota prodyšnosti, použít snímač s největším rozsahem číslo 1)
 - V případě, že bude prováděno měření vydutí vzorku, je nutné zapnout laser na přístrojové desce.

V další fázi je zadávání informací o měření:

- Jméno laboranta.
- Název vzorku pro přesné označení.
- Číslo měření.
- Podmínkou pro měření je zvolení souboru pro ukládání dat, je možné zapisovat do již vytvořeného souboru a nebo vytvořit soubor nový.

Pokud jde o první měření, je nutné provést kalibraci laserového snímače vzdálenosti a definici nulových hodnot pro snímač rozdílu tlaků. Zapne se první kalibrační měření v řídicím programu pomocí tlačítka START (Obr. 37).

- Kalibrace laserového snímače vzdálenosti se provádí následovně:
 - Do upínací čelisti se upne stabilní pevný materiál, který se neprohýbá.
 - Do pole „Hodnota při 0 mm vzdálenosti“ se zadá hodnota z pole „Pro opis“, tím je definována nulová vzdálenost vydutí.
 - Na upnutý stabilní materiál se umístí kalibrační předmět (předmět definované výšky) a pole „Hodnota při mm vzdálenosti“ se doplní výškou zkalibrovaného předmětu a hodnotou pro opis. Tím je provedena kalibrace pro měření. Nová kalibrace je nutná v okamžiku, jestliže došlo ke změně polohy snímače vzdálenosti.
- Definice nulového rozdílu tlaků je provedena opisem hodnoty k zvolenému snímači v okamžiku, kdy v čelisti není upnut vzorek

a průtok vzduchu je nulový a tak nulový rozdíl tlaků na vstupech snímače.

- V případě, že během kalibračního měření při nulovém průtoku vzduchu průtokoměr ukazuje hodnotu odlišnou od nulové, je možné jej vynulovat „torovacím“ tlačítkem na průtokoměru.
- Kalibrační režim se ukončí stiskem tlačítka STOP (Obr. 37). V průběhu kalibrace jsou do souboru ukládány snímané hodnoty. Doporučením je pro kalibraci vytvořit samostatný soubor.

Jestliže je přístroj připraven pro měření, postup je následující:

- Jako první provede upnutí vzorku do upínací čelisti. Vzorek musí být upnut rovnoměrně, tak aby na něm nebyly vytvořeny záhyby. Vzorek je položen mezi čelisti a pomocí pák je čelistmi stlačen. Síla upnutí vzorku je díky konstrukci konstantní pro každé upnutí.
- Před spuštěním jednotlivých měření je nutné zvolit průběh měření, v případě standardního či experimentálního měření zadat parametry měření. Jestliže jde o přímé měření, není před spuštěním zvolena ani jedna z nabídek.
- Měření je zahájeno tlačítkem START (Obr. 37).
- Uživatel může kdykoli měření ukončit tlačítkem STOP (Obr. 37). Při standardním měření je měření ukončeno dosažením zadané hodnoty tlakového rozdílu, při experimentálním měření je měření programově ukončeno až při dosažení mezní hodnoty jednoho ze snímačů a nebo ukončením uživatelem. V případě blížících se mezních hodnot se doporučuje měření ukončit před jejich dosažením uživatelem.

Když je realizováno sledování chování textilie pomocí kamery, tak je spuštěn souběžně s řídicím programem také program Nis-Elements, který komunikuje s kamerou ProgRes. Obsluha musí současně obsluhovat i tento program. Jak je uvedeno v doporučeních pro další vývoj, tato část zařízení je doporučena k přestavbě a v současné době nemá u zařízení většího uplatnění.

4. Výpočet nejistot měření na MPT 01

Stanovení nejistoty u_b^*

Na základě technických údajů o přesnostech měření na jednotlivých snímačích, informaci o přesnosti měřicí karty a způsobu odečtu hodnot (zaokrouhlování) byly vypočteny souhrnné standardní nejistoty typu B* - u_b^* : (označení a je polovina šířky intervalu dolní a horní meze vstupní veličiny: $a = (a_+ - a_-)/2$)

Tlakový rozdíl		a [Pa]	u_b [Pa]	u_b^* [Pa]
Snímač č. 3 (0 - 622)Pa	zaokrouhlení	0,5	0,29	2,0
	přesnost měření	3,11	1,80	
	opakovatelnost a hystereze	1,55	0,89	
	přesnost měřicí karty	0,45	0,26	
Snímač č. 2 (0 - 2490)Pa	zaokrouhlení	0,5	0,29	15,0
	přesnost měření	24,9	14,38	
	opakovatelnost a hystereze	6,22	3,59	
	přesnost měřicí karty	3,76	2,17	
Snímač č. 1 (0 - 6894)Pa	zaokrouhlení	0,5	0,29	20
	přesnost měření	27,57	15,92	
	opakovatelnost a hystereze	20,68	11,94	
	přesnost měřicí karty	4,93	2,85	

Měření prodyšnosti ^T					u_b^* [mm.s ⁻¹]
Měření průtoku		a [l.min ⁻¹]	u_b [l.min ⁻¹]	u_{bs}^+ [l.min ⁻¹]	
Průtokoměr (0 - 833 l.min ⁻¹)	zaokrouhlení	0,5	0,29	0,71	6,2
	přesnost měření	1	0,58		
	opakovatelnost měření	0,5	0,29		
	přesnost měřicí karty	0,036	0,02		
Zkoušená plocha vzorku		a [cm ²]	u_b [cm ²]		
Velikost upínací čelisti (20cm ²)	přesnost změření	0,08	0,05		

Měření prodyšnosti					u_b^* [mm.s ⁻¹]
Měření průtoku		a [l.min ⁻¹]	u_b [l.min ⁻¹]	u_{bs}^+ [l.min ⁻¹]	
Průtokoměr (0 - 833 l.min ⁻¹)	přesnost měření	1	0,58	0,65	5,7
	opakovatelnost měření	0,5	0,29		
	přesnost měřicí karty	0,036	0,02		
Zkoušená plocha vzorku		a [cm ²]	u_b [cm ²]		
Velikost upínací čelisti (20cm ²)	přesnost změření	0,08	0,05		

Měření vyduť		a [mm]	u_b [mm]	u_b^* [mm]
Laserový snímač vzdálenosti (0 - 14)mm	přesnost měření	0,003	0,0017	0,004
	přesnost měřicí karty	0,0063	0,0036	

Poznámky:

⁺ sdružená standardní nejistota typu B vypočtena jako druhá odmocnina čtverců nejistot u_b

^T nejistota měření zohledňuje zaokrouhlení odečtu průtoku na celá čísla

Stanovení nejistot konkrétního měření

Proměření vzorku č. 3 definovaného v příloze 7.

Měření prodyšnosti textilie dle normy ČSN EN ISO 9237 za podmínek definovaných ČSN EN 20139.

Měření prodyšnosti se současným zaznamenáním vydutí vzorku:

Číslo vzorku	Tlakový rozdíl [Pa]	Prodyšnost [mm.s ⁻¹]	Vyduť vzorku [mm]
1	100	125,658	0,887
2	100	120,354	0,784
3	100	128,375	0,911
4	100	130,024	0,902
5	100	117,957	0,909
6	100	119,658	0,972
7	100	118,459	0,775
8	100	119,546	0,875
9	100	119,995	0,825
10	100	121,165	0,957
11	100	129,546	0,930
12	100	121,659	0,798

Vypočtené nejistoty měření:

	Tlakový rozdíl [Pa]	Prodyšnost [mm.s ⁻¹]	Vyduť vzorku [mm]
u _a	0,0	1,283	0,0193
u _c	2,0	5,843	0,0197
U (K _R =2)	4,0	11,685	0,0394

Statistické zpracování naměřených dat:

	Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)
Tlakový rozdíl [Pa]	100,000	0,00	0,00	< 100 ; 100 >
Prodyšnost [mm.s ⁻¹]	122,70	4,45	3,62	< 119,87 ; 125,52 >
Vyduť vzorku [mm]	0,877	0,067	7,621	< 0,835 ; 0,920 >

Zápis rozšířené nejistoty U s koeficientem rozšíření K_R=2:

Tlakový rozdíl: $U = (100 \pm 4) Pa$

Prodyšnost: $U = (123 \pm 12) mm.s^{-1}$

Vyduť: $U = (0,88 \pm 0,04) mm$

5. Měření prodyšnosti na TZU, FX 3300 a MPT 01

Všechna měření probíhala v klimatizovaných místnostech na klimatizovaných vzorcích dle normy ČSN EN 20139. Měření prodyšnosti probíhalo dle normy ČSN EN ISO 9237.

Měření prodyšnosti při $\Delta p = 100$ Pa v akreditované laboratoři Výzkumného ústavu textilního v Brně (TZU):

TZU	R [mm.s ⁻¹]									
	Číslo vzorku	Číslo měření					Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)
		1	2	3	4	5				
1	80,7	82,1	80,7	82,1	82,1	81,54	0,77	0,94	< 80,59 ; 82,49 >	
2	121,8	114,8	118,3	118,3	118,3	118,30	2,47	2,09	< 115,23 ; 121,37 >	
3	151,7	149,6	150,3	150,3	149,6	150,30	0,86	0,57	< 149,24 ; 151,36 >	
4	194,8	194,8	197,6	194,8	197,6	195,92	1,53	0,78	< 194,02 ; 197,82 >	
5	222,7	222,7	222,7	222,7	222,7	222,70	0,00	0,00	< 222,70 ; 222,70 >	
6	253,3	250,5	257,5	261,6	257,5	256,08	4,28	1,67	< 250,76 ; 261,40 >	
7	292,3	288,8	288,8	292,3	292,3	290,90	1,92	0,66	< 288,52 ; 293,28 >	
8	317,3	320,1	320,1	320,1	320,1	319,54	1,25	0,39	< 317,99 ; 321,09 >	
9	361,8	361,8	361,6	347,9	361,8	358,98	6,19	1,73	< 351,29 ; 366,67 >	
10	389,7	392,5	392,5	389,7	389,7	390,82	1,53	0,39	< 388,92 ; 392,72 >	
11	398,7	403,6	417,5	410,5	403,6	406,78	7,32	1,80	< 397,69 ; 415,87 >	
12	435,6	438,4	431,4	431,4	431,4	433,64	3,22	0,74	< 429,64 ; 437,64 >	
13	473,2	466,2	473,2	473,2	473,2	471,80	3,13	0,66	< 467,91 ; 475,69 >	
14	498,2	498,2	494	501	501	498,48	2,87	0,58	< 494,92 ; 502,04 >	
15	521,9	514,9	528,8	528,8	521,9	523,26	5,81	1,11	< 516,05 ; 530,47 >	
16	535,8	533	542,8	542,8	535,8	538,04	4,49	0,84	< 532,46 ; 543,62 >	
17	542,8	542,8	542,8	570,6	556,7	551,14	12,43	2,26	< 535,71 ; 566,57 >	
18	556,7	559,5	556,7	563,6	570,6	561,42	5,86	1,04	< 554,15 ; 568,69 >	
19	598,4	612,3	619,3	626,3	619,3	615,12	10,58	1,72	< 601,99 ; 628,25 >	
20	626,3	626,3	626,3	626,3	626,3	626,30	0,00	0,00	< 626,30 ; 626,30 >	

Měření prodyšnosti při $\Delta p = 100$ Pa na Katedře hodnocení textilií na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci na zařízení FX 3300:

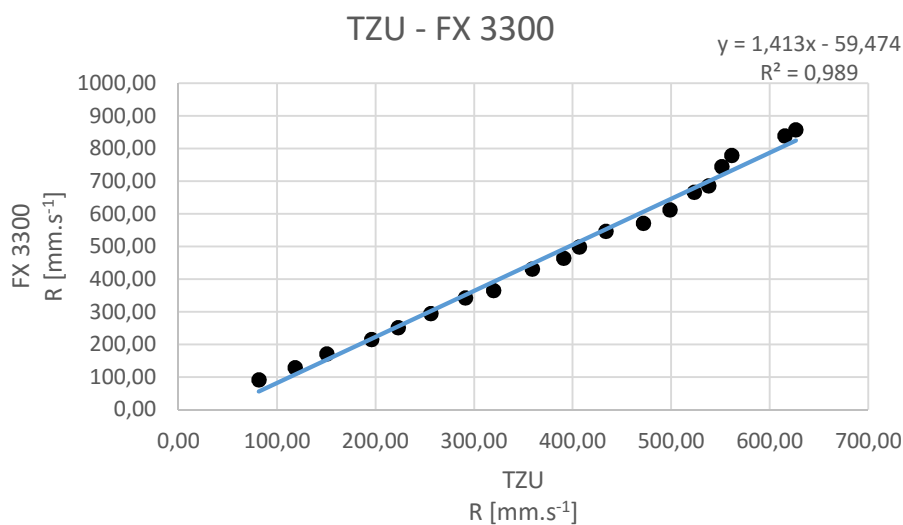
FX 3300	R [mm.s ⁻¹]														
	Číslo vzorku	Číslo měření										Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	91,5	91,2	91	90,9	91,1	91,8	91,6	91,2	92,1	91,1	91,35	0,39	0,42	< 91,07 ; 91,63 >	
2	130	129	130	128	129	128	129	129	129	128	128,90	0,74	0,57	< 128,37 ; 129,43 >	
3	173	172	172	170	172	171	171	168	170	171	171,00	1,41	0,83	< 169,99 ; 172,01 >	
4	214	214	215	216	215	215	216	214	215	216	215,00	0,82	0,38	< 214,42 ; 215,58 >	
5	252	252	252	253	250	251	250	251	252	251	251,40	0,97	0,38	< 250,71 ; 252,09 >	
6	296	295	295	294	294	293	294	294	295	295	294,50	0,85	0,29	< 293,89 ; 295,11 >	
7	345	346	343	343	344	345	342	345	342	339	343,40	2,07	0,60	< 341,92 ; 344,88 >	
8	365	366	366	365	364	366	366	367	365	367	365,70	0,95	0,26	< 365,02 ; 366,38 >	
9	433	430	434	432	430	431	431	433	430	431	431,50	1,43	0,33	< 430,47 ; 432,53 >	
10	466	468	466	470	458	461	460	465	464	466	464,40	3,72	0,80	< 461,74 ; 467,06 >	
11	500	500	496	501	497	501	500	501	495	497	498,80	2,30	0,46	< 497,15 ; 500,45 >	
12	546	547	545	547	549	548	545	550	547	546	547,00	1,63	0,30	< 545,83 ; 548,17 >	
13	572	575	571	568	570	569	572	573	572	573	571,50	2,07	0,36	< 570,02 ; 572,98 >	
14	614	615	611	614	613	613	614	612	615	612	613,30	1,34	0,22	< 612,34 ; 614,26 >	
15	669	670	667	669	665	666	665	666	665	666	666,80	1,87	0,28	< 665,46 ; 668,14 >	
16	685	684	687	689	686	683	689	683	686	689	686,10	2,38	0,35	< 684,40 ; 687,80 >	
17	748	747	745	750	751	746	740	747	742	740	745,60	3,86	0,52	< 742,84 ; 748,36 >	
18	783	780	781	774	782	781	776	780	784	780	780,10	3,03	0,39	< 777,93 ; 782,27 >	
19	838	845	834	844	837	841	835	838	836	844	839,20	4,02	0,48	< 836,32 ; 842,08 >	
20	858	856	853	860	859	863	857	861	859	855	858,10	2,96	0,35	< 855,98 ; 860,22 >	

Měření prodyšnosti při $\Delta p = 100$ Pa na Katedře oděvnictví na Fakultě textilní
Technické univerzity v Liberci na zařízení MPT 01:

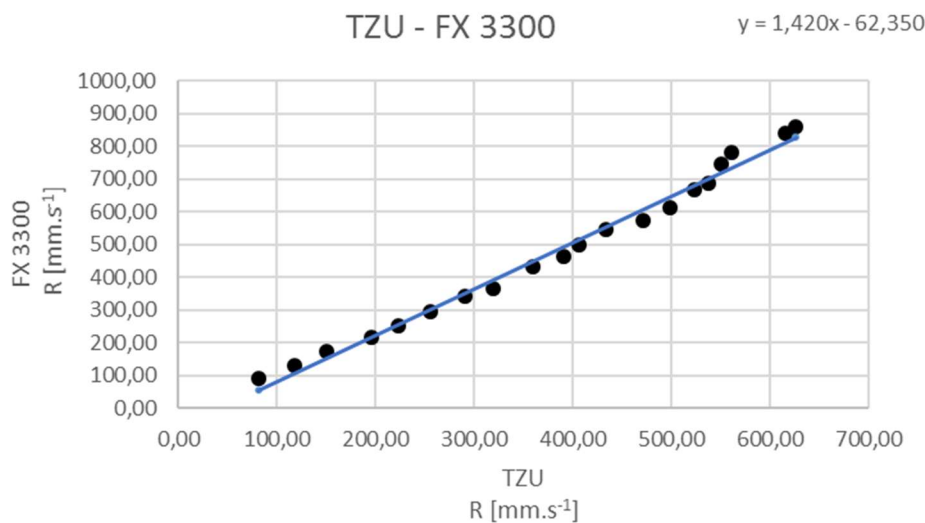
MPT01	R [mm.s ⁻¹]										Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)
	Číslo měření													
Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	83,4	81,9	81,4	83,4	80,3	82,9	81,9	82,4	82,9	81,9	82,21	0,96	1,17	< 81,53 ; 82,90 >
2	118,0	114,9	114,9	120,0	118,0	119,0	120,0	118,0	118,0	116,9	117,75	1,78	1,51	< 116,48 ; 119,03 >
3	154,6	155,6	155,6	157,6	157,6	157,6	154,6	157,6	155,6	154,6	156,09	1,38	0,88	< 155,11 ; 157,08 >
4	195,2	193,2	192,2	193,2	193,2	194,2	195,2	192,2	194,2	193,2	193,61	1,09	0,56	< 192,83 ; 194,40 >
5	229,8	231,8	230,8	231,8	231,8	230,8	230,8	226,8	228,8	230,8	230,42	1,60	0,70	< 229,28 ; 231,57 >
6	267,4	267,4	264,4	264,4	266,4	264,4	267,4	264,4	263,4	266,4	265,61	1,58	0,59	< 264,48 ; 266,74 >
7	308,1	305,1	304,0	306,1	307,1	305,1	299,0	301,0	304,0	308,1	304,76	2,96	0,97	< 302,64 ; 306,87 >
8	345,7	344,7	339,6	337,6	342,7	340,7	337,6	339,6	341,7	344,7	341,47	2,95	0,86	< 339,36 ; 343,58 >
9	373,2	376,2	381,3	379,3	379,3	377,3	380,3	382,3	374,2	375,2	377,87	3,11	0,82	< 375,64 ; 380,10 >
10	412,9	419,0	410,8	407,8	417,9	408,8	409,8	411,8	416,9	417,9	413,36	4,21	1,02	< 410,35 ; 416,37 >
11	450,5	439,3	445,4	446,4	442,3	447,4	446,4	440,3	443,4	446,4	444,78	3,43	0,77	< 442,33 ; 447,24 >
12	487,1	492,2	484,0	490,1	484,0	488,1	487,1	489,1	485,1	491,2	487,80	2,88	0,59	< 485,74 ; 489,85 >
13	524,7	522,7	527,8	526,7	526,7	526,7	528,8	524,7	520,6	527,8	525,73	2,54	0,48	< 523,91 ; 527,54 >
14	564,4	557,2	555,2	555,2	557,2	558,3	559,3	557,2	559,3	556,2	557,96	2,67	0,48	< 556,05 ; 559,87 >
15	582,7	588,8	583,7	591,8	589,8	584,7	585,7	582,7	592,8	586,7	586,94	3,71	0,63	< 584,29 ; 589,59 >
16	603,0	605,0	609,1	609,1	610,1	611,1	609,1	606,1	600,0	607,1	606,97	3,50	0,58	< 604,47 ; 609,48 >
17	635,5	637,6	638,6	639,6	637,6	643,7	639,6	641,6	638,6	640,6	639,31	2,30	0,36	< 637,66 ; 640,96 >
18	660,0	656,9	662,0	663,0	667,1	656,9	658,9	661,0	667,1	656,9	660,97	3,86	0,58	< 658,21 ; 663,73 >
19	729,1	721,0	732,2	724,0	727,1	724,0	727,1	721,0	723,0	722,0	725,03	3,71	0,51	< 722,38 ; 727,69 >
20	747,4	740,3	742,3	737,2	740,3	742,3	741,3	736,2	738,3	741,3	740,69	3,15	0,43	< 738,44 ; 742,95 >

6. Porovnání měření na standardech FX 3300 a TZU

Stanovení regresní přímky metodou nejmenších čtverců:



Stanovení regresní přímky s využitím kalibrace pro obě proměnné zatížené náhodnými chybami, poměr rozptylů $P_R=2,018$:



7. Výrobní parametry textilií

Tkaniny bez finálních úprav ze 100% CO česané příže.

Parametry osnovy:

- Jemnost $T_O = 20 \times 2$ tex,
- Dostava $D_O = 240$ nití / 10 cm.

Parametry útku a použitá vazba u jednotlivých vzorků:

Číslo vzorku	Jemnost útkových nití T_U [tex]	Dostava útku D_U [nití/10cm]	Typ vazby
1	60	180	Plátno
2	60	180	Atlas 5-ti vazný
3	60	180	Kepr 1/2
4	60	180	Kepr 1/4
5	60	160	Plátno
6	60	160	Atlas 5-ti vazný
7	60	160	Kepr 1/2
8	60	160	Kepr 1/4
9	60	140	Plátno
10	60	140	Atlas 5-ti vazný
11	60	140	Kepr 1/2
12	60	140	Kepr 1/4
13	60	120	Plátno
14	60	120	Atlas 5-ti vazný
15	60	120	Kepr 1/2
16	60	120	Kepr 1/4
17	40	180	Plátno
18	40	180	Atlas 5-ti vazný
19	40	180	Kepr 1/2
20	40	180	Kepr 1/4
21	33	220	Kepr 1/2
22	33	200	Kepr 1/2
23	33	180	Plátno
24	33	180	Atlas 5-ti vazný
25	33	180	Kepr 1/2
26	33	180	Kepr 1/4
27	33	160	Kepr 1/2

8. Naměřené a vypočtené parametry textilií

Výpočet průměrů přízí dle vztahu (36.) a 2D porosity textilie z výrobních parametrů přízí dle vztahu (49.):

Číslo vzorku	Typ vazby	Dostava [nití/10cm]		Jemnost nití [tex]		Vypočtené průměry přízí [m]		2D porosita P _{2D} [%]
		D _o	D _u	T _o	T _u	d _o	d _u	
1	Plátno	240	180	40,00	60,00	0,00025	0,000306	17,95
2	Atlas 5-ti vazný	240	180	40,00	60,00	0,00025	0,000306	17,95
3	Kepr 1/2	240	180	40,00	60,00	0,00025	0,000306	17,95
4	Kepr 1/4	240	180	40,00	60,00	0,00025	0,000306	17,95
5	Plátno	240	160	40,00	60,00	0,00025	0,000306	20,40
6	Atlas 5-ti vazný	240	160	40,00	60,00	0,00025	0,000306	20,40
7	Kepr 1/2	240	160	40,00	60,00	0,00025	0,000306	20,40
8	Kepr 1/4	240	160	40,00	60,00	0,00025	0,000306	20,40
9	Plátno	240	140	40,00	60,00	0,00025	0,000306	22,85
10	Atlas 5-ti vazný	240	140	40,00	60,00	0,00025	0,000306	22,85
11	Kepr 1/2	240	140	40,00	60,00	0,00025	0,000306	22,85
12	Kepr 1/4	240	140	40,00	60,00	0,00025	0,000306	22,85
13	Plátno	240	120	40,00	60,00	0,00025	0,000306	25,30
14	Atlas 5-ti vazný	240	120	40,00	60,00	0,00025	0,000306	25,30
15	Kepr 1/2	240	120	40,00	60,00	0,00025	0,000306	25,30
16	Kepr 1/4	240	120	40,00	60,00	0,00025	0,000306	25,30
17	Plátno	240	180	40,00	40,00	0,00025	0,00025	22,00
18	Atlas 5-ti vazný	240	180	40,00	40,00	0,00025	0,00025	22,00
19	Kepr 1/2	240	180	40,00	40,00	0,00025	0,00025	22,00
20	Kepr 1/4	240	180	40,00	40,00	0,00025	0,00025	22,00
23	Plátno	240	180	40,00	33,00	0,00025	0,000227	23,65
24	Atlas 5-ti vazný	240	180	40,00	33,00	0,00025	0,000227	23,65
25	Kepr 1/2	240	180	40,00	33,00	0,00025	0,000227	23,65
26	Kepr 1/4	240	180	40,00	33,00	0,00025	0,000227	23,65
27	Kepr 1/2	240	160	40,00	33,00	0,00025	0,000227	25,47

Všechna měření probíhala v klimatizovaných místnostech na klimatizovaných vzorcích dle normy ČSN EN 20139. Měření tloušťky probíhalo dle normy ČSN EN ISO 5084.

Naměřená plošná hmotnost (n=10), tloušťka (n=5) a vypočtená porosita textilií dle vztahu (111.):

Číslo vzorku	Typ vazby	Plošná hmotnost m_p [g.m ⁻²]				Tloušťka textilie t_T [mm]				Porosita P [%]
		Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)	Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)	
1	Plátno	222,740	2,25	1,01	< 221,130 ; 224,350 >	0,496	0,009	1,80	< 0,488 ; 0,504 >	70,46
2	Atlas 5-ti vazný	216,410	3,33	1,54	< 214,026 ; 218,794 >	0,724	0,015	2,09	< 0,711 ; 0,737 >	80,33
3	Kepr 1/2	220,570	3,48	1,58	< 218,084 ; 223,056 >	0,590	0,012	2,08	< 0,579 ; 0,601 >	75,40
4	Kepr 1/4	217,260	2,57	1,18	< 215,425 ; 219,095 >	0,718	0,018	2,49	< 0,702 ; 0,734 >	80,09
5	Plátno	206,930	2,68	1,29	< 205,014 ; 208,846 >	0,502	0,008	1,67	< 0,495 ; 0,509 >	72,88
6	Atlas 5-ti vazný	202,460	2,72	1,35	< 200,512 ; 204,408 >	0,756	0,009	1,18	< 0,748 ; 0,764 >	82,38
7	Kepr 1/2	206,850	2,37	1,15	< 205,152 ; 208,548 >	0,578	0,011	1,90	< 0,568 ; 0,588 >	76,46
8	Kepr 1/4	202,700	2,12	1,04	< 201,187 ; 204,213 >	0,744	0,009	1,20	< 0,736 ; 0,752 >	82,08
9	Plátno	194,270	1,90	0,98	< 192,912 ; 195,628 >	0,542	0,013	2,41	< 0,531 ; 0,553 >	76,42
10	Atlas 5-ti vazný	187,560	2,79	1,49	< 185,566 ; 189,554 >	0,748	0,008	1,12	< 0,741 ; 0,755 >	83,50
11	Kepr 1/2	192,450	2,71	1,41	< 190,510 ; 194,390 >	0,598	0,008	1,40	< 0,591 ; 0,605 >	78,83
12	Kepr 1/4	184,911	1,94	1,05	< 183,522 ; 186,300 >	0,784	0,015	1,93	< 0,771 ; 0,797 >	84,48
13	Plátno	178,110	2,08	1,17	< 176,624 ; 179,596 >	0,548	0,004	0,82	< 0,544 ; 0,552 >	78,62
14	Atlas 5-ti vazný	170,120	3,06	1,80	< 167,929 ; 172,311 >	0,736	0,009	1,22	< 0,728 ; 0,744 >	84,79
15	Kepr 1/2	176,190	2,59	1,47	< 174,336 ; 178,044 >	0,620	0,007	1,14	< 0,614 ; 0,626 >	81,30
16	Kepr 1/4	175,610	3,14	1,79	< 173,361 ; 177,859 >	0,772	0,023	2,95	< 0,752 ; 0,792 >	85,03
17	Plátno	181,550	1,83	1,01	< 180,239 ; 182,861 >	0,470	0,007	1,50	< 0,464 ; 0,476 >	74,59
18	Atlas 5-ti vazný	177,320	1,61	0,91	< 176,166 ; 178,474 >	0,668	0,008	1,25	< 0,661 ; 0,675 >	82,54
19	Kepr 1/2	180,430	1,62	0,90	< 179,275 ; 181,585 >	0,532	0,008	1,57	< 0,525 ; 0,539 >	77,69
20	Kepr 1/4	178,580	2,44	1,36	< 176,838 ; 180,322 >	0,668	0,008	1,25	< 0,661 ; 0,675 >	82,41
23	Plátno	166,140	2,88	1,73	< 164,081 ; 168,199 >	0,432	0,004	1,04	< 0,428 ; 0,436 >	74,70
24	Atlas 5-ti vazný	160,720	1,25	0,78	< 159,829 ; 161,611 >	0,608	0,004	0,74	< 0,604 ; 0,612 >	82,61
25	Kepr 1/2	163,310	1,92	1,18	< 161,937 ; 164,683 >	0,490	0,010	2,04	< 0,481 ; 0,499 >	78,07
26	Kepr 1/4	160,000	1,08	0,67	< 159,230 ; 160,770 >	0,622	0,015	2,38	< 0,609 ; 0,635 >	83,08
27	Kepr 1/2	156,280	2,09	1,34	< 154,785 ; 157,775 >	0,490	0,007	1,44	< 0,484 ; 0,496 >	79,02

Naměřené hodnoty prodyšnosti při 100 Pa a vydutí vzorků (Pro počet měření n = 10)

Všechna měření probíhala v klimatizovaných místnostech na klimatizovaných vzorcích dle normy ČSN EN 20139, měření prodyšnosti bylo dle normy ČSN EN ISO 9237.

Číslo vzorku	Typ vazby	Prodyšnost R [mm.s ⁻¹]				Vydutí v _v [mm]			
		Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)	Průměr	Výběrová směrod. odchylka	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti IS (95%)
1	Plátno	107,891	4,95	4,58	< 104,35 ; 111,43 >	0,825	0,09	10,82	< 0,76 ; 0,89 >
2	Atlas 5-ti vazný	236,017	5,11	2,16	< 232,37 ; 239,67 >	1,250	0,10	8,03	< 1,18 ; 1,32 >
3	Kepr 1/2	124,466	5,39	4,33	< 120,61 ; 128,32 >	0,884	0,08	8,59	< 0,83 ; 0,94 >
4	Kepr 1/4	235,611	7,73	3,28	< 230,08 ; 241,14 >	1,190	0,10	8,37	< 1,12 ; 1,26 >
5	Plátno	226,662	6,20	2,74	< 222,22 ; 231,10 >	0,938	0,08	8,52	< 0,88 ; 1,00 >
6	Atlas 5-ti vazný	341,162	14,65	4,29	< 330,68 ; 351,64 >	1,407	0,08	6,03	< 1,35 ; 1,47 >
7	Kepr 1/2	260,117	11,70	4,50	< 251,75 ; 268,49 >	0,969	0,09	9,11	< 0,91 ; 1,03 >
8	Kepr 1/4	317,774	17,49	5,50	< 305,26 ; 330,29 >	1,297	0,08	6,48	< 1,24 ; 1,36 >
9	Plátno	338,824	11,62	3,43	< 330,51 ; 347,14 >	0,904	0,08	8,74	< 0,85 ; 0,96 >
10	Atlas 5-ti vazný	526,844	21,03	3,99	< 511,80 ; 541,89 >	1,328	0,06	4,78	< 1,28 ; 1,37 >
11	Kepr 1/2	352,246	16,09	4,57	< 340,73 ; 363,76 >	1,001	0,10	9,88	< 0,93 ; 1,07 >
12	Kepr 1/4	497,151	11,29	2,27	< 489,08 ; 505,23 >	1,489	0,13	8,97	< 1,39 ; 1,59 >
13	Plátno	538,030	9,28	1,72	< 531,39 ; 544,67 >	0,863	0,08	9,84	< 0,80 ; 0,92 >
14	Atlas 5-ti vazný	811,773	12,41	1,53	< 802,90 ; 820,65 >	1,184	0,06	5,41	< 1,14 ; 1,23 >
15	Kepr 1/2	577,790	9,68	1,68	< 570,87 ; 584,71 >	1,005	0,10	9,87	< 0,93 ; 1,08 >
16	Kepr 1/4	750,557	20,10	2,68	< 736,18 ; 764,94 >	1,226	0,12	9,62	< 1,14 ; 1,31 >
17	Plátno	205,714	6,83	3,32	< 200,83 ; 210,60 >	1,023	0,08	7,82	< 0,97 ; 1,08 >
18	Atlas 5-ti vazný	457,290	14,85	3,25	< 446,67 ; 467,91 >	1,233	0,03	2,81	< 1,21 ; 1,26 >
19	Kepr 1/2	250,457	9,64	3,85	< 243,56 ; 257,35 >	1,109	0,10	9,26	< 1,04 ; 1,18 >
20	Kepr 1/4	404,616	8,10	2,00	< 398,82 ; 410,41 >	1,297	0,12	9,01	< 1,21 ; 1,38 >
23	Plátno	212,324	6,39	3,01	< 207,75 ; 216,90 >	1,039	0,06	5,84	< 1,00 ; 1,08 >
24	Atlas 5-ti vazný	495,321	18,17	3,67	< 482,32 ; 508,32 >	1,368	0,10	7,37	< 1,30 ; 1,44 >
25	Kepr 1/2	274,455	10,73	3,91	< 266,78 ; 282,13 >	1,040	0,08	7,61	< 0,98 ; 1,10 >
26	Kepr 1/4	447,935	10,65	2,38	< 440,32 ; 455,55 >	1,218	0,08	6,51	< 1,16 ; 1,27 >
27	Kepr 1/2	412,547	16,01	3,88	< 401,09 ; 424,00 >	1,231	0,08	6,62	< 1,17 ; 1,29 >

9. Výběr dat pro grafy

Označení sad pro grafy na Obr. 63 a Obr. 64.

Číslo vzorku	Typ vazby	Sady
1	Plátno	1
2	Atlas 5-ti vazný	
3	Kepr 1/2	
4	Kepr 1/4	
5	Plátno	2
6	Atlas 5-ti vazný	
7	Kepr 1/2	
8	Kepr 1/4	
9	Plátno	3
10	Atlas 5-ti vazný	
11	Kepr 1/2	
12	Kepr 1/4	
13	Plátno	4
14	Atlas 5-ti vazný	
15	Kepr 1/2	
16	Kepr 1/4	
17	Plátno	5
18	Atlas 5-ti vazný	
19	Kepr 1/2	
20	Kepr 1/4	
23	Plátno	6
24	Atlas 5-ti vazný	
25	Kepr 1/2	
26	Kepr 1/4	

10. Přepočítání prodyšnosti dle velikosti vydutí vzorků

Číslo vzorku	Typ vazby	Vydutí vzorku v_v [mm]	Zdeformovaná plocha A_{def} [m ²]	Prodyšnost	
				R [mm.s ⁻¹]	R [*] [mm.s ⁻¹]
1	Plátno	0,825	0,0020021	107,891	107,775
2	Atlas 5-ti vazný	1,250	0,0020049	236,017	235,439
3	Kepr 1/2	0,884	0,0020025	124,466	124,313
4	Kepr 1/4	1,190	0,0020044	235,611	235,088
5	Plátno	0,938	0,0020028	226,662	226,349
6	Atlas 5-ti vazný	1,407	0,0020062	341,162	340,105
7	Kepr 1/2	0,969	0,0020030	260,117	259,734
8	Kepr 1/4	1,297	0,0020053	317,774	316,937
9	Plátno	0,904	0,0020026	338,824	338,390
10	Atlas 5-ti vazný	1,328	0,0020055	526,844	525,388
11	Kepr 1/2	1,001	0,0020031	352,246	351,693
12	Kepr 1/4	1,489	0,0020070	497,151	495,425
13	Plátno	0,863	0,0020023	538,030	537,401
14	Atlas 5-ti vazný	1,184	0,0020044	811,773	809,989
15	Kepr 1/2	1,005	0,0020032	577,790	576,875
16	Kepr 1/4	1,226	0,0020047	750,557	748,791
17	Plátno	1,023	0,0020033	205,714	205,377
18	Atlas 5-ti vazný	1,233	0,0020048	457,290	456,201
19	Kepr 1/2	1,109	0,0020039	250,457	249,974
20	Kepr 1/4	1,297	0,0020053	404,616	403,550
21	Kepr 1/2	0,804	0,0020020	182,224	182,040
22	Kepr 1/2	0,916	0,0020026	222,188	221,895
23	Plátno	1,039	0,0020034	212,324	211,965
24	Atlas 5-ti vazný	1,368	0,0020059	495,321	493,868
25	Kepr 1/2	1,040	0,0020034	274,455	273,990
26	Kepr 1/4	1,218	0,0020047	447,935	446,894
27	Kepr 1/2	1,231	0,0020048	412,547	411,567

11. Vyjádření velikosti pórů a jejich změny vlivem vydutí vzorků

Číslo vzorku	Typ vazby	Vydutí vzorku v_v [mm]	Počty typů Backerových buněk ve střídě vazby [-]				Počet vazných bodů ve střídě [-]	Bez vydutí						Při vydutí						Přírůstek plochy póru jednotlivých typů buněk vlivem vydutí [%]			Změna velikosti pórů ve vzorku [%]	
			1	2	3	4		Dostava [nití/10cm]		Plocha póru typu Backerovy buňky [m ²]			Součet ploch pórů ve střídě vazby [m ²]	Porosita P_o [%]	Dostava [nití/10cm]		Plocha póru typu Backerovy buňky [m ²]			Součet ploch pórů ve střídě vazby [m ²]	1	2		4
								D_o	D_u	1	2	4			D_o	D_u	1	2	4					
1	Plátno	0,825	4	0	0	0	4	240	180	8,232E-08			3,293E-07	35,56	239,87	179,90	8,245E-08			3,298E-07	0,16			0,16
2	Atlas 5-ti vazný	1,250	0	20	0	5	25	240	180		9,311E-08	1,039E-07	2,382E-06	41,16	239,71	179,78		9,347E-08	1,043E-07	2,391E-06		0,39	0,40	0,39
3	Kepr 1/2	0,884	3	6	0	0	9	240	180	8,232E-08	9,311E-08		8,056E-07	38,67	239,85	179,89	8,247E-08	9,329E-08	8,072E-07	0,19	0,19		0,19	
4	Kepr 1/4	1,190	5	10	0	10	25	240	180	8,232E-08	9,311E-08	1,039E-07	2,382E-06	41,16	239,73	179,80	8,26E-08	9,344E-08	2,390E-06	0,34	0,35	0,36	0,35	
5	Plátno	0,938	4	0	0	0	4	240	160	9,762E-08			3,905E-07	37,49	239,83	159,89	9,782E-08		3,913E-07	0,21			0,21	
6	Atlas 5-ti vazný	1,407	0	20	0	5	25	240	160		1,152E-07	1,328E-07	2,969E-06	45,60	239,63	159,75		1,158E-07	1,334E-07	2,983E-06		0,47	0,46	0,47
7	Kepr 1/2	0,969	3	6	0	0	9	240	160	9,762E-08	1,152E-07		9,842E-07	41,99	239,82	159,88	9,784E-08	1,155E-07	9,864E-07	0,23	0,22		0,22	
8	Kepr 1/4	1,297	5	10	0	10	25	240	160	9,762E-08	1,152E-07	1,328E-07	2,969E-06	45,60	239,68	159,79	9,801E-08	1,157E-07	1,334E-07	2,980E-06	0,40	0,40	0,39	0,40
9	Plátno	0,904	4	0	0	0	4	240	140	1,173E-07			4,692E-07	39,41	239,85	139,91	1,175E-07		4,701E-07	0,19			0,19	
10	Atlas 5-ti vazný	1,328	0	20	0	5	25	240	140		1,437E-07	1,7E-07	3,723E-06	50,04	239,67	139,81		1,442E-07	1,707E-07	3,738E-06		0,40	0,38	0,39
11	Kepr 1/2	1,001	3	6	0	0	9	240	140	1,173E-07	1,437E-07		1,214E-06	45,32	239,81	139,89	1,176E-07	1,44E-07	1,217E-06	0,24	0,23		0,23	
12	Kepr 1/4	1,489	5	10	0	10	25	240	140	1,173E-07	1,437E-07	1,7E-07	3,723E-06	50,04	239,58	139,76	1,179E-07	1,444E-07	1,709E-07	3,742E-06	0,53	0,50	0,48	0,49
13	Plátno	0,863	4	0	0	0	4	240	120	1,435E-07			5,741E-07	41,33	239,86	119,93	1,438E-07		5,751E-07	0,18			0,18	
14	Atlas 5-ti vazný	1,184	0	20	0	5	25	240	120		1,816E-07	2,196E-07	4,730E-06	54,49	239,74	119,87		1,821E-07	2,203E-07	4,744E-06		0,30	0,28	0,30
15	Kepr 1/2	1,005	3	6	0	0	9	240	120	1,435E-07	1,816E-07		1,520E-06	48,64	239,81	119,90	1,439E-07	1,82E-07	1,523E-06	0,24	0,22		0,22	
16	Kepr 1/4	1,226	5	10	0	10	25	240	120	1,435E-07	1,816E-07	2,196E-07	4,730E-06	54,49	239,72	119,86	1,44E-07	1,822E-07	2,203E-07	4,745E-06	0,35	0,32	0,30	0,32
17	Plátno	1,023	4	0	0	0	4	240	180	8,967E-08			3,587E-07	38,74	239,80	179,85	8,99E-08		3,596E-07	0,25			0,25	
18	Atlas 5-ti vazný	1,233	0	20	0	5	25	240	180		1,085E-07	1,273E-07	2,806E-06	48,50	239,71	179,79		1,089E-07	1,277E-07	2,816E-06		0,35	0,34	0,34
19	Kepr 1/2	1,109	3	6	0	0	9	240	180	8,967E-08	1,085E-07		9,200E-07	44,16	239,77	179,83	8,994E-08	1,088E-07	9,226E-07	0,29	0,28		0,28	
20	Kepr 1/4	1,297	5	10	0	10	25	240	180	8,967E-08	1,085E-07	1,273E-07	2,806E-06	48,50	239,68	179,76	9,003E-08	1,089E-07	1,278E-07	2,817E-06	0,40	0,38	0,37	0,38
21	Kepr 1/2	0,804	3	6	0	0	9	240	220	7,042E-08	8,26E-08		7,069E-07	41,47	239,88	219,89	7,053E-08	8,273E-08	7,079E-07	0,16	0,15		0,15	
22	Kepr 1/2	0,916	3	6	0	0	9	240	200	8,043E-08	9,708E-08		8,238E-07	43,93	239,84	199,87	8,06E-08	9,726E-08	8,254E-07	0,20	0,19		0,19	
23	Plátno	1,039	4	0	0	0	4	240	180	9,267E-08			3,707E-07	40,04	239,80	179,85	9,291E-08		3,716E-07	0,26			0,26	
24	Atlas 5-ti vazný	1,368	0	20	0	5	25	240	180		1,148E-07	1,369E-07	2,980E-06	51,49	239,65	179,74		1,152E-07	1,374E-07	2,992E-06		0,42	0,40	0,41
25	Kepr 1/2	1,040	3	6	0	0	9	240	180	9,267E-08	1,148E-07		9,666E-07	46,40	239,80	179,85	9,291E-08	1,15E-07	9,690E-07	0,26	0,24		0,24	
26	Kepr 1/4	1,218	5	10	0	10	25	240	180	9,267E-08	1,148E-07	1,369E-07	2,980E-06	51,49	239,72	179,79	9,3E-08	1,151E-07	1,373E-07	2,989E-06	0,35	0,33	0,31	0,33
27	Kepr 1/2	1,231	3	6	0	0	9	240	160	1,08E-07	1,369E-07		1,145E-06	48,86	239,71	159,81	1,084E-07	1,373E-07	1,149E-06	0,36	0,33		0,34	