

## **Bakalářská práce**

# **Vliv konstrukce tkaniny z multifilu na její prodyšnost**

*Studijní program:*

B0723A270001 Textilní technologie, materiály  
a nanomateriály

*Autor práce:*

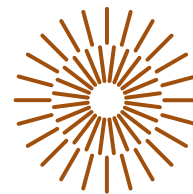
**Natálie Marešová**

*Vedoucí práce:*

Ing. Iva Mertová, Ph.D.

Katedra technologií a struktur

Liberec 2025



## **Zadání bakalářské práce**

# **Vliv konstrukce tkaniny z multifilu na její prodyšnost**

*Jméno a příjmení:*

**Natálie Marešová**

*Osobní číslo:*

T21000200

*Studijní program:*

B0723A270001 Textilní technologie, materiály  
a nanomateriály

*Zadávací katedra:*

Katedra technologií a struktur

*Akademický rok:*

2022/2023

### **Zásady pro vypracování:**

1. Proveďte rešerši zaměřenou na využití listových tkanin ve vztahu k filtraci.
2. Popište základní parametry plošné a prostorové geometrie tkaniny související s prodyšností a filtračními vlastnostmi.
3. Navrhněte a vytkejte v laboratoři KTT FT TUL experimentální sadu listových tkanin z monofilu v plátňové, keprové a atlasové vazbě.
4. Na utkaných strukturách proveďte měření vybraných vlastností, dále analyzujte typy pórů pomocí obrazové analýzy.
5. Na základě naměřených dat proveďte zhodnocení vlivu konstrukce tkanin na vybrané vlastnosti a parametry.

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| <i>Rozsah grafických prací:</i> | dle potřeby          |
| <i>Rozsah pracovní zprávy:</i>  | cca 40 stran         |
| <i>Forma zpracování práce:</i>  | tištěná/elektronická |
| <i>Jazyk práce:</i>             | čeština              |

### **Seznam odborné literatury:**

1. Havrdová, M.: Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin. Disertační práce, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci, 2004.
2. HORROCKS, A. Richard a ANAND, Subhash C. Handbook of technical textiles. Boca Raton: CRC Press, 2000. ISBN (Woodhead).
3. PAN, N. a ZHONG, Wen. *Fluid transport phenomena in fibrous materials*. Textile progress. [Manchester]: Textile Institute, 2006. ISBN 1-84569-163-6.
4. Kolčavová Sirková, B.: Systém projektování "příze – tkanina". Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci, 2004.
5. Bednář, V., Svatoš, S.: Vazby a rozbory tkanin I, pro 3. ročník středních průmyslových škol studijního oboru Textilní technologie, SNTL 1989, ISBN 80-03-00052-3.

|                       |                                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|
| <i>Vedoucí práce:</i> | Ing. Iva Mertová, Ph.D.<br>Katedra technologií a struktur |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|

|                                        |                |
|----------------------------------------|----------------|
| <i>Datum zadání práce:</i>             | 2. dubna 2023  |
| <i>Předpokládaný termín odevzdání:</i> | 10. ledna 2025 |

L.S.

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

doc. Ing. Pavel Pokorný, Ph.D.  
garant studijního programu

V Liberci dne 12. prosince 2024

## Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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



### Poděkování

Na prvním místě chci poděkovat Ing. Ivě Mertové, Ph.D., za odborné vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat svému konzultantovi Ing. Karolu Ježíkovi za jeho pomoc, cenné informace a čas, který mi byl věnován při vypracování této bakalářské práce. Ráda bych také poděkovala zaměstnancům Katedry technologií a struktur, Katedry materiálového inženýrství a Katedry hodnocení textilií, za jejich čas, vstřícnost a možnost využití laboratorního zařízení.

Na závěr chci poděkovat své rodině, za jejich podporu po celou dobu mého studia.



## Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá zjištěním vlivu konstrukce tkaniny z multifilu na její prodyšnost. Je zaměřena na predikci prodyšnosti tkanin, nebo-li způsob vyjádření vybraných parametrů a vlastností tkanin z hlediska plošné a prostorové geometrie, které bude následně sloužit jako podklad pro sestavení systému projektování tkanin. Práce je rozdělena na dvě části. První část je soustředěna na teoretický popis struktury tkaniny, která souvisí s prodyšností a filtračními vlastnostmi.

Druhá část je soustředěna na měření prodyšnosti a analýzu pórů pomocí obrazové analýzy. Naměřené výsledky byly zaznamenány do 8 grafů a na závěr byl vyhodnocen vliv konstrukce tkaniny na její prodyšnost.

## Klíčová slova

Tkanina, Prodyšnost, Multifil, Struktura tkaniny, Technologie tkaní, Vazby listových tkanin, Měření prodyšnosti.

## Anotation

This bachelor thesis deals with influence of multifilament woven fabric construction on its permeability. It is focused on the permeability of woven fabrics or a way of expressing selected parameters and properties of woven fabrics in terms of surface and spatial geometry, which will subsequently serve as a basis for building a fabric design system. The work is divided into two parts.

The first part is focused on the theoretical description of the structure of the woven fabric, which is related to permeability and filtering properties.

The second part is focused on permeability measurement and pore analysis using image analysis. The measured results were marked in 8 graphs and finally the influence of the fabric construction on its breathability was evaluated.

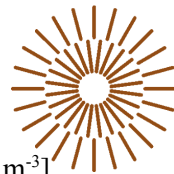
## Key words

Woven Fabric, Permeability, Multifilament fiber, Structure of woven fabric, Weaving technology, Weave of dobby woven fabric, Permeability measurement.



## Seznam použitých symbolů a zkratk

| Symbol     | Popis                                     | Jednotka                           |
|------------|-------------------------------------------|------------------------------------|
| $am$       | Phrixův zákrutový koeficient              | $[\text{ktex}^{2/3}\text{m}^{-1}]$ |
| $d$        | průměr multifilu                          | $[\text{mm}]$                      |
| $d_o$      | průměr osnovní nitě                       | $[\text{m}]$                       |
| $d_s$      | substanční průměr multifilu               | $[\text{mm}]$                      |
| $d_u$      | průměr útkové nitě                        | $[\text{m}]$                       |
| $\bar{d}$  | střední hodnota průměru nití ve tkanině   | $[-]$                              |
| $D_o$      | dostava osnovy                            | $[\text{m}^{-1}]$                  |
| $D_u$      | dostava útku                              | $[\text{m}^{-1}]$                  |
| $l_m$      | délka multifilu                           | $[\text{km}]$                      |
| $L_o$      | délka nití v osnově                       | $[\text{m}]$                       |
| $L_u$      | délka nití v útku                         | $[\text{m}]$                       |
| $m_m$      | hmotnost multifilu                        | $[\text{g}]$                       |
| $n$        | počet vláken v průřezu multifilu          | $[-]$                              |
| $n_o$      | otáčky krutného orgánu                    | $[\text{min}]^{-1}$                |
| $p_o$      | rozteč nití ve tkanině ve směru osnovy    | $[\text{m}]$                       |
| $p_u$      | rozteč nití ve tkanině ve směru útku      | $[\text{m}]$                       |
| $s$        | plocha tkaniny                            | $[\mu\text{m}^2]$                  |
| $s_c$      | celková plocha                            | $[\mu\text{m}^2]$                  |
| $S$        | substanční plocha příčného řezu multifilu | $[\text{mm}^2]$                    |
| $S_c$      | celková plocha příčného řezu multifilu    | $[\text{m}^2]$                     |
| $t$        | tloušťka tkaniny                          | $[\mu\text{m}]$                    |
| $t_v$      | jemnost vlákna                            | $[\text{tex}]$                     |
| $T$        | jemnost multifilu                         | $[\text{tex}]$                     |
| $v_{od}$   | rychlost odváděcích válců                 | $[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ |
| $V$        | objem                                     | $[\text{m}^3]$                     |
| $V_c$      | celkový objem                             | $[\text{m}^3]$                     |
| $Z$        | zákrut                                    | $[\text{m}^{-1}]$                  |
| $Z_o$      | zakrytí osnovy                            | $[-]$                              |
| $Z_u$      | zakrytí útku                              | $[-]$                              |
| $Z_w$      | Waltzův stupeň zakrytí                    | $[-]$                              |
| $\alpha_m$ | Koechlinův zákrutový koeficient           | $[\text{ktex}^{1/2}\text{m}^{-1}]$ |



|          |                                     |                       |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| $\mu$    | zaplnění multifílu                  | [-]                   |
| $\rho$   | měrná hmotnost (hustota) vláken     | [kg.m <sup>-3</sup> ] |
| $\rho_m$ | měrná hmotnost (hustota) multifílu  | [kg.m <sup>-3</sup> ] |
| $\psi$   | porozita tkaniny z plošného zakrytí | [%]                   |
| $\kappa$ | intenzita zákrutu                   | [-]                   |

### Zkratky

|            |                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| P 1/1      | multifilová tkanina v plátnové vazbě                            |
| K 1/2 (Z)  | multifilová tkanina v třívazné keprové vazbě pravého směru      |
| K 1/3 (Z)  | multifilová tkanina v čtyřvazné keprové vazbě pravého směru     |
| K 1/5 (Z)  | multifilová tkanina v šestivazné keprové vazbě pravého směru    |
| K 1/11 (Z) | multifilová tkanina v dvanáctivazné keprové vazbě pravého směru |



## Obsah

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Úvod.....</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>2 Teoretická část.....</b>                         | <b>12</b> |
| 2.1 Základní charakteristiky multifilu.....           | 12        |
| 2.1.1 Jemnost multifilu.....                          | 12        |
| 2.1.2 Zákrut multifilu.....                           | 12        |
| 2.1.3 Průměr multifilu.....                           | 13        |
| 2.1.4 Zaplnění multifilu.....                         | 14        |
| 2.2 Strukturní parametry tkanin.....                  | 15        |
| 2.2.1 Vazba tkaniny.....                              | 15        |
| 2.2.2 Dostava tkaniny.....                            | 16        |
| 2.2.3 Zakrytí tkaniny.....                            | 16        |
| 2.2.4 Zaplnění tkaniny.....                           | 17        |
| 2.2.5 Tloušťka tkaniny.....                           | 17        |
| 2.3 Porozita tkaniny.....                             | 18        |
| 2.3.1. Mikroporozita.....                             | 18        |
| 2.3.2 Makroporozita.....                              | 18        |
| 2.3.3 Horizontální porozita.....                      | 18        |
| 2.4 Deformace struktury tkaniny v proudu vzduchu..... | 18        |
| 2.5 Vliv vazby tkaniny na její prodyšnost.....        | 19        |
| 2.6 Typy pórů ve struktuře tkaniny.....               | 20        |
| 2.7 Prodyšnost plošných textilií.....                 | 21        |
| 2.7.1 Statická prodyšnost.....                        | 21        |
| 2.7.2. Dynamická prodyšnost.....                      | 21        |
| 2.8 Predikce prodyšnosti.....                         | 21        |
| 2.9 Rešerše vědeckých prací.....                      | 22        |
| <b>3 Experimentální část.....</b>                     | <b>26</b> |
| 3.1 Tvorba experimentální sady vzorků.....            | 26        |
| 3.2 Použité druhy vazeb.....                          | 27        |
| 3.3 Provedené experimenty.....                        | 30        |
| 3.3.1 Měření prodyšnosti.....                         | 30        |
| 3.3.2 Měření tloušťky.....                            | 32        |
| 3.3.3 Měření plošné porozity.....                     | 33        |
| 3.3.3.1 Subjektivní označení pórů typu P1.....        | 37        |
| 3.4 Shrnutí výsledků.....                             | 39        |
| <b>Závěr.....</b>                                     | <b>43</b> |
| <b>Literatura.....</b>                                | <b>46</b> |
| <b>Přílohy.....</b>                                   | <b>49</b> |
| Příloha 1: Prodyšnost.....                            | 50        |



|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Příloha 2: Tloušťka.....                          | 51 |
| Příloha 3: Plošná porozita.....                   | 52 |
| Příloha 4: Subjektivní označení pórů typu P1..... | 62 |



## 1 Úvod

Každý druh aplikace textilního výrobku, má různé požadavky na vlastnosti textilie. Při měnících se podmínkách, může docházet ke změnám vlastností a jejich nestálosti. Kvalitní textilní výrobek ale musí zaručovat především stálost vlastností. U technických tkanin tomu není jinak. Např. u filtračních tkanin je stálost vlastností klíčová. V dnešní době jsou filtrační média přítomná téměř v každém odvětví průmyslové činnosti. Aplikace filtrační tkaniny do jisté míry udává, v jakých hodnotách by se měly filtrační vlastnosti pohybovat. V určitých oblastech aplikace je nutné, aby byla prodyšnost struktury známá a udržována v určitém rozsahu. Např. pro výrobu airbagů se používají tzv. nízkopropustné tkaniny. Dále se tkaniny s řízenou propustností používají pro lékařské filtry, či separační média. Tento typ struktur musí zaručovat jednosměrný průchod vzduchu.

Účinnost filtrace je silně provázána s prodyšností tkaniny. Jedná se o vektorovou veličinu s předpokladem jednosměrného průchodu vzduchu textilním materiálem. S měnícími se/kolísajícími vlastnostmi přízí, mohou být při měření prodyšnosti zjištěny hodnoty, které neodpovídají reálným podmínkám pro danou aplikaci tkaniny. Z toho důvodu byla v minulosti již mnohokrát vyvinuta snaha o sestavení systému projektování tkanin, který bere v úvahu vztah mezi morfologickou strukturou textilie a jejími jednotlivými parametry.

Cílem této práce je vytvoření pilotního podkladu k predikci vlastností tkanin, jako je prodyšnost. Ta se odvíjí od predikce porozity, která je silně ovlivněna vazbou tkaniny. V této práci je použita experimentální sada pěti vzorků s různými vazbami a je sledován vliv vazby na prodyšnost tkaniny.

Teoretická část této práce začíná definováním strukturních parametrů multifilu a následně tkaniny. Dále je definována porozita a její druhy, prodyšnost a její druhy. Konec teoretické části se věnuje predikci vlastností tkanin a řešerši vědeckých prací, které se danému tématu věnují.



## 2 Teoretická část

### 2.1 Základní charakteristiky multifilu

Multifil definujeme jako množinu nejméně čtyř nekonečných chemických vláken stejného druhu, modifikace a průřezu. [18] Vzniká buď družením, nebo zakroucením jednotlivých nekonečných vláken. Zákruty zde bývají spíše ochranné, a proto bývají udělovány v relativně nízkém počtu na jednotku délky. [21] Jedná se o základní stavební jednotku a nejvýznamnější polotovár při výrobě tkanin z multifilu. Je nositelem struktury a vlastností výsledného produktu. [23]

#### 2.1.1 Jemnost multifilu

Jemnost vyjadřuje podíl hmotnosti  $m$  ku délce  $l$  textilie. Další způsob vyjádření délkové hmotnosti multifilu je na základě substanční plochy průřezu  $S$  a měrné hmotnosti vláken  $\rho$ .

$$T = \frac{m_m}{l_m} = \frac{\rho \cdot V}{l_m} = \frac{\rho \cdot l_m \cdot S}{l_m} = \rho \cdot S \quad (1)$$

|        |                                                                     |
|--------|---------------------------------------------------------------------|
| $T$    | jemnost multifilu [tex]                                             |
| $m_m$  | hmotnost multifilu [g]                                              |
| $l_m$  | délka multifilu [km]                                                |
| $\rho$ | měrná hmotnost (hustota) vláken [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] |
| $V$    | objem [ $\text{m}^3$ ]                                              |
| $S$    | substanční plocha příčného řezu multifilu [ $\text{mm}^2$ ]         |

Jemnost popsána vztahem (1) vyjadřuje jemnost monofilu, ze které lze vypočíst jemnost multifilu s předpokladem rovnoběžného uspořádání vláken ve svazku (nezakroucení) dle vztahu (2).

$$T = t_v \cdot n \quad (2)$$

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| $t_v$ | Jemnost vláken [tex]       |
| $n$   | Počet vláken v průřezu [-] |

#### 2.1.2 Zákrut multifilu

Zákrut  $Z$  je veličina, kterou rozumíme zakroucení vláken ve směru šroubovice kolem osy příze vyjádřené počtem celých otáček na délku 1 m. [21] Z hlediska tvorby lze zákrut vyjádřit vztahem (3), nebo-li podílem počtu otáček  $n_o$  krutného orgánu ku rychlosti odváděcích válců  $v_{od}$ .



$$Z = \frac{n_o}{v_{od}} \quad (3)$$

|          |                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------|
| $Z$      | zákrut [ $\text{m}^{-1}$ ]                                     |
| $n_o$    | otáčky krutného orgánu [ $\text{min}^{-1}$ ]                   |
| $v_{od}$ | rychlost odváděcích válců [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ] |

Běžné výpočty jsou prováděny na základě teorií Köchlinova zákrutového koeficientu (4) a Phrixova zákrutového koeficientu (5).

$$Z = \frac{\alpha \cdot 31,6}{\sqrt{T}} \quad (4)$$

$$Z = am \cdot \frac{100}{\sqrt[3]{T^2}} \quad (5)$$

|          |                                                                      |
|----------|----------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ | Köchlinův zákrutový koeficient [ $\text{ktex}^{1/2} \text{m}^{-1}$ ] |
| $a_m$    | Phrixův zákrutový koeficient [ $\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}$ ]   |
| $T$      | jemnost příze [tex]                                                  |

Intenzita zákrutu popisuje úhel stoupání šroubovice povrchového vlákna. Vyjadřuje se jako součin průměru a zákrutu. [24] Je to bezrozměrná veličina, kterou lze definovat vztahem (6).

$$\kappa = \pi \cdot d \cdot Z \quad (6)$$

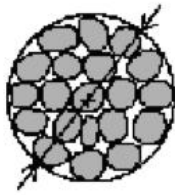
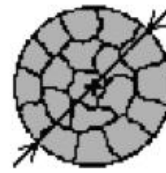
|          |                            |
|----------|----------------------------|
| $\kappa$ | intenzita zákrutu [-]      |
| $d$      | průměr multifilu [m]       |
| $Z$      | zákrut [ $\text{m}^{-1}$ ] |

### 2.1.3 Průměr multifilu

Příčný rozměr, nebo-li průměr multifilu  $d$  společně se zaplněním tkaniny jsou nejvlivnějšími parametry pro prodyšnost plošné textilie. Jako limitní je definován substanční průměr  $d_s$  (vlákna jsou stlačena do homogenního válce bez vzduchových mezer), viz vztah (7). [5]

$$d_s = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{\pi \cdot \rho}} \quad (7)$$

|        |                                                                     |
|--------|---------------------------------------------------------------------|
| $d_s$  | substanční průměr multifilu [mm]                                    |
| $S$    | substanční plocha průřezu niti [ $\text{mm}^2$ ]                    |
| $\rho$ | měrná hmotnost (hustota) vláken [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] |
| $T$    | jemnost multifilu [tex]                                             |

**Obr. 1a Průměr multifilu  $d$  [6]****Obr. 1b Substanční průměr multifilu  $d_s$  [6]**

Nit si lze představit jako homogenní válec. Multifil ale ve skutečnosti není homogenním válcem, z důvodu vzduchových mezer mezi vlákny a hustoty stěsnění vláken, která není rovnoměrná. Z těchto důvodů nelze jednoznačně definovat průměr multifilu. Pro jeho výpočet lze použít vztah (8), který uvažuje vzduchové mezery mezi vlákny.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{\pi \cdot \mu \cdot \rho}} \quad (8)$$

|        |                                                                     |
|--------|---------------------------------------------------------------------|
| $d$    | průměr multifilu [mm]                                               |
| $T$    | jemnost multifilu [tex]                                             |
| $\mu$  | zaplnění multifilu [-]                                              |
| $\rho$ | měrná hmotnost (hustota) vláken [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] |

Pro další způsob výpočtu průměru multifilu lze použít vztah (9), který také uvažuje vzduchové mezery mezi vlákny, ale nevychází přímo z měrné hmotnosti substance vláken, ale z měrné hmotnosti multifilu. [5], [23]

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot T}{\pi \cdot \rho_m}} \quad (9)$$

|          |                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------|
| $d$      | průměr multifilu [mm]                                        |
| $T$      | jemnost multifilu [tex]                                      |
| $\rho_m$ | měrná hmotnost multifilu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] |

#### 2.1.4 Zaplnění multifilu

Jedná se o veličinu vyjadřující podíl celkového prostoru útvaru zaplněného objemem vláken.

[20] Zaplnění  $\mu$  lze definovat na základě objemové, nebo plošné interpretace, viz. vztah (10).

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{S}{S_c} \quad (10)$$

|       |                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------|
| $\mu$ | zaplnění multifilu [-]                              |
| $V$   | objem vláken [ $\text{m}^3$ ]                       |
| $V_c$ | celkový objem multifilu [ $\text{m}^3$ ]            |
| $S$   | substanční plocha vláken v průřezu [ $\text{m}^2$ ] |
| $S_c$ | celková plocha průřezu multifilu [ $\text{m}^2$ ]   |



Uspořádání vláken v multifilu dobře vystihuje válcovou strukturu. Vlákná v multifilu jsou seskupeny v kruhových vrstvách, u kterých lze předpokládat maximální umístění vláken při malých dostředivých silách (nízkém počtu zákrutů). Tvoří-li první vrstva jediné vlákno (osa svazku je totožná s osou středového vlákna), hovoříme o kruhové radiální struktuře se středovým vláknem. Jsou-li kruhové vrstvy uspořádány s osou v ose svazku a hovoříme o kruhové radiální struktuře bez středového vlákna, pak se konfigurace vláken blíží čtvercovému uspořádání. Tato struktura má nejvíce vzduchových mezer. [3] Z důvodu tendence zaujímání maximálně uspořádané struktury, se pro výpočet průměru multifilu doporučuje použít hodnotu zaplnění  $\mu_m=0.7$ , která je odvozena z limitního zaplnění válcové struktury.

## 2.2 Strukturní parametry tkanin

Tkanina je plošná textilie vytvořena z jedné nebo více soustav podélných (osnovních) nití a z jedné nebo více soustav příčných (útkových) nití, provázaných vzájemně v kolmém směru. Podélná soustava nití (probíhá po délce tkaniny) se nazývá osnova a druhá příčná soustava nití útek. [19]

### 2.2.1 Vazba tkaniny

Způsob vzájemného provázání soustavy osnovních a útkových nití (ČSN ISO 80 0020) se nazývá vazba tkaniny. [19] Překřížením osnovní a útkové nitě vznikne vazný bod. Určují se dva typy vazných bodů na základě jejich vzájemné polohy. Pokud je osnovní nit nad útkovou, jedná se o osnovní vazný bod. Pokud je naopak útková nit nad osnovní, jedná se o útkový vazný bod. Jedná se o velmi důležitý konstrukční parametr, který je užíván pro zajištění požadovaných mechanicko fyzikálních, užitných a dekoračních vlastností výsledné tkaniny [27], zejména prodyšnosti. Vazba, nebo-li způsob provázání osnovních útkových nití udává strukturu tkaniny a vede ke vzniku mezinitných pórů (makroporozita) viz. kapitola 2.6.2. Podle Backerových čtyř typů pórů pórů [4] lze definovat vnitřní geometrii provázání struktury textilie, viz. kapitola 2.9.

Vazby listových tkanin se dělí na vazby základní, odvozené a složené. Tato práce využívá pouze listové vazby základní, které budou podrobněji popsány v experimentální části v kapitole Použité druhy vazeb.

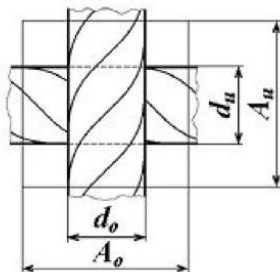


### 2.2.2 Dostava tkaniny

Dostavou tkaniny se vždy rozumí počet nití na určitou délku tkaniny, většinou na 1 cm, 10 cm, 1 m. Určuje se buď pro soustavu osnovních nití, tj. dostava osnovy  $D_o$ , nebo pro soustavu útkových nití, tj. dostava útku  $D_u$ .

### 2.2.3 Zakrytí tkaniny

Jedná se o jednu z častých forem popisu struktury plošných textilií. Zakrytí společně se zaplněním jsou bezrozměrné koeficienty. Jde o plošný koeficient udávající poměr plochy zakryté nití k celkové ploše textilie nebo jejího vazného prvku. [16] Je více způsobů jak zakrytí vyjádřit. Jedním z nich je zakrytí jednou soustavou nití (obr. 2), kde se jedná o poměr plochy osnovní nebo útkové nitě k ploše vazného prvku.



$$Z_o = \frac{d_o \cdot p_u}{p_o \cdot p_u} = \frac{d_o}{p_o} = d_o \cdot D_o \quad (1)$$

$$Z_u = \frac{d_u \cdot p_o}{p_o \cdot p_u} = \frac{d_u}{p_u} = d_u \cdot D_u \quad (2)$$

Obr. 2 Zakrytí vazného prvku tkaniny [6]

|               |                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------|
| $Z_o$ a $Z_u$ | zakrytí osnovou a útkem [-]                       |
| $D_o$ a $D_u$ | dostava osnovy a útku [ $m^{-1}$ ]                |
| $d_o$ a $d_u$ | průměr osnovních a útkových nití [m]              |
| $p_o$ a $p_u$ | rozteč nití ve tkanině ve směru osnovy a útku [m] |

Zakrytí dvěma soustavami nití  $Z$ . Plocha vazného prvku je  $p_o \cdot p_u$ , plocha zakrytá osnovou je  $d_o \cdot p_u$ , útkem  $d_u \cdot p_o$ , dvakrát (současně osnovní i útkovou nití) zakrytá plocha  $d_o \cdot d_u$  se počítá jen jednou, tj.

$$Z = \frac{p_u \cdot d_o + p_o \cdot d_u - d_o \cdot d_u}{p_o \cdot p_u} = \frac{d_o}{p_o} + \frac{d_u}{p_u} - \frac{d_o \cdot d_u}{p_o \cdot p_u} = Z_o + Z_u - Z_o \cdot Z_u \quad (3)$$

Waltzův stupeň zakrytí  $Z_w$  souvisí s tzv. setkatelností. přibližná rovnost  $\approx$  platí jen v případě malého rozdílu v průměru osnovy a útku. Je definován vztahem (4):

$$Z_w = (d_o + d_u)^2 \cdot D_o \cdot D_u = \frac{4 \cdot \bar{d}^2}{p_o \cdot p_u} \approx 4 \cdot Z_o \cdot Z_u; \quad \bar{d} = \frac{d_o + d_u}{2} \quad (4)$$

|           |                                             |
|-----------|---------------------------------------------|
| $Z_w$     | Waltzův stupeň zakrytí [-]                  |
| $\bar{d}$ | střední hodnota průměru nití ve tkanině [-] |



“Cover factor”  $CF$  (Pierce). Dosud jsme vycházeli z obtížně určitelné veličiny  $d$ , což vedlo ke snaze objektivizovat způsob určování zakrytí. Průměr nitě je nahrazen odmocninou z délkové hmotnosti a  $CF$  je definován dvěma způsoby:

$$a) \text{ Délkový: } CF_{D-o,u} = D_{o,u} \cdot \sqrt{T_{[Mtex]-o,u}} \quad (5)$$

Není to už bezrozměrné vyjádření zakrytí. Výsledek je ovlivněn parametry  $\mu$ ,  $\rho$  (zaplněním nitě a hustotou vláknenného materiálu).

$$b) \text{ Plošný: } CF_p = CF_{D-o} + CF_{D-u} - CF_{D-o} \cdot CF_{D-u} \quad (6)$$

Peirce mimoto zanedbal hodnotu součinu (poslední člen), což je ale možné jen při relativním vyjádření, pokud je  $CF$  v intervalu  $<0,1>$ . [6]

#### 2.2.4 Zaplnění tkaniny

Zaplnění udává poměr objemu nitě k celkovému objemu textilie, nebo jejího vazného prvku. Lze jej vyjádřit pomocí poměru objemu nitě k odpovídajícímu objemu plošné textilie:

$$\mu = \frac{V_n}{V_t} \quad (7)$$

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| $\mu$ | zaplnění tkaniny [-]            |
| $V_n$ | objem nitě [ $m^3$ ]            |
| $V_t$ | objem plošné textilie [ $m^3$ ] |

U jednoduchých (jednovrstvých) vazeb tkanin s podobnou hodnotou zvlnění osnovních a útkových nití platí, že  $t \approx d_o + d_u$ . Tento vztah vyjadřuje přibližnou rovnost, nebo-li vyrovnanou tkaninu. I v tomto případě by bylo možné nahradit problematický průměr nitě podobně problematickou odmocninou z délkové hmotnosti nitě  $T$ . [16]

#### 2.2.5 Tloušťka tkaniny

Její stanovení je dáno normou ČSN 800844. Tloušťka  $t$  je definována jako vzdálenost mezi lícovou a rubovou stranou plošné textilie, nacházející se mezi dvěma rovnoběžnými destičkami pod stanoveným tlakem. [17] Tloušťka je další parametr tkaniny, který silně ovlivňuje její prodyšnost. Předpokladem je, že se zvyšující se tloušťkou tkaniny se také prodlužuje pór ve vertikálním směru, nebo-li vertikální porozita se zvětšuje.



## 2.3 Porozita tkaniny

Z hlediska teoretického rozboru prodyšnosti vzduchu textilních materiálů je za základní veličinu reprezentující strukturu textilie zpravidla pokládána její porozita. [5] Poměr proudění vzduchu tkaninou je ovlivněn tvarem, velikostí a četností vzduchových kanálků (pórů), jejich druhy jsou uvedeny v kapitole 2.6.

### 2.3.1. Mikroporozita

Tzv. mezivlákněná porozita představuje prázdný prostor mezi vlákny v přízi. Závisí na jemnosti vlákna, zákrutu a spřádací technologii. Tato práce mikroporozitu zanedbává.

### 2.3.2 Makroporozita

Představuje prázdný prostor mezi přízemi v tkanině. Závisí na struktuře tkané vazby (typ vazby a hustota tkaniny). Tento prázdný objem v tkanině hraje hlavní roli v různých spotřebitelských a průmyslových aplikacích, včetně komfortu oděvních textilií, hořlavosti a přesnosti filtračních médií.

### 2.3.3 Horizontální porozita

Z hlediska hodnocení prodyšnosti vzduchu předpokládá 2-D projekce pórů podle Gooijera [4], že pór přístupný pro vzduch může vzniknout pouze mezi dvěma průměty nití do roviny tkaniny. U hustě dostavených tkanin, kde je “otevřená” projektovaná plocha prakticky nulová, by tedy k žádnému průchodu vzduchu nedocházelo. [14] Avšak i u takových typů tkaniny dochází k průchodu vzduchu. Z toho plyne, že vzduch neprochází pouze mezi průměty nití kolmo ke tkanině nebo-li vertikálně, ale může procházet horizontálně mezi nitěmi a tzv. obtékat v šikmém směru.

## 2.4 Deformace struktury tkaniny v proudu vzduchu

Podle Havrdové [14] dochází při umístění textilie do proudu vzduchu ke vzniku hydraulických odporů, jejichž vlivem dochází ke změně a deformaci struktury textilie. Tyto deformace rozděluje Havrdová následovně:

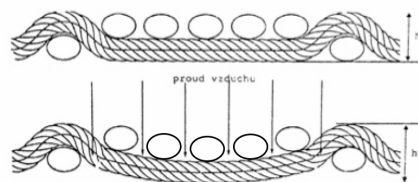
### Průhyb (vydutí)

Zkoušená plocha textilního vzorku upnutého v čelistech přístroje se prohýbá ve směru proudění vzduchu. V důsledku tohoto jevu dochází k “rozevírání” do stran tzv. - *horizontální nárůst porozity*. [14]



### **Oddalování volně flotujících úseků**

Pokud je textilním vzorkem tkaniny s nepříliš pevnou vazbou (kepr, atlas), obsahuje floty (volně ležící úseky nití. Vlivem působení proudu vzduchu na textilií dojde k jejich oddálení. Dochází ke vzniku “přídavných” pórů zvětšováním tloušťky textilie během měření - tzv. *vertikální nárůst porozity*. Lze předpokládat, že v tkanině s plátňovou vazbou se uvedená deformace nevyskytne vůbec a čím budou úseky volně flotujících nití ve vazbě delší, tím výraznější bude. [14] Předpokladem je, že u tkaniny bez flotů (plátno), se uvedená oddálení vůbec nestane. Zároveň lze předpokládat, že čím je flot ve vazbě delší, tím výraznější bude jejich oddálení vlivem proudícího vzduchu.



**Obr. 3 Volný flot v proudu vzduchu [14]**

### **Rozhrnování vnějších vrstev příze**

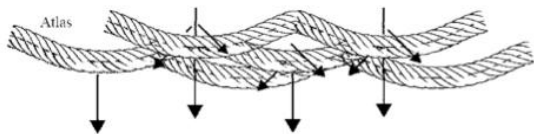
Oblast chlupatosti se více přimyká k relativně kompaktnímu jádru příze. V důsledku tohoto typu deformace, dochází ke změně struktury textilie, ale vliv na hodnotu prodyšnosti má za běžných podmínek hodnocení oděvních textilií minimální. [14]

## **2.5 Vliv vazby tkaniny na její prodyšnost**

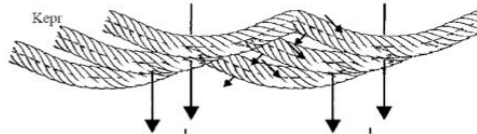
Výběr vazby tkaniny ovlivňuje nejen konstrukci, ale také mechanické a uživatelské vlastnosti výsledné textilie, jako prodyšnost. Z předchozích kapitol plyne, že provázáním osnovních a útkových nití vznikají ve struktuře tkaniny póry a tkanina tak získává porozitu. Dále jsou v předchozích kapitolách popsány druhy porozity a jejich vliv na prodyšnost textilie. Dalším aspektem, který je třeba zahrnout jsou typy pórů ve struktuře tkaniny, jejich četnost a rozložení v ploše tkaniny. Jako příklad lze uvést dva druhy vazeb se stejnou střídou vazby (sedmivazný kepr, sedmivazný atlas) viz. (obr. 4) a stejným počtem stejně dlouhých flotujících úseků. Vlivem odlišného rozložení i četnosti jednotlivých typů pórových buněk, se prodyšnost tkanin liší. U sedmivazného kepru vznikne tzv. kapsa, která je tvořena ze vzájemně překrývajících se (jsou posunuty vždy jen o 1 nit) flotů. U sedmivazného atlasu je proudění vzduchu intenzivnější, vlivem vzájemného nepřekrytí dvou sousedních horizontálních pórů. [14]



a)



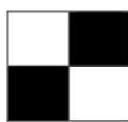
b)



Obr. 4 Sedmivazný atlas a) a sedmivazný kepr b) v proudu vzduchu [14]

## 2.6 Typy pórů ve struktuře tkaniny

Strukturální změny ve tkanině jsou dány vazbou, tvořenou kombinací čtyř typů pórů. Definice jednotlivých pórů je založena na vzájemném prokládání dvou sousedních nití ve směru osnovy a ve směru útku. Na základě těchto pórových buněk, je možné vytvořit jakoukoli vazbu z oblasti listových i žakárských tkanin. Relativní četnost pórových buněk P1-4 ve střídě vazby ovlivňuje chování tkaniny během tkaní a její užitné a mechanické vlastnosti. [26]

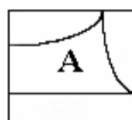
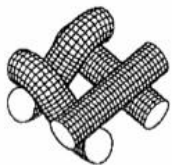


### Strukturální buňka provázání typu P1

plné zakřížení nití

oboustranná buňka

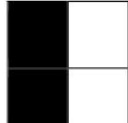
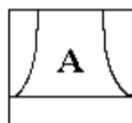
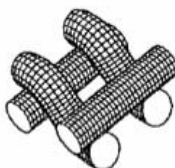
Obr. 5 Prostorové a plošné zobrazení P1 [4, 8]



### Strukturální buňka provázání typu P2

částečné zakřížení nití

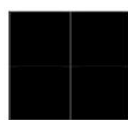
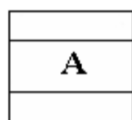
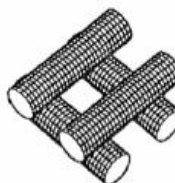
Obr. 6 Prostorové a plošné zobrazení P2 [4, 8]



### Strukturální buňka provázání typu P3

zdvojené provázání

Obr. 7 Prostorové a plošné zobrazení P3 [4, 8]



### Strukturální buňka provázání typu P4

plná flotáž

Obr. 8 Prostorové a plošné zobrazení P4 [4, 8]



## 2.7 Prodyšnost plošných textilií

Prodyšnost, nebo-li propustnost vzduchu je definována jako rychlost proudění vzduchu procházejícího kolmo známou oblastí za předepsaného rozdílu tlaku vzduchu mezi dvěma povrchy materiálu. Je to míra udávající, jak dobře tkanina umožňuje průchod vzduchu. [1]. Jedná se o vektorovou veličinu silně ovlivňující komfort oděvní textilie, nebo schopnost filtrace technické textilie, či vzduchových filtrů.

### 2.7.1 Statická prodyšnost

Hodnocení statické prodyšnosti neumožní sledovat změny prodyšnosti v průběhu času, při zvyšování tlakového spádu. Lze určit hodnotu prodyšnosti až po ustálení tlaku působícího na textilií. Po celou dobu vzduch prochází textilií jedním směrem konstantní rychlostí. [28] Nelze tedy sledovat možné změny ve struktuře textilie.

### 2.7.2. Dynamická prodyšnost

Dynamická prodyšnost naopak umožňuje stanovení hodnoty prodyšnosti v průběhu času, za zvyšujícího se tlakového spádu a lze tak sledovat změny ve struktuře tkaniny. Takovéto strukturální změny mohou nastat vlivem vysokého tlaku působícího na textilií a způsobit tak posuv nití, který vede ke zvětšení mezinitných pórů. U příze může dojít k oddělování krátkých konců a tím k otevírání mezivláknenných pórů. [28]

## 2.8 Predikce prodyšnosti

Kvůli složitosti struktury tkaniny, dochází při měření prodyšnosti ke vzniku problémů, které nejsou v souladu s reálnými podmínkami pro danou aplikaci textilie. Je tedy možné použít matematickou modelaci, která výrazně zjednodušuje strukturu tkaniny, nebo-li způsob vyjádření vybraných parametrů a vlastností tkanin z hlediska plošné a prostorové geometrie, které bude následně sloužit jako podklad pro sestavení systému projektování tkanin. Ke zjednodušení dochází z důvodu složitosti reálné struktury tkaniny a nemožnosti ji zachytit.



## 2.9 Rešerše vědeckých prací

Informační zdroje byly vybírány podle jazyka - angličtina, čeština. Výběr zdrojů nebyl teritoriálně omezen, pouze byl kladen důraz na novější zdroje. Citace informačních zdrojů jsou zapsány podle normy ISO ČSN 690:2022. Celkový počet citací je 17 a jsou řazeny dle podtématů.

Řada autorů se již v minulosti zabývala možnostmi predikce prodyšnosti tkanin na základě jejich strukturálních parametrů. Většinou jde o matematickou modelaci, která výrazně zjednodušuje strukturu tkaniny a zanáší tak do predikce nepřesnosti. Jedná se o zjednodušení nutné k možnosti maximálního přiblížení se reálné struktuře tkaniny a schopnosti určit/predikovat její užité vlastnosti.

Alamdar-Yazdi [2] zkoumal vztah mezi prodyšností a mechanickými vlastnostmi tkanin s různými vazbami a dostavami osnovy a útku. Bylo zjištěno, že prodyšnost a mechanické vlastnosti tkaniny mají inverzní vztah. Zvýšením propustnosti se snižuje pevnost v tahu, smyku a ohybu.

Ogulata [22] zkoumal jak různé dostavy tkanin v plátňové vazbě ovlivňují prodyšnost. Zvýšení počtu osnovních, nebo útkových nití ve tkanině vede ke snížení propustnosti vzduchu. Pokud má tkanina velmi vysokou poréznost, lze předpokládat, že je propustná. U tkaniny s nulovou porozitou lze teoreticky předpokládat nulovou propustnost.

Havrdová [14] zkoumá deformace v textilní struktuře, ke kterým dochází při průchodu vzduchu textilií. Tyto deformace rozděluje na 3 fáze: Průhyb textilie (horizontální nárůst porozity), Oddalování volně flotujících úseků nití ve směru proudícího vzduchu (vertikální nárůst porozity) a Rozhrnování vnějších vrstev příze. Dále zkoumá možnost predikce prodyšnosti tkaniny v plátňové vazbě na základě jemnosti a jednoho mezipřízového póru. [10]

Angelova a Xiao[3, 29] zkoumali prodyšnost tkanin na základě Hagen-Poiseuilleova zákona. Angelova [3] zkoumala možnost predikce prodyšnosti tkanin pomocí strukturálních parametrů jako je jemnost osnovy a útku, dostava osnovy a útku, vazba a tloušťka tkaniny.



Xiao navrhl analytický model pro predikci prodyšnosti hustých tkanin pomocí Hagen-Poiseuilleho proudění viskózní tekutiny. Proudění bylo měřeno přes model vazného bodu tkaniny s kanálem pro viskózní tekutinu s měnícím se průřezem. Kanál byl modelován dle následujících geometrických parametrů: rozteč mezi přízemi, průřezem příze a tloušťkou tkaniny.

Zupin [31] měřil a predikoval prodyšnosti bavlněných tkanin, na základě identifikace malého počtu parametrů (dostava osnovy a útku - hustota tkaniny, tloušťka tkaniny, plošná hmotnost) s největším vlivem na prodyšnost. Spíše než na konstrukční parametry, je článek zaměřen na kompozitní parametry z teorie tekutin, hydraulický průměr pórů, který má tu schopnost, že s kruhovým pórem zachází stejně jako s obdélníkovým. Dále byly pro predikci prodyšnosti použity následující parametry: počet makropórů a celková pórovitost testovaných vzorků. Měření prodyšnosti bylo provedeno pomocí testeru propustnosti vzduchu FX 3300 Labotester III (Textest Instruments) podle normy ISO 9237:1995 (E). Testováno bylo 36 experimentálních vzorků bavlněných tkanin s různými dostavami osnovy a útku (vzorky nebyly čtvercové tkaniny). Pomocí této vícerozměrné statistické metody byla potvrzena vhodnost tří vybraných parametrů pro predikci prodyšnosti vzduchu, která byla provedena pomocí vícenásobné lineární regrese.

Fatahi [6] predikoval prodyšnost pomocí strukturálních parametrů tkaniny. Z těchto parametrů byl definován faktor křížených nití ve tkanině - crossing over firmness factor (CFF) a faktor flotáží - floating yarn factor (FYF). Dále bylo odvozeno několik regresních rovnic pro predikci propustnosti vzduchu a výsledné hodnoty k predikci prodyšnosti tkanin souhlasí téměř přesně s hodnotami naměřenými pomocí FAST systému.

Saad Abd-Allah [25] měřil účinnost filtrace a tlakového spádu u tkanin z mikrovláken. Bylo zjištěno, že účinnost filtrace a zachycení prachových částic bylo ovlivněno dostavou tkaniny, jemností použitého filamentu, velikostí pórů a cover factorem tkaniny.



Chen [15] navrhl model tkaniny pro predikci prodyšnosti tkaniny. Pomocí Stokesovi rovnice a Darcyho zákona byla zjištěna propustnost vazné buňky ve tkanině. Propustnost byla zjišťována u modelu tkaniny s plátnovou vazbou. Dále byl zkoumán vliv geometrických parametrů plátnové vazby na prodyšnost tkaniny.

Xiao [30] nezkoumal prodyšnost pouze na základě Hagen-Poiseuillova zákona, ale také pomocí experimentálního principu stojícího na zákonu ideálního plynu a nelineární Forchheimerově rovnici. Vytvořil tak analytický model pro měření a predikci statické a dynamické propustnosti tkanin. Měření a charakterizace dynamické propustnosti tkanin, která je důležitá pro aplikace, kdy je tkanina vystavena proudění vzduchu/kapaliny pod vysokým tlakem (airbagy, padáky atd.). Dynamickou propustnost lze určit pomocí porézního média, které je vystaveno přechodovému tlaku. Statická propustnost se liší od té dynamické měří při konstantním nízkém tlaku. Dynamická propustnost je považována za vnitřní vlastnost tkaniny, která je určována změnou geometrie a struktury tkaniny, důsledkem vysokotlakého zatížení. Deformace vyvolaná tlakem ovlivňuje uspořádání vláken v přízi a uspořádání příze ve tkanině a tudíž i velikost a strukturu pórů jak v přízi, tak ve tkanině. Z naměřených dat byl vyvozen závěr, že dynamická propustnost je vyšší než statická pro řídké tkaniny. U hustých tkanin je dynamická propustnost nižší.

Gooijer [9] navrhl model, který zahrnuje 3-dimenzionální geometrii pórů do upravené dvojrozměrné projekce pórů. Model by měl být použitelný i pro husté tkaniny. Zanedbává mikroporozitu. Bere ohled i na vliv vazby tkaniny, pomocí Backerova modelu, kde jsou uvažovány čtyři typy pórových buněk. V jedné vazbě se může vyskytovat několik druhů pórů. Fung [7] zkoumá vliv prodyšnosti na tkaniny v různých stavech. Prodyšnost u tkaniny se žmolky nijak neovlivní stav či počet žmolků na tkanině. Žmolky ovšem do jisté míry ovlivňují komfort tkaniny. Bylo zjištěno, že u onošených sepraných tkanin, má prodyšnost tendenci stoupat důsledkem úbytku vláken ve tkanině, či jiným poškozením materiálu. Póry se zvětší a tkanina se tak stane více propustnou. Prodyšnost u vlhkých tkanin je nepřímo úměrná množství tekutiny ve tkanině. Když je množství tekutiny nízké, propustnost vzduchu bude vysoká a naopak. To je způsobeno zaplněním pórů tkaniny tekutinou, která brání



vzduchu projít. Nejvyšší hodnoty prodyšnosti byly naměřeny u tkaniny ze směsi bavlny a elastanu.

Havlová [11, 12, 13] hodnotí prodyšnosti tkanin s plátňovou vazbou s různými strukturami s ohledem na chlupatost příze. U testovaných tkanin byly použity různé materiály o různých jemnostech. Zakrytí testovaných tkanin byly přibližně stejné. Výsledky ukázaly, že

experimentální hodnoty strukturních parametrů korelují s hodnotami propustnosti lépe než ty vypočtené. Dále zkoumá vliv zušlechťování tkanin na jejich prodyšnost. Testování bylo provedeno na experimentální sadě tkanin z polyesterového a polyamidového multifilu. Testovány byly dva druhy tkaniny, v rezném stavu a aplikací různých povrchových úprav. Bylo zjištěno, že zušlechťování významně ovlivňuje prodyšnost tkaniny i variabilitu prodyšnosti. Variabilita je výrazně vyšší u tkanin, které prošly zušlechťováním. To lze nejvíce vidět u saténové tkaniny, kvůli menšímu počtu vazných bodů v atlasové vazbě. Na závěr zkoumá vztah mezi prodyšností a strukturou multifilových tkanin. Byly testovány tkaniny jak v rezném stavu, tak s aplikací různých povrchových úprav pomocí již navržených modelů poréznosti, viz. Baker, Gooijer. Ani u těchto tkanin nelze nit považovat za zcela nepropustné těleso. V případě tkanin s povrchovou úpravou bylo zjištěno výrazné snížení vlivu vertikální pórovitosti na propustnost vzduchu.



### 3 Experimentální část

Experimentální část této práce se zabývá hodnocením vlivu vazby tkaniny na její propustnost vzduchu. Experiment byl proveden na sadě rezných vzorků čtvercových tkanin z polyesterového multifilu s ochranným zákrutem  $80\text{ m}^{-1}$  o jemnosti  $110\text{ dtex}$ , s dostavou osnovy a útku  $32\text{ cm}^{-1}$ .

#### 3.1 Tvorba experimentální sady vzorků

Sada vzorků byla vyrobena autorkou práce s pomocí konzultanta Ing. Karola Ježíka v prostorech tkalcovny Katedry technologií a struktur. K vytkání vzorků byl využit jehlový tkací stroj CCI s elektronickým listovým prošlupním zařízením Stäubli. Vzorky pěti listových tkanin byly utkány s hladkým návodem do 12 listů viz. obr. 9. Každá tkanina v dané vazbě byla tkána na délku 30 cm s šířkou 30 cm. Plocha každého vzorku je tedy  $900\text{ cm}^2$ . Proces tvorby vzorků tkanin je částečně vyobrazen na obr. 9, 10, 11, 12.



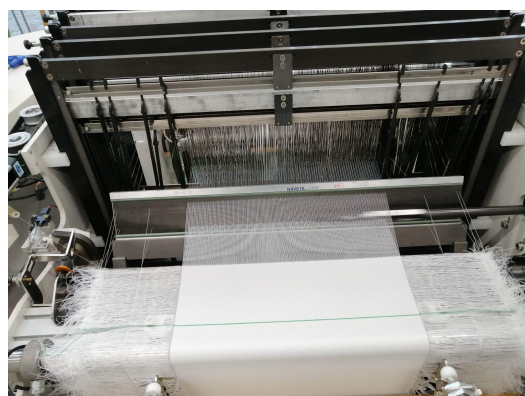
Obr. 9: Návod osnovních nití do nitěnek



Obr. 10: Návod osnovních nití do paprsku



Obr. 11: Osnovní nitě

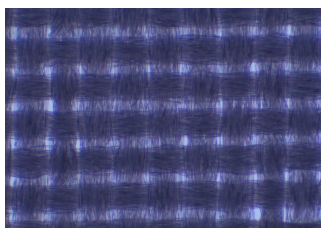


Obr. 12: Zanášení útku



### 3.2 Použité druhy vazeb

V této sadě pěti vzorků tkanin byly použity dva typy vazeb - plátnová a čtyři typy kepru. Pomocí obrazové analýzy byla struktura jednotlivých tkanin zvětšena a nafocena (obr. 13 až 17). Dále je u každé vazby uvedena velikost střidy, symbolický zápis vazby s provázáním osnovních a útkových nití ve střídě. Parametry vzorků a materiálu použitého k výrobě vzorků jsou popsány v tab. 1: Popis vzorků tkanin.

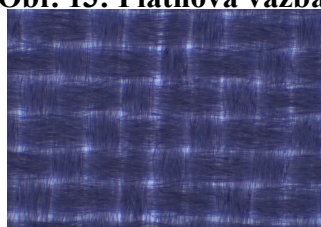


Obr. 13: Plátnová vazba

#### Plátnová vazba P1/1

*Velikost střidy vazby:* 2x2

*Symbolický zápis vazby:*  $P \frac{1}{1}$

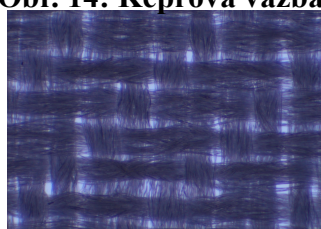


Obr. 14: Keprová vazba 1/2

#### Keprová vazba K1/2 (Z)

*Velikost střidy vazby:* 3x3

*Symbolický zápis vazby:*  $K \frac{1}{2} Z$

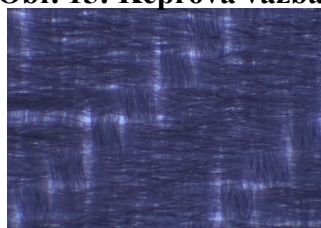


Obr. 15: Keprová vazba 1/3

#### Keprová vazba K1/3 (Z)

*Velikost střidy vazby:* 4x4

*Symbolický zápis vazby:*  $K \frac{1}{3} Z$

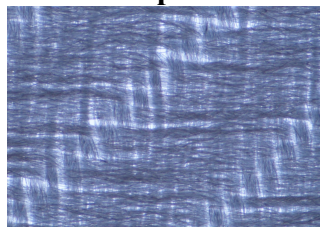


Obr. 16: Keprová vazba 1/5

#### Keprová vazba K1/5 (Z)

*Velikost střidy vazby:* 6x6

*Symbolický zápis vazby:*  $K \frac{1}{5} Z$



Obr. 17: Keprová vazba 1/11

#### Keprová vazba K1/11 (Z)

*Velikost střidy vazby:* 12x12

*Symbolický zápis vazby:*  $K \frac{1}{11} Z$



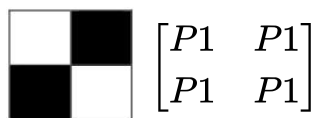
Tabulka 1: Popis vzorků tkanin

| Zápis vazby      | Materiál    | Dostava [ $\text{cm}^{-1}$ ] | Jemnost<br>t [dtex] | Zákrut<br>Z [ $\text{m}^{-1}$ ] |
|------------------|-------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------|
|                  | osnova/útek | osnova/útek                  | osnova/útek         | osnova/útek                     |
| <b>Plátno</b>    | PES/PES     | 32/32                        | 110/110             | 80/80                           |
| <b>Kepr 1/2</b>  | PES/PES     | 32/32                        | 110/110             | 80/80                           |
| <b>Kepr 1/3</b>  | PES/PES     | 32/32                        | 110/110             | 80/80                           |
| <b>Kepr 1/5</b>  | PES/PES     | 32/32                        | 110/110             | 80/80                           |
| <b>Kepr 1/11</b> | PES/PES     | 32/32                        | 110/110             | 80/80                           |

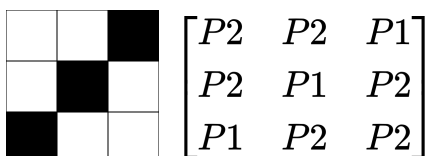
Následující tabulka 2 přehledně zobrazuje informace o četnostech jednotlivých typů pórů. Pomocí relativní četnosti pórů typu P1 zobrazuje tato práce závislosti mezi měřenými parametry jako je tloušťka, prodyšnost, plošná porozita tkaniny a již zmíněnou relativní četností pórů typu P1, nebo-li vazbou tkaniny, či mírou provázání tkaniny. Na obr. 18 - 22 je vyobrazená četnost a rozložení jednotlivých typů pórů ve střídě vazby pěti tkanin použitých pro tento experiment.

Tab. 2: Relativní a absolutní četnost pórů P1, P2 a P4

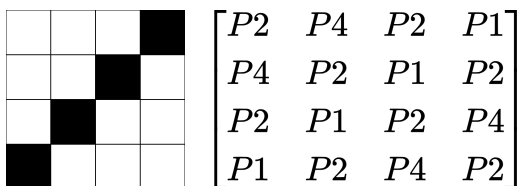
| Zápis Vazby      | Relativní<br>četnost pórů<br>P1 | Absolutní četnost pórových buněk |    |     |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------|----|-----|
|                  |                                 | P1                               | P2 | P4  |
| <b>Plátno</b>    | 1                               | 4                                | 0  | 0   |
| <b>Kepr 1/2</b>  | 0,33                            | 3                                | 6  | 0   |
| <b>Kepr 1/3</b>  | 0,25                            | 4                                | 8  | 4   |
| <b>Kepr 1/5</b>  | 0,17                            | 6                                | 12 | 18  |
| <b>Kepr 1/11</b> | 0,08                            | 12                               | 24 | 108 |



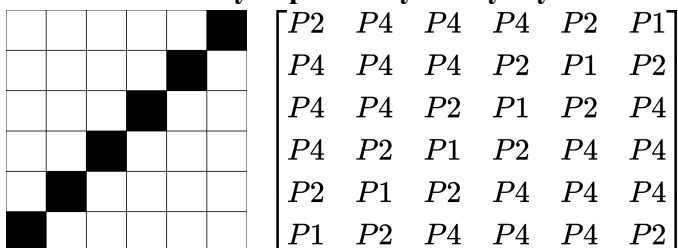
Obr. 18: Maticový zápis střídání plátnové vazby P1/1



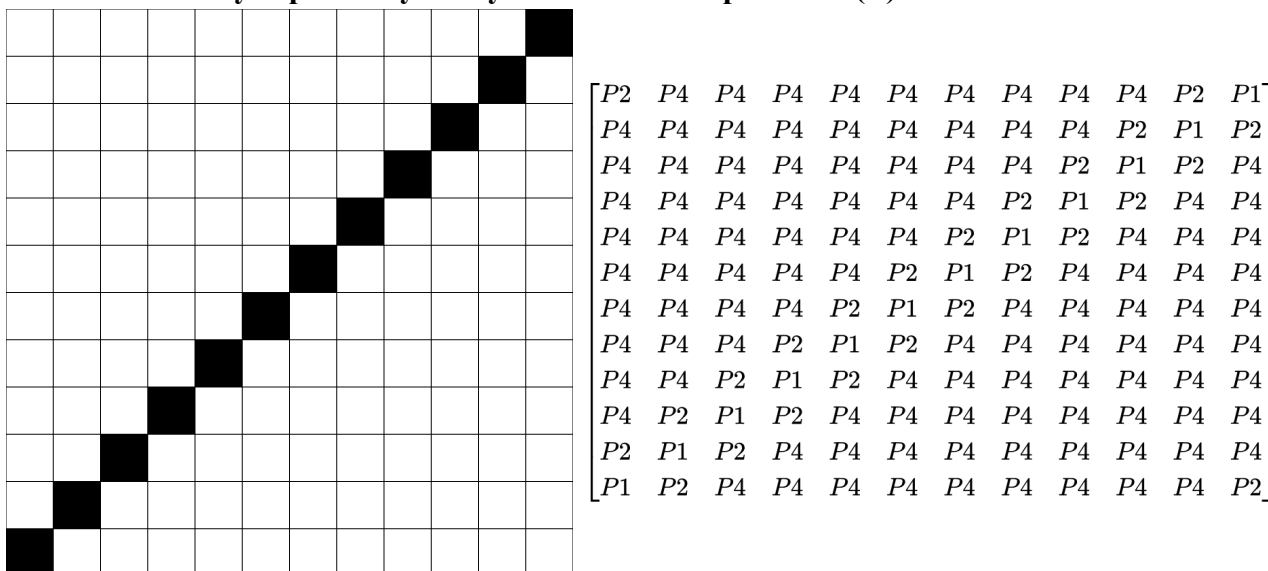
Obr. 19: Maticový zápis střídání vazby třívazného kepru K1/2 (Z)



Obr. 20: Maticový zápis střídání vazby čtyřvazného kepru K1/3 (Z)



Obr. 21: Maticový zápis střídání vazby šestivazného kepru K1/5 (Z)



Obr. 22: Maticový zápis střídání vazby dvanáctivazného kepru K1/11 (Z)



### 3.3 Provedené experimenty

Na všech vzorcích bylo provedeno měření prodyšnosti, tloušťky, plošné porozity a četnosti pórů typu P1 subjektivním označením. Měření každou metodou bylo provedeno opakovaně.

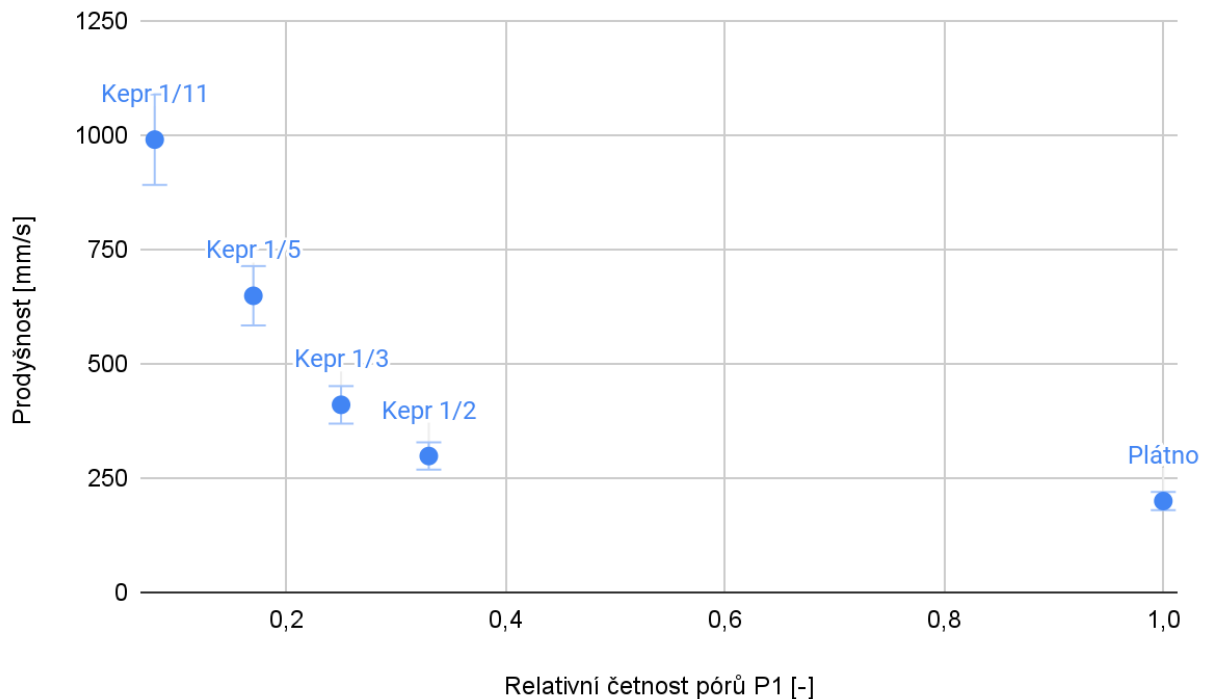
#### 3.3.1 Měření prodyšnosti

Celé měření proběhlo během jednoho dne v klimatizované laboratoři na přístroji FX 3300 Air Permeability Tester III dle normy ČSN ISO 9237. Podstatou zkoušky je měření množství vzduchu, které projde mezi protilehlými povrchy textilie, vztažené k času a testované ploše při tlakovém spádu 100 Pa. Pro toto měření byl použit kruhový držák zkušebních vzorků s otvorem o ploše 5 cm<sup>2</sup> na sadu vzorků o ploše 30 cm<sup>2</sup>. U každého vzorku bylo provedeno 15 měření, celkem tedy 75 měření. Měření bylo provedeno úhlopříčně v pravidelných intervalech 10 cm od krajů tkaniny pro dosažení nejpřesnější průměrné hodnoty prodyšnosti. Naměřená data byla následně statisticky vyhodnocena v tab. 3.

**Tab. 3: Hodnoty prodyšnosti**

| Zápis vazby | Relativní četnost pórů P1 | Prodyšnost [mm/s] | 95% IS (h. mez;d. mez) |
|-------------|---------------------------|-------------------|------------------------|
| Plátno      | 1                         | 199,9             | (188,8;210,9)          |
| Kepr 1/2    | 0,33                      | 298,3             | (292,1;304,6)          |
| Kepr 1/3    | 0,25                      | 410,4             | (403,7;417,1)          |
| Kepr 1/5    | 0,17                      | 648,9             | (640,4;657,4)          |
| Kepr 1/11   | 0,08                      | 990,7             | (980,1;1001,2)         |

Grafické znázornění závislosti mezi prodyšností a relativní četností pórů typu P1 pro veškeré vzorky tkanin je uvedeno v grafu na obr. 23.



**Obr. 23: Vztah mezi relativní četností pórů typu P1 a prodyšností tkaniny**

#### Diskuze

Z grafu je patrné, že s klesající relativní četností pórů typu P1 roste prodyšnost a naopak. U plátňové vazby s nejvyšší relativní četností pórů typu P1 byla naměřena nejnižší prodyšnost, zatímco u dvanáctivazného kepru s nejnižší relativní četností pórů typu P1 byla naměřena nejvyšší prodyšnost. Důvodem je relativní četnost pórů typu P1 a P4. Plátňová vazba se skládá pouze z pórů typu P1, zatímco dvanáctivazný kepr má nejnižší relativní četnost pórů typu P1 a nejvyšší četnost pórů typu P4. Z výsledků tedy plyne, že pór typu P4 (plná flotáž) je prodyšnější, než pór typu P1 (plné zakřížení nití). Dále je patrné, že čím hustší má vazba provázání, tím menší je její tloušťka a prodyšnost. Toto lze tvrdit pouze u tohoto souboru tkanin z multifilu s ochranným zákrutem. Čím menší je relativní četnost pórů typu P1 a větší relativní četnost pórů typu P4, tím volnější je struktura tkaniny a tím rychleji jí projde proud vzduchu.



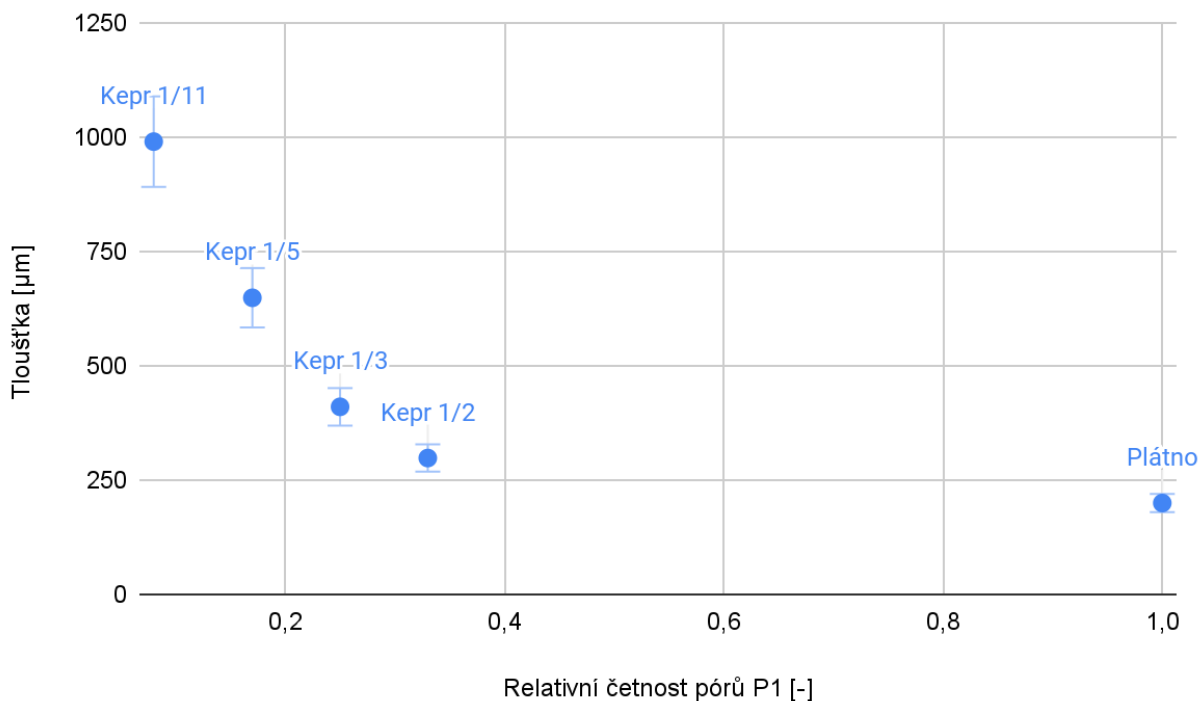
### 3.3.2 Měření tloušťky

Celé měření proběhlo během jednoho dne v klimatizované laboratoři na přístroji MESDAN s přítlakem 0,1 kPa, aby nedošlo k deformaci flotáží. Podstatou zkoušky je měření kolmé vzdálenosti mezi dvěma povrchy textilie, nebo-li mezi základní deskou a přitlačným kotoučem, který působí přítlakem na testovanou textili. U každého vzorku bylo provedeno 15 měření, celkem tedy 75 měření. Měření bylo provedeno úhlopříčně v pravidelných intervalech 10 cm od krajů tkaniny pro dosažení nejpřesnější průměrné tloušťky. Naměřená data byla následně statisticky vyhodnocena v tab. 4.

**Tab. 4: Hodnoty tloušťky**

| Zápis vazby | Relativní četnost pórů P1 | Tloušťka [mm] | 95% IS<br>h. mez;d. mez |
|-------------|---------------------------|---------------|-------------------------|
| Plátno      | 1                         | 0,16          | (0,15;0,16)             |
| Kepr 1/2    | 0,33                      | 0,19          | (0,19;0,19)             |
| Kepr 1/3    | 0,25                      | 0,23          | (0,23;0,23)             |
| Kepr 1/5    | 0,17                      | 0,29          | (0,29;0,29)             |
| Kepr 1/11   | 0,08                      | 0,35          | (0,35;0,36)             |

Grafické znázornění závislosti mezi tloušťkou a relativní četností pórů typu P1 pro veškeré vzorky tkanin je uvedeno v grafu na obr. 24.



**Obr. 24: Vztah mezi relativní četností pórů typu P1 a tloušťkou tkaniny**

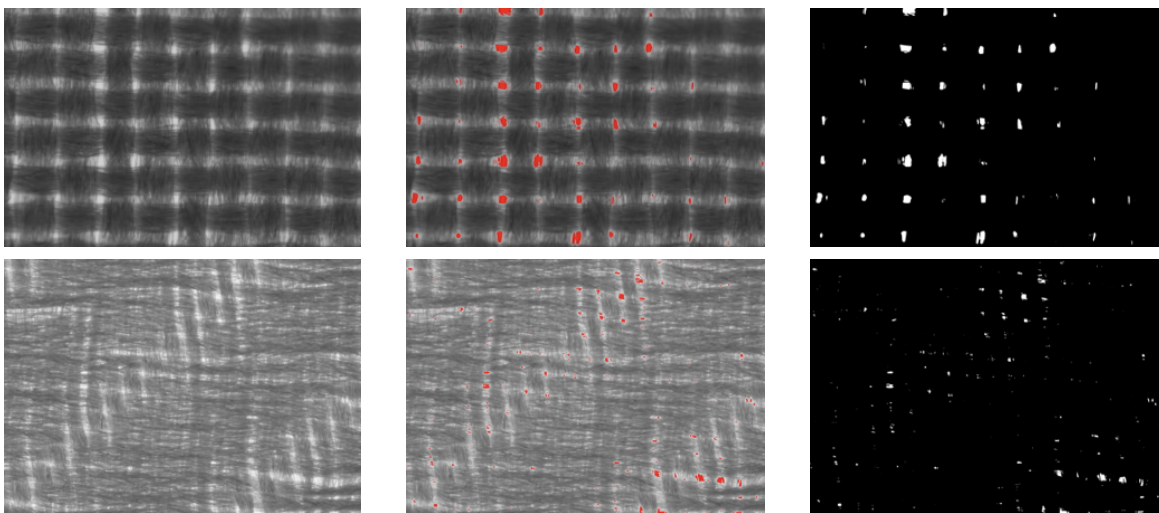


## Diskuze

Z grafu je patrné, že s klesající relativní četností pórů typu P1 roste tloušťka a naopak. U plátňové vazby s nejvyšší relativní četností pórů typu P1 byla naměřena nejnižší tloušťka, zatímco u dvanáctivazného kepru s nejnižší relativní četností pórů typu P1 byla naměřena nejvyšší tloušťka. Je zde vidět stejný trend jako u grafu na obr. 23, který zobrazuje závislost mezi relativní četností pórů typu P1 a prodyšností tkaniny. Důvodem je četnost a délka flotů, nebo-li volných úseků nití na povrchu tkaniny. Floty se vlivem své neprovázanosti na povrchu tkaniny částečně rozvolní a zvýší tím tak tloušťku tkaniny. Z grafu lze vidět, že čím je četnost a délka flotů ve střídě vazby tkaniny větší, tím větší je i tloušťka tkaniny. Dále je patrné, že čím hustší má vazba provázání, tím menší je tloušťka tkaniny.

### 3.3.3 Měření plošné porozity

Testované vzorky byly nasnímány pomocí makroskopu a plošná porozita byla měřena pomocí obrazové analýzy (software) NisElements. Podstatou zkoušky bylo zjištění plošného binárního podílu, která nám udala jaké množství plochy z plochy celkové zabírají póry. Pro každou vazbu bylo pořízeno 30 snímků, celkem tedy 150. Snímky pro jednotlivou vazbu byly v nd sekvenci převedeny na šedý obraz a následně naprahovány s ohledem na vazbu tkaniny a tak, aby byly snímány pouze mezinitné póry (makroporozita). Mezivláknenné póry (mikroporozita) jsou v této práci zanedbány. Naměřená data byla následně statisticky vyhodnocena v tab. 5. Nutno dodat, že všechny vzorky tkanin byly při snímání makroskopem zatíženy sklíčkem, čímž došlo k mírnému rozhrnutí flotů na povrchu tkaniny, což má vliv na ostrost obrazu.



**obr. 25: Hodnocení porozity pomocí obrazové analýzy na tkaninách s plátňovou vazbou a dvanáctivaznou keprovou vazbou**



Tab. 5: Hodnoty plošné porozity a parametrů pro její výpočet

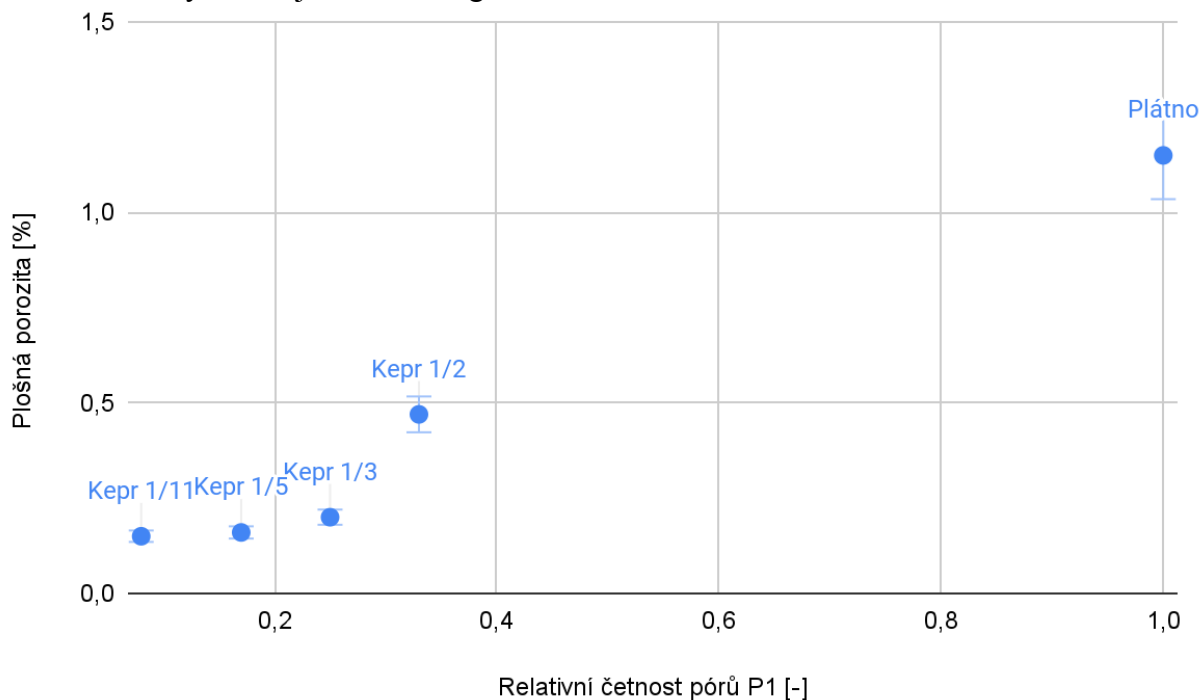
| Zápis Vazby | Binární plocha [μm²] | Měřená plocha [μm²] | Plošná porozita [%] |
|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Plátno      | 62776,9              | 5462960,94          | 1,15                |
| Kepr 1/2    | 25948,07             | 5462960,94          | 0,47                |
| Kepr 1/3    | 13754,25             | 5462960,94          | 0,20                |
| Kepr 1/5    | 9441,35              | 5462960,94          | 0,16                |
| Kepr 1/11   | 33841,34             | 22557902,61         | 0,15                |

Plošná porozita tkaniny byla vypočítána s hodnotami z tab. 5 dle následujícího vztahu (8). Binární plochou je myšlena plocha zabraná póry. Odečtením binární plochy od měřené plochy  $s_c$  byla zjištěna plocha zabraná tkaninou  $s$ .

$$\psi = 1 - \frac{s}{s_c} \quad (8)$$

$\psi$  porozita [-]  
 $s$  plocha tkaniny [μm²]  
 $s_c$  celková plocha [μm²]

Grafické znázornění závislosti mezi plošnou porozitou a relativní četností pórů typu P1 pro veškeré vzorky tkanin je uvedeno v grafu na obr. 26.



Obr. 26: Vztah mezi relativní četností pórů typu P1 a plošnou porozitou tkaniny



### Diskuze

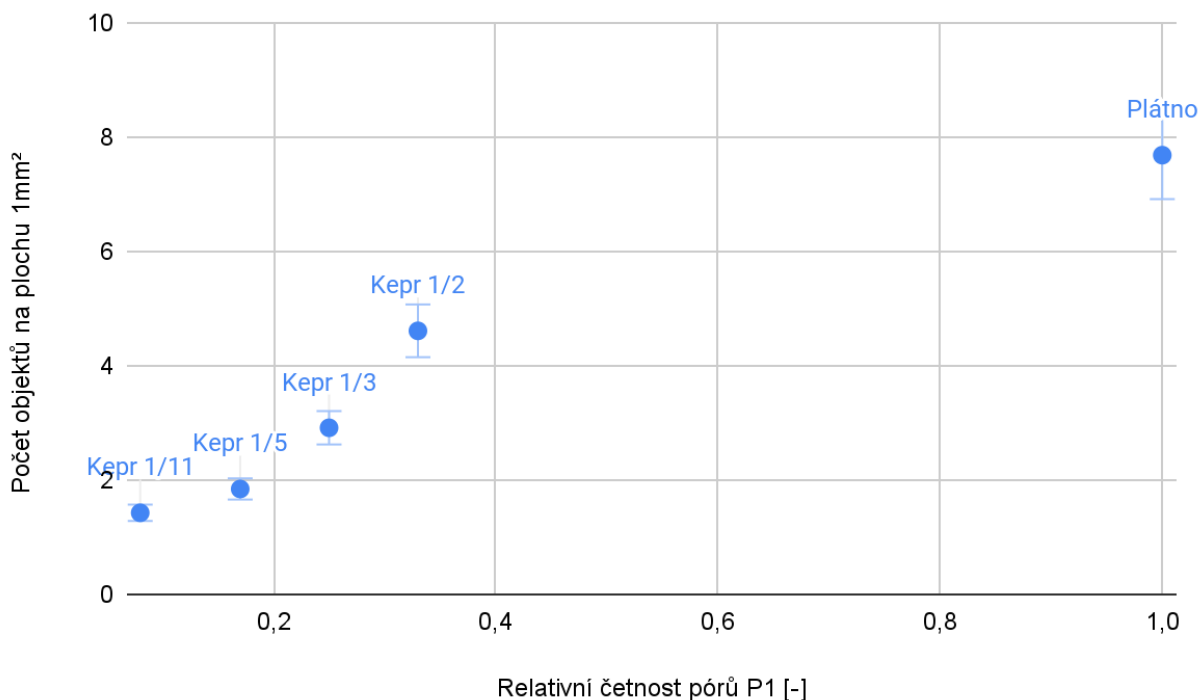
Z grafu je patrné, že s rostoucí relativní četností pórů typu P1 roste plošná porozita a naopak. U plátňové vazby s nejvyšší relativní četností pórů typu P1 byla naměřena nejvyšší plošná porozita, zatímco u dvanáctivazného kepru s nejnižší relativní četností pórů typu P1 byla naměřena nejnižší plošná porozita. Důvodem jsou floty, nebo-li póry typu P4. Jak již bylo zmíněno, floty se na povrchu tkaniny částečně rozvolní a sníží tak plošnou porozitu tkaniny. Navzdory tomuto poznatku vyvrací výsledky předpoklad, že čím vyšší je porozita tkaniny, tím více je prodyšná. Struktura flotů, nebo-li póry typu P4 snižují plošnou porozitu, ale zvyšují prodyšnost tkaniny. Je tedy patrné, že čím má střída vazby tkaniny hustší provázání, tím je její plošná porozita vyšší.

V následující tab. 6 jsou uvedeny parametry všech typů pórů vyskytujících se ve struktuře tkanin popisující rozměry pórů, jako je jejich plocha a ekvivalentní průměr. Dále počet objektů, čímž je myšlen počet pórů na plochu 1 mm<sup>2</sup>.

**Tab. 6: Parametry všech typů pórů při měření prahováním**

| Zápis Vazby      | Počet objektů na plochu 1 mm <sup>2</sup> | Parametry pórů            |                  |
|------------------|-------------------------------------------|---------------------------|------------------|
|                  |                                           | Plocha [μm <sup>2</sup> ] | Ekv. průměr [μm] |
| <b>Plátno</b>    | 7,69                                      | 1495                      | 39,55            |
| <b>Kepr 1/2</b>  | 4,61                                      | 1030                      | 31,91            |
| <b>Kepr 1/3</b>  | 2,92                                      | 863                       | 29,37            |
| <b>Kepr 1/5</b>  | 1,85                                      | 937                       | 29,70            |
| <b>Kepr 1/11</b> | 1,43                                      | 4339                      | 67,73            |

Grafické znázornění závislosti mezi počtem objektů (pórů) na jednotku plochy tkaniny a relativní četností pórů typu P1 pro veškeré vzorky tkanin je uvedeno v grafu na obr. 27.



**Obr. 27: Vztah mezi relativní četností pórů typu P1 a počtem pórů na plochu 1 mm<sup>2</sup>**

#### Diskuze

Z grafu je patrné, že s rostoucí relativní četností pórů typu P1 roste počet objektů (pórů) na plochu tkaniny. U plátňové vazby s nejvyšší relativní četností pórů typu P1 byl naměřen nejvyšší počet objektů na plochu 1mm<sup>2</sup>, zatímco u dvanáctivazného kepru s nejnižší relativní četností pórů typu P1 byl naměřen nejnižší počet objektů na plochu 1mm<sup>2</sup>. Je zde vidět stejný trend jako u grafu na obr. 26, který znázorňuje závislost mezi relativní četností pórů typu P1, nebo-li vazbou tkaniny a plošnou porozitou. Z výsledků je tedy zřejmé, že čím má střída vazby tkaniny hustší provázání, tím je počet objektů na její plochu vyšší, stejně jako plošná porozita tkaniny.



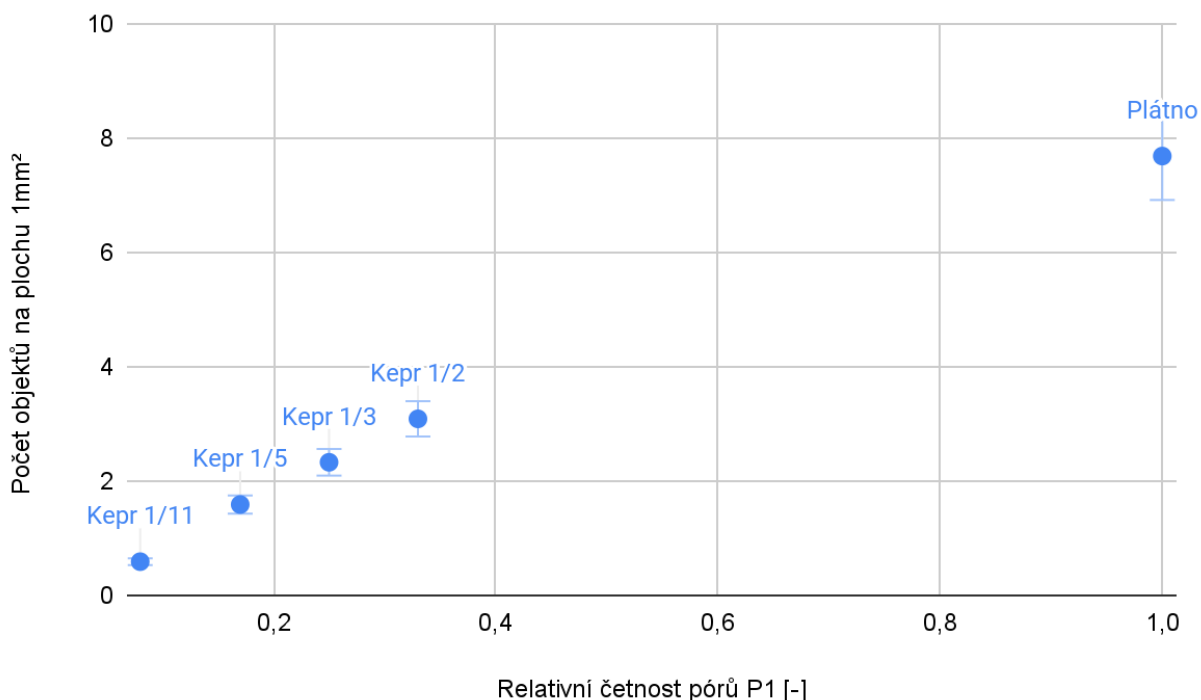
### 3.3.3.1 Subjektivní označení pórů typu P1

Toto měření bylo provedeno na 120 snímcích. Byly měřeny pouze snímky vzorků tkanin s keprovou vazbou, jelikož pro plátňovou vazbu bylo označení pórů typu P1 provedeno během měření plošné porozity. Podstatou zkoušky je subjektivní označení póru typu P1 (plné zakřížení nití) viz. obr. 5 pro naměření jejich četnosti, plochy a ekvivalentního průměru. Snímky pro jednotlivou keprovou vazbu byly otevřeny v nd sekvenci a póry byly každém jednotlivém snímku subjektivně označeny. Naměřená data byla následně statisticky vyhodnocena v tab. 7.

**Tab. 7: Parametry pórů P1 při subjektivním označení**

| Zápis Vazby      | Počet objektů na plochu 1mm <sup>2</sup> | Parametry pórů P1         |                  |
|------------------|------------------------------------------|---------------------------|------------------|
|                  |                                          | Plocha [μm <sup>2</sup> ] | Ekv. průměr [μm] |
| <b>Plátno</b>    | 7,69                                     | 1495                      | 39,55            |
| <b>Kepr 1/2</b>  | 3,09                                     | 891,1                     | 31,07            |
| <b>Kepr 1/3</b>  | 2,33                                     | 744,25                    | 28,68            |
| <b>Kepr 1/5</b>  | 1,59                                     | 651,12                    | 26,38            |
| <b>Kepr 1/11</b> | 0,59                                     | 1754,1                    | 45,78            |

Grafické znázornění závislosti mezi počtem objektů (pórů) na jednotku plochy tkaniny zjištěným při subjektivním označení a relativní četností pórů typu P1 pro veškeré vzorky tkanin je uvedeno v grafu na obr. 28.



**Obr. 28: Vztah mezi relativní četností pórů typu P1 a počtem pórů typu P1 na plochu 1 mm<sup>2</sup>**

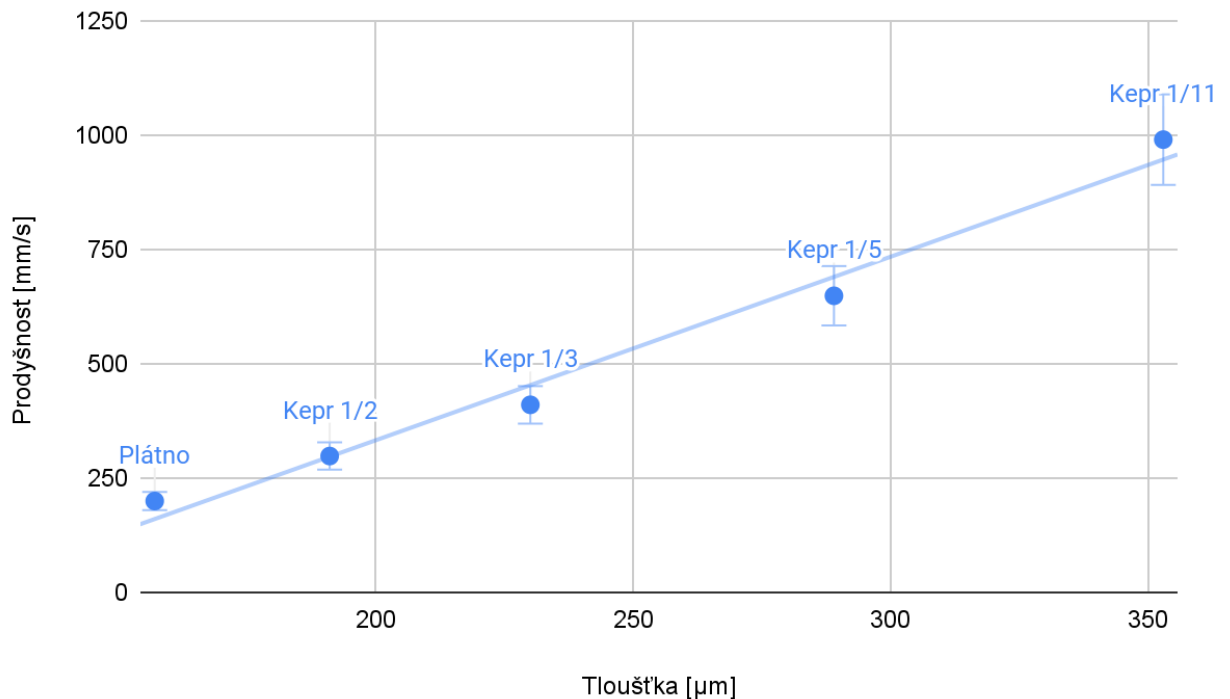
### Diskuze

Z grafu je patrné, že s rostoucí relativní četností pórů typu P1 roste počet objektů (pórů) na plochu tkaniny. U plátnové vazby s nejvyšší relativní četností pórů typu P1 byl naměřen nejvyšší počet objektů na plochu 1mm<sup>2</sup>, zatímco u dvanáctivazného kepru s nejnižší relativní četností pórů typu P1 byl naměřen nejnižší počet objektů na plochu 1mm<sup>2</sup>. Tento graf tedy vykazuje stejný závěr jako graf předešlý na obr. 27, a to takový, že čím má střída vazby tkaniny hustší provázání, tím je počet objektů na její plochu vyšší, stejně jako plošná porozita tkaniny. Z tabulek 6 a 7 je také vidět rozdíl mezi parametry pórů z měření prahováním a při subjektivním označení. Počet pórů na plochu 1 mm<sup>2</sup> společně s plochou pórů při subjektivním označení je menší, než počet pórů na plochu 1 mm<sup>2</sup> a plocha pórů při měření prahováním.



### 3.4 Shrnutí výsledků

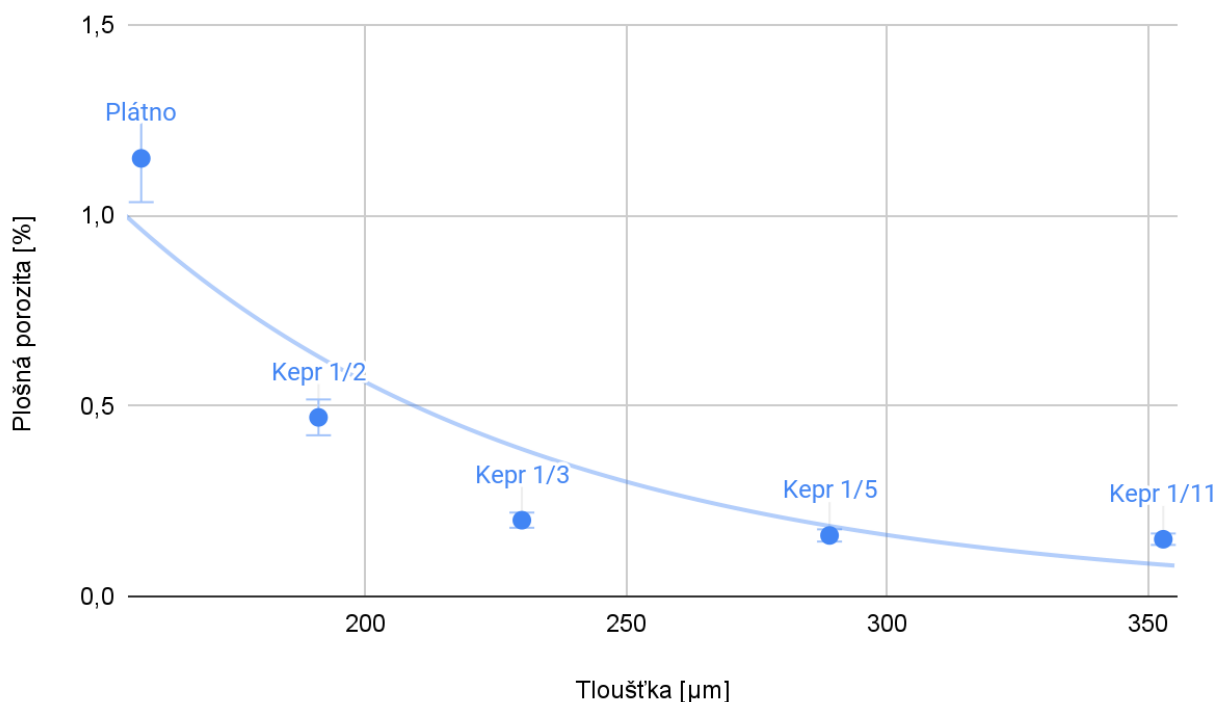
Grafy v předchozích kapitolách zobrazují závislosti mezi parametry jako prodyšnost, tloušťka a plošná porozita a relativní četností pórů typu P1, nebo-li vazbou tkaniny. Následující grafy obr. 29, 30 a 31 v této kapitole zobrazují vztah mezi dalšími měřenými vlastnostmi, které již nejsou vztaženy na vazbu tkaniny.



**Obr. 29: Vztah mezi tloušťkou a prodyšností tkaniny**

#### Diskuze

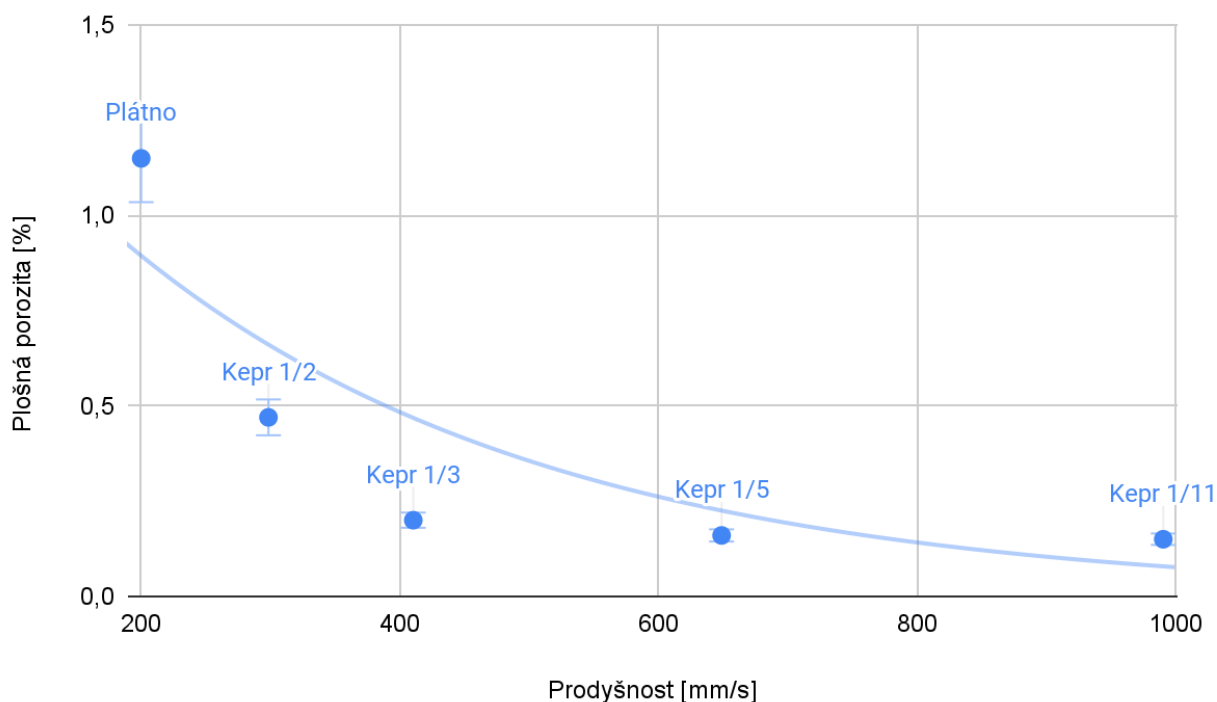
Z grafu je patrné, že s rostoucí tloušťkou tkaniny roste také prodyšnost tkaniny. U plátnové vazby s nejmenší tloušťkou byla naměřena také nejnižší prodyšnost, zatímco u dvanáctivazného kepru s největší tloušťkou byla naměřena nejvyšší prodyšnost. Důvodem jsou floty, jejich délka a četnost ve střídě vazby. Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, flot, nebo-li neprovázaný úsek nitě zvyšuje tloušťku tkaniny. Dále má flot jakožto pór typu P4 (plná flotáž) vyšší prodyšnost, než pór typu P1 (plné zakřížení nití). Toto tvrzení vyplývá pouze z daného experimentu. Nelze jej však zobecnit. Z výsledků tedy plyne, že čím větší je délka a četnost flotů, nebo-li pórů typu P4 ve střídě vazby tkaniny, tím větší je tloušťka tkaniny a tím prodyšnější je její struktura. Koeficient determinace  $R^2 = 0,98$ .



**Obr. 30: Vztah mezi tloušťkou a plošnou porozitou tkaniny**

### Diskuze

Z grafu je patrné, že s rostoucí tloušťkou tkaniny klesá její plošná porozita. U plátnové vazby s nejmenší tloušťkou byla naměřena nejvyšší plošná porozita, zatímco u dvanáctivazného kepru s největší tloušťkou byla naměřena nejnižší plošná porozita. Důvodem je četnost a rozložení pórů typu P1. Plátnová vazba se skládá pouze z pórů typu P1, zatímco u keprových vazeb četnost pórů typu P1 postupně klesá a roste četnost pórů typu P2 a P4. Pór typu P1 se u keprových vazeb vyskytuje pouze ve směru diagonály vazby, nebo vznikne odsunutím flotů viz. obr. 25. Z výsledků tedy plyne, že čím menší je četnost pórů typu P1 ve střídě vazby tkaniny, tím menší je také její plošná porozita a tím větší je její tloušťka a naopak. Lze tedy vyvodit, že čím má střída vazby tkaniny hustší provázání, tím je plošná porozita vyšší a tloušťka nižší.



**Obr. 31: Vztah mezi prodyšností a plošnou porozitou tkaniny**

### Diskuze

Z grafu je patrné, že s rostoucí prodyšností tkaniny klesá její plošná porozita a naopak. U plátnové vazby s nejnižší prodyšností byla naměřena nejvyšší plošná porozita, zatímco u dvanáctivazného kepru s nejvyšší prodyšností byla naměřena nejnižší plošná porozita. Je zde vidět stejný trend jako u grafu na obr. 30, který znázorňuje závislost mezi tloušťkou tkaniny a plošnou porozitou. Důvodem je četnost a rozložení pórů typu P4 (plná flotáž) ve střídě vazby tkaniny, která snižuje plošnou porozitu, ale zvyšuje prodyšnost tkaniny. Z výsledků tedy plyne, že čím má střída vazby tkaniny hustší provázání, tím je plošná porozita vyšší a prodyšnost nižší.



### Diskuze výsledků

Z výsledků popsanych v předchozích kapitolách je patrné, že spolu jednotlivé vlastnosti úzce souvisí. Lze vyvodit následující shrnutí. Čím hustší je provázání ve střídě vazby tkaniny, tím je:

- menší tloušťka tkaniny
- menší prodyšnost tkaniny
- vyšší plošná porozita tkaniny

Naopak čím větší je četnost a délka flotáží ve střídě vazby tkaniny, nebo-li čím řidší je míra provázání ve střídě vazby tkaniny, tím je:

- větší tloušťka tkaniny
- vyšší prodyšnost tkaniny
- nižší plošná porozita tkaniny

Floty se v důsledku jejich neprovázání vlivem působícího proudu vzduchu rozhrnou, čímž dojde ke vzniku “přídavných” vertikálních pórů. Čím delší je flot ve střídě vazby tkaniny, tím je:

- větší neprovázaný úsek tkaniny
- větší míra rozhrnutí multifilu ve flotu
- struktura tkaniny prodyšnější



## Závěr

V práci je formulován vliv základních parametrů tkaniny, které určují její strukturu a výsledné vlastnosti, jako je prodyšnost. Souvislost mezi strukturou tkaniny a její prodyšností je obecně velmi obsáhlým tématem stále přinášejícím nové poznatky. Většina těchto poznatků však přispívá k závěru, že tkanina je těžko předvídatelný až nevyzpytatelný textilní útvar. Z tohoto důvodu je nutné predikovat vlastnosti tkaniny v závislosti na její struktuře. Tedy minimálně zjednodušit geometrickou strukturu tkaniny a maximálně se přiblížit realitě, která je tak těžko dosažitelná.

Cílem bakalářské práce bylo nalezení a popis parametrů tkaniny, které ovlivňují strukturu a prodyšnost tkaniny, a díky kterým lze vytvořit pilotní podklad pro predikci vlastností tkanin jako je prodyšnost předtím, než budou vyrobeny.

Pro splnění cílů bakalářské práce bylo na předložených vzorcích multifilových tkanin provedeno měření tloušťky, prodyšnosti a plošné porozity pomocí obrazové analýzy. Dále byly hodnoceny parametry pórů ve struktuře tkaniny, jako relativní četnost pórů typu P1 a absolutní četnost pórů P1, P2 a P4. Byla měřena plocha, ekvivalentní průměr pórů a počet pórů na plochu tkaniny. Jako poslední bylo provedeno subjektivní měření pórů P1, kde byla také měřena plocha, ekvivalentní průměr pórů a počet pórů na plochu tkaniny. Tkaniny na nichž byl proveden experiment byly v režném stavu. Po provedení experimentů byla naměřená data statisticky zpracována. Následně bylo vytvořeno znázornění a vyhodnocení závislostí mezi jednotlivými měřeními parametry tkaniny.

Nejprve byly měřené parametry tkaniny vyobrazené v závislosti vůči relativní četnosti pórů typu P1, která popisuje četnost a rozložení pórů typu P1 (plné zakřížení nití). Jinými slovy se jedná o míru provázání ve střídě vazby tkaniny. Následně byly v kapitole 3.4 vyobrazeny výsledky a popis závislostí mezi měřeními parametry tkaniny již nevstažených na vazbu.

Z vyobrazených závislostí mezi měřeními parametry tkaniny, tedy tloušťkou, prodyšností, plošnou porozitou a relativní četností pórů typu P1 vyjadřující míru provázání vazby tkaniny, bylo zjištěno, že mezi všemi měřeními parametry existuje korelace. Vztah mezi prodyšností a relativní četností pórů typu P1 vykazuje negativní korelaci. Stejný trend byl zjištěn v závislosti mezi tloušťkou tkaniny a relativní četností pórů typu P1, kdy s rostoucí relativní četností pórů typu P1 klesá prodyšnost a tloušťka tkaniny. Důvodem je relativní četnost pórů typu P1 a P4 a jejich rozložení ve střídě tkaniny. Z naměřených výsledků bylo zjištěno, že pór typu P4 (plná flotáž) je prodyšnější, než pór typu P1 (plné zakřížení nití). Důvodem je



četnost a délka flotů, nebo-li volných úseků nití na povrchu tkaniny. Floty se vlivem své neprovázanosti na povrchu tkaniny částečně rozvolní, zvýší tím tak tloušťku tkaniny a vzduch snáz a s větší rychlostí projde strukturou tkaniny. Tímto vlivem dochází k nárůstu tloušťky a prodyšnosti tkaniny.

Vztah mezi plošnou porozitou tkaniny a relativní četností pórů typu P1 vykazuje pozitivní korelaci. S rostoucí relativní četností pórů typu P1 roste i plošná porozita tkaniny. Důvodem jsou floty, nebo-li póry typu P4. Vlivem rozvolnění flotů na povrchu tkaniny dojde ke snížení plošné porozity tkaniny. Navzdory tomuto poznatku vyvrací výsledky pro tento typ tkanin předpoklad, že čím vyšší je porozita tkaniny, tím více je prodyšná. Struktura flotů, nebo-li póry typu P4 snižují plošnou porozitu, ale zvyšují prodyšnost tkaniny.

Stejný trend byl zjištěn v závislosti mezi počtem objektů, tedy počtem všech typů pórů na plochu  $1 \text{ mm}^2$  a relativní četností pórů typu P1, kdy s rostoucí relativní četností pórů typu P1 roste počet pórů na plochu  $1 \text{ mm}^2$ . Z naměřených výsledků lze vidět, že plocha pórů a jejich ekvivalentní průměr postupně klesá společně s klesajícím počtem pórů na plochu  $1 \text{ mm}^2$  pro plátňovou vazbu, třívazný kepr a čtyřvazný kepr. U šestivazného kepru a dvanáctivazného kepru dochází k nárůstu plochy pórů a ekvivalentního průměru. Důvodem je míra provázání ve střídě vazby tkaniny, která je u těchto dvou vazeb velmi nízká a dochází tak ke vzniku pórů o větších rozměrech a také k rozhrnutí flotů. Další metoda použita k hodnocení vlivu počtu objektů na plochu  $1 \text{ mm}^2$  vůči vazbě, tedy relativní četnosti pórů typu P1 je subjektivní označení pórů typu P1. Tato závislost také vykazuje pozitivní korelaci.

Téměř lineární závislost mezi tloušťkou tkaniny a prodyšností vykazuje pozitivní korelaci. S rostoucí tloušťkou roste i prodyšnost tkaniny, vlivem četnosti a rozložení pórů typu P4 ve střídě vazby tkaniny, které zvyšují prodyšnost a tloušťku tkané struktury. Vztah mezi tloušťkou a plošnou porozitou vykazuje negativní korelaci, stejně jako vztah mezi prodyšností a plošnou porozitou tkaniny. S klesající plošnou porozitou roste tloušťka a prodyšnost tkaniny. Plátňová vazba se skládá pouze z pórů typu P1, zatímco u keprových vazeb četnost pórů typu P1 postupně klesá a roste četnost pórů typu P2 a P4. Pór typu P1 se u keprových vazeb vyskytuje pouze ve směru diagonály vazby, nebo vznikne odsunutím flotů viz. obr. 25. S klesající četností pórů typu P1 ve střídě vazby tkaniny, klesá také její plošná porozita a roste je její tloušťka a prodyšnost.

Z těchto výsledků byl vyvozen závěr, že prodyšnost tkaniny je silně ovlivněna její vazbou a strukturou. Konkrétně mírou provázání ve střídě vazby tkaniny. S hustší mírou provázání,



nebo-li nižší četností a délkou flotů ve střídě vazby tkaniny klesá tloušťka a prodyšnost tkaniny, zatímco její plošná porozita roste. Naopak s řidší mírou provázání, tedy vyšší četností a délkou flotů ve střídě vazby tkaniny roste tloušťka a prodyšnost tkaniny, zatímco plošná porozita klesá. Důvodem je deformace flotů, ke které dochází při průchodu vzduchu strukturou tkaniny. Floty se vlivem působícího proudu vzduchu rozhrnou a dojde tak ke vzniku “přídavných” vertikálních pórů. S větší délkou flotů, dochází k větší míře rozhrnutí multifilu ve flotu, ke vzniku větších vertikálních pórů a k rychlejšímu průchodu vzduchu, čímž se struktura stává prodyšnější.

Nutno dodat, že dané předpoklady byly vyvráceny pro tuto specifickou strukturu. Experiment by mohl přinést jiné poznatky, pokud by sada experimentálních vzorků byla utkána z monofilu. Tato struktura by umožnila vidět a hodnotit tvar pórů ve struktuře tkaniny.



## Literatura

- [1] AMUTHA, K.: A practical guide to textile testing. Woodhead Publishing India Pvt. 2016
- [2] ALAMDAR-YAZDI, A. A. a FATAHI, I. Assessment of the relationship between air permeability of woven fabrics and its mechanical properties. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. Poland, 2010.
- [3] ANGELOVA, Radostina. Textile and human thermophysiological comfort in the indoor environment- Simulation of air permeability by using Hagen-Poiseuille law. 2015
- [4] BACKER, S.: The relationship between the structural geometry of textile fabric and its physical properties, Part IV: Interstice geometry and air permeability, Textile Research Journal 1951, Vol. 17 (10) 703-714.
- [5] DRAŠAROVÁ, J.: Analýza příčných řezů tkaniny. Disertační práce. TU Liberec: 2004
- [6] FATAHI, I. a YAZDI, A. A. Predicting air permeability property values from the parameters of weave structure. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 2012.
- [7] FUNG, Frederick T. a HAVELKA, Antonín. Effect of air permeability on grainlines, aged, washed and moistened woven fabric. Liberec, 2018. Sborník z 22. mezinárodní konference STRUTEX.
- [8] GOOIJER, H.: Flow resistance of textile materials. Thesis UT Enschede. 1998. ISBN 90-36511240.
- [9] GOOIJER, Henk. Flow resistance of textile materials part I: Monofilament fabrics. Saxion University of applied sciences. Enschede, 2003.
- [10] HAVLOVÁ, Marie. Air permeability and constructional parameters of woven fabrics. Technická univerzita v Liberci, 2012.
- [11] HAVLOVÁ, Marie. Evaluation of permeability of fabrics with plain weave. Liberec, 2010. Sborník z 17. mezinárodní konference STRUTEX.
- [12] HAVLOVÁ, M. a BLAŽEJOVSKÁ, I. Effect of finishing on fabric permeability. Technická Univerzita v Liberci, 2011.
- [13] HAVLOVÁ, M. a ŠAFAŘÍKOVÁ, A. Relationship between permeability and porosity of multifilament fabrics. Technická Univerzita v Liberci, 2011.
- [14] HAVRDOVÁ, M. Chování plošných textilií při měření jejich prodyšnosti vzduchu. Liberec, 2002. Sborník z 9. mezinárodní konference STRUTEX.



- [15] CHEN, Zuo-Rong a YE, Lin a LU, Meng. Permeability predictions for woven fabrics preforms. Journal of COMPOSITE MATERIALS, Vol. 44. No. 13/2010.
- [16] KOVÁŘ, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií. TU Liberec: 2002
- [17] LUKÁŠ, David. Stereologie textilních materiálů. Liberec: Technická univerzita, 1999. ISBN 80-7083-362-9.
- [18] MARKO, J.: Jádrová skaná nit. Kandidátská práce, TU Liberec 1990
- [19] MRAZÍKOVÁ, I.: Vazby tkanin listové základní, odvozené a složené. TU Liberec: 2002
- [20] NECKÁŘ, B.: Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti. SNTL Liberec 1985.
- [21] NOVOTNÁ, J.: Propustnost tkaniny z multifilu v závislosti na struktuře. Bakalářská práce. TU Liberec: 2008
- [22] OGULATA, Tugrul. Air permeability of woven fabrics. Cukurova University Engineering and Architecture Faculty. Turkey, 2006.
- [23] RAMBOUSKOVÁ, M.: Parametry multifilu v řezu tkaniny. Bakalářská práce. TU liberec: 2006
- [24] RAMBOUSKOVÁ, M.: Geometrická struktura tkanin z multifilu. Diplomová práce. TU Liberec: 2008
- [25] SAAD ABD-ALLAH, Mohamed. Micro-fiber filter/fabrics for dust collectors. Liberec, 2009. Sborník z 16: mezinárodní konference STRUTEX.
- [26] SIRKOVÁ, B. a MERTOVIČ, I.: Woven fabric structural pore models analysis. Vlákná a textil. 2017, 24(1), 15-24
- [27] TUMAJER, P. a BÍLEK, M. a DVOŘÁK, J.: Základy tkaní a tkací stroje. TU Liberec: 2015
- [28] VESELÁ, D.: Souvislosti mezi prodyšností a strukturální změnou textlie. Liberec: TUL, 2016, Disertační práce.
- [29] XIAO, X. a ZENG, X. a LONG, A. a LIN, H. a CLIFFORD, M. a SALDAEVA, E. An analytical model for through-thickness permeability of woven fabric. Textile Research Journal 82(5) 492-501, 2012.
- [30] XIAO, X. A ZENG, X. a BANDARA, P. a LONG, A. Experimental study of dynamic air permeability for woven fabrics. Textile Research Journal 82(9) 920-930, 2012.



[31] ZUPIN, Ž. a HLADNÍK, A. a DIMITROVSKI, K. Prediction of one-layer woven fabrics air permeability using porosity parameters. Textile Research Journal 82(2) 117-128, 2011.



## **Přílohy**

**Výsledky statistického zpracování naměřených dat**



## Příloha 1: Prodyšnost

| Číslo měření                | Prodyšnost [mm/s] |                 |                 |                 |                 |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                             | P1/1              | K1/2 (Z)        | K1/3 (Z)        | K1/5 (Z)        | K1/11 (z)       |
| 1                           | 249               | 312             | 435             | 665             | 996             |
| 2                           | 197               | 295             | 426             | 642             | 993             |
| 3                           | 206               | 283             | 419             | 619             | 997             |
| 4                           | 199               | 287             | 411             | 652             | 971             |
| 5                           | 213               | 292             | 405             | 649             | 969             |
| 6                           | 228               | 301             | 401             | 636             | 1010            |
| 7                           | 201               | 298             | 412             | 659             | 973             |
| 8                           | 180               | 303             | 401             | 656             | 953             |
| 9                           | 191               | 300             | 429             | 657             | 1030            |
| 10                          | 212               | 285             | 415             | 660             | 993             |
| 11                          | 188               | 291             | 401             | 652             | 984             |
| 12                          | 169               | 319             | 396             | 678             | 992             |
| 13                          | 186               | 316             | 405             | 649             | 991             |
| 14                          | 187               | 306             | 404             | 629             | 1010            |
| 15                          | 192               | 287             | 396             | 631             | 998             |
| <b>Aritmetický průměr</b>   | 199,87            | 298,33          | 410,4           | 648,93          | 990,67          |
| <b>Variační koeficient</b>  | 9,97%             | 3,79%           | 2,96%           | 2,36%           | 1,92%           |
| <b>95% IS h. mez;d. mez</b> | (188,83;210,91)   | (292,07;304,59) | (403,67;417,13) | (640,44;657,42) | (980,14;1001,2) |
| <b>Směrodatná odchylka</b>  | 19,93             | 11,31           | 12,16           | 15,33           | 19,01           |



## Příloha 2: Tloušťka

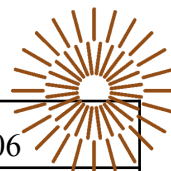
| Číslo měření                | Tloušťka [mm] |               |               |               |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                             | P1/1          | K1/2 (Z)      | K1/3 (Z)      | K1/5 (Z)      | K1/11 (z)     |
| 1                           | 0,15          | 0,19          | 0,23          | 0,3           | 0,36          |
| 2                           | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,36          |
| 3                           | 0,15          | 0,2           | 0,23          | 0,29          | 0,36          |
| 4                           | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,35          |
| 5                           | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,36          |
| 6                           | 0,15          | 0,2           | 0,24          | 0,29          | 0,36          |
| 7                           | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,34          |
| 8                           | 0,17          | 0,19          | 0,23          | 0,28          | 0,35          |
| 9                           | 0,15          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,36          |
| 10                          | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,28          | 0,35          |
| 11                          | 0,15          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,34          |
| 12                          | 0,16          | 0,19          | 0,22          | 0,29          | 0,35          |
| 13                          | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,35          |
| 14                          | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,34          |
| 15                          | 0,15          | 0,19          | 0,23          | 0,28          | 0,36          |
| <b>Aritmetický průměr</b>   | 0,16          | 0,19          | 0,23          | 0,29          | 0,35          |
| <b>Variační koeficient</b>  | 3,92%         | 1,84%         | 1,64%         | 1,79%         | 2,27%         |
| <b>95% IS h. mez;d. mez</b> | (0,153;0,160) | (0,189;0,193) | (0,228;0,232) | (0,286;0,292) | (0,349;0,357) |
| <b>Směrodatná odchylka</b>  | 0,00617       | 0,00352       | 0,00378       | 0,00516       | 0,00799       |



## Příloha 3: Plošná porozita

Tab. 3.1: Statistické zpracování dat z obrazové analýzy pro plátňovou vazbu P1/1

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha<br>[ $\mu\text{m}^2$ ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|---------------------------------------|----------------------|
| 1            | 78            | 121985,42                             | 0,022                |
| 2            | 63            | 125567,04                             | 0,023                |
| 3            | 60            | 111254,44                             | 0,02                 |
| 4            | 58            | 70703,47                              | 0,013                |
| 5            | 58            | 149900,22                             | 0,027                |
| 6            | 56            | 74414,76                              | 0,014                |
| 7            | 52            | 91097,51                              | 0,017                |
| 8            | 52            | 89627,63                              | 0,016                |
| 9            | 47            | 73407,98                              | 0,013                |
| 10           | 47            | 76334,78                              | 0,014                |
| 11           | 46            | 42942,42                              | 0,008                |
| 12           | 46            | 83327,6                               | 0,015                |
| 13           | 43            | 65677,9                               | 0,012                |
| 14           | 43            | 72228                                 | 0,013                |
| 15           | 40            | 62928,01                              | 0,012                |
| 16           | 37            | 37099,02                              | 0,007                |
| 17           | 37            | 57460,64                              | 0,011                |
| 18           | 35            | 21762,04                              | 0,004                |
| 19           | 35            | 55083,08                              | 0,01                 |
| 20           | 34            | 47559,54                              | 0,009                |
| 21           | 34            | 42086,61                              | 0,008                |
| 22           | 32            | 38956,98                              | 0,007                |
| 23           | 30            | 28061,14                              | 0,005                |

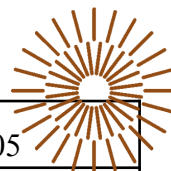


|                                 |                 |                     |                     |
|---------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 24                              | 27              | 30592,45            | 0,006               |
| 25                              | 27              | 30918,47            | 0,006               |
| 26                              | 25              | 30034,87            | 0,005               |
| 27                              | 22              | 18946,39            | 0,003               |
| 28                              | 12              | 7794,91             | 0,001               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 42              | 62776,9             | 0,011               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 33,72%          | 54,55%              | 54,89%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (36,406;47,594) | (49109,19;76444,61) | (0,008535;0,013465) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 14,4222051      | 35091,75815         | 0,006368220537      |



Tab. 3.2: Statistické zpracování dat z obrazové analýzy pro keprovou vazbu K1/2

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha<br>[μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|--------------------------------------|----------------------|
| 1            | 43            | 57719,05                             | 0,011                |
| 2            | 41            | 47591,96                             | 0,009                |
| 3            | 35            | 49311,91                             | 0,009                |
| 4            | 35            | 48311,62                             | 0,009                |
| 5            | 32            | 29871,86                             | 0,005                |
| 6            | 31            | 39057,93                             | 0,007                |
| 7            | 29            | 23494,96                             | 0,004                |
| 8            | 29            | 24227,59                             | 0,004                |
| 9            | 28            | 21713,88                             | 0,004                |
| 10           | 28            | 27686,95                             | 0,005                |
| 11           | 28            | 17179,19                             | 0,003                |
| 12           | 28            | 24970,4                              | 0,005                |
| 13           | 28            | 44823,54                             | 0,008                |
| 14           | 27            | 17221,8                              | 0,003                |
| 15           | 26            | 33193,22                             | 0,006                |
| 16           | 25            | 25699,32                             | 0,005                |
| 17           | 25            | 16601,24                             | 0,003                |
| 18           | 25            | 17852,54                             | 0,003                |
| 19           | 23            | 32629,17                             | 0,006                |
| 20           | 23            | 17106,95                             | 0,003                |
| 21           | 22            | 26866,34                             | 0,005                |
| 22           | 22            | 17232,91                             | 0,003                |
| 23           | 20            | 14305,19                             | 0,003                |
| 24           | 20            | 12152,69                             | 0,002                |



|                                 |                 |                     |                     |
|---------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 25                              | 20              | 25224,18            | 0,005               |
| 26                              | 17              | 39835,02            | 0,007               |
| 27                              | 15              | 11755,35            | 0,002               |
| 28                              | 14              | 6514,9              | 0,001               |
| 29                              | 9               | 5086,7              | 0,001               |
| 30                              | 8               | 3203,73             | 0,001               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 25,2            | 25948,07            | 0,005               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 31,39%          | 53,16%              | 54,26%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (22,195;28,205) | (20698,26;31197,88) | (0,004022;0,005978) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 8,044702691     | 14028,54673         | 0,002612085088      |



Tab. 3.3: Statistické zpracování dat z obrazové analýzy pro keprovou vazbu K1/3

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha<br>[μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|--------------------------------------|----------------------|
| 1            | 29            | 39398,78                             | 0,007                |
| 2            | 28            | 44064,05                             | 0,008                |
| 3            | 28            | 34267,62                             | 0,006                |
| 4            | 25            | 23779,31                             | 0,004                |
| 5            | 22            | 11768,32                             | 0,002                |
| 6            | 20            | 13819,86                             | 0,003                |
| 7            | 20            | 17486,69                             | 0,003                |
| 8            | 19            | 12039,7                              | 0,002                |
| 9            | 19            | 15720,42                             | 0,003                |
| 10           | 18            | 11832,23                             | 0,002                |
| 11           | 18            | 14831,27                             | 0,003                |
| 12           | 17            | 19061,23                             | 0,003                |
| 13           | 17            | 14150,51                             | 0,003                |
| 14           | 15            | 11341,34                             | 0,002                |
| 15           | 14            | 7974,6                               | 0,001                |
| 16           | 14            | 6509,35                              | 0,001                |
| 17           | 14            | 11854,46                             | 0,002                |
| 18           | 13            | 9942,78                              | 0,002                |
| 19           | 13            | 13920,81                             | 0,003                |
| 20           | 13            | 8874,87                              | 0,002                |
| 21           | 13            | 9088,82                              | 0,002                |
| 22           | 12            | 8039,43                              | 0,001                |
| 23           | 12            | 17038,41                             | 0,003                |
| 24           | 11            | 4468,92                              | 0,001                |

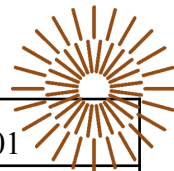


|                                 |                 |                    |                     |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| 25                              | 10              | 3402,87            | 0,001               |
| 26                              | 10              | 2689,69            | 0,0005              |
| 27                              | 10              | 12966,83           | 0,002               |
| 28                              | 10              | 7588,37            | 0,001               |
| 29                              | 7               | 1721,81            | 0,0003              |
| 30                              | 7               | 2984,22            | 0,001               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 15,93           | 13754,25           | 0,003               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 37,06%          | 72,34%             | 70,93%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (13,688;18,172) | (9990,75;17520,89) | (0,002328;0,003672) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 6,005361589     | 10119,26985        | 0,001798837428      |



Tab. 3.4: Statistické zpracování dat z obrazové analýzy pro keprovou vazbu K1/5

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha<br>[μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|--------------------------------------|----------------------|
| 1            | 21            | 17708,05                             | 0,003                |
| 2            | 16            | 16132,58                             | 0,003                |
| 3            | 15            | 28058,36                             | 0,005                |
| 4            | 14            | 16091,83                             | 0,003                |
| 5            | 14            | 16816,12                             | 0,003                |
| 6            | 13            | 6635,31                              | 0,001                |
| 7            | 13            | 15069,3                              | 0,003                |
| 8            | 12            | 11057                                | 0,002                |
| 9            | 10            | 11552,52                             | 0,002                |
| 10           | 10            | 5930,47                              | 0,001                |
| 11           | 10            | 7808,81                              | 0,001                |
| 12           | 10            | 6550,1                               | 0,001                |
| 13           | 9             | 4255,9                               | 0,001                |
| 14           | 9             | 3838,18                              | 0,001                |
| 15           | 9             | 7015,98                              | 0,001                |
| 16           | 9             | 8909,14                              | 0,002                |
| 17           | 9             | 5169,13                              | 0,001                |
| 18           | 9             | 12136,02                             | 0,002                |
| 19           | 8             | 3447,32                              | 0,001                |
| 20           | 8             | 5185,8                               | 0,001                |
| 21           | 6             | 8300,62                              | 0,002                |
| 22           | 6             | 6338,93                              | 0,001                |
| 23           | 6             | 6365,79                              | 0,001                |
| 24           | 6             | 5231,19                              | 0,001                |



|                                 |                |                    |                     |
|---------------------------------|----------------|--------------------|---------------------|
| 25                              | 5              | 4374,45            | 0,001               |
| 26                              | 5              | 5496,08            | 0,001               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 10,08          | 9441,35            | 0,002               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 37,12%         | 59,00%             | 60,62%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (8,539;11,621) | (7083,61;11819,09) | (0,001581;0,002419) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 3,814950347    | 5836,562721        | 0,001041448695      |



Tab. 3.5: Statistické zpracování dat z obrazové analýzy pro keprovou vazbu K1/11

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha<br>[μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|--------------------------------------|----------------------|
| 1            | 16            | 84108,72                             | 0,004                |
| 2            | 14            | 72344,51                             | 0,003                |
| 3            | 13            | 42467,41                             | 0,002                |
| 4            | 12            | 37204,87                             | 0,002                |
| 5            | 12            | 50361,2                              | 0,002                |
| 6            | 11            | 57979,64                             | 0,003                |
| 7            | 11            | 44853,9                              | 0,002                |
| 8            | 10            | 42054,36                             | 0,002                |
| 9            | 8             | 25455,97                             | 0,001                |
| 10           | 8             | 39132,43                             | 0,002                |
| 11           | 8             | 29785,32                             | 0,001                |
| 12           | 8             | 24232,12                             | 0,001                |
| 13           | 8             | 47990                                | 0,002                |
| 14           | 8             | 22595,23                             | 0,001                |
| 15           | 8             | 20147,54                             | 0,001                |
| 16           | 8             | 36195,2                              | 0,002                |
| 17           | 7             | 39499,58                             | 0,002                |
| 18           | 7             | 51998,1                              | 0,002                |
| 19           | 6             | 22243,37                             | 0,001                |
| 20           | 6             | 16139,45                             | 0,001                |
| 21           | 6             | 25440,67                             | 0,001                |
| 22           | 6             | 38535,81                             | 0,002                |
| 23           | 6             | 39208,92                             | 0,002                |
| 24           | 5             | 8964,66                              | 0,0004               |



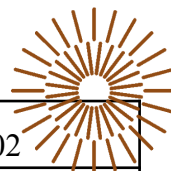
|                                 |               |                     |                     |
|---------------------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                              | 5             | 24186,23            | 0,001               |
| 26                              | 5             | 25012,32            | 0,001               |
| 27                              | 4             | 9316,52             | 0,0004              |
| 28                              | 4             | 24568,68            | 0,001               |
| 29                              | 3             | 6868,83             | 0,0003              |
| 30                              | 1             | 6348,69             | 0,0003              |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 7,8           | 33841,34            | 0,002               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 42,70%        | 53,29%              | 55,03%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (6,533;9,067) | (26977,02;40705,66) | (0,001676;0,002324) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 3,387604178   | 18343,41474         | 0,0008657200843     |



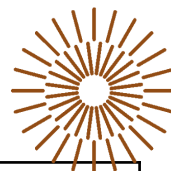
## Příloha 4: Subjektivní označení pórů typu P1

Tab. 4.1: Statistické zpracování dat pro keprovou vazbu K1/2

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha<br>[μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|--------------------------------------|----------------------|
| 1            | 19            | 24805,54                             | 0,005                |
| 2            | 17            | 15140,62                             | 0,003                |
| 3            | 16            | 17099,54                             | 0,003                |
| 4            | 17            | 13896,73                             | 0,003                |
| 5            | 15            | 16012,18                             | 0,003                |
| 6            | 18            | 14712,72                             | 0,003                |
| 7            | 18            | 12901,99                             | 0,002                |
| 8            | 18            | 11919,29                             | 0,002                |
| 9            | 16            | 12775,1                              | 0,002                |
| 10           | 19            | 25704,88                             | 0,005                |
| 11           | 14            | 15160,07                             | 0,003                |
| 12           | 12            | 9274,06                              | 0,002                |
| 13           | 15            | 11376,54                             | 0,002                |
| 14           | 19            | 7637,46                              | 0,001                |
| 15           | 18            | 13217,83                             | 0,002                |
| 16           | 17            | 8709,08                              | 0,002                |
| 17           | 17            | 8067,22                              | 0,001                |
| 18           | 17            | 9956,67                              | 0,002                |
| 19           | 20            | 7221,6                               | 0,001                |
| 20           | 17            | 16340,05                             | 0,003                |
| 21           | 18            | 14651,59                             | 0,003                |
| 22           | 16            | 16970,8                              | 0,003                |
| 23           | 15            | 29839,45                             | 0,005                |

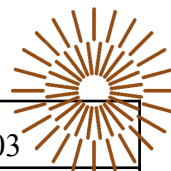


|                                 |                 |                     |                     |
|---------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 24                              | 16              | 8657,21             | 0,002               |
| 25                              | 15              | 9652,88             | 0,002               |
| 26                              | 13              | 22487,26            | 0,004               |
| 27                              | 15              | 16385,44            | 0,003               |
| 28                              | 17              | 20803,42            | 0,004               |
| 29                              | 18              | 10525,36            | 0,002               |
| 30                              | 16              | 21863,92            | 0,004               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 16,6            | 14792,22            | 0,003               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 10,84%          | 40,00%              | 38,35%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (15,917;17,283) | (12632,49;16951,95) | (0,002584;0,003416) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 1,83077146      | 5770,232932         | 0,001112106834      |

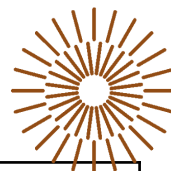


Tab. 4.2: Statistické zpracování dat pro keprovou vazbu K1/3

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha [μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1            | 13            | 8979,53                           | 0,002                |
| 2            | 14            | 9227,75                           | 0,002                |
| 3            | 11            | 10027,06                          | 0,002                |
| 4            | 13            | 6535,28                           | 0,001                |
| 5            | 11            | 17713,61                          | 0,003                |
| 6            | 12            | 5826,74                           | 0,001                |
| 7            | 14            | 4758,83                           | 0,001                |
| 8            | 15            | 10034,47                          | 0,002                |
| 9            | 15            | 11210,75                          | 0,002                |
| 10           | 12            | 5122,82                           | 0,001                |
| 11           | 13            | 9787,18                           | 0,002                |
| 12           | 12            | 7279,95                           | 0,001                |
| 13           | 13            | 10981,05                          | 0,002                |
| 14           | 13            | 11737,76                          | 0,002                |
| 15           | 12            | 13464,2                           | 0,002                |
| 16           | 13            | 6196,29                           | 0,001                |
| 17           | 15            | 6299,1                            | 0,001                |
| 18           | 15            | 9377,79                           | 0,002                |
| 19           | 12            | 19413,19                          | 0,004                |
| 20           | 9             | 8144,09                           | 0,001                |
| 21           | 13            | 7569,85                           | 0,001                |
| 22           | 14            | 11923,92                          | 0,002                |
| 23           | 13            | 10995,87                          | 0,002                |
| 24           | 12            | 10847,68                          | 0,002                |



|                                 |                 |                    |                     |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| 25                              | 14              | 16807,79           | 0,003               |
| 26                              | 10              | 4240,15            | 0,001               |
| 27                              | 12              | 4695,84            | 0,001               |
| 28                              | 12              | 8126,5             | 0,001               |
| 29                              | 12              | 7838,45            | 0,001               |
| 30                              | 13              | 9139,76            | 0,002               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 12,73           | 9476,77            | 0,002               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 11,09%          | 38,87%             | 43,36%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (12,194;13,266) | (8077,14;10876,40) | (0,001719;0,002281) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 1,436790805     | 3746,247509        | 0,0007497125886     |

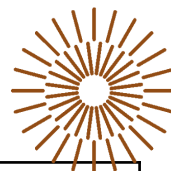


Tab. 4.3: Statistické zpracování dat pro keprovou vazbu K1/5

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha [μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1            | 10            | 4169,76                           | 0,001                |
| 2            | 11            | 3613,11                           | 0,001                |
| 3            | 7             | 3262,08                           | 0,001                |
| 4            | 8             | 5271,01                           | 0,001                |
| 5            | 10            | 6476,93                           | 0,001                |
| 6            | 10            | 3871,52                           | 0,001                |
| 7            | 9             | 3889,12                           | 0,001                |
| 8            | 11            | 6898,35                           | 0,001                |
| 9            | 10            | 4410,57                           | 0,001                |
| 10           | 11            | 7821,77                           | 0,001                |
| 11           | 8             | 4716,22                           | 0,001                |
| 12           | 5             | 7085,44                           | 0,001                |
| 13           | 7             | 5212,66                           | 0,001                |
| 14           | 8             | 8306,18                           | 0,002                |
| 15           | 7             | 4885,71                           | 0,001                |
| 16           | 9             | 9739,01                           | 0,002                |
| 17           | 9             | 4406,87                           | 0,001                |
| 18           | 8             | 9300,92                           | 0,002                |
| 19           | 9             | 6882,61                           | 0,001                |
| 20           | 7             | 11454,34                          | 0,002                |
| 21           | 6             | 3257,45                           | 0,001                |
| 22           | 10            | 11311,7                           | 0,002                |
| 23           | 8             | 5691,51                           | 0,001                |
| 24           | 8             | 7763,42                           | 0,001                |



|                                 |               |                   |                     |
|---------------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| 25                              | 8             | 6631,61           | 0,001               |
| 26                              | 10            | 5321,96           | 0,001               |
| 27                              | 9             | 1390,23           | 0,001               |
| 28                              | 10            | 2441,47           | 0,002               |
| 29                              | 8             | 1284,64           | 0,001               |
| 30                              | 9             | 2523,9            | 0,002               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 8,67          | 5643,07           | 0,001               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 16,94%        | 46,33%            | 34,29%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (8,114;9,226) | (4650,87;6635,73) | (0,000840;0,001160) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 1,493279966   | 2659,38937        | 0,0004301830672     |



Tab. 4.4: Statistické zpracování dat pro keprovou vazbu K1/11

| Číslo měření | Počet objektů | Binární plocha [μm <sup>2</sup> ] | Binární plošný podíl |
|--------------|---------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1            | 16            | 23635,5                           | 0,001                |
| 2            | 16            | 21294,9                           | 0,001                |
| 3            | 18            | 28836,84                          | 0,001                |
| 4            | 15            | 27001,07                          | 0,001                |
| 5            | 15            | 34237,05                          | 0,002                |
| 6            | 14            | 24216,82                          | 0,001                |
| 7            | 17            | 26863,39                          | 0,001                |
| 8            | 11            | 19948,67                          | 0,001                |
| 9            | 17            | 33273,27                          | 0,001                |
| 10           | 14            | 20331,12                          | 0,001                |
| 11           | 13            | 18510,65                          | 0,001                |
| 12           | 16            | 26067,89                          | 0,001                |
| 13           | 10            | 15542,83                          | 0,001                |
| 14           | 12            | 23620,2                           | 0,001                |
| 15           | 15            | 23819,07                          | 0,001                |
| 16           | 13            | 16062,96                          | 0,001                |
| 17           | 12            | 21922,12                          | 0,001                |
| 18           | 13            | 29127,5                           | 0,001                |
| 19           | 15            | 23145,96                          | 0,001                |
| 20           | 12            | 26741                             | 0,001                |
| 21           | 11            | 23084,77                          | 0,001                |
| 22           | 13            | 29754,72                          | 0,001                |
| 23           | 10            | 18633,03                          | 0,001                |
| 24           | 11            | 26480,94                          | 0,001                |



|                                 |             |                     |                     |
|---------------------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| 25                              | 12          | 14074,21            | 0,001               |
| 26                              | 10          | 16338,32            | 0,001               |
| 27                              | 13          | 18633,03            | 0,001               |
| 28                              | 8           | 20637,08            | 0,001               |
| 29                              | 13          | 22870,59            | 0,001               |
| 30                              | 14          | 25180,6             | 0,001               |
| <b>Aritmetický průměr</b>       | 13,3        | 23329,54            | 0,001               |
| <b>Variační koeficient</b>      | 17,81%      | 17,37%              | 21,18%              |
| <b>95% IS<br/>h. mez;d. mez</b> | (12,4;14,2) | (21454,28;25204,80) | (0,000932;0,001068) |
| <b>Směrodatná<br/>odchylka</b>  | 2,409034719 | 5024,609069         | 0,0001825741858     |