



# LABORATORNÍ HODNOCENÍ INTENZITY SVĚTLA PROCHÁZEJÍCÍHO ZÁCLONOVINOU

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3957 – Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* 3901T073 – Produktové inženýrství  
*Autor práce:* **Bc. Jaroslava Kotláríková**  
*Vedoucí práce:* Ing. Marie Havlová, Ph.D.  
*Konzultant práce:* Ing. Petr Vojtíšek



# LABORATORY EVALUATION OF THE INTENSITY OF LIGHT TRANSMITTED THROUGH THE CURTAIN

## Diploma thesis

*Study programme:* N3957 – Industrial Engineering

*Study branch:* 3901T073 – Product Engineering

*Author:* **Bc. Jaroslava Kotláríková**

*Supervisor:* Ing. Marie Havlová, Ph.D.

*Consultant:* Ing. Petr Vojtíšek



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslava Kotláríková**  
Osobní číslo: **T12000456**  
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**  
Studijní obor: **Produktové inženýrství**  
Název tématu: **Laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího  
záclonovinou**  
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

1. V rešeršní části práce shrňte poznatky týkající se řešené problematiky (použití záclonovin, měření intenzity světla, zdroje světla, vliv struktury materiálu, podobné již realizované experimenty).
2. V experimentální části práce navrhnete a realizujete vhodný experiment, který umožní laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou. Pokuste se přiblížit experiment reálným podmínkám použití. Pro soubor hodnocených plošných textilií stanovte také plošnou porositu, případně další vybrané charakteristiky. Získaná data zpracujte vhodnými metodami.
3. Na základě zjištěných poznatků a naměřených dat navrhnete vhodný metodický postup měření, komentujte výsledky a formulujte závěry. Pokuste se popsat vztah mezi plošnou porositou záclonoviny a její propustností pro světlo. Diskutujte také možnosti praktického využití.

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

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

Datum:

Podpis:

## **PODĚKOVÁNÍ**

Především děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Marii Havlové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi po celou dobu zpracování diplomové práce velmi ochotně poskytovala.

Rovněž děkuji všem, kteří se na této diplomové práci podíleli. Jmenovitě děkuji konzultantovi Ing. Petru Vojtíškovi z Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, za zajištění komponent potřebných pro tuto diplomovou práci, vstřícné jednání a poskytnutí odborných rad týkajících se zpracovávané problematiky.

Velké poděkování patří také mé rodině a nejbližším, kteří mě podporovali v průběhu celého mého studia.

## ANOTACE

Předkládaná diplomová práce se zabývá především světlo-propustnými vlastnostmi dekoračních záclonovin. Cílem je navrhnout vhodný metodický postup měření, který umožní realizovat laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou s následným určením transmitance světla. Současně je snahou v této prvotní studii popsat možný vzájemný vztah mezi strukturou dekorační záclonové textilie a její propustností pro světlo. Na základě rešeršního průzkumu a s ohledem na rozmanitost struktury záclonovin, byl vybrán zejména parametr plošné porosity poskytující informace o struktuře záclonoviny jako celku. S reálným použitím záclonovin také souvisí možnost jejich různého nařazení.

### KLÍČOVÁ SLOVA:

záclonovina, plošná porosita, obrazová analýza, intenzita světla, transmitance, řasení, luxmetr

## ANNOTATION

The thesis is mainly focused on transmission of the light of the decorative curtain material. The goal is to create a suitable procedure for a measurement which should help us to evaluate an intensity of the light coming through the curtain material and consequently, transmittance of the light. In the same time, the thesis is focused on the possibility to find a connection between structure of the curtain material and transmission of the light. The research focus on parameter of the surface porosity is the most important for providing information about structure of the curtain material. Usage of the curtain material is also closely connected with the option of its drape in various ways.

### KEY WORDS:

curtain material, surface porosity, image analysis, the intensity of light, transmission, drape, luxmeter

## **OBSAH**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Úvod.....                                                  | 11 |
| REŠERŠNÍ ČÁST .....                                        | 13 |
| 1. Dekorační záclonové textilie .....                      | 13 |
| 1.1 Funkce záclonovin .....                                | 13 |
| 1.2 Druhy záclonovin.....                                  | 15 |
| 2. Světlo .....                                            | 17 |
| 2.1 Interakce světla s prostředím .....                    | 18 |
| 2.2 Měření světla.....                                     | 21 |
| 2.3 Zdroje světla .....                                    | 23 |
| 2.3.1 Přírodní zdroj světla - denní světlo .....           | 23 |
| 2.3.2 Umělé zdroje světla - osvětlování.....               | 25 |
| 3. Strukturní vlastnosti plošných textilií .....           | 27 |
| 3.1. Zakrytí plošné textilie .....                         | 27 |
| 3.2 Porosita plošné textilie.....                          | 28 |
| 4. Studie ve zkoumané oblasti dekoračních záclonovin ..... | 30 |
| EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....                                  | 33 |
| 5. Návrh a příprava experimentů .....                      | 33 |
| 5.1 Cíle experimentů diplomové práce .....                 | 33 |
| 5.2 Vybrané vzorky pro experiment .....                    | 34 |
| 5.3 Postup stanovení plošné porosity záclonovin .....      | 37 |
| 5.3.1 Snímání obrazů vzorků záclonovin.....                | 37 |
| 5.3.2 Obrazová analýza získaných snímků .....              | 38 |
| 5.4 Návrh laboratorního hodnocení intenzity světla .....   | 40 |
| 5.4.1 Světelný zdroj .....                                 | 42 |
| 5.4.2 Záchytný systém se záclonovinou .....                | 43 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.3 Měřicí přístroj luxmetr .....                                               | 44 |
| 5.4.4 Metodika měření .....                                                       | 45 |
| 5.5 Příprava vzorků pro měření .....                                              | 47 |
| 6. Realizace experimentů .....                                                    | 48 |
| 6.1 Vyhodnocení plošné porosity záclonovin .....                                  | 49 |
| 6.1.1 Zpracování výsledků ze snímků z vyhledávačky vláken .....                   | 49 |
| 6.1.2 Zpracování výsledků ze snímků z fotoaparátu .....                           | 51 |
| 6.1.3 Porovnání výsledků porosity získané použitými metodami snímání obrazu ..... | 53 |
| 6.1.4 Vyhodnocení distribuce velikosti jednotlivých pórů záclonovin .....         | 55 |
| 6.2 Vyhodnocení výsledků z laboratorního měření transmitance .....                | 58 |
| 6.2.1 Uspořádání jednotlivých komponent .....                                     | 59 |
| 6.2.2 Zpracování výsledků transmitance nenařazených vzorků .....                  | 60 |
| 6.2.3 Zpracování výsledků transmitance nařazených vzorků .....                    | 64 |
| 7. Diskuze výsledků .....                                                         | 78 |
| Závěr .....                                                                       | 83 |

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

|          |                                                                                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $A$      | absorbance [-]                                                                  |
| $a_d$    | parametr směrnice přímky závislosti transmitance (difúzní) na řasícím poměru    |
| $a_k$    | parametr směrnice přímky závislosti transmitance (kolimované) na řasícím poměru |
| $b_d$    | parametr posunutí přímky závislosti transmitance (difúzní) na řasícím poměru    |
| $b_k$    | parametr posunutí přímky závislosti transmitance (kolimované) na řasícím poměru |
| $c$      | rychlost světla [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]                              |
| $df$     | stupně volnosti                                                                 |
| $I$      | intenzita světla na výstupu [lx]                                                |
| $I_0$    | intenzita světla na vstupu [lx]                                                 |
| $I_d$    | intenzita světla na výstupu pro difúzní světlo [lx]                             |
| $I_k$    | intenzita světla na výstupu pro kolimované světlo [lx]                          |
| $I_{0d}$ | intenzita světla na vstupu pro difúzní světlo [lx]                              |
| $I_{0k}$ | intenzita světla na vstupu pro kolimované světlo [lx]                           |
| $m_d$    | parametr směrnice přímky závislosti transmitance (difúzní) na porositě          |
| $m_k$    | parametr směrnice přímky závislosti transmitance (kolimované) na porositě       |
| $n_d$    | parametr posunutí přímky závislosti transmitance (difúzní) na porositě          |
| $n_k$    | parametr posunutí přímky závislosti transmitance (difúzní) na porositě          |
| $P$      | prahová hodnota [-]                                                             |
| $p$      | vyjádření řasícího poměru [-]                                                   |
| $R^2$    | koeficient determinace [-]                                                      |
| $r$      | Pearsonův lineární korelační koeficient [-]                                     |
| $s$      | výběrová směrodatná odchylka                                                    |
| $S_c$    | plocha textile celkem [ $\text{mm}^2$ ]                                         |
| $S_n$    | plocha zakrytá nitěmi v textilií [ $\text{mm}^2$ ]                              |
| $S_p$    | plocha pórů v textilií [ $\text{mm}^2$ ]                                        |
| $T$      | transmitance světla [-]                                                         |
| $T_c$    | teplota chromatičnosti [K]                                                      |
| $T_d$    | transmitance difúzního světla [-]                                               |

---

|                    |                                                                                   |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $t_{df}$           | kritická hodnota Studentova t-rozdělení                                           |
| $T_k$              | transmitance kolimovaného světla [-]                                              |
| $T_{dp}$           | transmitance difúzního světla na řasícím poměru $p$ [-]                           |
| $T_{kp}$           | transmitance kolimovaného světla na řasícím poměru $p$ [-]                        |
| $T_{stat}$         | testová statistika dvouvýběrového t-testu                                         |
| $T_{1:1}$          | transmitance na nenařazeném vzorku (v poměru 1:1) [-]                             |
| $T_{1:p}$          | transmitance na nařazeném vzorku (v poměru 1: $p$ ) [-]                           |
| $\widehat{T}_{dp}$ | odhad transmitance pro difúzní světlo na konkrétním řasícím poměru $p$ [-]        |
| $\widehat{T}_{kp}$ | odhad transmitance pro kolimované světlo na konkrétním řasícím poměru $p$ [-]     |
| $v$                | variační koeficient [%]                                                           |
| $V(\lambda)$       | funkce spektrální citlivosti oka [-]                                              |
| $Z_c$              | zakrytí celkem [mm <sup>2</sup> ]                                                 |
| 95%IS              | konfidenční intervalový odhad model N-rozdělení (kvantily Studentova t-rozdělení) |
| $\alpha$           | hladina významnosti (používána 0,05) [-]                                          |
| $\Delta_{rel}$     | relativní hodnota poklesu transmitance [%]                                        |
| $\Delta_{rel\_d}$  | relativní hodnota poklesu transmitance pro difúzní světlo [%]                     |
| $\Delta_{rel\_k}$  | relativní hodnota poklesu transmitance pro kolimované světlo [%]                  |
| $\lambda$          | vlnová délka [nm]                                                                 |
| $\psi$             | plošná porosita [-]                                                               |

## ÚVOD

Předmětem předkládané diplomové práce jsou záclonové textilie. Dekorační textilie jsou obecně používány zejména pro svou estetickou funkci. Neméně důležitá, avšak často opomíjená, je i jejich užitná funkce. U záclonovin může být významná jejich schopnost chránit před slunečním svitem nebo naopak příliš nebránit vstupujícímu světlu. Záclonoviny tedy napomáhají ovládat světelné podmínky v místnosti, což by mohlo být také jedním z rozhodujících kritérií pro jejich užívání. Z těchto důvodů je studie této práce zaměřena konkrétně na hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou s následným určením transmitance světla.

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat vlastní experiment, umožňující laboratorně určit světlo-propustné vlastnosti záclonovin. Je snahou přiblížit se skutečné situaci, kdy sluneční paprsky procházejí skrze záclonovinu k pozorovateli vnímajícího světelné podmínky v místnosti. Zvolením vhodného metodického postupu je umožněno tuto reálnou situaci nahradit objektivním měřením za pomoci fyzikálních senzorů a dalších komponent.

Celý text je členěn do dvou hlavních částí, které obsahují jednotlivé kapitoly. Rešeršní část práce objasňuje, vysvětluje a seznamuje se základními pojmy z oblasti optiky a textilu. Součástí je stručný popis studovaného jevu světla na základě již známých fyzikálních teorií. Další kapitola poskytuje základní informace o strukturních parametrech, které mohou mít vliv na prostupnost záclonových textilií pro světlo. Dále jsou také uvedeny některé již realizované studie odrážející současný stav ve zkoumané oblasti. Tento literární průzkum je základem pro praktické řešení práce a současně také inspirací pro vytvoření hypotéz a návrhů vlastních experimentů.

Experimentální část již obsahuje informace o samotném průběhu prováděné studie. Je zde navržen postup stanovení strukturních charakteristik vybraných záclonovin pomocí obrazové analýzy, zaměřené zejména na určení parametru plošné porosity. Klíčová část je orientována na návrh metodiky laboratorního hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou, výběr komponent a sestavení měřicího aparátu. Následuje statistické vyhodnocování experimentálně naměřených dat z

jednotlivých zkoušek a průběžné komentování zjištěných poznatků. Snahou je také určit možné vzájemné vztahy mezi strukturou záclonovin a jejich propustností pro světlo.

Výstupem této práce jsou navržené měřicí metody související s určováním světlo-propustných vlastností záclonovin, které byly prakticky ověřeny. Dále jsou diskutovány zjištěné skutečnosti, které vedou k návrhům dalších experimentů. Studii této diplomové práce uzavírá poslední kapitola zaměřující se na shrnutí a celkové zhodnocení dosažených výsledků.

## REŠERŠNÍ ČÁST

### 1. DEKORAČNÍ ZÁCLONOVÉ TEXTILIE

Dekorační záclonoviny představují bytové textile, které jsou běžnou součástí interiéru. Slouží k zakrytí okenních otvorů a zároveň dekorují místnost. Jejich využití v dnešních domácnostech je tedy převážně estetickou záležitostí. Nejrozmanitější desénové provedení záclonovin umožní vytvořit příjemnou atmosféru, sjednotit vzhled místnosti a celkově přispívají k půvabu celého prostředí. Samozřejmě, navození líbivého dojmu je nezpochybnitelné, avšak byla by chyba držet se pouze tohoto úhlu pohledu.

Vybava bytu, rodinného domu nebo kancelářských prostor záclonovinami je dnes už chápána spíše jako zbytečný doplněk, bez kterého se lze snadno obejít. Z architektonického hlediska jsou moderní bohatě prosklené plochy. Tento trend může umožnit krásný výhled z místnosti, avšak pobyt zde se může stát nepříjemný například v letním odpolední, či ve večerních hodinách. Zajištění soukromí, zamezení průhledu do místnosti, či ochranu před přímým slunečním svitem lze do určité míry ovlivnit i dekorační záclonovou textilií.

#### 1.1 Funkce záclonovin

Záclonovina je obecně lehká průsvitná textilie, z níž se ušitím vytváří hotový výrobek - záclona. Z uživatelského hlediska zastává zejména:

- **Estetické funkce**
  - desénové provedení,
  - barevné provedení,
  - možnosti řasení a ozdobného skládání.
- **Užitné funkce**
  - regulace prostupu světla,
  - tepelně-izolační funkce,
  - akustická funkce,
  - pohlcování pachů.

### **Estetické funkce**

Zde záleží na individuálních preferencích spotřebitelů. Někteří upřednostňují nezdobená okna, avšak mnozí stále zkrášlují svůj interiér záclonovinami. Smyslem bývá navození líbivějšího dojmu. Rozmanité desénové provedení dekorací oken umožňuje vytvořit útulnější prostředí v obytných místnostech. V poslední době jsou moderní i nejrůznější barevné variace, ovšem nejhojněji se stále používají záclony bílé barvy [2].

Se základním používáním záclon souvisí i jejich způsob zavěšení. K uchycení slouží závěsné systémy jako kolejničky, lanka, záclonové tyče nebo garnýže. Není možné, aby dekorace na okně visela zcela ve svislém stavu, výjimku tvoří pouze japonské stěny a římské rolety. Při jejich zavěšení v prostoru totiž dochází ke vzniku esteticky působících záhybů (souvislost se splývavostí) a cílenému řasení. Klasickou technikou řasení jsou řasící pásky nejrůznějších druhů. Umožňují pravidelné i ozdobné nařazení tvořící různě široké sklady a záhyby. Pomocí lanek v řasící stuze lze nastavit tzv. poměr řasení, který také udává spotřebu záclonoviny. Nejčastěji jsou využívány tyto poměry řasení [20] [21]:

- 1:1,5 - pro záclony s velkými vzory,
- 1:2 - nejvyužívanější klasický poměr řasení,
- 1:2,5 - vznik hlubších záhybů,
- 1:3 - nadstandardní řasení s hlubokými záhyby.

Tyto parametry přímo souvisí s reálným použitím dekoračních okenních textilií, a proto bude řasící poměr v experimentální části této práce zohledněn a zahrnut do studie.

### **Užitné funkce**

Dekorační textilie slouží zejména k zakrytí okenních prostorů a s tím souvisí další výhody jejich používání. Důležitý, avšak často opomíjený úkol záclonovin, je ochrana před působením vnějších vlivů.

S pomocí záclonovin lze částečně regulovat prostup světla do místnosti, což umožňuje zajištění soukromí, omezení průhledu do místnosti, ale zároveň nebrání výhledu ven. Poskytují ochranu před slunečním svitem a vysokou intenzitou vstupujícího světla. Celkově tedy napomáhají ovládat světelné podmínky v místnosti. Zhoršené osvětlení (extrémní oslunění, nedostatek světla) se projeví nepříznivě na celkové kondici člověka, jeho náladě i výkonnosti. Proto je důležité regulovat množství světla, které projde do místnosti a dopadne například na pracovní stůl. Nabízí se tedy otázka, je-li možné toto prostupující světlo do místnosti usměrnit i pomocí vhodné zvolené záclony.

Při zavěšení záclonové textilie v prostoru, dojde také ke zlepšení akustických vlastností v místnosti. Jejich akustická funkce tedy souvisí se zvukovou izolací a pohltivostí zvuku daným materiálem. Při dopadu slunečního záření na textilií dochází také k absorbování části tepelné energie a transportu tepla (někdy žádoucí zamezení úniku tepla zevnitř ven, jindy zamezení zahřívání vnitřních prostor). Předností může být i pohlcování pachů. Tyto užité funkce vůči vnějším vlivům jsou podstatné při používání i výběru záclonovin a rozhodně by zasluhovaly větší míru pozornosti.

## 1.2 Druhy záclonovin

Podle použité výrobní technologie se záclonoviny rozlišují na [2]:

- tkané záclonoviny,
- pletené záclonoviny,
- bobinové záclonoviny,
- žakárové záclonoviny.

Tkané záclonoviny se vyrábějí na tkacích strojích vzájemným provázáním osnovních a útkových nití. V plátnové vazbě se jako záclonovina využívá organza, voál nebo etamín. Na některých tkaných záclonovinách se vytváří transparentní místa s tzv. vypalovaným vzorem nebo se potiskují. Dále je hojně využívána perlinková vazba, u které se osnovní nitě kříží mezi sebou. Takto je zajištěna stabilita nití u řídce dostavené tkané záclonoviny.

Nejčastěji se záclonoviny vyrábí na osnovních pletacích strojích, vzájemným proplétáním osnovních nití. Při pletení se může použít i více kladecích přístrojů, které umožňují variabilní vzorování. Podle použitého strojního zařízení se rozlišují rašlové nebo galonové záclonoviny. Základní záclonovina s jemnými čtverečky se nazývá podle své vazby markizet.

Speciální bobinové stroje umožňují obtáčením a křížením dvou nebo tří soustav nití vytvářet bobinové záclonoviny, nazývané taktéž tylové záclony. Charakteristickým znakem jsou oka ve tvaru šestiúhelníku.

Žakárové záclonoviny jsou typické svým velkoplošným, složitým vzorem. Mohou být tkané i pletené a stroje musí být vybaveny žakárovým ústrojím.

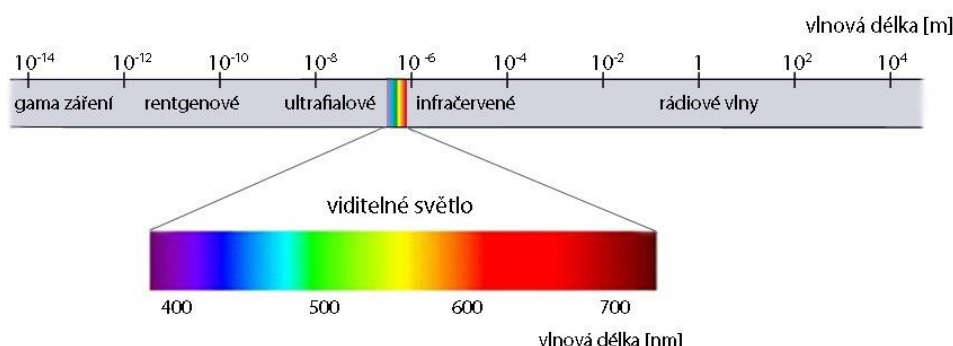
Již název této práce naznačuje její orientaci především na možnosti hodnocení procházejícího světla záclonovinou. Světlo pochopitelně částečně zadržují i dekorační záclonové textile. Proto bude v následující kapitole popsána fyzikální podstata světla a možnosti měření intenzity světla. Pro experiment budou použity vzorky záclonovin, které jsou nejběžněji využívány k dekoraci oken v reálném životě. Převážně se jedná o pletené osnovní záclonoviny, bílé barvy a rozdílné vazební struktury. Předpokladem je, že hlavním faktorem ovlivňujícím prostup světla bude struktura plošné textile, čemuž se dále věnuje kapitola 3.

## 2. SVĚTLO

Experimentální část zde referované diplomové práce je orientována na hodnocení transmitance světla dekorační záclonovou textilií. Z tohoto důvodu je tato kapitola věnována základním poznatkům o jevu světla.

Světlo ovlivňuje přímo i nepřímo většinu živých forem na Zemi. Je součástí širokého spektrálního intervalu elektromagnetických vln. Přibližný rozsah elektromagnetického záření je znázorněn na zjednodušeném obrázku 1, přičemž konce spektra nemají žádnou principiální horní ani spodní hranici a jsou otevřené. Mezi krátkovlnné záření o vlnové délce  $\lambda$  menší než 0,001 nm se řadí gama záření a na opačném konci spektra jsou znázorněny i několik kilometrů dlouhé rádiové vlny [1].

Světlo je vnímáno teprve tehdy, když vnikne do oka a podráždí zrakové receptory (tyčinky a čípky). Rozumí se jím tedy jen ta oblast vlnových délek, kterou je schopno vnímat lidské oko. Z tohoto důvodu se pojmem světlo označuje viditelné světlo, které se přibližně nachází ve spektrální oblasti od 400 nm do 700 nm. Leží mezi vlnovými délkami ultrafialového a infračerveného záření.



Obr. 1 Spektrum elektromagnetického záření

Studiem světla, jeho vznikem, šířením a interakcí s různým prostředím se zabývá vědní obor optika. Přistupuje se k ní z několika různých hledisek. Geometrická optika je založena na představě světelných paprsků řídících se zákonem lomu a odrazu. Další přístup se opírá o kvantové představy, podle kterých je světlo tok elementárních částic nazývaných fotony. Neméně významná vlnová optika zkoumá otázky související se vznikem, podstatou i šířením světla, které popisuje pomocí elektromagnetických vln [1].

## 2.1 Interakce světla s prostředím

Elektromagnetické vlnění obecně nevyžaduje ke svému šíření žádné hmotné (optické) prostředí, a tím se odlišuje od mechanického vlnění. Speciálním případem je šíření světla ve vakuu. Rychlost světla ve vzduchoprázdnu odpovídá  $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jedná se o maximální rychlost, kterou se může pohybovat. V látkovém prostředí je rychlost světla vždy menší. Světlo šířící se určitým prostředím je tedy ovlivňováno vlastnostmi tohoto prostředí a dochází ke vzájemné interakci. Podle vlastností je možné optické prostředí roztrždit do několika skupin [3] [4]:

- **Homogenní a nehomogenní prostředí.**

Homogenní prostředí je stejnorodé. To znamená, že v každém bodě má stejné optické vlastnosti. Opakem je nestejnorodé prostředí, tedy nehomogenní.

- **Izotropní a anizotropní prostředí.**

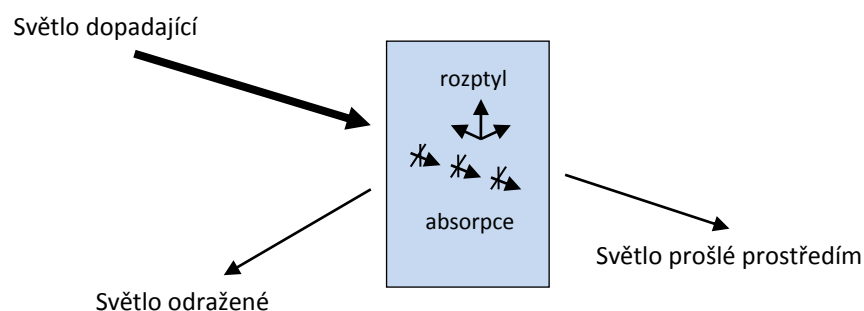
Izotropní látky mají vlastnosti nezávislé na směru šíření světla, ve všech směrech jsou stejné. Anizotropní látky se projevují v různých směrech různými vlastnostmi.

- **Průhledné, průsvitné, neprůhledné prostředí.**

U průhledného prostředí nedochází k rozptylu světla a absorpce vede k útlumu intenzity prošlého záření. Průhledná prostředí mohou být čirá nebo barevná (propouští světla určitých barev). Průsvitným prostředím světlo částečně prochází, částečně se rozptyluje a absorbuje. Příkladem může být matné sklo, tenký papír i textilie. Na rozhraní neprůhledného prostředí se světlo odráží nebo se v prostředí silně pohlcuje.

Petr Malý ve své publikaci [3] uvádí, že při dopadu na látkové prostředí je světlo částečně odraženo, šíří se v látce a poté prochází dál. Když prostupuje prostředím, obecně může dojít k jeho rozptylu a zeslabování absorpcí. Tento průběh popisuje i doktorka Viková ve svých přednáškách [5] pro konkrétní případ průchodu světla světlopropustnými materiály, mezi něž patří i textilie. Při prostupu světla prostředím prochází pouze jeho část nezměněná v původním směru, zbytek se může tedy rozptýlit nebo

absorbovat. Tyto interakce světla s materiálovým prostředím budou uvažovány v rámci řešení této práce. Obecně jsou schematicky znázorněny na obrázku 2.



Obr. 2 Schéma interakcí světla s prostředím

Pro pochopení bližších souvislostí je nutné alespoň stručně shrnout proces prostupu světla látkovým prostředím. Při dopadu světla na rozhraní dvou prostředí dochází k **odrazu**. Tento jev se řídí známým zákonem odrazu: úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Poměr mezi množstvím odraženého světla od objektu k celkovému množství dopadajícího světla se označuje jako **reflektance**. V krajním případě může dojít k úplnému odrazu (dokonale lesklá tělesa) a materiálem dále neprostupuje žádné světlo. Pokud světelný paprsek projde z jednoho prostředí do druhého tak říkáme, že se láme (pokud nedopadá kolmo k rozhraní). Pro lom světla platí tzv. Snellův zákon, který udává, že poměr sinu úhlu dopadu a sinu úhlu lomu je roven podílu rychlostí, kterými se světlo šíří v prvním a druhém prostředí. Pro tuto rychlost světla v konkrétním prostředí je dána konstantní veličina. Nazývá se index lomu a udává poměr rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí [6].

**Absorpce** zpravidla vede k útlumu procházejícího světla. Z mikroskopického hlediska světelná vlna při šíření látkou může předávat svůj výkon částicím (oscilátorům), což vede k zeslabování její intenzity. Míru pohlcení světla v látce charakterizuje **absorbance**. Řídí se Lambert-Beerovým absorpčním zákonem [3]:

$$I = I_0 \exp(-az), \quad (1)$$

kde  $I$  je intenzita po průchodu vrstvou o tloušťce  $z$ ,  $I_0$  je intenzita světla dopadajícího na vrstvu s absorpčním koeficient  $a$ , který vyjadřuje absorpční vlastnosti daného materiálu. Z rovnice (1) vyplývá, že světlo je při šíření tlumeno exponenciálně.

Při prostupu látkovým prostředím dochází také k **rozptylu**, který podobně jako při absorpci vede k zeslabování intenzity světla. Rozumí se jím jev, při němž světlo mění svůj směr při průchodu látkou. Příkladem může být rozptyl světla v atmosféře způsobující vjem modré oblohy, kde světlo kratších vlnových délek je rozptylováno účinněji než světlo dlouhovlnné [3].

Konečné množství prošlého světla vzorkem lze vyjádřit pomocí činitele prostupu tzv. **transmitance**. Ta se udává většinou jako podíl světelných výkonů (světelných toků) prošlého a dopadajícího záření. Záměrem této práce je zjistit intenzitu prostoupeného světla dekorační textilií. Transmitanci  $T$  lze vyjádřit jako poměr intenzity prošlého světla  $I$  a intenzity světla, které do vzorku vstoupilo  $I_0$  dle:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (2)$$

kde  $T [-]$  je transmitance neboli propustnost a nabývá hodnot od 0 do 1. Pro přehlednost bývá někdy udávána také v procentech. Pokud  $T = 0$  pak prostředí nepropouští světlo a pro  $T = 1$  prostředím prochází všechno světlo.

Lze také definovat odvozenou bezrozměrnou veličinu **absorbance**  $A [-]$  vztahem:

$$A = -\log T = \log\left(\frac{1}{T}\right). \quad (3)$$

Dále také platí inverzní vztah:

$$T = 10^{-A}. \quad (4)$$

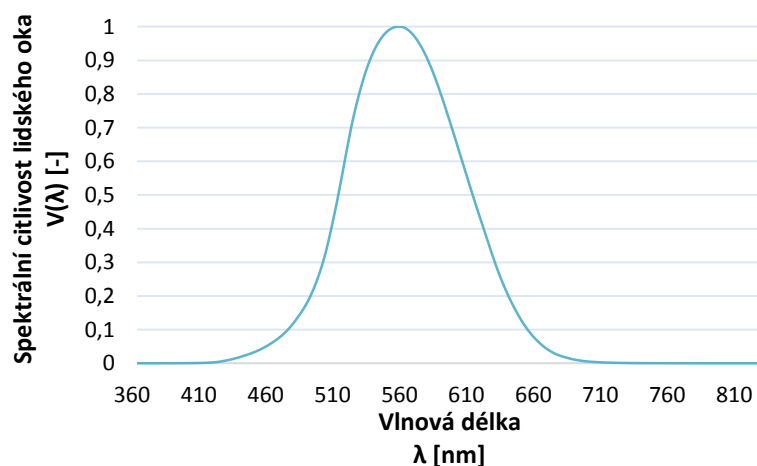
Z výše uvedeného vyplývá, že pro řešení této diplomové práce bude důležitý rozptyl světla i absorpce světla, mající zásadní vliv na konečnou zjišťovanou hodnotu transmitance. Předpokládá se, že množství prošlého světla plošnou textilií obecně závisí na strukturních charakteristikách zkoumaných vzorků.

## 2.2 Měření světla

Světlo je formou energie, a tudíž jej lze kvantitativně měřit. Radiometrie je jedním z přístupů měření světla a popisuje energii přenášenou zářením. Není spektrálně omezena a je obecnější než druhý způsob – fotometrie. Ta je zaměřena na viditelné elektromagnetické záření. Jejím smyslem je kvantifikovat světelné veličiny tak, jak je vnímá lidské oko. V těchto fotometrických jednotkách je tedy citlivost lidského oka zohledněna (neměří, co oko nevidí). Literatura [4], [7] i norma ČSN 360010 [8] udávají pro hodnocení světla zejména tyto základní fotometrické světelné veličiny:

- **Světelný tok**

Jednotkou této veličiny je lumen [lm] a má kvantitativní charakter. Určuje množství světla, čili celkovou světelnou energii (zářivý tok) přepočítanou na citlivost standardního oka pro denní vidění. Tato citlivost je vyjádřena funkcí spektrální citlivosti oka  $V(\lambda)$ , která je tabelována a znázorněna na obrázku 3. Její maximum pro fotopické (denní) vidění odpovídá vlnové délce  $\lambda = 555$  nm (žlutozelená barva), na kterou je lidské oko nejcitlivější.



Obr. 3 Spektrální citlivost lidského oka

- **Svítilivost**

Jednotkou svítivosti je lumen na steradián [ $\text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$ ] nazývaný také kandela [cd], která patří mezi základní jednotky soustavy SI a vyjadřuje kvalitativní vlastnosti světla. Kandela je, zjednodušeně řečeno, síla světla v určitém směru od zdroje. Přesněji se jedná o světelný tok v konkrétním prostorovém úhlu - steradiánu.

- **Osvětlenost, intenzita osvětlení (světla)**

Praktickou veličinou je osvětlenost. Definuje se jako celkový světelný výkon dopadající na jednotku plochy. Popisuje tedy kvantitativní charakter světla a jednotkou je lux [lx]. Jeden lux odpovídá jednomu lumeny na metr čtverečný a určuje tedy intenzitu dopadajícího světla.

Pro měření vlastností světla lze využívat různé vizuální metody, které jsou závislé na individuálních vlastnostech zraku pozorovatele a jiných subjektivních faktorech. V experimentální části této práce však bude nutné objektivně vyjádřit světlo-propustné vlastnosti textilního materiálu, což je možné pouze fyzikálními metodami využívající fyzikální čidla. V případě použití objektivních fotosenzorů je světelné záření převedeno na elektrickou veličinu, která je následně vyhodnocena.

Jak již bylo zmíněno, smyslem experimentu je určit intenzitu prošlého světla textilním materiálem a posoudit tak světelnou prostupnost (transmitanci). Intenzita světla je v publikaci [3] definována jako časová střední hodnota hustoty výkonu přeneseného světelnou vlnou, dopadající na jednotkovou plochu kolmou na směr šíření vln. Na základě těchto skutečností byly dále vytipovány přístroje umožňující hodnocení světla:

- **Luxmetr**

K hodnocení osvětlenosti se využívá přístroj nazývaný luxmetr. Jeho součástí je citlivá kalibrovaná fotodioda, která převede tok záření (radiometrická veličina) na elektrický signál a ten se přepočítá na intenzitu osvětlení v luxech [lx], což odpovídá fotometrické veličině. Fotodioda bývá připojena k vyhodnocovacímu přístroji kabelem. Při měření je však nutné počítat s existencí rušivých a omezujících faktorů, čemuž se podrobněji věnuje podkapitola 5.4.3 v experimentální části této práce.

- **Pyranometr**

Obvykle se používá pro měření intenzity záření např. pro meteorologické stanice. Určuje množství záření dopadajícího na jednotku plochy, jednotkou je  $[W \cdot m^{-2}]$ . Pracuje na principu termoelektrického jevu. Detektor je složen

z termočlánků připojených k ploškám s různou hodnotou pohltivosti záření (černá a bílá plocha). Světlo tak ohřívá plošky nestejnoměrně a vzniká teplotní difference. Tento rozdíl teplot vyvolává termoelektrické napětí, které je po zesílení přímo úměrné intenzitě záření [14].

- **Spektrofotometr**

Spektrofotometrie je optická analytická metoda, která umožňuje stanovit vlastnosti vzorku, na základě pohlcování světla v různých vlnových délkách elektromagnetického záření. Přístroj zaznamenávající absorpci záření se nazývá spektrofotometr a umožňuje vlnovou délku libovolně nastavit, nebo měřit část absorpčního spektra v určitém úseku vlnových délek (v ultrafialové, viditelné a částečně i infračervené oblasti). Principem je detekce záření, které vychází ze zdroje přes monochromátor a skrze vzorek k detektoru. Mezi hlavní veličiny spektrofotometrie patří molární absorpční koeficient, absorbance a také transmitance [15]. Klasická spektrofotometrie má však svá omezení zejména v malé velikosti hodnocených vzorků. Mimo to je pořízení některého komerčního spektrofotometru nákladnou záležitostí.

## **2.3 Zdroje světla**

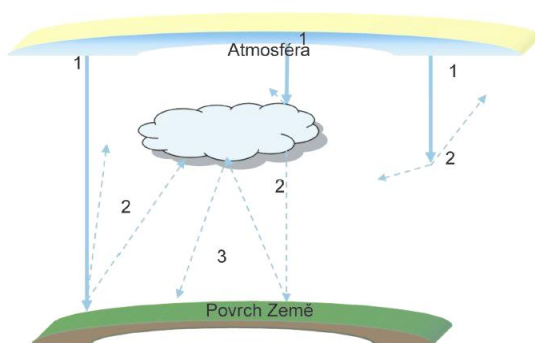
Podle svého původu se rozlišují dva základní typy zdrojů světla - přírodní a umělé. Přírodním zdrojem je především slunce, dalším příkladem může být měsíc, blesk nebo oheň vzniklý chemickou reakcí. Umělými zdroji jsou různá technická zařízení vytvořená člověkem [4]. Při realizaci vlastního experimentu bude snahou simulovat přirozené denní světlo pomocí definovaného umělého zdroje. Proto je dále uvedena podstata přirozeného denního světla a možnosti umělého osvětlování.

### **2.3.1 Přírodní zdroj světla - denní světlo**

Primárním zdrojem denního světla je Slunce, přičemž na zemský povrch pronikne jen část vysílaného záření. Při průchodu několika kilometrovou atmosférou se energetická účinnost slunečního záření zeslabuje. Je pohlcováno plyny v atmosféře a také se

rozptyluje na molekulách vodních par i na prachových částicích. Sluneční záření dopadající na zemský povrch se energeticky vzato přibližně skládá z poloviny viditelného záření, ze 45 % tepelného záření a 5-7 % ultrafialového záření.

Globální sluneční záření sestává z přímého (kolimovaného) a oblohového (difúzního) světla. Přímé sluneční záření je ta část, která dopadne jako soustředěný svazek na zemský povrch po selektivním zeslabení v atmosféře. Oblohové světlo je rozptýlené atmosférou a jejími nečistotami. K difúznímu záření se počítá i odražená část od okolních ploch. Na obrázku 4 je tento průstup slunečního záření atmosférou schematicky znázorněn.



Obr. 4 Průchod slunečního záření atmosférou během dne [9]

1. kolimované sluneční záření dopadající přímo na zemský povrch
2. difúzní sluneční záření po odrazech od překážek (oblaka, atmosféra, povrch země)
3. vícenásobný odraz difúzního záření

Umělé světlo se liší od toho slunečního světla především svým spektrálním neboli barevným rozložením. Během dne a podle zatažení oblohy je barva denního světla značně proměnlivá. Příklady teplot chromatičnosti pro různé stavy počasí jsou uvedeny v následující tabulce 1.

Tab. 1 Teplota chromatičnosti světla pro různé stavy počasí [4], [9]

| Počasí                  | Teplota chromatičnosti [K] |
|-------------------------|----------------------------|
| slunce při východu      | 2 800                      |
| jasná obloha            | 6 500                      |
| slunce v létě v poledne | 5 500                      |
| lehce zamračená obloha  | 7 000                      |
| silně zamračená obloha  | 10 000                     |
| slunce při západu       | 3 750                      |

Z tabulky je zřejmé, že čím je teplota chromatičnosti vyšší, tím více se barva blíží k modré (klesá vlnová délka světla) a čím je teplota nižší, tím více se blíží k červené (vlnová délka světla roste).

Dále je problematická i proměnlivost **intenzity světla**. Ta kolísá podle zeměpisné šířky, během roku i během dne, v závislosti na oblačnosti a mnoha dalších podmínkách. Denní světlo tedy podléhá neustálým změnám. Průběh intenzity světla během dne a roku pro konkrétní středoevropské podmínky vyplývá z mnohaletého meteorologického pozorování, které je uvedeno například v knize [4] na straně 124. Intenzitu můžeme tedy předvídat jen za určitých předpokladů a pro různé podmínky, viz příklady v tabulce 2.

Tab. 2 Intenzity světla pro různé podmínky [18]

| Podmínky                          | Intenzita [lx] |
|-----------------------------------|----------------|
| Slunce v letním poledni bez mraků | 100 000        |
| Slunce v zimním období bez mraků  | 10 000         |
| Oblačná obloha v létě             | 5 000 – 20 000 |
| Oblačná obloha v zimě             | 1 000 – 2 000  |
| Měsíc v úplňku                    | 0,2            |
| Bezoblačná noc bez měsíce         | 0,000 3        |

### 2.3.2 Umělé zdroje světla - osvětlování

Tradičním zdrojem světla jsou **žárovky**, které představují teplotní zdroje. Světlo je emitováno wolframovým vláknem stočeným do spirály, které je uchyceno ve skleněné nebo křemenné baňce naplněné inertním plynem, nejčastěji argonem či dusíkem. Halogenové žárovky jsou plněny parami halogenů. Při průchodu elektrického proudu vláknem dochází k jeho zahřívání na vysoké teploty. Z tohoto principu vyplývá, že odváděné záření zahrnuje viditelnou (5%) i infračervenou oblast (95%) spektra.

Za výbojové zdroje jsou považovány **výbojky** a **zářivky**. Jsou založeny na principu elektrických výbojů v plynech nebo parách kovů, které tvoří náplň trubice. Elektrická energie se mění na kinetickou a při srážkách s atomy plynů vzniká optické záření. Podle tlaku plynové náplně se rozeznávají vysokotlaké a nízkotlaké výbojky. V případě zářivek jsou trubice naplněny na nízký tlak parami rtuti a stěny trubice jsou

opatřeny látkou zvanou luminofor. Ta transformuje vzniklé UV záření na viditelné světlo [9].

Elektroluminiscenční diody neboli **světelné diody**, zkratka LED (z anglického Light Emitting Diode) v posledním desetiletí zaznamenávají dynamický rozvoj se vzrůstající mírou použití ve všech oblastech osvětlovací techniky. Jsou založeny na jiném fyzikálním principu než žárovky nebo výbojky. Světelné záření je generováno při průchodu proudu polovodičovým přechodem (PN přechod), který dokáže vyzařovat jen velmi úzké spektrum. Diody bílé barvy však září v celé viditelné oblasti spektra. Více informací lze nalézt v odborném článku z časopisu Světlo dle [16].

Světelné zdroje se popisují těmito základní parametry [9]:

- **Životnost** udává výdrž světelného zdroje v hodinách.
- **Světelný tok** již zmíněný v kapitole 2.2.
- **Měrný výkon** definovaný jako vztah mezi produkovaným světelným tokem a elektrickým příkonem světelného zdroje v jednotkách  $[\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}]$ .
- **Teplota chromatičnosti** se používá k popisu barevných vlastností světla. Charakterizuje spektrum bílého světla a různé světelné zdroje mají rozdílné barevné teploty měřené v kelvinech [K]. Pokud je teplota chromatičnosti menší než 3300 K jedná se o barvu světla teple bílou, barevný tón v intervalu 3300 - 5000 K je označován jako neutrálně bílý a hodnoty nad 5000 K jsou barvami denního světla.
- **Index podání barev** slouží k hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne osvětlením. Značí se  $R_a$ , nabývá hodnot od 0 do 100. Při hodnotě  $R_a = 0$  není možné rozeznat barvy, naproti tomu hodnota  $R_a = 100$  umožňuje rozeznat přirozené podání barev.

### 3. STRUKTURNÍ VLASTNOSTI PLOŠNÝCH TEXTILIÍ

Specifické funkce textilních materiálů jsou obecně zajištěny strukturou. Struktura tedy dodává textiliím jejich konkrétní vlastnosti, které jsou důležité zejména pro uživatele. Tato kapitola popisuje vybrané parametry, které mohou mít vliv na prostupnost záclonových textilií pro světlo a budou předmětem studie vzájemných závislostí. Veškeré parametry spolu více či méně souvisí a ovlivňují celkové vlastnosti textilie. Proto je nutné se vybraným veličinám věnovat nejen z individuálního hlediska, ale hlavně z hlediska celkového působení na výsledné vlastnosti, které mohou mít souvislost s prostupem světla.

Světelnou propustnost lze zařadit do transportních vlastností textilií. Radko Kovář ve své publikaci [17] uvádí, že: „transportní vlastnosti závisí na vlastnostech a morfologii vláken a příze a z hlediska struktury plošné textilie především na pórovitosti. Souvisí také se zakrytím a zaplněním.“ Na základě tohoto tvrzení jsou dále popsány nejdůležitější vybrané parametry.

#### 3.1. Zakrytí plošné textilie

Zakrytí je jednou z častých forem popisu strukturních vlastností plošných textilií. Jde o bezrozměrnou veličinu vyjadřující podíl mezi plochou zakrytou nitěmi  $S_n$  a celkovou plochou textilie  $S_c$  (viz následující vzorec (5)).

Teoretické výpočty vycházejí z geometrických parametrů nití a z jednoduchých geometrických modelů. Pro tkaninu lze obecné zakrytí jednoduše určit pro obě soustavy nití se známými parametry dostavy a průměrů nití. Dále existuje přibližný vztah, dle Waltze hodnotící stupeň zakrytí, který souvisí se setkatelností. Peirece definoval tzv. faktor zakrytí zahrnující ve svém výpočtu délkovou hmotnost. Pro pleteniny je situace značně složitější. Jedním z důvodů je velká variabilita vazeb pletenin, z toho také plynoucí tvarová rozmanitost mezinitných pórů. Tímto je platnost jednotlivých vztahů omezená [17]. Z uvedeného vyplývá, že nelze uplatnit jeden obecný model na všechny typy textilií. Přijetím zjednodušujících předpokladů jsou teoretické výpočty, především osnovních pletenin, zatím velmi nedokonalé.

### 3.2 Porosita plošné textilie

Se zakrytím velmi úzce souvisí i porosita (nebo také pórovitost, poróza), kde nezakrytá plocha představuje vzdušný prostor a vytváří póry. Obecně lze považovat všechny prostory uvnitř textilie, které jsou za běžných podmínek vyplněny vzduchem, za póry. Ovšem udává pouze zastoupení vzduch v textili, přičemž neuvažuje charakter pórů (množství, tvar, distribuci).

Plošnou porositu je možno chápat jako doplněk zakrytí. Vyjadřuje se buď jako poměrné číslo z intervalu  $<0; 1>$ , nebo procentuálně. Obecné vztahy jsou dány:

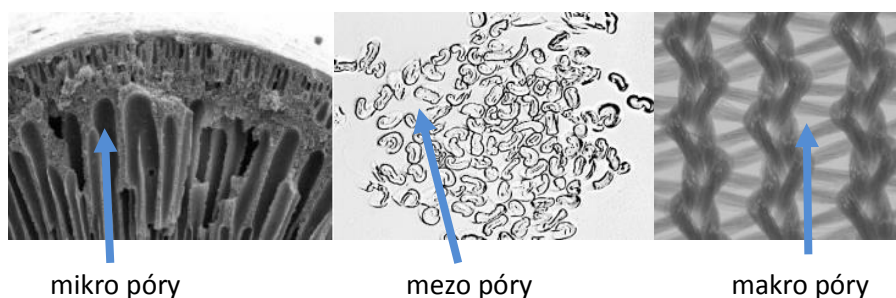
$$\psi = \frac{Sp}{Sc} = 1 - \frac{Sn}{Sc} = 1 - Zc, \quad (5)$$

kde  $\psi$  [-] je symbol označující porositu,  $Sp$  [mm<sup>2</sup>] značí plochu pórů,  $Sc$  [mm<sup>2</sup>] celkovou plochu měřené plošné textilie,  $Sn$  [mm<sup>2</sup>] plocha zakrytá nitěmi,  $Zc$  [-] celkové zakrytí. Je zřejmé, že součet plochy pórů a nití je roven jedné. V případě procentuálního vyjádření 100%.

#### Typy pórů

V plošné textili se obvykle rozlišují tři typy pórů dle [19]:

- póry uvnitř vláken (mikro póry),
- póry uvnitř nitě vytvořené mezi vlákny (mezivláknenné póry – mezo póry),
- póry vytvořené mezi nitěmi (mezinitné póry – makro póry).



Obr. 5 Ukázka typů pórů (upraveno dle [19])

Jak je zřejmé z obrázku 5, póry uvnitř vláken neprocházejí naskrz textilií a jsou zanedbatelné svou velikostí. Dále jsou na snímku příčného řezu bavlněnou přízí znázorněny mezo póry. Existuje mnoho rozdílných teorií o vlivu těchto mezivláknenných

pórů na vlastnosti textilií. Některé potvrzují jejich zanedbatelnost, jiné poukazují na jejich důležitost například při hustě dostavené tkanině. V této práci jsou předmětem zkoumání záclonoviny, jakožto textilní materiály rozmanité struktury, u kterých jsou především mezinitné póry dominantní svou plošnou velikostí.

Součástí experimentu této diplomové práce bude i postup při určení distribuce velikosti jednotlivých pórů. Předpokladem je, že právě velikost a různá distribuce pórů může mít také významný vliv na prostupnost světla záclonovinou.

### **Metody zjišťování porosity**

Pórovitost je možné stanovit řadou teoretických postupů (geometrické modely) i různými experimentálními metodami (prosévání definované velikosti částic textilií, bublinková metoda, ...). Každá z metod s sebou opět přináší určité zjednodušující předpoklady, které způsobují mírné difference ve výsledných hodnotách. S ohledem na složitost struktury záclonoviny a rozmanitosti provázání nití, lze potřebné informace o plošné porositě získat nejvhodněji přímou metodou pomocí 2D analýzy obrazu. Díky obrazové analýze lze získat hodnotu porosity pouze z obrazu záclonoviny bez nutnosti složitého výpočtu a hodnocení dalších vlastností záclonoviny. Tato metoda umožňuje také jednoduše definovat různé velikosti a distribuci pórů. Je nutné zvolit vhodné nasnímání zkoumaných vzorků a zaměřit se na vlastní možnosti analýzy obrazu ve vývojovém prostředí Matlab. Podrobnější popis a postup při obrazové analýze je součástí experimentální části v kapitole 5.3.

Bylo by nad rámec do této práce zahrnout i individuální vlastnosti vláken a přízí. Je předpokládáno, že i parametr jemnosti nití, materiálového složení, průměru nití a dalších jednotlivých parametrů délkové textilie, budou mít na prostupu světla také svůj podíl. Ovšem tyto parametry spolu více méně vzájemně souvisí a působí tedy na vlastnosti plošné textilie jako celek. Porosita má také vliv na mnoho jiných výsledných vlastností textilií (umožňuje transport vlhkosti, vodních par i vzduchu). Z těchto důvodů je předpokládáno, že plošná porosita bude mít zásadní vliv i na prostupnost světelných paprsků. Jako reprezentant celkových strukturních parametrů záclonovin je proto v této práci zvolena plošná porosita. Doplňující informace o struktuře poskytne distribuce velikosti pórů v záclonovině.

#### 4. STUDIE VE ZKOUMANÉ OBLASTI DEKORAČNÍCH ZÁCLONOVIN

Poznatky z hodnocení světlo-propustných vlastností textilií se podařilo najít v některých zahraničních odborných publikacích, kterým je věnována tato kapitola. V prováděných studiích jsou také pozorovány vzájemné vztahy mezi strukturními parametry textilií a jejich světelnou propustností i odrazivostí.

Joanna Szmyt a Zbigniew Mikolajczyk [10] se ve svých pokusech zabývali výzkumem a identifikací světelných bariérových vlastností dekoračních pletenin. V roce 2010 v článku Propustnost světla dekorační pleteninou ve vztahu s faktorem zakrytí potvrdili významný vztah mezi zakrytím a množstvím procházejícího světla skrze záclonovinu. Zakrytí bylo určeno na základě strukturního modelu pleteniny i pomocí obrazové analýzy. Pro měření prostupu světla přes dekorační pleteninu byla použita instrumentální metoda využívající zařízení simulující reálné podmínky světelného prostupu. Výsledky měření poukázaly na vysokou míru korelace mezi intenzitou prošlého světla a parametrem zakrytí. Se zvyšujícím se zakrytím pleteniny se množství procházejícího světla snižuje a absorpce světla je větší.

V roce 2013 byl publikován, výše zmíněnými autory, další článek [11]. Z obsahu je zřejmé vylepšení předchozí výzkumné metody pro určování světelných bariérových vlastností textilií. Hlavní myšlenka se vztahuje opět k přiblížení reálných podmínek. Přístroj je konstruován do tvaru tunelu. Skládá se ze světelného zdroje tvořeného diodovým polem. Na povrchu tohoto pole jsou 4 senzory měřící reflektované světlo. Ve vzdálenosti 20 cm od zdroje je umístěn držák vzorku o velikosti  $14 \times 14$  cm. Dalších 20 cm za textilním vzorkem je umístěno 16 senzorů stanovujících intenzitu procházejícího světla. Pro záznam obrazu je použit digitální fotoaparát, který se umístí místo výměnné zadní části tunelu. Tato nová metoda s navrženým měřicím přístrojem byla v roce 2012 opatřena patentem. Experiment v tomto článku je realizován na třiceti dekorativních žakárových pleteninách. Hodnocenými parametry je světelná propustnost, odrazivost a struktura textilie s důrazem na faktor zakrytí. Měření prošlého a odraženého světla bylo také provedeno při čtyřech úrovních intenzity světla odpovídající rozdílné intenzitě během dne v měsíci červnu pro středoevropskou

zeměpisnou polohu. Dále výzkum potvrzuje existující vztah mezi intenzitou prošlého světla (či odraženého světla) v závislosti na strukturních parametrech (zejména vazba mající vliv na zakrytí a pórovitost) dekorační pleteniny. Výsledky potvrzují, že s nárůstem zakrytí je procházející světlo utlumeno a hodnota světla odraženého od povrchu textilie se zvyšuje.

Další článek [12] prezentuje jiný experimentální přístup a výsledky měření vlastností plošné textilie. Je zde zkoumána světelná prostupnost a odrazivost v závislosti na úhlových změnách reprezentujících různé podmínky dopadu slunečního záření. Autoři navrhli aparát pro měření odrazu a prostupu přímého světelného paprsku pro malé textilní vzorky ( $102 \times 102$  mm). Součástí přístroje je zdroj, který emituje přímé záření a je umístěn 1 m od textilního vzorku. Textilní vzorek je umístěn uprostřed kruhového držáku. Měření odraženého a prošlého záření zajišťují dvě křemíkové fotodiody umístěné na kontrolních ramenech, tak aby snímaly střední část vzorku. Zatímco zdroj světla zůstává ve stejné poloze, lze pohybovat s držákem vzorku a ramenem senzorů. Díky této polohovatelnosti lze modelovat celou řadu úhlů včetně kolmého dopadu světla. Byly testovány tři vzorky tkanin a tři pletenin s rozdílnými vlastnostmi a strukturou. Tkaniny i pleteniny byly rozděleny dle optického hlediska na transparentní, téměř neprůhledné a neprůhledné, dále také na matné a lesklé textilie. Vzorky se lišily materiálovým složením, parametrem zákrutu příze, jemností, plošnou hmotností i zakrytím (které však nebylo určeno u pletenin). Výstupy jsou trojrozměrné grafy, ve kterých je znázorněna výsledná intenzita propustnosti (odrazivosti) konkrétního vzorku v závislosti na různých úhlech dopadu. V článku jsou uvedeny výsledky, které opět poukázaly na závislost mezi strukturními a optickými vlastnostmi textilie. Průhledné tkaniny vykazují vysokou propustnost, zatímco neprůhledné husté struktury mají nízké propustnosti. Podobné závěry byly prokázány i u pletenin. Zjištěná odrazivost dosahovala nízké hodnoty (1-2,3 %) pro všechny zkoumané tkaniny i pleteniny, přičemž vyšší hodnoty odrazivosti z uvedeného intervalu vykazují vzorky s lesklým vzhledem.

Studie uvedená v článku [13] byla zaměřena na průhled přes polyamidovou tkaninu v plátňové vazbě. Mezi hodnocené vlivy patřila úroveň osvětlení sledovaného objektu za textilií, faktor zakrytí tkanin, vzdálenost mezi textilií a sledovaným objektem a úroveň osvětlení textilie. Autoři zde využili optotypové tabule s písmenem E, před kterou byla umístěna testovaná tkanina, tak aby vše bylo v jedné rovině s okem pozorovatele. Průhled přes tkaninu byl určen na základě vztahu mezi vypočtenou rozlišovací schopností pozorovatele (odvozené od zrakové ostrosti a vzdálenosti pozorování) a sledovaných (výše zmíněných) vlivů. Jedním z výsledných poznatků je fakt, že s rostoucí intenzitou osvětlení sledovaného objektu se průhled přes tkaninu zlepšuje (rozlišovací schopnost pozorovatele je nižší). Další experiment dokazuje, že vyšší hodnoty zakrytí tkaniny způsobují zhoršení průhledu přes tkaninu, avšak autoři upozorňují na vliv dalších strukturních parametrů (např. chlupatosti). Zvyšování vzdálenosti textilie od pozorovaného objektu také přispívá k mírnému zhoršení průhledu tkaninou. V neposlední řadě je doloženo, že s rostoucí úrovní osvětlení textilie se průhled tkaninou zhoršuje. Tato měření jsou však odvislá od zrakových vlastností pozorovatele, které jsou značně individuální.

Z uvedených experimentů a rozdílných přístupů hodnocení optických vlastností textilií je zřejmá rozmanitost možností měření dle různých hledisek s různými cíli. Mnohdy může být tato problematika značně složitá zejména ve snaze přizpůsobit se reálným podmínkám. Z výše zmíněných experimentů nikdo neuvážil např. vliv řasení, který je samozřejmostí při použití dekoračních záclonovin. Dále je potřebná poměrně velká velikost zkoumaných vzorků s ohledem na vzorování záclonovin. Vztah mezi prostupností světla kolimovaného a difuzního je také nejasný, jelikož ve zmíněných měřicích metodách, byly použity rozdílné světelné zdroje a tento rozdíl mezi kolimovaným a difuzním světlem není blíže popisován.

Tyto články a metody jsou inspirací pro realizaci experimentů této diplomové práce. Navržení vhodné laboratorní metody umožní definovat významnost světlo-propustných vlastností dekoračních záclonových textilií a dále určit možný vliv strukturních parametrů záclonovin na transmitanci světla.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 5. NÁVRH A PŘÍPRAVA EXPERIMENTŮ

Následující text ukazuje směr řešení s popisem úkonů před realizací experimentu. Nejprve jsou specifikovány cíle a účel experimentů diplomové práce. Dále jsou představeny vybrané vzorky textilního materiálu použité v této studii. Následuje také popis postupu obrazové analýzy umožňující určit plošnou porositu záclonovin. Klíčová část je orientována na návrh metodiky laboratorního hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou, na koncept zkonstruování měřicího aparátu, zajištění vhodných podmínek a objasnění přijatých opatření.

#### 5.1 Cíle experimentů diplomové práce

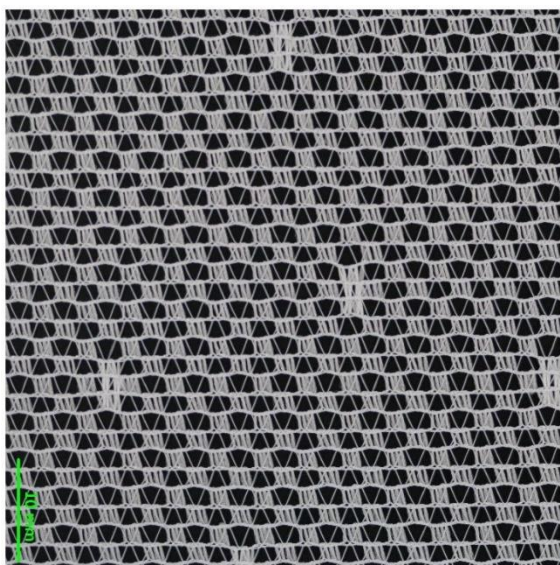
Studie prezentovaná v této diplomové práci se zabývá hodnocením světlo-propustných vlastností záclonovin. Na základě zkoumané problematiky byly určeny tyto hlavní cíle experimentů diplomové práce:

- Navrhnout metodiku stanovení plošné porosity záclonovin pomocí obrazové analýzy.
  - Vyhodnotit plošnou porositu ze snímků záclonovin pořízených dvěma vybranými metodami snímání obrazu (vyhledávačka a fotoaparát).
  - Na základě vzájemného porovnání hodnot plošné porosity a obrazů získaných dvěma metodami snímání, určit výhody a nevýhody obou způsobů snímání vzorků záclonovin.
  - Současně určit distribuci velikosti pórů v záclonovině popřípadě analyzovat další užitečné informace extrahovatelné ze snímků záclonovin.
- Navrhnout metodiku stanovení transmitance světla záclonovinou.
  - Navrhnout objektivní měřicí metodu umožňující opakovatelné laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou.

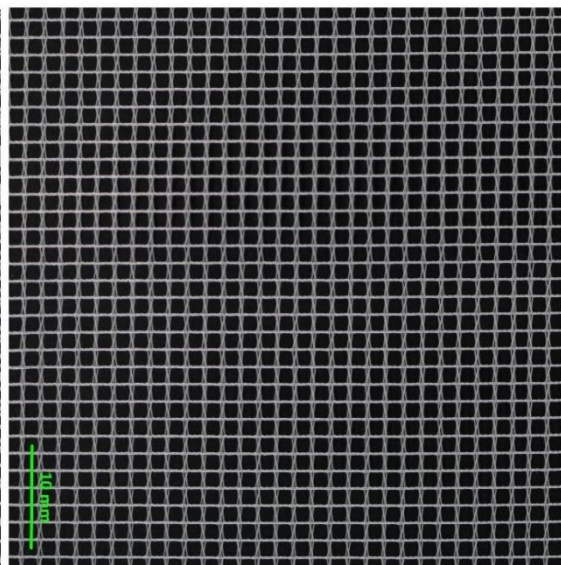
- Zvolit vhodné komponenty pro měření intenzity světla procházejícího záclonovinou, zhotovit zachytný systém záclonovin a sestavit vyhovující sestavu (setup) pro měření.
  - Zajistit laboratorní podmínky měření se snahou přiblížit se reálným podmínkám (např. simulovat průsvit záclonoviny způsobený slunečním zářením při jasné či zatažené obloze, napodobit reflektory projíždějícího automobilu, umožnit měření i v nařaseném stavu záclonovin).
  - Určit transmitanci světla pro vybrané vzorky záclonovin v neřaseném i řaseném stavu pro dva módy světla (kolimované, difúzní).
- Pokusit se přiblížit vzájemné vztahy mezi strukturou dekorační záclonové textilie a její propustností světla. Popsat další významné vzájemné vztahy měřených parametrů.
  - Určit vztah porosity a transmitance světla neřasených vzorků.
  - Určit vztah transmitance kolimovaného a difúzního světla.
  - Určit vztah řasícího poměru a transmitance světla.
  - Určit možné vlivy na velikost poklesu prostoupeného světla.
  - Určit vztah porosity a transmitance řasených vzorků.
  - Aproximovat experimentálně naměřená data transmitance.

## 5.2 Vybrané vzorky pro experiment

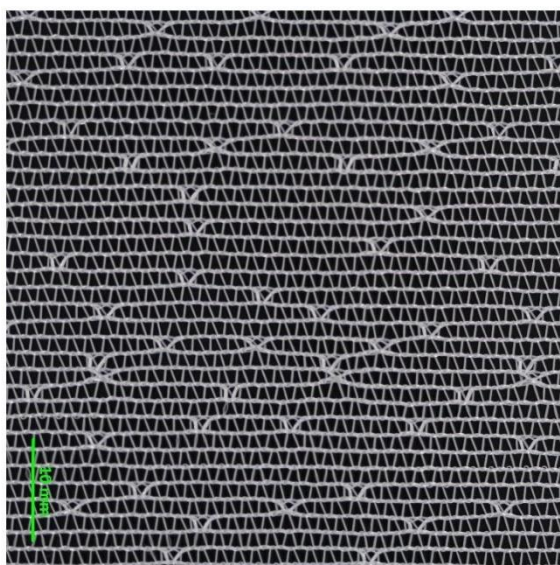
Pro studii předkládané práce byl zvolen soubor osmi vzorků záclonovin. Vzorky byly vybrány s přihlédnutím na běžnost použití při dekoraci oken. Dalším požadavkem pro jejich volbu byla malá střída vzoru a jejich snadná dostupnost na současném trhu. Lze je obecně charakterizovat jako dekorační záclonoviny, bílé barvy a rozdílné struktury. Záměrem také bylo zvolit různorodé vzorky s cílem ověřit navrženou metodiku měření na různých typech záclon. Záclonoviny jsou označovány velkými počátečními písmeny abecedy A až H, přičemž vybrané vzorky A – F jsou osnovní pleteniny a vzorek H je tkaná záclonovina (perlinka). Vzorky A, C, D, F se vyznačují zejména plošným vzorováním drobnými motivy. Naproti tomu vzorky G, B, E, H vykazují poměrně pravidelnou mřížkovou strukturu. Jejich vzhled je patrný na následujícím obrázku 6 .



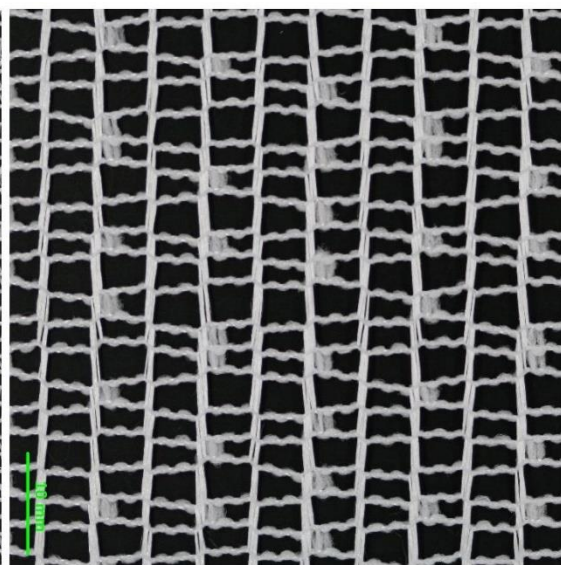
**vzorek A**



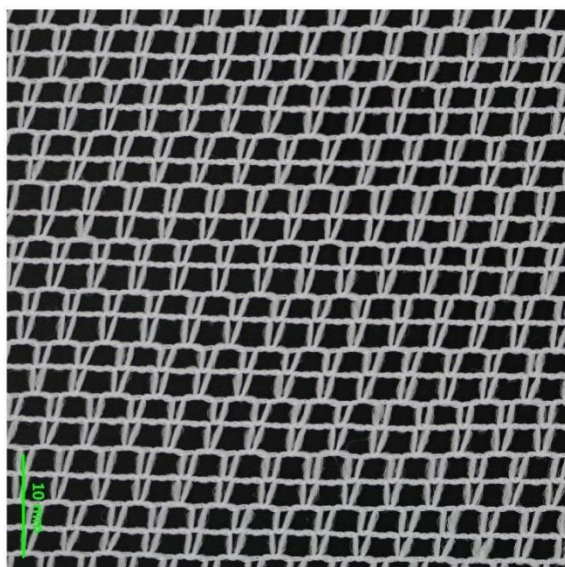
**vzorek B**



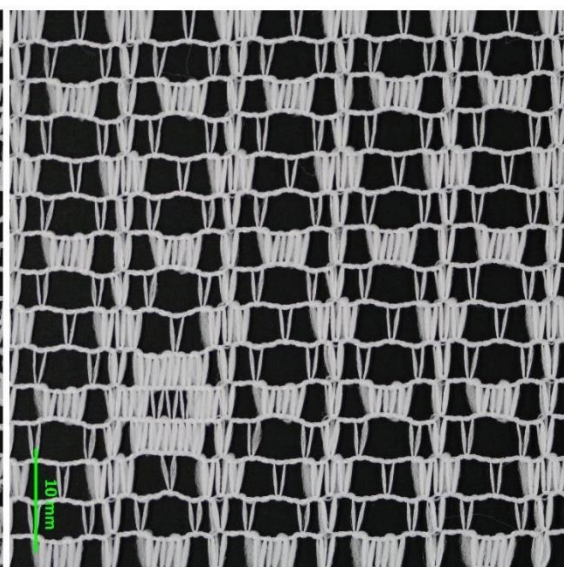
**vzorek C**



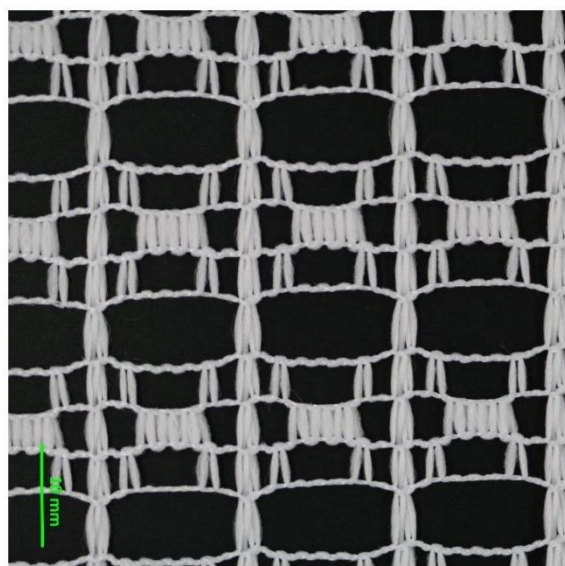
**vzorek D**



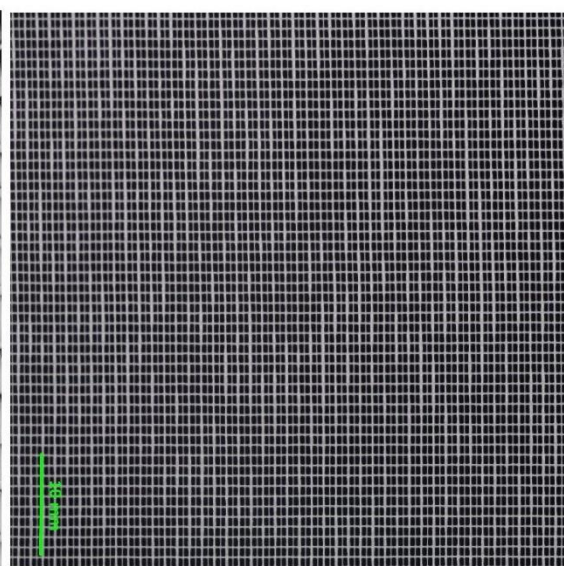
**vzorek E**



**vzorek F**



**vzorek G**



**vzorek H**

*Obr. 6 Vzorky záclonovin A-H  
(zelené měřítko = 10 mm)*

### 5.3 Postup stanovení plošné porosity záclonovin

Vzhledem k tomu, že problematika struktury záclonoviny je sama o sobě poměrně složitá, byl pro tento prvotní výzkum vzájemného vztahu mezi strukturou dekorační záclonové textile a její propustností pro světlo vybrán především parametr plošné porosity (doplňek k plošnému zakrytí). Tato charakteristika poskytne informace o struktuře záclonoviny jako celku a lze u ní předpokládat největší vliv na transmitanci světla. Plošnou porositu je vhodné určit přímou metodou pomocí obrazové analýzy, která umožní poměrně snadno získat potřebná data.

#### 5.3.1 Snímání obrazů vzorků záclonovin

Při digitálním snímání obecně dochází k převodu vstupní spojité veličiny digitalizací obrazu do diskrétního tvaru. Výstupní digitální obraz je složen z konečného počtu elementů, které mají konkrétní polohu a hodnotu. Tyto elementy se nazývají pixely a jsou stavebními kostkami digitálních snímků [22].

Na snímání obrazu má vliv mnoho různých faktorů. Velmi důležité je osvětlení snímaného předmětu, proto je nutné zajistit co možná nejrovnoměrnější nasvícení snímaných vzorků. Ostatní podmínky snímání (vzdálenost, ostření, ...) musí být taktéž konstantní. Pro experiment této diplomové práce byly zvoleny dvě metody snímání obrazu:

- **Vyhledávačka vláken**

Vyhledávačka vláken je výrobkem firmy Laboratory Imaging s.r.o., Praha. Je vybavena kamerou CCD SONY, osvětlovačem Fiber Lite PL-800, objektivem Navitar, a přídatným ovládacím zařízením. Součástí je i software NIS Elements. Textilní materiál se umísťuje na posuvnou skleněnou plochu vyhledávačky vláken. Před snímáním je vhodné vzorky zatížit pomocí kartonové šablony, tak aby nedošlo k jejich posunutí. Z důvodů vzorování záclonovin je nutné nasnímat poměrně velkou plochu pro zachycení střídý a opakování plošného vzoru. Toto zařízení umožňuje tzv. skládání obrazu. Při skládání obrazu se posouvá skleněná plocha se zkoumaným vzorkem a postupně se napojují jednotlivé snímané části.

Zařízení je připojeno k počítači, kde je možné sledovat snímanou oblast a dále pracovat s pořízenými snímky. Výstupem jsou snímky s velkým rozlišením a tedy poměrně detailním zobrazením struktury. Nevýhodou je časová náročnost získávání snímků a i přes použití možnosti skládání obrazu poměrně malá snímaná plocha. Zařízení vyhledávačky vláken je zachyceno na fotografii umístěné v příloze 1.

- **Digitální fotoaparát**

Běžným způsobem snímání digitálního obrazu je prostřednictvím digitálního fotoaparátu. Získávání snímků musí probíhat za konstantně nastavených parametrů. Fotoaparát lze umístit do stativu, což zajistí stálou vzdálenost při fotografování. Protože se jedná o bílé záclonoviny, je nutné snímanou oblast podložit kontrastním pozadím. Poměrně rovnoměrného osvětlení lze dosáhnout s pomocí světelného boxu Fomei, který umožňuje pořízení bez-stínové fotografie. Pro zajištění stálých světelných podmínek v místnosti, musí snímání probíhat také při zastínění oken. V příloze 1 je vyobrazena konkrétní konfigurace pro focení vzorků záclonovin. Fotoaparát umožňuje v krátkém čase nasnímat poměrně velkou plochu a dokáže zachytit rozmanitou strukturu záclonovin i opakující se plošný vzor.

### 5.3.2 Obrazová analýza získaných snímků

Další krok při určování plošné porosity je zaměřen na vlastní možnosti obrazové analýzy ve vývojovém prostředí Matlab. Nejprve je nutné obraz vhodně připravit, aby bylo možné vyhodnocovat informace obsažené v obraze. K tomu slouží nástroje pro **předzpracování obrazu**. Protože jsou vzorky snímány vždy s přiloženým měřítkem, je nutné toto měřítko ze zpracovávaného obrazu odstranit vhodným ořezem. Následuje převod z barevného RGB obrazu na obraz monochromatický, který je definovaný prostřednictvím hodnot odstínů jediné barvy (0 - 255 stupňů šedi). V obrazové analýze představuje bílá barva objekty a černá barva pozadí. Protože jsou nitě záclon bílé (představovaly by objekty) a tmavé pozadí tvoří póry, je nutné transformovat obraz. Předmětem zájmu budou póry a pozadí budou tvořit nitě. Jasová transformace umožní

vytvořit negativ originálního obrazu pomocí definované vyhledávací tabulky (Look Up Table). Hodnotám pixelů originálního obrazu budou tedy přiřazovány opačné hodnoty pixelů např. pixel hodnoty 0 (černá barva) bude transformován na hodnotu 255 (bílá barva). Tímto způsobem budou póry odpovídat světlým barvám - tedy sledovaným objektům a nitě budou tvořit pozadí.

Dalším důležitým krokem je tyto objekty najít a správně **segmentovat**. K tomu slouží tzv. **prahování** negativu šedotónového obrazu, jehož výstupem je binární obraz. Ten je složen pouze ze dvou barev a pixely nabývají dvou hodnot: 0 tvoří černé pozadí (v daném případě nitě záclonoviny) a hodnoty 1 odpovídají bílé barvě (objekty zájmu - tedy póry). Princip spočívá v tom, že bodům s hodnotou jasu větší než určitá hodnota - práh, je přiřazena hodnota 1. Ostatním bodům je pak přiřazena 0. Prahování lze zapsat jako [22]:

$$g(x,y) = 1, \quad \text{jestliže} \quad f(x,y) > P, \quad (6)$$

$$g(x,y) = 0, \quad \text{jestliže} \quad f(x,y) \leq P, \quad (7)$$

kde  $g(x,y)$  je dvojrozměrná funkce výstupního obrazu,  $x$  a  $y$  tvoří souřadnice v rovině a  $g$  je hodnota jasu v tomto bodě,  $f(x,y)$  je obdobně dvojrozměrná funkce vstupního obrazu,  $P$  [-] představuje hodnotu prahu.

Pro snímky záclonoviny, u kterých je předpokládáno přibližně rovnoměrné nasvícení lze použít globální metodu prahování. Byla zvolena tzv. **Otsuova metoda**, která automaticky určí neoptimálnější hodnotu prahu na základě maximalizace mezitřídního rozptylu. To znamená, že jsou vypočítány mezitřídní rozptyly pro všechny třídy v histogramu obrazu a tam kde je rozptyl mezi třídami maximální se nachází optimální prahová hodnota. Tato metoda je v praxi hojně využívanou, rychlou a objektivní metodou prahování. Z takto získaného binárního obrazu lze již snadno určit hodnotu plošné porosity, jakožto podíl plochy pórů (suma všech jedniček v obraze) a celkové plochy binárního obrazu, což odpovídá uvedenému vzorci (5) v rešeršní části diplomové práce.

**Popis nalezených objektů** umožní dále získat informace o distribuci velikosti pórů. Jedná se o extrahování kvantitativních vlastností objektů pórů v obraze. Do distribuce pórovitosti nezle zahrnout neúplné póry na hranách obrazu, proto se

odstraňují. Následně se odliší jednotlivé objekty a pomocí zabudované funkce pro popis oblastí objektů se vyextrahují vlastnosti o pórech. Informace o ploše pórů jsou v číselném vektoru uváděny v pixelech, proto je nutné hodnoty přepočítat na plochu v  $\text{mm}^2$ . Tento přepočet je možný ze zjištěných informací o rozlišení obrazu. Následně se vytvoří histogram velikosti pórů.

Výše popsáný postup byl zpracován ve formě M-souboru tzv. skriptu, ve kterém souvislá série příkazů a naprogramovaných algoritmů umožňuje libovolně získat potřebné informace o porositě i distribuci velikosti pórů (viz příloha 4).

## 5.4 Návrh laboratorního hodnocení intenzity světla

V současné době je všeobecně požadováno, aby měření bylo poměrně snadné, rychlé, opakovatelné a reprodukovatelné. Z tohoto důvodu je v této práci navržena poměrně jednoduchá měřicí metoda umožňující určit intenzitu prošlého světla záclonovinou. Zkonstruování měřicího aparátu bylo provedeno ve spolupráci s Centrem speciální optiky a optoelektronických systémů (Turnovské optoelektronické centrum - TOPTEC), které se zabývá výzkumem a vývojem optických systémů [23].

Snahou je přiblížit se této reálné situaci: sluneční paprsky (popř. paprsky z jiného světelného zdroje) prostupují okenní tabulí skrze překážku (záclonovinu) k pozorovateli hodnotícímu světelné podmínky v místnosti. Tento vztah světlo - překážka - pozorovatel je reálně zachycen na obrázku 7.

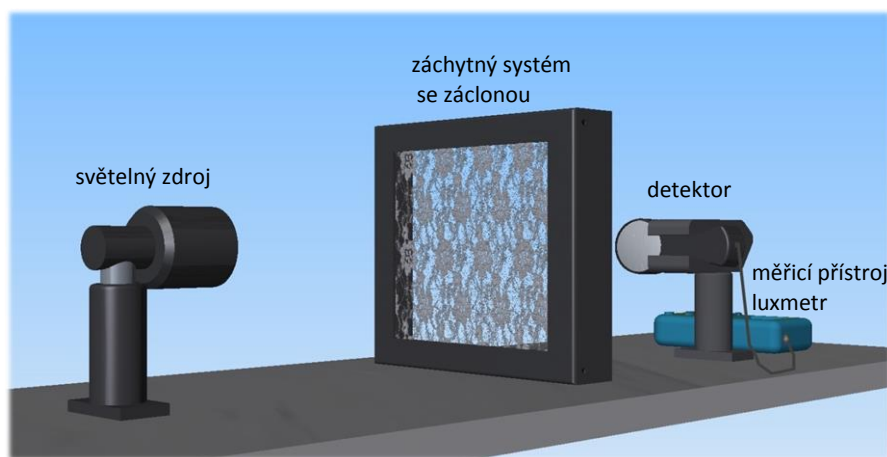
Jedná se tedy o hodnocení transmitovaného světla dekorační záclonovinou zavěšenou v okně běžného obytného prostoru. Požadavkem je přiblížit se této reálné situaci pomocí objektivní metody měření, kde přirozené sluneční paprsky jsou nahrazeny definovaným umělým zdrojem



*Obr. 7 Reálné pozorování  
světlo-propustných vlastností  
záclon*

světla. Procházející světlo do místnosti je tedy zeslabováno především překážkou, kterou v této studii představují zvolené vzorky záclon. Útlum světla procházejícího okenní tabulí lze pro zjednodušení situace zanedbat, jelikož je hodnocen vliv záclony a okenní tabule by představovala pouze konstantní útlumový člen, který pro tuto studii není podstatný. Subjektivní názor pozorovatele bude nahrazen objektivním fyzikálním detektorem (fotosenzorem). Jako vyhodnocovací zařízení byl zvolen luxmetr měřící fotometrickou veličinu osvětlenosti, která v podstatě hodnotí intenzitu světla tak, jak by jej vnímalo lidské oko. Autorka práce si je vědoma, že navrhovaný model měření zcela neumožní reprezentovat denní světlo, ale pro prvotní aproximaci této situace, je tato jednoduchá, nenáročná a rychlá metoda měření dostačující. Podstatou je navrhnout opakovatelnou měřicí metodu, která by se dala případně prakticky využít.

Schéma zde referované a navrhované měřicí sestavy je zobrazeno na obrázku 8, kde je patrné její složení ze tří hlavních komponent: definovaný zdroj světla, záchytný systém s překážkou (záclonovinou) a měřicí přístroj s detektorem.



Obr. 8 Návrh měřicí sestavy

Světelný zdroj umožní vyzařovat kolimované světlo (simulace přímých slunečních paprsků či napodobení světla z reflektorů projíždějícího automobilu) a po přidání difuzéru také difúzní světlo (napodobení rozptýleného světla např. při zatažené obloze). Světelné paprsky dále prostupují záclonovinou umístěnou v záchytném systému a jsou detekovány fotodiodou připojenou k vyhodnocovacímu zařízení. Následně je možné zaznamenat přijaté informace o výstupní intenzitě prostoupeného světla. Vstupní intenzita se získá odstraněním překážky. Podílem těchto hodnot lze dle vzorce (2) určit relativní hodnotu transmitance.

### 5.4.1 Světelný zdroj

V měřicím systému je snahou přirozené sluneční paprsky nahradit definovaným umělým zdrojem světla. Bohužel, přirozené denní světlo nelze v současné době jednoduše nahradit, tak aby byla zachována jednoduchost měřicí metody. Proto se v rámci experimentu jedná pouze o přibližně reálné podmínky, které jsou dosaženy pomocí definovaného zdroje světla zajišťujícího opakovatelnost měření.

Zdroj světla se volí z hlediska barevného podání tak, aby svým spektrálním složením byl blízký dennímu světlu. Přijatelnými vlastnostmi disponují světelné diody LED mající i další přednosti, které jsou popisovány např. v článku [16]. Konkrétně byla vybrána bílá dioda ( $T_c = 6500\text{ K}$ ) s vysokým výkonem (tj. dioda poskytující osvětlení studené bílé barvy). Podrobnosti a základní technické parametry lze nalézt v příloze 2.

Pro přiblížení se reálným podmínkám, tak jak znázorňuje obrázek 4 řešeršní části této práce, budou simulovány dva módy světla:

- **Kolimované světlo**

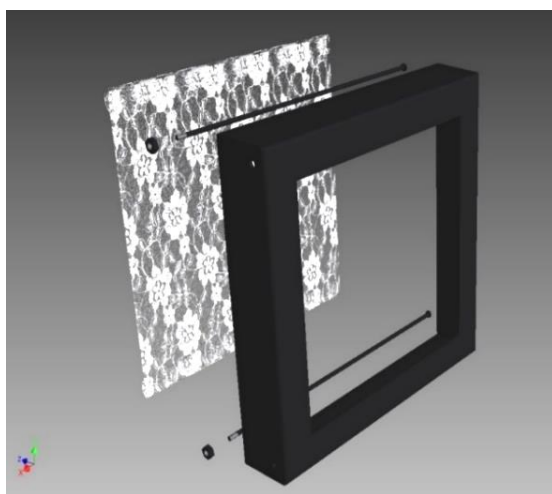
Kolimované světlo (simulující přímé sluneční paprsky při jasné obloze, či reflektor automobilu) lze vytvořit pomocí jednoduchého kolimátoru založeného na asférickém optickém členu, zajišťující korekci některých optických vad. Přesněji je definován jako kondenzor, který převádí svazky světla vycházející z bodového zdroje na svazky kolimované – tedy rovnoběžné. Tento kondenzor je umístěn do mechanické objímky se závitem, což umožní kolimátor (kondenzor + mechanická objímka) umístit na zdroj světla do požadované vzájemné polohy. Ohnisko čočky kondenzoru koinciduje s polohou bodového zdroje (diody). Pro toto prvotní měření není předpokládána nutnost složitějších optických soustav.

- **Difúzní světlo**

Pro vytvoření a simulaci rozptýleného světla (tj. difúzního světla představujícího např. odražené paprsky od oblak při zatažené obloze) slouží hrubě broušené sklo (matnice). Umístí se do objímky a vytvoří tzv. difuzér, který lze snadno přichytit za objímku kolimační čočky, a opět ho lze snadno odejmout.

#### 5.4.2 Záchytný systém se záclonovinou

Překážku, která způsobuje zeslabení intenzity procházejícího světla, představují záclonoviny. Pro snadnou manipulaci s měřenými vzorky byl navržen vlastní záchytný systém. Současně bylo zapotřebí vymyslet takový způsob uchycení, aby bylo realizovatelné jejich měření v nenařazeném - svislém stavu, ale i při nařazení. Měřená oblast musí být dostatečně velká, tak aby bylo možné hodnotit i záclonoviny s relativně větším plošným vzorem. Přibližná představa záchytného systému byla vytvořena pomocí 3D softwaru AutoCAD Inventor a je zobrazena na obrázku 9 a detailněji také v příloze 2.



*Obr. 9 Záchytný systém se záclonovinou*

Tělo závěsného systému je tvořeno čtvercovou hliníkovou konstrukcí o rozměru 26 x 26 cm. Konstrukce byla vytvořena ohýbáním a svařováním. Záclona se do konstrukce zavěsí pomocí odnímatelných zasunovacích tyček. Hrana, která zajistí překrytí tyček je 3 cm široká. Z toho vyplývá, že vnitřní rozměr konstrukce (oblasti, která bude osvětlována) je 20 x 20 cm. Boční části mají šířku 5 cm, což zajistí samostatnost závěsného systému. Na těchto bočních stranách jsou otvory s průměrem cca 3 mm, do kterých se zasunutím umístí tyčky o průměru 2 mm a pomocí šestihranné matice se závitem se zajistí proti vysunutí. Tím je zajištěna pevná a stálá poloha zavěšení záclonoviny. Celá konstrukce je nalakována matnou černou barvou, aby se eliminovaly nežádoucí odrazy světla.

#### 5.4.3 Měřicí přístroj luxmetr

Subjektivní vizuální hodnocení pozorovatele bude v této metodě nahrazeno objektivním fyzikálním měřicím přístrojem. Tím se vyloučí závislost měření na dokonalosti zraku pozorovatele. Dává se přednost relativně přesným zařízením s kvalitními fotoelektrickými články. Takovýmto nejvýznamnějším přístrojem, který umožní objektivně měřit světelný vjem vyvolaný v průměrném lidském oku je luxmetr. Jak již bylo popsáno v rešeršní části této práce, měří fotometrickou veličinu osvětlení, kde základní jednotkou je lux. Princip měření je jednoduchý. Citlivá kalibrovaná fotodiody převede tok záření na elektrický signál a ten se přepočítá na jednotky v luxech. Je nutné brát v úvahu některé omezující a rušivé faktory [25], [28]:

- Lidské oko je různě citlivé na různé barvy a subjektivní světelný vjem od různých zdrojů při stejné intenzitě je také různý. Kvalitní luxmetry to berou v úvahu a již přepočítávají přijatý světelný tok na normovanou spektrální citlivost lidského oka.
- Přijatý zářivý tok závisí nejen na ploše fotodiody, ale i na sklonu této plochy vzhledem ke směru dopadajícího záření. Pokud není zajištěn přesný sklon, lze při opakovaném měření na témže místě při téže intenzitě záření naměřit podstatně rozdílné hodnoty. Proto se sonda natočí tak, aby údaj byl maximální - pak je detektor kolmý ke směru záření a údaj lze považovat za objektivní.
- Případná směrová úhlová chyba se odstraňuje tzv. kosinusovým nástavcem. Jeho úkolem je korekce šikmých dopadů světla na povrch fotočlánku.
- Fotodiody již měří průměrné osvětlení dopadající na její plochu, proto je důležitý dostatečně silný tok záření.
- Pro přesné měření musí být zajištěna reprodukovatelnost. Velký vliv na reprodukovatelnost má stárnutí fotodiody, proto by luxmetr měl být pravidelně kalibrován.
- Dále je třeba, aby se průběh křivky spektrální citlivosti fotočlánku co nejvíce shodoval s křivkou spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele. (viz obrázek 3 v rešeršní části práce). Fotočlánky vybavené korekčními filtry zajistí přizpůsobení křivky citlivosti fotočlánku křivce citlivosti oka, což je blíže poukázáno i v článku [25].

- Při déle trvajícím měření se může projevit tzv. únava fotočlánku, a to obvykle poklesem fotoproudu při konstantní osvětlenosti. Nejstabilnější jsou z tohoto hlediska křemíkové fotočlánky.

Pro měření v této studii byl vybrán Luxmetr HD 450 používaný k profesionálnímu zjišťování intenzity osvětlení, který eliminuje výše uváděné omezující faktory. Skládá se z přijímače (detektoru) s korigovaným křemíkovým fotočlánkem, opatřeným kosinovým nástavce a z měřicího vyhodnocovacího systému s digitálním indikátorem. Umožňuje měřit intenzitu osvětlení v rozsahu 0 – 400 000 lx. Bližší informace jsou zaznamenány v příloze 2 a také v návodu k obsluze luxmetru [24].

#### 5.4.4 Metodika měření

Aby bylo možno v co největší míře eliminovat nepříznivé vlivy znehodnocující výsledky měření, je doporučeno při měření dodržovat tuto metodiku měření:

- Senzor je umístěn do držáku, tak aby byl v jedné ose a kolmo ke směru dopadajícího záření.
- Je nutné zajistit stálou polohu všech komponent měření pro objektivní získávání údajů.
- K senzoru měření intenzity světla se připojí měřicí přístroj luxmetr.
- Ze senzoru se sundá ochranný kryt.
- Před započítím měření je potřeba fotočlánek po dobu alespoň 5 minut ponechat odkrytý ve světelném prostředí, v němž se bude měřit, aby se čidlo daným podmínkám přizpůsobilo a stabilizovalo.
- V této době dojde také k ustálení světelně technických i elektrických parametrů.
- Dále se umístí měřený vzorek do zachytného systému a překážka se postaví na přesně vyznačené místo mezi světelný zdroj a detektor.
- Po zapnutí luxmetru je nutné nastavení měřicího rozsahu. Je možné volit různé rozsahy postupným krátkým tisknutím tlačítka „RANGE“. Zvolí se jeden z vyhovujících rozsahů měření. Nastavitelné měřicí rozsahy jsou zobrazeny na displeji symboly 400 (400 lux), 4k (4 000 lux), 40k (40 000 lux) nebo 400k (400 000 lux). V případě překročení nebo podkročení měřicího rozsahu, bude na

displeji zobrazen symbol OL. V tomto případě je třeba zvolit jiný měřicí rozsah. Pro jednotlivá měření je nutné dodržovat vybraný rozsah.

- Kabel spojující pouzdro s fotočlánkem a vlastním měřicím přístrojem je dostatečně dlouhý a tím je zajištěno, že výsledky měření nejsou při čtení údajů nevhodně ovlivněny.
- Hodnoty intenzity světla jsou zjišťovány mimo měřicí prostor a zaznamenávány operátorem.
- Po skončení měření je měřicí přístroj vypnut a nasazením ochranného krytu senzoru zajištěn proti případnému poškození. Přístroj je vybaven funkcí automatického vypínání. Pokud nedojde ke stisknutí tlačítka po dobu 20 minut, dojde k automatickému vypnutí měřicího přístroje.
- Další informací o zacházení s luxmetrem lze vyhledat v manuálu [24].

#### **Další přijatá opatření:**

- Výsledky měření osvětlenosti jsou ovlivněny i mnoha dalšími faktory. Zvláště je třeba brát v úvahu změny světelného toku zdroje v závislosti na změnách napájecího napětí, a na době jejich provozu. Proto je nutné dodržet nastavení konstantního napětí a proudu, a tyto hodnoty pravidelně kontrolovat.
- Světelný zdroj musí být čistý, nepoškozený a nainstalovaný ve správné poloze.
- Klimatické podmínky během měření by měly být takové, aby nemohly významným způsobem ovlivnit výsledky. Vysoké nebo nízké teploty mohou mít vliv na světelný výkon tepelně citlivých zdrojů nebo na přesnost použitých měřicích přístrojů. Kondenzace vzdušné vlhkosti na světelných čidlech nebo na elektrických obvodech měřicích přístrojů je nepřipustná. Proto je měření prováděno v laboratoři optických metod, kde jsou klimatické podmínky přibližně stálé a pohybují se okolo 22°C a relativní vlhkost vzduchu 45%.
- Pro zjištění objektivního světelného parametru intenzity světla je nutné vyloučit vliv okolního cizorodého osvětlení. Z tohoto důvodu se měří v zatměné laboratoři bez oken při zhasnutém osvětlení místnosti.
- Se závěsným systémem lze volně pohybovat pro snadnou manipulaci a umístování měřených vzorků. Proto je nutné vždy při každém měření přesně umístit závěsný systém na vyznačenou polohu do středu měřené vzdálenosti.

## 5.5 Příprava vzorků pro měření

Pro obrazovou analýzu není nutné vzorky nijak speciálně připravovat a snímání probíhalo vždy z náhodně vybraných míst záclonovin. Pro měření transmitance je nutné hodnocené vzorky připravit, tak aby bylo možné jejich snadné umístění do závěsného systému. Z praktických důvodů je vhodné našít na záclonovinu dutý záhyb tzv. „tunýlek“, který umožní snadné nasazení záclonoviny do závěsného systému. Vzdálenost protilehlých tyček, na které se ušitá záclona navlékne, je 24 cm. K této vzdálenosti se připočítá minimálně 1,5 cm z každé strany na přehnutí šitého materiálu. Aby nedošlo k nežádoucímu napnutí, je vhodné brát v úvahu 1 cm rezervu. Byla tedy vytvořena šablona pro střih o rozměru 28 cm na výšku a 24 cm na šířku pro vzorky bez našasení. Následně se na nastříhané vzorky našivaly odpovídající „tunýlky“, tak aby i výška vzorku odpovídala 24 cm. Proti vypárání vázaného stehu se konce šicích nití zajistily uzlem a zastříhnutím se odstranily přebývající nitě.

Pro realizaci měření v různých řasících poměrech je nutné použít větší šířku materiálu, která odpovídá danému poměru, viz tabulka 3.

Tab. 3 Rozměry vzorku pro konkrétní poměr řasení

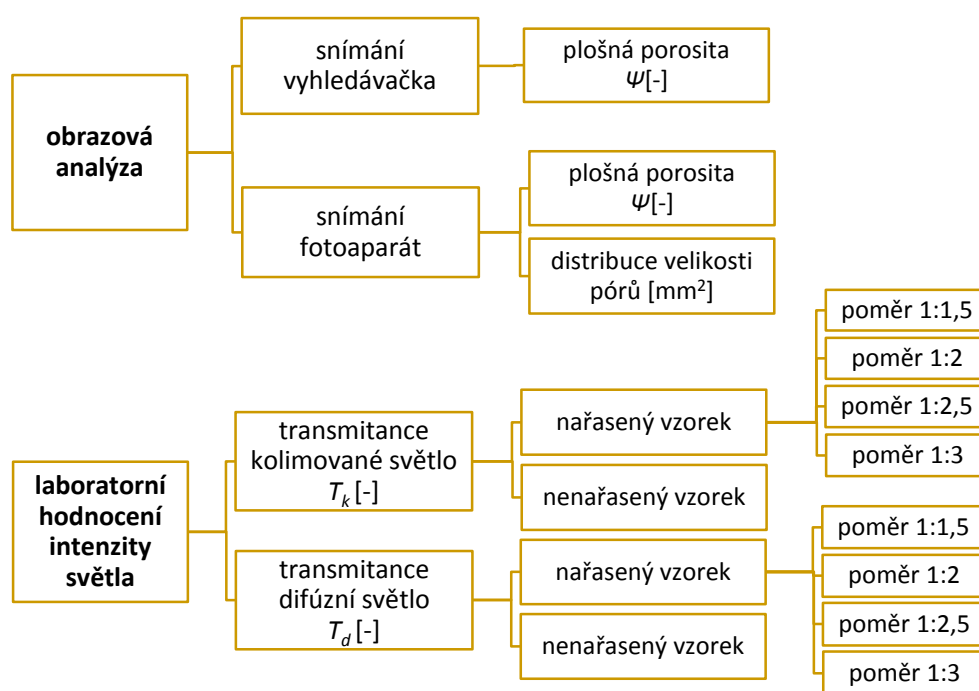
| Řasící poměr      | 1:1<br>(nenařasený) | 1:1,5 | 1:2 | 1:2,5 | 1:3 |
|-------------------|---------------------|-------|-----|-------|-----|
| Šířka vzorku [cm] | 24                  | 36    | 48  | 60    | 72  |

Řasení lze tedy dosáhnout připravením vzorku o konkrétní šíři a následným našazením (shrnutím) na původní rozměr 24 cm (což odpovídá rozměru nenařaseného vzorku). Tento rozměr byl zajištěn zarážkami umístěnými ve vyznačených místech na závěsných tyčkách. Z důvodů vysoké spotřeby materiálu byla pro řasení vytvořena šablona pro jeden střih s největší šířkou 72 cm a výškou 28 cm. Na vzorky těchto největších rozměrů (odpovídající poměru řasení 1:3) se našivaly „tunýlky“ a vždy po důkladném proměření světelného prostupu, byl vzorek zkrácen na šířku poměru předcházejícího (tedy 1:2,5) a následně znovu proměřen. Tento postup se opakuje, až do nejmenšího poměru 1:1,5.

Záclonoviny jsou v interiéru nejběžněji zavěšovány tak, že řádky pleteniny jsou orientovány svisle (sloupky - řetízky vodorovně). Tento předpoklad byl zachován i při přípravě vzorků a jejich zavěšení do zhotovené záchytné konstrukce.

## 6. REALIZACE EXPERIMENTŮ

Pro všechny vzorky A-H byla provedena měření vybraných charakteristik, které jsou pro lepší orientaci znázorněny na diagramu obrázku 10. U všech měření bylo provedeno 10 replikací pro každý vzorek. Naměřené hodnoty jednotlivých experimentů jsou postupně statisticky vyhodnocovány a současně jsou komentovány důležité zjištěné poznatky i jejich možné příčiny. Na základě vzájemných vztahů mezi jednotlivými charakteristikami je také poodhalen možný vliv strukturních parametrů záclonovin na jejich světlo-propustné vlastnosti. Pro vyhodnocení budou využity především nástroje regresní a korelační analýzy, které umožní objektivně vyjádřit působení jednotlivých faktorů. Pro všechny výběrové soubory dat byla také ověřována normalita za pomoci programu QC Expert. Dle výsledků Momentového testu normality a Q-Q grafů lze hodnoty považovat za přibližně normálně rozdělené (viz příloha 3 uložená na CD).



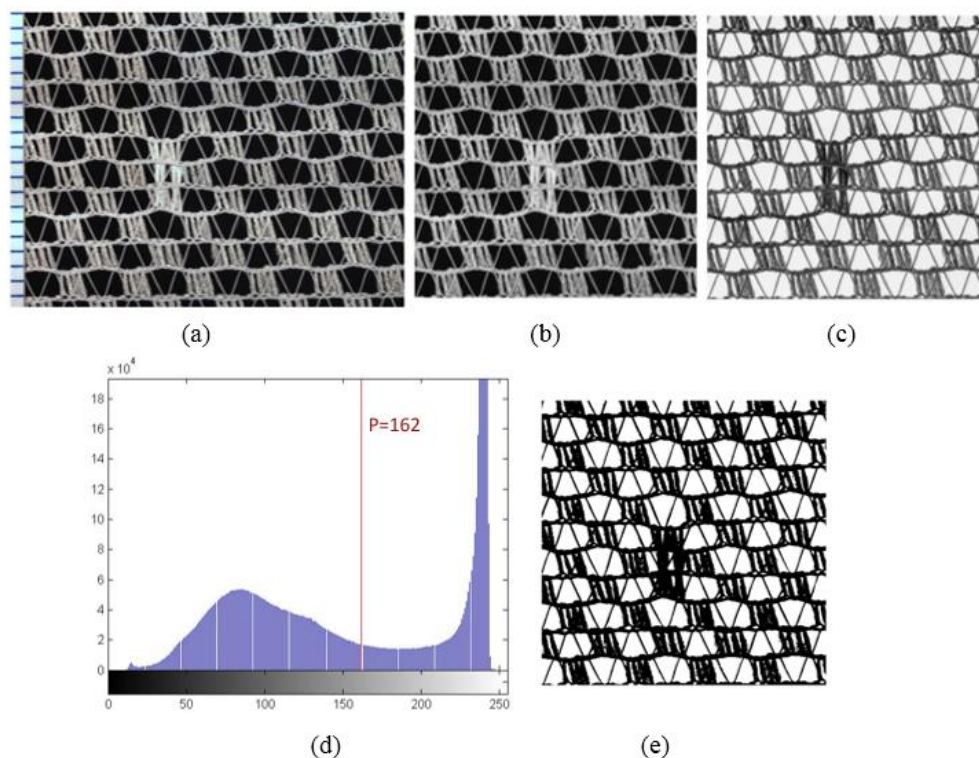
Obr. 10 Diagram postupu měření

## 6.1 Vyhodnocení plošné porosity záclonovin

Výsledné informace o porositě jsou získány prostřednictvím obrazové analýzy a naprogramovaných algoritmů ve vytvořeném skriptovém souboru v prostředí Matlab. Ukázka použité série příkazů ve skriptu je zařazena v příloze 4. Porosita je určena ze snímků pořízených dvěma rozdílnými metody snímání obrazu, které byly blíže popsány v kapitole 5.3. Obě metody snímání obrazu jsou dále také porovnány a určeny jejich výhody i nevýhody. Kompletní obrazová dokumentace je součástí přílohy 5, která je uložena na CD přiloženém k této diplomové práci.

### 6.1.1 Zpracování výsledků ze snímků z vyhledávačky vláken

Na objektivu bylo zvoleno zvětšení 0,7, tak aby byla snímaná plocha dostatečně zřetelná. Následovalo upřesnění dalších parametrů přímo v softwaru NIS Element v okně nastavení kamery: expoziční čas 100 ms, automatické vyvážení bílé AWB, hodnoty jasu Gain 1, Ofset 0, Gama 1, Saturace 1. Takto seřízený obraz byl dostatečně ostrý a další parametry nebylo nutné nastavovat. Před snímáním bylo ke vzorkům vždy přiloženo papírové měřítko, které následně umožní určit rozlišení snímků. Při tomto konkrétním nastavení 10 mm odpovídalo 1560 px. Dále již probíhalo snímání složeného obrazu, který se skládal celkem z  $3 \times 3$  malých snímků (výsledkem je jeden velký snímek). Celkem bylo pořízeno 10 velkých snímků od každého vzorku z náhodně vybraných míst záclonovin. Při zpracování obrazu byl zvolen čtvercový ořez snímku o velikosti  $3000 \times 3000$  px ( $19,23 \times 19,23$  mm), tak aby bylo z hodnocení odstraněno přiložené pravítko. Příklad zpracování obrazu je znázorněn na následujícím obrázku 11.



Obr. 11 Ukázka obrazové analýzy snímku A9.jpg z vyhledávačky

(a) originální obraz RGB s milimetrovým měřítkem, (b) oříznutý obraz ( $3000 \times 3000$  px) převedený na šedotonový, (c) negativ oříznutého obrazu, (d) histogram úrovní šedi negativu se zvýrazněnou prahovou hodnotou  $P$ , (e) binární obraz

Tímto způsobem byly zpracovány všechny pořízené snímky a z binární podoby obrazu jsou již extrahovatelné informace o porositě, jakožto podíl součtu pixelů s hodnotou 1 (objekty = póry) ku součtu všech pixelů. Statisticky zpracované výsledky porosity z vyhledávačky jsou uvedeny v tabulce 4. Všechny získané hodnoty jsou pak uvedeny v příloze 3.

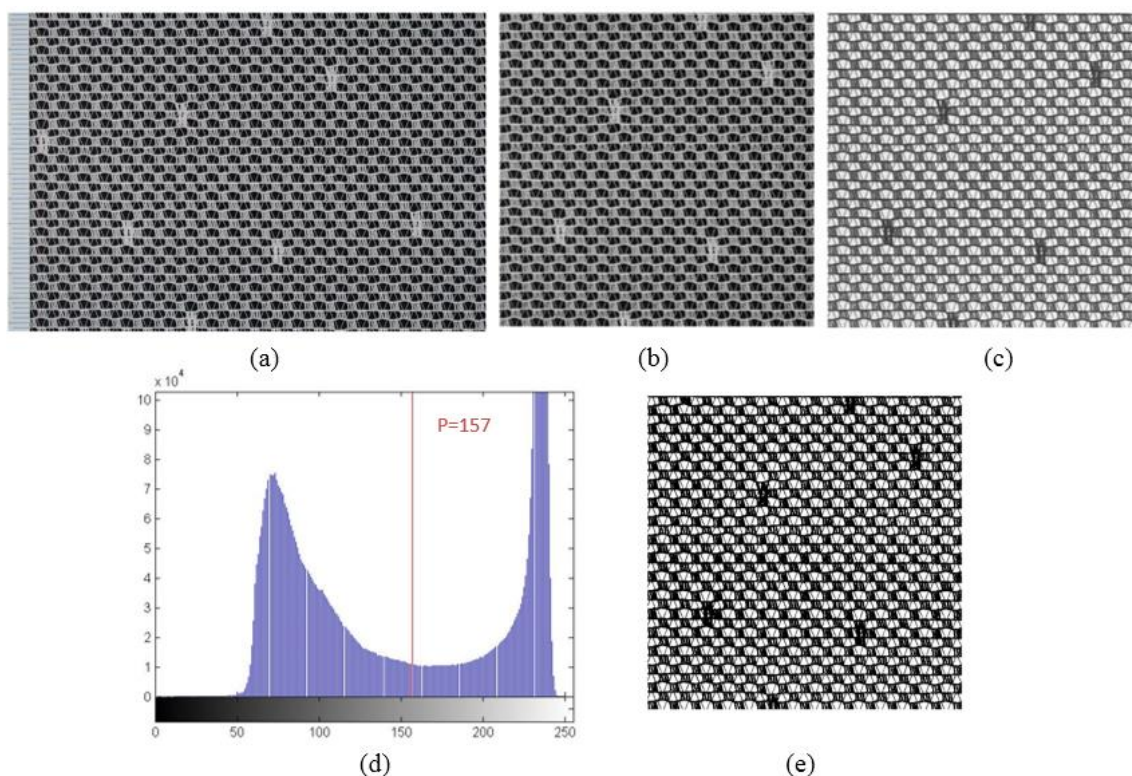
Tab. 4 Porosita zjištěná ze snímků z vyhledávačky

| Vzorek           | A                | B                | C                | D                | E                | F                | G                | H                |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $\bar{\Psi}$ [-] | 0,5010           | 0,6682           | 0,5704           | 0,6290           | 0,5815           | 0,5538           | 0,6200           | 0,6054           |
| $s$ [-]          | 0,0048           | 0,0034           | 0,0111           | 0,0156           | 0,0098           | 0,0563           | 0,0259           | 0,0056           |
| $v$ [%]          | 0,9611           | 0,5022           | 1,9503           | 2,4874           | 1,6827           | 10,1739          | 4,1795           | 0,9286           |
| 95% IS [-]       | 0,4975<br>0,5044 | 0,6658<br>0,6706 | 0,5625<br>0,5784 | 0,6178<br>0,6402 | 0,5745<br>0,5885 | 0,5134<br>0,5941 | 0,6015<br>0,6386 | 0,6014<br>0,6094 |

Z tabulky výše je zřejmé, že největší porositu vykazuje vzorek B, naopak nejméně porézní je vzorek A. Mezi porositou ostatních vzorků není prokazatelný statisticky významný rozdíl, protože se meze intervalů spolehlivosti často překrývají. Výsledky porosity z vyhledávačky poukazují například na podobnost hodnot porosity mezi vzorky C, E, F nebo D a G, G a H. Z výsledků je však pozorovatelná i relativně velká variabilita u vzorku F. To je způsobeno poměrně větším plošným vzorem, který je zachycen konkrétně na snímcích F6.jpg, a F7.jpg (viz příloha 5 na CD diplomové práce) a projevuje se nižší hodnotou porosity. Na ostatních snímcích vzorků F nebyl tento vzor zachycen kvůli poměrně malé snímané ploše. Podobný problém snímání malé plochy způsobil i zvýšenou variabilitu u vzorku G, který má poměrně velké póry oproti ostatním vzorkům, a tím i nižší počet zaznamenaných pórů na snímku. Takto zvýšená variabilita poukazuje na menší přesnost získaných hodnot ze snímků z vyhledávačky u záclonovin, které mají větší vzorování či velké póry. U takovýchto vzorků by bylo nutné pořídit skládaný obraz z více jak  $3 \times 3$  snímků. Postup snímání velkých ploch na vyhledávačce je však časově náročný.

### **6.1.2 Zpracování výsledků ze snímků z fotoaparátu**

Pořízení snímků bylo realizováno fotoaparátem Canon EOS 400D DIGITAL. Tento fotoaparát byl uchycen v konstantní výšce, která odpovídala 38 dílkům na stojanu (50 cm od objektivu ke snímané záclonovině). Světelný box Fomei osvětloval vzorky maximálně možnou intenzitou světla a současné zastínění oken umožnilo získat konstantní světelné podmínky v místnosti. Pro pořízení dostatečně ostrého obrazu byly na fotoaparátu nastaveny následující parametry: závěrka clony  $f/2.8$ , délka expozice  $1/100\text{sec}$ , ohnisková vzdálenost 100 mm, režim bez blesku, automatické vyvážení bílé, ostření na střed snímku. Z přiloženého měřítka bylo později zjištěno rozlišení, kde 10 mm odpovídá 405 px. Toto rozlišení je tedy téměř 4krát menší než u snímků z vyhledávačky. Série příkazů ve skriptu byla stejná jako u vyhodnocování snímků z vyhledávačky. Ořez bylo nutné zvolit  $2500 \times 2500$  px ( $61,73 \times 61,73$  mm). Při tomto nastavení je zřejmé, že snímky z fotoaparátu umožňují určit hodnotu porosity z mnohem větší plochy, než ze snímků z vyhledávačky. To je zřetelné i z obrázku 12, který je ukázkou zpracování obrazu získaného z fotoaparátu.



Obr. 12 Ukázka obrazové analýzy snímku a2.jpg z fotoaparátu Canon

(a) originální obraz RGB s milimetrovým měřítkem, (b) oříznutý obraz ( $2500 \times 2500$  px) převedený na šedotonový, (c) negativ oříznutého obrazu, (d) histogram úrovní šedi negativu se zvýrazněnou prahovou hodnotou  $P$ , (e) binární obraz

Extrahování dat bylo provedeno z 10 binárních obrazů od každého vzorku. Statisticky zpracované výsledky jsou znázorněny v následující tabulce 5, všechna data jsou zařazena v příloze 3.

Tab. 5 Porosita zjištěná ze snímků z fotoaparátu Canon

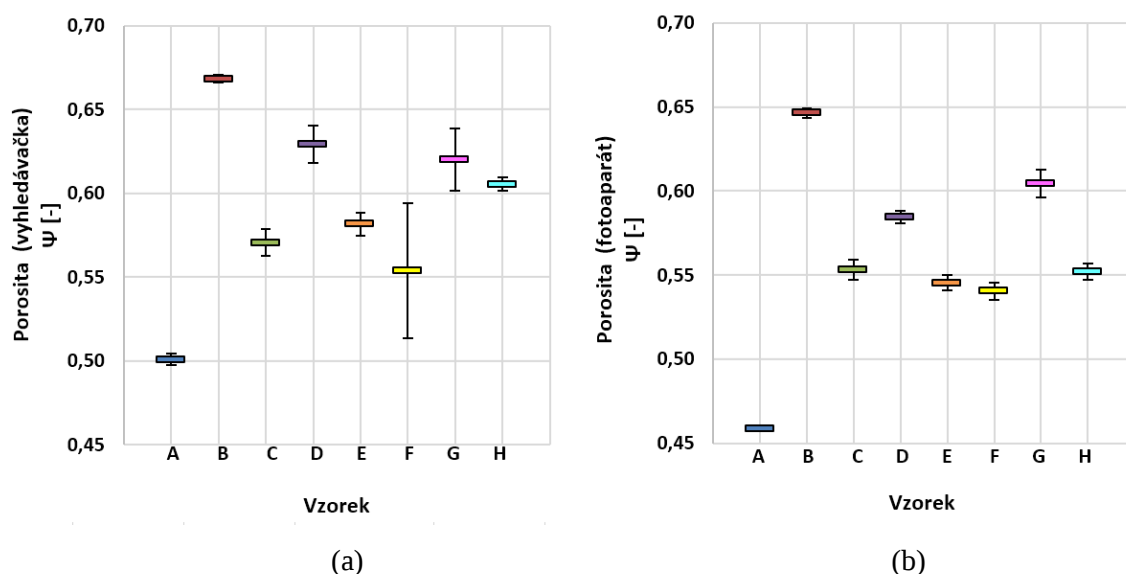
| Vzorek           | A      | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\bar{\Psi}$ [-] | 0,4587 | 0,6464 | 0,5534 | 0,5848 | 0,5454 | 0,5405 | 0,6044 | 0,5522 |
| $s$ [-]          | 0,0018 | 0,0042 | 0,0084 | 0,0051 | 0,0062 | 0,0071 | 0,0116 | 0,0066 |
| $v$ [%]          | 0,3817 | 0,6461 | 1,5167 | 0,8763 | 1,1360 | 1,3210 | 1,9208 | 1,1863 |
| 95% IS           | 0,4574 | 0,6434 | 0,5474 | 0,5811 | 0,5410 | 0,5354 | 0,5961 | 0,5475 |
| [-]              | 0,4599 | 0,6494 | 0,5594 | 0,5884 | 0,5498 | 0,5456 | 0,6127 | 0,5569 |

Z výše zpracovaných dat je opět patrná největší porosita u vzorku B, nejmenší u vzorku A. Konkrétně pro vzorky C, E a H nebo E a F nelze říci, že jejich hodnoty porosity jsou statisticky významně rozdílné, protože zde dochází k překrývání intervalů

spolehlivosti. Oproti hodnotám porosity z vyhledávačky je porosita získaná ze snímků z fotoaparátu přesnější, jelikož má nižší variační koeficient, který nepřesahuje hodnotu 2%. To svědčí o nízké variabilitě porosity získané z nafocených snímků.

### 6.1.3 Porovnání výsledků porosity získané použitými metodami snímání obrazu

Jedním z dílčích cílů práce je porovnání hodnot plošné porosity vyhodnocené ze snímků pořízených dvěma rozdílnými metodami. Je zřejmé, že obě metody snímání vzorků záclonovin dají rozdílné výsledky porosity, což je možné porovnat i na následujícím obrázku 13.



Obr. 13 Porovnání plošné porosity získané dvěma rozdílnými metodami snímání  
(a) porosita ze snímků z vyhledávačky, (b) porosita ze snímků z fotoaparátu

Hodnoty porosity zjištěné ze snímků z vyhledávačky jsou u všech vzorků vždy vyšší, což lze jednoduše vysvětlit detailnějším zobrazením struktury a zachycením i menších mezivláknenných pórů, které fotoaparát nezaznamenal. Přičemž největší rozdíl mezi porositami zjištěními jednotlivými metodami byl zaznamenán u vzorku H, který je tkanou záclonovinou s relativně malými póry. Nejmenší rozdíl v hodnotách porosit je zaznamenán u vzorků F a G, pro něž jsou typické větší póry. Při vizuálním srovnání binárních obrazů obou metod snímání (viz ukázka v příloze 6) je také zřejmý rozdíl mezi zaznamenanými póry i velikostí snímané plochy. U snímků z vyhledávačky je

velikost snímané plochy značně nedostatečná právě pro vzorky F a G, což způsobuje vysokou variabilitu získaných hodnot. Pro záclonovinu je všeobecně typická řídká struktura, která je dostatečně zachycena i se střídou vzoru na snímcích z fotoaparátu. Ovšem na těchto snímcích z fotoaparátu nejsou zachyceny drobné mezivláknenné či mezinitné póry (např. u vzorku D u efektních multifilových nití, u vzorku A jsou více vyplněny drobné mezinitné detaily vzorování, ...). Proto jsou hodnoty porosity zjištěné ze snímků z fotoaparátu nižší, ale z hlediska metrologie jsou přesnější, o čemž svědčí nízká hodnota variačního koeficientu porosity u všech zkoumaných vzorků.

Pro srovnání výsledků porosity mezi jednotlivými vzorky byl použit také Dvouvýběrový t-test dle obecného vztahu testové statistiky dle [26]

$$T_{stat} = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s} \sqrt{\frac{n \cdot m}{n + m}}, \quad (8)$$

kde,  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  jsou příslušné průměrné hodnoty porovnáváných výběrů (např. průměrná  $\bar{\Psi}$  fotoaparát a průměrná  $\bar{\Psi}$  vyhledávčka pro vzorek A),  $s$  je společná směrodatná odchylka obou výběrů,  $n$  a  $m$  je velikost výběrů.

Tímto t-testem je ověřováno následující tvrzení:

$H_0$ : průměrné hodnoty  $\Psi$  z vyhledávčky a fotoaparátu jsou **shodné**.

(obě metody snímání obrazu dávají stejné výsledky porosity)

$H_A$ : průměrné hodnoty  $\Psi$  z vyhledávčky a fotoaparátu jsou **rozdílné**.

(obě metody snímání obrazu dávají různé výsledky porosity)

Pro snazší implementaci testovacího kritéria byl použit výpočet pomocí zabudované syntaxe v programu Matlab, kde byla také ověřována shoda rozptylů (viz příloha 8). Výsledky testové statistiky dvouvýběrového t-testu jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro porovnání  $\Psi$  (vyhl.) a  $\Psi$  (foto.)

| Vzorky          | A      | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $ T_{stat} $    | 26,1   | 12,9   | 3,9    | 8,5    | 9,9    | 0,7    | 1,7    | 19,5   |
| df              | 11     | 18     | 18     | 11     | 18     | 9      | 12     | 18     |
| $t_{df}(0,975)$ | 2,2010 | 2,1009 | 2,1009 | 2,2010 | 2,1009 | 2,2622 | 2,1788 | 2,1009 |

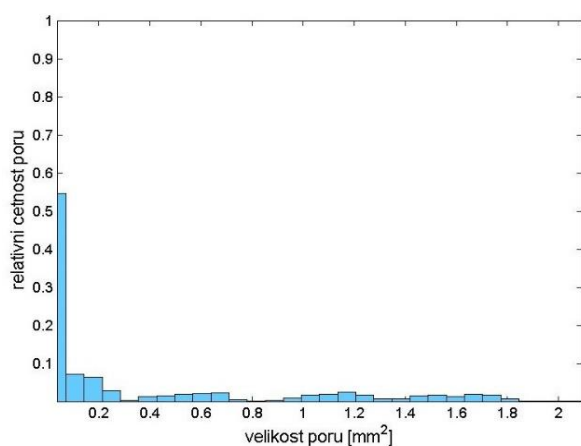
Při výpočtu nebyla potvrzena shoda rozptylů u vzorků A, D, F, G, proto jsou zde uvedeny redukované stupně volnosti  $df$ . Odpovídající kritické hodnoty Studentova  $t$ -rozdělení na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a  $df$  stupni volnosti jsou pro vzorky s rozdílnými rozptyly vyšší a poskytují tedy pesimističtější odhad. Při porovnání výsledků testové statistiky a kritické hodnoty je tedy možné zamítnout hypotézu  $H_0$  o shodnosti porosity získané dvěma rozdílnými metodami pro všechny vzorky s výjimkou vzorků F a G. Pro tyto dva konkrétní vzorky není možné zamítnout, že obě metody snímání obrazu dávají stejné výsledky porosity. To je však zapříčiněno již výše zmíněnou skutečností nejmenšího zaznamenaného rozdílu mezi porositami vzorků F a G majících poměrně velké póry distribuované v ploše a současně má na výsledek vliv i vysoká variabilita porosity ze snímků z vyhledávačky zjištěná právě u těchto dvou vzorků. Lze tedy předpokládat, že zejména pro vzorky s většími póry obě metody snímání poskytují srovnatelné výsledky. Je však nutné podotknout, že při určování porosity ze snímků z vyhledávačky by bylo nutné provést u vzorků s velkými póry (či velkou střídou vazby) více měření na větších snímaných oblastech, což je vzhledem k časové náročnosti a existenci rychlejší metody snímání prostřednictvím fotoaparátu neefektivní.

#### 6.1.4 Vyhodnocení distribuce velikosti jednotlivých pórů záclonovin

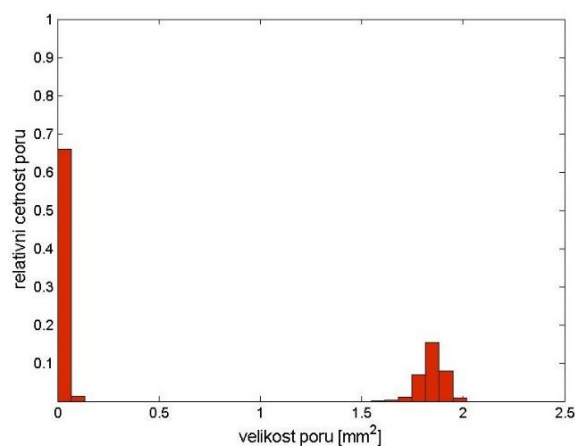
Počet zaznamenaných pórů z obrazů získaných z vyhledávačky je nižší než ze snímků z fotoaparátu. Pro konstrukci histogramu by nebylo možné ze snímků z vyhledávačky extrahovat dostatečné množství informací o pórech, a to zejména u vzorků s většími póry (např. F a G). Současně se metoda focení dle předchozího jeví jako dostačující způsob umožňující zachytit rozmanitou strukturu záclonovin. Z těchto důvodů byly pro vyhodnocení distribuce velikosti pórů využity pouze snímky z fotoaparátu.

Informace o velikosti pórů byly získány pomocí naprogramovaného skriptu (viz příloha 4), tak jak je popsáno v kapitole 5.3. Pro získání popisu jednotlivých pórů byly tedy využity stejné metody segmentace objektů (prahování), jako při určování porosity. Do analýzy se však nezahrnují neúplné póry na okrajích snímků a odstraňují se pomocí zabudované syntaxe v programu Matlab. Následovalo vyextrahování a shromáždění hodnot o ploše pórů ze všech binárních obrazů (z 10 snímků pro jeden vzorek). Získaná data byla přepočtena na  $\text{mm}^2$  a rozdělena do 30 tříd pro každý vzorek.

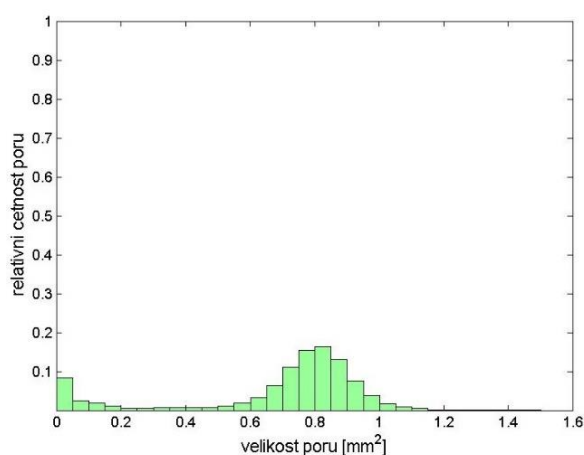
Součástí skriptu je také cyklus příkazů pro detekování určité velikosti pórů, umožňující označit různě velké póry (velikost je nutné zadávat v px). Tak je možné individuálně nalézt a zhodnotit i vizuálně skutečnou polohu různě velkých pórů v záclonovině. Na následujících histogramech obrázku 14 je možné rozeznat skupiny různě velkých pórů vyskytujících se v daném vzorku.



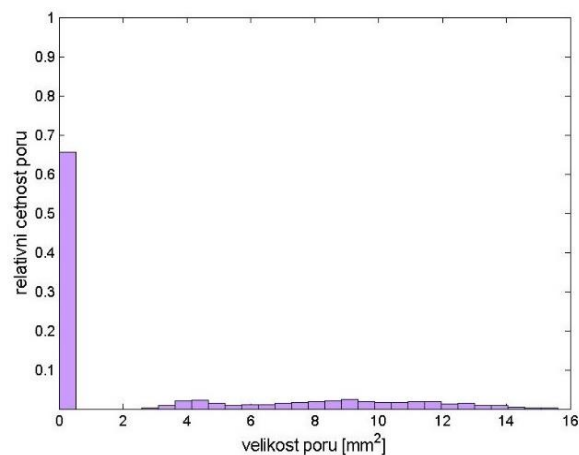
vzorek A



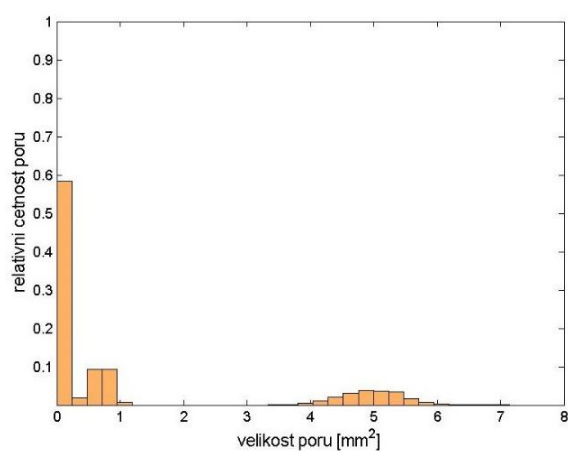
vzorek B



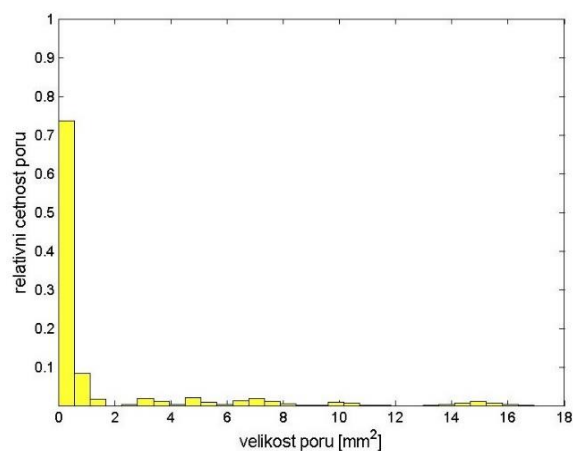
vzorek C



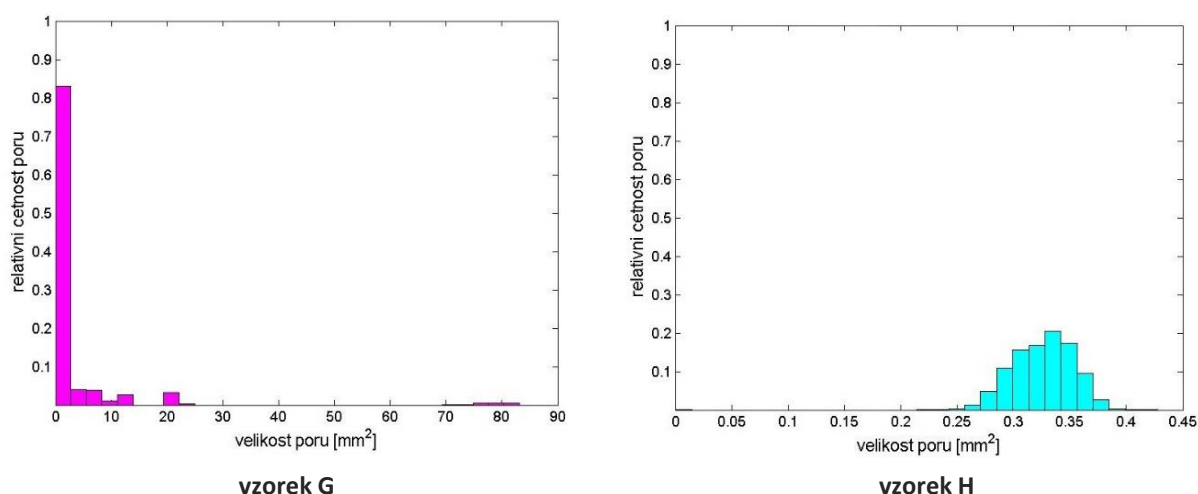
vzorek D



vzorek E



vzorek F



Obr. 14 Histogramy distribuce velikosti jednotlivých pórů záclonovin

U většiny vzorků nejčetnější výskyt vykazují póry o velice malé ploše (sloupečky na levé straně histogramu), které představují drobné mezery mezi jednotlivými nitěmi nebo i mezivláknenné póry u multifilových nití. Z hodnocení nejsou vyřazeny, jelikož jsou součástí samotné struktury textilie a nelze je opomenout. Histogramy v této práci poskytují dodatečné informace k plošné porositě záclonovin a celkově přispívají k popisu struktury. Se současným vizuálním hodnocením je možné jednotlivé záclonoviny charakterizovat následovně:

- Vzorek A má poměrně malé póry. Lze u něj rozlišit přibližně 4 skupiny různých velikých pórů, což je způsobeno vzorováním drobnými motivy. Největší póry mají plochu okolo 1,7 mm<sup>2</sup>.
- Vzorek B je typický pravidelnou mřížkovou strukturou, která je tvořena vazbou markizet. Jsou zde rozeznatelné přibližně 2 skupiny pórů – první obsahuje malé póry např. mezi zkříženými nitěmi, druhá je tvořena póry o velikosti okolo 1,8 mm<sup>2</sup>.
- Vzorek C obsahuje také menší póry s přibližně 2 až 3 skupinami pórů, vytvářející v ploše drobné motivy. Velikost největších a nejčetnějších pórů této záclonoviny se pohybuje okolo 0,8 mm<sup>2</sup>.
- Histogram vzorku D poukazuje na výskyt rozmanitých větších pórů, které se celkově projevují poměrně pravidelnou mřížkovou strukturou, současně je zde

pozorováno vzorování zejména efektní multifilovou nití. U tohoto histogramu však není možné dobře rozeznat vrcholy různých skupin pórů.

- Pravidelnější rozložení pórů má vzorek E, u kterého lze póry rozdělit do 3 skupin. Vykazuje také mřížkovou strukturu. Dominantní velikosti zde dosahují póry o ploše okolo  $5 \text{ mm}^2$ .
- Vzorek F je typický svou rozmanitostí různě velkých pórů, tvořících plošné vzorování. Pro tuto záclonovinu je možné z histogramu rozlišit přibližně 7 skupin pórů. Největší póry dosahují plochy okolo  $15 \text{ mm}^2$ .
- Záclonovina G se oproti ostatním zkoumaným vzorkům výrazně odlišuje největšími póry, které dosahují velikosti až  $80 \text{ mm}^2$ .
- Poslední hodnocená záclonovina H se vyznačuje nejmenšími póry o rozloze okolo  $0,33 \text{ mm}^2$ . Tento vzorek je pravidelný svojí tkanou strukturou, a proto je zde zaznamenán převážně jeden typ póru daný perlinkovou vazbou. Lze ho tedy zařadit mezi vzorky vykazující mřížkovou strukturu.

Při porovnání všech histogramů lze určit přibližnou posloupnost vzorků vzestupně podle velikosti největších pórů v konkrétní záclonovině: H – C – A – B – E – D – F – G. Při vizuálním hodnocení vzorků se současným použitím cyklu pro označení různě velkých pórů, tyto histogramy odráží skutečný stav rozložení pórů v záclonovině. Všechny určené skupiny pórů lze i při vizuálním hodnocení a srovnávání snadno na vzorcích rozpoznat a nalézt.

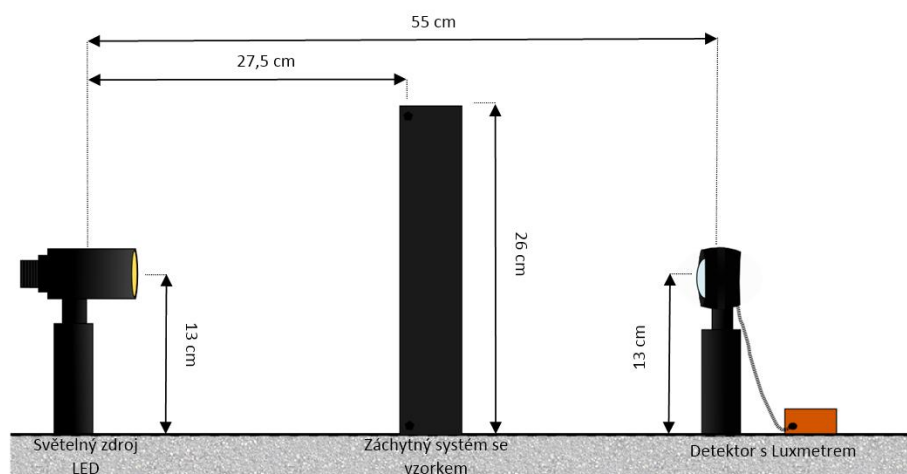
## 6.2 Vyhodnocení výsledků z laboratorního měření transmitance

Podle navrženého metodického postupu, který je podrobně popsán v kapitole 5.4, byl realizován experiment pro hodnocení intenzity světla prošlého záclonovinou. Tento experiment se snaží přiblížit reálným podmínkám, a proto jsou simulovány dva módy světla. Kolimované simuluje přímé sluneční světlo za jasného počasí a vyznačuje se mnohonásobně větší intenzitou právě v přímém směru. Naproti tomu difúzní světlo je rozptýlené do všech stran a může představovat např. zataženou oblohu. Intenzita kolimovaného světla byla odečítána z displeje luxmetru při rozsahu 400k (výsledek v klx), pro difúzní světlo pak při rozsahu 4k (výsledek v lx). Podílem výstupní a vstupní intenzity světla dle vzorce (2) je získána hodnota transmitance  $T_k [-]$  pro kolimované, Laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou

$T_d$  [-] pro difúzní světlo. Před samotným měřením byly zkoumané vzorky připraveny, tak, jak je uvedeno v kapitole 5.5. Po celou dobu měření bylo také pravidelně kontrolováno konstantní nastavení laboratorního zdroje na napětí 3,3 V (určeno podle specifikace světelného zdroje) čemuž odpovídal proud 440 mA.

### 6.2.1 Uspořádání jednotlivých komponent

Před provedením zde prezentovaného měření světelné propustnosti záclonovin bylo nutné sestavit komponenty do přesně definovaných vzdáleností a zajistit tak jejich stálou polohu pro všechna měření. Pro správné měření a zajištění jeho opakovatelnosti byla provedena pilotní proměřování při různých vzdálenostech mezi světelným zdrojem a detektorem. S ohledem na několik rozhodujících aspektů – ať omezujících (prostorové možnosti, parametry světelného zdroje), tak praktických (udržení přijatelného poměru signál/šum, přiblížení se reálným podmínkám) – byla vzájemná vzdálenost mezi zdrojem světla a detektorem zvolena na 55 cm. Záchytný systém s vloženým vzorkem byl umístěn na přesně vyznačenou vzdálenost 27,5 cm od zdroje světla, tedy do středu mezi zdroj světla a detektor. Zvolené rozestupy mezi jednotlivými komponentami jsou schematicky znázorněny na obrázku 15. Sestavený model používaný pro laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou je zachycen na fotografii v příloze 1. Před samotným měřením vybraných vzorků byla prováděna další orientační měření pro otestování navrženého metodického postupu měření a zpřesňování měřicí metody.



Obr. 15 Schéma sestavy s vyznačenými vzdálenostmi

## 6.2.2 Zpracování výsledků transmitance nenařazených vzorků

Od každého druhu záclonoviny bylo vždy proměřeno 10 vzorků, jak pro kolimované, tak pro difúzní světlo. Na konkrétním vzorku byla vždy změřena a zaznamenána prostupující intenzita kolimovaného světla  $I_k$  [klx]. Následně byl na světelný zdroj nasazen difuzér, na luxmetru změněn rozsah měření a byla proměřena intenzita prostupujícího difúzního světla  $I_d$  [lx]. Současně byla kontrolována vstupní intenzita  $I_0$ , která při nastavení konstantního napětí 3,3 V a proudu 440 mA odpovídala:

- $I_{0k} = 81,3$  klx (rozsah měření luxmetru 400k pro kolimované světlo)
- $I_{0d} = 1322$  lx (rozsah měření luxmetru 4k pro difúzní světlo)

Transmitance  $T$  [-] je získána podílem naměřených intenzit podle vztahu (2) uvedeném v rešeršní části diplomové práce. Data všech proměřených vzorků byla statisticky zpracována a výsledky jsou uvedeny v tabulce 7. Kompletní záznam všech změřených hodnot je zařazen v příloze 3.

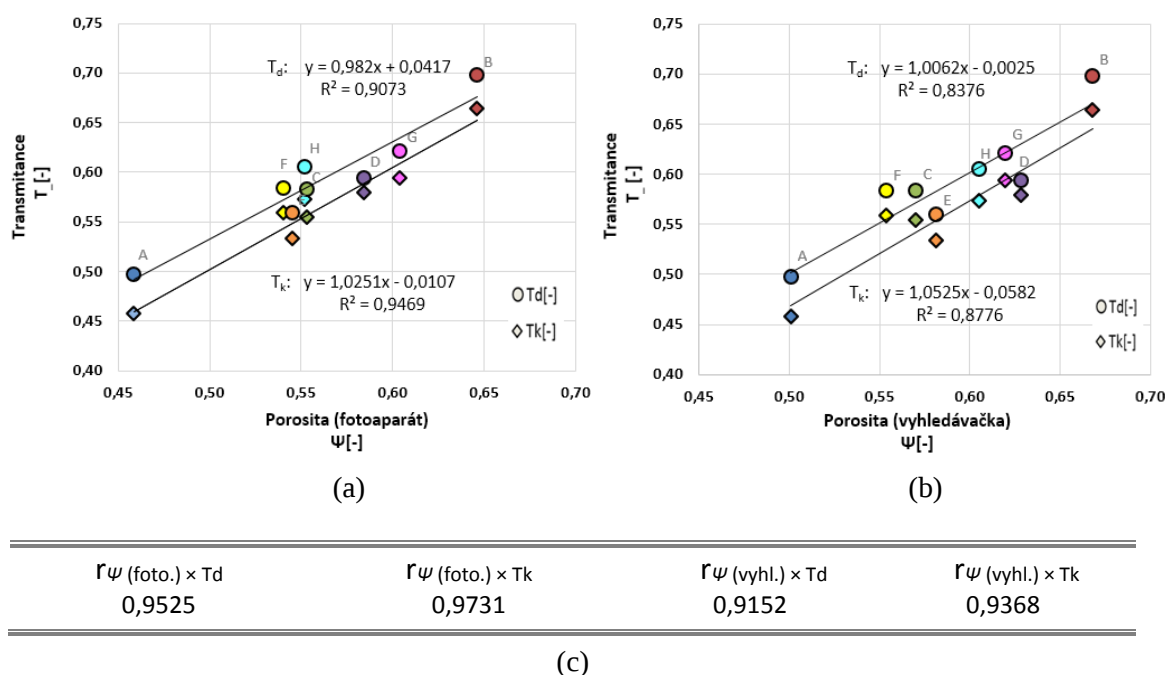
Tab. 7 Transmitance záclonovin v nenařazeném stavu

|                                                | Vzorek | $\bar{T}_-$ [-] | s [-]  | v [%]  | 95% IS [-] |           |
|------------------------------------------------|--------|-----------------|--------|--------|------------|-----------|
|                                                |        |                 |        |        | spodní mez | horní mez |
| Transmitance<br>kolimované světlo<br>$T_k$ [-] | A      | 0,4582          | 0,0075 | 1,6415 | 0,4528     | 0,4636    |
|                                                | B      | 0,6633          | 0,0058 | 0,8787 | 0,6592     | 0,6675    |
|                                                | C      | 0,5541          | 0,0081 | 1,4622 | 0,5483     | 0,5599    |
|                                                | D      | 0,5785          | 0,0076 | 1,3224 | 0,5730     | 0,5839    |
|                                                | E      | 0,5332          | 0,0118 | 2,2079 | 0,5248     | 0,5416    |
|                                                | F      | 0,5585          | 0,0094 | 1,6753 | 0,5519     | 0,5652    |
|                                                | G      | 0,5936          | 0,0106 | 1,7830 | 0,5860     | 0,6012    |
|                                                | H      | 0,5727          | 0,0048 | 0,8300 | 0,5693     | 0,5761    |
| Transmitance<br>difúzní světlo<br>$T_d$ [-]    | A      | 0,4971          | 0,0058 | 1,1738 | 0,4930     | 0,5013    |
|                                                | B      | 0,6973          | 0,0047 | 0,6703 | 0,6939     | 0,7006    |
|                                                | C      | 0,5828          | 0,0069 | 1,1899 | 0,5779     | 0,5878    |
|                                                | D      | 0,5938          | 0,0046 | 0,7714 | 0,5905     | 0,5971    |
|                                                | E      | 0,5589          | 0,0129 | 2,3042 | 0,5497     | 0,5681    |
|                                                | F      | 0,5834          | 0,0052 | 0,8917 | 0,5796     | 0,5871    |
|                                                | G      | 0,6205          | 0,0061 | 0,9871 | 0,6161     | 0,6249    |
|                                                | H      | 0,6050          | 0,0040 | 0,6663 | 0,6021     | 0,6079    |

Z údajů výše je zřejmé, že nejvíce světla projde záclonovinou B, naopak nejméně světla projde vzorkem A, a to platí pro oba módy světla. Interval spolehlivosti transmitance kolimovaného světla se překrývá u vzorku C a F, D a H. Z hodnoty transmitance difúzního světla nelze za statisticky významně rozdílné považovat vzorky C a F. Dle nízkých hodnot variačních koeficientů lze variabilitu všech měření považovat za nízkou. Tyto výsledky transmitance také poukazují na předpokládaný vztah mezi porositou a transmitancí nenařasených vzorků, což je dále ověřováno.

### Vztah porosity a transmitance nenařasených vzorků

Parametr plošné porosity je považován za reprezentanta strukturních vlastností záclonovin a je tedy nezávislou (vysvětlující) veličinou. Parametr transmitance představuje závislou (vysvětlovanou) veličinu, která dle předchozích doměnek s plošnou porositou významně souvisí. Závislost průměrných hodnot transmitance nenařasených vzorků a porosity zobrazují grafy na následujícím obrázku 16. Doplnující grafy závislosti se všemi naměřenými hodnotami jsou uvedeny v příloze 7.



Obr. 16 Vztah porosity a transmitance nenařasených vzorků

(a) pro porositu zjištěnou ze snímků z fotoaparátu

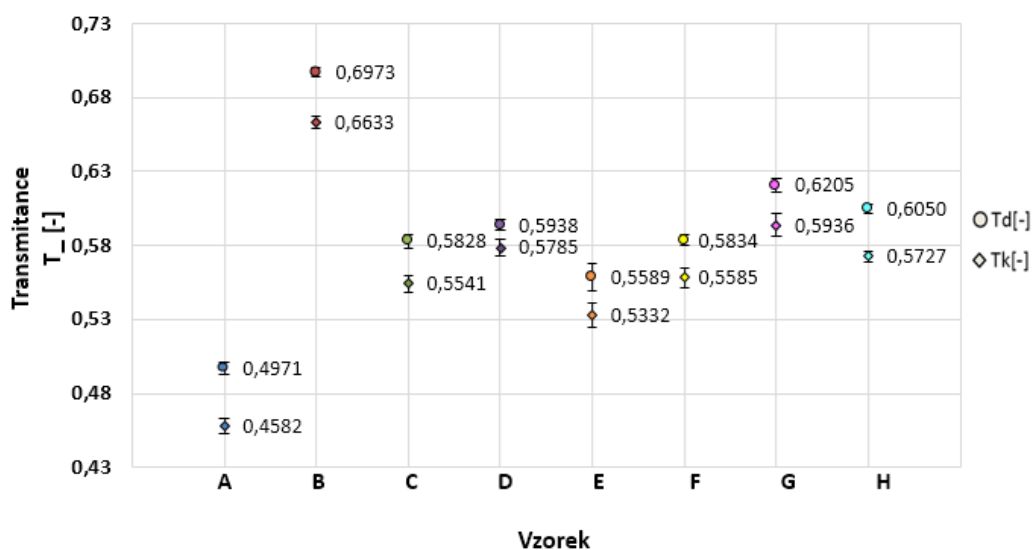
(b) pro porositu zjištěnou ze snímků z vyhledávačky

(c) hodnoty Pearsonova lineárního korelačního koeficeintu

Z výše uvedených grafů je potvrzen očekávaný vztah mezi plošnou porositou a transmitancí, který má tvar přímky a ukazuje na velmi vysokou míru kladné lineární závislosti (viz Pearsonův lineární korelační koeficient). O něco málo vyšší míru závislosti vykazují hodnoty mezi plošnou porositou zjištěnou ze snímků z fotoaparátu a transmitancí. Z tohoto důvodu je možné říci, že hodnoty porosity z fotoaparátu (při stanovených podmínkách snímání) vykazují těsnější vztah s hodnotami transmitance určené podle navrženého metodického postupu pro laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou. Hodnoty porosity zjištěné ze snímků z fotoaparátu jsou také méně variabilní, což lze také pozorovat na grafech v příloze 7. Mimo to je na snímcích z fotoaparátu zachyceno více pórů (je snímána větší plocha), což je vhodnější i pro vyhodnocování distribuce velikosti pórů. Také samotná metodika snímání obrazů záclonovin prostřednictvím fotoaparátu je značně jednodušší, rychlejší a dostatečně umožňuje zachytit i větší střidu vzoru záclonovin. Z těchto důvodů bude pro posouzení dalších možných závislostí uplatňována pouze porosita zjištěná ze snímků z fotoaparátu.

### Porovnání transmitance kolimovaného a difúzního světla

Z tabulky 7 i obrázku 16 je také patrný rozdíl mezi transmitancí kolimovaného a difúzního světla. Dále je tedy uvedeno malé porovnání obou transmitancí. Průměrné hodnoty spolu s intervaly spolehlivosti pro transmitanci kolimovaného a difúzního světla jsou pro názornost přeneseny do grafu na obrázku 17.



Obr. 17 Vztah mezi  $T_k$  a  $T_d$

Je zřejmé, že hodnoty transmitance difúzního světla jsou ve všech měřených případech o něco vyšší než hodnoty transmitance kolimovaného světla. Patrně je to způsobeno samotným charakterem světla a experimentálním uspořádáním užitým pro dané měření. Lze uvažovat, že měřené světlo se po průchodu vzorkem záclonovin skládá ze dvou složek – původní vstupní intenzity ponížené o absorpci, rozptyl a odraz světla na vzorku, a z rozptylové složky světla (tj. příspěvek vzniklý díky rozptylu světla např. na vláknech/nitích vzorku ve směru k detektoru). V případě kolimovaného světla, kdy dochází k osvětlení jen malé části vzorku, je rozptylová složka světla směrem k detektoru zřejmě nižší než v případě difúzního světla (zde je osvětlena mnohem větší plocha vzorku).

Jednotlivé intervaly spolehlivosti mezi transmitancemi kolimovaného a difúzního světla se u žádného ze vzorků nepřekrývají, což poukazuje na statisticky významný rozdíl mezi transmitancí kolimovaného a difúzního světla. Pro ověření této domněnky byl také použit Dvouvýběrový t-test, který je vypočítán podle testové statistiky dle vzorce (8) a výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.

Ověřována je tedy následující hypotéza:

$H_0$ : Průměry  $T_k$  a  $T_d$  jsou **shodné**

$H_A$ : Průměry  $T_k$  a  $T_d$  jsou **rozdílné**

Tab. 8 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro porovnání  $T_k$  a  $T_d$  vzorků záclonovin

| Vzorky       | A    | B    | C   | D   | E   | F   | G   | H    |
|--------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $ T_{stat} $ | 12,9 | 14,4 | 8,5 | 5,4 | 4,7 | 7,3 | 7,0 | 16,4 |

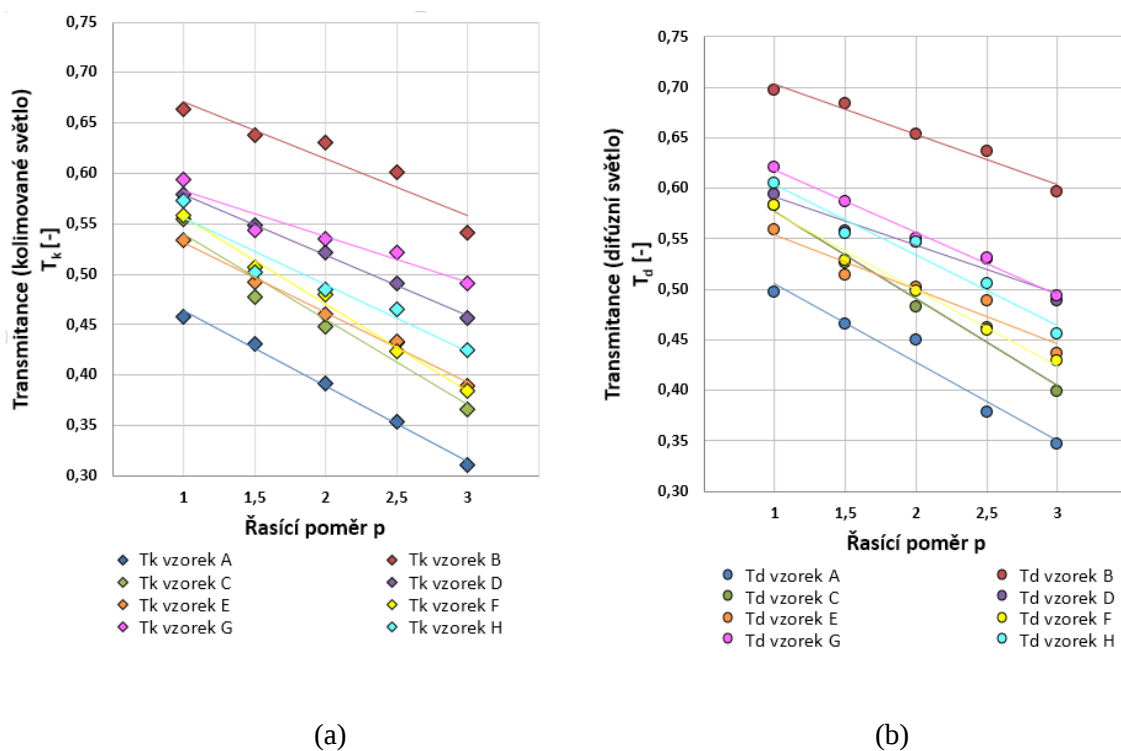
Před implementací dvouvýběrového t-testu byla také ověřována shodnost rozptylů, a dle výsledků lze rozptyly porovnávaných transmitancí vzorků považovat za shodné (není třeba brát v úvahu redukované stupně volnosti). Kritická hodnota Studentova t-rozdělení na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a 18 stupni volnosti činí 2,1009 pro všechny porovnávané výběry. Ve všech případech je absolutní hodnota testové statistiky větší než kritická hodnota, to znamená, že lze zamítnout hypotézu o shodnosti průměrů mezi transmitancí kolimovaného a transmitancí difúzního světla u všech hodnocených vzorků záclonovin. Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že transmitance kolimovaného a difúzního světla je statisticky významně rozdílná, což potvrzují i odlišné projevy obou módů světla při interakci se záclonovinou.

### 6.2.3 Zpracování výsledků transmitance nařasených vzorků

Záclonoviny sloužící k dekoraci jsou běžně používány v nařaseném stavu. Z tohoto důvodu byl experiment přizpůsoben i možnosti měřit různě nařasené záclonoviny. Měření probíhalo na předem připravených vzorcích (viz kapitola 5.5) v určených poměrech řasení. U konkrétního poměru probíhalo 10 opakování měření a mezi jednotlivými opakováními probíhalo „pře-řasení“ uchyceného vzorku. Hodnoty intenzity světla byly zaznamenávány pro oba módy světla. Zjištěné intenzity světla a z nich vypočítané transmitance jsou zařazeny v příloze 3.

#### Vztah nařasení a transmitance

Logicky bylo předpokládáno, že s rostoucí úrovní nařasení dojde k poklesu zjištěné transmitance. Tento klesající trend je graficky vyjádřen na následujícím obrázku 18 pro oba módy světla. V bodovém grafu jsou již uvedeny průměrné hodnoty transmitance, pro jednotlivé vzorky v jednotlivých úrovních řasení.



Obr. 18 Transmitance při řasení záclonovin  
(a) pro kolimované světlo, (b) pro difúzní světlo

Na grafech výše osa  $x$  znázorňuje řasící poměr  $p$ , který představuje násobek šířky nenařaseného vzorku, tedy násobek šířky záclonoviny z poměru 1:1 ( $p = 1$ ). Při porovnání obou grafů je zřejmý již výše zmíněný fakt, že hodnoty transmitance difúzního světla jsou o něco větší než hodnoty kolimovaného, a to tedy i v případě nařazení vzorků. Dále je patrný i klesající trend bodů, který poukazuje na možnou zápornou lineární závislost transmitance na řasícím poměru. Proto byly body v grafech proloženy lineární přímkou a určeny její parametry i Pearsonův korelační koeficient. Výsledky provedené regresní a korelační analýzy shrnuje tabulka 9.

Tab. 9 Analýza závislosti transmitance na řasícím poměru

| Vzorek | $p \times T_k$ |                |                     | $p \times T_d$ |                |                     |
|--------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|
|        | směrnice $a_k$ | posunutí $b_k$ | korelační koef. $r$ | směrnice $a_d$ | posunutí $b_d$ | korelační koef. $r$ |
| A      | -0,0744        | 0,5380         | -0,9972             | -0,0774        | 0,5824         | -0,9780             |
| B      | -0,0563        | 0,7272         | -0,9510             | -0,0497        | 0,7532         | -0,9851             |
| C      | -0,0847        | 0,6246         | -0,9722             | -0,0862        | 0,6629         | -0,9894             |
| D      | -0,0601        | 0,6396         | -0,9991             | -0,0478        | 0,6392         | -0,9763             |
| E      | -0,0694        | 0,6005         | -0,9975             | -0,0543        | 0,6084         | -0,9658             |
| F      | -0,0865        | 0,6437         | -0,9962             | -0,0754        | 0,6507         | -0,9940             |
| G      | -0,0453        | 0,6277         | -0,9595             | -0,0620        | 0,6803         | -0,9962             |
| H      | -0,0664        | 0,6227         | -0,9648             | -0,0697        | 0,6732         | -0,9812             |

Z uvedených parametrů v tabulce výše lze pozorovat velmi vysokou míru záporné lineární závislosti transmitance a řasícího poměru, a to pro všechny vzorky i oba módy světla. Závislost transmitance na řasícím poměru lze tedy obecně popsat lineárními rovnicemi

$$T_{kp} = a_k \cdot p + b_k, \quad (9)$$

$$T_{dp} = a_d \cdot p + b_d. \quad (10)$$

Strmost přímek je vyjádřena příslušnou směrnici  $a_k$  respektive  $a_d$ , která určuje velikost poklesu transmitovaného světla. Nejmenší strmost přímek (tedy nejmenší pokles) je zaznamenána u vzorku G a B pro kolimované světlo. Při difúzním osvětlení je nejmenší strmost přímek pozorována u vzorků D a B. Tyto vzorky lze zařadit mezi záclonoviny s větší plošnou porositou a mřížkovou strukturou. Největší strmost přímek je pozorována naopak u vzorků patřících mezi méně až středně porézní vzorky. Konkrétně je nejstrmější přímka u vzorků F, C pro kolimované světlo a C, A pro difúzní mód osvětlení. Za účelem názornějšího vyjádření poklesu i v jednotlivých řasících

poměrech je zde zavedena relativní hodnota poklesu transmitance  $\Delta_{rel}$  oproti nenařazenému stavu záclonovin a je určena vztahem

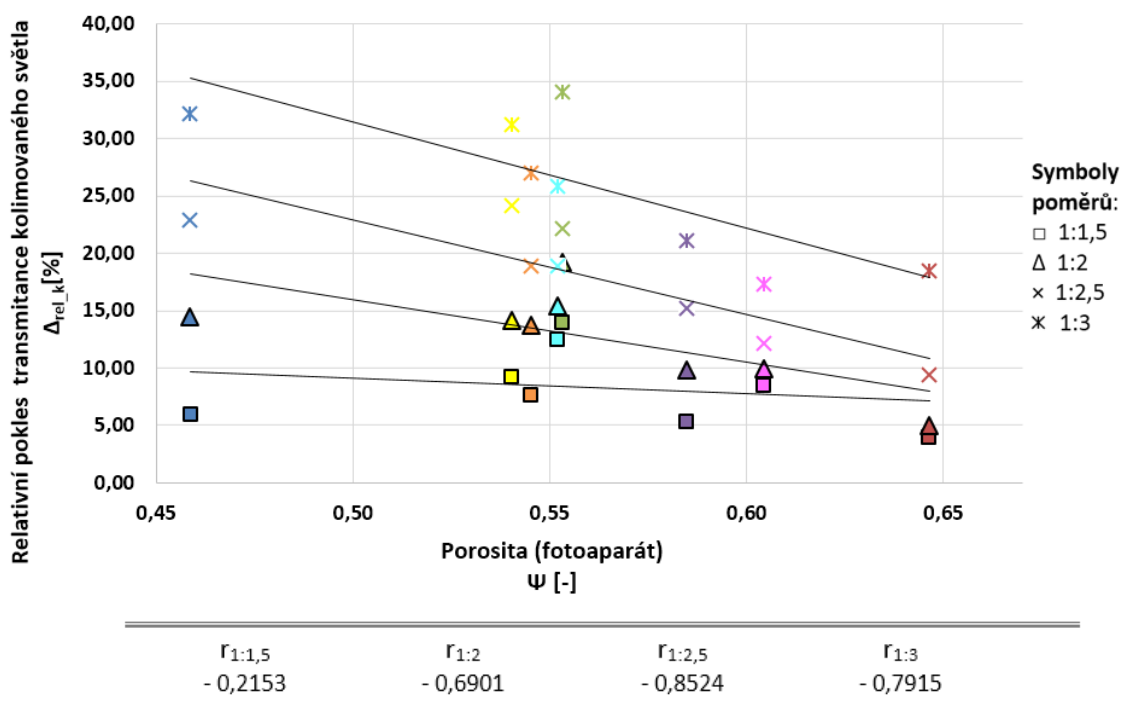
$$\Delta_{rel} = \frac{T_{1:1} - T_{1:p}}{T_{1:1}} \cdot 100, \quad (11)$$

kde  $T_{1:1}$  [-] je transmitance nenařazeného vzorku,  $T_{1:p}$  [-] je transmitance nařazeného vzorku (index  $p$  odpovídá úrovni řazení). Vypočítané hodnoty relativního poklesu transmitance  $\Delta_{rel}$  [%] dle zavedeného vztahu (11) jsou uvedeny v tabulce 10.

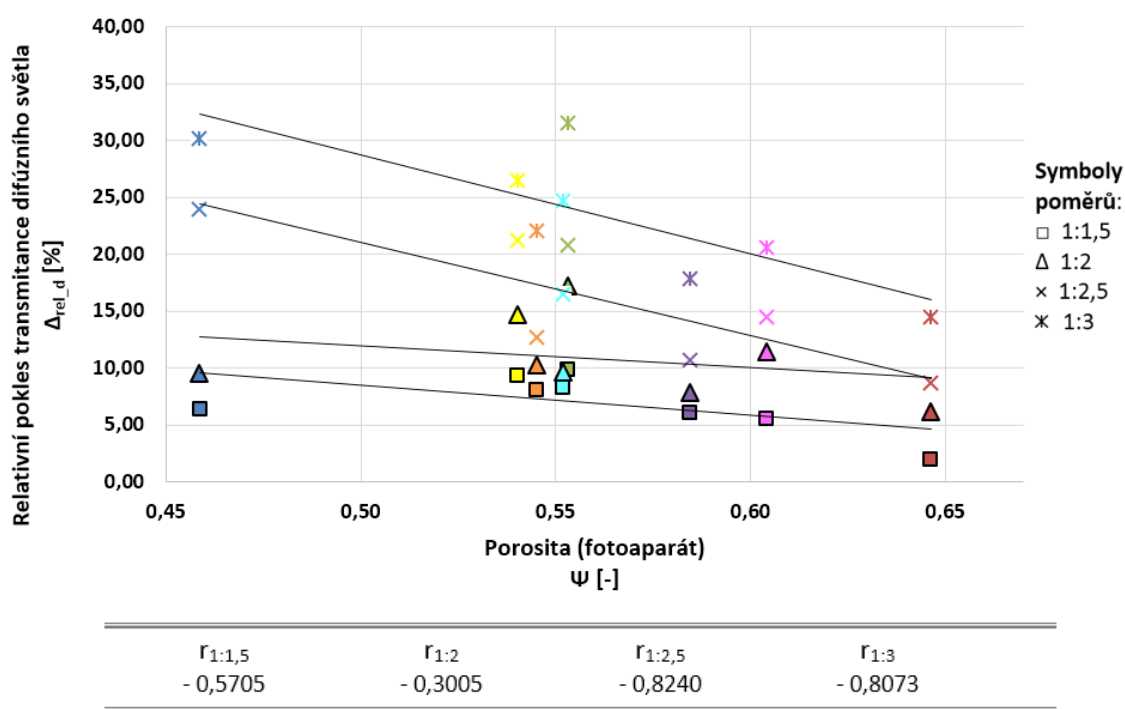
Tab. 10 Relativní pokles transmitance při řazení oproti nenařazenému stavu

|                                                                           |        | Řasící poměr $p$ |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------|--------|------------------|-------|-------|-------|
|                                                                           | Vzorek | 1,5              | 2     | 2,5   | 3     |
| Relativní pokles transmitance (kolimované světlo)<br>$\Delta_{rel_k}$ [%] | A      | 5,91             | 14,42 | 22,85 | 32,13 |
|                                                                           | B      | 3,89             | 5,03  | 9,40  | 18,47 |
|                                                                           | C      | 13,85            | 19,13 | 22,11 | 34,07 |
|                                                                           | D      | 5,23             | 9,76  | 15,16 | 21,03 |
|                                                                           | E      | 7,61             | 13,70 | 18,85 | 26,92 |
|                                                                           | F      | 9,16             | 14,09 | 24,16 | 31,20 |
|                                                                           | G      | 8,41             | 9,84  | 12,10 | 17,22 |
|                                                                           | H      | 12,37            | 15,42 | 18,84 | 25,77 |
| Relativní pokles transmitance (difúzní světlo)<br>$\Delta_{rel_d}$ [%]    | A      | 6,36             | 9,48  | 23,87 | 30,14 |
|                                                                           | B      | 1,87             | 6,22  | 8,66  | 14,42 |
|                                                                           | C      | 9,79             | 17,14 | 20,70 | 31,50 |
|                                                                           | D      | 6,00             | 7,82  | 10,68 | 17,80 |
|                                                                           | E      | 8,04             | 10,18 | 12,63 | 21,98 |
|                                                                           | F      | 9,31             | 14,68 | 21,16 | 26,40 |
|                                                                           | G      | 5,49             | 11,34 | 14,48 | 20,49 |
|                                                                           | H      | 8,19             | 9,58  | 16,42 | 24,69 |

Z uvedených hodnot v tabulce 10 je zřejmé, že každý vzorek má rozdílnou hodnotu poklesu transmitance. U některé záclonoviny dochází s řazením k většímu poklesu a u některé je pokles naopak poměrně malý. Jak již bylo naznačeno, předpokladem je, že záclonoviny mající poměrně vysoké hodnoty plošné porosity by měly při řazení vykazovat nejmenší pokles prostoupeného světla. Naopak vzorky méně porézní by měly dosahovat vyšších hodnot relativního poklesu. Za tímto účelem jsou zkonstruovány následující grafy na obrázku 19 vyjadřující závislost relativního poklesu transmitance na porositě zkoumaných vzorků (odpovídající lineární korelační koeficienty  $r$  jsou zaznamenány pod příslušným grafem).



(a)



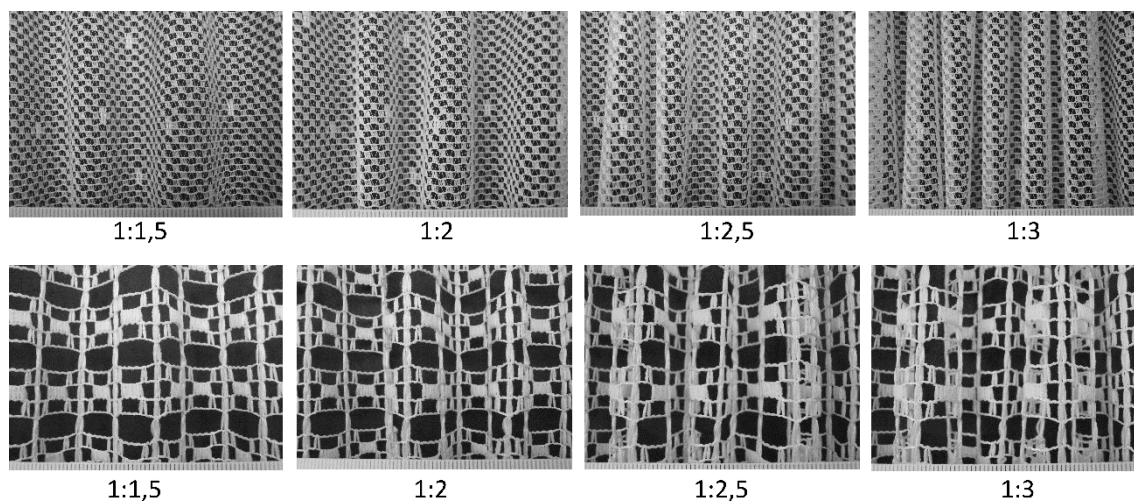
(b)

Obr. 19 Závislost relativního poklesu transmittance na porositě vzorků

(a) pro kolimované světlo

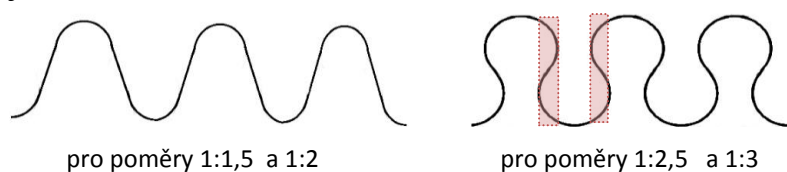
(b) pro difúzní světlo

Z obrázku 19 je zřejmé, že s rostoucí porositou dochází k menšímu poklesu prostoupeného světla. Ovšem při pokusu implementovat lineární trend bylo zjištěno, že zejména u poměrů 1:1,5 a 1:2 je míra lineární závislosti nižší. Proto je ověřována významnost této závislosti na základě porovnání absolutní hodnoty korelačních koeficientů  $r_{1:p}$  s tabulkovou hodnotou kritického korelačního koeficientu  $r_k = 0,7067$  (na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a  $n = 8$ ; viz příloha 8). V případě nižších poměrů 1:1,5 a 1:2 pro oba módy světla je absolutní hodnota korelačního koeficientu menší, než kritická hodnota korelačního koeficientu, a proto u těchto poměrů nelze považovat lineární závislost za významnou (korelační koeficient se významně neliší od nuly). Vysvětlením této lineární nezávislosti může být případná chyba měření či samotný parametr řasení. Je nutné brát v úvahu skutečnost, že tyto nižší řasící poměry mají poměrně méně širších záhybů a vykazují tedy malý pokles, který lze považovat spíše za náhodný. Ovšem u poměrů 1:2,5 a 1:3 se míra lineární závislosti porosity a relativního poklesu transmitance výrazně zvyšuje a lze ji považovat za statisticky významnou. Rozdíl mezi jednotlivými poměry řasení je možné posoudit z pořízených ukázkových snímků na následujícím obrázku 20.



Obr. 20 Rozdíl mezi nařasenými vzorky poměrů 1:1,5 až 1:3

Z těchto snímků dvou rozdílných vzorků lze odvodit schéma přibližného tvaru záhybů, které je znázorněno na obrázku 21.



Obr. 21 Schématické znázornění tvaru záhybů

Je zřejmé, že při větších poměrech řasení 1:3 a 1:2,5 dochází k výraznějšímu překrývání záhybů (a tedy i pórů), což je naznačeno na obrázku 21 pomocí vybarvených obdélníčků. Na pokles prošlého světla má evidentně také vliv počet záhybů na plochu, který je u větších poměrů znatelně větší (současně mají záhyby menší šířku). Naproti tomu záhyby z poměrů 1:2 a 1:1,5 jsou širší a jejich počet na plochu je menší. Překrývání zde není tak zřetelné – spíše zde dochází k pouhému „naklápění“ pórů bez překrývání a pokles světla je tedy výrazně menší. Závislost poklesu transmitance na porositě, je proto zaznamenána spíše u větších poměrů řasení 1:2,5 a 1:3, při kterých je zaznamenán výrazně větší pokles.

Je-li hodnocen vliv porosity na relativní pokles transmitance při větších úrovních řasení, které vykazují významnější lineární závislost, nejmenší pokles je zaznamenán u vzorku G pro kolimované světlo. Očekávanou příčinou může být právě samotná struktura vzorku, jelikož vzorek G se řadí mezi vzorky s největší porositou a současně má také největší velikost pórů. Následný nejmenší relativní pokles prošlého kolimovaného světla je zaznamenán u vzorku B a D, které se taktéž oproti ostatním vzorkům vyznačují větší hodnotou plošné porosity. Při osvětlování difúzním světlem, byl nejmenší relativní pokles zaznamenán u vzorku B, který je nejvíce porézní ze všech zkoumaných záclonovin a má poměrně malou velikost pórů. Dále je opět sledován malý pokles u vzorků D a G (mají větší velikost pórů). Všechny tyto vzorky mají také mřížkovou strukturou. Interpretace výsledků naznačuje na platnost předpokladu, že více porézní vzorky, které mají mřížkovou strukturu, se projevují menším poklesem prostoupeného světla.

Naproti tomu je při vyšších poměrech řasení největší pokles prostoupeného světla zaznamenán u vzorku C a A, a to pro oba módy světla. Vzorek C lze dle výsledků a v porovnání k ostatním vzorkům definovat jako záclonovinu se střední hodnotou porosity a poměrně malými póry. Vzorek C se současně oproti ostatním vzorkům jeví jako lesklejší, tužší a méně splývavý vzorek (subjektivně hodnoceno), což může být možnou příčinou tak značného poklesu. Naproti tomu vzorek A je nejméně porézní záclonovina s poměrně malými póry, u které byl zaznamenán také významný pokles prostoupeného světla právě při poměru řasení 1:2,5 a 1:3. Dále jsou tyto vzorky charakteristické drobným motivem distribuovaným v ploše. Lze předpokládat, že plošné

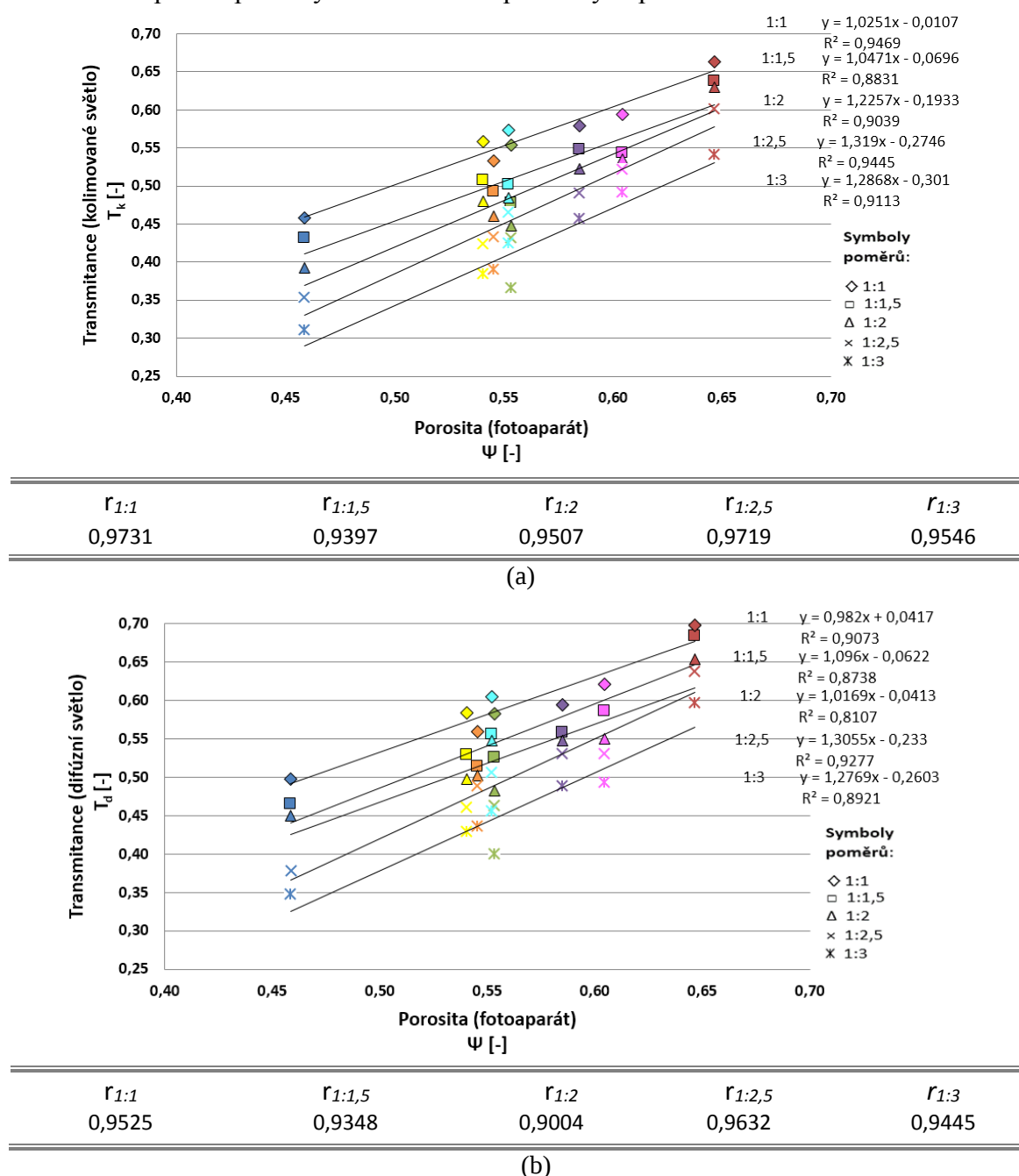
vzorování při překrývání jednotlivých záhybů zřejmě také hraje významnou roli a může způsobit také větší relativní pokles transmitance.

Protože jsou zde porovnávány různorodé vzorky záclonovin, vstupuje do hodnocení velké množství dalších parametrů, což znesnadňuje určení jednoznačných výsledků. Tyto výsledky tedy naznačují, že významný vliv na velikost poklesu transmitovaného světla budou mít zřejmě další možné parametry jako je např. materiálové složení, jemnost použitých nití, velikost pórů distribuovaných v ploše, typ vazby, plošné vzorování, popřípadě i výsledná vlastnost splývavost. S tím také souvisí i samotná povaha měření vzorků v nařaseném stavu, kdy s řasením dochází k vytváření různých záhybů – liší se tvarem, výškou, šířkou, pravidelností i četností na plochu.

Na základě těchto úvah a dedukcí je vhodné navrhnout další pokračování experimentu. Je možné pokračovat v ověření původního předpokladu, že záclonoviny s nižší porositou budou mít větší pokles prošlého světla při řasení, z čehož vyplývají další možné souvislosti – např. vliv velikosti pórů bude hrát zřejmě významnou roli a pro posouzení tohoto předpokladu by bylo nutné porovnávat stejně porézní vzorky s různě velkými póry distribuovanými v ploše. Otázkou také stále zůstává, zda se jedná o lineární závislost mezi relativním poklesem transmitance a porositou, či by bylo možné prokázat i jiný trend závislosti (např. aproximovat daný vztah polynomem vyššího stupně). Pro získání objektivních výsledků by bylo nutné obstarat více vzorků záclonovin, které by měly jednotné materiálové složení, jemnost nití a současně by se lišily v některém strukturním parametru např. ve zmiňované velikosti a distribuci pórů, plošným vzorováním, v přesně odstupňované porositě atp. Bylo zjištěno, že výroba takovýchto vlastních vzorků záclonovin by byla uskutečnitelná na KTT, která disponuje rašlovým pletacím strojem. Ovšem při takovémto vlastním zhotovování záclonovin se mohou vyskytnout další možné problémy např. omezené vzorování v závislosti na možnostech pletacího stroje (tím tedy i omezení celkového návrhu záclonovin), nutná stabilizace vzorků po upletení atp. Další možností je pokusit se navázat spolupráci s výrobcem dekoračních závěsových textilií, který by byl schopen zhotovit záclonoviny s potřebnými parametry.

### Vztah porosity a transmitance vzorků při řasení

Na základě zjištěného existujícího lineárního vztahu mezi plošnou porositou a transmitancí nenařazených vzorků (viz obrázek 16) bude tento vztah také ověřován i pro nařazené vzorky. Do hodnocení jsou zařazeny i hodnoty transmitance pro nenařazený vzorek, který představuje poměr řasení 1:1. Na následujícím obrázku 22 je znázorněn tento vztah plošné porosity a transmitance při různých poměrech nařazení.



Obr. 22 Vztah porosity a transmitance při nařazení vzorků  
(a) pro kolimované světlo, (b) pro difúzní světlo

Z obrázku výše je tedy zřejmé, že i po nařazení zkoumaných vzorků zůstává míra lineární závislosti transmitance světla (kolimovaného i difúzního) a plošné porosity záclonovin velmi vysoká. Opět je zde pozorována skutečnost, že na konkrétním poměru řasení dochází k tomu, že s rostoucí porositou roste transmitance (což odpovídá kladné lineární závislosti). Současne lze pozorovat, že s rostoucím poměrem nařazení, který je označen různými symboly, klesá naměřená transmitance (jak již bylo také dokázáno v předchozím - viz obrázek 18).

V této části práce je snahou pokusit se predikovat hodnoty transmitance na základě informací o plošné porositě i pro různé řasící poměry. Byly aplikovány dva rozdílné přístupy pro aproximaci experimentálně naměřených dat transmitance.

- **Predikční model 1**

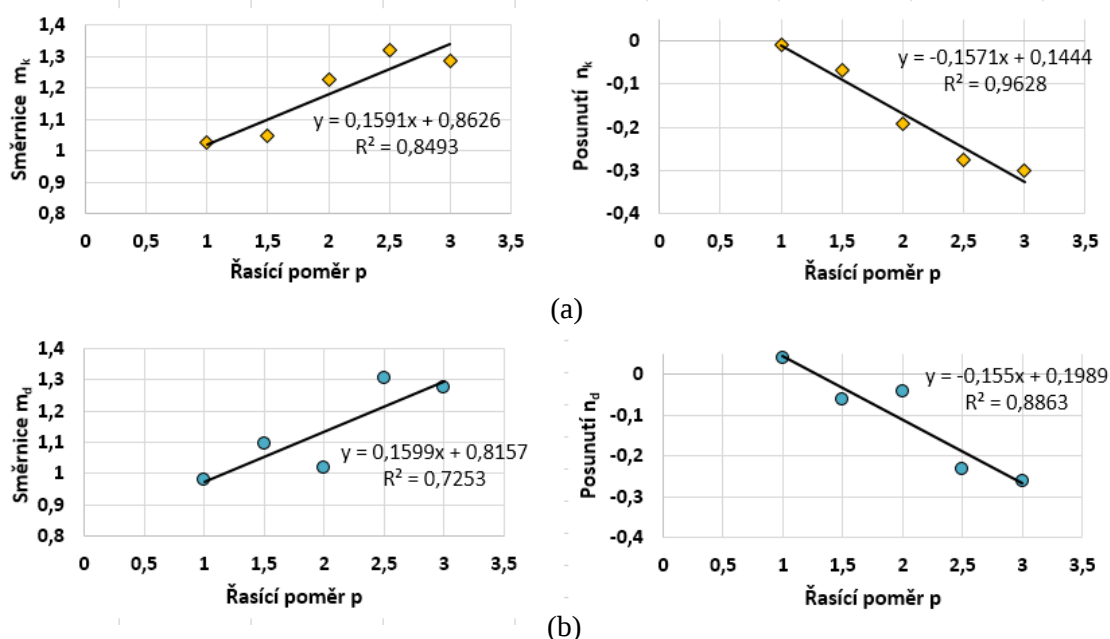
Z vygenerovaných lineárních rovnic na obrázku 22 je patrné, že s rostoucí mírou nařazení je parametr strmosti regresní přímky vyšší. Výjimkou jsou hodnoty směrnice u poměru 1:2 při difúzním osvětlení, což může být způsobeno např. chybou při měření. Tento trend tedy znamená, že při větší strmosti přímky (tedy při vyšším řasícím poměru) menší změna v porositě způsobí změnu transmitance (naopak při menší strmosti přímky, větší změna porosity způsobí stejnou změnu transmitance). Parametr směrnice přímky je tedy patrně závislý na řasícím poměru. Zjevně i hodnota parametru posunutí regresní přímky závisí na poměru řasení, přičemž je logické, že s rostoucím poměrem nařazení klesá transmitance a přímka se posouvá níž (parametr posunutí nabývá s rostoucím poměrem nařazení nižších hodnot). Závislost transmitance  $T$  [-] (nařazené i nenařazené) na plošné porositě záclonoviny lze tedy obecně popsat rovnicemi:

$$T_{kp} = m_k \cdot \Psi + n_k , \quad (12)$$

$$T_{dp} = m_d \cdot \Psi + n_d , \quad (13)$$

kde  $m$  jsou hodnoty parametru směrnice,  $n$  označuje hodnoty parametru posunutí,  $\Psi$  [-] plošná porosita, používané spodní indexy  $k$  (kolimované) a  $d$  (difúzní) slouží pro odlišení použitého módu světla, a index  $p$  značí zvolený řasící poměr v rozsahu od 1 do 3.

Dle předchozích úvah je tedy parametr směrnice přímky i parametr posunutí závislý na řasícím poměru, což je znázorněno na obrázku 23.



Obr. 23 Závislost parametrů přímky na řasícím poměru

(a) pro kolimované světlo, (b) pro difúzní světlo

Z těchto grafů a pomocí regresní analýzy lze tedy vyjádřit parametry lineární přímky následujícími rovnicemi:

$$m_k = 0,1591 \cdot p + 0,8626, \quad (14)$$

$$n_k = -0,1571 \cdot p + 0,1444, \quad (15)$$

$$m_d = 0,1599 \cdot p + 0,8157, \quad (16)$$

$$n_d = -0,1550 \cdot p + 0,1989. \quad (17)$$

Po zpětném dosazení vyjádřených parametrů (14) až (17) do rovnic (12) a (13) lze získat rovnice pro aproximaci transmittance na základě znalosti plošné porosity i pro různé řasící poměry v rozsahu od 1 do 3.

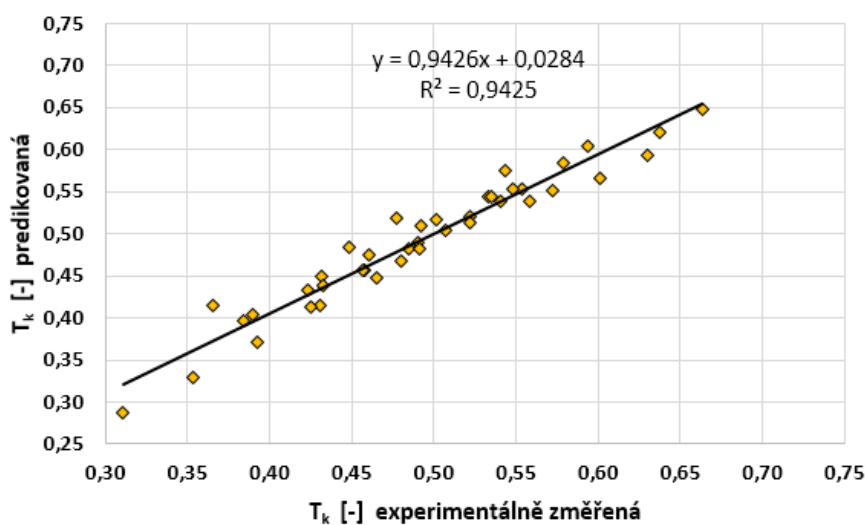
Pro predikci transmittance kolimovaného světla lze zavést rovnici:

$$\widehat{T}_{kp} = (0,1591 \cdot p + 0,8626) \cdot \Psi - 0,1571 \cdot p + 0,1444. \quad (18)$$

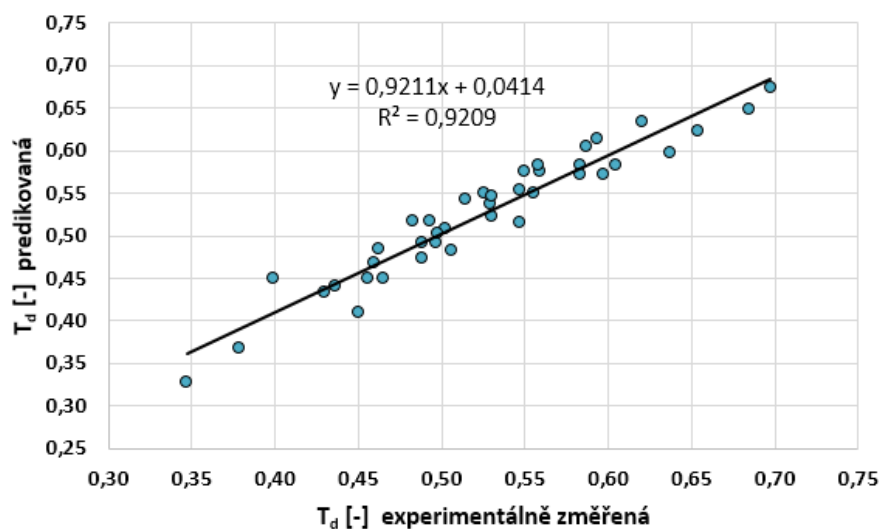
Pro predikci transmittance difúzního světla lze zavést rovnici:

$$\widehat{T}_{dp} = (0,1599 \cdot p + 0,8157) \cdot \Psi - 0,1550 \cdot p + 0,1989. \quad (19)$$

Pro ověření byly do rovnic (18) a (19) dosazeny průměrné hodnoty plošné porosity zjištěné ze snímků z fotoaparátu pro všechny vzorky A – H, a za parametr  $p$  dosazeny příslušné hodnoty řasících poměrů (1; 1,5; 2; 2,5; 3). Výpočtem jsou tak odhadovány (predikovány) hodnoty transmitance světla záclonovin při všech poměrech nařasení. Tyto odhadnuté parametry transmitance jsou na obrázku 24 porovnány s experimentálně zjištěnými hodnotami transmitance podle navrženého metodického postupu pro laboratorní hodnocení intenzity světla.



(a)



(b)

Obr. 24 Vztah mezi predikovanými hodnotami transmitance dle predikčního modelu 1 a experimentálně naměřenými hodnotami transmitance  
(a) pro kolimované světlo, (b) pro difúzní světlo

Z výše uvedeného obrázku je pozorovatelná vysoká míra lineární korelace mezi transmitancí zjištěnou navrženou experimentální metodou a predikovanými hodnotami transmitance dle rovnic (18) a (19) pro oba použité módy světla ( $r_k = 0,9708$  pro kolimované světlo a  $r_d = 0,9596$  pro difúzní světlo). Je tedy zřejmé, že tímto způsobem by bylo možné přibližně odhadnout hodnotu transmitance světla na základě hodnoty plošné porosity záclonového materiálu i po nařazení v rozsahu řasícího poměru od 1:1 do 1:3.

- **Predikční model 2**

Druhým použitým přístupem k odhadu transmitance je vícenásobná regresní analýza. Jak již bylo v předchozím textu dokázáno, lze předpokládat že, vysvětlovaná veličina transmitance  $T$  je lineárně závislá na vysvětlujících veličinách porosity  $\Psi$  (viz obrázek 22) a na řasícím poměru  $p$  (viz obrázek 18). Přičemž jednotlivé vysvětlující proměnné (plošná porosita a řasící poměr) jsou vzájemně nezávislé, nedochází k tzv. multikolinearitě, která je v regresním modelu nežádoucí. Tato vícenásobná regrese vyžaduje řešení pomocí statistického programu. Snadnou implementaci nabízí např. program Excel, kde byly shromážděny průměrné hodnoty zjištěné transmitance pro všech osm vzorků s příslušnými hodnotami porosity ve všech pěti řasících poměrech (celkem tedy 40 pozorování). Regresní model je opět prováděn zvlášť pro oba módy světla. Výstupem jsou odhady koeficientů regresního modelu, z nichž je možné sestavit predikční rovnice.

Pro predikci transmitance kolimovaného světla lze zavést rovnici:

$$\widehat{T}_{kp} = -0,0341 - 0,0679 \cdot p + 1,1807 \cdot \Psi. \quad (20)$$

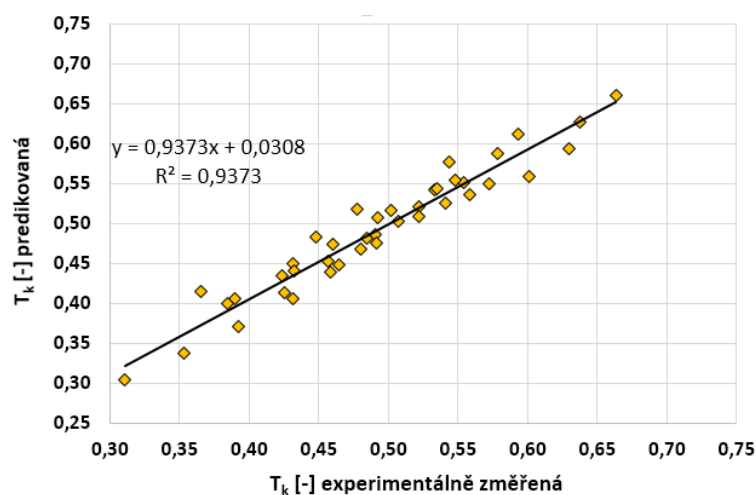
Pro predikci transmitance difúzního světla lze zavést rovnici:

$$\widehat{T}_{dp} = 0,0196 - 0,0653 \cdot p + 1,1355 \cdot \Psi. \quad (21)$$

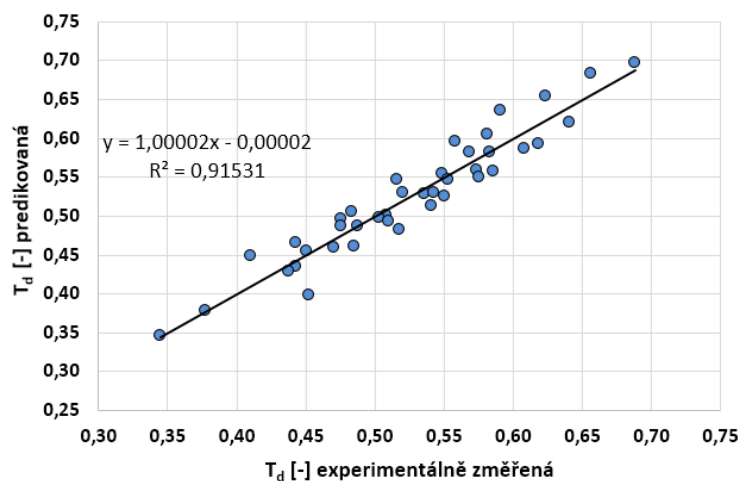
Součástí vygenerovaných výsledků jsou i testové statistiky (p-hodnoty), dle kterých lze určit významnost odhadnutých parametrů. Pro tyto modely je možné říci, že odhadované parametry jsou na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  statisticky významné. Dalším výstupem je také celkový F-test významnosti

regresního modelu, jehož testové statistiky ( $F_{\text{kolimované}} = 277$ ;  $F_{\text{difúzní}} = 200$ ) jsou větší než kritická hodnota na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  se 2 a 37 stupni volnosti ( $F_{(0,95;2;37)} = 3,2519$ ). Lze tedy zamítnout tvrzení o nevhodnosti modelů. Vypočítaný koeficient determinace pro rovnici (20) udává, že 94% změn transmitance je vysvětleno vlivem porosity a poměru řasení (6% změn transmitance je způsobeno jinými vlivy). O rovnici (21) lze tvrdit, že 92% změn transmitance je způsobeno vlivem porosity a řasení (zbylých 8% změn transmitance je způsobeno jinými vlivy).

Dále byly do rovnic (20) a (21) dosazeny zjištěné hodnoty plošné porosity a příslušné řasící poměry 1 až 3. Tyto výpočtem odhadnuté hodnoty transmitance jsou porovnány s experimentálně zjištěnými hodnotami na obrázku 25.



(a)



(b)

Obr. 25 Vztah mezi predikovanými hodnotami transmitance dle predikčního modelu 2 a experimentálně naměřenými hodnotami transmitance  
(a) pro kolimované světlo, (b) pro difúzní světlo

Dle dosažených výsledků lze navržené modely (20) a (21) získané postupem vícenásobné regresní analýzy považovat za vhodné k predikci transmitance na základě znalosti hodnot porosity záclonovin pro různé řasící poměry.

Predikční model 1 je založen na logických úvahách a dosazení vyjádřených parametrů (získaných dvěma regresními analýzami) do lineární rovnice. Predikční model 2 je určen za pomoci klasické vícenásobné lineární regrese. Oba modely lze považovat za použitelné pro odhad transmitance na základě zjištěných hodnot porosity i pro různé řasící poměry. V případě prvního modelu mohou být do metody zanášeny větší chyby, jelikož se jedná o dvojité vyjádření regresními rovnicemi. I přesto však přináší poměrně uspokojivé odhady parametrů transmitance. Druhý predikční model získaný pomocí vícenásobné regresní analýzy, poměrně snadno poskytne informace o parametrech rovnice i dalších statistických výpočtech určujících významnost regresního modelu. Vyjádřené predikční rovnice postupem vícenásobné regresní analýzy mají také jednodušší tvar. Předpokladem pro platnost predikčních rovnic je dosazování za parametr řasícího poměru  $p$  hodnoty 1; 1,5; 2; 2,5 a 3. Dle realizovaných měření lze do predikčních rovnic za parametr plošné porosity  $\psi$  dosazovat hodnoty přibližně od 0,4 do 0,7 zjištěné pomocí obrazové analýzy ze snímků z fotoaparátu.

## 7. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Tato kapitola kompletně shrnuje přehled docílených výsledků a jejich celkové zhodnocení. Výstupem práce jsou zejména navržené experimentální metody a zjištěné skutečnosti studovaných světlo-propustných vlastností záclonovin v závislosti na strukturních parametrech zkoumaných vzorků. Pro tuto prvotní studii bylo snahou popsat vztah mezi plošnou porositou záclonovin a její propustností pro světlo. Do kontextu studované problematiky jsou začleněny návrhy pro budoucí měření i možnosti praktického využití.

V této studii byl použit soubor osmi různorodých záclonovin (liší se v materiálovém složení, jemnosti použitých nití, plošné hmotnosti i ve vazební struktuře). Za reprezentativní parametr, který popisuje plošnou textilií jako celek, je proto považována plošná porosita. Přímá metoda obrazové analýzy se jeví jako neefektivnější způsob pro poměrně snadné a rychlé určení plošné porosity rozmanitých záclonovin. Pro snímání obrazů vzorků záclonovin byly použity dvě metody – za pomoci vyhledávačky vláken a snímání pomocí digitálního fotoaparátu. Na snímání obrazů mají velký vliv okolní podmínky a zejména nasvícení vzorků, proto bylo nutné zajistit konstantní světelné podmínky. Poté již byly pomocí vytvořeného skriptu v programovém prostředí Matlab získány hodnoty plošné porosity, jako podíl plochy pórů a celkové plochy hodnoceného snímku.

Při porovnání výsledků obou metod snímání bylo zjištěno, že porosita z vyhledávačky je větší než porosita z fotoaparátu. Vyhledávačka umožňuje větší přiblížení, rozlišení pořízených snímků je také větší a zachyceny jsou i drobnější detaily pórů. Toto detailnější zobrazení vysvětluje větší hodnotu porosity oproti porositě zjištěné ze snímků z fotoaparátu. Nevýhodou snímků z vyhledávačky je poměrně malá snímaná plocha i přes to, že bylo využito tzv. skládání obrazu. Zejména u vzorků s velkými póry či větším plošným vzorováním se tento nedostatek projevuje zvýšenou variabilitu zjištěného parametru porosity. Snímání velkých ploch touto metodou by bylo možné, ale je velmi časově náročné. Ze snímků z fotoaparátu jsou zjištěné hodnoty porosity nižší, než porosity zjištěné ze snímků z vyhledávačky. Snímky z fotoaparátu mají téměř 4krát menší rozlišení, avšak metoda focení umožnila snímat mnohem větší plochu záclonoviny. Struktura vzorků je na snímcích z fotoaparátu dostatečně

---

zachycena i u vzorků s větší střídou vzoru či většími póry. I variabilita výsledné porosity ze snímků z fotoaparátu je celkově nižší. Snímání záclonovin fotoaparátem je rychlou a efektivní metodou, jejíž velkou předností je dostatečně velká snímaná plocha.

Další porovnávání hodnot plošné porosity určené ze snímků pořízených dvěma zmíněnými metodami snímání přineslo zjištění, že konkrétně u vzorků s větším plošným vzorem (vzorek F) a velkými póry (vzorek G) není mezi zjištěnými porositami statisticky významný rozdíl – tento fakt je však způsoben zřejmou skutečností velmi vysoké variability porosity určené právě ze snímků z vyhledávačky. Pro ověření, zda metody snímání fotoaparátem a vyhledávačkou poskytují srovnatelné hodnoty plošné porosity u záclonovin s velkými póry či větším plošným vzorem, by bylo nutné zpřesnit výsledky získané ze snímků z vyhledávačky (snížit jejich variabilitu např. snímáním větších ploch, což je časově náročné). U ostatních zkoumaných vzorků byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi hodnotami plošné porosity ze snímků z fotoaparátu a hodnotami porosity zjištěné ze snímků z vyhledávačky.

Jako doplňující informace k porosité i celkové struktuře záclonovin, slouží vytvořené histogramy distribuce velikosti pórů. Pro extrahování údajů o ploše pórů je v tomto případě vhodnější použít snímky z fotoaparátu, které umožnily zachytit větší plochu záclonoviny i opakující se střidu vazby. Snímky z fotoaparátu tak umožní získat dostatek informací o pórech i u záclonovin, které mají právě velmi velké póry či větší střidu vazby (což na snímcích z vyhledávačky není zajištěno zejména u vzorku F a G). Na histogramech jsou zachyceny zejména skupiny různě velkých pórů v záclonovině. Lze z nich i určit zda se záclonovina vyznačuje pravidelnou mřížkovou strukturou (má menší počet skupin pórů) či zda se zde vyskytuje více skupin pórů, což vykazují např. záclonoviny s vyvzorovanými motivy v ploše. Histogramy poskytují také informaci o největším póru vyskytujícím se v záclonovině. Navržený skript dále umožňuje na snímku daného vzorku vyhledat a označit konkrétní velikost pórů, což slouží jako dodatečná kontrola histogramů spojená např. s vizuálním hodnocením. Dále by bylo možné zjistit počet pórů na zkoumaném snímku, což je ve skriptovém souboru označeno proměnou L. Z toho je možné dopočítat počet pórů na jednotku plochy, který může sloužit také jako další parametr popisující strukturu záclonové textilie.

Klíčovou částí této diplomové práce bylo navržení vlastního měřicího zařízení (setupu), který umožní hodnotit intenzitu procházejícího světla záclonovinou. Jelikož je jedním z cílů přiblížit se reálným podmínkám a simulovat praktickou situaci, kdy pozorovatel hodnotí světlo procházející skrze záclonu do místnosti, je zde měřena intenzita světla, tak jak by jej vnímalo lidské oko (tedy fotometrická veličina osvětlenosti). Objektivita laboratorního hodnocení intenzity světla je tedy zabezpečena přesně definovanými komponentami. Navržený prototyp se skládá ze světelného zdroje, zachytného systému pro umístění záclonoviny a detektoru připojenému k měřicímu zařízení Luxmetru. Sestavení tohoto poměrně jednoduchého měřicího aparátu bylo provedeno ve spolupráci s Centrem speciální optiky a optoelektronických systému TOPTEC. Výstupem z tohoto měření je parametr transmitance získaný jako podíl výstupní a vstupní intenzity světla. Transmitance tedy popisuje fyzikální proces, při kterém dochází k pohlcení a zeslabení intenzity světla šířícího se skrze záclonovinu. Dále jsou měřením simulovány dva rozdílné případy slunečního záření – kolimované a difúzní. Kolimované světlo je zajištěno asférickým optickým členem, a napodobuje podmínky přímého slunečního záření při jasné obloze. Po nasazení difuzéru na světelný zdroj lze simulovat rozptýlené záření, které vzniká např. odrazem od překážek. Jedním z prvních zaznamenaných poznatků z měření bylo zjištění, že transmitance difúzního světla jsou ve všech měřených případech vyšší než hodnoty transmitance kolimovaného světla. Byla potvrzena statisticky významná rozdílnost mezi transmitancí kolimovaného a difúzního světla. Dále je metodika měření navržena také pro možnost měřit transmitanci i různě nařasené záclonoviny. Záclonoviny byly tedy proměřeny v nenařazeném stavu a dále i při čtyřech nejběžněji používaných řasících poměrech.

Po realizaci navržených experimentů a proměření všech zkoumaných vzorků byly ověřovány základní předpoklady a zkoumány možné vztahy. Nejprve byl ověřován vztah mezi plošnou porositou a transmitancí nenařazených vzorků. Bylo zjištěno, že mezi plošnou porositou a transmitancí existuje lineární trend a současně byla zjištěna vysoká míra kladné lineární závislosti. Přičemž hodnoty plošné porosity zjištěné ze snímků z fotoaparátu vykazují těsnější vztah s hodnotami transmitance (jak pro kolimovaný tak pro difúzní mód světla), než jak tomu je u hodnot zjištěných ze snímků z vyhledávачky. Celkově je metoda fotografování rychlejší, umožní jednoduše zachytit i větší plochu záclonoviny a výsledné hodnoty porosity jsou méně variabilní. Z těchto

důvodů jsou pro určování dalších možných vztahů používány hodnoty porosity zjištěné ze snímků pořízených fotografováním.

Dále byly záclonoviny proměřovány v nařaseném stavu. Logicky bylo usouzeno, že čím více záclonoviny budou nařaseny, tím menší bude hodnota transmitance. Tento předpoklad byl potvrzen a lze zde očekávat, že závislost transmitance na řasícím poměru bude lineární (s vysokou mírou lineární korelace). Přičemž zde byla odvozena zajímavá skutečnost, že na velikost poklesu transmitance bude mít při řasení zřejmě vliv struktura vzorků. Z těchto důvodů byl určen relativní pokles transmitance pro každý vzorek na každém řasícím poměru. V této studii je dále tedy vyjádřena závislost tohoto relativního poklesu transmitance na porositě. Obecně lze očekávat, že více porézní vzorky budou mít při nařasení menší hodnoty poklesu transmitovaného světla a naopak méně porézní vzorky budou mít větší hodnoty relativního poklesu světla. U nižších poměrů řasení 1:1,5 a 1:2 však není možné potvrdit, významnost lineární závislosti transmitance a porosity (míra korelace je nízká a neliší se významně od nuly). Vysvětlením může být projev samotného parametru řasení. Tyto nižší řasící poměry vytvářejí na záclonovině méně širších záhybů, které se nepřekrývají a velikost relativního poklesu transmitance je zde menší. Ovšem u poměrů 1:2,5 a 1:3 se míra lineární závislosti porosity a relativního poklesu transmitance výrazně zvyšuje. Je tedy zřejmé, že na pokles prošlého světla má vliv počet záhybů na plochu, šířka záhybů, hloubka záhybů atd. Tyto vlivy by mohly být odhaleny v dalších experimentech. Je zde navrženo pokračování ve studii, ve které by byly nasnímány vzorky i při řasení a pomocí obrazové analýzy by bylo určeno např., jak se s řasícím poměrem snižuje samotná porosita. Současně by bylo možné navrhnout algoritmy určující např. šířku záhybů, hloubku záhybů, jejich počet atp.

Vyhodnocené výsledky také naznačují, že na velikost poklesu při řasení budou mít vliv určitě i další parametry jako je materiálové složení, jemnost nití, velikost pórů a jejich distribuce, či samotná splývavost vzorků. Určení jednoznačných výsledků znesnadňuje skutečnost, že pro tuto prvotní studii byl zvolen soubor různorodých záclonovin, kterých je poměrně malé množství. Proto je navrhováno pokračování ve výzkumu možných vlivů struktury záclonoviny na pokles transmitance. Pro zajištění dostatečně vypovídající schopnosti výsledků by bylo nutné experiment realizovat na větším souboru zkoumaných vzorků s přesně definovanými parametry. Konkrétním

příkladem navrhované studie může být hodnocení vlivu distribuce velikosti pórů na relativní pokles transmitovaného světla či samotnou transmitanci (měření na vzorcích, které budou stejně porézní, ze stejného materiálového složení a lišit se budou pouze v distribuci pórů). Vytvoření přesně specifikovaných záclonovin by bylo možné na rašlovém pletacím stroji dostupném na KTT. Jednodušší alternativou může být navázání spolupráce s výrobcem dekoračních textilií, který by mohl poskytnout záclonoviny s požadovanými parametry.

V této práci je dále snahou predikovat hodnoty transmitance i při různých řasících poměrech. Je zde prokázána vysoká míra lineární závislosti transmitance světla (kolimovaného i difúzního) a plošné porosity (ze snímků z fotoaparátu) záclonovin i pro nařasené vzorky. Přičemž s rostoucí porositou dochází k růstu transmitance a s růstem řasícího poměru se transmitance snižuje. Pro aproximaci transmitance byly použity dva predikční modely. Výstupem každého predikčního modelu jsou vždy rovnice pro odhad transmitance kolimovaného světla a odhad transmitance difúzního světla. Predikční model 1 je založen na vyjádření parametrů z obecné lineární rovnice závislosti transmitance na porositě. Logickými úvahami bylo zjištěno, že parametry posunutí i směrnice přímky jsou zjevně závislé na řasícím poměru. Lze je tedy popsat regresními rovnicemi, které jsou zpětně dosazeny do obecné rovnice vyjadřující závislost transmitance na porositě. Predikční model 2 je standardním postupem vícenásobné regresní analýzy, která poskytuje odhad vysvětlované veličiny transmitance v závislosti na vysvětlujících veličinách porosity a řasícího poměru. Oba vyjádřené modely umožňují na základě hodnoty plošné porosity záclonového materiálu přibližně odhadnout hodnotu transmitance (kolimovaného i difúzního) světla záclonovinou i pro různé řasící poměry od 1:1 do 1:3.

Jak bylo již několikrát zmíněno, při tomto experimentálním měření a aproximaci experimentálních dat bylo použito pouze malé množství různorodých vzorků, s hlavním cílem ověřit navržené měřicí postupy. Z tohoto důvodu je doporučováno v této studii pokračovat a měřicí metody opakovat na větším souboru záclonových textilií, které budou přesněji definovány a charakterizovány. Opakované měření transmitance i porosity na větším souboru zkoumaných vzorků přinese upřesnění i rozšíření zjištěných skutečností, plynoucích z realizovaných experimentů v této diplomové práci.

## ZÁVĚR

Studie v této diplomové práci je zaměřena na hodnocení světlo-propustných vlastností dekoračních záclonových textilií. Hlavní pohnutkou pro realizaci experimentů byla skutečnost, že užité funkce dekoračních záclonových textilií bývají opomíjeny a spotřebitelé kladou zejména důraz na estetické využití záclon. Ovšem záclony mohou napomáhat usměrňovat a přizpůsobovat světelné podmínky v místnostech podle konkrétních potřeb. Snahou je tedy přiblížit se reálné situaci, kdy pozorovatel hodnotí, kolik světla projde do místnosti skrze překážku, kterou tvoří záclonoviny. Současně bylo záměrem podhalit možné vlivy strukturních parametrů záclonovin na transmitanci světla. Inspirací pro řešení této problematiky byly podobné již realizované experimenty v odborných publikacích. Snahou je tuto studii posunout blíže k praktickému využívání záclonovin s čímž souvisí například jejich nařasení.

Pro studii byl zvolen soubor osmi různorodých záclonovin. Základním hodnoceným strukturním parametrem je tedy plošná porosita a jako doplňkové informace slouží distribuce velikosti pórů v záclonovině. S ohledem na rozmanitost provázání záclonovin a složitost jejich struktury se jako nejefektivnější způsob určení plošné porosity a distribuce velikosti pórů jeví za použití obrazové analýzy. Byly zvoleny dvě metody snímání obrazů záclonovin – vyhledávčka vláken a fotoaparát. Z výsledků tohoto experimentu bylo usouzeno, že snímky z fotoaparátu umožňují jednodušeji zachytit i větší plošné vzory záclonovin, či záclonoviny s většími póry. Z metody snímání obrazů za pomoci fotoaparátu jsou hodnoty plošné porosity méně variabilní na rozdíl od hodnot zjištěných ze snímků pořízených pomocí vyhledávčky vláken. Celkově je metodika focení vzorků záclonovin rychlejší a jednodušší a je považována za vhodnější pro určování plošné porosity záclonovin. Současně snímky z fotoaparátu umožní extrahovat více informací o jednotlivých pórech a jsou tedy záměrně použity i pro určování distribuce velikosti pórů v záclonovině.

Klíčovou část této studie představuje návrh vlastního měřicího aparátu pro laboratorní hodnocení intenzity světla procházejícího záclonovinou. Cílem bylo vytvořit jednoduchou sestavu umožňující objektivní a opakovatelné měření. Navržený setup se skládá ze tří hlavních komponent – definovaného zdroje světla, zachytného systému pro záclonovinu a detektoru, který představuje fotočlánek připojený k vyhodnocovacímu

---

zařízení luxmetru. Pomocí navržené sestavy jsou již snadno dopočítány hodnoty transmitance světla, jakožto podíl výstupní a vstupní intenzity světla. Tento experiment je realizován pro dva módy světla. Kolimované světlo, které simuluje přímé sluneční paprsky vstupující do záclonoviny např. za jasného počasí, a difúzní mód představuje rozptýlené světlo např. při zatažené obloze. Dále je záchytný systém zhotoven tak, aby bylo snadno realizovatelné i měření pro nařasené záclonoviny.

Výstupem této práce jsou především navržené měřicí metody související s určováním světlo-propustných vlastností záclonovin, které byly prakticky ověřeny. Výsledky napovídají na související možné vztahy mezi strukturou záclonové textilie a transmitancí světla, popřípadě naznačují na další souvislosti strukturních parametrů a relativního poklesu světla při řasení. Pro získání jednoznačných výsledků, by však bylo nezbytně nutné zkoumat vzájemné vztahy na větším souboru záclonových textilií s požadovanými strukturními parametry. Ze zjištěných skutečností vyplývají návrhy pro realizaci dalších experimentů. Pro další rozvoj této studie je možné pokračovat ve zjišťování vlivu nařasení na relativní pokles transmitance. Dalším příkladem pro pokračování může být zkoumání vlivu distribuce velikosti pórů u stejně porézních záclonovin, popřípadě vliv ostatních strukturních parametrů záclonových textilií na jejich světelnou propustnost. Tato prvotní studie také naznačuje na možnost aproximace světlo-propustných vlastností záclonovin (transmitance) na základě určeného parametru plošné porosity, a to i pro různé řasící poměry. V neposlední řadě jsou tedy navrženy predikční modely pro přibližný odhad transmitance světla záclonovinou.

## Literatura

- [1] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 4. Vyd. 1. V Brně: VUTIUM; Praha: Prometheus, 2000. ISBN 80-214-1868-0.
- [2] PAŘILOVÁ, Hana; ŠTOČKOVÁ, Hana. Textilní zbožíznalství: bytové textilie. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-921-X.
- [3] MALÝ, Petr. Optika. Vyd. 1. Univerzita Karlova v Praze: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1342-0.
- [4] KRCH, Vojtěch. Osvětlování umělé a přírodní. Vyd 3. opravené a doplněné. Praha: SNTL, 1962. ISBN "-".
- [5] VIKOVÁ, Martina. Přednášky z Textilní fyziky: Záření II. [cit. 2013-11-22]. Dostupné z: < [http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/Textilni\\_Fyzika/2.%20Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20II.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/Textilni_Fyzika/2.%20Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20II.pdf)>.
- [6] WAGNER, Jiří. Fyzika: Přehled pro textilní fakultu. Vyd. 3. opravené a doplněné. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1989. ISBN 80-7083-004-2.
- [7] CHALUPSKÝ, Ladislav. 100x o umělém osvětlení. Vyd. 1. Praha: Práce, 1969. ISBN 24-011-69.
- [8] ČSN 36 0010. Měření světla: Kmenová norma. Praha: Vydavatelství norem, 1965.
- [9] SOKANSKÝ, Karel et al. Světelná technika. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9. Dostupné také z: <[http://k315.feld.cvut.cz/CD\\_MPO/CVUT-6-Svetelna.pdf](http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-6-Svetelna.pdf)>.
- [10] SZMYT, Joana; MIKOLAJCZYK, Zbigniew. Light transmission through decorative knitted fabrics in corelation with their fabric cover. AUTEX Research Jurnal. June 2010. Vol. 10, No. 2, s. 44-48.
- [11] SZMYT, Joana; MIKOLAJCZYK, Zbigniew. Experimental Identification of Light Barrier Properties of Decorative Jacquard Knitted Fabrics. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2013. Vol. 21, No. 2(98), s. 104-110

- [12] GRASSO, Maureen M.; HUNN, Bruce D. Effect of Textile Properties on the Bidirectional Solar-Optical Properties of Shading Fabrics. *Textile Research Journal*. May 1992. 62(5), s. 247-257.
- [13] CHEN, Mei-yu; SUN, Run-jun; DONG, Xu-ye; LAI, Kan. Visual Masking Performance of a Fabric. *Textile Research Journal*. 2008. Vol. 78(7), s. 625-630.
- [14] ČERNÁ, Ladislava. Fotometrie, radiometrie a spektroskopie: Měření neelektrických veličin. Praha: České vysoké učení technické, 2011. [cit. 2013-11-10]. Dostupné z: <<http://pasan.feld.cvut.cz/dokumenty/fotometrie.pdf>>.
- [15] VIKOVÁ, Martina. Přednášky z Textilní fyziky: Mikroskopie III. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <[http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/Textilni\\_Fyzika/6.Mikroskopie%20III.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/Textilni_Fyzika/6.Mikroskopie%20III.pdf)>.
- [16] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje - světelné diody. *Světlo*. 2009/5, s. 68-71. [cit. 2013-12-28] Dostupné také z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetelne-zdroje-%E2%80%93-svetelne-diody-39810.html>>.
- [17] KOVÁŘ, Radko. Struktura a vlastnosti plošných textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-676-8.
- [18] Fysikální materiály. Optika: Elektromagnetické spektrum [online]. 2006 [cit. 2013-11-12]. Dostupné z: <<http://jan.gfxs.cz/studium/files/optika/spektrum.pdf>>.
- [19] DRAŠAROVÁ, Jana. Přednášky Vysoce funkční textile: Využití struktury a vlastností tkanin a pletenin pro zajištění specifických funkcí textilního materiálu. [cit. 2014-1-3]. Dostupné z: <[http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/5\\_PT0.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/5_PT0.pdf)>.
- [20] Jak záclony nařasit. *Záclony.net* [online]. © 2011 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <<http://www.zaclony.net/jak-zaclony-narasit.html>>.
- [21] Bytový textil: Hana Vlachová [online]. © 2014 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <<http://www.by-tex.cz/bytovy-textil-vrchlabi/zaclony/>>.

- [22] TUNÁK, Maroš. Přednášky Zpracování a analýza obrazu. [cit. 2014-3-2]. Dostupné z: <[http://blade1.ft.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContentText&item=500&theme\\_id=39](http://blade1.ft.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContentText&item=500&theme_id=39)>.
- [23] O centru Toptec. Topte.eu [online]. [cit. 2014-3-7]. Dostupné z: <<http://www.toptec.eu/cz/o-centru-toptec-2>>.
- [24] Digitální luxmetr HD450: Návod k obsluze. [cit. 2014-3-24]. Dostupné z: <[http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/123224-an-01-cs-Digitalni\\_luxmetr.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/123224-an-01-cs-Digitalni_luxmetr.pdf)>.
- [25] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky: Základy fotometrie. Světlo [online]. 2009/3. [cit. 2014-3-24]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39195.pdf>>.
- [26] PICEK, Jan. Přednáška ze Statistiky pro akademický rok 2012/2013. [cit. 2012-10-5]. <<https://kap.fp.tul.cz/student/subcross/170-statistika-pro-manegement>>.
- [27] MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. Statistická analýza experimentálních dat. Vyd. 2. Praha: ACADEMIA, 2004. s. 953 ISBN 80-200-1254-0.
- [28] Laboratorní cvičení. Měření osvětlení [online]. 2003 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:c6yRo-B5tT4J:e-learning.tul.cz/elearning/obr/system/jiny/216/luxmetr.doc+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>>.

## Seznam obrázků:

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 Spektrum elektromagnetického záření .....                                                                                          | 17 |
| Obr. 2 Schéma interakcí světla s prostředím .....                                                                                         | 19 |
| Obr. 3 Spektrální citlivost lidského oka.....                                                                                             | 21 |
| Obr. 4 Průchod slunečního záření atmosférou během dne .....                                                                               | 24 |
| Obr. 5 Ukázka typů pórů.....                                                                                                              | 28 |
| Obr. 6 Vzorky záclonovin A-H.....                                                                                                         | 36 |
| Obr. 7 Reálné pozorování světlo-propustných vlastností záclon.....                                                                        | 40 |
| Obr. 8 Návrh měřicí sestavy .....                                                                                                         | 41 |
| Obr. 9 Záchytný systém se záclonovinou .....                                                                                              | 43 |
| Obr. 10 Diagram postupu měření .....                                                                                                      | 48 |
| Obr. 11 Ukázka obrazové analýzy snímku A9.jpg z vyhledávačky .....                                                                        | 50 |
| Obr. 12 Ukázka obrazové analýzy snímku a2.jpg z fotoaparátu Canon.....                                                                    | 52 |
| Obr. 13 Porovnání plošné porosity získané dvěma rozdílnými metodami snímání .....                                                         | 53 |
| Obr. 14 Histogramy distribuce velikosti jednotlivých pórů záclonovin .....                                                                | 57 |
| Obr. 15 Schéma sestavy s vyznačenými vzdálenostmi.....                                                                                    | 59 |
| Obr. 16 Vztah porosity a transmitance nenařazených vzorků .....                                                                           | 61 |
| Obr. 17 Vztah mezi $T_k$ a $T_d$ .....                                                                                                    | 62 |
| Obr. 18 Transmitance při řazení záclonovin .....                                                                                          | 64 |
| Obr. 19 Závislost relativního poklesu transmitance na porositě vzorků.....                                                                | 67 |
| Obr. 20 Rozdíl mezi nařazenými vzorky poměrů 1:1,5 až 1:3 .....                                                                           | 68 |
| Obr. 21 Schématické znázornění tvaru záhybů .....                                                                                         | 68 |
| Obr. 22 Vztah porosity a transmitance při nařazení vzorků .....                                                                           | 71 |
| Obr. 23 Závislost parametrů přímky na řasícím poměru .....                                                                                | 73 |
| Obr. 24 Vztah mezi predikovanými hodnotami transmitance dle predikčního modelu 1 a experimentálně naměřenými hodnotami transmitance ..... | 74 |
| Obr. 25 Vztah mezi predikovanými hodnotami transmitance dle predikčního modelu 2 a experimentálně naměřenými hodnotami transmitance ..... | 76 |

## Seznam tabulek:

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 Teplota chromatičnosti světla pro různé stavy počasí .....                         | 24 |
| Tab. 2 Intenzity světla pro různé podmínky .....                                          | 25 |
| Tab. 3 Rozměry vzorku pro konkrétní poměr řasení .....                                    | 47 |
| Tab. 4 Porosita zjištěná ze snímků z vyhledávačky.....                                    | 50 |
| Tab. 5 Porosita zjištěná ze snímků z fotoaparátu Canon .....                              | 52 |
| Tab. 6 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro porovnání $\psi$ (vyhl.) a $\psi$ (foto.)..... | 54 |
| Tab. 7 Transmittance záclonovin v nenařazeném stavu.....                                  | 60 |
| Tab. 8 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro porovnání $T_k$ a $T_d$ vzorků záclonovin .... | 63 |
| Tab. 9 Analýza závislosti transmittance na řasícím poměru.....                            | 65 |
| Tab. 10 Relativní pokles transmittance při řasení oproti nenařazenému stavu.....          | 66 |

## Seznam příloh:

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Příloha 1: Fotografie použitých metod pro získávání experimentálních dat .....     | 90  |
| Příloha 2: Komponenty sestavy pro laboratorní hodnocení intenzity světla .....     | 92  |
| Příloha 3: Empiricky naměřené hodnoty a zpracované výsledky.....                   | 97  |
| Příloha 4: Ukázka skriptu používaného pro určování porosity a distribuce pórů..... | 98  |
| Příloha 5: Obrazová dokumentace snímků záclonovin.....                             | 100 |
| Příloha 6: Ukázka binárních obrazů jednotlivých vzorků z obou metod snímání .....  | 101 |
| Příloha 7: Doplnující grafy k experimentům .....                                   | 105 |
| Příloha 8: Používané statistické testy a jejich implementace .....                 | 106 |

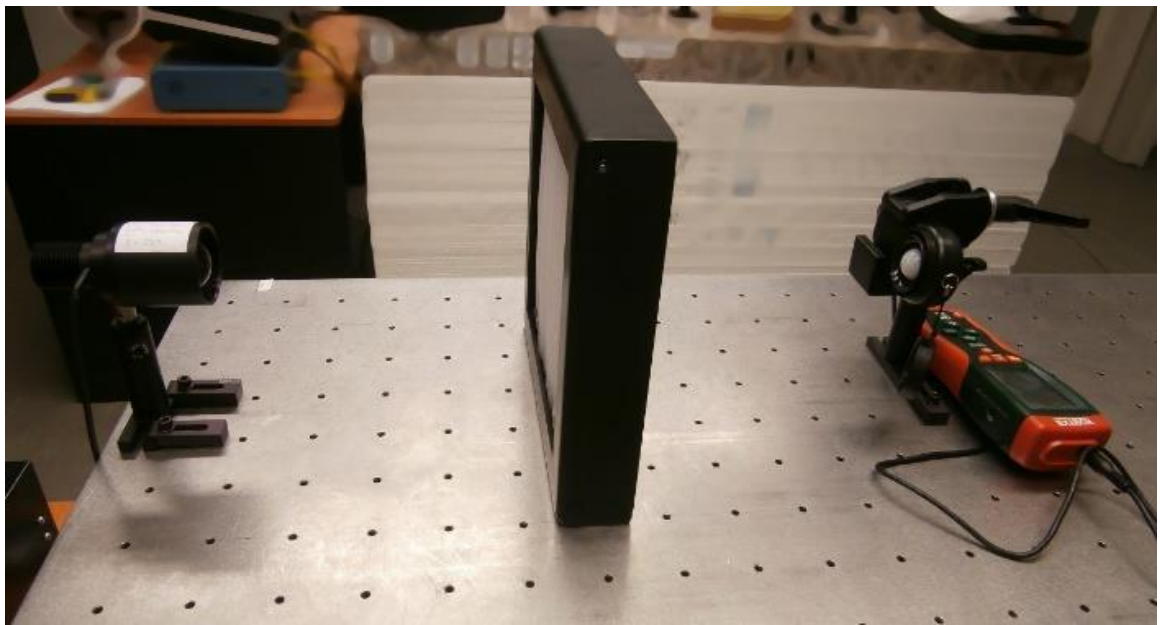
## **Příloha 1: Fotografie použitých metod pro získávání experimentálních dat**



*Snímání vzorků pomocí vyhledávačky vláken*



*Snímání vzorků pomocí fotoaparátu Canon*



*Navržený setup pro měření intenzity světla procházejícího záclonovinou*

## **Příloha 2: Komponenty sestavy pro laboratorní hodnocení intenzity světla**

### **SVĚTELNÝ ZDROJ <sup>1</sup>**

Označení: MCWHL5 - Cold White Mounted High - Power LED

Specifikace:

- Barva: studená bílá (denní světlo)
- Teplota chromatičnosti: 6500 K
- Životnost: 100 000 hod
- Index barevného podání: 70
- Typický světelný tok: 119 lm při 350 mA
- Měrný výkon: 106 lm/W
- Doporučené napětí: 3,2 - 3,5 V
- Maximální proud: 1000 mA



### **KOLIMAČNÍ ČOČKA<sup>2</sup>**

Označení: ACL5040 - Aspheric Condenser Lens, Uncoated

Specifikace:

- Průměr: 50 mm
- Ohnisková vzdálenost: 40 mm



---

<sup>1</sup> Zdroj obrázků a informací: <[www.thorlabs.de](http://www.thorlabs.de)>.

<sup>2</sup> Zdroj obrázků a informací: <[www.thorlabs.de](http://www.thorlabs.de)>.

### **DIFÚZNÍ MATNICE, DIFUZÉR <sup>3</sup>**

Označení: DG20-600 - Ø2" Unmounted N-BK7 Ground Glass Diffuser

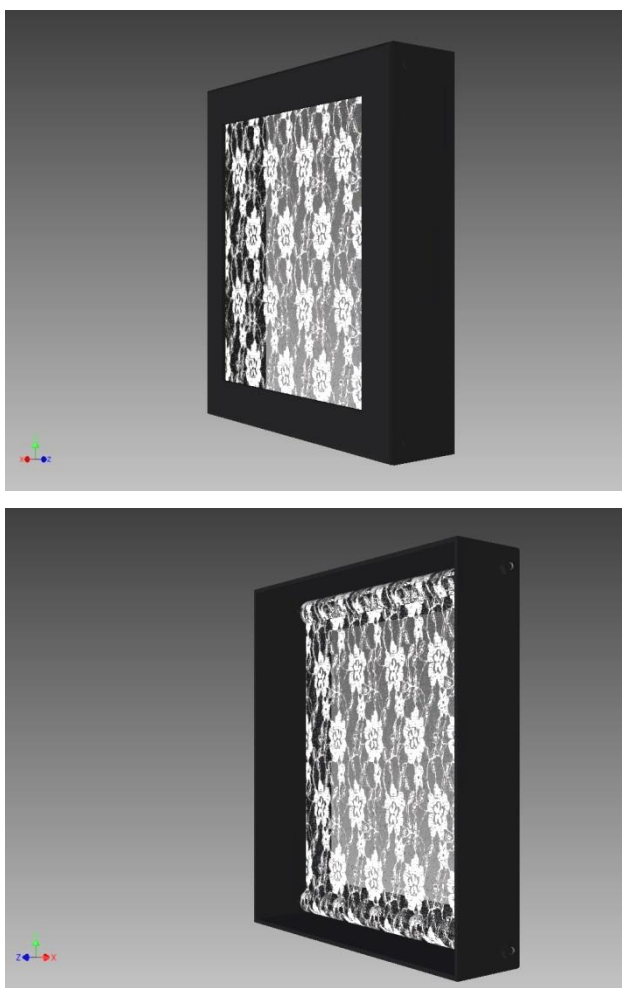
SM2-Mounted N-BK7 Ground Glass Diffuser

Specifikace:

- Průměr: 2"
- Hrubost: 600



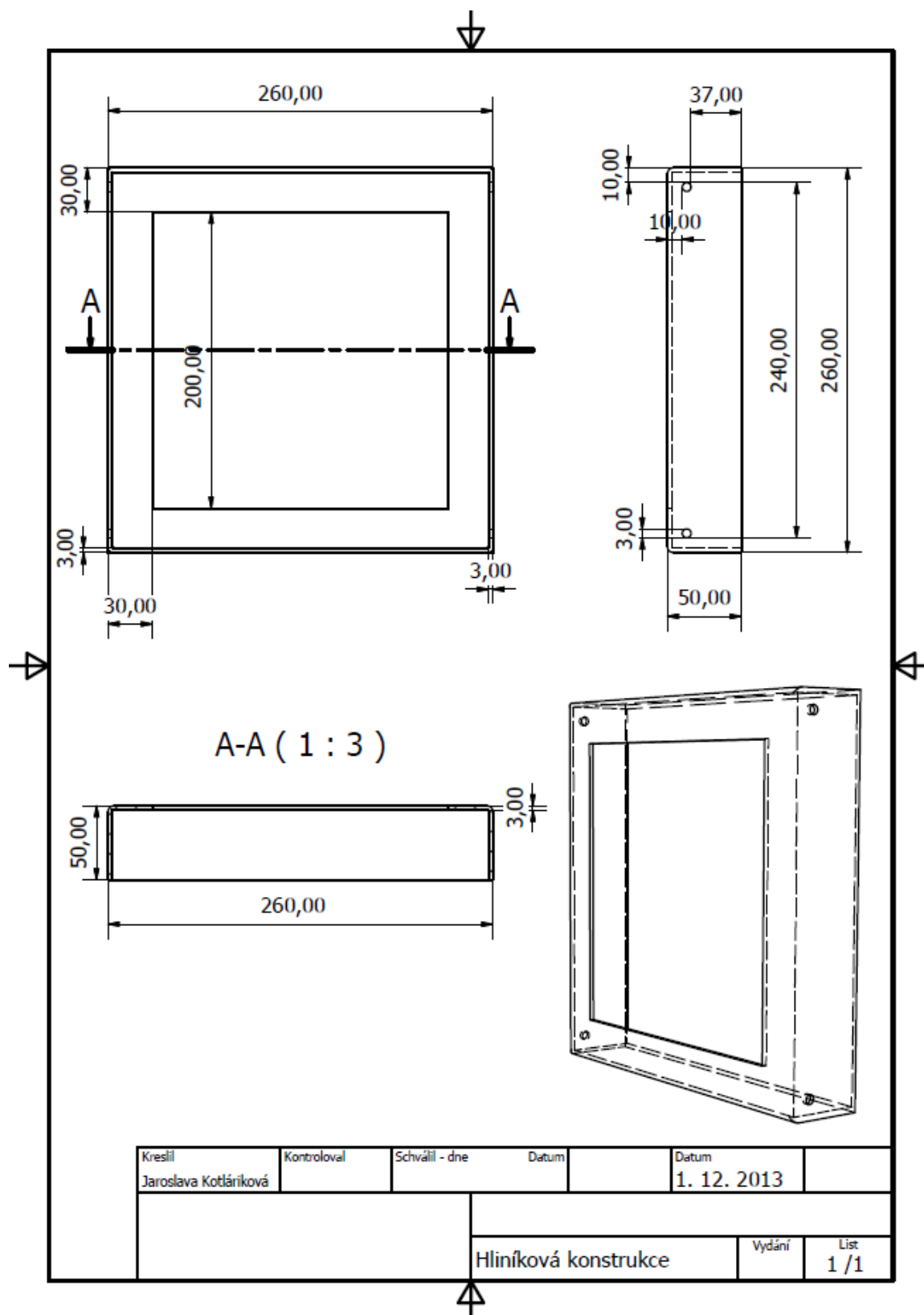
### **ZÁCHYTNÝ SYSTÉM SE VZORKEM <sup>4</sup>**



---

<sup>3</sup> Zdroj obrázků a informací: <[www.thorlabs.de](http://www.thorlabs.de)>.

<sup>4</sup> Vlastní schématické návrhy v AutoCAD Inventor.



Výkres návrhu hliníkové konstrukce

## MĚŘICÍ PŘÍSTROJ LUXMETR HD-450 <sup>5</sup>

### Ovládací tlačítka a další součásti přístroje:



- 1 Přípojka (konektor) kabelu senzoru měření intenzity osvětlení.
- 2 Konektor USB k připojení k počítači (pod krytem).
- 3 LCD displej s grafickou stupnicí.
- 4 Horní ovládací tlačítka přepínání režimu měření.
- 5 Dolní ovládací tlačítka přepínání funkcí.
- 6 Tlačítko zapínání a vypínání přístroje.
- 7 Senzor měření intenzity osvětlení se zabudovanou fotodiodou a s ochranným krytem.

Na zadní straně přístroje se nachází kryt bateriového pouzdra, výklopná opěrka a adaptér k připevnění přístroje ke stativu.

### Technické údaje:

|                                 |                                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------|
| Displej:                        | LCD s grafickou stupnicí                       |
| Senzor:                         | Křemíková fotodioda s filtrem                  |
| Světelné spektru:               | 470 až 690 nm podle normy CIE                  |
| Napájení přístroje:             | 1 baterie 9 V                                  |
| Životnost baterie:              | cca 100 hodin bez zapínání podsvícení displeje |
| Provozní teplota:               | 0°C až 40°C                                    |
| Skladovací teplota:             | -10 °C až + 50 °C                              |
| Relativní vlhkost vzduchu:      | < 80 %, nekondenzující                         |
| Teplota pro zaručenou přesnost: | + 18 °C až + 28 °C                             |
| Hmotnost přístroje:             | cca 390 g s baterií                            |
| Rozměry přístroje:              | 170 x 80 x 40 mm                               |
| Rozměry senzoru:                | 115 x 60 x 20 mm                               |
| Délka kabelu senzoru:           | 1 m                                            |

<sup>5</sup> Zdroj obrázků a informací: Návod k obsluze digitálního luxmetru [24]

## DALŠÍ OPTOMECHANICKÉ ČÁSTI<sup>6</sup>

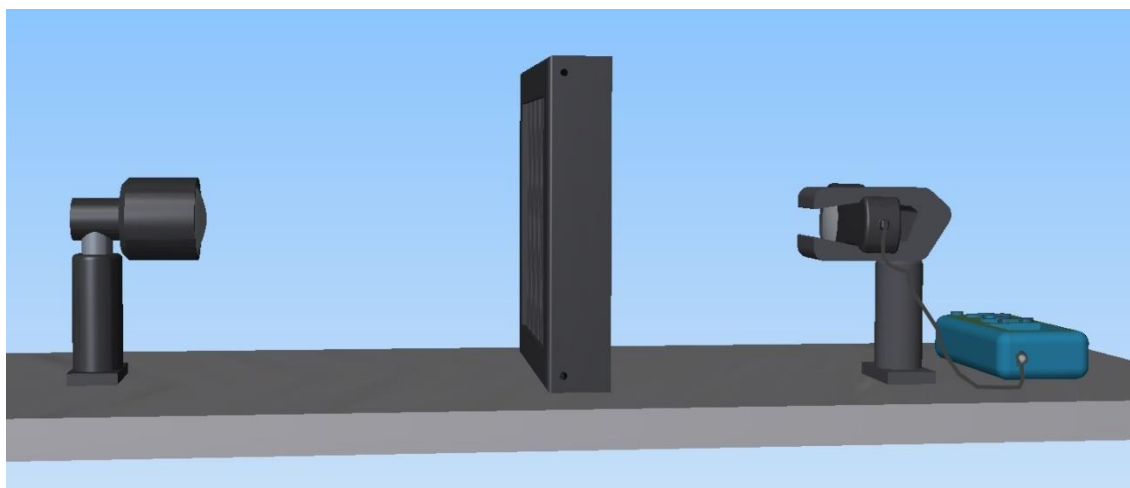


*Trubka pro vytvoření objímky na kolimační čočku*



*Stojánky*

## NÁVRH MĚŘICÍ SESTAVY<sup>7</sup>



---

<sup>6</sup> Zdroj obrázků a informací: <[www.thorlabs.de](http://www.thorlabs.de)>.

<sup>7</sup> Vlastní schématické návrhy v AutoCAD Inventor.

### **Příloha 3: Empiricky naměřené hodnoty a zpracované výsledky**

příloha umístěna na přiloženém CD

soubor Data.xlsx

- List 1: Porosita (vyhledávačka, fotoaparát, porovnání, distribuce pórů)
- List 2: Transmittance (kolimovaná, difúzní, nařasené, nenařasené, ...)
- List 3: Ověření normality dat (Q-Q grafy)
- List 4: Zpracování výsledků (grafy, regresní analýza, korelace)
- List 5: Ostatní

#### **Příloha 4: Ukázka skriptu používaného pro určování porosity a distribuce pórů**

```
clc, clear, close all,

i=imread('h2.jpg'); %nacteni snimku z fotoaparatu
figure, imshow(i)
% imdistline
i2=imcrop(i, [500 50 2499 2499]); %oriznuti snimku na ctvercovy
figure, imshow(i2) %zobrazeni oriznuteho obrazu - kontrola zda
neni na snimku meritko

i3=rgb2gray(i2); %prevod na sedotonovy obraz
figure, imshow(i3)

%% NEGATIV / Jasova transformace
% ziskani poru jako objektu(255 - bila), nite tvori pozadi (0-
cerna)
f=0:255; % puvodni uroven sedi
x=255:-1:0; %priprava vyhl. tabulky
LUT=uint8(x); %LUT ve formatu uint 8
I=intlut(i3,LUT); %aplikace vyhledavaci tabulky na obraz
figure, imshow(I);

%% PRAHOVANI SEDOTONOVEHO OBRAZU I, stanovení prahu P
P=graythresh(I) %(otsuova metoda)

%% ZOBRAZENÍ PRAHOVE HODNOTY V HISTOGRAMU
figure, imhist(I)
xx=[P*255 P*255]; yy=[0 180000];
hold on; plot(xx,yy, 'r')

%% BINARNÍ OBRAZ
% aplikace prahu P na obraz I -> ziskani 1 na místo objektu
% 1>P ; 0<=P
I2=im2bw(I,P);
figure, imshow(I2); %zobrazeni binarniho obrazu

%% VYPOČET POROSITY
[m,n]=size(I2); %velikost binarniho obrazu
Ac=m*n %plocha binarniho obrazu
Ao=sum(sum(I2)) %plocha objektu poru jako suma jednicek
porosita=(Ao/Ac) %vypocet plosne porosity [-]

%% EXTRAKCE VLASTNOSTI OBJEKTU
I2=imclearborder(I2); % odstrani pory ktere jsou na okraji a
nejsou cele
% figure, imshow(I2)

[L,pocet]=bwlabel(I2); % objekty preskaluje az do poctu L /
zmena urovni sedi / pro odliseni objektu
figure, imshow(L, []); % prazdna zavorka proti preskalovani aby
se rozhodily odstiny sedi a postupne zmeni barevnou intenzitu
```

---

```
D=regionprops(L, 'All'); % extrakce vsech vlastnosti objektu
plocha=([D.Area])'; % vyjme data o ploše jednotlivých objekt; ve
vektoru [px]

% OZNACENÍ OBJEKTU S URCITOU VELIKOSTÍ - rozlisování distribuce
velikosti poru
l=[cat(1,D.Area) round(cat(1,D.Centroid))];
r=find((l(:,1)>0)&(l(:,1)<15))==1); %oznaceni ploch ktere budou
<,>, ==, <=, >= vybrané hodnoty pixelu
Ifin=i2;
for jj=1:length(r)
Ifin(l(r(jj),3),l(r(jj),2),1)=255;
Ifin(l(r(jj),3),l(r(jj),2),2)=255;
Ifin(l(r(jj),3),l(r(jj),2),3)=0;
end
figure,imshow(Ifin)

%% PREVOD PIXELU NA MM
% pomoci imdistline z puvodního nahraneho obrazku s pravitkem
zjistim kolik pixelu odpovida 10 mm...
% 10 mm = 405 px --> 100mm^2 = 164025 px^2

plochamm=plocha*100/164025; % prepocet na [mm^2]

%% DISTRIBUCE VELIKOSTI PORU
% zapnout imclearborder odstrani objekty na hranach obrazu I2
[p,xout]=hist(plochamm, 30); %p jsou hodnoty absolutni cetnosti,
a xout hodnoty stredu tridy
figure
bar(xout, p/sum(p), 1); % histogram relativni cetnosti
xlabel('velikost poru [mm^2]'), ylabel('relativni cetnost poru')
title('Distribuce velikosti poru vzorek H')
```

**Příloha 5: Obrazová dokumentace snímků záclonovin**

Příloha umístěna na přiloženém CD.

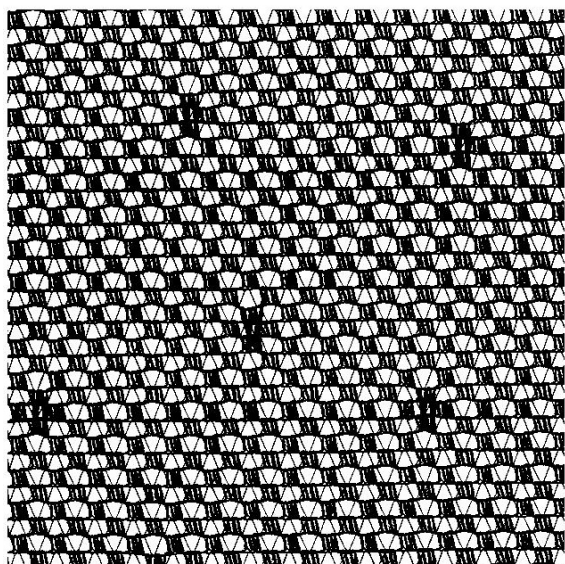
Složka souborů Obrazová dokumentace:

- Snímky fotoaparát
  - a1.jpg až h10.jpg
  - porosita\_foto\_Canon\_skript.m
  
- Snímky vyhledávčka vláken
  - A1.jpg až H10.jpg
  - porosita\_vyhledavacka\_skript.m

**Příloha 6: Ukázka binárních obrazů jednotlivých vzorků z obou metod snímání**

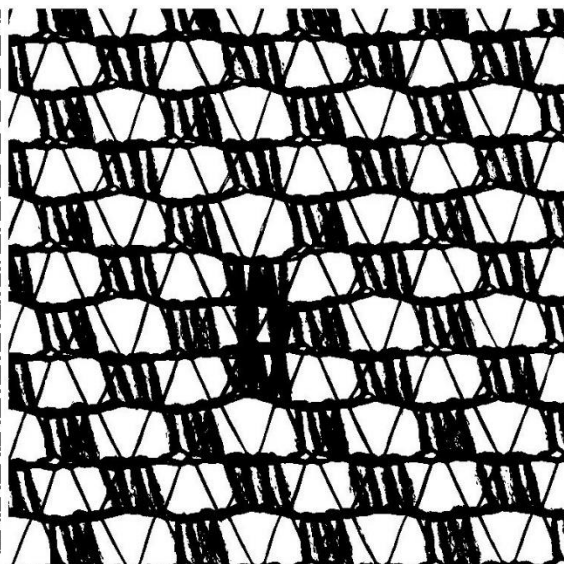
**Snímky z fotoaparátu**

Menší rozlišení, větší snímaná plocha  
2500 × 2500 px (61,73 × 61,73 mm)

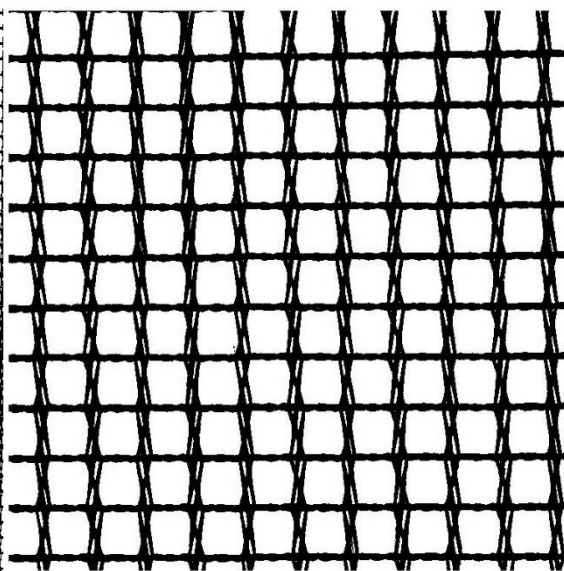
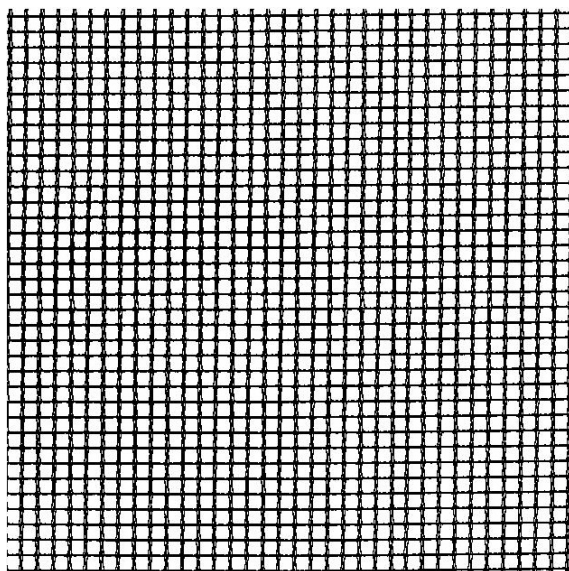


**Snímky z vyhledávačky**

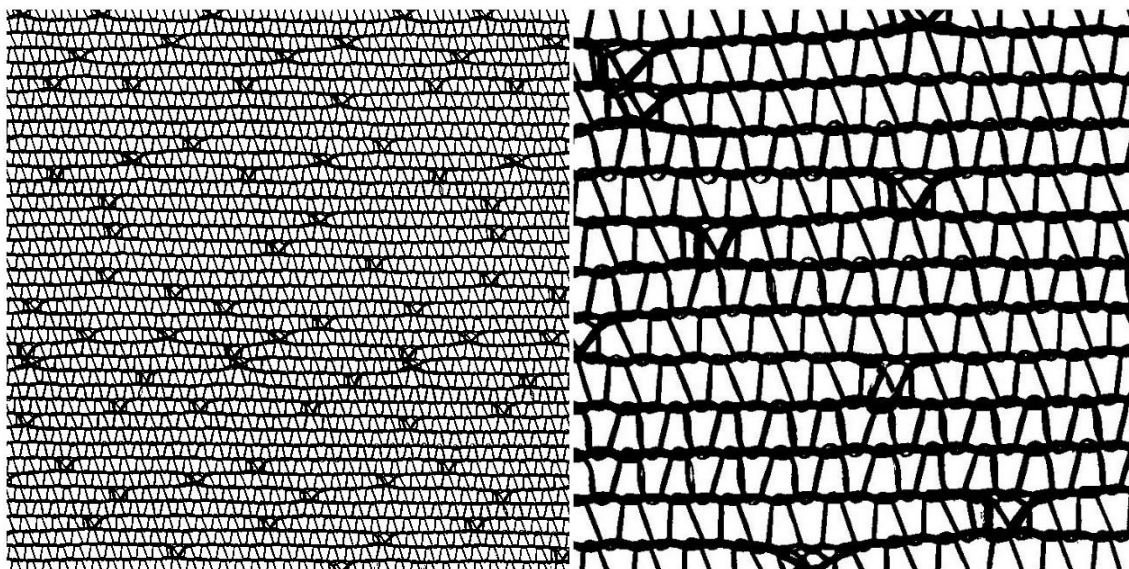
Větší rozlišení, malá snímaná plocha  
3000 × 3000 px (19,23 × 19,23 mm)



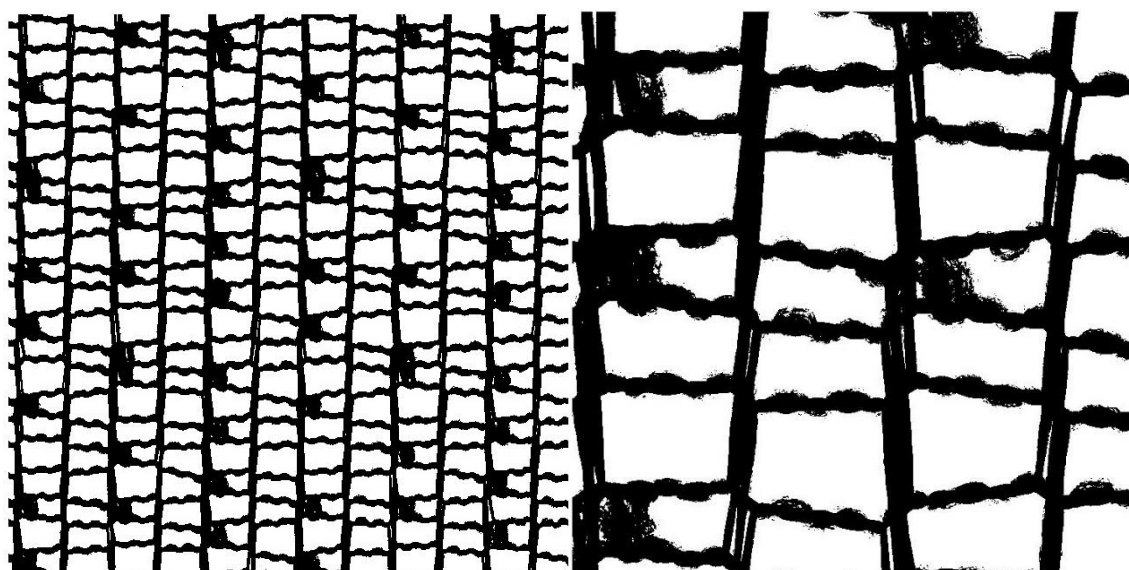
**VZOREK A**



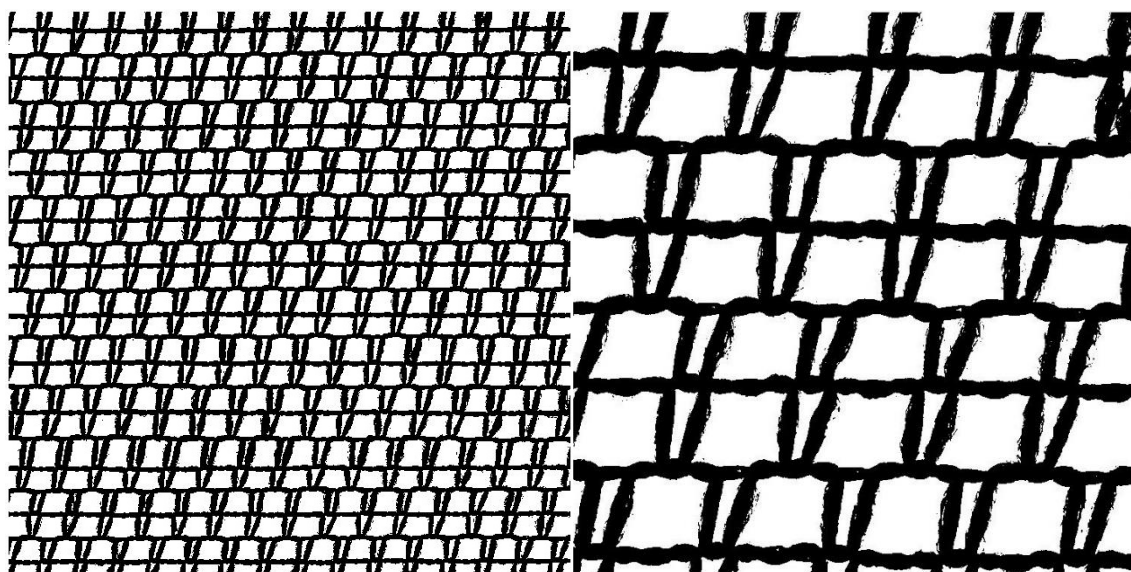
**VZOREK B**



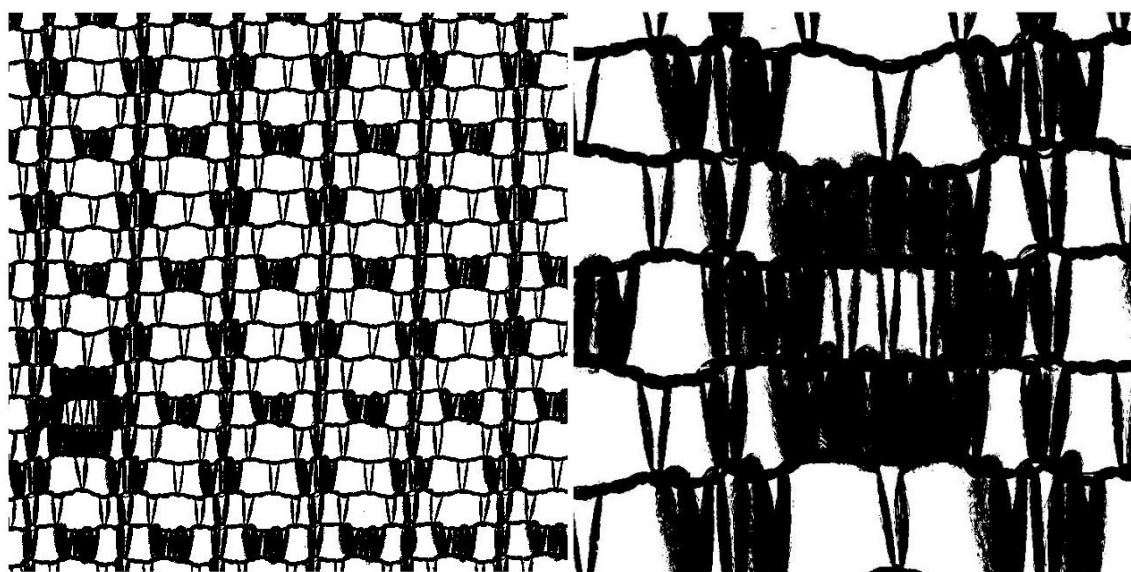
VZOREK C



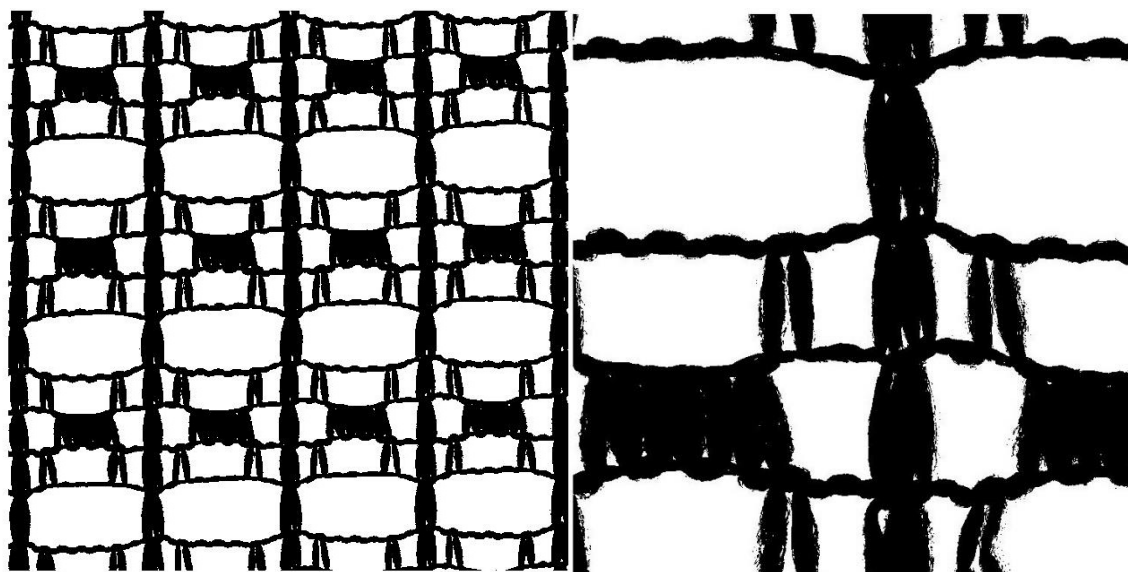
VZOREK D



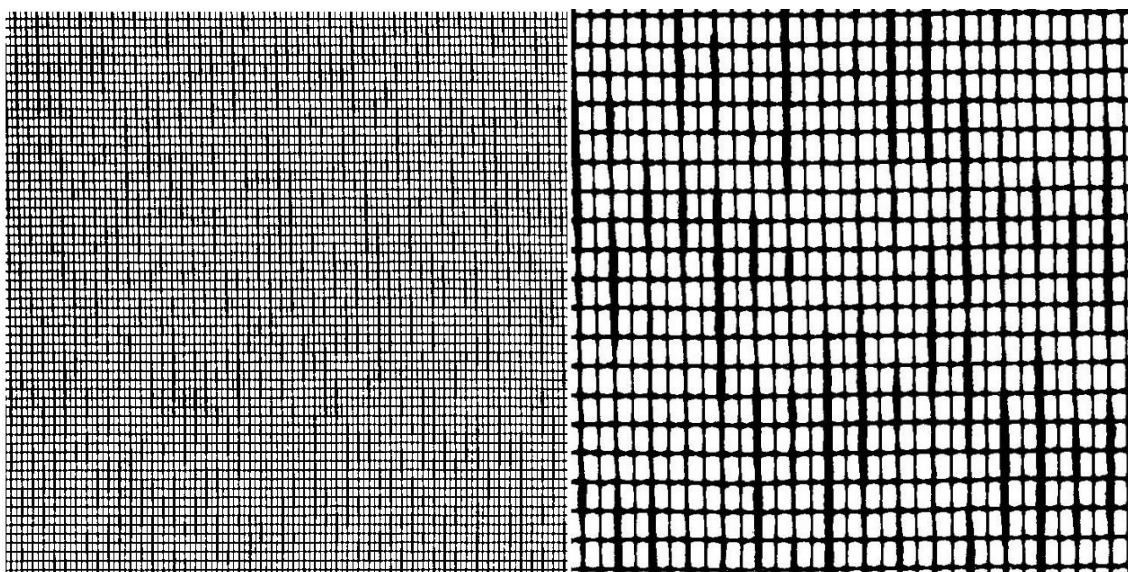
VZOREK E



VZOREK F



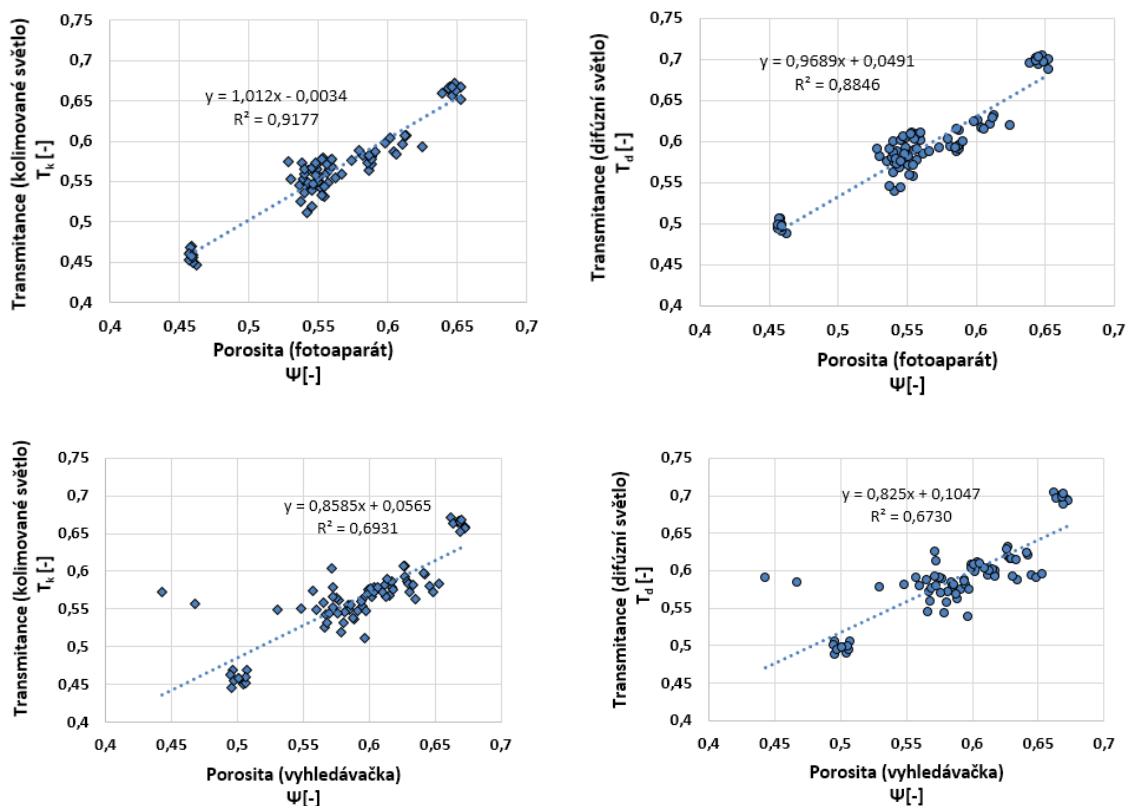
VZOREK G



VZOREK H

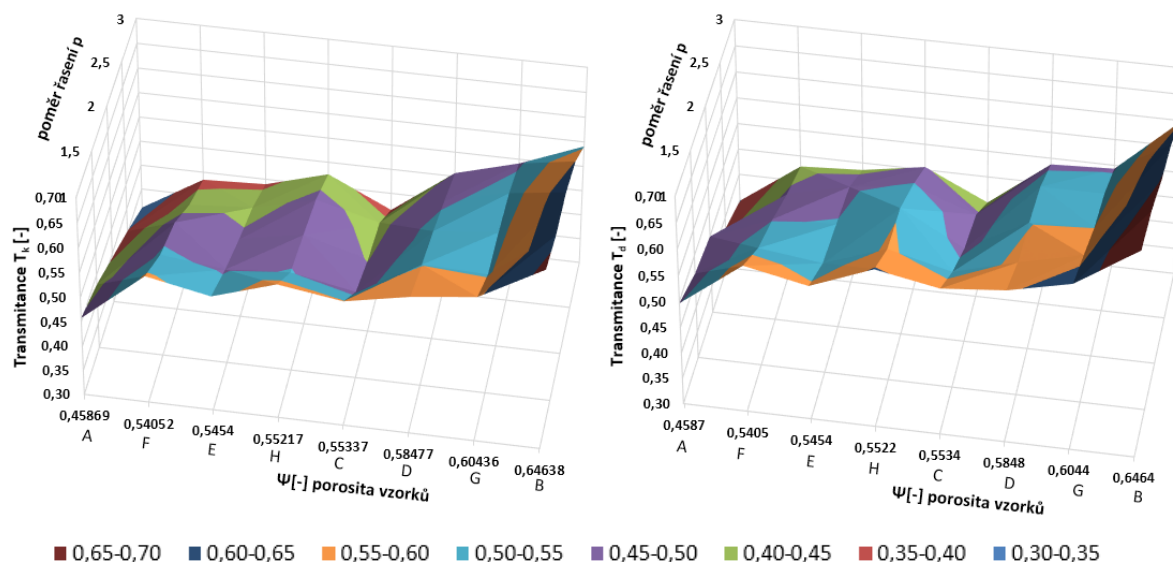
## Příloha 7: Doplnující grafy k experimentům

Doplnění ke kapitole 6.2.2 Zpracování výsledků transmittance nenařazených vzorků



*Vztah transmittance a porosity (pro všechna naměřená data)*

Doplnění ke kapitole 6.2.3 Zpracování výsledků transmittance nařazených vzorků



*Prostorové grafy pro transmittanci různě porézních vzorků při řazení*

**Příloha 8: Používané statistické testy a jejich implementace****Dvouvýběrový ttest pro porositu z fotoaparátu a vyhledávačky skript v matlabu:**

```

clc,clear

% X je matice hodnot porosity z fotoaparatu
% Y je matice hodnot porosity z vyhledavacky
% (ve sloupcich jsou hodnoty pro jednotlivé vzorky)

X=[.....]
Y=[.....]

%% test o shode rozptylu
[h1,p1,ci1,stats1]=vartest2(Y,X,0.05)

%shodnost rozptylu nebyla potvrzena u vzorku:
X1=X(:,1); Y1=Y(:,1); %A
X4=X(:,4); Y4=Y(:,4); %D
X6=X(:,6); Y6=Y(:,6); %F
X7=X(:,7); Y7=Y(:,7); %G

%% Dvouvýběrový ttest
[h2,p2,ci2,stats2]=ttest2(X,Y,0.05)
[hx,px,cix,statsx]=ttest2(X1,Y1,0.05,[],'unequal') %pro vzorky s
různými rozptyly jsou použity redukované stupně volnosti

```

**Dvouvýběrový ttest pro  $T_k$  a  $T_d$  skript v matlabu:**

```

clc, clear
% Tk je matice hodnot transmitance kolimované
% Td je matice hodnot transmitance difuzní
% (ve sloupcich jsou hodnoty pro jednotlivé vzorky)

Tk=[.....]
Td=[.....]

%% test o shode rozptylu
[h1,p1,ci1,stats1]=vartest2(Td,Tk,0.05)

% výsledek testu o shode rozptylu potvrzuje H0 o shode rozptylu
[h,p,ci,stats]=ttest2(Tk,Td,0.05)

```

**Lineární regresní a korelační analýza**

```

x= [.....]; % nezávislá proměnná
y= [.....]; % závislá proměnná

% Pearsonův korelační koeficient
r = corr(x',y') % sloupce vektory

%Lineární regrese
n=length(x);
s1=sum(x);
s2=sum(y); s3=sum(x.^2);
s4=sum(x.*y);
M=[n s1;s1 s3];
A=[s2; s4];
a=M\A % parametry přímky - pousunuti - směrnice

```

**Test nezávislosti veličin x a y**

- Test významnosti hodnoty korelačního koeficientu

$H_0: r = 0$  (mezi zkoumanými veličinami neexistuje závislost – závislost je statisticky nevýznamná)

$H_A: r \neq 0$  (mezi zkoumanými veličinami existuje významná závislost)

Pokud

$|r| > r_k$  zamítám  $H_0$  o nezávislosti (předpokládáme lineární závislost)

$|r| \leq r_k$  nezamítáme  $H_0$  (předpokládáme lineární nezávislost)

Tabulka kritických hodnot korelačního koeficientů  $r_k$ <sup>8</sup>

| n  | $\alpha$ |        |
|----|----------|--------|
|    | 0,05     | 0,01   |
| 3  | 0,9969   | 0,9999 |
| 4  | 0,95     | 0,99   |
| 5  | 0,8783   | 0,9587 |
| 6  | 0,8114   | 0,9172 |
| 7  | 0,7545   | 0,8745 |
| 8  | 0,7067   | 0,8343 |
| 9  | 0,6664   | 0,7977 |
| 10 | 0,6319   | 0,7646 |
| 11 | 0,6021   | 0,7348 |
| 12 | 0,576    | 0,7079 |
| 13 | 0,5529   | 0,6835 |

| n  | $\alpha$ |        |
|----|----------|--------|
|    | 0,05     | 0,01   |
| 14 | 0,5324   | 0,6614 |
| 15 | 0,514    | 0,6411 |
| 16 | 0,4973   | 0,6226 |
| 17 | 0,4822   | 0,6055 |
| 18 | 0,4683   | 0,5897 |
| 19 | 0,4555   | 0,5751 |
| 20 | 0,4438   | 0,5614 |
| 21 | 0,4329   | 0,5487 |
| 22 | 0,4227   | 0,5368 |
| 23 | 0,4132   | 0,5256 |
| 24 | 0,4044   | 0,5151 |

| n   | $\alpha$ |        |
|-----|----------|--------|
|     | 0,05     | 0,01   |
| 25  | 0,3961   | 0,5052 |
| 30  | 0,361    | 0,4629 |
| 35  | 0,3338   | 0,4296 |
| 40  | 0,312    | 0,4026 |
| 45  | 0,294    | 0,3801 |
| 50  | 0,2787   | 0,361  |
| 60  | 0,2542   | 0,3301 |
| 70  | 0,2352   | 0,306  |
| 80  | 0,2199   | 0,2864 |
| 90  | 0,2072   | 0,2702 |
| 100 | 0,1966   | 0,2565 |

**F-test významnosti regresního modelu<sup>9</sup>**

- Test pro významnost celkového navrženého regresního modelu
- Také označován jako test významnosti  $R^2$  (koeficientu determinace)

$H_0: R^2 = 0$  (navržený model není vhodný)

$H_A: R^2 \neq 0$  (navržený model je vhodný)

Testová statistika:

$$F = \frac{R^2 (n-m)}{(1-R^2)(m-1)}$$

Kritická hodnota:

Kvantil F-rozdělení s  $(m-1)$  a  $(n-m)$  stupni volnosti pro  $(1-\alpha)$

<sup>8</sup> [http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info\\_soubory/letnise/ruzne/krithodkorkoef.pdf](http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnise/ruzne/krithodkorkoef.pdf)

<sup>9</sup> v této práci je F-test součástí výsledků vícenásobné regresní analýzy implementované pomocí analytického modulu Regrese v programu Excelu (*Data – Analýza – Analýza Dat – Regrese*).