

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Poživatelné i nepoživatelné části jedlých rostlin použitelné
při barvení textilních materiálů**

Diplomová práce

Bc. Tereza Pitrmanová

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

Vedoucí práce: Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Poživatelné i nepoživatelné části jedlých rostlin použitelné při barvení textilních materiálů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce panu Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. za odborné vedení práce, trpělivost a čas, který mi věnoval. Mé rodině a přátelům, za cenné rady a podporu během psaní diplomové práce.

Poživatelné i nepoživatelné části jedlých rostlin použitelné při barvení textilních materiálů

Souhrn

Barviva přírodního původu mohou pocházet z rostlin, živočichů či minerálů. Rostlinná barviva lze získat z různých druhů rostlin, jedlých i nejedlých a také z různých částí jedné rostliny. Barva vzniká absorpcí části viditelného spektra elektromagnetického záření mezi 360 nm a 760 nm. Vnímaná barva závisí na interakci mezi elektromagnetickým zářením a objektem. Světlo může být objektem pohlceno, odraženo nebo propuštěno, většinou se jedná o souběh těchto interakcí. K měření barevných vzorků se používají spektrální přístroje, mezi nejpřesnější se řadí spektrofotometr.

Rostlinná barviva se v barvířském řemeslu často používají v kombinaci s mořidly. Mořidla nejen že mohou měnit výslednou barvu, ale také podporují vazbu na textilním vláknu, například při vystavení světlu, při praní či při otěru. Proces barvení rostlinnými barvivy může mít dva až čtyři kroky. Základními kroky jsou praní, moření a barvení. Před samotným barvením je nutné určit charakter textilního vlákna, které bude obarveno, a podle toho zvolit vhodné barvivo. Barviva totiž nerozlišujeme pouze podle chemické struktury, ale i podle fyzikálních vlastností. Nejdůležitější pro barvicí proces je rozpustnost barviva. Pro přírodní textilní vlákna jsou vhodnější barviva rozpustná ve vodě.

Vlněné vlákno bylo barveno deseti rostlinnými barvivy rozpustnými ve vodě a mořeno šesti různými mořidly. Spektrofotometricky byl měřen rozdíl mezi obarvenými vzorky po vystavení slunečnímu záření po dobu jednoho kalendářního roku. Výsledky měření byly zaznamenány pomocí barevného systému CIELAB. Hodnocena byla barevná diference E^* mezi jednotlivými mořidly, jestli má mořidlo vliv na stabilitu barviva na vláknu. Efekt žádného mořidla nebyl tak významný, aby se prokázal jako statisticky průkazný. Nicméně hodnota barevné diference byla dostatečně průkazná, aby bylo statisticky potvrzeno, že interakce mezi barvivem a mořidlem měla různou citlivost k vystavení slunečnímu záření. Hodnoty CIELAB byly převedeny do systému RGB a podle hodnot z RGB systému a hodnoty L^* z CIELAB byla hodnocena sytost po expozici záření. Vzorky mořeny cínatým mořidlem měly před vystavením záření průměrnou hodnotu L^* 50,42 a po vystavení záření 52,21. Cínaté mořidlo mělo tedy statisticky nejmenší vliv na stabilitu sytosti barviv.

Klíčová slova: anthokyany, juglon, karotenoidy, mořidlo, spektrofotometr, stabilita barvy

Edible and inedible parts of edible plants useful in the dyeing of textile materials

Summary

Dyes of natural origin can come from plants, animals or minerals. Vegetable dyes can be obtained from different types of plants, edible and inedible, as well as from different parts of one plant. Color is produced by the absorption of part of the visible spectrum of electromagnetic radiation between 360 nm and 760 nm. The perceived color depends on the interaction between electromagnetic radiation and the object. Light can be absorbed, reflected or transmitted by an object, usually a combination of these interactions. Spectral instruments are used to measure color samples, the most accurate being the spectrophotometer.

Plant dyes are often used in the dyeing trade in combination with mordants. Stains not only can change the final color, but also support the bonding to the textile fiber, for example when exposed to light, washing or abrasion. The process of dyeing with plant dyes can take two to four steps. The basic steps are washing, pickling and dyeing. Before dyeing itself, it is necessary to determine the nature of the textile fiber to be dyed and to select the appropriate dye accordingly. We do not distinguish dyes only according to the chemical structure, but also according to the physical properties of the fiber. The most important for the dyeing process is the solubility of the dye. Water-soluble dyes are more suitable for natural textile fibers.

The wool fiber was dyed with ten water-soluble plant dyes and pickled with six different mordants. The difference between the stained samples after exposure to sunlight for one calendar year was measured spectrophotometrically. The measurement results were recorded using the CIELAB color system. The color difference E^* between the individual mordants was evaluated as to whether the mordant affects the stability of the dye on the fiber. The effect of any mordant was not significant enough to prove statistically significant. However, the color difference value was conclusive enough to statistically confirm that the dye-mordant interaction had different sensitivities to sun exposure. The CIELAB values were transferred to the RGB system and the saturation after radiation exposure was evaluated according to the values from the RGB system and the L^* value from CIELAB. Samples stained with tin mordant had an average L^* 50,42 before radiation exposure and 52,21 after radiation exposure. Thus, the tin mordant had statistically the least effect on the saturation stability of the dyes.

Keywords: anthocyanins, juglon, carotenoids, mordant, spectrophotometer, color stability

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod | 10 |
| 2 Vědecká hypotéza a cíle práce | 11 |
| 3 Literární rešerše | 12 |
| 3.1 Barviva | 12 |
| 3.1.1 Přírodní barviva | 12 |
| 3.1.2 Rozdělení barviv podle chemické struktury..... | 13 |
| 3.1.2.1 Chinony | 13 |
| 3.1.2.2 Karotenoidy | 13 |
| 3.1.2.3 Flavonoidy | 14 |
| 3.1.2.4 Betalainy..... | 15 |
| 3.1.2.5 Indigo..... | 15 |
| 3.1.2.6 Chlorofyl | 15 |
| 3.1.3 Rozdělení barviv podle aplikace na vlákno | 15 |
| 3.1.3.1 Reaktivní barviva | 15 |
| 3.1.3.2 Disperzní barviva | 16 |
| 3.1.3.3 Kyselá barviva..... | 16 |
| 3.1.3.4 Zásaditá barviva | 16 |
| 3.1.3.5 Přímá barviva..... | 17 |
| 3.1.3.6 Kypová barviva | 17 |
| 3.1.3.7 Mořidlová barviva | 17 |
| 3.1.3.8 Sírnatá barviva | 17 |
| 3.2 Mořidla | 18 |
| 3.2.1 Kovová mořidla | 18 |
| 3.2.2 Biomořidla..... | 19 |
| 3.2.3 Taniny..... | 19 |
| 3.2.4 Olejová mořidla..... | 19 |
| 3.2.5 Enzymová mořidla..... | 19 |
| 3.3 Textilní vlákna | 20 |
| 3.3.1 Celulózová vlákna | 20 |
| 3.3.1.1 Bavlna | 20 |
| 3.3.1.2 Len | 21 |
| 3.3.2 Proteinová vlákna | 21 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.3.2.1 | Ovčí vlna..... | 21 |
| 3.3.2.2 | Hedvábí z bource morušového | 22 |
| 3.4 | Barvení textilního vlákna | 22 |
| 3.4.1 | Chemické vazby | 22 |
| 3.4.1.1 | Iontové interakce..... | 22 |
| 3.4.1.2 | Vodíkové vazby | 23 |
| 3.4.1.3 | Van der Wallsovy síly | 23 |
| 3.4.1.4 | Kovalentní vazby | 23 |
| 3.4.2 | Barvicí proces..... | 23 |
| 3.4.2.1 | Příprava textilního vlákna | 23 |
| 3.4.2.2 | Příprava barvicí lázně..... | 23 |
| 3.4.2.3 | Aplikace barviva | 24 |
| 3.5 | Světlo | 24 |
| 3.5.1 | Elektromagnetické záření | 24 |
| 3.5.2 | Lidské oko | 25 |
| 3.5.3 | Barevné systémy..... | 26 |
| 3.5.3.1 | Vnímání barev..... | 26 |
| 3.5.3.2 | Mísení barev | 26 |
| 3.5.4 | Barevný rozdíl | 27 |
| 3.6 | Spektrální přístroje | 28 |
| 3.6.1 | Denzitometr | 29 |
| 3.6.2 | Kolorimetr | 29 |
| 3.6.3 | Spektrofotometr | 29 |
| 4 | Metodika..... | 30 |
| 4.1 | Materiál..... | 30 |
| 4.1.1 | Textilní vlákna | 30 |
| 4.1.2 | Rostlinný materiál a jeho forma | 30 |
| 4.1.3 | Chemikálie | 31 |
| 4.1.3.1 | Mořidla | 31 |
| 4.1.3.2 | Ostatní | 31 |
| 4.1.4 | Přístroje a pomůcky | 31 |
| 4.1.5 | Programy..... | 32 |
| 4.2 | Metody..... | 32 |
| 4.2.1 | Příprava roztoku mořidel..... | 32 |
| 4.2.2 | Moření textilních vláken | 33 |
| 4.2.3 | Příprava barvicí lázně..... | 33 |
| 4.2.4 | Barvení..... | 34 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.2.5 | Vystavení slunečnímu světlu | 35 |
| 4.2.6 | Spektrofotometrické měření | 35 |
| 4.2.7 | Statistické hodnocení..... | 36 |
| 5 | Výsledky | 37 |
| 5.1 | Hypotéza 1: Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo | 37 |
| 5.1.1 | Barevná diference | 37 |
| 5.1.2 | T-test pro nezávislé vzorky | 39 |
| 5.2 | Hypotéza 2: Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá ke slunečnímu záření | 40 |
| 5.3 | Hypotéza 3: Sytost barvy je ovlivněna vystavení slunečnímu záření..... | 41 |
| 5.3.1 | Sytost podle mořidla | 42 |
| 5.3.2 | Sytost podle barviva..... | 43 |
| 5.3.3 | T-test pro závislé vzorky | 43 |
| 6 | Diskuze | 45 |
| 6.1 | Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo | 45 |
| 6.2 | Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá ke slunečnímu záření | 45 |
| 6.3 | Sytost je ovlivněna vystavení slunečnímu záření | 46 |
| 7 | Závěr | 47 |
| 8 | Literatura..... | 48 |
| 9 | Seznamy | 52 |
| 9.1 | Seznam obrázků | 52 |
| 9.2 | Seznam tabulek..... | 52 |
| 9.3 | Seznam grafů | 52 |
| 10 | Samostatné přílohy | I |

1 Úvod

Přírodní barviva se pro průmyslové barvení textilu nepoužívají, jsou již delší dobu překonána syntetickými barvivy. Nicméně barvířské řemeslo se v posledních letech opět dostává do popředí, zejména kvůli předpokládaným pozitivním enviromentálním a zdravotním dopadům (Kumbasar 2011). Barvicí proces barvivy z přírodních zdrojů, především z rostlinných zdrojů, je ovšem úzce spojen s použitím mořidel, které mají naopak negativní vliv na životní prostředí. Jedná se o látky chemické povahy, například soli kovů (Booth 2019). Textilní vlákna se při použití rostlinných barviv moří kvůli slabé světlostalosti a slabé stálosti barviv při praní. Mořidla se na vlákno nebo na barvivo připojí pomocí různých chemických vazeb a tím prodlouží trvanlivost barviva na vláknu (Kirby et al. 2017). Kromě prodloužení trvanlivosti ovlivňují mořidla i výsledný odstín. Například barvivo alizarin, nacházející se v kořenech mořeny barvířské (*Rubia tinctorum* L.), má samo o sobě červený odstín, ale po přidání mořidel může dosahovat hnědých a zelených odstínů (Christie 2015).

Barviva z rostlinných zdrojů lépe barví textilní vlákna přírodního původu. Celulózová vlákna, mezi které patří bavlna, jsou strukturou polysacharidy. Lze je barvit několika skupinami barviv rozpustných ve vodě (Gries et al. 2015). Vlněná vlákna, která patří mezi proteinová vlákna, se nejlépe barví také barvivy rozpustnými ve vodě (Mondal 2021). Barvení rozpustnými barvivy je obecně jednodušší než barvivy nerozpustnými, u nichž je nutné jejich převedení na rozpustnou formu (Best 2012).

Hodnocení vlivu mořidel na světlostalost lze zjistit pomocí hodnoty barevné difference E^* . Tuto hodnotu lze vypočítat s použitím dat z barevného systému CIELAB. Diference určí souhrnně rozdíl mezi světlostí (L^*), červenou a zelenou barvou (a^*) a žlutou a modrou barvou (b^*) (Westland & Ripamonti 2004; Ohta & Robertson 2005). Hodnotu E^* lze pak porovnat s tabulkovou hodnotou a zjistit tak, jak významný je rozdíl mezi prvním měřením a měřením druhým (Zmeškal et al. 2002).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce bylo spektrofotometrické měření textilního vzorku vlny před a po vystavení slunečnímu záření po dobu jednoho roku. Předpoklady pro měření byly:

- 1) Stabilita barvy u vlny je závislá na použité rostlinné části v kombinaci s barvivem.
- 2) Stabilita barvy u vlny je závislá na použitém mořidle.
- 3) Stabilita barvy u vlny je závislá na vzájemné interakci vlny, barviva a mořidla.

Na základě těchto tří předpokladů byly stanoveny tři hypotézy, a to:

- 1) Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo.
- 2) Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá k vystavení slunečnímu záření.
- 3) Sytost barvy je ovlivněna vystavení slunečnímu záření.

3 Literární rešerše

3.1 Barviva

Barvivo je jakákoliv látka používaná k úpravě barvy předmětu změnou spektrální propustnosti či spektrální odrazivosti. Rozlišuje se termín barvivo a pigment. Barviva jsou rozpustná ve vodě, zatímco pigmenty nikoliv. Dalším rozdílem je, že barviva jsou absorbována barveným substrátem, ale pigmenty potřebují pojivo, aby k povrchu přilnuly (Malacara 2002).

Barviva určená k barvení textilu mají silnou afinitu k textilním vláknům a textilní vlákna mají takové chemické vlastnosti, aby afinitu podpořila (Christie 2015; Fleming & Williams 2019).

Barviva se skládají ze dvou skupin – chromofor a auxochrom. Chromofor nese barvu a je zodpovědný za absorpci světla. Auxochrom je modifikátor chromoforu. Z výše uvedeného vyplývá, že každá barevná molekula obsahuje chromofor. Mezi nejvýznamnější chromofory se řadí azo skupina ($-N = N -$), karbonylová skupina ($C = O$) a nitro skupina (NO_2). Pro barevné sloučeniny je také typické, že mají velký počet konjugovaných vazeb (Christie 2015; Fleming & Williams 2019).

3.1.1 Přírodní barviva

Přírodní barviva lze získat z rostlinných, živočišných i minerálních zdrojů. Rostlinná barviva se získávají často z obnovitelných zdrojů. Lze je získat z různých částí rostliny, například z plodů, semen, kůry či stonků. Každá část rostliny může nést jinou barvu (Yusuf 2018; Vankar & Shukla 2019). Ve většině případů nejsou zdraví škodlivá a některá mají i léčivé účinky. Živočišné zdroje jsou velmi důležitým zdrojem červené barvy, která se získává především z hmyzu. Minerální barviva patří k nejstarším zdrojům barviv – minerály byly nejprve namlety a poté smíchány s vhodným pojivem, příkladem je chromová žluť (Bidlová 2005; Clark 2011). Bohužel nelze říct, že přírodní barviva mají pouze pozitivní dopad jak na populaci, tak na přírodu. I v přírodních barvivech se vyskytují těžké kovy či toxické látky. Proto platí, že i přírodní barviva musí být přísně testována. Lze uvést několik omezení pro použití přírodních látek jako barviv. Například přírodní látky poskytují jen omezený rozsah barevných odstínů a jejich reprodukovatelnost může být také problematická. Je omezena i barvitelnost textilních vláken, obecně přírodní barviva barví lépe přírodní vlákna než vlákna syntetická (Clark 2011). Dalším omezením barvení pomocí přírodních barviv je až téměř nutnost použití mořidel, a to kvůli fixaci barviva na vláknu. Problémem je i jejich dostupnost. Vzhledem k rozdílnému podnebí v jednotlivých zemích nemusí být přírodní materiál dostupný celoročně a například u pěstovaných plodin nemusí být výsledky vždy stejné (Vankar & Shukla 2019).

3.1.2 Rozdělení barviv podle chemické struktury

3.1.2.1 Chinony

Mezi chinonová barviva se řadí několik podskupiny přírodních barviv, a to benzochinony, antrachinony a naftochinony. Jejich základní jednotkou, jak již název napovídá, jsou chinonová jádra. Jde o šestičlenný kruh se dvěma karbonylovými skupinami (Christie 2015; Yusuf 2018).

Benzochinonová barviva nejsou příliš využívána, kvůli nestabilním vazbám, které tuto sloučeninu tvoří. Barvivo karthamin, které má žlutou barvu, lze extrahovat ze světlice barvířské (*Carthamus tinctorius* L.). Po oxidaci vzniká karthamon, který má oranžovo-červenou barvu. Používá se v tradiční čínské medicíně jako barvivo pro textilní vlákna, potraviny i dekorativní kosmetiku (Christie 2015).

Antrachinonová barviva jsou největší skupinou chinonových barviv, jedná se o jednu z nejvýznamnějších skupin barviv. Lze je extrahovat z mnoha přírodních zdrojů, kromě rostlin i z lišejníků, hub či živočichů. Obecně se vyznačují dobrou světlostalostí při použití kovových mořidel, jsou také stabilní při praní (Clark 2011; Yusuf 2018). Zřejmě nejznámějším barvivem této skupiny je alizarin (1,2 – *dihydroxyantrachinon*), který se nachází v kořenu mořeny barvířské (*Rubia tinctorum* L.). Jedná se o červený pigment, s použitím kovových mořidel lze ovšem dosáhnout i jiných odstínů. Například s chromovými solemi vzniká hnědý odstín a se solemi železa fialový odstín. V dnešní době je alizarin vyráběn především synteticky (Borodkin 1987; Christie 2015).

Naftochinonová barviva poskytují především fialové až hnědé odstíny. Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny je lawson (2 – *hydroxy* – 1,4 – *naftochinon*) a juglon (5 – *hydroxy* – 1,4 – *naftochinon*). Lawson se získává z henny (*Lawsonia inermis* L.) a poskytuje sám o sobě hnědé odstíny, se solemi železa lze získat odstíny světle zelené. Henna, jak je známo, je historicky nejvíce používána k dekoraci kůže, proto byla velmi brzy provedena chemická analýza, zda nehrozí poškození zdraví. Bylo potvrzeno, že jako přírodní produkt má naprosto minimální potenciál být zdravotně riziková. Kromě dekorace kůže se používá i na barvení vlasů. Jedná se o nejdéle používanou barvu na vlasy, jejíž účinky jsou známy již od středověku (Christie 2015). Juglon lze získat z různých druhů ořešáků (*Juglans* sp. L.). Stejně jako henna se používá jako barva na vlasy, kromě toho je například součástí samoopalovacích krémů. Juglon působí cytotoxicky, proto se používá i jako lokální léčba akné či na různé bakteriální nebo virové infekce (Inbaraj & Chignell 2004; Bechtold & Musak 2009; Christie 2015).

3.1.2.2 Karotenoidy

Karotenoidy lze podle základní chemické struktury zařadit do polyenových barviv. Mají velký počet konjugovaných vazeb, jde až o 750 dosud popsanych sloučenin. Jejich struktura také předpovídá antioxidační vlastnosti, které karotenoidy obecně mají. Jedná se o skupinu barviv, která poskytuje žluté, oranžové až červené odstíny. Kromě rostlin je lze nalézt například ve žlutě zbarveném peří ptáků. Karotenoidy jsou obsaženy i v řasách, houbách, bakteriích apod. (Bechtold & Musak 2009; Clark 2011; Böhm 2019).

Rozlišujeme dvě skupiny karotenoidů, a to karoteny a xantofyly, které ve své struktuře obsahují kyslík. Obě tyto skupiny mohou mít acyklickou, monocyklickou či bicyklickou formu. Mezi acyklické karoteny se řadí lykopen, který nese červenou barvu a lze ho nalézt například v rajčatech (*Solanum* sp. L.). Bicyklickými příklady jsou izomery α -karoten a β -karoten, izomer γ -karoten je naopak monocyklický. β -karoten je, jak je známo, obsažen v kořenu mrkve (*Daucus carota* L.). Ve vysoké míře je ovšem obsažen i v listech špenátu setého (*Spinacia oleracea* L.). Tím se vysvětluje vyšší obsah vitamínu A ve špenátu, protože β -karoten, α -karoten a β -kryptoxantin jsou prekurzorem retinolu (Bechtold & Musak 2009; Clark 2011; Böhm 2019). Jelikož jsou ale karotenoidy rozpustné v tucích, jejich dostupnost z uvedeného špenátu bude současně záležet na příjmu tuku (Watson 2019).

Mezi kyslíkaté deriváty karotenoidů, tedy xantofyly, patří například kapsanthin a kapsorubin, které jsou hlavními karotenoidy v červeném pepři (*Schinus molle* L.). Jsou ale také obsaženy i v plodech papriky (*Capsicum* sp. L.). Známým zástupcem je barvivo annatto, které se nalézá v semenech keře oreláníku barvířského (*Bixa orellana* L.). Používá se hojně v potravinářství, dává typickou barvu sýru cheddar (Čopíková et al. 2005; Bechtold & Musak 2009). Žlutá barviva lutein a zeaxantin jsou hojně obsažena v zelené zelenině, již zmiňovaném špenátu, kapustě (*Brassica oleracea* L.) či hrášku (*Pisum sativum* L.) (Watson 2019).

3.1.2.3 Flavonoidy

Flavonoidy jsou polyfenolické sloučeniny s antioxidačními vlastnostmi. Obsahují pyranový kruh a podle jeho oxidace rozlišujeme flavany, flavonoly, flavony, flavonony, antokyany a isoflavony (Ashihara et al. 2006; Volf 2008).

Flavonoly jsou pravděpodobně nejrozšířenější skupinou flavonoidů, patří mezi ně glykosidické barvivo kvercentin (Ashihara et al. 2006; Volf & Andrs 2008). Toto barvivo lze nalézt například ve slupkách jablek (*Malus* sp. L.) nebo i ve slupkách cibule (*Allium cepa* L.), kde je obsah kvercentinu až čtyřikrát větší než u jablek, či v květech třezalky tečkované (*Hypericum perforatum* L.) (Bechtold & Musak 2009). Flavonoly poskytují často žluté odstíny, výjimkou je již zmíněná třezalka, ze které lze získat fialové odstíny (Colombini et al. 2007). V porovnání s flavony flavonoly blednou rychleji při vystavení slunečnímu záření (Clark 2011).

Antokyany jsou velmi oblíbená přírodní barviva používaná pro barvení potravin. Díky přírodnímu původu jsou preferovanější než barviva syntetická. Jejich použití je limitováno citlivostí na změny pH (Bechtold & Musak 2009; Clark 2011). Jsou to barviva, která nesou červené, modré a fialové odstíny. Nacházejí se ve všech částech rostlin, lze je však nejlépe pozorovat v květech a plodech. Mezi nejznámější zástupce patří červený kyanidin či oranžový pelargonidin (Ashihara et al. 2006).

Polyfenolickou strukturu má i kurkumin, který se nachází v kořenech rostliny kurkumy dlouhé (*Curcuma longa* L.). Ten je tvořen třemi kurkumoidy, a to kurkuminem, demethoxykurkuminem a bisdemethoxykurkuminem (Singh 2020). Kurkumin lze použít pro barvení textilu i bez použití mořidel, i sám o sobě má velmi sytou žlutou barvu. Limitem je ale velmi rychlá degradace na slunci, proto se v moderním světě nahradil syntetickými

barvivy (Crews 2013; Attokaran 2017). Pokud se k extrahovanému žlutému barvivu přidá zásada, změní se pH a barvivo nám tím poskytne červený odstín (Potsangbam et al. 2008).

3.1.2.4 Betalainy

Jsou ve vodě rozpustné sloučeniny podobné flavonoidům, ale na rozdíl od nich obsahují dusík. Červenofialovou barvu mají betakyaniny a žlutou betaxantiny. Jsou to antioxidanty, ovšem jejich konzumace není tak rozšířená, lze je přijímat při konzumaci bulvy červené řepy (*Beta vulgaris* L.) nebo v plodech opuncie (*Opuntia* sp. M.) (Ashihara et al. 2006; Clark 2011). Červená řepa obsahuje v listech β -karoten a v bulvě betalainy, což je perfektním příkladem toho, že jedna rostlina obsahuje více různých barviv (Ashihara et al. 2006).

3.1.2.5 Indigo

Indigo je jedním z nejstarších modrých barviv pocházející z indigovníku (*Indigofera tinctoria* L.). V Asii se stále používá při tradičním barvení textilních vláken, jinak je průmyslově nahrazeno syntetickými barvivami. Dalším přírodním zdrojem indiga je měkkýš ostranka jaderská (*Bolinus brandaris* L.), i tento živočich se používal pro získání modrého barviva. Ovšem pro získání barviva bylo potřeba velké množství těchto měkkýšů, proto se od něj již upustilo (Clark 2011; Christie 2015; Ul-Islam 2017).

3.1.2.6 Chlorofyl

Chlorofyl je stejně jako krevní barvivo hem derivát porfinu, který je tvořen čtyřmi pyrrolovými jádry. Uprostřed porfinu je kovový atom, v případě chlorofylu je to hořčík. Jde o nejhodnější zastoupené barvivo v přírodě, jehož hlavním významem je fotosyntetická funkce. Použití chlorofylu při barvení potravin je omezeno kvůli jeho rychlé degradaci. Problémem je i častá koexistence například s karotenoidy, kdy se mohou extrahovat společně s chlorofylem a výsledný odstín není čistě zelený (Bechtold & Musak 2009; Christie 2015).

3.1.3 Rozdělení barviv podle aplikace na vlákno

Barviva lze rozdělit podle aplikace na textilní vlákno. Aplikace závisí na struktuře barviva, struktuře vlákna a fyzikálních vlastnostech barviva i vlákna. Barviva s podobnou chemickou strukturou nemusí patřit do stejné skupiny podle aplikace. Z fyzikálního hlediska se rozlišují především podle rozpustnosti (Chatwal & Arora 2008).

3.1.3.1 Reaktivní barviva

Objev reaktivních barviv je jedním z nejvýznamnějších objevů textilního průmyslu ve 20. století. Reaktivní barviva obsahují ve své molekule navíc reaktivní skupinu či skupiny, které jsou schopny tvořit kovalentní vazby s vláknem. Jejich výhodou je vysoká stálost za mokra a velký rozsah odstínů. Reaktivní skupina těchto barviv reaguje s hydroxy skupinami celulózy (Christie 2015). Struktura těchto barviv má čtyři hlavní části a to, chromofor, auxochrom, můstek a nosič reaktivní skupiny (Hladík 1982). Reaktivní skupina je obvykle připojená k chromoforu pomocí můstků, například $-NH-$, $-CO-$ a $-SO_2-$ (Christie

2015). Kovalentní vazby jsou vazby silné, díky nim jsou reaktivní barviva velmi stálá při praní, což velmi citelně zvyšuje jejich význam (Rouette 2001; Gürses et al. 2016). Tato barviva lze aplikovat i na proteinová vlákna, u nich lze ovšem dosáhnout stability při praní i chromovými mořidly. Jsou rozpustná ve vodě. Mezi reaktivní barviva se řadí velké množství azo barviv s odstíny žluté, oranžové a červené. Modrá reaktivní barviva jsou získávána z antrachinonů (Christie 2015).

3.1.3.2 Disperzní barviva

Disperzní barviva jsou ve vodě nerozpustná. Mají schopnost barvit hydrofobní vlákna, například polyester nebo acetát celulózy (Best 2012; Gürses et al. 2016). Nelze je tedy rozpustit ve vodném roztoku, z tohoto důvodu se barvicí lázeň připravuje pomocí přidání vhodného disperzního činidla. Používají se buď organické látky nebo se při barvení používá vyšší tlak a teplota. Obvykle se aplikují při neutrálním až mírně kyselém pH. Nejprve se barvivo adsorbuje na povrch a následně se pomocí difúze dostane do nitra vlákna. Difúzi lze urychlit zvýšením teploty (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008; Yusuf 2018). Disperzní barviva mohou být azo barviva, antrachinonová barviva nebo nitro barviva (Chatwal & Arora 2008; Gürses et al. 2016).

3.1.3.3 Kyselá barviva

Kyselá barviva jsou dobře rozpustná ve vodě. Lze je použít k barvení proteinových vláken (hedvábí, vlna), ale i syntetických vláken, jako je například nylon (Best 2012). Jejich světlostálost je obecně dobrá a stálost při praní závisí na konkrétním zdroji barviva, může být vynikající až velmi slabá (Gürses et al. 2016). Obsahují kyselou skupinu, nejčastěji sulfonovou skupinu $-SO_3$. Barvivo se k vláknu fixuje pomocí iontových sil, příkladem je vazba mezi kladným nábojem aminoskupiny na vlně a záporným nábojem na barvivo (Hladík 1982; Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008).

3.1.3.4 Zásaditá barviva

Jinak se také mohou označovat jako kationtová nebo bazická barviva. Zásaditá barviva mají kladný náboj díky amonnému kationtu $-NH_4^+$. Jsou rozpustná ve vodě. Barvivo se ve vodě disociuje, barevná část je na kationtu. Pokud je na vláknu aniontová skupina, tak se tam barevná skupina naváže a vytvoří pevnou kovalentní vazbu. Nelze ovšem říct, že mají zásaditá barviva dobrou trvanlivost na vláknech, a to zejména kvůli různé dostupnosti aniontových skupin na různých typech vláken (Gürses et al. 2016). Zásaditá barviva mají dobrou afinitu k vlně a hedvábí, celulózová vlákna musí být nejprve namořena tříslovinami. Tato barviva obecně tvoří různé jasné odstíny, ale bohužel jejich světlostálost je slabá. Mezi zásaditá barviva patří nejstarší syntetické barvivo Perkinova violeť (Chatwal & Arora 2008; Best 2012).

3.1.3.5 Přímá barviva

Přímá barviva tvoří největší skupinu barviv. Velmi mnoho přírodních barviv patří mezi přímá barviva, například kurkumin (Yusuf 2018). Obsahují skupiny sulfonových kyselin, které dělají přímá barviva ve vodě rozpustná. Mají silnou afinitu k celulóзовým vláknům. K barvení pomocí přímých barviv není nezbytné použití mořidel. Tato barviva mají oproti ostatním barvivům vysokou molekulovou hmotnost, což podporuje spojení barvení vláken. Obecně nemají moc dobrou světlostalost a stálost při praní, ale jsou hojně používána kvůli jejich nízké ceně a jednoduchosti barvicího procesu. K barvicí lázni se kromě barviva, vlákna a soli nemusí přidávat nic (Chatwal & Arora 2008; Gürses et al. 2016).

3.1.3.6 Kypová barviva

Kypová barviva nejsou rozpustná ve vodě. Barviva se v zásaditém roztoku redukují na rozpustnou formu (leukosloučeniny), po navázání na vlákno oxidují a znovu se stávají nerozpustnými. Proto mají dobrou stálost na světle a vynikající stálost při praní (Best 2012). Na vláknech jsou barviva držena vodíkovými vazbami a van der Wallsovými silami. Nejznámějším a nejdéle používaným kypovým barvivem je indigo. Mezi tato barviva patří i některé barviva s antrachinonovou strukturou (Chatwal & Arora 2008; Gürses et al. 2016).

3.1.3.7 Mořidlová barviva

Tato barviva se používají společně s mořidly, které podporují afinitu k vláknu (Yusuf 2018). Použití, rozdělení i rizika spojená s použitím mořidel jsou charakterizována v samostatných kapitolách.

3.1.3.8 Sírná barviva

Sírná barviva jsou nerozpustná ve vodě a jsou podobná kypovým barvivům. Barviva se redukují v alkalickém prostředí sulfidem sodným na rozpustnou formu. Po navázání na vlákno se oxidují zpět na nerozpustnou formu. Sírná barviva mají obecně složité struktury tvořené disulfidickými můstky. Světlostalost i stálost při praní je dobrá (Chatwal & Arora 2008). Tato barviva poskytují často tmavé odstíny. I přes příliš neatraktivní odstíny jsou sírná barviva používána díky jejich nízké ceně (Best 2012).

Shrnutí aplikace barviv na textilní vlákno (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008):

- Bavlina může být barvena přímými, kypovými, sírnými a reaktivními barvivami.
- Vlna může být barvena kyselými, reaktivními a mořidlovými barvivami.
- Hedvábí může být barveno přímými, kyselými a mořidlovými barvivami.
- Polyamidová vlákna mohou být barvena kyselými a disperzními barvivami.
- Polyesterová vlákna mohou být barvena především disperzními barvivami.

3.2 Mořidla

Velké množství barviv má omezenou afinitu k textilním vláknům, ale dokáží tvořit komplexy například s oxidy kovů, proto se v barvířství začala využívat mořidla (Yusuf & Shadid 2022). Díky mořidlům se barvivo lépe přichytí k textilnímu vláknu a může ovlivnit i výslednou barvu. Název mořidlo pochází z latinského slova *mordere*, které znamená kousat. Věřilo se totiž, že díky mořidlu se barvivo zakousne do vlákna. Dnes ovšem víme, že nejde o mechanické vazby, ale o vazby chemické (Kirby et al. 2017). Mořidla také podporují setrvání barviva na vláknu, podporují stálost při praní a tzv. světlostálost, což je reakce na vystavení světlu. Přírodní barviva mají větší náchylnost k vyblednutí, ale velmi záleží na zvoleném zdroji barviva, v případě rostlinných barviv na dané rostlině (Clementi et al. 2007). Samozřejmě i syntetická barviva mohou podléhat vyblednutí, mají ale obecně větší výdrž. Mořidla jsou chemické látky, které mohou být i toxické, proto je s barvicími lázněmi následně potřeba zacházet jako s jakoukoliv jinou chemikálií (Booth 2019).

Aplikace mořidla může být provedena třemi způsoby, a to podle doby přidání k barvenému vláknu. Mořidlo se může přidávat před barvením, během barvení či po obarvení (Mussak & Arora 2008; Vankar 2017). Moření přírodních textilních vláken probíhá vždy po vyčištění vláken, typicky lanolin produkovaný mazovými žlázami ovcí by zabraňoval vstupu mořidla a posléze i barviva do vlákna (Chatwal & Arora 2008). Kovová mořidla by na bavlněných vláknech držela jen velmi volně. Proto se musí mořidla na bavlněné vlákno vysrážet. To lze například ošetřením tríslovou kyselinou, která kovové mořidlo přemění na nerozpustnou formu. Vlna je přístupnější přírodním barvivům a mořidlům než bavlna. Je to díky jejímu amfoternímu charakteru, kdy dokáže absorbovat kyseliny i zásady. Účinným mořidlem pro vlnu je například síran hlinitý s vinnou kyselinou (vinným kamenem), jejichž spojením vzniknou zářivé barvy. Hedvábí má stejně jako vlna amfoterní vlastnosti. Pro hedvábí se nehodí použít jako mořidlo kamenec, protože snižuje jeho lesk (Clark 2011; Manhita et al. 2011; Vankar 2017).

3.2.1 Kovová mořidla

Kovová mořidla ve formě kovových solí jsou používána již od středověku, a to bez větších znalostí o jejich přínosu při barvířství. Nejstarším známým a účinným mořidlem je kamenec draselno-hlinitý ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Tento kamenec se ve vodě totálně disociuje, zjistilo se, že draslíkový kation nemá zásadní vliv na účinek mořidla, proto se následně nahradil síranem hlinitým ($Al_2(SO_4)_3$) (Kirby et al. 2017). V dnešní době se používají kovové soli chromu, železa, hliníku, cínu a mědi. Konkrétními příklady jsou kamenec, síran železnatý ($FeSO_4$), síran měďnatý ($CuSO_4$) a chlorid cínatý ($SnCl_2$). Lze ale v podstatě použít jakoukoliv kovovou sůl, protože většina přírodních barviv je schopná tvořit kovové komplexy (Clark 2011). Například železná mořidla kromě prodloužení trvanlivosti barviva na vláknu velmi ovlivňují barvu. Ze světlejších barev lze díky železnému mořidlu získat tmavé a syté barvy (Booth 2019). O železném mořidlu lze také obecně říct, že má zmatňovací efekt stejně jako měděné mořidlo. Naopak o draselných, chromových a cínových mořidlech lze říct, že mají rozjasňující efekt (Yusuf & Shahid 2022). Limitem u kovových mořidel je zdravotní stránka, pro některé kovové soli je stanoveno maximální přípustné množství. Pro hliník a

železo sice horní limit stanoven není a pro cín a měď je limit dost vysoký, ale i tak je to z ekologického hlediska nežádoucí (Clark 2011). Pokud totiž chceme barvit pomocí přírodních látek, postrádá smysl kontaminace přidanými kovy (Yusuf & Shahid 2022).

3.2.2 Biomořidla

Biomořidla by mohla být řešením kontaminace prostředí kovy. Jde o přírodní látky, které mohou obsahovat zvýšené množství některých kovů. Například některé druhy hrušní (*Pyrus* sp. L.) nebo slivoní (*Prunus* sp. L.) obsahují zvýšený obsah mědi, oproti jiným rostlinám (Vankar 2017). Používaným biomořidlem je *Eurya acuminata* (T.) které je používáno pro moření mořeny srdčité (*Rubia cordifolia* L.). *Eurya* nahrazuje s dobrým účinkem kovová mořidla, tato kombinace je tradičně praktikovaná v indickém státu Arunáčalpradéši (Vankar et al. 2008).

3.2.3 Taniny

Taniny (třísloviny) jsou sekundární metabolity rostlin. Jsou to hořké látky vyvolávající v ústech až svíravý pocit. V rostlinách se mohou vyskytovat ve všech jejich částech. Jedná se o fenolické látky, stejně jako některá barviva (Buchanan et al. 2015). Jako mořidla se taniny používají s rostlinnými barvivy, které produkují žluté až hnědé barvy. Z kůry a dřeva dubu bílého (*Quercus alba* L.) nebo z kůry granátového jablka (*Punica granatum* L.) lze získat například tříslovou kyselinu. Její alkalický roztok absorbuje kyslík z atmosféry, čímž probíhá její rozklad a následkem toho roztok hnědne. Katechiny reagují s přírodními textilními vlákny za vzniku měděných až červených barev, mají skvělou výdrž při praní a jsou rezistentní vůči vystavení světlu (Clark 2011).

3.2.4 Olejová mořidla

Olejová mořidla se používají především při barvení pomocí kořenů mořeny barvířské (*Rubia tinctorum* L.), ze které lze získat červenou barvu. Olejová mořidla vytváří komplex s kamencem, který je pak vhodný pro barvení bavlny. Samotný kamenec je ve vodě rozpustný a vyplavil by se při praní. Díky tomuto komplexu vzniká velmi stálá barva označovaná jako turecká červeň (Clark 2011; Yusuf & Shahid 2022).

3.2.5 Enzymová mořidla

Kromě výše zmíněných mořidel lze použít i enzymová mořidla. Výhodou oproti kovovým mořidlům je jejich biologická odbouratelnost (Vankar et al. 2007). Barvivo extrahované z květu delonixu královského (*Delonix regia* B. ex H.) lze použít pro barvení hedvábí společně například s proteázami či lipázami. Kaseinové enzymy lze použít spolu s barvivem juglonem pro barvení vlny (Yusuf & Shahid 2022).

3.3 Textilní vlákna

3.3.1 Celulózová vlákna

Celulóza je nejrozšířenějším polysacharidem rostlin, jedná se tedy o rostlinné vlákno. Kromě celulózy se v rostlinných vláknech nachází i lignin, pektin a hemicelulóza (Yusuf 2018). Lignin je podpůrná složka cévnatých rostlin, má fenolickou strukturu. Hemicelulóza je polysacharid složený z pentóz nebo hexóz, například glukóza, galaktóza a xylóza. S celulózou je spojen kovalentními vazbami, které zvyšují mechanickou pevnost buněčných membrán (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008; Mondal 2021).

Celulóza je tedy polysacharid tvořený řetězcem $\beta - D - \text{glukózy}$ spojených $\beta - 1,4 - \text{glykosidickými}$ vazbami. Celulóza má krystalickou a amorfní oblast. Krystalická, pravidelně uspořádaná oblast, je tvořena vodíkovými vazbami (Mondal 2021). Vzhledem k velkému počtu hydroxylových skupin se pro barvení těchto vláken používají ve vodě rozpustná barviva. Například barviva přímá, reaktivní, kypová či sirná (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008).

Celulózová textilní vlákna lze získat přímo z bavlníku (*Gossypium* sp. L.), lnu setého (*Linum usitatissimum* L.), jutovníku (*Corchorus* sp. L.) nebo bambusu (*Bambusa* sp. S.). Z celulózy lze vyrobit i regenerovaná vlákna, například viskózu, ze které lze poté připravit umělé hedvábí nebo lyocell. Vlákna lze získat z různých částí rostlin (stejně jako barviva), a to ze semen, ze stonku nebo z listů (Gries et al. 2015). Celulózová vlákna se používají samostatně nebo v kombinaci s jinými vlákny. Jejich výhodou je měkkost a savost, díky tomu jsou na kůži velmi příjemná (Yusuf 2018).

3.3.1.1 Bavlna

Bavlna se získává ze semen bavlníku, jde o dominantní rostlinné vlákno. První nálezy použití bavlny jako textilního materiálu jsou již 5 000 let před naším letopočtem. Vlákna se tedy nachází v semenech, po dokončení růstového cyklu tobolek praskne a objeví se bílá až nažloutlá vlákna (Kozłowski 2012; Gries et al. 2015).

Vlákna bavlny jsou především z celulózy, méně než z 10 % jsou obsaženy vosky, proteiny a minerály. Podle odrůdy bavlníku lze rozlišit extra dlouhá vlákna, dlouhá vlákna, která jsou kvalitnější, a vlákna krátká. Extra dlouhá vlákna mají 30–65 mm, jsou pevná a pružná, používají se pro výrobu vysoce kvalitních oděvů, například halenek, košil nebo spodního prádla. Dlouhá vlákna jsou nejběžnější bavlněná vlákna, jejich délka je mezi 20–30 mm, používají se také pro spodní prádlo, ale například i pro ložní prádlo. Krátká a zároveň tuhá vlákna se používají pro výrobu silných tkanin, například pracovních oděvů nebo pro čalounění (Kozłowski 2012; Gries et al. 2015).

Bavlna je skvělým vodičem tepla, má dobrou pevnost a savost, zároveň ale dlouho schne (Kozłowski 2012; Gries et al. 2015). Bavlna je hydrofilní, a to díky velkému počtu $-OH$ skupin. Afinita k vodě dělá z bavlny materiál vhodný k barvení (Chatwal & Arora 2008).

Bavlněné vlákno je tvořeno pouze z jedné buňky a má tvar stužky, která má zesílené okraje. Podél své osy je vlákno šroubovitě zakroucené a uvnitř se nachází dutina, která se nazývá lumen. Na povrchu vlákna je primární vrstva (kutikula), která je tvořena především

z vosků a pektinů, její funkce je ochranná. Celulóza se nachází v sekundární vrstvě (Bohanesová & Kozlovská 1991; Rouette 2001).

3.3.1.2 Len

Lněná vlákna se získávají ze stonku lnu setého. Z historického hlediska jde o velmi významné textilní vlákno. V dnešní době se z něj kromě oděvů vyrábí například bytový textil, využití má i u technických tkanin (Gries et al. 2015).

Vlákna se nachází uvnitř stonku, jsou ve formě úzkých filamentů, které jsou rozmístěny kolem celého kruhového stonku. Jsou spojována pektinem do svazků (Thomas et al. 2003; Kozlowski & Muzyczek 2017).

Lněná vlákna se skládají až z 85 % z celulózy. Pektin, který z vláken vytváří svazky, poskytuje lnu lesk a typickou strukturu vlákna rozeznatelnou hmatem. Je to polysacharid, jehož řetězec je tvořen jednotkami galakturonové kyseliny. Pektin zde lze nalézt ve dvou frakcích, a to A a B. Frakce A je rozpustná ve vodě a při zpracování lnu je odstraněna máčením. Frakce B se nalézá uvnitř vlákna a je ve vodě nerozpustná. Je důležitá pro kompaktnost vlákna, kdyby byla odstraněna, vlákno by se rozpadlo. Vosky a tuky jsou přirozenou součástí vláken, sice jde o nejméně zastoupenou složku, ale i tak dává lněnému vláknu typické vlastnosti, například měkkost a snadné pohyby vláken (Rouette 2001; Kozlowski 2012).

3.3.2 Proteinová vlákna

Živočišná vlákna jsou na bázi bílkovin, proto se dají označit jako proteinová vlákna. Lze rozlišit vlákna na bázi keratinu, ty jsou obvykle ze srsti zvířat, například z ovcí domácích (*Ovis aries* L.), koz (*Capra* sp. L.), lam alpak (*Vicugna vicigna* f. *paco* M.) a podobně. Vlákna na bázi fibroinu jsou různé druhy hedvábí, například hedvábí z bource morušového (*Bombyx mori* L.) nebo hedvábí z pavouků rodu *Nephila* (Rouette 2001; Kozlowski 2012).

3.3.2.1 Ovčí vlna

Vlna je zřejmě primárním textilním vláknem používaným pro oděvy. První záznamy o obchodování s vlnou pocházejí z Babylonu 2 000 let před naším letopočtem. Získává se stříháním. Kvalita rouna, jeho jemnost, délka a čistota, závisí, ze které části těla ovce pochází. Delší vlákna jsou hrubší a kratší vlákna jsou více kadeřavá a jemnější. Vlna se musí před předáním vyprat, aby se odstranil tuk a pot. Tento tuk je poté využit například v kosmetickém průmyslu (Gries et al. 2015). Povrch vlny je díky obsahu tuku a potu hydrofobní. Ovšem po vyprání je vlna poměrně hydrofilní, díky amorfním oblastem, které vytváří volné skupiny – $COOH$ a – NH_2 (Mondal 2021).

Vlna je tedy proteinové vlákno, které se skládá až z 52 % uhlíku, 25 % kyslíku, 17 % dusíku, 7 % vodíku a 4 % síry. Vysoký obsah síry má díky zastoupení aminokyselin cysteinu a methioninu (Gries et al. 2015). Aminokyseliny jsou vzájemně spojeny peptidovou vazbou – $CONH$ –. Řetězec 20 aminokyselin tvoří bílkovinu keratin. Vlněná vlákna jsou amfoterní, obsahují aniontové i kationtové skupiny. Karboxylové skupiny mají aniontový charakter, stejně tak postranní řetězce aminokyselin glutaminu a asparaginu. Aminové skupiny,

postranní řetězce argininu a lysinu, mají kationtový charakter (Kozłowski 2012; Mondal 2021).

Morfologicky se vlákno skládá ze tří částí. Vnitřní část se nazývá dřen a vyskytuje se pouze u hrubých vláken. Kůra nese barvu vlny a také určuje její pevnost a pružnost. Vrchní částí je pokožka, která je složená z vzájemně se překrývajících šupinek (Kozłowski 2012; Mondal 2021).

Barvení vlny se často provádí kyselými barvivy. Barvivo se nejprve adsorbuje na vlákno, pomocí difúze se dostává dovnitř vlákna k bazickým skupinám, vytěsňují kyselé ionty z vlákna, a nakonec vytvoří solné vazby mezi kyselým barvivem a bazickým povrchem vlny (Rouette 2001).

3.3.2.2 Hedvábí z bource morušového

Bourec morušový má několik stádií vývinu, a to vajíčko, housenku, larvu (kokon) a motýla. Jeho hlavními složkami je uhlík, vodík, kyslík a dusík. 18 aminokyselin, především glycinu, serinu, alaninu a tyrosinu tvoří bílkovinu fibroin. Pro hedvábí je typická i bílkovina sericin, která je tvořena především aminokyselinou serinem. Sericin je pojivová látka, která k sobě lepí vlákna fibroinu (Gries et al. 2015; Mondal 2021). Fibroin je krystalický a nerozpustný vláknitý protein, zastoupen v hedvábí z 70–80 %. Oproti tomu sericin je ve vodě rozpustný, amorfní globulární protein, zastoupený z 20–30 %. Právě díky rozdílným vlastnostem těchto proteinů není komplikované nežádoucí sericin z vlákna odstranit. Stejně jako vlněná vlákna obsahují vlákna hedvábná také tuky a vosky (Rangi & Jajpura 2015).

Hedvábí se v oděvnictví používá například pro výrobu svrchních dámských a pánských oděvů. V bytovém textilu často pro tapety, koberce či výrobu sametu (Gries et al. 2015). Využití má i sericin, který se používá například v medicíně pro svou dobrou afinitu ke keratinu při šití ran, nebo v kosmetice pro zlepšení elasticity pokožky (Rangi & Jajpura 2015).

3.4 Barvení textilního vlákna

Jde o vazbu mezi vláknem a barvivem. Existuje několik možností vazeb v závislosti na barvivu i textilním vláknem (Rouette 2001).

3.4.1 Chemické vazby

3.4.1.1 Iontové interakce

Vznikají, když jsou molekuly barviva a vlákna opačně nabity. Příkladem je barvení vlny kyselými barvivy. Iontová vazba se tvoří mezi anionty barviva a kationty vlákna. Tyto vazby nejsou příliš stálé, snadno se přeruší, proto je výsledná barva nestálá při praní. Iontová vazba tedy vzniká mezi zásaditými vlákny (vlna, hedvábí) a kyselým barvivem. V případě polyesterových vláken je stálost barviva o něco lepší, což je způsobeno hydrofobní povahou syntetického vlákna (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008; Mondal 2021).

3.4.1.2 Vodíkové vazby

Vodíková vazba vzniká při sdílení osamocené páru elektronu na kyslíku, dusíku a fluoru v molekule, která má kovalentně vázaný vodík. Tato vazba je tedy mezi vodíkem a silně elektronegativním atomem. Vodíkové vazby se vyskytují při barvení vlny, hedvábí i umělých vláken. Jsou to dostatečně silné vazby, aby udržely barvivo na vláknu (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008).

3.4.1.3 Van der Wallsovy síly

Jsou to poměrně slabé interakce vznikající mezi molekulami, které jsou blízko sebe. Tyto síly jsou silnější u sobě si navzájem podobných skupin, například mezi disperzním barvivem a polyesterovými vlákny. Uplatňují se i při barvení celulósových vláken přímými barvivy (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008).

3.4.1.4 Kovalentní vazby

Kovalentní vazby jsou silné. Vazba je tvořena sdílením elektronu, vzniklý vazebný pár je sdílen mezi barvivem a vláknem. Tyto vazby se tvoří například mezi reaktivními barvivy a vláknem s $-OH$ skupinou u celulósových vláken nebo mezi reaktivním barvivem s $-NH_2$ skupinami vlny (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008).

3.4.2 Barvicí proces

Barvicí proces by se dal obecně shrnout do několika kroků. Jedná se o přípravu textilního vlákna, přípravu barvicí lázně, aplikaci barviva a dokončení. Každý krok je velmi důležitý a nelze ho přeskočit. Zároveň jsou textilní materiály i barviva tak různorodá, že univerzální návod nelze popsat (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008).

3.4.2.1 Příprava textilního vlákna

Když budeme uvažovat o barvení přírodního vlákna přírodními barvivy, tak příprava textilního vlákna zahrnuje především jeho čištění. Přírodní vlákna přirozeně obsahují oleje a vosky nebo jsou tyto látky používány při zpracování vláken, například při předení. Čištění se provádí mýdlem či jinými zásaditými detergenty. Díky odmaštění budou moci barviva proniknout do vlákna, podpoří se tím smáčelnost vlákna (Rouette 2001; Chatwal & Arora 2008; Gürses et al. 2016).

3.4.2.2 Příprava barvicí lázně

Barvicí lázeň je označení pro nádobu s vodou, do které jsou přidávána barviva a potřebné chemikálie, například soli, nosiče, zpomalovače, mořidla či jiné pomocné látky. Barviva rozpustná ve vodě (přímá, kyselá, zásaditá) není potřeba před aplikací lázně upravovat. Pokud používáme nerozpustná barviva, například kypová barviva, v barvicí lázni je nutné je redukovat pomocí alkalického hydrogen siřičitanu, aby se ve vodě rozpustila. Po obarvení kypovými barvivy se látka vyjme z lázně a při kontaktu se vzduchem zoxiduje a

projeví se finální barva. Nosiče se uplatňují především při barvení hydrofobních vláken. Octová kyselina se používá jako zpomalovač při barvení vlny kyselými barvivy, aby barvivo mělo dostatek času navázat se na vlákno (Chatwal & Arora 2008; Gürses et al. 2016).

Přírodní barviva se získávají extrakcí, často vodou a někdy i pomocí organických rozpouštědel. Při použití organických rozpouštědel je ovšem problém s jejich následnou likvidací. Kromě výběru vhodného rozpouštědla hraje významnou roli také čas a teplota. U rostlinných barviv je obtížné získat standardizovaný materiál. Vzhledem ke klimatickým vlivům, půdě, hnojení a podobně. Proto probíhá distribuce rostlinných barviv po celém světě nejčastěji v sušené formě. Což ale může zvyšovat jejich cenu (Bechtold & Musak 2009).

Mořidla, jak bylo zmíněno, se mohou přidávat před barvením (pre-moření), během barvení (meta-moření) a po barvení. Pro pre-moření a dodatečné moření je nutné připravit další vodní lázeň, což zásadně zvyšuje spotřebu vody. U meta-moření je zase problém, že barvicí lázeň nelze použít opakovaně, protože je již kontaminovaná mořidlem (Bechtold & Musak 2009; Dean 2009).

3.4.2.3 Aplikace barviva

Barvivo se tedy aplikuje do barvicí lázně. Pro každé textilní vlákno je stanovena optimální teplota a čas. Stejně tak je důležité pH. Pro rovnoměrné obarvení by se měla barvicí lázeň míchat. Promíchávání lázně se používá při ručním i při kontinuálním procesu barvení. Při kontinuálním barvení lze použít ještě jednu metodu, a to že textilní vlákno je zafixováno a barvicí lázeň prochází pod tlakem skrz vlákno (Gürses et al. 2016). Barvivo se nejprve adsorbuje na povrch vlákna, difúzí se barvivo dostává do jádra vlákna, kde nastává interakce mezi vláknem a barvivem. Postupně se koncentrace barviva v lázni snižuje, a naopak se zvyšuje na vlákně, až přijde fáze, kdy je téměř všechno barvivo navázáno na vlákně (Chatwal & Arora 2008; Gries et al. 2015; Gürses et al. 2016).

3.5 Světlo

Světlo je tvořeno elektromagnetickými vlnami, lze ho jinak označit za elektromagnetické záření. Světelných zdrojů neboli zdrojů elektromagnetického záření je hned několik. Dělíme je na přirozené a umělé zdroje. Těch přírodních není mnoho, nejznámějším je Slunce, patří sem ale i oheň, hvězdy či blesk. Zdroje umělé jsou vytvořeny člověkem, mohou být velmi rozdílné, mezi nejznámější určitě patří například obyčejná žárovka (Malý 2008). Ovšem velmi velké procento objektů světlo nevyzařuje, ale i přesto je se světlem v interakci. Může světlo propouštět, pohlcovat či odrážet. Ve většině případů nejde jen o jednu interakci, ale o souběh všech tří interakcí (Šikl 2012).

3.5.1 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické vlny jsou rozděleny do několika spektrálních oblastí, podle frekvence a vlnové délky. Pro lidské oko je viditelná pouze určitá část spektra, nazývá se viditelné spektrum a jde o bílé světlo. Bílé světlo v optice neoznačuje bílou barvu, ale svazek

bílého světla, který se skládá ze všech barev viditelného spektra. Bílou barvu vnímáme pouze pokud je svazek bílého světla odražen (Halliday et al. 2000).

Spektrální oblast viditelného spektra se pohybuje od 360 nm do 760 nm. Před oblastí viditelného světla se nachází oblast ultrafialové spektra, rozpětí se pohybuje mezi 25 nm až 400 nm. Naopak na oblast viditelného spektra z druhé strany, než je UV spektrum, navazuje infračervené spektrum, jehož rozpětí se pohybuje od 720 nm až 80 μm (Malý 2008).

Bílé světlo, jako je například sluneční světlo, je polychromatické. To znamená, že se rozkládá na několik světelných složek (barev), které rozlišujeme podle vlnových délek. Nejnižší vlnová délka patří fialové barvě (nejblíže k UV spektru), následuje modrá, zelená, žlutá, oranžová a červená barva (nejblíže k infračervenému spektru) (Burns & Ciurczak 2007). Jakou barvu bude nakonec objekt mít závisí, jak bylo výše zmíněno, na souběhu interakcí. Například barvu objektu ovlivňuje poměr mezi pohlceným a odraženým světlem. Určité vlnové délky budou objektem pohlceny a ty, co se odrazí, dopadnou na sítnici oka a fotoreceptory je převedou na danou barvu. Na druhou stranu, průhledné objekty světlo propouští a zároveň pohlcují i rozptylují (odrážejí) (Ohta & Robertson 2005; Šikl 2012).

3.5.2 Lidské oko

Lidské oko je zvláštním typem světelného detektoru. Světlo dopadající na oko vyvolává fotochemickou reakci na sítnici, poté složitou reakcí s interakcí s mozkiem vytváří vizuální vjem (Ohta & Robertson 2005).

Na sítnici se nachází dva typy tzv. fotocitlivých buněk neboli fotoreceptorů. Jde o tyčinky a čípky. Čípky umožňují barevné vidění. To je možné díky třem druhům čípků, které obsahují tři různá fotocitlivá barviva lišící se absorpčními spektry. Pro vnímání modré barvy je čípek citlivý ve spektrální oblasti přibližně 400–500 nm, pro žlutou barvu je to přibližně 450–630 nm a pro vnímání červené barvy je spektrální oblast přibližně 470–700 nm. Tyčinek nemá oko více druhů, proto nerozlišují světlo v různých vlnových délkách, jsou ale mnohem citlivější než čípky a umožňují vidění v šeru, tzv. skotopické (noční) vidění (Klabazna et al. 1984; Malý 2008). Sítnice lidského oka obsahuje přibližně 100 milionů tyčinek a 7 milionů čípků. Zajímavé je, že sítnice zvířat se liší podle toho, jestli jsou aktivnější v noci či ve dne. Například sovy a ježci, kteří jsou aktivní převážně v noci, mají v sítnici převážně tyčinky, zatímco jestřáb či ještěrka, kteří jsou aktivnější ve dne, mají větší podíl čípků (Atchison & Smith 2000; Šikl 2012).

Jak je známo, lidské oko umožňuje vidět předměty jak za přímého slunečního světla, tak i pouze za svitu měsíce. Oko je tedy schopné se přizpůsobovat neboli adaptovat intenzitě světla. Adaptaci oko provádí pomocí zornice. Pokud je intenzita vysoká, zornice sníží obsah světla dopadající na sítnici a naopak. Zornice oka funguje jako clona fotoaparátu (Ohta & Robertson 2005).

Pro základní pochopení funkce oka je nutné si představit i termín akomodace. Akomodace je schopnost vidět ostře vzdálené i blízké předměty, děje se tak podle zakřivení čočky (Atchison & Smith 2000; Šikl 2012).

3.5.3 Barevné systémy

Barevné systémy zahrnují mísení barev a jejich vnímání.

3.5.3.1 Vnímání barev

Vnímání barvy je velmi subjektivní, nejen vzhledem k citlivosti vnímaného, ale i vzhledem ke struktuře materiálu či okolnímu prostředí. Barvu lze vnímat podle odstínu, tj. určitá barva (zelená, červená). Důležitým faktorem je ale i světlost, například tmavě nebo světle červená. Dalším kritériem je živost či nevýraznost/nudnost barvy. Tato vlastnost by se dala označit jako sytost. Tyto tři atributy, odstín, světlost a sytost jsou tedy specifické pro daný barevný vzhled. Při vnímání barev je nutné rozlišovat pojmy, které v běžném životě považujeme za totožné, např. světlost a jas. Světlost se používá pro světlo, které je odraženo z objektů, zatímco jas se používá pro popis světelných zdrojů (Ohta & Robertson 2005).

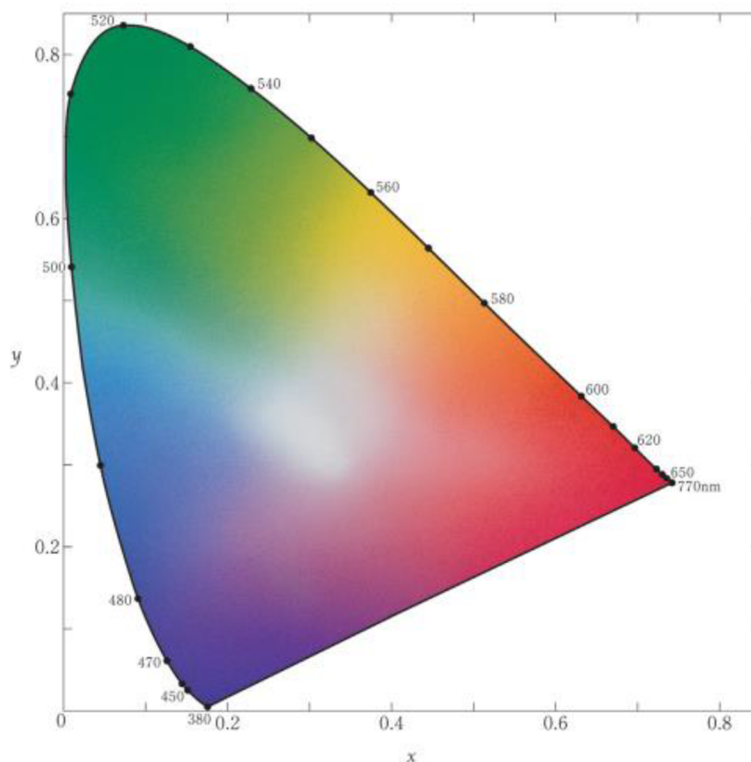
3.5.3.2 Mísení barev

Mísení barev není ovlivněno okolním prostředím. V mozku vzniká barevný podnět, který lze specifikovat jako mix tří barevných spekter. Označuje se jako trichromatický systém. Pro lepší interpretaci se používají kolorimetrické pojmy odstín, světlost a sytost. Směs vzniká při spojení dvou či více barev za vzniku barvy nové. Mísení barev může být aditivní nebo subtraktivní (Ohta & Robertson 2005; Šikl 2012).

Subtraktivní mísení, jinak také odečítací, používají například malíři nebo tiskaři. Jde o mísení pigmentů, barviv či inkoustů. Mísí se tedy látky, na které světlo dopadá, nikoliv přímo světlo. Základními barvami pro subtraktivní mísení jsou purpurová, azurová a žlutá a doplňkovými barvami jsou červená, zelená a modrá. Výsledkem smíchání základních barev vznikne barva, kterou nazýváme černá. Tento barevný systém se označuje CMYK, podle anglických názvů základních barev (cyan–azurová, magenta–purpurová, yellow–žlutá, kontrast–černá či šedá). Příkladem je vznik zelené barvy, kterou lze získat mísením modré a žluté barvy. Modrý pigment nejvíce ze svého povrchu odráží světlo krátkých vlnových délek, méně středních vlnových délek a nejméně dlouhé vlnové délky. Žlutý pigment nejvíce odráží světlo od 500 nm. Tyto vlnové délky se odečtou od bílého světla. Oba tyto pigmenty odrážejí dostatečně střední vlnovou délku, takže ta zůstane nepohlčena a odpovídá zelené barvě. Pokud by se k této směsi přidal ještě jiný pigment s jinou vlnovou délkou, dojde k absorpci více vlnových délek. Čím více vlnových délek zůstane pohlceno, neboli čím méně vlnových délek bude odraženo, tím vznikne tmavší barva, v běžném životě označovaná jako černá (Šikl 2012; Dohnal 2019).

Druhý typ mísení se nazývá aditivní a skládají se při něm světla. Toto mísení používají například osvětlovači při práci s reflektory, nebo je součástí téměř všech displejů či monitorů. Jde tedy o mísení světla vyzařovaného. Principem je, že spektrum jednoho světla se rozšíří o spektrum druhého světla. Základní barvy u tohoto typu mísení jsou červená, modrá a zelená. Pokud překryjeme tyto tři základní barvy, tak vznikne barva bílá. Tento barevný systém se označuje RGB, podle prvních písmen z anglického označení barev (red–červená, green–zelená, blue–modrá) (Westland & Ripamonti 2004; Ohta & Robertson 2005, Šikl 2012).

Mezi aditivní mísení barev patří i barevný systém CIE. První systém CIE xyz (CIEXYZ) byl definován v roce 1931 a vycházel ze systému RGB. Tento systém byl navržen pro specifikaci barev více než pro barevný vzhled. Hodnoty x a y tvoří barevnost a z vyjadřuje jas. V roce 1976 byl pak definován barevný prostor CIE L*a*b* (CIELAB). Rozdíl mezi CIEXYZ a CIELAB je ve vlivu osvětlovacího zdroje, xyz jsou zdrojem ovlivňovány, zatímco L*a*b* jsou konstantní. U CIELAB je možné říct, že vyjadřuje barevný vzhled. (Westland & Ripamonti 2004; Ohta & Robertson 2005). CIELAB je tvořen ze tří na sebe vzájemně kolmých os. L* je svislá osa, a* a b* jsou k ní horizontálně (viz obrázek 1). L* je tzv. achromatický signál (nenese barvu – bezbarvý) a označuje se jako světlost. Oproti tomu jsou osy a* i b* chromatické. Osa a* představuje červenou až zelenou, kdy kladná část osy patří červené barvě a záporná část osy barvě zelené. Osa b* zodpovídá za žlutou a modrou, žlutá část osy se nachází v kladné části osy a záporná část osy patří modré barvě (Panák et al. 2008).



Obrázek 1: Barevný prostor CIELAB (zdroj: Ohta & Robertson 2015)

3.5.4 Barevný rozdíl

Jak bylo již zmíněno, systémem CIELAB lze určit barevný vzhled neboli odstín barvy. Pomocí souřadnic lze vypočítat barevný rozdíl ΔE^* (barevnou diferenci) mezi dvěma vzorky. Jde o výpočet euklidovské vzdálenosti v barevném prostoru CIELAB. ΔE^* udává odchylky mezi osami a* a b* a také odchylku na ose L*.

Vzorec pro barevnou diferenci ΔE^* :

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Kde ΔL^* , Δa^* , Δb^* jsou dány vztahem:

$$\Delta L^* = L^*_{*1} - L^*_{*2}$$

$$\Delta a^* = a^*_{*1} - a^*_{*2}$$

$$\Delta b^* = b^*_{*1} - b^*_{*2}$$

Dolní indexy 1 a 2 znamenají standart (předlohu) a vzorek (zkoušku či pokus). Takže upravený vztah by vypadal takto:

$$\Delta L^* = L^*_{*vzorek} - L^*_{*standart}$$

Velikost barevné difference ΔE^* si lze představit tak, když máme dokonalou bílou ($L^* = 100$, $a^* + b^* = 0$) a dokonale černou ($L^* + a^* + b^* = 0$), tak rozdíl ΔE^* je 100 jednotek. Průmyslová tolerance pro barevnou diferenci je obvykle 1 jednotka (Vik 1995; Westland & Ripamonti 2004). Byla vytvořena stupnice, která udává stupně rozdílnosti barev, viz tabulka 1 (Zmeškal et al. 2002).

Tabulka 1: Stupnice barevné difference (zdroj: http://imagesci.fch.vut.cz/download/stud06_rozn02.pdf)

| ΔE^* | Rozdíl | ΔE^* | Rozdíl |
|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| 0,0–0,2 | nepostřehnutelný | | |
| 0,2–0,5 | velmi slabý | 0,2–1,0 | postřehnutelný |
| 0,5–1,5 | slabý | 1,0–2,0 | rozeznatelný |
| 1,5–3,0 | jasně postřehnutelný | 2,0–4,0 | ještě nerušící |
| 3,0–6,0 | střední | 4,0–8,0 | mírně rušící |
| 6,0–12,0 | výrazný | | |
| 12,0–16,0 | velmi výrazný | | |
| >16,0 | rušící | | |

3.6 Spektrální přístroje

Spektrální neboli kolorimetrické přístroje se používají k měření barevných vzorků, jde tedy o přístroje, které měří spektrum. Spektrální přístroje by měly zajišťovat opakovatelnost měření dat. Proto bylo stanoveno několik podmínek měření, a to normovaný zdroj světla, měřící geometrie a osvětlení okolí (Malý 2008; Dohnal 2019). Tyto přístroje měří světlo odražené či procházející (Kaplanová 2009).

3.6.1 Denzitometr

Starší denzitometry se nepoužívaly pro hodnocení barevných odstínů, ale k hodnocení sytosti. Například pro kontrolu kvality tisku při potisknutí celého archu. Rozlišujeme průhledové (transmisní) denzitometry, světlo je propuštěno vzorkem, nebo odrazové (reflexní) denzitometry, světlo je od vzorku odraženo. Součástí jsou optické filtry, které se vymezují pro spektrální oblasti z barevného systému CMYK (Kaplanová 2009; Dohnal 2019).

3.6.2 Kolorimetr

Kolorimetr měří ve viditelné oblasti spektra. Měří intenzitu odraženého světla od vzorku, jedná se tedy o odrazový fotometr. Odražené světlo prochází optickými filtry RGB. Barevné filtry jsou nastaveny tak, aby odpovídaly spektrálním oblastem, jako čípky v oku. Jejich použití již není tak časté, byly ve většině nahrazeny spektrometry (Kaplanová 2009; Dohnal 2019).

3.6.3 Spektrofotometr

Spektrofotometr je nejpřesnějším kolorimetrickým přístrojem. Lze jím měřit odražené či propuštěné světlo. Odrazový (reflexní) fotometr měří množství odraženého světla v jednotlivých vlnových délkách. Měřit lze v rozsahu vlnových délek 360–740 nm pro viditelné světlo, obvykle s přesností $\Delta E^* = 0,05$. Spektrofotometry vysílají světlo ze světelného zdroje. To se několikrát odrazí, než osvětlí povrch vzorku. Od vzorku se odrazí a vstupuje do optického systému, kde se bílé světlo rozkládá na jednotlivá spektra. Nebo místo vstupu do optického systému, světlo dopadá jak na vzorek, tak na referenční plochu, a z rozdílů signálu se poté stanovuje barevný rozdíl ΔE^* (Gauglitz & Vo-Dinh 2003; Dohnal 2019).

4 Metodika

4.1 Materiál

Praktická část diplomové práce navazuje na autorčinu bakalářskou práci „Poživatelné i nepoživatelné části jedlých rostlin použitelné při barvení textilních materiálů“ z roku 2020. K přípravě vzorků byly použity rostlinné materiály nasbírané ve Středočeském kraji v katastrálním území obce Babice v okrese Praha-východ. Sběr probíhal od října 2018 do července 2019. Kávová zrna byla zakoupena ve společnosti Tchibo, jednalo se o druh Espresso Milano Style.

Textilní vlákna hedvábí a vlna byla dodána od vedoucího této práce, bavlněná látka byla dodána autorkou této práce.

Chemikálie a pomůcky byly z laboratoří na Katedře chemie FAPPZ České zemědělské univerzity v Praze.

Spektrofotometr k závěrečnému hodnocení byl poskytnut od firmy STACHEMA CZ, s. r. o.

4.1.1 Textilní vlákna

- Bavlna
 - 100% bavlněná látka
- Hedvábí
 - 100% hedvábné vlákno
- Vlna
 - 100% vlněné vlákno

4.1.2 Rostlinný materiál a jeho forma

- Cibule kuchyňská (*Allium cepa* L.) – suknice
 - Zpracování: sušené
- Červená řepa (*Beta vulgaris* L.) – bulva
 - Zpracování: čerstvé bez slupky
- Jablůň domácí (*Malus domestica* B.) – kůra větví
 - Zpracování: čerstvé
- Kávovník arabica (*Coffea arabica* L.) a kávovník statný (*Coffea robusta* L.) – semena
 - Zpracování: pražené
- Kurkumovník dlouhý (*Curcuma longa* L.) – kořen
 - Zpracování: sušené
- Ořešák královský (*Juglans regia* L.) – listy, oplodí
 - Zpracování: sušené
- Paprika setá (*Capsicum annuum* L.) – plod
 - Zpracování: sušené
- Špenát setý (*Spinacia oleracea* L.) – mladé listy
 - Zpracování: čerstvé

- Třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum* L.) – květy
 - Zpracování: sušené

4.1.3 Chemikálie

4.1.3.1 Mořidla

- Al^{3+}
 - $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ Oktadekahydrát síranu hlinitého
 - $M_r = 666,41$ g/mol
- Fe^{2+}
 - $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ Heptahydrát síranu železnatého
 - $M_r = 278,02$ g/mol
- Cu^{2+}
 - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ Pentahydrát síranu měďnatého
 - $M_r = 249,7$ g/mol
- Sn^{2+}
 - $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ Dihydrát chloridu cínatého
 - $M_r = 225,65$ g/mol
- Cr^{3+}
 - $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$ Hexahydrát síranu chromitého
 - $M_r = 500,25$ g/mol
- $(COOH)_2$
 - $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$ Dihydrát šťavelové kyseliny
 - $M_r = 126,07$ g/mol

4.1.3.2 Ostatní

- Destilovaná voda
- H_2SO_4 Kyselina sírová
 - Koncentrace 96 %
 - $M_r = 98,079$ g/mol

4.1.4 Přístoje a pomůcky

- Analytické váhy Kern
- Spektrofotometr X-Rite
- Plynový laboratorní kahan
- Běžné laboratorní sklo: kádinky, skleněné tyčinky, Erlenmeyerovy baňky
- Filtrační papír
- Trojnožka
- Síťka nad kahan

- Filtrační aparatura
- Plastové lžičky
- Alobal
- Zapalovač
- Provázek
- Špendlíky
- Korková nástěnka

4.1.5 Programy

- Microsoft Excel
- STATISTICA 12

4.2 Metody

Pokus byl proveden v laboratoři na Katedře chemie FAPPZ České zemědělské univerzity v Praze. Vzorky byly slunečnímu světlu vystaveny v bytovém domě v Hlavním městě Praha, v Újezdě u Průhonice. Jednalo se o čtvrté patro s okny situovanými na východní stranu. Spektrofotometrické měření bylo provedeno ve firmě STACHEMA CZ, s. r. o., ve Slaném.

4.2.1 Příprava roztoku mořidel

Nejprve proběhla příprava mořidel. Požadované množství mořidel bylo naváženo na analytických vahách. Množství mořidel bylo zvoleno tak, aby výsledné roztoky měly koncentraci 0,01 mol/0,5 litru. Jen roztok dihydrátu chloridu cínatého byl připraven tak, aby výsledný roztok měl koncentraci 0,002 mol/0,5 litru. Navážené hodnoty v gramech jsou uvedeny v tabulce 2. Mořidla byla převedena do kádinek a doplněna 0,5 l destilované vody. Do roztoků, kromě roztoku šťavelové kyseliny, byly přidány dvě kapky kyseliny sírové, kvůli potlačení hydrolyzy solí.

Tabulka 2: Navážky vybraných mořidel

| Mořidlo | Navážka [g] |
|-----------------------------|-------------|
| $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ | 6,667 |
| $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ | 2,784 |
| $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | 2,495 |
| $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ | 0,451 |
| $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$ | 5,010 |
| $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$ | 1,260 |

4.2.2 Moření textilních vláken

Nejprve se vlákna namočila do destilované vody. Pak se vlákna pomačkala, aby z nich vytekla přebytečná voda, a ponořila se do kádinek s roztokem mořidel. Do každého roztoku se vždy vložilo sedm vzorků od jednoho textilního vlákna. Bylo připraveno šest kádinek a v každé z nich dvacet jedna vzorků textilních vláken (sedm vzorků bavlny, sedm vzorků vlny, sedm vzorků hedvábí). Následně byly roztoky v kádinkách přivedeny k varu a vařeny tři minuty. Poté se roztoky nechaly vychladnout do druhého dne (obrázek 2).



Obrázek 2: Roztoky mořidel a namožené textilní materiály

4.2.3 Příprava barvicí lázně

Navážky rostlinných materiálů byly převedeny do kádinek a baněk, ve kterých byly zalaty destilovanou vodou (obrázek 3). Části rostlinných materiálů, jejich úprava, poměr navážky a vody jsou uvedeny v tabulce 3. Kádinky a baňky byly postaveny na trojnožku a nad kahanem byly roztoky v nich přivedeny k varu. Var trval pět minut a poté se roztoky nechaly vychladnout. Po vychladnutí byly roztoky pomocí filtrační aparatury přefiltrovány do nových kádinek a baněk (obrázek 3).



Obrázek 3: Upravené a navážené rostlinné materiály, následně přefiltrovány a připraveny k barvení

Tabulka 3: Příprava roztoků rostlinných materiálů

| Části rostlinných materiálů | Poměr navážky a destilované vody | Úprava |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------|
| Suknice cibule | 1:17 | mixováno |
| Bulva řepy | 1:4 | mixováno |
| Kůra z jabloně | 1:10 | mixováno |
| Kávová zrna | 1:10 | rozemleto |
| Koření kurkuma | 1:10 | - |
| Listy ořešáku | 1:13 | mixováno |
| Oplodí ořešáku | 1:10 | mixováno |
| Paprika koření | 1:6 | - |
| Listy špenátu | 1:7 | mixováno |
| Květy třezalky | 1:13 | mixováno |

4.2.4 Barvení

Do přefiltrovaných roztoků barvicí lázně byla přidána textilní vlákna. A to tak, že se vytvořil svazek vláken z jednoho mořidla, například bavlněné vlákno, vlna a hedvábní namořená v síranu železnatém. Do každé kádinky bylo přidáno šest namořených svazků a jeden svazek nemořený (obrázek 4). Jeden svazek textilních vláken byl ponechán bez moření i obarvení.

Barvicí lázně se přivedly k varu, ve kterém zůstaly po dobu tří minut. Následně se nechaly vychladnout. Poté byly vzorky propláchnuty destilovanou vodou a na filtračním papíře byly ponechány k vyschnutí.



Obrázek 4: Barvicí lázně

4.2.5 Vystavení slunečnímu světlu

Po vyhodnocení barevnosti textilních vláken bylo rozhodnuto, že pro spektrofotometrické hodnocení budou vybrána vlněná vlákna. Polovina každého vzorku vlněného vlákna byla zakryta alobalem, aby na ni neproniklo světlo a druhá zůstala odhalená (obrázek 5). Korková nástěnka byla pokryta bílým papírem a vzorky byly pomocí napínáčků připevněny na nástěnku tak, aby se nepřekrývaly. Nástěnka byla následně pověšena naproti oknu, které bylo orientováno na východní stranu. Vzorky byly takto vystaveny po dobu dvanácti měsíců, od září 2020 do září 2021.



Obrázek 5: Vzorek připravený k vystavení slunečnímu záření

4.2.6 Spektrofotometrické měření

Měření probíhalo ve firmě STACHEMA CZ, s. r. o., ve Slaném. Byla měřena zakrytá i nezakrytá část vlněného vlákna. K měření byl použit spektrofotometr X-Rite 964 (obrázek 6) a měřeno bylo v kolorimetrickém systému CIELAB.

Spektrofotometr X-Rite SP 964 je ruční odrazový spektrofotometr s kulovou měrnou geometrií. Světelným zdrojem je plynem plněná wolframová lampa a jako čidlo je použita křemíková dioda. Průměr měrného otvoru může být 4, 8 nebo 16 mm. Přesnost měření výrobce uvádí $\Delta E^* = 0,05$. Měření trvá průměrně 2 sekundy. Lze měřit v několika kolorimetrických systémech, například CIEXYZ, CIE Yxy, CIELAB, Hunter LAB. Geometrie měření (jak byl vzorek osvětlen a pozorován) je $0^\circ/45^\circ$ (<https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/964>).

Každý vzorek byl změřen šestkrát, třikrát zakrytá část a třikrát část vystavena slunečnímu záření.



Obrázek 6: Spektrofotometr X-Rite SP 964

4.2.7 Statistické hodnocení

Pro statistické vyhodnocení byl použit program STATISTICA 12. Data pro statistické zpracování byla upravena v programu Microsoft Excel. Statisticky byly testovány následující hypotézy.

1. Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo.
2. Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá ke slunečnímu záření.
3. Sytost je ovlivněna vystavení slunečnímu záření.

Pro hypotézu 1 byl použit t-test pro nezávislé vzorky. Pro hypotézu 2 byl použit test pro analýzu rozptylu a pro hypotézu 3 byl použit test t-test pro závislé vzorky.

5 Výsledky

Všechny výsledky vycházejí z tabulky v příloze č.1. Jednotlivé části tabulky jsou vloženy do odpovídajících kapitol pro snadnější interpretaci. Příloha č.2 obsahuje fotografie vzorků, kdy dolní část vlněného vlákna byla zakryta alobalem a horní část vlněného vlákna byla vystavena slunci, viz obrázek 5 v kapitole 4.2 Metody.

5.1 Hypotéza 1: Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo

5.1.1 Barevná diference

Z naměřených hodnot pro zakryté a nezakryté vzorky byl vypočten aritmetický průměr. Pomocí souřadnic (ΔL^* , Δa^* , Δb^*), které byly získány ze spektrofotometru byla vypočtena barevná diference E^* pomocí vzorce $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$.

Podle tabulky 1 v kapitole 3.5 Světlo byla hodnocena diference mezi zakrytým a nezakrytým vzorkem, zda se jedná o významný rozdíl mezi odstíny či nikoliv. Čím menší hodnota diference, tím je rozdíl mezi vzorky menší a tím pádem je barvivo stabilnější. Část této tabulky bude vložena i do této kapitoly, kvůli snadnější interpretaci (tabulka 4).

Tabulka 4: viz tabulka 1

| ΔE^* | Rozdíl |
|--------------|----------------------|
| 0,2–0,5 | velmi slabý |
| 0,5–1,5 | slabý |
| 1,5–3,0 | jasně postřehnutelný |
| 3,0–6,0 | střední |
| 6,0–12,0 | výrazný |

Tabulka 5: Hodnoty barevné diference

| | Al ³⁺ | Fe ²⁺ | Sn ²⁺ | Cu ²⁺ | Cr ³⁺ | (COOH) ₂ | nemořeno |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|
| cibule | 6,10 | 1,64 | 4,72 | 3,94 | 0,65 | 3,25 | 7,12 |
| jabloň | 2,05 | 0,83 | 2,33 | 0,72 | 1,57 | 2,56 | 1,69 |
| káva | 2,09 | 3,06 | 1,55 | 0,59 | 1,37 | 4,33 | 2,17 |
| kurkuma | 8,97 | 6,01 | 5,81 | 6,61 | 2,95 | 8,82 | 6,81 |
| ořešák list | 2,75 | 0,64 | 4,92 | 0,47 | 2,43 | 0,64 | 4,08 |
| ořešák oplodí | 1,75 | 3,72 | 1,76 | 2,62 | 2,26 | 3,77 | 2,20 |
| paprika | 3,65 | 3,88 | 3,53 | 3,41 | 4,31 | 5,15 | 4,72 |
| řepa | 7,58 | 9,95 | 5,12 | 4,51 | 4,65 | 6,48 | 9,05 |
| špenát | 2,78 | 1,82 | 4,75 | 1,02 | 3,66 | 2,53 | 2,11 |
| třezalka | 4,27 | 3,25 | 2,36 | 1,79 | 3,21 | 5,72 | 4,01 |

Podle barevně rozlišené tabulky č.5 s hodnotami diference lze konstatovat hned několik výsledků.

Železnaté mořidlo dobře reagovalo s barvivem obsaženým v jabloni i listu ořešáku, barevná diference byla slabá. Efekt tohoto mořidla a barviv z kurkumy a řepy nebyl velký. Obě tato barviva po vystavení slunečnímu záření změnila svou barvu výrazně. Střední diferenci u použití železnatého mořidla lze pozorovat u barviv obsažených v kávě, oplodí ořešáku, papriky a třezalky.

Cínaté mořidlo sice s použitými rostlinnými materiály nevykazovalo největší stabilizační efekt při vystavení slunečnímu záření, ale jeho vliv na diferenci byl u všech rostlinných materiálu podobný. Pohyboval se od jasně postřehnutelné až po střední hodnotu diference.

Při použití měděného mořidla se u porovnání vzorku obarveného listem ořešáku objevuje velmi nízká hodnota barevné diference. Lze tedy říct, že při kombinaci měděného mořidla s barvivem z listu ořešáku má mořidlo vliv na trvanlivost barviva, největší ze všech použitých rostlinných materiálů. Při porovnání barviva z listu a oplodí ořešáku lze pozorovat jiný efekt měděného mořidla, i když obě tyto rostlinné části obsahují mimo jiné barvivo juglon. V listech ořešáku je zřejmě přítomno ještě jiné barvivo, které s měděným mořidlem funguje lépe. Největší hodnota diference se ukazuje u kombinace barviva z kurkumy s tímto mořidlem.

Hlinité mořidlo nemá na první pohled dobrý efekt na stabilitu barviv vystavených slunečnímu záření. Při použití tohoto mořidla s barvivem z cibule nebo kurkumy lze pozorovat výrazný rozdíl v diferenci mezi vzorky. Oba tyto rostlinné materiály obsahují flavonoidy, stejně jako třezalka a jabloň. Třezalka s hlinitým mořidlem vykazuje střední rozdíl hodnot diference a jabloň jasně postřehnutelný rozdíl oproti vzorku, který nebyl slunečnímu záření vystaven.

Chromité mořidlo vykazuje ještě lepší efekt než cínaté mořidlo. S barvivem z cibule a kávy je hodnota diference slabá, takže rozdíl mezi vzorkem vystaveným slunečnímu záření a zakrytým vzorkem je minimální. Pro ostatní rostlinné materiály je efekt mořidla také dobrý, hodnota diference je u čtyř vzorků postřehnutelná a u čtyř střední.

Použití mořidla se šřavelovou kyselinou mělo dobrý vliv na barvivo obsažené v listu ořešáku. Naopak výraznou hodnotu diference vykazuje kombinace tohoto mořidla s barvivem z kurkumy a řepy. Lze opět pozorovat rozdíl mezi hodnotou diference u listu a oplodí ořešáku. Stejně jako u měděného mořidla je barevná diference nižší u listu ořešáku.

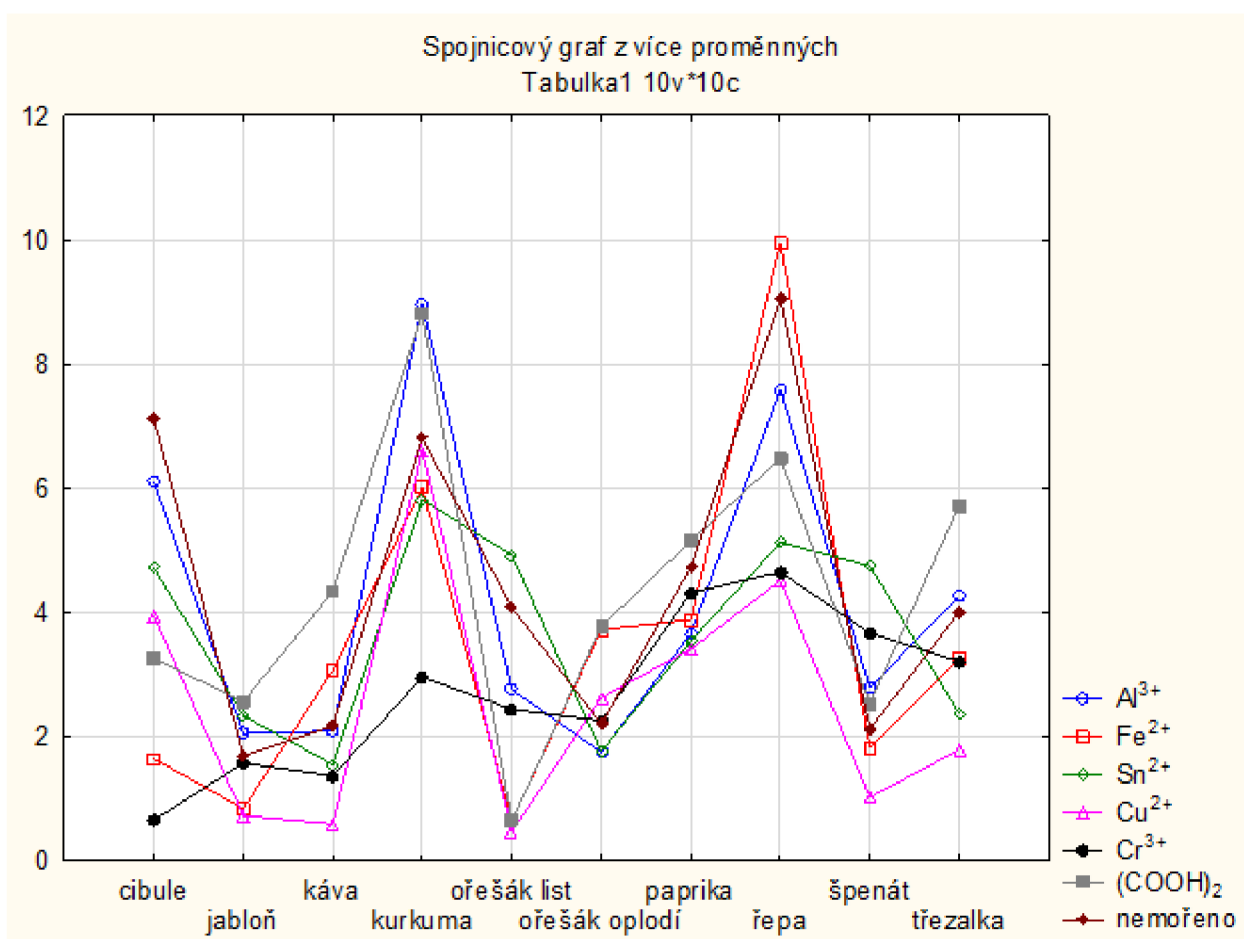
Hodnoty diference byly vypočítány i u vzorků, které nebyly před obarvením mořeny. U těchto vzorků lze hodnotit stabilitu barviva na základě zdroje, ze kterého pocházejí. Hodnoty diference budou opět použity. Nejmenší stabilitu na slunci vykazuje barvivo obsažené v červené řepě, cibuli a kurkumě. Ve vzorcích obarvených jabloní, kávou, špenátem a oplodím ořešáku byly postřehnutelné rozdíly mezi těmi, které byly zakryté a těmi, které byly vystavené. Barvivo obsažené v oplodí ořešáku je mírně stabilnější na slunečním světle než barvivo z listů ořešáku. Hodnoty diference jsou velmi podobné jako při použití hlinitého mořidla.

5.1.2 T-test pro nezávislé vzorky

Statistické hodnocení bylo provedeno pro každé mořidlo zvlášť. Nulová hypotéza zněla: Neexistuje statisticky významný rozdíl v stabilitě barviva mezi mořeným vzorkem a vzorkem bez použití mořidel. Hladina významnosti byla stanovena $\alpha = 0,05$. K hodnocení byly použity hodnoty difference nemořené vzorku a vzorku mořené určitým mořidlem.

Nulová hypotéza nebyla vyvrácena u žádného z mořidel. Hodnota p u žádného ze vzorků nebyla pod hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Znamená to tedy, že mezi stabilitou barviva za použití mořidel a stability barviva bez použití mořidel není statisticky významný rozdíl. Není tedy statisticky prokázáno, že stabilita barviva byla za použití mořidel stálejší, než když mořidlo použito nebylo.

Podrobnosti o statistických výsledcích jsou uvedeny v příloze č.3. Společný vztah vlivu mořidel na stabilitu barviva ukazuje graf 1.

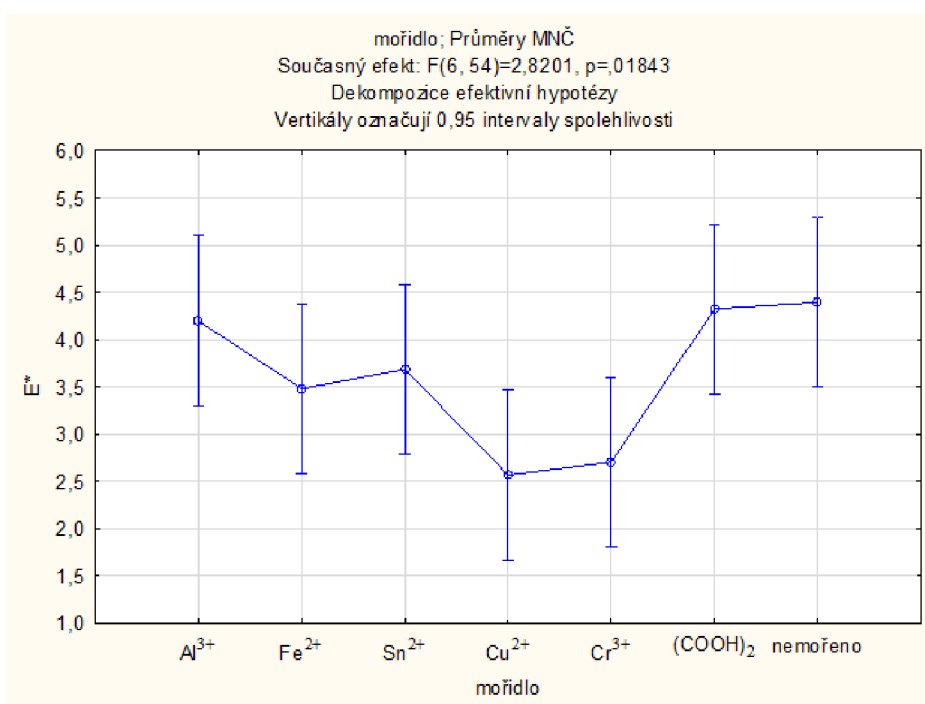


Graf 1: Vliv mořidel na stabilitu barviva

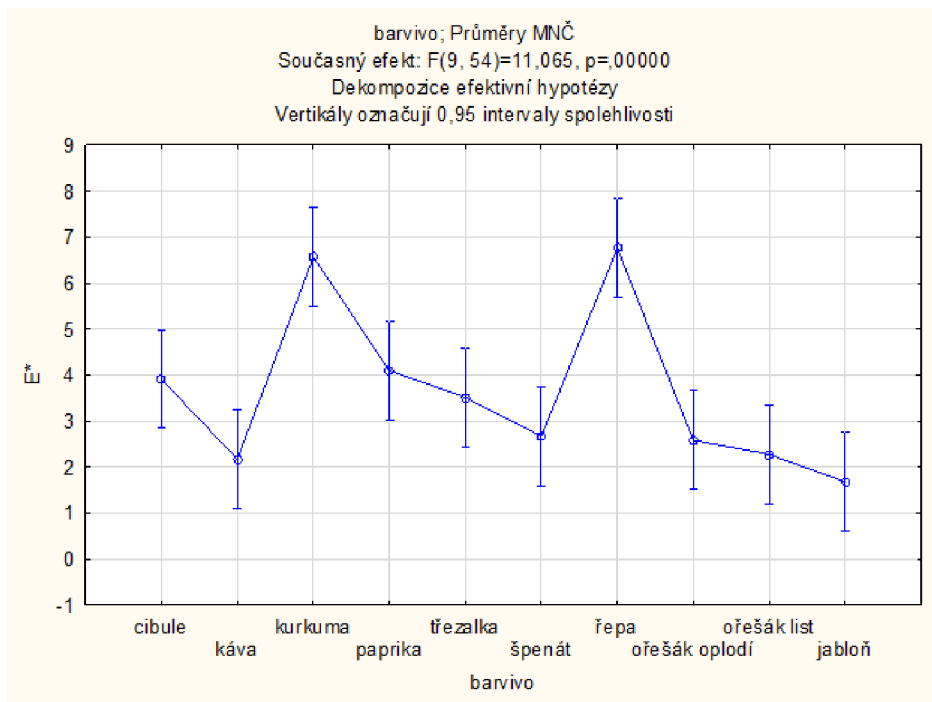
5.2 Hypotéza 2: Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá ke slunečnímu záření

Nulová hypotéza zněla: Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi interakcí mořidla a barviva v citlivosti k vystavení slunečnímu záření. Hladina významnosti byla $\alpha = 0,05$. K hodnocení byly použity hodnoty difference, druh mořidla a část rostliny neboli použitého barviva.

Výsledkem bylo zamítnutí nulové hypotézy, tedy přijmutí alternativní hypotézy. Alternativní hypotéza, vzhledem k nulové hypotéze, zněla: Mezi interakcí mořidla a barviva v citlivosti k vystavení slunečnímu záření existuje statisticky významný rozdíl. Hodnota p tedy byla pod hladinou významnosti 0,05. Na grafech 2 a 3 lze pozorovat, že velmi závisí na druhu barviva i zvoleného mořidla. Tabulka se statistickými výsledky je uvedena v příloze č.4.



Graf 2: Stabilita barviva v závislosti na mořidle



Graf 3: Stabilita barviva v závislosti na barvivu

5.3 Hypotéza 3: Sytost barvy je ovlivněna vystavení slunečnímu záření

Hodnota L^* získaná ze spektrofotometrického měření byla statisticky testována, a to před vystavením slunečnímu záření a po něm. Testování probíhalo jak v jednotlivých skupinách mořidel a nemořené vzorku tak rámci jednoho barviva.

Kromě statistického hodnocení lze sytost částečně hodnotit i z tabulky 6. V tabulce 6 byly naměřené hodnoty CIELAB převedeny do barevného systému RGB, díky kterému lze barvy vizualizovat. Podrobnější tabulka s hodnotami RGB je součástí přílohy č.5.

Tabulka 6: Vizualizace barev

| | Al ³⁺ | Fe ²⁺ | Sn ²⁺ | Cu ²⁺ | Cr ³⁺ | (COOH) ₂ | nemořeno |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|
| cibule zakryto | | | | | | | |
| cibule vystaveno | | | | | | | |
| jabloň zakryto | | | | | | | |
| jabloň vystaveno | | | | | | | |
| káva zakryto | | | | | | | |
| káva vystaveno | | | | | | | |
| kurkuma zakryto | | | | | | | |
| kurkuma vystaveno | | | | | | | |
| orešák list zakryto | | | | | | | |
| orešák list vystaveno | | | | | | | |
| orešák oplodí zakryto | | | | | | | |
| orešák oplodí vystaveno | | | | | | | |
| paprika zakryto | | | | | | | |
| paprika vystaveno | | | | | | | |
| řepa zakryto | | | | | | | |
| řepa vystaveno | | | | | | | |
| špenát zakryto | | | | | | | |
| špenát vystaveno | | | | | | | |
| třezalka zakryto | | | | | | | |
| třezalka vystaveno | | | | | | | |

5.3.1 Sytost podle mořidla

U hlinitého mořidla lze konstatovat, že téměř u všech rostlinných vzorků došlo k změně sytosti, a to k jejímu snížení. Tedy, že barvy po vystavení slunečnímu záření byly světlejší. Kromě vzorku třezalky, kde byla barva po expozici slunci tmavší.

U železnatého mořidla lze sledovat opačný efekt než u mořidla hlinitého. Sytost v mnoha případech stoupla, barvy byly tedy po expozici slunečnímu světlu tmavší. Pouhým okem lze rozeznat, že u oplodí orešáku je barva světlejší, ale například u papriky nelze pouhým okem říct, jestli se jedná o zesvětlení či jinou barvu.

U vzorků mořených cínatým mořidlem lze říct, že došlo ke snížení sytosti, tedy zesvětlení u všech vzorků. Dokonce i u vzorku barvených třezalkou.

Měděné mořidlo je pouhým okem těžko posuzovat. Změny barev před a po vystavení slunečnímu záření jsou si velmi podobné. U vzorků barvených kávou, kurkumou a oplodím ořešáku by se dalo říct, že se sytost snížila, takže výsledné barvy jsou tmavší.

U chromového mořidla lze také jen složitě hodnotit změnu sytosti. U vzorků barvených třezalkou se sytost zvýšila, výsledná barva je světlejší. Naopak u kurkumy je rozdíl v sytosti nepostřehnutelný na rozdíl u všech jiných mořidel.

Vliv mořidla ze šťavelové kyseliny na sytost barviva je znatelný téměř u všech barviv. U barviva z jabloně, kurkumy, listu a oplodí ořešáku lze pozorovat snížení sytosti, výsledné barvy se zdají být tmavší.

U vzorků barvených bez použití mořidel je poměrně dost případů se sníženou sytostí po vystavení slunečnímu záření. Ale naopak vzorky barveny cibulovými slupkami mají vyšší sytost.

5.3.2 Sytost podle barviva

Barvivo z cibule v kombinaci s mořidly Al^{3+} , Sn^{2+} , Cu^{2+} a $(\text{COOH})_2$ zesvětlalo, sytost se tedy snížila. Vzorek bez použití mořidel změnil barvu úplně.

U barviva z jabloně nemělo cínaté mořidlo žádný efekt, barva zůstala stejná. U vzorku se šťavelovou kyselinou došlo po vystavení slunci ke zvýšení sytosti, u všech ostatních vzorků se sytost snížila.

Barvivo z kávy spolu s barvivem kurkumy mělo po expozici světlu podobný efekt. Barva se u všech vzorků změnila, ať už došlo ke zvýšení či snížení výsledné sytosti.

Barviva z listu a oplodí ořešáku poskytla velmi rozdílné barevné odstíny. Jejich změna sytosti je ale velmi podobná.

Barviva z papriky i z řepy na první pohled poskytla velmi podobné odstíny. Sluneční záření na ně mělo podobný vliv. Například vzorky mořené chromovým, železnatým a měďnatým mořidlem po expozici záření získaly šedý odstín, ať už to bylo snížením či zvýšením sytosti.

U barviva ze špenátu nejvíce vybledl vzorek mořený cínatým mořidlem. Vzorek, který nebyl mořený a vzorky s mořidly Fe^{2+} a Cu^{2+} si zachovaly velmi podobnou sytost jako před vystavením záření.

Barvivo z třezalky zvýšilo sytost pouze v kombinaci s železnatým mořidlem. Ostatní vzorky po expozici záření sytost snížily.

5.3.3 T-test pro závislé vzorky

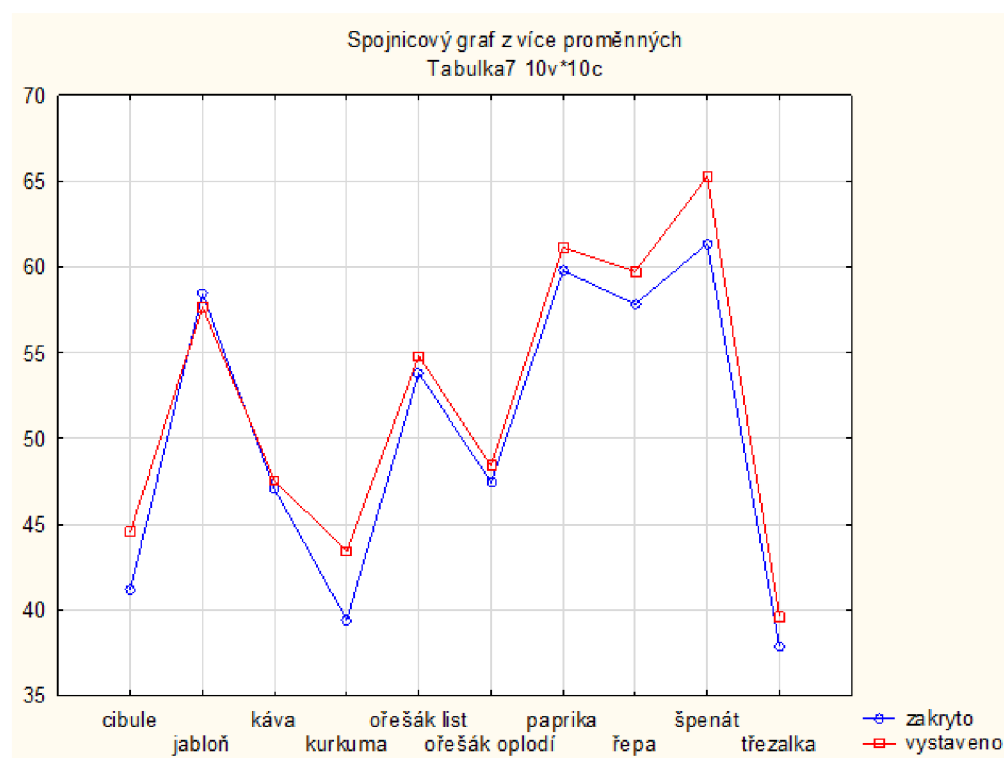
Pro statistické hodnocení sytosti podle použitého mořidla byla stanovena hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Nulová hypotéza zněla: Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi sytostí před a po expozici slunečnímu záření. Téměř u všech vzorků nebyla nulová hypotéza vyvrácena. Pouze u cínatého mořidla byla přijata alternativní hypotéza, a tedy nulová hypotéza byla vyvrácena. Hodnota p zde byla menší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$ a to 0,0053. Alternativní hypotéza přijatá pro vzorky mořené cínatým mořidlem tedy zněla: Mezi sytostí před a po expozici slunečnímu záření existuje statisticky významný rozdíl. V grafu 4

lze pozorovat hodnotu L^* před a po vystavení slunečnímu záření a v tabulce 7 lze vidět statistická data. Tabulky se statistickými výsledky ostatních mořidel jsou součástí přílohy č.6.

Pro statistické hodnocení sytosti podle použitého barviva byla stanovena hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Nulová hypotéza zněla: Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi sytostí před a po expozici slunečnímu záření. Nulová hypotéza nebyla vyvrácena u žádného z barviv. Hodnota p u žádného ze vzorků nebyla pod hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Znamená to tedy, že sytost po vystavení slunečnímu záření není ovlivněna použitým barvivem. Tabulky se statistickými výsledky jsou uvedeny v příloze č.7.

Tabulka 7: T-test pro cínaté mořidlo

| Sn ²⁺ | t-test pro závislé vzorky (Tabulka4) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|------------------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 50,41700 | 8,955157 | | | | | | |
| vystaveno | 52,21200 | 8,652976 | 10 | -1,79500 | 1,556455 | -3,64693 | 9 | 0,005343 |



Graf 4: L^* u zakrytých a vystavených vzorků mořených Sn²⁺

6 Diskuze

Práce byla zaměřena na stabilitu barviv aplikovaných na vlněné vlákno po expozici slunečnímu záření. Snahou bylo trvanlivost barviv prodloužit pomocí mořidel. Bylo použito pět kovových mořidel, a to oktadekahydrát síranu hlinitého, heptahydrát síranu železnatého, pentahydrát síranu měďnatého, dihydrát chloridu cínatého, hexahydrát síranu chromitého a dihydrát šťavelové kyseliny jako zástupce biomořidel. Barviva byla získána z požitelných i nepožitelných částí jedlých rostlin, a to ze suknic cibule, bulvy červené řepy, kůry jabloně, kávových zrn, kořenu kurkumy, listu a oplodí ořešáku, plodů papriky, mladých listů špenátu a květů třezalky. Důležitým parametrem při hodnocení byly hodnoty CIE $L^*a^*b^*$ a z nich vypočítaná hodnota barevné difference. Nebylo prokázáno, že by mořidlo mělo významný efekt na stabilitu barviva. Ovšem statisticky průkazná se projevila interakce mezi barvivem a mořidlem po vystavení slunečnímu záření.

6.1 Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo

Uddin (2014) hodnotil světlostálost barviv na hedvábném textilním vláknu pomocí normy ISO 105 B02. Stabilita barviv se v této normě hodnotí po vystavení umělému světlu s použitím xenonové výbojky. Jako barvivo byly použity sušené slupky cibule. Největší vliv na stabilitu barviva měla kombinace železnatého, kamencového a cínatého mořidla. Stabilita samotného cínatého mořidla byla dokonce nižší než u nemořeného vzorku. V mé práci bylo zjištěno, že po vystavení dennímu světlu byla stabilita barviva z cibulových slupek po moření cínatým mořidlem lepší, než když mořidlo použito nebylo. Ale hodnoty difference byly u obou vzorků vysoké, takže stabilita barviva byla u vzorku nemořeného i u vzorku mořeného cínatým mořidlem slabá. Barvivo z kurkumy je bez použití mořidel velmi nestabilní. Při použití železnatého i hlinitého mořidla se jeho stabilita prodlužuje (Umbreen et al. 2008). Ve výsledcích mé práce se shodují s autory Umbreen et al. (2008), že stabilita barviva z kurkumy je velmi slabá. Vankar et al. (2009) barvili vlněná vlákna cibulovými slupkami. Nejmenší stabilitu vykazoval vzorek bez použití mořidla a největší stabilitu měl vzorek mořený železnatým mořidlem. Podle výsledků zmíněných studií má mořidlo vliv na stabilitu barviva. Výsledkem mé práce je stejně jako u uvedených studií zjištění, že použité mořidlo má vliv na stabilitu barviva. Nejlepší vliv na stabilitu barviva mělo podle mých výsledků chromité a měďnaté mořidlo. Dobrých výsledků dosáhlo i železnaté mořidlo. Ovšem hodnoty barevné difference, podle kterých byla v mé práci stabilita posuzována, nebyly tak významné, aby šlo o statisticky průkazné výsledky. Při porovnání s výsledky s Uddin (2014) si tuto skutečnost lze vysvětlit tím, že já jsem vzorky nevystavila umělému světlu, které má stále stejnou intenzitu, ale dennímu světlu, kde se intenzita osvětlení výrazně mění.

6.2 Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá ke slunečnímu záření

Bechtold et al. (2005) porovnávali interakci mezi kamencovým a železnatým mořidlem a přírodními barvivy z několika rostlinných zdrojů po vystavení umělému světlu z xenonové obloukové lampy. Barvivo z cibule s kamencovým mořidlem mělo na stupnici od 1 do 8 světlostálost 3. Barvivo z cibule mořeno železnatým mořidlem mělo na stejné stupnici

světlostálosti hodnotu 3,3. V kontextu celé práce je patrné, že stálost na světle je silně ovlivněna mořidlem i barvivem, a také extrakcí barviva z rostlinného materiálu, barveného textilního vlákna a podmínek barvení. Barvivo z afrikánu (*Tagetes* sp. L.) obsahuje ve struktuře chromoforu dvě hydroxylové skupiny a tvoří komplexy s železnatým a měďnatým mořidlem. Díky tomu je stabilnější při vystavení světlu. Hlinité a cínaté mořidlo mělo nižší hodnotu světlostálosti. Cínaté mořidlo mělo nižší podporu světlostálosti při barvení hedvábného vlákna než při barvení vlákna vlněného. Závěrem studie od Jothi (2008) bylo, že různá mořidla mají různý vliv na použitá barviva. Jak na výsledný odstín, sytost a s tím spojenou stálost při vystavení světlu i při praní. Podle Cristea & Vilarem (2006) má typ mořidla a způsob moření na světlostálost větší vliv než barvivo. Arora et al. (2017) potvrzují, že větší vliv na světlostálost má mořidlo než barvivo, dodávají ale, že jde o celkovou interakci mezi barvivem a mořidlem. Tyto studie se shodují s hypotézou této diplomové práce, která je i statisticky průkazná, že stabilita na světle je ovlivněna vztahem mezi barvivem a mořidlem. Příkladem je interakce železnatého mořidla s barvivem z červené řepy, kdy je stabilita barviva na světle velmi slabá. Oproti tomu interakce železnatého mořidla a barviva z oplodí ořešáku stabilitu barviva podporuje a barvivo je v kombinaci s tímto mořidlem stálé.

6.3 Sytost je ovlivněna vystavení slunečnímu záření

Výsledkem této diplomové práce je zjištění že největší rozdíl mezi sytostí před a po expozici záření měly vzorky s cínatým mořidlem. Eser et al. (2015) také porovnávali jak moc barvivo vybledne, ale ne po vystavení slunci, ale po praní. Použili cínaté, hlinité, železnaté a měďnaté mořidlo. Výsledkem bylo také konstatování, že nejmenší efekt pro stabilitu světlostálosti odstínu má cínaté mořidlo. Crews (2013) se zaměřil pouze na žlutá barviva, mezi nimiž bylo i barvivo z kurkumy. Výsledkem jeho práce bylo zjištění, že ze žlutých barviv nejvíce vybledla barviva z kurkumy a měsíčku lékařského po expozici xenonové obloukové lampy. Mořidlo má podle něj větší vliv na světlostálost než barvivo nebo délka expozice. Vyhodnotil, že nejmenší vliv na světlostálost má cínaté mořidlo, a to v porovnání s mořidly chromovými, železnatými a měďnatými. Dosáhl tedy velmi podobných výsledků jako má práce. Světlostálost hodnotili Padfield & Landi (1966) pomocí stupnice pro světlostálost. Vzorky situované na jižní světovou stranu vystavili dennímu světlu. Nejslabší hodnoty světlostálosti měla podle jejich pokusů žlutá barviva bez použití mořidel. Zlepšení přináší použití mořidel, a to především chromových, železnatých nebo měďnatých. Jejich výsledky jsou shrnuty v přehledu od Samanta & Agarwal (2009). Stejných výsledků dosáhli i Gupta et al. (2004) a Gupta (1999). Vyblednutí také závisí na faktorech prostředí, konkrétně na spektrálním složení světla, intenzitě osvětlení, teplotě a vlhkosti (Clementi et al. 2007). Panuje shoda výsledků mé práce s vědeckými články, že mořidla pozitivně ovlivňují světlostálost. Ovšem výsledkem této diplomové práce je i zjištění, že nemořený vzorek má dobrou světlostálost. Což se neshoduje s výsledky zmíněných studií. Tuto skutečnost si lze vysvětlit tím, že vzorky byly vystaveny na východní světovou stranu, kde je délka slunečního svitu velmi krátká. Takže expozice slunečnímu záření nebyla tak výrazná jako u zmíněných studií.

7 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na barvení textilních materiálů pomocí požitelných i nepoživatelných částí jedlých rostlin. Bylo použito devět jedlých rostlin, ze kterých bylo vybráno deset rostlinných částí. Bylo použito šest mořidel a hodnoceno bylo vlněné vlákno. Měření probíhalo spektrofotometricky. Pomocí odrazového spektrofotometru X-Rite SP 964 byl hodnocen vliv mořidel na stabilitu barviv po vystavení slunečnímu světlu. Cílem práce bylo prokázat, zda je stabilita barviv závislá na interakci mezi barvivem a mořidlem, zda stabilita závisí na použité části rostlinného materiálu a zda jednotlivá mořidla poskytují stejnou stabilitu barviva na vlněném vláknu.

Hypotéza 1: Stabilitu barviva ovlivňuje použité mořidlo.

- Měďnaté mořidlo v kombinaci s barvivem z listu ořešáku má nejlepší odolnost při vystavení slunečnímu záření.
- Železnaté mořidlo má velmi rozdílné výsledky barevné diference po vystavení slunečnímu záření. Barvivo z jabloně a listu ořešáku bylo stabilní, na rozdíl od barviva z řepy, které vykazovalo velmi slabou stálost v kombinaci se železnatým mořidlem.
- Lze tedy pozorovat trend mezi stabilitou barviva a použitým mořidlem, ale statisticky nebyl tento efekt průkazný.

Hypotéza 2: Interakce mezi mořidlem a barvivem je různě citlivá k vystavení slunečnímu záření.

- Barvivo z kurkumy má s mořidlem hlinitým, železnatým a měďnatým a mořidlem ze šřavelové kyseliny velmi slabý efekt pro stálost barviva, na rozdíl od použití chromitého mořidla, kdy je stálost barviva lepší.
- Barvivo z cibule vykazuje téměř s každým mořidlem jinou stabilitu. V kombinaci s hlinitým mořidlem je stabilita slabá, v kombinaci s železnatým mořidlem je stabilita naopak dobrá a s použitím chromitého mořidla dokonce velmi dobrá.
- Vztah mezi barvivem a mořidlem má statisticky různou citlivost k vystavení světlu.

Hypotéza 3: Sytost barvy je ovlivněna vystavení slunečnímu záření.

- U různých barviv působením různých mořidel docházelo k rozdílným změnám sytosti, ať už k jejímu zvýšení či snížení.
- Výrazné rozdíly mezi sytostí před a po vystavení slunečnímu záření vykazovaly vzorky barveny kurkumou. Ovšem nebyly tak významné, aby byly statisticky průkazné.
- U cínatého mořidla byl největší rozdíl mezi sytostí před a po vystavení slunci ze všech mořidel i nemořené vzorku. Tento rozdíl byl statisticky významný.

8 Literatura

- Arora J., Agarwal P., Gupta G. 2017. *Rainbow of Natural Dyes on Textiles Using Plants Extracts: Sustainable and Eco-Friendly Processes*. Green and Sustainable Chemistry. **7**(1): 35–47.
- Ashihara H., Crozier A., Clifford M.N. (editors) 2006. *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Atchison D.A., Smith G. 2000. *Optics of the Human Eye*. Butterworth Heinemann, Oxford.
- Attokaran M. 2017. *Natural Food Flavors and Colorants*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Incorporated, Chicester.
- Bechtold T., Musak R. (editors) 2009. *Handbook of natural colorants*. Wiley, West Sussex.
- Bechtold T., Mussak R., Mahmud-Ali A., Ganglberger E., Geissler S. 2005. *Extraction of natural dyes for textile dyeing from coloured plant wastes released from the food and beverage industry*. Science of Food and Agriculture. **86**(2): 233-242
- Best J. (editor) 2012. *Colour Design: Theories and Application*. Elsevier, Cambridge.
- Bidlová V. 2005. *Barvení pomocí rostlin*. Grada, Praha.
- Bohanesová B. a Kozlovská H. 1991. *Nauka o materiálu: pro I. a II. ročník SPŠ oděvní studijní obor oděvnictví*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Böhm V. 2019. *Carotenoids*. Antioxidants. **8**(11): 516.
- Booth A. 2019. *The Wild Dyer: A Maker's Guide to Natural Dyes with Projects to Create and Stitch*. Princeton Architectural Press, New York.
- Borodkin V. F. 1987. *Chemie organických barviv*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Buchanan B.B., Grisse W., Jones R.L. (editors) 2015. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. 2nd ed. Wiley, Chichester.
- Burns D. A., Ciurczak E.W. (editors) 2007. *Handbook of near-Infrared Analysis*. Taylor & Francis Group, Milton.
- Clark M. (editor) 2011. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes*. Elsevier Science & Technology, Cambridge.
- Clementi C., Nowik W., Romani A., Cibin F., Favaro G. 2007. *A spectrometric and chromatographic approach to the study of ageing of madder (Rubia tinctorum L.) dyestuff on wool*. Analytica Chimica Acta. **596**(1): 46-54.
- Colombini M.P., Andreotti A., Baraldi C., Jeannette I.D., Łucejko J. 2007. *Colour fading in textiles: A model study on the decomposition of natural dyes*. Microchemical Journal. **85**(1): 174-782.
- Crews P.C. 2013. *The Influence of Mordant on the Lightfastness of Yellow Natural Dyes*. Journal of the American Institute for Conservation. **32**(2): 43-58.

- Cristea D. & Vilarem G. 2006. *Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn*. Dyes and Pigments. **70**(3): 238-245
- Čopíková J., Uher M., Lapčík O., Moravcová J., Drašár P. 2005. *Přírodní barevné látky*. Chemické listy. **99**(11): 802-816.
- ČSN EN ISO 105-B02. 2000. *Textilie – Zkoušky stálobarevnosti - Část B02: Stálobarevnost na umělém světle: zkouška s xenonovou výbojkou*. Český normalizační institut, Praha.
- Dean J. 2009. *Colours from nature: A Dyer's Handbook*. Search press, Tunbridge wells.
- Dohnal M. 2019. *Barevné vidění: Kolorimetrie*. Univerzita Pardubice, Pardubice.
- Eser F., Sanal S., Temiz C., Yilmaz F., Onal A. 2015. *Effect of acid pretreatment on the dyeing performance of walnut (*Juglans regia*) leaves on wool fibers*. Fibers and polymers. **16**(8): 1657-1662.
- Fleming I., Williams D. 2019. *Spectroscopic Methods in Organic Chemistry*. 7th ed. Springer, Cambridge.
- Gauglitz G, Vo-Dinh T. (editors) 2003. *Handbook of Spectroscopy*. Wiley, Weinheim.
- Gries T., Veit D., Wulfhorst B. 2015. *Textile Technology: An Introduction*. 2nd ed. Hanser, Munich.
- Gupta D. 1999. *Fastness of properties of natural dyes PartI: Indroduction and review of literature*. Colourage. **46**(7): 35-38.
- Gupta D., Gulrajani M.L., Kumari S. 2004. *Light fastness of naturally occurring anthraquinone dyes on nylon*. Color Technol. **120**(5): 205-212.
- Gürses A., Açıkyıldız M., Güneş K., Gürses M.S. 2016. *Dyes and Pigments*. Springer, Cham.
- Halliday D., Resnick R., Walker J. 2000. *Fyzika: Elektromagnetické vlny - Optika - Relativita*. 4th ed. Vitium, Brno.
- Hladík V. 1982. *Textilní barviřství*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Chatwal G. R., Arora M. 2008. *Synthetic Dyes*. Global Media, Mumbai.
- Christie R.M. 2015. *Colour chemistry*. 2nd ed. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Inbaraj J.J., Chignell C. 2004. *Cytotoxic action of juglone and plumbagin: a mechanistic study using HaCaT keratinocytes*. Chemical Res Toxicology. **17**(1): 55-62.
- Johti D. 2008. *Extraction of natural dyes from african marigold flower (*tagetes erecta l*) for textile coloration*. AUTEX Research Journal. **8**(2): 49-53.
- Kaplanová M. 2009. *Moderní polygrafie*. Svaz polygrafických podnikatelů, Praha.
- Kirby J., Cardon D., Cooksey C., Habib V., Laursen R., Quye A., Schaeffer T., Verhecken A., van Bommel M. (editors) 2017. *The Diversity of Dyes in History and Archaeology*. Archetype Publications, London.
- Klabazňa J., Nuc J., Kopal B. 1984. *Optika pro střední odborná učiliště*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

- Kozłowski R.M. (editor) 2012. *Handbook of Natural Fibres: Volume 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Elsevier, Cambridge.
- Kozłowski R.M., Muzyczek M. (editors) 2017. *Natural Fibers: Properties, Mechanical Behavior, Functionalization and Applications*. Nova Science Publishers, Hauppauge.
- Kumbasar E.P.A. 2011. *Natural Dyes*. InTech, Croatia.
- Malacara D. 2002. *Color Vision and Colorimetry: theory and applications*. SPIE, Washington.
- Malý P. 2008. *Optika*. Karolinum, Praha.
- Mondal I. H. (editor) 2021. *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*. Elsevier, San Diego.
- Manhita A., Ferreira V., Vargas H., Ribeiro I., Candeias A., Teixeira D., Ferreira T., Dias C.B. 2011. *Enlightening the influence of mordant, dyeing technique and photodegradation on the colour hue of textiles dyed with madder – A chromatographic and spectrometric approach*. *Microchemical Journal*. **98**(1): 82-90.
- Ohta N., Robertson A.R. 2005. *Colorimetry: Fundamentals and Applications*. Wiley, Chichester.
- Padfield T. & Landi S. 1966. *The Light-Fastness of the Natural Dyes*. *Studies in Conservation*. **11**(4):180-196.
- Panák J., Čeppan M., Dvonka V., Karpinský L., Kordoš P., Mikula M., Jakucewicz S. 2008. *Polygrafické minimum*. TYPOSET, Bratislava.
- Potsangbam L., Swapana N., Warjeet S., Laitonjam W. 2008. *Natural dye yielding plants and indigenous knowledge of dyeing in Manipur, Northeast India*. *Indian Journal of Traditional Knowledge*. **7**(1): 141-147.
- Rangi A., Jajpura L. 2015. *The Biopolymer Sericin: Extraction and Applications*. *Journal of Textile Science & Engineering*, **5**(1).
- Rouette H.K. 2001. *Encyclopedia of Textile Finishing: Volume 1*. Springer, Berlin.
- Rouette H.K. 2001. *Encyclopedia of Textile Finishing: Volume 2*. Springer, Berlin.
- Rouette H.K. 2001. *Encyclopedia of Textile Finishing: Volume 3*. Springer, Berlin.
- Samanta A.K. & Agarwal P. 2009. *Application of natural dyes on textiles*. *Indian Journal of Fiber & Textile Research*. **34**(14):384-399.
- Singh S.K. (editor) 2020. *Plant Pigments, Flavors and Textures*. Delve Publishing, Ashland.
- Šikl R. 2012. *Zrakové vnímání*. Grada, Praha.
- Thomas B., Murphy D. J., Murray B. G. (editors) 2003. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Elsevier, Oxford.
- Uddin M.G. 2014. *Effects of Different Mordants on Silk Fabric Dyed with Onion Outer Skin Extracts*. *Journal of Textiles*. **10**(1): 1-8.

- Ul-Islam S. 2017. *Plant-Based Natural Products: Derivatives and Applications*. John Wiley & Sons, Newark.
- Umbreen S., Shaikat A., Tanveer H., Rakhshanda N. 2008. *Dyeing Properties of Natural Dyes Extracted from Turmeric and their Comparison with Reactive Dyeing*. Research Journal of Textile and Apparel. **12**(4): 1-11.
- Vankar P.S. 2017. *Natural Dyes for Textiles: Sources, Chemistry and Applications*. Elsevier, Cambridge.
- Vankar P.S., Shanker R., Wijayapalab S. 2009. *Dyeing of Dyeing Cotton, Wool and Silk with extract of Allium cepa*. Pigment & Resin Technology. **38**(4): 242–247.
- Vankar P.S., Shanker R., Verma A. 2007. *Enzymatic natural dyeing of cotton and silk fabrics without metal mordants*. Journal of Cleaner Production. **15**(15): 1441-1450.
- Vankar P.S., Shanker R., Mahanta D., Tiwari S.C. 2008. *Ecofriendly sonicator dyeing of cotton with Rubia cordifolia Linn. using biomordant*. Dyes and pigments. **76**(1): 207-212.
- Vankar P.S., Shukla D. 2019. *New Trends in Natural Dyes for Textiles*. Elsevier, San Diego.
- Vik M. 1995. *Základy měření barevnosti*. Technická univerzita v Liberci, Liberec.
- Volf K., Andrs F. 2008. *Flavonoidy a jejich biologické působení*. JuWital s.r.o., Praha.
- Watson R.R. (editor) 2019. *Polyphenols in Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation*. 2nd ed. Elsevier, London.
- Westland S., Ripamonti C. 2004. *Computation Colour Science using MATLAB*. Wiley, Chichester.
- X-rite. Available from: <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/964>.
- Yusuf M. 2018. *Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing*. Scrivener publishing, Beverly.
- Yusuf M., Shahid M. 2022. *Emerging Technologies for Textile Coloration*. Taylor & Francis Group, Milton.
- Zmeškal O., Čeppan M., Dzik P. 2002. *Barevné prostory a správa barev*. **10**/2002. Dostupné: http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf

9 Seznamy

9.1 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Barevný prostor CIELAB (zdroj: Ohta & Robertson 2015) | 27 |
| Obrázek 2: Roztoky mořidel a namožené textilní materiály | 33 |
| Obrázek 3: Upravené a navážené rostlinné materiály, následně přefiltrovány a připraveny k barvení | 33 |
| Obrázek 4: Barvicí lázně | 34 |
| Obrázek 5: Vzorek připravený k vystavení slunečnímu záření | 35 |
| Obrázek 6: Spektrofotometr X-Rite SP 964 | 36 |

9.2 Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| <i>Tabulka 1: Stupnice barevné difference</i> (zdroj: http://imagesci.fch.vut.cz/download/stud06_rozn02.pdf) | 28 |
| Tabulka 2: Navážky vybraných mořidel | 32 |
| Tabulka 3: Příprava roztoků rostlinných materiálů | 34 |
| Tabulka 4: viz tabulka 1 | 37 |
| Tabulka 5: Hodnoty barevné difference | 37 |
| Tabulka 6: Vizualizace barev | 42 |
| Tabulka 7: T-test pro cínaté mořidlo | 44 |

9.3 Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1: Vliv mořidel na stabilitu barviva | 39 |
| Graf 2: Stabilita barviva v závislosti na mořidle | 40 |
| Graf 3: Stabilita barviva v závislosti na barvivu | 41 |
| Graf 4: L^* u zakrytých a vystavených vzorků mořených Sn^{2+} | 44 |

10 Samostatné přílohy

Příloha č. 1

Příloha 1: Hodnoty CIELAB získané ze spektrofotometrického měření a vypočítané hodnoty E*

| | Al ³⁺ | | | | Fe ²⁺ | | | | Sn ²⁺ | | | | Cu ²⁺ | | | | Cr ³⁺ | | | | (COOH) ₂ | | | | nemořeno | | | |
|-------------------------|------------------|-------|-------|------|------------------|-------|-------|------|------------------|-------|-------|------|------------------|-------|-------|------|------------------|-------|-------|------|---------------------|-------|-------|------|----------|-------|-------|------|
| | L* | a* | b* | E* | L* | a* | b* | E* | L* | a* | b* | E* | L* | a* | b* | E* | L* | a* | b* | E* | L* | a* | b* | E* | L* | a* | b* | E* |
| cibule zakryto | 41,72 | 15,09 | 26,99 | | 28,41 | 6,57 | 17,95 | | 41,21 | 15,00 | 47,08 | | 33,70 | 12,45 | 24,51 | | 43,33 | 11,39 | 36,76 | | 38,86 | 13,82 | 25,34 | | 41,93 | 15,45 | 25,58 | |
| cibule vystaveno | 46,64 | 11,53 | 26,45 | 6,10 | 28,22 | 5,38 | 16,84 | 1,64 | 44,56 | 14,49 | 50,40 | 4,72 | 36,90 | 10,19 | 24,88 | 3,94 | 43,44 | 10,98 | 37,25 | 0,65 | 41,59 | 12,22 | 26,04 | 3,25 | 40,87 | 8,66 | 23,71 | 7,12 |
| jabloň zakryto | 53,54 | 1,55 | 24,97 | | 36,24 | 0,42 | 18,30 | | 58,44 | 3,39 | 49,25 | | 51,25 | 1,69 | 26,21 | | 55,07 | 1,05 | 36,47 | | 56,83 | 2,23 | 24,17 | | 57,26 | 0,81 | 22,31 | |
| jabloň vystaveno | 55,57 | 1,28 | 24,90 | 2,05 | 36,94 | 0,69 | 18,67 | 0,83 | 57,66 | 2,78 | 47,14 | 2,33 | 51,31 | 1,19 | 25,69 | 0,72 | 55,68 | 0,35 | 35,20 | 1,57 | 54,29 | 2,15 | 23,88 | 2,56 | 55,63 | 0,98 | 22,72 | 1,69 |
| káva zakryto | 44,14 | 7,39 | 24,41 | | 35,85 | 4,90 | 18,83 | | 47,05 | 7,20 | 30,33 | | 35,39 | 6,34 | 21,76 | | 45,01 | 5,39 | 27,76 | | 42,31 | 6,60 | 22,81 | | 46,57 | 7,40 | 25,16 | |
| káva vystaveno | 45,94 | 6,73 | 23,58 | 2,09 | 34,21 | 4,01 | 16,40 | 3,06 | 47,53 | 7,97 | 29,08 | 1,55 | 35,57 | 6,04 | 21,29 | 0,59 | 45,33 | 4,76 | 26,59 | 1,37 | 38,07 | 5,73 | 20,19 | 4,33 | 48,15 | 6,91 | 23,75 | 2,17 |
| kurkuma zakryto | 44,08 | 15,49 | 54,93 | | 26,47 | 15,36 | 26,57 | | 39,41 | 25,95 | 47,20 | | 43,95 | 15,45 | 53,92 | | 43,46 | 16,72 | 52,30 | | 42,01 | 17,99 | 50,29 | | 48,00 | 15,53 | 59,73 | |
| kurkuma vystaveno | 46,08 | 13,06 | 46,54 | 8,97 | 23,28 | 13,40 | 21,88 | 6,01 | 43,43 | 22,20 | 49,10 | 5,81 | 40,58 | 12,75 | 48,92 | 6,61 | 42,77 | 15,14 | 49,89 | 2,95 | 38,96 | 16,18 | 42,22 | 8,82 | 50,67 | 13,36 | 53,86 | 6,81 |
| orešák list zakryto | 43,74 | 0,89 | 19,84 | | 31,13 | 0,33 | 15,42 | | 53,82 | 3,03 | 44,58 | | 44,60 | 0,87 | 20,83 | | 48,76 | 2,20 | 33,81 | | 45,57 | 1,62 | 19,95 | | 46,10 | 0,82 | 18,95 | |
| orešák list vystaveno | 46,29 | 0,69 | 20,86 | 2,75 | 30,52 | 0,32 | 15,62 | 0,64 | 54,80 | 0,77 | 40,32 | 4,92 | 45,05 | 0,84 | 20,96 | 0,47 | 49,49 | 1,29 | 31,68 | 2,43 | 45,08 | 1,43 | 19,60 | 0,64 | 50,12 | 0,80 | 19,59 | 4,08 |
| orešák oplodí zakryto | 40,91 | 12,14 | 20,60 | | 30,96 | 6,56 | 11,37 | | 47,43 | 6,99 | 21,27 | | 41,35 | 9,94 | 19,44 | | 42,91 | 8,94 | 18,46 | | 41,27 | 9,90 | 17,60 | | 42,56 | 13,24 | 20,68 | |
| orešák oplodí vystaveno | 42,31 | 12,96 | 21,24 | 1,75 | 34,56 | 6,92 | 12,23 | 3,72 | 48,40 | 7,50 | 19,89 | 1,76 | 39,77 | 8,76 | 17,72 | 2,62 | 44,96 | 8,20 | 17,86 | 2,26 | 38,35 | 8,65 | 15,58 | 3,77 | 44,54 | 12,48 | 20,09 | 2,20 |
| paprika zakryto | 62,49 | 4,38 | 26,87 | | 57,44 | 4,44 | 25,64 | | 59,77 | 3,75 | 35,20 | | 59,10 | 1,78 | 25,73 | | 62,29 | -0,25 | 23,72 | | 59,88 | 5,01 | 27,19 | | 61,86 | 3,90 | 25,99 | |
| paprika vystaveno | 62,69 | 3,49 | 23,34 | 3,65 | 58,02 | 2,80 | 22,17 | 3,88 | 61,14 | 1,70 | 32,67 | 3,53 | 57,08 | 0,22 | 23,48 | 3,41 | 60,51 | -2,42 | 20,45 | 4,31 | 63,38 | 2,96 | 24,02 | 5,15 | 64,84 | 2,39 | 22,65 | 4,72 |
| řepa zakryto | 60,84 | 4,45 | 33,53 | | 60,38 | 3,30 | 29,79 | | 57,83 | 4,94 | 33,38 | | 56,38 | 2,11 | 27,90 | | 59,73 | 0,03 | 22,11 | | 60,82 | 4,51 | 31,25 | | 59,28 | 4,71 | 33,52 | |
| řepa vystaveno | 62,56 | 1,97 | 26,58 | 7,58 | 55,48 | 2,27 | 21,19 | 9,95 | 59,73 | 2,39 | 29,36 | 5,12 | 56,28 | 0,49 | 23,69 | 4,51 | 57,41 | -1,47 | 18,37 | 4,65 | 59,70 | 2,86 | 25,09 | 6,48 | 60,54 | 2,03 | 24,97 | 9,05 |
| špenát zakryto | 62,68 | -0,57 | 16,49 | | 55,43 | 0,83 | 17,51 | | 61,35 | -2,50 | 18,65 | | 58,96 | -0,08 | 17,47 | | 61,52 | -2,18 | 12,02 | | 58,98 | -0,49 | 16,88 | | 64,46 | -1,76 | 16,12 | |
| špenát vystaveno | 60,93 | 0,06 | 14,42 | 2,78 | 54,59 | 1,87 | 16,26 | 1,82 | 65,26 | -1,86 | 16,04 | 4,75 | 59,50 | -0,36 | 16,66 | 1,02 | 58,73 | -2,43 | 14,39 | 3,66 | 59,68 | 0,56 | 14,69 | 2,53 | 64,46 | -0,81 | 14,23 | 2,11 |
| třezalka zakryto | 35,71 | 5,06 | 8,44 | | 29,50 | 2,07 | 8,68 | | 37,85 | 5,44 | 30,06 | | 32,85 | 2,07 | 11,58 | | 35,46 | -0,99 | 18,68 | | 29,88 | 5,28 | 6,97 | | 32,29 | 5,69 | 6,81 | |
| třezalka vystaveno | 33,32 | 3,86 | 11,75 | 4,27 | 27,73 | 1,02 | 11,20 | 3,25 | 39,61 | 3,86 | 30,04 | 2,36 | 33,05 | 1,73 | 13,32 | 1,79 | 37,14 | -0,30 | 21,32 | 3,21 | 32,21 | 3,82 | 11,99 | 5,72 | 33,10 | 4,21 | 10,44 | 4,01 |

Příloha č.2

Příloha 2a: Vlněná vlákna barvena cibulovými slupkami, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2b: Vlněná vlákna barvena kůrou jabloně, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



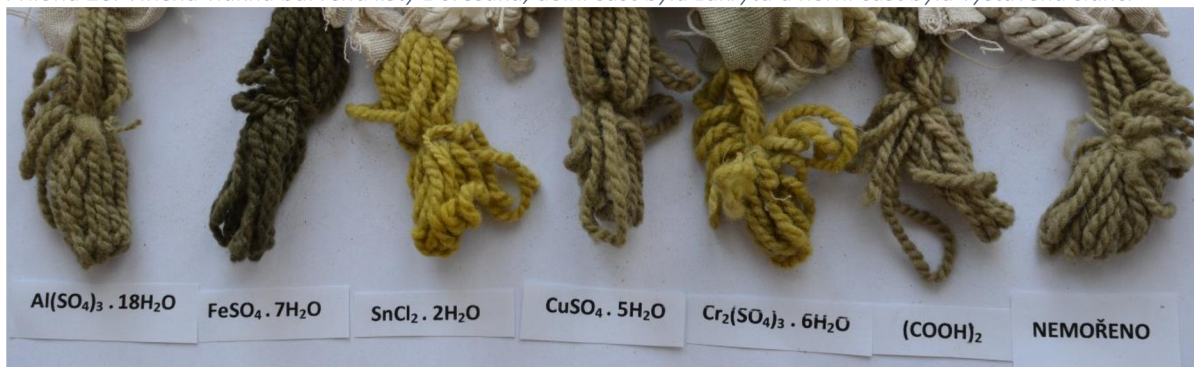
Příloha 2c: Vlněná vlákna barvena kávovými zrny, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



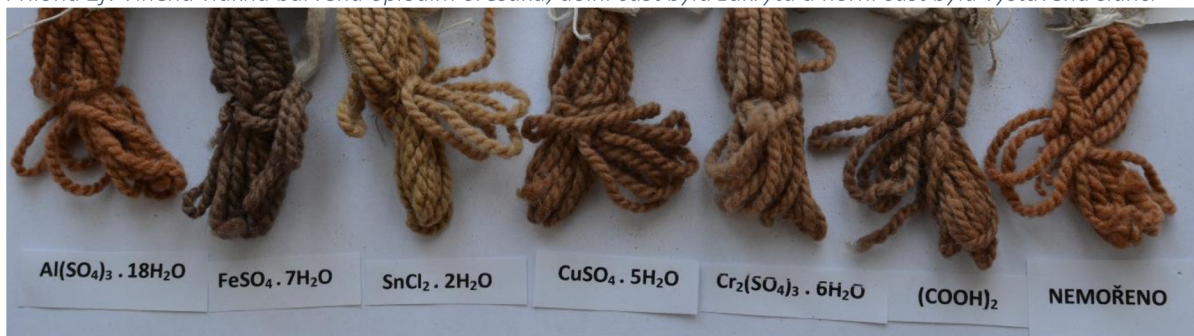
Příloha 2d: Vlněná vlákna barvena kořením z kurkumy, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2e: Vlněná vlákna barvena listy z ořešáku, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2f: Vlněná vlákna barvena oplodím ořešáku, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2g: Vlněná vlákna barvena kořením z papriky, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2h: Vlněná vlákna barvena červenou řepou, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2i: Vlněná vlákna barvena špenátem, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha 2j: Vlněná vlákna barvena květy třezalky, dolní část byla zakryta a horní část byla vystavena slunci



Příloha č.3

Příloha 3a: T-test pro hlinité mořidlo a nemořený vzorek

| Skup. 1 vs. skup. 2 | T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka32) Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------|-----------|----|----------|-------------------|-------------------|
| | Průměr skup. 1 | Průměr skup. 2 | Hodnota t | sv | p | Poč.plat. skup. 1 | Poč.plat. skup. 2 |
| nemořeno vs. Al ³⁺ | 4,395096 | 4,198404 | 0,174086 | 18 | 0,863741 | 10 | 10 |

Příloha 3b: T-test pro železnaté mořidlo a nemořený vzorek

| Skup. 1 vs. skup. 2 | T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka32) Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------|-----------|----|----------|-------------------|-------------------|
| | Průměr skup. 1 | Průměr skup. 2 | Hodnota t | sv | p | Poč.plat. skup. 1 | Poč.plat. skup. 2 |
| nemoreno vs. Fe ²⁺ | 4,395096 | 3,481321 | 0,767684 | 18 | 0,452628 | 10 | 10 |

Příloha 3c: T-test pro cínaté mořidlo a nemořený vzorek

| Skup. 1 vs. skup. 2 | T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka32) Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------|-----------|----|----------|-------------------|-------------------|
| | Průměr skup. 1 | Průměr skup. 2 | Hodnota t | sv | p | Poč.plat. skup. 1 | Poč.plat. skup. 2 |
| nemoreno vs. Sn ²⁺ | 4,395096 | 3,685638 | 0,753583 | 18 | 0,460844 | 10 | 10 |

Příloha 3d: T-test pro mědnaté mořidlo a nemořený vzorek

| Skup. 1 vs. skup. 2 | T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka32) Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------|-----------|----|----------|-------------------|-------------------|
| | Průměr skup. 1 | Průměr skup. 2 | Hodnota t | sv | p | Poč.plat. skup. 1 | Poč.plat. skup. 2 |
| nemoreno vs. Cu ²⁺ | 4,395096 | 2,566753 | 1,779347 | 18 | 0,092074 | 10 | 10 |

Příloha 3e: T-test pro chromité mořidlo a nemořený vzorek

| Skup. 1 vs. skup. 2 | T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka32) Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------|-----------|----|----------|-------------------|-------------------|
| | Průměr skup. 1 | Průměr skup. 2 | Hodnota t | sv | p | Poč.plat. skup. 1 | Poč.plat. skup. 2 |
| nemoreno vs. Cr ³⁺ | 4,395096 | 2,706354 | 1,878198 | 18 | 0,076652 | 10 | 10 |

Příloha 3f: T-test pro mořidlo ze šťavelové kyseliny a nemořený vzorek

| Skup. 1 vs. skup. 2 | T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka32) Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky | | | | | | |
|----------------------------------|---|----------------|-----------|----|----------|-------------------|-------------------|
| | Průměr skup. 1 | Průměr skup. 2 | Hodnota t | sv | p | Poč.plat. skup. 1 | Poč.plat. skup. 2 |
| nemoreno vs. (COOH) ₂ | 4,395096 | 4,324150 | 0,065228 | 18 | 0,948711 | 10 | 10 |

Příloha č.4

Příloha 4: Test analýzy rozptylu

| Efekt | Jednorozm. výsledky pro každou záv. proměnnou (Tabulka20) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy | | | | |
|-----------|--|----------|----------|----------|----------|
| | Stupně volnosti | E* SČ | E* PČ | E* F | E* p |
| Abs. člen | 1 | 918,5911 | 918,5911 | 457,3211 | 0,000000 |
| mořidlo | 6 | 33,9873 | 5,6645 | 2,8201 | 0,018431 |
| barvivo | 9 | 200,0333 | 22,2259 | 11,0652 | 0,000000 |
| Chyba | 54 | 108,4663 | 2,0086 | | |
| Celkem | 69 | 342,4868 | | | |

Příloha č.5

Příloha 5a: Převod barevného systému CIELAB do RGB

| | Al ³⁺ | | | | | | | | Fe ²⁺ | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|
| | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva |
| cibule zakryto | 42 | 15 | 27 | 134 | 89 | 55 | | | 28 | 7 | 18 | 85 | 62 | 39 | | |
| cibule vystaveno | 47 | 12 | 26 | 143 | 103 | 68 | 6 | | 28 | 5 | 17 | 82 | 63 | 40 | 2 | |
| jabloň zakryto | 54 | 2 | 25 | 147 | 127 | 86 | | | 36 | 0 | 18 | 95 | 84 | 56 | | |
| jabloň vystaveno | 56 | 1 | 25 | 151 | 132 | 91 | 2 | | 37 | 1 | 19 | 99 | 86 | 56 | 1 | |
| káva zakryto | 44 | 7 | 24 | 125 | 96 | 62 | | | 36 | 5 | 19 | 102 | 81 | 54 | | |
| káva vystaveno | 46 | 7 | 24 | 133 | 106 | 69 | 2 | | 34 | 4 | 16 | 95 | 77 | 55 | 3 | |
| kurkuma zakryto | 44 | 15 | 55 | 145 | 93 | 0 | | | 26 | 15 | 27 | 92 | 52 | 20 | | |
| kurkuma vystaveno | 46 | 13 | 47 | 147 | 99 | 24 | 9 | | 23 | 13 | 22 | 81 | 47 | 22 | 6 | |
| orešák list zakryto | 44 | 1 | 20 | 117 | 102 | 71 | | | 31 | 0 | 15 | 81 | 72 | 50 | | |
| orešák list vystaveno | 46 | 1 | 21 | 123 | 107 | 74 | 3 | | 31 | 0 | 16 | 81 | 72 | 47 | 1 | |
| orešák oplodí zakryto | 41 | 12 | 21 | 125 | 89 | 63 | | | 31 | 7 | 11 | 90 | 69 | 56 | | |
| orešák oplodí vystaveno | 42 | 13 | 21 | 130 | 90 | 65 | 2 | | 35 | 7 | 12 | 100 | 78 | 64 | 4 | |
| paprika zakryto | 62 | 4 | 27 | 169 | 146 | 102 | | | 57 | 4 | 26 | 159 | 133 | 92 | | |
| paprika vystaveno | 63 | 3 | 23 | 169 | 150 | 111 | 4 | | 58 | 3 | 22 | 158 | 137 | 98 | 4 | |
| řepa zakryto | 61 | 4 | 34 | 173 | 143 | 87 | | | 60 | 3 | 30 | 167 | 141 | 92 | | |
| řepa vystaveno | 63 | 2 | 27 | 172 | 150 | 105 | 8 | | 55 | 2 | 21 | 148 | 129 | 95 | 10 | |
| špenát zakryto | 63 | -1 | 16 | 162 | 152 | 124 | | | 55 | 1 | 18 | 145 | 130 | 101 | | |
| špenát vystaveno | 61 | 0 | 14 | 157 | 146 | 123 | 3 | | 55 | 2 | 16 | 146 | 130 | 104 | 2 | |
| třezalka zakryto | 36 | 5 | 8 | 98 | 82 | 72 | | | 29 | 2 | 9 | 77 | 67 | 55 | | |
| třezalka vystaveno | 33 | 4 | 12 | 91 | 75 | 59 | 4 | | 28 | 1 | 11 | 74 | 65 | 49 | 3 | |

Příloha 5b: Převod barevného systému CIELAB do RGB

| | Cr ³⁺ | | | | | | | | (COOH) ₂ | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|---------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|
| | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva |
| cibule zakryto | 43 | 11 | 37 | 130 | 94 | 39 | | | 39 | 14 | 25 | 122 | 83 | 52 | | |
| cibule vystaveno | 43 | 11 | 37 | 130 | 94 | 39 | 1 | | 42 | 12 | 26 | 127 | 91 | 56 | 3 | |
| jabloň zakryto | 55 | 1 | 36 | 153 | 129 | 68 | | | 57 | 2 | 24 | 151 | 135 | 95 | | |
| jabloň vystaveno | 56 | 0 | 35 | 154 | 132 | 72 | 2 | | 54 | 2 | 24 | 143 | 127 | 87 | 3 | |
| káva zakryto | 45 | 5 | 28 | 129 | 102 | 60 | | | 42 | 7 | 23 | 119 | 94 | 61 | | |
| káva vystaveno | 45 | 5 | 27 | 129 | 102 | 31 | 1 | | 38 | 6 | 20 | 107 | 85 | 57 | 4 | |
| kurkuma zakryto | 43 | 17 | 52 | 145 | 89 | 0 | | | 42 | 18 | 50 | 139 | 87 | 1 | | |
| kurkuma vystaveno | 43 | 15 | 50 | 142 | 91 | 4 | 3 | | 39 | 16 | 42 | 127 | 81 | 18 | 9 | |
| orešák list zakryto | 49 | 2 | 34 | 137 | 114 | 58 | | | 46 | 2 | 20 | 121 | 107 | 75 | | |
| orešák list vystaveno | 49 | 1 | 32 | 135 | 114 | 61 | 2 | | 45 | 1 | 20 | 117 | 105 | 73 | 1 | |
| orešák oplodí zakryto | 43 | 9 | 18 | 126 | 95 | 72 | | | 41 | 10 | 18 | 119 | 90 | 68 | | |
| orešák oplodí vystaveno | 45 | 8 | 18 | 130 | 101 | 77 | 2 | | 38 | 9 | 16 | 110 | 84 | 64 | 4 | |
| paprika zakryto | 62 | 0 | 24 | 165 | 148 | 107 | | | 60 | 5 | 27 | 165 | 141 | 97 | | |
| paprika vystaveno | 61 | -2 | 20 | 157 | 147 | 112 | 4 | | 63 | 3 | 24 | 169 | 150 | 110 | 5 | |
| řepa zakryto | 60 | 0 | 22 | 159 | 143 | 106 | | | 61 | 5 | 31 | 169 | 143 | 92 | | |
| řepa vystaveno | 57 | -1 | 18 | 147 | 136 | 106 | 5 | | 60 | 3 | 25 | 161 | 142 | 100 | 6 | |
| špenát zakryto | 62 | -2 | 12 | 155 | 150 | 123 | | | 59 | 0 | 17 | 151 | 141 | 112 | | |
| špenát vystaveno | 59 | -2 | 14 | 148 | 142 | 117 | 4 | | 60 | 1 | 15 | 154 | 143 | 118 | 3 | |
| třezalka zakryto | 35 | -1 | 19 | 91 | 82 | 52 | | | 30 | 5 | 7 | 81 | 67 | 60 | | |
| třezalka vystaveno | 37 | 0 | 21 | 99 | 86 | 53 | 3 | | 32 | 4 | 12 | 87 | 73 | 57 | 6 | |

Příloha 5c: Převod barevného systému CIELAB do RGB

| | Sn ²⁺ | | | | | | | | Cu ²⁺ | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|
| | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva |
| cibule zakryto | 41 | 15 | 47 | 136 | 86 | 9 | | | 34 | 12 | 25 | 109 | 72 | 40 | | |
| cibule vystaveno | 45 | 14 | 50 | 146 | 96 | 15 | 5 | | 37 | 10 | 25 | 114 | 80 | 47 | 4 | |
| jabloň zakryto | 58 | 3 | 49 | 168 | 135 | 49 | | | 51 | 2 | 26 | 140 | 119 | 77 | | |
| jabloň vystaveno | 58 | 3 | 47 | 168 | 135 | 51 | 2 | | 51 | 1 | 26 | 138 | 120 | 77 | 1 | |
| káva zakryto | 47 | 7 | 30 | 138 | 106 | 61 | | | 35 | 6 | 22 | 102 | 78 | 47 | | |
| káva vystaveno | 48 | 8 | 29 | 142 | 108 | 65 | 2 | | 36 | 6 | 21 | 104 | 80 | 51 | 1 | |
| kurkuma zakryto | 39 | 26 | 47 | 144 | 73 | 6 | | | 44 | 15 | 54 | 145 | 93 | 0 | | |
| kurkuma vystaveno | 43 | 22 | 49 | 151 | 86 | 10 | 6 | | 41 | 13 | 49 | 134 | 87 | 0 | 7 | |
| ořešák list zakryto | 54 | 3 | 45 | 155 | 125 | 48 | | | 45 | 1 | 21 | 120 | 105 | 72 | | |
| ořešák list vystaveno | 55 | 1 | 40 | 154 | 129 | 61 | 5 | | 45 | 1 | 21 | 120 | 105 | 72 | 0 | |
| ořešák oplodí zakryto | 47 | 7 | 21 | 135 | 106 | 77 | | | 41 | 10 | 19 | 122 | 90 | 66 | | |
| ořešák oplodí vystaveno | 48 | 8 | 20 | 138 | 108 | 81 | 2 | | 40 | 9 | 18 | 118 | 88 | 65 | 3 | |
| paprika zakryto | 60 | 4 | 35 | 171 | 140 | 83 | | | 59 | 2 | 26 | 161 | 139 | 96 | | |
| paprika vystaveno | 61 | 2 | 33 | 170 | 144 | 89 | 4 | | 57 | 0 | 23 | 151 | 135 | 97 | 3 | |
| řepa zakryto | 58 | 5 | 33 | 166 | 135 | 81 | | | 56 | 2 | 28 | 154 | 132 | 86 | | |
| řepa vystaveno | 60 | 2 | 29 | 165 | 142 | 93 | 5 | | 56 | 0 | 24 | 149 | 133 | 93 | 5 | |
| špenát zakryto | 61 | -3 | 19 | 155 | 148 | 114 | | | 59 | 0 | 17 | 154 | 141 | 112 | | |
| špenát vystaveno | 65 | -2 | 16 | 166 | 158 | 129 | 5 | | 59 | 0 | 17 | 154 | 141 | 112 | 1 | |
| třezalka zakryto | 38 | 5 | 30 | 111 | 85 | 40 | | | 33 | 2 | 12 | 86 | 76 | 59 | | |
| třezalka vystaveno | 40 | 4 | 30 | 115 | 91 | 44 | 2 | | 33 | 2 | 13 | 86 | 76 | 57 | 2 | |

Příloha 5d: Převod barevného systému CIELAB do RGB

| | nemořeno | | | | | | | |
|-------------------------|----------|----|----|-----|-----|-----|----|-------|
| | L* | a* | b* | R | G | B | E* | barva |
| cibule zakryto | 42 | 15 | 26 | 131 | 89 | 57 | | |
| cibule vystaveno | 41 | 9 | 24 | 120 | 91 | 57 | 7 | |
| jabloň zakryto | 57 | 1 | 22 | 149 | 135 | 98 | | |
| jabloň vystaveno | 56 | 1 | 23 | 147 | 133 | 94 | 2 | |
| káva zakryto | 47 | 7 | 25 | 133 | 107 | 69 | | |
| káva vystaveno | 48 | 7 | 24 | 135 | 109 | 73 | 2 | |
| kurkuma zakryto | 48 | 16 | 60 | 154 | 103 | 0 | | |
| kurkuma vystaveno | 51 | 13 | 54 | 158 | 112 | 15 | 7 | |
| ořešák list zakryto | 46 | 1 | 19 | 119 | 108 | 77 | | |
| ořešák list vystaveno | 50 | 1 | 20 | 130 | 118 | 85 | 4 | |
| ořešák oplodí zakryto | 43 | 13 | 21 | 130 | 93 | 67 | | |
| ořešák oplodí vystaveno | 45 | 12 | 20 | 133 | 99 | 74 | 2 | |
| paprika zakryto | 62 | 4 | 26 | 169 | 147 | 104 | | |
| paprika vystaveno | 65 | 2 | 23 | 173 | 156 | 116 | 5 | |
| řepa zakryto | 59 | 5 | 34 | 165 | 138 | 81 | | |
| řepa vystaveno | 61 | 2 | 25 | 162 | 145 | 103 | 9 | |
| špenát zakryto | 64 | -2 | 16 | 160 | 156 | 126 | | |
| špenát vystaveno | 64 | -1 | 14 | 161 | 155 | 130 | 2 | |
| třezalka zakryto | 32 | 6 | 7 | 88 | 72 | 65 | | |
| třezalka vystaveno | 33 | 4 | 10 | 88 | 75 | 62 | 4 | |

Příloha č.6

Příloha 6a: T-test pro hlinité mořidlo

| Al ³⁺ | t-test pro závislé vzorky (Tabulka7) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|------------------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 48,98500 | 10,00268 | | | | | | |
| vystaveno | 50,23267 | 9,79181 | 10 | -1,24767 | 2,114362 | -1,86603 | 9 | 0,094897 |

Příloha 6b: T-test pro železnaté mořidlo

| Fe ²⁺ | t-test pro závislé vzorky (Tabulka7) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|------------------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 39,18033 | 13,20935 | | | | | | |
| vystaveno | 38,35367 | 12,83017 | 10 | 0,826667 | 2,311290 | 1,131035 | 9 | 0,287278 |

Příloha 6c: T-test pro měďnaté mořidlo

| Cu ²⁺ | t-test pro závislé vzorky (Tabulka7) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|------------------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 45,72600 | 10,17498 | | | | | | |
| vystaveno | 45,50900 | 9,80289 | 10 | 0,217000 | 1,784109 | 0,384626 | 9 | 0,709446 |

Příloha 6d: T-test pro chromité mořidlo

| Cr ³⁺ | t-test pro závislé vzorky (Tabulka7) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|------------------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 49,75400 | 9,302957 | | | | | | |
| vystaveno | 49,54600 | 8,027308 | 10 | 0,208000 | 1,647313 | 0,399289 | 9 | 0,698990 |

Příloha 6e: T-test pro mořidlo ze štavelové kyseliny

| (COOH) ₂ | t-test pro závislé vzorky (Tabulka7) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|---------------------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 47,64200 | 10,71893 | | | | | | |
| vystaveno | 47,13067 | 11,12645 | 10 | 0,511333 | 2,726284 | 0,593107 | 9 | 0,567713 |

Příloha 6f: T-test pro nemořené vzorky

| nemořeno | t-test pro závislé vzorky (Tabulka7) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|-----------|--|----------|----|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 50,03033 | 10,29235 | | | | | | |
| vystaveno | 51,29133 | 10,31690 | 10 | -1,26100 | 1,786988 | -2,23148 | 9 | 0,052569 |

Příloha č.7

Příloha 7a: T-test pro barvivo z cibule

| cibule | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000 | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 38,45048 | 5,442756 | | | | | | |
| vystaveno | 40,31667 | 6,161191 | 7 | -1,86619 | 2,234303 | -2,20985 | 6 | 0,069157 |

Příloha 7b: T-test pro barvivo z jabloně

| jabloň | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 52,66190 | 7,639504 | | | | | | |
| vystaveno | 52,43952 | 7,103763 | 7 | 0,222381 | 1,547887 | 0,380108 | 6 | 0,716957 |

Příloha 7c: T-test pro barvivo z kávy

| káva | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 42,33238 | 4,845909 | | | | | | |
| vystaveno | 42,11381 | 5,949564 | 7 | 0,218571 | 2,098583 | 0,275560 | 6 | 0,792130 |

Příloha 7d: T-test pro barvivo z kurkumy

| kurkuma | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 41,05429 | 6,926387 | | | | | | |
| vystaveno | 40,82429 | 8,627007 | 7 | 0,230000 | 3,117343 | 0,195206 | 6 | 0,851675 |

Příloha 7e: T-test pro barvivo z listu ořešáku

| ořešák list | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-------------|---|----------|---|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 44,81619 | 6,921441 | | | | | | |
| vystaveno | 45,90714 | 7,616114 | 7 | -1,09095 | 1,667959 | -1,73049 | 6 | 0,134264 |

Příloha 7f: T-test pro barvivo z oplodí ořešáku

| ořešák oplodí | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|---------------|---|----------|---|-----------|------------------|-----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 41,05619 | 4,974749 | | | | | | |
| vystaveno | 41,84095 | 4,651001 | 7 | -0,784762 | 2,262076 | -0,917867 | 6 | 0,394088 |

Příloha 7g: T-test pro barvivo z papriky

| paprika | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|-----------|------------------|-----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 60,40381 | 1,878868 | | | | | | |
| vystaveno | 61,09333 | 2,818829 | 7 | -0,689524 | 2,133193 | -0,855201 | 6 | 0,425266 |

Příloha 7h: T-test pro barvivo z řepy

| řepa | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|----------|------------------|----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 59,32286 | 1,669199 | | | | | | |
| vystaveno | 58,81381 | 2,520981 | 7 | 0,509048 | 2,482959 | 0,542423 | 6 | 0,607071 |

Příloha 7i: T-test pro barvivo ze špenátu

| špenát | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|-----------|------------------|-----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 60,44381 | 2,984399 | | | | | | |
| vystaveno | 60,44952 | 3,610477 | 7 | -0,005714 | 2,159713 | -0,007000 | 6 | 0,994642 |

Příloha 7j: T-test pro barvivo z třezalky

| třezalka | t-test pro závislé vzorky (Tabulka17) Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$ | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|-----------|------------------|-----------|----|----------|
| | Průměr | Sm.odch. | N | Rozdíl | Sm.odch. rozdílu | t | sv | p |
| zakryto | 33,36333 | 3,122510 | | | | | | |
| vystaveno | 33,73714 | 3,775799 | 7 | -0,373810 | 1,821468 | -0,542972 | 6 | 0,606715 |