



## **Koloristika – KMI/KOL**

### **Zadání úloh a kolorimetrické výpočty**

**Pro studenty studijního programu Návrhářství:**

**Specializace:**

- Návrhářství textilu a oděvu
- Návrhářství skla šperku
- Textilní technologie a vzorování

Zpracoval:

**doc. Ing. Martina Viková, PhD**

**Ing. Marcela Pechová**

# Základní struktura protokolu

## Hlavička:

1. **Název zpracovávaného protokolu**
2. **Kdo zpracoval protokol**
3. **Skupina** – vypsát všechny členy skupiny
4. **Datum a hodina cvičení**
5. **Ročník, studijní obor**

## Hlavní část:

6. **Laboratorní podmínky** – teplota, relativní vlhkost
7. **Teorie** – vysvětlení základních pojmů
8. **Zpracování**
  - a. **Úkol/zadání** – co je cílem cvičení
  - b. **Postup měření nebo hodnocení**
  - c. **Pomůcky a přístrojové vybavení**
  - d. **Vyhodnocení** – výpočty, obrázky, grafy, tabulky, rozhodnutí o postupu práce (proč bylo důležité takto postupovat)
9. **Závěr** – shrnutí, konečné výsledky, porovnání, určení problémů ovlivňujících výsledky, popis výsledků, čím mohly být ovlivněny

## Pozn.:

- 1) U všech protokolů dodržujte následující standardní úpravy textu a dodržujte strukturu protokolu dle výše uvedeného postupu.
  - a. Název protokolu/úlohy zarovnejte na střed a zvýrazněte.
  - b. Text zarovnejte do bloku, zvýrazněte důležité výsledky.
  - c. Název tabulky zarovnejte na střed a umístěte jej nad tabulku. Název obrázků, obrázků s grafy zarovnejte na střed pod obrázkem.
  - d. Použijte řádkování 1,5, pro název protokolu použijte velikost písma 16, pro podnápisy použijte velikost písma 14 a pro vlastní text velikost písma 12. Pro názvy tabulek a obrázků použijte velikost písma 10. Pro text tabulek použijte písmo 11.
  - e. Protokoly pište v 3. osobě jednotného čísla.
- 2) U používaných přístrojů a koloristických skříní opisujte správně jejich název. Ke všem přístrojům, kalibračním standardům, vzorkům a atlasům se chovejte s největší opatrností.

# Úloha 1 – Definování barevného odstínu v NCS atlasu a určení barevné odchylky $\Delta E^*$ mezi subjektivním hodnocením a objektivním měřením.

---

## Teorie:

Výběr vzorků pro následné zpracování v průmyslu můžeme provádět pomocí subjektivního hodnocení nebo objektivního měření. V této úloze si vyzkoušíte, jak se při výběru vzorků postupuje.

**Subjektivní hodnocení** mají vždy předem dané podmínky, které je nutné během jejich provádění striktně dodržovat, aby bylo možné porovnat opakovaná hodnocení nebo hodnocení z více pracovišť.

Mezi podmínky subjektivního hodnocení patří:

1. **Osoba** hodnotící barevnost musí mít bezdefektní barevné vidění. Pozorovatel nesmí být unaven a během hodnocení nesmí dojít vlivem hodnocení k únavě očí. Před začátkem hodnocení musí být pozorovatel proškolen, jak provádět hodnocení.
2. **Standardní osvětlení** – zajištění správného osvětlení s takovým spektrálním složením, které odpovídá normovaným zdrojům světla.
3. **Vzorky** musí být dostatečně velké a musí být zajištěna jejich stabilita. Předloha (standardní vzorek) a hodnocený vzorek musí být v těsném kontaktu (tj. mezi vzorkem a standardem nesmí být mezera). Mají-li vzorky odlišný tvar, povrch nebo velikost, používají se krycí masky pro odstranění vlivu geometrických atributů vzorků.
4. **Pozorovací úhel**, při kterém je hodnocení prováděno, musí být vždy konstantní, tj. vzorky jsou upnuty nebo umístěny na předem definované podložce či na ploše koloristické skříně.
5. Vzorky by měly být hodnoceny na **achromatickém pozadí N7** podle Munsellova atlasu.
6. V koloristické skříně by během hodnocení měly být pouze hodnocené vzorky, šedá stupnice, případně podložka pod vzorky.

7. Koloristická skříň by měla být umístěna v temné místnosti, aby byl zamezen **vliv okolního osvětlení**.

**Objektivní měření** má svoje specifika. Aby mohla být jednotlivá objektivní měření porovnávána, je nutné dodržet následující podmínky.

1. Typ použitého **spektrofotometru**
  - a. **měřící geometrie** – pro příklad D/8° (difuzní) specular include nebo specular exclude, nebo 45°/0°.
  - b. **typ osvětlení** – D65, A, F11 pro který jsou získaná data uváděna
  - c. **pozorovatel** – 2° nebo 10°
  - d. **velikost apertury** – extra malá, malá, velká
  - e. **UV filtr**
  - f. **remise, transmise**
2. Jsou-li vzorky příliš tenké, je nutné při jejich měření zajistit
  - a. vzorek měřit složený do několika vrstev
  - b. vzorek měřit s vloženým a definovaným pozadím
3. Vzorky by měly být uchovávány v boxu bez přístupu světla.

Jakékoliv anomálie během vizuální hodnocení nebo objektivního měření je nutné vždy neprodleně zapisovat pro následné vyhodnocování.

**Barevné atlasy** se používají v komunikaci o barvě. Jsou to systémy úzce odstupňovaných vzorků barev. Při jejich používání je však nutné dodržet pravidla, aby výsledné vzorky odpovídaly původní specifikaci zadavatele. Mezi tato pravidla patří uvedení názvu atlasu, verze atlasu – rok vydání, jedná-li se o verzi matnou či lesklou, typ osvětlení, při kterém byl vzorek přiřazován.

Mezi barevné atlasy patří například trojúhelník barviv (vznikl kombinací tří základních barviv v různých poměrech – žlutý, červený, modrý), Munsellův systém (jeden z nejpoužívanějších systémů uspořádání barev, atlas je uspořádán tak, že každý barevný vzorek je možné popsat pomocí tří atributů – odstín (H-hue), světlost (V-value) a čistota (C-chroma) v uzanci H V/C. Odstíny jsou členěny do kruhu, který je rozdělen na 100 základních odstínů, z nichž 10 je hlavních (základní – yellow, green, blue, purple, red; směsné – yellow-red, green-yellow, blue-green, purple-blue a red-purple), výhoda – jednoduché použití, nevýhoda – vlastní uspořádání barev, které neodpovídá CIE kolorimetrii, zanedbává fyziologii a kognitivní

procesy vnímání barev), Atlas NCS (atlas přirozeného uspořádání barev, vychází z Heringovy oponentní teorie barev, která předpokládá zpracování barevné informace již na úrovni sítnice. Vychází z předpokladu, že jakýkoliv přírodní odstín lze vytvořit pomocí šesti základních barev – bílá, černá, žlutá, červená, modrá, zelená).

### **Postup:**

1. V předloženém NCS atlasu (2 díly) vyhledejte vzorek/kartičku, který se podle vašeho subjektivního hodnocení jeví jako nejbližší a запиšte si jeho kód/název. Přiřazení vzorku provádějte v koloristické skříni při osvětlení D65, A a TL84.
2. Opakujte pro všechny předložené vzorky. Každý ze skupiny může sledat nejbližší vzorek jiný, запиšte takový, který on vidí jako nejbližší.
3. Pomocí spektrofotometru změřte předložené vzorky. Přístroj máte kalibrován.
4. K Vámi změřeným vzorkům vyhledejte v databázi přístroje vzorek s nejmenší hodnotou barevných odchylek  $\Delta E^*$  a  $\Delta E_{CMC}$  pro osvětlení D65, A a F11 a запиšte si jejich název.
5. Vypracujte protokol.
6. Předložené vzorky uveďte v protokolu.

### **Pomůcky:**

NCS atlas, textilní vzorky

### **Přístrojové vybavení:**

spektrofotometr, koloristická skříň

## Vypracování:

Tabulka č. Výsledky subjektivního hodnocení a objektivního měření

D65 (obdobně tabulku použijte i pro další typy osvětlení)					
Subjektivní hodnocení			Objektivní měření		
Název přiřazeného vzorku	$\Delta E_{CMC}$	$\Delta E^*$	Název přiřazeného vzorku z databáze	$\Delta E_{CMC}$	$\Delta E^*$
S3030 – G30B			S3030 – G30B		
S3030 – G30B			S3030 – G60B		

Pokud se liší Vámi přiřazení vzorek a vzorek, který je v databázi přiřazen jako vzorek s nejmenší barevnou odchylkou, zaznamenejte odchylku pro Vámi přiřazený vzorek v části subjektivního hodnocení. Shoduje-li se Vaše subjektivní hodnocení se vzorkem z databáze, nechte řádky pro barevné odchylky u subjektivního hodnocení prázdné.

### Závěr:

### Otázky:

1. K čemu používáme atlasy během subjektivních hodnocení?
2. Vyjmenujte alespoň 3 typů atlasů a rozdíly mezi atlasy (výhody, nevýhody)

## Úloha 2 – Porovnání vizuální odchyly $\Delta V$ a barevné odchyly

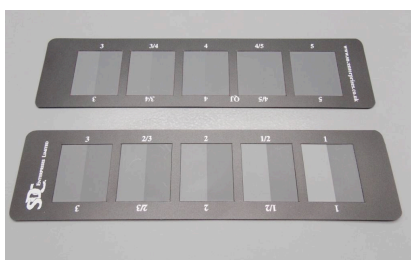
$$\Delta E^*$$

### Teorie:

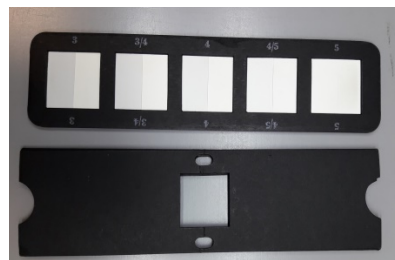
**Vizuální odchyly** – vizuální odchyly vypočítáme pomocí rovnice s využitím stupňů šedé stupnice. Výpočet je závislý na přístupu dané laboratoře k vyhodnocení. V závislosti na typu hodnocených vzorků (barevnost, bělost, zapouštění aj.) se používají různé šedé stupnice. Pro tuto úlohu používáme šedou stupnici podle ČSN EN normy 20105-A02 ISO 105A-02:1993 pro hodnocení změny odstínu. Pro hodnocení bělosti se používá šedá stupnice podle ČSN EN normy 20105-A03 normy ISO 105A:03 pro hodnocení stupně zapouštění.

Šedá stupnice však není definována pouze ISO (International Organization for Standardization) normou, ale také AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists), ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Deutsches Institut für Normung).

Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu rozlišujeme 5-ti stupňovou nebo 9-ti stupňovou (mezi stupně, viz. tabulka A níže). Šedá stupnice může být textilní povahy nebo jako matné destičky. Pro naše účely budeme používat šedou stupnici s matnými destičkami. Tyto matné destičky mají šedou barvu. Jedna destička je rozdělena na dvě plochy. Pro stupeň 5 platí, že mezi těmito dvěma plochami není žádný rozdíl, tj. při hodnocení vzorků neexistuje mezi vzorky žádný rozdíl. U následujících stupňů je vždy levá plocha světlejší oproti předcházejícímu vyššímu stupni, tj. vzrůstá barevný rozdíl mezi plochami. Pro stupeň 1 je tento barevný rozdíl  $13,6 \pm 1,0$ . Tento rozdíl je definován kolorimetricky (tabulka A). Normalizované barevné hodnoty jsou vypočítány kolorimetricky podle CIE 1964 –  $10^\circ$  pozorovatel a standardního osvětlení D65.



Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu



Šedá stupnice pro hodnocení zapouštění

Je-li potřeba u vzorků hodnotit i charakter změny barvy, lze číselné hodnocení doplnit i posouzením změny barvy ve smyslu – červenější, zelenější, modřejší nebo žlutší.

**Barevná odchylka** – barevná odchylka je přístrojem naměřená a vypočtená odchylka. V této úloze používáme barevnou odchylku  $\Delta E^*$ , která značí barevnou odchylku v pravoúhlém prostoru CIELAB. Tato odchylka je vypočtena pomocí barevných souřadnic  $a^*$  a  $b^*$  dvou vzorků a hodnoty měrné světlosti  $L^*$ .

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_{vz}^* - L_{st}^*)^2 + (a_{vz}^* - a_{st}^*)^2 + (b_{vz}^* - b_{st}^*)^2}$$

Dále také v cylindrickém prostoru CIELCH, dále rovnice CMC(1:c), CIE2000, a další rovnice. Všechny tyto výpočty vycházejí z výše uvedeného prostoru.

### **Postup:**

1. V koloristické skříni při osvětlení D65 subjektivně vyberte z předložených vzorků STANDARD, tj. vzorek, který podle Vašeho mínění má nejmenší barevnou odchylku vůči všem ostatním předloženým vzorkům.
2. Mezi vzorkem označeným jako STANDARD a ostatními vzorky označenými jako BATCH uveďte s použitím šedé stupnice pro hodnocení změny odstínu ISO 105A-02:1993 (GS) stupeň, který podle Vašeho hodnocení odpovídá rozdílu mezi těmito dvěma vzorky. Hodnoty запиšte v tabulce do sloupce GS. Opakujte postupně pro všechny vzorky. Šedou stupnici používejte vždy s černou maskou. Mezi vzorky nesmí být během hodnocení mezera.
3. V tabulce A vyhledejte odpovídající rozpětí odchylky k Vámi určeným stupňům GS a запиšte je do sloupce  $\Delta V$ .
4. Pomocí spektrofotometru při nastavení D/8°, SCE, D65/10° (přístroj kalibrován) naměřte barevnou odchylku  $\Delta E^*$  mezi Vámi označeným vzorkem STANDARD a ostatními vzorky. Hodnoty запиšte do tabulky, do sloupce  $\Delta E^*$ .
5. Náhledem do tabulky zjistěte, zdali Vámi určený stupeň GS leží v rozpětí intervalu  $\Delta V$ , v tom případě zhodnoťte Vaše hodnocení jako PASS (vyhovující), v opačném případě jako FAIL (nevyhovující).
6. Vypracujte protokol.



## Pomůcky:

textilní vzorky, Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu ISO 105A-02:1993, tabulka A

## Přístrojové vybavení:

spektrofotometr, koloristická skřín

## Vypracování:

Tabulka č. Výsledky subjektivního hodnocení a objektivního měření

Vzorek – STANDARD		Subjektivní hodnocení		Objektivní měření	
		GS	$\Delta V$	$\Delta E^*$	PASS/FAIL
Názvy vzorků	1				
	2				
	3				
	4				

## Závěr:

## Otázky:

1. Jaký je rozdíl mezi měření SCE – specular component excluded a SCI – specular component included?
2. Jaký je rozdíl mezi  $\Delta V$  a  $\Delta E^*$ ?

## Tabulka A

Tabulka A odpovídá normě *ČSN EN 20105-A02 – Textilie, ZKOUŠKY STÁLOBAREVNOSTI, Část A02: Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu (ISO 105-A02:1993)*

Stupeň stálosti	CIELAB barevné rozdíly	Odchylka
5	0	0,2
(4-5)	0,8	±0,2
4	1,7	±0,3
(3-4)	2,5	±0,35
3	3,4	±0,4
(2-3)	4,8	±0,5
2	6,8	±0,6
(1-2)	9,6	±0,7
1	13,6	±1,0

(Hodnoty v závorkách se týkají pouze devítistupňové šedé stupnice).

## Úloha 3 – Kalibrace a validizace kalibrace

---

### Teorie:

**Kalibrace** přístroje se provádí před každým měřením. V dostupných literaturách se můžeme dočíst, že doporučená doba pro recalibraci přístroje je 8 hodin. Kalibrace je nutná pro zajištění standardních podmínek měření, důležitá pro opakovaná měření a pro porovnání výsledků z různých měření. Pro různé vzorky se používá různá kalibrace, a rovněž pro každý typ přístroje je nutná jiná kalibrace. Pro přístroje s difusní měřicí geometrií se používají tři typy kalibračních standardů – černá past se zrcadlem v úhlu  $45^\circ$  (při přikládání k přístroji je nutné dodržet přesnou pozici, která je naznačena na tomto standardu), bílý standard a zelený standard pro validizaci. Pro kalibraci na přístroji s úhlovou geometrií se používají pouze černá destička a bílá keramická kachle.

**Černý standard** slouží pro definování spodní hranice měřicího intervalu, ideálně černá je rovna 0. Pro kalibraci se mohou používat kalibrační standardy – černá destička (geometrie  $45^\circ/0^\circ$ ), černé pasti – většinou ve tvaru válce, rozptyl světla do všech stran – absorpční (matný, drsný povrch, nejčastěji se sametem), reflexní (kuželový, uvnitř se zrcadlem v úhlu  $45^\circ$ ).



Kalibrační sada pro spektrofotometr Datacolor SF600+

**Bílý standard** slouží pro definování horní hranice měřicího intervalu. Ideální bílá je rovna 1. Každý přístroj má ve svém softwaru nahraná data pro bílý standard. Je-li zapnuta kontrola zeleným standardem, tj. odchylka pro zelený standard je menší než  $\Delta E^* \leq 1$ , při změně bílého standardu označí kalibraci jako špatně provedenou (na obrazovce se objeví hláška, že přístroj nebyl validně skalibrovaný). Je-li použit správně bílý standard, kalibrace je označena jako validní. Bílé standardy používané ke kalibraci – síran barnatý (velmi náchylný k povrchovým

poškozením při přikládání k přístroji vzhledem k práškové povaze, avšak má vysokou odrazivost přibližující se ideálně bílé), opálové sklo – používalo se dříve, lehké zabarvení, bílá keramická kachle se síranem barnatým. Pro měření bělosti se používají speciální definované standardy – plastická stupnice CIBA nebo textilní stupnice Geigy. Speciální případ platí pro kalibraci přístroje při měření bělosti. Toto bude rozebráno v úloze o měření bělosti.

**Zelený standard** slouží pro validizaci neboli ověření kalibrace, tj. pro ověření správného postupu při kalibraci, respektive správném použití kalibračních standardů, či pro kontrolu jejich poškození.

Všechny standardy jsou uchovány v tmavých boxech, kde je alespoň částečně omezen přístup prachu. Po skončení kalibrace je nutné kalibrační standardy vrátit zpět do určeného boxu a box zavřít. Dbejte maximální opatrnosti při práci s kalibračními standardy, jakožto nesahejte na povrch standardů.

Pro přesnější výsledky se používají opakovaná měření jednoho vzorku, respektive výsledná hodnota je průměrnou hodnotou alespoň 4 měření na různých místech vzorku. Pro tato měření by neměla barevná odchylka být větší než  $\Delta E^* \leq 0,1$ .

### **Postup:**

1. Pomocí standardů kalibrujte přístroj podle postupu ukázané na začátku cvičení.
  - a. K postupnému přikládání standardů Vás vyzve přístroj, tj. na obrazovce počítače Vám vyskočí tabulka, kde nejprve budete vyzváni, abyste přiložili černý standard – černá past (black trap), bílý standard (white tile) a zelený standard (green tile).
2. Vzorek změřte jako standard, tj. jeho název napište do políčka pro standard.
3. Vyučující vypne kontrolu zeleným standardem.
4. Přístroj znovu nakalibrujte. Ke kalibraci použijte místo bílého standardu opálové sklo.
5. Vzorek nyní změřte jako vzorek, tj. jeho název napište do políčka batch.
6. Zaznamenejte odchylku  $dE^*$  pro D65, A a F11 a 10°.
7. Vypracujte protokol.

## Pomůcky:

Textilní vzorek, kalibrační sada, opálové sklo

## Přístrojové vybavení:

spektrofotometr

## Vypracování:

Tabulka č. Výsledky měření s validizací a bez validizace

Standard	$\Delta E^*/D65/10$	$\Delta E^*/A/10$	$\Delta E^*/F11/10$
Vzorek			

## Závěr:

## Otázky:

1. Jaké typy černých standardů můžeme používat ke kalibraci?
2. Jaké typy bílých standardů můžeme používat ke kalibraci?
3. Které tři typy standardů používáme ke kalibraci přístroje?
4. Vysvětlete termín validizace.

## Úloha 4 – Mezipřístrojová shoda

---

### Teorie:

Během této úlohy si vyzkoušíte měření na různých typech spektrofotometrů a vyzkoušíte si vliv nastavení měřicí geometrie SCI a SCE, vliv povrchu vzorků, vliv velikosti apertury na měření vzorků.

Uvedeny jsou nejčastěji používané měřicí geometrie a nastavení.

**Difúzní geometrie** (sférická) – Vzorek je rovnoměrně osvětlován ze všech úhlů. Integrační koule je uvnitř bílá.

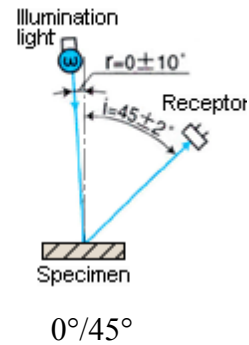
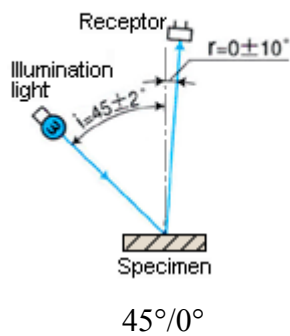
**SCI – specular component included** – vzorek je rovnoměrně osvětlován ze všech úhlů. Zahrnuje veškeré povrchové reflexe, tj. zahrnuje zrcadlovou i difúzní složku odrazu. Dobrá opakovatelnost, není citlivá na variabilitu povrchu vzorku či nedokonalosti. Nesimuluje vizuální hodnocení. Nesnímá diference u vzorků s leskem. Měření „pravé“ barvy vzorku.



**SCE – specular component excluded** – Nezahrnuje zrcadlový odraz povrchu, zahrnuje difúzní odraz povrchu. Velmi citlivý na nerovnost povrchu. Simuluje vizuální hodnocení.

Používaným typem difúzní geometrie je  $d/8^\circ$ . Kdy je vzorek snímán pod úhlem  $8^\circ$ . Existuje však i opačný typ uspořádání, kdy je vzorek osvětlován z úhlu  $8^\circ$   $8^\circ/d$  a světlo je detekováno z rozptýlených směrů.

**Úhlová geometrie 45°/0° nebo 0°/45°** je měřicí geometrie, kdy je vzorek osvětlen nebo snímán pod úhlem 45°. Nezahrnuje zrcadlový odraz povrch. Zahrnuje difúzní odraz povrchu. Špatná opakovatelnost měření, citlivý na variabilitu povrchu a nedokonalosti. Simuluje vizuální hodnocení. Je vhodná pro měření vzhledu vzorku. Integrační koule je uvnitř černá.



**Apertura** – je měřicí otvor na integrační kouli, který umožňuje variabilně měnit měřenou plochu vzorku. Máme-li vzorek, který má jednotně barevný povrch, můžeme použít i největší aperturu (large). Máme-li vzorek, který je vzorovaný, například textilní vzorek s kruhovými vzory a chceme změřit zvlášť barevnost podkladu a barevnost vzoru, zvolíte malou aperturu tak, abyste měřili obě tyto plochy zvlášť. Jsou-li kruhové vzory malé, můžete používat velkou aperturu a změříte tak celkovou barevnost tohoto vzorku. Velikost měřicí apertury samozřejmě volíte také vzhledem k velikosti vzorků.

### Postup:

1. Kalibrujte přístroj pro nastavení included (SCI) a změřte vzorek 1 a 3 jako standardy.
2. Překalibrujte přístroj pro nastavení excluded (SCE) a změřte vzorek 2 a 4 jako batch.
3. Zapište do tabulky změřené barevné odchylky  $\Delta E^*$  pro D65/10° mezi vzorky 1 a 2 a vzorky 3 a 4.
4. Na přístroji Microflash 5 změřte vzorek 3 jako standard a vzorek 5 jako batch.
5. Zapište si do tabulky změřenou barevnou odchylku  $\Delta E^*$  pro D65/10° mezi vzorky 3 a 5.
6. Vypracujte protokol. Popište, nakolik se liší použití různých typů difúzní geometrie.

## Pomůcky:

Textilní vzorky, destičky

## Přístrojové vybavení:

spektrofotometry, kalibrační standardy

## Vypracování:

Tabulka č. Výsledky barevné odchylky pro různé spektrofotometry

$\Delta E^*$	Spectraflash 100	Spectraflash 600+	ACS Chroma-Sensor CS-5	Microflash 200	Microflash 5
$\Delta E_{1,2}^*$					
$\Delta E_{3,4}^*$					
$\Delta E_{3,5}^*$					

## Závěr:

## Otázky:

1. Jak se liší úhlová a difúzní geometrie?
2. Co znamená SCI a SCE?
3. Můžeme používat pro srovnání různé geometrie s ohledem na měření barevné odchylky?



## Pomocné tabulky:

Tabulka č. A – Označení předložených vzorků

<b>1</b>	<b>standard</b>	<b>INCLUDE</b>	<b>destička</b>
2	batch	EXCLUDE	destička
<b>3</b>	<b>standard</b>	<b>INCLUDE</b>	<b>textilní vzorek</b>
4	batch	EXCLUDE	textilní vzorek
5	batch	INCLUDE	textilní vzorek

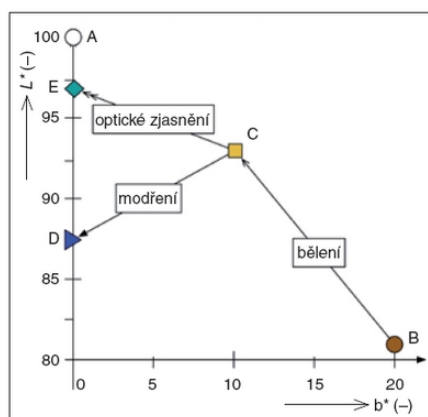
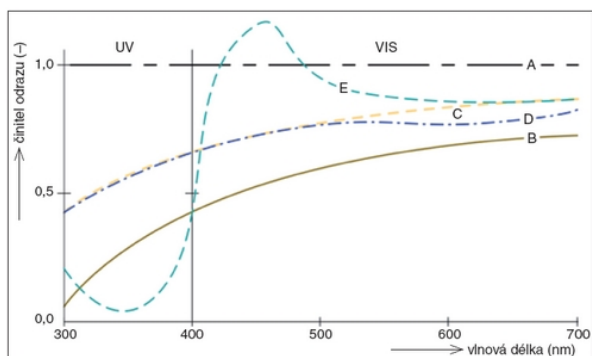
Tabulka č. B – Pomocná tabulka s postupem měření

	<b>Spectraflash 100</b>	<b>Spectraflash 600+</b>	<b>ACS Chroma- Sensor CS-5</b>	<b>Microflash 200</b>	<b>Microflash 5</b>
1					
2					
3					
4					
5					

## Úloha 5 – Měření bělosti

### Teorie:

Měření běli (bělosti) řadíme mezi indexy (třeba šedé stupnice, index barevného podání). Víme, že textilní materiály (přírodní i syntetické) nejsou úplně bílé a již od pradávna je zde snaha zbavit tyto materiály jejich žlutého nádechu. Naši předci používali k bělení materiálů slunce, později pak chemické bělení, které zvyšovalo jas a do jisté míry odstraňovalo i původní žlutavé zabarvení. Modřidla se používala pro odstranění žlutavého nádechu. Jejich použití je založeno na principu subtraktivního míšení barev. Výsledkem použití modřidel bylo sice odstranění žlutavého nádechu, avšak i snížení celkové remise, a tím i vznik šedavého nádechu běli.



Vliv operací pro zvýšení bělosti na spektrální odrazivost

*A – ideálně bílý difusor, B – surový, chemicky nebělený materiál, C – chemicky bělený materiál, D – chemicky bělený a modřený materiál, E – chemicky bělený a opticky zjasněný materiál pomocí OZP*

Vliv jednotlivých operací pro zvýšení bělosti na měrnou světlost  $L^*$  a souřadnici  $b^*$

**Fluorescence** je jev, kdy látka vydává při absorpci světla intenzivní záření, aniž by docházelo k chemickým změnám uvnitř molekuly. Tyto látky nazýváme fluorofory. Při absorpci určitého kvanta energie nesoucí určité množství energie se fluorofor dostává do excitovaného stavu, tedy stavu s vyšší energií než je základní, klidová energie. Po excitaci se daný fluorofor

snáží vrátit zpět do rovnovážného stavu. K tomu může docházet dvěma způsoby, prvním způsobem je emise světelného kvanta do okolí (luminiscence – fluorescence, fosforescence) a nezářivá forma, kdy dochází k přeměně energie na teplo, a další.

Na počátku 40. let dvacátého století došlo k vyvinutí prvních syntetických opticky zjasňujících prostředků (OZP). OZP jsou ve v podstatě bezbarvými barvivy, která lze aplikovat na materiál jako běžná barviva. OZP absorbují část UV o vlnových délkách 340 – 400 nm. Pohlčenou energii pak vyzařují během osvětlování ve formě fluorescence (převod na UV záření o vlnových délkách 430 – 460 nm, tj. do viditelné oblasti záření), a tím vytvářejí dojem, že sledovaný vzorek je jasnější.

Hodnocení běli pomocí subjektivního hodnocení patří do kategorie matching, tedy kategorie odstínového vyrovnání. Během hodnocení je úkolem pozorovatele přiřadit hodnocený vzorek ke vzorku ze standardní sady. Hodnocení běli by mělo probíhat za standardních podmínek, pro hodnocení je předepsáno hodnocení pod simulátorem denního světla, které splňuje podmínky indexu barevného podání, tak i podíl UV záření ve spektru CIE D65. V 70. letech vyvinula firma Ciba plastikovou stupnici s 12 plastovými destičkami. V současné době není dostupná a pro vizuální hodnocení je nutné si standardní sadu vyrobit.

***Objektivní měření běli se dělí na tři skupiny:***

1. Hodnocení běli měřením jednoho nebo dvou bodů remisní křivky testovaného vzorku

$$W \approx R$$

2. Hodnocení běli měřením trichromatických složek X, Y, Z

$$W = f(X, Y, Z)$$

3. Hodnocení běli pomocí hodnot x, y, Y, resp. pomocí diagramu CIE x,y

$$W = f(Y, x, y)$$

**Brightness ISO R457/TAPPI T452** – tato metoda hodnocení běli patří mezi nejznámější metody hodnocení pomocí hodnot remise. Z názvu vyplývá, že nejvýznamnější je odrazivost při vlnové délce 457 nm měřená při difúzní osvětlení. Do výpočtu se zahrnují vlnové délky

400 – 510 nm. Důvodem byla skutečnost, že fotometry byly osazeny modrým filtrem. Protože v dnešní době jsou k měření používané spektrofotometry, remisní hodnoty jsou násobeny funkcí účinnosti  $F_\lambda$  podle R457 (tyto hodnoty jsou tabelovány). Výpočet je proveden podle následující rovnice

$$R_{457} = \frac{\rho_{400}F_{400} + \rho_{405}F_{405} + \dots + \rho_{510}F_{510}}{F_{400} + F_{405} + \dots + F_{510}}$$

Nevýhodou je, že do výpočtu jsou započteny pouze odrazivosti v modré oblasti spektra. To vede k problémům, kdy mají vzorky rozdílné spektrální charakteristiky. Kříží-li se remisní křivky vzorků, bělost vzorků R457 je shodná, i když se jeden ze vzorků bude jevit bělejší. Což je způsobeno vyšší odrazivostí v dalších oblastech spektra. Chceme-li použít tento index pro hodnocení běli u materiálů s OZP, je nutné dodržet, aby se u vzorků nekřížily remisní křivky a dále dodržet požadavek na správné nastavení poměru UV záření v osvětlení použitým během měření.

**Posuzování běli pomocí trichromatických složek X, Y, Z** – do této kategorie řadíme níže uvedené rovnice pro hodnocení běli. Je však zřejmé, že každá rovnice bude ve výsledku udávat odlišný výsledek. Na základě toho je nutné uvádět, pomocí kterého osvětlení byl index vypočten a pro jakého pozorovatele. Následující rovnice jsou vztaženy pro osvětlení C a 2° pozorovatele.

Bergerová  $W_{Berger}(C/2) = Y + 3,452Z - 3,908X$

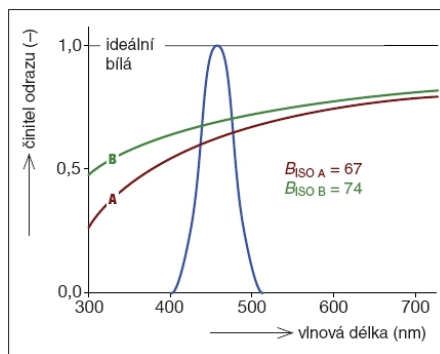
Taube  $W_{Taube}(C/2) = 3,727Z - 3Y$

Hunter  $W_{Hunter}(C/2) = \frac{19,297Z - 11Y}{\sqrt{Y}}$

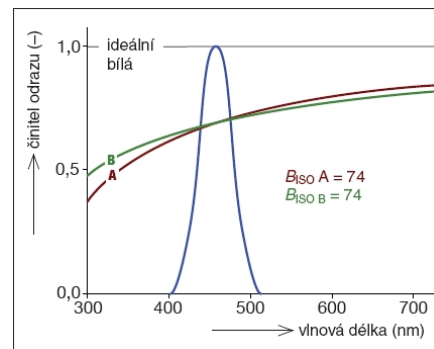
Stensby  $W_{Stensby}(C/2) = \frac{19,297Z + 55,251X - 63,5Y}{\sqrt{Y}}$

**Posuzování běli pomocí hodnoty xyY** – nejednotnost výsledků pomocí těchto rovnic vedle k zavedení rovnice pro výpočet běli podle CIE, která vychází z Ganz-Griesserovy lineární rovnice. Bělení, resp. zjasňování povrchu vede k přírůstku modré barvy a předpokládanému zvyšování modré složky během zpracování. Zvyšování bělosti probíhá od bodu nepestrosti směrem k modré oblasti v CIE xyY diagramu až do určité odchylky, kdy dochází k zakřivení

většinou směrem k zelené barvě. Nárůst relativního jasů Y je neliární, avšak vzestup ve vnímání bělosti vzorku je lineární a k zakřivení dochází až při vysokých koncentracích OZP.



Příklad dvou křivek spektrálního činitele odrazu pro chemicky bělený materiál, kdy je hodnocení pomocí R457 korektní



Příklad dvou křivek spektrálního činitele odrazu pro chemicky bělený materiál, kdy není hodnocení pomocí R457 korektní

**Ganz – Griesserova lineární stupnice pro hodnocení bělosti** – Ganz – Griesserova rovnice byla definována podrobnou analýzou chování vzorků obsahujících OZP při různých poměrech UV záření v poměrném spektrálním složení simulátorů denního světla D65.

$$W_{Ganz} = DY + Px + Qy + C$$

Kde Y je jas, x a y jsou souřadnice měřeného vzorku v CIE x,y diagramu a D, P, Q a C jsou nastavitelné parametry vypočítané z regresní analýzy kalibračních měření. To vedlo k zavedení více kalibračních standardů, protože bylo zjištěno, že jeden kalibrační standard pro měření fluorescenčních vzorků je nepostačující.

Nejčastější typem používaného simulátoru standardního zdroje světla D65 u měřicích přístrojů je xenonová výbojka doplněná speciálním konverzním filtrem. Je však nutné si uvědomit, že tato výbojka má omezenou životnost a během používání se mění i spektrální složení. To ovlivňuje především na měření fluorescenčních vzorků, kdy intenzita záření je ovlivněna stavem výbojky, ale i znečištěním přístroje (prach). Toto vedlo firmy k vývoji speciální bílé stupnice, která umožňovala přesnější kalibraci a zajišťovala srovnatelnost naměřených výsledků. Původní bílá stupnice byla bavlněná a 18 stupňová (firma CIBA) a 22 stupňová (firma Geigy). Z důvodu trvanlivosti přešla firma CIBA na výrobu plastické stupnice. Jak již bylo napsáno výše, tato stupnice není v současné době komerčně dostupná. Proto se v dnešní době používají stupnice z bavlněných tkanin s 4 – 5 stupni. Příkladem je 4 stupňová bavlněná stupnice z Hohensteiner Institutu. Jejich nevýhodou je však velmi krátká

doba použitelnosti (maximálně tři měsíce). Poté je nutné použít novou stupnici. Proto se používají platové fluorescenční standardy pro kontrolu nastavení podílu UV záření ve spektru Xe výbojky v mezidobí povinných kalibrací s ohledem na ověření koeficientů Ganzovy rovnice.

Aby mohly být přístroje použity pro regulérní měření bělosti materiálu, musí mít kontrolovaný podíl UV záření. Technicky toho lze dosáhnout dvěma způsoby. Prvním je rozklad měřeného spektrálního činitele odrazu  $\rho(\lambda)$  na jednotlivé části. Na obrázku si můžete všimnout, že spektrální činitel odrazu je v rozmezí vlnových délek 420 až 500 vyšší než 1. Což by znamenalo popření zákon o zachování energie. Proto je pro luminiscenční vzorky brát v úvahu to, že celkový činitel zářivosti  $\beta_T(\lambda)$  se nerovná činiteli odrazu  $\rho$ , resp.  $\beta_R$ , ale je roven součtu příspěvků spektrálního činitele remitované zářivosti  $\beta_R(\lambda)$  a spektrálního činitele luminiscenční zářivosti  $\beta_L(\lambda)$

$$\beta_T(\lambda) = \beta_R(\lambda) + \beta_L(\lambda)$$

Měření spektrálního činitele luminiscenční zářivosti  $\beta_L(\lambda)$  se provádí buď pomocí dvou monochromátorů na spektrofluorimetru nebo pomocí filtrů s horní propustí. V roce 1998 Imura patentoval metodu založenou na principu tří světelných zdrojů s přebytkem UV záření, kdy jeden byl osazen filtrem s horní propustí 400 nm, druhý s 420 nm a třetí byl bez filtru. Výsledný příspěvek spektrálního činitele luminiscenční zářivosti  $\beta_L(\lambda)$  byl poté vypočten z rozdílů spektrálního činitele odrazu  $\rho(\lambda)$  při jednotlivých typech osvětlení

$$\beta_T(\lambda) = a_1(\lambda) \cdot \beta_{T_1}(\lambda) + a_2(\lambda) \cdot \beta_{T_2}(\lambda) + [1 - a_1(\lambda) - a_2(\lambda)] \cdot \beta_{T_3}(\lambda)$$

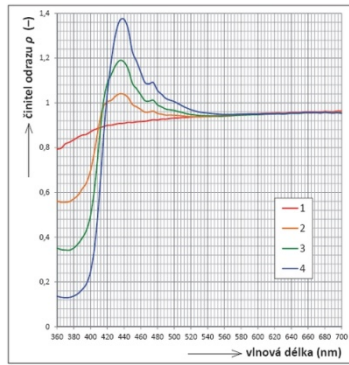
kde  $\beta_{T_1}(\lambda)$  je tzv. první celkový spektrální činitel zářivosti (100%),

$\beta_{T_2}(\lambda)$  je tzv. druhý celkový spektrální činitel zářivosti (FL400),

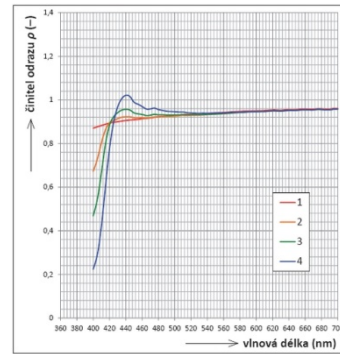
$\beta_{T_3}(\lambda)$  je tzv. třetí celkový spektrální činitel zářivosti (FL420),

$a_1$  a  $a_2$  jsou první a druhý váhový faktor.

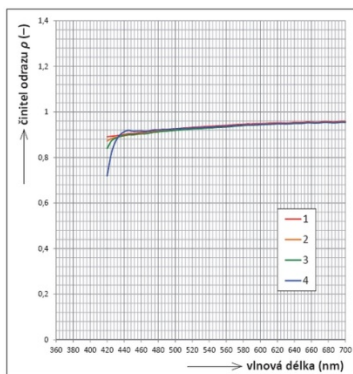
Tento přístup je však zatížen chybou luminiscence pro filtry s horní propustí 400 a 420 nm, protože OZP transformují část světelné energie ve viditelné oblasti spektra. Remisní křivky se neshodují. Až při použití filtrů s horní propustí 460 nm došlo teprve k tzv. zhasnutí OZP. Tj. při porovnání remisních křivek z měření se shodují křivky všech 4 standardů Hohenstein.



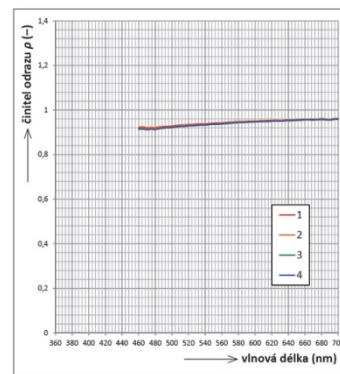
Křivky spektrálního činitele odrazu  $\rho$  u bavlněné kalibrační stupnice Hohenstein při korektním nastavení podílu UV záření



Křivky spektrálního činitele odrazu  $\rho$  u bavlněné kalibrační stupnice Hohenstein při použití filtru s horní propustí 400 nm



Křivky spektrálního činitele odrazu  $\rho$  u bavlněné kalibrační stupnice Hohenstein při použití filtru s horní propustí 420 nm



Křivky spektrálního činitele odrazu  $\rho$  u bavlněné kalibrační stupnice Hohenstein při použití filtru s horní propustí 460 nm

Dalším způsobem je využití inverzní kalibrace UV podílu podle Ganz-Griesserova postupu, kdy jsou spektrofotometry osazeny karuselem s filtry s horní propustí 400, 420 a 460 nm. Montáž filtru FL400 je provedena tak, aby polohování filtru umožnilo zakrytí osvitového otvoru integrační koule v rozmezí 100 – 0 %. Postupným zakrýváním osvitového prostoru filtrem FL400 dochází k výraznému poklesu intenzity záření pod 400 nm. Během této kalibrace se obsluha snaží dosáhnout stejných hodnot bělosti u kalibračních standardů jako na referenčním přístroji s kontrolovaným podílem UV záření, pomocí posunu FL400 filtru do osvitového paprsku Xe výbojky, pomocí servomotoru. Výhodou tohoto přístupu je to, že systém je možno kontrolovat během měření v období mezi ročními kalibracemi (UV checker). Nevýhodou je vyšší citlivost na nepřesnosti během kalibrace, tedy kvalitě používaných kalibračních referenčních standardů bělosti. Což vede k rozdílným hodnotám v naměřených bělostech.

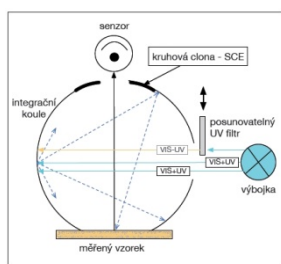
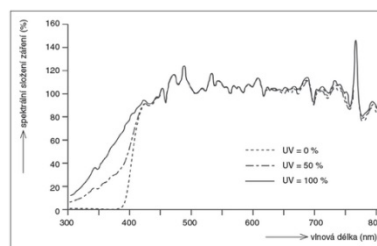


Schéma spektrofotometru s možností regulace podílu UV záření ve světle dopadajícím na měřený vzorek



Poměrná spektrální složení osvětlení v závislosti na procentuálním zakrytí osvitového otvoru měřicí koule

Všechna měření bělosti se provádějí na přístrojích s nastavením  $de:8^\circ$ , tedy bez zrcadlové složky odrazu. Což vyplývá z toho, že dopadá-li na vzorek světlo obsahující a neobsahující podíl UV záření, je nutné vzhledem k použité geometrii počítat s odrazem od vysoce bílých materiálů, která má za následek tzv. tripletní excitaci a tím zhasínání fluorescence v rozmezí 500 – 560 nm.

Odstínový nádech, tint podle Ganz-Griesserovy rovnice

$$T_{Ganz} = mx + ny + k$$

kde m, n jsou adjustační parametry z regresní analýzy. Platí,

T = 0 – materiál má modrý nádech, resp. hovoříme o neutrálním vzorku (B),

T > 0 – materiál má modro-zelený nádech (G),

T < 0 – materiál má červeno-fialový nádech (R).

V případě, kdy nejsou k dispozici fluorescenční standardy (Hohenstein) nebo jsou používány přenosné spektrofotometry bez možnosti nastavit podíl UV záření, jsou pro výpočet bělosti a nádechu používány nominální hodnoty. Tyto hodnoty odpovídají D65/10°.

Koeficient	Hodnota
P	-1868,322
Q	-3695,690
C	1809,441
m	-1001,223
n	748,366
k	68,261



Ganz doporučuje, aby hodnocená bělost u měřeného materiálu měla minimální hodnotu měrného jasu  $Y > 70$  a rozsah odstínového nádechu  $-6 < T_{Ganz} < 6$ .

**CIE lineární stupnice pro hodnocení bělosti** – komise CIE definovala v roce 1982 lineární stupnici, která principiálně vychází z Ganzovy rovnice a je vhodná pro relativní vyjádření běli pro vzorky s i bez OZP. U této rovnice je zahrnuto celé měřené spektrum, proto je hodnocení běli ve shodě s vizuálním hodnocením.

$$W_{CIE} = Y + 800(x_0 - x) + 1700(y_0 - y)$$

kde  $x_0, y_0$  jsou hodnoty bodu nepestrosti pro světlo D65 a  $10^\circ$  pozorovatele.  $x_0 = 0,31381$ ,  $y_0 = 0,33098$  a  $x, y$  jsou souřadnice měřeného vzorku.

Pro ideální běl je hodnota  $W_{CIE}$  rovna 100, pro vzorky bělené OZP je to 150 – 180. Pro hodnoty bělosti podle  $W_{CIE}$  platí, že musí být v intervalu  $40 < W_{CIE} < 5Y - 280$ .

Barevný nádech podle CIE je definován podle vztahu

$$T_{CIE} = 900(x_0 - x) - 650(y_0 - y)$$

Pro barevný nádech je povolen interval  $-4 < T_{CIE} < 2$ .

### **Postup:**

1. Proveďte kalibraci přístroje na nastavení SCE – exclude. U přístroje Datacolor Spectraflash 600+ budete mít nastaveno % zastoupení UV. U tohoto přístroje bude provedena kalibrace pomocí inverzní Ganz-Griesserovi kalibrace vyučujícím na začátku cvičení.
2. Kalibraci reflektometru provede rovněž vyučující.
3. Pomocí označených spektrofotometrů proveďte měření vzorků jako na předcházejících cvičeních. Po změření si opište hodnoty bělosti TAPPI a  $W_{CIE}$  pro standard a pro ostatní měřené vzorky jako batch. Jako standard použijte stejný vzorek pro všechny přístroje.
4. Na reflektometru změřte reflektanci v % a zapište si do tabulky získané hodnoty.
5. Vypracujte protokol.

### **Pomůcky:**

Vzorky, kalibrační standardy Hohenstein

## Přístrojové vybavení:

spektrofotometr, reflektometr

ISO Brightness (457nm)

## Vypracování:

TAPPI 45°/0°

Tabulka č. Výsledky měření bělosti

Přístroj	Spectraflash 100			Spectraflash 600+			ACS Chroma-Sensor CS-5			Microflash (5 mm)			Technibrite TB1
	TAPPI	W <sub>Ganz</sub>	W <sub>CIE</sub>	TAPPI	W <sub>Ganz</sub>	W <sub>CIE</sub>	TAPPI	W <sub>Ganz</sub>	W <sub>CIE</sub>	TAPPI	W <sub>Ganz</sub>	W <sub>CIE</sub>	Y(%)
Název vzorku													
Název vzorku													
Název vzorku													

## Závěr:

## Otázky:

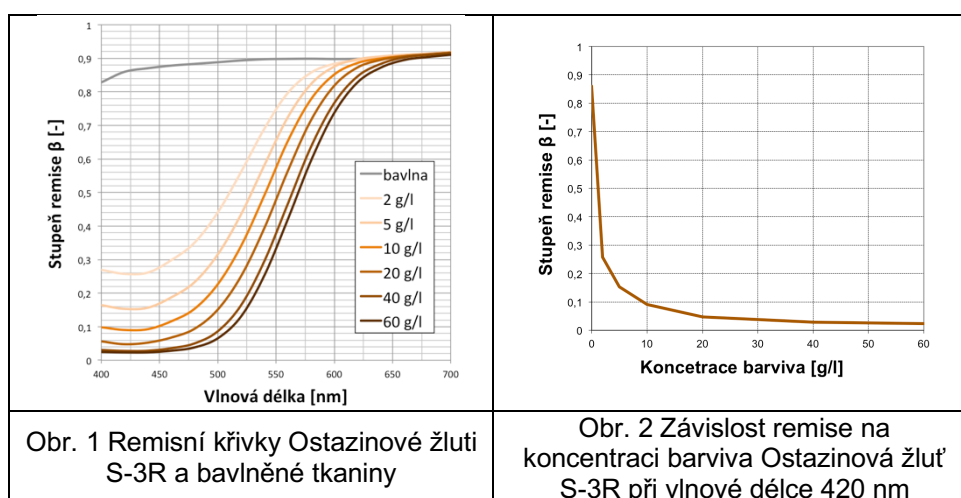
1. Vysvětlíte pojem fluorescence a fosforescence, jak se liší?
2. Vypište alespoň 3 rovnice pro výpočet bělosti a uveďte jejich vzorec?
3. Co je to reflektance?

# Úloha 6 – Receptování

## 1. Teorie

### 1.1. Základní požadavky receptur

Při výpočtu receptur se ve většině případů vychází z naměřených remisních dat jednotlivých barviv na vybraném substrátu ve vhodné řadě násadních sytostí. Na obrázku č. 1 jsou zobrazeny remisní křivky bavlněné tkaniny obarvené reaktivním barvivem Ostazinová žluť S-3R v několika násadních koncentracích, včetně neobarveného zboží.



Obr. 1 Remisní křivky Ostazinové žluti S-3R a bavlněné tkaniny

Obr. 2 Závislost remise na koncentraci barviva Ostazinová žluť S-3R při vlnové délce 420 nm

Z tvaru remisních křivek je patrné, že existuje určitý vztah mezi koncentrací barviva a hodnotami odrazivosti v jednotlivých bodech spektra. Na obrázku č. 2 lze vidět, že závislost spektrálního činitele odrazivosti  $\rho$  na koncentraci v různých vlnových délkách je nelineární a klesající. Takový průběh je pro výpočty receptur poměrně nevýhodný a proto se snažíme nalézt takovou funkci, která by byla lineárně závislá na koncentraci. Jde tedy o určení výrazu, resp. konstant rovnice typu:

$$f(\rho_i) = a_{ij}c_j + b \quad (1)$$

kde  $b$  a  $a_{ij}$  jsou konstanty specifické pro dané barvivo  $j$ , danou vlnovou délku  $\lambda_i$  a daný substrát. Funkce  $f(R_i)$  udává závislost spektrální odrazivosti obarveného materiálu na koncentraci daného barviva  $c_j$  a konstantu  $A_{ij}$  lze snadno určit metodami lineární regrese.

Základním předpokladem, který umožňuje tvorbu receptur, je aditivita funkce  $f(R_i)$ , tedy, že platí :

$$f(R_i) = \sum_{j=1}^m a_{ij} c_j + b \quad (2)$$

kde  $m$  je počet barviv, jejichž kombinací vznikl odstín mající při vlnové délce  $\lambda_i$  remisi  $R_i$ . V praxi není zdaleka tak důležité, aby funkce  $f(R_i)$  přesně vystihovala experimentálně určenou závislost  $f(R_i)$  na  $c_j$ , jako to, aby platila aditivita vyjádřená rovnicí (2). Obecná definice výše uvedené funkce  $f(R_i)$  není možná s ohledem na složitost systému absorpčních a rozptylových procesů, ke kterým dochází během interakce elektromagnetického záření s daným objektem. Z tohoto důvodu je nutno zavést určitá zjednodušení, ze kterých rezultují v zásadě dva teoretické:

- a) *fenomenologické teorie optického chování turbidních médií*<sup>1</sup>
- b) *obecné teorie přenosu světelné energie*

### 1.2. Kubelka-Munkova teorie

Výpočty koncentrací standardních úrovní, přepočty síly vybarvení, výpočty receptury na samočinném počítači jsou založeny na využitelných platných matematických vztazích mezi spektrálními hodnotami a příslušnými koncentracemi vybarvení. Na tyto vztahy jsou kladeny určité požadavky, jako např. platnost jednoduché aditivity konstant a parametrů pro jednotlivé barevné složky. V kolorimetrické oblasti našly největší uplatnění pro tyto účely výsledky založené na teorii Kubelka-Munkově (tzv. KM teorie). Mají výhodu v poměrné matematické jednoduchosti, jak ukazuje základní rovnice

$$f(R_{\lambda\infty}) = \frac{(1 - R_{\lambda\infty})^2}{2R_{\lambda\infty}} = \frac{K_{\lambda}}{S_{\lambda}} \quad (3)$$

V rovnici znamenají  $R_{\lambda\infty}$  remisní hodnoty pro příslušnou vlnovou délku spektra a tzv. nekonečnou vrstvu měřeného substrátu,  $K_{\lambda}$   $S_{\lambda}$  jsou absorpční a rozptylové koeficienty. Vztah má výhodu v tom, že k němu existuje inverzní funkce, takže lze jednoduše z hodnot  $K/S$  vypočítat zpětně hodnotu  $R$  podle

---

<sup>1</sup> turbidním médiem se chápe zakalený neprůsvitný předmět, který vykazuje izotropii optického chování v celé své tloušťce a má vyšší optickou hustotu než vzduch, který je okolním médiem. Typickou ukázkou jsou například vodné disperse dispersních a kypových barviv.

$$f(R_{\lambda\infty}) = \frac{(1 - R_{\lambda\infty})^2}{2R_{\lambda\infty}} = \frac{K_{\lambda}}{S_{\lambda}} \quad R_{\lambda\infty} = 1 + \frac{K_{\lambda}}{S_{\lambda}} - \sqrt{\frac{K_{\lambda}^2}{S_{\lambda}^2} + 2 * \frac{K_{\lambda}}{S_{\lambda}}} \quad (4)$$

Podle rovnice KM se velmi často znázorňují remisní spektra a získávají se tzv. K-S (K/S) křivky. Jsou reciproční k vlastním remisním spektrům, tzn. tam, kde je u absorpčního spektra minimum je u K-S křivky maximum a naopak.

Důležitou vlastností hodnoty K/S je lineární závislost s koncentrací vybarvení. Tato lineární závislost však platí často pouze v úzké škále koncentrací a ne v celé koncentrační řadě, které se používají pro výpočty receptur, což je jeden z nedostatků jednoduché aproximace řešení K-M funkce.

$$f(R_{\lambda\infty}) = \frac{(1 - R_{\lambda\infty})^2}{2R_{\lambda\infty}} = \frac{K_{\lambda}}{S_{\lambda}} = \frac{K_{S\lambda}}{S_{S\lambda}} + \frac{K_{b1\lambda}}{S_{S\lambda}} c_{b1} = A_{S\lambda} + B_{b\lambda} c_b \quad (5)$$

$B_{b\lambda}$  je konstanta barviva,  $c_b$  je koncentrace vybarvení barviva a konstanta  $A_{S\lambda}$  odpovídá hodnotě  $K_{S\lambda} / S_{S\lambda}$  neobarveného substrátu pro vlnovou délku  $\lambda$ .

Nelinearita koncentrační závislosti s hodnotou K/S je také nejvýraznější při vlnových délkách největší absorpce světelného záření. V ostatních oblastech již není tak výrazná.

Velmi důležitou vlastností K-M funkce je přibližná platnost aditivity konstanty B pro více barviv. Rovnici je pak možno konkretizovat vztahem.

$$f(R_{\lambda\infty}) = \frac{(1 - R_{\lambda\infty})^2}{2R_{\lambda\infty}} = \frac{K_{\lambda}}{S_{\lambda}} = A_{S\lambda} + B_{b1\lambda} c_{b1} + B_{b2\lambda} c_{b2} + \dots \quad (6)$$

Tento vztah znamená, že při výpočtu receptur lze do výsledné kombinace používat konstanty získané ze změření a zpracování koncentračních vybarvení samotných barviv.

Kubelka-Munkova teorie a její nejjednodušší výsledek, představovaný soustavou předchozích rovnic mají, jak bylo ukázáno, řadu výhod pro přepočty užívané v oblasti spektrálně kolorimetrického hodnocení barviv a spektrálně kolorimetrickém vzorování.

Uvedená jednoduchost je však doprovázena i řadou nedostatků. Není v rozlišena geometrie měření, nezohledňují se jevy, ke kterým dochází na rozhraní měřeného substrátu a předpokládá se vždy izotropní rozptyl světelného záření v optické vrstvě. Z těchto důvodů popisuje skutečnost jen přibližně a v jednoduché formě platí pouze pro textilní substráty. Jsou proto navrhovány fyzikální a matematické úpravy, anebo se využívají výsledky jiných komplexnějších teorií, jako je např. teorie přenosu světelného záření. Tato oblast je však velmi obsáhlá, matematicky náročnější a vyžaduje si vlastní zpracování. Výsledky těchto komplexnějších teorií našly většího uplatnění v oblastech netextilního barvení, jako jsou barvení laků a plastů. Jednoduché korekce klasických KM výsledků pro lesklé vzorky (nátěrové hmoty, plasty) jsou uvedeny v části pro relativní sílu.

### 1.3. Spektrofotometrický postup výpočtu

Jestliže je připravována receptura pro isomerní pár, to znamená případ, ve kterém byla předloha vybarvena na stejném substrátu, stejnými barvivy a barvicími pomocnými přípravky za stejných podmínek jaké byly užity pro odhad receptury. Respektive v případě, kdy známe barviva použitá pro obarvení předlohy, pak bychom měli být schopni určit koncentraci barviv, tak aby došlo ke kompletní spektrální barevné shodě mezi předlohou a vybarvenou recepturou.

Vezmeme-li velmi jednoduchý případ pouze se dvěma známými odstínově rozdílnými barvivy, tedy můžeme vybrat dvě vlnové délky, odpovídající remisním minimům či absorpčním maximům barviv. Výpočet neznámé koncentrace barviv pak popisuje soustava dvou lineárních rovnic:

$$\left. \begin{aligned} f(R_{\lambda_1}) &= f(R_{S,\lambda_1}) + a_{\lambda_1,1}c_1 + a_{\lambda_1,2}c_2 \\ f(R_{\lambda_2}) &= f(R_{S,\lambda_2}) + a_{\lambda_2,1}c_1 + a_{\lambda_2,2}c_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Je zřejmé, že tato soustava je poměrně snadno řešitelná například metodou substituce. Pokud tento případ rozšíříme o další odstínově odlišné barvivo, tj. barvivo s odlišným absorpčním maximem, pak rovnice (7) přejde ve tvar:

$$\left. \begin{aligned} f(R_{\lambda_1}) &= f(R_{S,\lambda_1}) + a_{\lambda_1,1}c_1 + a_{\lambda_1,2}c_2 + a_{\lambda_1,3}c_3 \\ f(R_{\lambda_2}) &= f(R_{S,\lambda_2}) + a_{\lambda_2,1}c_1 + a_{\lambda_2,2}c_2 + a_{\lambda_2,3}c_3 \\ f(R_{\lambda_3}) &= f(R_{S,\lambda_3}) + a_{\lambda_3,1}c_1 + a_{\lambda_3,2}c_2 + a_{\lambda_3,3}c_3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

V případě, že tuto soustavu lineárních rovnic převedeme do maticového zápisu, kdy:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{\lambda_1} \\ g_{\lambda_2} \\ g_{\lambda_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(R_{\lambda_1}) - f(R_{S,\lambda_1}) \\ f(R_{\lambda_2}) - f(R_{S,\lambda_2}) \\ f(R_{\lambda_3}) - f(R_{S,\lambda_3}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{\lambda_1,1} + a_{\lambda_1,2} + a_{\lambda_1,3} \\ a_{\lambda_2,1} + a_{\lambda_2,2} + a_{\lambda_2,3} \\ a_{\lambda_3,1} + a_{\lambda_3,2} + a_{\lambda_3,3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Pak rovnici (8) můžeme zapsat jako:

$$\begin{aligned}\mathbf{G} &= \mathbf{AC} \\ \mathbf{C} &= \mathbf{A}^{-1}\mathbf{G}\end{aligned}\tag{12}$$

Pokud zavedeme

$$\mathbf{Q} = \mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} q_{\lambda_1,1} & q_{\lambda_2,1} & q_{\lambda_3,1} \\ q_{\lambda_1,2} & q_{\lambda_2,2} & q_{\lambda_3,2} \\ q_{\lambda_1,3} & q_{\lambda_2,3} & q_{\lambda_3,3} \end{bmatrix}\tag{13}$$

Pak platí:

$$\left. \begin{aligned}c_1 &= q_{\lambda_1,1}g_{\lambda_1} + q_{\lambda_2,1}g_{\lambda_2} + q_{\lambda_3,1}g_{\lambda_3} \\ c_2 &= q_{\lambda_1,2}g_{\lambda_1} + q_{\lambda_2,2}g_{\lambda_2} + q_{\lambda_3,2}g_{\lambda_3} \\ c_3 &= q_{\lambda_1,3}g_{\lambda_1} + q_{\lambda_2,3}g_{\lambda_2} + q_{\lambda_3,3}g_{\lambda_3}\end{aligned}\right\}\tag{14}$$

Tato metoda je velmi jednoduchá, byla-li spočítána inverzní matice  $\mathbf{Q}$  stačí pouze kalkulačka k nalezení neznámých koncentrací barviv. Je to v podstatě uplatnění metody multikomponentní analýzy známé z analytické chemie na případ remisních měření a barviv. Na druhou stranu je nutno říci, že aplikovatelnost této metody se omezuje pouze na isomerní receptury.

## 2. Praktická část

Změřte tři koncentrační řady, typicky žlutého, červeného a modrého barviva. Najděte remisní minima jednotlivých barviv a definujte charakteristické vlnové délky  $\lambda_{ij}$ . Hodnoty remisních minim (odraznosti) zapište do tabulek nejlépe do tabulkových procesorů (Excel, Numbers...) následujícím způsobem:

Tabulka 1 Remise jednotlivých barviv

Žluť (1)			Červeň (2)				Modř (3)				
Koncentrace	$\lambda_{1,1}$	$\lambda_{2,1}$	$\lambda_{3,1}$	Koncentrace	$\lambda_{1,2}$	$\lambda_{2,2}$	$\lambda_{3,2}$	Koncentrace	$\lambda_{1,3}$	$\lambda_{2,3}$	$\lambda_{3,3}$

Dále vypočtete příslušné hodnoty Kubelka-Munkovy funkce a opět zapište do tabulky:

Tabulka 2 K/S jednotlivých barviv

Žluť (1)			Červeň (2)				Modř (3)				
Koncentrace	$\lambda_{1,1}$	$\lambda_{2,1}$	$\lambda_{3,1}$	Koncentrace	$\lambda_{1,2}$	$\lambda_{2,2}$	$\lambda_{3,2}$	Koncentrace	$\lambda_{1,3}$	$\lambda_{2,3}$	$\lambda_{3,3}$

Vypočtete konstanty barviv  $B_{\lambda c}$ , respektive  $a_{\lambda ij}$  a zapište je do tabulky 3, následně vypočtete inverzní matici Q a její prvky opět zapište do tabulky:

Tabulka 3 Konstanty jednotlivých barviv a prvky inverzní matice Q

Žluť (1)	Červeň (2)	Modř (3)	Žluť (1)	Červeň (2)	Modř (3)	Žluť (1)	Červeň (2)	Modř (3)	Žluť (1)	Červeň (2)	Modř (3)
$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$				$q_{1,1}$	$q_{1,2}$	$q_{1,3}$			
$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$				$q_{2,1}$	$q_{2,2}$	$q_{2,3}$			
$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$				$q_{3,1}$	$q_{3,2}$	$q_{3,3}$			



Dále změřte předlohu a substrát. Hodnoty remise zapište do tabulky 4 a následně vypočtete K/S a opět zapište do tabulky

Tabulka 4 Remise a K/S předlohy a substrátu

Remise				K/S			
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$		$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
Předloha				Předloha			
Substrát				Substrát			
				Rozdíl	$g_{\lambda_1}$	$g_{\lambda_2}$	$g_{\lambda_3}$

Vypočtete koncentrace jednotlivých barviv pro vybarvení zadané předlohy:

Barvivo	Koncentrace $c_j$

Závěr:

## Úloha 7 – Kolorimetrické výpočty

1. Vypočítejte trichromatické souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$  kolorimetrické soustavy CIE XYZ pro barevný vzorek s hodnotami trichromatických složek  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

$$\begin{array}{ll} X = 20,15 & x = ? \\ Y = 12,6 & y = ? \\ Z = 18,3 & z = ? \end{array}$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} = \frac{20,15}{20,15 + 12,6 + 18,3} = \frac{20,15}{51,05} = \mathbf{0,394711}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} = \frac{12,6}{51,05} = \mathbf{0,246817}$$

$$z = 1 - y - x = 1 - 0,246817 - 0,394711 = \mathbf{0,358472}$$

2. Vypočítejte hodnoty  $L^*u^*v^*$  kolorimetrické soustavy CIELUV pro odstín pomocí těchto hodnot.

$$\begin{array}{lll} X = 17 & X_0 = 111,144 & L^* = ? \\ Y = 22 & Y_0 = 100 & u^* = ? \\ Z = 14 & Z_0 = 35,2 & v^* = ? \end{array}$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3} = \frac{4 \times 17}{17 + (15 \times 22) + (3 \times 14)} = \frac{68}{389} = \mathbf{0,174807}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{9y}{-2x + 12y + 3} = \frac{198}{389} = \mathbf{0,508997}$$

$$u_0 = \frac{4X_0}{X_0 + 15Y_0 + 3Z_0} = \frac{4 \times 111,144}{111,144 + (15 \times 100) + (3 \times 35,2)} = \frac{444,576}{1716,744} = \mathbf{0,258965}$$

$$v_0 = \frac{9Y_0}{X_0 + 15Y_0 + 3Z_0} = \frac{900}{1716,744} = \mathbf{0,524248}$$

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\left(\frac{Y}{Y_0}\right)} - 16 = \mathbf{54,027005}$$

$$u^* = 13 L^* (u' - u_0) = 702,351059 \times (0,174807 - 0,258965) = \mathbf{-59,108072}$$

$$v^* = 13 L^* \times (v' - v_0) = 702,351059 \times (0,508997 - 0,524248) = \mathbf{-10,711415}$$

**3. Vypočítejte souřadnice L\*a\*b\* kolorimetrické soustavy CIELAB.**

<b>X = 23</b>	<b>X<sub>0</sub> = 111,144</b>	<b>L* = ?</b>
<b>Y = 11</b>	<b>Y<sub>0</sub> = 100</b>	<b>a* = ?</b>
<b>Z = 8</b>	<b>Z<sub>0</sub> = 35,2</b>	<b>b* = ?</b>

$$L^* = 116Y^* - 16$$

$$a^* = 500[X^* - Y^*]$$

$$b^* = 200[Y^* - Z^*]$$

$$X^* = \left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3} \text{ pro } \frac{X}{X_0} > 0,008856 \quad X^* = 7,787\left(\frac{X}{X_0}\right) + 0,138 \text{ pro } \frac{X}{X_0} \leq 0,008856$$

$$Y^* = \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} \text{ pro } \frac{Y}{Y_0} > 0,008856 \quad Y^* = 7,787\left(\frac{Y}{Y_0}\right) + 0,138 \text{ pro } \frac{Y}{Y_0} \leq 0,008856$$

$$Z^* = \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3} \text{ pro } \frac{Z}{Z_0} > 0,008856 \quad Z^* = 7,787\left(\frac{Z}{Z_0}\right) + 0,138 \text{ pro } \frac{Z}{Z_0} \leq 0,008856$$

$$L^* \approx 903,3\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \text{ pro } \frac{Y}{Y_0} \leq 0,008856 \quad \left(\frac{6}{29}\right)^3 = 0,008856$$

$$X^* = \frac{23}{111,144} = 0,206939 \quad X^* = \sqrt[3]{\left(\frac{X}{X_0}\right)} = 0,591490$$

$$Y^* = \frac{11}{100} = 0,11 \quad Y^* = \sqrt[3]{\left(\frac{Y}{Y_0}\right)} = 0,479142$$

$$Z^* = \frac{8}{35,2} = 0,227273 \quad Z^* = \sqrt[3]{\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} = 0,610261$$

$$L^* = 116 \times (Y^*) - 16 = 116 \times (0,479142) - 16 = 39,580470$$

$$a^* = 500 \times (X^* - Y^*) = 500 \times (0,591490 - 0,479142) = 56,173915$$

$$b^* = 200 \times (Y^* - Z^*) = 200 \times (0,479142 - 0,610261) = -26,223847$$

4. Vypočítejte hodnoty celkové barevné odchylky  $\Delta E^*$  mezi vzorkem a standardem pomocí následujících hodnot. Vypočítejte rozdíl měrné čistoty  $\Delta C^*$  v cylindrickém prostoru CIELCH. Vypočítejte rozdíl měrného odstínu  $\Delta H^*$  v cylindrickém prostoru CIELCH.

$L_{st}^* = 72$	$L_{vz}^* = 76$	$\Delta E^* = ?$
$a_{st}^* = 34$	$a_{vz}^* = 32$	$\Delta C^* = ?$
$b_{st}^* = 35$	$b_{vz}^* = 30$	$\Delta H^* = ?$

$$\Delta L^* = L_{vz}^* - L_{st}^* = 76 - 72 = 4$$

$$\Delta a^* = a_{vz}^* - a_{st}^* = 32 - 34 = -2$$

$$\Delta b^* = b_{vz}^* - b_{st}^* = 30 - 35 = -5$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} = \sqrt{(4)^2 + (-2)^2 + (-5)^2} = \sqrt{45} = 6,708204$$

$$C_{vz}^* = \sqrt{(a_{vz}^*)^2 + (b_{vz}^*)^2} = \sqrt{(32)^2 + (30)^2} = \sqrt{1924} = 43,863424$$

$$C_{st}^* = \sqrt{(a_{st}^*)^2 + (b_{st}^*)^2} = \sqrt{(34)^2 + (35)^2} = \sqrt{2381} = 48,795492$$

$$\Delta C^* = C_{vz}^* - C_{st}^* = -4,932067$$

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta C^*)^2 - (\Delta L^*)^2} = 2,162109 \quad h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad 0 - 360^\circ$$

$$\Delta H^* = 2\sqrt{C_1^* C_2^*} \sin(\Delta h^\circ / 2)$$

5. Vypočítejte hodnotu stupně bělosti  $W_{CIE}$  a nádech T (tint) pro vzorek s hodnotami.

$X=91,28$	$x_0=0,3138$	$x=?$
$Y=94,15$	$y_0=0,3310$	$y=?$
$Z=118,55$		

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} = \frac{91,28}{91,28 + 94,15 + 118,55} = \frac{91,28}{303,98} = 0,300283$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} = \frac{94,15}{91,28 + 94,15 + 118,55} = \frac{94,15}{303,98} = 0,309724$$

$$\begin{aligned} W_{CIE} &= Y + 800(x_0 - x) + 1700(y_0 - y) \\ &= 94,15 + 800(0,3138 - 0,300283) + 1700(0,3310 - 0,309724) \\ &= 104,9636 + 36,1692 = 141,1328 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{CIE} &= 900(x_0 - x) - 650(y_0 - y) \\ T_{CIE} &= -1,6638 \end{aligned}$$

6. Vypočítejte, jaký je rozdíl mezi hodnotami Kubelka-Munkovy funkce pro standard a vzorek.

$$R_{st}(\%) = 17 \quad K / S_{st} = ?$$

$$R_{vz}(\%) = 15 \quad K / S_{vz} = ?$$

$$\Delta K / S = ?$$

$$K/S_{st} = \frac{(1 - \beta)^2}{2\beta} = \frac{(1 - 0,17)^2}{2 \times 0,17} = \frac{0,6889}{0,34} = 2,026176$$

$$K/S_{vz} = \frac{(1 - \beta)^2}{2\beta} = \frac{(1 - 0,15)^2}{2 \times 0,15} = \frac{0,7225}{0,30} = 2,408333$$

$$\Delta K/S = K/S_{vz} - K/S_{st} = 0,382157$$

7. Vypočítejte hodnotu excitační čistoty  $p_E$  pro odstín se souřadnicemi uvedenými v tabulce společně se souřadnicemi bodu nepestrosti a odpovídající nejčistší barvy.

Vzorek	$x = 0,3817$	$y = 0,3905$
Nejčistší barva $F_1$	$x_{F1} = 0,5$	$y_{F1} = 0,5$
Bod nepestrosti W	$x_0 = 0,3138$	$y_0 = 0,3310$

$$p_{Ey} = \frac{y - y_0}{y_{F1} - y_0} \quad p_{Ex} = \frac{x - x_0}{x_{F1} - x_0}$$

$$p_E(y) = \frac{0,0595}{0,169} = 0,352071$$

$$p_E(x) = \frac{0,0679}{0,1862} = 0,364662$$

8. Vypočítejte maximální vlnovou délku  $\lambda_{\max}$  (nm) maxima spektrální hustoty vyzařování absolutně černého tělesa při teplotě 7000 °C z Wienova posunovacího zákona, jestliže platí.

$$t = 7000 \text{ °C} \quad \lambda_m = ? \text{ (nm)}$$

Wienova konstanta  $b = 0,002896 \text{ mK}$   
 $\text{°C} \rightarrow \text{K} = +273,15$

$$0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$$

$$0 \text{ °C} = 273,15 \text{ K}$$

$$\lambda_m = \frac{b(\text{mK})}{T(\text{K})} = \frac{0,002896}{7273,15} = 3,981769 \cdot 10^{-7} \Rightarrow 398,1769 \text{ nm} \cong \mathbf{399 \text{ nm}}$$

## Příklady k domácí přípravě

1. Vypočítejte  $\Delta E^*$ ,  $\Delta H^*$  a  $\Delta C^*$ , pro následující hodnoty.

$L_{st}^* = 45,18$	$L_{vz}^* = 43,07$	$\Delta E^* = 2,12$
$a_{st}^* = 71,06$	$a_{vz}^* = 71,02$	$\Delta H^* = 0,24$
$b_{st}^* = -8,34$	$b_{vz}^* = -8,58$	$\Delta C^* = -0,01$

2. Vypočítejte, souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$ .

$X = 7$	$X_0 = 95,04$	$x_0 = 0,31272$	$x = 0,28$	$L^* = 45,63$	$L^* = 45,63$
$Y = 15$	$Y_0 = 100$	$y_0 = 0,32903$	$y = 0,6$	$a^* = -56,08$	$u^* = -48,44$
$Z = 3$	$Z_0 = 108,88$		$z = 0,12$	$b^* = 45,86$	$v^* = 54,48$

3. Vypočítejte  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  pomocí hodnot  $L^*a^*b^*$ . Z těchto hodnot rovněž vypočtete  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

$L^* = 50,19$	$X_0 = 94,81$	$X = 12,20$	$x = 0,1803$
$a^* = -32,85$	$Y_0 = 100$	$Y = 18,58$	$y = 0,2745$
$b^* = -25,98$	$Z_0 = 107,32$	$Z = 36,89$	$z = 0,5451$

4. Vypočítejte hodnotu indexu zažloutnutí podle ASTM E 313 pro osvětlení C/10°.

$X = 35,28$	$C_X = 1,2871$	$YI_{E313} = 3,59$
$Y = 48,15$	$C_Z = 1,0781$	
$Z = 40,53$	$x_0 = 0,31039$	$y_0 = 0,31905$

5. Vypočítejte souřadnice  $L^*a^*b^*$  kolorimetrické soustavy CIELAB a vypočtete celkovou barevnou odchylku pro následující hodnoty.

$X = 53,22$	$X_0 = 94,81$	$L_{st}^* = 87,50$	$L_{vz}^* = 91,67$	$\Delta E^* = 4,28$
$Y = 79,97$	$Y_0 = 100$	$a_{st}^* = -52,57$	$a_{vz}^* = -51,65$	
$Z = 13,32$	$Z_0 = 107,32$	$b_{st}^* = 86,10$	$b_{vz}^* = 85,87$	

6. Vypočítejte, jaký je rozdíl mezi hodnotami Kubelka-Munkovy funkce pro standard a vzorek.

$$\begin{aligned} R_{st}(\%) &= 4,2 & K \frac{1}{S_{ST}} &= 10,92 \\ R_{vz}(\%) &= 2,5 & K / S_{VZ} &= 19,01 \end{aligned}$$

$$\Delta K / S = -8,83$$

7. Vypočítejte maximální vlnovou délku  $\lambda_{max}$  (nm) maxima spektrální hustoty vyzařování absolutně černého tělesa při teplotě 6500 K z Wienova posunovacího zákona, jestliže platí.

$$\lambda_m = \frac{b(\text{mK})}{T(\text{K})} = 4,45538 * 10^{-7} \Rightarrow 445,538 \text{ nm} \cong 446 \text{ nm}$$

8. Vypočítejte hodnotu excitační čistoty  $p_E$  pro odstín se souřadnicemi uvedenými v tabulce společně se souřadnicemi bodu nepestrosti a odpovídající nejčistší barvy.

Vzorek	$x = 0,2287$	$y = 0,2525$
Nejčistší barva $F_1$	$x_{F_1} = 0,5$	$y_{F_1} = 0,5$
Bod nepestrosti W	$x_0 = 0,3138$	$y_0 = 0,3310$
Excitační čistota $p_E$	$p_E(x) = 0,457$	$p_E(y) = 0,464$

**Zdroje:**

**SKRIPTA:**

Vik, M. Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi. VÚTS, Liberec, 2015.

**PŘEDNÁŠKY:**

5ZKO Osvětlení

6ZKO Kolorimetrické soustavy

8ZKO Indexy a odstínové třídění

11ZKO Koloranty a receptování



