

## **VYUŽITÍ INTEGRAČNÍ KOULE V KOLORIMETRICKÝCH MĚŘENÍCH**

### **The Use of Integrating Sphere in Colorimetric Measurements**

**Ing. Karolina Macúchová**

*Abstrakt:* Zobrazování a měření barvy je předmětem zájmu mnoha oborů. Barva tvoří spolu se strukturou materiálu jednu z charakteristik pro další posuzování a hodnocení zkoumaného materiálu. Přístrojová podpora kolorimetrických měření má za cíl zefektivnit měření samotné s ohledem na spolehlivost, kvalitu a opakovatelnost naměřených dat. Integrační koule použitá v konstrukci přístroje pro kolorimetrická měření je prvkem, který tyto požadavky pomáhá zajistit. Její užitečnost je demonstrována na příkladu konstrukce speciálního přístroje, který byl navržen pro použití v kriminalistických laboratořích, pro kombinované vyšetření forenzních mikrostop.

*Key words:* integrační koule, kolorimetrie, mikrostopy, spektroskopie, zobrazování.

#### **1. Úvod**

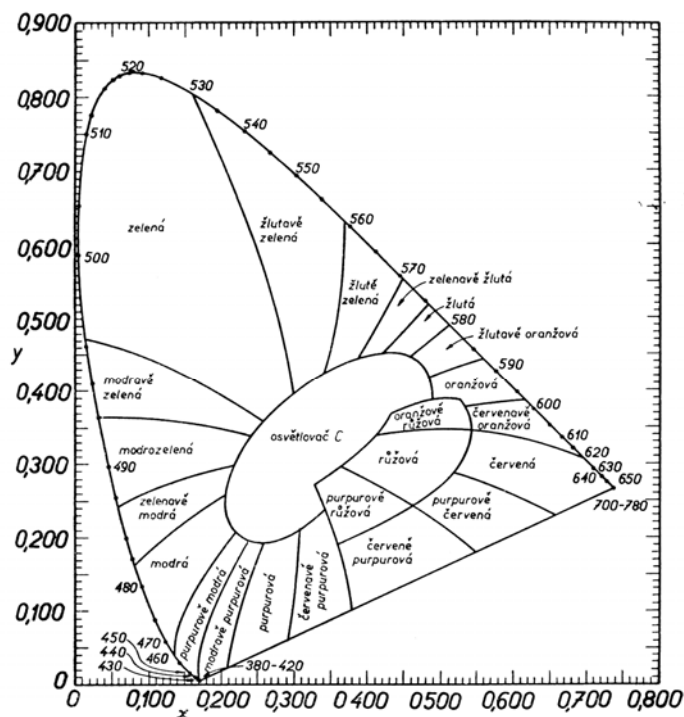
Měření barvy je jedna z vyšetřovacích metod, kterými se zkoumají vlastnosti látek. Nachází uplatnění při porovnávání a identifikaci látek nejen v průmyslu. Nejpřesnější dostupnou informaci o barvě získáme spektroskopickým měřením. Důležitými aspekty měření je nedestruktivnost, spolehlivost, přesnost a odolnost vůči subjektivitě. Tyto požadavky se přenášejí následně i na přístroj, který kolorimetrické měření zajišťuje. V případě, že je povrch zkoumané látky malý, nebo lesklý, vnáší se do výsledků nepřesnosti způsobené nejen vlivem okolního prostředí a podkladu. Další nepřesnosti jsou dané úhlem, pod kterým se osvětluje/pozoruje. Z tohoto důvodu je výhodné homogenizovat získávaná kolorimetrická data jejich integrací.

#### **2. Měření barvy a barevné prostory**

Teorie barev nabízí několik abstraktních matematických modelů, kterými lze barvu popsat. Úskalí těchto systémů spočívá v nepřesnosti převodních algoritmů i systémů samotných. Na rozdíl od spektrální křivky popisují barevné modely jen viditelnou část spektra a to ještě jen jeho výseč, takzvaný gamut. Barevný prostor CIE, jeden z prvních matematicky popsaných barevných prostorů, popisuje barvu zavedením parametrů Y (jas) a x, y (dva odvozené parametry).

Gamut RGB, tedy barevný prostor popsateľný tímto barevným systémem, je menší než gamut, který rozezná lidské oko, proto také neexistuje RGB ekvivalent pro všechny kombinace pigmentů tvořící barevné vzorníky. Jde však o důležitou pomůcku při porovnávání barev vzorku s co největším počtem popsanych barev.

Dalších matematicky popsanych barevných prostorů je mnoho, mezi nimi je i Munsellův (využívající odstín, jas, a chroma) barevný prostor, nebo prostory odvozené z CIE – CIE Lab, CIE Luv. Modely HSI, HSL, HSV se vztahují primárně k prostoru RGB. Jejich popis je bližší vnímání lidského oka a zároveň jsou stále matematicky popsateľné. CMYK je subtraktivní barevný model založený na čtyřech barvách, který se používá při barevném tisku.



Obr. 7.17. Křivka spektrálních barev.

Obr. 1 – CIE gamut, zdroj [6]

### 3. Integrační koule

Integrační koule (neboli Ulbrichova) je komponenta optického rázu využívaná ve fotometrických a radiometrických měřeních a k zajištění rovnoměrného osvětlení. Princip je založen na vnitřní dutině, pokryté vysoce difúzním materiálem s Lambertovým povrchem. Podle rozsahu vlnových délek, ve kterém se integrační koule bude používat, se volí materiál



Obr.2 – Integrační koule

vnitřní plochy koule. Základem nejčastěji bývá síran barnatý  $\text{BaSO}_4$  (pro použití od UV do IR oblasti), polytetrafluorethylen  $\text{PTFE}$ , nebo zlato (pro použití v IR oblasti). Tyto materiály dosahují běžně 94–98% odrazivosti. Jinými klasickými materiály jsou oxid titaničitý, oxid hořečnatý, sulfid zinečnatý, sulfid antimonitý, jejichž odrazivost dosahuje okolo 38–47 %.

Integrační koule se používá jako světelný kolektor. Umožňuje rozptýlit vstupní světelný tok a ten pak integrovat na plochu detektoru. Do koule je přiváděn aperturním otvorem světelný tok různých vlnových délek (podle aplikace) od infračerveného světla po ultrafialové a nebo laserové záření. Z tvaru plochy a z výpočtů je vidno, že světelný paprsek se několikanásobně odrazí, než dospěje

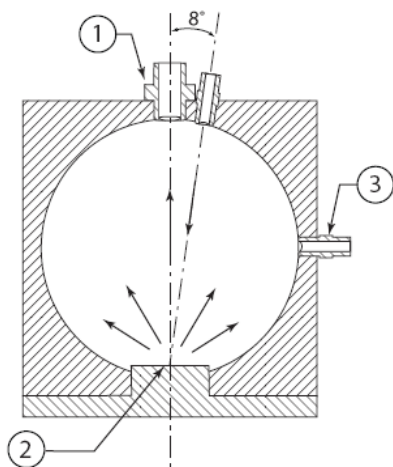
k detektoru. Tak je zajištěno rovnoměrné rozložení osvětlení v celém objemu dutiny. Vlivy způsobené původním směrem (směrností) a polarizací vstupujících paprsků jsou potlačeny. Pokud se vyžaduje rovnoměrné osvětlení difúzně rozptýleným odraženým světlem z lesklého povrchu, je nutné zabránit přímému osvětlení vzorku vstupním svazkem. Pro tyto účely se používá bariér kolem vzorku (tzv. light trap).

Porovnávání kolorimetrických měření je usnadněno zavedeným obecným standardem CIE 2004a, který definuje geometrické podmínky zavedenými symboly, jako např.  $8^\circ:d$ , kde  $d$  je symbol použití integrační koule a číslo značí úhel osvětlení či pozorování.

#### 4. Forenzní kolorimetr

Forenzní kolorimetr je zařízení vyvinuté speciálně pro kriminalistické laboratoře. Vyšetřovanými vzorky jsou mikrostopy, mezi které se řadí textilní barvená vlákna, trichologický materiál (vlasy, chlupy), šupinky barev, laků, a další stopy nepatrných geometrických rozměrů, malé hmotnosti nebo nízké koncentrace v nebo na nositeli.

Kolorimetrické měření mikrostop má význam v kvalitativní a kvantitativním srovnání materiálů zajištěných z různých míst. Vzorovým příkladem může být zjištění a porovnání úlomku laku z karoserie automobilu: úlomek nalezený na oděvu či v ráně sražené osoby se porovná se vzorkem laku ze zajištěného automobilu. Potvrzená shoda se pak stává jedním z důkazních pramenů policejního vyšetřování. Úlomek laku je navíc lesklý a nemusí být homogenní – což je ideální případ pro použití integrační koule.



Obr. 3- schéma kolorimetru

Navržený kolorimetr využívá pro fotorecepci digitálního spektrálního spektrofotometru (pozice 3 na obr. 3). Kolorimetrické údaje pro převod do barevných systémů získáváme spektrofotometrem při osvětlení viditelným bílým světlem, což je jen jedna z možných aplikací. Pro jiné druhy vzorků, než jsou fragmenty barevných povrchů, jsou z kriminalistického hlediska zpravidla vhodnější jiné typy osvětlení, které odhalí například přítomnost stop krve (ultrafialové záření). Údaje získané ve viditelném spektru a barevná měření v oblasti gamutu lidského oka jsou důležité pro subjektivní zpracování, jako například popis barvy oděvu, nástroje či auta.

Zdroj osvětlení (halogenová lampa) viz poz. 1 na obr. 3 – je skloněn pod úhlem  $8^\circ$  (symbol  $8^\circ:d$  dle CIE), kterážto konfigurace poskytuje nejvýhodnější podmínky pro integraci a odraz světelného signálu z vyšetřovaného materiálu a zároveň odpovídá standardu CIE 2004a.

Zkoumaný materiál se vsouvá zespodu integrační koule na klasickém laboratorním skříčku (poz. 2 na obr. 3) upevněném na posuvném stolku, který dovoluje vzorkem pohybovat. Pro přímé vizuální makroskopické pozorování slouží zobrazovací soustava (na poz. 1 na obr. 3), která promítá obraz na CCD nebo CMOS čip. Vizuální pozorování je

doplňková vyšetřovací metoda, která však významně rozšiřuje možnosti interpretace spektroskopických dat.

## **5. Závěr**

Použití integrační koule je příslibem významných vylepšení vzájemného porovnávání dat z kolorimetrických měření. Kalibrace přístroje se provádí odraznými kalibračními standardy, které mají certifikované hodnoty odraznosti. Při dodržení podmínek normy CIE 2004a na konstrukční rozvržení systému, správné kalibraci a uvážení parametrů všech komponent zařízení (např. odrazivosti vnitřní plochy integrační koule) dokážeme naměřit data, která lze navzájem spolehlivě porovnávat. Přičemž vyhodnocení dat kolorimetru můžeme provádět přímým porovnáním naměřených spekter z kolorimetru, nebo můžeme data převést do některého z matematicky popsaných prostorů a porovnávat je numerickými metodami.

## **Poděkování**

Tento výzkumný konstrukční projekt je realizován ve spolupráci s firmou Laboratory Imaging, s.r.o.

## **Literatura**

- [1] prof. Fuka J., prof. Dr. Havelka B.: Optika a atomová fyzika: I. Optika, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1961
- [2] Ohta N., Robertson A. R.: Colorimetry: Fundamentals and Application, John Wiley & Sons, Ltd. 2005 Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1961
- [3] SphereOptics: Integrating Sphere Design and Application, technická firemní publikace, SphereOptics LLC 2007, dostupné na: <http://www.sphereoptics.com/assets/sphere-optic-pdf/sphere-technical-guide.pdf>
- [4] Federal Bureau of Investigation: Forensic Paint Analysis and Comparison Guidelines, Forensic Science Communications, Vol. 1, Number 2, červenec 1999, dostupné na <http://www.fbi.gov/hq/lab/fsc/backissu/july1999/painta.htm>
- [5] Goodpaster JV, Liszewski EA: Forensic analysis of dyed fibers, Anal Bioanal Chem (2009) 394:2009–2018
- [6] Havelka B.: Geometrická optika II.díl, Nakladatelství československé Akademie věd, Praha 1956