

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Porovnanie výsledkov kolorimetrických meraní na spektrofotometroch
dostupných na KPF

Diplomová práca

2020

Michal Šoka

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 1.7.2020

Michal Šoka

Týmto by som chcel poďakovať svojmu vedúcemu práce Ing. Ondrej Panák, Ph.D. za jeho čas a praktické rady pri vypracovaní tejto diplomovej práce.

Diplomová práca vznikla za podpory projektu Modernizácia praktickej výuky a skvalitnenie praktických schopností v technicky zamarených študijných programoch, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačného programu Výskum, vývoj a vzdelávanie. Tento projekt je spolufinancovaný Európskou úniou.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



ANOTÁCIA

Teoretická časť diplomovej práce je zameraná na popis geometrií spektrofotometra, princíp fungovania spektrofotometra a taktiež kalibráciu spektrofotometra. Ďalej sa tu popisuje časť kolorimetrie, ktorá súvisí s kolorimetrickým meraním v tejto diplomovej práci, nezávislý farebný priestor CIE LAB, vypočítanie farebnej odchýlky ΔE a jej rôznych modifikácií. Hlavným zameraním je analýza dosiahnutých výsledkov kolorimetrických meraní a následne zistenie medziprístrojovej zhody medzi jednotlivými spektrofotometrami dostupnými na Katedre polygrafie a fotofyziky. V experimentálnej časti je popísaný pracovný postup prípravy testovacieho obrazca pre meranie a následne vyhodnotenie získaných výsledkov merania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

medziprístrojová zhoda, CIE LAB, farbová odchýlka

TITLE

Comparison of colorimetric results achieved by spectrophotometers available on DGAP

ANNOTATION

Theoretical part of this master thesis is focused on spectrophotometer measuring geometries, principle and calibration of spectrophotometers. Furthermore, colorimetry related to colorimetric measurements within the master thesis, independent CIE LAB color space, computing of the deviation ΔE and its modifications, is mentioned. The main focus is on analysis of achieved colorimetric results and thereafter investigation inter-instrument and intra-instrument agreement between spectrophotometers available on the Department of graphic Arts and Photophysics. Experimental part of the master thesis deals with step-by-step method on how to prepare testing pattern and evaluation of the achieved results.

KEYWORDS

inter-instrument agreement, intra-instrument agreement, CIELAB, color difference

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV	10
ZOZNAM TABULIEK	11
ZOZNAM GRAFOV	13
ÚVOD.....	14
TEORETICKÁ ČASŤ	15
1.1 Spektrofotometer	15
1.2 Typy spektrofotometrov	15
1.3 Geometria merania spektrofotometrov	15
1.4 Princíp fungovania spektrofotometra.....	18
1.5 Nastavenie spektrofotometra pred meraním	19
1.6 Kolorimetria.....	19
1.7 Trichromatické členiteľa pre 2° pozorovateľa	19
1.8 Trichromatické členiteľa pre 10° pozorovateľa	20
1.9 Priestor farieb	22
1.10 Nezávislý priestor farieb CIE LAB	22
1.11 Farbová odchýlka ΔE	24
1.12 Neuniformita priestoru farieb CIE LAB	24
1.13 Zhodnosť výsledkov merania medzi rôznymi spektrofotometrami.....	27
1.14 Módy merania	33
1.15 ISO 15790 – Certifikované referenčné materiály	34
1.16 Výpočet kombinovanej štandardnej neistoty CIE LAB - C^*_{ab}	37
1.17 Koeficienty citlivosti kde ich funkcia nie je známa.....	38
EXPERIMENTÁLNA ČASŤ.....	39
2.1 Prístroje.....	39
2.2 Pracovný postup.....	43
2.3 Kolorimetrické meranie vytlačeného testovacieho obrazcu	45
2.4 Výpočet farbovej odchýlky z dosiahnutých kolorimetrických výsledkov pomocou jednotlivých spektrofotometrov	46
2.5 Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody	47
2.6 Vyhodnotenie zhody medzi tými istými spektrofotometrami	47
2.7 Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody (rôzne modely spektrofotometrov).....	55

ZÁVER	63
POUŽITÁ LITERATÚRA	64
PRÍLOHY	66

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 – Grafické znázornenie CIE geometrických usporiadaní merania.....	16
Obrázok 2 – Geometria merania $45^{\circ}/0^{\circ}$	17
Obrázok 3 – Geometria merania $d/8^{\circ}$ SPEX	18
Obrázok 4 – Experiment z ktorého vychádzala CIE v roku 1931	20
Obrázok 5 – Trichromatické členiteľa pre 2° pozorovateľa.....	20
Obrázok 6 – Trichromatické členiteľa pre 2° a 10° pozorovateľa	21
Obrázok 7 – Grafické znázornenie os priestoru farieb CIE LAB.....	23
Obrázok 8 – Grafické znázornenie priestoru farieb CIE LAB	24
Obrázok 9 – Zrkadlový odraz (zdroj a pozorovateľ)	32
Obrázok 10 – Spektrofotometer Konica Minolta FD-5	39
Obrázok 11 – Spektrofotometer X-Rite eXact Advanced	39
Obrázok 12 – Spektrofotometer X-Rite i1Pro	40
Obrázok 13 – Spektrofotometer X-Rite i1Pro2	40
Obrázok 14 – Digitalný tlačový stroj KM	41
Obrázok 15 – Easymount laminátor 1400H	42
Obrázok 16 – Testovací obrazec.....	44

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 – Podmienky merania (teplota a vlhkosť).....	30
Tabuľka 2 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (1. meranie)	51
Tabuľka 3 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (1. meranie)	51
Tabuľka 4 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (1. meranie).....	51
Tabuľka 5 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie).....	51
Tabuľka 6 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (2.meranie)	54
Tabuľka 7 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (2. meranie)	54
Tabuľka 8 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (2. meranie).....	55
Tabuľka 9 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom	55
Tabuľka 10 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na substráte bez OBA (1. meranie).....	58
Tabuľka 11 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA (1. meranie).....	58
Tabuľka 12 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na matnom substráte s OBA (1. meranie).....	58
Tabuľka 13 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie).....	58
Tabuľka 14 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na substráte bez OBA (2. meranie).....	61
Tabuľka 15 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA (2.meranie).....	61
Tabuľka 16 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na matnom substráte s OBA (2. meranie).....	62

Tabuľka 17 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie).....	62
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (1. meranie).....	49
Graf 2 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (1. meranie).....	49
Graf 3 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (1. meranie).....	50
Graf 4 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie).....	50
Graf 5 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (2. meranie).....	52
Graf 6 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (2. meranie).....	53
Graf 7 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (2. meranie).....	53
Graf 8 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie).....	54
Graf 9 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na substráte bez OBA (1. meranie).....	56
Graf 10 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA (1. meranie).....	56
Graf 11 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na matnom substráte s OBA (1. meranie).....	57
Graf 12 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie).....	57
Graf 13 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na substráte bez OBA (2. meranie).....	59
Graf 14 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA (2. meranie).....	60
Graf 15 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na matnom substráte s OBA (2. meranie).....	60
Graf 16 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie).....	61

ÚVOD

Diplomová práca v teoretickej časti popisuje všeobecný princíp spektrofotometra a taktiež popisuje jednotlivé spektrofotometre (X-Rite eXact, i1Pro, i1Pro2 a Konica Minolta FD-5) dostupné na katedre Polygrafie a fotofyziky (KPF). Stručne je tu popísaná norma ISO 13655 a ISO 3664. V teoretickej časti je aj popísaný problém kolorimetrického rozdielu resp. medziprístrojová zhoda, ktorá vzniká pri použití spektrofotometrov od toho istého alebo rozdielneho výrobcu.

V experimentálnej časti sú porovnávané výsledky z kolorimetrických meraní medzi jednotlivými spektrofotometrami, ktoré sú dostupné na KPF. Tieto výsledky sú následne spracované pomocou štatistickej analýzy. V tejto časti je venovaná pozornosť hlavne na kolorimetrické rozdiely medzi jednotlivými spektrofotometrami. Koniec diplomovej práce je venovaný diskusií o získaných výsledkoch merania a záver.

1 TEORETICKÁ ČASŤ

1.1 Spektrofotometer

Spektrofotometer je prístroj, ktorý je možné využiť pre meranie farieb [1]. Pomocou spektrofotometru je možné zmerať spektrum odrazivosti v rozsahu viditeľného elektromagnetického žiarenia resp. je možné rozdeliť biele polychromatické svetlo na pásy vlnových dĺžok. Šírku týchto pásov môžeme meniť zmenou štrbiny a rozlíšenia senzorov. Najčastejšie sa používajú lineárne senzory, zložené z minimálne 16, ale najčastejšie 32 a viac fotodiód. Alternatívou sú aj lineárne senzory založené na CCD, CMOS snímačoch, kde počet fotoelementov je až niekoľko tisíc, ale na reálne rozlíšenie má vplyv aj účinnosť monochromátoru. Získané spektrálne informácie sa môžu použiť pre dopočítanie farby. Vo všeobecnosti sa spektrofotometer používa vlastníckmi značiek a dizajnérmi k špecifikácií a vyjadreniu farby. Tlačiarne ju používajú k monitorovaniu presnosti farebnej reprodukcie, počas tlače. Spektrofotometer by mal byť schopný zmerať danú farbu na rôznych materiáloch ako napríklad:., plasty, papiere, kovy a textil.

1.2 Typy spektrofotometrov

Na základe bežne dostupných komerčných spektrofotometrov od majoritných dodávateľov ako napríklad X-Rite, Konica Minolta, Hunterlab, Datacolor, Techkon atď., poznáme 2 typy spektrofotometrov:

- Ručné (prenosné)
- Stolové

1.3 Geometria merania spektrofotometrov

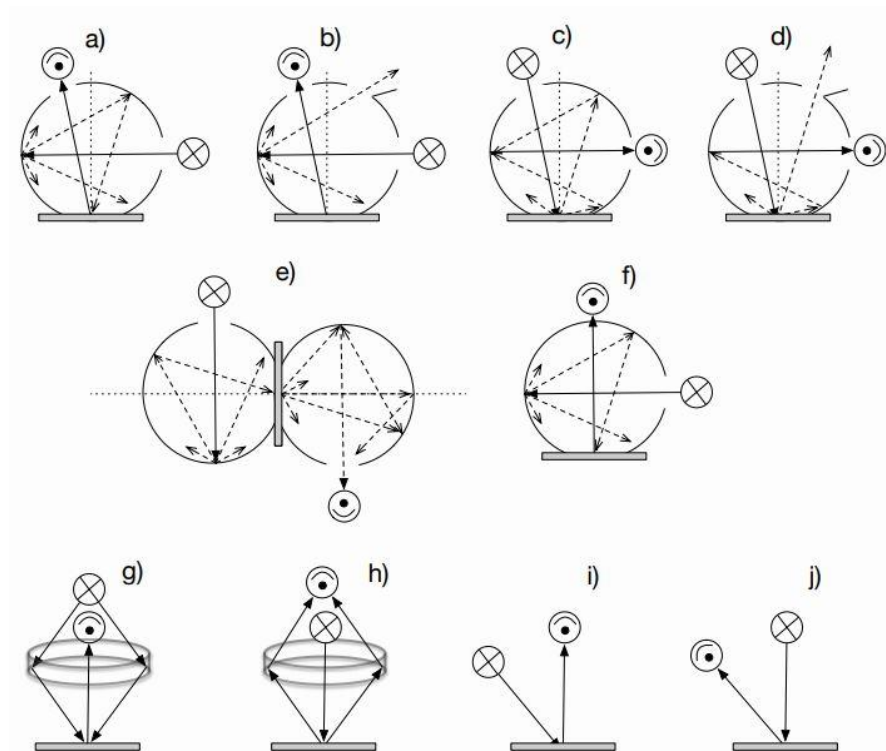
Pri meraní odrazivosti lúčov svetla v kolorimetrií rozpoznávame dva typy odrazov, ktoré sú pre farebné povrchy reprezentatívne [1]. Spektrálny rozptylný odraz a celkový spektrálny odraz, ktorý zahŕňa zrkadlový aj rozptylný odraz. Na základe týchto odrazov rozpoznávame meranie činiteľov spektrálneho odrazu:

- Rozptylný činiteľ spektrálneho odrazu (bez zrkadlovej zložky odrazu)
- Celkový činiteľ spektrálneho odrazu (vrátane zrkadlovej zložky odrazu)

Spektrálna odrazivosť určujeme ako pomer odrazeného svetla (I_λ) a dopadnutého svetla ($I_{0\lambda}$) [1].

$$\rho_\lambda = \frac{I_\lambda}{I_{0\lambda}} \quad (1)$$

Na základe tejto skutočnosti, CIE norma 15:2018 [2] odporúča, aby kolorimetrické meranie nepriehľadných vzoriek prebiehalo podľa podmienok pozorovania a merania uvedené v obrázku 1.



Obrázok 1 – Grafické znázornenie CIE geometrických usporiadaní merania [1]

- Difúzna geometria k ôsmym stupňom (di:8°), zrkadlová zložka je zahrnutá.
- Difúzna geometria k ôsmym stupňom (de:8°), zrkadlová zložka nie je zahrnutá.
- Geometria ôsmych stupňov k difúznej geometrií (8°:di), zrkadlová zložka je zahrnutá.
- Geometria ôsmych stupňov k difúznej geometrií (8°:de), zrkadlová zložka nie je zahrnutá.
- Difúzna geometria k difúznej (d:d).

- f) Alternatívna difúzna geometria ($d:0^\circ$).
- g) Kruhový osvit na 45° ku snímaniu na normále (45° a 0°).
- h) Osvit na normále k snímaniu v kruhu na 45° ($0^\circ:45^\circ$ a).
- i) Priamy osvit na 45° ku snímaniu na normále (45° x: 0°).
- j) Osvit na normále k priamemu snímaniu na 45° ($0^\circ:45^\circ$ x).

V rámci polygrafie sa najčastejšie používajú tieto geometrie merania:

$0^\circ/45^\circ$, $45^\circ/0^\circ$

Bežne používaná geometria merania v polygrafii pre ofsetovú tlač je podľa ISO 12647-2 [3] geometria $0^\circ/45^\circ$ a $45^\circ/0^\circ$ pri ktorej spektrofotometer meria svetlo odrazené od objektu pri fixnom uhle 45° k objektu na ktoré dopadá svetlo pri uhle 0° alebo sa meria svetlo odrazené od objektu pri 0° na ktorý dopadlo svetlo pod uhlom 45° . Táto geometria merania sa využíva najmä pri meraní na hladkom (matnom) povrchu.



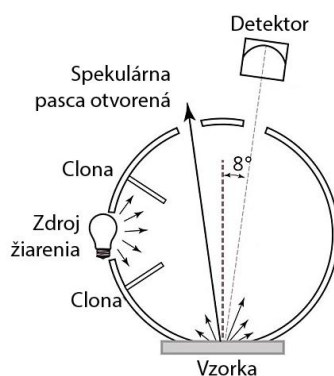
Obrázok 2 – Geometria merania $45^\circ/0^\circ$

$d/8^\circ$, $8^\circ/d$

Pri geometrií merania $d/8^\circ$ sa meria rozptýlene svetlo pod uhlom 8° , ktoré bolo difúzne rozptýlene pomocou Ulbrichtovej gule alebo geometria merania $8^\circ/d$ kde sa osvetľuje objekt pod uhlom 8° a svetlo sa zaznamenáva z rozptýleného žiarenia [4]. Tento typ geometrie sa vo všeobecnosti používa pre meranie na nepravidelnom, drsnom povrchu. Vnútro Ulbrichtovej gule je pokrytý bielou farbou, ktorá odráža svetlo vo viditeľnej oblasti žiarenia. Pri tejto geometrii merania sa môžu používať 2 varianty spôsobu merania:

1. **Sphere-based Specular Excluded (SPEX)** – s pascou priameho odrazu, zrkadlový odraz vylúčený pomocou čiernej plôšky na vnútornom povrchu gule, ktorý absorbuje svetlo ktoré dopadá pod uhlom odrazu alebo sa tam nachádza otvor, ktorým jednoducho uniká zrkadlový odraz svetla.

2. **Sphere-based Specular Included (SPINC)** – bez pasce priameho odrazu zrkadlový odraz je zahrnutý.



Obrázok 3 – Geometria merania $d/8^\circ$ SPEX

Využitie bežne používanej geometrie merania by sa mohlo riadiť podľa nasledujúceho odporúčania [3]:

Geometriu merania $0^\circ/45^\circ$, $45^\circ/0^\circ$ je vhodné použiť pre meranie na matných a lesklých povrchoch vzoriek, ale mali by mať čo najrovnejší povrch.

Je vhodné porovnávať farbu iba na tom istom materiáli resp. je vhodné si vybrať povrch a potom porovnávať dopočítane výsledky merania farieb toho istého typu povrchu.

Geometria merania spomenuté vyššie je možné použiť aj pre ohodnotenie farby, ktorá bola vypočítaná v prístroji na základe nameraného spektra odrazivosti.

1.4 Princíp fungovania spektrofotometra

Svetlo, ktoré sa odrazí od meraného vzorku dopadne na difrakčnú mriežku (monochromátor) kde sa následne svetlo rozkladá podľa vlnových dĺžok v rozsahu viditeľného žiarenia [1]. Svetlo vychádza z monochromátoru pre každú vlnovú dĺžku pod rôznych uhlom a potom môže dopadať na riadkový fotodetektor resp. na usporiadané pole fotodiód a každá fotodióda zaznamenáva určitý rozsah vlnových dĺžok. Zvyčajne je to 5-10 nm.

1.5 Nastavenie spektrofotometra pred meraním

Prístroj je vhodné si pred meraním nastaviť a je vhodné si prístroj nastaviť podľa určitej normy, kde je možné potlačený papier priradiť k najlepšie odpovedajúcemu štandardnému materiálu.

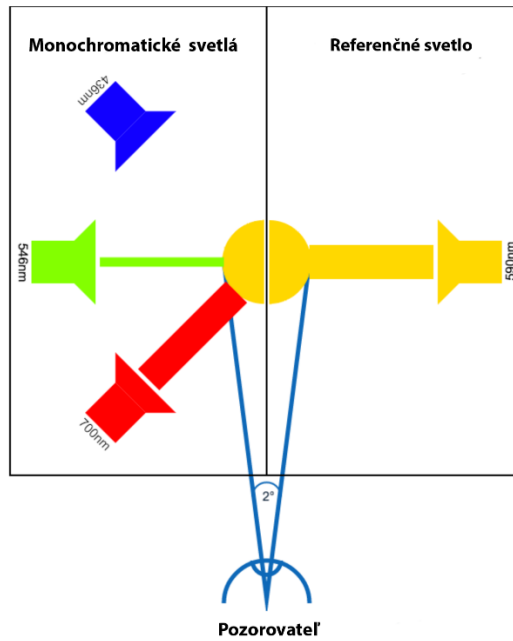
Podľa normy ISO 12467-2 a ISO 13655 [3,5] je vhodné použiť štandardný zdroj osvetlenia D_{50} (osvetlenie odpovedajúce dennému svetlu s teplotou chromatickosti 5000 K, absolútne čierneho telesa), 2° pozorovateľ, meraní vzorku je vhodné podložiť čiernou alebo bielou podložkou a taktiež je vhodné použiť geometriu merania 0:45 alebo 45:0. Ešte pred samotným meraním pomocou spektrofotometru je potrebná kalibrácia na kalibračný biely štandard.

1.6 Kolorimetria

Kolorimetria je veda zaoberajúca sa objektívnym popisom farby [4]. Kolorimetria sa v podstate snaží vytvoriť náhradu subjektívneho vnímania farieb ako napríklad: svetlozelená, tmavomodrá, svetlozelená a zlatá farba objektívnym číselným popisom. Na to aby sme vôbec mohli simulovať videnie zdravého ľudského oka je potrebné štandardizovať a to konkrétne definovať pozorovateľa.

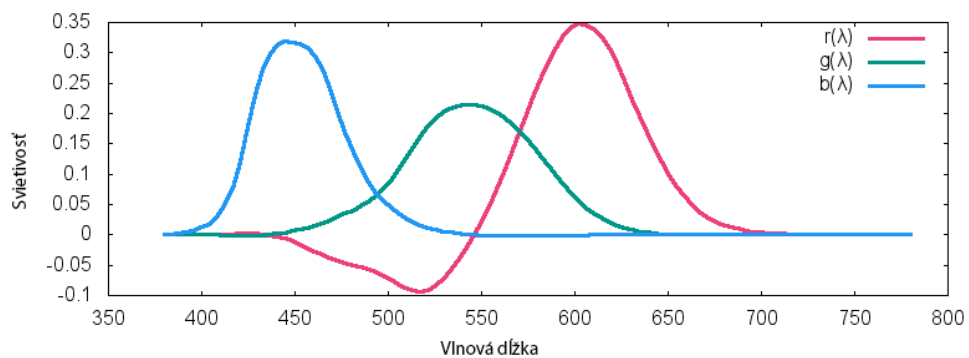
1.7 Trichromatické členiteľa pre 2° pozorovateľa

Bol stanovený štandardný pozorovateľ, kde farebné videnie je popísané štatistickým priemerom trichromatických členiteľov 17 pozorovateľov u ktorých sa predpokladala bezchybná farebná citlivosť [4]. Úlohou, osôb bolo aditívnym miešaním 3 monochromatických svetiel získať farbu odpovedajúcu farbe svetla vybranej vlnovej dĺžke. Pozorovateľ vlastne sledovala koliesko v 2° svojho vizuálneho poľa, kde sa predpokladá stimulovanie iba fotoreceptorov, ktoré sú zodpovedné za farebné videnie. Pozorovateľ videl žiarenie, ktoré bolo produkované monochromatórom o určitej vlnovej dĺžke na jednej polovici kruhu a pomocou úpravy 3 svetelných zdrojov mal upraviť intenzitu svetiel tak, aby získal medzi 2 polovicami kruhu farebnú zhodu.



Obrázok 4 – Experiment z ktorého vychádzala CIE v roku 1931

Na základe experimentu uvedeného vyššie sa považuje, že kolorimetria dostala určitý tvar v roku 1931, kedy Commission International de l'Eclairage (CIE) [6] stanovila tri spektrálne funkcie – trichromatické členiteľe $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, pre 2° štandardného pozorovateľa.



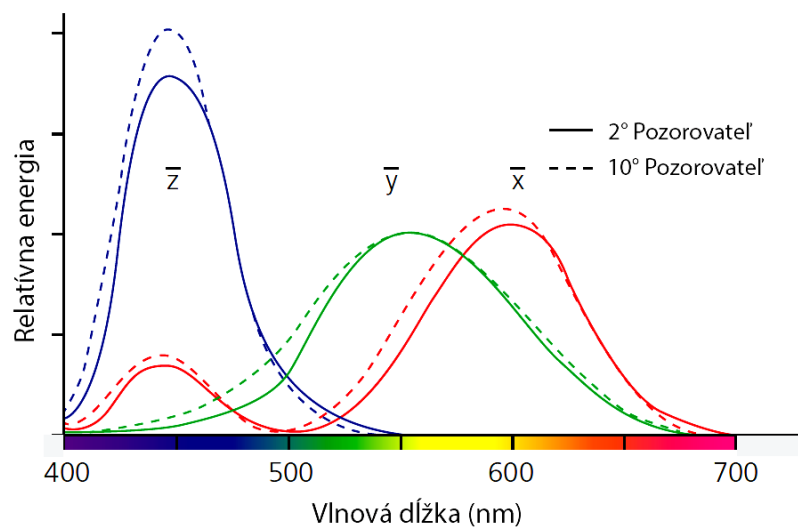
Obrázok 5 – Trichromatické členiteľe pre 2° pozorovateľa

1.8 Trichromatické členiteľe pre 10° pozorovateľa

V roku 1964 Commission International de l'Eclairage [7] definovala trichromatické členiteľe pre 10° štandardného pozorovateľa na základe psycho-fyzikálnych testov, ktoré vytvorili Páni Stiles, Burch a Speranskaya [8]. Pozorovateľia sledovali kruh, ale časť z neho (2° zorného

poľa) bola zakrytá a testované osoby mali zmeniť intenzitu troch monochromatických svetiel na jednej polovici kruhu aby dostali farbu na druhej polovici kruhu, ktoré bolo produkované monochromatickým žiarením o určitej vlnovej dĺžke. Získal sa tak set trichromatických členiteľov $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$, pre 10° štandardného pozorovateľa.

Trichromatické členitele $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ vykazujú záporné hodnoty a preto boli matematicky transformované na nezáporné trichromatické členitele $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ [4].



Obrázok 6 – Trichromatické členitele pre 2° a 10° pozorovateľa

Trichromatické členitele sú veľmi dôležité pre výpočet trichromatických hodnôt X, Y a Z, ktoré jednoznačne popisujú každú farbu. Trichromatické hodnoty X, Y a Z sa postupne vzťahujú k žiareniu v červenej, zelenej a modrej oblasti svetla a počítajú sa podľa nasledujúcich rovníc:

$$X = k \int M_e(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$Y = k \int M_e(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$Z = k \int M_e(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$$k = 100 \int M_e(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

Kde $M_e(\lambda)$ je spektrálna intenzita vyžarovania zdroja, $R(\lambda)$ je spektrálna odrazivosť, $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ sú trichromatické členiteľa a konštanta k zaisťuje aby hodnota Y bola pre absolútnu bielu rovná 100.

Z vypočítaných trichromatických hodnôt je možné sa dopracovať k súradniciam farby v priestore farieb, kde je následne možné zistiť farbovú odchýlku v jednotlivých meraniach.

1.9 Priestor farieb

Pre popis farieb sa veľmi často používa ich číselne vyjadrenie v súradnicovom systéme určitého farebného priestoru [4].

Ako príklad môže byť nezávislý priestor farieb CIE LAB.

1.10 Nezávislý priestor farieb CIE LAB

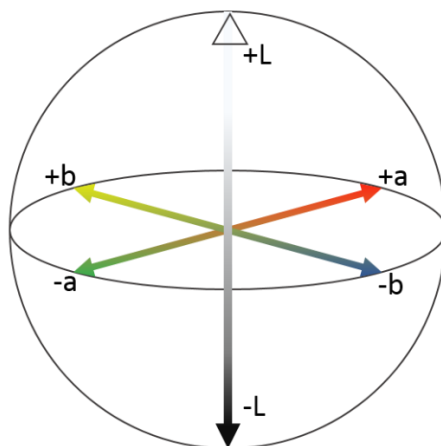
Pohľadom na ISO 12647-2 [3] je vhodné použiť priestor farieb CIE LAB ako najlepšiu možnosť pre porovnávanie vnímanej farbovej odchýlky (ΔE) medzi farbami na povrchoch rôznych materiáloch.

CIE L^*a^*b priestor farieb je nepravidelný a je charakterizovaný troma osami [4]:

L^* - merná svetlosť (achromatická osa), ktorá môže nadobúdať hodnôt 0-100

a^* - osa, ktorá vyjadruje odtieň medzi zelenou (-a) a červenou (+a) farbou

b^* - osa, ktorá vyjadruje odtieň medzi modrou (-b) a žltou (+a) farbou



Obrázok 7 – Grafické znázornenie os priestoru farieb CIE LAB

Jedna z možností, ako sa dopracovať k súradniciam farby v priestore farieb CIE LAB je prepočet z vypočítaných trichromatických hodnôt CIE XYZ, či už automaticky pomocou spektrofotometra alebo samostatným výpočtom v softvéri ako napríklad Microsoft Excel výpočtom podľa nasledujúcich rovníc [1]:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - 16 \text{ v prípade, že } \frac{Y}{Y_0} \geq 0.008856 \quad (6)$$

$$L^* = 903,3\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \text{ v prípade, že } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856 \quad (7)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} \right] \text{ v prípade, že } \frac{Y}{Y_0}, \frac{X}{X_0}, \frac{Z}{Z_0} \geq 0.008856 \quad (8)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3} \right] \text{ v prípade, že } \frac{Y}{Y_0}, \frac{X}{X_0}, \frac{Z}{Z_0} \geq 0.008856 \quad (9)$$

$\frac{Y}{Y_0}, \frac{X}{X_0}, \frac{Z}{Z_0}$ vo všeobecnosti Z resp. $Z^{1/3}$ je nahradený $7.787 F + 16/116$

v prípade, že $\frac{Y}{Y_0}, \frac{X}{X_0}, \frac{Z}{Z_0} \leq 0.008856$

X, Y, Z sú trichromatické hodnoty farby na povrchu materiálu.

X₀, Y₀, Z₀ sú trichromatické hodnoty bieleho bodu.

1.11 Farbová odchýlka ΔE

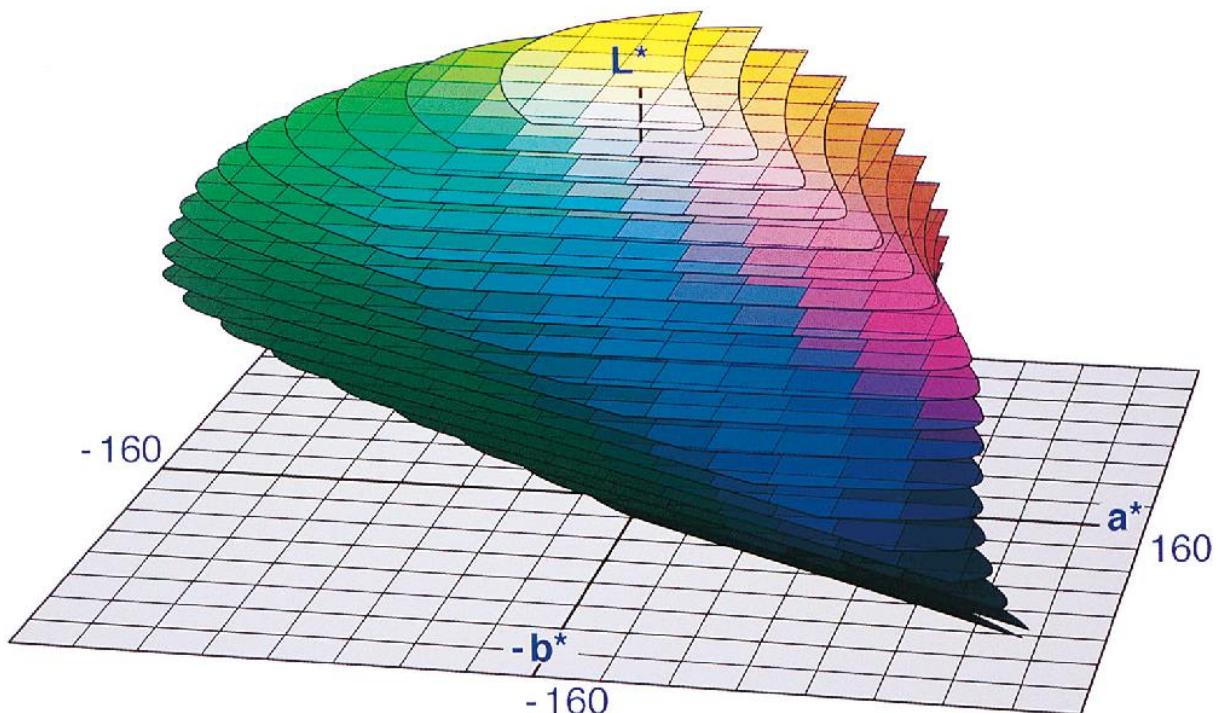
Ak by sme chceli vyjadriť rozdiel medzi 2 farbami resp. chceli zistiť do akej miery sa líši zamýšľaná farba od tej vytlačenej na povrchu materiálu bolo by to možné, číselne pomocou farbovej odchýlky ΔE_{ab} [4].

$$\Delta E_{ab}^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (10)$$

Z rovnice je možné vyčítať, že k farebnej odchýlke rovnomerne prispievajú rozdiely hodnôt vo všetkých súradniciach (merná svetlosť L^* , chromatické farebné súradnice a^* , b^*).

1.12 Neuniformita priestoru farieb CIE LAB

Problém je v tom, že priestor farieb CIE LAB je neuniformný [1]. Tak isto vnímaná odchýlka nie je v rôznych priestoroch tá istá a tým pádom popis rozdielu farieb pomocou jednoduchej farebnej odchýlky môže viesť k nedostatočným výsledkom resp. k výsledkom, ktoré budú mať určitú systematickú chybu.



Obrázok 8 – Grafické znázornenie priestoru farieb CIE LAB [9]

Možnosti riešenia sú:

- Použijeme iné hodnotiace faktory pre rôzne časti priestoru. Napríklad: inak budeme pristupovať k výsledku odchýlku v modrej oblasti (vynásobíme váhovým faktorom) a inak v zelenej oblasti.
- Modifikujeme daný priestor.
- Zmeníme štandardnú rovnicu uvedenú vyššie, pre výpočet farebnej odchýlky.

Na základe neuniformity priestoru farieb CIE LAB vznikli rôzne modifikácie základnej farebnej odchýlky, ktoré predpokladajú rovnomernejšie rozloženie rozdielov hodnôt všetkých súradníc vo farebnom priestore CIE LAB.

Môže sa jednať o tieto modifikované farebné odchýlky:

- $\Delta E_{CMC}(l:c)$
- $\Delta E_{CIE1994}$
- $\Delta E_{CIE2000}$

$\Delta CMC(l:c)$

V roku 1984 CMC (Color Measurement Committee) spoločnosti Society of Dyers and Colorists uviedla modifikovanú farebnú odchýlku - ΔE_{CMC} [1]. Na to aby sa odstránil problém s výpočtom svetlostnej poloosy L_t bolo navrhnuté to aby sa pri hodnotách mernej svetlosti L predlohy nižších ako 16 bola hodnota poloosy stanovená fixne.

Skokový prechod H_t , vyvolaný zmenou hodnoty funkcie T v blízkosti achromatickej osy, bol nahradený plynulým prechodom pomocou prechodovej funkcie f a taktiež boli zavedené váhové faktory l a c (mernej svetlosti a chromy).

$$\Delta E_{CMC(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{c \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H}\right)^2}, \quad (11)$$

Rovnica má využitie v textilnom priemysle a ďalších priemyselných oblastiach kde jednou z nich môže byť aj polygrafický priemysel.

$\Delta E_{CIE1994}$

Bol vytvorený prístup, ktorý vedie k jednoduchším výpočtom poloos tolerančného elipsoidu pomocou lineárnej regresie. Technický výbor CIE TC1-29 podľa literatúry [1] odporučil zapisovanie rovnice takto:

$$\Delta E_{CIE1994} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H}\right)^2}, \quad (12)$$

$$k_C = k_H = 1, S_L = 1, S_C = 1 + 0,045 \cdot C^*, S_H = 1 + 0,015 \cdot C^*.$$

S tým, že hodnoty smerníc resp. koeficientov boli čiastočne upravené.

Taktiež hodnota koeficientu k_L je rovná 1 pre väčšinu meraní a pre textilný priemysel sa k_L rovná 2. Rovnica CMC(l:c) vykazuje ale lepšiu predikčnú schopnosť a preto bola nahradená komplexnejšiu rovnicou.

$\Delta E_{CIE2000}$

V roku 2000 bolo na základe diskusií o vplyve natočenia tolerančného elipsoidu pre výpočet farebnej odchýlky prijatá modifikácia farebnej odchýlky ΔE_{2000} [10]. Rovnica pre výpočet je [1]:

$$\Delta E_{CIE2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)}, \quad (13)$$

$$\text{kde } S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}'-50)^2}{\sqrt{20+(\bar{L}'-50)^2}}, S_C = 1 + 0,045\overline{C'_{ab}}, S_H = 1 + 0,015\overline{C'_{ab}}T$$

$$\text{kde } T = 1 - 0,17 \cos(\overline{h'_{ab}} - 30^\circ) + 0,24 \cos(2\overline{h'_{ab}}) + 0,32 \cos(3\overline{h'_{ab}} + 6^\circ) - 0,20 \cos(4\overline{h'_{ab}} - 63^\circ)$$

$$\text{kde } R_T = -\sin(2\Delta\theta)R_C, \Delta\theta = 30 \exp\left\{-\left[\frac{(\overline{h'_{ab}} - 275^\circ)/25}{1}\right]^2\right\}$$

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{\overline{C'_{ab}}}{\overline{C'_{ab}} + 25^7}}$$

$$\Delta L = L_1 - L_2$$

$$\Delta C_{ab}^* = C_1 - C_2$$

$$\Delta H_{ab}^* = [(a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 - \Delta C_{ab}^*]^{0,5}$$

1.13 Zhodnosť výsledkov merania medzi rôznymi spektrofotometrami

Vytlačené vzorky a ich správne farebné posúdenie je najdôležitejší faktor, pre získanie dostatočne presnej farebnej zhody výsledkov medzi rôznymi zariadeniami, ktorými sledujeme tu istú farbu na danej vytlačenej vzorke. Na samotné meranie má vplyv množstvo parametrov [11]:

- Geometria merania, dizajn, konštrukcia a súčiastky použité výrobcom (filtre, senzory a zdroj žiarenia)
- Rozlíšenie prístroja
- Elektro-mechanická stabilita, doba potrebná k príprave merania (doba zahrievania prístroja pre maximálnu funkčnosť)
- Podmienky merania
- Kalibrácia prístroja
- Spôsob prezentovania vzorky prístroju (podložka, pozícia a orientácia)
- Rozdiely spojené s dátami alebo vzorcami ktoré sú použité ku korekcií alebo spracovaniu dát (použité štandardy, priemerovanie a použité vzorce farebnej odchýlky)
- Predpoklady a aproximácie použité pri meraní vzorky prístrojom

Prakticky sa dá predpokladať, že je najlepšie použiť ten istý prístroj od toho istého výrobcu s tým istým nastavením všetkých parametrov, aby sme dostali čo najviac podobný výsledok merania na 2 a viac prístrojov.

Geometria merania

Najvhodnejšia geometria merania, ktorá by sa mohla použiť pre meranie vzoriek v polygrafii je podľa normy [3] geometria 45°:0° alebo 0°:45°. Na základe Helmholtzovej teórie podľa

zdroja [12] je možné meniť v opačnom poradí tieto geometrie bez nežiaducej zmeny výsledku.

Rovnomerné osvetlenie

Čo bolo spomenuté vyššie súvisí aj s optickými systémami spektrofotometrov, ktoré musia byť veľmi presné aby sa dosiahli presné a opakovateľné hodnoty výsledkov merania, hlavne na pórovitom povrchu novinového papiera olejovej farby, ktorá viac kopíruje daný povrch papiera než vytvára rovnomernú vrstvu farby [11].

Plocha osvetlenia

Niektoré substráty (hlavne tie s nižšiu plošnou hmotnosťou) sú do určitej miery priesvitné a tým pádom svetlo, ktorým osvetľuje spektrofotometer merané miesto čiastočne preniká substrátom a vo výsledkoch merania sa môže prejaviť aj druhá strana substrátu [11]. Taktiež, časť svetla sa rozptýli a dopadá mimo miesta snímania senzoru. Tento jav spôsobí to že, optická hustota je vyššia a odrazivosť nižšia než by bolo v prípade dokonalého snímania svetla. Veľkosť chyby je rozdiel medzi reflexným faktorom meraným na čiastočne priehľadnom substráte a korekčného reflexného faktoru.

Pre minimalizáciu tohto nežiadúceho javu je možné mierne zväčšenie plochy osvetlenia oproti veľkosti otvoru použitej clony alebo naopak a tým pádom by sa malo znížiť vplyv plochy na výsledok merania.

Tento jav sa môže prejavovať pri meraní kontrolných políčok, ktoré sú menšie ako 5 mm.

ISO/CD 13655 [5] ISO 14981 [13] na základne toho odporúča, aby pole ožiarenia bolo predĺžené (zóna osvetlenia) aspoň o 0,5 mm viac dovnútra alebo von v porovnaní s polom otvoru snímania.

Zdroj žiarenia

Spektrofotometer môže používať ako zdroja žiarenia [1]:

- Žiarovka s volfrámovým vláknom
- Xenónová výbojka
- LED (Svetlo emitujúca dióda)

Žiarovka s volfrámovým vláknom

Zdroj žiarenia, ktorý je označovaný podľa CIE 1931 [6] ako illuminant A, ktorý dosahuje teplotu chromatickosti približne 2856 K zhodnou s relatívnou spektrálnou intenzitou vyžarovania absolútne čierneho telesa.

Nevýhodou je veľká spotreba energie, čo môže spôsobiť aj prehrievanie ručných spektrofotometrov pri dlhodobom a maximálnom vyťažení a to môže mať vplyv aj na výsledky merania [11].

Xenónová výbojka

Xenónová výbojka neprodukuje toľko tepla ako žiarovka s volfrámovým vláknom a taktiež ma veľkú výhodu v tom, že UV zložka je značne bohatá v porovnaní so žiarovkou s volfrámovým vláknom [11]. Toto môže mať značný vplyv na výsledok merania z dôvodu aktivácie opticky zjasňujúcich prostriedkov a ďalších fluorescenčných chemikálií obsiahnutých vo vzorkách.

LED

LED dióda je možné označiť ako stabilný zdroj osvetlenia (teoreticky, nie je potrebné čakať na dostatočné zahriatie zdroja a prakticky je to otázne), nízka spotreba elektrickej energie a relatívne dlhá životnosť [11]. Pre aktiváciu opticky zjasňujúcich prostriedkov sa môžu použiť UV LED svetelné zdroje.

Podložka merania

ISO norma 13655 [5] odporúča použiť čiernu alebo bielu podložku pod meraní vzorku z dôvodu toho, že podložka merania môže mať značný vplyv na výsledky merania v prípade merania substrátu, ktorý je čiastočne priehľadný predovšetkým na miestach, ktoré vykazujú nízku optickú hustotu resp. nebola dosiahnutá kritická vrstva farby.

V prípade, že chceme merať potlačený substrát iba z jednej strany, je lepšie použiť bielu podložku [11]. V opačnom prípade (substrát je potlačený z oboch strán) použitie čiernej podložky je nevyhnutné a možné aj v prípade substrátu potlačeného iba z jednej strany.

Podľa ISO normy 13655 [5] môže byť podložka materiál, ktorý vykazuje 75% reflektanciu všetkých vlnových dĺžok v rozsahu 420 – 700 nm. Podložka by nemala vykazovať

fluorescenciu a mala by vykazovat difúzny rozptyl. Takýto materiál môže byť napríklad plast, keramika alebo papier.

Vplyv času

Farby, ktoré zasychajú hlavne zapíjaním do substrátu a ktoré sa používajú pri kotúčovej ofsetovej tlači sa zapíjajú nasledovne [11]:

1. Rýchle zapíjanie pod tlakom v momente pôsobenia tlakového valca
2. Pomalé zapíjanie z dôvodu kapilárnych síl

Z dôvodu pôsobenia kapilárnych síl, kde zaschnutie farby nie je okamžité môže mať vplyv čas merania a to môže viesť k odlišným výsledkom merania vzorky v rôznych časových intervaloch v relatívnej krátkej dobe po potlačení materiálu kotúčovým ofsetom.

Podmienky merania

Teplota a vlhkosť ma vplyv na väčšinu materiálov a to môže mať následný vplyv na nami namerané dáta [11]. Preto je vhodné si špecifikovať podmienky merania (teplotu a vlhkosť) pri ktorých budeme merať vzorky, aby sme dosiahli čo najpresnejší výsledok.

Tabuľka 1 – Podmienky merania (teplota a vlhkosť) [11]

	Teplota [°C]	± [°C]	Relatívna vlhkosť [%]	± [%]
ISO 554	23	2	50	5
Zapadná Európa	20	3	65	5
Tropické miesta	27	3	65	5

Je pravdepodobné, že zmeny nižšej relatívnej vlhkosti prostredia konkrétne 50% bude mať menší vplyv ako zmeny pri relatívnej vlhkosti prostredia pri 65% takže preto je relatívna vlhkosť prostredia 50% vhodnejšia pre testovanie vzoriek. Je možné predpokladať, že väčšina testovacích laboratórií pracuje práve v rozmedzí 40-60% relatívnej vlhkosti prostredia. Vo všeobecnosti má ale teplota prostredia značne vyšší vplyv na výsledky merania spektrofotometrom ako relatívna vlhkosť. Je to predpoklad. Na základe kolísavej teploty

a relatívnej vlhkosti prostredia sa dalo predpokladať vytvorenie určitej normy a to konkrétne ISO 554 [14], ktorá špecifikuje podmienky merania.

Intervaly merania

Pre správne meranie krivky a možných maxim absorpčných pásov je potrebné, aby spektrálna šírka pásma spektrofotometra bola menšia ako šírka absorpčného pasu [11]. V opačnom prípade by mohlo dôjsť k chybe merania a následne náš výsledok by mohol byť nepresný. Predpokladá sa, že bežne sa používa meranie spektra po 5-10 nm intervaloch. Výsledok merania pomocou reflexného spektrofotometru je teda súbor diskretných hodnôt odrazivosti v konečnom počte fixne stanovených intervalov vlnových dĺžok. ISO 13655 [5] odporúča meranie reflexného spektra pomocou spektrofotometru, ak je možné v závislosti od výrobcu spektrofotometru merať v 10 nm intervaloch rozsahu viditeľného žiarenia..

Difrakčná mriežka

V prípade, že spektrofotometer má zabudovanú difrakčnú mriežku dá sa predpokladať, že výsledok závisí na konštrukcii a veľkosti štrbín mriežky, veľkosti svetelnej diódy a kvalitnom prevedení komponentov, ktoré sú vo väčšine spektrofotometrov fixne upevnené [11].

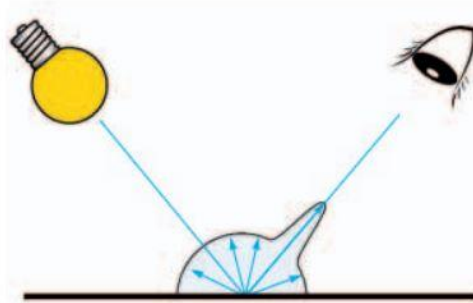
Opakovateľnosť

Ak by sa jednalo o schopnosť krátkodobej opakovateľnosti merania spektrofotometra tak to by mohlo byť napríklad kolísanie hodnôt 20-30 meraní bielych a svetlo šedých keramických dlaždíc čo najrýchlejšie ako to prístroj povoľuje [11]. Ak by boli dosiahnuté odchýlky viac ako $0,2 \Delta E^*_{ab}$ dalo by sa to považovať za dosť neakceptovateľné výsledky rozdielov jednotlivých meraní.

Lesk a zrkadlový odraz

V polygrafii máme množstvo potlačených materiálov, ktoré sa javia byť lesklé pri určitom uhle pozorovania. Lesk môže byť spôsobený odrazom svetla z hornej plochy materiálu. V podstate tento odraz vytvára zvýšenú saturáciu a výdatnosť farby [11]. Každopádne, tento

odraz nesúvisí s danou farbou, ktorá sa nachádza pod danou vrstvou lesku a to vedie k tomu že, tento lesk prispieva v neznámej miere k zmene výsledkov merania a vzniká nesúlad medzi kolorimetrickým meraním danej farby a vzhľadu.



Obrázok 9 – Zrkadlový odraz (zdroj a pozorovateľ) [11]

Tento efekt môže byť potlačený používaním polarizačných filtrov, ale kolorimetrické meranie nie sú realizované za použitia polarizačných filtrov ako súlad medzi nameranými dátami a vzhľadom tlačoviny, ktoré by viedli k ešte horším výsledkom a preto tento problém ostáva pre nás neznámy.

Fluorescencia a UV Filter

Pri meraní očakávame, že dosiahneme kolorimetrické výsledky odpovedajúce danému vzhľadu tlačoviny, ale v skutočnosti to nie je úplne presné a je potrebné počítať s určitým odchýlkami a jeden z faktorov, ktorý môže ovplyvniť výsledky merania sú opticky zjasňujúce prostriedky (OBA), ktoré väčšina komerčne dostupných papierov obsahuje [11].

OBA, ktoré absorbujú v UV oblasti žiarenia a emitujú vo viditeľnej oblasti žiarenia, spôsobia to, že daný papier sa nám javí jasnejší [11]. Problém je ale v tom že, pri porovnávaní farebnej zhody medzi štandardným papierom bez OBA a komerčne používaným tlačovým papierom, ktorý obsahuje OBA sa prejaví fluorescencia, ktorá má hlavný vplyv na rozdiel vo farbe do neznámej miery. Neočakáva sa že, farebná odchýlka bude úplne zhodná s našim vizuálnym vnemom.

Na základe toho, že OBA absorbujú v UV oblasti žiarenia, by sa dal použiť filter alebo žiarenie, ktoré by neaktivovalo OBA a farebný rozdiel by mal byť teoreticky ten istý. Problém

je ale v tom, že by to neodpovedalo normálneho vzhľadu tlačoviny, pretože denné svetlo ma určitý podiel UV zložky a OBA sú aktivované pri bežnom pozorovaní pod denným svetlom, ktoré obsahuje určité množstvo UV zložky žiarenia.

Kalibrácia bielej

Kalibrácia bielej by mala byť vykonaná [11]:

- na začiatku merania sady vzoriek
- po dlhej pauze
- pri zmene okolitej teploty o viac ako 5 °C

Na kalibráciu bielej sa najčastejšie využíva keramická dlaždica, ktorá býva obvykle dodávaná so spektrofotometrom. Biela kalibračná dlaždicu by mala byť skontrolovaná pred každou kalibráciu či sa tam náhodou nenachádza nečistota alebo či dlaždica nie je poškriabaná. Je nevyhnutné aby bola referenčná biela meraná vždy na tom istom mieste z dôvodu toho, že keramické dlaždice nie sú vždy rovnomerné, čo by mohlo viesť k vzniku chyby pri každom meraní. Každý spektrofotometer má svoju vlastnú referenčnú bielu a spektrum tejto dlaždice je uložené v prístroji, kde počas kalibrácie je spektrálna odozva upravená tak že, to sedí s uloženým spektrom v prístroji a špecifikovanej tolerovanej odchýlky.

Dlaždica pre kalibráciu bielej by mala byť chránená pred chemickými látkami, predovšetkým acetón. Taktiež by mala byť chránená pred priamym slnečným žiarením. V prípade že by došlo k znečisteniu, tak potom pri čistení by sa mohla použiť vlhká utierka s niekoľkými kvapkami izopropyl alkoholu alebo etanolu.

1.14 Módy merania

ISO norma 13655 [5] definuje 4 módy merania pre štandardizáciu podmienok spektrálneho rozloženia dopadajúceho žiarenia:

M0 – Nie je použitý polarizačný filter, zdroj žiarenia simuluje zdroj žiarenia A, žiarenie definované CIE v roku 1931 kde relatívna intenzita vyžarovania je zhodná s teplotou chromatičnosti absolútne čierneho telesa 2856 K.

M1 – Nie je použitý polarizačný filter, zdroj žiarenia simuluje štandardný zdroj žiarenia D50, toto žiarenie odpovedá ekvivalentnej teplote chromatičnosti, absolútne čierneho telesa 5000 K, ktorá obsahuje UV zložku žiarenia.

M2 – V tomto móde je simulované žiarenie bez UV zložky a taktiež sa nepoužíva polarizačný filter.

M3 – V tomto móde je simulované žiarenie bez UV zložky a používa sa polarizačný filter.

Spektrofotometer bežne používa pri zapnutí módu M0 žiarovku s volfrámovým vláknom, pri móde M1 sa využíva UV LED svetlo a pri M2 a M3 sa využíva najčastejšie žiarovka s volfrámovým vláknom alebo LED svetlo [15]. Na trhu je aj nový i1Pro 3 využíva UV LED zdroj s plným spektrálnych rozsahom [16].

V prípade staršieho spektrofotometra je možné predpokladať riziko že, žiarovka s volfrámovým vláknom sa bude líšiť v dĺžke životnosti, teplote a výrobcom, ktoré bude mať vplyv na množstvo UV žiarenia dopadnutého na potlačený materiál [11].

V podstate je možné predpokladať, že existuje možnosť aktivácie OBA pod fluorescenčnými výbojkami, žiarovkou a denným svetlom, ale nie pod štandardnou LED diódou pretože tento zdroj nevyžaruje pod 400 nm resp. nie je schopná aktivovať OBA, aby došlo k vybudeniu a následnému vyžiareniu vo viditeľnej oblasti žiarenia a preto je potrebné žiarenie nejakým spôsobom modifikovať.

V testoch za použitia komerčne dostupných papierov kde väčšina z nich obsahuje OBA, bolo zistené, že odchýlka CIE LAB Δb^* sa pohybovala až do hodnoty 5, pri meraní toho istého vzorku za použitia rôznych prístrojov pre tú istú vzorku [15].

1.15 ISO 15790 – Certifikované referenčné materiály

Medzinárodná norma ISO 15790 [17] špecifikuje požiadavky dokumentácie pre certifikované materiály, postupy pre ich využitie a postupy pre výpočet a zaznamenanie kombinovanej štandardnej neistoty prístrojov pomocou, ktorých sa meria odrazivosť a priepustnosť, ktoré sa používajú v grafickom dizajne, fotografii a ostatných relevantných priemysloch.

Nasledujúci text až do konca teoretickej časti je získaný zo zdroja ISO 15790 normy [17].

Certifikovaný referenčný materiál

Referenčný materiál ku ktorému sa vzťahuje jeden alebo viac certifikátov, ktorý ma vlastne certifikované hodnoty, overené pomocou postupu, ktorý zriaďuje sledovateľnosť (presne určenie) jednotky ku ktorej sa vzťahujú tieto vlastné hodnoty a pre ktoré každá certifikovaná hodnota je sprevádzaná neistotou v uvedenej úrovni spoľahlivosti.

Kombinovaná štandardná neistota

Štandardná neistota výsledku merania je výsledok merania získaný z hodnôt (číselných hodnôt ostatných veličín) rovných kladnej odmocnine súčtu hodnôt kde tieto hodnoty sú odchýlky alebo kovariancie ostatných veličín vážené podľa toho ako sa výsledok merania líši s jednotlivými zmenami týchto veličín.

Táto hodnota je označená u_c

Výberová smerodajná odchýlka

Je charakteristikou variability určitého štatistického súboru. Veličina, ktorá charakterizuje rozptyl výsledkov sérií n merania toho istého merania a stanovuje sa podľa vzorca:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (14)$$

n – počet meraní

\bar{x} – aritmetický priemer n meraní

x_i – výsledok i -tého merania

Reprodukovateľnosť výsledkov merania

Je to čo najlepšia zhoda medzi výsledkami merania toho istého vzorku vykonané pod zmenenými podmienkami merania.

Sledovateľnosť výsledkov

Vlastnosť výsledku merania alebo hodnota štandardu pomocou, ktorého je možné sa vzťahovať k stanoveným referenciám, zvyčajne národným a medzinárodným štandardov skrz neporušený kolobeh porovnávania, ktorý ma stanovené určité neistoty.

Neistota výsledkov merania

Je to parameter, ktorý je priamo spojený s výsledkom merania resp. charakterizuje rozptyl hodnôt, ktorý následne môže byť pridelený konkrétnej meranej veličine.

Využitie certifikovaných referenčných materiálov

1. Pre overenie presnosti merania daného prístroja.
2. Pre overenie schopnosti systému rutinného merania.
3. Pre odhad neistoty údajných meraní.
4. Pre zlepšenie zhody medzi nezávisle kalibrovanými systémami merania a pre stanovenie ich vzájomného vzťahu.

Požiadavky certifikovaných referenčných materiálov

Je potrebné vedieť tieto informácie, ktoré sú súčasťou certifikovaných referenčných materiálov:

1. Názov výrobcu
2. Identifikácia produktu
3. Sériové číslo
4. Dátum certifikovania
5. Dátum expirácie alebo použiteľná životnosť certifikátu

Referenčné hodnoty certifikovaných referenčných materiálov

Tieto hodnoty je možné identifikovať napríklad pomocou kombinovanej štandardnej úrovne neistoty u_c , ktorá je podrobnejšie popísaná v nasledujúcej kapitole.

Sledovateľnosť

Údaj sledovateľnosti by mal byť taktiež súčasťou referenčných hodnôt certifikovaných referenčných hodnôt.

1.16 Výpočet kombinovanej štandardnej neistoty CIE LAB - C_{ab}^*

Ak by sa jednalo o výpočet kombinovanej štandardnej neistoty výsledku CIE LAB C_{ab}^* tak merania priamej farby zo štandardných neistôt vstupných premenných, vypočítalo by sa to takto:

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (15)$$

C_{ab}^* - hodnota chromy priestoru farieb CIE LAB

a^* - je súradnica na ose a priestoru farieb CIE LAB

b^* - je súradnica na ose b priestoru farieb CIE LAB

Tento vzorec ešte zahŕňa neistotu spojenú s reprodukovateľnosťou merania a neistotu referenčnej hodnoty certifikovaného referenčného materiálu. Je všeobecné známe, že hodnota CIE C_{ab}^* ma normálne rozdelenie pravdepodobnosti v prípade, že je neistota hodnôt a^* a b^* menšia ako hodnota C_{ab}^* .

Napríklad keby sme mali hodnoty vstupných premenných $a^* = 35,2$ a $b^* = 35,7$ a štandardné neistoty $u(a^*) = 0,1$ a $u(b^*) = 0,15$; ktoré boli stanovené ešte pred meraním v určitej časti priestoru farieb. Vstupné hodnoty a^* , b^* sú ale menšie v porovnaní s hodnotou C_{ab}^* ktorej vypočítaná hodnota je 36,2. Koefficienty citlivosti sú následne spočítané pomocou rovnice:

$$\frac{\partial f}{\partial a^*} = \frac{a^*}{C_{ab}^*} \quad a \text{ potom } \frac{\partial f}{\partial b^*} = \frac{b^*}{C_{ab}^*} \quad (16)$$

V prípade, že zameníme tieto stanovené hodnoty do novej rovnice získame:

$$u_c(C_{ab}^*) = \sqrt{\left(\frac{35,2}{36,2} \times 0,1\right)^2 + \left(\frac{35,7}{36,2} \times 0,15\right)^2} = 0,18 \quad (17)$$

Ak máme dostatok vstupných údajov pre výpočet súradníc v CIE LAB priestore farieb, metódu určenia kombinovanej štandardnej neistoty je vhodné použiť pre určenie neistoty s ktorou je potrebné počítať a následne je možné dosiahnutie lepších výsledkov prepočítania získaných hodnôt spektrofotometrom.

1.17 Koeficienty citlivosti kde ich funkcia nie je známa

Koeficienty citlivosti môžu byť stanovené aj experimentálne pokiaľ funkcia f nie je známa.

Napríklad: Pokiaľ bolo stanovené, že meranie farby v určitej kalibrácii je ovplyvnená teplotnou zmenou, efekt teplotnej zmeny po 1°C na meranej farebnej súradnici môže byť určený a toto bude považované za koeficient citlivosti.

Vo všeobecnosti neznámy proces P čo je funkcia niekoľko testov premenných $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$, ktoré môžu byť vyjadrené ako funkcia spomenutá vyššie pre funkciu f . Tento proces môže byť vyjadrený ako $P(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ aj keď je to pre nás neznáme.

Koeficient citlivosti, ktorý sa týka akejkoľvek premennej x_i môže byť stanovený experimentálne pomocou malých zmien rozsahu ε v x_i .

$$\frac{\partial P}{\partial x_i} \approx \frac{P[x_1, x_2, \dots, (x_i + \varepsilon), \dots, x_n] - P(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)}{\varepsilon} \quad (18)$$

Výsledok tejto rovnice následne môže byť použitý pre nahradenie relevantných parciálnych derivácií v rovnice č. 16. Pokiaľ by sme chceli vypočítať výsledok jednotlivých veličín v hranatých zátvorkách museli by sme každý experimentálne vypočítaný koeficient citlivosti vynásobiť štandardnou neistotou k vzťahujúcej sa premennej, výsledok bude v jednotkách danej premennej.

Rovnica č. 18 sa da s výhodou použiť pre výpočet koeficientu citlivosti pokiaľ je funkčná závislosť známa aj keď veľmi komplexná. V podstate malá zmena jednej z vstupných premenných oproti jej štandardnej hodnote, zatiaľ čo ostatné premenné sú bez zmeny umožňuje výpočet koeficientu citlivosti práve tejto premennej.

2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

2.1 Prístroje

V rámci diplomovej práce boli využité spektrofotometre:

Konica Minolta FD-5BT



Obrázok 10 – Spektrofotometer Konica Minolta FD-5

Módy merania: M0-M2

Rozsah vlnových dĺžok: 380-730 nm

Interval merania: po 10 nm

Zdroj žiarenia: LED

Geometrie merania: 45°0°

Apertúra merania: priemer 3,5 mm

X-Rite eXact Advanced



Obrázok 11 – Spektrofotometer X-Rite eXact Advanced

Módy merania: M0-M3

Rozsah vlnových dĺžok: 400-700 nm

Interval merania: po 10 nm

Zdroj žiarenia: žiarovka s volfrámovým vláknom + UV LED

Geometrie merania: 45°0°

Apertúra merania: priemer 2 mm

X-Rite i1Pro



Obrázok 12 – Spektrofotometer X-Rite i1Pro

Módy merania: M0

Rozsah vlnových dĺžok: 380-730 nm

Interval merania: po 10 nm

Zdroj žiarenia: žiarovka s volfrámovým vláknom

Geometrie merania: 45°0°

Apertúra merania: priemer 4,5 mm

X-Rite i1Pro2



Obrázok 13 – Spektrofotometer X-Rite i1Pro2

Módy merania: M0-M2

Rozsah vlnových dĺžok: 380-730 nm

Interval merania: po 10 nm

Zdroj žiarenia: žiarovka s volfrámovým vláknom + UV LED

Geometrie merania: 45°0°

Apertúra merania: priemer 3,5 mm

Súčasťou spektrofotometru X-Rite i1Pro2 bola aj X-Rite Automatická skenovacia tabuľa.

Digitálny tlačový stroj KONICA MINOLTA AccurioPress C3070



Obrázok 14 – Digitálny tlačový stroj KM

Digitálny farebný elektrografický tlačový stroj od spoločnosti Konica Minolta

Rýchlosť tlače až 81 str./min

Podpora plošnej hmotnosti papiera v rozmedzí 62-350 g/m²

Rozlíšenie 1200 x 1200 dpi

Laminátor Easymount 1400H



Obrázok 15 – Easymount laminátor 1400H

Vyhrievanie až do 45°C

Laminácia fóliou až do šírky 1420 mm

Možná rýchlosť laminácie 5 m/min

Software

Konica Minolta Color Centro – z tohto softvéru boli exportované prednastavené dáta, ktoré boli použité pre vytvorenie testovacieho obrazca a softvér bol taktiež využitý pre zaznamenávanie dát skenovania spektrofotometrom Konica Minolta FD-5BT.

i1Profiler – software, ktorý bol použitý pre skenovanie políčok testovacieho obrazca pomocou spektrofotometrov X-Rite i1Pro a X-Rite i1Pro2.

X-Rite DataMeasure – tento software bol použitý pre skenovanie políčok testovacieho obrazca pomocou spektrofotometra X-Rite eXact Advanced.

MATLAB – softvér bol použitý pre úpravu exportovaných dát zo softvéru Color Centro tak aby bolo možné dáta použiť pre skenovanie pomocou všetkých spektrofotometrov spomenutých v kapitole 2.1.

Microsoft Excel – softvér bol použitý pre spracovanie nameraných a vypočítaných dát a ich vyhodnotenie.

Materiály

Všetky následne spomenuté použité papiere majú plošnú hmotnosť 150 g/m².

Stora Enso Oulu Mill (Fínsko):

1. bezdrevný ofsetový lesklý papier
2. bezdrevný ofsetový matný papier

Papier bez OBA od firmy IGT nahrážka za APCO

MACtac Printcover 899 laminát s lesklým povrchom a hrúbkou 70 µm

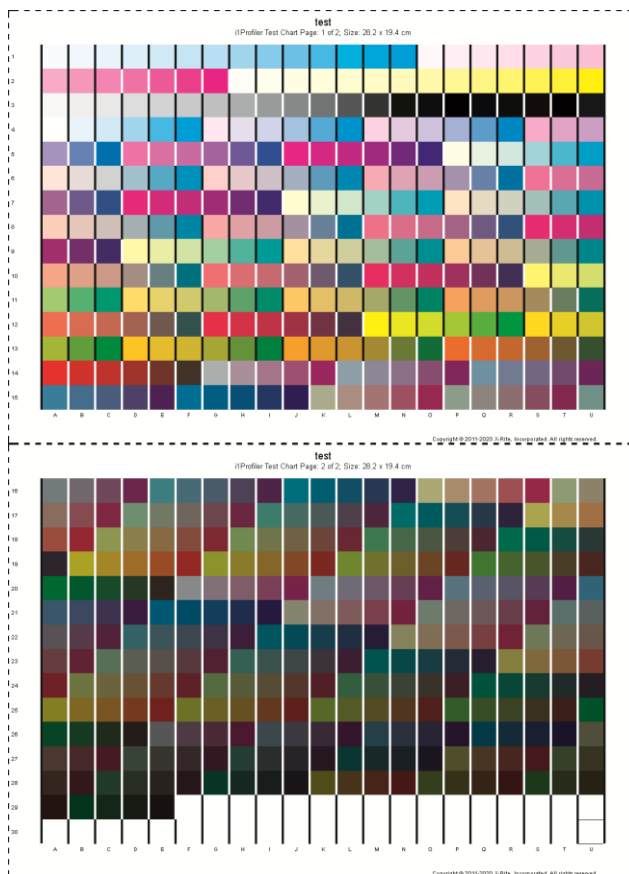
2.2 Pracovný postup

Príprava testovacieho obrazca

Ako prvý krok pracovného postupu bolo navrhnutie testovacieho obrazu, ktorý sa bude testovať na jednotlivých spektrofotometroch uvedených v kapitole 2.1. Testovací obrazec bol navrhnutý podľa virtuálneho testovacieho obrazcu navrhnutého v programe Color Centro od spoločnosti KONICA MINOLTA, programu, ktorý môže byť použitý pre vytvorenie profilu tlačiarne. Dáta testovacieho obrazca obsahujúce CMYK hodnoty 593 políčok boli z programu exportované ako textový súbor, ktorý bolo možné importovať do programu i1Profiler od spoločnosti X-Rite a dáta boli použité pre vytvorenie testovacieho obrazca v programe i1Profiler, kde tento testovací obrazec bol uložený vo formáte .tiff, ktorý bol následne vytlačený na tlačiarňi Konica Minolta AccurioPress C3070. Obrazec bol vytlačený týmto postupom preto, aby bolo možné skenovať testovací obrazec pomocou všetkých spektrofotometrov spomenutých v kapitole 2.1.

Obrazec bol vytlačený na všetky substráty s jednotným nastavením ovládača. Vo voľbe ovládača bolo zvolené nastavenie pre natieraný papier s implicitným ICC profilom na tento papier.

Testovací obrazec má 593 políčok s rôznymi CMYK hodnotami navrhnutý podľa softvéru Color Centro od firmy Konica Minolta.



Obrázok 16 – Testovací obrazec

Papier, ktorý neobsahuje OBA bol k dispozícii len vo formáte A4 a preto bol testovací obrazec navrhnutý pre formát A4, ktorý bol rozdelený na dva tlačové hárky. Okrem tlači na papier bez OBA bol testovací obrazec spojený a umiestnený na väčší formát v prípade ostatných papierov spomenutých v kapitole materiály, experimentálnej časti.

Po zhotovení testovacieho obrazcu nasledovala tlač a tá bola realizovaná na digitálnom tlačovom stroji KONICA MINOLTA AccurioPress C3070.

Posledné 2 potlačené hárky bezdreveného ofsetového lesklo natieraného papiera boli ešte laminované laminátom s lesklým povrchom na stroji EasyMount1400H.

Počet potlačených hárkov papiera:

- 10 kusov lesklý natieraný ofsetový papier s OBA
- 10 kusov matne natieraný ofsetový papier s OBA
- 8 kusov papiera bez OBA

Pre samotnú analýzu boli použité vytlačené hárky papierov takto:

- 9 a 10 hárok matne natieraného ofsetového papiera s OBA
- 7 a 8 hárok lesklo natieraného ofsetového papiera s OBA
- 9 a 10 hárok lesklo natieraného papiera s OBA, laminovaného laminátom s lesklým povrchom
- 7-8 hárok papiera, ktorý neobsahuje OBA

2.3 Kolorimetrické meranie vytlačeného testovacieho obrazcu

Po tlači a prípadnej dodatočnej úprave potlačených substrátov nasledovalo samotné meranie spektra odrazivosti pomocou spektrofotometrov spomenutých v kapitole 2.1.

Ako prvý prístroj pre meranie bol použitý spektrofotometer X-Rite i1Pro2, ktorý bol pripravený do automatickej meracej tabule a následne bolo pomocou softvéru i1Profiler realizované kolorimetrické meranie vytlačeného testovacieho obrazca. Po meraní za použitia tohto spektrofotometra bol exportovaný textový súbor s dátami obsahujúce namerané reflexné spektrum viditeľného žiarenia v rozsahu 380-730 nm v 10 nm intervaloch a vypočítané CIE LAB hodnoty (pre D50 a 2° pozorovateľa) samostatne pre módy merania M0-M2.

Po prvom meraní pomocou spektrofotometru spomenutého vyššie nasledovalo meranie pomocou ďalších spektrofotometrov ako napríklad X-Rite eXact Advanced, kde dáta obsahujúce namerané reflexné spektrum v rozsahu 400-700 nm v 10 nm intervaloch viditeľného žiarenia a CIE LAB hodnoty (pre D50 a 2° pozorovateľa) boli zaznamenané pomocou programu DataMeasure od spoločnosti X-Rite a následné uložené ako textový súbor. Výsledky merania (reflexné spektrum viditeľného žiarenia v rozsahu 380-730 nm v 10 nm intervaloch a vypočítané CIE LAB hodnoty pre D50 a 2° pozorovateľa) ďalšieho spektrofotometra Konica Minolta FD-5 boli zaznamenané pomocou programu Color Centro od spoločnosti Konica Minolta a následné exportované v textovom formáte. Posledné meranie bolo pomocou spektrofotometra X-Rite i1Pro v programe i1Profiler kde dáta obsahujúce namerané reflexné spektrum viditeľného žiarenia v rozsahu 380-730 nm v 10 nm intervaloch a CIE LAB hodnoty (pre D50 a 2° pozorovateľa) boli uložené ako textový súbor.

Políčka vytlačeného testovacieho obrazcu boli premerané v týchto časových intervaloch:

1. Druhý deň po tlači všetkých substrátov pomocou všetkých spektrofotometrov, dvakrát za sebou (2 merania).
2. Približne siedmy deň po tlači všetkých substrátov pomocou všetkých spektrofotometrov, dvakrát za sebou (2 merania).

Výsledky merania boli spracované v softvéri Microsoft Excel a následne sa porovnávali dosiahnuté kolorimetrické výsledky získané jednotlivými spektrofotometrami pomocou farbovej odchýlky.

2.4 Výpočet farbovej odchýlky z dosiahnutých kolorimetrických výsledkov pomocou jednotlivých spektrofotometrov

Na základe literatúry bolo rozhodnuté, že najvhodnejšie pre porovnanie dosiahnutých kolorimetrických výsledkov z jednotlivých meraní bude použiť odchýlku ΔE_{00} , ktorá bola spomenutá v kapitole 1.12., podľa rovnice 13.

Na základe rovnice 13 by sa dalo predpokladať (z dôvodu vhodnej modifikácie neuniformného priestoru farieb CIE LAB), že vyhodnotenie výsledkov merania bude vhodné pomocou odchýlky ΔE_{00} a tým pádom sa dá predpokladať aj presnejšie vyhodnotenie medziprístrojovej zhody.

Výpočet farbovej odchýlky ΔE_{00}

Pre vypočítanie farbovej odchýlky ΔE_{00} uvedenej v rovnici 13 bolo potrebné (z dôvodu zložitosti výpočtu a možnej automatizácie v softvéri Microsoft Excel) uskutočniť určité kroky:

Použiť získané CIE $L^*a^*b^*$ hodnoty jednotlivých meraní pre dopočítanie CIE L^*C^*h hodnôt.

Vypočítať vážené funkcie S_L , S_C , S_H .

Vypočítať odchýlky jednotlivých parametrov ΔL , ΔC_{ab} , ΔH_{ab} .

Stanoviť parametrické faktory k_L , k_C , $k_H = 1$.

CIE L*C*h hodnoty boli získané prevedením, priamo zo získaných CIE L*a*b* hodnôt jednotlivých meraní.

Vypočítanie vážených funkcií S_L , S_C , S_H

Vážené funkcie S_L , S_C , S_H bolo možné vypočítať podľa rovnice 13, ktorá je uvedená v kapitole 1.12.

Výpočet jednotlivých odchýlok ΔL , ΔC_{ab} a ΔH_{ab} pre následne dosadenie do vzorca farbovej odchýlky ΔE_{00}

Odchýlka mernej svetlosti ΔL bola vypočítaná ako rozdiel mernej svetlosti 2 výpočtov jednotlivých meraní.

Odchýlka chromy ΔC_{ab} bola vypočítaná ako rozdiel medzi 2 výpočtami chromy získaných prepočítaným nameraných hodnôt CIE L*a*b* na CIE L*C*h hodnoty a následnému rozdielu medzi 2 meraniami.

Odchýlka odtieňu ΔH_{ab} bola vypočítaná podľa vzorca rovnice 13 uvedenej v kapitole 1.12.

2.5 Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody

Po výpočte farbovej odchýlky ΔE_{00} boli vypočítané určité štatistické parametre a to konkrétne priemer, 5 % percentil a 95 % percentil zo všetkých vypočítaných farbových odchýlok ΔE_{00} jednotlivých políčok testovacieho obrazca konkrétnych 2 meraní, kde bola aplikovaná farbová odchýlka ΔE_{00} . Vyhodnotenie bolo realizované v grafickej podobe stĺpcovými grafmi kde na x-ose sú jednotlivé módy merania a na y-ose je priemer farbovej odchýlky ΔE_{00} . V nasledujúcich grafoch sú vyznačené chybové úsečky, ktoré označujú získané percentily.

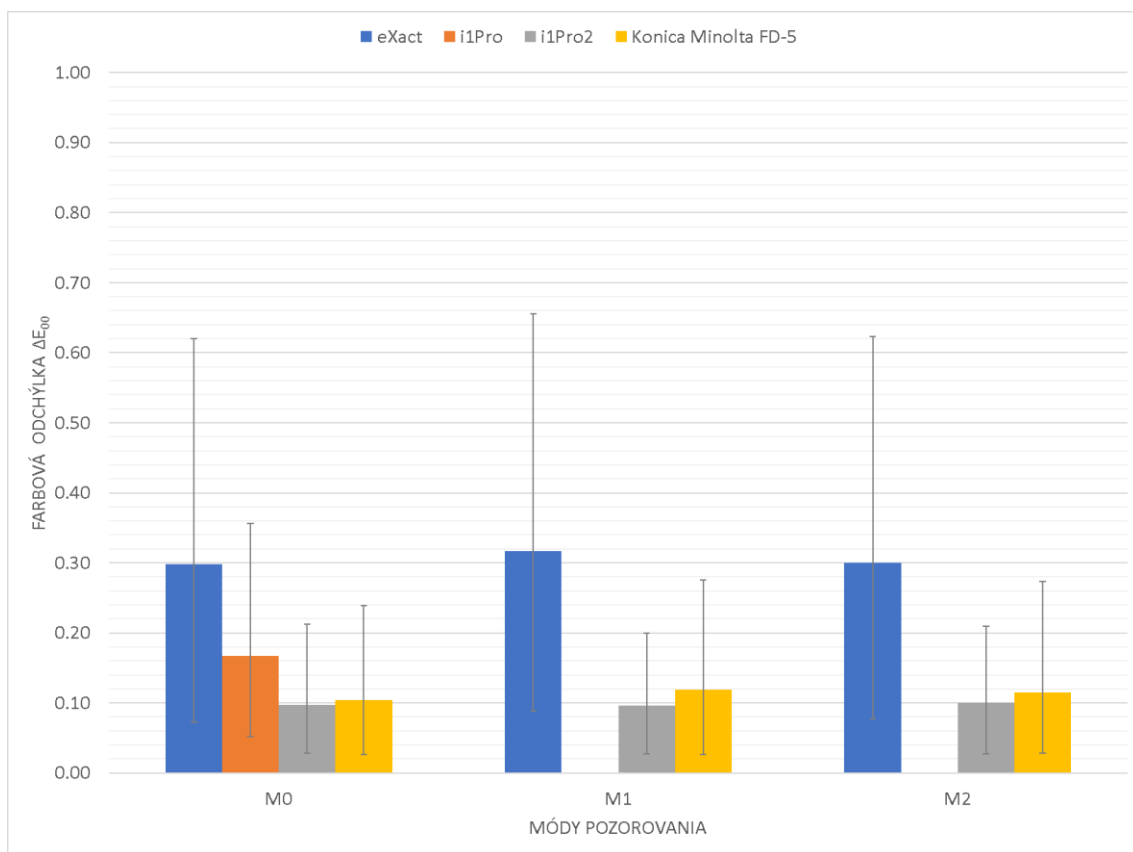
2.6 Vyhodnotenie zhody medzi tými istými spektrofotometrami

Diskusia k výsledkom 1. merania (zhody medzi tými istými spektrofotometrami)

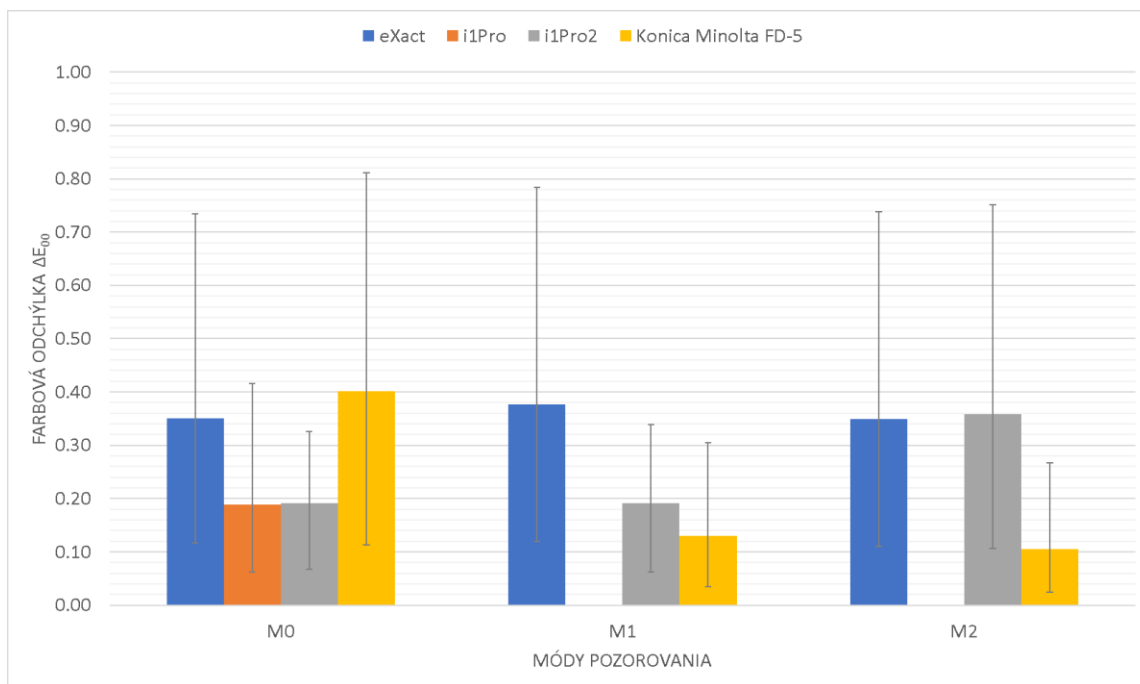
Porovnávaním vyhodnotených výsledkov dvoch meraní získaných deň po vytlačení vzoriek vynesných v grafoch s číslami 1-4 sa javí dobrá zhoda medzi tými istými spektrofotometrami a to približne 0,10 až 0,45 priemernej farbovej odchýlky ΔE_{00} . Najlepšia

zhodu medzi tými istými spektrofotometrami sa javí u spektrofotometru X-Rite i1Pro2 v grafe s číslom 1 a je to približne 0,1 priemernej farbovej odchýlky ΔE_{00} v módoch merania M0-M2. Najhoršia zhoda medzi tými istými spektrofotometrami sa javí u spektrofotometru X-Rite i1Pro2 v grafe s číslom 3, ale tu sa jedná o merania na inom substráte konkrétne lesklo natieraný ofsetový papier, ktorý obsahuje OBA. Hodnota priemeru farbovej odchýlky ΔE_{00} je približne 0,43. V grafe s číslom 2 sa javí zhoda medzi tými istými spektrofotometrami od Konici Minolti FD-5 rozdielne v móde merania M0 a módoch M1-M2. Hodnota priemeru farbovej odchýlky ΔE_{00} je v móde M0 asi 3-krát vyššia v porovnaní s módmi merania M1-M2.

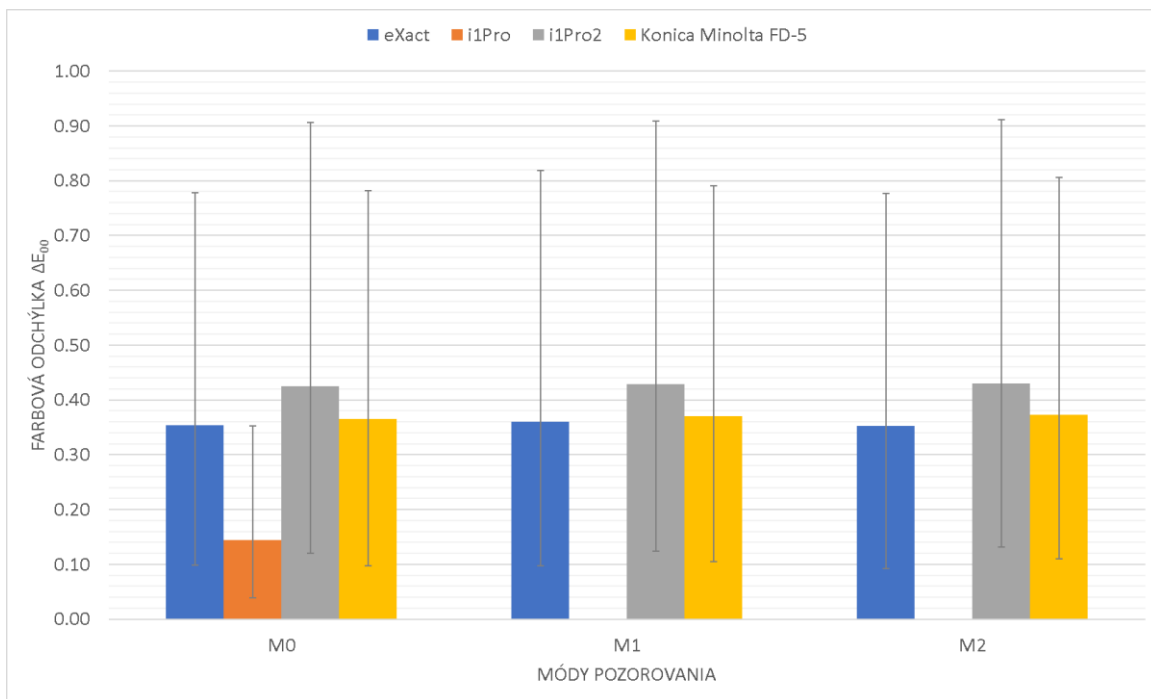
V prípade porovnania maximálnych hodnôt farbovej odchýlky ΔE_{00} v tabuľkách s číslami 2-5 sa v niektorých políčkach testovacieho obrazca javí farbová odchýlka ΔE_{00} až nad hodnotu 1,70 a to konkrétne u spektrofotometrov X-Rite i1Pro2 a Konica Minolta FD-5 v tabuľke s číslom 3. Políčko s číslom 164 (CMYK hodnoty políčka sú uvedené v prílohe A) u spektrofotometru X-Rite i1Pro2 v móde merania M2 vykazuje farbovú odchýlku ΔE_{00} až 1,76 a pri spektrofotometri Konica Minolta FD-5 políčko s číslom 279 (CMYK hodnoty políčka sú uvedené v prílohe A) módu merania M0 vykazuje farbovú odchýlku ΔE_{00} až 1,86. Takto vysoké hodnoty je možné považovať za neakceptovateľné, ale jedná sa o extrémny, ktoré nemusia, ale môžu byť spôsobené chybným meraním spektrofotometrov. Políčko mohlo byť napríklad aj poškodené. Po niekoľkých meraniach sa políčka začali opotrebovať a na niektorých políčkach sa objavovali ryhy.



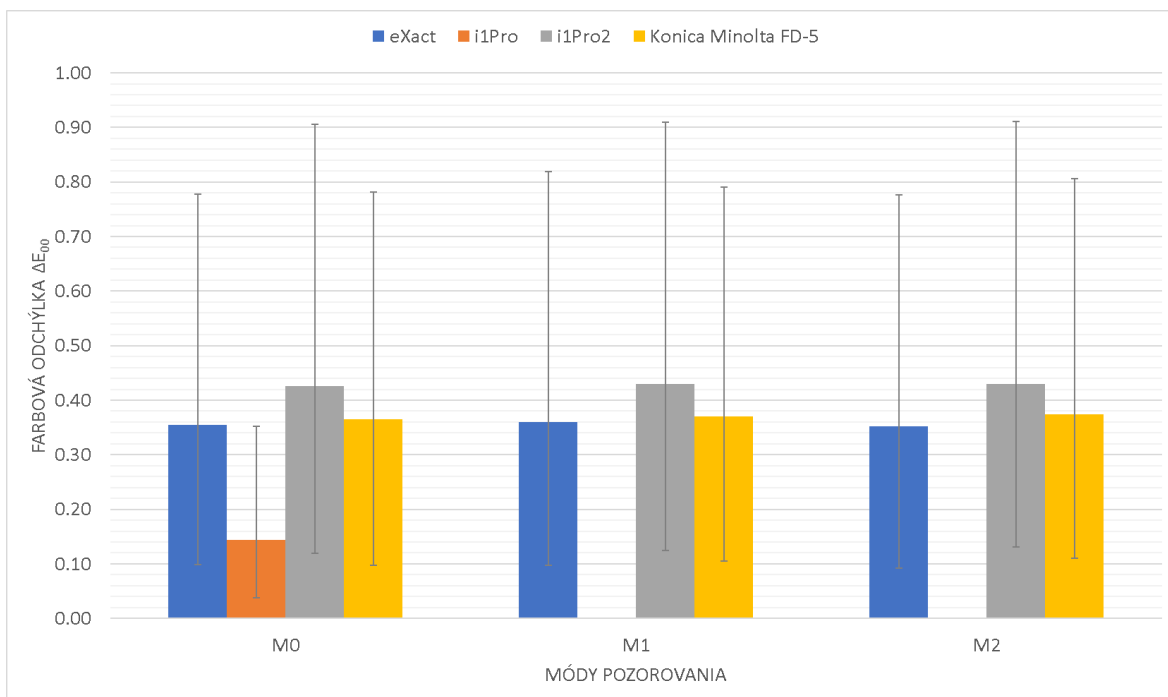
Graf 1 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (1. meranie)



Graf 2 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (1. meranie)



Graf 3 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (1. meranie)



Graf 4 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie)

V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené označenia políčok a farba podľa CMYK hodnôt vytvoreného testovacieho obrazca. Označenie políčka a CMYK hodnoty sú uvedené v prílohe A. Zafarbenie políčka je podľa hodnôt konkrétneho políčka testovacieho obrazca.

Tabuľka 2 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (1. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papieru	Bez OBA											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.38	1.23	1.40	0.77	-	-	0.50	0.50	0.60	0.83	0.97	1.18
farba a označenie políčka	51	485	51	344	-	-	243	243	243	51	51	51

Tabuľka 3 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (1. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papieru	Matný											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.22	1.24	1.23	0.80	-	-	0.45	0.46	1.76	1.86	0.89	0.50
farba a označenie políčka	505	435	505	164	-	-	164	164	164	279	279	236

Tabuľka 4 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (1. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papieru	Lesklý											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.40	1.33	1.47	0.83	-	-	1.59	1.64	1.56	1.24	1.25	1.26
farba a označenie políčka	306	148	307	42	-	-	42	42	42	223	223	232

Tabuľka 5 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie)

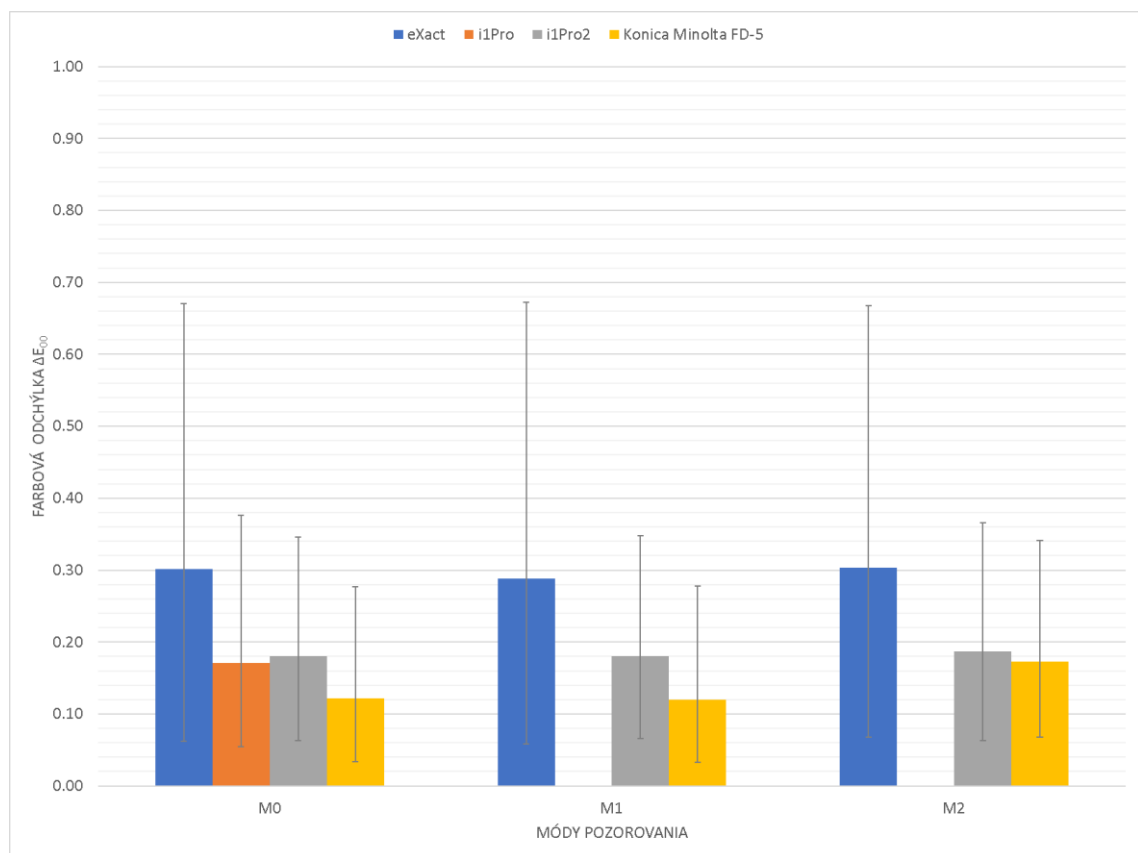
spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papieru	Lesklý s lesklým laminátom											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.47	1.48	1.67	1.22	-	-	1.18	1.12	1.11	1.23	1.46	1.35
farba a označenie políčka	307	435	307	164	-	-	132	164	164	279	279	236

Diskusia k výsledkom 2. merania (zhody medzi tými istými spektrofotometrami)

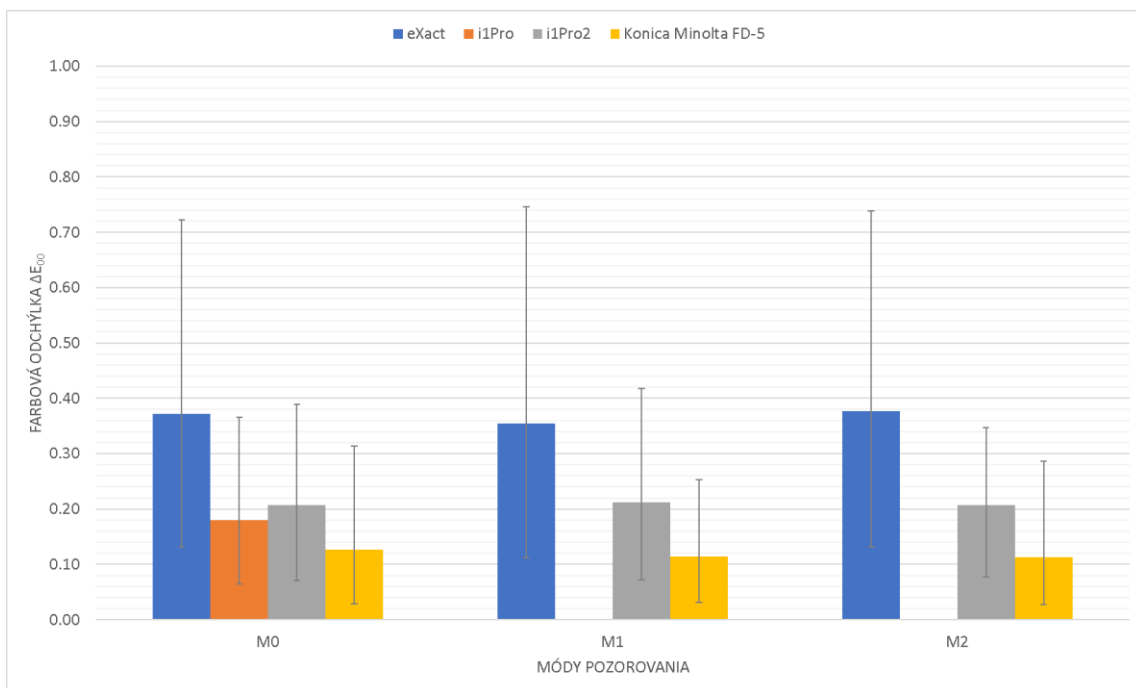
Pri porovnávaní dosiahnutých výsledkov dvoch meraní zo siedmeho dňa vynesných v grafoch s číslami 5-8 sa javí dobrá zhoda medzi výsledkami merania tých istých

spektrofotometrov v rozmedzí približne 0,1 až 0,4 priemeru farbovej odchýlky ΔE_{00} . Najlepšiu zhodu medzi tými istými spektrofotometrami javí spektrofotometer Konica Minolta FD-5 v grafe s číslom 6 kde priemer farbovej odchýlky ΔE_{00} je približne 0,1 pri všetkých módoch merania. Najhoršia zhoda medzi tými istými spektrofotometrami sa javí v grafe s číslom 8 kde sa priemer farbovej odchýlky ΔE_{00} pohybuje približne v hodnotách 0,4. Pri porovnaní výsledkov merania medzi tými istými spektrofotometrami Konica Minolta FD-5 v grafe s číslom 8 sa javí približne najvyšší rozdiel medzi jednotlivými módmi merania kde v móde M1 je hodnota priemeru farbovej odchýlky ΔE_{00} vyššia o približne 100 % v porovnaní s módmi merania M0 a M2.

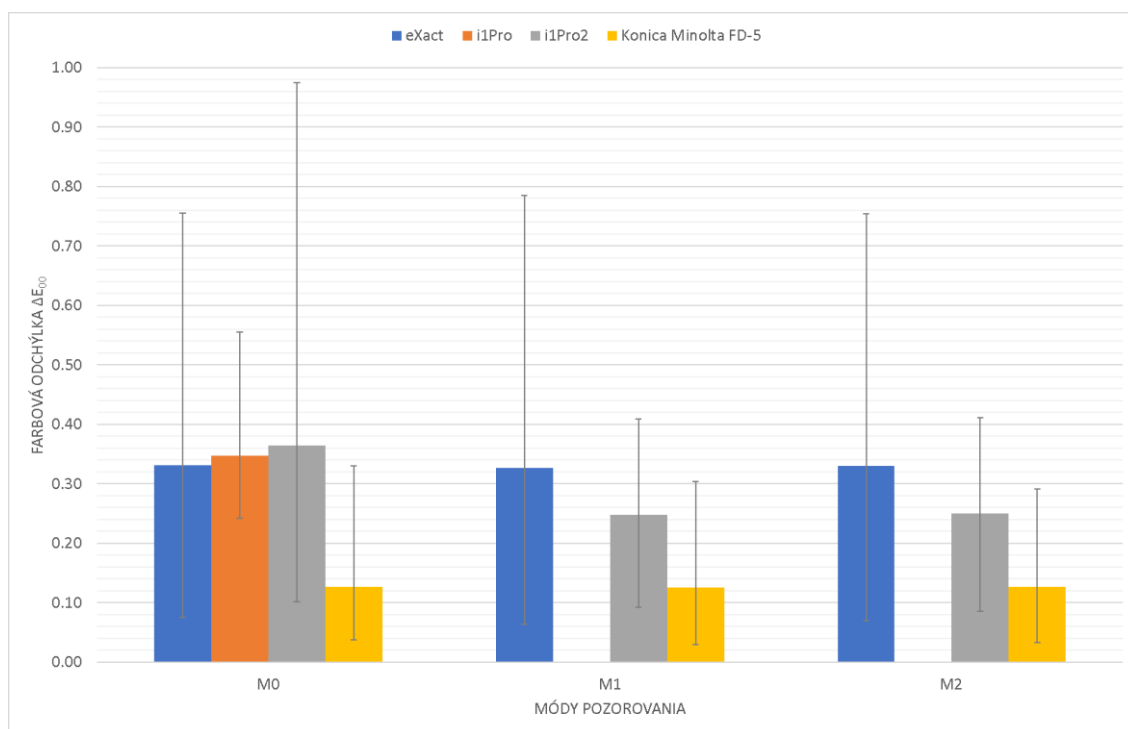
Ak by sa porovnávala maximálna hodnota farbovej odchýlky ΔE_{00} pomocou tabuliek s číslami 6-9 tak najvyššia hodnota ΔE_{00} sa javí v tabuľke s číslom 9 kde maximálna hodnota farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami X-Rite i1Pro2 v móde M1-M2 vykazujú až hodnotu približne 2,1. Hodnoty farbovej odchýlky ΔE_{00} sú neakceptovateľné z dôvodu toho, že sa jedná o zhodu medzi tými istými spektrofotometrami, ale v grafe s číslom 8 sa javí priemerná farbová odchýlka ΔE_{00} nie až tak odlišná v porovnaní s ostatnými spektrofotometrami.



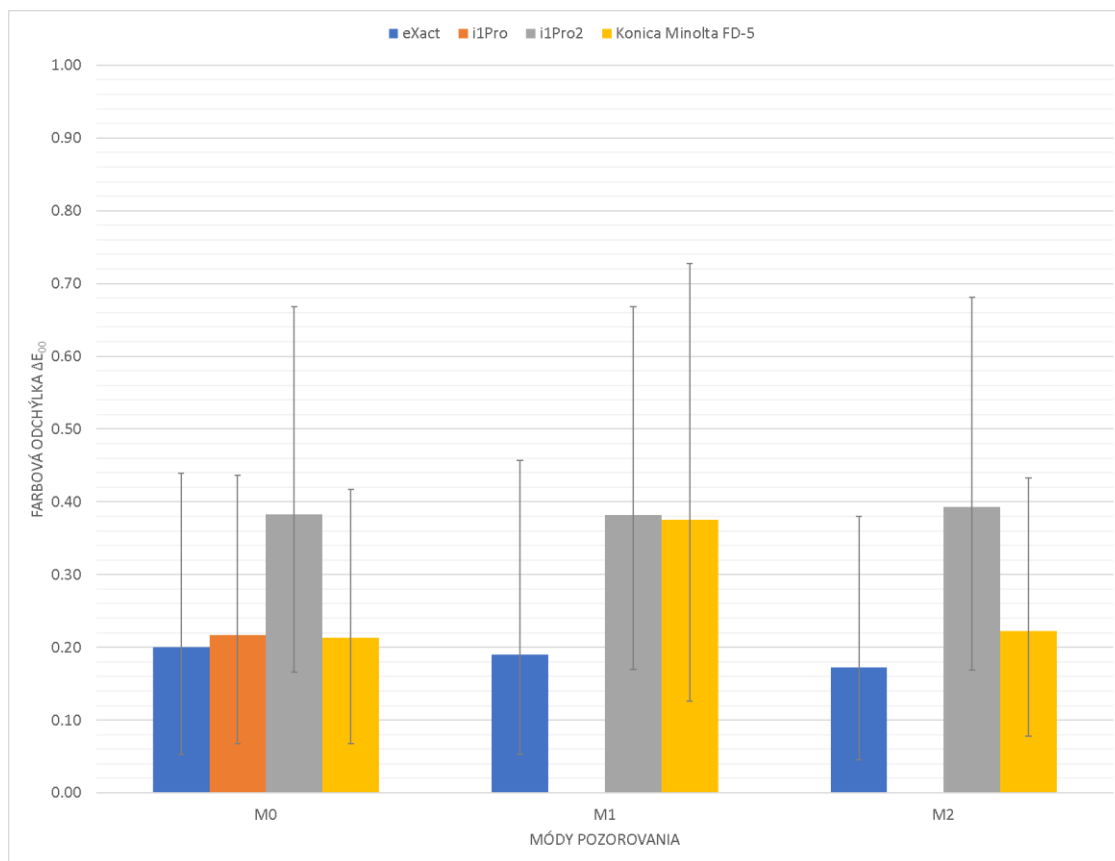
Graf 5 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (2. meranie)



Graf 6 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (2. meranie)



Graf 7 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (2. meranie)



Graf 8 – Vyhodnotenie zhody farbovej odchýlky ΔE_{00} medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie)

Tabuľka 6 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na substráte bez OBA (2. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papiera	Bez OBA											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.43	1.34	1.44	0.62	-	-	0.96	0.95	0.96	0.61	0.70	0.59
farba a označenie políčka	52	52	52	243	-	-	54	54	54	51	51	304

Tabuľka 7 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na matnom substráte s OBA (2. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papiera	Matný											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.91	1.80	1.88	0.72	-	-	0.90	0.87	0.94	0.60	0.46	0.65
farba a označenie políčka	237	237	280	132	-	-	132	132	132	236	236	236

Tabuľka 8 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA (2. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papiera	Lesklý											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.26	1.26	1.26	1.47	-	-	1.19	0.74	0.70	1.20	0.86	0.64
farba a označenie políčka	567	234	567	42	-	-	42	42	42	223	233	233

Tabuľka 9 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} zhody medzi tými istými spektrofotometrami na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie)

spektrofotometer	eXact			i1Pro			i1Pro2			Konica Minolta FD-5		
typ potlačeného papiera	Lesklý s lesklým laminátom											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.19	1.15	1.23	1.35	-	-	1.88	2.08	2.11	0.93	1.23	0.88
farba a označenie políčka	237	237	505	132	-	-	132	164	164	236	279	236

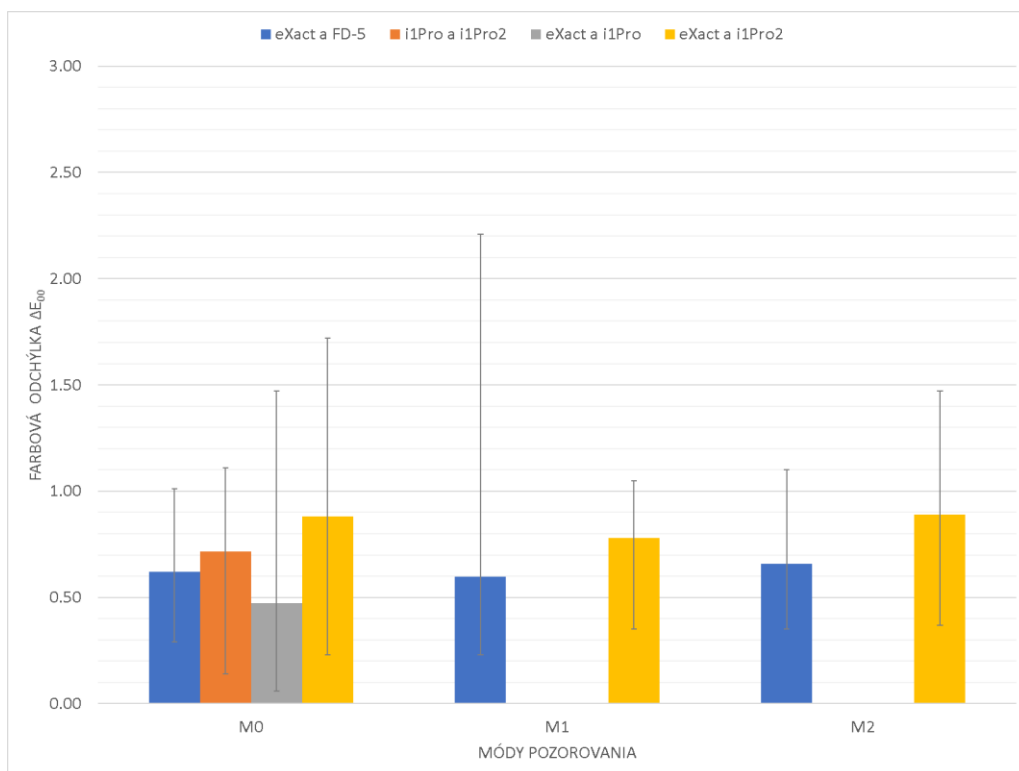
2.7 Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody

Diskusia k výsledkom 1. merania (medziprístrojovej zhody rôznych modelov spektrofotometra)

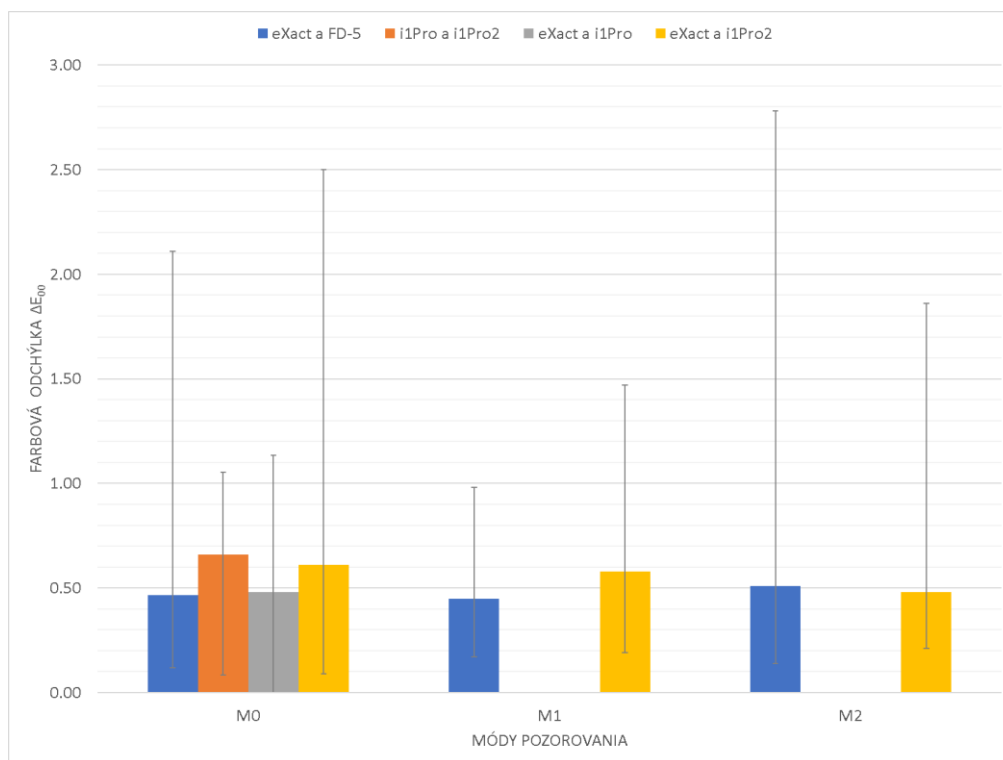
Z výsledkov merania získaných deň po vytlačení vzoriek sa javí relatívne dobrá medziprístrojová zhoda medzi rôznymi modelmi spektrofotometrov v prípade porovnania grafov s číslami 9-12. Priemerná hodnota farebnej odchýlky ΔE_{00} sa pohybuje v rozmedzí približne 0,4-0,9.

Najhoršia medziprístrojová zhoda sa javí medzi spektrofotometrami X-Rite eXact a Konica Minolta FD-5, ktoré v grafe s číslom 12 vykazujú v módoch merania M0 a M2 priemernú farebnú odchýlku ΔE_{00} približne 0,9. Najlepšia medziprístrojová zhoda sa javí medzi spektrofotometrami X-Rite eXact a X-Rite i1Pro2 v grafe s číslom 11 pri móde merania M1 kde priemerná farebná odchýlka ΔE_{00} je približne 0,4.

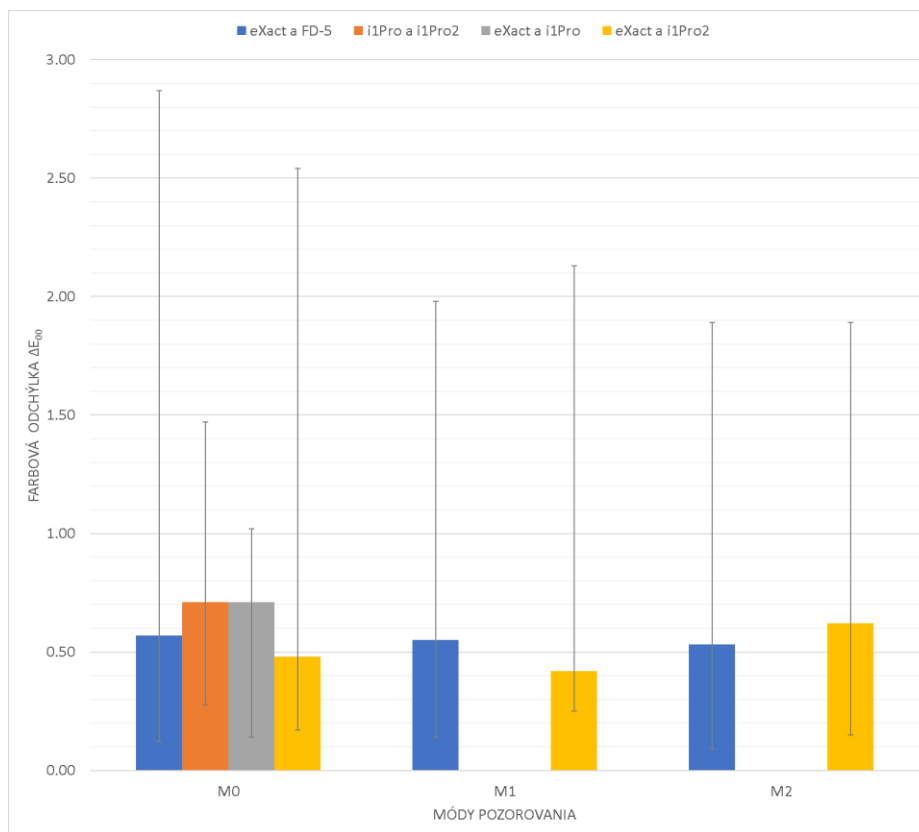
Pri porovnaní výsledkov maxím farebnej odchýlky ΔE_{00} v tabuľkách s číslami 10-13 sa javí byť farebná odchýlka ΔE_{00} jednotlivých políčok testovacieho obrazca značne vysoká a to až nad 5,00 v tabuľkách s číslami 11 a 12 pri porovnaní medziprístrojovej zhody medzi spektrofotometrami X-Rite eXact a Konica Minolta FD-5 v módoch merania M0 a M2. Maximálne hodnoty odchýlky ΔE_{00} sa javia byť značne vysoké pri väčšine dvojíc spektrofotometrov pri pohľade na tabuľky s číslami 10-13.



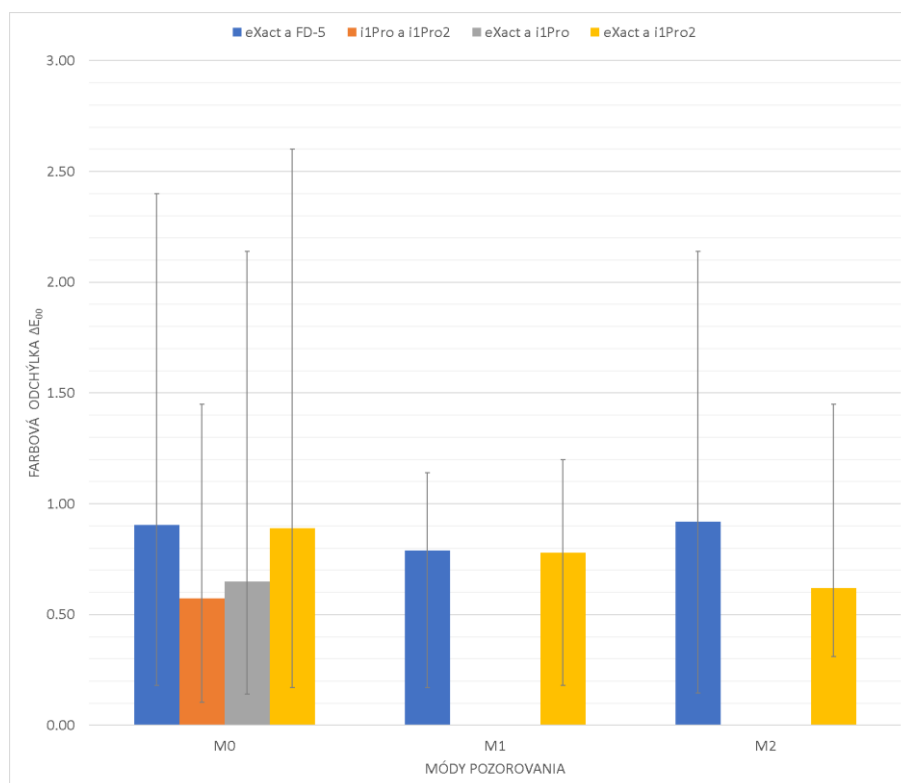
Graf 9 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na substráte bez OBA (1. meranie)



Graf 10 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA (1. meranie)



Graf 11 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na matnom substráte s OBA (1. meranie)



Graf 12 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie)

Tabuľka 10 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na substráte bez OBA (1. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papiera	bez OBA											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.03	2.60	1.12	1.35	-	-	2.14	-	-	1.98	1.47	2.20
farba a označenie políčka	386	44	269	107	-	-	51	-	-	48	158	48

Tabuľka 11 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA (1. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papiera	lesklý											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	5.01	0.95	4.92	1.50	-	-	3.40	-	-	3.80	1.80	2.10
farba a označenie políčka	495	174	495	56	-	-	164	-	-	48	278	53

Tabuľka 12 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na matnom substráte s OBA (1. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papiera	matný											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	5.54	2.41	5.75	1.73	-	-	1.32	-	-	3.40	2.86	3.70
farba a označenie políčka	171	359	171	243	-	-	315	-	-	17	112	46

Tabuľka 13 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (1. meranie)

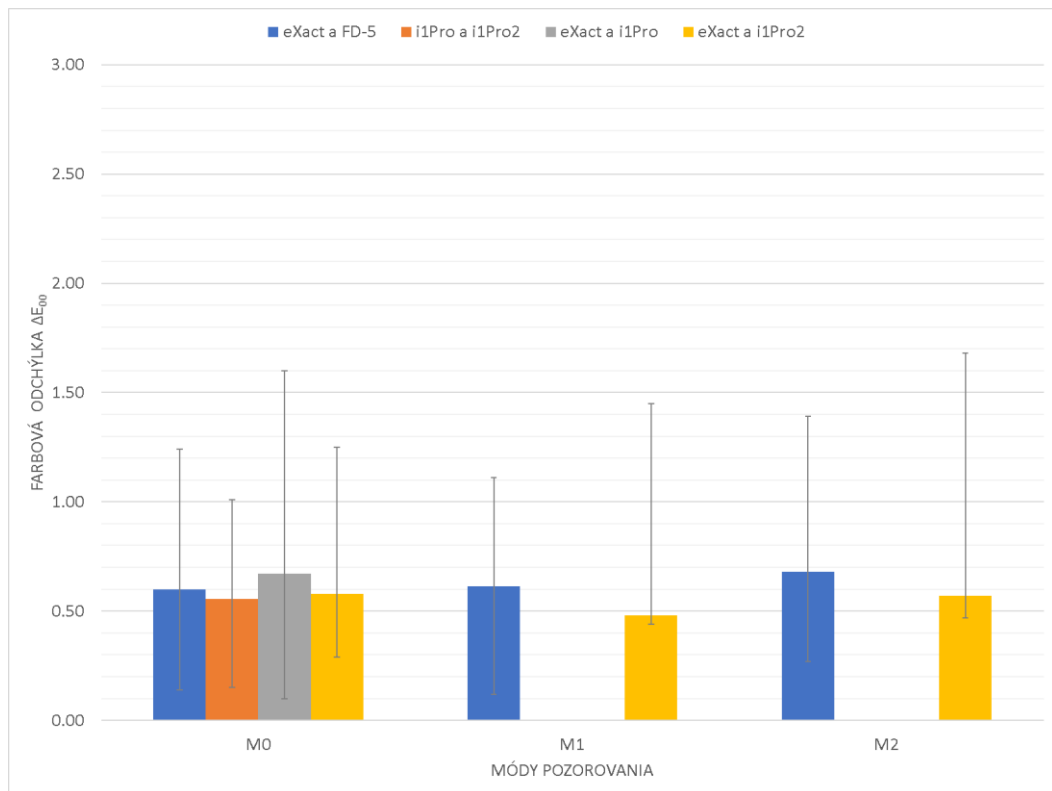
dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papiera	lesklý s lesklým laminátom											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	4.05	1.90	4.19	1.79	-	-	2.40	-	-	3.28	1.50	1.89
farba a označenie políčka	590	23	590	536	-	-	465	-	-	495	384	48

Diskusia k výsledkom 2. merania (medziprístrojovej zhody rôznych modelov spektrofotometra)

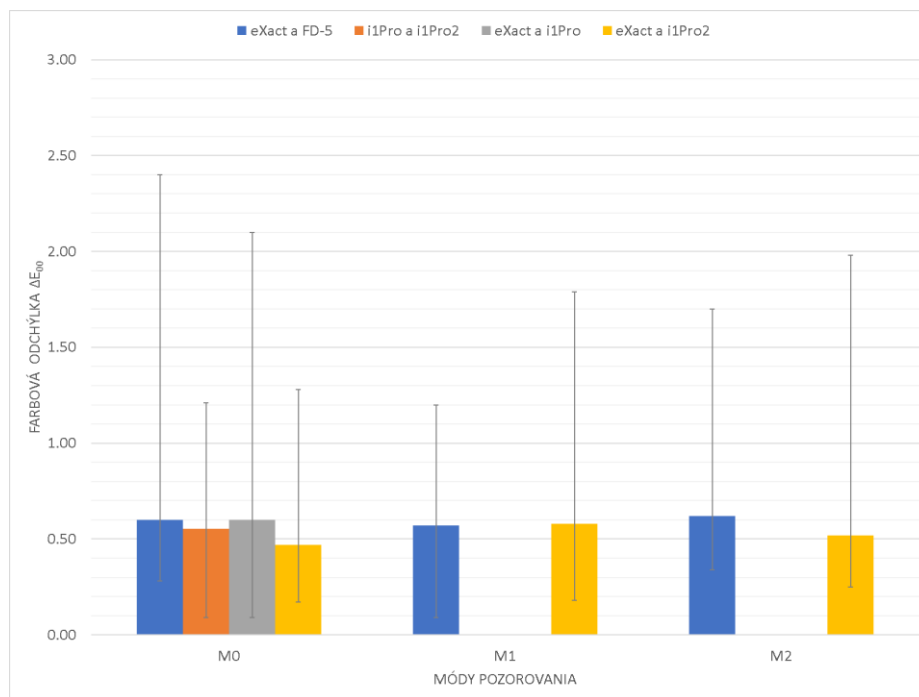
Z dosiahnutých výsledkov v siedmy deň merania po tlači testovacieho obrazcu je možné si všimnúť, že medziprístrojová zhoda resp. jej grafické znázornenie v grafoch s číslami 13-16 je dobrá a to konkrétne v rozsahu približne 0,4-0,7 priemernej hodnoty farbovej odchýlky ΔE_{00} . Najlepšia medziprístrojová zhoda sa javí pri porovnaní spektrofotometrov X-Rite eXact a X-Rite i1Pro2 v grafe s číslom 16 v móde merania M1 kde hodnota priemernej farbovej odchýlky ΔE_{00} je približne 0,4. Najhoršia medziprístrojová zhoda sa javí byť medzi

spektrofotometrami X-Rite eXact a Konica Minolta FD-5 v grafe s číslom 13 v móde merania M2 kde priemerná hodnota farbovej odchýlky ΔE_{00} je približne 0,7.

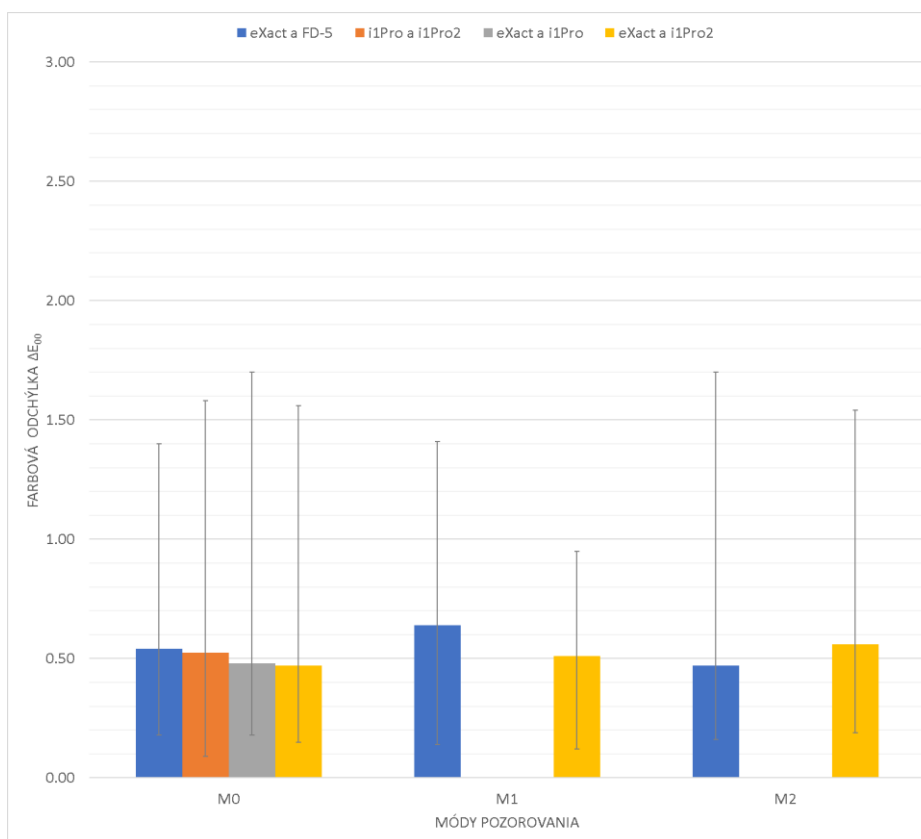
Pri porovnávaní maxim farbovej odchýlky ΔE_{00} výsledkov merania medziprístrojovej zhody uvedených v tabuľkách s číslami 14-17 je možné si všimnúť veľmi vysoké hodnoty ΔE_{00} dosiahnuté na jednotlivých políčkach testovacieho obrazca. Najvyššie hodnoty maximálnej farbovej odchýlky ΔE_{00} sú v tabuľkách s číslami 15 a 17 kde pri móde merania M0 medzi spektrofotometrami X-Rite eXact a Konica Minolta FD-5 je dosiahnutá hodnota až 3,8. Väčšina hodnôt maxim farbovej odchýlky ΔE_{00} uvedených v tabuľkách 14-17 sú neprijateľne vysoké, ale zase sa jedná o ojedinelé hodnoty a pri porovnaní priemerných výsledkov merania je medziprístrojová zhoda dobrá.



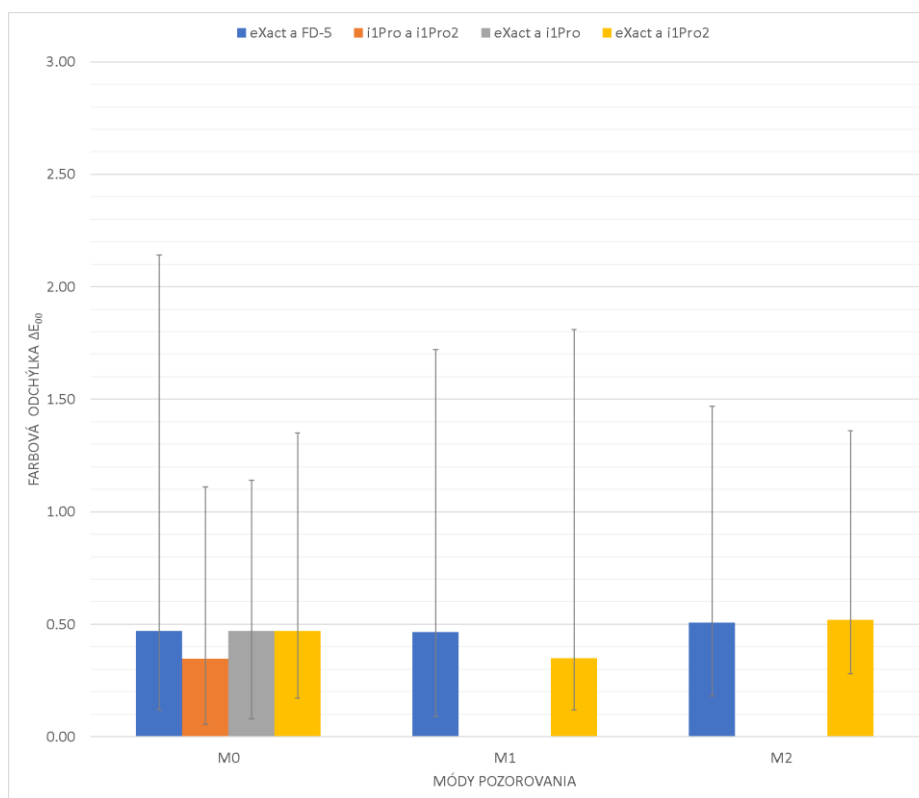
Graf 13 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na substráte bez OBA (2. meranie)



Graf 14 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA (2. meranie)



Graf 15 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na matnom substráte s OBA (2. meranie)



Graf 16 – Vyhodnotenie medziprístrojovej zhody pomocou farbovej odchýlky ΔE_{00} na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie)

Tabuľka 14 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na substráte bez OBA (2. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papieru	bez OBA											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.70	1.20	1.80	1.08	-	-	1.18	-	-	1.48	1.68	2.40
farba a označenie políčka	148	174	495	98	-	-	53	-	-	112	47	247

Tabuľka 15 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA (2. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papieru	lesklý											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	3.80	1.80	2.10	1.47	-	-	2.40	-	-	1.47	2.14	2.17
farba a označenie políčka	487	158	35	486	-	-	147	-	-	471	48	85

Tabuľka 16 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na matnom substráte s OBA (2. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papiera	matný											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	1.50	1.73	2.40	1.58	-	-	1.90	-	-	1.90	0.99	1.78
farba a označenie políčka	47	198	298	78	-	-	53	-	-	147	384	55

Tabuľka 17 – Vyhodnotenie maximálnych hodnôt ΔE_{00} medziprístrojovej zhody na lesklom substráte s OBA laminovaným lesklým laminátom (2. meranie)

dvojca spektrofotometrov	eXact a FD-5			i1Pro a i1Pro2			eXact a i1Pro			eXact a i1Pro2		
typ potlačeného papiera	lesklý s lesklým laminátom											
mód merania	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2	M0	M1	M2
maximálna hodnota ΔE_{00}	3.80	2.10	2.40	1.15	-	-	1.60	-	-	1.58	2.10	1.89
farba a označenie políčka	157	71	157	495	-	-	53	-	-	172	158	41

3 ZÁVER

Z dosiahnutých výsledkov medziprístrojovej zhody je možné dôjsť k záveru, že medziprístrojová zhoda zavedením módov merania M0-M3 normou ISO 13655 je lepšia ak sa jedná o meranie pomocou módu merania M1 čo je praktické z dôvodu toho, že väčšina komerčne dostupných papierov obsahuje veľké množstvo opticky zjasňujúcich prostriedkov a preto podľa teórie by to malo pomôcť a praktické výsledky ukazujú, že vo väčšine prípadov je lepšia medziprístrojová zhoda v móde merania M1. Počas meraní mohlo dôjsť k vzniku chybám merania a preto niektoré výsledky v grafoch a tabuľkách z dôvodu množstva dát, kde mohlo dôjsť k chybe vyhodnocovania zavineného ľudských faktorom alebo z dôvodu toho (podľa teórie a praxe), že jednotlivé políčka na vytlačnom testovacom obraze boli opotrebované resp. poškrábané prípadne inak poškodené mohlo mať a pravdepodobne malo vplyv na skreslenie výsledkov merania. Druhým dôkazom toho, že pri meraní papieru, ktorý obsahuje opticky zjasňujúce prostriedky by sa malo merať v móde merania M1 je to že, výsledky medziprístrojovej zhody medzi rôznymi modelmi spektrofotometra na substráte bez OBA sú horšie v porovnaní s ostatnými substrátmi vrátane laminovaného lesklým laminátom, kde sa medziprístrojová zhoda zlepšila. V prípade výsledkov medziprístrojovej zhody medzi spektrofotometrami toho istého modelu od toho istého výrobcu je možné dôjsť k záveru, že variabilita výsledkov je dosiahnutá prakticky vždy aj keď sa jedná o presne ten istý prístroj, ale odchýlky nie sú až tak veľké a preto ak je spektrofotometer správne nakalibrovaný a je dodržaný správny postup merania malo by dôjsť k vzniku minimálnych odchýlok merania, ktoré sú akceptovateľné. Každopádne sa dá predpokladať, že sa skôr bude jednať o merania na úplne odlišných spektrofotometroch a na substráte, ktorý obsahuje vysoký podiel OBA a preto je vhodné použiť mód M1 prakticky vždy, ak by sa nejednalo o špeciálny prípad.

4 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Vik M. *Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi*. 1. vydání, Liberec: VÚTS, a.s., 179 strán, 2015 [cit. 2020-6-25]. ISBN 978-80-87184-64-6. Dostupné z: <https://www.vuts.cz/publikace-monografie.html>
- [2] International Commission on Illumination (CIE). *COLORIMETRY*. 4th Edition CIE, 79 strán, 015:2018 [cit. 2020-6-25]. ISBN 978-3-901906-33-6.
- [3] ISO 12647-2. *Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Part 2: Offset lithographic processes*, Ženeva (Švajčiarsko), ISO, 2013. 25 strán.
- [4] Kaplanová Marie a kolektív. *Moderná polygrafia*. Vyd.1. Praha:Svaz polygrafických podnikatelů. 392 strán, ISBN 978-80-254-4230-2.
- [5] ISO 13655:2017. *Graphic technology — Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images* Ženeva (Švajčiarsko), ISO, 2017. 49 strán.
- [6] Hugh S. Fairman, Michael H. Brill, Henry Hemmendinger, *How the CIE 1931 color-matching functions were derived from Wright-Guild data* In: *Colour Research and Application*, 1997. 22(1): p. 11-23. 1997 [cit. 2020-6-25] Dostupné z: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6378\(199702\)22:1<11::AID-COL4>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6378(199702)22:1<11::AID-COL4>3.0.CO;2-7)
- [7] International Commission on Illumination (CIE). *CIE 10 DEGREE PHOTOPIC PHOTOMETRIC OBSERVER*. 1th Edition CIE, 23 strán, 165:2005 [cit. 2020-6-25]. ISBN 978-3-901906-39-8.
- [8] P. W. Trezona, *Derivation of the 1964 CIE 10° XYZ colour-matching functions and their applicability in photometry* In: *Colour Research and Application*, 2001. 26(1): p. 67-75. 2001 [cit. 2020-6-25] Dostupné z: [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(200102\)26:1<67::AID-COL7>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1520-6378(200102)26:1<67::AID-COL7>3.0.CO;2-4)
- [9] Bernhard Hill, Th. Roger, F. W. Vorhagen, *Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula* In: *Computer Science, Mathematics* 1997.[cit. 2020-6-25] Dostupné z: <https://doi.org/10.1145/248210.248212>
- [10] Roy S. Berns, *Derivation of a hue-angle dependent, hue-difference weighting function for CIEDE2000* In: *Proceedings 9th Congress of the International Colour Association*, 2002. 4421(1). 2002 [cit. 2020-6-25] Dostupné z: <https://doi.org/10.1117/12.464638>

- [11] Williams, A. Inter-instrument agreement in colour and density measurement. *IFRA Special Report* [online]. 2007, pp. 7–30 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: [http://www.ifra.com/website/specialr.nsf/0/bcccae8750e9d0c6c12572eb002a0b45/\\$file/sre_2007-02.pdf](http://www.ifra.com/website/specialr.nsf/0/bcccae8750e9d0c6c12572eb002a0b45/$file/sre_2007-02.pdf)
- [12] Robert L. Donofrio, *Review Paper: The Helmholtz-Kohlrausch* In: Society for Information Display, 2011. 19(10): p.658-664.2011 [cit 2020-6-25] Dostupné z: <https://doi.org/10.1889/JSID19.10>.
- [13] ISO 14981:2000. *Graphic technology — Process control — Optical, geometrical and metrological requirements for reflection densitometers for graphic arts use* Ženeva (Švajčiarsko), ISO, 2000. 13 strán.
- [14] ISO 554:1976. *Standard atmospheres for conditioning and/or testing — Specifications* Ženeva (Švajčiarsko), ISO, 1976. 1 strana.
- [15] Sharma A., Leung E. and Adams R. Evaluation of inter-model agreement using ISO 13655 M0, M1 and M2 measurement modes in commercial spectrophotometers. *Color research and application* [online]. 2017, 42(1), pp. 27–37 [cit. 2020-06-26]. DOI: 10.1002/col.22045.
- [16] X-Rite. Calibration-profiling. *i1Basic Pro 3 Plus* [online] X-Rite webové stránky, 2020 [2020-06-25] Dostupné z: <https://www.xrite.com/categories/calibration-profiling/i1basic-pro-3-plus>
- [17] ISO 15790:2004. *Graphic technology and photography — Certified reference materials for reflection and transmission metrology — Documentation and procedures for use, including determination of combined standard uncertainty* Ženeva (Švajčiarsko), ISO, 2004. 20 strán.

5 PRÍLOHY

Príloha A <i>Označenie políčok testovacieho obrazca a CMYK hodnoty</i>	67
------------------------------------------------------------------------------	----

Príloha A Označenie políčok testovacieho obrazca a CMYK hodnoty

Políčko	C	M	Y	K	Políčko	C	M	Y	K
17	25	65	90	0	232	0	45	75	15
23	15	65	35	0	233	0	45	70	25
35	30	5	40	5	234	0	50	75	20
41	45	10	5	10	236	0	0	10	50
42	0	40	40	5	237	45	0	10	50
44	0	0	0	20	243	0	0	0	50
46	0	0	0	25	247	65	30	10	5
47	0	0	0	30	269	0	40	70	25
48	0	0	0	35	278	0	35	15	10
51	0	0	0	50	279	0	0	0	80
52	0	0	0	55	280	50	35	15	35
53	0	0	0	60	298	50	25	60	35
54	10	0	30	70	304	50	55	10	60
55	0	0	0	75	306	0	5	0	45
56	5	0	5	50	307	0	5	0	54
71	70	55	5	30	315	0	0	0	35
78	0	0	0	55	344	35	20	0	10
85	50	35	0	25	359	0	80	50	40
98	50	35	7	5	384	50	55	0	60
107	45	35	30	5	386	25	10	35	30
112	45	15	35	45	435	25	10	10	35
132	0	0	5	55	465	25	15	10	15
147	75	55	5	30	471	0	0	5	55
148	0	15	5	0	485	20	0	29	58
157	5	15	40	20	486	35	5	45	35
158	5	55	50	45	487	35	8	35	55
164	0	0	0	80	495	60	5	50	55
171	55	50	0	50	505	25	10	35	30
172	55	55	0	55	536	50	55	10	60
174	35	0	20	5	567	10	10	35	70
198	0	0	40	35	590	45	0	25	70
223	15	0	35	20					