

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Využitelnost metod hodnocení bělosti pro osvětlení D50

Bc. Kateřina Truhlářová

Diplomová práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina Truhlářová**
Osobní číslo: **C17475**
Studijní program: **N3441 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Název tématu: **Využitelnost metod hodnocení bělosti pro osvětlení D50**
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

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

1. Na základě studia odborné literatury zpracujte přehled současného stavu v oblasti metod pro hodnocení bělosti materiálů a příslušných rovnic pro bělost a odstínový nádech.
2. Proveďte vizuální hodnocení sady bílých vzorků s různými odstínovými nádechy pod simulátorem osvětlení D50 bez UV složky i s UV složkou. Realizujte experiment tak, aby umožňoval studovat i vliv rozdílů ve spektrálním složení zdroje na vizuální hodnocení bělosti.
3. Vyhodnoťte intra- a interindividuální observační variabilitu u vizuálních posudků a porovnejte výsledky vizuálního hodnocení s objektivním hodnocením pomocí vybraných rovnic.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Markéta Držková, Ph.D.

Katedra polygrafie a fotofyziky

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Michal Vik, Ph.D.

Technická univerzita Liberec

Datum zadání diplomové práce:

28. února 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2019



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

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

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 5. 2019

Kateřina Truhlářová

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



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

**MS
MT**
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Markétě Držkové, Ph.D., za odborné vedení, připomínky, věnovaný čas a vstřícnost, se kterou se mi věnovala, Ing. Ondreji Panákovi, Ph.D., za cenné rady a konzultace. Taktéž patří díky doc. Ing. Michalu Víkovi, Ph.D., za konzultace, věnovaný čas, zapůjčení hodnocených vzorků a stupnic a jeho kolegům za pomoc proměření dat na Spektrofotometru ERX30.

Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se účastnili vyšetření barvocitu, a zejména těm, kteří se podíleli na subjektivním hodnocení v experimentální části.

V neposlední řadě děkuji své rodině za jejich podporu během celého studia.

ANOTACE

Práce přináší přehled současného stavu v oblasti metod pro hodnocení bělosti materiálů a příslušných rovnic. Dále se pak věnuje využitelnosti těchto metod pro osvětlení D50. Skupinou posuzovatelů s vysokou schopností rozlišování odstínů barev bylo provedeno hodnocení sady bílých vzorků obsahujících fluorescenční bělicí prostředky a porovnáno s výsledky objektivního měření jejich bělosti a odstínového nádechu. Bylo zjištěno, že doporučené modifikace stávající rovnice CIE pro bělost s vizuálními posudky bělosti pod osvětlením D50 korelují hůře, naopak pod D50 se zesílenou UV složkou korelují výrazně lépe.

KLÍČOVÁ SLOVA

bělost, odstínový nádech, hodnocení bělosti, rovnice hodnocení bělosti, osvětlení D50

TITLE

Applicability of whiteness evaluation methods for D50 illumination

ANNOTATION

The thesis brings an overview of the current state of methods for evaluating whiteness and the relevant formulas. Further, it deals with the applicability of these methods for D50 illumination. For the set of white samples containing the fluorescence whitening agents, the evaluation by a group of observers with superior color discrimination was compared with the results of the objective measurement of their whiteness and tint. It was found that the correlation of the recommended modifications to the existing CIE whiteness formula with the whiteness rating is worse under the D50 illumination, while under D50 with the added UV component their correlation is significantly stronger.

KEYWORDS

whiteness, tint, evaluation of whiteness, whiteness formulas, D50 illumination

Obsah

1	Bělost	15
1.1	Bělost v barvovém prostoru	15
1.2	Docílení bělosti	17
1.2.1	Fluorescenční bělicí prostředky	18
1.3	Vliv osvětlení na bělost	19
1.4	Využití bělosti	21
2	Metody hodnocení bělosti	22
2.1	Metody subjektivní	22
2.1.1	Výběr posuzovatelů	22
2.1.2	Senzorické pracoviště	23
2.1.3	Zkušební metoda, podmínky a protokol o zkoušce	23
2.1.4	Párová porovnávací zkouška	25
2.1.5	Pořadová zkouška	26
2.1.6	Průmyslové posuzování barevných rozdílů	26
2.2	Metody objektivní	27
2.2.1	Hodnocení bělosti založené na jedné nebo dvou měřených veličinách	28
2.2.2	Hodnocení bělosti založené na třech měřitelných veličinách	29
2.2.2.1	Rovnice pro hodnocení bělosti a odstínový nádech podle Ganze a Griessera	31
2.2.2.2	Hodnocení bělosti a odstínového nádechu podle CIE	33
2.2.3	Doporučení pro modifikaci stávajících rovnic CIE pro hodnocení bělosti a odstínového nádechu	35
2.2.4	Měření vzorků	37
2.3	Způsoby zpracování a vyhodnocení subjektivního a objektivního hodnocení	38
3	Experiment	42
3.1	Objektivní měření	42
3.1.1	Textilní vzorky	44
3.1.2	Stupnice pro hodnocení vnímané bělosti a odstínového rozdílu	50
3.2	Subjektivní hodnocení	51
3.2.1	Koloristická skříň JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC	51
3.2.2	Vyšetření barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu	52
3.2.3	Vizuální hodnocení sady bílých vzorků pod simulátorem osvětlení D50 a D50 se zesílenou UV složkou	56
3.2.4	Podmínky pro možnost studia vlivu rozdílu ve spektrálním složení simulátoru D50	57

4	Zpracování a vyhodnocení získaných dat.....	59
4.1	Inter- a intraindividuální observační variabilita vnímané bělosti	59
4.2	Inter- a intraindividuální observační variabilita vnímaného odstínového nádechu ..	62
4.3	Vyhodnocení inter- a intraindividuální observační variability	66
4.4	Porovnání výsledků vizuálního hodnocení s objektivním hodnocením pomocí vybraných rovnic	67
4.5	Vyhodnocení porovnání vizuálního hodnocení s vybranými rovnicemi	73
5	Závěr	74
6	Použitá literatura	75

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1: Zobrazení limitů v chromatickém diagramu CIE _{xy} pro hodnotu $Y = 90$	16
Obrázek 2: Charakteristické parametry pro prostor bělosti v chromatickém diagramu CIE....	17
Obrázek 3: Spektrální odrazivost bavlny pro různé způsoby zpracování.....	18
Obrázek 4: Jablonského energetický diagram se znázorněním zářivých přechodů.....	19
Obrázek 5: Schéma chromatičnosti CIE 1976 se šesti liniemi isoterperatury k reprezentaci světla.....	20
Obrázek 6: Poloha zdroje světla, vzorku a posuzovatele pro relativní pozici $0^\circ/45^\circ$	24
Obrázek 7: Poloha zdroje světla, vzorku a posuzovatele pro relativní pozici $45^\circ/0^\circ$	24
Obrázek 8: Plastová stupnice CIBA pod simulátorem osvětlení D50 (vlevo) a D50 se zesílenou složkou UV (vpravo)	27
Obrázek 9: Stupnice pro hodnocení odstínu pod simulátorem osvětlení D50.....	27
Obrázek 10: Zobrazení bělosti podle CIE v diagramu CIE _{xy}	34
Obrázek 11: Geometrie pro zobecnění rovnice bělosti v diagramu CIE _{xy}	35
Obrázek 12: Metodika měření vzorku se čtyřmi opakováními a) pro přístroj s difuzní měřicí geometrií a b) pro přístroj s měřicí geometrií $45^\circ:0^\circ$	38
Obrázek 13: Spektrofotometr ERX30 od firmy X-Rite Pantone®	42
Obrázek 14: Spektrofotometr UltraScan VIS od firmy HunterLab	43
Obrázek 15: SpectraScan® PR-740 od společnosti Photo Research	43
Obrázek 16: Sada hodnocených textilních vzorků v koloristické skříni pod simulátorem osvětlení D50	45
Obrázek 17: Sada hodnocených textilních vzorků v koloristické skříni pod simulátorem osvětlení D50 se zesílenou složkou UV	45
Obrázek 18: Ukázka textilních vzorků – tkanina (vlevo), pletenina (vpravo).....	45
Obrázek 19: Barvové souřadnice vzorků v chromatickém diagramu CIE _{xy} pro podmínky D50/2°	47
Obrázek 20: Barvové souřadnice vzorků v diagramu Y _x prostoru CIE _{xyY} pro podmínky D50/2°	47
Obrázek 21: Porovnání textilních vzorků změřenými pod různými zdroji	50
Obrázek 22: Koloristická skříň Color Viewing Light BASIC od firmy JUST NORMLICHT	51
Obrázek 23: Farnsworth–Munsellův 100 Hue test	52
Obrázek 24: Pořadová čísla na zadní straně barevných terčů Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu.....	53
Obrázek 25: Software FM 100 Hue Test Scoring, hlavní stránka	54
Obrázek 26: Software FM 100 Hue Test Scoring, stránka analýzy výsledku	54
Obrázek 27: Software FM 100 Hue Test Scoring, stránka databáze jednotlivých hodnocení.....	54
Obrázek 28: Ukázka skóre Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu pro špatná seřazení terčů	55
Obrázek 29: Záznam z probíhajícího hodnocení	56
Obrázek 30: Ukázka vzoru listu pro záznam hodnocení jednotlivých vzorků jedním z posuzovatelů	57
Obrázek 31: Grafické zobrazení kritérií pro interindividuální observační variabilitu vnímané bělosti pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou.....	59

Obrázek 32: Grafické zobrazení kritérií pro intraindividuální observační variabilitu vnímané bělosti pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou.....	61
Obrázek 33: Stanovení rovnice pro přepočet vizuálních posudků na hodnoty vizuálně.....	62
Obrázek 34: Grafické zobrazení kritérií pro intraindividuální observační variabilitu vnímaného odstínového nádechu pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou.....	63
Obrázek 35: Grafické zobrazení kritérií pro intraindividuální observační variabilitu vnímaného odstínového nádechu pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou.....	65
Obrázek 36: Korelační koeficient r hodnocení bělosti pro jednotlivé replikace u vybraných posuzovatelů; a) pro podmínky D50, b) pro podmínky D50 se zesílenou složkou UV.....	66
Obrázek 37: Korelační koeficient r hodnocení odstínového nádechu pro jednotlivé replikace u vybraných posuzovatelů; a) pro podmínky D50, b) pro podmínky D50 se zesílenou složkou UV.....	66
Obrázek 38: Závislost vnímané bělosti a odstínového nádechu na hodnotách vypočtených vybranými rovnicemi pro osvětlení bez UV složky; kosočtverce – tkaniny, kroučky – pleteniny.....	70
Obrázek 39: Závislost vnímané bělosti a odstínového nádechu na hodnotách vypočtených vybranými rovnicemi pro osvětlení s UV složkou; kosočtverce – tkaniny, kroučky – pleteniny.....	71
Tabulka 1: Klasifikace kvality osvětlení.....	21
Tabulka 2: Terminologie pro odstínové nádechy, jejich kódové označení a slovní popis.....	32
Tabulka 3: Nominální hodnoty koeficientů pro výpočet hodnoty bělosti a odstínového nádechu podle Ganz–Griessera pro osvětlení D65.....	32
Tabulka 4: Informace o sadě textilních vzorků, trichromatické hodnoty X, Y a Z a barvové souřadnice vypočtené z dat spektrofotometru ERX30 pro podmínky D50/2°.....	46
Tabulka 5: Informace o sadě textilních vzorků, trichromatické hodnoty X, Y a Z a barvové souřadnice ze spektrofotometru HunterLab [D65/2°] a spektrometru SpectraScan® PR-730 [D50 + UV/2°].....	48
Tabulka 6: Hodnoty bělosti a odstínového nádechu získané při proměření vzorků na přístroji HunterLab [D65/2°] a z pohledu omezení podle CIE [5] a doporučených úprav limitů dle Vika a kol. [44] a Ma a kol [45].....	49
Tabulka 7: Charakteristické hodnoty stupnice bělosti CIBA pro podmínky D65/2°.....	50
Tabulka 8: Charakteristické hodnoty stupnice pro hodnocení rozdílnosti odstínového nádechu.....	51
Tabulka 9: Informace o zdroji D50 v koloristické skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC poskytnuté výrobcem.....	52
Tabulka 10: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D50 samostatně i v kombinaci se zdrojem UV v koloristické skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC – spektrofotometr i1 Pro.....	52
Tabulka 11: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D50 samostatně i v kombinaci se zdrojem UV v koloristické skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BACIC – Spektrometr SpectraScan®.....	52
Tabulka 12: Informace o testovaných osobách, které se zúčastnily subjektivního hodnocení textilních vzorků.....	55

Tabulka 13: Informace o zdroji D50 v koloristické skříni LIGHT BOX 5 000 K poskytnuté výrobcem.....	57
Tabulka 14: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D50 v koloristické skříni LIGHT BOX 5 000 K.....	58
Tabulka 15: Světelné podmínky severně orientované místnosti	58
Tabulka 16: Světelné podmínky jižně orientované místnosti.....	58
Tabulka 17: Kritéria pro hodnocení intraindividuální observační variability pro vnímanou bělost	60
Tabulka 18: Hodnoty kritérií pro hodnocení intraindividuální observační variability pro vnímanou rozdílnost odstínu.....	63
Tabulka 19: Hodnoty bělosti a odstínového nádechu stanovené vybranými rovnicemi pro osvětlení bez UV složky	68
Tabulka 20: Hodnoty bělosti a odstínového nádechu stanovené vybranými rovnicemi pro osvětlení s UV složkou	69
Tabulka 21: Kritéria pro hodnocení rovnic u osvětlení bez zesílené UV složky	72
Tabulka 22: Kritéria pro hodnocení rovnic u osvětlení se zesílenou UV složkou	72
Tabulka 23: Vyhodnocení rovnic pomocí kritéria S_r u osvětlení bez zesílené UV složky; zeleně vyznačené hodnoty spadají do stanoveného intervalu	72
Tabulka 24: Vyhodnocení rovnic pomocí kritéria S_r u osvětlení se zesílenou UV složkou; zeleně vyznačené hodnoty spadají do stanoveného intervalu	72

Seznam zkratek

CCT	Correlated Color Temperature – teplota chromatičnosti
CIE	International Commission on Illumination – mezinárodní komise pro osvětlení
CMF	Color Matching Function – trichromatické členitele
CRI	Color Rendering Index – index barevného podání
FWA	Fluorescent Whitening Agents – fluorescenční bělicí prostředky, používá se také označení opticky zjasňující prostředky (OBA – Optical Brightening Agents) nebo fluorescenční zjasňující prostředky (FBA – Fluorescent Brightening Agents)
ISO	International Organization for Standardization – mezinárodní organizace pro normalizaci
LED	Light-Emitting Diode – světlo emitující dioda
PF/3	Performance factor – kombinovaný index pro přesnost, opakovatelnost a výkon rovnice pro objektivní hodnocení ve srovnání se subjektivním hodnocením
SPD	Spectral Power Distribution – spektrální charakteristika zdroje
STRESS	Standardized Residual Sum of Squares – standardizovaný reziduální součet čtverců
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry – technická asociace průmyslu celulózy a papíru
TES	Total Error Score – celkové chybové skóre
UV	Ultraviolet – ultrafialové záření
VIS	Visible – viditelné záření

Úvod

V průmyslu je používána celá řada rovnic pro hodnocení bělosti materiálu. Tato práce celkově představuje metody, které jsou pro hodnocení bělosti a odstínový nádech používány a současný stav příslušných rovnic. Začátek práce specifikuje bělost, kterou je důležité definovat a vymezit pomocí parametrů v barvovém prostoru. Uvádí, jakými možnými způsoby lze bělosti dosáhnout a popisuje princip fluorescenčních bělicích prostředků. Nedílnou součástí je vysvětlení, jaký vliv má na hodnocení bělosti zdroj osvětlení a kterými charakteristikami jej lze charakterizovat.

Dále práce blíže popisuje metody pro hodnocení bělosti, kterými jsou metody subjektivní a objektivní. U metod subjektivních je probrán způsob výběru posuzovatelů, jak zajistit podmínky pro senzorické pracoviště, ve kterém hodnocení probíhá, průběh hodnocení a další související věci tak, aby byla zajištěna správnost a reprodukovatelnost výsledků. U metod objektivních je popsáno jejich rozdělení a dlouholetý vývoj, který vedl ke standardizaci rovnic pro bělost a odstínový nádech. Jelikož byly stávající rovnice primárně vyvinuty pro hodnocení pod osvětlením D65 či dříve používaným osvětlením C, jsou zde uvedena i doporučení, která vznikají na základě iniciativy Mezinárodní komise pro osvětlení (CIE – International Commission on Illumination), aby byla rozšířena aplikace standardizovaných rovnic i na jiné osvětlení, jelikož se rozšiřuje použití nových typů zdrojů s odlišnými spektrálními charakteristikami.

Experimentální část je zaměřena na využitelnost metod pro hodnocení bělosti pro osvětlení D50, přesněji pro podmínky využívané v polygrafii – osvětlení D50 a standardizovaného dvoustupňového pozorovatele. Obsahem experimentální části je provedení subjektivního hodnocení, tedy výběru posuzovatelů, kteří vizuálně ohodnotí sadu bílých vzorků s obsahem fluorescenčních bělicích prostředků a s různými odstínovými nádechy pod simulátorem osvětlení D50 s přidanou ultrafialovou složkou a bez ní. Výsledky vizuálního hodnocení jsou posouzeny pomocí intra- a interindividuální observační variability. U vzorků je objektivním měřením a hodnocením pomocí vybraných rovnic stanovena bělost a odstínový nádech, které jsou posléze porovnány se získanými vizuálními posudky.

1 Bělost

Bílá (white) je podle [1] atributem vizuálního vjemu, podle kterého se podnět jeví bez jakéhokoliv odstínu a šedosti. Rozsah stimulů, které jsou vnímány jako bílé nebo jsou blízké bílé v barvovém prostoru závisí především na pozorovacích podmínkách. Tento rozsah vnímané bílé je malý ve srovnání s celou škálou vnímaných barev.

Bělost (whiteness) je podle [1] definována jako jednoduchá funkce faktoru jasu povrchu nebo jeho odrazivost měřená pro jednu nebo více úzkých oblastí ve viditelném spektru. Vnímaná bělost se může skládat ze složek, které jsou podmíněny jejich původem [2]:

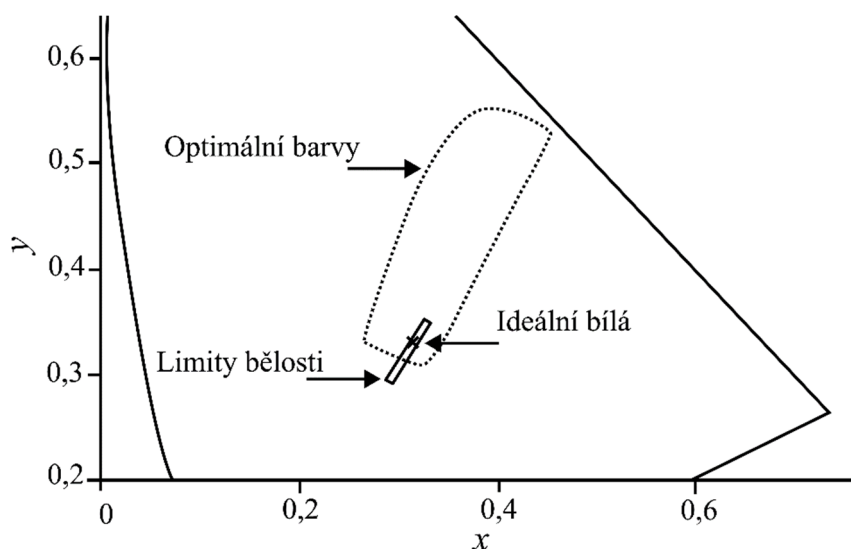
- Základní bílá: definuje ji substrát podle toho, z jaké části dopadající záření absorbuje. Přirozeně má většina materiálů žlutavý odstín nicméně možnost jeho eliminace není podmínkou dosažení vyšší bělosti.
- Odstínová bílá: tato složka odpovídá kompenzaci žlutého odstínu pomocí přísadků modrého nebo fialového barviva. Tato složka je založena na subtraktivním míšení barev. V publikaci [3] je tento způsob odstranění žlutého odstínu označen jak modření, kdy se používalo různých modřidel.
- Fluorescenční bílá: v tomto případě je žlutý odstín kompenzován přidáním modrého světla dosaženého pomocí fluorescence. V kolorimetrii to odpovídá aditivnímu míchání barev.

Měřená hodnota bělosti materiálů se řadí mezi indexy (index bělosti – W) [3] a je to dáno tím, že při hodnocení bělosti materiálů je pro vyjádření jejich kvality dostačující udání pouze jednoho čísla.

1.1 Bělost v barvovém prostoru

Publikace [4] uvádí, že pro objektivní popis barev s ohledem na jejich vnímání lidským zrakem bylo nutné stanovit jeho spektrální citlivost. Komise CIE na základě experimentů v roce 1931 stanovila tři spektrální funkce – trichromatické členitele $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ a $\bar{b}(\lambda)$ (CMF – color matching function), které byly transformovány na trichromatické členitele $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ a $\bar{z}(\lambda)$. Ty popisují barevné vidění pozorovatele při pozorování objektu pod zorným úhlem 2° . V roce 1964 komise CIE definovala doplňkového 10° pozorovatele pro pozorování pod větším zorným úhlem. Tyto trichromatické členitele mají význam při výpočtu trichromatických hodnot X , Y a Z , které jednoznačně popisují každou barvu. Objektivní popis barev v různých barvových prostorech se využívá i pro bělost.

Je-li bělost vymezena v chromatickém diagramu CIE, zaujímá velmi malou oblast. Na obr. 1 jsou zobrazeny limity barevnosti objektů, které mohou podle definice Mezinárodní komise pro osvětlení CIE 15:2004 [5] nést komerční označení jako „bílé“ v porovnání s limity optimálních barev, které pro dané osvětlení vymezují oblast vnímatelných barev (v obr. 1 vyznačené tečkovanou čarou). Tato hranice udává limity pro daný faktor jasu (v obr. 1 trichromatická hodnota $Y=90$), uvnitř kterých leží barevnost všech možných nefluorescenčních objektů. Barevnosti v určité části oblasti vymezené definovanou bělost lze tedy dosáhnout pouze pomocí fluorescenčních bělicích prostředků (FWA). [6]

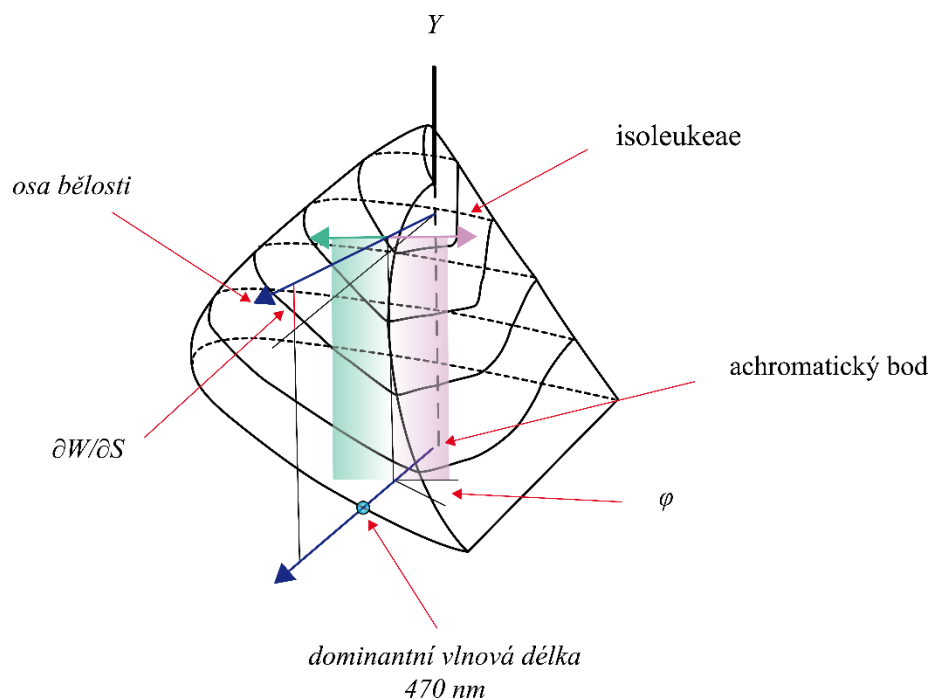


Obrázek 1: Zobrazení limitů v chromatickém diagramu CIExy pro hodnotu $Y = 90$, křížek v oblasti bělosti označuje polohu ideální bílé pro osvětlení D65, tečkovaná čára oblast optimálních barev, plná čára oblast limitů bělosti (adaptováno z [6])

Oblast pro vzorky vykazující bělost může být také vymezena současným splněním následujících podmínek dle [2]:

- Světlost: vzorky s hodnotou nad 70 % budou považovány za bílé, pod touto hodnotou se objekty budou považovat za šedé.
- Odstín a chroma: odstín nacházející se mezi dominantními vlnovými délkami 465 nm a 475 nm; mezní hodnota pro chromu u vzorků hodnocených jako bílé bude velmi závislá na hodnotě světlosti. Vzorky s vysokou sytostí budou hodnoceny jako namodralé místo bílé.

Prostor bělosti lze v chromatickém diagramu charakterizovat také pomocí dalších parametrů [2], které ilustruje obr. 2. Osa bělosti začíná na achromatickém bodu a směřuje k dominantní vlnové délce 470 nm; definuje bělost vnímanou jako neutrální, a je tedy základem pro preferovanou bílou. Parametr definující zvýšení bělosti na jednotku nasycení je označován jako $(\partial W/\partial S)$; zvýšení bělosti lze docílit zvýšením hodnoty Y a/nebo zvýšením sytosti modré, ale jen do jisté míry. Dalším parametrem je *odstínový nádech*, kdy po stranách osy bělosti jsou objekty vnímané jako bílé, ale oproti neutrální bílé s určitým odstínem (načervenalé nebo nazelenalé). Úhel sklonu φ se využívá pro přizpůsobení rovnic bělosti podle místních preferencí. Puebla [2] dále pracuje s pojmem „*isoleukeae*“ označujícím linie, které sdílí stejnou hodnotu bělosti (bez ohledu na odchylku odstínu).



Obrázek 2: Charakteristické parametry pro prostor bělosti v chromatickém diagramu CIE (adaptováno z [2])

1.2 Docílení bělosti

Jak bylo zmíněno výše, s bělostí také úzce souvisí žlutavý odstín. Obdobně jako u bělosti se pro vyjádření zažloutnutí využívá indexu žlutosti [3]. Ten má při hodnocení vlastností materiálů velký význam. Může být parametrem, který je často vnímán jako první, pomocí kterého lze indikovat známky degradace materiálů nebo ztrátu jejich původních charakteristik.

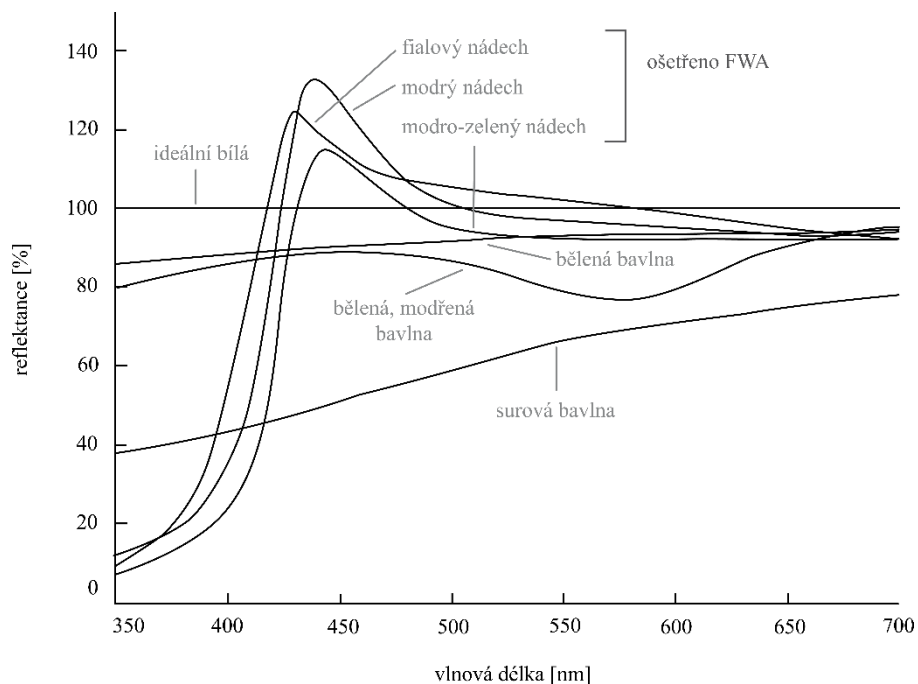
Toto žloutnutí je však nežádoucí a už dlouhou dobu je snaha ho u materiálů, u kterých se projevuje, co nejefektivněji potlačit [3]. Důvodem je, že předměty, které jsou bílé, evokují v člověku čistotu, neposkvřenost, čerstvost nebo dobro. A tak byly vyvíjeny prostředky, jak tohoto vjemu dlouhodobě nebo alespoň částečně u materiálů docílit. Choudhury [7] uvádí čtyři způsoby:

1. Substrát je potažen neprůhlednou vrstvou. Konečná barva závisí jen na vlastnostech této vrstvy, nikoliv na povrchu substrátu.
2. Přírodní textilní materiály (vlna, bavlna, hedvábí aj.) jsou polymery, které obsahují přírodní barviva ovlivňující jejich vzhled. U takovýchto materiálů se používá bělení, při kterém se barvivo zničí silnými redukčními nebo oxidačními činidly. Jako činidla může být použito [8] chlórové vápno, roztok hydrosiřičitanu sodného, dithioničitan, manganistan nebo peroxid vodíku. Funkce bělení tedy spočívá v odstranění žlutého odstínu, látky, která absorbovala modrou část spektra. Obecně se bělením zvýší jas, ale ani při prodloužení bělení není zažloutnutí dokonale eliminováno [7].
3. Vzhledem k tomu, že bělením nelze docílit úplného odstranění zažloutnutí, lze pro zvýšení dojmu bělosti použít modřidel. Jsou to modrá nebo fialová barviva, která pohlcují světlo v zelenožluté části spektra. Příkladem modřidla je šmolka [9],

což je druh silně modrého, na jemný prášek rozemletého skla. Nevýhodou je, že při použití většího množství barviva vzorek může působit šedě až namodrale a že se toto řešení nedá použít u všech substrátů [7] Tato kompenzační metoda je založená spíše na psychochromatickém procesu, kdy se jedná o určitou barvu mentálně koncipovanou v reakci na smyslový dojem [10], než na čistě fyzikálním procesu; je tedy citlivější na změny světelných podmínek.

4. Na rozdíl od barviv FWA vyvažují žlutavý nádech a zároveň zvyšují světlost přidavkem modrého světla.

Vliv jednotlivých způsobů pro zvýšení bělosti je přehledně ukázán na obr. 3. Je na něm zobrazena spektrální odrazivost různých úprav bavlny v porovnání s ideálním bílým difusorem.



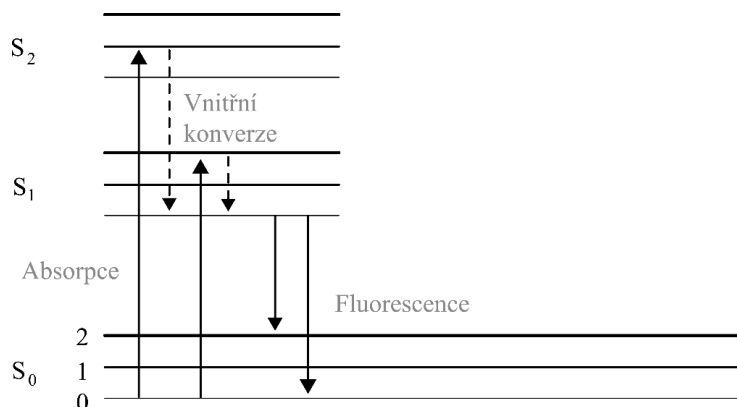
Obrázek 3: Spektrální odrazivost bavlny pro různé způsoby zpracování (adaptováno z [7])

1.2.1 Fluorescenční bělicí prostředky

Fluorescenční bělicí prostředky jsou látky, které vykazují jev nazývaný fluorescence. Zákony o fluorescenci látek od fyzika George Gabriela Stokesese položily teoretické základy tomuto způsobu bělení [3]. Látky, u kterých lze tento jev pozorovat se nazývají fluorofory. V látce probíhají přechody, které přehledně znázorňuje Jablonského energetický diagram (obr. 4). Látka se v základním klidovém stavu nachází na energetické hladině S_0 . Po ozáření, které nese určité množství energie, se látka dostává do vyšších energetických hladin (excitace) stavu S_1 nebo S_2 . Takto excitovaná látka se snaží dostat zpět do rovnovážného stavu dvěma způsoby. A to zářivými nebo nezářivými (konverze) přechody. Po vnitřní konverzi, kdy

molekula relaxuje s malým úbytkem energie na nejnižší vibrační hladinu S_1 , dochází k zářivému přechodu (fluorescenci) látky do hladin základního stavu S_0 .

Jinak řečeno, látka absorbuje energii v blízké ultrafialové oblasti a reemituje ji prostřednictvím fluorescence do viditelné oblasti spektra (vyzáří fialové nebo modré světlo).



Obrázek 4: Jablonského energetický diagram se znázorněním zářivých přechodů (adaptováno z [3])

1.3 Vliv osvětlení na bělost

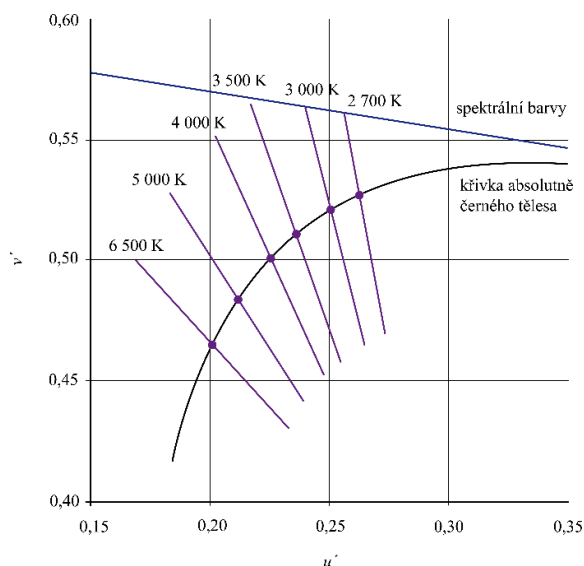
Při hodnocení bělosti má vliv především zdroj osvětlení. Je důležité jak jeho spektrální složení – složka ultrafialového záření (UV) a složka viditelného záření (VIS) – tak i fakt, že se spektrální složení zdroje v průběhu času mění [11]. Proto je velmi důležité, aby hodnocení bělosti probíhalo pod standardizovaným světelným zdrojem. Nejčastěji bývají rovnice pro bělost vztahovány k osvětlení C [3], které je definováno mezinárodní komisí pro osvětlení CIE jako zdroj záření průměrného denního světla. Pro lepší reprezentaci světla i v UV oblasti byly definovány zdroje, jejichž záření odpovídá dennímu světlu o určité teplotě chromatičnosti (correlated color temperature – CCT) – D50 (5 000 K), D55 (5 500 K), D65 (6 500 K) a D75 (7 500 K) [4].

Jak uvádí [3] přístroje, které se používají pro měření bělosti materiálu, musejí mít kontrolovaný podíl UV záření. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby. První vychází z rozkladu remisní hodnoty $\rho(\lambda)$ na jednotlivé části. V roce 1998 Imura patentoval metodu, která byla založena na použití tří světelných zdrojů s přebytkem UV záření, které byly osazeny filtry s horní propustí 400 nm, 420 nm a bez filtru. Druhý způsob vychází z Ganz–Griesserova postupu inverzní kalibrace UV podílu. Spektrofotometry jsou osazeny karuselem s filtry o propustnosti 400, 420 a 460 nm. Pro obě metody platí důležité doporučení, aby se měření bělosti u vzorků obsahujících FWA provádělo na přístrojích v nastavení $d:8^\circ$ (geometrie optického uspořádání pro difuzní rozptyl) nebo alternativně $d:0^\circ$, tedy bez zrcadlové složky odrazu.

O samotném zdroji, který je při subjektivním hodnocení bělosti použit, je zapotřebí znát i podrobnější informace. Pro jeho charakterizaci se využívá spektrální charakteristika [12] (spectral power distribution – SPD) absolutně černého tělesa, kterou lze určit pomocí absolutní nebo barevné teploty v Kelvinech (K). Teplota chromatičnosti stanovuje barevný vzhled světelného zdroje definovaný blízkostí chromatických souřadnic světelného zdroje ke křivce

absolutně černého tělesa (blackbody locus) pomocí jednoho čísla, nikoli dvou pro specifikaci chromatičnosti (obr. 5). Hodnoty CCT se v průmyslu využívají k obecné specifikaci označování zdánlivého „tepla“ (nízké hodnoty CCT) nebo „chladu“ (vyšší hodnoty CCT) světla vyzařovaného zdrojem.

Jako nejúčinnější měřítko barevných charakteristik světelného zdroje se užívá index barevného podání [13] (color rendering index – CRI). Představuje měřítko schopnosti světelného zdroje zobrazovat barvy objektů „realisticky“ nebo „přirozeně“ ve srovnání se známým referenčním zdrojem. U indexu barevného podání představuje CRI 100 maximální hodnotu a čím menší je průměrný rozdíl v chromatičnosti standardizovaných barevných vzorků CIE, tím vyšší je hodnota CRI. Spolu s tímto označením se spojuje index R [14], jehož stanovení se provádí porovnáním 14 různých vzorků Munsellova vzorníku, přičemž průměrný index určený z prvních osmi nese společné označení R_a . Rozšířený index určený jako průměr pro všech 14 vzorků je dále označen jako $R_{a,14}$.



Obrázek 5: Schéma chromatičnosti CIE 1976 se šesti liniemi isotemperatury k reprezentaci světla (adaptováno z [12])

Jak uvádí zdroj [15], pro vyhodnocení kvality simulátoru denního světla byly navrženy dvě metody. Metoda přímého porovnání SPD (metoda fit / metoda pásma) nebo porovnání vzhledu sady barevných vzorků metodou CIE indexu metamerie, podrobněji vysvětlené v následujícím odstavci.

Norma CIE S 012 pro standardní metodu hodnocení spektrální kvality simulátorů denního světla pro vizuální hodnocení a měření barvy [16], která jako základ pro posouzení vhodnosti spektrálního složení simulátoru CIE denního osvětlení pro vizuální hodnocení nebo měření barev vzorků, včetně vzorků obsahujících FWA, zavádí speciální metamerní index. Základem tohoto indexu pro definici změny v osvětlení je použití virtuálních párů vzorků, které jsou specifikovány jejich odraznými a fluorescenčními vlastnostmi. Tento index je složen ze dvou hodnot. První hodnota pro viditelný rozsah (M_v) je průměrnou barvou odchylkou mezi pěti virtuálními metamerními páry barevných vzorků osvětlených simulátorem, druhá hodnota pro rozsah ultrafialového záření (M_u) je průměrnou barvou odchylkou třech párů virtuálních

fluorescenčních barevných vzorků osvětlených simulátorem. Na základě těchto dvou hodnot může být simulátor denního světla D50, D55, D65 a D75 klasifikován podle kritérií v tab. 1. Kvalita simulátoru se poté uvádí pomocí dvou písmen, přičemž první symbol představuje viditelný rozsah a druhý ultrafialový rozsah. [15]

Tabulka 1: Klasifikace kvality osvětlení [16]

Třída kvality	Index metamerie
A	< 0,25
B	0,25 až 0,50
C	0,50 až 1,00
D	1,00 až 2,00
E	> 2,00

V průmyslové praxi se nejčastěji využívá simulace osvětlení D65 pomocí xenonové výbojky, kdy se vhodným filtrem odstraní nadbytek UV záření [3]. V polygrafickém průmyslu se využívá osvětlení D50, jelikož se nachází mezi průměrným denním světlem a žárovkou [17].

Osvětlení D50, D55 a D75 představují denní světlo s CCT přibližně 5 000, 5 500 a 7 500 K (přesněji 5 003, 5 5003 a 7 504 K). Jejich spektrální distribuce jsou specifikovány spolu s dalším standardizovaným osvětlením v příloze A. [18]

U vzorků obsahujících prostředky FWA mohou tato aditiva vést k metamerii. Intenzita fluorescence, která určuje vzhledu bílého vzorku, závisí na spektrálním složení a intenzitě použitého osvětlení, resp. na rozsahu vlnových délek v UV oblasti. [19]

1.4 Využití bělosti

Běžně lze přijít do styku s produkty, pro které je bělost zásadní. Její uplatnění [6] je možné nalézt v průmyslu, kosmetice i ve stomatologii. Pojmy bělosti a zažloutnutí pro kvalifikaci výrobků jako první použil textilní průmysl. Bělost a jas jsou důležitými atributy i pro papírenský průmysl. Proces při výrobě buničiny se řídí podle příslušných norem mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) a technické asociace celulózy a papíru pro průmysl (TAPPI) v USA. Bělost se také využívá jako index kvality u práškového mastku, který je hojně využíván v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu nebo ve zmíněné stomatologii pro vizuální hodnocení zubních náhrad pomocí etalonu obsahující standardní řadu. S bělostí se lze setkat i v kožedělném průmyslu nebo potravinářství, byť jen zřídka.

2 Metody hodnocení bělosti

Tato kapitola shrne podstatné informace k subjektivním i objektivním metodám, které se pro hodnocení bělosti používají. To zahrnuje zásady, které je zapotřebí při hodnocení dodržovat, a rovnice, které byly v průběhu let vyvíjeny tak, aby co nejlépe korelovaly s vizuálním hodnocením.

2.1 Metody subjektivní

Podstatou těchto metod je, že vybraný posuzovatel dané vzorky vizuálně hodnotí za definovaných podmínek jednou z forem pro hodnocení bělosti. Nejpoužívanějšími formami hodnocení jsou párová a pořadová zkouška [6]. V průmyslu se lze setkat se dvěma způsoby posuzování barevných rozdílů, jak uvádí [3]. A to s metodou založenou na konstatování, zda vzorek vyhovuje/nehovuje určité toleranci nebo metodou, která je založena na přiřazení vzorku k nejbližšímu standardu ze schválené řady standardů. Výsledky hodnocení jsou poté pro všechny posuzovatele řádně zpracovány a interpretovány.

To znamená, že pro hodnocení je zapotřebí provést určitým způsobem výběr posuzovatelů, zajistit standardizované podmínky, při kterých hodnocení probíhá (senzorické pracoviště), zvolit formu, kterou probíhá zkouška, a další detaily, které zajistí, aby byly získány správné, a hlavně reprodukovatelné výsledky. Tyto jednotlivé aspekty potřebné pro realizování subjektivního hodnocení bělosti budou dále podrobně rozebrány.

2.1.1 Výběr posuzovatelů

Norma pro sensorickou analýzu 8586 [20] v případě výběru posuzovatelů doporučuje postup zahrnující nábor, který sestává z přijímání kandidátů, již jsou ochotni účastnit se a jsou pro věc motivováni. Z nich jsou následně v případě kritéria barevného vidění vybráni ti kandidáti, kteří projdou testem, který toto kritérium ověří. Tím je např. Ishiharův test (pseudoizochromatická zkouška) nebo Farnsworth–Munsellův 100 Hue test (test rozlišení barevných tónů). Následně by vybraní posuzovatelé měli projít tzv. výcvikem, který zahrnuje seznámení s podstatou zkoušky, poučení o objektivitě a o postupu hodnocení.

Důkladněji najímání a výběr posuzovatelů pro sensorické hodnocení barvy řeší další norma 11037 [21], která místo Ishiharova testu a Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu doporučuje v případě, kdy výběr vyžaduje kritické barevné porovnání s vysokou hladinou spolehlivosti, citlivější zkoušky, například měření anomaloskopem (pro přesné vyšetření barvosleposti). Jelikož se barevné vidění podstatně mění s věkem, musí být posuzovatelé nad 40 let zkoušeni za použití anomaloskopu nebo metody s metamerickou sadou barev. Nosí-li posuzovatel brýle, musí propouštět celé viditelné spektrum, tudíž nesmí být zabarvené.

Co se počtu posuzovatelů pro jednotlivé formy hodnocení týče, v případě párové zkoušky je počet vybírán na základě citlivosti požadované zkoušky (uvedeno v tabulkách pro jednostranný nebo oboustranný test) [22]. U pořadové zkoušky je počet posuzovatelů závislý na cíli zkoušky [23].

2.1.2 Senzorické pracoviště

Pokyny pro uspořádání místností pro sensorickou analýzu poskytuje norma 8589 [24], která dále specifikuje nutné nebo požadované podmínky.

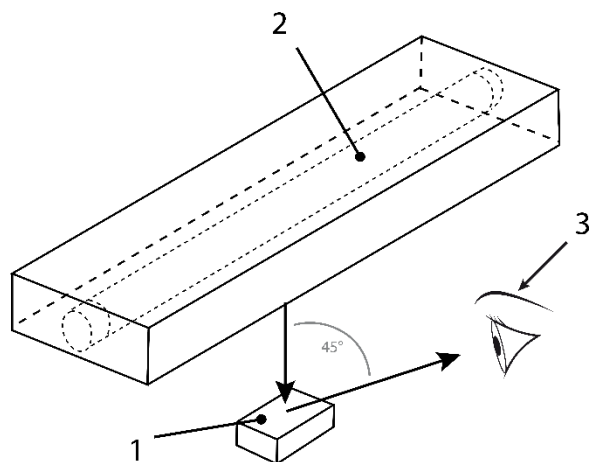
Dle [24] jsou minimálními požadavky, co se prostoru týče, je místnost pro vykonání zkušební činnosti a prostor pro přípravu vzorků, které by měly být umístěny blízko sebe kvůli předkládání vzorků. Pokud zkoušené vzorky nevyžadují neobvyklé podmínky, měla by být teplota a vlhkost ve zkušební místnosti posuzovateli příjemná. Hluk v průběhu zkoušení musí být minimální, místnost by měla být udržována přiměřeně bez pachů, barva stěn a nábytku, což je v případě hodnocení bělosti důležitou podmínkou, musí být barevně neutrální. Doporučena je světle šedá barva s odrazivostí ne nižší než 0,5 [21]. Pro všeobecné použití se vymalovává matně neutrální šedou odpovídající Munsellovu referenčnímu vzorku N4 až N5. Mají-li být porovnávány světlé barvy, doporučuje se Munsellův referenční vzorek N6 nebo v současnosti používaný vzorek N7 [3]. Norma 8589 [24] dále specifikuje osvětlení sensorického pracoviště, které je velmi důležitou složkou. V případě hodnocení v koloristické skříni je však tato položka zbytná, aby vizuální posudky nebyly ovlivňovány výsledným světelným mixem, který by vznikl kombinací osvětlení pracoviště a zdrojem z koloristické skříně používaným pro dané hodnocení. Je tedy nutné zajistit, aby se koloristická skříň nacházela v tmavé místnosti nebo alespoň za zástěnou [3].

Opomíjet by se nemělo také oblečení posuzovatele, které by mohlo mít na hodnocení vliv. V normě 11037 [21] je doporučeno, aby posuzovatel měl na sobě oblečení neutrální barvy.

2.1.3 Zkušební metoda, podmínky a protokol o zkoušce

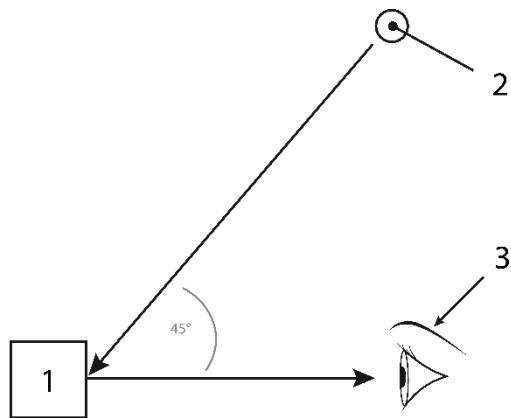
Norma 11037 [21] definuje podstatu zkušební metody tak, že zkoušený vzorek je porovnáván s barevnými standardy za definovaných podmínek pozorování posuzovateli s normálním barevným viděním. Způsob manipulace a pozorování vzorků závisí na jejich formě – zda je vzorek pevný, kapalný nebo práškový. V případě vzorků majících lesklý či spekulární povrch nebo u vzorků zakrytých krycím sklíčkem je nutné minimalizovat přímý odraz světla z povrchu. Pro vzhled vzorku a jeho hodnocení je důležité specifikovat způsob osvětlení, stupeň osvětlení a jak má být pozorován. Důležitá je geometrie pozorování, kdy změna v poloze zdroje světla, vzorku nebo očí posuzovatele může ovlivňovat výsledky. V případě použití koloristické skříně je obvyklá geometrie pozorování taková, že zdroj světla je umístěn kolmo ke vzorku a přímka pohledu posuzovatele je v úhlu 45° k povrchu vzorku, tedy geometrie pozorování $0^\circ/45^\circ$ (obr. 6). Pokud je vzorek sledován za denního světla, je geometrie pozorování $45^\circ/0^\circ$, kdy zdroj světla je v úhlu 45° a pohled posuzovatele je kolmý ke vzorku (obr. 7).

- 1 vzorek
- 2 zdroj světla
- 3 posuzovatel



Obrázek 6: Poloha zdroje světla, vzorku a posuzovatele pro relativní pozici 0°/45° (adaptováno z [21])

- 1 vzorek
- 2 zdroj světla
- 3 posuzovatel



Obrázek 7: Poloha zdroje světla, vzorku a posuzovatele pro relativní pozici 45°/0° (adaptováno z [21])

Osvětlení se při posuzování barev nejčastěji užívá umělé (specifikované pomocí CIE standardního osvětlení) [21], tedy osvětlení D65 simulované zářivkou F7 s vysokým indexem barevného podání nebo pomocí modrých konverzních filtrů představených před halogenovými žárovkami [3]. Norma 11037 [21] řeší i výjimečné případy použití přirozeného denního světla – pokud vzorek je posuzován pod denním světlem, norma určuje použití rozptýleného světla, přednostně z částečně zatažené severní oblohy na severní polokouli a částečně zatažené jižní

oblohy na jižní polokouli a neodrážející se od žádného silně zbarveného předmětu. Uvádí také, že je třeba vyhnout se přímému slunečnímu světlu [21].

Osvětlenost vzorku je normou 11037 [21] definovaná mezi 800 lx a 4 000 lx, pro pohodlné posuzování je doporučena osvětlenost mezi 1 000 lx až 1 500 lx.

U koloristických skříní je důležité kontrolovat, zda použité světelné zdroje splňují teplotu chromatičnosti, která by se měla od zvoleného světelného zdroje lišit o maximálně ± 200 K [3].

Jak uvádí norma 11037 [21], před začátkem hodnocení je nutné, aby se vidění posuzovatele přizpůsobilo podmínkám, při kterých bude hodnocení prováděno. Nechat mu tedy čas pro adaptaci na zkušební prostředí, ve kterém by měl zůstat, dokud nejsou dokončena všechna hodnocení. Trvá-li hodnocení nepřetržitě, schopnost vizuálního posudku se zhoršuje. Je tedy nutné dělat několikaminutové přestávky.

Norma pro senzorické hodnocení barvy 11037 [21] předepisuje protokol o zkoušce, který by měl minimálně obsahovat:

1. všechny nezbytné informace k posuzovaným vzorkům
2. použitou metodu vzorkování, je-li známá
3. odkaz na normu 11037 Senzorické analýzy – Pokyny pro senzorické hodnocení barvy výrobků
4. parametry a podmínky zkoušky
5. všechny detaily o postupu zkoušky, které nejsou v normě specifikované, především detaily o jakékoliv mimořádné události, která mohla ovlivnit výsledné hodnoty
6. získané výsledky zkoušky
7. datum zkoušky
8. jméno osoby, která zkoušku vedla

2.1.4 Párová porovnávací zkouška

Metodika pro určení, zda mezi dvěma vzorky existuje vnímatelný senzorický rozdíl nebo podobnost, je popsána normou 5495 [22]. Párová zkouška je použitelná tehdy, pokud existuje rozdíl v jedné nebo několika vlastnostech, s jejichž pomocí lze určit vnímatelné rozdíly týkající se dané vlastnosti a specifikovat směr rozdílu. Metoda je použitelná v případě relativní homogenity vzorku. Jako první je nejdůležitější určit před samotnou zkouškou, zda se jedná o jednostranný (hladina významnosti α) nebo oboustranný test (hladina významnosti $\alpha/2$).

Normou 5495 [22] definovaný princip zkoušky je, že posuzovatelé hodnotí sadu dvou vzorků a vybírají takový vzorek, který považují za intenzivnější, co se týče senzorických vlastností. V případě, že se mu zdají vzorky stejné, je výběr proveden na základě odhadu (tato informace musí být u hodnocení uvedena). Následně je spočteno, kolikrát byl každý vzorek vybrán a je určena statistická významnost odkazem na statistickou tabulku.

Zkouška by měla splňovat podmínky, které jsou uvedeny v normě 5495 [22] kapitolou Všeobecné podmínky zkoušky. Zkráceně tato kapitola obsahuje objasnění cíle zkoušky, to, že se provádí za podmínek, kdy mezi sebou posuzovatelé nesmí komunikovat, dokud není zkouška ukončena, způsob podávání vzorků, jejich kódování, v jakém množství musí být vzorky předkládány, případnou teplotu vzorku (vyžaduje-li to hodnocení), informování

posuzovatelů, jak budou vzorky hodnotit, a to, že je důležité se vyvarovat poskytování informací o identitě vzorků a očekávaných výsledcích, dokud není celá zkouška ukončena. Kapitola Postup popisuje přípravu na zkoušku a jak by její průběh měl vypadat. Dále pak kapitola Analýza a interpretace výsledků rozebírá jednotlivě zpracování dle zvoleného cíle zkoušky. Nesmí chybět ani protokol o zkoušce, který podrobně popisuje veškeré informace o jejím průběhu.

2.1.5 Pořadová zkouška

Obdobně jako zkouška párového porovnání i pořadová zkouška je popsána normou 8587 [23], kdy její podstatou je srovnání více vzorků předložených v náhodném pořadí podle specifického kritéria. Následně jsou určeny součty pořadí a je provedeno statistické porovnání.

Pro reprodukovatelnost by měly být podmínky zkoušky shodné s normami definujícími zkušební prostory, použité přístroje a metody [23].

Postup předkládání posuzovaných vzorků, které jsou značeny třímístným kódem, je v normě 8587 [23] popsán jak pro posuzování „celé sady“, kdy posuzovatel řadí všechny vzorky, tak i pro případ „vyvážené dílčí sady“, kdy není možné vzhledem k množství vzorků nebo jejich povaze řadit všechny vzorky. Technika zkoušky spočívá v rovnocenných podmínkách hodnocení všech posuzovatelů. Před zahájením zkoušky je nutné posuzovatele poučit o jejím průběhu. Vzorky předložené v náhodném pořadí posuzovatelé řadí dle navrženého deskriptoru a zapisují do připraveného odpovědního formuláře.

Norma 8587 [23] uvádí, že jako první se při interpretaci výsledků zpracovává shrnutí a výpočet součtu pořadí pro jeden deskriptor, následně pokračuje statistická analýza a interpretace. Vybraný statistický test závisí na účelu testu. V případě posouzení individuálního hodnocení, tedy shodě mezi dvěma pořadími, se využívá Spearmanova korelačního koeficientu r_s , který se vypočítá dle rov. 2.1:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{p(p^2 - 1)} \quad (2.1)$$

kde p je počet řazených výrobků, d_i rozdíl mezi dvěma pořadími pro i -tý vzorek. Pokud se hodnota r_s blíží +1, znamená to velkou shodu mezi dvěma pořadími. Pokud je hodnota blízko 0, pak mezi pořadími není vztah. Blíží-li se hodnota -1, tak mezi pořadími vzorků existuje silná neshoda.

2.1.6 Průmyslové posuzování barevných rozdílů

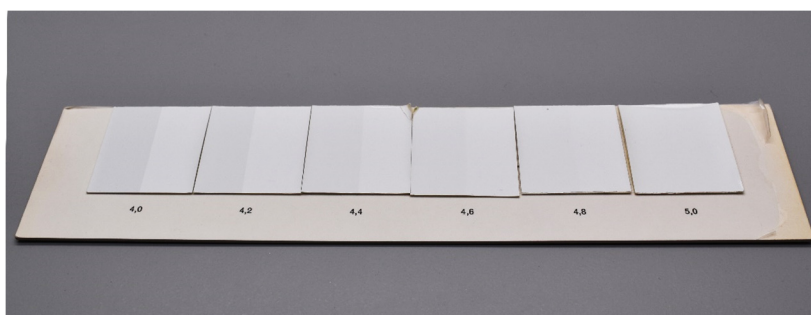
Jak bylo zmíněno v úvodu podkapitoly 2.1, v průmyslu se využívají dvě základní metody pro posuzování barevných rozdílů [3]. U první metody je hodnocení vzorku založeno na konstatování, zda vyhovuje nebo nevyhovuje daný vzorek určité toleranci. V případě druhé užívané metody je vzorek přiřazen k nejbližšímu standardu ze schválené řady standardů. V průmyslu byly využívány standardizované řady firmy CIBA od 70. let a v současné době již

nejsou komerčně dostupné. Plastová stupnice na obr. 8 je určena pro hodnocení jak vizuálního stupně bělosti, tak pro hodnocení zažloutnutí. Skládá se z 12 plastových vzorků, kdy vzorek 1 je nejvíce zažloutlý a vzorek 12 je nejvíce opticky zjasněný.

V případě hodnocení odstínu jsou v textilním průmyslu využívány pro vizuální posudky dvě stupnice – stupnice pro hodnocení změny odstínu podle ISO 105 A02 [25] a stupnice pro hodnocení stupně zapaštění podle ISO 105 A03 [26] (obr. 9) [3]. Políčka stupnice jsou označena hodnotami 4–5 po 0,2 krocích. S rostoucí hodnotou klesá rozdíl sousedících ploch jednotlivých políček.



Obrázek 8: Plastová stupnice CIBA pod simulátorem osvětlení D50 (vlevo) a D50 se zesílenou složkou UV (vpravo)



Obrázek 9: Stupnice pro hodnocení odstínu pod simulátorem osvětlení D50

2.2 Metody objektivní

Jak už samotné slovo objektivní naznačuje, jedná se o takové metody, jejichž pomocí lze na základě měření upřesnit hodnocenou bělost W . Užívané metody lze rozdělit přibližně do tří skupin [3]:

- první z nich pro hodnocení bělosti využívá měření jednoho nebo dvou bodů remisní křivky testovaného materiálu – $W \approx R$
- v další skupině metod je vyjádření bělosti založeno na měření trichromatických složek X , Y , Z – tedy $W = f(X, Y, Z)$, nebo jak uvádí [27] na hodnotách získaných z kolorimetru nazvaných podle použitých filtrů A (amber, R_X), G (green, R_Y), B (blue, R_Z)
- poslední skupina metod používá vyjádření pomocí trichromatických hodnot x , y , Y – tedy $W = f(x, y, Y)$, resp. vyjádření pomocí chromatického diagramu CIExyY

Postupně vznikala řada rovnic pro hodnocení bělosti. Ve svém článku [28] z roku 1976 Ganz upozornil na to, že jsou rovnice silně ovlivněny náhodnými okolnostmi – výběrem

vzorků, výběrem pozorovatelů, obzvláště pak zdrojem osvětlení, které nebylo dostatečně definováno, dále měřicím zařízením a časem i úsilím vynaloženým pro vyhodnocení.

Jak upozorňuje Griesser [29], rovnice pro hodnocení bělosti jsou tvořeny pevnými parametry, které jsou svázány s danými preferencemi, tj. přínosy každého z faktorů odstínu, sytosti a světlosti. Je mnoho rovnic, pomocí kterých lze získat různé hodnoty těchto faktorů. Pro bělost není znám přesný přínos jednotlivých faktorů, tudíž má každá z rovnic pro hodnocení bělosti specifickou „zkreslenou bělost“. Toto je jeden z důvodů, proč nejsou hodnoty bělosti vzájemně porovnatelné. Jak již bylo zmíněno výše, jako další má na hodnotu bělosti vliv zdroj osvětlení, i jeho aktuální spektrální složení při měření, jelikož se složení v průběhu času mění [11]. Je tedy nutné kontrolovat, pro jaký index byla hodnota bělosti vypočtena, ale také pro jaké osvětlení. Nejčastěji jsou publikované rovnice vztahovány na osvětlení C a 2° pozorovatele [3]. Nelze opomenout ani konstrukční odlišnosti měřicích zařízení – velikost apertury a zda zahrnuje či nezahrnuje zrcadlovou složku odrazu [11]. Aby mohlo docházet k porovnávání dat měřených na různých přístrojích, navrhl Ganz rovnici [3], která obsahuje nastavitelné parametry, které lze získat z regresní analýzy po změření speciální kalibrační řady. Na základě této rovnice CIE roku 1982 definovala rovnici pro hodnocení bělosti, který je vhodný jak pro vzorky s FWA, tak bez nich.

Samotné rovnice pro hodnocení bělosti nebyly schopné dostatečně charakterizovat bělost vzorku. Bylo shledáno, že pro lepší popis je dobré doplnit rovnici bělosti o formulaci odstínového nádechu. Ta indikuje možnou odchylku k červené nebo zelené oblasti v chromatickém diagramu [29, 19].

2.2.1 Hodnocení bělosti založené na jedné nebo dvou měřených veličinách

Tyto metody hodnocení bělosti byly používány především pro materiály, které neobsahovaly FWA. Mezi nejznámější patří metoda R457 označovaná také jako Brightness ISO R457 (dle normy ISO 2469 [30]) nebo jako TAPPI T 452 [31] v USA, rov. 2.2. Měřena je odrazivost vlnové délky 457 nm při difuzním osvětlení. Jelikož byla tato metoda zavedena s nasazením fotometrů osazených modrým filtrem, jsou do výpočtu započítávány vlnové délky od 400 nm do 510 nm. Dnes jsou remisní hodnoty ρ získané ze spektrofotometru váženy funkcí účinnosti F_λ podle R457, což jsou tabelované hodnoty spektrálního průběhu dříve používaného modrého filtru. [3]

$$R_{457} = \frac{\rho_{400}F_{400} + \rho_{405}F_{405} + \dots + \rho_{510}F_{510}}{F_{400} + F_{405} + \dots + F_{510}} \quad (2.2)$$

Kromě této metody byly v praxi používány i další indexy [29], které z dnešního pohledu již nemají význam. Jsou to např. Harrisonův (2.3) a Stephansenův index (2.4), využívající reflektanci R při vlnových délkách 430 a 670 nm.

$$W_{\text{Harrison}} = 100 - R_{670} + R_{430} \quad (2.3)$$

$$W_{\text{Stephansen}} = 2R_{430} - R_{670} \quad (2.4)$$

Namísto naměřených hodnot reflektance se v rovnicích pro bělost mohou vkládat příslušné naměřené (A, G, B) nebo vypočtené trichromatické hodnoty (X, Y, Z). Například reflektance při 430 nm může být nahrazena hodnotou B , která byla změřena kolorimetrem, nebo trichromatickou hodnotou Z , stanovenou pomocí spektrofotometru [29]. Jeden z nejznámějších tohoto typu je Taubeho index, který našel uplatnění v oblasti plastů [2]. Tento index je pro ukázkou uveden v podobě hodnot naměřených (rov. 2.5) [29], hodnot trichromatických (rov. 2.6) [2] i hodnot trichromatických vztažených pro osvětlení C a 2° pozorovatele (rov. 2.7) [3].

$$W_{\text{Taubé}} = 4B - 3G \quad (2.5)$$

$$W_{\text{Taubé}} = 3,727Z - 3Y \quad (2.6)$$

$$W_{\text{Taubé}} = Y + 3,452Z - 3,908X \quad (2.7)$$

Ale mohou existovat i takové indexy bělosti, které byly vyvinuté pro kolorimetrické charakteristiky Hunterova systému, které lze odečítat z různých měřicích přístrojů. Hunterův index bělosti je uveden s charakteristikami systému CIE $L^*a^*b^*$ v rov. 2.8 [29] a v podobě s trichromatickými hodnotami, kdy je vztažen k osvětlení C a 2° pozorovateli, v rov. 2.9 [3].

$$W_{\text{Hunter}} = L - 3b \quad (2.8)$$

$$W_{\text{Hunter}} = \frac{19,297Z - 11Y}{\sqrt{Y}} \quad (2.9)$$

ASTM International je společností zabývající se tvorbou standardů. Pro hodnocení bělosti vytvořila normu ASTM E313–15e1 [32], jejíž podoba je [2]:

$$W_{\text{E313}} = 3,388Z - 3Y \quad (2.10)$$

2.2.2 Hodnocení bělosti založené na třech měřitelných veličinách

Dle [29] z teoretického hlediska vyplývá, že by pro lepší hodnocení měla být rovnice bělosti podložena kolorimetrickými daty (všemi třemi trichromatickými složkami), protože pouze psychofyzikální popis barvy sdružuje spektrální vlastnosti světla, lidského oka a vzorku. Mohou jimi být trichromatické hodnoty systému CIE, hodnoty A, G, B lineárně související s trichromatickými hodnotami CIE nebo hodnoty jiného barvového systému, např. L, a, b systému Hunter nebo L^*, a^*, b^* systému CIELAB.

S návrhem metody pro hodnocení bělosti přišel MacAdam v článku [33], kdy prezentoval výsledky pokusu o korelaci barvové koncepce bělosti s objektivně stanovitelnými veličinami, s faktorem jasů a čistotou u vzorků s konstantní dominantní vlnovou délkou – viz rovnice 2.11 [27].

$$W_{\text{MacAdam}} = \sqrt{Y - kp_c^2} \quad (2.11)$$

kde p_c je kolorimetrická čistota a k je konstanta závislá na použití.

Jiné využívané rovnice pro bělost byly navrženy Bergerovou [34] (rce. 2.12 [29], 2.13 [3]) a Stensbym [35] (rce. 2.14 [29], 2.15 [3]). Při hodnocení vzorků s různými odstíny FWA bylo možné na základě barvových preferencí vybrat nejvhodnější rovnici pro hodnocení bělosti. U vzorků s modrozelenou preferencí bylo využíváno rovnice Bergerové, u vzorků s fialovou preferencí rovnice Stensbyho. [29]

$$W_{\text{Berger}} = 3B + G - 3A \quad (2.12)$$

$$W_{\text{Berger}} = Y + 3,452Z - 3,908X \quad (2.13)$$

$$W_{\text{Stensby}} = L + 3a - 3b \quad (2.14)$$

$$W_{\text{Stensby}} = \frac{19,297Z + 55,251X - 63,5Y}{\sqrt{Y}} \quad (2.15)$$

Rovnice bělosti formulované na základě hodnocení papírů byly navrženy Aksoyem a Flamingem [36] pro blízkou neutrální bílou – N_{FA} (2.16) a pro hodnocení bělosti – W_{FA} (2.17):

$$N_{\text{FA}} = L^*(1/2)^{(C/C_0)^2} \quad (2.16)$$

$$W_{\text{FA}} = L^*(1/2)^{[a^*(a^* - 2a_1^*) + b^*(b^* - 2b_1^*)]/C_2^2} \quad (2.17)$$

kde C_0 je charakteristická hodnota chromy, C_2 je také charakteristická hodnota chromy stanovená z hraniční oblasti, pokud možno odlišná od C_0 , a_1^* a b_1^* jsou souřadnice pro lokální maximální bělost při konstantní světlosti L^* (nebo trichromatickou hodnotu Y).

2.2.2.1 Rovnice pro hodnocení bělosti a odstínový nádech podle Ganz a Griessera

Po rozboru dříve užívaných rovnic pro hodnocení bělosti a s ohledem na to, že parametry těchto rovnic jsou pevně svázány s danými preferencemi a zdroj konstantně podléhá pomalým změnám, navrhl Ganz po analýze chování vzorků obsahujících FWA při různých poměrech UV záření v poměrném spektrálním složení simulátorů denního světla D65 novou rovnicí (2.18 [3]), která je známá pod označením Ganz–Griessera rovnice [3, 29]. Je charakterizována [29]:

- snadno vypočitatelnými kolorimetrickými hodnotami x , y a Y
- jedná se o lineární rovnici
- jednotlivé příspěvky barvy jsou volitelné a jasně prokazatelné
- jednoduchou metodou pro výpočet parametrů rovnice jsou hodnoty bělosti vztaženy k nominálním hodnotám jakékoliv bílé stupnice a jsou přizpůsobeny osvětlení daného měřicího zařízení

$$W_{\text{Ganz}} = DY + Px + Qy + C \quad (2.18)$$

kde Y , x , a y jsou souřadnice měřeného vzorku v CIExyY diagramu a D , P , Q a C jsou nastavitelné parametry vypočítané z regresní analýzy kalibračních měření [3]. Ganz doporučuje použití této rovnice na materiály s minimální naměřenou hodnotou $Y > 70$ [19].

Pro zjištění parametrů D , P , Q , C daného měřicího přístroje se využívá kalibrační řada. Ukázalo se totiž [3], že u fluorescenčních vzorků nestačí pouze kalibrace na jeden bílý standard (keramická kachle, BaSO₄ apod.). Důvodem je způsob simulace světla D65. Spektrální složení použitého osvětlení se mění, což má vliv především na měření fluorescenčních vzorků. Tyto důvody vedly firmu CIBA k vytvoření speciální bílé stupnice, která by umožňovala přesnější kalibraci měřicích přístrojů a možnost srovnání naměřených výsledků. Původně byla stupnice bavlněná, ale s ohledem na trvanlivost přešla CIBA na výrobu bílé plastové stupnice. Tato stupnice již není komerčně dostupná, a tak se pro kalibraci používají stupnice bavlněné tkaniny nebo buničiny, opět s problémem krátké trvanlivosti. Obvykle se tedy používají plastové fluorescenční standardy pro kontrolu nastavení podílu UV záření u používaného osvětlení. Při kalibraci přístroje je kalibrační řada změřena daným přístrojem a snahou obsluhy je jeho nastavením dosáhnout shodných hodnot bělosti, které byly změřeny na referenčním spektrofotometru s kontrolovaným simulátorem osvětlení D65.

Zavedení rovnice pro hodnocení bělosti vedlo ke stanovení odstínového nádechu (rov. 2.19), označovaného podle anglického slova tint T [3, 29]:

$$T_{\text{Ganz}} = mx + ny + k \quad (2.19)$$

kde m , n a k jsou parametry vypočtené z regresní analýzy kalibračních měření.

Je-li výsledná hodnota $T = 0$, má materiál modrý nádech a považuje se za neutrální (B), je-li hodnota $T > 0$, je materiál s nádechem modro-zeleným (G), a pokud je hodnota $T < 0$, má materiál červeno-fialový nádech (R) [3]. I u této rovnice Ganz doporučuje omezení, aby rozsah odstínového nádechu byl v intervalu $-6 < T < 6$. [19]

Dříve měl každý pracovník pro vizuální určení odchylek své vlastní měřítko. Proto bylo zapotřebí zavést standardní terminologii, tedy jasně definované zkratky a význam každého z pojmů popisujících barevnost. Ty jsou uvedeny v tab. 2 [3, 29]:

Tabulka 2: Terminologie pro odstínové nádechy, jejich kódové označení a slovní popis [3,29]

Hodnota T	Kódy pro odstínový nádech bílé TD	Slovní vyjádření odstínového nádechu T
< -5,50	RR	červeno-fialové zbarvení
-5,50 až -4,51	R5	velmi výrazný červeno-fialový nádech
-4,50 až -3,51	R4	výrazně červeno-fialový nádech
-3,50 až -2,51	R3	střední červeno-fialový nádech
-2,50 až -1,51	R2	lehký červeno-fialový nádech
-1,50 až -0,51	R1	náznak červeno-fialového nádechu
-0,50 až 0,49	B	bez znatelného nádechu
0,50 až 1,49	G1	náznak modro-zeleného nádechu
1,50 až 2,49	G2	lehký modro-zelený nádech
2,50 až 3,49	G3	střední modro-zelený nádech
3,50 až 4,49	G4	výrazně modro-zelený nádech
4,50 až 5,49	G5	velmi výrazný modro-zelený nádech
> 5,49	GG	modro-zelené zbarvení

Koeficienty rovnice Ganz–Griessera jsou přístrojově závislé. V případech, kdy není k dispozici odpovídající sada fluorescenčních bílých standardů, nebo je použito přenosných spektrofotometrů, které obvykle nedovolují nastavení podílu UV záření, lze pro výpočet bělosti a odstínového nádechu použít nominální hodnoty koeficientů, které jsou uvedeny v tab. 3.[3]

Tabulka 3: Nominální hodnoty koeficientů pro výpočet hodnoty bělosti a odstínového nádechu podle Ganz–Griessera pro osvětlení D65

Koeficient	Hodnota pro 10° pozorovatele [3]	Hodnota pro 2° pozorovatele [29]
D	1,000	1,0
P	-1868,322	-1403,1
Q	-3695,690	-3896,2
C	1809,441	1720,6
m	-1001,223	-1014,1
n	748,366	714,5
k	68,261	82,9

2.2.2.2 Hodnocení bělosti a odstínového nádechu podle CIE

Výbor pro kolorimetrii CIE roku 1982 definoval v publikaci CIE 15 lineární rovnici, která principiálně vychází z Ganz-Griesserovery lineární rovnice. V roce 1986 vyšlo druhé vydání této publikace a v roce 2004 bylo zveřejněno třetí vydání [5] s rovnicí pro hodnocení bělosti (rov 2.20) a odstínového nádechu (rov 2.21). Nově byla v roce 2018 vypracována technická zpráva, tedy čtvrté vydání, technickou komisí CIE 1–85 divize 1 pro oblast „Color and vision“, která zahrnuje použití kolorimetrických postupů a rovnic. Rovnice CIE pro hodnocení bělosti a odstínového nádechu jsou vhodné pro relativní vyjadřování bělosti vzorků s FWA i bez nich [3, 17, 5]. Hodnocení bělosti podle CIE je také předmětem dvou mezinárodních norem – ISO 11476:2016 [37] pro vnitřní a ISO 11475:2017 [38] pro venkovní osvětlení.

$$W_{\text{CIE}} = Y + 800(x_n - x) + 1\,700(y_n - y) \quad (2.20)$$

$$W_{\text{CIE},10} = Y_{10} + 800(x_{n,10} - x_{10}) + 1\,700(y_{n,10} - y_{10})$$

$$T_{\text{CIE}} = 1\,000(x_n - x) - 650(y_n - y) \quad (2.21)$$

$$T_{\text{CIE},10} = 900(x_{n,10} - x_{10}) - 650(y_{n,10} - y_{10})$$

V rovnici 2.20 a 2.21 jsou Y , x a y souřadnice měřeného vzorku. Hodnoty x_n a y_n resp. $x_{n,10}$ a $y_{n,10}$ jsou souřadnice bodu nepeprostosti pro světlo D65 a 2°, resp. 10° pozorovatele.

Podle CIE platí pro hodnoty bělosti a odstínového nádechu omezení, kdy se hodnoty musí pohybovat v intervalu $40 < W_{\text{CIE}} < (5Y - 280)$ a $-4 < T_{\text{CIE}} < 2$ ($T_{\text{CIE}} > 0$ zelený nádech, $T_{\text{CIE}} < 0$ červený nádech)[5].

Podstatou CIE rovnice pro hodnocení bělosti je posoudit barevný posun objektu od referenčního světelného zdroje. Tento posun ovlivňuje bělost a odstínový nádech. Obecná lineární forma rovnice bělosti, ze které CIE vychází, je rov. 2.22 [11, 39, 40]:

$$W = Y - \frac{\omega \cos(\eta + \varphi)}{\cos \varphi (x - x_0)} - \frac{\omega \sin(\eta + \varphi)}{\cos \varphi (y - y_0)} \quad (2.22)$$

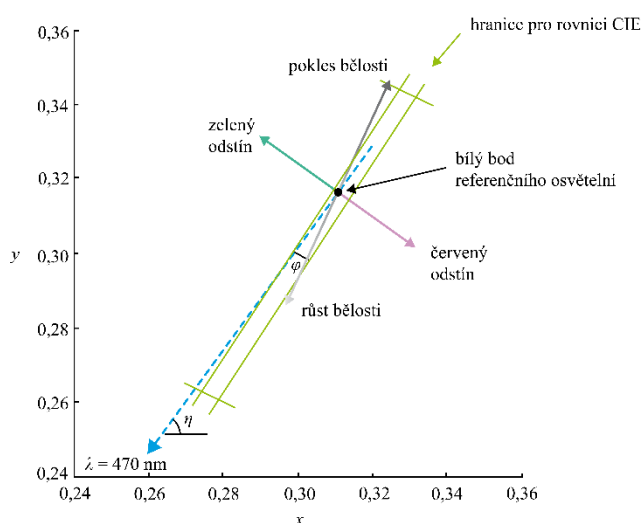
kde Y je trichromatická souřadnice měřeného vzorku, ω je citlivost bělosti na saturaci, η je úhel mezi osou x a směrem λ_d (dominantní vlnová délka 470 nm), tj. $\tan \eta = (y_0 - y_d)$, φ je malý úhel, který představuje přizpůsobení podle preferencí; (x_0, y_0) jsou souřadnice referenčního osvětlení; (x_d, y_d) jsou souřadnice dominantní vlnové délky; (x, y) jsou souřadnice měřeného vzorku. Všechny tyto veličiny se týkají specifického barvového prostoru a příslušných trichromatických členitelů. Hodnoty ω a φ jsou odvozeny z experimentálních dat [19].

Rovnice 2.23 pro odstínový nádech zvyhodňuje určité barevné posuny. Posun by však neměl být v takovém směru, který by vyvolal nadměrný odstín a vzorek by už nebyl vnímán bílý. Lineární forma pro odstín je definována [39, 41]:

$$T = -\zeta \sin \eta' (x - x_0) + \zeta \sin \eta' (y - y_0) \quad (2.23)$$

kdy $\eta' \sim \eta$, odstín vzniká při barevném posunu kolmo k λ_d ; v praxi jsou η' a ζ (šíře odstínového pásma) získány z experimentálních dat.

Na obr. 10 [39] je v diagramu CIExy zobrazena geometrie definovaná podle rovnice bělosti CIE. Hlavní směr je definovaný podle chromatičnosti osvětlení a spektrální oblasti s dominantní vlnovou délkou $\lambda_d = 470$ nm. Změny v bělosti se pohybují téměř paralelně s λ_d (s malým úhlem φ), kdežto změny v odstínu jsou na λ_d téměř kolmé.



Obrázek 10: Zobrazení bělosti podle CIE v diagramu CIExy, adaptováno z [39]

Pro zlepšení korelace vizuálních posudků s hodnotami bělosti dle CIE Uchida v článku [42] navrhl rovnice, které vychází z rovnice CIE, pro $40 < W_{CIE} < (5Y - 275)$ (2.24) a $W_{CIE} > (5Y - 275)$ (2.25):

$$W_{Uchida} = W_{CIE} - 2(T_{CIE})^2 \quad (2.24)$$

$$W_{Uchida} = P_W - 2(T_{CIE})^2 \quad (2.25)$$

kde P_W je definované jako:

$$P_W = (5Y - 275) - 800[0,2742 + 0,00127(100 - Y) - x]^{0,82} - 1700[0,2762 + 0,00176(100 - Y) - y]^{0,82}$$

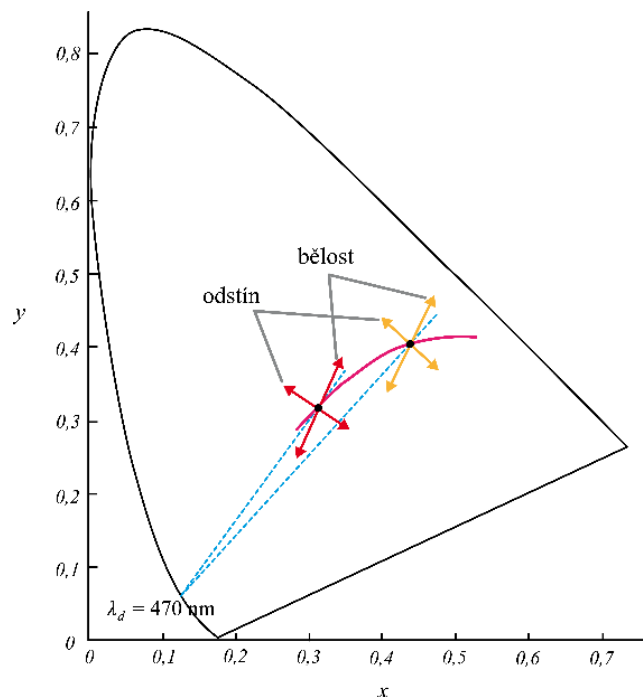
$$(2.26)$$

2.2.3 Doporučení pro modifikaci stávajících rovnic CIE pro hodnocení bělosti a odstínového nádechu

Mezinárodní komise pro osvětlení sestavila technickou komisi 1–95 The validity of the CIE whiteness and tint equations v rámci první divize: Vision and colour, která má za úkol na základě nových publikací a další experimentální práce doporučit modifikaci stávajících rovnic CIE pro bělost a odstínový nádech, aby rozšířila jejich aplikaci na jiné osvětlení než D65 [43].

David a kol. ve své studii [39] navrhli zobecnění rovnice CIE pro bělost pro zdroje s jinou teplotou chromatičnosti, než má osvětlení D65. Vycházela ze studií, jejichž experimentální data naznačovala, že směry barevných posunů vedoucích k bělosti a vnímání odstínových nádechů jsou nezávislé na CCT. Což znamená, že zatímco rov. 2.20 definuje bělost pod zdrojem s CCT blízkou 6 500 K, prvky použité pro zvýšení bělosti si ponechají v případě použití jiné CCT svou vlastnost v případě, že je zdroj bude schopen vybudit.

David a kol. [39] tedy navrhli adaptaci stávající rov. 2.20 pro jiný zdroj. Parametry definující tuto rovnici mohou být adaptovány následovně: (x_0, y_0) jsou nyní souřadnicemi pro nový referenční zdroj; η je odpovídajícím způsobem nahrazeno; ω a φ se předpokládají nezměněné pro různé CCT. Na obr. 11 je znázorněna geometrie použitá pro zobecnění rovnice bělosti pro zdroje 6 500 K (červené šipky) a 3 000 K (oranžové šipky). U jakéhokoliv zdroje lze použít stejnou geometrickou konstrukci jako u zdroje D65, přičemž se posuzuje barevný posun přibližně rovnoběžný (pro bělost) a kolmý (pro odstínový nádech) na směr k $\lambda_d = 470$ nm.



Obrázek 11: Geometrie pro zobecnění rovnice bělosti v diagramu CIE_{xy} (adaptováno z [39])

Původní rovnici bělosti W_{CIE} potom lze vyjádřit jako [39]:

$$W_{\text{David}} = Y - P(x - x_0) - Q(y - y_0) \quad (2.27)$$

kdy hodnoty P a Q mohou být odvozeny pro jakoukoliv CCT s ohledem na chromatické souřadnice zdroje, při čemž teplota chromatičnosti se musí pohybovat v rozmezí 2 000 až 7 000 K.

David a kol. [39] také navrhuje modifikaci pro hodnotu odstínového nádechu, kdy mohou být jako vodítko použity limity pro T_{CIE} s doporučením, že by bylo žádoucí stanovit limity pro různé CCT.

Vik a kol. [44] na základě experimentu, kdy bylo porovnáno podání vybraných rovnic bělosti (W_{Ganz} , W_{Berger} , W_{CIE} , W_{Uchida} , W_{FA}) na základě sady bílých textilních tkanin a vizuálního hodnocení, doporučují mírnou korekci limitů CIE pro odstínový nádech na rozsah $-4 < T_{\text{CIE}} < 1$ pro simulátor D65 typu T. Uvádějí příklad koloristické skříně X-Rite Spectralight s pozadím Munsell N7 a nastavením světelného zdroje Daylight D65 + UV. Oproti tomu Ma a kol. navrhuje tento limit CIE pro odstínový nádech, taktéž pro osvětlení D65, korigovat na rozsah $-5 < T_{\text{CIE}} < 5$ [45].

Wei a Chen na základě experimentu [15], kdy specifikují LED simulátory osvětlení prostřednictvím indexů metamerie M_v a M_u konstatují, že na bělost má SPD veliký vliv. Tudíž by osvětlení, která nemohou s vysokou kvalitou simulovat standard CIE D65, neměla být použita pro stávající rovnici CIE hodnocení bělosti a odstínového nádechu. Kvůli nedokonalé simulaci osvětlení doporučují revidovat limity stanovené normami ISO 23603 / CIE S 012 a rovněž doladit koeficienty v rovnicích pro bělost a odstín pro simulátory D65 či jiné zdroje, které přesně neodpovídají specifikaci CIE. Dále pak uvádějí, že pro specifikaci bílého povrchu pomocí rovnic CIE bělosti a odstínového nádechu by kvalitu simulátoru D65 lépe hodnotil zářivý výkon v pásmu UVA než CIE indexy metamerie.

Práce Ma a kol. [46] a Wei a kol. [47] zjistily, že zavedení CAT02 (model chromatické adaptace, jedná se o modifikovanou transformaci CMCCAT2000 pro model CIECAM02 [48]) k transformaci chromaticity vzorku na D65 v rovnici CIE pro hodnocení bělosti může poskytnout dobrou predikci vnímané bělosti povrchové barvy. Ma a kol. použili lineární regresní metodu k úpravě koeficientů v rovnici CIE pro hodnocení bělosti tak, aby experimentální údaje v různých úrovních CCT korelovaly s optimalizovanou rovnicí viz rce. 2.28 až 2.30 [49].

$$W_{\text{CIE, Optimalizovaná}} = Y + a(x_0 - x) + b(y_0 - y) \quad (2.28)$$

$$a = -0,1891 \text{ CCT} + 2267,2 \quad (2.29)$$

$$b = 0,3202 \text{ CCT} - 493,36 \quad (2.30)$$

S přihlédnutím k výsledkům nedávných experimentů, ve kterých byly hodnoceny vzorky s FWA i bez FWA samostatně pod různými osvětleními obsahujícími odlišná množství fialového záření, Wei a kol. [49] doporučují použití chromatické adaptační transformace CAT02 s upraveným adaptačním faktorem D v rovnici pro CIE hodnocení bělosti – $W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ (2.31).

$$W_{\text{CIE, CAT02, D}} = Y + 800(x_0 - x_{\text{CAT02, D}}) + 1700(y_0 - y_{\text{CAT02, D}}) \quad (2.31)$$

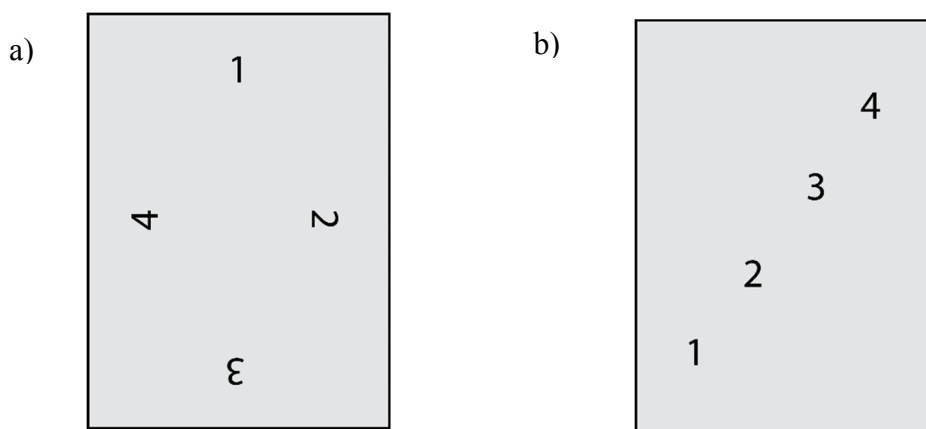
Na základě výzkumu [49] lze konstatovat, že tato upravená rovnice CIE pro hodnocení bělosti s CAT02 může obecně charakterizovat bělost povrchů pod libovolným zdrojem za předpokladu, že jsou vzorky ve stanoveném limitu pro bělost CIE. U vzorků nacházejících se mimo tento limit lze použít rovnici bělosti definovanou Uchidou s CAT02, pomocí kterého lze určit, zda u vzorků osvětlených zdrojem obsahujícím vysoký podíl ultrafialového/fialového záření byl vybuzen silný účinek FWA. Nemůže však u vzorků přesně charakterizovat jejich vnímanou bělost.

2.2.4 Měření vzorků

Praktickému souhrnu týkajícímu se vizuálních posudků a měření v oblasti kolorimetrie je v publikaci [3] M. Vika věnována celá kapitola. Pro získání co nejlepších a reprodukovatelných výsledků se zabývá nejen pracovištěm a osvětlením i samotným měřením, které zahrnuje řadu podstatných parametrů, ale také nastavením tolerancí při vyhodnocování výsledků a vizuálním jevem metamerie. Hlavní aspekty jsou stručně zmíněny v dalších odstavcích. V části zabývající se měřením M. Vik uvádí pravidlo, že „dodržování shodné metodiky přípravy a měření vzorků je důležitější než teoretické aspekty měření.“ Dále konstatuje, že výběr postupu měření vzorků je proces zahrnující výběr typu přístroje, geometrie osvětlení a měření, přípravy vzorků a dalších kroků, které jsou do značné míry závislé na vybavení laboratoře a dalších faktorů. Běžná konstrukce měřících přístrojů počítá s tím, že bude charakter vzorku planární. V případě měření prostorově objemnějších vzorků je nutné zamezit pronikání jeho částí skrze měřicí clonu do integrační koule buď pomocí krycího skla, nebo měřícími clonami s menším průměrem. Je také zapotřebí dbát na počet měření a správně zvolený průměr použité měřicí clony. Na měření kolorimetrických hodnot má podstatný vliv i pozadí, které je při měření vzorku použito. Tento problém lze vyřešit následujícími způsoby. První možností je použít více vrstev měřeného materiálu. Další možností je použití korekčních postupů na odstranění vlivu pozadí na naměřené hodnoty. K tomuto měření se využívá metoda černobílého pozadí neboli metoda kontrastního poměru.

S ohledem na chyby M. Vik [3] uvádí, že provází celý proces měření. Podle povahy a účinku se dělí na chyby hrubé, vzniklé nesprávným nastavením podmínek měření, špatným zapsáním výsledku aj., chyby náhodné, které jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit, a chyby systematické, které soustavně ovlivňují správnost měření. Chyby lze také dělit podle zdroje na chyby přístroje, instalace, metody, pozorování, vyhodnocení a vlivu prostředí. V kolorimetrické praxi se nejčastěji vyskytují chyby přístroje, operátora a vlivu nerovnoměrnosti nebo dalších vlastností měřeného vzorku. Pod ovlivňující faktor operátora

spadá problematika metodiky měření, která je důležitou součástí celého procesu měření. Z pohledu nejistoty měření je metodicky dle [3] zásadně špatným přístupem provedení jen jednoho měření. Vždy by mělo být provedeno tzv. měření s opakováním a to tak, že počet opakování měření by měl být 4 a více. To zajišťuje komplexnější posouzení měření, neboť jsou uvažovány nejistoty celého měřicího řetězce. Měření s opakováním u přístrojů s difuzní měřicí geometrií, například u vzorku obdélníkového tvaru, by mělo probíhat se současnou rotací vzorku o 90° po každém individuálním měření (pokud není dohodou nebo interní firemní metodikou stanoveno jinak), čímž se odstraní směrová závislost měřené barvy. Metoda je znázorněna na obr. 12a. Jinou metodu měření s opakováním lze použít u přístrojů s měřicí geometrií $45^\circ:0^\circ$. Takový přístroj osvítl vzorek ze všech stran a je možné jej proměřit tak, aby byla měřená místa rovnoměrně zastoupena a reprezentovala průměrný vzorek ve smyslu standardního odběru vzorků měřeného materiálu. Způsob měření na příkladu obdélníkového vzorku je zobrazen na obr. 12b, kdy jsou měření rozmístěna diagonálně. Nesmí se opomenout také důležitost správného vyhodnocení a s ním spojený zápis desetinných míst. Výsledek se tedy musí odpovídajícím způsobem zaokrouhlit a s ním i velikost chybového intervalu.



Obrázek 12: Metodika měření vzorku se čtyřmi opakováními a) pro přístroj s difuzní měřicí geometrií a b) pro přístroj s měřicí geometrií $45^\circ:0^\circ$ (adaptováno z [3])

2.3 Způsoby zpracování a vyhodnocení subjektivního a objektivního hodnocení

Způsoby zpracování a vyhodnocování dat získaných experimentem jsou čerpány z tematicky obdobně zaměřené odborné literatury – zejména závěrečných prací z Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci [50–52] odkazujících se na odborný článek [53] a doktorskou disertační práci M. Vika – Příspěvek k problematice výpočtu malých barevných odchylek, TUL 2004. Jedná se o způsoby posouzení věrohodnosti subjektivního hodnocení a vyhodnocení závislostí mezi subjektivním hodnocením a objektivně naměřenými daty zpracovanými různými rovnicemi.

U subjektivního hodnocení jsou data zpracována pro vyhodnocení intra- a interindividuální observační variability. Intraindividuální observační variabilita posuzuje, jak se shoduje

posuzovatel sám se sebou; interindividuální observační variabilita pak to, zda se jednotliví posuzovatelé shodují svým hodnocením [50].

Pro vyhodnocení se stanovují kritéria hodnotící linearitu mezi rovnicí a vizuálním posudkem. V pracích [[50–52]] jsou jimi korelační koeficient r , tzv. performance factor označovaný PF/3, standardizovaný reziduální součet čtverců (STRESS – Standardized Residual Sum of Squares) a rozhodovací kritérium S_r . V článku [49] je používána střední kvadratická chyba (RMSE – Root Mean Square Error).

Korelační koeficient r – jak citují [50–52] výše zmíněnou doktorskou disertační práci M. Vika, toto kritérium je relativní mírou korelovatelnosti a slouží k vyjádření těsnosti lineární vazby. Nabývá hodnot z intervalu $\langle -1; 1 \rangle$ podle stupně lineární závislosti. Znaménka vyjadřují nepřímou (–) a přímou (+) závislost. V této práci bude koeficient použit pro korelaci vizuálních posudků bělosti a odstínového nádechu a odpovídajících hodnot změřených a vypočtených dle vybraných rovnic, s výpočtem dle rce3.1 [54]. Dále je tento koeficient použit pro hodnocení observační variability na základě vizuálně vnímaných barvových charakteristik vypočtených z hodnocení dle dané stupnice a příslušných hodnot bělosti, resp. barvových odchylek a jejich robustních průměrných hodnot (rce 3.2), jak uvádí práce [51, 52].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.1)$$

kde x_i, y_i jsou náhodné veličiny a \bar{x}, \bar{y} jsou výběrové průměry.

$$r(dV_x, dV_{rp}) = \frac{\sum_1^n (dV_x - \overline{dV_x})(dV_{rpx} - \overline{dV_{rp}})}{\sqrt{\sum_1^n (dV_x - \overline{dV_x})^2 \sum_1^n (dV_{rpx} - \overline{dV_{rp}})^2}} \quad (3.2)$$

kde při hodnocení intraobservační variability je dV_x zvolená vizuálně vnímaná barvová charakteristika pro jeden vzorek při jednom hodnocení, $\overline{dV_x}$ je průměrná hodnota této charakteristiky pro všechny vzorky při jednom hodnocení, dV_{rpx} je robustní průměr této charakteristiky pro jeden vzorek a $\overline{dV_{rp}}$ je robustní průměr této charakteristiky vypočítaný ze všech hodnocených vzorků; při hodnocení interobservační variability je dV_x zvolená vizuálně vnímaná barvová charakteristika pro jeden vzorek při průměrném hodnocení daného posuzovatele, $\overline{dV_x}$ je průměrná hodnota této charakteristiky pro všechny vzorky při průměrném hodnocení, dV_{rpx} je robustní průměr této charakteristiky pro jeden vzorek a $\overline{dV_{rp}}$ je robustní průměr této charakteristiky vypočítaný ze všech hodnocených vzorků.

V případě indexu PF/3 se jedná o kombinovaný index (3.3) skládající se z několika definičních rovnic (3.4–3.6) [52]. Využívá se jako ukazatel pro přesnost, opakovatelnost a výkon vzorce pro výpočet barvového rozdílu ve srovnání s vizuálními výsledky. Čím nižších hodnot PF/3 nabývá, tím lepší je soulad mezi vizuální a naměřenou hodnotou a tím lepší je

predikční schopnost testované rovnice [52]. V této práci bude index PF/3 použit pro korelaci vizuálních posudků bělosti a odstínového nádechu a odpovídajících hodnot změřených a vypočtených dle vybraných rovnic.

$$PF/3 = \frac{100}{3} \left[(\gamma - 1) + V_{AB} + \frac{CV}{100} \right] \quad (3.3)$$

$$\log_{10}(\gamma) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N \left[\log_{10} \left(\frac{dV_x}{dV_{rpx}} \right) \log_{10} \left(\frac{\overline{dV_x}}{\overline{dV_{rpx}}} \right) \right]^2} \quad (3.4)$$

$$V_{AB} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{dV_x - F dV_{rpx}}{dV_x F dV_{rpx}} \right)^2} \quad F = \sqrt{\frac{\sum_i^N \frac{dV_x}{dV_{rpx}}}{\sum_i^N \frac{dV_{rpx}}{dV_x}}} \quad (3.5)$$

$$CV = 100 \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (dV_x - f dV_{rpx})^2}}{\overline{dV_x}} \quad f = \frac{\sum_i^N dV_x dV_{rpx}}{\sum_i^N (dV_{rpx})^2} \quad (3.6)$$

kde N je počet hodnocených vzorků, dV_x zvolená vizuálně vnímaná barvová charakteristika pro jeden vzorek při jednom hodnocení, $\overline{dV_x}$ je průměrná hodnota této charakteristiky pro všechny vzorky při jednom hodnocení, dV_{rpx} je robustní průměr této charakteristiky pro jeden vzorek a $\overline{dV_{rpx}}$ je robustní průměr této charakteristiky vypočítaný ze všech hodnocených vzorků

Standardizovaný reziduální součet čtverců STRESS – toto kritérium je založeno na T-statistice [50]. Podobně jako u PF/3, tak i u hodnoty STRESS platí, že čím je hodnota menší, tím lepší a kvalitnější je shoda mezi posudky [52]. Tato hodnota může být vypočtena třemi různými vzorci, které vedou ke stejným výsledkům. Uveden je jeden ze způsobů (3.7) [53], kde je posuzována shoda mezi naměřenou a vnímanou barvovou odchylkou. Uvedena je i varianta pro hodnocení intraobservační variability (3.8) [51, 52] a obdobně je použita i pro hodnocení interobservační variability. Využitelnost indexu STRESS pro posouzení observační variability subjektivního hodnocení je podložena i článkem [55], který uvádí, že kromě obvyklého využití pro posouzení rovnic vyjadřujících barvovou odchylku lze STRESS aplikovat i pro hodnocení intra- a interindividuální observační variability.

$$STRESS = \sqrt{\frac{\sum (\Delta E_i - F_3 \Delta V_i)^2}{\sum (\Delta E_i)^2}} \quad F_3 = \frac{\sum \Delta E_i \Delta V_i}{\sum (\Delta V_i)^2} \quad (3.7)$$

kde ΔE je naměřená barvová odchylka a ΔV vnímaná barvová odchylka.

$$\text{STRESS} = 100 \sqrt{\frac{\sum_i^N (dV_x - F_3 dV_{rpx})^2}{\sum_i^N (dV_x)^2}} \quad F_3 = \frac{\sum_i^N dV_x dV_{rpx}}{\sum_i^N (dV_{rpx})^2} \quad (3.8)$$

kde dV_x zvolená vizuálně vnímaná barvová charakteristika pro jeden vzorek při jednom hodnocení, dV_{rpx} je robustní průměr této charakteristiky pro jeden vzorek.

Střední kvadratická chyba RMSE – dle [56] se jedná o veličinu vyjadřující přesnost odhadů mezi předvídaným modelem či odhadem a skutečností. Čím je hodnota RMSE menší, tím je odhad přesnější.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (p_i - s_i)^2}{N}} \quad (3.9)$$

kde p_i je i -tá předpokládaná hodnota, s_i i -tá skutečná hodnota, N celkový počet hodnot.

Rozhodovací kritérium S_r – dle práce [52] umožňuje statistické posouzení predikčních schopností rovnic. Aby bylo možné rozhodnout, jestli je mezi vzorci A a B signifikantní rozdíl, S_A a S_B jsou STRESS hodnotami pro vybrané rovnice bělosti.

$$S_r = \frac{(S_A)^2}{(S_B)^2} \quad S_A > S_B \quad (3.10)$$

Nechť je F hodnota korespondující s F rozdělením s $(n - 1)$ stupni volnosti (počet testovaných vzorků minus 1) a požadovaný konfidenční interval je 95 %. Jestliže hodnota S_r leží mimo vypočítaný konfidenční interval $[1/F, F]$, získaný z tabulkových hodnot F rozdělení, mezi vzorci existuje signifikantní rozdíl.

3 Experiment

V současné době na základě snahy rozšíření aplikace stávající rovnice CIE pro bělost a odstínový nádech na jiná osvětlení, než D65 vzniká řada experimentálních prací. Ty se zaměřují na vliv použitých zdrojů o různé teplotě chromatičnosti nebo pozorují hledisko úpravy vzorků, do jaké míry lze různě odstínově rozlišné vzorky vnímat jako bílé. Experiment je tedy zaměřena na aplikovatelnost stávajících a doporučujících modifikací rovnic CIE pro osvětlení D50. Výpočty a jednotlivá hodnocení jsou prováděna pro standardního dvoustupňového pozorovatele, který je využíván v oblasti polygrafie.

Sada textilních vzorků s označením LCAM WHITE SAMPLE SET COTTON a pomocné stupnice pro hodnocení bělosti a rozdílnosti odstínu byly zapůjčeny z Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci. Jejich bližší charakteristika je součástí následující podkapitoly. Pro uložení vzorků byla navržena krabička s využitím katalogů v programu Esko ArtiosCAD a vyrobena na řezacím plotteru Mimaki Cutter CFL 605 RT; povrch krabičky byl polepen fólií potištěnou na tiskovém zařízení HP Latex 335.

Experimentální část diplomové práce byla rozdělena do tří částí. První částí experimentu bylo objektivní proměření textilních vzorků a pomocných stupnic. Druhou částí bylo vyšetření adeptů pro následné subjektivní hodnocení na barvocit pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu a třetí částí pak samotné subjektivní hodnocení textilních vzorků a výpočet vybraných rovnic bělosti.

3.1 Objektivní měření

Objektivní měření textilních vzorků na spektrofotometru ERX30 (obr. 13) [57] bylo provedeno na pracovišti Technické univerzity v Liberci. Přístroj využívá geometrii $45^\circ/0^\circ$, měření je možné provádět pod osvětlením D65 včetně UV složky nebo bez ní. Spektrální rozsah 330–730 nm.



Obrázek 13: Spektrofotometr ERX30 od firmy X-Rite Pantone® [57]

Vzorky byly proměřeny na spektrofotometru UltraScan VIS od firmy HunterLab (obr. 14) [58]. Jedná se o přístroj využívající geometrii $d/8^\circ$ s automatickým začleněním/vyloučením zrcadlové složky. Optický systém má efektivní šířku pásma 10 nm a spektrální data jsou uváděna každých 10 nm. Výpočty jsou dle doporučení CIE prováděny od 380 nm do 780 nm. Zdrojem osvětlení je pulsní xenonová lampa – D65 včetně UV. Toto zařízení zahrnuje software EasyMatch QC.

V softwaru EasyMatch QC byly vybrány parametry, které byly po měření vypočteny: reflexní spektra a indexy bělosti a odstínového nádechu W_{Ganz} a T_{Ganz} [D65/10], W_{CIE} a T_{CIE} [D65/10], W_{E313} a T_{E313} [D50/2].



Obrázek 14: Spektrofotometr UltraScan VIS od firmy HunterLab [58]

Dále byl pro objektivní měření využit spektrometr SpectraScan[®] PR-740 od společnosti Photo Research (obr. 15) [59], zapůjčený z Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci. Jedná se o zařízení se spektrálním rozsahem 380–780 nm s vysokou citlivostí a rychlostí měření světla. Zahrnuje software SpectraWin[™] 2.



Obrázek 15: SpectraScan[®] PR-740 od společnosti Photo Research [59]

3.1.1 Textilní vzorky

Hodnocená sada 40 textilních vzorků (obr. 16–18) se skládá z 20 vzorků tkaniny a 20 vzorků pleteniny o rozměru přibližně $9,5 \times 8,5$ cm, které byly ošetřeny 11 různými způsoby a s různými koncentracemi. Pro vzorky byl spektrofotometrem ERX30 změřen pro osvětlení D65 celkový spektrální radiační činitel při zahrnutí a nezahrnutí UV složky. Spektrální data vzorků pro osvětlení D50 byla vypočtena na základě spektrálního činitele luminiscence a spektrálního činitele odrazu se zohledněním toho, že intenzita UV záření pro osvětlení D50 je oproti D65 v absorpčním maximu 51,35 %, a uvažováním lineární závislosti fluorescence na intenzitě záření. Získané informace o vzorcích a jejich vypočtené charakteristiky jsou uvedeny v tab. 4, s grafickým znázorněním hodnot xyY pro osvětlení D50 a 2° pozorovatele v obr. 19 a 20. Souřadnice xy (0,3457; 0,3585) osvětlení D50/ 2° jsou použity z normy CIE 15.3:2004 [5] a souřadnice xy (0,1241; 0,0578) dominantní vlnové délky 470 nm z publikace [1].

Spektrofotometrem UltraScan VIS byla sada 40 textilních vzorků proměřena pomocí 25,4 mm clony. Pro zamezení vlivu pozadí byl vzorek čtvercového tvaru přeložen a při měření podložen vrstvou cca 15 filtračních papírků značky GE Healthcare Whatman™. Jelikož jsou vzorky ošetřeny FWA, byly proměřeny bez zrcadlové složky odrazu. Dále pro zamezení vlivu směrovosti byly vzorky dle metodiky s opakovaným měřením proměřeny pětkrát s otočením o 90° . Před samotným měřením byl přístroj nejdříve kalibrován na černou a bílou barvu, poté byla pomocí fluorescenčního standardu (Fluorescent Standard; USVIS 1946, Oct 17, 2017; Ganz Whiteness 192,2; Illuminant D65/ 10° Observer SPEX LAV) kalibrována UV oblast (filtr byl umístěn do pozice 19,8 %). Získaná data jsou uvedena v tab. 5.

Měření vzorků pomocí spektroradiometru SpectraScan® PR-740 bylo provedeno v koloristické skříni Color Viewing Light BASIC od firmy JUST NORMLICHT (blíže specifikované v kapitole 3.2) pod simulátorem osvětlení D50 s UV složkou. Získané informace o vzorcích a jejich vypočtené charakteristiky jsou uvedeny v tab. 5.

Tabulka 6 uvádí hodnoty pro standardizovanou rovnici bělosti a odstínový nádech pro dvoustupňového i desetistupňového pozorovatele pod zdrojem D65 ze spektrofotometru UltraScan VIS. Rozsah hodnot W_{CIE} a T_{CIE} se pohybuje pro bělost 129,9–171,0 a odstínový nádech -1 – $10,5$. V tabulce dále uvedeno, zda vzorky splňují omezení, která jsou podle CIE [5] platná pro hodnoty bělosti a odstínového nádechu, a ta, která odpovídají doporučené úpravě limitů pro odstínový nádech podle Vika a kol. [44] a Ma a kol. [45]

Na obr. 21 je znázorněné porovnání vzorků pomocí barvových souřadnic x , y získanými jednotlivými přístroji a pro různá osvětlení.



Obrázek 16: Sada hodnocených textilních vzorků v koloristické skříni pod simulátorem osvětlení D50



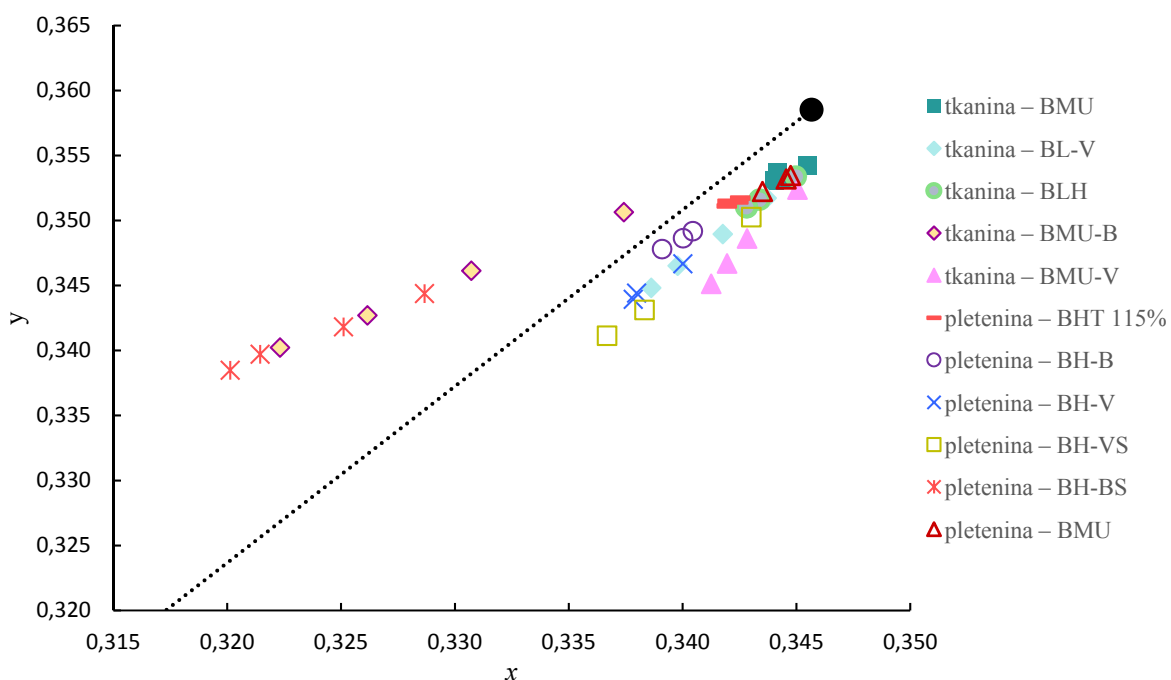
Obrázek 17: Sada hodnocených textilních vzorků v koloristické skříni pod simulátorem osvětlení D50 se zesílenou složkou UV



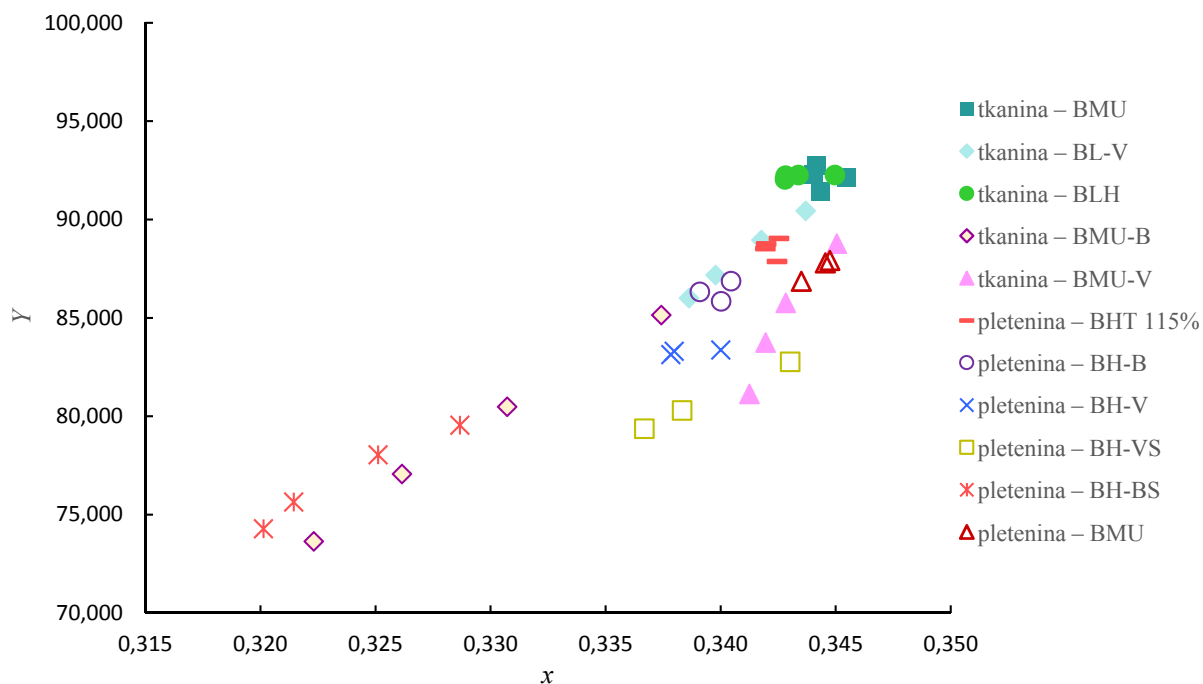
Obrázek 18: Ukázka textilních vzorků – tkanina (vlevo), pletenina (vpravo)

Tabulka 4: Informace o sadě textilních vzorků, trichromatické hodnoty X, Y a Z a barvové souřadnice vypočtené z dat spektrofotometru ERX30 pro podmínky D50/2°

číslo vzorku	typ textilu	g/l resp. %	úprava	označení	X	Y	Z	x	y
1	tkanina	4,00 g/l	UVITEX BMU LIQ	4 g/l BMU	89,9	92,1	78,1	0,3455	0,3542
2	tkanina	8,00 g/l	UVITEX BMU LIQ	8 g/l BMU	89,1	91,4	78,3	0,3443	0,3532
3	tkanina	0,12 g/l	UVITEX BMU LIQ	0,12 g/l BMU	89,9	92,3	79,2	0,3440	0,3531
4	tkanina	0,16 g/l	UVITEX BMU LIQ	0,16 g/l BMU	90,2	92,7	79,2	0,3441	0,3537
5	tkanina	0,06 g/l	UVITEX BL-V LIQ	0,06 g/l BL-V	88,4	90,4	78,3	0,3437	0,3517
6	tkanina	0,12 g/l	UVITEX BL-V LIQ	0,12 g/l BL-V	87,1	89,0	78,8	0,3418	0,3490
7	tkanina	18,00 g/l	UVITEX BL-V LIQ	18 g/l BL-V	85,5	87,2	78,9	0,3398	0,3465
8	tkanina	24,00 g/l	UVITEX BL-V LIQ	24 g/l BL-V	84,5	86,0	79,0	0,3386	0,3448
9	tkanina	6,00 g/l	UVITEX BLH LIQ	6 g/l BLH	90,1	92,3	78,8	0,3450	0,3534
10	tkanina	12,00 g/l	UVITEX BLH LIQ	12 g/l BLH	90,1	92,3	80,0	0,3434	0,3516
11	tkanina	18,00 g/l	UVITEX BLH LIQ	18 g/l BLH	90,1	92,2	80,4	0,3428	0,3510
12	tkanina	24,00 g/l	UVITEX BLH LIQ	24 g/l BLH	89,9	92,0	80,3	0,3428	0,3510
13	tkanina	4,00 g/l	UVITEX BMU-B LIQ	4 g/l BMU-B	81,9	85,1	75,7	0,3374	0,3506
14	tkanina	8,00 g/l	UVITEX BMU-B LIQ	8 g/l BMU-B	76,9	80,5	75,1	0,3307	0,3461
15	tkanina	12,00 g/l	UVITEX BMU-B LIQ	12 g/l BMU-B	73,3	77,1	74,5	0,3262	0,3427
16	tkanina	16,00 g/l	UVITEX BMU-B LIQ	16 g/l BMU-B	69,8	73,6	73,0	0,3223	0,3402
17	tkanina	4,00 g/l	UVITEX BMU-V LIQ	4 g/l BMU-V	86,9	88,8	76,2	0,3450	0,3524
18	tkanina	8,00 g/l	UVITEX BMU-V LIQ	8 g/l BMU-V	84,3	85,8	75,9	0,3428	0,3486
19	tkanina	0,12 g/l	UVITEX BMU-V LIQ	0,12 g/l BMU-V	82,6	83,7	75,2	0,3420	0,3467
20	tkanina	16,00 g/l	UVITEX BMU-V LIQ	16 g/l BMU-V	80,2	81,1	73,7	0,3413	0,3451
21	pleténina	0,40 %	UVITEX BHT LIQ 115 %	0,40 % BHT 115 %	85,6	87,9	76,5	0,3424	0,3514
22	pleténina	0,50 %	UVITEX BHT LIQ 115 %	0,50 % BHT 115 %	86,7	89,0	77,4	0,3425	0,3517
23	pleténina	0,60 %	UVITEX BHT LIQ 115 %	0,60 % BHT 115 %	86,2	88,5	77,4	0,3419	0,3511
25	pleténina	0,80 %	UVITEX BHT LIQ 115 %	0,80 % BHT 115 %	86,4	88,7	77,4	0,3420	0,3515
26	pleténina	0,40 %	UVITEX BH-B LIQ	0,40 % BH-B	84,7	86,9	77,2	0,3404	0,3492
27	pleténina	0,50 %	UVITEX BH-B LIQ	0,50 % BH-B	83,7	85,8	76,7	0,3400	0,3486
29	pleténina	0,70 %	UVITEX BH-B LIQ	0,70 % BH-B	84,2	86,3	77,7	0,3391	0,3478
32	pleténina	0,50 %	UVITEX BH-V LIQ	0,50 % BH-V	81,8	83,4	75,3	0,3400	0,3467
33	pleténina	0,60 %	UVITEX BH-V LIQ	0,60 % BH-V	81,7	83,3	76,8	0,3380	0,3444
34	pleténina	0,70 %	UVITEX BH-V LIQ	0,70 % BH-V	81,6	83,1	76,9	0,3378	0,3439
36	pleténina	0,20 %	UVITEX BH-VS LIQ	0,20 % BH-VS	81,0	82,8	72,5	0,3430	0,3503
38	pleténina	0,40 %	UVITEX BH-VS LIQ	0,40 % BH-VS	79,2	80,3	74,5	0,3383	0,3431
39	pleténina	0,50 %	UVITEX BH-VS LIQ	0,50 % BH-VS	78,3	79,4	75,0	0,3367	0,3411
42	pleténina	0,30 %	UVITEX BH-BS LIQ	0,30 % BH-BS	75,9	79,5	75,5	0,3287	0,3444
43	pleténina	0,40 %	UVITEX BH-BS LIQ	0,40 % BH-BS	74,2	78,0	76,0	0,3251	0,3418
44	pleténina	0,50 %	UVITEX BH-BS LIQ	0,50 % BH-BS	71,6	75,6	75,4	0,3214	0,3397
45	pleténina	0,60 %	UVITEX BH-BS LIQ	0,60 % BH-BS	70,2	74,3	74,9	0,3201	0,3385
47	pleténina	0,60 %	UVITEX BMU LIQ	0,60 % BMU	85,7	87,9	75,1	0,3447	0,3535
49	pleténina	1,00 %	UVITEX BMU LIQ	1,00 % BMU	85,6	87,8	75,1	0,3445	0,3532
50	pleténina	1,20 %	UVITEX BMU LIQ	1,20 % BMU	84,7	86,9	75,0	0,3435	0,3522



Obrázek 19: Barvé souřadnice vzorků v chromatickém diagramu CIExy pro podmínky D50/2° a odpovídající souřadnice osvětlení [5] (černý puntík), tečkovaná čára znázorňuje spojnici se souřadnicemi pro vlnovou délku 470 nm [1]



Obrázek 20: Barvé souřadnice vzorků v diagramu Yx prostoru CIExyY pro podmínky D50/2°

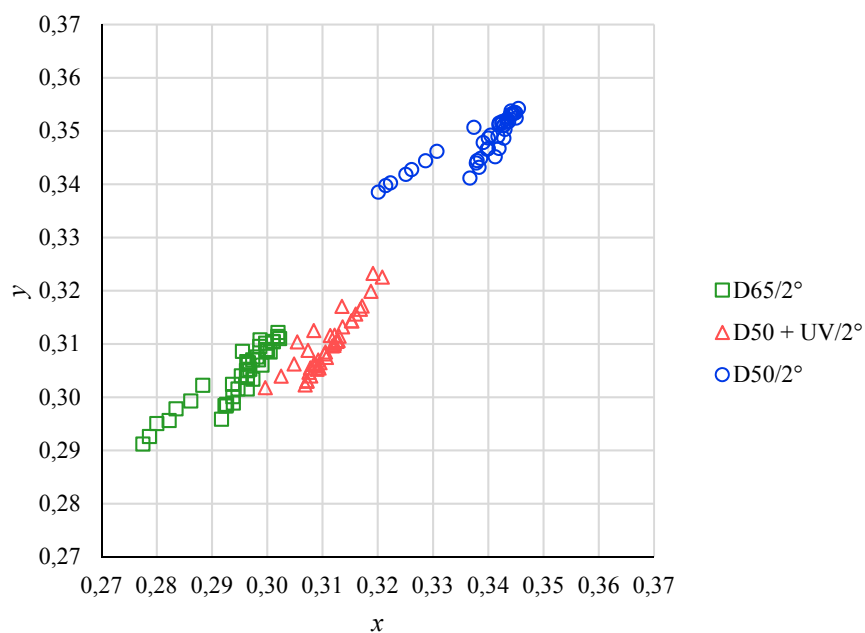
Tabulka 5: Informace o sadě textilních vzorků, trichromatické hodnoty X, Y a Z a barvové souřadnice ze spektrofotometru HunterLab [D65/2°] a spektrometri SpectraScan® PR-730 [D50 + UV/2°]

označení vzorků	D65/2°					D50 + UV/2°				
	X	Y	Z	x	y	X	Y	Z	x	y
4 g/l BMU	92,7	95,8	118,5	0,3020	0,3121	72,0	72,3	81,6	0,3187	0,3199
8 g/l BMU	93,5	96,7	121,7	0,2997	0,3101	73,1	73,0	87,0	0,3136	0,3132
0,12 g/l BMU	93,8	97,2	123,1	0,2987	0,3095	72,9	72,8	87,8	0,3122	0,3116
0,16 g/l BMU	93,7	97,5	122,5	0,2987	0,3107	73,6	73,6	89,1	0,3114	0,3116
0,06 g/l BL-V	91,4	94,0	119,1	0,3000	0,3087	69,3	69,3	79,9	0,3172	0,3171
0,12 g/l BL-V	90,8	93,1	122,5	0,2964	0,3037	72,9	72,4	87,9	0,3126	0,3105
18 g/l BL-V	90,1	92,0	124,5	0,2938	0,3001	71,5	70,7	89,3	0,3090	0,3052
24 g/l BL-V	88,2	89,9	123,3	0,2926	0,2983	70,7	69,6	90,1	0,3069	0,3023
6 g/l BLH	92,9	95,7	119,8	0,3011	0,3104	70,9	70,8	82,7	0,3160	0,3156
12 g/l BLH	93,6	96,3	123,8	0,2984	0,3070	73,2	72,7	88,9	0,3118	0,3096
18 g/l BLH	94,7	97,4	126,9	0,2969	0,3052	74,0	73,2	92,1	0,3092	0,3058
24 g/l BLH	94,5	97,2	127,1	0,2965	0,3049	72,3	71,3	91,7	0,3072	0,3030
4 g/l BMU-B	84,3	88,0	112,9	0,2955	0,3086	66,7	67,6	74,8	0,3191	0,3232
8 g/l BMU-B	79,9	83,8	113,5	0,2883	0,3022	67,3	68,1	79,3	0,3135	0,3170
12 g/l BMU-B	76,1	79,9	112,4	0,2835	0,2978	64,5	65,3	79,3	0,3084	0,3125
16 g/l BMU-B	72,8	76,7	110,4	0,2800	0,2950	63,3	64,3	79,6	0,3054	0,3104
4 g/l BMU-V	89,3	91,9	114,3	0,3022	0,3110	68,4	68,7	76,0	0,3208	0,3226
8 g/l BMU-V	86,8	88,8	114,6	0,2990	0,3060	66,3	66,1	77,9	0,3153	0,3143
0,12 g/l BMU-V	85,0	86,7	114,2	0,2974	0,3034	65,3	64,8	78,6	0,3128	0,3107
16 g/l BMU-V	83,6	85,1	113,4	0,2964	0,3015	66,3	65,8	80,3	0,3121	0,3097
0,40 % BHT 115 %	89,0	91,8	117,7	0,2982	0,3075	78,3	77,8	96,3	0,3103	0,3081
0,50 % BHT 115 %	90,2	93,1	120,0	0,2974	0,3070	80,7	80,1	100,2	0,3092	0,3070
0,60 % BHT 115 %	90,8	93,8	121,5	0,2966	0,3064	80,5	79,9	100,6	0,3084	0,3061
0,80 % BHT 115 %	90,6	93,8	121,4	0,2963	0,3066	79,4	78,8	99,8	0,3078	0,3055
0,40 % BH-B	88,5	91,1	119,1	0,2963	0,3050	79,1	78,6	97,1	0,3105	0,3085
0,50 % BH-B	88,4	90,9	119,9	0,2953	0,3040	79,6	78,9	99,3	0,3087	0,3060
0,70 % BH-B	88,0	90,6	121,0	0,2937	0,3024	79,7	79,0	100,5	0,3075	0,3047
0,50 % BH-V	85,9	87,9	117,8	0,2947	0,3015	77,6	76,8	96,3	0,3095	0,3065
0,60 % BH-V	85,4	87,1	119,2	0,2927	0,2986	79,1	78,1	99,7	0,3079	0,3040
0,70 % BH-V	85,0	86,8	119,0	0,2924	0,2984	78,4	77,4	99,5	0,3072	0,3031
0,20 % BH-VS	83,9	86,1	109,2	0,3005	0,3085	75,9	75,8	87,8	0,3168	0,3165
0,40 % BH-VS	82,7	84,1	114,6	0,2939	0,2989	76,2	75,4	93,7	0,3107	0,3075
0,50 % BH-VS	82,0	83,2	116,0	0,2917	0,2958	76,2	75,2	94,8	0,3094	0,3055
0,30 % BH-BS	79,5	83,1	115,2	0,2862	0,2992	74,7	75,1	93,3	0,3074	0,3088
0,40 % BH-BS	77,9	81,6	116,5	0,2822	0,2956	73,7	74,0	94,0	0,3048	0,3062
0,50 % BH-BS	76,0	79,8	116,9	0,2787	0,2926	73,1	73,4	95,1	0,3025	0,3039
0,60 % BH-BS	74,6	78,3	116,0	0,2775	0,2911	72,2	72,7	96,1	0,2996	0,3018
0,60 % BMU	88,3	91,1	113,1	0,3019	0,3114	78,2	77,9	91,8	0,3152	0,3143
1,00 % BMU	88,9	91,7	114,8	0,3010	0,3104	78,5	78,1	94,2	0,3130	0,3115
1,20 % BMU	88,1	90,8	115,0	0,2998	0,3089	79,2	78,7	95,8	0,3122	0,3101

Tabulka 6: Hodnoty bělosti a odstínového nádechu získané při proměření vzorků na přístroji HunterLab [D65/2°] a z pohledu omezení podle CIE [5] a doporučených úprav limitů dle Vika a kol. [44] a Ma a kol [45]

označení vzorku	W _{CIE}	T _{CIE}	W _{CIE, 10}	T _{CIE, 10}	CIE	CIE	Vik	Ma
					W _{CIE} / W _{CIE,10}	T _{CIE} / T _{CIE,10}	T _{CIE} / T _{CIE,10}	T _{CIE} / T _{CIE,10}
4 g/l BMU	133,4	-0,32	130,9	0,41	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
8 g/l BMU	139,5	0,63	135,7	1,56	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
0,12 g/l BMU	141,8	1,30	137,4	2,33	✓/✓	✓/×	×/×	✓/✓
0,16 g/l BMU	139,9	2,04	134,8	3,16	✓/✓	×/×	×/×	✓/✓
0,06 g/l BL-V	138,9	-0,63	136,5	0,25	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
0,12 g/l BL-V	149,4	-0,26	145,9	0,92	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
18 g/l BL-V	156,5	0,02	152,3	1,45	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
24 g/l BL-V	158,4	0,10	153,6	1,76	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
6 g/l BLH	136,9	-0,60	134,4	0,15	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
12 g/l BLH	145,4	-0,10	142,1	0,81	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
18 g/l BLH	150,7	0,30	146,7	1,34	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
24 g/l BLH	151,3	0,49	147,0	1,59	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
4 g/l BMU-B	136,7	3,81	134,0	4,16	✓/✓	×/×	×/×	✓/✓
8 g/l BMU-B	149,1	6,85	144,9	7,21	×/×	×/×	×/×	×/×
12 g/l BMU-B	156,6	8,82	151,3	9,26	×/×	×/×	×/×	×/×
16 g/l BMU-B	160,8	10,49	154,7	10,98	×/×	×/×	×/×	×/×
4 g/l BMU-V	131,2	-1,33	129,0	-0,33	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
8 g/l BMU-V	139,1	-1,40	135,8	0,06	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
0,12 g/l BMU-V	142,8	-1,45	138,8	0,32	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
16 g/l BMU-V	145,1	-1,63	140,6	0,41	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
0,40 % BHT 115 %	140,1	0,49	136,0	1,56	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
0,50 % BHT 115 %	143,0	0,93	138,4	2,07	✓/✓	✓/×	✓/×	✓/✓
0,60 % BHT 115 %	145,2	1,38	140,2	2,58	✓/✓	✓/×	×/×	✓/✓
0,80 % BHT 115 %	145,1	1,79	139,6	3,07	✓/✓	✓/×	×/×	✓/✓
0,40 % BH-B	145,3	0,77	140,9	1,96	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
0,50 % BH-B	147,6	1,03	142,9	2,29	✓/✓	✓/×	×/×	✓/✓
0,70 % BH-B	151,2	1,61	145,9	3,00	✓/✓	✓/×	×/×	✓/✓
0,50 % BH-V	149,3	0,06	144,6	1,66	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
0,60 % BH-V	155,0	0,22	149,9	1,93	✓/✓	✓/✓	✓/×	✓/✓
0,70 % BH-V	155,3	0,36	150,0	2,14	×/✓	✓/×	✓/×	✓/✓
0,20 % BH-VS	131,0	-1,26	128,1	-0,01	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
0,40 % BH-VS	150,6	-0,85	146,2	0,96	×/×	✓/✓	✓/✓	✓/✓
0,50 % BH-VS	156,6	-0,66	151,7	1,34	×/×	✓/✓	✓/×	✓/✓
0,30 % BH-BS	155,2	7,11	150,4	7,49	×/×	×/×	×/×	×/×
0,40 % BH-BS	163,0	8,65	157,5	9,03	×/×	×/×	×/×	×/×
0,50 % BH-BS	169,1	10,25	162,8	10,66	×/×	×/×	×/×	×/×
0,60 % BH-BS	171,0	10,51	164,5	10,89	×/×	×/×	×/×	×/×
0,60 % BMU	129,9	-0,76	126,9	0,13	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
1,00 % BMU	132,8	-0,45	129,4	0,53	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
1,20 % BMU	135,5	-0,22	131,7	0,81	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓

✓ vzorek spadá do omezujícího intervalu, × vzorek nespadá do omezujícího intervalu



Obrázek 21: Porovnání textilních vzorků změřenými pod různými zdroji

3.1.2 Stupnice pro hodnocení vnímané bělosti a odstínového rozdílu

Plastová stupnice CIBA o 12 vzorcích pro hodnocení bělosti byla proměřena na spektrofotometru UltraScan VIS s 25,4mm clonou na pěti různých místech, stejně jako v případě textilních vzorků bez zahrnutí zrcadlové složky odrazu a s kalibrovanou UV oblastí. Výsledné naměřené parametry se zprůměrovaly. Průměrné hodnoty parametrů charakterizujících jednotlivé vzorky stupnice jsou uvedeny v tab. 7.

Tabulka 7: Charakteristické hodnoty stupnice bělosti CIBA pro podmínky D65/2°

vzorek	W_{CIE}	T_{CIE}	X	Y	Z
1	36,73	-2,89	75,81	80,45	75,07
2	47,42	-1,77	77,31	82,05	79,11
3	56,45	-0,77	77,82	82,58	82,06
4	67,48	0,41	79,38	84,26	86,52
5	79,42	1,11	79,71	84,40	90,29
6	88,66	1,06	80,01	84,37	93,18
7	96,87	1,01	81,44	85,60	96,82
8	107,73	1,16	81,71	85,52	100,39
9	117,26	0,89	82,40	85,79	103,91
10	128,64	1,04	81,94	84,87	107,14
11	135,08	1,32	82,68	85,49	110,04
12	144,42	1,96	84,69	87,47	115,39

Jednotlivá políčka stupnice pro hodnocení odstínového rozdílu byla proměřena pomocí 9,525mm clony na pěti různých místech. Jelikož tato stupnice neobsahovala FWA, nebylo nutné se změnou clony měnit nastavení filtru pro UV oblast. Bližší charakteristika jednotlivých stupňů v podobě průměrných hodnot barvových odchylek mezi políčky daného stupně je uvedena v tab. 8.

Tabulka 8: Charakteristické hodnoty stupnice pro hodnocení rozdílnosti odstínového nádechu

stupnice	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{00}
4,0	3,3	2,1
4,2	2,6	1,7
4,4	2,0	1,2
4,6	1,6	1,1
4,8	1,0	0,7
5,0	0,3	0,3

3.2 Subjektivní hodnocení

V této podkapitole bude představena koloristická skříň Color Viewing Light BASIC a vizuální hodnocení, která v ní byla provedena. Poslední část se věnuje hodnocení dostupných alternativních zdrojů osvětlení D50 pro možnost rozšíření experimentu o vizuální posudky pro simulátor osvětlení D50 se spektrálním složením odlišným od zdroje v této skříni.

3.2.1 Koloristická skříň JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC

Tato koloristická skříň (obr. 22) má dle výrobce [60] plochu osvětlení 65 × 33 × 36 cm a povrch interiéru v neutrální barvě, matně šedé N7. Zdroj osvětlení D50 je specifikován v tab. 9 hodnotami uvedenými výrobcem a v tab. 10 souhrnnými hodnotami z dat měřených spektrofotometrem i1 Pro od společnosti X-Rite v celém průběhu vizuálního hodnocení; spektra byla zpracována v softwaru Colorimetric eXercise 5.0.1 vyvinutém Gabrielem Simonem [61]. Po ukončení experimentu byl zdroj osvětlení proměřen ještě pomocí spektrometru SpectraScan®, jehož hodnoty podporují data naměřená spektrofotometrem i1 Pro. Získaná data jsou uvedena v tab.11.



Obrázek 22: Koloristická skříň Color Viewing Light BASIC od firmy JUST NORMLICHT [60]

Tabulka 9: Informace o zdroji D50 v koloristické skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC poskytnuté výrobcem

Nominální hodnota CCT [K]	CCT [K]	$R_{a,14}$	M_v	M_u	x_{10}	y_{10}
5 000	4 897	92,9	0,6	0,6	0,350	0,365

Tabulka 10: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D50 samostatně i v kombinaci se zdrojem UV v koloristické skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC – spektrofotometr i1 Pro

Nominální hodnota CCT [K]	CCT [K]	osvětlení [lux]	$R_{a,14}$	x	y	x_{10}	y_{10}
5 000	5 080–5 180	2 849–3 031	95	0,343	0,356	0,345	0,361
5 000 + složka UV	5 153–5 286	2 858–3 039	94	0,341	0,355	0,343	0,361

Tabulka 11: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D50 samostatně i v kombinaci se zdrojem UV v koloristické skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC – Spektroradiometr SpectraScan®

Nominální hodnota CCT [K]	CCT [K]	$R_{a,14}$	x	y	x_{10}	y_{10}
5 000	5 112	94	0,342	0,355	0,345	0,361
5 000 + složka UV	5 157	94	0,341	0,355	0,343	0,361

3.2.2 Vyšetření barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu

Zdroje [62, 63] uvádějí, že tento test je jednoduchou metodou pro otestování odstínového rozlišování. Jeho primárním úkolem je nejdříve rozdělit vyšetřované osoby s normálním barevným viděním podle schopnosti rozlišování odstínů do tříd – superior (vysoká), average (průměrná) a low (nízká schopnost); a následně určit oblast barevných změn u osob s defektním barevným viděním. Farnsworth–Munsellův 100 Hue test se skládá ze čtyř kazet (obr. 23), které obsahují 93 barevných terčů pokrývajících viditelné spektrum, z nichž 85 terčů je pohyblivých a v každé kazetě jsou dva terče fixované (jeden na začátku a jeden na konci) jako řídicí barvy pro sestavení barevného přechodu. Barevné terče jsou vyrobené z nejstabilnějšího dostupného materiálu, je však nutné je chránit před přímým slunečním světlem, aby nedošlo k jejich znehodnocení.



Obrázek 23: Farnsworth–Munsellův 100 Hue test [64]

Postup vyšetření je následující [63]:

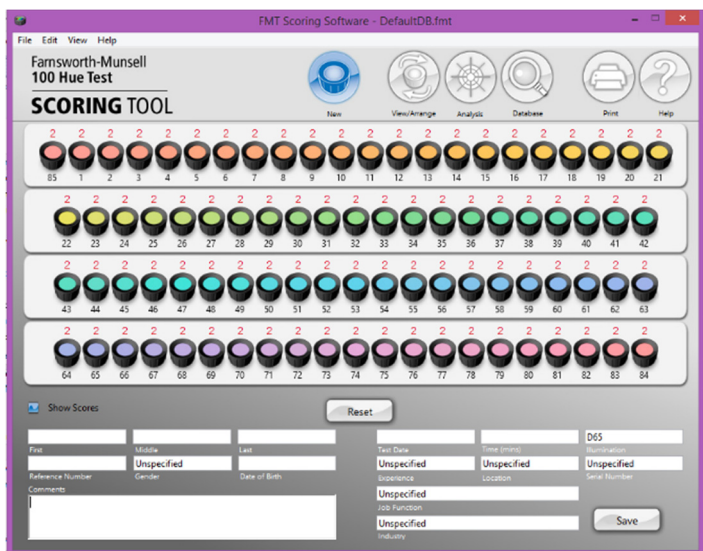
1. je nutné, aby test byl proveden za denního osvětlení
2. před testovanou osobu se umístí jedna z kazet s promíchanými terčíky
3. osoba je seznámena s průběhem testování – na jednu kazetu by měl mít posuzovatel dvě minuty, přesnost je však důležitější než rychlost
4. testované osobě je ponecháno individuálně tolik času, kolik potřebuje pro uspořádání terčků
5. výsledek testu je poté zaznamenán pomocí softwaru FM 100 Hue Test Scoring

V rámci této práce se vyšetření barvocitu zúčastnilo 45 osob (24 žen, 21 mužů) ve věkovém rozmezí 19–62 let. Úkolem testovaných osob bylo postupně ve čtyřech kazetách seřadit promíchané terčíky podle odstínu mezi fixní terčíky. Po seřazení terčků následovalo vyhodnocení. Pořadí terčků ve všech čtyřech kazetách sestavené jednotlivými testovanými osobami bylo zaznamenáno do softwaru FM 100 Hue Test Scoring pomocí pořadových čísel na zadní straně terčků (obr. 24).

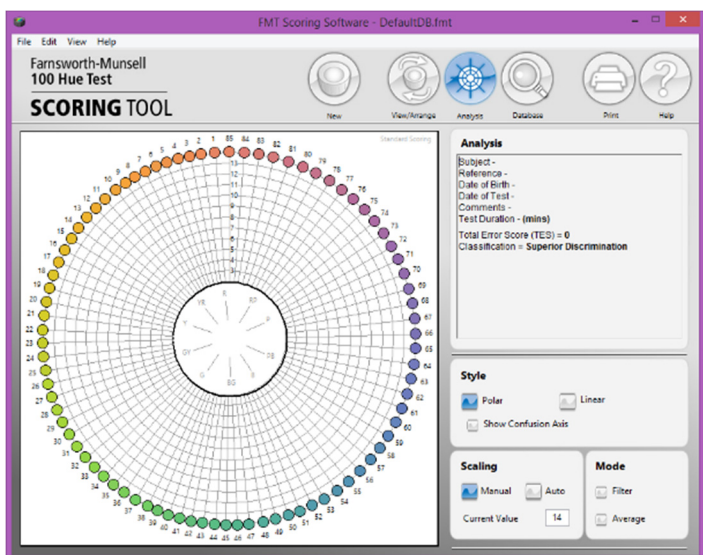


Obrázek 24: Pořadová čísla na zadní straně barevných terčků Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu [64]

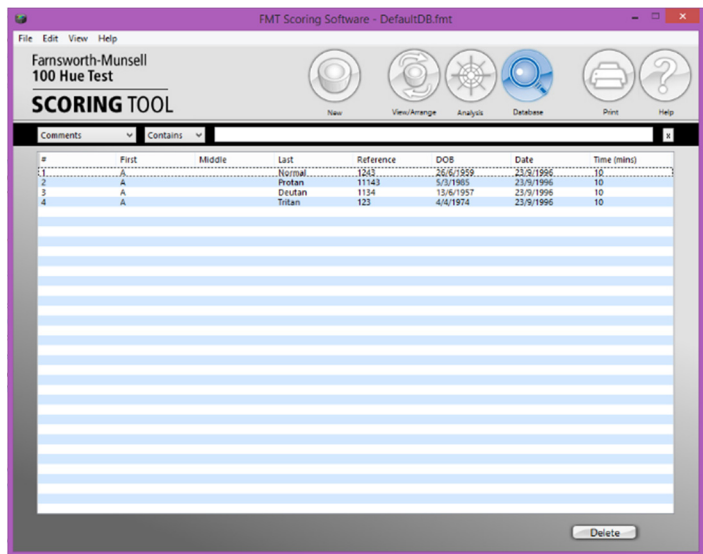
V software FM 100 Hue Test Scoring (obr. 25–27) jsou virtuální terčíky přemísťovány pomocí tahu myši na pozice dle pořadí sestaveného testovanou osobou. Celkové chybové skóre (TES – Total Error Score), které je získáno po kontrole pořadí, se v softwaru zobrazí nad terčíky. Hodnota skóre vyznačena červeně je rovna součtu absolutních rozdílů mezi číslem chybného terčiku a terčiku, které s ním sousedí. V základu má každý terčík přiřazenou hodnotu 2, viz obr. 25. Ukázka hodnot skóre při špatném seřazení terčků je zobrazena na obr. 28.



Obrázek 25: Software FM 100 Hue Test Scoring, hlavní stránka



Obrázek 26: Software FM 100 Hue Test Scoring, stránka analýzy výsledku



Obrázek 27: Software FM 100 Hue Test Scoring, stránka databáze jednotlivých hodnocení



Obrázek 28: Ukázka skóre Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu pro špatná seřazení terčů

Na základě hodnoty TES byly testované osoby rozřazeny do dvou tříd – konkrétně do třídy Superior Color Discrimination nadprůměrných výsledků s hodnotou TES = 0–16 a třídy Average Color Discrimination průměrných výsledků s hodnotou TES = 20–100. Hodnota TES nad 100 odpovídající zařazení do třídy Low Color Discrimination podprůměrných výsledků nebyla zjištěna u žádné z testovaných osob. Výsledky TES všech testovaných osob jsou uvedeny v příloze B.

Pro další experimentální část bylo využito osob ve třídě Superior Color Discrimination, do které z 45 testovaných osob spadalo 24 osob (11 žen, 13 mužů). Konkrétně se z této třídy zúčastnilo 19 osob (8 žen, 11 mužů) ve věkovém rozmezí 19–48 let. Jejich označení pro další zpracování, hodnoty TES a další informace jsou shrnuty v tab. 12. V příloze C jsou pak uvedeny jejich TES výsledky zaznamenané v grafu polárních souřadnic získaném ze softwaru FM 100 Hue Test Scoring.

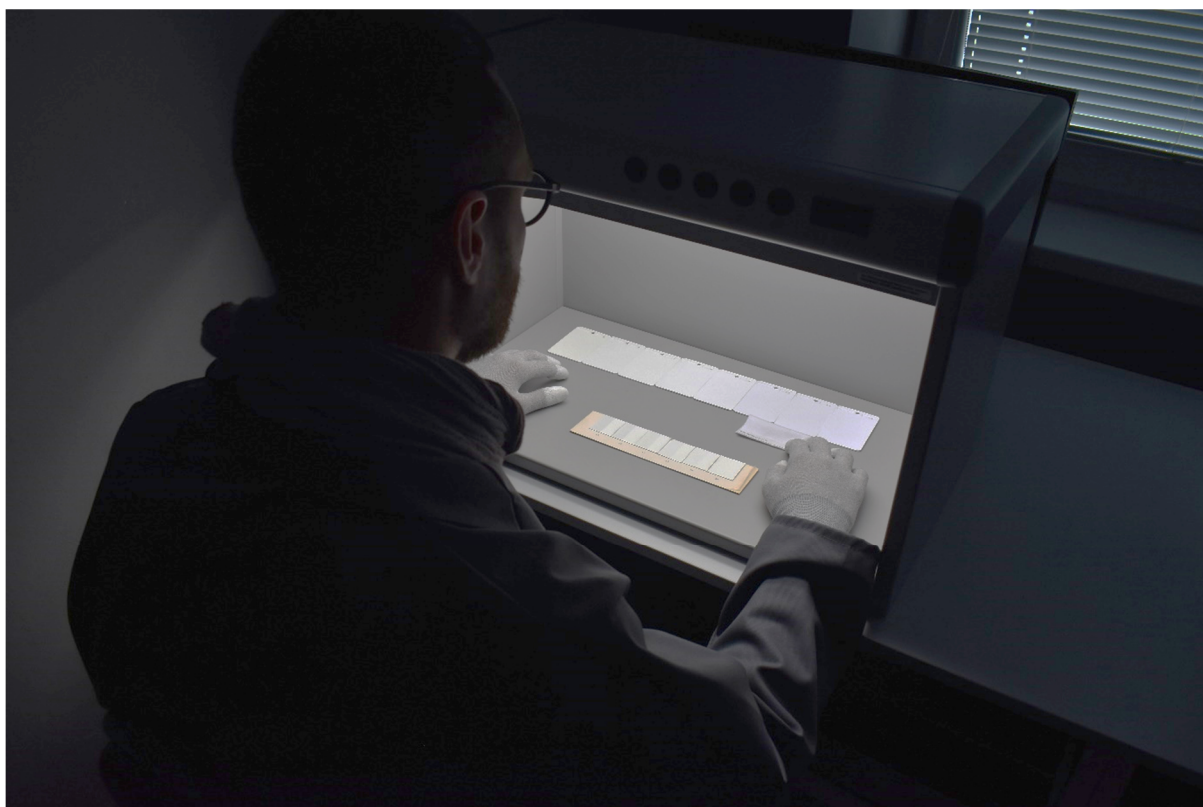
Je nutné podotknout, že všechny zúčastněné osoby byli naivními posuzovateli, tudíž neměly s podobným hodnocením žádné zkušenosti.

Tabulka 12: Informace o testovaných osobách, které se zúčastnily subjektivního hodnocení textilních vzorků

Posuzovatelé	věk	pohlaví	brýle	TES
A	19	žena	ne	0
B	22	žena	ne	16
C	21	žena	ne	16
D	20	žena	ne	8
E	21	muž	ano	12
F	21	muž	ne	4
G	21	žena	ano	8
H	22	muž	ne	8
I	22	muž	ano	0
J	23	muž	ano	0
K	24	žena	ne	0
L	23	muž	ne	4
M	25	muž	ne	8
N	25	muž	ne	0
O	42	žena	ano	0
P	42	muž	ne	8
Q	47	žena	ne	8
R	35	muž	ano	0
S	48	muž	ne	16

3.2.3 Vizuální hodnocení sady bílých vzorků pod simulátorem osvětlení D50 a D50 se zesílenou UV složkou

Zapůjčená sada 40 bílých textilních vzorků byla vizuálně hodnocena 19 posuzovateli v koloristické skříni při geometrii pozorování $0^\circ/45^\circ$ v místnosti s neutrálními (šedými) stěnami a zatemněnými okny, v období cca tři týdnů (od 25. března 2019 do 16. dubna 2019). Aby byl omezen rušivý vliv okolí a vzorky byly při manipulaci chráněny před znečištěním, posuzovatel byl oblečen v šedém plášti a na ruku měl rukavice šedé barvy (obr. 29). Pro korektnost hodnocení bylo také dbáno na to, aby posuzovatel absolvoval všechna hodnocení buď s korekčními pomůckami zraku (brýle/čochky) nebo bez nich.



Obrázek 29: Záznam z probíhajícího hodnocení

Experiment probíhal v tzv. sériích, kdy v domluvený den posuzovatel provedl hodnocení vzorků jak pod samotným simulátorem osvětlení D50, tak pod D50 se zesílenou UV složkou. Mezi jednotlivými hodnoceními pod různým osvětlením byla dodržována pauza minimálně 10 minut, pro regeneraci a předejití únavy očí. Každý z posuzovatelů docházel dle časových možností, s minimálně denním odstupem mezi jednotlivými sériemi. Ve výjimečných případech bylo u několika posuzovatelů z časových důvodů hodnocení upraveno. Buď byla samotná série rozdělena do různých dnů, nebo bylo k sérii s minimálně hodinovým rozestupem přidáno jedno hodnocení. Pro dané osvětlení se hodnocení opakovalo vždy v pěti replikacích. Každý den se měnilo pořadí předkládaných vzorků a náhodně se střídalo i započítání experimentu jedním z osvětlení.

Na začátku hodnocení byl posuzovatel s experimentem seznámen a poučen o jeho průběhu. Po adaptaci očí na osvětlení (posuzovatel hleděl před začátkem hodnocení minimálně 1 minutu do koloristické skříně) byly posuzovateli do koloristické skříně postupně předkládány jednotlivé vzorky. Přiřadil jim vnímanou bělost pomocí plastové stupnice CIBA a následně vnímaný odstínový rozdíl pomocí příslušné papírové stupnic. Dále byl minimálně pro tři replikace dotazován a zapisován vnímaný barevný odstín. Odpovědi posuzovatelů, tedy jejich hodnocení jednotlivých vzorků bylo zaznamenáváno do předem připraveného souboru Excelu (obr. 30), a to jak pro osvětlení bez zesílené UV složky, tak s ní. Celková doba hodnocení byla u jednotlivých posuzovatelů různá a zkracovala se s počtem provedených hodnocení. Minimální doba jednoho hodnocení byla přibližně 7 minut a maximální doba jednoho hodnocení okolo 40 minut.

Po ukončení experimentu byla v Excelu hodnocení jednotlivých posuzovatelů zpracována pro následná vyhodnocení a porovnání.

Obrázek 30: Ukázka vzoru listu pro záznam hodnocení jednotlivých vzorků jedním z posuzovatelů

3.2.4 Podmínky pro možnost studia vlivu rozdílu ve spektrálním složení simulátoru D50

Pro tuto část experimentu byla uvažována starší koloristická skřín LIGHT BOX 5 000 K s osvětlením zářivek Philips MASTER TL-D 90 Graphica 18 W/950. Zdroj je specifikován v tab. 13 hodnotami uvedenými výrobcem [65] a v tab. 14 souhrnnými hodnotami z dat měřených spektrofotometrem i1 Pro od společnosti X-Rite a zpracovanými pomocí softwaru Colorimetric eXercise 5.0.1. Po proměření bylo zjištěno, že CCT zdroje se ustaluje až po hodině přibližně na 5 127 K. Hodnota $R_{a,14}$ zdroje je ale pro vizuální hodnocení nízká, což se potvrdilo při experimentu v tomto boxu, kdy sedm posuzovatelů, provádějící experiment v této skříně hlásilo, že se jim bělost plastové stupnice CIBA nejeví jako postupně rostoucí.

Tabulka 13: Informace o zdroji D50 v koloristické skříně LIGHT BOX 5 000 K poskytnuté výrobcem

Nominální hodnota CCT [K]	CCT [K]	R_a
5000	5300	95

Tabulka 14: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D50 v koloristické skříni LIGHT BOX 5 000 K

Nominální hodnota CCT [K]	CCT [K]	osvětlení [lux]	$R_{a,14}$	x	y	x_{10}	y_{10}
5 000	5 127–5 305	1 744–2 474	88	0,342	0,357	0,345	0,359

Uvažováno bylo i hodnocení za přirozeného denního osvětlení. K tomuto účelu byly spektrofotometrem X-Rite i1 Pro proměřeny světelné podmínky ve dvou místnostech na Katedře polygrafie a fotofyziky, kdy jedna byla situována na sever (tab. 15) a druhá na jih (tab. 16).

Tabulka 15: Světelné podmínky severně orientované místnosti

denní doba	počasí	místnost	CCT [K]	osvětlení [lux]
8–11 hodin	oblačno	zatemněná	7 246–7 908	15–545
		nezatemněná	11 801–12 467	474–542
11–14 hodin	jasno	zatemněná	7 460–8 031	17–568
		nezatemněná	11 801–12 487	535–585

V jižně orientované místnosti se hodnoty blížily 5 000 K za různých podmínek – zastínění oken pomocí žaluzií či bez jejich použití a s různými hodnotami osvětlení, viz tab. 16.

Tabulka 16: Světelné podmínky jižně orientované místnosti

denní doba	počasí	CCT [K]	osvětlení [lux]
9–11	střídavě	4 718–6 124	44–5 574
11–14	jasno, polojasno	4 752–6 189	238–14 313

Na základě proměřených hodnot je patrné, že severně orientovaná místnost nevyhovuje jak po stránce CCT, tak osvětlení. V jižně orientované místnosti byly testovány různé režimy zatemnění pomocí dvou typů žaluzií a při některých kombinacích se hodnoty blížily 5 000 K, ale hodnota osvětlení se pohybovala v rozsahu několika řádů.

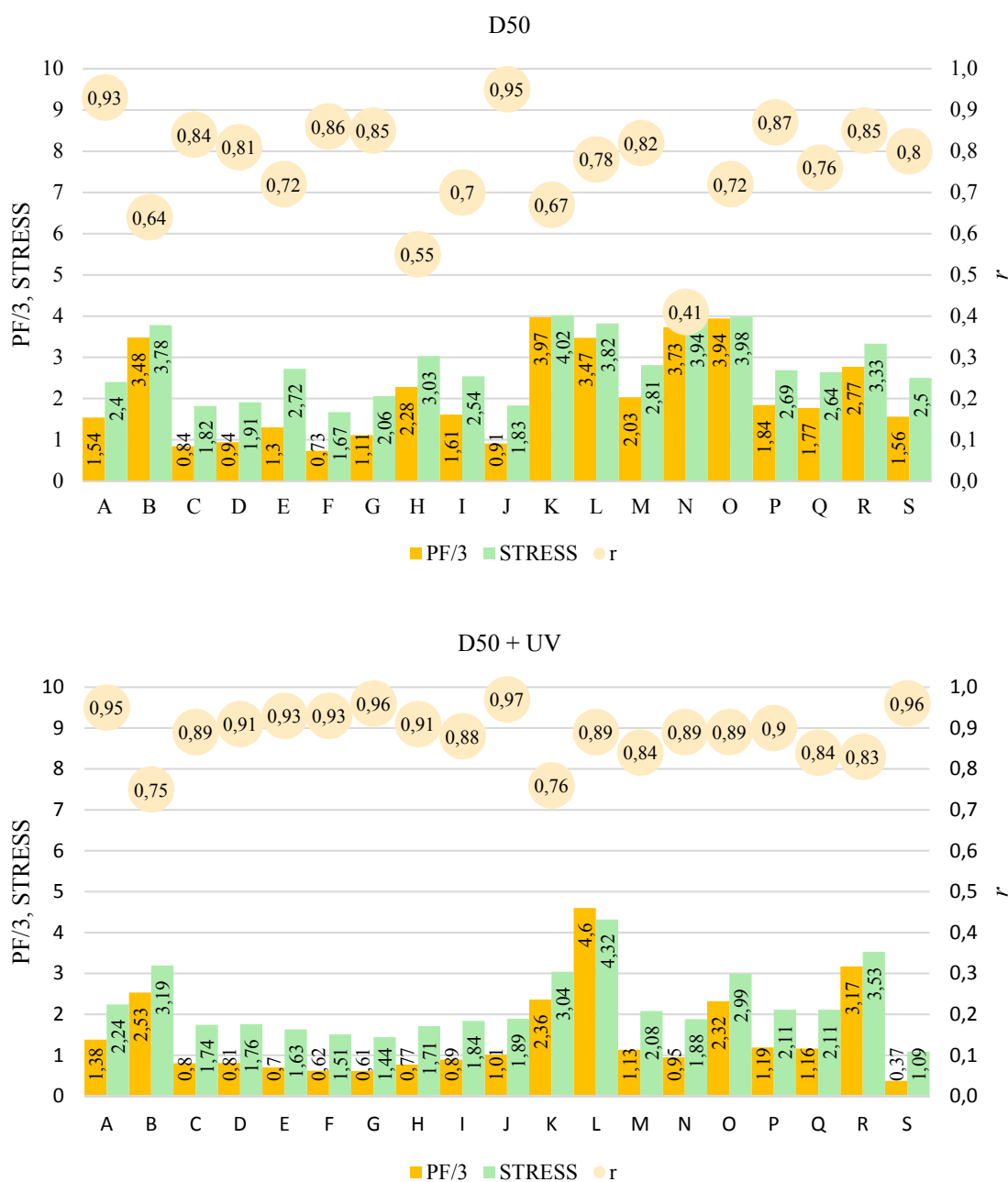
Jiný zdroj, který by splnil kvalitativní požadavky pro vizuálního hodnocení, již nebylo možné zajistit natolik včas, aby mohla být hodnocení pod alternativním osvětlením provedena v dostatečném rozsahu.

4 Zpracování a vyhodnocení získaných dat

4.1 Inter- a intraindividuální observační variabilita vnímané bělosti

Pro stanovení observačních variabilit pro vnímanou bělost byla přímo použita hodnocení získaná od posuzovatelů, s robustním zpracováním a vypočtením hodnot jednotlivých kritérií dle rovnic 3.2, 3.3 a 3.8.

Výsledné hodnoty pro hodnocení interindividuální observační variability vnímané bělosti jsou graficky zobrazeny v obr. 31 (tabulka s hodnotami je uvedena v příloze D), hodnoty pro porovnání intraindividuální observační variability vnímané bělosti jsou uvedeny v tab. 17 spolu s grafickým zobrazením průměrných hodnot jednotlivých kritérií v obr. 32.



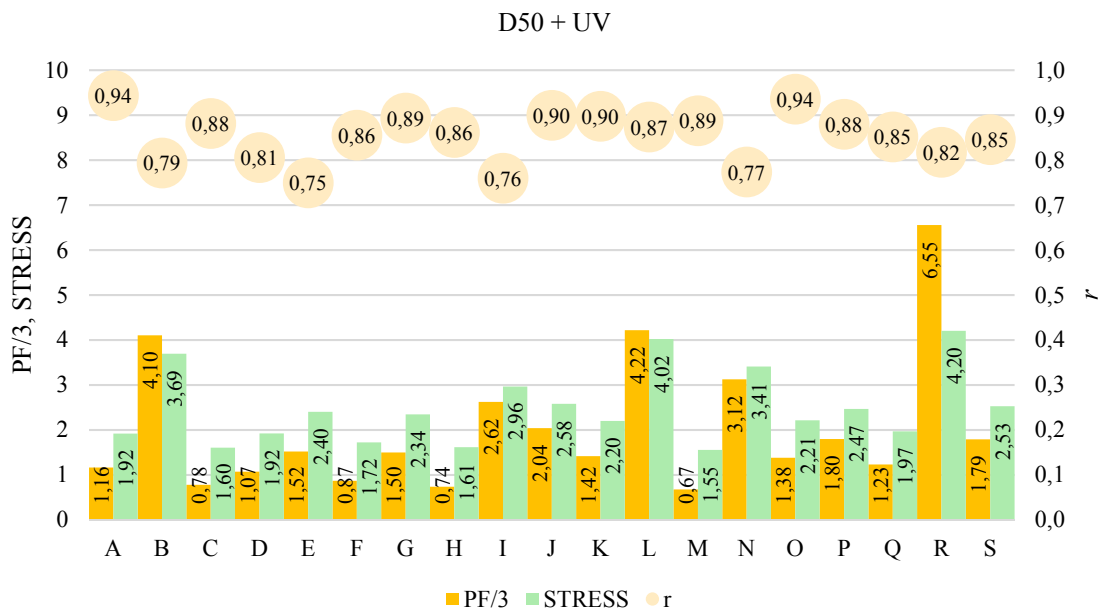
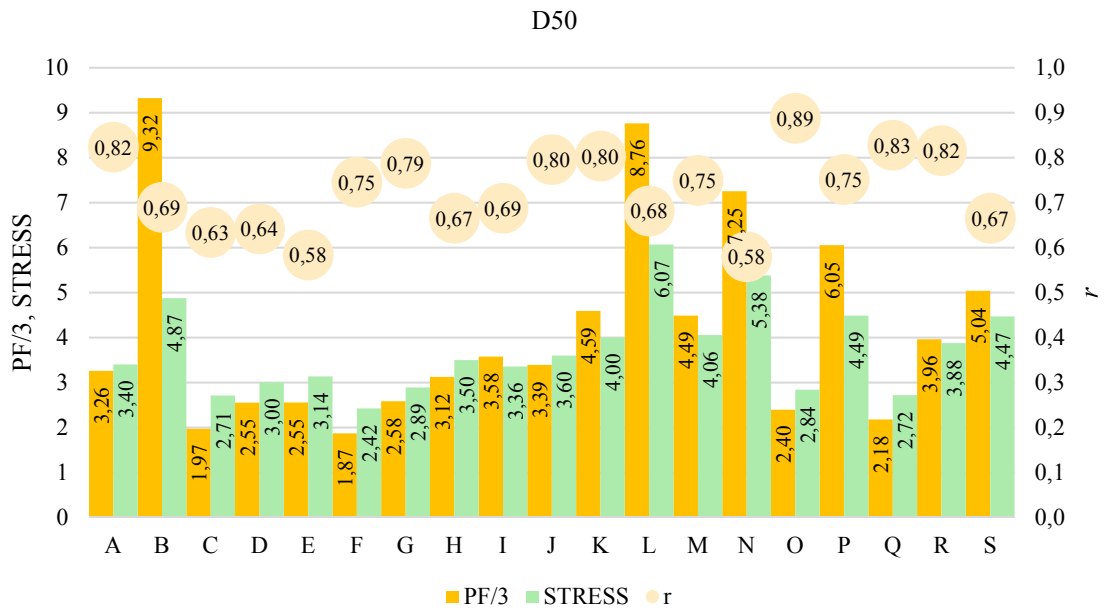
Obrázek 31: Grafické zobrazení kritérií pro interindividuální observační variabilitu vnímané bělosti pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou

Tabulka 17: Kritéria pro hodnocení intraindividuální observační variability pro vnímanou bělost

posuzovatel	kritérium	D50					D50 + UV				
		1.replikace	2.replikace	3.replikace	4.replikace	5.replikace	1.replikace	2.replikace	3.replikace	4.replikace	5.replikace
A	<i>r</i>	0,63	0,83	0,90	0,85	0,91	0,94	0,91	0,91	0,98	0,98
	PF/3	7,03	3,04	1,67	2,73	1,82	0,97	1,79	1,98	0,44	0,63
	STRESS	5,27	3,42	2,49	3,23	2,59	1,84	2,57	2,71	1,10	1,36
B	<i>r</i>	0,38	0,57	0,84	0,83	0,83	0,48	0,82	0,90	0,87	0,90
	PF/3	36,78	5,41	2,19	1,12	1,12	9,99	6,25	1,92	1,33	1,03
	STRESS	12,59	4,76	2,90	2,06	2,06	6,45	5,08	2,70	2,26	1,97
C	<i>r</i>	0,50	0,57	0,56	0,88	0,66	0,81	0,81	0,93	0,97	0,89
	PF/3	3,58	1,50	1,92	0,89	1,97	1,21	1,39	0,50	0,19	0,60
	STRESS	3,80	2,42	2,74	1,82	2,78	2,15	2,31	1,33	0,74	1,49
D	<i>r</i>	0,61	0,68	0,54	0,67	0,71	0,96	0,65	0,82	0,86	0,74
	PF/3	6,12	1,96	2,08	1,64	0,96	0,24	2,03	1,00	0,95	1,13
	STRESS	4,94	2,77	2,85	2,52	1,93	0,88	2,81	1,94	1,89	2,09
E	<i>r</i>	0,46	0,52	0,52	0,79	0,63	0,77	0,74	0,77	0,82	0,65
	PF/3	3,51	2,60	2,60	1,58	2,48	1,16	1,37	1,55	1,25	2,26
	STRESS	3,71	3,19	3,19	2,47	3,12	2,11	2,29	2,44	2,18	2,98
F	<i>r</i>	0,41	0,80	0,82	0,94	0,76	0,70	0,87	0,86	0,98	0,87
	PF/3	5,51	0,80	1,07	0,48	1,48	1,35	0,97	1,02	0,20	0,79
	STRESS	4,66	1,75	2,02	1,30	2,39	2,29	1,89	1,96	0,75	1,72
G	<i>r</i>	0,66	0,61	0,92	0,85	0,90	0,88	0,91	0,87	0,92	0,89
	PF/3	5,49	4,72	0,64	1,34	0,73	1,43	1,79	1,84	1,04	1,38
	STRESS	4,70	4,39	1,50	2,24	1,62	2,32	2,57	2,63	1,94	2,26
H	<i>r</i>	0,76	0,67	0,53	0,71	0,66	0,91	0,72	0,84	0,93	0,91
	PF/3	2,82	3,18	4,40	2,36	2,86	0,55	1,22	0,97	0,39	0,55
	STRESS	3,33	3,55	4,19	3,05	3,37	1,40	2,17	1,92	1,18	1,40
I	<i>r</i>	0,24	0,63	0,93	0,89	0,75	0,41	0,84	0,85	0,89	0,81
	PF/3	10,71	3,26	0,75	1,03	2,13	7,26	1,49	1,82	0,92	1,63
	STRESS	6,65	3,58	1,66	1,98	2,91	5,44	2,38	2,65	1,84	2,51
J	<i>r</i>	0,69	0,85	0,82	0,86	0,76	0,80	0,95	0,92	0,90	0,93
	PF/3	5,35	2,62	4,24	1,83	2,92	5,08	0,78	1,96	1,33	1,04
	STRESS	4,67	3,21	4,06	2,64	3,40	4,45	1,62	2,69	2,22	1,92
K	<i>r</i>	0,63	0,80	0,89	0,85	0,85	0,86	0,82	0,89	0,95	0,97
	PF/3	11,90	4,50	1,80	2,53	2,23	1,65	2,54	1,50	0,92	0,47
	STRESS	7,09	4,23	2,62	3,13	2,95	2,51	3,15	2,37	1,78	1,19
L	<i>r</i>	0,70	0,80	0,71	0,63	0,57	0,80	0,88	0,87	0,89	0,93
	PF/3	11,63	7,96	7,01	8,77	8,44	6,45	4,70	3,99	3,54	2,40
	STRESS	7,02	5,82	5,42	6,11	5,96	5,14	4,28	3,96	3,73	2,99
M	<i>r</i>	0,73	0,88	0,79	0,87	0,48	0,81	0,82	0,92	0,96	0,93
	PF/3	7,56	2,51	3,71	1,91	6,75	0,92	0,80	0,67	0,50	0,48
	STRESS	5,55	3,08	3,80	2,68	5,18	1,87	1,76	1,54	1,30	1,30
N	<i>r</i>	0,40	0,45	0,78	0,69	0,58	0,77	0,73	0,73	0,86	0,78
	PF/3	10,81	9,25	4,14	5,20	6,86	5,55	3,47	3,12	1,35	2,13
	STRESS	6,71	6,20	4,10	4,60	5,30	4,71	3,69	3,51	2,26	2,88
O	<i>r</i>	0,76	0,92	0,85	0,96	0,95	0,95	0,90	0,95	0,95	0,93
	PF/3	5,65	1,75	2,64	0,93	1,01	1,22	1,82	1,00	1,47	1,39
	STRESS	4,82	2,56	3,20	1,74	1,87	2,06	2,61	1,86	2,28	2,25
P	<i>r</i>	0,41	0,83	0,80	0,86	0,86	0,72	0,93	0,89	0,94	0,92
	PF/3	18,72	3,56	3,04	2,53	2,42	4,31	0,99	1,59	0,88	1,21
	STRESS	9,02	3,79	3,48	3,10	3,04	4,19	1,86	2,43	1,76	2,09

Pokračování tabulky 17: Kritéria pro hodnocení intraindividuální observační variability pro vnímanou bělost

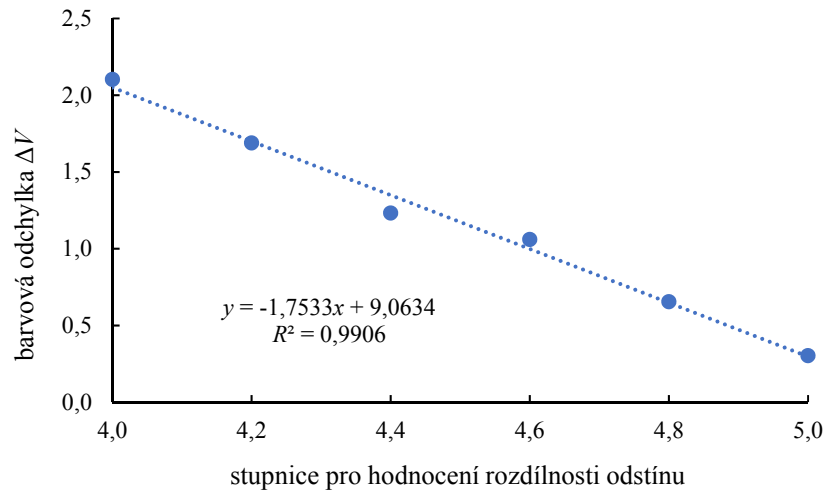
Q	<i>r</i>	0,68	0,90	0,79	0,92	0,85	0,60	0,87	0,93	0,97	0,89
	PF/3	5,61	1,54	1,81	0,66	1,26	3,28	1,08	0,63	0,30	0,86
	STRESS	4,78	2,40	2,68	1,54	2,19	3,59	2,02	1,49	0,95	1,79
R	<i>r</i>	0,70	0,81	0,91	0,88	0,78	0,83	0,98	0,59	0,87	0,82
	PF/3	6,68	4,30	1,90	2,32	4,60	3,38	0,59	23,51	2,44	2,85
	STRESS	5,28	4,14	2,68	2,99	4,29	3,62	1,30	9,68	3,05	3,37
S	<i>r</i>	0,52	0,64	0,65	0,70	0,82	0,78	0,86	0,77	0,89	0,93
	PF/3	6,01	3,53	5,92	6,84	2,89	1,98	1,66	2,96	1,36	0,98
	STRESS	5,02	3,76	4,91	5,26	3,39	2,78	2,51	3,23	2,25	1,87



Obrázek 32: Grafické zobrazení kritérií pro intraindividuální observační variabilitu vnímané bělosti pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou

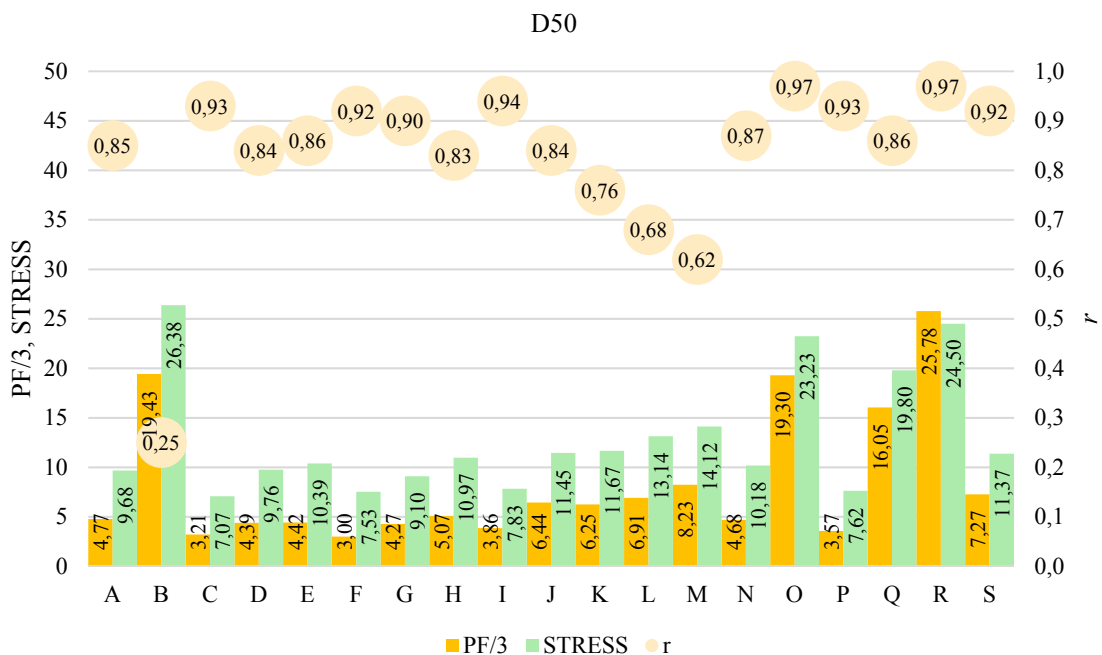
4.2 Inter- a intraindividuální observační variabilita vnímaného odstínového nádechu

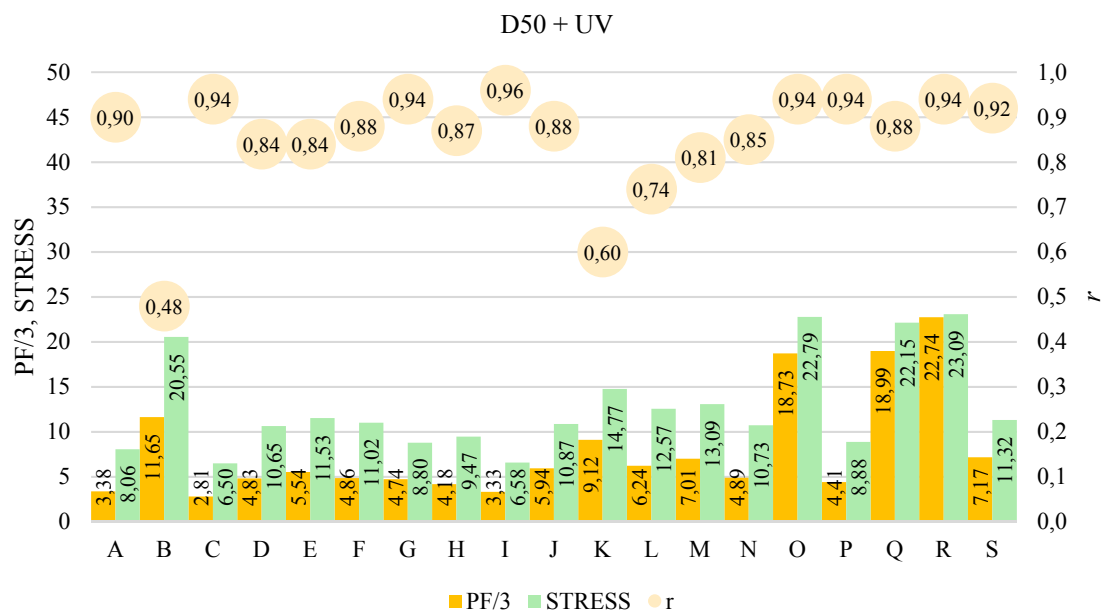
V případě hodnocení odstínového nádechu nejdříve byla pro jednotlivá políčka stupnice, která byla využita pro určení rozdílnosti vnímaného odstínu, vypočtena barvová odchylka; dle článku [46] byla použita ΔE_{00}^* . Tento výpočet sloužil k získání rovnice určené lineární regresí (obr. 33), pomocí které byly hodnoty ze stupnice udávané jednotlivými posuzovateli přepočteny na hodnoty vizuálně vnímané barvové odchylky ΔV .



Obrázek 33: Stanovení rovnice pro přepočet vizuálních posudků na hodnoty vizuálně

Takto byla zpracována získaná hodnocení vnímané rozdílnosti odstínu pro jednotlivé vzorky u každého z posuzovatelů a dle rovnic 3.2, 3.3 a 3.8 vypočteny hodnoty jednotlivých kritérií, které tak umožní posoudit interindividuální observační variabilitu graficky zobrazenou v obr. 34 (tabulka hodnot je uvedena v příloze D) a intraindividuální observační variabilitu v tab. 20 (průměrné hodnoty jsou graficky zobrazeny v obr. 35).





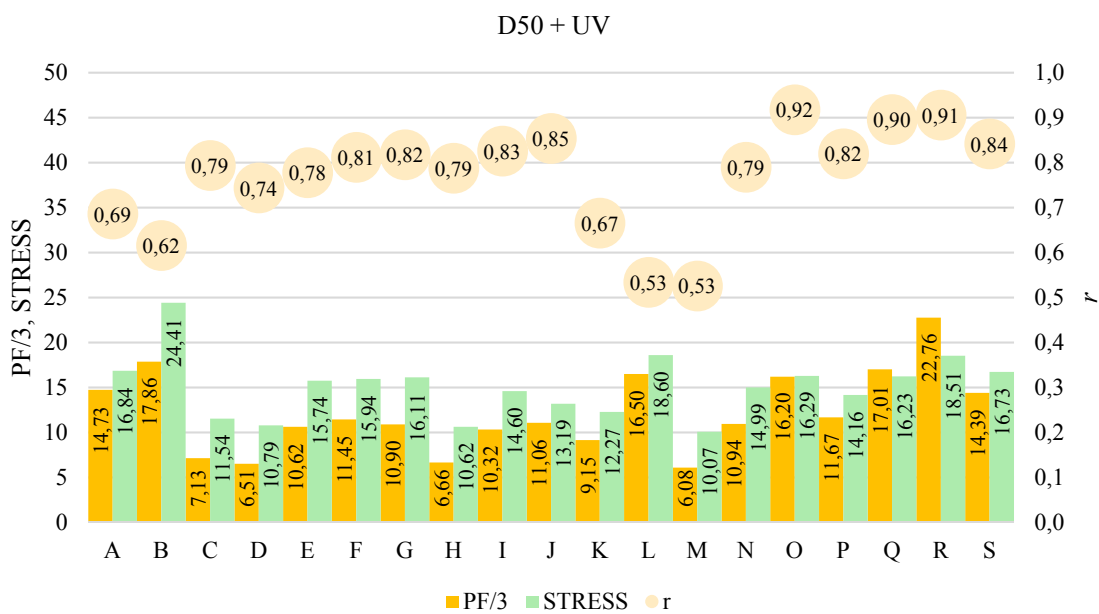
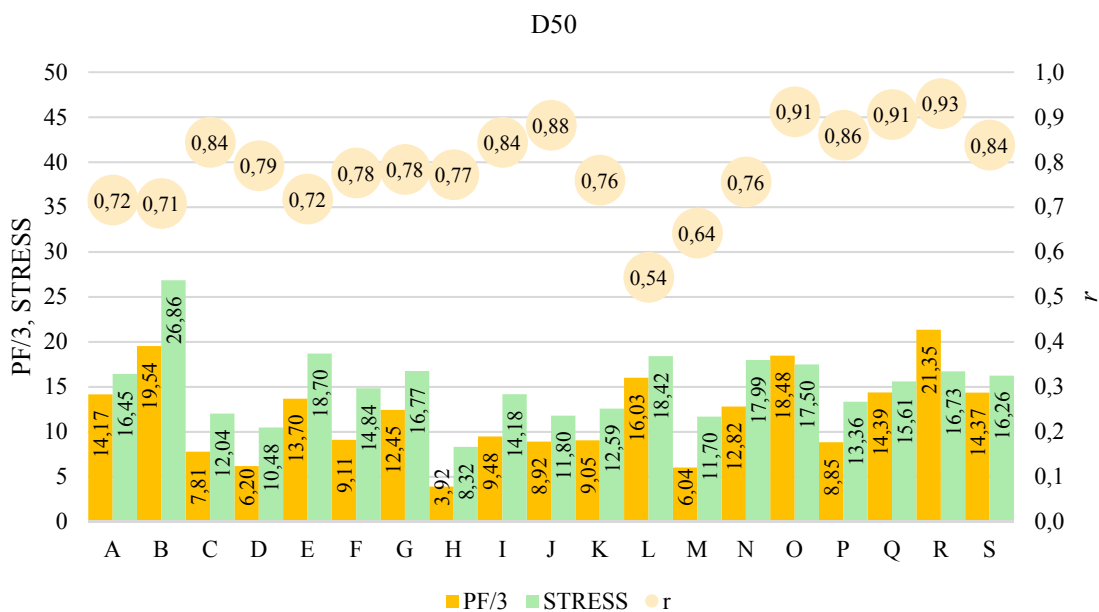
Obrázek 34: Grafické zobrazení kritérií pro intraindividuální observační variabilitu vnímaného odstínového nádechu pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou

Tabulka 18: Hodnoty kritérií pro hodnocení intraindividuální observační variability pro vnímanou rozdílnost odstínu

posuzovatel	kritérium	D50					D50 + UV				
		1. replikace	2. replikace	3. replikace	4. replikace	5. replikace	1. replikace	2. replikace	3. replikace	4. replikace	5. replikace
A	r	0,25	0,81	0,85	0,88	0,79	0,54	0,82	0,81	0,79	0,47
	PF/3	29,21	12,48	7,62	12,50	9,06	15,36	10,12	10,63	8,14	29,39
	STRESS	25,11	15,77	11,62	14,46	15,28	18,87	14,66	14,73	13,37	22,58
B	r	0,78	0,74	0,73	0,76	0,53	0,71	0,78	0,28	0,72	0,59
	PF/3	33,14	21,99	10,53	14,02	18,04	28,32	12,35	21,18	15,18	12,25
	STRESS	24,55	23,45	18,46	19,41	48,42	25,98	23,15	30,24	20,90	21,79
C	r	0,79	0,88	0,84	0,82	0,89	0,84	0,81	0,88	0,85	0,59
	PF/3	11,83	5,71	5,94	8,77	6,78	5,50	7,77	5,11	5,45	11,80
	STRESS	13,38	10,04	11,07	14,13	11,56	10,46	12,75	9,68	10,33	14,46
D	r	0,84	0,75	0,78	0,82	0,77	0,75	0,75	0,68	0,84	0,70
	PF/3	8,41	7,21	5,18	4,23	5,97	11,14	5,21	5,27	2,86	8,08
	STRESS	9,87	12,53	10,17	8,98	10,87	15,67	10,66	10,68	7,20	9,72
E	r	0,56	0,82	0,67	0,77	0,77	0,50	0,80	0,81	0,89	0,89
	PF/3	23,20	10,24	12,69	9,84	12,51	23,65	9,06	9,15	6,46	4,78
	STRESS	23,60	16,08	19,52	16,19	18,12	25,23	15,65	15,10	11,46	11,26
F	r	0,68	0,84	0,82	0,76	0,78	0,72	0,90	0,79	0,85	0,80
	PF/3	17,58	9,46	6,07	7,23	5,23	11,84	9,08	7,26	9,46	19,60
	STRESS	18,53	15,59	12,75	14,65	12,69	19,42	14,42	15,22	15,76	14,86
G	r	0,57	0,78	0,84	0,90	0,83	0,78	0,84	0,73	0,87	0,87
	PF/3	20,19	7,79	7,44	9,16	17,66	13,41	8,23	12,59	10,68	9,57
	STRESS	20,58	14,14	13,13	13,68	22,33	16,96	13,95	17,92	15,04	16,69

Pokračování tabulky 18: Hodnoty kritérií pro hodnocení intraindividuální observační variability pro vnímanou rozdílnost odstínu

H	r	0,77	0,77	0,82	0,73	0,77	0,77	0,74	0,77	0,84	0,82
	PF/3	7,59	3,95	2,49	2,75	2,84	9,65	5,42	4,08	4,21	9,93
	STRESS	9,71	8,95	6,86	7,49	8,61	14,02	10,69	9,25	8,78	10,38
I	r	0,74	0,84	0,90	0,90	0,84	0,71	0,85	0,81	0,85	0,91
	PF/3	16,44	12,41	5,63	5,41	7,52	12,70	15,06	7,59	7,50	8,73
	STRESS	17,53	16,57	10,32	10,32	16,18	17,68	18,87	13,75	12,81	9,88
J	r	0,89	0,81	0,86	0,96	0,89	0,69	0,85	0,89	0,93	0,91
	PF/3	11,56	18,03	6,36	3,77	4,87	22,20	11,26	6,27	5,15	10,43
	STRESS	11,82	19,47	11,44	6,44	9,83	23,33	14,70	10,54	9,05	8,31
K	r	0,67	0,81	0,72	0,79	0,81	0,56	0,69	0,67	0,68	0,73
	PF/3	19,51	9,39	5,62	5,76	4,99	26,23	7,84	3,43	3,17	5,08
	STRESS	19,05	13,11	10,76	10,29	9,75	25,94	12,24	8,21	7,85	7,11
L	r	0,52	0,47	0,42	0,79	0,52	0,45	0,55	0,52	0,60	0,55
	PF/3	15,81	12,57	19,32	13,21	19,23	15,83	12,15	12,81	15,86	25,86
	STRESS	16,87	16,89	21,07	15,99	21,27	19,19	16,61	16,77	18,98	21,43
M	r	0,67	0,52	0,83	0,52	0,67	0,59	0,54	0,46	0,77	0,27
	PF/3	12,59	3,06	2,69	4,48	7,40	3,78	4,06	3,12	2,45	17,01
	STRESS	13,78	8,20	6,96	9,78	19,77	8,86	9,24	8,25	6,79	17,23
N	r	0,76	0,62	0,83	0,73	0,84	0,73	0,72	0,75	0,89	0,86
	PF/3	23,97	14,85	8,81	8,34	8,15	9,84	14,03	8,61	4,92	17,32
	STRESS	23,18	20,21	14,20	15,58	16,80	15,90	19,64	15,61	9,80	14,02
O	r	0,89	0,93	0,94	0,93	0,87	0,92	0,92	0,91	0,92	0,92
	PF/3	35,81	11,92	15,92	14,27	14,50	18,06	16,49	12,24	15,95	18,25
	STRESS	25,24	13,89	14,37	14,71	19,28	17,84	16,67	15,25	16,82	14,86
P	r	0,74	0,85	0,91	0,87	0,93	0,46	0,93	0,93	0,89	0,89
	PF/3	12,89	6,32	9,42	7,97	7,66	22,78	6,96	5,53	7,66	15,42
	STRESS	15,10	11,97	14,11	13,55	12,05	24,90	10,28	9,20	12,39	14,03
Q	r	0,88	0,90	0,93	0,95	0,87	0,76	0,94	0,93	0,95	0,90
	PF/3	22,55	13,17	11,96	8,27	15,98	25,62	16,26	13,53	12,75	16,88
	STRESS	18,95	15,17	13,61	11,13	19,21	24,99	15,44	14,68	12,78	13,26
R	r	0,94	0,95	0,91	0,92	0,93	0,89	0,88	0,91	0,90	0,95
	PF/3	26,88	25,54	24,63	15,14	14,58	35,78	33,78	16,13	16,21	11,91
	STRESS	15,52	16,74	18,67	16,03	16,69	23,73	23,63	16,18	17,16	11,87
S	r	0,78	0,78	0,89	0,87	0,87	0,88	0,84	0,83	0,92	0,74
	PF/3	26,01	13,01	11,90	12,16	8,79	15,25	26,91	11,69	6,83	11,28
	STRESS	22,66	17,01	13,60	14,65	13,36	16,62	23,79	15,58	10,40	17,26

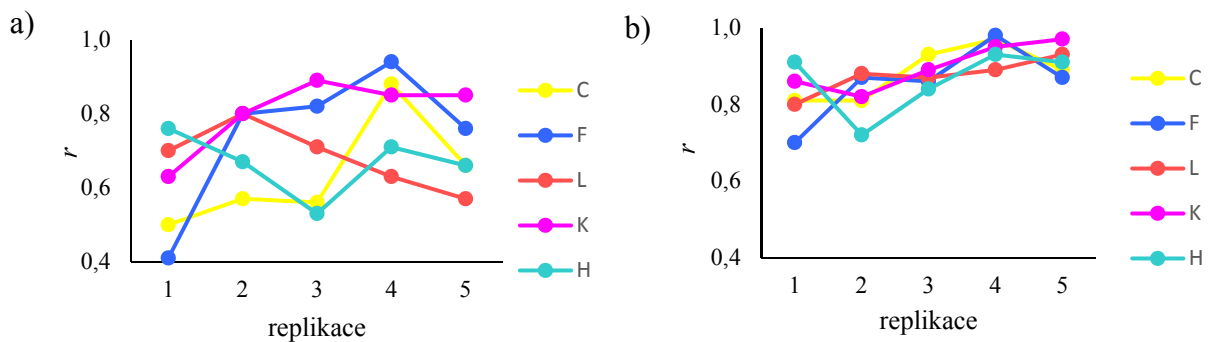


Obrázek 35: Grafické zobrazení kritérií pro intraindividuální observační variabilitu vnímaného odstínového nádechu pro osvětlení D50 a D50 s UV složkou

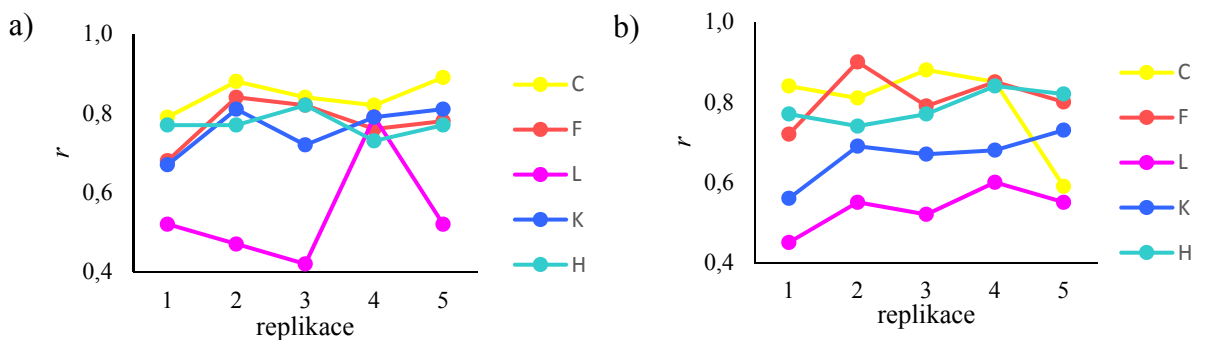
4.3 Vyhodnocení inter- a intraindividuální observační variability

Na základě jednotlivých kritérií můžeme hodnotit věrohodnost posudků jednotlivých posuzovatelů. Podle hodnoty korelačního koeficientu r lze pozorovat, zda se posuzovatel v průběhu opakování hodnocení učí (čísla mají vzestupnou tendenci) nebo byl během hodnocení něčím ovlivněn. Mezi faktory, které mohou hodnocení ovlivnit, patří psychická a fyzická pohoda, denní doba, kdy hodnocení probíhalo, snížená pozornost, únava, ale zároveň také přístup posuzovatele k celkovému průběhu hodnocení. Obdobně u kritérií PF/3 a STRESS dávají příslib dobré korelace mezi jednotlivými hodnoceními naopak jejich nízké hodnoty – čím jsou nižší, tím jsou jednotlivá hodnocení věrohodnější. Zde je třeba podotknout, že jejich absolutní hodnoty se liší podle rozsahu hodnot vlastní hodnocené veličiny, tj. nelze přímo porovnávat hodnoty kritérií PF/3 a STRESS pro vnímanou bělost a rozdílnost odstínů.

U hodnocení bělosti jednotlivých posuzovatelů pod osvětlením D50 lze u posudků díky kritériu r pozorovat jejich různorodost. Tu ilustruje obr. 30a s vybranými posuzovateli, kdy u C, F a K lze pozorovat vzestupnou tendenci, tedy učení. Posuzovatel L jeví klesající a H kolísající tendenci. U nich lze usuzovat na některé z ovlivňujících faktorů. Pod osvětlením D50 se zesílenou složkou UV byla hodnocení celkově i napříč opakováními výrazně více konzistentní a vzestupnou tendenci lze pozorovat i pro posuzovatele L (obr. 30b). V případě hodnocení odstínového nádechu je vzestupná tendence pozorována v menším rozsahu jak celkově, tak u vybraných posuzovatelů (obr. 31). S ohledem na věrohodnost je vybraný vzorek posuzovatelů na obr. 31 méně reprezentativní, než v případě hodnocení bělosti (obr. 30); celkově se pro D50 a D50 se zesílenou složkou UV téměř neliší.



Obrázek 36: Korelační koeficient r hodnocení bělosti pro jednotlivé replikace u vybraných posuzovatelů; a) pro podmínky D50, b) pro podmínky D50 se zesílenou složkou UV



Obrázek 37: Korelační koeficient r hodnocení odstínového nádechu pro jednotlivé replikace u vybraných posuzovatelů; a) pro podmínky D50, b) pro podmínky D50 se zesílenou složkou UV

V případě kritérií PF/3 a STRESS, kdy nižší hodnota ukazuje na lepší opakovatelnost a kvalitnější shodu mezi posudky, jsou tyto hodnoty kritérií pro hodnocení bělosti u posuzovatelů nižší pod osvětlením D50 se zesílenou složkou UV než pod osvětlením D50. To platí jak pro interindividuální, tak pro intraindividuální observační variabilitu. Pro hodnocení odstínového nádechu se hodnoty PF/3 a STRESS pro oba typy osvětlení v podstatě neliší.

Při zohlednění hodnot všech kritérií pro obě varianty osvětlení je nejvyšší věrohodnost hodnocení bělosti u posuzovatelů F a G, zatímco při hodnocení odstínového nádechu u posuzovatele C.

4.4 Porovnání výsledků vizuálního hodnocení s objektivním hodnocením pomocí vybraných rovnic

Pro porovnání s vizuálním hodnocením byly použity vypočtené indexy W_{CIE} , T_{CIE} [D65/2°] (rovnice 2.20, 2.21), W_{Uchida} [D65/2°] (rovnice 2.24–2.26), W_{David} [D50 a D50 + UV/2°] (rovnice 2.27), $W_{CIE, Optimalizovaná}$ [D50 a D50 + UV/2°] (rovnice 2.28) a $W_{CIE, CAT02, D}$ [D65 a D65 + UV/2°] (rovnice 2.31).

Do rovnic byly dosazovány souřadnice bodu nepestrosti x_n a y_n pro osvětlení D65/2° (0,3127; 0,3290) a D50/2° (0,3457; 0,3585) [5]. U výpočtu optimalizované bělosti dle Davida byly použity koeficienty $P = 636$ a $Q = 1767$. V případě výpočtu bělosti za použití transformace CAT02 byly hodnoty vzorků pod osvětlením D50/2° přepočteny na D65/2° se specifikací zdroje pomocí trichromatických hodnot X , Y a Z pro D50/2° (96,42; 100,00; 82,51) a D65/2° (95,04; 100,00; 108,88) [5] s úplnou adaptací ($D = 1$) a z nich dopočteny hodnoty bělosti a odstínu dle CIE. Jednotlivé hodnoty pro zmíněné indexy bělosti a odstínového nádechu jsou uvedeny v tab. 19 pro osvětlení bez UV složky a tab. 20 pro osvětlení s UV složkou. V případě bělosti stanovené dle Uchidy a kol. [42] jsou záporné hodnoty bělosti pro další zpracování vypuštěny.

V grafické podobě jsou pak porovnávány robustní průměrné hodnoty vizuálních hodnocení jednotlivých vzorků s hodnotami vypočtenými dle vybraných rovnic. Pro přehlednost je v grafu barevně rozlišen druh textilie (obr. 38, 39).

Pro hodnocení bylo využito i kritérií r (3.1), PF/3 (3.3) a STRESS (3.8), kdy v definičních rovnicích pro rovnici PF/3 jsou namísto hodnot dV_x a dV_{rpx} dosazeny hodnoty pro i -tý vzorek robustní vizuální hodnocení a hodnota bělosti vybrané rovnice. Dále byly zahrnuty střední kvadratické chyby RMSE (3.9) a koeficienty determinace R^2 získané pro lineární regresi. Výsledné hodnoty pro hodnocené rovnice bělosti jsou uvedeny v tab. 21 a 22.

Rovnice bělosti jsou poté hodnoceny pomocí rozhodovacího kritéria S_r (3.10); výsledky jsou uvedeny v tab. 23 a 24. Stanoven byl 95% interval spolehlivosti pro 40 vzorků na [0,5867; 1,7045]. Hodnoty spadající do tohoto intervalu jsou v tab. 23 a 24 označené zelenou barvou.

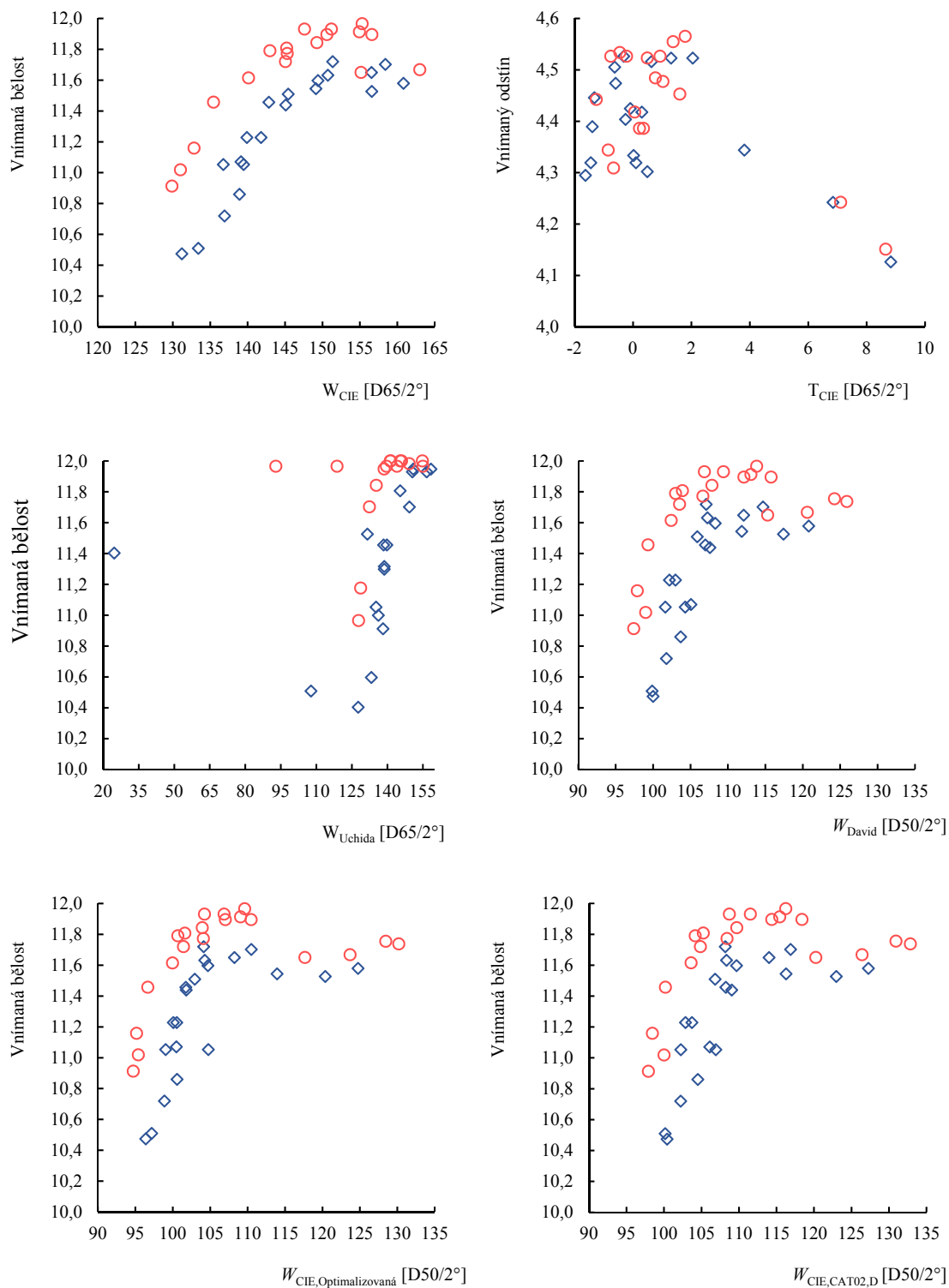
Tabulka 19: Hodnoty bělosti a odstínového nádechu stanovené vybranými rovnicemi pro osvětlení bez UV složky

označení vzorku	W_{CIE} [D65/2°]	T_{CIE} [D65/2°]	W_{Uchida} [D65/2°]	W_{David} [D50/2°]	$W_{CIE, Optimalizovaná}$ [D50/2°]	$W_{CIE, CAT02, D}$ [D50/2°]
4 g/l BMU	133,4	-0,32	133,2	99,9	97,2	100,2
8 g/l BMU	139,5	0,63	138,7	101,6	99,0	102,2
0,12 g/l BMU	141,8	1,30	138,4	103,0	100,5	103,7
0,16 g/l BMU	139,9	2,04	131,5	102,2	100,1	102,9
0,06 g/l BL-V	138,9	-0,63	138,1	103,7	100,6	104,5
0,12 g/l BL-V	149,4	-0,26	149,3	108,3	104,7	109,7
18 g/l BL-V	156,5	0,02	156,5	112,1	108,2	114,0
24 g/l BL-V	158,4	0,10	158,4	114,7	110,5	116,9
6 g/l BLH	136,9	-0,60	136,2	101,8	98,9	102,2
12 g/l BLH	145,4	-0,10	145,4	105,9	102,9	106,8
18 g/l BLH	150,7	0,30	150,5	107,3	104,3	108,3
24 g/l BLH	151,3	0,49	150,9	107,1	104,1	108,2
4 g/l BMU-B	136,7	3,81	107,7	104,3	104,7	106,9
8 g/l BMU-B	149,1	6,85	24,6	111,8	113,9	116,3
12 g/l BMU-B	156,6	8,82	(-108,9)	117,4	120,4	123,0
16 g/l BMU-B	160,8	10,49	(-224,1)	120,8	124,7	127,3
4 g/l BMU-V	131,2	-1,33	127,7	100,0	96,4	100,4
8 g/l BMU-V	139,1	-1,40	135,2	105,0	100,5	106,1
0,12 g/l BMU-V	142,8	-1,45	138,6	107,0	101,7	108,2
16 g/l BMU-V	145,1	-1,63	139,8	107,6	101,8	109,0
0,40 % BHT 115 %	140,1	0,49	139,6	102,4	100,0	103,6
0,50 % BHT 115 %	143,0	0,93	141,3	103,0	100,7	104,2
0,60 % BHT 115 %	145,2	1,38	141,4	103,9	101,6	105,3
0,80 % BHT 115 %	145,1	1,79	138,7	103,5	101,4	104,9
0,40 % BH-B	145,3	0,77	144,1	106,7	104,1	108,4
0,50 % BH-B	147,6	1,03	145,5	106,9	104,2	108,7
0,70 % BH-B	151,2	1,61	146,1	109,4	106,9	111,5
0,50 % BH-V	149,3	0,06	149,3	107,9	104,0	109,7
0,60 % BH-V	155,0	0,22	154,9	113,1	109,1	115,5
0,70 % BH-V	155,3	0,36	155,1	113,8	109,6	116,2
0,20 % BH-VS	131,0	-1,26	127,9	99,0	95,4	100,0
0,40 % BH-VS	150,6	-0,85	118,8	112,1	107,0	114,4
0,50 % BH-VS	156,6	-0,66	93,0	115,8	110,5	118,4
0,30 % BH-BS	155,2	7,11	(-6,2)	115,3	117,7	120,3
0,40 % BH-BS	163,0	8,65	(-91,2)	120,6	123,7	126,4
0,50 % BH-BS	169,1	10,25	(-186,4)	124,3	128,5	130,9
0,60 % BH-BS	171,0	10,51	(-220,2)	125,9	130,2	132,9
0,60 % BMU	129,9	-0,76	128,8	97,4	94,7	97,9
1,00 % BMU	132,8	-0,45	132,4	97,9	95,2	98,5
1,20 % BMU	135,5	-0,22	135,4	99,3	96,7	100,2

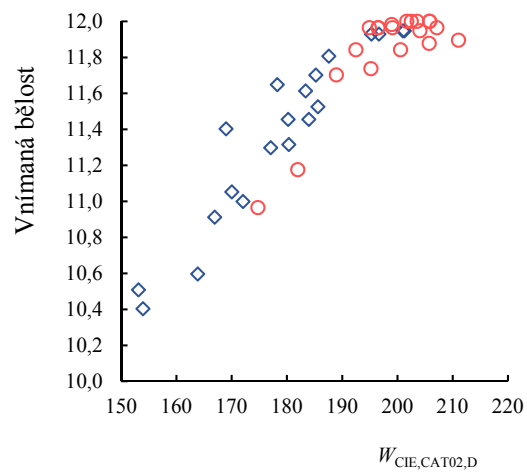
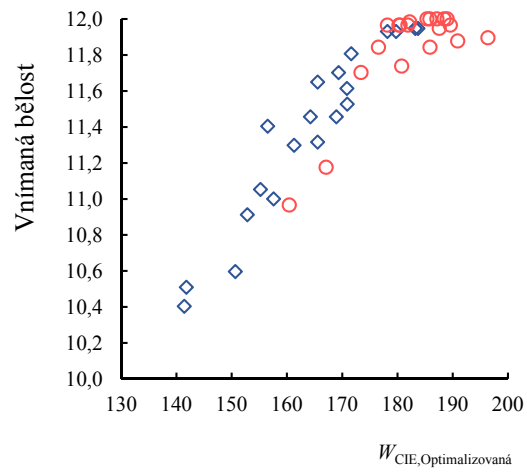
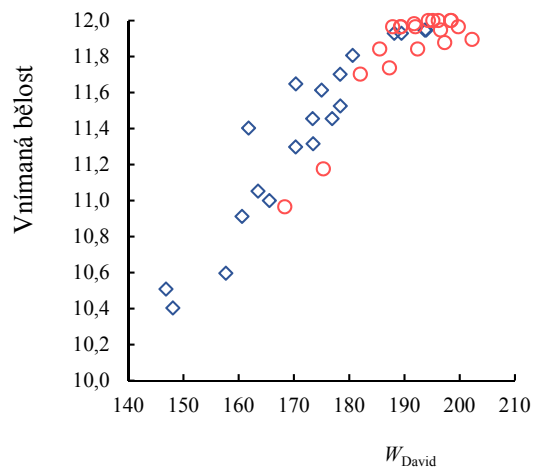
hodnoty v závorkách jsou z dalšího zpracování vypuštěny

Tabulka 20: Hodnoty bělosti a odstínového nádechu stanovené vybranými rovnicemi pro osvětlení s UV složkou

označení vzorku	W_{David} [D50 + UV/2°]	$W_{\text{CIE, Optimalizovaná}}$ [D50 + UV/2°]	$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50 + UV/2°]
4 g/l BMU	157,7	150,6	163,8
8 g/l BMU	173,5	165,5	180,3
0,12 g/l BMU	176,9	168,9	183,9
0,16 g/l BMU	178,4	170,9	185,6
0,06 g/l BL-V	160,6	152,8	166,9
0,12 g/l BL-V	178,4	169,3	185,2
18 g/l BL-V	188,1	178,2	195,3
24 g/l BL-V	193,7	183,2	201,0
6 g/l BLH	165,5	157,6	172,0
12 g/l BLH	180,6	171,6	187,6
18 g/l BLH	189,4	179,7	196,6
24 g/l BLH	193,9	183,7	201,2
4 g/l BMU-B	146,8	141,8	153,1
8 g/l BMU-B	161,8	156,5	169,0
12 g/l BMU-B	170,3	165,5	178,2
16 g/l BMU-B	175,0	170,8	183,4
4 g/l BMU-V	148,1	141,4	153,9
8 g/l BMU-V	163,5	155,2	170,0
0,12 g/l BMU-V	170,3	161,3	177,1
16 g/l BMU-V	173,4	164,2	180,2
0,40 % BHT 115 %	189,3	180,3	196,5
0,50 % BHT 115 %	194,4	185,4	201,7
0,60 % BHT 115 %	196,1	187,2	203,6
0,80 % BHT 115 %	196,6	187,6	204,1
0,40 % BH-B	189,4	180,5	196,6
0,50 % BH-B	195,2	185,9	202,5
0,70 % BH-B	198,4	189,0	205,9
0,50 % BH-V	191,8	182,2	199,0
0,60 % BH-V	198,5	188,5	205,8
0,70 % BH-V	199,8	189,6	207,2
0,20 % BH-VS	168,3	160,4	174,8
0,40 % BH-VS	187,9	178,2	194,9
0,50 % BH-VS	192,0	181,9	199,1
0,30 % BH-BS	187,3	180,8	195,2
0,40 % BH-BS	192,4	185,9	200,6
0,50 % BH-BS	197,3	190,9	205,8
0,60 % BH-BS	202,3	196,4	211,1
0,60 % BMU	175,3	167,1	182,0
1,00 % BMU	182,0	173,4	188,9
1,20 % BMU	185,5	176,6	192,5



Obrázek 38: Závislost vnímané bělosti a odstínového nádechu na hodnotách vypočtených vybranými rovnicemi pro osvětlení bez UV složky; kosočtverce – tkaniny, kroučky – pleteniny



Obrázek 39: Závislost vnímané bělosti a odstínového nádechu na hodnotách vypočtených vybranými rovnicemi pro osvětlení s UV složkou; kosočtverce – tkaniny, kroužky – pleteniny

Tabulka 21: Kritéria pro hodnocení rovnic u osvětlení bez zesílené UV složky

	W_{CIE} [D65/2°]	W_{Uchida} [D65/2°]	W_{David} [D50/2°]	$W_{\text{CIE,Optimalizovaná}}$ [D50/2°]	$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50/2°]
r	0,72	-0,10	0,59	0,50	0,56
PF/3	6,12	—	7,02	13,29	11,00
STRESS	5,01	42,24	5,36	7,39	6,72
RMSE	0,27	0,83	0,32	0,34	0,33
RMSE – tkanina	0,18	0,52	0,26	0,30	0,45
RMSE – pletenina	0,22	0,45	0,25	0,27	0,26
R^2	0,51	0,02	0,35	0,25	0,32
R^2 – tkanina	0,77	0,01	0,54	0,38	0,47
R^2 – pletenina	0,44	0,06	0,31	0,20	0,27

Tabulka 22: Kritéria pro hodnocení rovnic u osvětlení se zesílenou UV složkou

	W_{David} [D50/2°]	$W_{\text{CIE,Optimalizovaná}}$ [D50/2°]	$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50/2°]
r	0,93	0,93	0,93
PF/3	5,11	5,01	4,88
STRESS	5,08	4,49	4,43
RMSE	0,16	0,17	0,17
RMSE – tkanina	0,16	0,14	0,15
RMSE – pletenina	0,14	0,16	0,14
R^2	0,87	0,86	0,87
R^2 – tkanina	0,88	0,92	0,90
R^2 – pletenina	0,74	0,65	0,72

Tabulka 23: Vyhodnocení rovnic pomocí kritéria S_r u osvětlení bez zesílené UV složky; zeleně vyznačené hodnoty spadají do stanoveného intervalu

	W_{CIE} [D65/2°]	W_{Uchida} [D65/2°]	W_{David} [D50/2°]	$W_{\text{CIE,Optimalizovaná}}$ [D50/2°]	$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50/2°]
W_{CIE} [D65/2°]	—	71,21	1,15	2,18	1,80
W_{Uchida} [D65/2°]	—	—	—	—	—
W_{David} [D50/2°]	—	62,03	—	1,90	1,57
$W_{\text{CIE,Optimalizovaná}}$ [D50/2°]	—	32,66	—	—	—
$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50/2°]	—	39,49	—	1,21	—

Tabulka 24: Vyhodnocení rovnic pomocí kritéria S_r u osvětlení se zesílenou UV složkou; zeleně vyznačené hodnoty spadají do stanoveného intervalu

	W_{David} [D50/2°]	$W_{\text{CIE,Optimalizovaná}}$ [D50/2°]	$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50/2°]
W_{David} [D50/2°]	—	—	—
$W_{\text{CIE,Optimalizovaná}}$ [D50/2°]	1,28	—	—
$W_{\text{CIE, CAT02, D}}$ [D50/2°]	1,32	1,03	—

4.5 Vyhodnocení porovnání vizuálního hodnocení s vybranými rovnicemi

V případě osvětlení bez zesílené UV složky lze pozorovat, že se hodnoty bělosti vyjádřené pro podmínky D50/2° za použití doporučených úprav stávající rovnice CIE oproti hodnotám dle této rovnice pro podmínky D65/2° pohybují výrazně níže. Hodnoty W_{Uchida} [D65/2°] se od W_{CIE} [D65/2°] dle očekávání téměř neliší pro vzorky s nízkou hodnotou T_{CIE} [D65/2°], ovšem pro vzorky s větším odstínovým nádechem se neúměrně zmenšují a dosahují dokonce záporných hodnot. V případě osvětlení D50 se zesílenou UV složkou jsou hodnoty bělosti vypočtené z doporučených upravených rovnic ve srovnání s hodnotami pro osvětlení bez zesílené UV složky vyšší, a to nejen oproti odpovídajícím hodnotám pro podmínky D50/2°, ale i oproti hodnotám dle standardní rovnice CIE pro podmínky D65/2°. Z grafického porovnání vizuálních posudků s vybranými rovnicemi bělosti je v obou případech (jak pro osvětlení bez zesílené UV složky, tak s ní) patrné, že používaná stupnice bělosti CIBA nebyla dostačující pro odpovídající vyjádření vnímané bělosti některých vzorků. Tento fakt je podpořen poznámkami z průběhu provádění vizuálního experimentu, kdy již při první replikaci, tedy při seznámení s průběhem hodnocení, někteří posuzovatelé tuto skutečnost komentovali a označovali za problematickou.

V průběhu vizuálního hodnocení byl dotazován i vnímaný odstínový nádech vzorků. Tyto subjektivní posudky v porovnání s hodnotou vyjádřenou pomocí rovnice CIE pro odstínový nádech relativně odpovídají. Souhrnně řečeno, pro osvětlení bez UV složky se vzorky s hodnotou $T_{CIE} < 0$ jevíly posuzovatelům neutrálně s doplňující kombinací nádechů do šedé, růžové, fialové a některé i do žluta. V případě $T_{CIE} > 0$ byly vzorky hodnoceny jako modré a intenzita vnímaného nádechu modré odpovídala rostoucí hodnotě T_{CIE} . Při posuzování s UV složkou se vzorky s hodnotou $T_{CIE} < 0$ taktéž jevíly neutrálně s lehkým nádechem do růžové a fialové. U některých vzorků byl komentován i jemný nádech do modré, což bylo nejspíše zapříčiněné daným osvětlením obsahujícím vyšší složku v modré oblasti. Vzorky s hodnotou $T_{CIE} < 2$ se posuzovatelům jevíly jako neutrální s jemným nádechem do modré a fialové, vzorky s hodnotou $T_{CIE} > 2$ byly vnímané jako modré, taktéž se vztahem intenzity vnímaného modrého nádechu k narůstající hodnotě T_{CIE} .

V případě porovnání vizuálního hodnocení s výsledky dle vybraných rovnic pomocí hodnot zvolených kritérií je vyhodnocení následující. Korelační koeficient r v případě W_{Uchida} jeví nepřímou závislost a s hodnotou blízkou nule dává o této rovnici informaci, že je z pohledu míry linearity nekorektní. Tuto prognózu potvrzují i další hodnocená kritéria, která jsou v porovnání s ostatními hodnotami jiných rovnic odlišná více či méně, ale ve své podstatě tato rovnice vychází s nejhrošími výsledky. Při osvětlení bez zesílené UV složky jsou v porovnání se stávající rovnicí CIE horší i výsledky ostatních doporučených rovnic, z nichž vychází nejlépe W_{David} . Naopak pod osvětlením se zesílenou UV složkou si na základě hodnot uvažovaných kritérií vedly všechny uvažované modifikace rovnice CIE lépe. Jejich korelační koeficient je poměrně vysoký, což značí dobrou míru linearity. Z těchto rovnic si celkově, i když s nepatrnými rozdíly, vede nejlépe rovnice $W_{CIE, CAT02, D}$.

Z pohledu porovnání predikční schopnosti rovnic vyjádřené kritériem S_r pro 95% interval spolehlivosti v případě osvětlení bez zesílené UV složky není významný rozdíl mezi rovnicemi W_{CIE} a W_{David} , W_{David} a $W_{CIE, CAT02, D}$ a $W_{CIE, CAT02, D}$ a $W_{CIE, Optimalizovaná}$. Při podmínkách osvětlení se zesílenou UV složkou není dle hodnot S_r významný rozdíl mezi všemi třemi uvažovanými modifikacemi rovnice CIE navzájem.

5 Závěr

Předmětem této diplomové práce bylo zpracování přehledu současných metod hodnocení bělosti. Podrobně popsány jsou nejdříve metody subjektivní i jejich jednotlivé aspekty zásadní pro získání správných a reprodukovatelných výsledků vizuálního hodnocení. Dále jsou uvedeny metody objektivní, kterými lze upřesnit hodnocenou bělost na základě měření, s vývojem příslušných rovnic. Protože v současnosti je hledána modifikace rovnic pro hodnocení bělosti a odstínového nádechu standardizovaných mezinárodní komisí pro osvětlení CIE tak, aby mohla být využívána i při jiném osvětlení než D65, měla ve vazbě na podmínky používané v polygrafii experimentální část této práce za úkol posoudit využitelnost navržených modifikací pro osvětlení D50.

Experimentální část se tedy zabývala získáním vizuálních posudků pomocí subjektivního hodnocení 40 textilních vzorků. Vzorky byly blíže charakterizovány objektivním měřením a získaná data byla použita pro objektivní hodnocení. Sada textilních vzorků byla 19 kriticky vybranými posuzovateli v pěti replikacích hodnocena pod osvětlením D50 s UV složkou a bez ní. Získané vizuální posudky pro vnímanou bělost a odstínový nádech byly vyhodnoceny na základě jejich intra- a interindividuální observační variability. Byla uvažována jednotlivá kritéria, pomocí kterých bylo možné hodnotit věrohodnost posudků jednotlivých posuzovatelů v rámci jejich opakovaných hodnocení i při porovnání hodnocení mezi jednotlivými posuzovateli. Z dat získaných proměřením jednotlivých vzorků byly dle vybraných rovnic vypočteny indexy bělosti a odstínového nádechu. Tyto objektivní hodnoty byly porovnány s vizuálním hodnocením pomocí různých kritérií; na základě výsledků lze říci, že doporučované modifikace rovnice CIE pod osvětlením D50 bez UV složky nedostatečně korelují s vizuálním hodnocením. Naopak v případě osvětlení s UV složkou korelují posuzované modifikované rovnice s vizuálním hodnocením velmi dobře.

V rámci experimentu dále bylo zjištěno, že kvalita dostupných alternativních zdrojů osvětlení D50 není pro získání správných a reprodukovatelných výsledků vizuálního hodnocení dostačující. Vyhovující zdroj již nebylo možné z časových důvodů zajistit, a proto nebylo možné experiment rozšířit tak, aby mohly být výsledky ověřeny pro simulátor osvětlení D50 s jiným spektrálním složením.

Jako rozšíření této práce by bylo zajímavé studovat, zda by v případě vypuštění vzorků se silným odstínovým nádechem lépe korelovala závislost vizuálního hodnocení s objektivními hodnotami, nebo zda měla na hodnocení nějaký vliv struktura textilie. Dále by bylo zajímavé zahrnout mezi pozorovatele i osoby s vadou barvocitu a pozorovat, jak hodnocení vypadá z hlediska tohoto vnímání.

6 Použitá literatura

- [1] WYSZECKI, G. a STILES, W. S. Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae. New York: John Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-471-39918-3
- [2] PUEBLA, C. Whiteness Assessment: A Primer; Concepts, Determination and Control of Perceived Whiteness [online]. Axiphos GmbH, 2006. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://www.axiphos.com/WhitenessPrimer.pdf>
- [3] VIK, M. Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi. Liberec: VÚTS, 2015. ISBN 978-80-87184-64-6.
- [4] KAPLANOVÁ, M a kol. Moderní polygrafie, 3. vyd. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2012. ISBN 978-80-254-4230-2.
- [5] Colorimetry, 3rd edition, CIE Technical report CIE 15.3:2004, 2004.
- [6] HIRSCHLER, R. Visual and instrumental evaluation of whiteness and yellowness. In: M.L. Gulrajani (ed.), Colour Measurement: Principles, Advances and Industrial Applications, Woodhead Publishing, 2010, str. 88–124. ISBN 978-1-84569-559-0
- [7] CHOUDHURY, A. K. R. Issues in measuring whiteness and fluorescence. In: Principles of colour appearance and measurement, Vol. 1. Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, 2014. str. 318–341. ISBN 978-0-85709-924-2.
- [8] BAŃKOWSKI, Z. Chemie pro každého: praktický receptář, Textilní materiály, Bělení. 2. přepracované a rozšířené vydání Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969.
- [9] Ottův slovník naučný, ilustrovaná encyklopedie obecných vědomostí, 24: Staroženské – Šyl, Šmolka [online]. [cit. 2019-03-21]. Národní knihovna České republiky Dostupné z: <http://www.digitalniknihovna.cz/nkp/view/uuid:04d2a750-eb9b-11e4-a511-5ef3fc9ae867?page=uuid:8830b890-1084-11e5-ae7e-001018b5eb5c&fulltext=%C5%A1molka>
- [10] Medical Distionar, psychochrome. The free distionary by farlex [online] 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/psychochrome>
- [11] GRIESSER, Rolf. Assessment of Whiteness and Tint of Fluorescent Substrates with Good Interinstrument Correlation. Color Research and Application 19(6), 446–460, 1994.
- [12] Light answers. Light Sources and Color Q & A, What is correlated color temperature? [online] Light research center 2004 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisCCT.asp>
- [13] Light answers. Light Sources and Color Q & A, What is color rendering index? [online] Light research center 2004 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisColorRenderingIndex.asp>

- [14] SCHWEN, R. a BERNS, R. Design of LED Clusters for Optimal Museum Lighting. B. Color Rendering Index. 2011[online]. [2019-04-22] Dostupné z: http://www.cis.rit.edu/microgrants/2011/Schwen_report.pdf
- [15] WEI, M. a CHEN Siyuan. Impact of spectral power distribution of daylight simulators on whiteness specification for surface colors. *Color Research and Application*, 2018, 43, 27–33.
- [16] ISO/CIE. Standard Method of Assessing the Spectral Quality of Daylight Simulators for Visual Appraisal and Measurement of Color. Geneva, Switzerland: ISO; 2002. ISO 23603/CIE S012.
- [17] SCHANDA, J. Colorimetry: understanding the CIE system. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, ©2007. ISBN 978-0-470-04904-4.
- [18] OHTA, N. a ROBERTSON A. R. Colorimetry: Fundamentals and Applications. Standard and supplementary illuminants. John Wiley & Sons. ©2005. ISBN:9780470094747
- [19] GANZ, E. Whiteness formulas: a selection. *Applied Optics* 18(7), 1073–1078, 1979.
- [20] ČSN EN ISO 8586. Sensorická analýza – Obecná směrnice pro výběr, výcvik a sledování činnosti vybraných posuzovatelů a odborných sensorických posuzovatelů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, duben 2015.
- [21] ČSN ISO 11037. Sensorická analýza – Pokyny pro sensorické hodnocení barvy výrobků. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, únor 2012.
- [22] ČSN EN ISO 5495. Sensorická analýza – Metodologie – Párová porovnávací zkouška. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, září 2009.
- [23] ČSN ISO 8587. Sensorická analýza – Metodologie – Pořadová zkouška. Praha: Český normalizační institut, říjen 2008.
- [24] ČSN ISO 8589. Sensorická analýza – Obecné pokyny pro uspořádání sensorického pracoviště. Praha: Český normalizační institut, září 2008.
- [25] ČSN EN 20105–A02. Textilie – Zkoušky stálobarevnosti. Část A02: Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [26] ČSN EN 20105–A03. Textilie – Zkoušky stálobarevnosti. Část A03: Šedá stupnice pro hodnocení zapouštění. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [27] Axhipos GmbH Marketing, Trading and Consulting. On whiteness formulas. AXIPHOS 2002. [online] [cit. 2019-04-07] Dostupné z: <http://www.axiphos.com/Reports/WhitenessFormulas.doc>
- [28] GANZ, E. Whiteness: photometric specification and colorimetric evaluation, *Applied Optics* 15, 2039–2058, 1976.
- [29] GRIESSER, Rolf. Instrumental Measurement of Fluorescence and Determination of Whiteness: Review and Advances, *Rev. of Progr. In Color.* 11, 25–36, 1981.

- [30] ISO 2469:2014. Paper, board and pulps – Measurement of diffuse radiance factor (diffuse reflectance factor). [online] [cit. 2019-04-7] Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/51631.html>
- [31] TAPPI T 452. Brightness of Pulp, Paper, and Paperboard (Directional Reflectance at 457 nm). [online] [cit. 2019-04-7] Dostupné z: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T452.aspx>
- [32] ASTM E313-15e1 Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates. [online] ASTM International 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.astm.org/Standards/E313.htm>
- [33] MACADAM, D. L. The specification of Whiteness. *J. Opt. Soc. Am.*, 24, 188–191, 1934.
- [34] BERGER, A. Weissgradformeln und ihre praktische Bedeutung, *Farbe*, 8, 187–202, 1959.
- [35] STENSBY, P. Evaluation of whiteness, *Journal of the Optical Society of America*, 64 (2), 210–215, 1974
- [36] AKSOY, B. FLEMING, P. D. a JOYCE, M. K A New Measure of Whiteness that Correlates with Perceived Color Appearance. (2011) [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228607537_new_measures_of_whiteness_that_correlate_better_with_perceived_color_appearance
- [37] ISO 11476:2016. Paper and board – Determination of CIE whiteness, C/2° (indoor illumination conditions). Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/63597.html>
- [38] ISO 11475:2017. Paper and board – Determination of CIE whiteness, D65/10 degrees (outdoor daylight). Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/63614.html>
- [39] DAVID, A, KRAMERS, M. R., HOUSER, K. W. Whiteness metric for light sources of arbitrary color temperatures: proposal and application to light-emitting-diodes, *Opt. Express*, 2013 Jul 15, 21(14), 16702–15.
- [40] GRIESSER, R. CIE whiteness and tint: possible improvements, *APPITA Journal* 49(2), 105 (1996).
- [41] GANZ, E. a GRIESSER, R. Whiteness – assessment of tint. *Applied Optics* 20(8), 1395–1396, 1981.
- [42] UCHIDA, H. A New Whiteness Formula, *Inc. Color Research and Application*, 23, 202–209, 1998
- [43] CIE, International Commission on Illumination. 1-95: The validity of the CIE whiteness and tint equations [online]. 2019 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.cie.co.at/technicalcommittees/validity-cie-whiteness-and-tint-equations>
- [44] VIK, M., VIKOVÁ, M a PECHOVÁ, M. Evaluation of whiteness in case of highly tinted white materials. *Proceedings of Asia and Africa Science Platform Program Seminar Series 10*, 2017.

- [45] WEI, M. WANG, Y. MA, S and LUO, M. R. Chromaticity and characterization of whiteness for surface colors. *Optics Express* 25(23), 27981–27994 (2017).
- [46] MA, S. WEI, M. a LUO, M. R. Evaluation of whiteness metrics. *Light. Res. Technol.* 50(3), 429–445 (2018).
- [47] WEI, M. MA, S. WANG, Y. a LUO, M. R. Evaluation of whiteness formulas for FWA and non-FWA whites. *Journal of the Optical Society of America. A* 34(4), 640–647 (2017).
- [48] MORONEY, N. FAIRCHILD, M. HUNT, Rt. LI, Ch. The CIECAM02 color appearance model. Rochester Institute of Technology. RIT Scholar Works (2002).
Dostupné z: <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1146&context=other>
- [49] WEI, M. CHEN, S. a LUO M. R. Development of a whiteness formula for surface colors under an arbitrary light source. *Optics Express* 26(14), 18171–18181 (2018).
- [50] JELÍNEK, I. Vizuální posudky barevných rozdílů u reálných a virtuálních textilních vzorků, 2010. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Vik, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/6678>
- [51] PECHOVÁ, M. Vliv intenzity osvětlení na rozlišování malých barevných rozdílů, 2015. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Vik, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/124318>
- [52] ULMANOVÁ, M. Studie malých barevných diferencí žlutého centra s vysokou čistotou odstínu, 2016. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce doc. Ing. Martina Viková, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/124586>
- [53] GARCÍA, A. P. a kol. Measurement of the relationship between perceived and computed color differences. *Journal of the Optical Society of America*, 24 (7), 1823–1829, 2007
- [54] Institut biostatistiky a analýz Masarykovy univerzity. Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu. [online] 2019. [cit. 2019-05-02] Dostupné z: - <http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--zaklady-korelacni-analyzy--pearsonuv-korelacni-koeficient--vypocet-pearsonova-korelacniho-koeficientu>
- [55] MELGOSA, M. GARCÍA, P. A., GÓMEZ-ROBLEDO, L., SHAMEY, R. HINS, D. a CUI, G. Notes on the application of the standardized residual sum of squares index for the assessment of intra- and inter-observer variability in color-difference experiments. *Journal of the Optical Society of America*, 28 (5), 949–953, 2011
- [56] Root-mean-square deviation. [online] WIKIPEDIA The Free Encyclopedia. 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square_deviation
- [57] ERX30 Inline Spectrophotometer. X-Rite Pantone [online] 2019. [cit. 2019-05-06] Dostupné z: <https://www.xrite.com/categories/inline-measurement/erx30>

- [58] UltraScan VIS spektrofotometr. HunterLab [online] 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.hunterlab.com/ultrascan-vis-spectrophotometer.html>
- [59] SpectraScan[®] spectroradiometer PR-740/745. Photo Research. [online] 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.photoresearch.com/content/spectrascan%C2%AEspectroradiometer-0>
- [60] Color Viewing Light BASIC. [online] JUST NORMLICHT 2019 [cit. 2019-05-06] Dostupné z: <https://www.just-normlicht.com/en/articlelist.html?id=16&name=Color-Viewing-Light-BASIC>
- [61] OLEARI, C. Standard colorimetry: definitions, algorithms, and software. Southern Gate, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, [2016]. ISBN 9781118894446.
- [62] FARNSWORTH, D. The Farnsworth–Munsell 100–Hue Test for the examination of Color Discrimination, Manual. Munsell Color, Macbeth, Division of Kollmorgen Instruments Corp. New Windsor, New York 12553. [online] 1957 [cit. 2019-05-06] Dostupné z: https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/manuals_and_userguides/f/fm100_instructions_en.pdf
- [63] Authorised resellers of Munsell Colour Standards. Library, Farnsworth Munsell 100 Hue, Presentation. [online] DG COLOUR [cit. 2019-05-06] Dostupné z: <http://www.dgcolour.co.uk/library/FM100-Hue-Presentation.pdf>
- [64] Farnsworth–Munsell 100 Hue Test. [online] X-Rite Pantone 2019 [cit. 2019-05-06] Dostupné z: <https://www.xrite.com/categories/visual-assessment-tools/fm-100-hue-test>
- [65] MASTER TL-D 90 Graphica. [online]. Philips Lighting 2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp928043795081-pss-cs_cz

Přílohy

Příloha A: Standardní a doplňkové osvětlení

Vlnová délka [nm]	A	D65	C	D50	D55	D75	B
300	0,93	0,03	–	0,02	0,02	0,04	–
305	1,13	1,66	–	1,03	1,05	2,59	–
310	1,36	3,29	–	2,05	2,07	5,13	–
315	1,62	11,77	–	4,91	6,65	17,47	–
320	1,93	20,24	0,01	7,78	11,22	29,81	0,02
325	2,27	28,64	0,20	11,26	15,94	42,37	0,26
330	2,66	37,05	0,40	14,75	20,65	54,93	0,50
335	3,10	38,50	1,55	16,35	22,27	56,09	1,45
340	3,59	39,95	2,70	17,95	23,88	57,26	2,40
345	4,14	42,43	4,85	19,48	25,85	60,00	4,00
350	4,74	44,91	7,00	21,01	27,82	62,74	5,60
355	5,41	45,78	9,95	22,48	29,22	62,86	7,60
360	6,14	46,64	12,90	23,94	30,62	62,98	9,60
365	6,95	49,36	17,20	25,45	32,46	66,65	12,40
370	7,82	52,09	21,40	26,96	34,31	70,31	15,20
375	8,77	51,03	27,50	25,72	33,45	68,51	18,80
380	9,80	49,98	33,00	24,49	32,58	66,70	22,40
385	10,90	52,31	39,92	27,18	35,34	68,33	26,85
390	12,09	54,65	47,40	29,87	38,09	69,96	31,30
395	13,35	68,70	55,17	39,59	49,52	85,95	36,18
400	14,71	82,75	63,30	49,31	60,95	101,93	41,30
405	16,15	87,12	71,81	52,91	64,75	106,91	46,62
410	17,68	91,49	80,60	56,51	68,55	111,89	52,10
415	19,29	92,46	89,53	58,27	70,07	112,35	57,70
420	20,99	93,43	98,10	60,03	71,58	112,80	63,20
425	22,79	90,06	105,80	58,93	69,75	107,94	68,37
430	24,67	86,68	112,40	57,82	67,91	103,09	73,10
435	26,64	95,77	117,75	66,32	76,76	112,14	77,31
440	28,70	104,86	121,50	74,82	85,61	121,20	80,80
445	30,85	110,94	123,45	81,04	91,80	127,10	83,44
450	33,09	117,01	124,00	87,25	97,99	133,01	85,40
455	35,41	117,41	123,60	88,93	99,23	132,68	86,88
460	37,81	117,81	123,10	90,61	100,46	132,36	88,30
465	40,30	116,34	123,30	90,99	100,19	129,84	90,08
470	42,87	114,86	123,80	91,37	99,91	127,32	92,00
475	45,52	115,39	124,09	93,24	101,33	127,06	93,75

Příloha A: Standardní a doplňkové osvětlení – pokračování tabulky

480	48,24	115,92	123,90	95,11	102,74	126,80	95,20
485	51,04	112,37	122,92	93,54	100,41	122,29	96,23
490	53,91	108,81	120,70	91,96	98,08	117,78	96,50
495	56,85	109,08	116,90	93,84	99,38	117,19	95,71
500	59,86	109,35	112,10	95,72	100,68	116,59	94,20
505	62,93	108,58	106,98	96,17	100,69	115,15	92,37
510	66,06	107,80	102,30	96,61	100,70	113,70	90,70
515	69,25	106,30	98,81	96,87	100,34	111,18	89,65
520	72,50	104,79	96,90	97,13	99,99	108,66	89,50
525	75,79	106,24	96,78	99,61	102,10	109,55	90,43
530	79,13	107,69	98,00	102,10	104,21	110,44	92,20
535	82,52	106,05	99,94	101,43	103,16	108,37	94,46
540	85,95	104,41	102,10	100,75	102,10	106,29	96,90
545	89,41	104,23	103,95	101,54	102,53	105,60	99,16
550	92,91	104,05	105,20	102,32	102,97	104,90	101,00
555	96,44	102,02	105,67	101,16	101,48	102,45	102,20
560	100,00	100,00	105,30	100,00	100,00	100,00	102,80
565	103,58	98,17	104,11	98,87	98,61	97,81	102,92
570	107,18	96,33	102,30	97,74	97,22	95,62	102,60
575	110,80	96,06	100,15	98,33	97,48	94,91	101,90
580	114,44	95,79	97,80	98,92	97,75	94,21	101,00
585	118,08	92,24	95,43	96,21	94,59	90,60	100,07
590	121,73	88,69	93,20	93,50	91,43	87,00	99,20
595	125,39	89,35	91,22	95,59	92,93	87,11	98,44
600	129,04	90,01	89,70	97,69	94,42	87,23	98,00
605	132,70	89,80	88,83	98,48	94,78	86,68	98,08
610	136,35	89,60	88,40	99,27	95,14	86,14	98,50
615	139,99	88,65	88,19	99,16	94,68	84,86	99,06
620	143,62	87,70	88,10	99,04	94,22	83,58	99,70
625	147,24	85,49	88,06	97,38	92,33	81,16	100,36
630	150,84	83,29	88,00	95,72	90,45	78,75	101,00
635	154,42	83,49	87,86	97,29	91,39	78,59	101,56
640	157,98	83,70	87,80	98,86	92,33	78,43	102,20
645	161,52	81,86	87,99	97,26	90,59	76,61	103,05
650	165,03	80,03	88,20	95,67	88,85	74,80	103,90
655	168,51	80,12	88,20	96,93	89,59	74,56	104,59
660	171,96	80,21	87,90	98,19	90,32	74,32	105,00
665	175,38	81,25	87,22	100,60	92,13	74,87	105,08
670	178,77	82,28	86,30	103,00	93,95	75,42	104,90

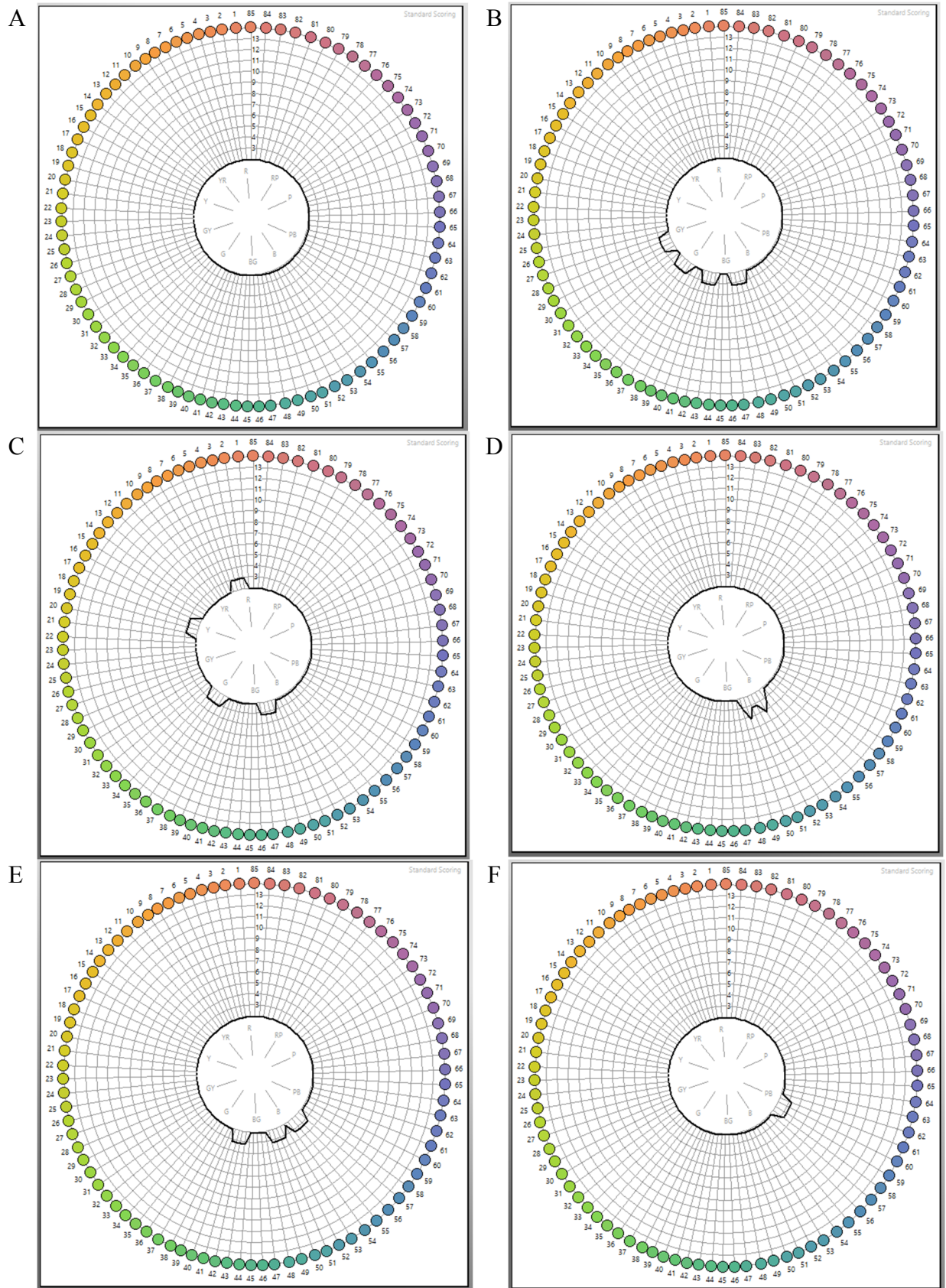
Příloha A: Standardní a doplňkové osvětlení – pokračování tabulky

675	182,12	80,28	85,30	101,07	91,95	73,50	104,55
680	185,43	78,28	84,00	99,13	89,96	71,58	103,90
685	188,70	74,00	82,21	93,26	84,82	67,71	102,84
690	191,93	69,72	80,20	87,38	79,68	63,85	101,60
695	195,12	70,67	78,24	89,49	81,26	64,46	100,38
700	198,26	71,61	76,30	91,60	82,84	65,08	99,10
705	201,36	72,98	74,36	92,25	83,84	66,57	97,70
710	204,41	74,35	72,40	92,89	84,84	68,07	96,20
715	207,41	67,98	70,40	84,87	77,54	62,26	94,60
720	210,36	61,60	68,30	76,85	70,24	56,44	92,90
725	213,27	65,74	66,30	81,68	74,77	60,34	91,10
730	216,12	69,89	64,40	86,51	79,30	64,24	89,40
735	218,92	72,49	62,80	89,55	82,15	66,70	88,00
740	221,67	75,09	61,50	92,58	84,99	69,15	86,90
745	224,36	69,34	60,20	85,40	78,44	63,89	85,90
750	227,00	63,59	59,20	78,23	71,88	58,63	85,20
755	229,59	55,01	58,50	67,96	62,34	50,62	84,80
760	232,12	46,42	58,10	57,69	52,79	42,62	84,70
765	234,59	56,61	58,00	70,31	64,36	51,98	84,90
770	237,01	66,81	58,20	82,92	75,93	61,35	85,40
775	239,37	65,09	58,50	80,60	73,87	59,84	86,10
780	241,68	63,38	59,10	78,27	71,82	58,32	87,00
785	243,92	63,84	–	78,91	72,38	58,73	–
790	246,12	64,30	–	79,55	72,94	59,14	–
795	248,25	61,88	–	76,48	70,14	56,94	–
800	250,33	59,45	–	73,40	67,35	54,73	–
805	252,35	55,71	–	68,66	63,04	51,32	–
810	254,31	51,96	–	63,92	58,73	47,92	–
815	256,22	54,70	–	67,35	61,86	50,42	–
820	258,07	57,44	–	70,78	64,99	52,92	–
825	259,86	58,88	–	72,61	66,65	54,23	–
830	261,60	60,31	–	74,44	68,31	55,54	–

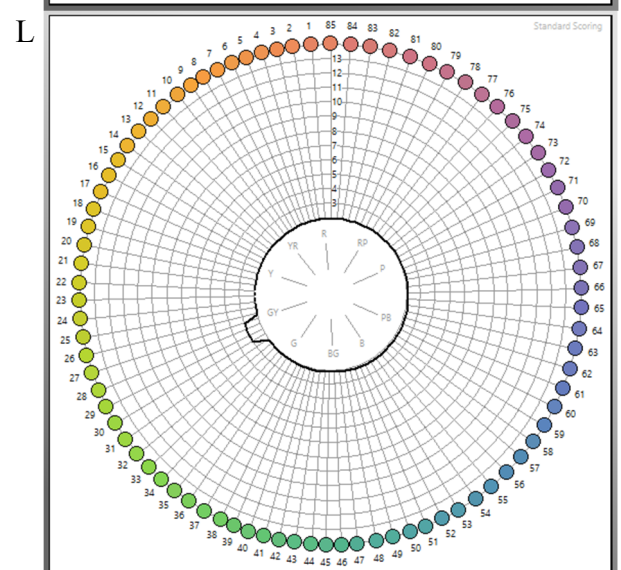
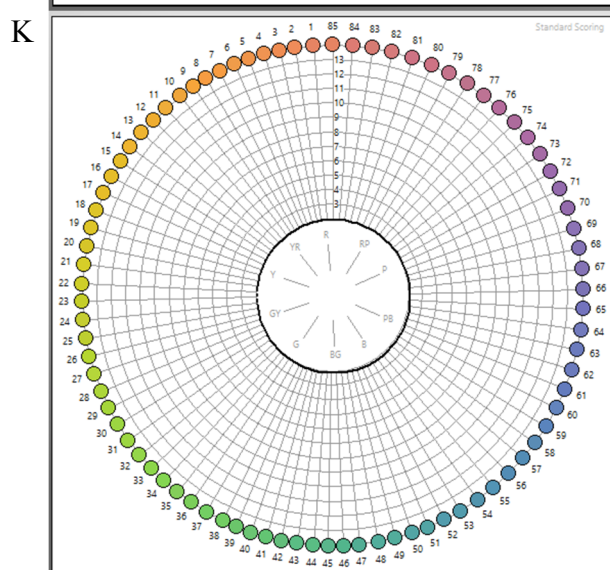
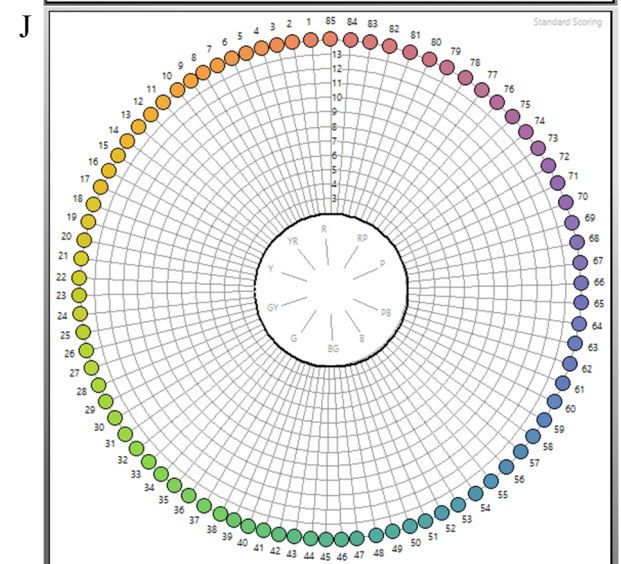
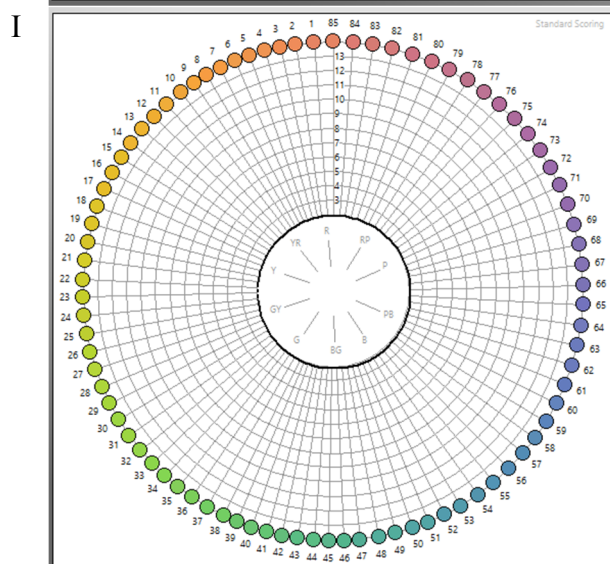
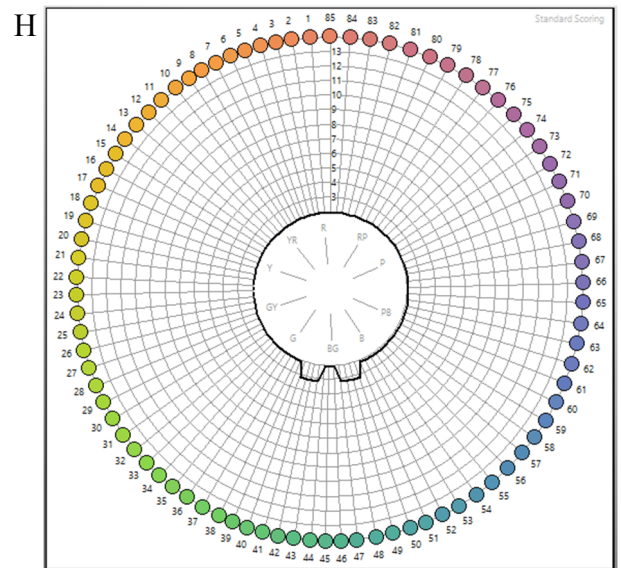
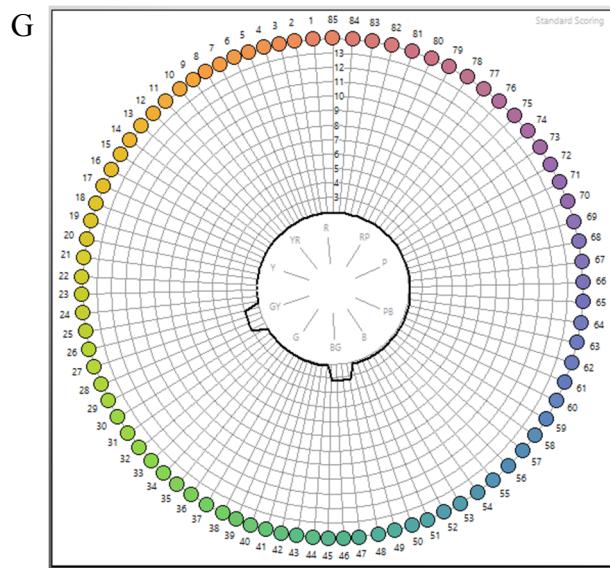
Příloha B: Výsledky všech osob testovaných pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu

Testovaná osoba	Pohlaví	TES	Testovaná osoba	Pohlaví	TES
1	muž	4	24	žena	24
2	žena	16	25	žena	8
3	muž	0	26	žena	16
4	žena	20	27	žena	0
5	muž	28	28	žena	16
6	žena	28	29	žena	16
7	muž	24	30	žena	12
8	muž	8	31	muž	8
9	muž	0	32	muž	20
10	žena	0	33	muž	24
11	muž	0	34	žena	8
12	žena	60	35	žena	44
13	žena	20	36	žena	44
14	žena	28	37	žena	64
15	muž	24	38	muž	32
16	žena	44	39	žena	24
17	muž	8	40	muž	8
18	žena	20	41	muž	16
19	muž	64	42	muž	8
20	muž	4	43	muž	60
21	muž	12	44	muž	0
22	žena	36	45	žena	0
23	žena	8	–	–	–

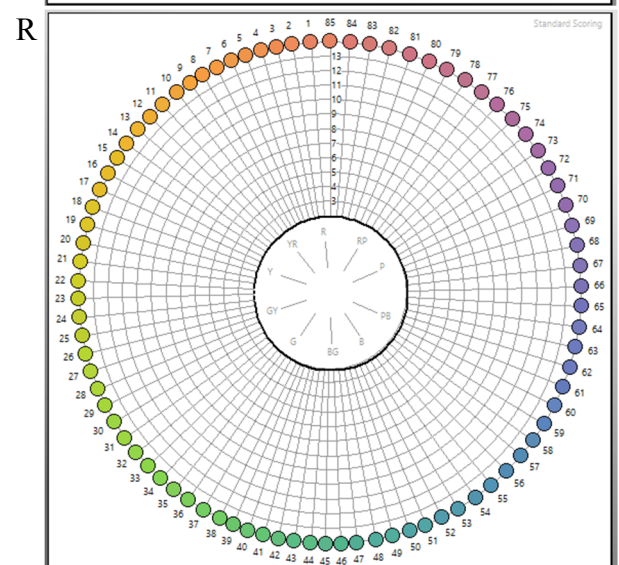
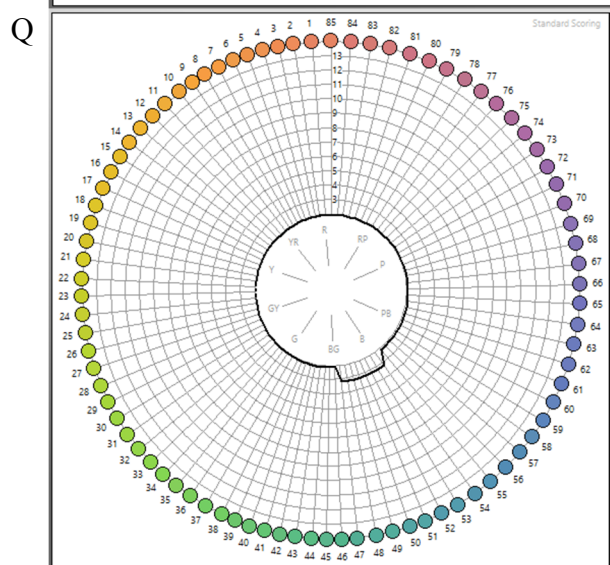
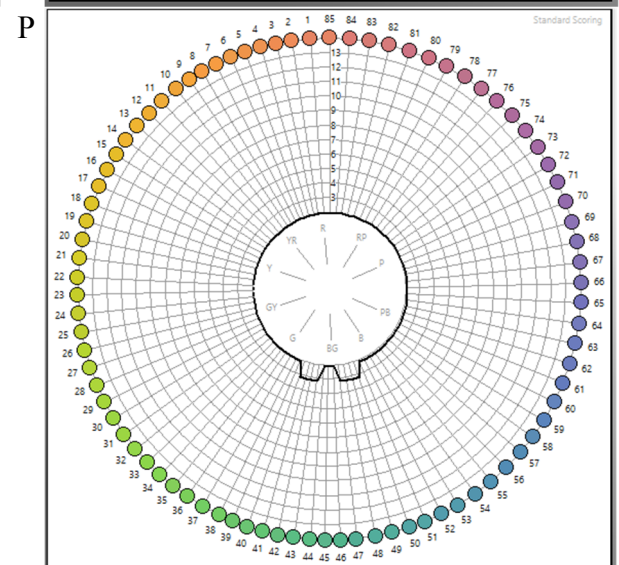
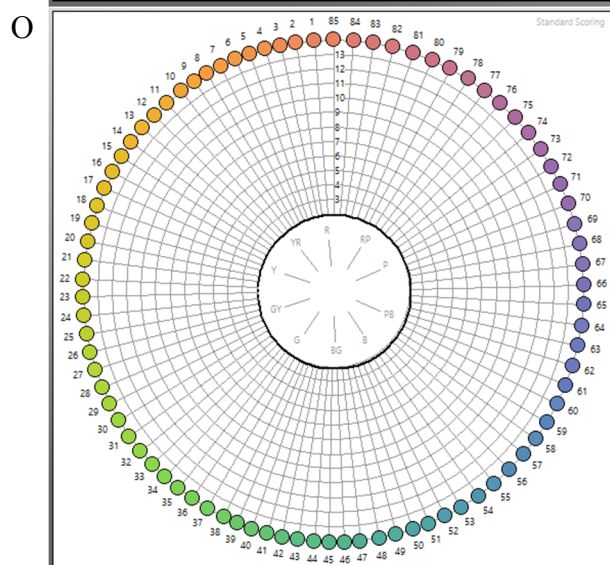
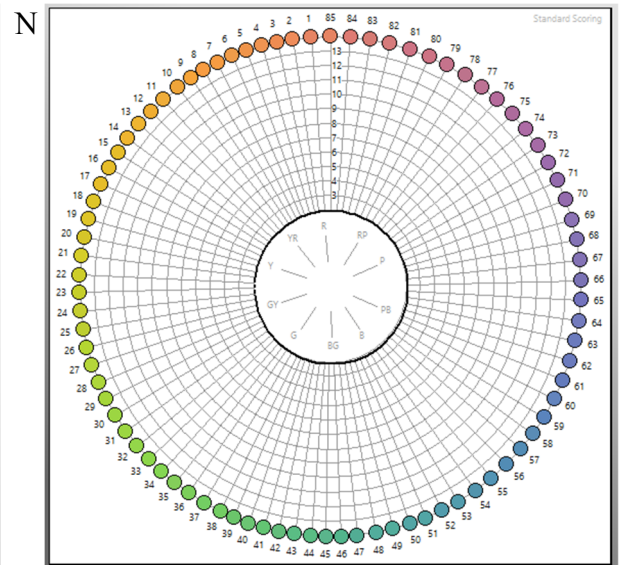
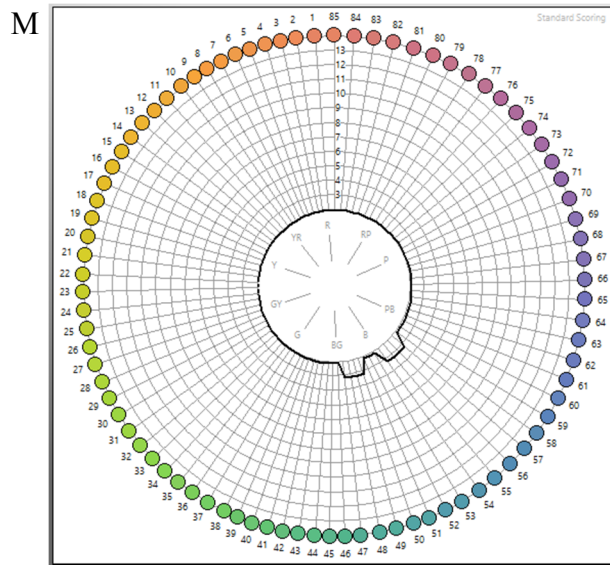
Příloha C: Výsledky osob testovaných pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, které se účastnily experimentální části, v polárních souřadnicích



Příloha C: Výsledky osob testovaných pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, které se účastnily experimentální části, v polárních souřadnicích – pokračování

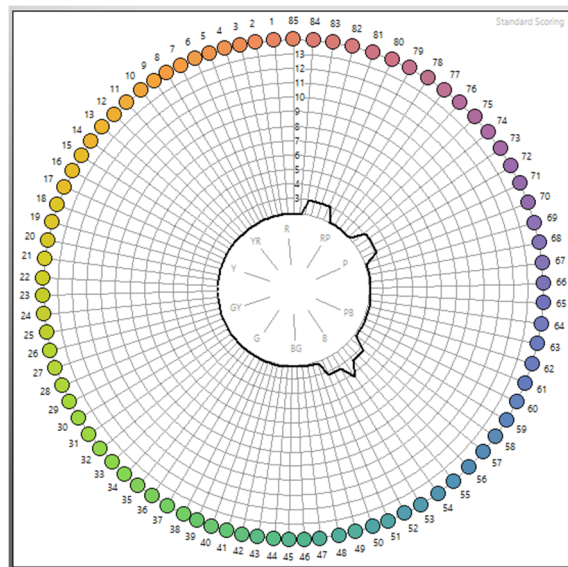


Příloha C: Výsledky osob testovaných pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, které se účastnily experimentální části, v polárních souřadnicích – pokračování



Příloha C: Výsledky osob testovaných pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, které se účastnily experimentální části, v polárních souřadnicích – pokračování

S



Příloha D

Hodnoty kritérií pro hodnocení interindividuální observační variability pro vnímanou bělost

Posuzovatel	D50			D50+UV		
	<i>r</i>	PF/3	STRESS	<i>r</i>	PF/3	STRESS
A	0,93	1,54	2,40	0,95	1,38	2,24
B	0,64	3,48	3,78	0,75	2,53	3,19
C	0,84	0,84	1,82	0,89	0,80	1,74
D	0,81	0,94	1,91	0,91	0,81	1,76
E	0,72	1,30	2,72	0,93	0,70	1,63
F	0,86	0,73	1,67	0,93	0,62	1,51
G	0,85	1,11	2,06	0,96	0,61	1,44
H	0,55	2,28	3,03	0,91	0,77	1,71
I	0,70	1,61	2,54	0,88	0,89	1,84
J	0,95	0,91	1,83	0,97	1,01	1,89
K	0,67	3,97	4,02	0,76	2,36	3,04
L	0,78	3,47	3,82	0,89	4,60	4,32
M	0,82	2,03	2,81	0,84	1,13	2,08
N	0,41	3,73	3,94	0,89	0,95	1,88
O	0,72	3,94	3,98	0,89	2,32	2,99
P	0,87	1,84	2,69	0,90	1,19	2,11
Q	0,76	1,77	2,64	0,84	1,16	2,11
R	0,85	2,77	3,33	0,83	3,17	3,53
S	0,80	1,56	2,50	0,96	0,37	1,09

Hodnoty kritérií pro hodnocení interindividuální observační variability pro vnímaný odstín

Posuzovatel	D50			D50+UV		
	<i>r</i>	PF/3	STRESS	<i>r</i>	PF/3	STRESS
A	0,85	4,77	9,68	0,90	3,38	8,06
B	0,25	19,43	26,38	0,48	11,65	20,55
C	0,93	3,21	7,07	0,94	2,81	6,50
D	0,84	4,39	9,76	0,84	4,83	10,65
E	0,86	4,42	10,39	0,84	5,54	11,53
F	0,92	3,00	7,53	0,88	4,86	11,02
G	0,90	4,27	9,10	0,94	4,74	8,80
H	0,83	5,07	10,97	0,87	4,18	9,47
I	0,94	3,86	7,83	0,96	3,33	6,58
J	0,84	6,44	11,45	0,88	5,94	10,87
K	0,76	6,25	11,67	0,60	9,12	14,77
L	0,68	6,91	13,14	0,74	6,24	12,57
M	0,62	8,23	14,12	0,81	7,01	13,09
N	0,87	4,68	10,18	0,85	4,89	10,73
O	0,97	19,30	23,23	0,94	18,73	22,79
P	0,93	3,57	7,62	0,94	4,41	8,88
Q	0,86	16,05	19,80	0,88	18,99	22,15
R	0,97	25,78	24,50	0,94	22,74	23,09
S	0,92	7,27	11,37	0,92	7,17	11,32