
Metodika použití microfideometru pro
stanovení maximální bezpečné světelné
expozice historických fotografií

EVA SVOBODOVÁ
IVANA KOPECKÁ

Předložená metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Národní technické muzeum (DKRVO, MK000023299).



www.ntm.cz

AUTOŘI:

RNDr. Eva Svobodová, Ph.D. (NTM)

Ing. Ivana Kopecká (NTM)

OPONENTI:

Mgr. Jitka Neoralová (Národní knihovna ČR)

Ing. Jaroslav Valach, Ph.D. (ÚTAM AV ČR)

SAZBA:

Patrik Sláma

© Národní technické muzeum v Praze, 2020

Obsah

1. Cíl metodiky	3
2. Úvod	4
3. Klasifikace materiálů podle jejich světlostálosti	6
4. CIELab	8
5. Určení světlostálosti	10
5.1 Microfadeometr	10
5.2 Blue wool standardy (BWS)	13
6. Světlostálost fotografických materiálů	17
7. Odhad životnosti	20
8. Postup měření	24
9. Měření na microfadeometru v laboratoři NTM	26
10. Literatura	45

1. Cíl metodiky

U předmětů, které jsou vůči působení světla velmi citlivé, nestačí pouze ochrana před ultrafialovým (UV) zářením, neboť i záření ve viditelné oblasti je poškozuje a poškození světlem je kumulativní a nevratné. Citlivost jednotlivých materiálů vůči světlu je velmi rozdílná. Zatímco anorganické materiály jsou vůči poškození světlem téměř inertní, většina organických materiálů může být světlem vážně poškozena, nebo i zcela zničena. To je dáno vazebnou energií organických látek, která je srovnatelná s energií záření ve viditelné a zejména v ultrafialové oblasti. Mezi materiály, které jsou vůči světlu nejcitlivější, patří většina historických fotomateriálů. Intenzita osvětlení velmi citlivých materiálů v expozici bývá kompromisem mezi osvětlením přijatelným pro daný materiál a osvětlením pohodlným pro pozorovatele. Citlivé materiály jsou trvale uloženy ve tmě, vystavovány mohou být pouze krátkodobě při velmi nízké intenzitě osvětlení.

Na základě měření microfademetrem lze kvalifikovaně odhadnout citlivost konkrétní fotografie vůči osvětlení a podle toho upravit prostředí expozice, expoziční plán apod. Cílem této metodiky je poskytnout přehled teoretických informací, které jsou základem pro používání microfademetru, a také vytvořit praktický návod k jeho použití v NTM.

2. Úvod

Světlo má charakter elektromagnetického vlnění. Energie záření je dána jeho vlnovou délkou (jednotkou je 1 nm) nebo převrácenou hodnotou vlnové délky, tzn. vlnočet (jednotkou je 1 cm^{-1}). Jako viditelné světlo vnímáme záření v intervalu vlnových délek od 400 nm do 750 nm. U předmětů, které jsou vůči působení světla velmi citlivé, nestačí pouze ochrana před ultrafialovým (UV) zářením, neboť i záření ve viditelné oblasti je poškozuje. Jeho intenzita a doba působení by měla být omezena na minimum.

Poškození světlem je kumulativní a nevratné. Citlivost jednotlivých materiálů vůči světlu je velmi rozdílná. Zatímco anorganické materiály (např. kovy a silikátové materiály) jsou vůči poškození světlem téměř inertní, většina organických materiálů může být světlem vážně poškozena, nebo i zcela zničena. To je dáno vazebnou energií organických látek, která je srovnatelná s energií záření ve viditelné a zejména v ultrafialové oblasti. UV i viditelné záření iniciuje v organických materiálech fotochemické reakce, které působí jejich degradaci. Relativně nejcitlivější na působení světla jsou: organická barviva a inkousty, textil, barvená kůže, peří, papír, barvené dřevo, organická pojiva. Míra degradačního působení světla je nepřímo úměrná vlnové délce záření, a přímo úměrná energii záření.



Intenzita osvětlení velmi citlivých materiálů v expozici bývá kompromisem mezi osvětlením přijatelným pro daný materiál a osvětlením pohodlným pro pozorovatele. Citlivé materiály jsou trvale uloženy ve tmě, vystavovány mohou být pouze krátkodobě při velmi nízké intenzitě osvětlení, tak, aby v jejich barevnosti nenastaly žádné viditelné změny (JNF – just noticeable fading). Maximální přípustná doba osvětlení se udává v milionech luxhodin za rok (Mlx-h/r). Pokud je tato hodnota stanovena např. na 0,05 Mlx-h/rok, znamená to, že světlocitlivý předmět smí být vystaven jen cca 3 měsíce v roce (tj. 100 dní po 10 hod osvětlení do 50 lux), při delší expozici by osvětlení způsobilo nezvratné změny jeho barevnosti.

Rozsah poškození světlem závisí [1–5]:

- **na intenzitě osvětlení** (měřené v luxech [lx])
- **na vlnové délce dopadajícího světla či záření** (měřeno v nm, nebo jako frekvence – podíl rychlosti světla ve vakuu a jeho vlnové délky – v Hz)
- **na celkové expozici** – na úrovni intenzity osvětlení a času, po který je předmět osvětlen (měřeno v luxhodinách, eventuálně v megaluxhodinách za rok – Mlx-h/r)
- **na charakteru materiálu** (textil, papír...) **a na jeho aktuálním stavu, respektive na stupni jeho poškození**

Příkladem praktického použití microfademometru, přístroje pro měření světlostálosti materiálu, může být např. kvalifikovaný odhad stability černobílé fotografie – stříbroželatinové kopie. Fotografie pořízené touto patrně nejrozšířenější technikou, mohou být i na světle velmi stabilní, ale pouze v případě, že byly kvalitně ustáleny a dostatečně vyprány. Naopak, pokud fotografie obsahují zbytky ustalovače, mohou být na působení světla velmi citlivé. Protože kvalitu zpracování konkrétní fotografie obvykle neznáme, musíme s ní zacházet, jako by byla maximálně světlocitlivá (maximálně omezit osvětlení, omezit expozici, vyloučit zápůjčky...), jinak hrozí riziko poškození. Na základě použití microfademometru lze kvalifikovaně odhadnout citlivost konkrétní fotografie vůči osvětlení a podle toho upravit prostředí expozice, expoziční plán apod.

3. Klasifikace materiálů podle jejich světlostálosti

První klasifikace světlostálosti (z roku 1999 [6]) byla definována pro objekty na papíře a řadila je do tří skupin – citlivé (sensitive), odolné (durable) a extrémně citlivé (zero tolerance) [7]. Poslední kategorie je později označována „vulnerable“ a takto klasifikované objekty se doporučuje vůbec nevystavovat. Potřeba klasifikovat i ostatní sbírkové předměty z hlediska jejich citlivosti na světelné záření si vyžádala rozšíření klasifikace o čtvrtou skupinu – trvalé (permanent), které jsou na světlo citlivé jen málo (kámen, keramika, kov). [6] V současné době najdeme řadu více či méně podobných klasifikací světlostálosti materiálů a různých doporučení pro režim jejich vystavování v muzeích. [2,6,8] Tabulka 1 shrnuje několik typů klasifikace sbírkových předmětů v závislosti na jejich citlivosti vůči světlu. Obecně lze předměty v muzejních a galerijních sbírkách klasifikovat z hlediska fotochemického poškození následovně [3]: nejméně citlivé (osvit neomezen – kámen, kov, sklo, malované sklo, šperky, keramika, smalt, minerály), středně citlivé (150 lx – olejové a temperové malby, rohovina, kosti, slonovina, nebarvené kůže, nábytek, ebonit, černobílé fotografie) a vysoce citlivé (50 lx – vodové barvy, oděvy, textilie, tapiserie, kresby, tisky, známky, manuskripty, miniatury, tapety, temperové malby, barevné fotografie a diapositivy, přírodní exponáty, botanické exponáty, některé minerály).

Pro archivaci a vystavování listinných dokumentů a fotomateriálů, které se řadí mezi objekty vůči působení světla nejcitlivější [9], existuje řada celosvětově uznávaných technických norem, které doporučují vhodné klimatické podmínky a limitní hodnoty světelných dávek pro jejich

Tabulka 1: Klasifikace světlostálosti sbírkových předmětů a přípustné hodnoty osvitů sbírkových předmětů.

prameny	klasifikace sbírkových předmětů podle citlivosti vůči působení světla				
Victoria and Albert Museum [10]	citlivé BW1-3		středně citlivé BW4-6		odolné BW7-8
Rijksmuseum voor Volkenkunde [11] (Národní etnografické muzeum, Nizozemí)	citlivé I		citlivé II		odolné
• doporučené intenzity osvětlení (s vyloučením UV složky)	50 lux po pětinou dobu expozice		50 lux bez omezení		250 lux bez omezení
dělení dle normy CIE157-2004 (CIE 2004) [8]	velmi citlivé		středně citlivé až nereagující (beze změny)		
dělení dle citlivosti modré vlny (ISO blue wool = BW) [8]	cca < BW2	cca BW2-3	cca BW3-4	> cca BW4	BW8 (beze změn)
National Museum of Australia [8] (Australské národní muzeum)	velmi citlivé		středně citlivé až nereagující (beze změny)		
• doporučené intenzity osvětlení (s vyloučením UV složky)*	cca 50 lux	50–100 lux**	50–150 lux**	100–250 lux**	bez omezení
• doporučení pro maximální světelnou expozici významných a často vystavovaných sb. předmětů	posuzuje se individuálně	2 roky v průběhu 10 let	5 let v průběhu 10 let	po dobu expozice, ale nejvíce 10 let	bez omezení
• doporučení pro maximální světelnou expozici občas vystavovaných sb. předmětů středního významu	posuzuje se individuálně	5 let v průběhu 10 let	po dobu expozice, ale nejvíce 10 let	po dobu expozice a dále po prohlídce stavu předmětu	bez omezení

* doporučené intenzity osvětlení jsou vypočítány z rovnice celkové barevné změny ΔE dle CIE76

** co nejnižší osvětlení při zachování dobré viditelnosti

vystavení v expozicích či pro jejich dlouhodobé uložení v depozitářích (ISO 18934: 2011 Imaging materials – Multiple media archives – storage environment, ISO 10356 Cinematography – Storage and handling of nitrate-base motion-picture films, ISO18911 Imaging materials – Processed safety photographic films – Storage practices, ISO18918 Imaging materials – Processed photographic plates – Storage practices, ISO 18920 Imaging materials – Reflection prints – Storage practices, ČSN ISO 11799 Informace a dokumentace – Požadavky na ukládání archivních a knihovnických dokumentů, CIE157:2004 Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation).

V archívech a knihovnách, ve kterých většinou nejsou restaurátoři specializovaní na restaurování fotografií a samotní kurátoři nejsou v řadě případů schopni jednotlivé fotografické techniky rozlišit, jsou podmínky vystavení či uložení materiálů na papíře často aplikovány i na fotografie [9]. Fotografie se však chovají jinak než tisky a grafiky na papíře [9]. Existuje celá řada chemických fotografických postupů (a s nimi spojených materiálů – pojiv, emulzí, podložek), které se liší jak mechanickou, tak i chemickou stabilitou. Jelikož většinou není známo, čím si jednotlivé fotografie prošly, jsou preventivně řazeny do kategorie „velmi citlivé“ (nejen na světlo, ale i na klimatické podmínky).

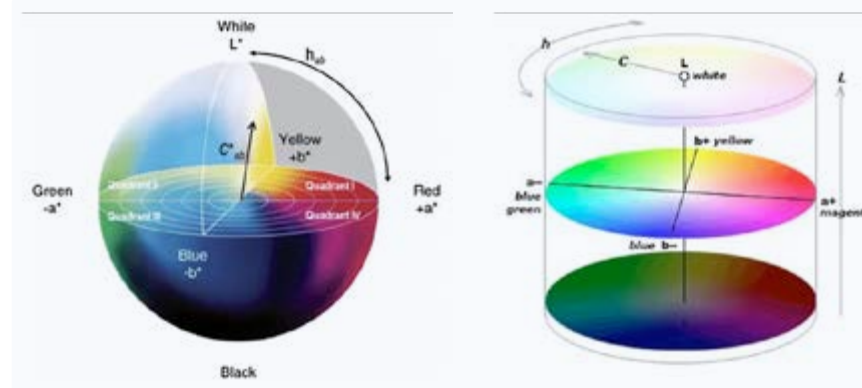
Strategie ochrany předmětů před světlem [2] je dvojího typu: tradiční (nastavení fixních hodnot osvitů pro všechny předměty) nebo strategie analýzy rizik = kompromis mezi viditelností a akceptovatelným blednutím. Z hlediska preventivní konzervace je v současné době neúčinnější metoda vystavování sbírkových předmětů citlivých na světlo v cyklech. Po krátké době vystavení předmětu v expozici při co nejnižším osvětlení je předmět opět uložen na několik let do tmy do depozitáře s vhodnými klimatickými podmínkami [2,8,11–13]. Počet cyklů vystavení je pak závislý na světlostálosti daného sbírkového předmětu, respektive na jeho klasifikaci do daných tříd citlivosti na světlo. Vysoce citlivé předměty by neměly být vůbec vystavovány [8,12,14].

Výsledná hodnota limitních světelných dávek je kompromisem mezi potřebou vystavovat světlocitlivé materiály při co nejnižším osvětlení a požadavkem návštěvníků na dostatečné osvětlení předmětů tak, aby si je mohli dobře prohlédnout. [2,15]

Abychom mohli stanovit limitní hodnoty osvětlení pro jednotlivé sbírkové předměty, je třeba zjistit, jak jsou citlivé na světlo (klasifikovat jejich světlostálost). Světlostálost materiálů se vyhodnocuje pomocí celkové barevné změny, označené ΔE , která je definována v barevném prostoru systému CIE Lab.

4. CIELab

Systém CIELab [3,5,13] popisuje veškerý barevný prostor, který je promítnut do barevné koule (Obr. 1). Jednotlivé body v kouli (o souřadnicích $[x,y,z]$) představují konkrétní barevné odstíny, které jsou popsány třemi hodnotami – L^* , a^* a b^* . Hodnota L^* popisuje světlost ($L^* = 0$ černá až $L^* = 100$ bílá), souřadnice a^* představuje barevnost ve škále zelená a červená ($-a^*$ = zelená; $+a^*$ = červená), souřadnice b^* popisuje barevnost ve škále modrá a žlutá ($-b^*$ = modrá; $+b^*$ = žlutá). Nověji bývají hodnoty a^* a b^* nahrazovány cylindrickými souřadnicemi C^* a h^* – souřadnice C^* popisuje barevnost a sytost barvy, souřadnice h^* popisuje barevný odstín = úhel. Světlost (hodnota L^*) zůstává nezměněna.



Obr. 1: Grafické znázornění systému CIELab.

Celková barevná změna ΔE je v systému CIELab vypočítávána různým způsobem. První definice výpočtu celkové barevné změny pochází z roku 1976 a odpovídá euklidovské vzdálenosti bodů L^* , a^* a b^* : [1,4,16–18]

Rovnice (1)

$$\Delta E_{76}^* [1976] = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

kde L_1^* , a_1^* , b_1^* jsou hodnoty před osvitem a hodnoty L_2^* , a_2^* , b_2^* po osvit.

Právě tato rovnice je pro svou jednoduchost nejpoužívanější rovnicí pro výpočet celkové barevné změny [8,14,19–24] a je také využívána v laboratoři Národního technického muzea v Praze pro měření světlostálosti materiálů, řízeném softwarem OceanView. Jelikož kartézské souřadnice, popisující celkový kulový barevný prostor, byly nahrazeny matematicky přesnějšími souřadnicemi cylindrickými a je stále snaha zpřesnit popis barevného prostoru, stává se základní rovnice pro celkovou barevnou změnu nedostačující. V letech 1994 a 2000 byly publikovány nové modifikované rovnice celkové barevné změny [1,16,17,25], matematicky složitější, které se snaží postihnout všechny změny v popisu barevného prostoru a zohlednit i texturu měřených vzorků. Výpočet celkové barevné změny textilních vzorků se pak liší od rovnice pro vzorky na papírových podložkách či obecně grafiky.

Rovnice (2)

$$\Delta E_{94}^* [1994] = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H \cdot S_H}\right)^2} =$$

$$\Delta E_{94}^* = \sqrt{\left(\frac{L_1^* - L_2^*}{k_L \cdot 1}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}} - \sqrt{a_2^{*2} + b_2^{*2}}}{k_C \cdot (1 + K_1 \cdot \sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}})}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{(a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} - \left[\sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}} - \sqrt{a_2^{*2} + b_2^{*2}}\right]}{k_H \cdot (1 + K_2 \cdot \sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}})}\right)^2}$$

kde hodnoty konstant jsou:

$k_L = 1$ (grafiky) či $k_L = 2$ (textil)

$k_C \sim 1$

$k_H \sim 1$

$K_1 = 0,045$ (grafiky) či $K_1 = 0,048$ (textil)

$K_2 = 0,015$ (grafiky) či $K_2 = 0,014$ (textil)

Nejnovější rovnice výpočtu celkové barevné změny z roku 2000 [6,17,18,26–28] oproti rovnici z roku 1994 navíc zahrnuje jeden člen, kompenzující úhlové změny u cylindrických souřadnic, ale pro svou matematickou náročnost není moc v restaurátorské praxi využívána (ačkoliv je řadou autorů doporučována [1,16,18,28]), proto je zde uvedena pouze její základní podoba.

Rovnice (3)

$$\Delta E_{00}^* [2000] = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H \cdot S_H}\right)^2} + R_T \cdot \frac{\Delta C'}{k_C \cdot S_C} \cdot \frac{\Delta H'}{k_H \cdot S_H}$$

S rozdílným výpočtem celkové barevné změny se různí i absolutní hodnota ΔE odpovídající lidským okem postřehnutelné změně (anglická zkratka JND – just noticeable difference či JNF – just noticeable fading) – pro rovnici (1) z roku 1976 je to hodnota $\Delta E_{JND} \sim 2,3$, pro rovnici (2) z roku 1994 je hodnota již méně než poloviční $\Delta E_{JND} \sim 1,0$ a nejjemnější stupnici hodnot celkové barevné změny vykazuje rovnice (3) z roku 2000, jejíž postřehnutelná barevná změna je již při hodnotě $\Delta E_{JND} \sim 0,9$. [16]

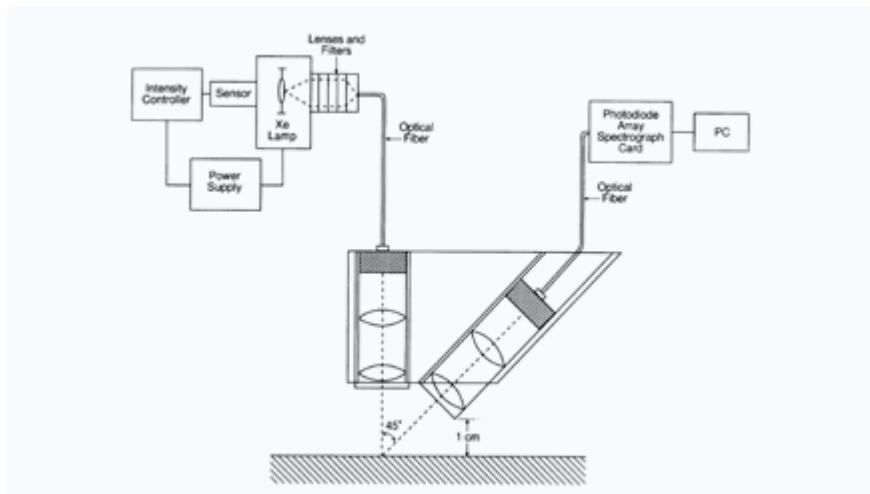
Při vyhodnocování celkové barevné změny mohou být zajímavé i časové změny jednotlivých hodnot L^* , a^* a b^* , případně C^* a h^* , které udávají konkrétní barevný posun v daných škálách. [20,23,25,26] Lze tak sledovat časový průběh žloutnutí (parametr b^*) [16,17,20,27], blednutí (parametr L^*) [20–22,29] či zčervenání (parametr a^*) [16,17,20,27].

5. Určení světlostálosti

Neznáme-li historii konkrétních sbírkových předmětů, logicky neznáme ani jejich odolnost vůči světlu [8]. Tento problém řeší především instituce, vystavující listinné materiály, historické fotografie, textilní objekty a jakékoli etnografické sbírky. Pro konzervátory těchto sbírek je obtížné světlocitlivost jednotlivých vystavovaných předmětů kvalifikovaně odhadnout. Dr. Paul Whitmore za svého působení v Art Conservation Research Center na Carnegie Mellon University (Pittsburgh, USA) již v 90. letech minulého století navrhl a sestrojil „microfadeometr“ (Oriel Microfading Tester, Obr. 2) – přístroj, který v mikroměřítku exaktně modeluje reakci materiálu na dlouhodobý osvit. [1,12,17,20,30–35] Obdobné přístroje dnes využívá nejen řada světových muzeí [1,16,21,22,26,32,33,36–38], ale i dvě instituce v České republice – Národní knihovna v Praze [39–41] a Národní technické muzeum v Praze.

5.1 Microfadeometr

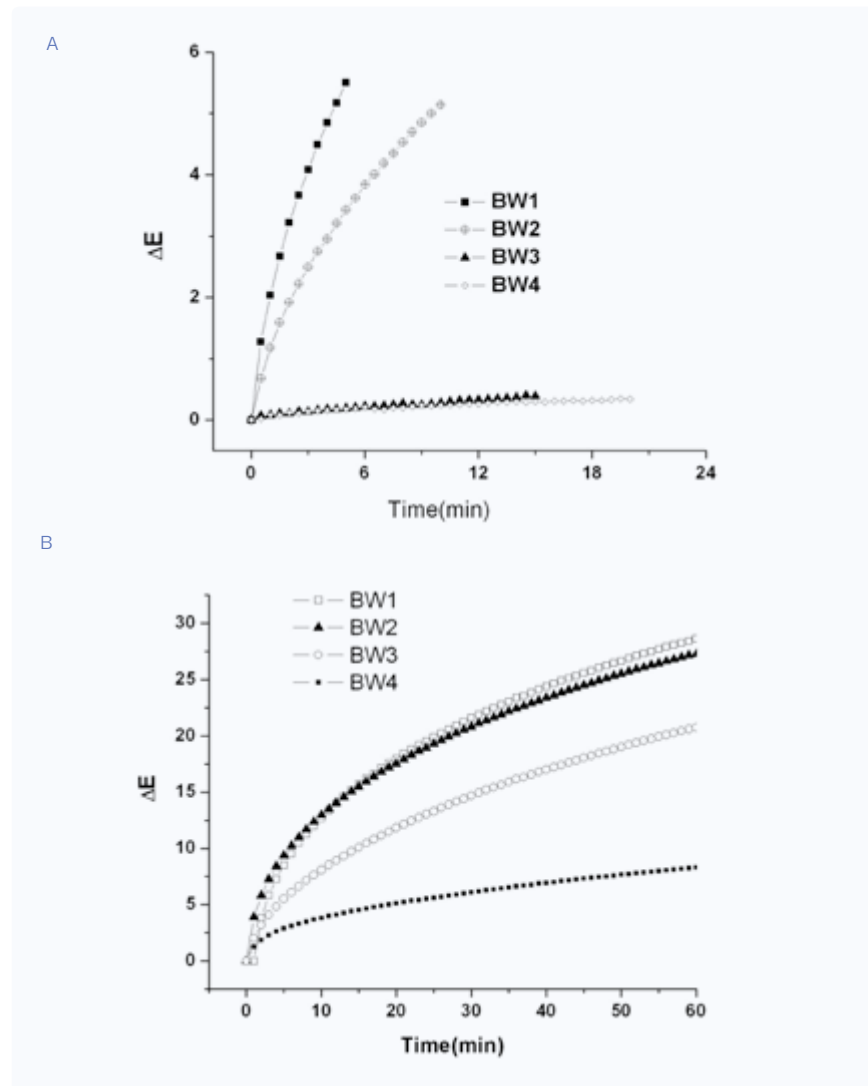
Jedná se o přístroj (Obr. 2), který má dvě základní části: zdroj intenzivního světla (obvykle xenonovou výbojku), a spektrometr. Xenonové výbojky vysílají záření nejen ve viditelné části spektra (~400–700 nm), ale částečně i UV světlo (pod ~350 nm), které se však běžně odfiltrává. [28,42] Intenzivní světlo xenonové výbojky je svazkem optických vláken fokusováno na plošku o průměru ~0,2–0,5 mm [1,16,17,28,34,35,43] a barevné změny na této plošce jsou po dobu osvitů průběžně snímány svazkem optických vláken a vyhodnocovány citlivým spektrofotometrem. Vyhodnocením sady bodů, naměřených v krátkých intervalech v průběhu cca 15 minut, získáme křivku modelující barevné změny zkoumaného povrchu. V závislosti na použitém výkonu xenonové výbojky odpovídají tyto změny přibližně dvouleté světelné expozici předmětu v běžném muzejním prostředí. [42]



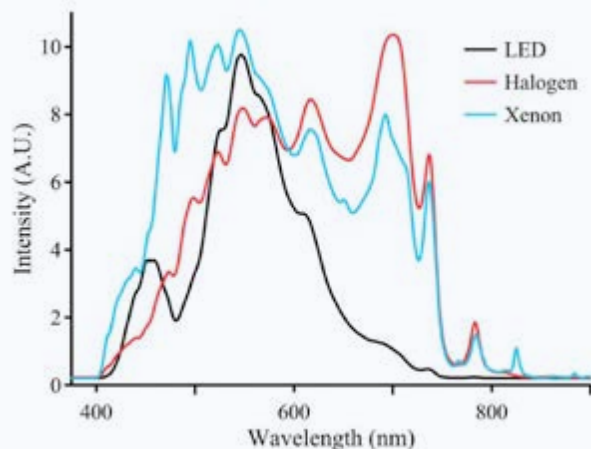
Obr. 2: Schematické znázornění microfadeometru, navrženého Whitmorem. [30]

Pro simulaci urychleného světelného stárnutí na denním světle lze UV složku ze zdroje nefiltrovat [44], ale pak je vhodné nahradit klasické křemenné čočky apochromatickými čočkami [16] či zrcadly [42], které nepodléhají barevné aberaci. S použitím zrcadel již není potřeba adjustovat správnou pozici optických vláken a také lze jimi odfiltrout infračervenou složku záření (aby se vzorek při měření nezahřival [34]). Pro sledování celkové barevné změny i v UV oblasti (viz Obr. 3) je třeba nahradit klasický spektrometr, který měří jen ve viditelné oblasti, spektrometrem, který měří i UV složku (minimálně v rozsahu 300–700 nm) [42]. Xenonová výbojka může být nahrazena i jiným zdrojem intenzivního viditelného nebo i ultrafialového záření [1,16,17,26,36,42–45]. Srovnání intenzit některých zdrojů záření v závislosti na vlnové délce je uvedeno na Obr. 4.

Pro sledování ΔE pro různé vlnové délky lze využít i několik optických kabelů [36,44], případně záření ze zdroje vhodně filtrovat [15,34,46]. Ke snímání ΔE lze využít i CCD kamery [47] či luxmetry [15], které v sobě mají zabudovanou funkci pro výpočet barevné změny [36]. Klasické luxmetry však neumí určovat hodnoty SPDs (spectral power distributions – relativní množství světelné energie při různých vlnových délkách, což je nezbytná informace pro určení potenciálního nebezpečného světelného zdroje – velká intenzita záření při nevhodných vlnových délkách může poškodit světlocitlivý materiál [44–46]), CCT (correlated color temperature – kolorimetrická hodnota indikující barvu světelného zdroje uváděné v teplotní stupnici ve stupních Kelvina, K) a CRI (color rendering index – určuje, jak moc se shoduje barevný odstín při osvětlení nějak charakterizovaným světlem a pod standardizovaným žárovkovým osvětlením). [36]



Obr. 3: Srovnání křivek ΔE standardů BW1-4, vystavených viditelnému záření (A) a viditelnému záření s UV složkou (B). [44] Celková barevná změna ΔE byla vypočítána dle rovnice (1).



Obr. 4: Spektrální rozložení intenzit tří typů zdrojů záření (LED, halogenové zářivky a xenonové výbojky) v závislosti na vlnové délce. [43]

Microfadeometr nahrazuje tradiční metody zjišťování světlostálosti vzorků materiálů v klimatických komorách (tzv. xenotest) [14,15,18,19,28,43,48–52], ve kterých probíhá pod řízeným klimatem a definovaným osvitem (ve viditelné či i ultrafialové oblasti záření) urychlené stárnutí vzorků společně se standardy modré vlny (standardy BW). Světlostálost měřených vzorků se pak určuje porovnáním barevných rozdílů neexponovaných a exponovaných míst se standardizovanou škálou šedé [51,53,54] (grey scale – GS1-5). Jedná se o soustavu devíti dvojic čtverců znázorňující stupně blednutí (s polovičním krokem) v rozsahu GS1 až GS5, přičemž stupeň GS5 představuje nejvyšší světlostálost (obě poloviny čtverce obsahují totožný tmavý odstín šedi) a stupeň GS1 nejnižší (jedna polovina čtverce obsahuje původní tmavý odstín šedi jako u GS5, druhá polovina čtverce obsahuje vybledlý odstín velmi světlé šedi). Postup určování světlostálosti textilních materiálů popisuje norma ISO 105-A01 až A05. Po expozici 10 Mlx-h odpovídají standardy BW1 ≈ GS1-2, BW2 ≈ GS2, BW3 ≈ GS4 a BW4 ≈ GS4-5 [52].

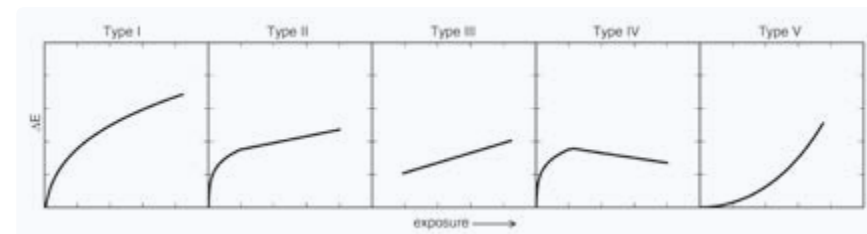
Vizuální komparace byla nahrazena celkovou barevnou změnou ΔE , která je vypočítána z rozdílných hodnot barevnosti před urychleným stárnutím a po jeho ukončení. Barevnost se pak určuje vyhodnocením reflexních spekter pomocí spektrofotometru [3,5,14,49] či pomocí kolorimetru [3,19,48], který udává barevnost rovnou v hodnotách CIELab. Výhodou tradiční techniky urychleného stárnutí světlem jsou nastavitelné podmínky, a především možnost

provádění stárnutí v různých atmosférách, nejen na vzduchu, ale i v bezkyslíkatém prostředí [14,55]. V současné době lze však microfadeometr upravit i pro měření v bezkyslíkové atmosféře [23,56] prostým uzavřením měřicí hlavičky do neprodyšného sáčku s napuštěným příslušným plynem (například dusíkem [30,43,56] či argonem [17,57]). Toho lze také využít při rozhodování, který předmět by měl být vystavován v bezkyslíkaté, např. v dusíkové atmosféře. Obdobně lze pomocí microfadeometru rozhodnout, zda je možné sbírkové předměty podrobit laserovému čištění [58]. V případě určování světlostálosti materiálů adjustovaných pod krycí sklo, kdy rozebrání adjustace není možné, například u fotografií, lze měřicí hlavičku microfadeometru umístit na pohyblivý stolek a posunem stolku zafokusovat paprsek ze zdroje na měřený povrch pod sklem [26]. Fokuse (zaostřování) se pak provádí hledáním takové vzdálenosti měřicí hlavičky od vzorku, respektive od krycího skla, aby byl signál reflexních spekter maximální. Případné problémy s odlesky lze vyřešit náhradou xenonové výbojky plasmovým zdrojem záření LIFI (solid state plasma light source) [26].

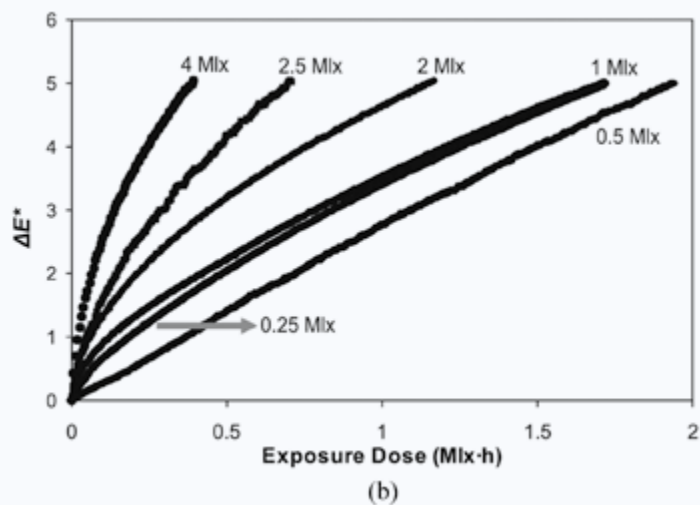
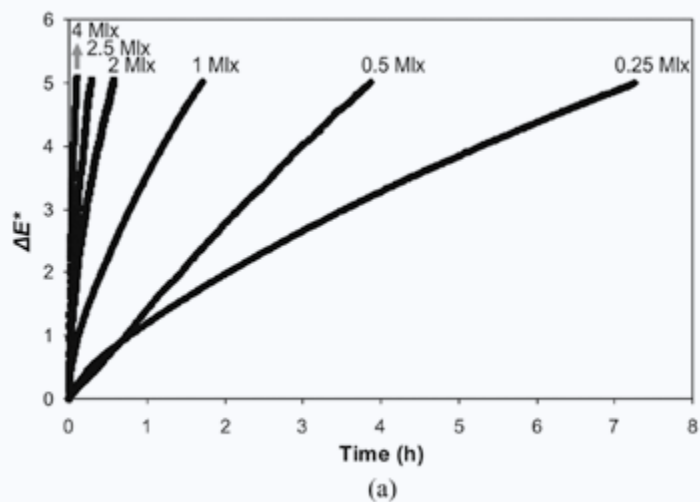
Intenzita záření z xenonové výbojky by měla být kontrolována [23,30], aby zůstala konstantní po celou dobu měření [34,35]. Pro zajištění stále fokusovaného paprsku je možné do měřicí hlavičky umístit kameru [16,32] pro snímání měřeného povrchu (pod úhlem -45° od normální pozice – pozice paprsku ze zdroje záření, viz Obr. 2) nebo i malou vodováhu [32].

Křivky průběhu celkové barevné změny ΔE v čase (respektive v závislosti na světelné dávce) lze rozdělit do pěti základních typů [3,16,28], které jsou uvedeny na Obr. 5. Křivky většiny měřených materiálů však odpovídají typům I-III. Typ I představuje molekulární barviva dispergovaná na substrát, typ II odpovídá agregátům barviva/pigmentu s nějakým molekulovým disperzním kolorantem, odpovědným za rychlou ztrátu barevnosti a typ III představuje téměř lineární závislost ΔE v čase u větších agregátů s fixní konstantní barevnou změnou, která je limitována difúzí kyslíku. [16]

Nastavení parametrů měření microfadeometrem by mělo zohledňovat, že analyzované materiály mohou být srovnávány i se standardy BW4-8, ne jen se standardy BW1-3. Je proto



Obr. 5: Základní typy křivek průběhu ΔE v závislosti na světelné dávce. [28]



Obr. 6: Srovnání křivek časové změny ΔE standardu BW1 při různých intenzitách osvětlení (a), respektive pro přepočítanou dobu osvětlení na světelnou dávku v Mlx·h (b). [24] Celková barevná změna ΔE byla vypočítána dle rovnice (1).

vhodné zvolit dostatečnou dávku osvětlení tak, aby standardy BW1-3 měly mezi sebou větší rozestupy. [20] Obdobně lze nastavit měření tak, aby žádná křivka rychlosti barevné změny nepřekročila hodnotu $\Delta E = 5$. Podle některých pramenů takto malá barevná změna měřeného bodu stále není viditelná a lze ji považovat za konečnou. [20,30] Jiní autoři [24] však celkovou barevnou změnu $\Delta E = 5$ považují již za viditelnou a používají nižší světelné dávky. Nižší hodnoty světelných dávek navíc poskytují reprodukovatelné výsledky celkové barevné změny a jsou lépe srovnatelné s podmínkami muzejního prostředí. Lépe také splňují zákon reciprocity světelných dávek (pro daný světelný zdroj je účinná expozice daná součinem intenzity záření (W/m^2) a doby ozáření t (hod) [3,5]), který byl dříve používán pro výpočet expozice světlem. V současnosti se k určování světelných dávek (viz Obr. 6) používá vztah mezi světelným tokem a dobou osvětlení. [24] Různá nastavení microfademometrů tak zjišťují křivky časové změny ΔE při různých světelných tocích [16,30], a proto je nezbytné výsledky porovnávat s křivkami standardů modré vlny (standard BW), získaných za stejných podmínek měření.

Metoda predikce světlostálosti materiálů pomocí microfademometru má však i své limity [1,12]: světlostálost je závislá na koncentraci citlivých látek, na jejich distribuci, na tloušťce vrstvy a na geometrii vrstvy [58,59] (včetně BW standardů, jejichž citlivost závisí i na geometrii vlněné tkaniny). Používané světelné zdroje také nevykazují rovnoměrnou intenzitu záření ve všech vyzařovaných vlnových délkách záření [35,36]. Další nevýhodou metody je nesrovnatelnost mezi silným osvětlením během měření na microfademometru (cca 2–10 Mlx) a slabým osvětlením v muzeích a galeriích (cca 50–250 lx) [28]. Jelikož metoda není standardizována [28], je odkázána na srovnávání se standardy BW.

5.2 Blue wool standardy (BWS)

BWS byly vyvinuty v Německu (DEK – Deutsche Echtheitskommission) v roce 1914 [24] a dnes jsou již přijímány jako mezinárodně uznávaný etalon barvostálosti podle norem ISO 105 – International Organization for Standardization a BS1006 – British Standards Institute (Methods of test for colour fastness of textiles and leather). [20] BWS obsahují 8 referenčních vzorků vlny (Obr. 7), barvené modře různými barvami o různé světlostálosti [2,60]. BW1 bledne nejrychleji, BW8 nejpomaleji. Čas, který je potřeba pro dosažení stejné celkové barevné změny ΔE je pro sousední BWS většinou dvojnásobný čili pokud BW1 dosáhne zvoleného ΔE za 5 minut, dá se očekávat, že BW2 jej dosáhne za 10 minut atd. [20,23]

Tabulka 2 shrnuje základní charakteristiky standardů BW ve srovnání se standardy světlostálosti dle ASTM (American Standard Test Measure). Hodnoty světelné dávky, které ještě nezpůsobí právě postřehnutelnou změnu (JNF), uvedené v tabulce 3, se však mohou mírně lišit, především v závislosti na rozsahu vlnových délek použitého záření. [2]

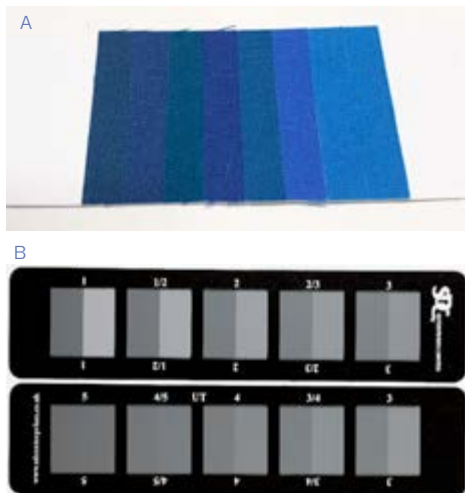
Tabulka 2: Srovnání charakteristik standardů modré vlny (Blue wool standardy) s klasifikací světlostálosti dle ASTM (American Standard Test Measure). [60]

BW standardy	světelná dávka (Mlx·h)*	ASTM standardy	Komentář
8	900	I. vynikající světlostálost	Pigmenty nemění svou barevnost ani po více než 100leté světelné expozici (při řádné adjustaci a při vhodných výstavních podmínkách).
7	300		
6	100	II. velmi dobrá světlostálost	Pigmenty nemění svou barevnost při světelné expozici trvající 50–100 let (při řádné adjustaci a při vhodných výstavních podmínkách).
5	32	III. dobrá světlostálost (dočasná)	Pigmenty nemění svou barevnost při světelné expozici trvající 15–50 let (při řádné adjustaci a při vhodných výstavních podmínkách).
4	10		
3	3,6	IV. slabá světlostálost (prchavá)	Pigmenty začínajíblednout během 2–15leté světelné expozice, i když je zajištěna vhodná adjustace i vhodné výstavní podmínky.
2	1,3		
1	0,4	V. velmi slabá světlostálost (prchavá)	Pigmenty začínajíblednout během 2leté světelné expozice, i když je zajištěna vhodná adjustace i vhodné výstavní podmínky.

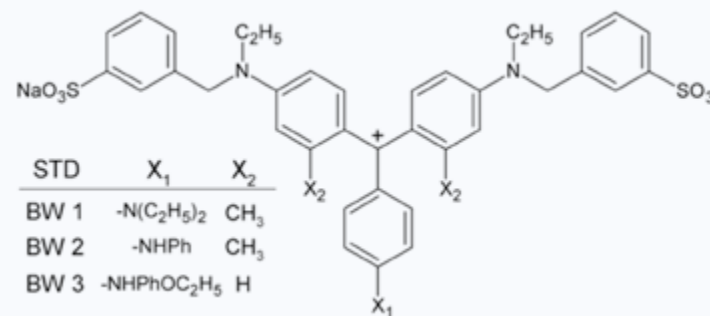
* světelná dávka, která ještě nezpůsobí postřehnutelnou barevnou změnu (JNF). Expozice průměrným vnitřním osvětlením (120–180 lx) po 12 hodin denně (v průměru) odpovídá 0,53–0,79 Mlx-h za rok.

Tabulka 3: Přibližné světelné dávky způsobující JNF pro ISO blue wool standardy (JNF je zde definováno jako první celý krok na stupnici šedi (ISO grey scale), odpovídá tedy barevné změně mezi stupněm č. 5 (GS5) a stupněm č. 4 (GS4), a představuje tak celkovou barevnou změnu $\Delta E = 1,8$). [2]

popis	světelná dávka (Mlx·h) potřebná pro dosažení JNF (právě postřehnutelná změna) ISO Blue Wool standardů							
	ISO Blue Wool č. 8	ISO Blue Wool č. 7	ISO Blue Wool č. 6	ISO Blue Wool č. 5	ISO Blue Wool č. 4	ISO Blue Wool č. 3	ISO Blue Wool č. 2	ISO Blue Wool č. 1
světelná dávka pro JNF v přítomnosti UV záření	120	50	20	8	3,5	1,5	0,6	0,22
světelná dávka pro JNF s vyloučením UV záření	1000	300	100	30	10	3	1	0,3
kategorie citlivosti	málo citlivé		středně citlivé			vysoce citlivé		



Obr. 7: Ukázka – (A) standardů BW – jednotlivé standardy jsou seřazeny vzestupně zprava doleva, tedy zcela vpravo je BW1, vlevo BW8; a (B) stupnice škály šedé – grey scale [61].

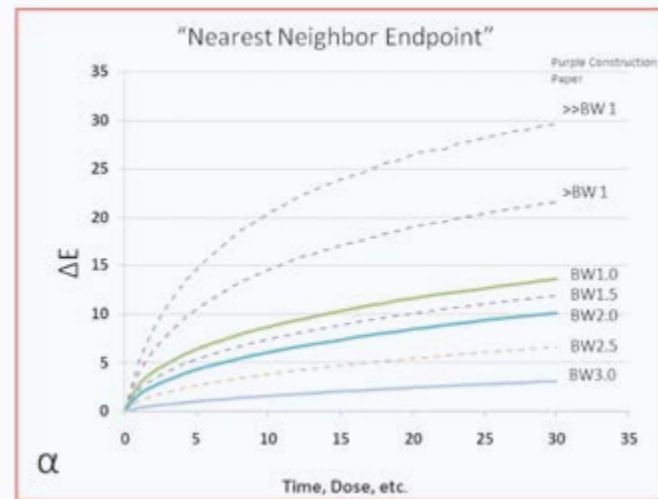


Obr. 8: Chemická struktura barviv použitých při výrobě standardů modré vlny – BW1-3. [23]

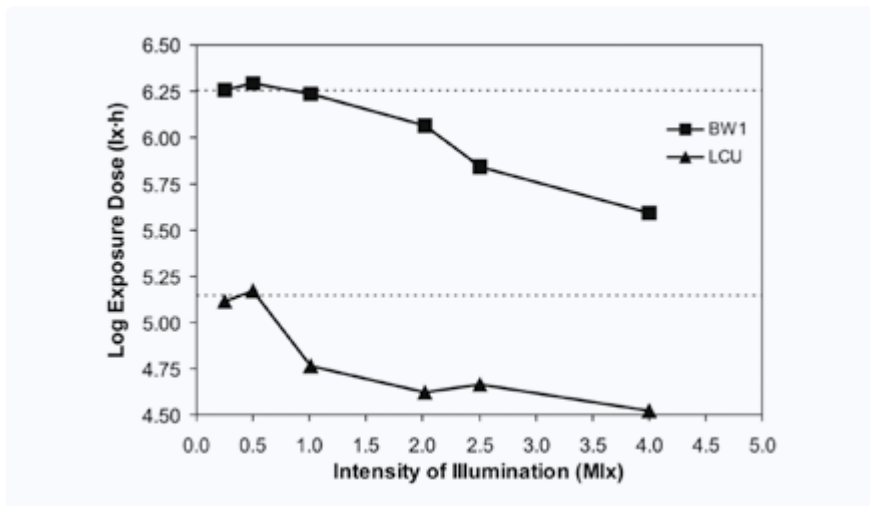
Blednutí standardů BW se však dá vyhodnocovat i vizuálně pouhým okem. [24] Materiály podobné světelné stabilitě jako BW1-3 se označují jako nestabilní či extrémně nestabilní (fugitive) [20], a proto se většinou zkoumané materiály srovnávají právě se standardy BW1-3, při zachování stejných experimentálních podmínek. Barviva použitá pro barvení standardů BW1-3 mají stejnou základní strukturu (viz Obr. 8), liší se jen substituenty (chromofory) [23]: BW1 obsahuje barvivo Color Index Acid Blue 104 (životnost ~300.000 lx·h [1]), BW2 barvivo Color Index Acid Blue 109 (životnost ~900.000 lx·h [1]) a BW3 barvivo Color Index Acid Blue 83 (životnost ~2 700.000 lx·h [1]).

Pro některé sbírkové předměty může být škála BW standardů nedostatečně členěná. Prostým výpočtem (lineární aproximací) z průměrných hodnot sousedních BW standardů tak lze stanovit i tzv. ekvivalenty BW standardů – BWE [8,26,28], které bývají vypočítány s přesností na jedno desetinné místo (viz Obr. 9), např. BW1,3 či BW2,5.

BW standardy jsou určeny pro relativně vysoké světelné dávky, které neodpovídají přesně podmínkám osvětlení v expozicích [35]. Pro kontrolu celkové světelné expozice světlocitlivých sbírkových předmětů při nižších světelných expozicích byly vyvinuty LightCheck® Ultra (LCU) dozimetry (viz Obr. 10). [24] Jsou tvořeny světlocitlivým barvivem/barvivy fixovanými v polymerní matici na papírové podložce – během expozice na světle přechází barevný odstín od modré do růžové, úměrně přijaté dávce záření. Po osvětlení je dozimetr porovnán s vizuální škálou a určí se finální přesný odstín odpovídající danému ekvivalentu expozice lx·h. [24]



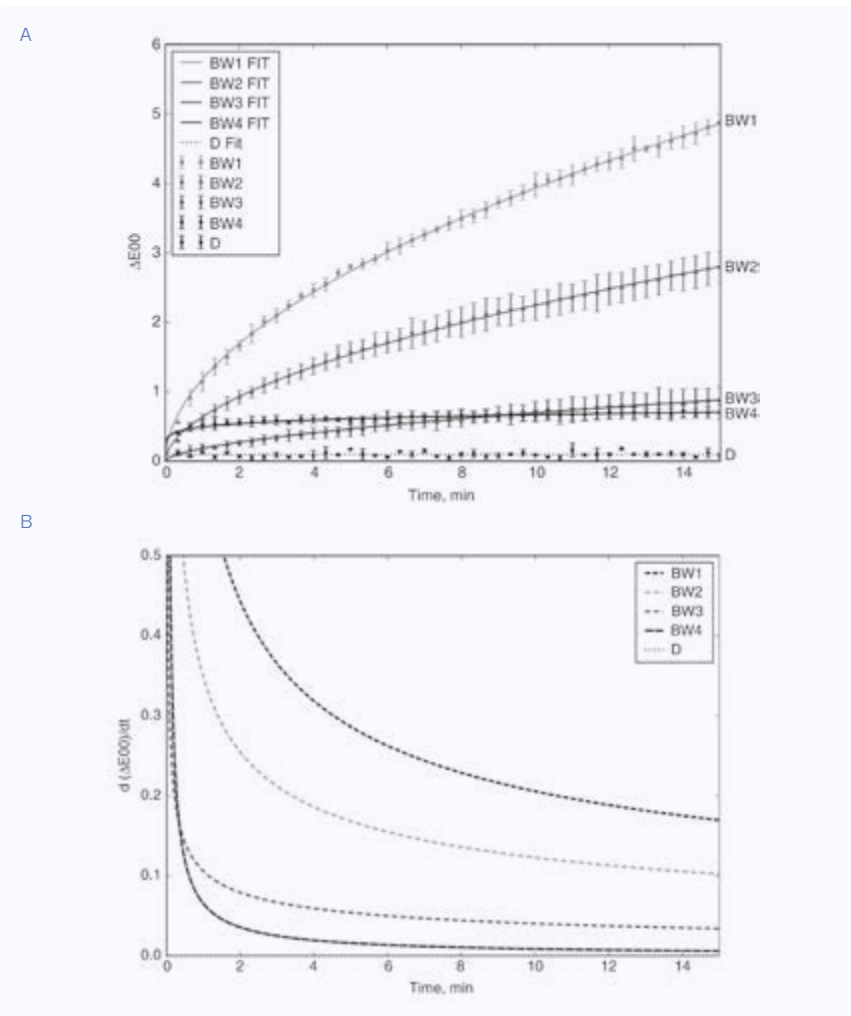
Obr. 9: Ukázka znázornění standardů BW1-3 a jejich vypočítaných ekvivalentů BWE (> BW1, BW1,5 a BW2,5). Křivka pro hodnotu >> BW1 byla změněna na nevybledlém růžovém papíru pro technické výkresy. [16] Celková barevná změna ΔE byla vypočítána dle rovnice (2).



Obr. 10: Srovnání standardů BW1 a LCU – dekadický logaritmus dávky v lx·h potřebný ke způsobení celkové barevné změny standardu BW1 a LCU o hodnotě $\Delta E = 5$ pro dané intenzity záření (Mlx). Tečkované linie znázorňují průměrnou hodnotu dávky, při níž je splněn zákon reciprocity. [24]

Pro porovnávání výsledných křivek ΔE s křivkami standardů BW je třeba zohlednit dva přístupy vyhodnocení [1]: buď vyhodnotíme podobnost křivky ΔE vzorku se standardem za ideálních laboratorních světelných a klimatických podmínek (míněno po 2–3 minutách měření – tedy nárůst ΔE po začátku měření) nebo za galerijních světelných podmínek [35] v komplexním pojetí (například po 15 minutách – tedy dlouhodobý nárůst ΔE , jehož průběh může sledovat různé typy křivek, viz Obr. 5). Přiřazení měřeného vzorku do jednotlivých kategorií citlivosti se pak bude lišit v závislosti na zvoleném vyhodnocení jednotlivých křivek: podle toho, zda je porovnáván celý průběh ΔE a jeho nárůst po začátku měření, nebo zda se porovnává až finální hodnota ΔE po ukončení měření (bez ohledu na průběh křivky vzorku a křivek standardů). Konsenzus je takový, že se poslední hodnota ΔE naměřená u reálného vzorku srovnává se standardy BW [28].

Alternativním způsobem porovnávání křivek ΔE analyzovaných materiálů a standardů BW je využití diferenciálního popisu [28] rychlosti ΔE (derivace ΔE v čase, tedy $d(\Delta E)/dt$), která zohledňuje i průběh změny ΔE v čase. Pro porovnávání se opět bere poslední hodnota ΔE , respektive její derivace (viz Obr. 11). Derivovaná křivka do jisté míry umožňuje ještě určitou extrapolaci průběhu změn i pro delší časový horizont.



Obr. 11: Srovnání vyhodnocení křivek ΔE standardů BW – (A) klasická metoda vyhodnocování konečných hodnot a (B) vyhodnocování derivací křivek ΔE , které zohledňují průběh časové změny ΔE (vyhodnocují se opět konečné hodnoty). [28] Pokud by analýza byla ukončena do 8 minut, v případě klasického vyhodnocení by byl standard BW4 vyhodnocen jako citlivější než standard BW3. Písmeno D označuje detekční limit (u derivovaných křivek odpovídá hodnotě ~ 0 a téměř splývá s časovou osou). Celková barevná změna ΔE je vypočítána dle rovnice (3).

6. Světlostálost fotografických materiálů

Světlostálost jednotlivých fotografických technik a samotných fotografií nelze předvídat, protože neznáme historii fotografií. Nevíme, jak kvalitně byly zpracovány, vyvolány, ustáleny, v jakých podmínkách byly vystavovány či skladovány, zda již byly vystaveny světelnému záření – všechny tyto faktory mají vliv na světelnou stabilitu fotomateriálů. Novodobé černobílé fotografie navíc obsahují i optické zjasňovače. V průběhu času v přítomnosti UV složky záření mohou být optické zjasňovače spotřebovány, fotografie pak žlutnou a obraz se rozpjí. [4,62] Stejně tak adjustace, ruční kolorování, krycí laky, tónování, signatury a další doplňky nejen barevných fotografií mohou jejich světlocitlivost zvýšit. Proto se k fotografiím přistupuje jako k velmi citlivým materiálům. Obecně se doporučuje jednotlivé fotografie vystavovat maximálně celkem 9 měsíců (3x po 3 měsíce za rok) při RH 45–50 % a s vyloučením infračerveného i ultrafialového záření [63]. Pro stanovení nevhodnějších výstavních podmínek fotografických materiálů je však i z finančního hlediska doporučováno provést individuální testy světlostálosti jednotlivých fotografií, např. pomocí microfademometru.

Výpočet přípustné výstavní doby fotografických materiálů závisí na světelné dávce a spektrálním rozložení energie světelného zdroje, tedy závisí na vlnové délce záření (reciproční zákon). Poškození stříbroželatinyových fotografických materiálů vlivem světla a UV záření během vystavení je možno shrnout do následujících bodů [3,5]:

1. Stříbro tvořící obraz, bez ohledu na morfologii částic, není přímo ovlivňováno světlem a UV zářením.
2. Produkty fotooxidační degradace některých organických složek fotografie mohou narušovat stříbro.
3. Zbytky halogenidů stříbra přítomné v nedokonale ustálených fotografiích mohou vlivem světla tmavnout.
4. Thiosírany a jiné komplexy stříbra, které zůstaly v nedokonale vypraných stříbrných fotografiích, mohou působením světla vyvolat vznik skvrn.
5. Stříbrné ionty vzniklé působením vlhkosti a oxidačních činidel, mohou být vlivem světla redukovány.
6. Produkty degradace polyethylenu RC-papírů vzniklé působením světla a UV záření mohou ovlivnit stříbro obrazu.
7. Organická barviva, tvořící barevný fotografický obraz nebo přítomná jako filtry či senzibilizátory, degradují v důsledku působení světla. To se týká i barviv papírové podložky některých albuminových fotografií, která jsou mimořádně citlivá.
8. Sloučeniny železa, které tvoří obrazy kyanotypie, mohou blednout vlivem světla. Toto blednutí je částečně reversibilní při uložení v temnu.
9. Proteiny jsou poškozovány vlivem světla a UV záření. Molekuly aminokyselin vaječného bílku jsou narušovány přetržením vazeb a fotooxidací. Želatina, která je méně citlivá než albumin, může po delší době osvětlení žloutnout a křehnout. To je nepravděpodobné v případě, že je vystavena osvětlení za běžných muzejních světelných podmínek.
10. Papír se vyběluje vlivem UV záření a ztrácí své mechanické vlastnosti. Papír, který obsahuje lignin, se může zbarvovat. Želatinová emulze absorbuje většinu energie UV záření a barytová vrstva papírové podložky odráží většinu dopadajícího světla.
11. Polyethylen používaný v počátcích na potažení RC-papírů podléhá degradaci UV zářením, katalyzované oxidem titaničitým krycí vrstvy papíru. Je pravděpodobné, že tento jev bude vážným problémem v budoucnu.
12. Monochromatické i barevné fotografie byly často kolorovány, zdůrazněny či doplněny malbami různými médii. Ty mohou představovat nejméně stabilní složky fotografie. Černá barva sama o sobě není zárukou, že malba bude trvanlivá. Barvivo může být složeno z několika málo stabilních složek.
13. Fotografové v třicátých a čtyřicátých letech pokrývali své fotografie vosky. Většina černobílých fotografií před rokem 1988 byla stabilizována lakem, jehož přesné složení znal pouze výrobce. Světelná stabilita laků používaných na fotografie není v literatuře o konzervaci fotografií dostatečně popsána.

Nejcitlivějšími fotografiemi jsou historické barevné fotografie, které obsahují nejen citlivou emulzní vrstvu, ale většinou i velmi světlocitlivá barviva a pojiva, často i krycí laky, které tyto

fotografie automaticky posouvají mezi vysoce citlivé materiály, jejichž vystavování se nedoporučuje. Mezi první barevné fotografie patří autochromy, které obsahují vedle stříbroželatinové emulze barvená škrobová zrna a často i terpenické nebo nitrocelulózoové laky. [14]

V případě kyanotypie, jejíž hlavní barvicí složkou je pruská modř, je třeba vědět, že pruská modř nespĺňuje předpoklad závislosti celkové barevné změny na absorbované světelné energii (zákon reciprocity) [4,34,55,56]. Průběh působení světla na kyanotypie proto nelze zcela předvídat, ale křivky jednotlivých ΔE kyanotypií je třeba občas proměřovat. Mechanismus blednutí pruské modře není zcela vysvětlen, jedná se však o redoxní reakce [4,55], během nichž dochází k redukci trojmocného železa Fe^{III} na železo dvojmocné Fe^{II} : $KFe^{III}[Fe^{II}(CN)_6] \rightarrow K_2Fe^{II}[Fe^{II}(CN)_6]$, a případně ke zpětné reakci (ve tmě za přístupu kyslíku a ve vhodných klimatických podmínkách).

Fotografické materiály lze rozdělit do čtyř skupin [63] – vysoce světlocitlivé materiály (měly by se vystavovat pouze jejich faksimile), velmi světlocitlivé materiály (maximální osvit 0,05 Mlx-h za rok a minimálně další 3 roky ve tmě), středně světlocitlivé materiály (maximální osvit 0,1 Mlx-h za rok a minimálně 2 roky ve tmě) a málo světlocitlivé materiály (celková dávka za rok by neměla překročit 0,3 Mlx-h a poté by měl následovat minimálně 1 rok ve tmě). Podrobnější přehled fotografických technik a jejich zařazení do čtyř skupin světlostálosti uvádí tabulka 4.

Tabulka 4: Klasifikace světlostálosti fotografických technik. [63]

vysoce světlocitlivé materiály	velmi světlocitlivé materiály	středně světlocitlivé materiály	málo světlocitlivé materiály
vystavovat pouze faksimile	0,05 Mlx-h za rok a min. 3 roky ve tmě	0,1 Mlx-h za rok a min. 2 roky ve tmě	0,3 Mlx-h za rok a min. 1 rok ve tmě
<ul style="list-style-type: none"> • autochromy a nejstarší barevné fotografie • experimentální techniky, případně fotografie ustálené halogenidy • stříbroželatinové kopie (ty se dají znovu vykopírovat) 	<ul style="list-style-type: none"> • nekvalitně provedené fotografie, architektonické plány a fotoreprodukce • kyanotypie • pigmentové tisky • woodburytypie (s citlivými pigmenty) • gumotisky (s citlivými pigmenty) • digitální tisky • fotografie na RC papíře • tónované fotografie • ručně kolorované fotografie • kolorované daguerrotypie • barevné fotografie (Polaroid, fotografie před rokem 1990) • albuminové papíry • slané papíry • barvený papír • fotografie provedené technikou Van Dyke Brown print • moderní inkousty (kuličková pera, fixy, růžové inkousty) 	<ul style="list-style-type: none"> • ambrotypie • ferrotypie • daguerrotypie (nekolorované) – náchylné spíše na poškrábání • přímo kopírující papíry kolodiové (printing-out-paperprints = POP)* • přímo kopírující papíry želatinové (printing-out-paperprints = POP)* • barevné fotografie a kopie (pro roce 1990) • většina inkoustů z manuskriptů • barevné fotografie (Ciba/Ilfochromy) 	<ul style="list-style-type: none"> • černobílé stříbroželatinové fotografie na papíře DOP (developing-out-process – tzv. vyvolávací papíry)* • uhlotisky (na kvalitním papíře, pigmenty jen uhlík či minerální – jinak kategorie velmi světlocitlivé) • gumotisky (obdoba jako uhlotisk) • fotomechanické tisky (kvalitní podložka, minerální pigmenty a dobré klimatické podmínky, jinak kategorie vysoce citlivé) • woodburytypie (kvalitní papír, minerální pigmenty a dobré klimatické podmínky, jinak kategorie velmi citlivé) • platinotypie (platina + palladium)

* Z hlediska světlostálosti je třeba rozlišit černobílé papíry POP (printing-out-paperprints – tzv. přímo kopírující papíry) a DOP (developing-out-process – tzv. vyvolávací papíry) – ty jsou mnohem stálejší, stříbro není uloženo v částicích (jako u papírů POP) ale ve svazcích. Všechny papíry POP jsou tedy víc citlivé na světlo než stříbroželatinové černobílé fotografie DOP.

7. Odhad životnosti

Pro výpočet životnosti fotografie může být využita funkce popisující závislost systému dávka-odezva [64–67], zahrnující nejen míru osvitů, ale i klimatické podmínky uložení či vystavení:

Rovnice (4)

$$\ln\left(\frac{\Delta E_{RGB}}{t}\right) = 32 + 0,0002(AA) + 0,01(RH) - 11\left(\frac{1000}{T}\right)$$

kde AA je koncentrace kyseliny octové v ppb, RH relativní vlhkost v % a T je teplota v K.

Rovnice výpočtu celkové barevné změny [64] v čase t (v letech) v jednotkách RGB má v podstatě tvar ΔE z roku 1976:

Rovnice (5)

$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{\left(1 - \frac{R_t}{R_0}\right)^2 + \left(1 - \frac{G_t}{G_0}\right)^2 + \left(1 - \frac{B_t}{B_0}\right)^2}$$

RGB charakterizuje barevný prostor, jehož koordináty odpovídají modrozelené (cyan), žluté (yellow) a tmavě purpurové (magenta), kterými jsou nejčastěji charakterizovány barevné fotografie. Při určování konce životnosti je potřeba nejprve najít nejhodnotnější/nejzajímavější parametr/hodnotu dané barevné fotografie [68] (obecně jde o dokumentační hodnotu,

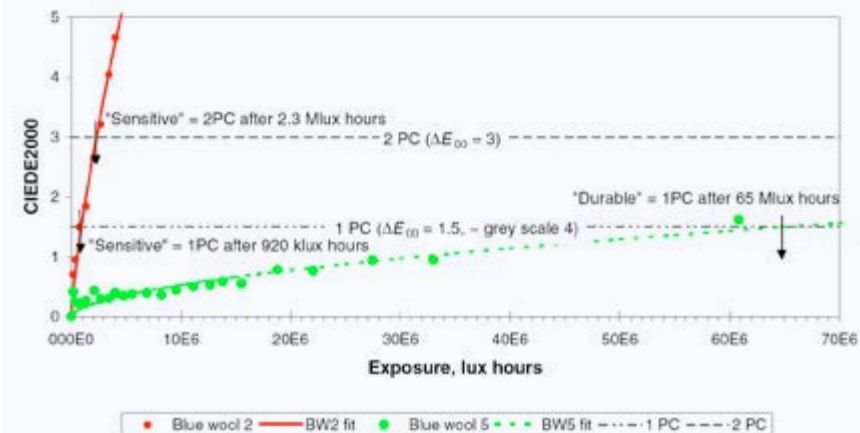
tedy o zachování sdělené informace – např. technologie, autor, místo výroby, antropologický význam, etnografický význam atd.) a pak určit příhodný způsob vyhodnocení již nepříjemné změny barevné fotografie s ohledem na tu nejzajímavější hodnotu, čili určit jaká barevná změna je již považována za „konec“ životnosti barevné fotografie. Tato hodnota se označuje jako JND – just noticeable difference či JNF – just noticeable fading. [1,2,4,6,18,25,64] Je definována jako celková barevná změna (ΔE), která je již patrná lidským okem a odpovídá jednotkovému kroku na stupnici GS (grey scale) – tedy změna z hodnoty GS5 na hodnotu GS4; respektive $\Delta E \sim 1,5-2$ [6,26,69], nejčastěji $\Delta E = 1,5$, v závislosti na použitém záření [25] a na použité rovnici pro výpočet ΔE . Pro výpočet životnosti se poté příslušná hodnota JNF dosadí za hodnotu ΔE_{RGB} a z rovnice funkce dávka-odezva, rovnice (4) a (5), se vypočítá doba životnosti t (v letech). Předpokládaná životnost některých barevných materiálů je shrnuta do tabulky 5.

Určení životnosti světlocitlivých materiálů může být ovšem vyjádřeno i pomocí jednotky PC [4,6] (perceptible change – procentuální změna rychlosti blednutí), která udává maximální světelnou dávku (lx-h) pro dožití stanovené doby (1 PC odpovídá $\Delta E = 1,5$ a představuje 1% rychlost blednutí během 50 let). Doporučená „životnost“ předmětu je pak 10 PC. [6] Ukázka stanovení maximální dávky pro BW2 a BW5 pro hodnoty 1 PC = 50 let a 2 PC = 100 let je znázorněna na Obr. 12.

Další možností kvalifikované predikce životnosti fotografií (i fotonegativů) je hodnota, označovaná jako „cena za vytvoření kopie“ [69], která udává potenciální poškození fotografie během kopírování. Její hodnota představuje výpočet násobků hodnoty JND způsobené kopírováním (je přímo úměrná celkové světelné dávce a nepřímo úměrná světelné citlivosti daného fotonegativu) [69]. Její reciproká hodnota pak udává maximální počet kopírování, během nichž nedojde k viditelným změnám fotografie. Například skenování CCD kamerou by fotografií ustálenou halogenidy vystavilo celkové dávce cca 1800 klx-s, přičemž prahová citlivost této fotografické techniky je cca 600 klx-s [69]. „Cena“ kopie by tak byla $1800/600 = 3$ JND (čili trojnásobek právě postřehnutelné změny), což je nežádoucí, a tudíž kopírování této fotografické techniky je nepříjemné. Tento výpočet lze samozřejmě aplikovat i na světelné dávky záření způsobené bleskem fotoaparátu. Hodnoty této dávky se však budou lišit v závislosti na intenzitě, použité cloně a dalším nastavení snímání fotoaparátem s bleskem. [69]

Za samozřejmost by měla být brána skutečnost, že fotografie se nesmějí kopírovat na běžných kopířkách [4].

Není-li možné světlostalost materiálu experimentálně určit, k alespoň orientačnímu určení hodnoty JNF lze využít virtuální vizuální simulaci [13,26,64,70]. Digitalizovaný snímek studovaného předmětu lze v některém z grafických softwarů upravit (změnit jeho hodnoty



Obr. 12: Ukázka stanovení maximální dávky v lx-h pro standardy modré vlny BW2 a BW5 při hodnotách $\Delta E = 1,5$ (1 PC – odpovídá 50 let stárnutí) a $\Delta E = 3$ (2 PC – odpovídá 100 let stárnutí). Maximální světelná dávka je dána hodnotou, při které křivky BWS protnou danou hladinu PC. Celková barevná změna ΔE je vypočítaná dle rovnice (3). [6]

RGB) a vizuálně vyhodnotit [64,68], která barevná změna je již nepřijatelná (existuje pro její určení i norma ISO 20462-2:2005 Photography – Psychophysical experimental methods for estimating image quality – Part 2: Triplet comparison method). Pro vizualizaci simulace [13,26,64,70] je ovšem potřeba převést hodnoty L^* , a^* , b^* na hodnoty RGB a v některém grafickém softwaru pak fotografii zkoumaného předmětu do těchto hodnot RGB převést.

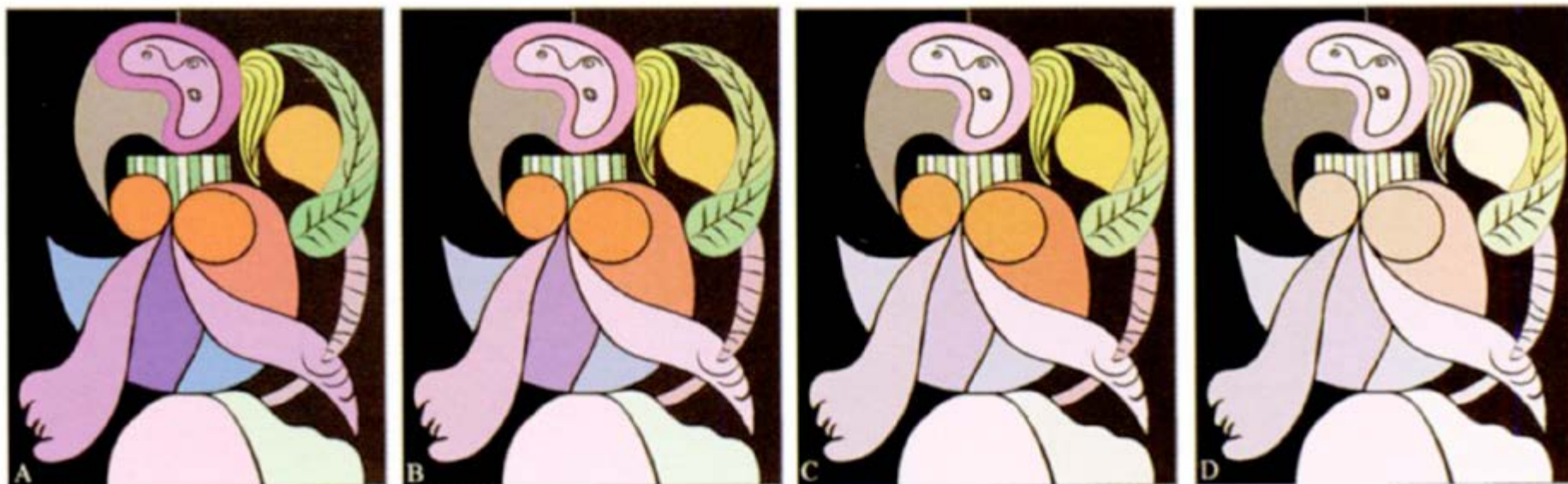
Pohodlnější je však použití webového kalkulátoru poškození světlem – LDC (light damage calculator), který vyvinul Canadian Conservation Institute (<https://app.pch.gc.ca/application/cdlHdc/description-about.app?lang=en>) [2,26]. Obsahuje tři přístupy výpočtu blednutí – blednutí jednoho barviva (jeden pigment při daných podmínkách osvit, uvádějí se i přibližné hodnoty ΔE), blednutí jednoho barviva pro tři různé expoziční scénáře (tři typy urychleného stárnutí) a blednutí sbírky barevných předmětů (například textilní nebo akvarelová sbírka, nebo soubor barev u konkrétního typu předmětu, například tři barvy pro daný typ barevné fotografie). Pomocí kalkulátoru, a známých dat světlostalosti jednotlivých barviv [4], tak lze simulovat původní barevnost předmětu nebo naopak jeho blednutí. Jednoduchá simulace pak umožňuje vybrat na zkoumaném předmětu nejcitlivější místa a nastavit jejich parametry osvětlení k zajištění preventivní ochrany. Ukázka vizualizace virtuální simulace barevných změn obrazu je uvedena na Obr. 13.

Tabulka 5: Světlostlivosť barevných materiálů a předpokládaná doba životnosti (doba potřebná k jejich vyblednutí). [2]

nejsoú citlivé*		málo citlivé*	středně citlivé*	vysoce citlivé*
Materiály, které světlem neblednou.		Materiály odpovídající ISO Blue Wool 7 a 8 (a vyšší)	Materiály odpovídající ISO Blue Wool 4, 5 a 6	Materiály odpovídající ISO Blue Wool 1, 2 a 3
<ul style="list-style-type: none"> většina minerálních pigmentů pigmenty z pravých fresek (stabilní v alkalickém prostředí) skleněné či keramické smalty většina monochromatických tisků a grafik na papíře (grafit) – bledne však papír či přídavná barviva většina vysoce kvalitních moderních pigmentů pro venkovní použití a automobilový průmysl 		<ul style="list-style-type: none"> umělecké barvy klasifikace „permanentní“ (směs permanentních a málo světlostlivých barviv) – např. ASTM D4303 kategorie I; Winsor and Newton AA barviva získaná z hmyzu (při odfiltrovaném UV záření) některá rostlinná barviva (indigo na vlně) stříbroželatinové černobílé fotografie (vyjma RC papírů) při vyloučení UV záření řada vysoce kvalitních moderních pigmentů pro venkovní použití a automobilový průmysl rumělka (světlem může černat) 	<ul style="list-style-type: none"> alizarinová barviva a laky některá rostlinná barviva – např. mořenová (obsahuje alizarin), citlivost se liší dle koncentrace, použité podložky a mořidla barviva kožešin a peří většina barevných fotografií (v názvu „chrome“ – např. Cibachrome, Kodachrome ...) 	<ul style="list-style-type: none"> většina rostlinných barviv, především žlutě, oranž, zeleně, modře, řada červení a odstíny růžové barviva získaná z hmyzu – laka a košenila (karmin) většina prvních syntetických barviv – anilínové barvy některá levná syntetická barviva barviva většiny fixů (včetně černých) většina červených a modrých inkoustů kuličkových per většina barviv pro tónování papíru (z 20. století) většina barevných fotografií s colour (resp. color) v názvu – např. Kodacolour, Fujicolour ...
světelné podmínky	míra blednutí	doba do vyblednutí**		
50 lux	JNF	300–7 000 let	20–700 let	1,5–20 let
	téměř úplné vyblednutí	10 000–200 000 let	700–20 000 let	50–600 let
150 lux	JNF	100–2 000 let	7–200 let	6 měsíců – 7 let
	téměř úplné vyblednutí	3 000–70 000 let	200–7 000 let	15–200 let
500 lux (kancelář)	JNF	30–700 let	2–70 let	1,5 měsíce – 2 roky
	téměř úplné vyblednutí	1 000–20 000 let	70–2 000 let	5–60 let
5 000 lux (okno či lampička)	JNF	3–70 let	2 měsíce – 7 let	5 dní – 2 měsíce
	téměř úplné vyblednutí	100–2 000 let	7–200 let	6 měsíců – 6 let
30 000 lux (denní světlo)	JNF	6 měsíců – 10 let	2 týdny – 1 rok	1 den – 2 týdny
	téměř úplné vyblednutí	20–300 let	1–30 let	1 měsíc – 1 rok

* Barevnost se může také měnit stárnutím či vystavením polutantům.

** Každý den expozice je počítán pro 8 hodin, 3 000 hodin za rok. Doba blednutí pro JNF je stanovena z průměrné světelné dávky pro příslušné ISO Blue Wool standardy (viz tabulka 3). Doba téměř úplného vyblednutí je tradičně stanovena jako třicetinasobek JNF, ačkoliv obvykle se rychlost blednutí s časem snižuje, proto pro většinu barev (pigmentů a barviv) lze úplné vyblednutí odhadnout na stonásobek JNF.



Obr. 13: Vizualizace virtuální simulace blednutí uměleckého díla „Žena s kyticí“, použitá pro stanovení životnosti předmětu (konec vystavovatelnosti předmětu). Světelné dávky jsou (A) 0 Mlx-h, (B) 1,8 Mlx-h, (C) 8,4 Mlx-h a (D) 229 Mlx-h. [13]

8. Postup měření

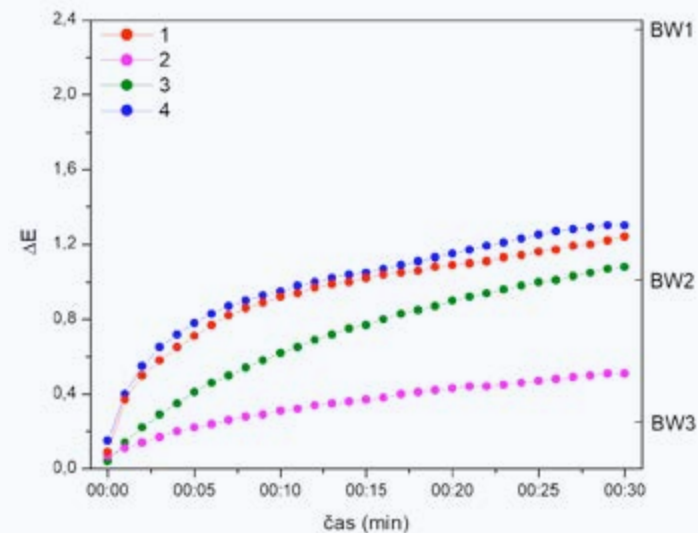
Každý vzorek musí být měřen v několika místech, a pokud obsahuje různě barevná místa, ideálně by měly být změřeny všechny barvy nebo barva nejcitlivější. Výsledné křivky ΔE se srovnávají se standardy Blue Wool Standards (standardy modré vlny) měřených za stejných podmínek.

Pro každý microfideometr je potřeba nejprve najít optimální podmínky měření a při těchto optimálních podmínkách proměřit křivky standardů modré vlny alespoň pro první tři, tedy BW1-BW3 (každý standard změřit alespoň třikrát a průměrné hodnoty vynést do grafu závislosti celkové barevné změny ΔE na čase). Obsahuje-li soubor měřených předmětů materiály vůči světlu málo citlivé či odolné, je vhodné proměřit křivky i pro standardy BW4-BW8. Podle průběhu těchto křivek se nastavuje optimální doba snímání jednoho scanu (snímání reflexního spektra). Cílem nastavení je zajistit, aby byly jednotlivé křivky od sebe dostatečně vzdáleny. Je-li k dispozici zdroj záření o proměnlivé intenzitě záření, nastavuje se i on.

Před samotným měřením neznámého vzorku je opět potřeba proměřit křivky standardů – alespoň BW1-BW3 a neznámý vzorek změřit za stejných podmínek jako standardy. Získanou křivku neznámého vzorku pak přiřadíme k příslušnému standardu modré vlny, například daný vzorek je méně světlocitlivý než standard BW1, nebo světlostálost vzorku se pohybuje mezi standardy BW2 a BW3 a podobně. Podle vybrané tabulky klasifikace světlostálosti materiálu lze pak jednotlivé měřené materiály klasifikovat a vyčíst příslušné povolené bezpečné hodnoty osvětlení, a z nich odvodit intenzitu záření a dobu expozice. Doporučené hodnoty jsou specifikovány jak pro vystavení sbírkového předmětu v expozici, tak i pro jeho dlouhodobé uložení. Jelikož fotografické materiály jsou již ze své podstaty na světlo velmi citlivé, vztahují se na ně nejpřísnější limity povoleného osvětlení.

V případě určování světlostálosti historických fotografií je potřeba brát v úvahu řadu specifík – u černobílých fotografií jsou světelně nejstálejší nejtmaší odstíny šedi, tedy místa s nejvyšším zastoupením iontů kovu tvořícího obraz, nejčastěji stříbrných iontů. Není však vhodné proměřovat světlostálost fotografie v místech se stříbrnými zrcátky. Během měření dochází k zesílenému odrazu světelného záření od “kovové” vrstvy, a tedy i k zesílení signálů reflexních spekter, které mohou zkreslovat výslednou křivku celkové barevné změny. Naopak je vhodné proměřovat světlejší a střední tóny šedi, které jsou vůči osvětlení citlivější. U barevných fotografií jsou naopak světelně nejcitlivější barevná místa (viz tabulka 4), a to opět střední a světlé tonality. Jejich světlostálost se však liší již díky rozdílným výrobním procesům samotných barevných fotografických papírů/nosičů (např. od firmy Kodak, Agfa, Cibachrom ...) [71,72]. Například u barevných diapozitivů od firmy Kodak jsou nejméně světlostálé odstíny červené. Obdobně u kolorovaných fotografií bývají nejcitlivější samotná použitá barviva. Osvícením méně ohrožené mohou být barevné fotografie, které jsou například opatřeny ochranným sklem či alespoň lakem. Jelikož měřená plocha je v případě použití microfademometru velmi malá, lze tak na fotografii proměřit řadu míst o různé tonalitě, aniž by došlo k poškození fotografie. V případě velmi světlocitlivých částí fotografie lze měření přerušit při dosažení celkové barevné změny ΔE blízké se hodnotě JNF (např. $\Delta E \sim 1,5$ či $\Delta E \sim 2$).

Jako příklad pro stanovení maximální světelné expozice byla vybrána historická černobílá fotografie – albuminotypie – portrét ženy (Obr. 14 vlevo). Jedná se o profesionální snímek z druhé poloviny 19. století. Měření světlostálosti fotografie probíhalo za stejných podmínek jako měření BWS (doba měření 30 min, integrační čas jednoho spektra 5 ms, 30 scanů, rychlost odečítání dat 5000 ms = 12x za 1 min, celková barevná změna ΔE vypočítána dle rovnice (1)). Měřená místa (vyznačena na fotografii, viz Obr. 14 vlevo) odpovídala různým odstínům šedi a byla vždy proměřena 3x. Jednalo se především o střední tóny šedi. Výsledné průměrné křivky celkové barevné změny ΔE daného odstínu (Obr. 14 nahoře) byly porovnány s hodnotami BWS (průměr z 10 měření), měřeními za stejných podmínek po dobu 30 min. Hodnota BW1 odpovídala celkové barevné změně $\Delta E = 2,35 (\pm 0,40)$, pro BW2 $\Delta E = 1,01 (\pm 0,34)$ a pro BW3 $\Delta E = 0,25 (\pm 0,09)$. Celková barevná změna v bodě č. 1 dosáhla hodnoty $\Delta E = 1,24 (\pm 0,80)$ a odpovídá tak světlostálosti BW1-2, obdobně jako bod č. 4, jehož $\Delta E = 1,30 (\pm 0,51)$. V případě středních odstínů pozadí u hlavy a pozadí mimo ovál (body č. 2 a 3) byla světlocitlivost nižší, v bodě č. 3 celková barevná změna $\Delta E = 1,08 (\pm 0,17)$ odpovídá BW2 a v bodě č. 2 odpovídá hodnotám BW2-3 s celkovou barevnou změnou $\Delta E = 0,51 (\pm 0,33)$. Nejvyšší světlocitlivost byla tedy nalezena v bodě č. 4 (stuha mašle) a podle ní by měla být určena i maximální světelná expozice celé fotografie. Fotografie tak spadá mezi velmi citlivé fotografie (BW1-2) a její maximální světelná dávka by neměla překročit 0,4-1,3 Mlx-h (viz tabulka 2) a vystavována by měla být při osvětlení maximálně 0,05 Mlx-h za rok (s vyloučeným UV zářením) a poté by měla být minimálně na 3 roky uložena ve tmě (viz tabulka 4). V praxi to znamená, že by ideálně měla být vystavena při osvětlení 50 lx, což při 8 hodinové otevírací době odpovídá vystavení po dobu 125 dní.



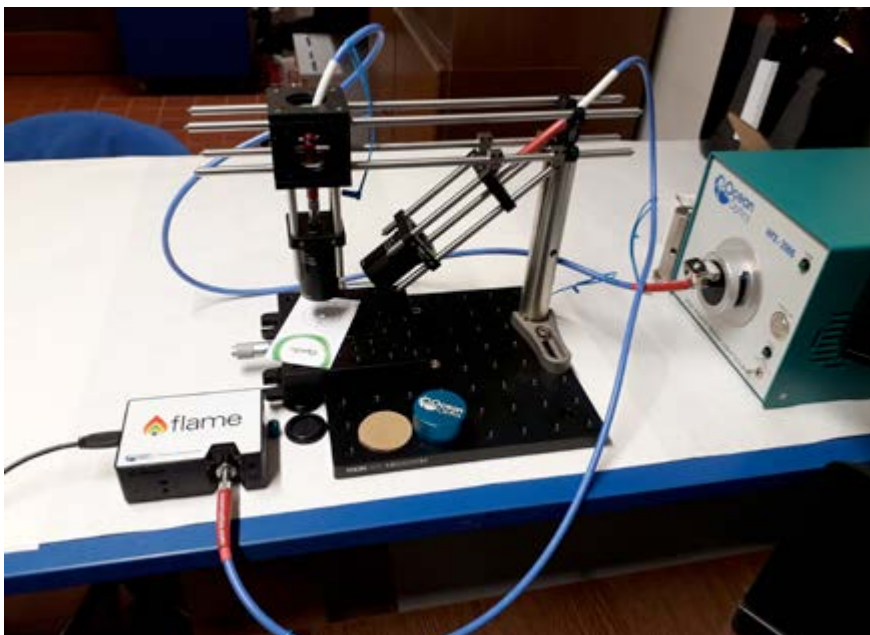
Obr. 14: Ukázka – vyhodnocení světlostálosti historické fotografie (albuminotypie). Vlevo – fotografie s vyznačenými místy měření, nahoře – křivky celkové barevné změny ΔE , porovnané s naměřenými hodnotami standardů modré vlny BW1-3 (v čase 30 min). Celková barevná změna ΔE je vypočítána dle rovnice (1).

9. Měření na microfadeometru v laboratoři NTM

Laboratoř NTM je vybavena microfadeometrem (Obr. 15), vyrobeným na zakázku firmou Optixs (www.optixs.cz). Přístroj sestává z xenonové lampy, spektrofotometru měřícího v odrazu, z optických vláken a konstrukce s pozorovacím a osvětlovacím ramenem na kovovém podstavci. Součástí sestavy je i standard reflektivity (OceanOptics), podle kterého se kalibruje spektrofotometr na bílou barvu (tedy na 100% odraz).

Na kovové podstavě desce (Thorlabs MB2020/M) je upevněn pilíř, na kterém jsou zavěšena dvě ramena – osvětlovací rameno a rameno pozorovací (Thorlabs CP02/M). Na jejich koncích jsou uchyceny objektivy propouštějící světlo v rozsahu vlnových délek 400–700 nm. Objektiv na konci osvětlovacího ramene má vzdálenost 30 mm a je zavěšen kolmo k podložce (0°). Rameno pozorovací je zavěšeno pod úhlem 45° a na jejím konci je objektiv s vzdáleností 75 mm. Oba objektivy jsou tak namířeny a fokusovány do téhož bodu na povrchu posuvného stolku, který je uchycen na kovovém podstavci pod osvětlovacím ramenem. Posun stolku v osách x a y umožňují mikrometrické šrouby. Z objektivu v osvětlovacím rameni vede optické vlákno (QP-400-1-VIS-NIR, OceanOptics), které je připojeno ke xenonové lampě (HPX-2000, OceanOptics) s výkonem 50 W emitující záření v rozsahu vlnových délek 185–2000 nm. Xenonová lampa se nahřívá cca 30 minut a je opatřena spínačem, který světelnému paprsku vkládá do cesty neprostupnou clonu. Lampa tak může být v provozu nahřívána po celý den, ale pokud samotné měření neprobíhá, je světelný paprsek zcloněn.

Z objektivu na konci pozorovacího ramene vede druhé optické vlákno, které je připojeno k malému spektrofotometru FLAME-S-VIS-NIR-ES (OceanOptics), který simultánně proměřuje reflexní spektra ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra. Spektrofotometr je dále USB kabelem připojen k počítači s nainstalovaným softwarem OceanView, který získaná spektra zaznamenává. Počítačem je řízen celý přístroj; to znamená, že lze nastavovat dobu měření a vybírat výstupní data, která se ze získaných spekter vypočítávají.



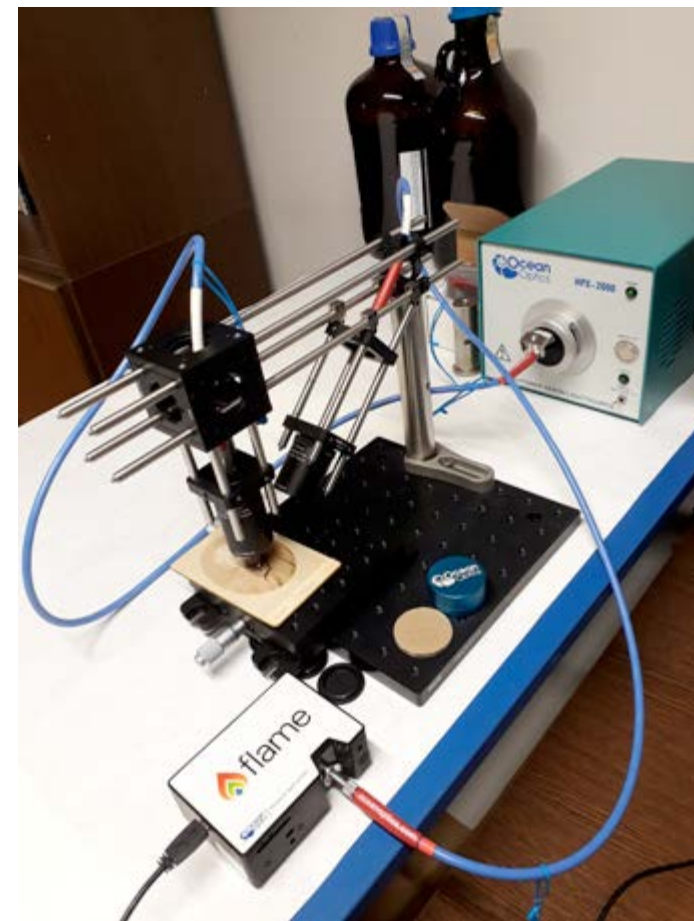
Obr. 15: Microfadeometr v laboratoři NTM.

Postup měření:

Měření probíhá v několika krocích:

- I. sestavení a zapojení microfadeometru (viz body 1–5)
- II. spuštění příslušné metody měření (viz body A–B)
 1. nastavení podmínek:
 - a) kalibrace přístroje na aktuální světelné podmínky (viz body C–D)
 - b) kalibrace spektrometru na bílou barvu (viz bod E)
 - c) nastavení podmínek měření a ukládání dat (viz body F_i–iv)
 2. měření světlostálosti standardu BWS (viz body F_v–vi)
 - kalibrace na bílou (viz bod E)
 - nastavení podmínek měření a ukládání dat (viz body F_i–iv)
 3. měření vzorku (viz body F_v–vii)
- III. vyhodnocení dat (viz bod G)

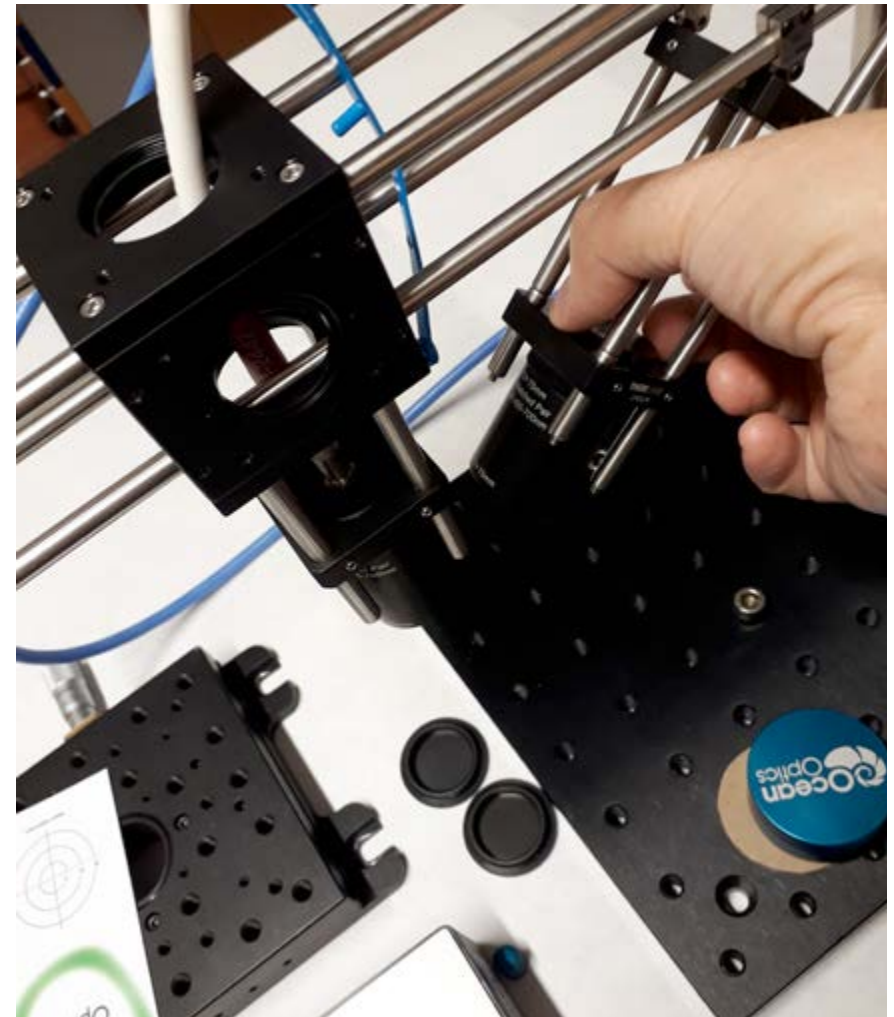
- 1) Měření by mělo probíhat ideálně v místnosti se stabilními světelnými podmínkami. Jelikož jednotlivá měření trvají řádově desítky minut, není vhodné, aby během měření docházelo v místnosti k výrazným světelným změnám, které by pak mohly významně ovlivnit křivku světlocitlivosti měřeného vzorku. Proto doporučujeme přístroj umístit mimo přímé denní světlo a všechna měření provádět ve světelně stabilním prostředí – buď ve tmě, nebo naopak při stabilním umělém osvětlení (se zapnutými zářivkami).



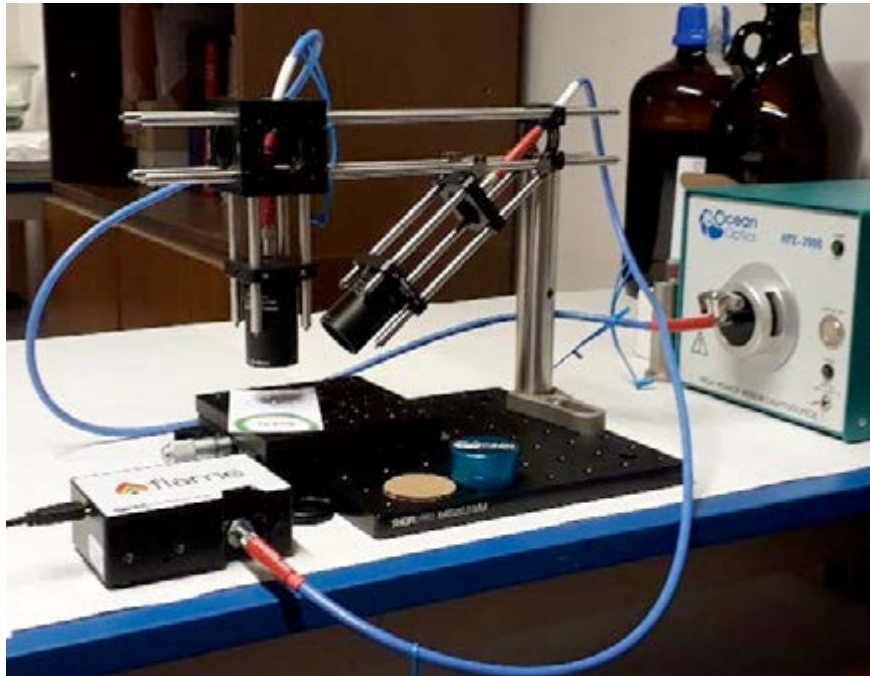
2) Napájecím kabelem připojit xenonovou lampu k elektrické síti, v zadní části lampy sepnout přepínač do polohy zapnuto, v přední části lampy zapnout nahřívání lampy tlačítkem LAMP ON-OFF a nechat cca 30 minut lampu nahřát.



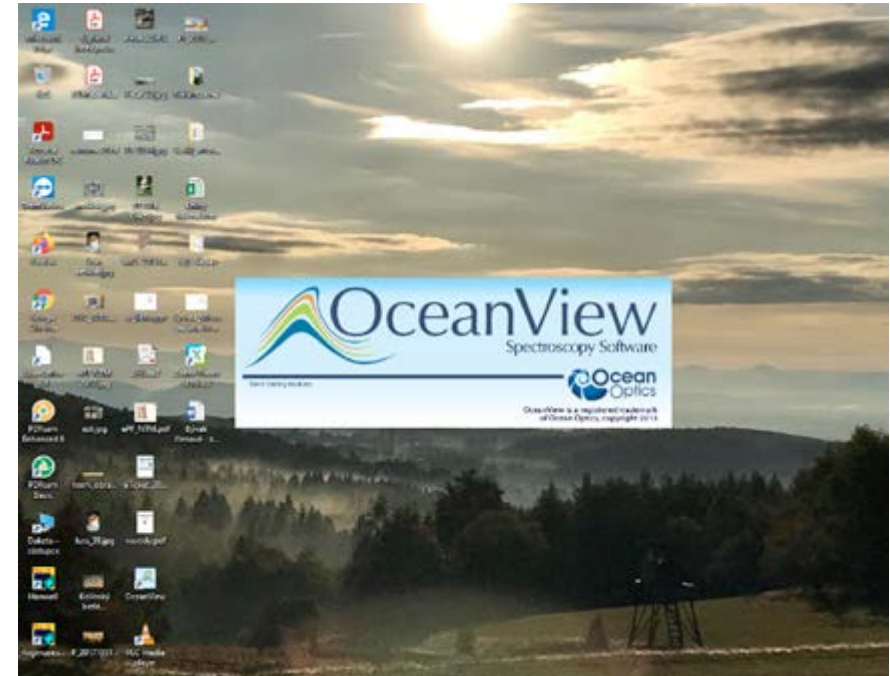
3) Sundat ochranné krytky na objektivěch v osvětlovacím i pozorovacím rameni (pozor, objektiv na pozorovacím rameni má krytky na obou koncích objektivu).



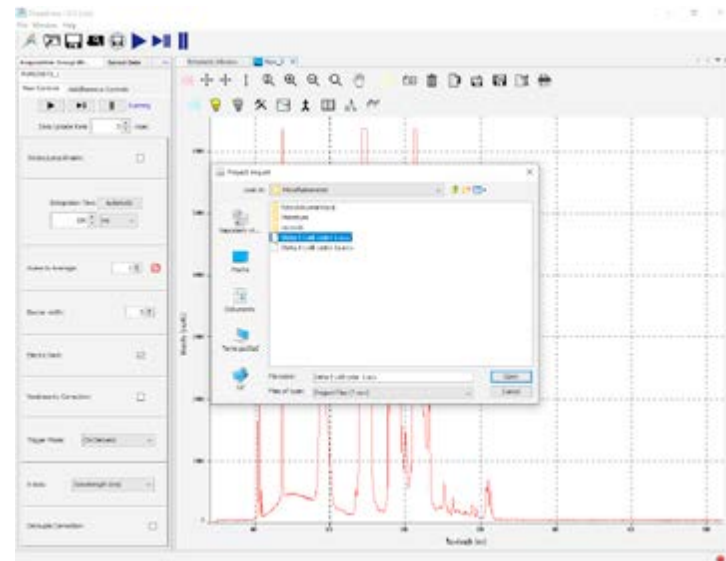
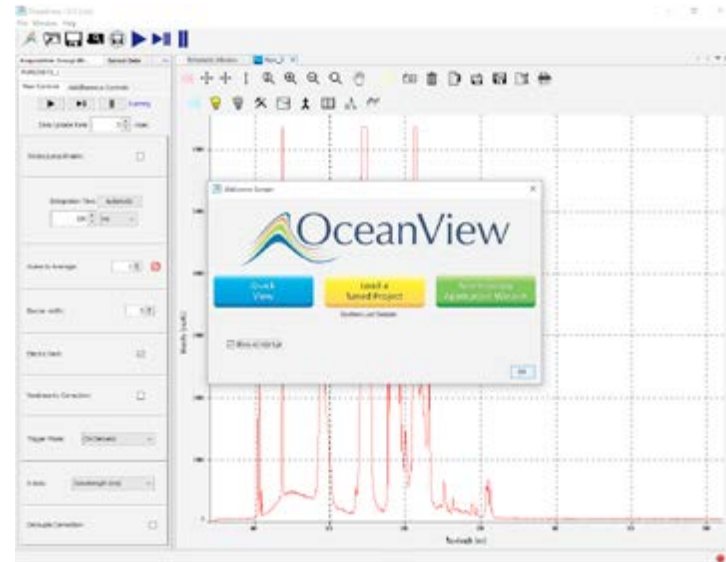
4) Propojit optická vlákna s xenonovou lampou (optické vlákno spojuje Xe lampu a objektiv v osvětlovacím rameni, kolmo na podložní desku) a spektrofotometrem (optické vlákno spojuje spektrofotometr a objektiv na pozorovacím rameni, pod úhlem 45°).



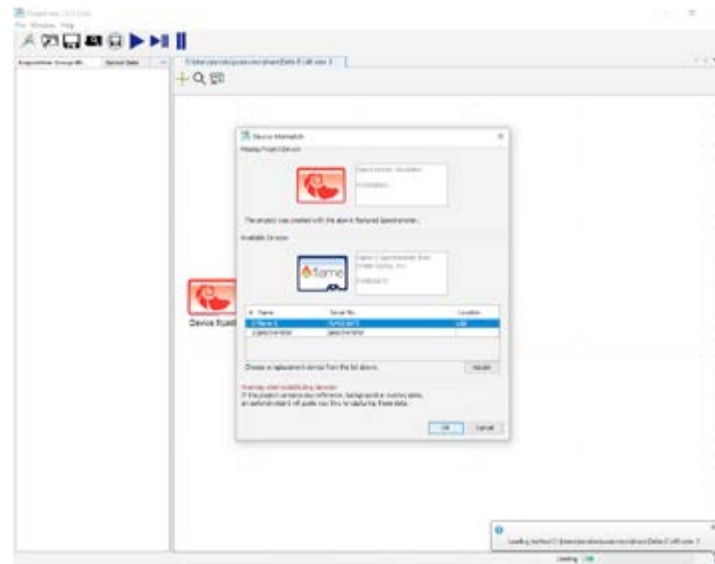
5) Spektrofotometr připojit k počítači, na němž již je nainstalován software OceanView (software musí být nainstalován ještě před prvním připojením spektrofotometru) a software OceanView spustit.



- A. V uvítacím okně vybrat možnost Spectroscopy Application Wizards pro přípravu vlastní měřicí metody či možnost Load a Saved Project a načíst již existující metodu. V našem případě načíst metodu Delta E LAB color3.ocv, která z reflexních spekter vypočítává celkovou barevnou změnu ΔE dle rovnice (1) oproti standardnímu spektru, v tomto případě oproti spektru vzorku získanému na začátku měření.

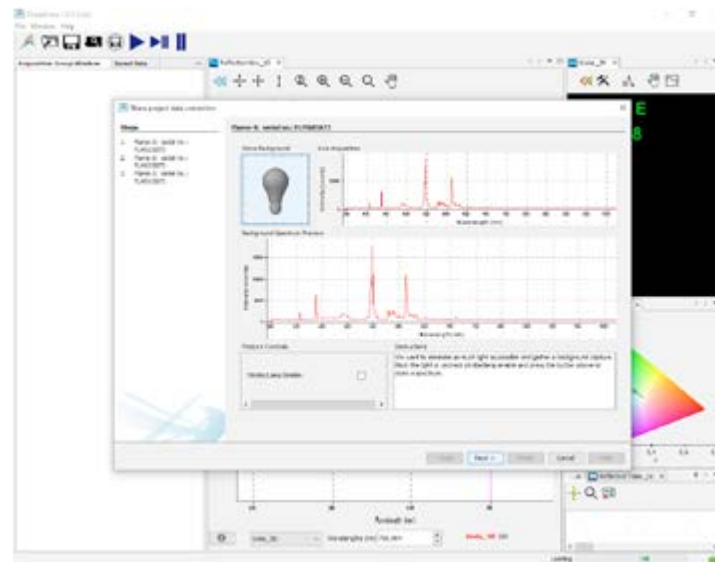


B. Zobrazí se okno Device Mismatch, ve kterém je nutno vybrat z nabízeného seznamu požadovaný spektrofotometr – v našem případě kliknout levou myší na řádek s názvem spektrometr Flame-S a volbu potvrdit vpravo dole tlačítkem OK.

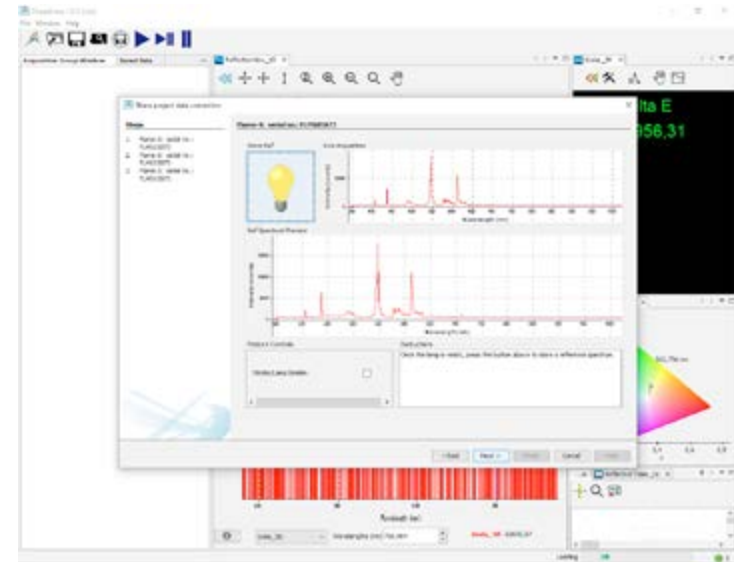


C. Zobrazí se okno Share project data correction, ve kterém se provádějí korekce aktuálních světelných podmínek v místnosti:

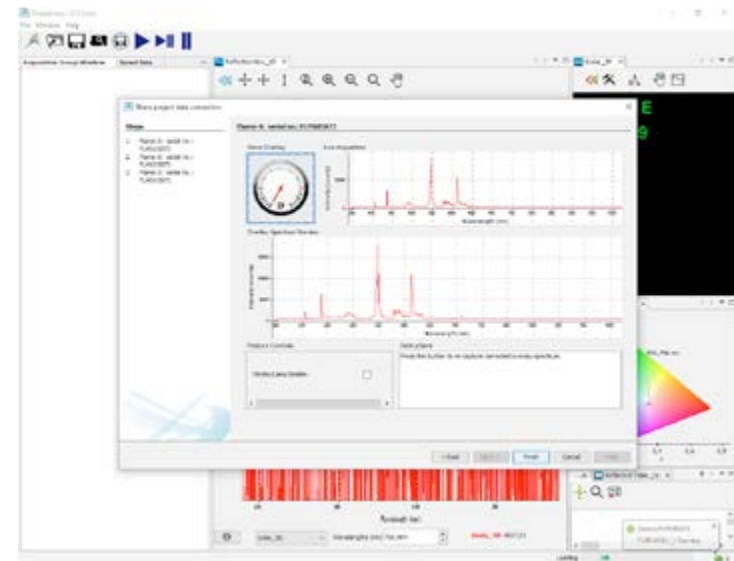
i. Nejprve se nastavují světelné podmínky z okolí, tedy bez posuvného stolku (stolek vyjmeme zcela mimo podložní desku) s vypnutou Xe lampou (respektive s předehřátou Xe lampou, ale se spínačem v pozici CLOSE) a levou myší klikneme na obrázek šedé žárovky. Vpravo dole pak klikneme opět levou myší na tlačítko Next>.



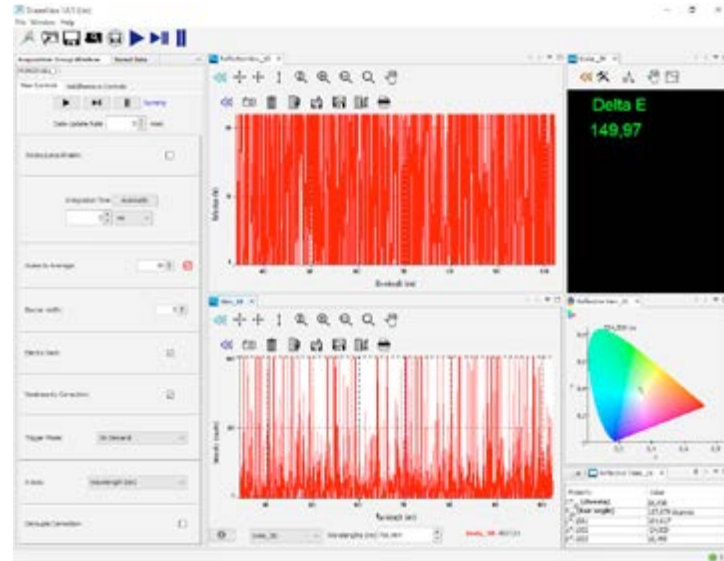
ii. Poté nastavíme spínač na Xe lampě do pozice OPEN a korelujeme tak světelnost okolí při zapnuté lampě (stále bez posuvného stolku), levou myší klikneme na obrázek se žlutou žárovkou a opět pokračujeme stisknutím tlačítka Next> vpravo na dolní liště.



iii. Světelnost okolí při spuštění paprsku z Xe lampy zopakujeme ještě jednou (stále bez posuvného stolku, stejně jako v bodu ii.) kliknutím levou myší na obrázek tachometru a dokončením nastavení pomocí tlačítka Finish vpravo na dolní liště.

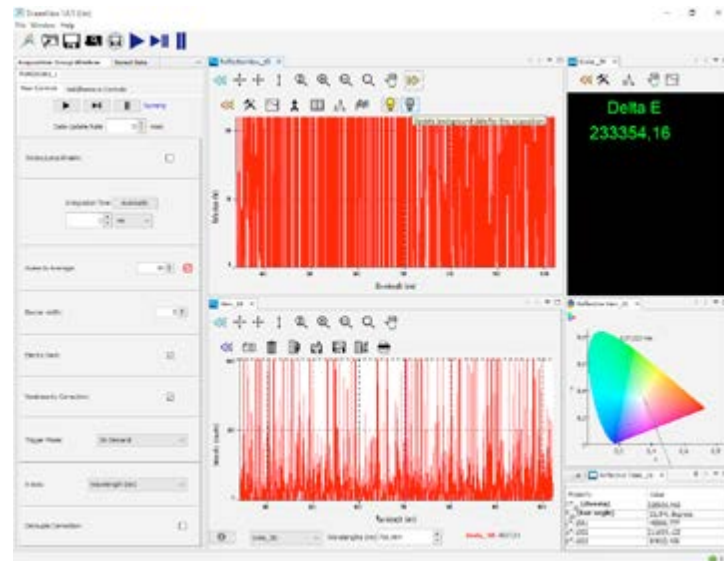


D. Zobrazí se již celá pracovní plocha, která obsahuje vlevo sloupec Main Controls, uprostřed dvě okna – horní Reflectionview_15 zobrazuje aktuální snímaná spektra, dolní okno View_18 zobrazuje reflexní spektrum, vůči kterému se vypočítává celková barevná změna (reflexní spektrum vzorku na počátku měření). Pravý sloupec tvoří okno Scalar_39 (Delta E), které zobrazuje aktuální barevnou změnu, vypočítanou z aktuálního a počátečního (standardního) reflexního spektra. Pod tímto oknem je diagram Reflective View_20 (Chromaticity Diagram) zobrazující aktuální barevný odstín a nejnižší je okno Reflective Table_21 (Color Values), které zobrazuje aktuální hodnoty CIE Lab, vypočítané z aktuálního reflexního spektra.

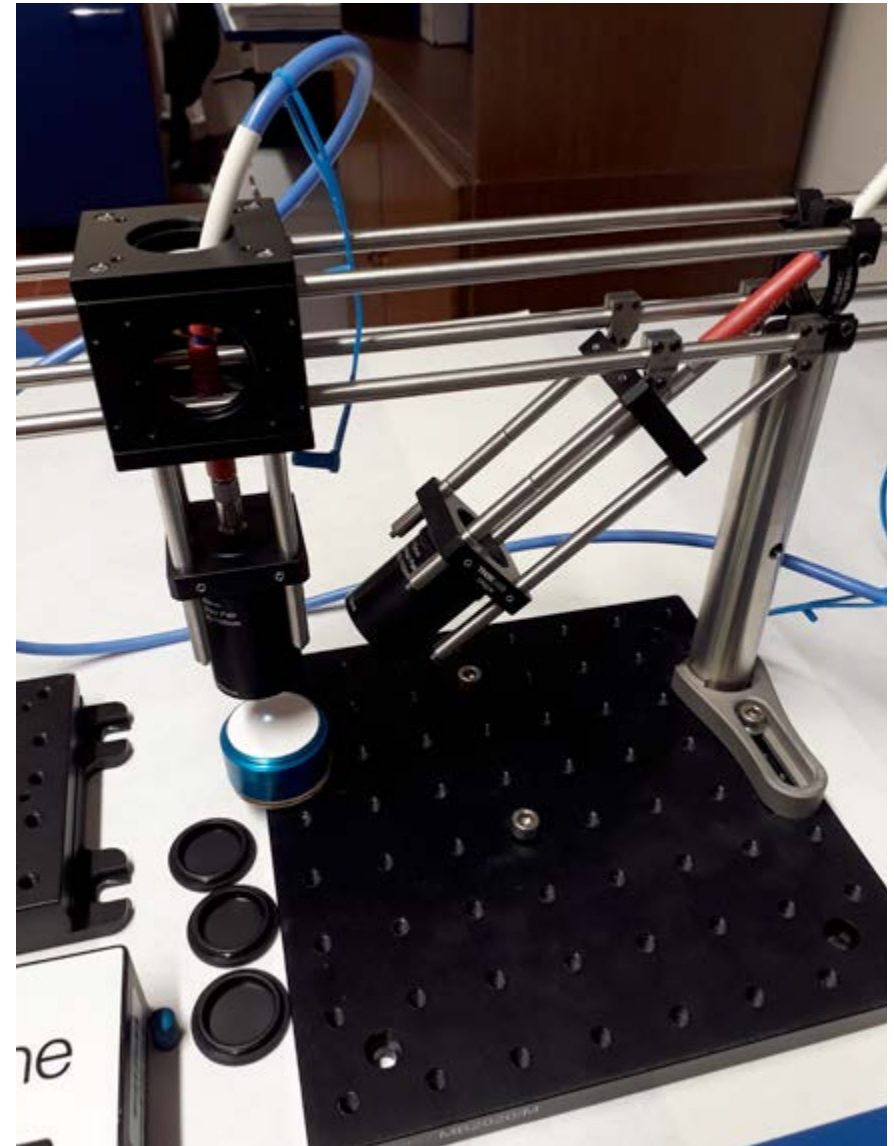





E. Kalibrace na bílou:

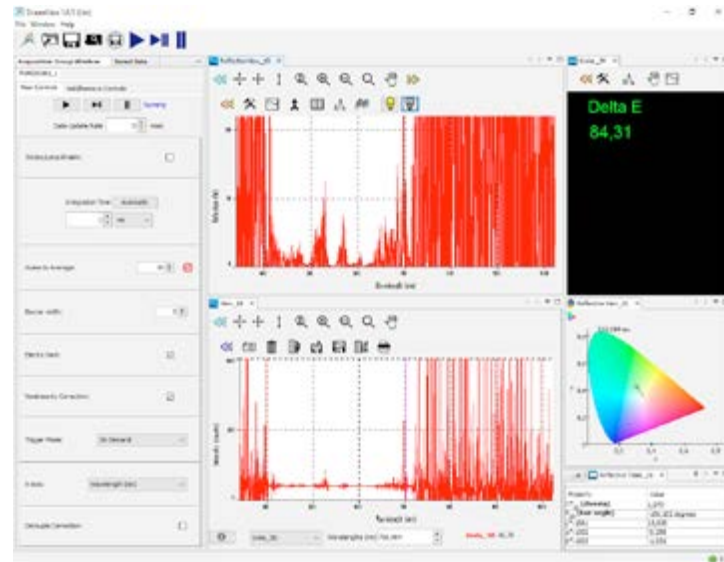
- i. V okně Main Controls nastavit Integration Time na 1 ms (30 scans, data update rate 0 msec).




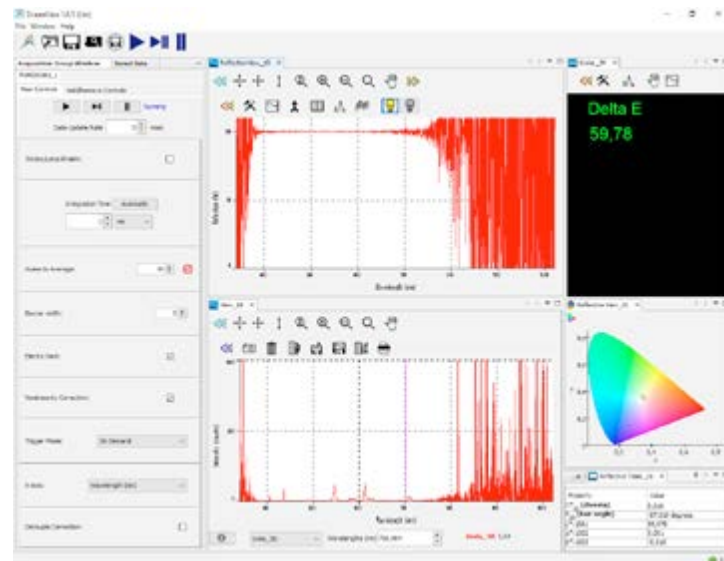
- ii. Na místo odsunutého posuvného stolku umístit pod osvětlovací rameno standard tak, aby jeho povrch byl ve stejné výši jako byl stolek (standard položit na víčko a na kruhovou papírovou podložku).






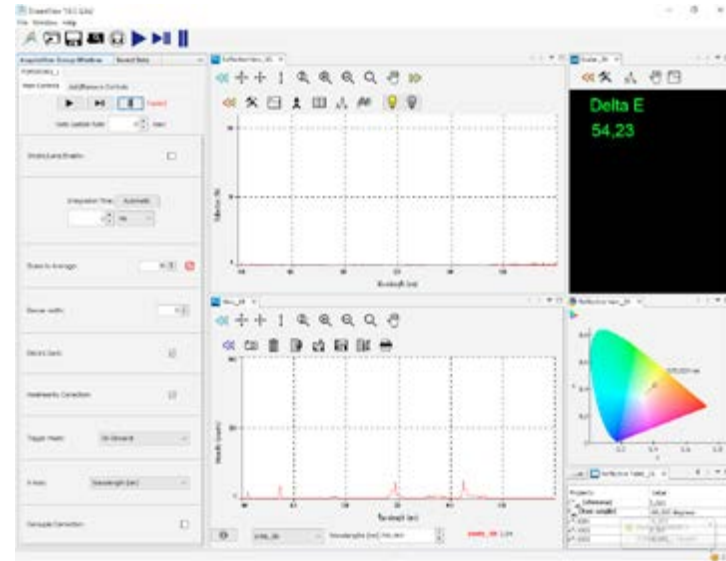
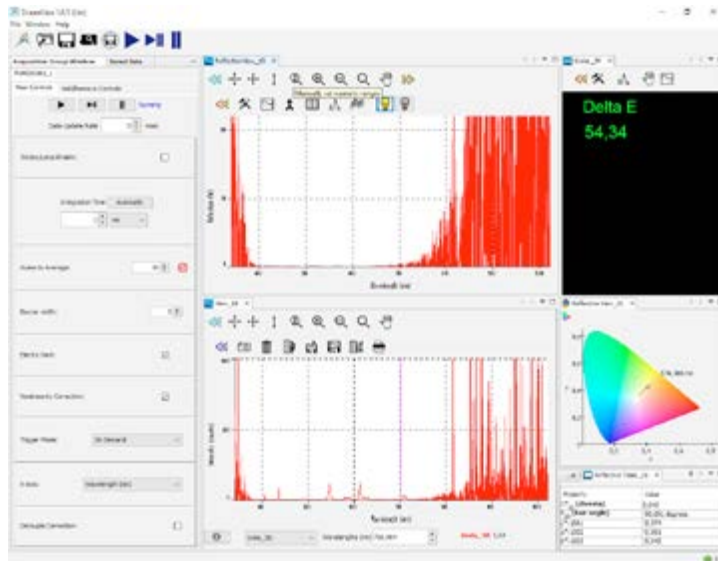
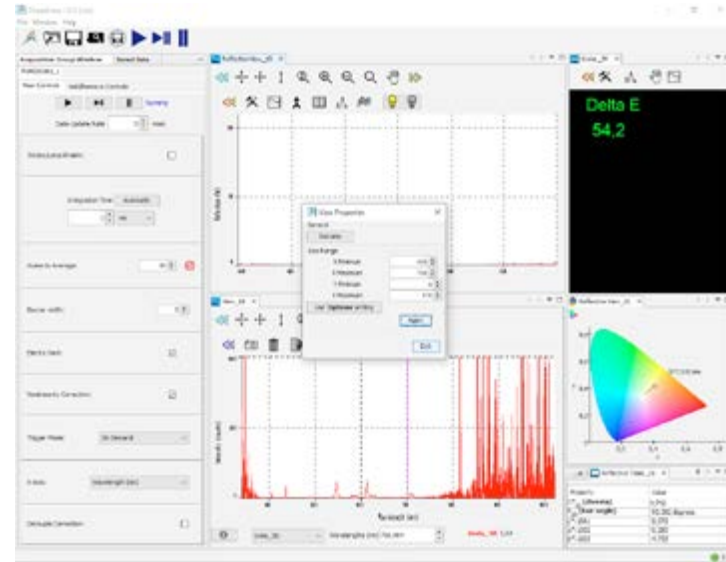
- iii. Při vypnuté Xe lampě (respektive s přehřátou Xe lampou, ale se spínačem v pozici CLOSE) kliknout v okně Reflectionview_18 (Sample Reflection) na šedou žárovku  (pokud není žárovka vidět, rozkliknout ikony  respektive ).



- iv. Poté nastavíme spínač na Xe lampě do pozice OPEN a v okně Reflectionview_18 levou myší klikneme na obrázek se žlutou žárovkou  – maximální odraz na reflexní standard se tak nastaví jako 100 %. Poté spínač na Xe lampě opět přepnout do pozice CLOSE.

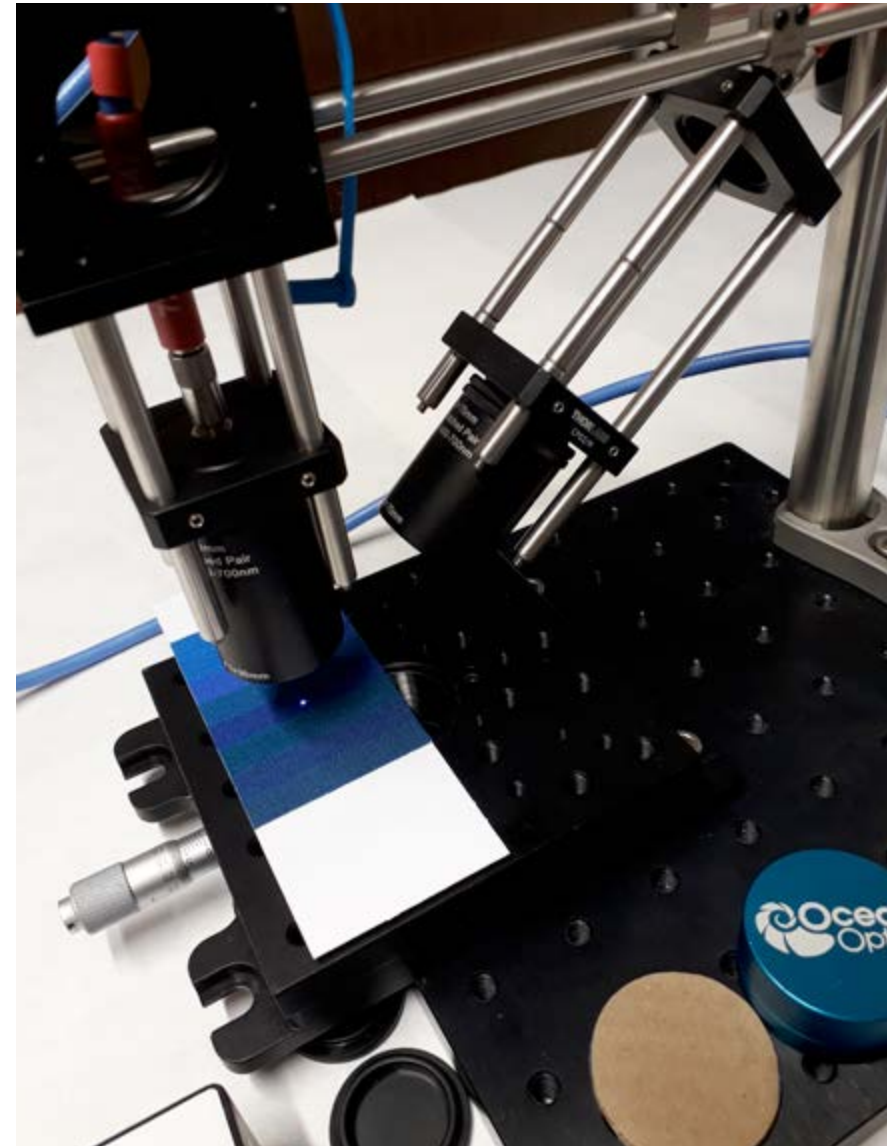



- v. V okněch s reflexními spektry lze přeškálovat osy kliknutím na ikonku . Jelikož nás zajímá viditelná barevná změna, tedy reflexní spektra ve viditelném spektru, běžně se vymezuje rozsah vlnových délek mezi 400–700 nm (osa x). Intenzita reflexních spekter je kalibrována v rozsahu 0–100 % na bílý reflexní standard (bod E), proto její rozsah můžeme nastavit např. na 0–110 %.
- Nakonec v okně Main Controls pozastavit měření kliknutím na ikonu pauza , či přímo na horní liště ikonkou  (v okně Main Controls se za ikonami play/pause zobrazí červený nápis “Paused”).

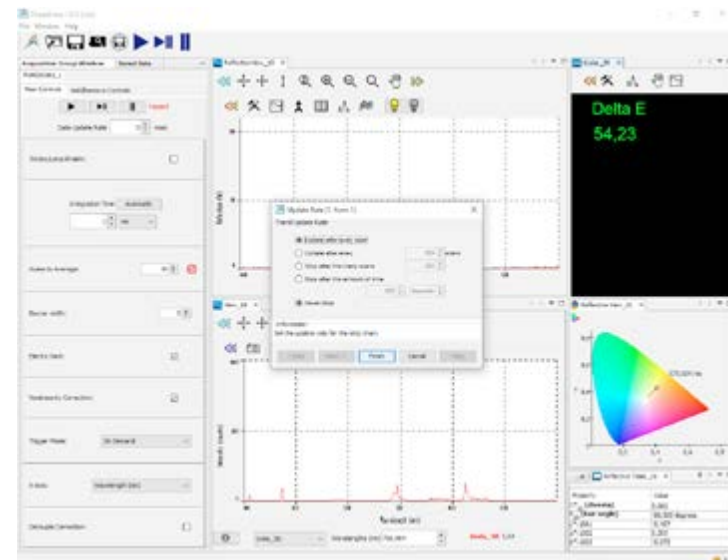
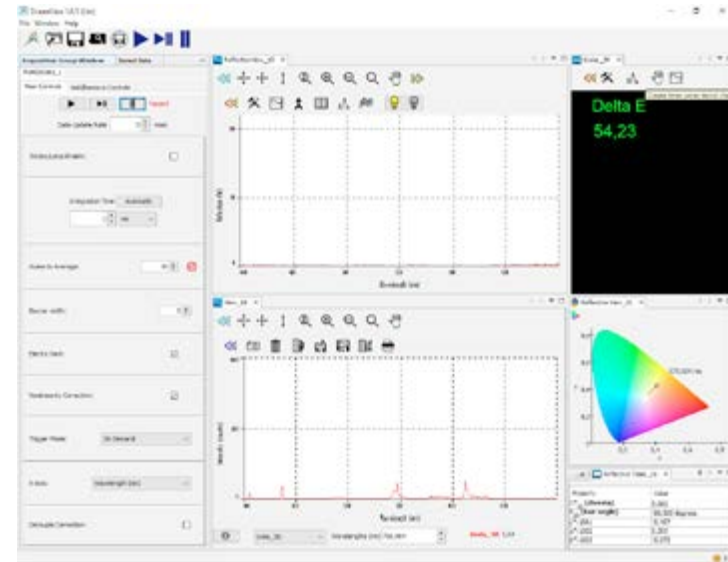




F. Měření vzorku:

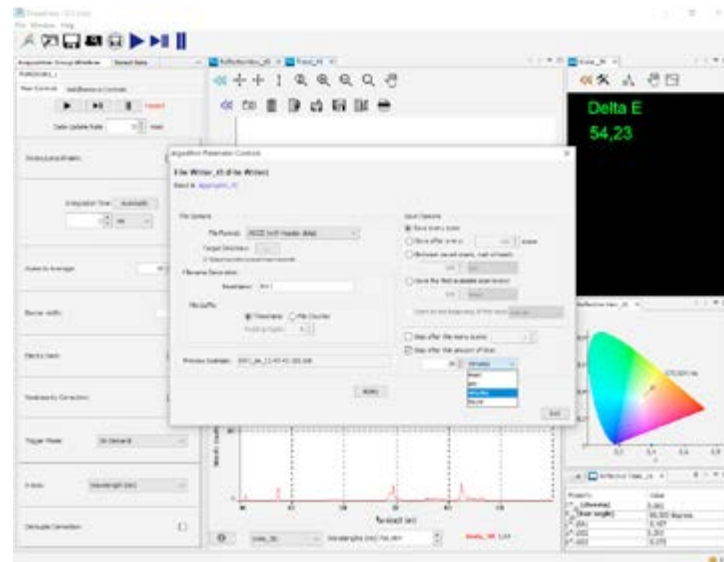
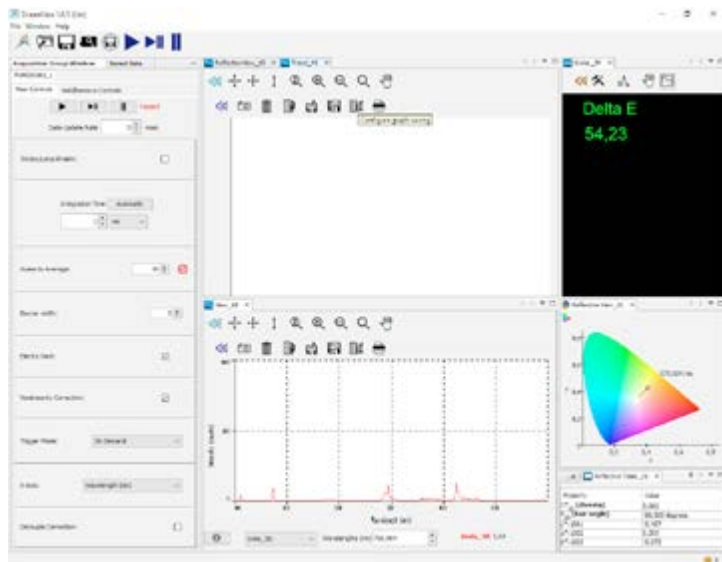
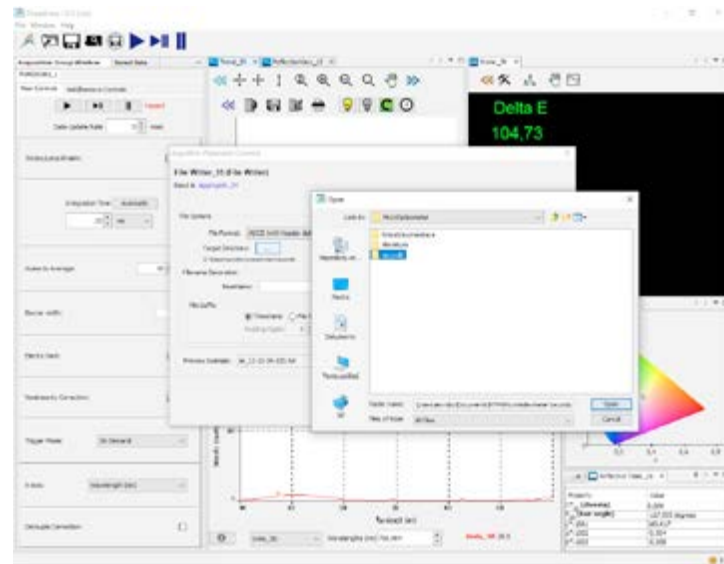
- i. Pod osvětlovací rameno nasunout posuvný stolek, na něj umístit vzorek, případně jej na horním a dolním konci zatížit, aby zůstal v místě měření rovný. Neprobíhá-li měření ve tmě, je vhodné při měření BW standardů standard zakrýt papírovou krytkou s měřicím otvorem, nastaveným na daný standardní proužek (BW1, BW2, ...).



- ii. V okně Scalar_39 (Delta E) kliknout na ikonu s vlnovkami  a v zobrazeném okně Update Rate zkontrolovat zaškrtnuté možnosti Update after every scan a Never Stop a výběr potvrdit tlačítkem Finish.

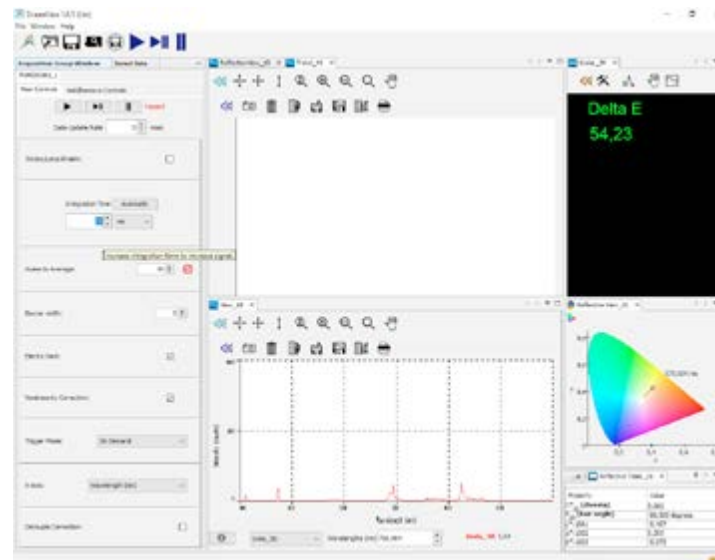
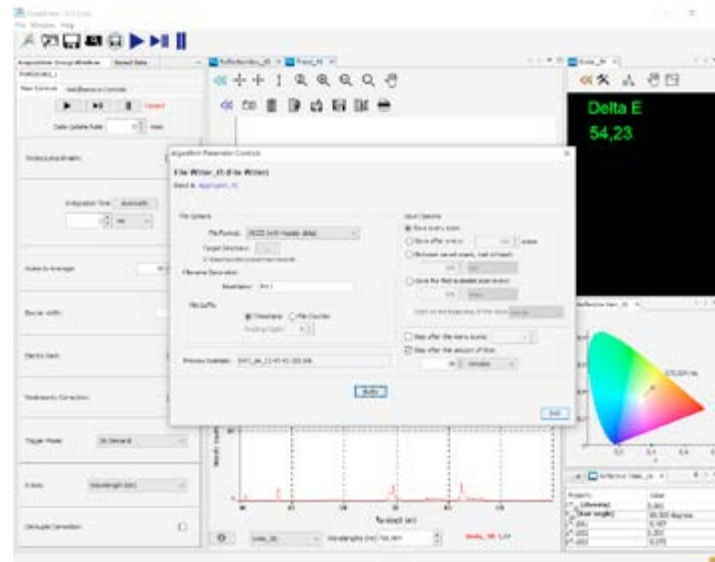





iii. V okně ReflectionView_15 se objeví nová záložka Trend_xx, která zobrazuje časový průběh hodnot ΔE . I v této záložce lze přeškálovat osy kliknutím na ikonku . Na této záložce klikněte na ikonku papíru s klíčem , zobrazí se okno FileWriter_xx (FileWriter), ve kterém nastavíte možnosti uložení. V okénku BaseName je potřeba vyplnit název vzorku, případně zvolit jiné umístění uložených dat (Target Directory). V pravém sloupci nastavit možnosti Save every scan, Stop after this many scans: 1 či Stop after this amount of time: doplnit čas. Nastavení potvrdit tlačítkem Apply a nakonec kliknout na tlačítko Exit. **Pozor, do textového souboru, kam se ukládají jednotlivá data (čas a příslušné hodnoty ΔE), se uloží maximálně 1000 hodnot!**

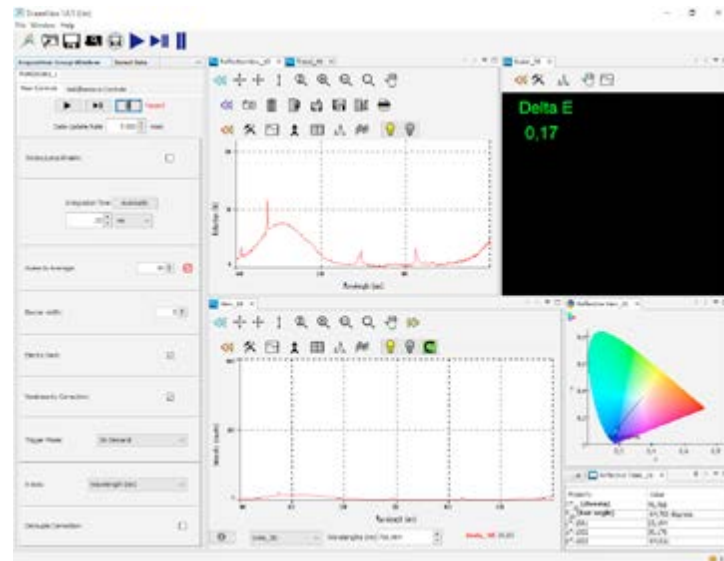
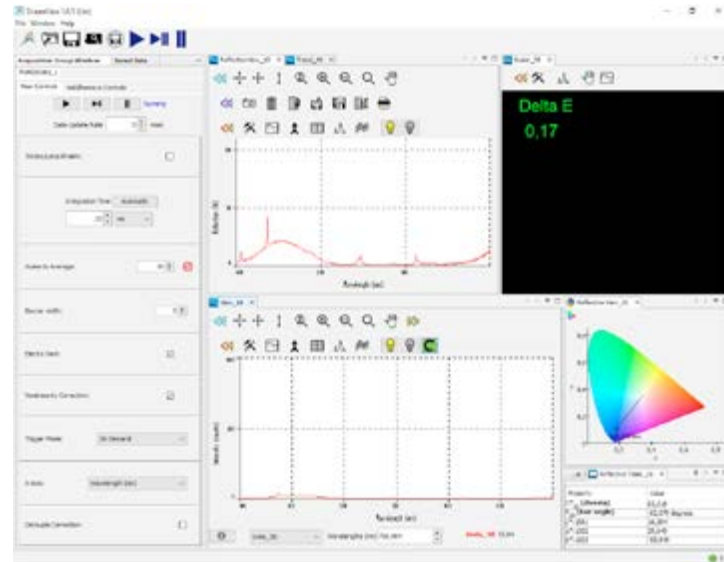










Protože není nastaveno ukládání jednotlivých hodnot CIELab, je vhodné tyto hodnoty z okna Reflective Table_21 opsat, a to jak pro počáteční reflexní spektrum (při $\Delta E \sim 0$), tak pro závěrečné spektrum na konci měření. Těchto dat lze posléze využít k vyhodnocení konkrétního barevného posunu na konci měření (nikoliv jen celkové barevné změny ΔE).

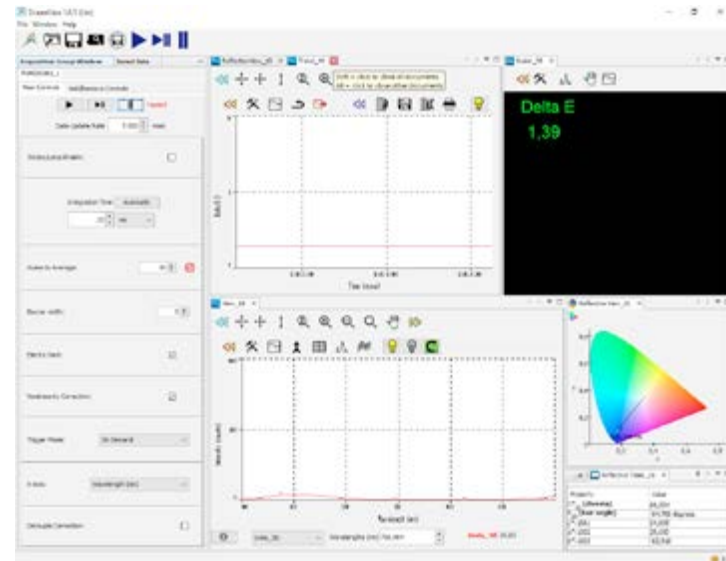
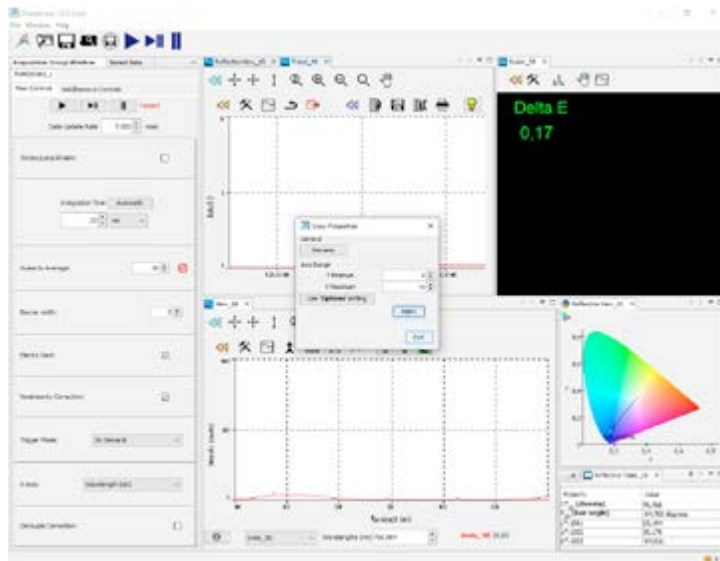
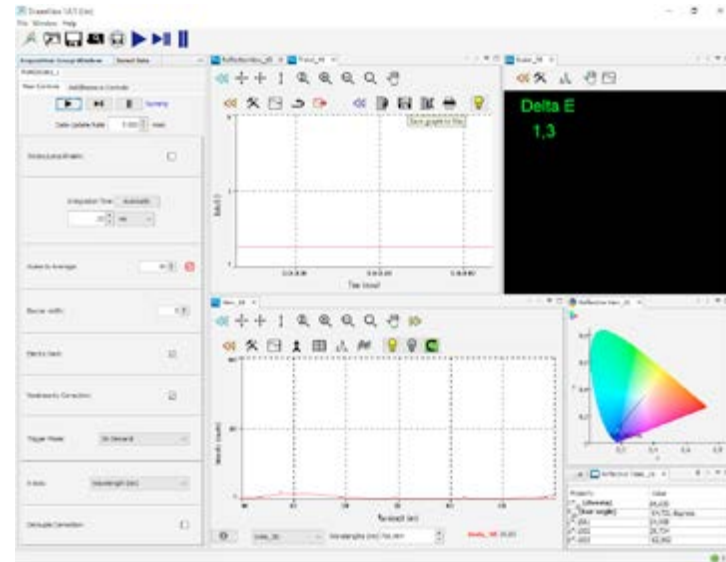
- iv. V okně Main Controls nastavit podmínky měření – změnit integrační čas a průměrný počet scanů (např. Integration Time 20 ms, 30 scans, data update rate 0 msec).



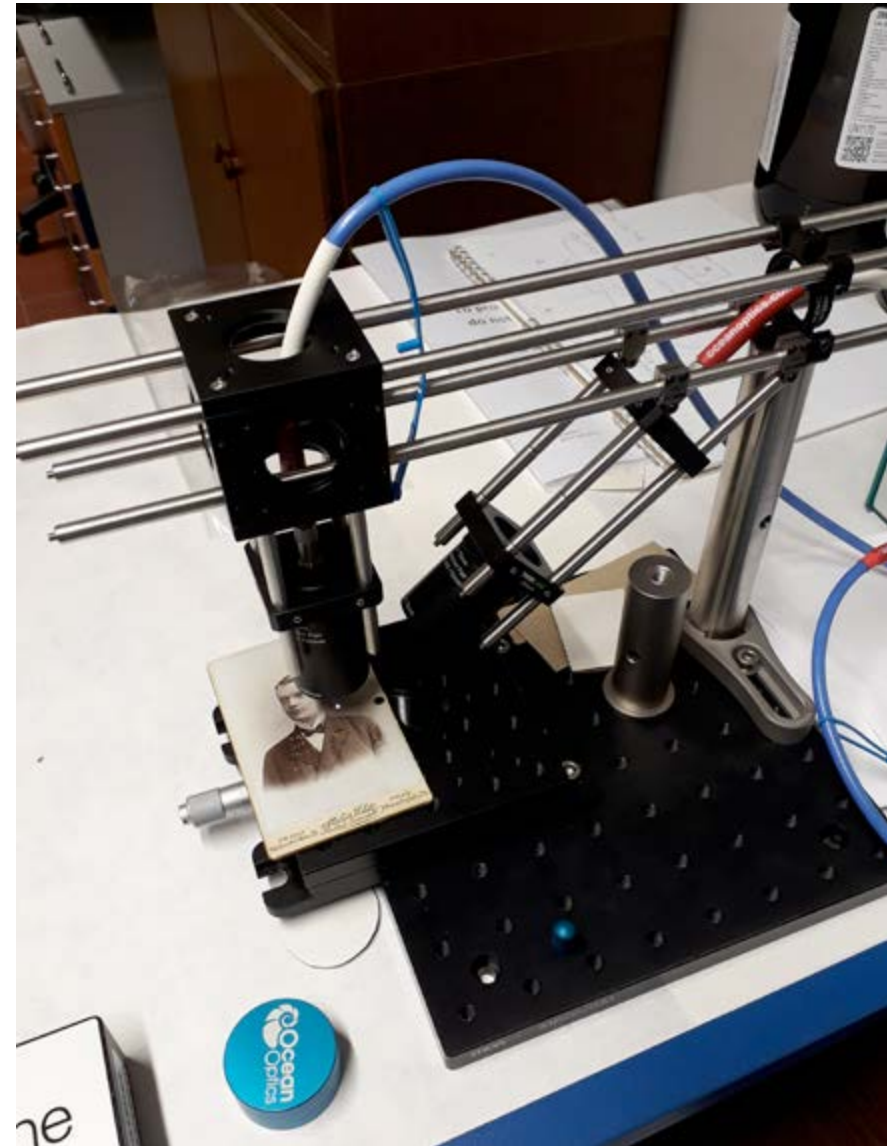
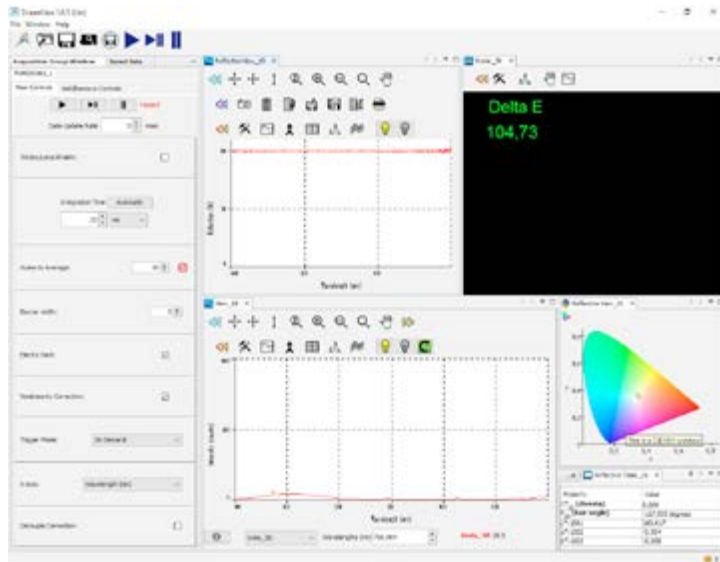
- v. V okně Main Controls spustit měření klinutím na ikonku play , či přímo na horní liště ikonkou , a poté sepnout spínač na Xe lampě do pozice OPEN. Okamžitě poté v okně View_18 (Reference Color Spectrum) kliknout na ikonu zeleného čtveřce s černou šipkou uvnitř , čímž se nahraje počáteční spektrum (hodnota ΔE klesne k nule) a ihned poté změnit rychlost ukládání dat Data Update Rate na příslušnou hodnotu, např. 6000 msec (měření 1x za minutu) či 2000 msec (měření 3x do 1 minuty), prostě tak, aby za celou dobu měření nebyl překročen limit dat (1000 hodnot).



- vi. Pro lepší sledování změny barevnosti delta E v čase lze osu y v okně/záložce Trend_xx přeškálovat kliknutím na ikonku . Po skončení požadované doby měření v okně Main Controls přerušit měření kliknutím na ikonu pauza , či přímo na horní liště ikonkou  a v záložce Trend_xx kliknout na ikonu diskety s vlnovkou  a počkat, dokud se data neuloží (během ukládání ikona  zčervená a vlevo dole na dolní liště se zobrazí text "Saving in process", když text zmizí, jsou veškerá data uložena a ikona  je opět černá). Poté záložku Trend_xx zavřít (kliknout na křížek , respektive  za názvem záložky Trend_xx).



vii. Před dalším měřením opět nakalibrovat systém na bílou (viz bod E) a poté pokračovat měřením vzorku (viz bod F).



10. Literatura

- [1] Druzik J.: Microfading Oriol microfading tester (MFT): A Brief description. *In: Research and technical studies specialty group AIC postprints. Vol II.* (2010) 1–13
- [2] Michalski S.: *Agent of deterioration: Light, ultraviolet and infrared.* Dostupné z url: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/light.html> [cit. 31.3.2020]
- [3] Národní archiv ČR: *Vliv světla a ultrafialového záření na archivní dokumenty – Závěrečná zpráva grantového úkolu.* Národní archiv – Praha (2009) 281 p.
- [4] Schaeffer T. T.: *Effects of light on materials in collections – data on photoflash and related sources.* Research in conservation, The Getty Conservation Institute (2001) 221 p.
- [5] Zelinger J.: Poškození kulturních památek vlivem světla a ochrana proti němu. *Zprávy památkové péče* **60**, příloha (2000) 61–84
- [6] Ashley-Smith J., Derbyshire A., Pretzel B.: The continuing development of a practical

- lighting policy for works of art on paper and other object types at the Victoria and Albert Museum. In: *ICOM CC – Published in the 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro Preprints. Vol I.* (2002) 3–8
- [7] NEDCC Northeast Document Conservation Center – The Environment – 2.5 Protecting Paper and Book Collections During Exhibition. Dostupné z url: <https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/2.-the-environment/2.5-protecting-paper-and-book-collections-during-exhibition> [cit. 2.6.2020]
- [8] Ford B., Smith N.: Lighting guidelines and the lightfastness of Australian indigenous objects at the National Museum of Australia. In: *ICOM CC – Published in the 16th Triennial Meeting Lisbon Preprints* (2011) 1–13
- [9] von Waldthausen C. C.: Exhibition of photographic materials in library and archive collections. *Topics in Photographic Preservation* **10** (2003) 178–190
- [10] Derbyshire A., Ashley-Smith J.: A proposed practical lighting policy for works of art on paper at the V&A. In: *ICOM CC – Published in the 12th Triennial Meeting Lyon Preprints. Vol I.* (1999) 38–41
- [11] Reuss M., Scott G., MacKinnon F.: Conservation of exhibitions: making a maintenance programme work. In: *ICOM CC – Published in the 14th Triennial Meeting the Hague Preprints. Vol II.* (2005) 693–699
- [12] Ford B., Smith N.: Protecting the most important, most exhibited and most fugitive museum objects from light-fading. In: *Research and technical studies specialty group AIC postprints. Vol II.* (2010) 30–42
- [13] Morris H. R., Whitmore P. M.: “Virtual fading” of art objects: Simulating the future fading of artefacts by visualizing micro-fading test results. *Journal of the American institute for Conservation* **46** (2007) 215–228
- [14] Casella L., Tsukada M., Kennedy N.: Light-fastness of autochrome color screen filters under anoxic conditions. In: *ICOM CC – Published in the 16th Triennial Meeting Lisbon Preprints* (2011) 1–9
- [15] NEDCC Northeast Document Conservation Center – The Environment – 2.4 Protecting from Light Damage. Dostupné z url: <https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/2.-the-environment/2.4-protection-from-light-damage> [cit. 2.6.2020]
- [16] Druzik J., Pesme C.: Comparison of five microfading tester (MFT) designs. In: *Research and technical studies specialty group AIC postprints. Vol II.* (2010) 14–29
- [17] Ford B.: Non-destructive microfade testing at the National Museum of Australia. *AICCM Bulletin* **32** (2011) 54–64
- [18] Lowe B. J., Smith C. A., Fraser-Miller S., Paterson R. A., Daroux F., Ngarimu-Cameron R., Ford B., Gordon K. C.: Light-ageing characteristics of Māori textiles: Colour, strength and molecular change. *Journal of Cultural Heritage* **24** (2017) 60–68
- [19] Burnstock A., Lanfear I., van den Berg K. J., Carlyle L., Clarke M., Hendriks E., Kirby J.: Comparison of the fading and surface deterioration of red lake pigments in six paintings by Vincent van Gogh with artificially aged paint reconstructions. In: *ICOM CC – Published in the 14th Triennial Meeting the Hague Preprints. Vol I.* (2005) 459–466
- [20] del Hoyo J.: *Lightfastness tests of ethnographic objects from the Anchorage Project.* Smithsonian Museum Conservation Institute – MCI Analysis Request Number: 6174.6 – Ethnographic objects survey (2008) 31 p.
- [21] del Hoyo-Meléndez J. M., Carrión-Ruiz B., Riutort-Mayol G., Lerma J. L.: Lightfastness assessment of Levantine rock art by means of microfading spectrometry. *Color Research and Application* **44** (2019) 547–555
- [22] del Hoyo-Meléndez J. M., Lerma J. L., López-Montalvo E., Villaverde V.: Documenting the light sensitivity of Spanish Levantine rock art paintings. In: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W3* (2015) 53–59
- [23] del Hoyo-Meléndez J. M., Mecklenburg M. F.: Micro-fading spectrometry: A tool for real-time assessment of the light-fastness of dye/textile systems. *Fibers and Polymers* **13** (2012) 1079–1085
- [24] del Hoyo-Meléndez J. M., Mecklenburg M. F.: An investigation of the reciprocity principle of light exposures using microfading spectrometry. *Spectroscopy Letters* **44** (2011) 52–62
- [25] Tse S., Guild S., Orlandini V., Trojan-Bedynski M.: Microfade testing of 18th century iron gall inks. In: *Research and technical studies specialty group AIC postprints. Vol II.* (2010) 56–70
- [26] del Hoyo-Meléndez J. M., Świt P., Sobczyk J.: Measuring photostability through glass: the application of microfading testing to the study of framed pastel artworks. *Coloration Technology* **134** (2018) 411–422
- [27] del Hoyo-Meléndez J. M., Gondko K., Mendys A., Król M., Klisińska-Kopacz A., Sobczyk J., Jaworucka-Drath A.: A multi-technique approach for detecting and evaluating material inconsistencies in historical banknotes. *Forensic Science International* **266** (2016) 329–337
- [28] Prestel T.: A classification system to enhance light-fastness data interpretation based on microfading tests and rate of colour change. *Coloration Technology* **133** (2017) 506–512
- [29] Saunders D., Spring M., Higgitt C.: Colour change in red lead-containing paint films. In: *ICOM CC – Published in the 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro Preprints. Vol I.* (2002) 455–463
- [30] Whitmore P. M., Pan X., Bailie C.: Predicting the fading of objects: Identification of fugitive colorants through direct nondestructive lightfastness measurements. *Journal of the American Institute for Conservation* **38** (1999) 395–409
- [31] Whitmore P. M.: *The Scientific Examination of Works of Art on Paper.* National Academy

- of Sciences. (Sackler NAS Colloquium) Scientific Examination of Art: Modern Techniques in Conservation and Analysis. Washington, DC: The National Academies Press (2005) 12 p.
- [32] Ford B., Druzik J.: Microfading: the state of the art for natural history collections. *Collection Forum* **27** (2013) 54–71
- [33] Ford B., Smith N.: The development of a significance-based lighting framework at the National Museum of Australia. *AICCM Bulletin* **32** (2011) 80–86
- [34] Lerwill A., Townsend J. H., Liang H., Thomas J., Hackney S.: A portable micro-fading spectrometer for versatile lightfastness testing. *E-Preservation Science* **5** (2008) 17–28
- [35] Liang H., Lange R., Lucian A., Hyndes P., Townsend J. H., Hackney S.: Development of portable microfading spectrometers for measurement of light sensitivity of materials. In: *ICOM CC – Published in the 16th Triennial Meeting Lisbon Preprints* (2011) 1–7
- [36] Eng C. W., Preusser F. D., Schaeffer T. T.: Reflections on light monitoring: Evaluating museum lighting options for modern and contemporary art. *Studies in Conservation* **61** Supplement 2 (2016) 44–48
- [37] Pearlstein E., Keene L.: Evaluating color and fading of red-shafted flicker (*Colaptes auratus cafer*) feathers: Technical and cultural considerations. *Studies in Conservation* **55** (2010) 81–94
- [38] Stenger J., Khandekar N., Wilker A., Kallsen K., Kirby D. P., Eremin K.: The making of Mark Rothko's Harvard murals. *Studies in Conservation* **61** (2016) 331–347
- [39] Vávrová P., Neoralová J., Mračková L.: *Měření světlostálosti materiálů novodobých knižních vazeb systémem Mikrofadeometr*. Certifikovaná metodika MK ČR, 2018. Dostupné z url: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-383362> [cit. 6.4.2021]
- [40] Vávrová V., Palánková L., Neoralová J.: Systém Mikrofadeometr a jeho využití v Národní knihovně ČR pro účinnou ochranu kulturního dědictví. *Fórum pro konzervátory-restaurátory* (2016) 46–50
- [41] Neoralová J., Palánková L., Vávrová P.: Hodnocení světelné odolnosti vybraných knihařských pláten pomocí microfadometru. In: *sborník referátů – XVI. seminář restaurátorů a historiků Opava 2016*. Praha: Národní archiv, 2019. s. 117–124. ISBN 978-80-7469-059-4
- [42] Whitmore P. M. et al.: *Development of a Micro-fading Tester with near-UV Capability*. Art Conservation Research Center, Department of Chemistry, Carnegie Mellon University (2011) 1–24
- [43] Łojewski T., Thomas J., Gołąb R., Kawalko J., Łojewska J.: Note: Light ageing with simultaneous colorimetry via fibre optics reflection spectrometry. *Review of Scientific Instruments* **82** (2011) 076102 p. 3
- [44] Tao C., Whitmore P. M.: Development of a microfading tester for light exposures including near-ultraviolet wavelengths. In: *Research and technical studies specialty group AIC postprints. Vol II.* (2010) 43–55
- [45] Piccablotto G., Aghemo C., Pellegrino A., Iacomussi P., Radis M.: Study on conservation aspects using LED technology for museum lighting. *Energy Procedia* **78** (2015) 1347–1352
- [46] Lerwill A., Brookes A., Townsend J. H., Hackney S., Liang H.: Micro-fading spectrometry: investigating the wavelength specificity of fading. *Applied Physics A* **118** (2015) 457–463
- [47] Marino B., Boon J., Hendriks E.: Quantitative colour comparison of grounds and paints in paint cross-sections from a selection of paintings from the Paris period by Vincent van Gogh. In: *ICOM CC – Published in the 14th Triennial Meeting Hague Preprints. Vol II.* (2005) 814–823
- [48] Billah S. M. R., Christie R. M., Shamey R.: Direct coloration of textiles with photochromic dyes. Part 1: Application of spiroindolinonaphthoxazines as disperse dyes to polyester, nylon and acrylic fabrics. *Coloration Technology* **124** (2008) 223–228
- [49] Confortin D., Neevel H., van Bommel M. R., Reissland B.: *Study of the degradation of an early synthetic dye, Crystal Violet*. Dostupné z url: <https://www.semanticscholar.org/paper/Study-of-the-degradation-of-an-early-synthetic-dye-Violet-Confortin/53b59010e1614c85e45f4abb17481422b6b012fb> [cit. 2.6.2020]
- [50] Lowe B. J., Smith C. A., Gordon K. C., Hanton L. R., Ford B., Korsten A., Fraser S. J., Lomax B. A.: Relating colour, chemical and physical characteristics of artificially light-aged New Zealand plant fibres. In: *ICOM CC – Published in the 17th Triennial Conference Melbourne Preprints* (2014) 1–8
- [51] Pataki-Hundt A., Hummert E.: Colour stability of natural adhesives – light ageing of adhesive films and colour changes of pigment layers after aerosol application. *Restaurator* **37** (2016) 137–156
- [52] Smith C., Paterson R., Lowe B. J., Kanawa R. T.: Consolidation of Black-dyed Māori textile artefacts: Evaluating the efficacy of sodium alginate. *Studies in Conservation* **63** (2018) 139–154
- [53] Bide M.: Colour measurement: Principles, advances and industrial applications. *Woodhead Publishing in Textile* **103** (2010) 196–217
- [54] TFL: *Test Methods for the Colour Fastness of Leather Dyes*. Dostupné z url: https://www.tfl.com/media/documents/other/tfl_test_methods_for_the_colour_fastness_of_leather_dyes.pdf [cit. 12.4.2021]
- [55] Gervais C., Languille M.-A., Requer S., Garnier C., Gillet M.: Light and anoxia fading of Prussian blue dyed textiles. *Heritage Science* **2**:26 (2014) 1–8
- [56] Lerwill A., Townsend J. H., Thomas J., Hackney S., Caspers C., Liang H.: Photochemical colour change for traditional watercolour pigments in low oxygen levels. *Studies in Conservation* **60** (2015) 15–32
- [57] del Hoyo-Meléndez J. M., Mecklenburg M. F.: The use of micro-fading spectrometry to evaluate the light fastness of materials in oxygen-free environments. *Spectroscopy Letters* **44** (2011) 113–121

- [58] Solajic M. R., Pretzel B., Cooper M., Townsend J. H., Seddon T., Ruppel J., Ostapkowicz J., Parker T.: A collaborative examination of the colourfastness of Amazonian featherwork: assessing the effects of exposure to light and laser radiation. In: *ICOM CC – Published in the 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro Preprints. Vol II.* (2002) 701–707
- [59] Elnagar K., Reda S. M., Ahmed H. E., Kamal S.: Studying irradiation homogeneity in light aging for historical textile conservation. *Fibers and Polymers* **14** (2013) 1581–1585
- [60] The Blue Wool Scale. Dostupné z url: <http://2bize.com/uv%20blue%20wool.html> [cit. 3.6.2020]
- [61] Ferrero A., Bernad B., Campos J., Richard N., Fernández-Maloigne C., Melgosa M.: Goniochromatic assessment of gray scales for color change. *Journal of the Optical Society of America A – Optics image science and vision* **37** (2020) 1266–1275
- [62] Connors-Rowe S. A., Whitmore P. M., Morris H. R.: Optical brighteners in black-and-white photographic paper: Appearance and degradation. *Journal of the American Institute for Conservation* **46** (2007) 199–213
- [63] Wagner S.S., McCabe C., Lemmen B.: *Guidelines for exhibition light levels for photographic materials.* 3 p. Dostupné z url: <http://download.aaslh.org/AASLH-Website-Resources/ccaha-guidelines-for-exhibition-light-levels.original.pdf> [cit. 2.6.2020]
- [64] Fenech A., Dillon C., Ntanos K., Bell N., Barrett M., Strlič M.: Modelling the lifetime of colour photographs in archival collections. *Studies in Conservation* **58** (2013) 107–116
- [65] [Fenech A., Strlič M., Cassar M., Ntanos K., Bell N.: Lifetime of chromogenic colour photographs in mixed archival collections. In: *ICOM CC – Published in the 16th Triennial Meeting Lisbon Preprints* (2011) 1–8
- [66] Strlič M., Thickett D., Taylor J., Cassar M.: Damage functions in heritage science. *Studies in Conservation* **58** (2013) 80–87
- [67] Townsend J. H., Ormsby B., Barker R., Smithen P.: A microfading study of Mark Rothko's materials for the Seagram murals (1958–59). In: *ICOM CC – Published in the 17th Triennial Conference Melbourne Preprints* (2014) 1 p.
- [68] Vernallis K.: The loss of meaning in faded color photographs. *Journal of the American Institute for Conservation* **38** (1999) 459–476
- [69] Ware M.: On the illumination of light-sensitive photographs. *Topic in Photographic Preservation* **13** (2009) 221–233
- [70] Richardson C., Saunders D.: Acceptable light damage: A preliminary investigation. *Studies in Conservation* **52** (2007) 177–187
- [71] Smejkalová H.: *Způsoby hodnocení světlostálosti barevných fotografií.* Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav fyzikální a spotřební chemie. Brno 2010.
- [72] Kulhánková M.: *Světlostálost barevných digitálních výtisků.* Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav fyzikální a spotřební chemie. Brno 2020.

