

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA GRANTOVÉHO ÚKOLU

***VLIV SVĚTLA A ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ
NA ARCHIVNÍ DOKUMENTY***

Národní archiv, Archivní 4/2257, Praha 4 – Chodovec
Praha 2009

OBSAH ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY

A LITERÁRNÍ ČÁST ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY

- 1 Úvod** – *Dr. Ing. Michal Ďurovič*
- 2 Světlo** – *Ing. Antonín Krejčí*
- 3 Zdroje světla** – *Ing. Antonín Krejčí*
- 4 Osvětlování** – *Ing. Antonín Krejčí*
- 5 Hodnocení stupně poškození archivních materiálů vlivem světla** –
Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.
- 6 Ochrana archivních materiálů proti světlu a UV záření**
Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.
- 7 Metody, postupy a přístrojové vybavení pro monitorování intenzity osvětlení,
osvitu, intenzity ozáření, dávky ozáření a kolorimetrických charakteristik**
Ing. Antonín Krejčí
- 8 Fotochemická degradace archivních materiálů**
 - 8.1 Papír – *Ing. Jiří Neuvirt, CSc.*
 - 8.2 Pergamen a useň – *Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.*
 - 8.3 Textil – *Ing. Hana Paulusová*
 - 8.4 Černobílá a barevná fotografie – *Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.*
 - 8.5 Barevná vrstva iluminací a kolorovaných kreseb – *Ing. Hana Paulusová*
 - 8.6 Novodobé psací prostředky – *Dr. Ing. Michal Ďurovič*
- 9 Doporučené hladiny maximálního osvětlení různých archivních materiálů**
Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.
- 10 Vliv UV na mikromycety** – *PhMr. Bronislava Bacílková*

B NÁVRH STRATEGIE OSVĚTLOVÁNÍ VÝSTAV ARCHIVNÍCH DOKUMENTŮ

- 1 Úvod**
- 2 Doporučené doby vystavení – základy navržené výstavní strategie**
- 3 Rozdělení materiálů do jednotlivých kategorií**
- 4 Doporučené intenzity osvětlení a podílu ultrafialového záření při osvětlování exponátů**
- 5 Ochrana archivních materiálů proti světlu a ultrafialovému záření**
- 6 Způsoby měření intenzity osvětlení, dávky světla a podílu ultrafialového záření**
- 7 „Světelný“ životopis vystavené archiválie**

A LITERÁRNÍ ČÁST ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY

1 ÚVOD

Světlo – především jeho ultrafialová složka – patří mezi významné faktory způsobující degradaci archiválií. V depozitářích tento problém není aktuální, protože archiválie jsou – resp. by měly být – uloženy ve tmě. Do kontaktu se světlem přicházejí při jejich studiu ve studovnách a především při výstavách. Archivní materiály jsou z hlediska chemického složení materiály převážně organického původu, které jsou k světelné energii velmi citlivé a jsou proto v různé míře poškozovány. Z toho důvodu musí být jejich osvětlení při výstavách vždy pečlivě zváženo. *Je nutné si uvědomit, že rozhodnutí vystavit dílo a osvětlit jej, znamená automaticky akceptovat jeho poškození.* Úspěšné vystavení, které by nevedlo k poškození objektů, anebo by toto poškození minimalizovalo, umožní pouze projekt osvětlení zpracovaný na základě současného vědeckého poznání, jeho následné pečlivé technické provedení a dodržení. Intenzity osvětlení, použité světelné zdroje a především délka výstav (a s ní spojené absorbované dávky světelného záření vystavenou archiválií) jsou předmětem nikdy nekončících diskuzí mezi archiváři na jedné straně a konzervátory na straně druhé.

Z tohoto důvodu se pracovníci Oddělení péče o archivní fondy Národního archivu rozhodli tuto problematiku podrobně zpracovat tak, aby se získané poznatky o osvětlování archiválií při výstavách staly součástí celkové strategie vystavování archivních fondů v České republice.

V roce 1997 byla grantovou komisí Ministerstva vnitra České republiky schválena žádost Národního archivu o přidělení finančních prostředků na řešení grantového úkolu „*Vliv světla a ultrafialového záření na archivní dokumenty*“. Řešení projektu bylo

rozloženo na tři roky – 1998, 1999 a 2000. Odpovědným řešitelem celého projektu byl dr. Ing. Michal Ďurovič, dále se na řešení úkolu podíleli pracovníci Výzkumné chemické laboratoře ing. Hana Paulusová a PhMr. Bronislava Bacílková. Externími spoluřešiteli byli Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc., Ing. Jiří Neuvirt, CSc. a Ing. Antonín Krejčí. Projekt byl rozdělen na literární (rešeršní) část a část experimentální.

Cílem rešeršní části projektu bylo shrnutí informací týkajících se následujících témat:

- Fyzika světla.
- Jednotlivé zdroje umělého světla.
- Způsoby osvětlování.
- Hodnocení stupně poškození archivních materiálů vlivem světla.
- Ochrana archivních materiálů před světlem a ultrafialovým zářením.
- Metody, postupy a přístrojové vybavení pro monitorování intenzity osvětlení, osvitu, intenzity ozáření, dávky ozáření a kolorimetrických charakteristik.
- Dále byla rešeršní část zaměřena na popis základních mechanismů fotochemické degradace archivních materiálů (papír, pergamen a useň, textil, černobílá a barevná fotografie, barevná vrstva iluminací a kolorovaných kreseb, novodobé psací prostředky). Závěrečnou část tvoří doporučené hladiny maximálního osvětlení různých archivních materiálů a informace o vlivu ultrafialového záření na mikromycety.

Experimentální část závěrečné zprávy byla zaměřena především na studium vlivu ultrafialového a viditelného záření na degradaci papírů a buničin a na degradaci barviv novodobých inkoustů a razítek.

Na základě získaných informací byl vypracován návrh strategie osvětlování při vystavování archivních dokumentů, který by se měl stát – po zapracování připomínek – součástí celkové strategie vystavování archiválií. Návrh by měl sloužit jako pomůcka pro pracovníky archivů, kteří jsou zodpovědní za přípravu výstav.

2 SVĚTLO

Ing. Jiří Krejčí

2.1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Přírodní jev, který nazýváme světlo, ovlivňuje ve značné míře prakticky veškerou činnost člověka. Většinu informací, které získáváme z vjemů s okolím, nám zprostředkovává právě světlo. Uvádí se, že tento podíl dosahuje až 87 %.

Světlo je ve své podstatě elektromagnetické záření, jež je vyzařováno a pohlcováno jako částice a šíří se jako vlny. Jedná se o tzv. korpuskulárně-vlnový dualismus záření.

Ve spektru elektromagnetického záření, jež zahrnuje záření kosmické, záření gama, rentgenové záření, optické záření, radiové a televizní vlny a střídavé síťové napětí, patří světlo do oblasti optického záření, které zahrnuje záření viditelné (světlo) a s ním sousedící záření ultrafialové a záření infračervené. Ultrafialové a infračervené záření má z fyzikálního hlediska obdobné vlastnosti jako záření viditelné, zrak je však není schopen vnímat. Světlo je tedy elektromagnetické záření, schopné vybudit zrakový vjem a zhodnocené měřítky lidského zraku. Výraz „světlo“ lze chápat i subjektivně, psychofyziologicky. Z tohoto pohledu lze světlo charakterizovat jako společný znak všech počitků a vjemů, vznikajících prostřednictvím zrakového orgánu. Výraz „světlo“ má však také fyzikální význam, v němž je přístupnější objektivnímu početnímu hodnocení, proto v následujícím textu toto fyzikální pojetí převládá.

Podle původu lze světlo rozdělit na světlo denní a umělé. Denní světlo (přímé sluneční světlo a světlo rozptýlené atmosférou – tzv. světlo oblohové) obsahuje vždy a umělé světlo téměř vždy určitý podíl ultrafialového a infračerveného záření. V archivní, muzejní a galerijní praxi je této skutečnosti, zvláště ultrafialovému záření, nutné věnovat zvýšenou pozornost, neboť některé materiály, jako např. papír, tkaniny, pigmenty, fotografie, peří apod., jsou-li vystaveny větším dávkám ozáření, rychleji stárnou, ztrácejí své barevné vlastnosti a může být narušena i jejich struktura a mechanická pevnost. Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru jsou uvedeny v *tabulce č. 2.1*.

Tab. 2.1 Oblasti optického záření v elektromagnetickém spektru

Druh záření	Označení	Vlnová délka λ (nm)	Kmitočet ν (Hz)
Ultrafialové	UV-C	100–280	$(30\text{--}17) \cdot 10^{14}$
	UV-B	280–315	$(17\text{--}9,5) \cdot 10^{14}$
	UV-A	315–380	$(9,5\text{--}7,89) \cdot 10^{14}$
Viditelné	fialová	380–430	$(7,89\text{--}6,98) \cdot 10^{14}$
	modrá	430–490	$(6,98\text{--}6,12) \cdot 10^{14}$
	zelená	490–570	$(6,12\text{--}5,26) \cdot 10^{14}$
	žlutá	570–600	$(5,26\text{--}5,00) \cdot 10^{14}$
	oranžová	600–630	$(5,00\text{--}4,76) \cdot 10^{14}$
	červená	630–780	$(4,76\text{--}3,84) \cdot 10^{14}$
Infračervené	IR-A	780–1 400	$(3,84\text{--}2,14) \cdot 10^{14}$
	IR-B	1 400–3 000	$(2,14\text{--}1,00) \cdot 10^{14}$
	IR-C	3 000–10 000	$(1,00\text{--}0,30) \cdot 10^{14}$

Pozn.: Elektromagnetické záření a tudíž i světlo lze definovat následujícími vztahy

$$\lambda = c \cdot T; \nu = 1/T; \nu = c_0/\lambda \quad (2.1)$$

kde c_0 je rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu ($2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),
 λ vlnová délka (m),
 ν kmitočet (s^{-1}),
 T doba kmitu (s).

V praxi se vlnová délka obvykle udává v nanometrech ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Meze spektrálního rozsahu viditelného záření nelze přesně definovat, neboť závisí na množství zářivého toku dopadajícího na sítnici oka a na spektrální citlivosti oka pozorovatele. Za spodní mez se považuje obvykle rozmezí vlnových délek 380–400 nm a za horní mez rozmezí vlnových délek 760–780 nm.

Meze spektrálního rozsahu ultrafialového záření nelze přesně definovat, neboť se mohou měnit s uživatelem. Spektrální meze ultrafialového záření jsou přibližně od 400 nm do 1 nm.

Podle doporučení Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) jsou v uvedeném spektrálním rozsahu definovány tři druhy ultrafialového záření: UV-A, UV-B a UV-C (viz *tabulka č. 2.1*).

Meze spektrálního rozsahu infračerveného záření nejsou též přesně definovány, neboť se také mohou měnit s uživatelem. Spektrální meze infračerveného záření jsou přibližně od 780 nm do 1 mm. Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) rozeznává v tomto spektrálním rozsahu tři druhy infračerveného záření: IR-A, IR-B a IR-C (viz *tabulka č. 2.1*).

2.2 ENERGETICKÉ A FOTOMETRICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY

Světlo, jak je uvedeno výše, je elektromagnetické záření, které je schopné vybudit zrakový vjem a zhodnocené měřítky lidského zraku a lze jej hodnotit z psychofyzilogického hlediska. V oblasti záření se však pracuje s energetickými veličinami a pojmy, které vycházejí z energie přenášené zářením za jednotku času, tj. z výkonu přenášeného zářením). S využitím normalizovaných charakteristik lidského oka a fyzikálního významu pojmu světlo jej lze číselně hodnotit a přiřadit vhodné veličiny a jednotky. Měřením světelně technických veličin se zabývá fotometrie. Světlo, tak jako i jakékoliv elektromagnetické záření, lze popsat energetickými veličinami a pojmy, tedy bez ohledu na zrakový aparát člověka. Měřením energetických (zářivých) veličin se zabývá radiometrie.

Při měření a hodnocení účinku světla v archivech, muzeích a galeriích, kdy příjemcem není jen lidské oko, ale i řada materiálů (papír, textil, dřevo, barvy, pigmenty, fotografie apod.), a kdy společně se světlem působí i ultrafialové a infračervené záření, je nezbytné znát a používat alespoň základní pojmy a jednotky jak z oboru fotometrie, tak i radiometrie.

2.2.1 Fotometrické veličiny a jednotky

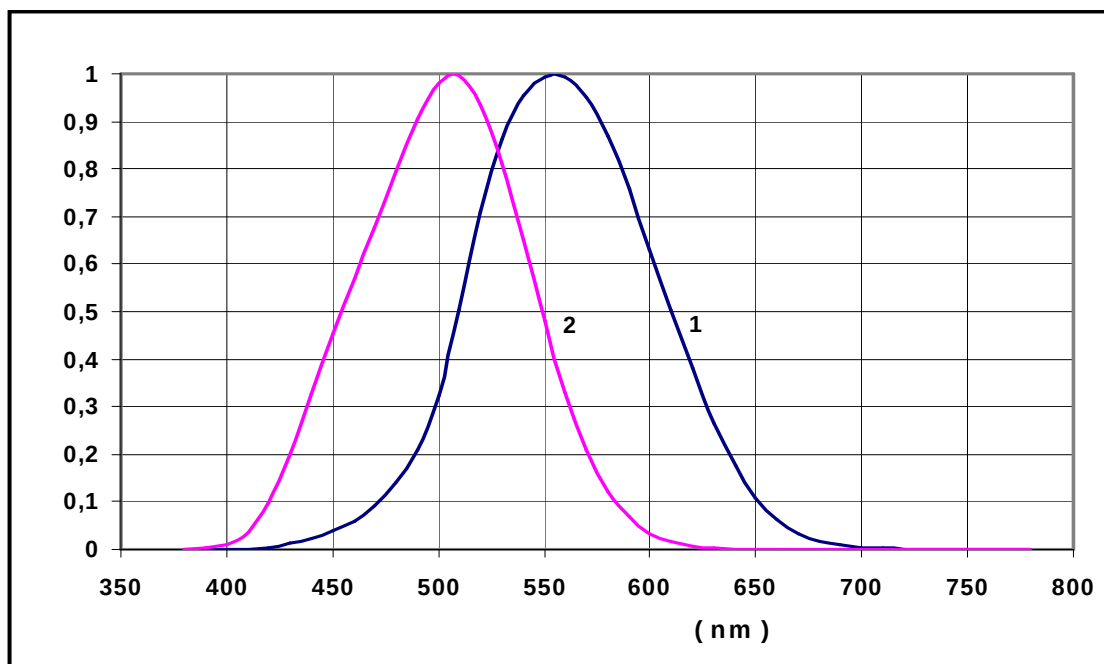
Kontakt člověka s okolím zprostředkovávaný světlem je jeho zrakovým aparátem vyhodnocován ze dvou nezávislých signálů, signálu o jasu a signálu o barvě (vlnové délce). Oko jako receptor záření registruje rozsah vlnových délek přibližně od 380 nm do 780 nm (viz *tabulka č. 2.1*), přičemž není v této spektrální oblasti rovnoměrně citlivé. Zrakový aparát mimoto nemá schopnost vnímat souhrnné působení světla za určitou dobu, pro vidění není proto důležité celkové množství světelné energie přijaté za určitou dobu, ale rozhodující je výkon (světelný či zářivý tok zdroje světla) a jeho prostorové rozložení. V tom spočívá zásadní rozdíl mezi lidským zrakem a příjemci světla a záření v archivech, muzeích a galeriích. Zde má totiž dávka viditelného záření (osvit), jakož i dávka ozáření (např. ultrafialovým zářením) pro zachování jejich fondů zásadní význam.

Jednotnost, s ohledem na rozdílnou spektrální citlivost zraku různých pozorovatelů, je ve fotometrii zajištěna dohodou Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) o hodnotách spektrální citlivosti oka (poměrné světelné účinnosti pro denní a noční vidění) tzv. normálního fotometrického pozorovatele. Tyto hodnoty jsou

udávány v poměrných číslech, vztažených k maximu křivky spektrální citlivosti oka – viz *tabulka č. 2.2 a obrázek č. 2.1*. Podrobněji viz /2.1/.

Tab. 2.2 Hodnoty poměrné spektrální účinnosti. $V(\lambda)$ – denní vidění; $V'(\lambda)$ – noční vidění.

Vlnová délka λ (nm)	Vidění		Vlnová délka λ (nm)	Vidění	
	denní $V(\lambda)$	noční $V'(\lambda)$		denní $V(\lambda)$	noční $V'(\lambda)$
380	0,0000	0,000589	590	0,757	0,0685
390	0,0001	0,002209	600	0,631	0,03315
400	0,0004	0,00929	610	0,503	0,01593
410	0,0012	0,03489	620	0,381	0,00737
420	0,0040	0,0966	630	0,265	0,003335
430	0,0116	0,1998	640	0,175	0,001497
440	0,023	0,3281	650	0,107	0,000677
450	0,038	0,455	660	0,061	0,0003129
460	0,060	0,567	670	0,032	0,0001480
470	0,091	0,676	680	0,017	0,0000715
480	0,139	0,793	690	0,0082	0,00003533
490	0,208	0,904	700	0,0041	0,00001780
500	0,323	0,982	710	0,0021	0,00000914
510	0,503	0,997	720	0,00105	0,000002546
520	0,710	0,935	730	0,00052	0,000001963
530	0,862	0,811	740	0,00025	0,000001379
540	0,954	0,650	750	0,00012	0,000000760
550	0,995	0,481	760	0,00006	0,000000428
560	0,995	0,3288	770	0,00003	0,000000241
570	0,952	0,2076	780	0,000015	0,000000139
580	0,870	0,1212			



Obr. 2.1 Poměrná spektrální citlivost oka normálního fotometrického pozorovatele.

$V(\lambda)$ – denní vidění; $V'(\lambda)$ – noční vidění.

Při denním (fotopickém) vidění vykazuje křivka spektrální citlivosti $V(\lambda)$ maximum při vlnové délce $\lambda_m = 555$ nm. Z tabulky 2.2 a z obrázku 2.1 je též zřejmé, že citlivost oka při denním vidění je k monochromatickému záření o vlnové délce 510 nm a 610 nm přibližně poloviční a k monochromatickému záření o vlnové délce 430 nm a 690 nm přibližně 100x menší.

Denní vidění nastává v zásadě při adaptaci (přizpůsobení citlivosti zraku) na hodnotu jasu $L = 100 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (křivka $V(\lambda)$ podle CIE pro fotopické vidění), kdy je již oko schopno spolehlivě rozeznávat barvy.

Při nočním (skotopickém) vidění je maximum křivky spektrální citlivosti $V'(\lambda)$ posunuto k vlnové délce $\lambda'_m = 507$ nm. Noční vidění nastává při adaptaci oka na jas několika setin $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$, podle [1] při adaptaci na jas $10^{-5} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a oko za těchto podmínek nerozeznává barvy. Při přechodu od fotopického vidění ke skotopickému se snižuje jasnost červených ploch a roste naopak jasnost ploch modrých (Purkyňův jev). Spektrální citlivost zrakového aparátu člověka závisí tedy na úrovni adaptačního jasu, kdy křivky spektrální citlivosti oka se pohybují mezi křivkami pro fotopické a pro skotopické vidění. Tyto stavy jsou označovány jako vidění mezopické.

2.2.1.1 Světelný tok

Energetickým ekvivalentem fotometrického výrazu světelný tok je zářivý tok (A – radiant power, radiant flux)^{x)}, který je definován jako výkon přenášený zářením. Jednotkou je watt (W) a značí se Φ_e , Φ .

Světelný tok (A – luminous flux) je veličina odvozená ze zářivého toku pomocí mezinárodně přijatých hodnot poměrné světelné účinnosti monochromatického záření. Vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Jednotkou je lumen (lm) a značí se Φ_v , Φ .

Známe-li zářivý tok monochromatického záření $\Phi_e(\lambda)$, je světelný tok určen vztahem

$$\Phi_v(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, -, \text{W}) \quad (2.2)$$

Veličina $K(\lambda)$ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$) je světelná účinnost monochromatického záření rovnající se poměru světelného toku a jemu odpovídajícího zářivého toku. Maximum veličiny $K(\lambda)$ se označuje K_m a je definováno pro normálního fotometrického pozorovatele

^{x)} A – ekvivalentní výraz v anglickém jazyce.

při fotopickém (denním) vidění a pro monochromatické záření základní vlnové délky $\lambda_m = 555,155 \text{ nm}$ a je rovno $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.

Poměrná světelní účinnost $V(\lambda)$ monochromatického záření je definována vztahem

$$V(\lambda) = K(\lambda) / K_m = K(\lambda) / 683 \quad (-, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (2.3)$$

Chápeme-li veličinu $V(\lambda)$ z hlediska individuálního pozorovatele, jsou její hodnoty totožné s hodnotami poměrné světelné citlivosti normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění.

Příklad: Ze vztahu (2.2) vyplývá, že zářivému toku např. $\Phi_e = 10 \text{ W}$ o vlnové délce $\lambda = 680 \text{ nm}$, kdy $V(\lambda) = 0,017$, odpovídá světelný tok $\Phi_v = 683 \cdot 10 \cdot 0,017 = 116 \text{ lm}$ a témuž zářivému toku o vlnové délce $\lambda = 500 \text{ nm}$, kdy $V(\lambda) = 0,323$, odpovídá světelný tok $\Phi_v = 2207 \text{ lm}$.

2.2.1.2 Prostorový úhel

Prostorový úhel je důležitou geometrickou veličinou ve světelné technice, neboť světelné paprsky vstupující do oka pozorovatele a světelné paprsky vystupující ze zdroje vidíme pod určitým prostorovým úhlem. Jeho velikost je určena poměrem plochy kulového vrchlíku A vymezeného na kouli o jednotkovém poloměru opsané z vrcholu tohoto úhlu a druhé mocniny poloměru této koule. Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr), definovaný jednotkovou plochou (1 m^2) na povrchu koule o poloměru $r = 1 \text{ m}$. Prostorový úhel Ω , pod nímž je ze středu koule o poloměru r vidět plocha A vyřatá na povrchu této koule, se určuje ze vztahu

$$\Omega = A / r^2 \quad (\text{sr}, \text{m}^2, \text{m}) \quad (2.4)$$

Je-li plocha kulového vrchlíku rovna druhé mocnině poloměru koule, je prostorový úhel roven 1 steradiánu. Největší hodnoty $\Omega_{\max} = 4\pi$ nabývá prostorový úhel pro plochu A rovnou povrchu celé koule, tj. $A = 4\pi \cdot r^2$. Pro tuto hodnotu prostorového úhlu se někdy používá jednotka spat (sp). $1 \text{ sp} = 4\pi \cdot \text{sr}$.

2.2.1.3 Svítivost

Energetickým ekvivalentem fotometrického výrazu svítivost je zářivost (A – radiant intenzity). Je definována jako podíl zářivého toku bodového zdroje v kuželi

s nekonečně malým prostorovým úhlem, jehož osa leží v uvažovaném směru záření, a prostorového úhlu kužele. Jednotkou je $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$ a značí se I_e .

Svítivost (A – luminous intensity) je podíl světelného toku vyzářeného zdrojem v některém směru do nekonečně malého prostorového úhlu a velikosti tohoto úhlu. Jednotkou je kandela (cd) a značí se I_v , I .

$$I_v = d\Phi / d\Omega \quad (\text{cd, lm, sr}) \quad (2.5)$$

Z definice svítivosti vyplývá, že $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} \cdot \text{sr}^{-1}$. Kandela je základní jednotkou svítivosti mezinárodní soustavy SI. Podle usnesení generální konference pro Míry a váhy z roku 1979 je 1 kandela rovna svítivosti zdroje, jež v určitém směru vyzařuje monochromatické záření o kmitočtu $5,40 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, přičemž intenzita vyzařování je v daném směru rovna hodnotě $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$.

Etalonem svítivosti je tepelně izolovaný kelímek s rozžhavenou platinou, do kterého je ponořena thoriová trubička, jež je zdrojem světla. Jedna kandela je pak definována jako svítivost $1/60$, 10^{-4} m^2 povrchu absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny (tj. 1769°C) a při tlaku $1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Jinými slovy, 1 cm^2 takto zahřátého tělesa má svítivost 60 cd. Starší jednotky svítivosti jsou uvedeny v *tabulce č. 2.3*.

Tab. 2.3 Porovnání jednotek svítivosti.

	1 cd	1 SI	1 HK	1 harcourt	1 carcel	1 spermacet candle
1 kandela (cd)	1	0,98	1,107	1,09	0,103	0,86
1 mezinárodní svíčka (SI)	1,02	1	1,13	1,112	0,105	0,88
1 Hefnerova svíčka (HK)	0,903	0,885	1	0,985	0,093	0,777
1 Harcourtova lampa (harcourt)	0,917	0,899	1,016	1	0,0945	0,789
1 Carcelova lampa (carcel)	9,708	9,51	10,747	10,582	1	8,35
1 spermacet candle	1,16	1,139	1,287	1,27	0,119	1

2.2.1.4 Intenzita osvětlení (osvětlenost)

Energetickým ekvivalentem fotometrického výrazu intenzita osvětlení (osvětlenost) je intenzita ozáření (ozářenost) (A – irradiance). Je definována jako podíl zářivého toku, který dopadá na plošný prvek a velikosti tohoto prvku. Jednotkou je $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ a značí se E_e .

Intenzita osvětlení (osvětlenost) (A – illuminance, illumination) v daném bodu plochy je podíl světelného toku, který dopadá na element této plochy obsahující daný bod a velikosti tohoto plošného elementu.

$$E_v = d\Phi / dA \quad (\text{lx, lm, m}^2) \quad (2.6)$$

Jednotkou intenzity osvětlení (osvětlenosti) je lux. Je to intenzita osvětlení světelným tokem 1 lumenu, rovnoměrně rozděleným na plochu 1 m^2 . Značí se lx. Z uvedeného je zřejmé, že $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$.

Osvětlenost je jednou z nejčastěji používaných světelně technických veličin v praxi. Měřit osvětlenost může prakticky každý zainteresovaný uživatel. Osvětlenost dané plochy je závislá na svítivosti zdroje a na vzdálenosti osvětlované plochy od tohoto zdroje. Tuto závislost popisuje vztah, který praví, že osvětlenost od bodového zdroje je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti osvětlované plochy od zdroje.

$$E_v = I_v / l^2 \quad (\text{lx, cd, m}) \quad (2.7)$$

Vztah (2.7) má platnost v případě, že osvětlovaná plocha je kolmá k dopadu světelných paprsků. Závislost osvětlenosti na směru paprsků vyjadřuje kosinový Lambertův zákon

$$E_{v,\beta} = E_v \cdot \cos \beta \quad (\text{lx, lx, } ^\circ) \quad (2.8)$$

Podle tohoto vztahu je osvětlenost přímo úměrná kosinu úhlu dopadu světelných paprsků, přičemž úhel dopadu se měří mezi normálou plochy v uvažovaném směru a směrem osy svazku světelných paprsků.

Pozn. 1: Bodový zdroj světla je takový zdroj, jehož rozměry jsou v porovnání se vzdáleností tohoto zdroje od osvětlované plochy či receptoru tak malé, že je lze ve fotometrických výpočtech zanedbat.

Pozn. 2: Ve světelně technické praxi je přijato, že za bodový zdroj lze v řadě praktických případů považovat takový zdroj, jehož největší rozměr svítícího vlákna je nejméně 10x menší než vzdálenost světelného zdroje od osvětlované plochy.

V odborné literatuře se můžeme setkat i s jinými jednotkami osvětlenosti, přehledně jsou uvedeny v *tabulce č. 2.4*.

Tab. 2.4 Porovnání jednotek osvětlenosti.

	lx	ph	Fc
Lux (lx)	1	10^{-4}	$9,29 \cdot 10^{-2}$
Phot (ph)	10^4	1	929
Footcandle (fc)	10,764	$1,08 \cdot 10^{-3}$	1

Pozn.: 1 footcandle = 1 lumen per square foot ($\text{lm} \cdot \text{ft}^{-2}$).

Většina světelně-technických veličin, jejich definice, jednotky a vzájemné vztahy jsou pro většinu uživatelské veřejnosti často málo srozumitelné. Pro snadnější pochopení uvádíme proto nejjednodušší možnou definici vzájemného vztahu mezi světelným tokem, svítivostí a osvětleností: Bodový světelný zdroj o svítivosti 1 cd vysílá do prostorového úhlu 1 sr světelný tok 1 lm a tento světelný tok osvětluje plochu 1 m^2 intenzitou 1 lx.

2.2.1.5 Jas

Energetickým ekvivalentem fotometrického výrazu jas je zář (A – radiance, radiant intenzity per unit area). Je definována jako podíl zářivého toku, který vychází, dopadá nebo prochází nekonečně malou plochou v daném bodě a nekonečně malým prostorovým úhlem v daném směru, a součinu tohoto prostorového úhlu a průmětu této plochy na rovinu kolmou k danému směru. Jednotkou je $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ a značí se L_e .

Jas (A – luminance) svítící plochy v některém směru je podíl svítivosti v tomto směru a velikosti svítící plochy promítnuté do roviny, která je kolmá k ose pozorování.

$$L_v = dI_v / dA \cdot \cos \Theta \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd}, \text{m}^2) \quad (2.9)$$

kde Θ je úhel, který svírá směr, ve kterém jas zjišťujeme s kolmicí k pozorované ploše.

Jednotkou je $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (nit) a značí se L_v , L .

Jas je veličina, na kterou bezprostředně reaguje zrak člověka. Jas osvětleného povrchu závisí na činiteli odrazu ρ_v daného povrchu, tj. na poměru světelného toku odraženého a světelného toku dopadajícího. Jas osvětlené plochy lze popsat vztahem

$$L_v = \rho_v \cdot E_v / \pi \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, -, \text{lx}) \quad (2.10)$$

Příklad: Difuzně odrážející plocha s činitelem odrazu 0,25 (25 %) je osvětlena intenzitou 100 lx. Jas této plochy $L = 0,25 \cdot 100 / \pi = 7,96 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

Uvedený vztah umožňuje například při známé osvětlenosti a činiteli odrazu stanovit jas difuzně odrážejícího povrchu, nebo naopak vypočítat z předem změřených hodnot osvětlenosti a jasu hodnotu činitele odrazu.

Pozorujeme-li dva povrchy s různými jasy, hovoříme o jejich vzájemném kontrastu (poměru jasů).

V literatuře, zvláště angloamerické, se setkáváme i s jinými běžně používanými jednotkami jasu. Jejich přehled je uveden v *tabulce č. 2.5*.

Tab. 2.5 Jednotky jasu.

	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	asb	Sb	L	fL	$\text{cd} \cdot \text{ft}^{-2}$
Kandela $\cdot \text{m}^{-2}$	1	3,14	10^{-4}	$3,14 \cdot 10^{-4}$	0,2919	$9,29 \cdot 10^{-2}$
Apostilb (asb)	0,318	1	$0,32 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$9,29 \cdot 10^{-2}$	$2,96 \cdot 10^{-2}$
Stilb (sb)	10^4	$3,14 \cdot 10^4$	1	3,14	2919	929
Lambert (L)	3183	10^4	0,318	1	929	296
Footlambert (fL)	3,43	10,764	$3,43 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	1	0,318
Kandela $\cdot \text{ft}^{-2}$	10,764	33,82	10^{-3}	$3,4 \cdot 10^{-2}$	3,14	1

Pozn.: Ze základní definice jasu vyplývá, že mohou nastat tři případy účinku jasu, a to: jas v daném bodě svítící plochy, jas v bodě oka nebo světlocitlivého receptoru a jas na dráze a ve směru elementárního paprsku v prostředí nerozptylujícím a nepohlcujícím. S ohledem na četnost aplikací a praktické využití, je uváděn pouze první případ.

2.2.1.6 Osvit

Energetickým ekvivalentem fotometrického výrazu osvit je dávka ozáření (A – radiant exposure). Je definována jako podíl množství záření a velikosti ozářené plochy, resp. jako součin intenzity ozáření a doby trvání. Jednotkou je $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ a značí se H_e .

Osvit (A – light exposure, dříve též quantity of illumination) je plošná hustota světelného množství Q_v , které dopadlo na danou plochu, resp. součin intenzity osvětlení a doby jeho trvání. Jednotkou je luxsekunda (lx.s) a značí se H_v .

$$H_v = dQ_v / dA = E_v \cdot t \quad (\text{lx} \cdot \text{s}, \text{lm} \cdot \text{s}, \text{m}^2, \text{lx}, \text{s}) \quad (2.11)$$

Pozn.: Světelné množství je součin světelného toku a doby trvání. Jednotkou je lumensekunda (lm.s) a značí se Q_v .

LITERATURA

- /2.1/ ČSN/IEC 50 (845): Mezinárodní elektrotechnický slovník, část 845 Osvětlení, 1995.

- /2.2/ ČSN 36 0000: Světelně technické názvosloví, ÚNM Praha, 1967.
- /2.3/ Publikace IEC: Lighting handbook. Eng. Society I11, N. Y., 1981.
- /2.4/ Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, Praha, 1995.
- /2.5/ Miškařík S.: Moderní zdroje světla, SNTL Praha, 1979.

3 ZDROJE SVĚTLA

Ing. Jiří Krejčí

Světlo podle původu jeho vzniku dělíme na světlo přírodní (denní) a umělé. Ze zdrojů umělého světla používaných pro osvětlování mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií, tedy elektrické světelné zdroje.

3.1 DENNÍ SVĚTLO

Pod pojmem denní světlo chápeme sluneční světlo, dopadající na zemský povrch jednak přímo jako přímé sluneční světlo a jednak rozptýlené atmosférou jako oblohové světlo.

Význam denního světla pro člověka a jeho činnost je nezastupitelný jak z biologického hlediska, tak i z hlediska požadavků na jeho zrakový výkon a zrakovou pohodu.

Zdrojem denního světla jsou termojaderné procesy probíhající uvnitř Slunce, jež je zdrojem obrovského množství energie, která je vyzařována v podobě elektromagnetického záření do prostoru. Tento tok energie po průchodu atmosférou dopadá i na zemský povrch. Elektromagnetické záření Slunce pokrývá široké spektrum od ultrafialové oblasti po blízkou infračervenou oblast. Většina záření dopadajícího na zemský povrch (přibližně 99 %) je v rozsahu vlnových délek od 0,3 μm do 4 μm s maximem ve viditelné oblasti spektra okolo 0,5 μm . Z toho přibližně polovina slunečního záření je vyzařována v infračervené oblasti spektra, přibližně 40 % ve viditelné oblasti a přibližně 10 % v ultrafialové a rentgenové oblasti spektra. Po průchodu atmosférou prodělává sluneční záření řadu změn, jež jsou často označovány jako extinkce (absorbce a rozptyl) záření. Většina energie záření o vlnových délkách pod 0,3 μm je absorbována atmosférou. K dalšímu pohlcování a rozptylu záření dochází při průchodu atmosférou vlivem aerosolových částic, plynů a vodní páry. Rozptyl přímého slunečního záření v atmosféře je příčinou difuzního záření oblohy. Energie záření v daném časovém okamžiku na určitém místě zemského povrchu je tudíž sumou přímého a difuzního slunečního záření.

Výsledky měření spektrálního složení slunečního záření v daných konkrétních podmínkách (místě a době) mají proto platnost pouze pro tyto podmínky a zahrnují, kromě výše uvedených a těžko definovatelných atmosférických podmínek, i vliv roční a denní doby (slunečního azimutu a výšky Slunce nad obzorem, resp. zenitního úhlu Slunce).

Pozn.: Při přesných fyzikálních měřeních se obsah vodní páry, resp. ozónu ve svislém sloupci atmosféry měří jako výška sloupce odpovídající kondenzované vody, resp. sloupce ozónu, např. v centimetrech. Rozptyl na částicích aerosolu a absorpce se vyjadřují tzv. Angströmovým činitelem zákalu (turbidity).

V praxi se pro hodnocení změn slunečního záření při jeho průchodu atmosférou používá tzv. součinitel vlivu vzdušné hmoty, jež slouží pro vyjádření délky dráhy slunečních paprsků v zemské atmosféře. Tento součinitel se považuje za rovný 1, je-li Slunce v zenitu a značí se M . Při jiné výšce Slunce nad obzorem udává součinitel vlivu vzdušné hmoty přibližně kosekans této výšky, resp. sekans zenitního úhlu Slunce. Součinitel vlivu vzdušné hmoty $M = 1$ (jednotková tloušťka atmosféry) je charakterizován jako pomyslně stlačený sloupec ideálně čisté atmosféry o výšce 8 000 m, jež je kolmý k rovině mořské hladiny.

Příklad: Při výšce Slunce nad obzorem $h = 90^\circ$ $M = 1,0$,
 při výšce Slunce nad obzorem $h = 30^\circ$ $M = 2,0$,
 při výšce Slunce nad obzorem $h = 1^\circ$ $M = 27$,

kdy pomyslná tloušťka atmosféry pro průchod slunečních paprsků činí 216 km.

Za těchto podmínek například nedopadá na zemský povrch žádné ultrafialové záření.

3.1.1 Spektrální složení denního světla

Spektrální složení a intenzita přímého i rozptýleného slunečního záření závisí tedy na výšce Slunce nad obzorem, na obsahu aerosolových částic, ozónu a vodní páry ve vzduchu. Značně se mění se zeměpisnou šířkou a typem klimatu.

Nejpřesněji je z těchto důvodů změřeno spektrální složení a intenzita slunečního záření mimo zemskou atmosféru, tj. v podmínkách, kdy součinitel vlivu vzdušné hmoty $M = 0$.

Množství energie záření ze Slunce, které dopadá na jednotku plochy roviny kolmé ke slunečním paprskům mimo zemskou atmosféru při střední vzdálenosti Země od Slunce, se nazývá solární konstanta. Její hodnota je přibližně $1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Vlivem změny vzdálenosti Země od Slunce během roku se mění i hodnota solární konstanty (intenzita ozáření) od přibližně $1410 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ v lednu do přibližně $1320 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ v červenci. Spektrální složení slunečního záření mimo zemskou atmosféru ($M = 0$) je pro solární konstantu $1353 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ uvedeno v *tabulce č. 3.1 a na obrázku č. 3.1 /3.1/*.

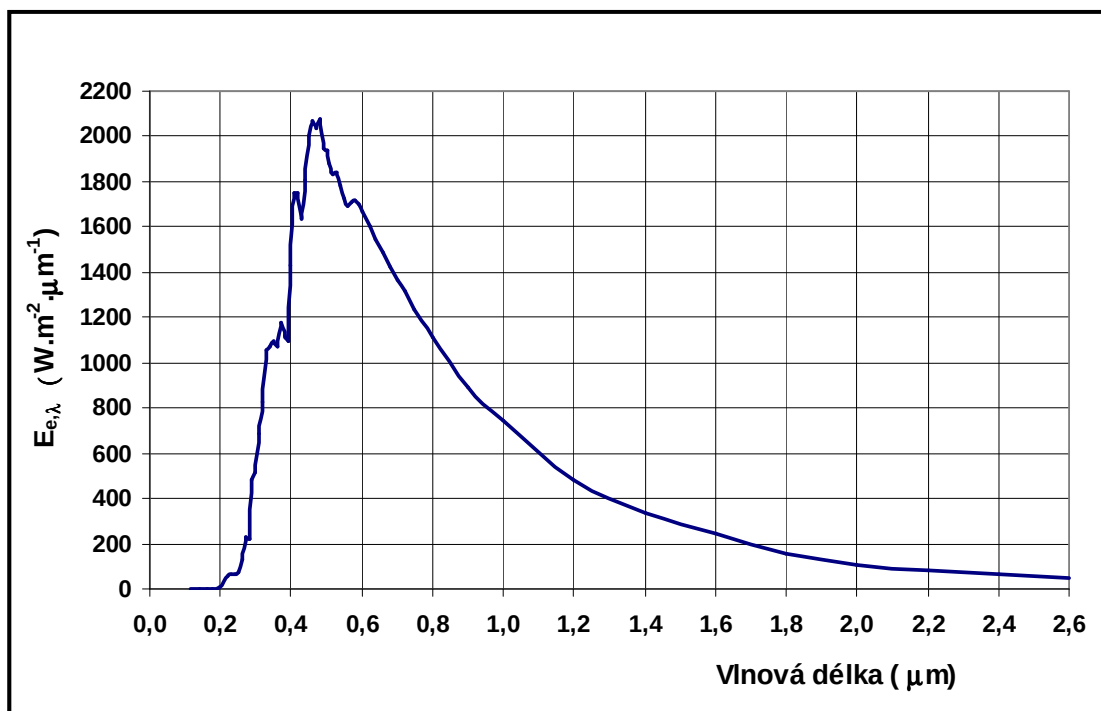
Maximální úroveň celkové (globální) intenzity slunečního záření na zemském povrchu se vyskytuje za jasných dnů v poledních hodinách a na plochách, kolmých

ke směru Slunce může dosáhnout hodnoty $1\,120\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Tato hodnota je typická pro rovinatou venkovskou krajinu vzdálenou od průmyslových aglomerací a velkých měst při výškách Slunce nad obzorem převyšujících 60° . Typické maximální hodnoty globální intenzity ozáření při jasné obloze jsou uvedeny v *tabulce č. 3.2*.

Tab. 3.1 Spektrální intenzita slunečního záření mimo atmosféru.

λ (μm)	$E_{e,\lambda}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	$D_o \rightarrow \lambda$	Λ (μm)	$E_{e,\lambda}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)	$D_o \rightarrow \lambda$
0,115	0,007	0,0001	0,56	1695	30,65
0,14	0,03	0,0005	0,57	1712	31,91
0,16	0,23	0,0006	0,58	1715	33,18
0,18	1,25	0,0016	0,59	1700	34,44
0,20	10,7	0,0081	0,60	1666	35,68
0,22	57,5	0,05	0,62	1602	38,10
0,23	66,7	0,10	0,64	1544	40,42
0,24	63,0	0,14	0,66	1486	42,66
0,25	70,9	0,19	0,68	1427	44,81
0,26	130	0,27	0,70	1369	46,88
0,27	232	0,41	0,72	1314	48,86
0,28	222	0,56	0,75	1235	51,69
0,29	482	0,81	0,80	1109	56,02
0,30	514	1,21	0,90	891	63,37
0,31	689	1,66	1,00	748	69,49
0,32	830	2,22	1,2	485	78,40
0,33	1059	2,93	1,4	337	84,33
0,34	1074	3,72	1,6	245	88,61
0,35	1093	4,52	1,8	159	91,59
0,36	1068	5,32	2,0	103	93,49
0,37	1181	6,15	2,2	79	94,83
0,38	1120	7,00	2,4	62	95,86
0,39	1098	7,82	2,6	48	96,67
0,40	1429	8,73	2,8	39	97,31
0,41	1751	9,92	3,0	31	97,83
0,42	1747	11,22	3,2	22,6	98,22
0,43	1639	12,47	3,4	16,6	98,50
0,44	1810	13,73	3,6	13,5	98,72
0,45	2006	15,14	3,8	11,1	98,91
0,46	2066	16,65	4,0	9,5	99,06
0,47	2033	18,17	4,5	5,9	99,34
0,48	2074	19,68	5,0	3,8	99,51
0,49	1950	21,15	6,0	1,8	99,72
0,50	1942	22,60	7,0	1,0	99,82
0,51	1882	24,01	8,0	0,59	99,88
0,52	1833	25,38	10,0	0,24	99,94
0,53	1842	26,74	15,0	0,048	99,98
0,54	1783	28,08	20,0	0,0015	99,99
0,55	1725	29,38	50,0	0,00039	100,00

Pozn.: Hodnoty ve sloupci ($D_o \rightarrow \lambda$) udávají procentuální podíl sluneční energie ve spektrálním rozsahu do dané vlnové délky.



Obr. 3.1 Spektrální intenzita slunečního záření $E_{e,\lambda}$ v rovině kolmé ke slunečním paprskům mimo atmosféru ($M = 0$) pro solární konstantu $1\,353\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Tab. 3.2 Typické maximální hodnoty globální intenzity ozáření.

Oblast	Městské aglomerace	Rovinatý venkov	Horské oblasti
Subtropy a pouště	700	750	1 180
Ostatní oblasti	1 050	1 120	1 180

Další údaje o spektrálním složení a intenzitě slunečního záření vztažené k dané roční a denní době a stavu atmosféry (pro různé hodnoty součinitele stavu vzdušné hmoty M) lze v tabelární formě nalézt v /3.2/ a /3.3/ a v grafické formě např. v /3.4/.

Pro názornost jsou v *tabulce č. 3.3* uvedeny orientační hodnoty činitele prostupu slunečního záření (τ) o vlnové délce od 300 nm do 1 000 nm pro jednotkovou tloušťku atmosféry ($M = 1$, tj. Slunce je v zenitu).

Tab. 3.3

λ (nm)	300	400	500	600	700	800	900	1 000
τ	0,40	0,76	0,88	0,91	0,96	0,98	0,99	0,99

Orientační hodnoty sluneční energie (v %) v závislosti na výšce Slunce nad obzorem v ultrafialové, viditelné a infračervené oblasti spektra jsou uvedeny v tabulce č. 3.4.

Tab. 3.4

Oblast spektra, nm	Výška Slunce nad obzorem, h						
	90 °	50 °	30 °	20 °	10 °	5 °	0 °
295–400	6,7	4,2	2,7	2,0	1,0	0,4	0
380–440	7,4	4,5	3,8	2,6	0,8	0,6	0
440–490	9,0	8,2	7,8	7,1	4,6	2,1	0
490–565	9,2	9,2	8,8	8,3	5,9	2,7	1,7
565–595	10,1	9,7	9,8	10,2	10,0	8,0	4,1
595–760	11,5	12,2	13,5	14,5	19,7	25,2	25,4
nad 760	50,0	52,9	54,6	55,3	58,0	61,0	68,8

Přesné měření intenzity slunečního záření v praxi není jednoduché a měření spektrálního složení tohoto záření je ještě složitější a pro běžného uživatele téměř nedostupné. (Referenčním pracovištěm v České republice pro tato měření, zvláště pro měření intenzity a dávky slunečního záření, je Solární a ozónové oddělení Českého hydrometeorologického ústavu).

V řadě případů (např. při výpočtech, projektování a hodnocení radiační zátěže apod.) je však nutné mít k dispozici alespoň reprezentativní údaje pro danou oblast, danou roční a denní dobu (azimut a výška Slunce nad obzorem) a pro typický stav atmosféry. Proto jsou intenzita slunečního záření a jeho spektrální složení (tak jako i jiné veličiny v jiných oblastech) mezinárodní úmluvou sjednoceny a vymezena jejich místní a časová platnost a použitelnost. Pro podmínky České republiky, tj. pro 50° severní šířky lze v praxi využít tyto základní vztahy a údaje:

Výška Slunce nad obzorem – (h) se pro 50° s. š. určuje podle vztahu:

$$\sin h = 0,766 \sin \delta - 0,643 \cos \delta \cdot \cos(15 \tau) \quad (3.1)$$

kde δ je sluneční deklinace,

τ je denní doba (hod.).

Sluneční azimut – (a) je definován od směru sever ve směru otáčení hodinových ručiček

$$\sin a = \sin (15 \tau) \cdot \cos \delta / \cos h \quad (3.2)$$

Sluneční deklinace – (δ) se pro jednotlivé měsíce (nejčastěji k 21. dni daného měsíce) určuje podle vztahu

$$\delta = -23,5 \cdot \cos (30 \cdot M) \quad (3.3)$$

kde M je číslo měsíce (1 až 12).

Hodnoty sluneční deklinace δ pro jednotlivé měsíce roku jsou uvedeny v *tabulce č. 3.5*.

Tab. 3.5

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
δ	-20,4	-11,8	0,0	11,8	20,4	23,5	20,4	11,8	0,0	-11,8	-20,4	-23,5

Výška Slunce nad obzorem a sluneční azimut pro 50° s. š. a jednotlivé měsíce roku jsou uvedeny v *tabulce č. 3.6*.

Tab. 3.6 Výška Slunce h a sluneční azimut a pro jednotlivé měsíce (vždy k 21.) pro 50° s. š.

M ě s í c		Sluneční čas															
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
h	XII					6	12	15	17	15	12	6					
	I, XI				3	10	15	19	20	19	15	10	3				
	II, X			0	10	17	23	27	29	27	23	17	10	0			
	III, IX		1	10	19	27	34	39	40	39	34	27	19	10	1		
	IV, VIII	0	9	18	28	37	44	49	51	49	44	37	28	18	9	0	
	V, VII	6	15	25	34	44	52	58	60	58	52	44	34	25	15	6	
	VI	9	18	27	37	46	55	61	63	61	55	46	37	27	18	9	
a	XII					139	152	166	180	194	208	221					
	I, XI				125	138	151	165	180	195	209	222	235				
	II, X			109	121	134	148	164	180	196	212	226	239	241			
	III, IX		89	101	114	127	143	160	180	200	217	233	246	259	271		
	IV, VIII	72	83	94	106	120	137	157	180	203	223	240	254	266	277	288	
	V, VII	67	77	88	100	114	131	152	180	208	229	246	260	272	283	293	
	VI	64	74	85	97	110	128	151	180	209	232	250	263	275	286	296	

Intenzitu slunečního záření (přímého i difuzního) lze pro dané podmínky stanovit s využitím vztahů:

Intenzita přímého slunečního záření

$$E_{e,D} = 1\,350 \exp \left[-0,1 z \left(\frac{16-H}{16+H} \sin h \right)^{0,8} \right] \quad (3.4)$$

kde z je součinitel znečištění atmosféry (–),

H nadmořská výška (km).

Pro průměrně uvažovanou nadmořskou výšku měst v České republice ($H = 0,3$ km) lze použít zjednodušený vztah

$$E_{e,D} = 1\,350 \exp \left[-0,097 z \cdot (\sin h)^{-0,8} \right] \quad (3.5)$$

Intenzita difuzního slunečního záření

$$E_{e,d} = \left[1350 - E_{e,D} - (1080 - 1,4 E_{e,D}) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \frac{\sin h}{3} \quad (3.6)$$

kde α úhel mezi sledovanou plochou a vodorovnou rovinou, vzatý na straně odvrácené od Slunce (stupně).

Součinitel znečištění atmosféry (z) – pro jednotlivé měsíce se doporučují tyto hodnoty:

Měsíc	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
z	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0

Údaje o intenzitě a dávkách slunečního záření na území České republiky (denní průběhy maximální, průměrné a minimální intenzity slunečního záření za jasných i za zatažených dnů, jakož i průměrné hodnoty hodinových, denních a měsíčních dávek ozáření) jsou na základě rozsáhlého měření a statistického vyhodnocení uvedeny v /3.5/.

Působení slunečního záření v součinnosti s plyny a emisemi obsaženými v atmosféře, se změnami teploty, vlhkosti a vlivu času se často označuje jako souhrnné působení vnějšího prostředí a vede ke stárnutí a následnému možnému porušení mnohých, především organických materiálů. Znehodnocování těchto materiálů vlivem vnějšího prostředí, dobře známé pracovníkům archivů, muzeí a galerií, není obvykle důsledkem jediného procesu, ale více jednotlivých procesů, které probíhají současně a často se navzájem ovlivňují. Ačkoliv sluneční záření, především jeho ultrafialová

složka (způsobující fotochemickou degradaci), je hlavním činitelem, lze jeho vliv v praxi málokdy oddělit od vlivu ostatních vnějších činitelů.

Fotochemický účinek optického záření je sledován nejen v řadě odvětví (průmysl plastických hmot, textilní a kožedělný průmysl, gumárenství, stavební hmoty, papírenský průmysl, kosmetický průmysl apod.), ale v neposlední řadě i v oblasti ochrany a uchovatelnosti předmětů kulturního dědictví pro další generace. Z tohoto důvodu jsou v jednotlivých odvětvích používány metody ke zjišťování a zkoušení odolnosti, ochranné účinnosti materiálů a výrobků proti slunečnímu záření, metody ke zkoušení a hodnocení stálobarevnosti na denním světle, metody umělého urychleného stárnutí apod. Jejich základem je aplikace simulovaného slunečního záření, viz např. /3.4/, /3.6/ a /3.7/. Ve všech těchto metodách a návodech je důraz kladen na skutečnost, aby spektrální záření zdroje, používaného k simulaci slunečního záření, co nejvíce odpovídalo spektrálnímu složení slunečního záření, v první řadě v ultrafialové oblasti spektra. Tento požadavek je zřejmý z *tabulky č. 3.7*, kde jsou uvedeny hodnoty energie (v eV) fotonů optického záření.

Tab. 3.7 Energie (eV) fotonů optického záření.

Optické záření		Energie fotonů
Oblast	(nm)	(eV)
Ultrafialová	100–380	100–3,3
Viditelná	380–780	3,3–1,5
Infračervená	780–3 000	1,5–0,0001

Pozn. 1: Obavy ze zvýšeného fotochemického účinku ultrafialového záření (u velmi citlivých exponátů i viditelného záření v oblasti vlnových délek přibliž. od 400 nm do 450 nm) světelných zdrojů jsou zřejmé i z /3.8/. Tyto obavy vyplynuly z rozsáhlých studií, jež iniciovalo Metropolitan Museum of Art v New Yorku při zavádění zářivkového osvětlení. Míra vlivu spektrálního složení záření na exponáty byla popsána veličinou „Damage function – d_λ “ zavedenou National Bureau of Standards. Pro názornost uvádíme hodnoty této funkce pro vybrané vlnové délky spektra. Hodnoty funkce jsou uvedeny v *tabulce č. 3.8* a jsou přepočteny tak, aby vlnové délce 555 nm, tedy maximum spektrální citlivosti lidského oka, odpovídala jednotková hodnota této funkce.

Tab. 3.8

λ (nm)	300	350	400	500	555	600	700
d_λ	681	190	52.7	4,08	1,00	0,32	0,02

Pozn. 2: V současné době je „damage function“ pro archivy, muzea a galerie definována obecněji Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE.

Základním požadavkem výše uvedených metod pro hodnocení a studium fotochemického účinku denního světla na různé materiály a výrobky je zabezpečení

takového spektrálního složení a intenzity záření, simulujícího sluneční záření, jaké se vyskytuje na zemském povrchu. Intenzita slunečního záření na zemském povrchu závisí na hodnotě solární konstanty a na extinkci záření v atmosféře. Mezinárodní komise pro osvětlování CIE proto ve svých doporučeních deklaruje, že při zkouškách simulovaným slunečním zářením se mají používat zdroje, jež zabezpečí celkovou intenzitu záření simulujícího záření $1\,120\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a spektrální složení celkového záření pro tyto zkoušky má být v souladu s doporučením CIE /3.9/. Podrobné složení celkového simulovaného slunečního záření je uvedeno v *tabulce č. 3.9*.

Tab. 3.9 Spektrální složení celkového záření používaného k výpočtům.

Oblast spektra	Pásmo vlnových délek (μm)	Intenzita záření		
		($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	Podíl (v %)	
Ultrafialová B*)	0,28–0,32	5	0,4	6,0
Ultrafialová A	0,32–0,36	27	2,4	
	0,36–0,40	36	3,2	
Viditelná	0,40–0,44	56	5,0	50,0
	0,44–0,48	73	6,5	
	0,48–0,52	71	6,4	
	0,52–0,56	65	5,8	
	0,56–0,64	121	10,8	
	0,64–0,68	55	4,9	
	0,68–0,72	52	4,6	
	0,72–0,78	67	6,0	
Infračervená	0,78–1,0	176	15,7	44,0
	1,0–1,2	108	9,7	
	1,2–1,4	65	5,8	
	1,4–1,6	44	3,9	
	1,6–1,8	29	2,6	
	1,8–2,0	20	1,8	
	2,0–2,5	35	3,1	
	2,5–3,0	15	1,4	
Celkem		1 120	100,0	100,0
*) Podíl záření o vlnové délce kratší než $0,30\text{ }\mu\text{m}$ je na zemském povrchu zanedbatelný.				

3.2 UMĚLÉ SVĚTLO

Za světelný zdroj se považuje takové zařízení, jež vysílá viditelné záření. Zdroj umělého světla přeměňuje určitý druh energie na světlo, jako je tomu např. u svíčky, plynové lampy, v žárovce či ve výbojových zdrojích. Vyzařuje-li předmět světlo, jež vzniklo v něm samém přeměnou energie, nazýváme jej prvotním (primárním) světelným zdrojem. Druhotný (sekundární) světelný zdroj je pak takový zdroj světla,

který světlo vysílá v důsledku částečného odrazu či prostupu. Z umělých zdrojů světla mají v oblasti osvětlování největší význam elektrické světelné zdroje.

Podle vzniku světla se elektrické světelné zdroje dělí na zdroje teplotní a výbojové. Typickým představitelem teplotních zdrojů světla jsou všechny druhy žárovek, včetně halogenových, jakož i sluneční světlo přímé i oblohové. Charakteristickým znakem teplotních zdrojů světla je jejich spojité spektrum. Ve výbojových světelných zdrojích se využívá elektrického výboje v plynech a parách různých kovů. Výbojové světelné zdroje se dělí na nízkotlaké a vysokotlaké (někdy jsou klasifikovány i středotlaké). Mezi nízkotlaké zdroje náleží nízkotlaké sodíkové výbojky, zářivky, kompaktní zářivky apod. K vysokotlakým zdrojům náleží sodíkové, xenonové, rtuťové a halogenidové výbojky. U řady výbojových zdrojů se využívá luminiscence určitých látek a tyto zdroje jsou označovány jako luminiscenční, např. zářivky, ve kterých se primární ultrafialové záření nízkotlakého výboje přeměňuje ve vrstvě luminoforu na světlo. Vzhledem ke skutečnosti, že fotony jsou při luminiscenci vyzařovány pouze na určitých energetických hladinách, obsahuje výsledné luminiscenční záření jen některé části spektra. Charakteristickým znakem výbojových světelných zdrojů je čárové (nespojité) spektrum.

3.2.1 Spektrální složení zdrojů umělého světla

Spektrální složení světla je spolu s úrovní osvětlenosti (v lx) jeho základní charakteristikou nejen pro zabezpečení optimálních světelných podmínek pro požadovaný zrakový výkon a zrakovou pohodu v pracovní i mimopracovní činnosti člověka, ale i při řešení osvětlení v archivech, muzeích a galeriích, kdy kromě požadavků na vhodné osvětlení z pohledu návštěvníka je nutné respektovat i požadavky ochrany exponátů a zábrany přede možným škodlivým působením světla.

Všechny současné zdroje světla kromě viditelného záření emitují ve větší či menší míře i záření ultrafialové a infračervené. Orientační hodnoty energetické bilance typických představitelů teplotních i výbojových zdrojů světla (v procentech z el. příkonu) jsou uvedeny v *tabulce č. 3.10*.

Tab. 3.10 Energetická bilance vybraných světelných zdrojů.

Zdroj světla	Záření celkem (%)	Podíl záření v oblasti		
		UV (%)	VIS (%)	IR (%)
Žárovka standardní, 200 W	85–90	< 0,1	9	80
Žárovka halogenová, 100 W	85–90	0,1–1,3	7–12	75–80
Zářivka, bílá, 5 W	55–60	0,6–0,8	18–20	40
Výbojka rtuťová vysokotlaká s luminoforem, 400 W	70–75	2–4	15	55
Výbojka halogenidová, 400 W	65–80	2–4	25	60–65
Výbojka sodíková vysokotlaká, 400 W	60–75	< 0,5	30	45–50
Výbojka xenonová, 400 W	65–80	6	50	44

*) Zbývající procentuální podíl připadá na ztráty na elektrodách, na teplo odváděné prouděním apod.

Křivky spektrálního složení záření soudobých světelných zdrojů používaných v oblasti osvětlování (žárovky, halogenové žárovky, zářivky, kompaktní zářivka, halogenidové a sodíkové výbojky) jsou pro výrobky předních evropských výrobců světelných zdrojů (Philips, Osram) uvedeny v /3.10/ a /3.11/.

Při popisu a objektivním i subjektivním hodnocení spektrálních vlastností světelných zdrojů se setkáváme s pojmy ze tří oblastí, které je nutné dobře rozlišovat a zároveň mít na zřeteli jejich vzájemný vztah. Jsou to jednak pojmy z oblasti fyzikální (světelný podnět a jeho spektrální složení, tj. barevný podnět), jednak pojmy z oblasti psychofyzikální (chromatičnost světla a kolorita předmětů) a jednak pojmy z oblasti psychosenzorické (vlastní pojem barva).

Fyzikálně je počitek barvy dán spektrálním složením barevného podnětu, tj. spektrálním složením záření vysílaného světelným zdrojem či záření, jež prošlo nebo se odrazilo od povrchu předmětu. Spektrální složení barevného podnětu je objektivně měřitelnou fyzikální skutečností, bez ohledu na lidský zrak.

Bereme-li v úvahu vyhodnocování záření (barevného podnětu) zrakovým aparátem člověka (jeho chromatickými analyzátory), nacházíme se v oblasti psychofyzikálních pojmů, které vystihují schopnost barevného světla (barevných předmětů) vzbuzovat barevný počitek. Tuto schopnost lze vyjádřit v určité číselné soustavě, neboť barevný podnět o určitém spektrálním složení se hodnotí podle vlastností zrakového orgánu (jeho spektrální citlivosti).

V oblasti psychosenzorické (vjemové) se pojem „barva“ používá pro vyjádření vlastností tohoto vjemu. Vlastní barevný vjem závisí na vlastnostech zrakového aparátu

člověka a na stavu jeho recepčních orgánů (jasová a barevná adaptace) a na podmínkách pozorování (jasový barevný kontrast), jakož i na psychickém stavu pozorovatele.

Barevné vlastnosti světla je tedy přijato označovat pojmem *chromatičnost* a barevné vlastnosti předmětů pojmem *kolorita*.

Chromatičnost, vyjadřující barevné vlastnosti prvotních světelných zdrojů, je určena spektrálním složením záření vysílaného zdrojem. Lze ji vyjádřit jednak pomocí trichromatických souřadnic kolorimetrické soustavy CIE a jednak pomocí teploty chromatičnosti.

Kolorita, vyjadřující barevné vlastnosti předmětů (druhotných zdrojů světla), je určena spektrálním složením záření zdroje, jež daný předmět osvětluje a spektrální odrazností či propustností předmětu, což je příčinou toho, že světlo odražené či prošlé změnilo nejen své spektrální složení, ale i svoji intenzitu. Kolorita se zpravidla vyjadřuje pomocí trichromatických souřadnic a relativního množství odraženého či prošlého světla (činitele odrazu, resp. prostupu).

3.3 KOLORIMETRICKÁ MĚRNÁ SOUSTAVA

K vyjádření chromatičnosti i kolority jako číselné charakteristiky barvy světla a předmětů se nejčastěji používá kolorimetrická trichromatická soustava. K plnému vystižení vjemu barvy je nezbytné charakterizovat jej třemi čísly a k jeho znázornění je třeba použít trojrozměrného prostorového zobrazení – kolorimetrického prostoru X, Y, Z, což jsou trichromatické složky daného barevného podnětu v kolorimetrické soustavě CIE.

Prostorové zobrazení je však nepraktické, proto se používá rovinný řez kolorimetrických prostorem – diagram chromatičnosti x, y, označovaný též jako kolorimetrický trojúhelník x, y. Chromatičnost světla je zde vyjádřena dvěma souřadnicemi (x, y), jež postačují k popisu barevných vlastností světla. Třetí nezbytná souřadnice – jas se uvádí jako číselný údaj, přiřazený příslušnému bodu barvy světla.

Trichromatické souřadnice se z trichromatických složek X, Y, Z vypočítávají podle známých vztahů

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, y = \frac{Y}{X + Y + Z}, z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (3.7)$$

Souřadnici z není třeba uvádět, neboť automaticky vyplývá ze vztahu $x + y + z = 1$.

Při výpočtu trichromatických souřadnic barvy světla či předmětů je nutné respektovat i spektrální citlivost lidského oka. V kolorimetrických soustavách je to vyřešeno zavedením speciálních koeficientů, tzv. trichromatických členitelů, což jsou poměrná kolorimetrická množství měrných světél X , Y , Z , popisujících jednotlivá monochromatická světla izoenergetického spektra a jež korespondují se spektrální citlivostí lidského oka ve třech základních oblastech viditelného spektra (modré, zelené a červené). Vzhledem ke skutečnosti, že světlo vzbuzující vjem barvy vniká do oka pozorovatele pod různými úhly a dochází tím ke změně barevné vjemu, jsou v kolorimetrických soustavách normalizovány dva typy pozorovatelů, normální a doplňkový, pro něž jsou normalizovány odpovídající hodnoty trichromatických členitelů.

Hodnoty trichromatických členitelů normálního kolorimetrického (fotometrického) pozorovatele jsou stanoveny pro zorný úhel přísně foveálního vidění, tj. $1,5^\circ$, tj. pro podmínky vnímání barev ústřední jamkou sítnice, obsahující pouze čípky. Tyto členitele je přijato označovat $[\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)]$. V praxi však záření, vzbuzující vjem barvy vniká do oka pod značně větším pozorovacím úhlem. Proto byl stanoven doplňkový pozorovatel pro pozorování pod větším zorným úhlem, tedy těmi místy sítnice, kde jako receptory kromě čípků spolupůsobí i tyčinky. Trichromatické členitele doplňkového pozorovatele byli stanoveni pro zorný úhel $1,5^\circ$ a jsou proto značeni $[\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)]$. Trichromatické členitele normálního pozorovatele se používají tehdy, uvažuje-li se pozorování v zorném úhlu do 4° . Při pozorování v úhlu větším než 4° se používá doplňkových trichromatických členitelů. Kolorimetrické veličiny, například trichromatické souřadnice, jsou pak značeny x_{10} , y_{10} , Y_{10} apod. Podrobněji viz /3.12/.

V kolorimetrickém prostoru X , Y , Z i v jeho rovinném řezu (rovině konstantních jasů) – kolorimetrickém trojúhelníku x , y – neodpovídají stejné lineární vzdálenosti v různých místech prostoru či trojúhelníku stejným subjektivně vnímaným rozdílům vjemu barvy a naopak stejným subjektivně vnímaným rozdílům vjemu barvy neodpovídají stejné vzdálenosti v různých místech prostoru nebo trojúhelníku. Proto v případech, kdy je žádoucí vystihnout chromatičnost světél či koloritu předmětů, zvláště pak jejich rozdíly, doporučuje se používat některého (přibližně) rovnoměrného

kolorimetrického prostoru či diagramu, v nichž stejně subjektivně vnímaným rozdílům vjemu barvy odpovídají (přibližně) stejné vzdálenosti a naopak.

Pro tyto účely jsou mezinárodně normalizovány dvě přibližně rovnoměrné kolorimetrické soustavy – CIELUV a CIELAB. Každá z těchto soustav má své přednosti a nedostatky, jež ovlivňují jejich použití v různých oborech. Například v odvětví světlených zdrojů, osvětlování, při hodnocení podání barev ve fotografii, televizi a polygrafii se všeobecně používá soustava CIELUV, zatímco v jiných odvětvích, například v textilním průmyslu, pouze soustava CIELAB. Číselné hodnoty jedné či druhé soustavy jsou navzájem jen přibližně srovnatelné a nejsou vzájemně převoditelné.

Trichromatická soustava CIELUV je v prostoru určena třemi vzájemně kolmými osami L^* , u^* , v^* , definovanými vztahy

$$L^* = 116 (Y / Y_n)^{1/3} - 16, u^* = 13 L^* (u' - u'_n), v^* = 13 L^* (v' - v'_n) \quad (3.8)$$

kde u' , v' jsou trichromatické souřadnice barevného podnětu, který má být vystižen,

Y trichromatická složka barevného podnětu, který má být vystižen (je úměrná jasu),

u'_n, v'_n trichromatické souřadnice normalizovaného (referenčního) světla použitého pro výpočet,

Y^n trichromatická složka (jasová) normalizovaného (referenčního) světla použitého pro výpočet,

L^* měrná světlost CIE (psychometrický korelát pojmu světlost).

Vzdálenost dvou bodů barev ΔE^*_{uv} se vypočítá ze vztahu

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2} \quad (3.9)$$

Pozn.: Tato soustava se používá pro stanovení indexu podání barev světelnými zdroji.

Trichromatická soustava CIELAB je určena třemi kolmými osami L^* , a^* , b^* , definovanými vztahy

$$\begin{aligned} L^* &= 116 (Y / Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 [(X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3}] \\ b^* &= 200 [(Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3}] \end{aligned} \quad (3.10)$$

kde X, Y, Z jsou trichromatické složky barevného podnětu, který má být vystižen,
 X_n, Y_n, Z_n trichromatické složky normalizovaného (referenčního) světla
použitého pro výpočet.

Vzdálenost dvou bodů barev, charakterizovanými souřadnicemi L^*, a^*, b^* se počítá podle rovnice

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.11)$$

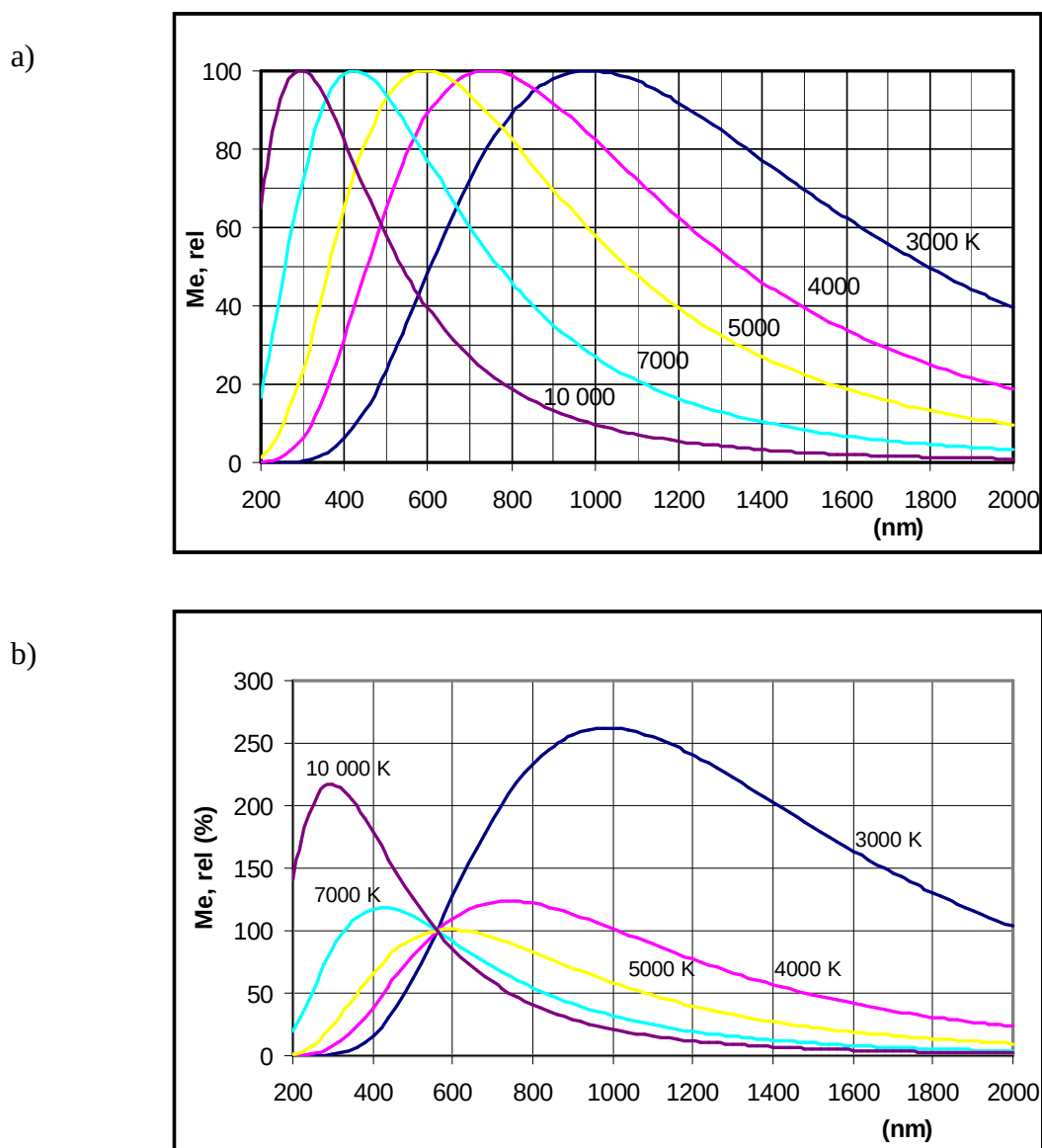
Pozn.: Mezi souřadnicemi a^*, b^* a souřadnicemi u^*, v^* , stejně tak jako mezi hodnotami pro rozdíl barev ΔE^*_{ab} a ΔE^*_{uv} neexistuje žádný jednoduchý vztah.

3.4 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI

K popisu barevných vlastností světla lze, kromě výše uvedených trichromatických souřadnic, použít i teplotu chromatičnosti. Teplota chromatičnosti je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost, jako záření uvažované. Vzhledem k tomu, že toto vyjádření barvy světla je v mnohých případech výhodné a přitom jednoduché a názorné, lze jej za podmínky, kdy nebereme v úvahu jas světelného zdroje, použít pro vystižení barvy světla zdrojů, užívaných k osvětlování.

Pojem teplota chromatičnosti T_c je možné používat pouze pro teplotní zdroje světla nebo pro zdroje, jež jsou svými spektrálními vlastnostmi teplotním zdrojům podobné. Jednotkou teploty chromatičnosti je kelvin (K).

Pro přesné teplotní zdroje se též užívá pojmu teplota spektrálního složení T_d . Podmínkou je alespoň přibližná shoda spektrálního průběhu zdroje se spektrálním průběhem Planckova zářiče. Spektrální průběhy teplotních (Planckových) zdrojů jsou, pro teploty chromatičnosti od 3 000 K do 10 000 K, uvedeny na *obrázku č. 3.2*.



Obr. 3.2 Závislost spektrální intenzity vyzařování černého zářiče na teplotě a vlnové délce (Planckův zákon). a) – hodnoty spektrální intenzity normalizovány na 100 %, b) – tytéž závislosti normalizované v maximu spektrální citlivosti oka na 100 %.

Z obrázku č. 3.2 je zřejmé, že maximum vyzařované energie se s rostoucí teplotou černého zářiče posouvá ke kratším vlnovým délkám. Maxima křivek spektrální intenzity vyzařování v závislosti na teplotě chromatičnosti světla T_c jsou uvedeny v *tabulce č. 3.11*.

Tab. 3.11

T_c (K)	2000	3000	4000	5000	5200	6000	7000	8000	10000
$\lambda_{\max}$ (nm)	1420	960	720	580	555	480	410	360	320

Pojem teplota chromatičnosti je možné používat i pro zdroje, jejichž záření svým spektrálním průběhem koresponduje s teplotními zářiči jen přibližně, jejich spektrální křivka však musí být plynulá, bez náhlých změn. Chromatičnosti takovýchto zdrojů se musí nacházet v těsné blízkosti čáry teplotních (Planckových) zářičů. V tomto případě se pro vystižení odlišného spektrálního průběhu používá termín ekvivalentní teplota chromatičnosti a značí se T_{ce} . Jednotkou je opět kelvin (K).

Pro světelné zdroje, jejichž křivka spektrálního složení vykazuje náhlé změny hodnot (například výrazná pásma, spektrální čáry apod.), užívá se pro vyjádření barvy jejich světla termín náhradní teplota chromatičnosti a značí se T_{cp} nebo T_{cn} . Jednotkou je opět kelvin (K). Vždy je však nutné uvádět omezenou platnost tohoto pojmu.

Tam, kde je to účelné a vhodné, se k popisu barvy světla přednostně používá převrácená hodnota teploty chromatičnosti, jejíž číselná hodnota je dána výrazem $10^6/T_c$ (kde T_c je v K), a jejíž jednotkou je převrácený megakelvin (MK^{-1}), nahrazující starší, i když stále užívaný termín mired (μrd – z anglického výrazu micro reciprocal degree).

Toto vyjadřování barvy světla světelných zdrojů má řadu výhod, například $1 MK^{-1}$ je oken přibližně právě rozlišitelný rozdíl v barvě světla, vyjadřování tolerancí teploty chromatičnosti v MK^{-1} je správnější, přesnější a názornější; konverzní mohutnost filtrů v jednotkách MK^{-1} je adiční a stejné v celém rozsahu hodnot; některé závislosti jsou při vyjadřování v MK^{-1} lineární, zatímco při vyjádření v K jsou výrazně nelineární.

Všechny uvedené typy teploty chromatičnosti lze stanovit kolorimetrickými výpočty podle chromatičnosti světla zdroje. Ze spektrálního průběhu záření světelného zdroje se vypočítá chromatičnost tohoto zdroje a získané hodnoty trichromatických souřadnic (např. x , y) se vynesou do diagramu pro stanovení teploty chromatičnosti. Na tomto diagramu je vynesena čára teplotních zářičů se soustavou příčných čar (izotemper), odpovídajících vyznačeným hodnotám teploty chromatičnosti v K. Analogický diagram existuje i pro hodnoty teploty chromatičnosti vyjádřené v MK^{-1} . Oba diagramy jsou uvedeny v ČSN 01 1718 Měření barev /3.12/.

Ve světelně technické praxi jsou za teplotní zdroje světla považovány všechny druhy žárovek (vakuové, plynem plněné klasické i halogenové), jakož i všechny fáze denního světla (přímé sluneční světlo i světlo oblohové). Barva světla těchto zdrojů je proto v praxi vyjadřována pomocí teploty chromatičnosti T_c .

Většina výbojových zdrojů světla používaných v oblasti osvětlování (zářivky, kompaktní zářivky, výbojky sodíkové, rtuťové, halogenidové) vykazuje v průběhu

spektrální křivky náhlé změny, běžný je i výskyt výrazných spektrálních čar či pásem. Barvu světla těchto zdrojů je proto v praxi nutné vyjadřovat termínem náhradní teplota chromatičnosti a k označení používat symboly T_{cn} či T_{cp} . Pro názornost jsou v *tabulce č. 3.12* uvedeny průměrné hodnoty teploty chromatičnosti různých světelných zdrojů.

Tab. 3.12 Teplota chromatičnosti světelných zdrojů.

Světelný zdroj	T_c T_{ce} T_{cp} (K)
Plamen zápalky	1 700
Plamen svíčky	1 850
Žárovka, 25 W	2 400
Žárovka plynem plněná, 100 W	2 650
Žárovka plynem plněná, 200 W	2 900
Žárovka halogenová, osvětlovací	3 000
Žárovka halogenová, fotografická	3 200
Žárovka halogenová, fotogr., přezhavená	3 400
Zářivka, barevný tón světla teple bílý (ww)	< 3 300
Zářivka, barevný tón světla bílý (nw)	3 300–5 300
Zářivka, barevný tón světla denní (tw)	> 5 300
Kompaktní zářivky – shodně jako zářivky	
Výbojka halogenidová (ww, nw, tw)	2 900–6 000
Výbojka sodíko-xenonová	2 600–2 800
Výbojka sodíková, vysokotlaká	2 000–2 200
Výbojka sodíková, nízkotlaká	
Výbojka xenonová	6 000
Sluneční světlo přímé	5 200–5 500
Sluneční světlo + světlo oblohy	5 500–5 800
Denní světlo při zatažené obloze	6 500
Světlo oblohy, jasno	10 000–25 000

Hodnoty teploty chromatičnosti přímého slunečního světla, oblohového světla a světla součtového jsou, v závislosti na výšce Slunce nad obzorem a pro oblasti přibliž. 50° severní šířky, uvedeny v *tabulce č. 3.13*.

3.13 Teplota chromatičnosti denního světla v závislosti na výšce Slunce.

Výška Slunce nad obzorem (stupně)	Teplota chromatičnosti světla (K)		
	Přímé sluneční	Oblohové	Součtové
60	5 480	9 900	5 500
55	5 400	9 900	5 500
50	5 400	9 900	5 500
45	5 300	9 900	5 500
40	5 250	9 900	5 500
35	5 100	9 900	5 500
30	4 980	10 000	5 500
25	4 500	10 000	5 600
20	4 480	10 000	5 700
15	4 020	10 000	5 800
10	3 450	10 000	6 000
5	2 970	10 000	8 000
1	2 500	10 000	8 300

Průměrné hodnoty teploty chromatičnosti součtového denního světla pro oblasti přibližně 50° severní šířky a za podmínek částečně zatažené oblohy (3/8 oblačnosti), naměřené na otevřené horizontální rovině jsou, v závislosti na denní a roční době, uvedeny v *tabulce č. 3.14*.

Tab. 3.14

Měsíc	Denní doba (h)								
	12	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19	4 20
VI	5 800	5 800	5 800	5 650	5 450	5 200	4 600	3 800	1 400
V, VII	5 800	5 800	5 750	5 600	5 400	5 150	4 550	3 100	1 100
IV, VIII	5 750	5 700	5 650	5 250	4 650	3 700	1 300		
III, IX	5 600	5 550	5 400	5 200	4 850	4 000	1 400		
II, X	5 250	5 200	5 050	4 700	3 900	1 500			
I, XI	4 800	4 750	4 400	3 800	1 700				
XII	4 500	4 400	4 000	3 100	1 200				

3.5 INDEX PODÁNÍ BAREV

Podání barev popisuje vliv spektrálního složení světla zdrojů na vjem barvy osvětlovaných předmětů. Vjem barvy předmětu je podmíněn jednak spektrálním složením záření zdroje, jímž je osvětlován a jednak spektrálním činitelem odrazu či prostupu daného předmětu. Dlouhodobý návyk člověka na barevný vzhled předmětů v podmínkách dlouhodobě využívaných zdrojů světla (denní a žárovkové světlo), tj. zdrojů teplotních, je příčinou toho, že za normální vjem barvy je považován vjem právě na denním, resp. žárovkovém světle. Proto při pozorování předmětů ve světle výbojových zdrojů (zářivky, kompaktní zářivky, halogenidové aj. výbojky) s odlišným průběhem spektrálního složení oproti zdrojům teplotním, může docházet ke zkreslenému vjemu barvy osvětlovaných předmětů. Člověk tedy podvědomě srovnává vjem barvy s vjemem ve světle obvyklých a jím dlouhodobě používaných světelných zdrojů.

Pro číselné hodnocení podání barev proto v souladu s doporučením Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) nejsou stanovena žádná psychosenzorická či psychologická hlediska. K číselnému vyjádření jakosti podání barev se používá index podání barev světelnými zdroji, který vyjadřuje stupeň shody vjemu barvy předmětu osvětlovaného zkoušeným světelným zdrojem a vjemu barvy téhož předmětu

osvětlovaného referenčním (smluvním) zdrojem světla za stanovených podmínek pozorování.

Pro stanovení indexu podání barev světelnými zdroji je CIE doporučena a používá se dříve normalizovaná kolorimetrická soustava CIE-UVW (1964) a CIE-uv (1960). Metoda vlastního hodnocení podání barev světelnými zdroji je založena na matematickém vyjádření rozdílu vjemu barvy standardizovaného souboru osmi, popř. až čtrnácti testovacích barevných vzorků. Soubor těchto barevných vzorků doporučený CIE ke stanovení indexu podání barev světelnými zdroji je uveden v *tabulce č. 3.15*.

Výpočtem se pro jednotlivé vzorky barev stanoví tzv. speciální index podání barev R_i , (kde $i = 1-8$, popř. $1-14$) a všeobecný index podání barev R_a je pak stanoven jako aritmetický průměr hodnot speciálního indexu podání barev. Rozdíl vjemu barvy vzorku ve světle referenčního (smluvního) a zkoušeného světelného zdroje se stanovuje výpočtem vzdálenosti ΔE_i bodů, odpovídajících uvedeným vjemům barvy v rovnoměrném kolorimetrickém prostoru CIE-UVW.

Tab. 3.15 Soubor vzorků barev doporučených CIE ke stanovení všeobecného indexu podání barev R_a .

Číslo vzorku barvy	Označení barvy podle Munsella	Trichr. souřadnice			Subjektivní popis barevného tónu česky(anglicky)
		x	y	Y (%)	
1	7,5 R 6/4	0,375	0,331	29,9	světle šedočervený (light grayish red)
2	5Y 6/4	0,385	0,395	28,9	tmavě šedožlutý (dark grayish yellow)
3	5DY 6/8	0,373	0,464	30,4	sytě žlutozelený (strong yellow green)
4	2,5G 6/6	0,287	0,400	29,2	středně žlutozelený (moderate yellowish green)
5	10GB 6/4	0,258	0,306	30,7	světle modrozelený (light bluish green)
6	5PB 6/8	0,241	0,243	29,7	světle modrý (light blue)
7	2,5P 6/8	0,284	0,241	29,5	světle fialový (light violet)
8	10P 6/8	0,325	0,262	31,5	světle červenopurpurový (light reddish purple)
9	4,5R 4/13	0,567	0,306	11,4	sytě červený (strong red)
10	5Y 8/10	0,438	0,462	59,1	sytě žlutý (strong yellow)
11	4,5G 5/8	0,254	0,410	20,0	sytě zelený (strong green)
12	3PB 3/11	0,155	0,160	6,4	sytě modrý (strong blue)
13	5YR 8/4	0,372	0,352	57,3	světle žltorůžová, barva pleti (light yellowish pink, caucasian)
14	5GY 4/4	0,373	0,432	11,7	středně olivovězelený, listová zeleň (moderate olive green, leal green)

Pozn.: Podrobné hodnoty spektrálních charakteristik odraznosti 14 barevných vzorků doporučených CIE ke stanovení všeobecného indexu podání barev světelnými zdroji jsou v rozsahu vlnových délek od 380 nm do 830 nm spolu s jejich trichromatickými souřadnicemi pro smluvní bílé světlo D_{65} uvedeny např. v /3.13/.

Speciální index podání barev světelnými zdroji R_i -tého vzorku se stanoví ze vztahu

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i \quad (3.12)$$

Všeobecný index podání barev světelnými zdroji R_a se stanoví ze vztahu

$$R_a = 1 / 8 \sum_{i=1}^8 R_i \quad (3.13)$$

Ve vztahu (3.12) značí

$$\Delta E_i = [(U_{oi} - U_{ki})^2 + (V_{oi} - V_{ki})^2 + (W_{oi} - W_{ki})^2]^{1/2} \quad (3.14)$$

kde U_{oi}, V_{oi}, W_{oi} trichromatické složky v soustavě UVW, popisující vjem i -tého vzorku barevné plochy při osvětlení referenčním (smluvním) zdrojem světla,

U_{ki}, V_{ki}, W_{ki} trichromatické složky v soustavě UVW, popisující vjem i -tého vzorku barevné plochy při osvětlení zkoušeným světelným zdrojem.

V kolorimetrické soustavě CIE-UVW (1964) se trichromatické složky UVW stanovují ze vztahů, definovaných normalizovanou soustavou CIE-uv (1960):

$$\begin{aligned} W &= 25 Y^{1/3} - 17 \quad (1 \leq Y \leq 100) \\ U &= 13 W (u - u_o) \\ V &= 3 W (v - v_o) \end{aligned} \quad (3.15)$$

kde u_o, v_o trichromatické souřadnice referenčního (smluvního) světla v soustavě stejných barevných rozdílů CIE-uv,

u, v trichromatické souřadnice zkoušeného světelného zdroje v soustavě stejných barevných rozdílů CIE-uv.

Při výpočtu indexu podání barev mají vztahy (3.15) logicky shodnou platnost jak pro souřadnice u_{oi}, v_{oi} , tak pro souřadnice u_{ki}, v_{ki} .

Metodika hodnocení podání barev světelnými zdroji pomocí všeobecného indexu podání barev R_a je založena na předpokladu, že teplota chromatičnosti světla referenčního a zkoušeného zdroje se liší maximálně o 5 MK^{-1} (což odpovídá například při $T_c = 3000 \text{ K}$ rozdílu přibližně 50 K a při $T_c = 6000 \text{ K}$ rozdílu přibližně 180 K).

Pro světelné zdroje s teplotou chromatičnosti (T_c , T_{ce} , T_{cp}) do 5 000 K se jako referenční zdroj světla používá černý zářič, tedy teplotní zdroj světla. Pro zdroje s teplotou chromatičnosti (T_c , T_{ce} , T_{cp}) nad 5 000 K se jako referenční zdroj světla používají zdroje se spektrálním složením odpovídajícím kolorimetrického smluvního světlu D a některé fázi denního světla (například D_{65} pro $T_c = 6 500$ K a D_{55} pro $T_c = 5 500$ K).

Všeobecný index podání barev R_a může nabývat hodnot od 0 do 100. Ve světle teplotních zdrojů světla a na denním světle je barva předmětů vnímána nejvěrněji, čemuž odpovídá hodnota indexu $R_a = 100$. Jakost podání barev považovaná za velmi dobrou se v praxi hodnotí stupněm podání barev 1A ($R_a = 90$ až 100) a stupněm 1B ($R_a = 80$ až 90). Dobré podání barev je hodnoceno stupněm 2A ($R_a = 70$ až 79) a stupněm 2B ($R_a = 60$ až 69). Stupněm 3 ($R_a = 40$ až 59) je jakost podání barev hodnocena jako méně dobrá. Stupeň 4 ($R_a = 20$ až 39) odpovídá nejnižší jakosti podání barev soudobými světelnými zdroji.

3.6 EMISE ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ ZDROJI SVĚTLA

Denní světlo (sluneční světlo přímé i světlo oblohové) a světlo prakticky všech umělých zdrojů používaných k osvětlování obsahuje určitý podíl blízkého ultrafialového a infračerveného záření. Hovoří se proto o optickém záření. K měření a hodnocení optického záření nelze tudíž použít fotometrické veličiny a jednotky, známé a používané ve světelně technické praxi, ale je nutné používat veličiny a jednotky energetické, tj. z oboru záření, radiometrie. Porovnání fotometrických a energetických veličin z oboru optického záření a jejich jednotek je uvedeno v kapitole 2.0, podrobněji viz /3.14/.

V reálných podmínkách působí optické záření vždy na určitém místě a sleduje se jeho vliv na určitý předmět či organizmus. V daných podmínkách a v daném místě je proto v praxi při posuzování účinku postačující znalost spektrálního složení a intenzity optického záření a doby jeho působení. Spektrální složení zdrojů světla v oboru viditelného záření je známé a snadno dostupné. Žárovkové zdroje světla lze s pro praxi vyhovující přesností popsat Planckovým zákonem vyzařování teplotních zdrojů. Spektrální charakteristiky výbojových zdrojů umělého světla (zářivky, halogenidové aj. výbojky) v oboru viditelného záření udává, alespoň v orientační formě, každý seriózní výrobce těchto zdrojů, viz např. /3.10/, /3.11/.

Spektrální složení denního světla (přímého slunečního i oblohového) v oboru viditelného a v řadě případů i v oboru celého optického záření lze nalézt v odborné literatuře, např. v /3.1/. Pro dané konkrétní podmínky je však přesné zjištění spektrálního složení denního světla velmi obtížné a pro běžného uživatele téměř nemožné (vliv roční a denní doby, geografická poloha, stav oblačnosti, absorbce a extinkce záření v atmosféře apod.). Z těchto důvodů je spektrální složení denního světla pro hodnocení jeho účinku na materiály a organizmy standardizováno a většina zkoušek se uskutečňuje s tzv. simulovaným slunečním zářením s přesně definovaným spektrálním složením /3.6/, jež se v celém rozsahu optického spektra realizuje nejčastěji xenonovými výbojovými zdroji a při hodnocení a při hodnocení účinku jeho nejvíce agresivní (ultrafialové) složky i soudobými speciálními zářivkovými zdroji.

Spektrální složení zdrojů umělého světla v celém oboru optického záření výrobci těchto zdrojů již běžně neuvádějí, pouze ve speciálních, těžko dostupných firemních materiálech, a kromě toho, spektrální složení (tj. distribuce spektrální energie vyzařování v závislosti na vlnové délce záření) je uváděno v různých veličinách (zářivý tok, intenzita ozáření) a v různých jednotkách (%; W/m^2 , nm, kde „x“ = 1 až 10; $W/m^2 \cdot nm$; $W/10 nm \cdot 1000 lm$; $W/5 nm \cdot srov. 1000 cd$; $W/m^2 \cdot \mu m$ apod.).

Z uvedeného je zřejmé, že není vždy snadné převést tyto informace do formy vhodné pro praxi, tj. do formy, která by jednoznačně uváděla podíl neviditelného (např. ultrafialového) záření a záření viditelného, tedy světla.

U denního světla lze podíly ultrafialového záření a světla zjistit např. z *tabulky č. 3.9*, udávající podrobné spektrální složení celkového záření, jež je standardizováno a používáno k výpočtům. Hodnoty intenzity ozáření (ve $W \cdot m^{-2}$ a v %) jsou zde specifikovány pro tři pásma ultrafialové oblasti spektra. Analogické údaje lze zjistit např. i z *tabulky č. 3.1* úpravou dat příslušným součinitelem vlivu vzdušné hmoty. Pro orientaci jsou hodnoty spektrální intenzity záření Slunce (v $\mu W \cdot cm^{-2} \cdot 3 nm^{-1}$) pro 50° severní šířky a výšku Slunce nad obzorem 50° a 50° uvedeny v *tabulce č. 3.16* a v grafické formě na *obrázku č. 3.3*.

Typickým příkladem soudobých zářivkových zdrojů, používaných k osvětlování výstavních prostor, s minimálním vyzařováním v ultrafialové oblasti spektra (na rozdíl od starších typů, kde emise ultrafialového záření je vyšší – viz dále) může sloužit například zářivka firmy Osram L 18/22-940 s náhradní teplotou chromatičnosti 3700 K a všeobecným indexem barevného podání $R_a = 94$, tedy zářivka s barevným tónem světla teple bílý a nejvyšší jakostí podání barev. Spektrální energie záření tohoto

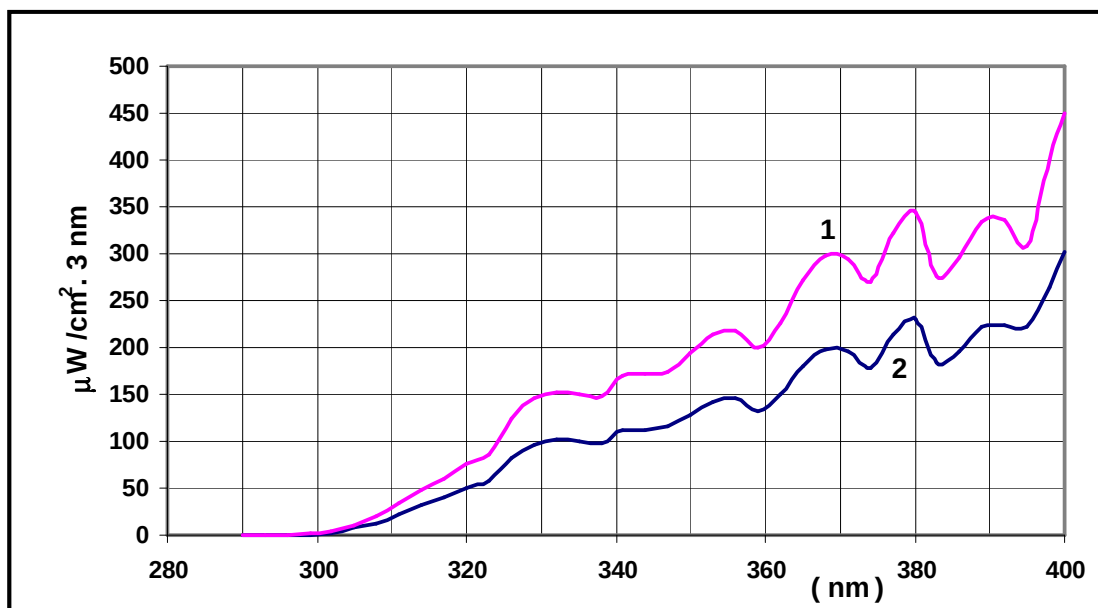
zdroje je podle firemních zvyklostí uváděna v jednotkách $\text{W/sr} \cdot 1000 \text{ cd}$ a v jednotlivých oblastech optického spektra činí:

Oblast spektra (nm)	Spektrální intenzita záření ($\text{W/sr} \cdot 1000 \text{ cd}$)
280–315	–
315–350	–
315–380 (UV A)	0,00041
315–400 (tzv. rozšířené UV A)	0,00507
250–450	0,355
380–780 (VIS)	3,42

Tab. 3.16 Spektrální intenzita záření Slunce (E_e) na 50° s. š. a pro výšku Slunce nad obzorem 30° a 65° .

Vlnová délka (nm)	E_e ($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 3 \text{ nm}^{-1}$)	
	$h = 30^\circ$	$h = 65^\circ$
290	0,03	0,05
293	0,1	0,15
296	0,31	0,47
299	0,85	1,28
302	2,8	4,2
305	7,1	10,65
308	13	19,5
311	22,2	33,3
314	32,3	48,45
317	39,9	59,85
320	50,1	75,15
323	57,8	86,7
326	82,8	124,2
329	97	145,5
332	102	153
335	99,5	149,25
338	98,5	147,75
341	113	169,5
344	113	171,5

Vlnová délka (nm)	E_e ($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 3 \text{ nm}^{-1}$)	
	$h = 30^\circ$	$h = 65^\circ$
347	116	174
350	129	193,5
353	143	214,5
356	146	219
359	133	199,5
362	151	226,5
365	180	272
368	198	298
371	196	295
374	179	270
377	215	322,5
380	230	345
383	184	276
386	196	296
389	222	334,5
392	224	336
395	222	308
398	265	399,5
400	303	449,5



Obr. 3.3 Spektrální intenzita záření Slunce na 50° severní šířky. 1 – výška Slunce nad obzorem 65°, 2 – výška Slunce nad obzorem 30°.

Z uvedených hodnot emisivity soudobých zářivkových zdrojů je zřejmé, že se jedná o zdroje s velmi dobrou eliminací ultrafialového záření, jež jsou označovány UV STOP (UVS).

Typickým příkladem soudobých žárovkových zdrojů světla používaných k osvětlování výstavních prostor jsou halogenové žárovky (12 V, 220 V; 20–60 W) s úzkým, středním a širokým úhlem vyzařování světelného svazku a sníženým podílem UV záření, např. halogenová žárovka firmy Osram Decostar 51/51S-WFL s ochranným filtrem UVS. Podíl ultrafialového záření u těchto zdrojů, v porovnání s analogickými zdroji bez UVS, je následující:

Halogenová žárovka	Podíl UV A (mW / 1 000 lm)	Podíl UV B
12 V/20 W	40	0,02
12 V/20 W (UVS)	8	–

Typickým příkladem soudobých výbojových zdrojů světla (zářivky viz výše) používaných k osvětlování výstavních prostor může sloužit řada halogenidových výbojek firmy Osram (Powerstar HQI-TS) s velmi dobrou eliminací ultrafialového záření systémem UV STOP (UVS). Podíly UV záření jsou uváděny v $\text{mW}/\text{m}^2 \cdot 1\,000 \text{ lx}$ a porovnání s analogickými výbojkami bez UVS je pro jednotlivá pásma ultrafialové oblasti spektra uvedeno v tabulce č. 3.17. Podíly UV záření jsou uvedeny

pro tři výkonové varianty těchto výbojek (70 W, 150 W a 250 W) a pro barevný tón jejich světla, značený: WDL – teple bílý, NDL – bílý aD – denní.

Tab. 3.17 Podíl UV záření u halogenidových výbojek s UVS ochranou.

	HQI-TS 70 W/UVS			HQI-TS 150 W/UVS			HWI-TS 250 W/UVS		
Barevný tón světla	WDL	NDL	D	WDL	NDL	D	WDL	NDL	D
Náhr. tepl. chrom. (K)	3 000	4 200	5 200	3 000	4 200	5 200	3 100	4 200	5 100
Podání barev R_a	80	85	85	80	85	88	80	85	93
Podíl UV záření ($\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$) vztážený k osvětlenosti 1 000 lx (bez ochranného skla)									
UV A (315–380 nm)	54,5 (239)	262 (759)	222 (649)	57,7 (189)	248 (647)	165 (474)	51,8 (151)	139 (537)	180 (610)
UV B (280–315 nm)	0,5 (35,8)	0,6 (162)	1,3 (94)	0,3 (26,5)	0,5 (69,3)	0,3 (42)	0,1 (10,6)	0,3 (57,7)	0,4 (54,9)
UV C (250–280 nm)	0,3 (6,3)	1,4 (53,6)	0,9 (18,1)	0,2 (5,1)	1,3 (34,2)	0,5 (12,7)	0,1 (1,4)	0,5 (22,8)	0,6 (19,3)

Pozn.: Podíly UV záření uvedené v závorkách platí pro zdroje bez UVS ochrany.

Světelné zdroje s omezeným podílem ultrafialového záření (žárovky, zářivky, kompaktní zářivky, halogenidové výbojky) jsou ve výrobním programu i dalších předních výrobců světelných zdrojů (Philips, General Electric, Sylvania apod.) a jsou jimi doporučeny pro osvětlování výstavních aj. prostor archivů, muzeí a galerií.

Z uvedeného je zřejmé, že při hodnocení osvětlení v archivech, muzeích a galeriích z hlediska ochrany exponátů před možným poškozením světlem a ultrafialovým zářením nejsou energetické a fotometrické veličiny a jejich jednotky, užívané např. výrobci světelných zdrojů a pracovníky v oboru viditelného a optického záření, přehledné a vhodné pro praxi.

Proto je v mezinárodním měřítku doporučeno a smluvně zavedeno vyjadřovat podílu ultrafialového záření jako poměr zářivého toku (ve watttech) a světelného toku (v lumenech), tedy $\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$. Vyjadřování podílu ultrafialového záření v této formě je pro praktické užití výstižné a vhodné, neboť tento podíl můžeme stanovit ze dvou nejčastěji měřených veličin v oblasti optického záření:

- změříme intenzitu ozáření ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) např. v UV A oblasti spektra
 - změříme intenzitu osvětlení ($\text{lx} = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$)
- a podíl těchto hodnot $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} / \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}]$ nám přímo udává podíl UV záření $[\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}]$.

Za limitní hodnotu podílu ultrafialového záření na celkovém vyzařování světelných zdrojů je přijata hodnota $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$, jež odpovídá průměrné hodnotě ultrafialového záření nefiltrovaného světla standardních žárovkových zdrojů světla.

V praxi při osvětlování výstavních prostor se však používají i jiné světelné zdroje, včetně denního světla, přičemž v řadě případů jsou použity starší typy těchto zdrojů s vyšším podílem ultrafialového záření, tedy bez systémů UVS. Pro orientaci jsou proto uvedeny hodnoty podílu ultrafialového záření (UV A + UV B), jež byly zjištěny u typických představitelů těchto zdrojů světla:

	$\mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$
žárovka standardní, 40–200 W	35–38
halogenová žárovka 12 V, 100 W, bez UVS	až 130
zářivka, barevný tón bílý, 40 W, bez UVS	40–180
kompaktní zářivka, 9–18 W, bez UVS	70–130
halogenidová výbojka, bez UVS	150–750
sluneční světlo přímé	až 400
světlo severní oblohy (6 500 K)	500–800
světlo modré oblohy (15 000 K)	až 1 500

Ultrafialové záření dobře prochází vodou, křemenem, fosfátovým, draselným a uviolovým sklem, organickým sklem i vzduchem. Běžné okenní sklo (olovnaté) propouští ultrafialové záření počínaje vlnovou délkou 340–350 nm a výše. Kovy a kovové fólie ultrafialové záření prakticky nepropouštějí. Standardní tloušťka ozónové vrstvy i tloušťka atmosférického vzduchu pohlcují ultrafialové záření, zvláště jeho krátkovlnnou složku, v našich zeměpisných šířkách v dostatečné míře nejen z hlediska ochrany organismů, ale i potřeby tohoto záření pro organizmy. Výraznější účinek se projevuje jen za slunečných dnů, při větších výškách Slunce nad obzorem a ve vyšších nadmořských výškách.

LITERATURA

- /3.1/ Drummond A., Thekaekara M.: The Extraterrestrial Solar Spectrum. Institut of Enviromental Sciences, N. Y., 1973, USA.
- /3.2/ Wyszecki G., Stiles W. S.: Color Science. New York, Wiley, 1967.

- /3.3/ Judd B., Mac Adam D. L., Wyszecki G.: Spectral Distribution of Typical Daylight as a Function of Correlated Colour Temperature, JOSA, 8/1964, vol. 54.
- /3.4/ ČSN 34 5791-2-9 (eqv. IEC 68-2-9, 1975): Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2–9: Návod ke zkouškám slunečním zářením.
- /3.5/ Vaníček K. a kol.: Popis pole globálního záření na území ČR v období 1984–1993, ČHMÚ, 1994.
- /3.6/ ČSN 34 5791-2-5 (eqv. IEC 68-2-5: 1975): Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2–5. Simulované sluneční záření na úrovni zemského povrchu.
- /3.7/ ČSN 80 0171: Textilie. Metoda zkoušení stálobarevnosti v povětrnosti xenonovou výbojkou.
- /3.8/ Cuttle C.: Lightig Works of Art for Exhibition and Conservation. Lighting Rev., Techn., 20, USA, 1988.
- /3.9/ Publication CIE No. 20 (TC-2.2.), 1972: Recommendation for the Integrated Irradiance and the Spectral Distribution of Simulated Solar Radiation for Testing.
- /3.10/ Světelné zdroje. Firemní katalog Philips.
- /3.11/ Světelné zdroje. Firemní katalog Osram.
- /3.12/ ČSN 01 1718: Měření barev.
- /3.13/ DIN 6169, Teil 2: Farwiedergabe. Farbwiedergabe – Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtugstechnik.
- /3.14/ ČSN 36 0000: Světelně technické názvosloví.

4 OSVĚTLOVÁNÍ

Ing. Jiří Krejčí

Osvětlování vnitřních prostorů archivů, muzeí a galerií (výstavní sály, studovny, čítárny pracovny restaurátorů a konzervátorů apod.) má, oproti osvětlování vnitřních prostorů pro všeobecné účely, svá specifika, neboť je nutné sladit požadavky optimálního osvětlení s ohledem na zrakové vnímání člověka (návštěvníci, pracovníci uvedených institucí) s požadavky ochrany exponátů proti možnému poškození působením nadměrného množství světla a téměř vždy doprovodného blízkého ultrafialového a infračerveného záření. Přesto však většina těchto požadavků je shodná či blízká s všeobecně přijatými požadavky na jakost osvětlení vnitřních prostorů podle druhu vykonávané činnosti.

Požadavky na jakost osvětlení jsou odvozovány z charakteristik zrakové činnosti, zahrnující i další funkce osvětlovaných prostorů a objektů a tvoří základ pro klasifikaci požadavků na osvětlení a členění do kategorií osvětlení /4.1/.

Osvětlení, přesněji řečeno intenzita osvětlení (osvětlenost), je podle druhu vykonávané činnosti členěna do čtyř kategorií A, B, C a D. Každá z uvedených kategorií osvětlení se dále člení na tři podskupiny s podrobnější specifikací vykonávané činnosti. Kategorie osvětlení podle druhu vykonávané činnosti jsou uvedeny v *tabulce č. 4.1*.

Tab. 4.1 Kategorie osvětlení podle druhu vykonávané činnosti.

Kategorie osvětlení	Činnost	Pořadí důležitosti rozhodujících kritérií
A	s velkými požadavky na zrakový výkon	
B	s průměrnými požadavky na zrakový výkon	1. zrakový výkon 2. zraková pohoda
C	s malými požadavky na zrakový výkon	
D	s přednostními požadavky na vnímání prostoru, tvaru a barev	1. zraková pohoda 2. zrakový výkon

Základními kritérii při stanovení kategorie osvětlení jsou zrakový výkon a zraková pohoda (zrakový komfort). V kategoriích A, B, a C jde v první řadě o zajištění zrakového výkonu, týkají se proto prostorů, v nichž je nezbytné zajistit osvětlení pro požadovanou hlavní činnost bez zřetele na výtvarné řešení a estetické působení osvětlení.

V kategorii osvětlení D jde přednostně o zajištění zrakové pohody (kina, divadla, koncertní sály, galerie, výstavní sály, muzea, kostely, klubovny apod.). Požadavky na jakost osvětlení v prostorech archivů, muzeí a galerií jsou v /4.1/ uvedeny pouze v obecné rovině, jsou vztaženy pouze ke zrakovému vnímání a nezohledňují působení světla na exponáty. Přesto řadu světelně technických veličin, charakteristik osvětlení, jejich měření a hodnocení je při řešení osvětlení v prostorech archivů, muzeí a galerií nejenom možné, ale i nezbytné používat.

4.1 OSVĚTLOVÁNÍ UMĚLÝM SVĚTLEM

Základní kvantitativní charakteristikou jakosti osvětlení je osvětlenost (intenzita osvětlení). Jednotkou je lux (lx). Požadavky na osvětlení uváděné v /4.1/ i v ostatních normách jsou pro jednotlivé kategorie osvětlení odvozeny ze závislosti na zrakové náročnosti, jež je dána poměrnou pozorovací vzdáleností (tj. poměrem pozorovací vzdálenosti D a velikosti kritického detailu d) a kontrastem jasu, popř. barev kritického detailu a jeho bezprostředního okolí.

Kritický detail je jednorozměrný nebo vícerozměrný geometrický útvar (například písmeno textu), rozhodující pro posouzení zrakové náročnosti prováděné činnosti. Je to v podstatě ta část pozorovaného předmětu, znaku, symbolu apod., kterou je nutné rozlišit, aby pozorovaný předmět byl dobře a spolehlivě identifikován. Obě hodnoty (D i d) se zjišťují měřeními. Poměrná pozorovací vzdálenost D/d je pro jednotlivé kategorie osvětlení podle /4.1/ uvedena v *tabulce č. 4.1*.

Tab. 4.1 Poměrná pozorovací vzdálenost pro jednotlivé kategorie osvětlení.

Kategorie osvětlení	Poměrná pozorovací vzdálenost (D/d)
A1, A2, A3	$\geq 3\,330$
B1	$3\,330 > D/d \geq 1\,670$
B2	$1\,670 > D/d \geq 1\,000$
B3	$1\,000 > D/d \geq 500$
C1, C2, C3	$D/d < 500$
D1, D2, D3	---

Úroveň osvětlenosti je nejčastěji kontrolovaným a nejsnáze kontrolovatelným parametrem kvality osvětlení. Zajištění optimálních hodnot osvětlenosti je pro požadovaný zrakový výkon podmínkou nezbytnou, ne však postačující.

Respektována musí být současně i další kritéria a specifické podmínky daného prostoru, jako je rozložení jasů, omezení oslnění, směrovost a stínivost osvětlení, chromatičnost světla a jakost podání barev, jež jsou nezbytná pro vytvoření dobrého osvětlení. Příčinou nevyhovující úrovně osvětlenosti nejčastěji jsou: nevyhovující systém osvětlení, zastaralá svítidla, náhodné kombinace světelných zdrojů s výrazně odlišným barevným tónem světla v jednom svítidle, znečištění svítidel, malý podíl využití denního světla apod.

Jako příklad pro řešení osvětlení, respektující nejen předepsané úrovně osvětlenosti, lze uvést dvě analogická pracoviště, kde se trvale (více než 4 hodiny během pracovního dne) v místě pracovního výkonu pracovníka nachází předměty s různými činiteli odrazu světla, například 0,6 a 0,2. Tato dvě pracoviště jsou logicky zařazena do stejné kategorie osvětlení a je pro ně předepsána úroveň osvětlenosti např. 300 lx. Aby byla v obou případech zajištěna stejná zraková pohoda a tím i podmínky pro shodný zrakový výkon, musí úroveň osvětlenosti na druhém pracovišti být vyšší. V /4.1/ je pro tyto případy předepsáno zvýšení hodnoty osvětlenosti o jeden stupeň, tedy na 500 lx. V některých vyspělých zemích (Francie, USA, Kanada) se doporučuje zvýšení osvětlenosti nepřímo úměrně hodnotě činitele odrazu, tedy až na 900 lx.

Dalším příkladem respektování specifických podmínek osvětlovaných prostorů mohou posloužit výsledky fyziologických testů zrakové zátěže u osob rozdílných věkových kategorií. Aby byla například u padesátiletých až šedesátiletých osob zajištěna stejná zraková pohoda a tím i podmínky pro stejný zrakový výkon jako u osob dvacetiletých, vyžadují padesátiletí až šedesátiletí zvýšení úrovně osvětlenosti při 1 000 lx na 1 200 lx, při 300 lx na 550 lx a při 100 lx na 210 lx.

4.1.1 Kontrast jasu a barev

Subjektivně je kontrast hodnocením nestejnosti vzhledu pozorovaných předmětů. Mají-li dvě plochy jasově a barevně různý vzhled, hovoříme o jasovém nebo barevném kontrastu.

Objektivně je kontrast definován vztahem dvou jasů. Existuje a používá se několik definic kontrastu. Pro případ, kdy jas $L_1 > L_2$:

1. definice:
$$K = \frac{L_1}{L_2}$$

$$2. \text{ definice: } K = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \quad K \in \langle 0, 1 \rangle - (\text{používá se v České republice})$$

$$3. \text{ definice: } K = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \quad K \in \langle 0, 100 \rangle$$

$$4. \text{ definice: } K = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + \frac{L_2}{2}} \quad K \in \langle 0, 2 \rangle - (\text{používá se v USA})$$

Kontrast se tedy posuzuje buď objektivně podle výše uvedených vztahů, nebo subjektivně podle rozlišitelnosti pozorovaného detailu na daném pozadí. Za velký kontrast (podle 2. definice) jsou považovány hodnoty $K \geq 0,8$ (subjektivně např. černý text na bílém pozadí), za střední kontrast se považují hodnoty $0,5 \leq K < 0,8$ (subjektivně např. černý tisk na šedém pozadí) a za malý kontrast hodnoty $K < 0,5$ (subjektivně např. šedočerný tisk na šedém pozadí).

Kromě kvantitativního hodnocení osvětlení, kdy za základní charakteristiku se považuje osvětlenost (intenzita osvětlení v lx), se k popisu osvětlení prostoru či předmětu používají i kvalitativní charakteristiky, mezi něž patří rovnoměrnost osvětlení, činitel oslnění, rozložení jasů v zorném poli, prostorové rozložení světla (směrovost a stínivost), chromatičnost světla a jakost podání barev. Uvádí se i časové rozložení světla (zamezení kmitání).

4.1.2 Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost osvětlení (r) v místě zrakového úhlu se stanoví jako poměr nejmenší ($E_{\min}$) a místně průměrné (E_p) osvětlenosti ($r = E_{\min} / E_p$). Při hodnocení rovnoměrnosti osvětlení v celém půdorysu prostoru se vychází z průměrné osvětlenosti celého prostoru a minimální osvětlenosti ve funkčně a zrakově významných místech. Za nejnižší přípustné hodnoty rovnoměrnosti osvětlení se považují:

$r_{\min} = 0,65$ (1 : 1,5)	pro trvalý pobyt osob,
$r_{\min} = 0,40$ (1 : 2,5)	pro krátkodobý pobyt osob,
$r_{\min} = 0,10$ (1 : 10)	pro občasný pobyt osob.

4.1.3 Oslnění

Oslnění je nepříznivý stav zraku, jenž ruší zrakové vnímání i zrakovou pohodu a zhoršuje a někdy až znemožňuje vidění. Příčinou oslnění bývá příliš vysoký jas (vzhledem k adaptačnímu jasu), nevhodné rozložení jasů v zorném poli a příliš velký prostorový nebo časový kontrast jasů. Vzniká tedy vždy, když sítnice oka nebo její část je vystavena značně většímu jasu, než na který je oko adaptováno. Vliv oslnění a jeho hodnocení představuje složitou a dodnes ne zcela dořešenou problematiku. Podle příčina se rozlišují tyto druhy oslnění:

Podle stupně působení – oslnění rušivé, omezující a oslepující.

Podle příčiny (povahy a rozložení oslňujícího jasu) – oslnění kritickým jasnem, přechodové závojové.

Podle umístění zdroje oslnění v zorném poli – oslnění osově (foveální) a okrajové (periferní).

Podle cesty od zdroje oslnění k oku – oslnění přímé a oslnění odrazem.

4.1.2.1 Oslnění podle stupně působení

Rušivé oslnění je oslnění, které narušuje zrakovou pohodu, aniž zdánlivě zhoršuje nebo omezuje vidění. Vzniká tím, že oslňující zdroj poutá pozornost na úkor místa, na které by se měl zrak soustředit. Pozornost je rozptýlena, pocítujeme nepříjemný stav, aniž bychom si často uvědomili, že příčinou je oslnění.

Omezující oslnění představuje vyšší stupeň oslnění, neboť ztěžuje rozeznávání, vidění se stává namáhavé, vzniká pocit nejistoty, únavy a nastává pokles zrakového výkonu.

Oslepující oslnění je oslnění tak intenzivní, že znemožňuje vidění, někdy i na delší dobu, když již příčina oslnění zanikla. V mnohých případech je tento stav nebezpečný.

4.1.2.2 Oslnění podle příčiny

Oslnění kritickým jasnem (oslnění absolutní) vzniká tehdy, je-li v zorném poli natolik velký jas, že zrak není schopen přizpůsobit se tomuto jasu adaptací. Tento případ nastává, když jas oslňujícího zdroje je větší než přibliž. $200\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pozn.: Uvedená hodnota kritického jasu má praktický význam jen za denního světla. V noci, kdy citlivost oka je v důsledku dlouhodobé adaptace značně vyšší, stejný účinek způsobují už značně nižší jasy, proto se někdy uvádějí hodnoty kritického jasu:

3 000–4 000 cd · m⁻²

1 000 cd · m⁻²

kritický jas při umělém osvětlení,

kritický jas ve velmi tmavém prostředí (např. v dolech).

Přechodové oslnění nastává náhlou změnou jasu v zorném poli, protože zrak se této změně přizpůsobuje s opožděním. Tento stav nastává při náhlém přechodu z tmavého prostředí do světlého nebo při rozsvícení intenzivního světelného zdroje. Zraková pohoda se narušuje, převýší-li změna jasu v zorném poli poměr 1 : 10 a oslnění nastává při změně jasu v poměru 1 : 100.

Oslnění kontrastem (poměrové) vzniká v případě, jsou-li v zorném poli současně plochy s velmi rozdílnými jasy (např. nezacloněná svítidla kontrastující s tmavým pozadím). Zraková pohoda je někdy narušována již při poměru jasů 1 : 10 a oslnění začíná, převýší-li poměr jasů v zorném poli hodnotu 1 : 100. Oslnění kontrastem je nejčastějším nedostatkem v osvětlovací praxi, neboť oko se tomuto stavu nemůže přizpůsobit adaptací.

Závojevé oslnění vzniká v případě, kdy mezi okem a pozorovaným předmětem je jasnější prostředí rozptylující světlo nebo prostředí s jemnou strukturou (mlha, déšť, záclony, znečištěná okna apod.). Oko je nuceno přizpůsobit se jasu tohoto prostředí, jež je vyšší, než obvyklý jas pozadí a tím se snižuje rozlišitelnost tvarů, kontrastu, barev apod.

4.1.2.3 Oslnění podle umístění zdroje oslnění v zorném poli

Osové oslnění nastává v případě, zobrazuje-li se zdroj oslnění na žluté skvrně uprostřed sítnice oka.

Okrajové oslnění nastává, jestliže se zdroj oslnění zobrazuje mimo střed sítnice oka.

4.1.2.4 Oslnění podle cesty od zdroje oslnění k oku

Přímé oslnění vzniká v případě, když oslňuje sám zdroj světla.

Oslnění odrazem nastává, je-li příčinou oslnění odraz zdroje světla na lesklé ploše.

4.1.2.5 Hodnocení oslnění

Na velikost oslnění mají vliv zejména tyto veličiny: jas oslňujícího zdroje světla, velikost a vzdálenost oslňující plochy (vyjadřuje se prostorovým úhlem, pod nímž oko vidí oslňující plochu), jas okolí a pozadí a poloha oslňujícího zdroje vůči směru pohledu.

Podle ČSN /4.1/, /4.2/ je metodika hodnocení oslnění založena na výpočtu činitele oslnění, resp. stupně oslnění (značí se G_N , /4.1/, resp. S /4.2/) různě modifikovaných empirických vztahů. Vychází se přitom z úvahy, že stupeň oslnění je tím vyšší, čím je vyšší jas oslňujícího zdroje ve směru k oku pozorovatele a čím větší je prostorový úhel, pod nímž je z místa pozorovatele vidět oslňující zdroj. Stupeň oslnění naopak klesá se zvyšujícím se adaptačním jasnem (jasem okolí místa zrakového výkonu a jasnem pozadí). Lidské oko je necitlivější na oslnění ve směru osy pohledu a v jejím okolí přibliž. do úhlu 15° . V oblasti úhlů 15° až 30° od osy pohledu je vliv jasu oslňujícího zdroje nižší, stále však významný. V úhlu nad 30° je vliv zdroje oslnění malý.

V souladu s požadavky na účinnost zábrany oslnění se podle /4.1/ rozlišují čtyři třídy omezení oslnění, uvedené v *tabulce č. 4.2*. Další informace – viz /4.5/.

Tab. 4.2 Třídy omezení oslnění podle /1/.

Třída omezení oslnění	Požadavky na omezení oslnění	Příklady prostorů		Činitel oslnění G_N	Stupeň oslnění G_S
1	velmi vysoké	pracoviště s displeji, operační sály		$G_a \leq 30$	1,50
2	vysoké	běžné prostory s kategorií osvětlení	A	$30 < G_a \leq 70$	1,85
3	střední		B	$70 < G_a \leq 130$	2,20
4	nízké		C, D	$130 < G_a \leq 200$	2,55

4.1.4 Rozložení jasů v zorném poli

Jasy předmětů a jejich rozložení v zorném poli jsou rozhodujícími činiteli pro zajištění požadovaného zrakového výkonu, pro dosažení dobré zrakové pohody, pro dobré rozlišování tvaru, kontrastu a barev, jakož i pro zábranu únavy. To lze splnit vhodným rozložením osvětlenosti a vhodnou volbou odrazností povrchů v prostoru – viz *tabulka č. 4.3*.

Tab. 4.3 Doporučené rozložení jasů, osvětlenosti a činitelů odrazu.

Plocha v místnosti	Jas (%)	Doporučená osvětlenost (%)	Činitel odrazu povrchů v novém stavu	
			Doporučená hodnota	Rozsah
místo úkolu	100	100	0,8	0,6–1,0
okolí úkolu	40	100	0,35	0,2–0,5
stěny	30	50 až 80	0,5	0,3–0,8
strop	30	30 až 90	0,7	0,4–0,8
podlaha	25	50 až 100	0,2	0,2–0,3
nábytek	20		0,3	0,2–0,5

Pozn.:

- 1) Pracovní prostředí vyžaduje vyšší adaptační jasy, vyšší kontrasty jasu a barev kritického detailu a jeho bezprostředního okolí, ale malé kontrasty jasu velkých ploch v okolí a v pozadí. Optimální poměr jasu místa zrakového úkolu k jasů okolí úkolu a k jasů vzdáleného okolí činí 10 : 4 : 3.
- 2) Prostor pro aktivní odpočinek vyžaduje přibližně poloviční adaptační jasy než pracovní. Větší nerovnoměrnost jasů není na závadu, neboť přílišná rovnoměrnost jasů vyvolává útlum.
- 3) V reprezentačních místnostech, které mají vyvolat slavnostní náladu, se vyžadují vyšší adaptační jasy a značná jasová nerovnoměrnost. Přípustné je oslnění rozměrově malými zdroji v rozsahu rušivého oslnění.
- 4) Prostor s intimní náladou vyžaduje nejnižší adaptační jasy a průměrné hodnoty kontrastu, jež mohou být doplněny vhodnou chromatičností světla a barvou povrchů.

4.1.5 Směrovost a stínivost osvětlení

Zajištění optimálního kontrastu mezi kritickým detailem a blízkým okolím, jež je nezbytné pro dosažení požadovaného zrakového výkonu a pro minimalizaci únavy zraku, je účelné doplnit vytvořením podmínek pro dobré plastické vnímání, tj. vhodnou směrovostí a stínivostí světla. Světlo má do místa zrakového úkolu dopadat převážně zleva a shora, pokud možno zezadu přes levé rameno. Uvedené požadavky je nutné respektovat na pracovištích, kde pracovníci během delší doby prakticky nemění svoji polohu vůči zdroji světla, např. v kancelářích, u počítačů, ve studovnách, čítárnách apod.

Dobré prosvětlení prostoru a plastický vzhled pozorovaných předmětů stimuluje dosažení zrakové pohody. Směrovost a stínivost osvětlení se hodnotí pomocí střední kulové osvětlenosti ($E_{4\pi}$) a činitele podání tvaru (P). Podle tohoto kritéria jsou podle /4.1/ nejvyšší požadavky kladeny na reprezentační prostory, kongresové sály apod., střední požadavky např. na koncertní a společenské sály, hlediště divadel a nízké požadavky na obrazové galerie, vstupní haly, hlediště klubů apod.

4.1.6 Chromatičnost světla a jakost podání barev

Chromatičnost světla a kolorita předmětů jsou pro zrakový výkon a zrakovou pohodu neméně důležité jako ostatní kvantitativní a kvalitativní charakteristiky osvětlení, neboť nedílnou součástí zrakového vnímání je vjem a rozlišení barev. Jakost vjemu barev je závislá na spektrální (barevné) citlivosti zrakového aparátu a stavu jeho adaptace, na spektrálním složení světla zdroje a na spektrálních vlastnostech (odrazu, resp. prostupu) pozorovaných předmětů.

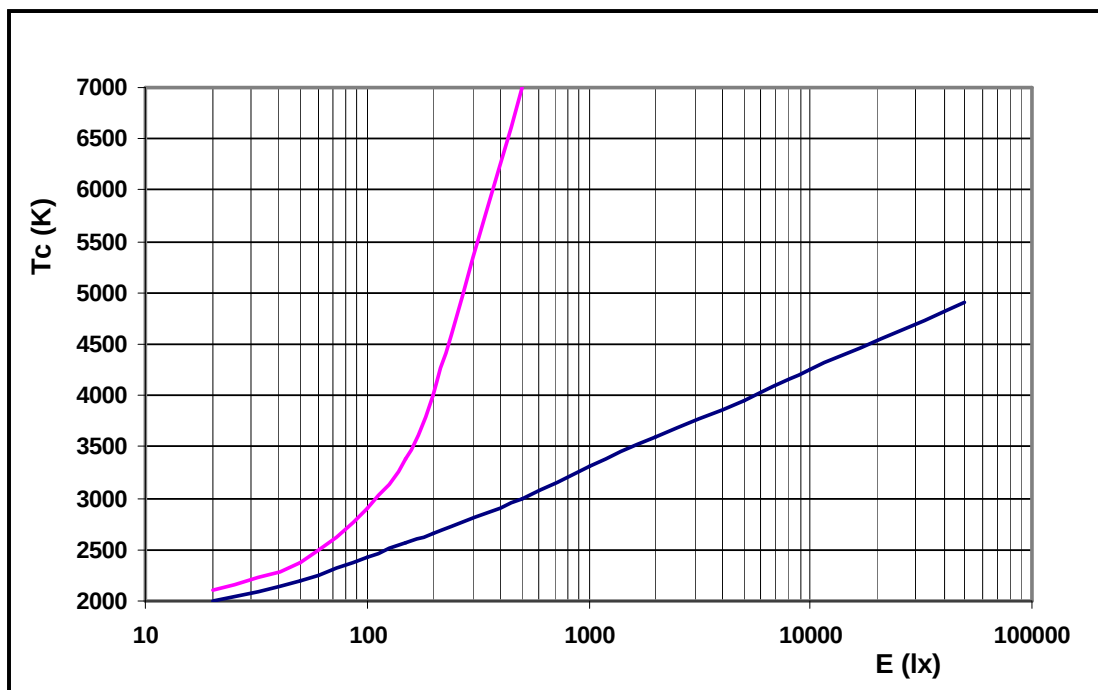
Na základě výzkumů, týkajících se závislosti vzhledu barvy (barevného tónu) světla na teplotě chromatičnosti světla, jsou soudobé zdroje umělého světla rozděleny do tří základních kategorií /4.1/, /4.4/, přehledně uvedených v *tabulce č. 4.4*.

Tab.4.4 Třídění světelných zdrojů podle chromatičnosti světla.

Teplota chromatičnosti (K)	Barevný tón světla	Světelné zdroje
< 3 300	teple bílý	žárovky, halogenové žárovky zářivky výbojky sodíkové vysokotlaké výbojky halogenidové
3 300 až 5 300	bílý	zářivky výbojky rtuťové s luminoforem výbojky halogenidové
> 5 300	denní	zářivky výbojky rtuťové čiré výbojky halogenidové

Značná pozornost byla a je věnována závislosti mezi chromatičností světla a úrovní osvětlenosti. Význam tohoto kritéria vzrostl se zaváděním zářivkových a jiných výbojových zdrojů světla a při hodnocení vlivu jejich spektra na člověka v porovnání s plnohodnotným spektrem denního světla.

Závislost mezi chromatičností světla, vyjádřenou teplotou chromatičnosti a úrovní osvětlenosti byla též podrobně zkoumána a měřena pro konkrétní pracovní situace a publikována Kruithoffem /4.6/ formou diagramu, jež je uveden na *obrázku č. 4.1*.



Obr. 4.1 Závislost chromatičnosti světla (K) na úrovni osvětlenosti (lx). (Oblast vymezená křivkami je oblast příjemného osvětlení.)

Závislost teploty chromatičnosti světla na osvětlenosti z hlediska zrakové pohody je pro jednotlivé kategorie osvětlení podle /1/ uvedena v *tabulce č. 4.5*.

Tab. 4.5 Teplota chromatičnosti světla v závislosti na osvětlenosti.

Rozsah teplot chromatičnosti (K)	Osvětlenost (lx) pro kategorie osvětlení	
	A, B, C	D
< 3 300	≤ 500	≤ 200
3 300 až 5 300	300 až 1 500	150 až 500
> 5 300	> 500	> 200

Novější práce věnované této problematice vycházejí ze subjektivního posouzení závislosti barevného tónu světla a úrovně osvětlenosti. Jedno takovéto subjektivní hodnocení soudobých zářivkových zdrojů světla podle /4.7/ je uvedeno v *tabulce č. 4.6*.

Tab. 4.6 Vjem barevného tónu světla v závislosti na osvětlenosti.

Osvětlenost (lx)	Barevný tón světla		
	Teple bílý (ww)	Bílý (nw)	Denní (tw)
< 700	příjemný	nevýrazný	studený
až 3 000	příjemný	příjemný	neutrální
> 3 000	nepříjemný	příjemný	příjemný

Pro celkové hodnocení jakosti podání barev světelnými zdroji se vžilo použití všeobecného indexu podání barev R_a (viz 3.2.1.3). Tento index však neposkytuje informaci o velikosti a směru posunu jednotlivých barevných vjemů. Všeobecně se konstatuje, že index R_a poskytuje dobré vodítko o věrném podání barev pro hodnoty $R_a > 90$. Uvádí se též, že při současném pozorování dvou světelných zdrojů je oko schopné rozlišit rozdíl $\Delta R_a = 5$. Subjektivní hodnocení jakosti podání barev v závislosti na indexu R_a je uvedeno v *tabulce č. 4.7*.

Tab. 4.7 Subjektivní vjem barvy světla v závislosti na indexu R_a .

Všeobecný index podání barev (R_a)	Charakteristika vjemu barvy světla
90–100	věrný
70–90	dobrý
50–70	průměrný

Použití světelných zdrojů podle stupně jakosti podání barev, všeobecného indexu podání barev R_a a barevného tónu světla podle /1/ je uvedeno v *tabulce č. 4.8*.

Tab. 4.8 Použití světelných zdrojů podle stupně jakosti podání barev a barevného tónu světla.

Stupeň jakosti podání barev	Všeobecný index podání barev	Barevný tón světla	Charakteristika a příklady použití
1	$R_a \geq 90$	teple bílý, denní	velmi vysoké požadavky na podání barev dokonalé rozlišování barev, klinická diagnostika, obrazové galerie, polygrafie
2	$80 \leq R_a < 90$	teple bílý, denní	vysoké požadavky na podání barev byty, hotely, restaurace, obchody, nemocnice
		bílý, denní	vysoké požadavky na podání barev tiskárny, textilní průmysl, náročné práce
3	$60 \leq R_a < 80$	teple bílý, bílý, denní	střední požadavky na podání barev kanceláře, školy, sportoviště
4	$40 \leq R_a < 60$	teple bílý, bílý, denní	malé požadavky na podání barev běžná průmyslová výroba, automatizované provozy
5	$20 \leq R_a < 40$	teple bílý	velmi nízké požadavky na podání barev hrubé průmyslové práce (energetické a hutní provozy, dřevařský průmysl, komunikace)

S problematikou vjemu barvy světla a předmětů souvisí též zraková paměť, tzv. paměťové barvy, které vnímáme v jejich obvyklé barvě bez ohledu na spektrální složení obvyklých zdrojů světla (např. trávni zeleň, bílý papír, barva pleti, modř oblohy). Oko je kromě toho schopné adaptovat se např. na chromatičnost denního i žárovkového světla tak dobře, že barvu předmětů vnímá shodně bez ohledu na značně rozdílnou chromatičnost těchto světél, avšak za předpokladu, že nejsou pozorovány současně. Není proto vhodné používat v jednom prostoru světelné zdroje s velmi rozdílnou chromatičností, v opačném případě musí být jejich světlo dobře promícháno. Tento problém nastává i při kombinaci umělého a denního osvětlení.

4.2 DENNÍ OSVĚTLENÍ

Denní osvětlení interiérů zahrnuje jednak osvětlení slunečním světlem i světlem oblohovým, jež do místnosti proniká osvětlovacími otvory (okna, světlíky, průsvitné střechy apod.) přímo, a jednak denním světlem odraženým od stěn, stropu a předmětů v interiéru.

Při osvětlování vnitřních prostorů, určených v první řadě pro trvalý pobyt osob, se musí v souladu s funkcí prostoru co nejvíce využívat denní osvětlení, které je pro člověka nenahraditelné. Vytvoření podmínek pro dobrý zrakový výkon a zrakovou pohodu při osvětlování denním světlem má stejnou platnost jako při osvětlování světlem umělým. Ve vnitřních prostorech určených pro trvalý pobyt osob se kromě toho doporučuje zabezpečit nerušený výhled okny do okolí (optický kontakt s okolím). Při bočním osvětlení vytváří denní světlo specifické podání prostorovosti předmětů, což spolu s rozložením jasů v prostoru přispívá k dobré zrakové pohodě.

4.2.1 Charakteristiky denního světla

Denní světlo, tak jako i světlo umělé, je charakterizováno jeho spektrálním složením, chromatičností, jíž lze vyjádřit opět pomocí trichromatických souřadnic barvy světla či teplotou chromatičnosti světla a úrovní osvětlenosti, která, je-li měřena přímo, se vyjadřuje též v lx (podrobněji viz kapitoly 2.0 a 3.0).

Přesto při hodnocení osvětlení vnitřních prostorů denním světlem existují, oproti světlu umělému, jisté rozdíly. Vzhledem k neustále proměnlivosti denního osvětlení,

vyplývajícího ze zdánlivého pohybu Slunce po obloze a ze změn oblačnosti, se úroveň denního osvětlení v interiérech zjišťuje pomocí poměrné veličiny, tzv. činitele denní osvětlenosti, která vyjadřuje poměr osvětlenosti v daném místě vnitřního prostoru k současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezacloněné vodorovné roviny, za známého nebo předpokládaného rozložení jasu oblohy. Denní osvětlení ve vnitřním prostoru se měří při rovnoměrně zatažené obloze za podmínek, uvedených v /4.8/ a /4.9/.

Základním hlediskem pro stanovení požadavků na úroveň denního osvětlení je zařazení zrakové činnosti podle zrakové obtížnosti souladu s poměrnou pozorovací vzdáleností kritického detailu (D/d) a s charakteristikou zrakové činnosti do sedmi tříd /4.9/, pro které jsou stanoveny minimální a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti v procentech.

Při hodnocení osvětlení vnitřních prostorů denním světlem, tak jako i při hodnocení osvětlení zdroji umělými, se shodně používají i další kvantitativní a kvalitativní charakteristiky, jako např. rovnoměrnost denní osvětlení, rozložení jasů v zorném poli, zábrana oslnění apod.

Vnitřní prostory nebo alespoň místa zrakového výkonu se mají chránit před vnikáním přímého slunečního světla např. vhodnou orientací střešních světlíků a oken u nových staveb, slunečními clonami, žaluziemi, záclonami apod.

Jas osvětlovacích otvorů při průhledu na oblohu nebo při ozáření Sluncem nesmí být tak velký, aby způsobil oslnění, a to s ohledem na situování osvětlovacích otvorů vzhledem k obvyklému směru pohledu pozorovatele. Při úhlu menším než 60° od obvyklého směru pohledu nesmí jas osvětlovacích otvorů překročit hodnotu $4000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a poměr jasů ploch v místech zrakového úkolu a oblohy hodnotu 1 : 200.

Z hlediska chromatičnosti světla i jakosti podání barev je denní světlo pro člověka tím nejlepším. Jakost podání barev na denním světle, tak jako i při světle žárovky, je vždy hodnocena nejvyšším stupněm, index všeobecného podání barev R_a je vždy roven 100.

Ve výstavních prostorách, čítárnách, studovnách a restaurátorských a konzervátorských dílnách archivů, muzeí a galerií však denní světlo způsobuje určité problémy svým vyšším podílem ultrafialového záření.

4.3 OSVĚTLOVÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ V ARCHIVECH, MUZEÍCH A GALERIÍCH

Jedním z nesložitějších problémů při osvětlování výtvarných děl a jiných uměleckých předmětů (dále exponátů), jež bývají jak z anorganických, tak organických látek, je sladění požadavků na vhodné osvětlení z hlediska uživatelů, tj. návštěvníků a pracovníků uvedených institucí, s požadavky ochrany exponátů před možným poškozením světlem, přesněji řečeno optickým zářením. Osvětlení v těchto interiérech jak denním, tak i umělým světlem, představuje zpravidla kompromis mezi těmito požadavky.

Míra možného poškození exponátů světlem a téměř vždy doprovodným ultrafialovým a infračerveným zářením závidí na intenzitě osvětlení (osvětlenosti) v lx a době osvitu v s, uvažujeme-li viditelné záření, tj. světlo, a na intenzitě ozáření (ozářenosti) ve $W \cdot m^{-2}$ a době ozáření v s, uvažujeme-li ultrafialové a infračervené záření. Součin osvětlenosti a doba osvitu představuje pak osvit ($lx \cdot s$). větší jednotkou jsou lx.hod, klx.hod, Mlx.hod. Součin ozářenosti a doby ozáření je dávka ozáření a vyjadřuje se ve $W \cdot s \cdot m^{-2} = J \cdot m^{-2}$. V souvislosti s osvětlováním exponátů a mírou jejich možného poškození se uplatňuje tzv. reciproční zákon, podle něhož míra či stupeň poškození exponátů je též i při relativně velkých změnách osvětlenosti (ozářenosti) či doby osvitu (doby ozáření) za podmínky, že jejich součin, tj. osvit (dávka ozáření), zůstává konstantní.

Příklad: Míra možného poškození exponátu bude podle recipročního zákona stejná za podmínek, kdy osvětlenost 1000 lx trvala 10 s jako za podmínek, kdy osvětlenost 100 lx trvala 100 s, neboť součin osvětlenosti a doby jejího trvání (osvit) zůstal konstantní ($10 \text{ klx} \cdot s$).

Vliv spektrálního složení světla na exponáty se projevuje tak, že relativní míra možného poškození je nepřímo úměrná vlnové délce záření, tzn., že v oblasti viditelného spektra vzrůstá směrem k modrofialové části spektra a zesiluje se dále v oblasti ultrafialového záření (viz *např. tabulky č. 3.7 a 3.8*, funkce poškození podle CIE apod.). Největší podíl krátkovlnného světla (modrofialového) a ultrafialového záření obsahuje denní světlo a většina výbojových zdrojů umělého světla (viz *b. 4.4*), které mohou u exponátů citlivých na toto záření způsobit při dlouhodobém ozáření jejich vážné poškození.

Přehled výtvarných a uměleckých děl podle jejich citlivosti na optické záření je spolu s doporučenými hodnotami osvětlenosti uveden v *tabulce č. 4.9* podle CIE /4.4/.

Tab. 4.9 Doporučené nejvyšší hodnoty osvětlenosti exponátů z hlediska fotochemického poškození.

Exponáty		Doporučené hodnoty osvětlenosti (lx)
nejméně citlivé	kámen, kov, sklo, malované sklo, šperky, keramika, smalt, minerály	neomezena
středně citlivé	olejové a temperové malby, rohovina, kosti, slonovina, bezbarvé kůže, nábytek, ebonit, černobílé fotografie	150
vysoce citlivé	vodové barvy, oděvy, textilie, tapiserie, kresby, tisky, známky, manuskripty, miniatury, tapety, temperové malby, barevné fotografie a diapozitivy, přírodní exponáty, botanické exponáty, některé minerály	50

Pozn. 1: Pro kategorii vysoce citlivých exponátů a materiálů je osvětlenost 50 lx jako limitní hodnota citována často. V poslední době je pro tuto kategorii exponátů doporučována v japonské odborné literatuře jako limitní hodnota 100 lx se zdůvodněním lepší zrakové pohody návštěvníků a lepší rozlišitelnosti detailů a barev. Souhlasné stanovisko s tímto názorem sdílí i někteří pracovníci archivů, muzeí a galerií, s čímž lze souhlasit za podmínky, že skutečně není překročen limitní přípustný podíl UV záření ($75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$) a je odfiltrována i oblast viditelného záření v rozsahu vlnových délek od 380 do přibliž. 450 nm (nenarušuje-li to vjem barev).

Pozn. 2: Pro kategorii středně citlivých exponátů je často uváděna nejvyšší přípustná hodnota osvětlenosti v rozmezí od 150 do 200 lx.

Pozn. 3: Pro kategorii nejméně citlivých exponátů je někdy doporučována hodnota osvětlenosti 300 lx. Účelem není obava z možného poškození exponátů, ale snížení zrakové námahy návštěvníků při častých změnách adaptace jejich zraku, jsou-li např. v sousedství vystavovány velmi citlivé exponáty apod.

Pozn. 4: Ze stejných důvodů se též doporučuje, aby úroveň osvětlenosti celkového osvětlení v částech výstavních prostorů, kde nejsou vystaveny exponáty (komunikační prostory apod.), nepřevyšovala hodnotu 400 až 500 lx.

Hodnoty osvětlenosti pro účely restaurování, fotografování a jiných zkoušek nejsou v doporučení CIE /4.4/ uvedeny. Za přípustnou horní mez při krátké době osvitů se považuje hodnota 1000 lx. Pro restaurátorské, konzervátorské a podobné práce je např. v /4.1/ doporučena hodnota osvětlenosti 500 až 1000 lx a osvětlení nejlépe rozptýleným denním světlem severní oblohy, tj. denním světlem s teplotou chromatičnosti přibliž. 6500 K nebo umělým světlem zdroji s indexem všeobecného podání barev $R_a > 90$.

Z doporučení CIE /4.4/ lze usuzovat na to, že jsou uplatněna opatření na eliminaci (či snížení na přípustnou mez) ultrafialového záření, neboť je uváděna pouze fotometrická veličina – osvětlenost (v lx) a zároveň se předpokládá dostupnost i vybavenost luxmetry a znalost základních údajů o spektrálním složení záření zdrojů světla (viz např. *tabulka č. 3.10*).

Ultrafialové záření a u vysoce citlivých exponátů i světlo v rozsahu vlnových délek 380–450 nm je nutné omezovat v první řadě u denního světla, kde je jeho podíl větší než u soudobých zdrojů umělého světla. Běžné okenní sklo a plastové materiály absorbují jen část ultrafialového záření. Proto musí být používána dodatečná ochrana proti ultrafialovému záření (nástríky UV absorbérů na sklo, speciální fólie, závěsy, žaluzie apod.).

Obdobně se omezuje ultrafialová složka záření i u zdrojů umělého světla (halogenidové výbojky, zářivky, halogenové žárovky). U soudobých svítidel dodávaných k osvětlování v archivech, muzeích a galeriích jsou tyto filtry zpravidla již součástí svítidel či přímo světelných zdrojů.

Osvit i dávku ozáření lze snížit i zkrácením doby působení světla, např. instalací časových spínačů ovládaných návštěvníky.

Vlastní technika osvětlování ve výstavních prostorách (tj. v podmínkách, kdy exponáty obdrží během dlouhodobých expozic vysoké dávky) je dána charakterem osvětlovaného exponátu a architekturou prostoru. Exponáty lze podle tohoto kritéria rozdělit v podstatě do tří skupin: kresby a obrazy, prostorové exponáty (sochy, plastiky apod.) a exponáty ve vitrínách.

S ohledem na doporučené úrovně osvětlenosti a s tím související ochranu exponátů je nutné při přechodu návštěvníků z venkovního prostředí i např. mezi výstavními sály realizovat vhodné adaptační zóny. V případech, kdy se využívá i denní nebo celkové umělé osvětlení, je nutné jeho úroveň snížit na přípustnou mez, zabránit přímému oslnění kontrastem (okna a přilehlé stěny) a eliminovat případné lesky s vysokým jasnem (viz poznámka č. 4 u tabulky č. 4.9).

Některé exponáty, např. prostorové, je vhodné a efektní osvětlovat přímým směrovým světlem, jehož směr i intenzita musí být řešeny s ohledem na odraz světla, texturu povrchu exponátů a nejčastější směr pohledu návštěvníků.

Osvětlení ve výstavních prostorách archivů, muzeí a galerií musí, kromě funkčního významu, plnit i funkci estetickou. Architektura osvětlení je jedním z kritérií úrovně péče o exponáty a jejich zpřístupnění veřejnosti. V současné době jsou taková řešení k dispozici jak vhodné světelné zdroje, tak i vhodná svítidla a jejich instalační příslušenství. Jsou však většinou importované a tudíž i drahé.

Exponáty na stěnách, jako např. obrazy, plakáty, tapiserie apod., je vhodné osvětlovat buď difuzním, nebo směrovým světlem shora a pod úhlem přibližně 60° od vvislice tak, aby osa světelného svazku pomyslně protínala stěnu ve výši asi 1,5 m

nad podlahou. Pro směrové osvětlování nástěnných exponátů jsou vhodné závěsné průběžné liniové systémy s reflektorovými svítidly. K celkovému osvětlení a pro směrové osvětlování velkých nástěnných exponátů jsou vhodné zářivky s vysokou jakostí podání barev ve svítidlech pro nepřímé osvětlení i ve svítidlech s vhodnými clonícími mřížkami či rozptylnými kryty pro přímé osvětlení.

V některých případech je vhodné i účelné použití tzv. světelných lišt, tj. přípojniového systému pro směrové osvětlování halogenovými i výbojkovými svítidly s různým úhlem vyzařování.

V případě prosklených vitrín a skříní je nutné často umístit svítidla uvnitř. Největším problémem je eliminace lesků způsobených okny skříní, osvětlenými stěnami vitrín a často i vlastními svítidly. Lesky lze omezit vhodným sklonem prosklených, nejčastěji horních ploch, vhodnou volbou směru osvětlení, svítidel s vhodným úhlem vyzařování, užitím speciálních antireflexních skel nebo fólií. Elegantním řešením je rozvod světla světlovodnými kabely ze zdroje, umístěného mimo vitrínu. Užití světlovodných kabelů je řešením i v případech, kdy exponáty ve vitrínách jsou vystaveny nepřipustné tepelné zátěži. Například u exponátů citlivých na teplo se za mezní přípustnou teplotu v okolí exponátu považuje 30–35 °C.

Prakticky ve všech případech osvětlování exponátů, je-li to účelné, lze použít plynule stmívatelné systémy. A to jak pro žárovkové, tak i zářivkové osvětlení.

Sortiment světelných zdrojů, svítidel a jejich příslušenství umožňuje řešit a realizovat osvětlení ve výstavních prostorách nejen s ohledem na ochranu exponátů, ale i z hlediska soudobých výtvarných požadavků.

LITERATURA

- /4.1/ ČSN 36 0450: Umělé osvětlení vnitřních prostorů.
- /4.2/ ČSN 36 0008: Oslnění, jeho hodnocení a zábrana.
- /4.3/ Doporučení CIE 29/2. Hodnocení oslnění.
- /4.4/ Guide on Interior Lighting, 2nd ed., Publ. CIE No 29/2, 1986.
- /4.5/ Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, Praha, 1995.
- /4.6/ IES Lighting Handbook, 5th ed., Illuminating Eng., N. Y., 1981.
- /4.7/ Interní materiály firmy Philips, blíže nespecifikovány.
- /4.8/ ČSN 36 0011-2: Měření osvětlení vnitřních prostorů. Část 2: Měření denního osvětlení.

/4.9/ ČSN 73 0580: Denní osvětlení budov. Část 1: Základní požadavky.

5 HODNOCENÍ STUPNĚ POŠKOZENÍ ARCHIVNÍCH MATERIÁLŮ VLIVEM SVĚTLA

Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.

Každá změna fyzikálních a chemických vlastností archivních materiálů, která může být vyvolána působením celé řady vlivů, je pokládána za poškození. Role preventivní konzervace je zpomalit působení těchto vlivů a především zpomalit procesy, které vedou ke změnám v organických materiálech. Světlo je jedním ze zdrojů těchto změn a účinné řízení depozitárního a výstavního režimu vede k omezení působení světla, stejně jako k potlačení ostatních vlivů, jako je vlhkost, teplota, prach a atmosférické polutanty. Světlo má ale zvláštní postavení mezi těmito vlivy, neboť požadavky na vystavení a konzervaci jsou v přímém rozporu – viz kapitola 9. Pro většinu archivních materiálů je ideální prostředí pro uložení z hlediska konzervace úplná tma, což přirozeně je zcela nevyhovující z hlediska badatelského a výstavního.

Základním předpokladem pro volbu depozitárního a výstavního režimu je posouzení odolnosti jednotlivých archivních materiálů vůči světlu a UV záření. Bez těchto informací není možno volit vhodné zdroje světla a ani účinný způsob ochrany objektů.

5.1 VLIV SVĚTLA A UV ZÁŘENÍ NA ARCHIVNÍ MATERIÁLY

5.1.1 Fotochemické reakce¹⁻⁷

Optické záření – rozumí se viditelné záření (světlo), sousedící UV a IČ záření – může vyvolat poškození archivních materiálů dvěma procesy: fotochemickou reakcí a degradací vlivem IČ záření – radiačního tepla.

Optické záření představuje proud fotonů, v kterém každý foton je samostatnou energetickou částicí. Všechny fotony ve vakuu se pohybují stejnou rychlostí, ale v případě monochromatického světla se liší hladinou své energie.

Energie fotonu (e) je dána výrazem:

$$e = h\nu \quad (1)$$

kde h = Planckova konstanta ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J . s),

ν = frekvence (Hz), která je v obráceném vztahu k vlnové délce.

Ze vztahu (1) vyplývá, že se zvyšující se frekvencí a tedy se snižující se vlnovou délkou záření, stoupá energie fotonu. Krátkovlnný světelný tok (tj. modré světlo)

má vyšší energii fotonů, než dlouhovlnný světelný tok (tj. červené světlo). UV záření má fotony s ještě vyšší energií.

Fotony iniciují fotochemické reakce a hladina jejich energie naznačuje jejich schopnost vyvolat poškození. Různé molekuly mají různou prahovou energii fotonu. Molekuly, které jsou vysoce citlivé na vliv světla, mají nízkou prahovou energii fotonu, což znamená, že již fotony s nízkou energií jsou v tomto případě dostatečně účinné k vyvolání chemické změny.

Z toho plyne, že v objektech složených z různých typů molekul, světelné zdroje, které neobsahují krátkovlnné světlo, jako jsou žárovky, budou iniciovat mnohem méně fotochemické reakce, než tak bude činit zdroj, jehož záření bude mimo světlo obsahovat i určitý podíl UV záření, jako je sluneční světlo, zářivka, vysokotlaká výbojka či halogenová žárovka.

Základní představu o energii fotonů optického záření poskytuje *tab. 12 (kapitola 3.1.1)*.

Fotochemická reakce je proces, při kterém molekuly podléhají chemické změně jejíž aktivační energie je odvozena od absorpce fotonu. Pokud objekt není zcela odolný k působení světla, každá srážka s fotonem vyvolá s určitou pravděpodobností trvalou změnu. Z toho vyplývá, že není bezpečná hranice světelné expozice pro materiály citlivé na světlo a dále, že důsledky vyvolané fotochemickou reakcí jsou většinou nevratné.

Sama fotochemická reakce organických materiálů je velmi složitá. Většinou tato reakce zahajuje první stupeň řetězových chemických změn, kde rychlosti následujících stupňů mohou být významně ovlivněny jinými vlivy. Tyto vlivy zahrnují působení kyslíku, teploty, vlhkosti a atmosférických polutantů.

Mezi nejznámější projevy působení světla je blednutí barev a pigmentů vlivem slunečního světla. Chemické změny způsobené fotochemickou reakcí mohou vyvolat u většiny pigmentů a barev vyblednutí či zežloutnutí, u jiných naopak tmavnutí. Stejně některé materiály, jako papír, textil, useň, polymery, působením světla žloutnou a ztrácejí své mechanické vlastnosti. Je to spojeno se štěpením vláken, křehnutím polymerů a vznikem prasklin na jejich površích. Tyto vlivy mají za následek pokles pevnosti, tažnosti a houževnatosti.

Celkově vede dlouhodobé působení světla a záření u materiálů k následujícím trvalým změnám⁸:

- zkřehnutí,

- vznik prasklin,
- zežloutnutí,
- vyblednutí,
- změna barvy.

5.1.2 Hodnocení archivních materiálů dle citlivosti na světlo a UV záření

Citlivost objektu vyjadřuje rozsah poškození, které bude důsledkem určitého rozsahu expozice světelným zářením. Dále budou probrány některé přístupy k hodnocení tohoto vztahu.

5.1.2.1 Klasifikace archivních objektů

Nejrozšířenějším způsobem, ale i způsobem, se kterým je vyslovován všeobecný souhlas, je klasifikace objektů do tří kategorií dle citlivosti k světlu – *tab. 5.1*. Tato klasifikace, která byla provedena na základě dlouhodobých empirických zkušeností celé řady autorů, je dále používána všeobecně jako základ pro doporučení maximální osvětlenosti¹⁻⁵.

Tab. 5.1 Tři kategorie muzejních objektů rozdělených dle citlivosti na světlo¹⁻⁵.

Kategorie citlivosti	Objekt
Vysoce citlivé	Textil, oděvy, tapiserie, přírodní vlákna, psací inkousty, novinový papír, všechny práce na papíru a pergamenu, akvarely, nestálá barviva a pigmenty, většinou přírodního původu, akvarelové barvy, většina historických barviv na textilu, starší barevné fotografie a diapozitivy, razítka, tapety, malované a barvené dřevo, barvená kůže, kožešiny, peří, většina přírodovědeckých sbírek, včetně botanických objektů. Maximální osvětlenost: 50 lx.
Středně citlivé	Textily vybarvené stabilními barvivami, olejové a temperové malby provedené kvalitními pigmenty, indigo a mořena na vlně, moderní barevná fotografie, freska, hadrový papír, nebarvená kůže, rohovina, kost, slonovina, nebarvené dřevo a laky (orientální i evropské), některé plasty. Maximální osvětlenost: 200 lx.
Necitlivé	Kovy, kámen, sklo, keramika, smalt, většina minerálů, zemité pigmenty. Maximální osvětlenost: neomezená, závisí na expoziční situaci.

5.1.3.2 Relativní index poškození

V padesátých letech Národní archiv USA připravoval nové podklady pro uložení Ústavy U. S. a Prohlášení o nezávislosti. Jako část tohoto projektu byl požádán Národní úřad pro standardizaci (NBS) o provedení studií, jejichž výsledky by vedly k stanovení nejbezpečnějších metod k osvětlení těchto dokumentů. NBS studoval fotochemický

efekt různých délek světla na papír nízké kvality, opublikoval tyto výsledky v roce 1951. Krátce po té Metropolitan Museum of Art v New Yorku (Metropolitní muzeum umění v New Yorku) pověřilo L. Harrisona, aby vypracoval doporučení schématu bezpečného osvětlení. Důvodem vzniku této studie bylo zavedení zářivkového osvětlení ve zmíněném muzeu. Toto světlo se od dosud používaného žárovkového osvětlení lišilo tím, že nemělo spojitě spektrum, ale mělo čárové spektrum. Zároveň mělo vyšší podíl UV záření. Účelem bylo navzájem porovnat vliv různých světelných zdrojů na poškození kulturních objektů, případně posoudit z tohoto hlediska i účinnost různých filtrů. Zmíněný pracovník v roce 1953 zpracoval na základě dat NBS zprávu „Report on the Deteriorating Effects of Modern Light Sources“ („Zpráva o poškozujícím vlivu moderních světelných zdrojů“). Tato zpráva byla prvním významným pokusem kvantitativně porovnat poškození papíru vyvolané různými světelnými zdroji. Významným nedostatkem této práce je, že poškození papíru je hodnoceno pouze na základě změny barvy. Nejsou hodnoceny změny mechanických vlastností papíru (pevnost v tahu, odolnost k dvojohybu atp.), které právě u málo kvalitních novinových papírů jsou z hlediska dalšího použití daleko významnější než změna barvy.

Harison L. S.⁸ navrhl *relativní index poškození* (relative demage index) *DI*. Tento index byl významným východiskem k systematickému zpracování poškozujícího vlivu světla na muzejní materiály a je definován následujícím vztahem:

$$DI = F_{Dm,rel} / F_{V,rel} \quad (2)$$

kde $F_{Dm,rel}$ je relativní poškozující tok,

$F_{V,rel}$ je relativní světelný tok.

Je nutno znovu připomenout, že poškozující vliv určitého zdroje světla musí být viděn ve vztahu k jeho světelnému efektu, tzn., že vizuální požadavky výstavy určují rozsah, kterým vystavované objekty musí být ozářeny, a že poškozující efekt je prostě nežádoucí důsledek tohoto procesu.

Relativní světelný tok je dán vztahem^{1,2}:

$$F_{V,rel} = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{760 \text{ nm}} P(\lambda) \tau(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

kde $P(\lambda)$ je spektrální energie (W) při vlnové délce λ ,

$\tau(\lambda)$ je spektrální činitel prostupu filtru,

$V(\lambda)$ je spektrální citlivost lidského oka, tzv. V-lambda křivka.

Relativní poškozující tok je naproti tomu dán vztahem:

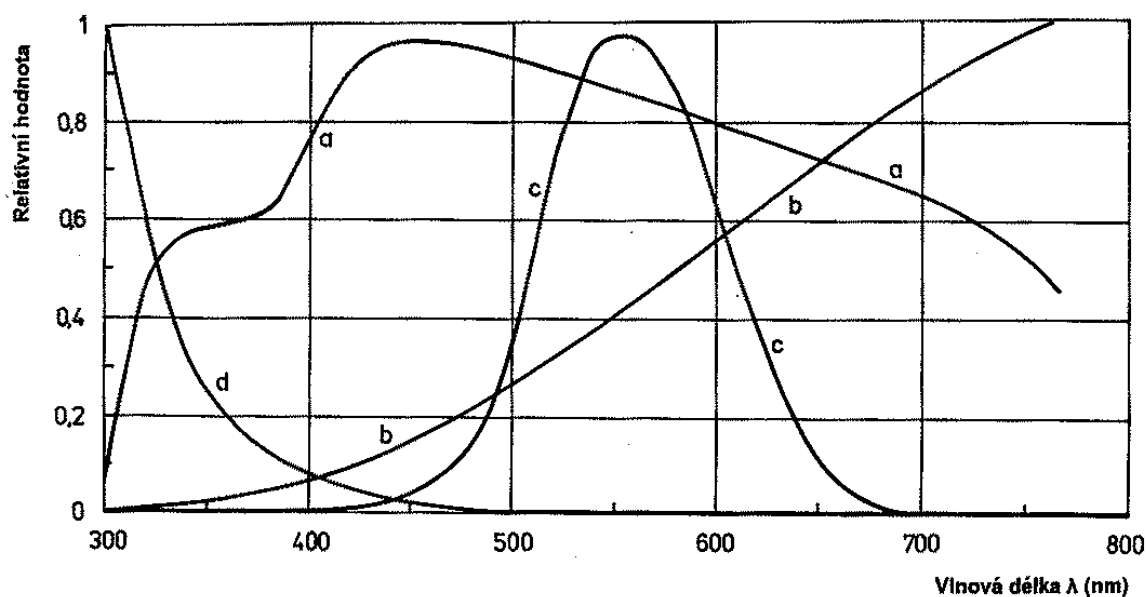
$$F_{Dm, rel} = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{760 \text{ nm}} P(\lambda) \tau(\lambda) D(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

kde $D(\lambda)$ je spektrální funkce relativního poškození.

Ze vztahů (3) a (4) vyplývá, že zatímco činitel $F_{V, rel}$ je závislý na zdroji světla, filtraci a spektrální citlivosti lidského oka – funkci $V(\lambda)$, činitel $F_{Dm, rel}$ je závislý na zdroji světla, filtraci a na schopnostech materiálu přijmout poškozující účinek záření – funkci $D(\lambda)$. Funkce $V(\lambda)$ je všeobecně mezinárodně přijímána; funkce $D(\lambda)$ nemá obecnou platnost a je dosud zpracována pro poměrně úzký okruh muzejních materiálů.

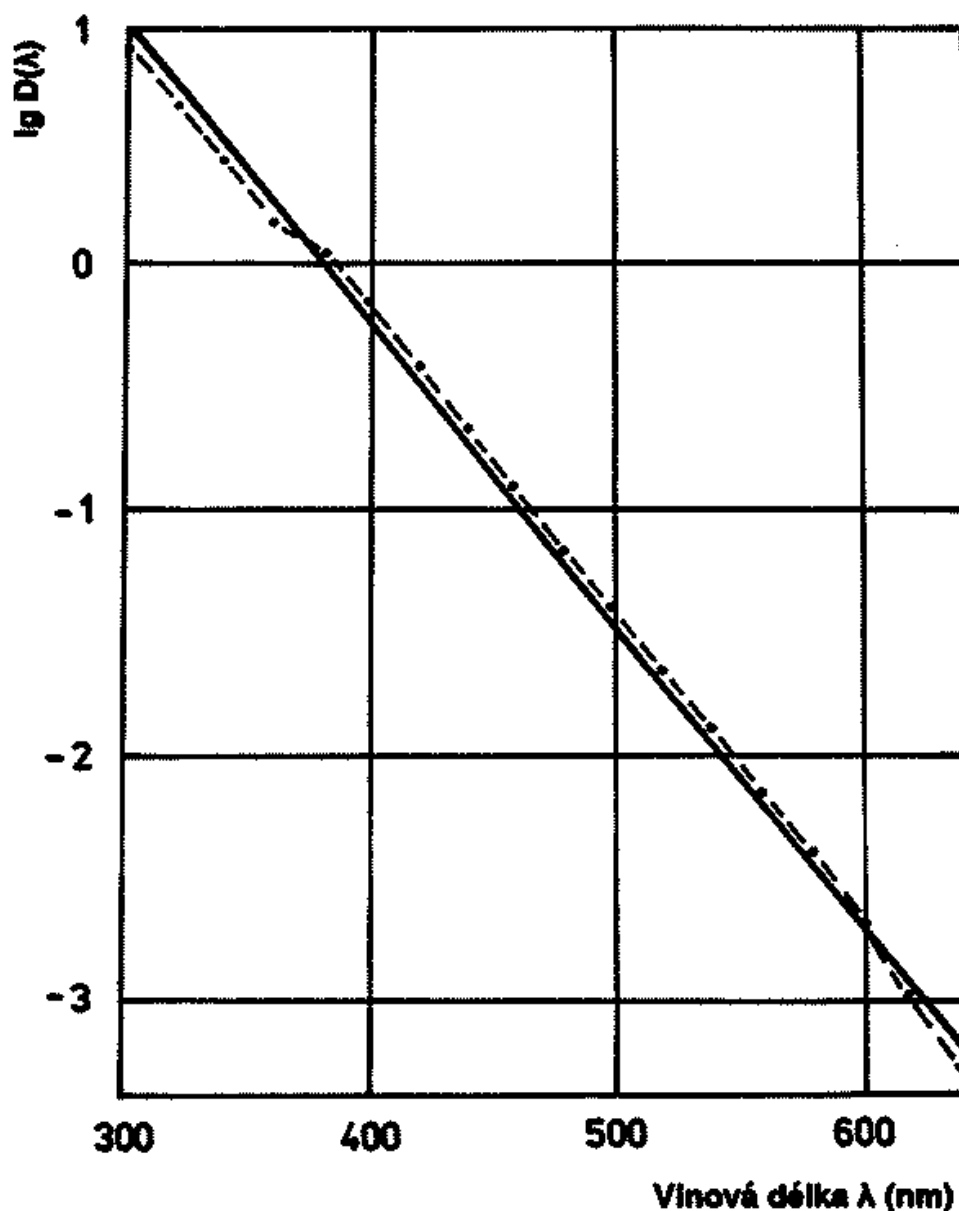
Spektrální energie záření $P(\lambda)$ plynoucí z určitého zdroje je při určité vlnové délce λ udávána v W a je popsána křivkou spektrálního rozložení energie – *obr. 5.1*. Ze srovnání křivky spektrálního rozložení energie pro zatažené nebe a pro žárovku je patrné, že světlo zataženého nebe obsahuje vysoké procento modrého a UV záření, zatímco světlo žárovky obsahuje především červené a IČ záření. Hladina UV záření je nízká.

Lidské oko nevnímá UV a IČ záření a je méně citlivé na blízkou modrou a vzdálenou červenou barvu než na zelenou barvu. Z toho důvodu ve vztahu (3) byla zavedena funkce $V(\lambda)$, která definuje spektrální citlivost lidského oka, tzv. V-lambda křivku – *obr. 5.1*. Vyhodnocení vlivu záření s určitým spektrem je nutno vždy provést ve vztahu k viditelnému světlu. Zrakové požadavky v konečné fázi určují nezbytnou intenzitu osvětlení daného objektu.



Obr. 5.1 Křivky spektrálního rozložení energie přirozeného světla a žárovek, křivka poměrné spektrální citlivosti zraku a křivka závislosti funkce poškození $D(\lambda)$ pro novinový papír na vlnové délce λ ⁹. a – světlo úplně zatažené oblohy, b – žárovka, c – křivka poměrné spektrální citlivosti lidského oka, tzv. V-lambda křivka, d – křivka závislosti funkce poškození $D(\lambda)$ pro novinový papír.

Funkce poškození $D(\lambda)$ pro málo kvalitní papír jsou rovněž uvedena na *obr. 5.1*. Z tohoto obrázku je patrné, jak významný je degradační účinek UV záření. Tento vliv je možno objasnit daleko lépe v případě, když vyneseme $D(\lambda)$ v logaritmické stupnici – *obr. 5.2*. Směrnice této funkce je $-1 \lg$ jednotek $D(\lambda)$ na 80 nm, vyjádřeno jako $-1 \lg / 80 \text{ nm}$. Znamená to, že při každém zkrácení vlnové délky λ o 80 nm se poškození objektu zdesateronásobí. Směrnice této funkce tedy ukazuje, že UV záření potenciálně poškozuje mnohem více než světelné záření a že záření o vlnové délce nad 650 nm (IČ záření) nemá poškozující efekt.



Obr. 5.2 Logaritmická závislost funkce poškození $D(\lambda)$ pro novinový papír na vlnové délce λ ¹. Data získána zpracováním výsledků Harisona⁸. Publikovaná data představují body, které jsou spojeny přerušovanou čarou. Plná čára představuje regresi těchto bodů.

Z uvedeného je patrné, že nalezení a všeobecné používání účinného relativního indexu poškození DI – viz rovnice (2) – má malou naději. Je to dáno tím, že spektrum dopadajícího poškozujícího záření musí být rozděleno na UV záření a viditelné světlo. Ve viditelné oblasti ($\lambda > 380$ nm) poškozující účinek světla může být vztažen do určité míry ke světelnému efektu, tj. k energii vyjádřené $V(\lambda)$ funkcí, a to i za situace,

že ve viditelné oblasti mají funkce $V(\lambda)$ a $D(\lambda)$ zcela rozdílný průběh – obr. 5.1. Znamená to, že vztah vyjádřený rovnicí (2) má platnost pouze v případě, že je použito světlo, které bylo zbaveno UV záření filtrací. V oblasti UV záření, kde nastává maximální poškození, vztah $D(\lambda)$ a $V(\lambda)$ zcela selhává, neboť funkce $V(\lambda)$ neposkytuje žádné informace o průběhu funkce $D(\lambda)$.

5.2.3 Činitel relativního poškození

Z tohoto stanoviska vychází i hodnocení různých zdrojů světla a filtrů pomocí *činitele relativního poškození* $RDF^{1,2}$. Hodnoty RDF jsou počítány z rovnice (5) pro zkoumaný zdroj S a standardní CIE (International Commission on Illumination) zdroj A (úplný zářič při 2 856 K, reprezentující žárovku) a je dán vztahem:

$$RDF = DI_S / DI_A \quad (5)$$

kde DI_S = relativní index poškození zkoumaného zdroje S ,

DI_A = relativní index poškození standardního zdroje A .

Tento činitel uvádí, kolikrát je záření zkoumaného zdroje s určitým spektrem světla nebezpečnější proti záření normalizované žárovky. Neuvažuje citlivost materiálu k záření. Příklady RDF pro různá prosklení jsou uvedeny v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Činitel relativního poškození RDF pro zdroj D65 (normalizované integrované denní světlo s teplotou chromatičnosti $T_C = 6\,500\text{ K}$) při použití různých prosklení¹.

Typ prosklení	RDF
Bez prosklení	12,8
Čiré sklo	8,1
Vrstvená skla:	
Normalizovaná čirá mezivrstva	3,21
Mezivrstva filtrující UV záření	2,98
Mezivrstva filtrující UV záření s vysokou účinností	2,89
Ideální filtr (pro $\lambda > 400\text{ nm} \Rightarrow \tau = 1$; pro $\lambda < 400\text{ nm} \Rightarrow \tau = 0$)	2,79
Normalizované světlo A (žárovka s teplotou chromatičnosti $T_C = 2\,856\text{ K}$)	1,00

T_C = teplota chromatičnosti.

Z tab. 5.3 např. vyplývá, že nefiltrované denní světlo dopadající na určitý objekt má při stejné osvětlenosti 12,8krát vyšší poškozující účinek než nefiltrované světlo žárovky. Normální sklo snižuje RDF o třetinu a vrstvené sklo o další třetinu. Vrstva

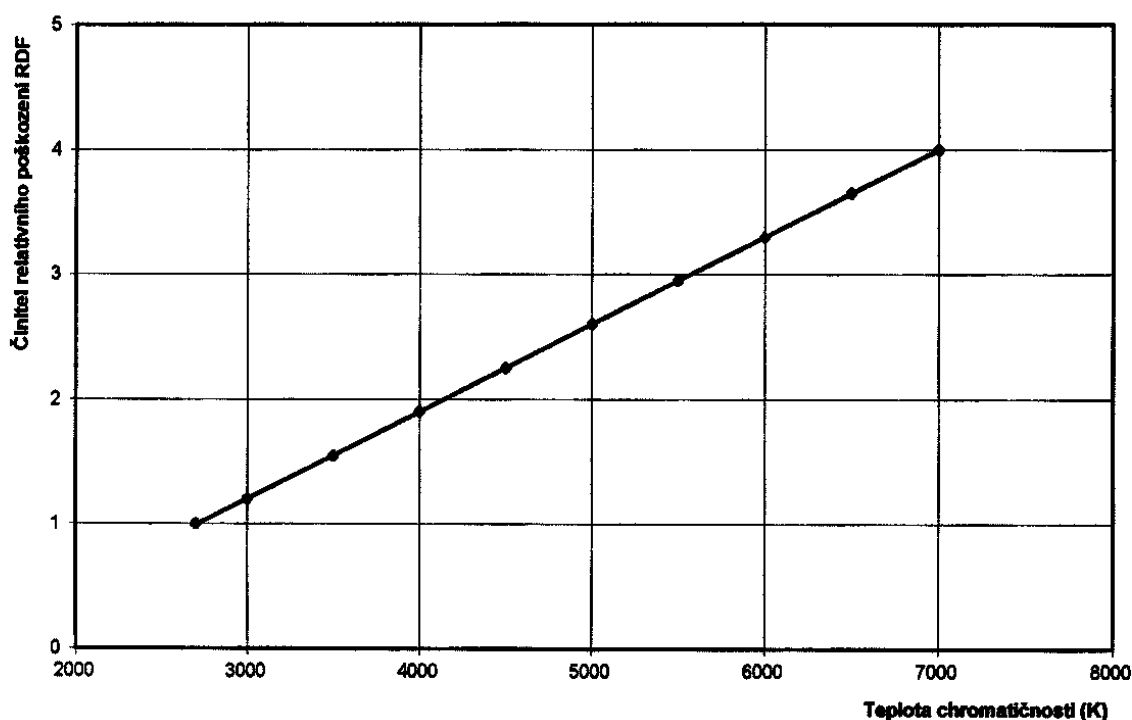
polyvinylbutyralu je chráněna před UV zářením přidavkem UV absorbéru. Zabraňuje se tak její degradaci slunečním světlem a zároveň se tím omezuje průchod UV záření. Dále z *tab. 5.3* vyplývá, že i v případě, kdy jsou použity speciální mezivrstvy absorbující účinně UV záření, není dosaženo významného zlepšení. Denní světlo zbavené UV záření filtrací (podíl UV záření = 0 $\mu\text{W}/\text{lm}$) je stále ještě 2,79krát nebezpečnější než nefiltrovaná žárovka (podíl UV záření = 75 W/lm).

Předpoklad, že většině muzeí je světlo filtrováno a zbaveno UV složky, vedl dalšího autora k zpracování již dříve zmíněných dat NBS pouze pro viditelnou oblast světla⁹. *Tab. 5.4* poskytuje srovnání poškozujícího účinku pěti různých světelných zdrojů filtrovaných okenním sklem a UV filtrem. Pro snadnější srovnání hodnoty byly normalizovány na podkladě světla žárovky filtrované okenním sklem rovnající se hodnotě jedna.

Tab. 5.4 Činitel relativního poškození RDF pro světelné zdroje s různou teplotou chromatičnosti T_c ⁹.

Zdroj světla	Sluneční světlo	Žárovka	Žářivka		
Filtrace	standard		„teple-bílá“	„studeně-bílá“	„denní světlo“
Okenní sklo	6,8	1,0	2,1	2,9	3,6
UV filtr	2,4	0,6	0,9	1,5	2,5
T_{cn} (°K)	6 500	2 800	3 000	4 200	6 500

Dalším výsledkem bylo stanovení, že činitel relativního poškození RDF je lineárně závislý na teplotě chromatičnosti T_c – *obr. 5.3*⁹. Tato závislost znamená, že jednoduché sledování teploty chromatičnosti světla umožňuje stanovit činitel relativního poškození RDF vyvolané světlem daného zdroje bez složitých výpočtů. Z *obr. 5.3* je možno např. stanovit, že určitý světelný zdroj poskytující osvětlenost 200 luxů a s $T_c = 7\,000$ °K poškozuje čtyřikrát více, než osvětlenost 200 luxů ze žárovky s $T_c = 2\,700$ °K, nebo že toto poškození je ekvivalentní 800 luxům světla žárovky.



Obr. 5.3 Závislost relativního činitele poškození RDF na teplotě chromatičnosti T_c ⁹.

Philips místo RDF používá empiricky stanovenou hodnotu *rizika vyblednutí*¹⁰. I v tomto případě, kdy není známa citlivost materiálu na poškození určitým zdrojem světla, jedinou informací, která může být k dispozici je jeho „pravděpodobné poškození“. Je opět ignorována spektrální citlivost uvažovaného materiálu a je srovnáváno relativní poškození vyvolané jedním světelným zdrojem ve srovnání s druhým. Každý světelný zdroj je charakterizován *faktorem poškození* (damage faktor) DF, který představuje relativní poškození vyvolaná určitým zdrojem ve srovnání s jiným zdrojem. V tom případě:

$$FR = 0,02 \cdot DF \cdot E \quad (6)$$

kde FR = riziko vyblednutí,

DF = faktor poškození,

E = osvětlenost v luxech,

t = doba expozice v hodinách.

Hodnoty faktoru poškození DF spolu s vypočítaným relativním činitelem poškození RDF jsou uvedeny v tab. 5.5.

Tab. 5.5 Hodnoty faktoru poškození DF a relativního činitele poškození RDF pro různé světelné zdroje¹⁰.

Zdroj světla	Faktor poškození DF	Relativní činitel poškození RDF
Denní světlo filtrované 4mm okenním sklem	0,43–0,68	5,4–8,5
Žárovka	0,08	1
PAR 38	0,11	1,4
PAR 38 cool beam	0,07	0,9
Otevřený halogenový světelný zdroj	0,2	2,5
Zavřený halogenový světelný zdroj	0,12	1,5
Sodíková výbojka SON (bílý sodík)	0,1	1,25
Otevřený matal halidový světelný zdroj	0,5	6,25
Uzavřený matal halidový světelný zdroj	0,25	3,12
Zářivka PHILIPS TL', barvy 827	0,19	2,37
Zářivka PHILIPS TL', barvy 830	0,20	2,5
Zářivka PHILIPS TL', barvy 840	0,21	2,62
Zářivka PHILIPS TL', barvy 865	0,24	3,0
Zářivka PHILIPS TL', barvy 927	0,15	1,87
Zářivka PHILIPS TL', barvy 930	0,15	1,87
Zářivka PHILIPS TL', barvy 940	0,18	2,25
Zářivka PHILIPS TL', barvy 950	0,22	2,75
Zářivka PHILIPS TL', barvy 33	0,24	3,0
Průměrné zatažené nebe	1,52	19
Průměrné sluneční světlo	0,79	9,87

Hodnoty RDF byly získány přepočtem DF, kdy hodnota RDF žárovky = 1.

Riziko vyblednutí $FR = 100$ je stanoveno v „nejhorším“ případě, kdy např. objekt ve výkladní skříni obchodu je osvětlený slunečním světlem (10 000 luxů) po dobu jedné hodiny ($FR = 0,02 \cdot 0,5 \cdot 10\,000 \cdot 1 = 100$). V případě, že zářivky TL/830 s $DF = 0,2$ s hladinou osvětlení 500 luxů, $FR = 0,02 \cdot 0,2 \cdot 500 \cdot 1 = 2$. V případě vystavení citlivého archivního objektu osvětleného žárovkou po dobu 1 hodiny $FR = 0,02 \cdot 0,08 \cdot 50 \cdot 1 = 0,08$. V případě, že by se vzala v úvahu celoroční expozice 3 000 hod., potom $FR = 0,02 \cdot 0,08 \cdot 50 \cdot 3\,000 = 240$. Tato hodnota představuje nejnižší riziko vyblednutí pro citlivé objekty vystavené minimální osvětlenosti 50 lx.

I když relativní index poškození a s ním související data byly přijaty konzervátory s určitou zdrženlivostí, přesto měly významný vliv na další vývoj ochrany materiálů proti světlu. Byla zdůrazněna ochrana proti slunečnímu světlu a žárovka byla považována za „bezpečný“ zdroj světla.

5.1.2.4 Přípustná výstavní doba

V řadě sdělení se touto otázkou zabývá J. Krochmann a jeho spolupracovníci^{11–16}. Účelem výzkumu bylo získat představu o odolnosti různých muzejních objektů proti světlu. Padesát čtyři vzorky představující různé kategorie muzejních objektů byly vystaveny záření xenonové lampy. Vzorky byly vystaveny buď nefiltrovanému záření, nebo záření s různým spektrálním rozložením energie. Spektrální rozložení energie bylo upravováno vložením filtrů s ostrým ohraničením propustnosti. Ohraničení propustnosti filtrů ležela při vlnových délkách 305 nm, 320 nm, 345 nm, 375 nm, 400 nm, 420 nm, 455 nm, 515 nm a 645 nm. Účinek světla na vzorky byl vyhodnocován kolorimetricky.

Teoretický podklad jejich experimentální práce navazuje na práci Harrisona a je možno shrnout, že poškození archivních objektů závisí na následujících faktorech:¹¹

- na intenzitě ozáření,
- na poměrném spektrálním rozložení energie dopadajícího záření,
- na době ozáření,
- na spektrální citlivosti objektu na expozici ozáření.

Poškození vyvolané působením světla D_m je funkcí expozice účinným ozářením H_{dm} .

$$D_m = f(H_{dm}) \quad (7)$$

Účinná (poškozující) intenzita ozáření je dána vztahem:

$$E_{dm} = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_{e\lambda} \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot dt \quad (W \cdot m^{-2}) \quad (8)$$

kde $E_{e\lambda}$ = spektrální intenzita ozáření objektu ($W \cdot m^{-2}$),

$s(\lambda)_{dm,rel}$ = funkce poškození – relativní spektrální citlivost ozářeného objektu.

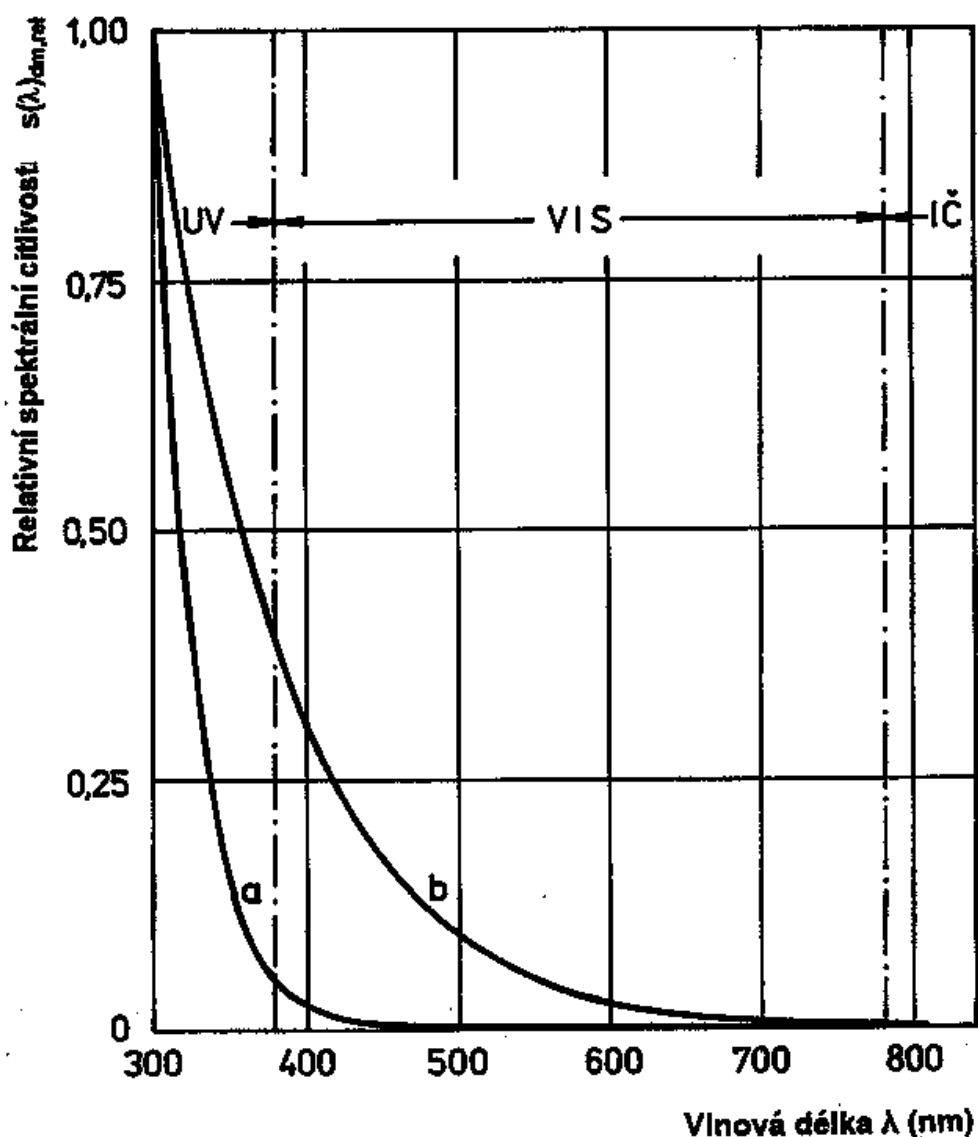
Je ekvivalentní Harrisonovu faktoru poškození $D(\lambda)$ – rovnice (4).

Relativní spektrální citlivost objektu na změnu barvy $s(\lambda)_{dm,rel}$ je možno pro většinu materiálů popsat vztahem:

$$s(\lambda)_{dm,rel} = a \exp(-b \cdot \lambda) \quad (9)$$

kde b = konstanta charakterizující citlivost materiálu na záření. S její klesající hodnotou klesá citlivost materiálu na UV záření – viz *tab. 5.6*.

Jako příklad je na *obr. 5.4* uvedena relativní spektrální citlivost $s(\lambda)_{dm,rel}$ pro novinový papír a další archivní materiály¹⁴.



Obr. 5.4 Závislost relativní spektrální citlivosti $s(\lambda)_{dm,rel}$ pro novinový papír a další studované materiály¹⁴. a – křivka poškození pro novinový papír, b – společná křivka poškození pro akvarelové barvy na hadrovém papíru, olejové barvy na plátně a hadrový papír.

Účinná expozice ozářením (dávka) je pak:

$$H_{dm} = \int_{t=0}^t E_{dm} \cdot dt \quad W \cdot m^{-2} \cdot h \quad (10)$$

kde t = doba ozáření v hodinách.

Rozsah poškození vlivem radiačního ozáření je, obdobně jako v pracích Harrisona, posuzován pouze dle vyvolané změny barvy.

Skutečnost, že poškození objektu (vyblednutí barvy) je závislé na jeho schopnosti přijímat nebo odrážet záření o různých vlnových délkách potvrdili svými experimenty Saunders a Kirby¹⁷. Autoři měřili změny barev vzorků různých pigmentů, barviv a standardů ISO modré vlny číslo 1, 2, a 3. Vzorky byly nanесeny na vlněný textil nebo papír. Jako zdroj pro umělé stárnutí uvedených vzorků byla použita zářivka Thorn Artificial Daylight, jejíž světlo bylo filtrováno širokopásmovými interferenčními filtry. Použité spektrální pásy měly maxima při 400, 450, 500, 550, 600, 650 a 700 nm. Data byla zpracována vynesemím barevné změny ΔE v závislosti na vlnové délce záření λ .

Pro každou část studovaného viditelného spektra byla stanovena celková světelná expozice H ($W \cdot h \cdot m^{-2}$), dle následující rovnice:

$$H = t \cdot E_v \left[\int_{350}^{750} S_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot d\lambda \right] \quad (W \cdot m^{-2} \cdot h) \quad (11)$$

kde t = doba ozáření (h),

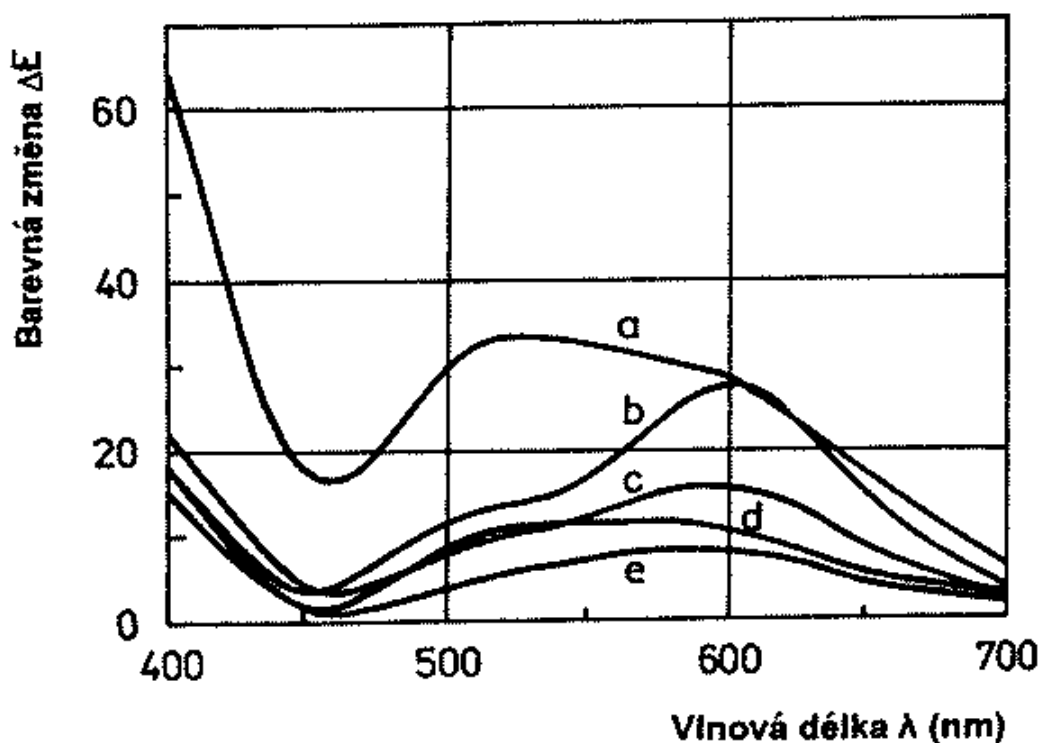
E_v = osvětlenost viditelným světlem ($lm \cdot m^{-2}$),

S_{λ} = spektrální rozložení energie světelného zdroje ($W \cdot lm^{-1}$),

τ_{λ} = transmise použitého filtru.

Vzorky všeobecně vykazaly relativně vysokou citlivost na pás záření 400 nm. V případě expozice v oblasti viditelného světla byly nalezeny podstatné rozdíly v jejich odezvě na různé vlnové délky světla v závislosti na barevných charakteristikách pigmentů a barviv. Modrá barviva a vzorky standardů ISO modré vlny vykazaly výrazná minima poškození v oblasti 440 až 480 nm – obr. 5.5. Autoři vysvětlili tento jev tím, že sledované modré vzorky měly rovněž maximum reflektance v modré části

viditelného světla (cca 450 nm). Naopak v případě červených pigmentů byla odražena většina dlouhovlnného záření s nízkou energií, zatím co byla pohlcena většina modrého záření s vysokou energií. Z toho důvodu červené a žluté pigmenty vykazaly sníženou citlivost pro světlo s vyšší vlnovou délkou, ale byly výrazně poškozeny UV zářením a krátkovlnným světlem. Z toho vyplývá, že poškození vyvolané zářením je vyvoláno nejen energií dopadajícího záření na vzorek, ale i stupněm absorpce záření vzorkem. Dále z toho vyplývá, že fialové a modré světlo (krátkovlnný konec viditelného spektra světla) poškodilo všechny studované materiály, včetně modrých pigmentů a standardů modré vlny.



Obr. 5.5 Závislost barevné změny ΔE na vlnové délce λ pro modré barvy¹⁷. a – ISO modrá vlna No. 1, b – ISO modrá vlna No. 2, c – ISO modrá vlna No. 3, d – lakmus, e – indigo.

5.1.2.5 Reciproční zákon

Z rovnice (10) je možno za předpokladu konstantní intenzity záření, pocházejícího z určitého zdroje působícího po dobu t , získat pro konzervátorskou praxi významný vztah pro celkovou poškozující expozici ozářením (dávku) H_{dm} :

$$H_{dm} = E_{dm} \cdot t \quad (W \cdot m^{-2} \cdot h) \quad (12)$$

kde E_{dm} = poškozující intenzita ozáření ($W \cdot m^{-2}$) a t = doba ozáření v hodinách.

Touto rovnicí je definován tzv. *reciproční zákon* nebo *reciproční princip*^{1,4,18}. Vztah je používán v archivní praxi a praví, že pro daný světelný zdroj je účinná expozice daná součinem intenzity záření (W/m^2) a doby ozáření t .

Podle tohoto principu např. intenzita ozáření $10 W \cdot m^{-2}$ po dobu deseti hodin je rovnocenná z hlediska rozsahu poškození ozařovaného objektu intenzitě ozáření $20 W \cdot m^{-2}$ působící po dobu pěti hodin, případně intenzitě ozáření $5 W \cdot m^{-2}$ po dobu dvaceti hodin. Ve všech případech je expozice $100 W \cdot h \cdot m^{-2}$.

Je patrné, že zmíněný princip je opět definován v energetických jednotkách, kdy mírou hustoty dopadající radiační energie je intenzita ozáření. Intenzita ozáření ($W \cdot m^{-2}$) není totožná s intenzitou osvětlení běžně měřenou v archivech a která je vyjádřena v luxech. Vzhledem k tomu, že je uvažován zdroj poskytující konstantní intenzitu osvětlení, je možno pro potřeby recipročního zákona intenzitu ozáření nahradit intenzitou osvětlení. V tom případě vztah (12) přejde na rovnici definující *celkovou poškozující expozici světlem H*:

$$H = E \cdot t \quad lx \cdot h \quad (13)$$

kde E = poškozující intenzita osvětlení (lx) a t = doba osvětlení (h).

5.1.2.6 *Prahové ozáření a doba prahového ozáření*

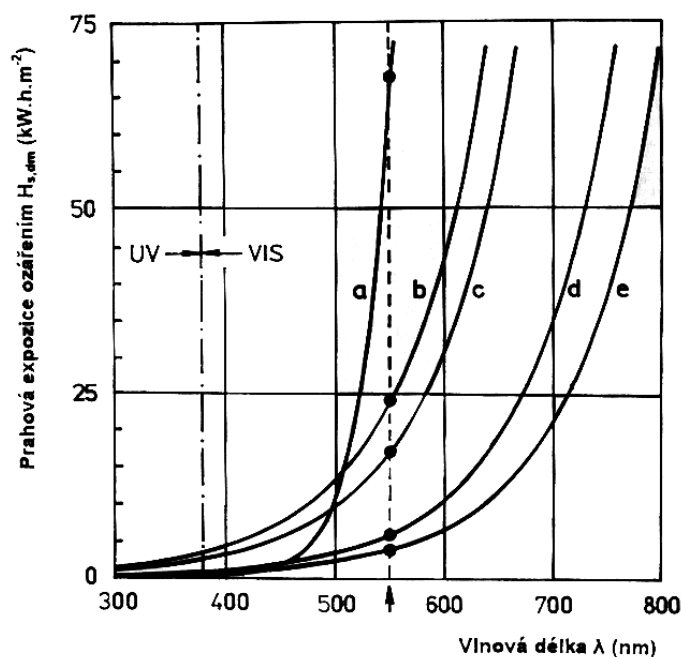
Má-li být předpověděna změna barvy určitého materiálu po delším ozáření, musí být známa jeho relativní spektrální citlivost $s(\lambda)_{dm,rel}$ a na změnu barvy působící expozice účinného záření H_{dm} . Dále musí být známo prahové ozáření $H_{s,dm}$. Prahové ozáření je takové účinné ozáření H_{dm} , které má za následek definovanou změnu barvy (např. $\Delta E^*_{ab} = 1$ – viz dále). V případě, že jsou tyto údaje pro daný materiál k dispozici, je možno předvídat jeho barevnou změnu.

Autoři¹⁴ na základě kvantitativních údajů získaných experimenty rozdělili muzejní objekty organického původu (v tab. 1 objekty středně citlivé a vysoce citlivé) dle citlivosti na světlo do pěti skupin – tab. 5.6.

Tab. 5.6 Konstanta b (rovnice 9) a účinné prahové ozáření $H_{s, dm}$ při barevném odstupu $\Delta E^*_{ab} = 1$ pro různé archivní objekty^{2,13,14}.

Objekt	Konstanta b	Prahové ozáření $H_{s, dm}$ (W.h.m ²)
Novinový papír	0,038	5
Akvarelové barvy na hadrovém papíru	0,0115	175
Textilní vzorky	0,0100	290
Olejové barvy na plátně	0,0115	850
Hadrový papír	0,0125	1 200

Z údajů v tab. 5.6 vyplývá, že novinový papír je mimořádně citlivý na světelné záření. Z obr. 5.6 je ale patrné, že to platí pouze pro UV záření. Pro záření o delší vlnové délce ve viditelné oblasti ($\lambda = 450$ až 550 nm) je novinový papír méně citlivý. Z toho důvodu je v tomto případě odfiltrování UV záření zvláště důležité. V případě ostatních studovaných materiálů bylo ale stanoveno, že jsou citlivé nejen na UV záření, ale i na záření o delší vlnové délce odpovídající viditelné oblasti.



Obr. 5.6 Závislost prahové expozice ozářením $H_{s, dm}$ na vlnové délce λ pro barevný rozdíl $\Delta E^*_{ab} = 1$ pro monochromatické záření¹⁴. a – novinový papír, b – umělý papír, c – olejové barvy, d – textilní vzorky, e – akvarelové barvy. Příklad: Po ozáření s vlnovou délkou $\lambda = 550$ nm (žlutá barva) bude v případě akvarelové barvy změna viditelná již při prahovém ozáření 3 kW.h.m^{-2} , v případě olejové barvy teprve při 17 kW.h.m^{-2} a v případě novinového papíru až při 70 kW.h.m^{-2} .

Z obr. 5.6 vyplývá další důležitý poznatek, a to, že samo odstranění UV záření při osvětlení archivních objektů jiného typu než novinový papír (akvarely, textil, miniatury, barvená vazební useň atp.) nevytváří podmínky pro jejich bezpečné vystavení. I v oblasti viditelného světla ($\lambda = 400$ až 700 nm) již poměrně malé ozáření vyvolá změnu barvy odpovídající $\Delta E_{ab}^* = 1$. Zvláště výrazné je to v případě akvarelových barev, což zároveň zdůvodňuje, že jejich zařazení do kategorie vysoce citlivé je zcela oprávněné – tab. 5.1. Při ozáření viditelným světlem ($\lambda = 400$ až 700 nm) je v zájmu ochrany zmíněných objektů je nezbytné snížit osvětlenost.

Má-li být zabezpečeno, aby na osvětleném objektu nebyly pozorovány barevné změny, musí být doba osvětlení t stejná nebo menší než *doba prahového ozáření* $t_{s, dm}$. V tom případě:

$$t_{s, dm} = H_{s, dm} / E_{dm} \quad (14)$$

Hodnota $t_{s, dm}$ se nazývá též *přípustnou dobou vystavení*.

Přípustnou dobu expozice $t_{s, dm}$ je možno přepočítat na výstavní dobu (v rocích), když jsou zohledněny běžné hodiny pro návštěvníky – viz kapitola 9. Pro světelné zdroje, které jsou používány ve výstavní praxi, vypočítaná přípustná výstavní doba je uvedena v tab. 5.7¹³.

Tab. 5.7 Přípustná doba vystavení $t_{s, dm}$ pro různé archivní materiály a zdroje světla pro $E = 50$ x a $\Delta E_{ab}^* = 1$ ¹³.

		Výstavní doba pro různé zdroje světla (roky)				
		D65	A	3200	L-22	L-32
Akvarelové barvy na hadrovém papíru	bez	2,3	7,3	5,8	6	6,7
	bez UV záření	3,7	8,5	7,4	6,7	7,9
	optimální filtrace	7,1	12,4	11,6	9,1	11,7
Olejové barvy na plátně	bez	15,2	42,5	35,2	36,4	40,4
	bez UV záření	23	48	42,8	39,6	46,8
	optimální filtrace	41,2	66,2	63	52,6	66,1
Hadrový papír	bez	20,8	63,4	51,3	52,8	58,5
	bez UV záření	32,9	73	64	58	69
	optimální filtrace	62	106	99	79	101
Novinový papír	bez	1,3	8,3	4,8	7,8	6,3
	bez UV záření	5,4	21,8	15,9	14,2	16
	optimální filtrace	25,5	100	78	34	51
Textil	bez	8,2	9,9	10,2	16,7	16,6
	bez UV záření	11,8	10,3	11,2	17,8	18,4
	optimální filtrace	15,5	11	12,3	20,1	20,9
Všechny materiály	bez	1,3	7,3	4,8	6	6,7
	bez UV záření	3,7	8,5	7,4	6,7	7,9
	optimální filtrace	7,1	11	11,6	9,1	11,7

Poznámky k tab. 5.7:

Intenzita osvětlení $E = 50 \text{ lx}$.

Změna barvy $\Delta E_{ab}^* = 1$.

Celková změna barvy objektu, která se projeví během expozice ozářením může být vypočítána podle CIE LAB, kdy barevný rozdíl je popsán třemi číselnými hodnotami E^* , a^* , b^* . K popsání barevných rozdílů, kupř. mezi neozářeným a dlouho ozářeným předmětem citlivým na světlo, byl vyvinut barevný systém, v kterém barevný rozdíl může být popsán jako barevný rozdíl ΔE_{ab}^* a který je dán rovnicí^{1, 19, 20}:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta E^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (15)$$

kde ΔE^* = rozdíl jasů barev,

Δa^* = červeno–zelený rozdíl,

Δb^* = žluto–modrý rozdíl.

Vypočítaný barevný rozdíl ΔE_{ab}^* představuje celkový barevný rozdíl, který oko může zaznamenat. Je zkracován jako „jednotka CIELAB“. Barevný odstup $\Delta E_{ab}^* = 1$ je barevný rozdíl, který je lidské oko schopno právě zaznamenat. Větší číselné hodnoty ΔE_{ab}^* znamenají významnější barevné rozdíly – podrobněji v kapitole 3.3.

Filtrace:

bez filtru

bez UV záření

optimální, tj. nastavená tak, aby výsledný index barevného podání $R_a = 90$.

Hodnoty platí pro následující světelné zdroje:

D65 – normované denní světlo,

A – normovaná žárovka,

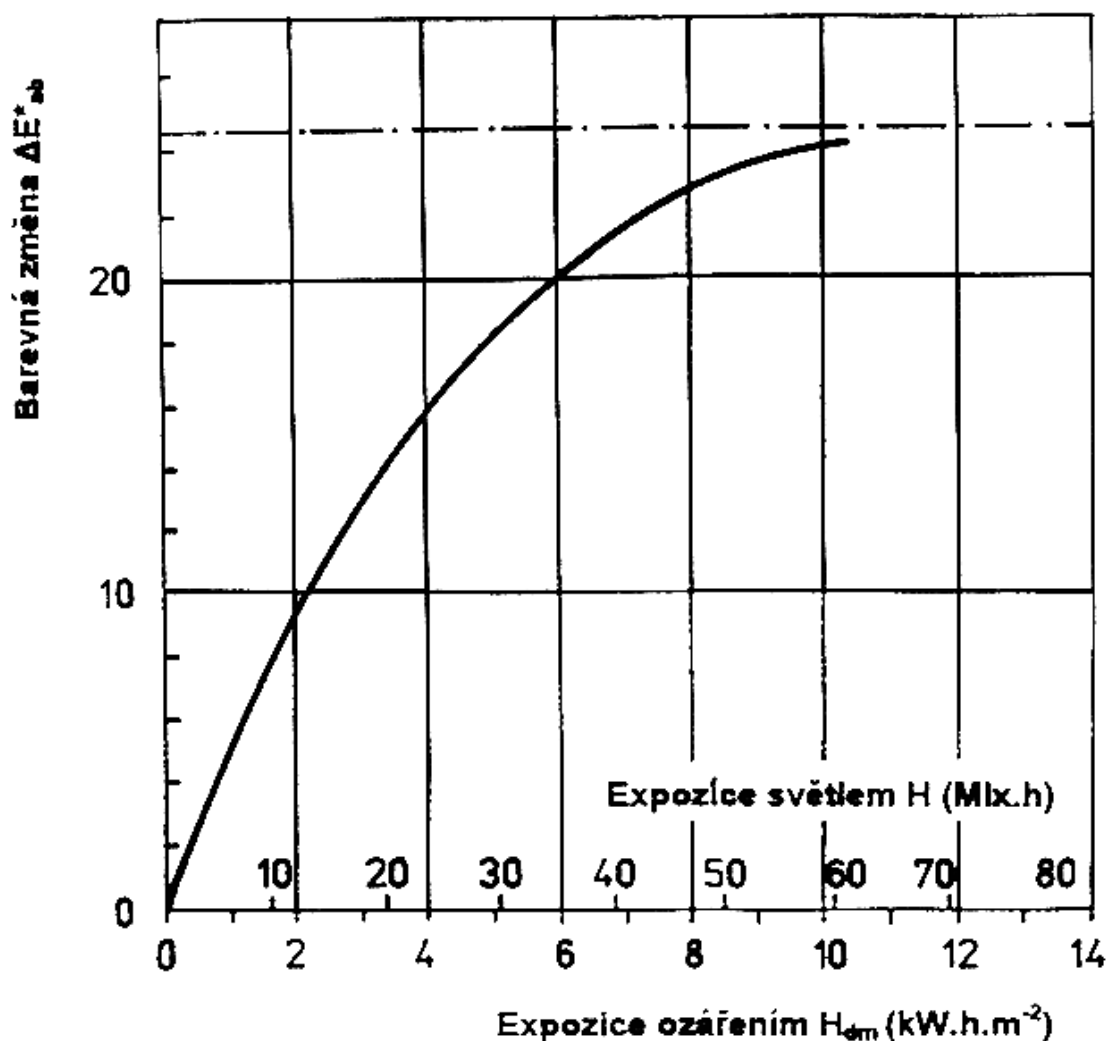
3 200 – halogenová žárovka s teplotou chromatičnosti $T_c = 3\,200 \text{ K}$,

L-22 – zářivka Osram, barva světla 22, bílá, náhradní teplota chromatičnosti $T_{cn} = 2\,800 \text{ K}$,

L-32 – zářivka Osram, barva světla 32, teplá, náhradní teplota chromatičnosti $T_{cn} = 3\,000 \text{ K}$.

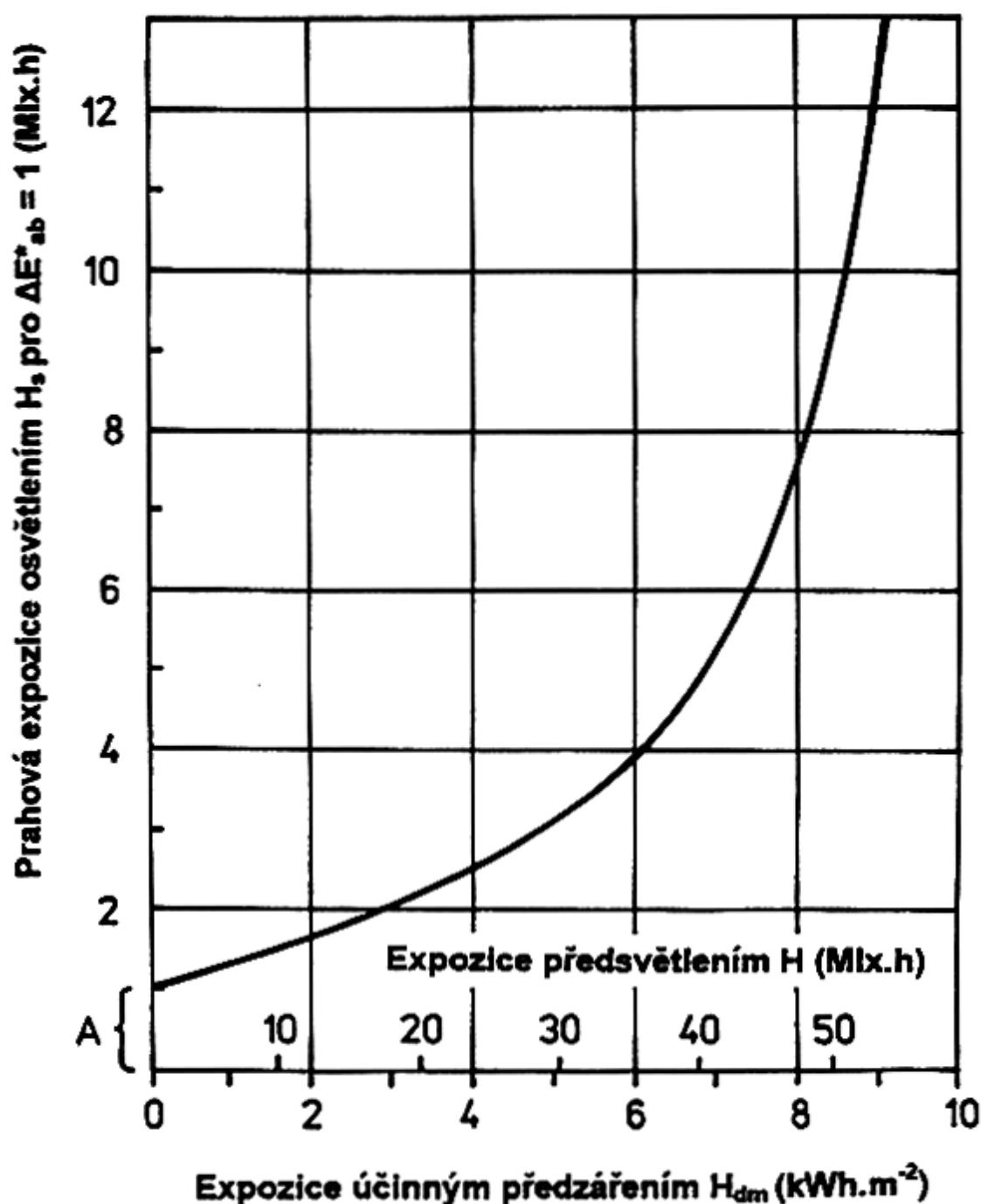
5.1.2.7 Vliv předsvětlení na účinnou prahovou expozici

Vliv expozice osvětlením nebo ozářením, případně osvětlením na barevnou změnu ΔE_{ab}^* akvarelové barvy je patrný z obr. 5.7¹⁴. Charakteristickým znakem této funkce je její strmý, v podstatě lineární počáteční průběh, který se postupně přeměňuje ve plochý asymptotický. To znamená, že rozsah barevných změn s rostoucím expozicí ozářením slábne, což odpovídá tomu, že proces odbourávání molekul akvarelové barvy se postupně zpomaluje a konečně se v podstatě zastaví. Barva na další expozici ozářením či osvětlením již významně nereaguje.



Obr. 5.7 Závislost barevné změny akvarelové barvy ΔE^*_{ab} na expozici světlem H nebo expozici ozářením H_{dm} pro osvětlení optimálně filtrovaným světlem žárovky¹⁴.

Vliv *předsvětlení* je patrný na obr. 5.8. Z tohoto obrázku plyne, že čím bylo intenzivnější předsvětlení a tedy i předběžné poškození objektu, tím vyšší je prahová expozice osvětlením nezbytná k dosažení další poznatelné barevné změny. Kupř. původní nepředsvětlený vzorek akvarelové barvy k změně barvy $\Delta E^*_{ab} = 1$ vyžadoval prahovou expozici osvětlením cca 1 Mlx.h. V případě, že tentýž vzorek byl předsvětlen expozicí 20 Mlx.h dostatovala k vyvolání další právě poznatelné změny barvy zhruba dvojnásobná prahová expozice, tj. 2 Mlx.h. Ale v případě, že byl vzorek předsvětlen expozicí 50 Mlx.h byla již expozice, která vyvolala další poznatelnou změnu barvy podstatně vyšší, než by odpovídala lineárnímu průběhu, a to cca 10 Mlx.h.



Obr. 5.8 Závislost prahové expozice osvětlením H_s pro $\Delta E^*_{ab} = 1$ na expozici účinným předzářením H_{dm} nebo expozici předsvětlením H^{14} . Zdroj světla: optimálně filtrovaná žárovka. A – výchozí stav – nepředzářený, event. nepředsvětlený vzorek.

Tato informace má značný význam. Vyplývá z ní závěr, že exponáty, které nebyly dosud nikdy, nebo velmi zřídka a krátkodobě osvětleny, vyžadují mimořádnou péči, vzhledem k tomu, že již malé světelné expozice mohou vyvolat významné barevné

změny. K takovým exponátům patří např. umělcem čerstvě vytvořené akvarely, dále iluminace vázané do středověkého kodexu, které byly drženy trvale v temnu atp. Stejně do této kategorie patří např. i čerstvé restaurátorské zásahy do barev miniatur.

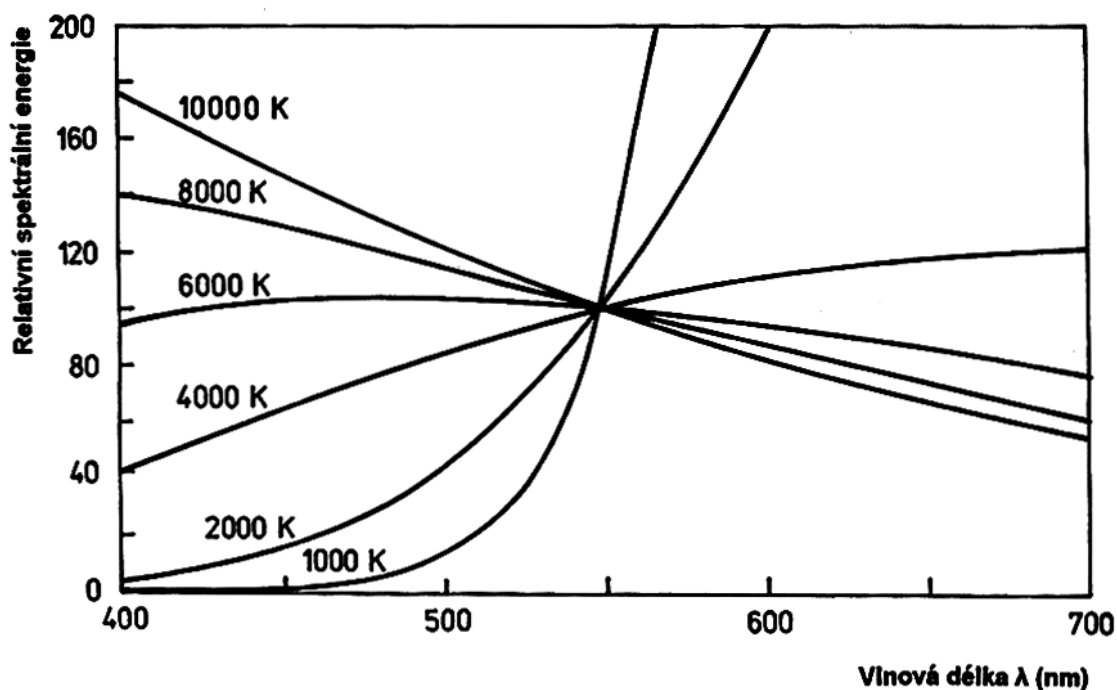
Naproti tomu exponáty, které byly již silně předsvětleny se barevně mění již jen nepatrně a zjevně potřebují pouze slabou ochranu nebo nemusí být vůbec chráněny¹⁴. To platí např. pro tapiserie, které jsou již vystaveny po desetiletí a století v historických prostorách dennímu světlu a jejichž barvy jsou do značné míry vybledlé, ale stabilní. Je ovšem si uvědomit, že toto „optimistické“ stanovisko platí pouze pro změnu barvy vlivem osvětlení. Pro změnu mechanických vlastností textilních vláken tapiserií vlivem světla platí jiné závislosti, které nezbytně nemusí mít a pravděpodobně ani nebudou mít obdobný průběh. Poškození textilu tapiserie může tedy pokračovat i po vyblednutí barev do stabilní hodnoty.

5.1.3 Teplota chromatičnosti a fotochemické poškození

Z předchozího plyne, že neexistuje jeden všeobecný faktor poškození, který by byl použitelný pro všechny materiály. Platí základní pravidlo, že čím kratší vlnová délka dopadajícího záření, tím větší je pravděpodobnost poškození objektu. Stupeň poškození světlem žárovky ve srovnání s denním světlem je nižší pro každý na světlo citlivý materiál, a to i při stejné intenzitě osvětlení. Žárovky jsou nepochybně bezpečnějším zdrojem osvětlení než denní světlo zataženého nebe. Je to dáno tím, že oba zdroje mají rozdílné spektrální rozložení energie a denní světlo má výrazně vyšší podíl modrého, fialového světla a UV záření – *obr. 5.1*.

Zdrojem potíží při stanovení vztahu osvětlenosti a poškození pro různé světelné zdroje je obtížnost měření rozložení spektrální energie^{9,21} – viz *kap. 7.3.2*. Část potíží může být překlenuta vyžádáním dat o rozložení spektrální energie použitého zdroje světla od výrobce. V případě denního světla, případně světelného zdrojů se spojitým spektrálním rozložením energie (žárovky, halogenové žárovky) je možno využít známého vztahu mezi spektrálním rozložením energie „černého zářiče“ a *teplotou chromatičnosti* T_c . V takovém případě je možno použít naměřenou teplotu chromatičnosti sledovaného světelného zdroje jako aproximaci k spektrálnímu černého zářiče při stejné teplotě. Základní informaci o podílech vyzařování při různých vlnových délkách černým zářičem poskytuje *obr. 5.9*²¹. Z tohoto obrázku plyne, že černý zářič a tedy i světelné zdroje nad 6000 °K vyzařují většinu své energie při vlnových délkách pod 550 nm,

tj. v modré a fialové oblasti. Naproti tomu zdroje s nízkou T_c vyzařují většinu své energie při vlnových délkách nad 550 nm, tj. ve žluté, oranžové a červené oblasti.



Obr. 5.9 Závislost relativního spektrálního rozložení energie záření černého zářiče na vlnové délce λ pro různé teploty chromatičnosti T_c ²¹.

V případě, že spektrální křivky jsou normalizovány k frekvenci 550 nm, tj. k frekvenci maximální citlivosti lidského oka, tak jak je tomu na obr. 5.9, potom křivky mohou být použity k všeobecné předpovědi spektrálního rozložení energie v ostatních viditelných vlnových délkách. V případě dané intenzity osvětlení a teploty chromatičnosti, normalizované spektrální rozložení energie může být použito k posouzení poškození objektu viditelným světlem. Je zřejmé, že poškození objektu bude dále závislé na jeho barvě a na schopnosti absorbovat světelné záření ve viditelné oblasti – viz kap. 5.1.2.4¹⁷.

Mnohé zdroje světla, jako zářivky a výbojky, mají nespojité spektrální rozložení energie a liší se významně od spojitých křivek spektrálního rozložení energie černého zářiče. Pro tyto zdroje světla bylo zavedeno měření *náhradní teploty chromatičnosti* T_{cn} , která stanoví teplotu chromatičnosti pro zářivkový zdroj světla na základě jeho vizuální podobnosti s černým zářičem. I když je možno předpokládat určitou chybu v stanovení spektrálního rozložení energie na základě náhradní teploty chromatičnosti, přesto

T_{cn} poskytuje základní informace o relativním podílu v krátkovlnném a dlouhovlnném viditelném záření daného zdroje.

Z uvedeného plyne, že k posouzení předpokládaného vlivu určitého světelného záření jsou nezbytné dva měřicí přístroje^{9,19,20}:

Luxmetr – v případě, že jsou korelovány křivky teploty chromatičnosti s naměřenými intenzitami osvětlení, je nezbytné uvažovat spektrální citlivost kvalitního luxmetru. Většina luxmetrů se blíží svou citlivostí citlivosti lidského oka – viz *kap. 7.3.5*. Je důležité, že jejich údaje není možno např. jednoduše korelovat s činitelem poškození pro papír^{7,21}. Maximální citlivost lidského oka je symetricky rozložená okolo vlnové délky 550 nm, tj. v zelené oblasti, se snižující se citlivostí k modré a červené barvě²². To znamená, že dvě měření osvětlenosti luxmetrem mohou poskytnout stejnou hladinu osvětlenosti, ale spektrální rozložení světla může být zcela rozlišné.

V případě, že křivky teploty chromatičnosti jsou normalizovány k frekvenci 550 nm, kdy mají stejnou energii, potom je možno je použít k všeobecné předpovědi spektrálního rozložení při jiných viditelných frekvencích. Znamená to, že hladina osvětlenosti měřená luxmetrem, kombinovaná s údaji *přístroje na měření teploty chromatičnosti* (viz *kap. 7.3.4*) dále umožní v kombinaci s *obr. 5.9* do značné míry kvantifikovat nejen osvětlenost, ale i spektrální rozložení energie dopadajícího, tedy i poškozuujícího světla na určitém místě. Významné je, že měření teploty chromatičnosti poskytuje dobré informace i u výbojových světelných zdrojů (zářivek, halogenidových výbojek a sodíkových výbojek). Vzhledem k tomu, že stanovení T_c je ztíženo určitou chybou, je nezbytné přístroj kalibrovat pro různé zdroje světla. Všeobecně pro stanovení RDF různých zdrojů světla není pokládána za významnou chyba menší než 300 °K.

5.1.4 Poškození objektů fotografickými elektronickými blesky a fotokopírovacími přístroji

Většina galerií a muzeí nedovoluje návštěvníkům fotografovat vystavené objekty *fotografickými přístroji s elektronickými blesky*^{23,24}. Je to zdůvodněno obavou, že intenzivní osvětlení vyvolané blesky může poškodit umělecké a historické objekty. Stejně se předpokládá, že poškození může vyvolat i UV záření emitované těmito světelnými zdroji.

Elektronické blesky pracují s významnými intenzitami osvětlení, a to 0,36–2,88 Mlx a intenzitami UV záření mezi 0,02–0,66 kW/m² ve vzdálenosti 1 m.

Podíl UV záření je uváděn v rozsahu 0,091 až 0,72 mW/lm, což ukazuje, že podíl UV záření může v nejhorším případě překročit zhruba desetkrát všeobecně akceptovaný podíl UV záření žárovky. Intenzita osvětlení je přibližně 48krát větší než intenzita osvětlení, které poskytuje polední slunce v letním období²³. I když je uváženo, že doba trvání jednoho impulsu je extrémně krátká (většinou kolem 0,001 vteřiny) a z toho důvodu světelná expozice vyvolaná jedním bleskem je relativně malá (řádově 600 lx.s nebo 0,17 lx.h), byl vysloven názor, že vysoká intenzita osvětlení způsobená fotoblesky vyvolává jiné fotoreakce než nízké intenzity osvětlení běžné v muzeích a galeriích. Předpokládá se, že vlivem vysoké intenzity osvětlení mohou molekuly v excitovaném stavu absorbovat další fotony, což může iniciovat jiné degradační procesy s vyšší účinností²⁴.

Tato skutečnost má poměrně velký význam. V případě, že by byl potvrzen bifotonický mechanismus, byl by porušen základní předpoklad platnosti recipročního zákona, tj. že fotoreakcí se zúčastní pouze jeden foton se stejným potenciálem poškodit materiál²⁴. Obdobně by byly zpochybněny funkce poškození pro různé materiály, případně hodnota prahového ozáření – viz *kap. 5.1.2.6*.

Porovnáním barevných změn různých organických pigmentů vyvolaných expozicemi světlem o intenzitě 80 a 200 lx se změnami vyvolanými elektronickým bleskem bylo zjištěno, že pro sledované pigmenty existuje rozumná korelace mezi změnou barvy a celkovou světelnou expozicí (pro expozice 200 klx.h a 350 klx.h). Vzorky byly vystaveny přibližně 4 milionům záblesků. Nebyl nalezen důkaz, že expozice osvětlením vyvolané moderními fotoblesky mají větší poškozující účinek než světelné expozice postupně vyvolané osvětlením při vystavení²⁴. Pokud v jiné práci byl nalezeno vyšší poškození, bylo to pravděpodobně zaviněno použitím staršího typu fotoblesku s dávkou osvětlení 48 000 lx.s²⁵ na jeden záblesk.

V každém případě je nezbytné dbát na to, aby byly používány blesky, jejichž světlo bylo zbaveno UV záření filtrací. Použití fotoblesků bez těchto filtrů by mělo být ve výstavních místnostech s cennými objekty zakázáno.

Na druhé straně je povzbuzující, že profesionální fotografování uměleckých děl za použití blesku vyžaduje pravidelně menší celkovou světelnou expozici, než poskytují výkonné halogenové a výbojkové světelné zdroje, běžně používané při fotografování. Hlavním důvodem je, že zmíněné zdroje jsou zapnuty před vlastním fotografováním, po ustálení je měřena intenzita poskytovaného osvětlení a konečně, že zdroje jsou

zapnuty i mezi jednotlivým exponováním. Fotoblesk je naopak účinný pouze při exponování. V Národní galerii Londýn je povoleno použití profesionálních blesků do 1 250 lux .s pro jednu expozici²⁴.

Určitá pozornost by měla být věnována i fotografování za pomoci blesku v obřadních síních zámků a radnic, kde mohou být umístěny cenné tapiserie, obrazy, nábytek atp. I když bylo zjištěno, že těmto objektům nehrozí bezprostřední nebezpečí při fotografování touto technikou, přesto by mělo být dbáno, aby např. při fotografování svateb byly používány fotoblesky s UV filtrací. V těchto místnostech je vhodné kontrolovat celkovou světlenou expozici filmovými dosimetry – aktinometry²³.

Nebezpečí poškození dokumentů, grafik, tisků atp. světlem *fotokopírovacích přístrojů* není příliš významné. Nicméně stoupá s tím, jak se tato reprodukční technika rozšiřuje a dále s tím, že některé dokumenty jsou častěji kopírovány. Projevuje se to především u archivních dokumentů týkajících se majetkoprávních sporů, případně u dokumentů nezbytných pro genealogického výzkum.

Fotokopírovací přístroje jsou většinou vybaveny halogenovými žárovkami. Expozice UV zářením pro různé přístroje pohybuje mezi 0,12 až 3,80 J/m² na jedno osvětlení²³. To znamená, že tyto přístroje mohou z jednoho originálu udělat 4–117 kopií, než bude dosaženo UV ozáření, které se bude shodovat s ozářením, které je dosaženo při osvětlení žárovkou 50 lx. Střední hodnota je 26 fotokopií. Kopírovací přístroje, které jsou vybaveny xenonovou výbojkou mají intenzitu ozáření 3,85 kW/m² a jejich intenzita osvětlení je 7,0 lx. Poslední hodnota je 120krát větší než průměrná intenzita osvětlení letního poledního slunce. Zatím nejsou k dispozici data, která by poskytla informace o vlivu těchto intenzit na papír.

Z uvedeného plyne, že počet fotokopií, které se pořizují z cenných originálů by měl být co nejnižší. V úvahu je nezbytné vzít i riziko mechanického poškození svazku, který je vkládán otevřený do přístroje.

5.2 VLIV IČ ZÁŘENÍ NA ARCHIVNÍ MATERIÁLY

Přenos energie zářením je velmi účinný, daleko účinnější, než tomu je v případě běžného přenosu tepla konvekci. Na druhé straně i ochlazení objektu ohřátého IČ zářením probíhá mnohem rychleji než ochlazení vzduchu v místnosti. Vysoká rychlost

vyhřívání a ochlazování může být nežádoucí, protože objekty trpí větším poškozením v případě, když změny teploty a s tím související změny vlhkosti probíhají rychle.

Vliv tepelného záření na vzestup teploty ozářeného povrchu nad okolní teplotu je vyvolán absorpcí dopadajícího zářivého toku. Bylo stanoveno, že maximální dosažená teplota ozářeného objektu $T_{\max}$ je dána vztahem²:

$$T_{\max} = T_o + k \cdot A \cdot E_e / h_c \quad (16)$$

kde T_o = teplota okolního vzduchu,

k = konstanta,

A = činitel pohlcení povrchem objektu,

E_e = intenzita ozáření ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),

h_c = koeficient tepelných ztrát konvekcí.

Energie IČ záření není vyhodnocována na bázi vlnové délky, ale je hodnocena jako celková energie dopadající na povrch objektu. Činitel A uvažován jako průměrný pro spektrum IČ záření.

Rovnice (16) ukazuje, že zvýšení teploty povrchu objektu nad teplotu okolí je úměrné ozáření a je nezávislé na tepelné kapacitě objektu, hustotě a jeho tloušťce. Skutečnost, že $T_{\max}$ je vždy vyšší než T_o , je významná pro osvětlení výstavních skříní, především v případě, kdy jsou použity k osvětlení žárovky, včetně halogenových, které vyzařují mnohem více IČ záření než světelného toku. Vzhledem k tomu, že výstavní skříně mají vzhledem k omezenému pohybu vzduchu i malý koeficient h_c , je ohřívání objektů umístěných ve výstavní skříní výrazné. Je nezbytné si uvědomit, že jak UV záření, tak IČ záření neprospívají k viditelnosti objektu. Většinou pouze poškozuji objekt. Je tedy nezbytné, aby konzervátoři zodpovědní za vystavené archivní objekty dbali na to, aby radiační tok obou záření byl v co největší míře potlačen. K zmenšení intenzity dopadajícího IČ záření je např. vhodné použít mimo skříní umístěné halogenové žárovky se studeným zrcadlem, tedy s dichroickým reflektorem schopným oddělit ze světelného paprsku IČ záření. Vhodné je i osvětlení pomocí světlovodných kabelů.

V případě, že na objekt dopadá radiační záření, část je absorbována v závislosti na rozložení jeho spektrální energie a na spektrální pohltivosti objektu¹. Malé množství absorbované radiace může podporovat fotochemické reakce.

Tepelné záření, v případě, že je absorbováno objektem, vyvolává lokální zvýšení povrchové teploty a dehydrataci. Denní vypínání a zapínání světla vyvolává cyklické roztažení a smrštění povrchu a změny vlhkosti. Viditelnými důsledky těchto procesů může být tvrdnutí povrchu, jeho praskání a změna barvy. Je zřejmé, že je často velmi obtížné je oddělit od fotochemických procesů. Zvýšení teploty je většinou podporuje. Poškození je možno očekávat především u organických materiálů, které jsou ve své většině hygroskopické a dále v případě vrstevnatých materiálů, sestávajících z látek s rozdílným koeficientem tepelné roztažnosti, jako je lak na barevné vrstvě, temperová malba na pergamentu či papíru, klišový podklad na dřevě atp. Jednotlivé vrstvy tím, že rozdílně reagují na teplo, případně na změnu vlhkosti se rozdílně roztahují a tím vyvolávají na rozhraní mezi vrstvami smykové napětí. Toto může vést k oddělení, odloupení jednotlivých vrstev a k významnému poškození objektu²⁶.

LITERATURA

1. Cuttle Ch.: Lighting works of art for exhibition and conservation. *Lighting Research and Technology*, 20 (No. 2), 43–53 (1988).
2. Cuttle Ch.: Damage of Museum Objects Due to Light Exposure. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 28 (No. 1), 1–9 (1996).
3. Tikovský L.: Ochrana písemných památek před negativními účinky UV a IR záření. Ve sborníku X. semináře restaurátorů a historiků, Litomyšl 1997, str. 87–94.
4. Thompson G.: *The Museum Environment* (Second Edition). Butterworth-Heinemann, London, 1986, str. 22 a další.
5. Michalski S.: Towards Specific Lighting Guidelines. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 9. Triennial Meeting, Dresden, 1990, str. 583–588.
6. Štěpek J., Zelinger J., Kuta A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL, ALFA, Praha 1989.
7. Pospíšil J.: Fotooxidační degradace polymerů: Příčiny, důsledky a ochrana. *Chemické listy* 85, 905–23 (1991).
8. Harrison L. S.: *Report on Deteriorating effects of Modern Light Sources*. Metropolitan Museum of Art, New York, 1953. Citace převzatá z odkazu 1.

9. Weintraub S.: Museum lighting: A Correlation of Color Temperature and Damage. Pojednání přednesené na 21. Ročním setkání Amerického institutu pro konzervaci historických a uměleckých děl, Denver, Colorado 1993. Ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 140–160.
10. Anonym: Katalog svítidel Philips. Informační materiál firmy Philips Česká republika s. r. o., Praha 2000, str. 265.
11. Krochmann J., Fischer U., Hentschel H. J., Terstiege H.: Materialeigenschaften. Grundlagen der Beleuchtung. V knize: Lange H.: Handbuch für Beleuchtung, Landsberg am Lech, Germany 1992, str. 12–18.
12. Aydinli S., Hilbert S. H., Krochmann J.: Über die Gefährdung von Ausstellungsgegenständen durch optische Strahlung. Licht-Forschung, 5 (No. 1), 35–47 (1983). Citace převzatá z odkazu 1.
13. Krochmann J.: Beleuchtung von lichtempfindlichen Ausstellungsstücken unter besonderer Berücksichtigung der Objektschädigung durch optische Strahlung. Restauro, 94 (No. 23), 227 (1988).
14. Hilbert S. H., Aydinli S., Krochmann J.: Zur Beleuchtung musealer Exponate. Restauro, 97 (No. 5), 313–321 (1991).
15. Barbara Fischer, Uwe Hecker, Martin Janowski: Ausstellung und Beleuchtung. Restauro (No. 5), 328–331 (1997).
16. Wolfgang Pahl, George Roesler: Wie werden Exponate vor Licht geschützt? Restauro (No. 4), 240–246 (1997).
17. Saunders D., Kirby J.: Wavelength-dependent Fading of Artists' Pigments. Sborník příspěvků kongresu Preventive Conservation Practice, Theory and Research, Ottawa 1994. (vydal IIC, London 1994), str. 190–194.
18. Saunders D., Kirby J.: Light-Induced Damage: Investigating the Reciprocity Principle. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 11. Triennial Meeting, Edinburgh 1996, str. 87–90.
19. Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Supplement No. 2 to CIE publication No.15 (E-2.3.1), 1971 / (TC-1,3), 1978.
20. Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlení. FCC Public, Praha 1995, str. 89 a další.

21. Lull W.: Color temperature and light damage to paper. Ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 161–164.
22. Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlení. FCC Public, Praha 1995, str. 357 a další.
23. J. G. Neevel: UV-Belastung durch Elektronblitze und Kopiergeräte. *Restauro*, 101 (2), 98–101 (1995).
24. David Saunders: Photographic Flash: Threat or Nuisance? *National Gallery Technical Bulletin*, Vol. 16, 66–72 (1995).
25. J. F. Hanlan: The effect of electronic photographic lamps on the materials of works of art. *Museum News*, Vol. 48 (10) 33–41 (1970). Citace převzatá z odkazu 46.
26. Feller R. L.: Control of Deteriorating Effects of Light on Museum Objects: Heating Effects of Illumination by Incandescent Lamps. *Museum News* (Technical supplement), 46 (No. 9), 39–47 (1968).

6 OCHRANA ARCHIVNÍCH MATERIÁLŮ PROTI SVĚTLU A UV ZÁŘENÍ

Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.

6.1 OCHRANA PROTI DENNÍMU SVĚTLU

Způsob ochrany archivních materiálů proti působení denního světla je v první řadě závislý na charakteru budovy, v níž jsou archivní materiály uloženy¹⁻⁶. Problémy se světlem většinou nevznikají v depozitářích. Depozitární prostory je možno bez problémů chránit před denním světlem, např. okenicemi, žaluziemi atp., případně tím, že jsou archiválie umístěny do prostor bez oken. Navíc archivní materiály jsou dále chráněny tím, že jsou uloženy v krabicích či v uzavřených skříních. Problémy nastávají při vystavení archivních materiálů. Je to dáno tím, že výstavní prostory jsou umístěné většinou v historických budovách a jsou převážně osvětleny denním světlem. Možnost regulace osvětlení je omezená. V případě, že se jedná o výstavní místnosti v moderních budovách, mohou být přijmata účinnější opatření k regulaci osvětlení, než je tomu v případě historických budov.

Přístup k osvětlení galerijních a muzejních předmětů denním světlem se v minulosti měnil. V 18. a 19. století byla všeobecně přijímána potřeba maximálního osvětlení objektů denním světlem. Nebyla uvažována možnost jejich poškození denním světlem a ani případná ochrana před ním. Významnou změnu přinesla první polovina 20. století, kdy bylo všeobecně uznáno, že světlo a UV záření mohou měnit organickou podstatu historických předmětů. To vedlo k dvěma zásadním změnám v muzejním a galerijním osvětlení: k nahrazení denního světla elektrickým osvětlením a k přísné regulaci vstupujícího denního světla.

V posledních dvou desetiletích je opouštěna snaha vyloučit denní světlo z výstavních prostorů. Je to především z psychologických důvodů. Řada kurátorů i návštěvníků je přesvědčena, že v muzeích a galeriích se obrazy a plastiky jeví přirozeně a skutečně životně pouze v přírodním denním světle. Je oceňována i kvalita osvětlení, kterou poskytuje denní světlo. Kladně u některých druhů výstav je hodnocen dynamický charakter denního světla. Kvalita denního světla v daném místě závisí na poloze slunce a na atmosférických podmínkách: teplota chromatičnosti se mění od 4000 K (přímé sluneční světlo) k 100 000 K (jasná modrá obloha). Při tom index barevného podání se významně nemění a bývá nejméně 95. Navíc bez významu není ani bezprostřední kontakt návštěvníka s okolím budovy, často souvisejícím s námětem výstavy. To má příznivý psychologický vliv na jeho pohodu. Významnou roli v této postupné změně myšlení hraje i celkový posun konzervátorské teorie a praxe, která je již schopna účinně chránit vystavené předměty před škodlivými účinky denního

světla. Důležitou roli hrají i ekonomické důvody. Je zřejmé, že větší využití denního světla vede k snížení celkových nákladů na osvětlení a tedy i k závažnému snížení nákladů na provoz budov.

Širší použití denního světla ovšem předpokládá náročnou regulaci osvětlení spojenou s precizním monitorování světla. Je přirozené, že ani nej přísnější kontrola osvětlení v případě denního světla nemůže zajistit jeho stabilitu takové úrovně, jako je tomu i umělého osvětlení. Důsledkem toho je, že jako kritérium pro hodnocení poškození památek z hlediska fotochemické degradace nejsou používány hodnoty maximální osvětlenosti (lx) používané pro statické umělé osvětlení, ale stále častěji hodnoty maximální roční poškozující expozice (lx.h/rok).

6.1.1 Osvětlení výstavních prostor v moderních budovách

V literatuře, která byla k dispozici, se nepodařilo nalézt detailní informace o moderních výstavních prostorech určených speciálně pro archivní účely. Proto bude v dalším podrobněji pojednáno o řešení osvětlení výstavních prostor denním světlem v moderních, nedávno postavených nebo rekonstruovaných budovách významných muzeí či galerií. Osvětlení v tomto případě je určeno jak pro dvourozměrné objekty – tisky, dokumenty, tapiserie, textil atp., většinou umístěné vodorovně ve výstavních skříních a obrazy (většinou zavěšené svisle na stěnách), tak pro trojrozměrné objekty (plastiky, ale i kultovní předměty, šperky, zbraně atp.). Je zřejmé, že ochrana proti dennímu světlu i v případě archivních výstav se může obdobně týkat nejen dokumentů vystavených ve vitrínách, ale i trojrozměrných objektů (historický knihovní nábytek, kodexy, knihařské nástroje atp.).

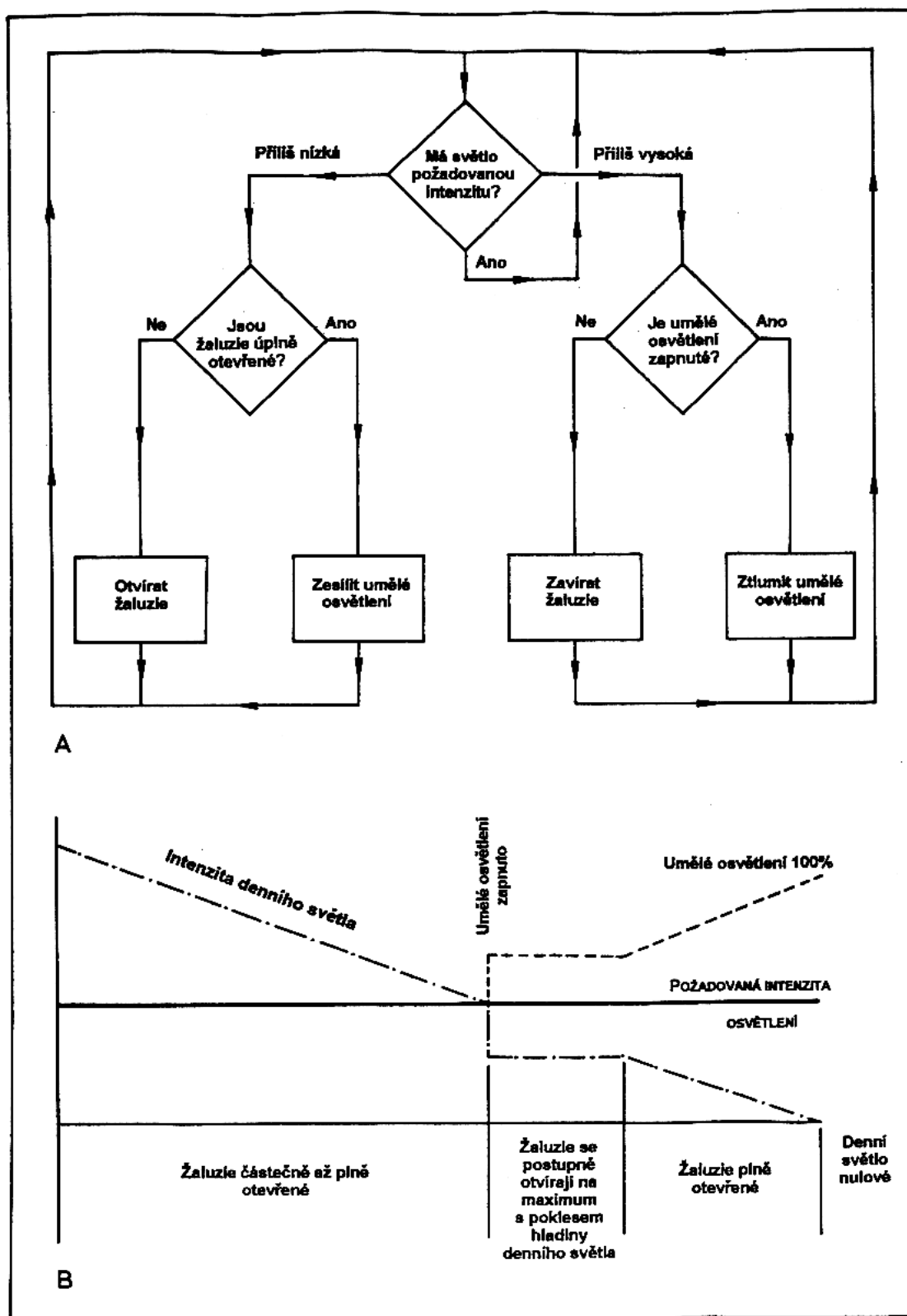
Moderní budovy jsou zásadně osvětlovány denním světlem dvěma způsoby: *horním osvětlením* – střešními okny (světlíky) a *bočním osvětlením* – bočními okny ve stěnách. Většinou je ale používáno *sdržené osvětlení*, kdy osvětlení vnitřního prostoru je zajišťováno především denním světlem a je doplňováno umělým osvětlením^{1, 3, 6–8}.

Novodobé řešení *integrované osvětlovací soustavy* představuje osvětlovací systém použitý v případě Sainsburyského křídla Národní galerie Londýn⁹. Osvětlovací soustava je součástí klimatizačního systému a je ovládána, stejně jako kondicionace vzduchu, ústředním počítačem řídicího systému budovy (MBS). Jednotlivé výstavní místnosti jsou vybaveny vedle čidel pro snímání relativní vlhkosti a teploty vzduchu

i světelnými čidly. Denní světlo je přiváděno jednak střešními okny nad galeriemi a dále okny nad hlavním schodištěm. V maximální míře je využíváno odražené a rozptýlené světlo. Okna jsou předimenzována a intenzita osvětlení je regulována nastavitelnými žaluziemi. Tyto žaluzie jsou dálkově ovládány motoricky a jejich otevření během návštěvních hodin je závislé na intenzitě dopadajícího světla. Intenzita dopadajícího světla je, jak již bylo řečeno, snímána světelnými čidly a vyhodnocována počítačem. Tentýž počítač zároveň zapíná umělé osvětlení v případě, že osvětlení vyvolané denním světlem poklesne pod požadovanou hodnotu – většinou 150 luxů. Naopak, když průměrná hodnota osvětlení dosáhne 250 luxů, umělé osvětlení je vypnuto. Mimo návštěvní hodiny jsou žaluzie zcela zavřeny a místnosti jsou zatemněny. To je významné pro ochranu vystavených předmětů především za dlouhých letních večerů. Je nezbytné, aby žaluzie byly umístěny na vnější straně oken a odrážely světelné paprsky do vnějšího prostoru. Jinak žaluziemi pohlcená sluneční energie bude nadměrně zvyšovat teplotu místnosti a bude zbytečně zatěžovat klimatizační systém. K zasklení střešních oken je použito dvojité sklo, z nichž jedno je vrstvené sklo obsahující mezivrstvu polyvinylbutyralu. Tento polymerní film obsahuje UV absorbér schopný zachytit značnou část UV záření.

Integrovaný osvětlovací systém vyžaduje mimo možnost regulace intenzity osvětlení denním světlem, např. přivřením žaluzií, i regulaci intenzity osvětlení elektrického osvětlení.

Pokročilé řešení problému spojení elektrického osvětlení s denním světlem, s minimem rušení a s maximálním užitekem, zahrnuje náročný systém řízení osvětlení, založený na počítači. Je zřejmé, že je možné jej instalovat pouze ve velkých muzeích či galeriích, kde je možno dosáhnout i maximální efektivity. Takové řešení bylo navrženo v Muzeu Van Gogha v Amsterdamu. Blokové schéma znázorňující funkci použitého systému automatického řízení osvětlení je uvedeno na *obr. 6.1*⁴. Na spodní části obrázku je znázorněn způsob, jak je dosaženo nastavených hodnot osvětlenosti.



Obr. 6.1 Blokové schéma (A) znázorňující funkci automatického systému řízení osvětlení v muzeu van Gogha, Amsterdam. V dolní části obrázku je znázorněn způsob, jakým jsou dosaženy požadované intenzity osvětlení⁴.

V principu jsou dvě možnosti jak je možno automaticky snížit intenzitu elektrického osvětlení v závislosti na stoupajícím množství vstupujícího denního světla: vypínáním a stmíváním^{1,4,8}.

Vypínání může být ovládáno jednoduchou fotobuňkou a je technicky snadněji zvládnutelné. Děje se ale ve skocích, což může vyvolat námitky návštěvníků. V případě, že je snížena intenzita osvětlení vypínáním pouze části světelných zdrojů, nenastane změna barevného podání. Při tomto řešení je nutno počítat se složitějším rozvodem elektrického proudu.

Stmívání vyžaduje složitější elektronickou kontrolu. Je možno je použít u žárovek, s určitým omezením u halogenových žárovek a zářivek – viz kapitola 2.1. Při stmívání se může projevit změna podání barvy. Stmívání je lépe návštěvníky přijímáno, ale je nákladnější.

Většinou je výhodné umožnit přístup denního světla do prostor, kde přísná kontrola osvětlenosti není nutná, jako jsou místnosti pro obchodní činnost muzea, chodby, atria, přednáškové sály atp. Do těchto prostor je možné případně umístit objekty s nízkou citlivostí k prostředí a tedy i ke světlu, jako jsou plastiky, architektonické fragmenty či kovové předměty řemeslné výroby⁴.

Moderní charakter budovy umožňuje použít při ochraně proti dennímu světlu a proti UV záření reflexní solární filmy s tenkou povrchovou vrstvou nerezavějící oceli. Okna v tom případě mají kovový lesk¹⁰. Reflexní filmy tím, že odrážejí část světelného a infračerveného záření, omezují vliv denního světla na teplotu místností a usnadňují i jejich klimatizaci.

6.1.2 Osvětlení výstavních prostor v historických budovách

V případě historických budov je situace poněkud jiná^{11,12}. Úpravy, které mají zajistit ochranu proti dennímu světlu nesmí změnit nejen historický charakter oken, ale ani vzhled celé budovy. Speciálně upravené sklo, reflexní sluneční filmy a polymethylmethakrylátové či polykarbonátové desky určené pro filtraci světla jsou většinou výrazně zabarvené – mají zelenou, šedou a nebo bronzovou barvu a navíc často zrcadlový charakter. Je proto nezbytné zvážit dopad těchto materiálů na historický vzhled budovy. Volbu a přijatelnost filtračních materiálů může ovlivnit barva fasády budovy, výraznost oken, umělé osvětlení v budově, barva okenních rolet či záclon a konečně i viditelnost oken. I když některých případech je možno připustit lehkou

nereflexní šedou barvu na vedlejších fasádách, většinou není to možné připustit na hlavních fasádách. Nejlepší cestou, jak posoudit vliv filtrů na vzhled fasády je pokusně instalovat, je na několika oknech a sledovat jejich vliv na vzhled budovy v různých ročních obdobích.

6.1.2.1 Historické metody ochrany proti světlu a UV záření

V řadě případů pro historické budovy je vhodné použít „historická“ opatření, která vedou ke snížení přístupu světla a UV záření. Většinou se jedná o úpravy používané pro ochranu před slunečním světlem již po několik století^{11,12}:

Poměrně jednoduché je nainstalovat *okenní rolety* a používat je v době přímého slunečního ozáření oken a v době, kdy místnost není používána. Rolety jsou ovládány pérovým navijákem a musejí přesně zapadat do okenního rámu. Jejich barva je většinou hnědožlutá nebo zelená. Spodní tyč rolety je možno nátěrem barevně přizpůsobit k barvě okna či rámu. Nové systémy zhotovené ze skleněných vláken, jako Sol-R-Veil, mohou být instalovány jak na vnitřní, tak na vnější stranu oken. Mohou být ovládány ručně i motoricky a mohou být použity jak pro střešní okna, tak pro běžná okna. Jsou k dispozici v rozsahu barev skleněných vláken; nejlepší ochranu proti viditelnému světlu a UV záření poskytuje bílé zabarvení¹².

Většinou je možno použít k zamezení vstupu světla do místnosti stávající *dřevěné okenice*, ovšem za předpokladu, že jsou v pořádku a schopné provozu.

Stejně je možno použít k omezení přístupu denního světla *žaluzie*. Žaluzie mohou být zhotoveny ze dřeva, kovu nebo plastu. Textilní pásy žaluzií musí být odzkoušeny na jejich odolnost k trvalému světelnému namáhání. Pro dosažení dostatečné ochranné účinnosti žaluzií je nezbytné, aby žaluzie dostatečně (o 5 cm) přesahovala okenní rám. Mimo to žaluzie s délkou větší než 280 cm nepřiléhají tak dobře k okenním rámcům jako žaluzie kratší. Žaluzie jsou většinou účinnější v případě, že jsou umístěny na vnější straně okna. Jejich nastavení ovlivňuje tepelné poměry v místnosti. Musí být nastaveny tak, aby odrážely světlo zpět do vnějšího prostoru. Žaluzie umístěné uvnitř místnosti nejsou v řadě případů vhodné. Prostor mezi sklem a clonou vytváří miniaturní skleníky, kde zachycená světelná energie se mění nekontrolovatelným způsobem v teplo a vyvolává zvýšení teploty v místnosti⁴.

K ochraně objektů před světlem je možno použít i *drapérie a záclony*. Tam kde existují historické drapérie, je vhodné dát udělat jejich kopie a tyto používat místo historických drapérií. Záclony musí být dostatečně široké, aby zakrývaly jak střed okna,

tak rám okna. Je pochopitelné, že čím více látky je složeno do záclony, tím větší je její ochranný účinek.

Do ochrany proti světlu je možné zapojit i okolí budovy. V případě, že je to z hlediska krajiny vhodné a přijatelné, doporučuje se zasadit v blízkosti budovy další stromy či keře tak, aby v rozumné míře zastínily okna.

Je třeba si uvědomit, že rolety, okenice, žaluzie a záclony musí být zavírány či spouštěny denně tak, aby se zamezilo nadměrnému přístupu denního světla v období přílišného osvětlení oken nebo zbytečnému přístupu světla v období nepřítomnosti návštěvníků. Nepříjemné je, že v případě, kdy nejsou ovládány automaticky, je jejich ochranná účinnost zcela závislá na svědomitosti obsluhujícího personálu. Selhání obsluhy potom vede zákonitě k poškození vystavených objektů. Automatické žaluzie na druhé straně mohou být nákladné a mají-li být trvale účinné, vyžadují pravidelnou kvalifikovanou údržbu. Někdy pomalu reagují na změnu počasí².

V případě zvláště citlivých materiálů je vhodné zakrýt výstavní vitríny stínící textilní záclonou či přehozem. Tato záclona je odkryta návštěvníkem pouze po dobu bezprostředního pozorování objektu.

Je přirozené, že významnému poškození objektů světlem je možno zabránit tím, že jsou umístěny mimo dopad přímého slunečního světla, tedy do oblasti, kam dopadá světlo rozptýlené odrazem od nátěru stěn. Jednoduchou metodou jak omezit dopad UV záření je, že pro výmalbu stěn místností jsou použity barvy, které obsahují oxid zinečnatý a titaničitý. Tyto oxidy pohlcují UV záření, ale neodstraňují je úplně.

6.1.2.2 UV filtry

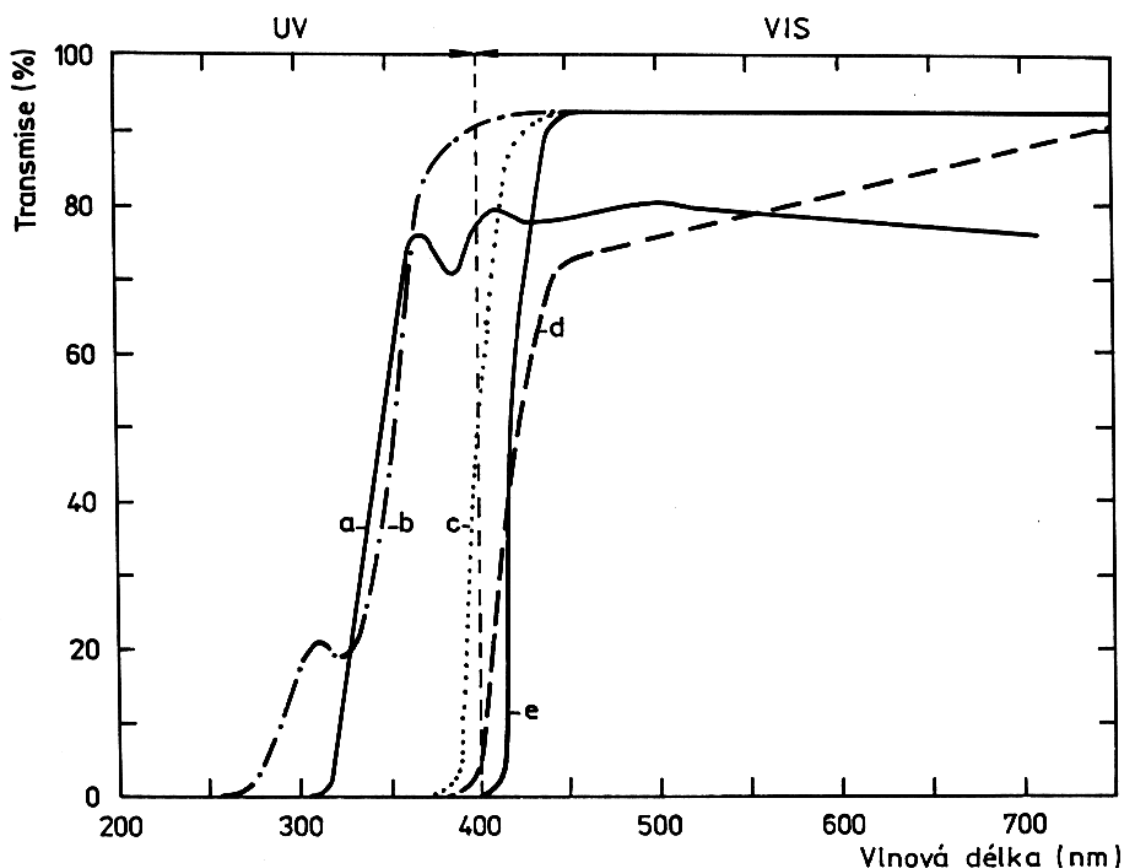
6.1.2.2.1 Typy filtrů

V řadě případů tato opatření nestačí a do místnosti vstupuje nadměrné množství UV záření. V takovém případě je nutno přistoupit k použití UV filtrů.

Poměrně jednoduchým řešením je použití *UV filtrů na oknech*. Současný stav technického rozvoje nabízí několik možností^{13,14}:

- tradiční silikátové tabulové okenní sklo,
- vrstvené sklo,
- desky plastů,
- filmy plastů,
- nátěry plastů.

Tradiční silikátové okenní sklo má výhodu v tom, že je běžně dostupné a relativně levné. Jeho zásadní nevýhodou je, že propouští většinu UV záření o vlnové délce 320 až 400 nm. Kratší vlnové délky pohlcuje – obr. 6.2¹⁵. Speciální povrchové úpravy silikátového skla zaručují jeho nepropustnost pro UV, příp. IČ záření – viz dichroické filtry v kapitole 2.3. Tyto filtry pro svou vysokou cenu nejsou vhodné pro zasklení oken¹⁶.



Obr. 6.2 Závislost transmise světla a UV záření pro různé typy 3 mm tlustých zasklivačích materiálů na vlnové délce¹⁵. a – silikátové dvojí prosklení, b – Perspex Standard (bez UV absorbéru), c – Perspex VA Clear, d – Perspex VE Opal, e – Perspex VE Clear (nažloutlý).

Vrstvené sklo představuje sendvič, který vzniká spojením tabulí silikátového skla fólií polyvinylbutyralu. Fólie obsahuje UV absorbér schopný účinně bránit prostupu UV záření (až 99 %). Je výhodné, že tabule skla chrání UV absorbér polymerní mezivrstvy před oxidací vzdušným kyslíkem a prodlužují tak jeho životnost. Obdobné materiály jsou používány k zasklení skel automobilů. Jejich výhodou je, že jsou obtížně porušitelné a v případě, že jsou použity k zasklení oken, příp. výstavních vitrín, omezují možnost zcizení exponátů. Jejich nevýhodou je poměrně vysoká cena. Účinnost filtrace UV záření je závislá na typu výrobku.

Desky plastů – v současné době jsou především používány tvrdé desky polymethylmethakrylátu (PMMA) a polykarbonátu (PC), obsahující rozptýlený UV absorbér. Jako příklad jsou na obr. 6.2¹⁵ uvedeny transmisní charakteristiky různých typů PERSPEXu (polymethylmethakrylátu). Zatím co běžný PERSPEX Standard neobsahující UV absorbér propouští UV záření v rozsahu 250–400 nm, PERSPEX VE Clear obsahující UV absorbér absorbuje 99,9 % tohoto záření. Z obr. 6.2 je rovněž patrné, že výrazné UV absorpční vlastnosti tohoto materiálu mají za následek i mírnou absorpci v fialovo/modré oblasti viditelného světla. Z toho důvodu PERSPEX VE Clear vykazuje lehké žluté zbarvení, které se projevuje především na hranách desek. Proto se nedoporučuje pro přímé zasklívání objektů, kde barva, případně podání barev, hraje rozhodující roli. Doporučuje se pro zasklení vnitřních skel oken, dveří, střešních oken a výstavních skříní, kde lehké žluté zabarvení je nevýznamné. Jejich použití se naopak doporučuje tam, kde je žádoucí, aby tyto filtry zachytily světelné záření o vlnových délkách 405 nm, případně 435 nm, které vyzařují světelné zdroje pracující s výbojem rtuti (zářivky, vysokotlaké výbojky)³ – viz závěr kapitoly 2.2. V případě, že je nutno chránit objekty, které vyžadují přesné podání barev, je vhodné použít PERSPEX VA Clear. Tento materiál je možno upotřebit při zasklení vitrín, obrazových rámců, všude tam, kde i slabý žlutý nádech by byl nepřijatelný. Zatím co dříve uvedené typy jsou vyráběny jako čiré, s propustností pro viditelné světlo vyšší než běžné sklo, PERSPEX VE Opal má propustnost pro viditelné světlo pouze 63 %. Jak je patrné z obr. 6.2, UV absorpční vlastnosti tohoto materiálu jsou obdobné jako u PERSPEXu VE Clear. Snížená transmise viditelného světla činí tento materiál vhodný pro vnitřní zasklení zdvojených střešních oken. Mimo to se uplatňuje při výrobě difuzérů zářivek, jak pro všeobecné osvětlení, tak pro místní osvětlení výstavních skříní.

Jako desek pro filtraci UV záření jsou používány ve stále stoupající míře desky z polykarbonátu – např. LEXAN XL. Výhodou desek připravených z tohoto polymeru ve srovnání s deskami PMMA je jejich vyšší teplota měknutí (PC 150 °C a PMMA 90–105 °C). Mimo to odolnost vůči nárazu PC je cca 25x větší než PMMA.

Všeobecně výhodou UV absorbujících desek je, že jsou relativně laciné a že mají dlouhou životnost – předpokládá se až 15 let. Nevýhodou ve srovnání se sklem je, že běžné typy mají nízkou odolnost proti poškrábání. Poškrábání ale neovlivňuje schopnost filtrovat UV záření. V poslední době se na trhu objevují desky s povrchovou vrstvou, která má vyšší odolnost k poškrábání. Další nevýhodou je, že nemohou být vzhledem k vyvíjenému teplu použity v těsné blízkosti žárovek. Konečně vážným nedostatkem

těchto materiálů je, že snadno hoří. Mimo podpory požáru je nepříjemné i to, že vzniklá stékající tavenina může vážně poškodit vystavené objekty, a to většinou nevratně. Z tohoto hlediska polymerní desky poskytují horší ochranu než vrstvené sklo. Proto v některých zemích je ochrana polymerními deskami zakázána.

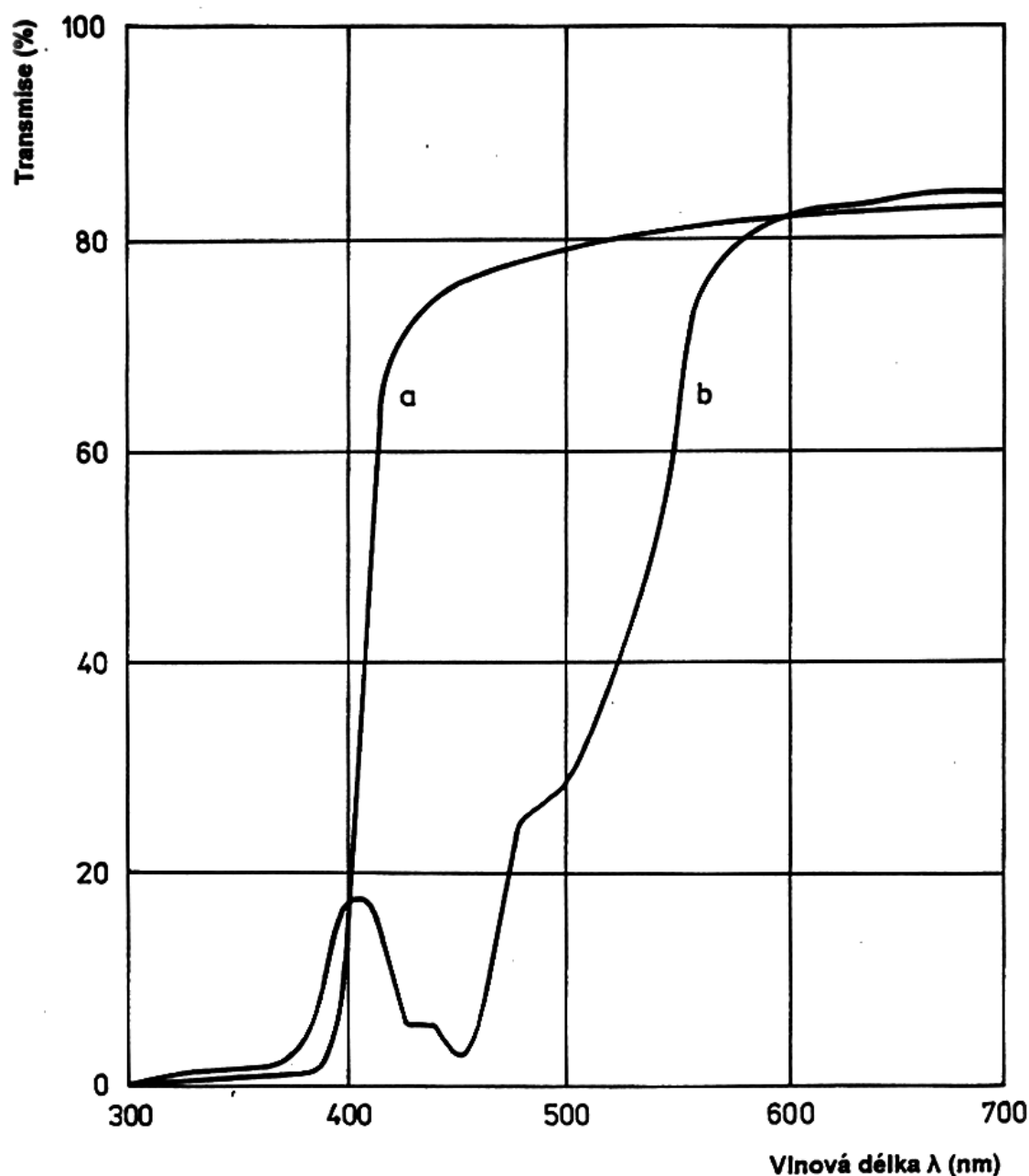
Filmy plastů jsou určeny především pro použití na vnitřním povrchu okenního skla. V současné době je vyráběna široká paleta těchto filmů na bázi biaxiálně orientovaných filmů polyethyltereftalátu (PET)^{16–22}. Filmy jsou vyráběny zejména jako *bezpečnostní* filmy, tedy filmy, které mají chránit okna před jejich roztříštěním různými prostředky, včetně výbuchu bomb, a případně některé typy před nežádoucím proniknutím do objektu. Vzhledem k tomu, že není vždy jisté, že tyto „bezpečnostní filmy“ mají i dostatečnou ochranu proti UV záření, je nezbytné otázku schopnosti filmu chránit proti UV záření předem projednat s výrobcem filmu nebo s dodavatelem. Je třeba si uvědomit, že transparentní bezbarvé filmy vhodné pro ochranu proti UV záření tvoří jen malý podíl vyráběných filmů, a proto jejich výroba není vždy pro výrobce výhodná.

Z hlediska ochrany proti světlu jsou vyráběny především *reflexní filmy*, většinou vícevrstvé. V tomto případě je na film PETu ve vakuu nanесena tenká vrstva vhodného kovu (stříbro, zlato, bronz, nikl/chrom nerezavějící ocel), která dodává filmu kovový lesk (zrcadlový efekt). Kovová vrstva je chráněna povrchovým filmem PET. Barvu kovového lesku je možno ovlivnit jednak použitým kovem, nebo do některé vrstvy přidáním barvivem. Tyto filmy mají, jak výrazně nižší prostup viditelného světla (18–47 %), tak UV záření (1 %). Významně odrážejí IČ záření, a mají proto termoizolační účinek. Jak již bylo řečeno, tyto filmy nejsou vhodné pro použití na ochranu oken historických budov. Jsou jednostranně průhledné. Filmy tohoto typu rovněž snižují nebezpečí zranění osob rozbitým sklem a znesnadňují, zvláště když jsou použity vícevrstvé typy, i pokusy o vloupání do objektu.

Dalším typem jsou *barevné filmy*. V tomto případě je minimálně jedna PET vrstva zbarvena vhodnými druhy a odstíny barviv. Tyto filmy jsou používány především pro snížení průchodu viditelného světla. Propustnost světla se pohybuje od 15–78 %. Stejně jako v předchozím případě tyto filmy nejsou vhodné pro použití na ochranu oken historických budov.

Konečně jsou vyráběny čiré PET okenní *filmy*, které jsou *schopné absorbovat UV záření* a které jsou tedy vhodné jak k ochraně okenních skel, tak k ochraně skel

výstavních vitrín. Tyto filmy, většinou vícevrstvé, obsahují UV absorbér. Transmisní charakteristika vyhovujícího filtru je uvedena obr. 6.3 – křivka a²³.



Obr. 6.3 Závislost transmise světla a UV záření na vlnové délce pro polyethyltereftalátové UV absorpční filmy²³. a – bezbarvý film, b – film se silným žlutým zabarvením.

V případě, že jsou filmy dobře aplikovány, jsou prakticky neviditelné. Kvalita aplikace ovlivňuje životnost filmu – viz dále. Účinnost filmu je potlačena spíše poškrábáním filmu než vyčerpáním UV absorbéru.

Typický film tohoto typu vyráběný firmou Courtoalds Performance Films UV CL SR HPR propouští 85 % viditelného světla a méně než 0,5 % UV záření¹⁹. Filmy jsou chráněny tvrdým povlakem proti poškrábání. Jiný osvědčený film CL-400-X vyrobený firmou Madico® L. T. D. je schopen trvale snášet letní teploty 38–41 °C a zimní kolem 0 °C při poměrně vysoké sluneční osvětlenosti – po většinu roku 2 500–2 700 luxů. Film je jednovrstvý, transmise viditelného světla má 85 %, transmise UV záření 0–4 %, tloušťka filmu je 0,1 mm²¹.

Další, již velmi důmyslný typ filmu určený pro ochranu kulturních památek, dala na trh firma 3M pod názvem GlassSafe²². GlassSafe představuje čirý nebo barevný film tvořený z 58 vrstev. 52 vrstvy jsou laminovány navzájem kolmo a 6 vrstev plní speciální funkci jako UV a IČ absorpci. Čirý film zaručuje 92 % a barevný film 98 % absorpce UV záření. Barevný film tím, že absorbuje 56 % IČ záření, je vhodný pro stabilizaci vnitřního klimatu a takto přidaná tepelná izolace může uspořit až 35 % nákladů na energii. Transmise pro viditelné světlo je 94 %. Celková tloušťka filmu je 0,2 mm. Film má dobrou acido/bazickou odolnost a je kryt vrstvou chránící proti poškrábání. Jednou z jeho největších výhod je jeho pevnost a tedy i významná ochranná schopnost proti roztržení skla a ochrana proti vloupání.

K lepení filmů na sklo jsou v podstatě používány dva adhezivní systémy. Jsou to adheziva citlivá na tlak, která poskytují relativně měkký a lepidlý spoj a především akrylátová adheziva aktivovaná vodou, která poskytují tvrdý a nelepivý spoj. V některých případech, především pak v případech menších výrobců, je z technologických důvodů UV absorbér přidáván do lepidla a není obsažen v PET filmu. Toto uspořádání je méně vhodné vzhledem k tomu, že ochranná účinnost adhezivního filmu proti UV záření v tomto případě kolísá s jeho tloušťkou a rovnoměrností nánosu. Rovněž odolnost této adhezivní vrstvy ke stárnutí vlivem UV záření je nižší než životnost PET filmu s UV absorbérem.

Filmy filtrující UV záření jsou většinou aplikovány na již existující okenní skla. Nedoporučuje se použití UV filtrů na vnitřní straně dvojitých termálních zasklení. Filtrem zachycená světelná energie ohřívá vzduch mezi tabulemi a jeho nadměrné roztažení může vést k jejich prasknutí. Obdobné nebezpečí, vyplývající z přílišného ohřátí a roztažení skla, hrozí i u jednoduchých tabulí skla zasazených do okenního rámu za použití příliš tvrdého tmelu.

UV absorbující filmy jsou používány již řadu let a zdá se, že mohou úspěšně plnit svou funkci po 10 a více let. Jejich životnost je závislá na druhu materiálu

a na podmínkách, za jakých je film použit. Většina problémů s nedávno instalovanými filmy souvisí s jejich nedokonalou aplikací, která vede ke vzniku „bublin“ a jiným formám selhání způsobeným nedokonalou adhezí¹¹. Významnou roli může hrát i nadměrná vlhkost zachycená při aplikaci mezi sklo a film. Stejně mohou adhezní problémy vzniknout v případě, že při nepřesné aplikaci mezi okenním rámem a filmem je ponechána na okenní tabuli nechráněná mezera. Na skle kondenzující voda může proniknout pod film a vyvolat později jeho odchlípnutí.

Při použití zmíněných filmů je nutno počítat s tím, že po dlouhodobém použití může nastat poškození historického skla, a to v případě, kdy bude nutno filmy v budoucnu pro ztrátu účinnosti nebo častěji pro poškrábání odstranit²⁴. Míra poškození bude záležet na typu skla, jeho původní kvalitě a na typu a kvalitě použitého lepidla. Stejně mohou být poškozeny i okenní rámy.

V případě filtrů omezujících průnik viditelného světla či IČ záření je riziko pro historická skla vyšší. Je to z toho důvodu, že tyto filmy díky své významné absorpci slunečního záření vyvolávají vyšší roztahení a následné smrštění skla. Tím může být vyvoláno praskání některých historických skel, zvláště v případě, že jsou extrémně tvrdá, případně mají-li na povrchu drobné praskliny, vrypy či jiné nepravidelnosti. Moderní skla takové nepravidelnosti většinou nemají a ochranným filmům dobře odolávají¹¹. I když v další práci²⁵ byl vysloven názor, že UV filtry a ani jejich adheziva nemají vliv na moderní a historická skla, není možno brát tento závěr za prokázaný. Umělé stárnutí vzorků skla s nalepeným UV filtrem bylo prováděno pouze UV zářením. Je ale známo, že UV záření nepoškozuje sklo, lhostejno zda historické, či moderní. Pro poškození povrchu skla je rozhodující hydrolytická aktivita vodného roztoku na jeho povrchu. Ve zmíněných pokusech nebylo uvažováno pH na mezifázovém rozhraní či jeho změna vlivem UV stabilizátoru při stárnutí. Některé UV absorbéry mohou být alkalické a mohou tedy vyvolat hydrolýzu skla. Nebyla stanovena ani relativní vlhkost vzduchu při umělém stárnutí, tedy veličina rozhodující pro eventuální hydrolýzu povrchu vlivem vody.

V zájmu zamezení zmíněných škod je nezbytné, aby práce spojené jak s aplikací, tak s odstraněním filmu prováděla firma s prokázanými zkušenostmi v tomto oboru. Před uzavřením smlouvy o dodávce filmu je vhodné vyžádat si větší vzorky filmu, ty aplikovat na okna a posoudit jejich estetickou přijatelnost. V případě, že je dosaženo vyhovujících výsledků, je rozumné se snažit získat informace o výrobci filmů. Je účelné nakupovat filmy od výrobců, jejichž filmy se již osvědčily. Nejjistější cestou jak

zabránit potížím s praskáním skla a s nedostatkem adheze, je nalézt dodavatelskou firmu, která se již dostatečně dlouho zabývá touto problematikou a je tedy schopna překonat případné potíže zkušenostmi, které získala v předchozí práci. Smlouva by měla zahrnovat povinnost opravit škody, které vzniknou v prvních dvou letech, vyvolané především selháním adheze, prasknutím skla okna a snížením filtrační kapacity. Je rozumné aplikovat film i na několik náhradních tabulek skla. Mohou být později využity k výměně tabulek rozbitých jinými příčinami.

Filmy absorbující UV záření mohou vzniknout i odpařením roztoků plastů nanesených na povrch skla. Tyto *nátěry plastů*, schopné absorbovat UV záření, jsou připravovány smísením roztoku vhodného plastu (většinou PMMA, akrylátových kopolymerů, řidčeji triacetátu celulózy) s UV absorbérem. Vzhledem k tomu, že se jedná o zdánlivě snadno připravitelné produkty, zabývají se jejich výrobou i firmy, které často nejsou schopné zajistit optimální a standardní kvalitu. Ochranná účinnost může významně kolísat. Slabým místem těchto nátěrů, pokud nejsou nanесeny v továrně, je především jejich nerovnoměrné nanесení na plochu skla a tedy i jejich nepravidelná transparence a ochranná účinnost. Nevýhodou je i snadná zranitelnost nátěrů poškrábáním. Filmy vzniklé odpařením nátěrů většinou rychle stárnou, praskají a odlupují se. V současné době se málo používají a dává se přednost PET filmům.

6.1.2.2.2 Stárnutí UV filtrů

Podstatu filmů schopných absorbovat UV záření většinou tvoří, jak již bylo řečeno, polyethyltereftalát a podstatu desek polymethylmethakrylát či polykarbonát. Filmy jsou opatřeny na jedné straně akrylátovým lepidlem. Jak film, tak lepidlo obsahují UV absorbér. Složení UV absorbéru a jeho koncentrace nejsou výrobci uváděny a jsou známy pouze obecné zásady použití.

Denní světlo a některé zdroje umělého světla mohou mít negativní vliv na zmíněné polymery. Především UV záření může porušit chemické vazby v řetězci polymeru.

Tento fotodegradační proces může vyvolat povrchové praskání, změnu barvy (většinou žloutnutí) a ztrátu mechanických vlastností jako je pevnost v tahu, tažnost, houževnatost atp. Fotodegradační proces je dále podpořen působením kyslíku (fotooxidace), vody, ozonu a dalších plynů (NO_x)^{26–30}.

Jak již bylo řečeno, k přípravě ochranných prostředků proti světlu a UV záření se používají především následující polymery: polymethylmethakrylát, polykarbonát

a polyethylentereftalát. Zatím co PMMA má vynikající odolnost proti světlu a UV záření a většinou jej není nutné proti světlu a UV záření chránit zvláštními přísadami, PC a PET bez UV absorbérů mají nízkou odolnost vůči zmíněným vlivům. Je to dáno tím, že PET má výrazné absorpční maximum v oblasti 290–325 nm a obdobně PC vykazuje absorpční maxima v oblasti 280–305 nm a 330–360 nm. Důkaz o nízké odolnosti nestabilizovaného PET proti světlu a UV záření demonstrují např. výsledky stanovení pevnosti v tahu PET vláken v prostředí Floridy. Po ročním působení světla klesla pevnost zcela nechráněných vzorků v tahu o 85 % a v případě, kdy vzorky byly zakryty sklem, o 25 %²⁷. Významného zlepšení bylo dosaženo použitím UV absorbérů.

K ochraně polymerů před UV zářením slouží UV stabilizátory^{26–29}. Pro stabilizaci uvedených polymerů můžeme významné stabilizátory všeobecně rozdělit do dvou kategorií: absorbéry UV záření (UVA) a UV stabilizátory na bázi stericky stíněných aminů, známé jako HALS.

UVA zpomalují degradační proces tím, že přednostně absorbují škodlivé UV záření a přeměňují jej v dlouhovlnné záření, většinou v IČ záření. Má-li být proces UV absorpce účinný, musí být použita vysoká koncentrace absorbéru a dostatečná tloušťka polymeru. Pouze tehdy může být UV absorpce efektivní tak, aby chránila nejen polymer, ale, a to je v našem případě rozhodující, aby bránila i prostupu UV záření polymerní fólií, deskou atp.

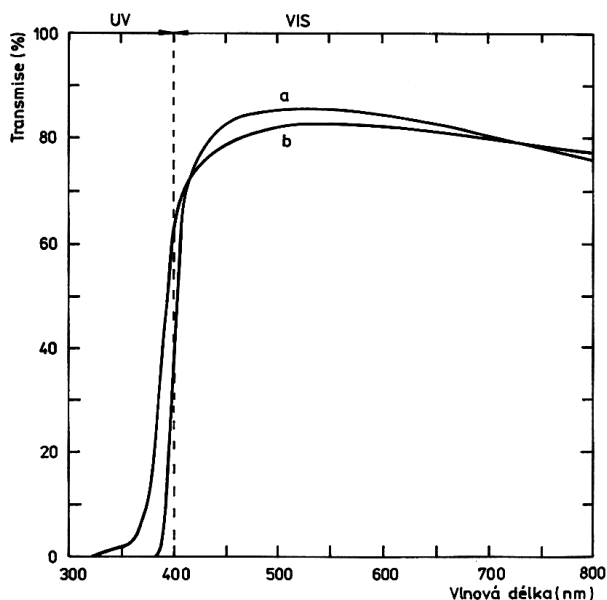
Světelné stabilizátory typu HALS neabsorbují UV záření, ale působí jako inhibitory degradační reakce polymerů. Rozkládají hydroperoxydy, vážou volné radikály a zhasí excitované stavy. Významnou úroveň stabilizace je možno dosáhnout relativně nízkými koncentracemi HALS. Tyto stabilizátory mají vysokou účinnost a dlouhou životnost díky cyklickému procesu, v kterém HALS jsou během stabilizačního procesu regenerovány. Uvedené UVA a HALS se používají ve směsi. Při vhodné kombinaci mají synergický efekt, čímž je celkově podpořena světelná stabilita chráněných polymerů.

Z uvedeného vyplývá, že UV stabilizace polymerů je velmi složitý proces a výsledná odolnost filmů či desek je závislá nejen na kvalitě použitých UV stabilizátorů, na jejich koncentraci, ale i na kvalitě použitého polymeru, na obsahu nečistot (např. iontů přechodných kovů). Je proto prakticky nemožné bez podrobné znalosti celého polymerního systému předpovědět účinnost UV absorbéru a především jeho životnost.

V současné době se používají v principu 3 základní druhy fenolických UVA: hydroxybenzfenony, hydroxybenztriazoly a hydroxyfenyltriaziny. Oxidační produkty hydroxybenzfenonů mohou být zdrojem žloutnutí, a proto není možné je používat při vyšší koncentraci než 3 %^{29,30}. Nové typy UVA na bázi hydroxyfenyltriazinů jsou odolné proti žloutnutí. Vzhledem k tomu, že UVA na bázi hydroxybenztriazolu jsou levnější, je pravděpodobné, že výrobci ochranných PET filmů budou používat spíše tyto UVA i za cenu pozdějších horších vlastností.

Navíc je známo, že některé fenolické antioxidanty, příp. aromatické aminy, jsou fotolabilní a mohou dokonce působit i fotoiniciačně. Mohou žloutnout. Stejně je známo, že v průběhu zpracování polymerů a jejich praktické aplikace dochází k pozvolné ztrátě účinnosti světelných stabilizátorů v důsledku termických, chemických a fotochemických vlivů na změnu jejich účinných struktur²⁹.

Skutečnost, jak UV absorpční chování bezpečnostních filmů může být významně ovlivněno urychleným umělým stárnutím UV zářením, potvrzuje *obr.6.4*³¹. Na *obr. 6.4*, křivka *b* představuje případ, kdy původní vyhovující vlastnosti bezpečnostního filmu z hlediska UV absorpce (křivka *a*) se po stárnutí změnil na nevyhovující. Film propouští významný podíl UV záření o kratší vlnové délce než filtr před stárnutím a naopak v oblasti vlnových délek viditelného světla vykazuje větší absorpci. Ta je příčinou žloutnutí a tmavnutí filmu.



Obr. 6.4 Transmisní křivky uměle stárnutého bezpečnostního filmu RICHNER 2 284 vlivem UV záření³¹. Přístroj: ATLAS 25 F, xenonová výbojka 2 500 W, doba stárnutí 1 800 hodin. Křivka *a* – před stárnutím, křivka *b* – po stárnutí.

Z uvedeného plyne, že v případě nákupu UV filtrů je nezbytné, mimo již v *předchozí kapitole* zmíněné aplikační otázky, sledovat velmi bedlivě i typ a vlastnosti nakupovaného UV filtru. Je to zvláště významné u filmů, které jsou vyráběny pro různé účely a svým vzhledem se na první pohled neliší. Je nezbytné získat jednak reference o firmě, která filmy vyrábí, a dále pokud možno reference od muzeí a archivů, kde byly filmy již použity. Je nezbytné *před podepsáním objednávky* zhodnotit nejen vlastnosti čerstvého filmu, ale i vlastnosti stárnutého filmu. Z toho důvodu je nezbytné požadovat, aby výrobce či tuzemský dodavatel předložili experimenty podložené věrohodné doklady o vlastnostech filmu, případně lepidla po stárnutí, včetně popsání metody urychleného umělého stárnutí. Z dokladovaných vlastností je třeba požadovat hodnoty charakterizující nejen změnu UV transmise, ale i změnu mechanických vlastností (pevnost v tahu, tažnost, adheze ke sklu, vznik povrchových prasklin atp.) vyvolanou stárnutím.

Je nezbytné, aby vlastnosti nového filmu, především optické, byly proměřeny na kvalifikovaném tuzemském pracovišti vybaveném UV/VIS spektrometrem. I když tyto vlastnosti neposkytnou údaje o budoucím stárnutí filmu, přesto jsou základní informací o předpokládané vhodnosti filmu pro ochranu archivních materiálů a jsou dobrým východiskem pro další jednání s dodavatelem.

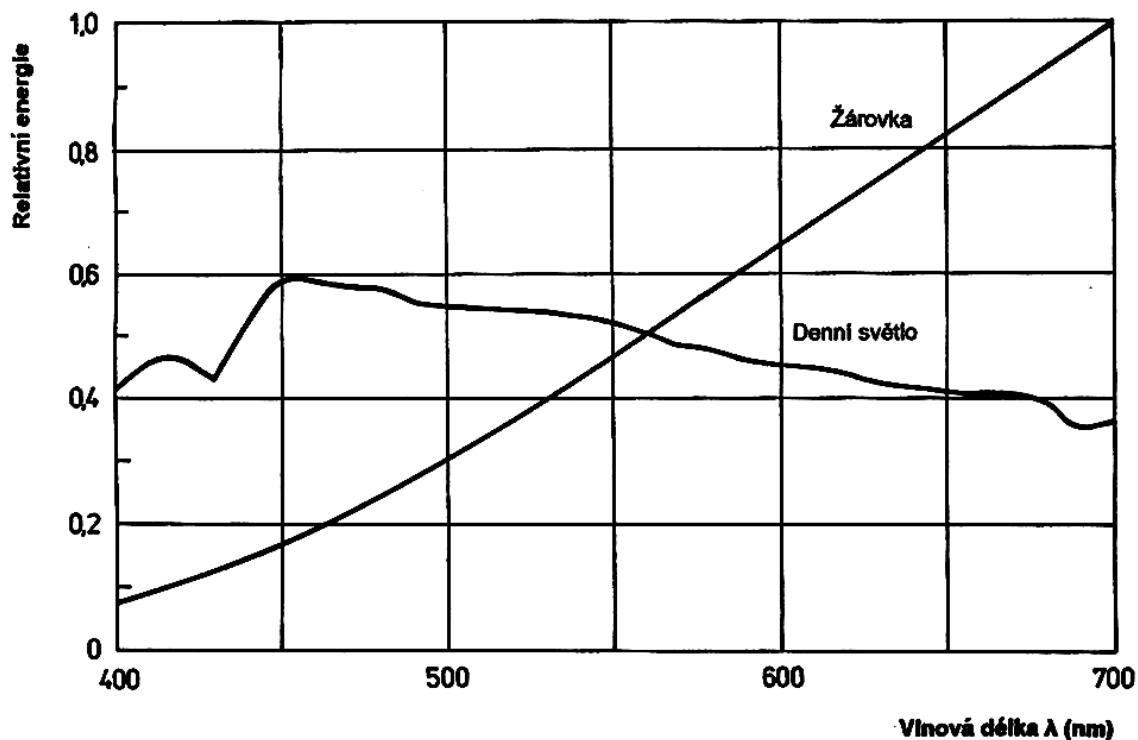
6.2 REGULACE SVĚTLA A UV ZÁŘENÍ

6.2.1 Zdroje umělého světla

Před tím, než budou diskutovány způsoby ochrany archivních objektů před vlivem umělého osvětlení, je nezbytné se alespoň stručně zmínit o zdrojích světla, které jsou používány k umělému osvětlení^{1, 4, 8, 32, 33}.

Žárovky produkují světlo tím, že elektrický proud prochází wolframovým vláknem a zahřívá je na cca 2700°C. Rozžhavené vlákno žárovky vysílá světlo. Žárovky přeměňují pouze malý podíl elektrické energie na světlo; mají nízký měrný světelný výkon – viz *tab. 6.1*. Zbytek energie je přeměněn na teplo. Nevýhodou je, že světelný tok obyčejných žárovek se během doby snižuje, což je dáno tím, že wolfram se z vlákna odpařuje a usazuje se jako tmavý povlak na vnitřní stěně baňky. Spektrum světelného záření je spojitě – *obr. 6.5*. Žárovky produkují malý podíl UV záření (cca 75 µW/lm) a tento podíl je dosud považován za přijatelné množství záření, které

významně nepoškozuje kulturní objekty. Při osvětlení žárovkou se proto nepožaduje filtrace světla. Pro účely výstavnictví byla vyvinuta celá řada osvětlovadel s žárovkami, především reflektorů. Výhodná je nízká cena žárovek a osvětlovadel. Pro svůj vysoký podíl IČ záření, nejsou žárovky vhodné pro vnitřní osvětlení vitrín. Výhodné je, že intenzitu osvětlení je možno snadno snižovat stmíváním.



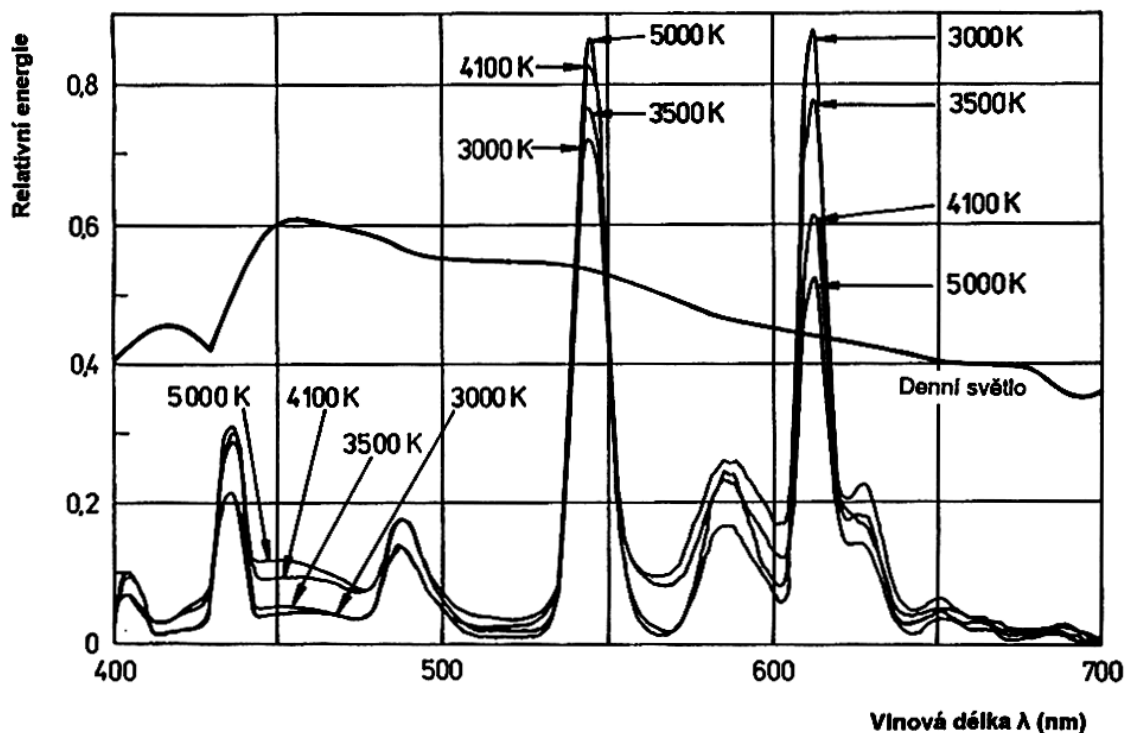
Obr. 6.5 Křivky spektrálního rozložení energie žárovky ($T_c = 2\,856\text{ K}$) a průměrného denního světla¹.

Halogenové žárovky byly vyvinuty z tradiční žárovky. Vnesením halogenu (např. bromu) do plnicího plynu v baňce z křemenného skla se významně prodlouží životnost wolframového vlákna. V halogenovém cyklickém procesu se váží halogeny s odpařeným wolframem. Když přijde vzniklá plynná sloučenina do kontaktu s rozžhaveným vláknem, rozkládá se a wolfram se znovu usazuje na vlákno. Uvolněné halogeny jsou opětovně využity v cyklickém procesu. Tento proces umožňuje zvýšení pracovní teploty zdroje a zároveň i zvýšení teploty chromatičnosti. Současně se zvyšuje světelný tok žárovky asi o 30 % a dosahuje se dvojnásobná životnost. Křemenné sklo je nutno použít na výrobu baňky vzhledem k vyšší pracovní teplotě žárovky. Toto sklo propouští UV záření, a proto světlo halogenových zářivek obsahuje vyšší podíl UV záření a je nutno je filtrovat. V poslední době se objevily na trhu zlepšené halogenové žárovky, u nichž křemenné sklo bylo modifikováno tak, že pohlcuje větší podíl UV

záření – především UV-B a UV-C³³. Halogenové žárovky mohou pracovat při nízkém napětí (např. 12 V), což umožňuje jejich miniaturizaci. Pro své malé rozměry jsou častou součástí různých reflektorů používaných ve výstavnictví. Halogenové žárovky je možno do určité míry stmívat. Při nadměrném stmívání se snižuje teplota wolframového vlákna a narušuje se regenerační halogenový cyklus. Za této situace se halogenová žárovka chová jako normální žárovka a vnitřní povrch baňky tmavne. Zhoršuje se i podání barev.

Osvětlení *zářivkami* se stalo vzhledem k jejich vysokým měrným světelným výkonům (až 100 lm/W) běžným osvětlením kanceláří, provozoven a prostor veřejných institucí. Zářivky z ekonomických důvodů představují přitažlivou možnost osvětlení a v řadě případů nahrazují žárovky. Z toho důvodu galerie a muzea věnovaly a věnují značnou pozornost jejich použití^{4, 6, 9, 32–34}. Zářivky mají ale i určité nevýhody v případě, že je jich použito pro osvětlení výstavních prostor, kde je důležitá přesná reprodukce barev. Některé z nich mají nevyhovující podání barev.

Zářivky představují nízkotlaké rtuťové výbojky, ve kterých vzniká světlo tím, že ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti k emisi neviditelného UV záření. Luminofor na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje UV záření na viditelné světlo. Zářivky mají čárové spektrum – *obr. 6.6*¹. Volbou luminoforu je možno ovlivnit náhradní teplotu chromatičnosti světla a podání barev světla. Moderní typy zářivek, které používají třípásmové nebo pětípásmové luminofoxy, mají vyhovující podání barev (R_a cca 95) a přijatelný měrný světelný výkon – cca 65 lm/W⁴. Přežívá dosud názor, že zářivky vyzařují nadměrné množství UV záření. Toto stanovisko není oprávněné u moderních typů zářivek. Intenzita UV záření těchto zářivek se pohybuje kolem požadované hladiny 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ ^{4, 32, 33}. Zářivky vyžadují pro svůj provoz předřadníky. Při použití moderních předřadníků je možno zářivky stmívat. Jejich výhodou je, že mají poměrně velkou životnost a vyzařují malé množství tepla. Jejich světlo se obtížně usměrňuje v paprsek. Jsou vyráběny malé zářivky o průměru trubice 8 mm, které jsou vhodné pro výstavní vitríny.



Obr. 6.6 Křivky spektrálního rozložení energie různých zářivek s třípásmovým luminoforem ($T_{\text{cn}} = 3\,000\text{ K}$, $3\,500\text{ K}$, $4\,100\text{ K}$ a $5\,000\text{ K}$) a průměrného denního světla¹.

V poslední době jsou stále častěji používány *kompaktní zářivky*, kdy tenká zářící trubice je ohnuta tak, že je dosaženo rozměrů běžných žárovek. Hlavní výhodou je opět vysoký měrný světelný výkon a dlouhá životnost. Kompaktní zářivky není možno stmívat.

V současnosti se ve výstavnictví stále více prosazují *výbojky*.

V případě *halogenidových* (metal halidových) *výbojek* je světelné spektrum, vzniklé obloukovým výbojem rtuťových par, zlepšeno přidáním jodidů kovů a jodidů vzácných zemin ke rtuti. Halogenidy se částečně vypaří, když výbojka dosáhne své normální pracovní teploty. Halogenidové páry se potom disociují v horkém oblouku ve výbojové trubici na halogen a kov. Vypařený kov vyzařuje spektrum, které vhodně upravuje celkové spektrum výbojky. Halogenidové výbojky mají vysoký měrný světelný výkon, nízké tepelné vyzařování a extrémně dlouhou životnost. Zatím co původní rtuťové výbojky měly nevyhovující podání barev, některé moderní halogenidové výbojky dosahují vynikajícího podání barev – až R_a cca 92. Díky svému krátkobloukovému výboji jsou výborným bodovým zdrojem, jehož světlo se dá velmi dobře směřovat. Nevýhodou halogenidových výbojek je vysoký podíl UV záření ve vyzařovaném světle – viz *tab. 6.1*. I když v poslední době se objevily na trhu

výbojky se sníženým podílem UV záření, přesto je nezbytné jejich světlo filtrovat. Halogenidové výbojky vyžadují ke svému provozu předřadníky. Vzhledem ke svému velkému příkonu (až 2000 W) a tedy i intenzitě osvětlení bývají součástí různých reflektorů pro vnější osvětlení stavebních památek. Určitou nevýhodou je, že po přerušení napájecího proudu je nutno nechat výbojku cca 10 minut vychladnout, než je ji možno znovu rozsvítit.

Další typy výbojek, tj. *nízkotlaké a vysokotlaké sodíkové výbojky*, jsou stále více používány k osvětlení depozitářů, chodeb, pomocných prostor atp. Jsou používány především k nouzovému osvětlení. Mimo to se uplatňují k venkovnímu osvětlení, např. historických budov. Jejich výhodou je vysoký měrný světelný výkon.

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou založeny na obdobném principu jako zářivky. Zatím co v případě zářivek vzniká viditelné světlo přeměnou UV záření vytvořeného výbojem rtuti na luminoforu, v případě nízkotlaké sodíkové výbojky viditelné záření je vytvářeno přímo sodíkovým výbojem. Tyto výbojky vyzařují v podstatě monochromatické žluté světlo v čarách 589 nm a 589,6 nm. Mají mimořádně velkou světelnou účinnost a životnost – viz *tab. 6.1*. Nevýhodou je, že mají velmi nízké rozlišení barvy. Používají se k nouzovému osvětlení.

Fyzikální princip *vysokotlakých sodíkových výbojek* je zcela odlišný od nízkotlakých sodíkových výbojek. Výbojová trubice vysokotlakých sodíkových výbojek obsahuje přebytek sodíku a rtuti. Náhradní teplota chromatičnosti a index podání barev se zvyšují se stoupajícím tlakem par sodíku. Výbojka, zvaná „bílý sodík“, pracuje při tlaku sodíkových par 95 kPa, vyzařuje energii v rozsáhlé části viditelného spektra a má přijatelné podání barev – R_a cca 85¹⁰. Užívá se k intenzivnímu osvětlení výstavních místností. Obecně jsou vysokotlaké sodíkové výbojky používány k osvětlování velkých prostor a k osvětlení komunikací.

Pro pracovníky archivů, především konzervátory a restaurátory, je velmi důležité znát alespoň orientačně základní vlastnosti různých zdrojů světla. Jsou uvedeny v *tab. 6.1*.

Tab. 6.1 Typické vlastnosti některých světelných zdrojů^{1,2,4,8,32–34}.

Zdroj světla	Teplota chromatičnosti (K)	Index podání barev R_a	Podíl UV záření ($\mu\text{W/lm}$)	Měrný světelný výkon (lm/W)
Normální žárovky	2 800	100	60–80	8–21
Halogenové žárovky	2 800–3 200	100	49–130	15–28
Zářivky			40–130	30–90
Teple bílá	2 700–3 300	85–95	80	63–96
Neutrálně bílá	3 300–5 000	57–95	85	76
Chladné denní světlo	5 000–6 500	72–97	110	65–90
Výbojky				
Vysokotlaká rtuťová výbojka s luminoforem	4 000	45	50–100	36–54
Halogenidová výbojky	4 300–4 900	65–69	150–600	58–115
Nízkotlaká sodíková výbojka SOX	1 700	44	0	123–200
Vysokotlaká sodíková výbojka SON	1 950–2 150	20 65	30–70	67–138
Vysokotlaká sodíková výbojka SON „bílý sodík“	2 500	85		46
Jasně modré nebe	15 000	100	1 600	
Částečně zatažené nebe	8 000	100	800	
Zatažené nebe	6 000	100	540	
Přímé slunce	4 100–5 600	100	400	

6.2.2 OCHRANA PROTI SVĚTLU ZÁŘIVEK

Z předchozí kapitoly je zjevné, že ochraně historických objektů proti dennímu světlu byla v minulosti věnována značná pozornost. Podařilo se vyřešit většinu problémů s tím souvisejících, a to i v případě, že bylo používáno umělé osvětlení žárovkami. Problémy nastaly tam, kde k osvětlení byly použity modernější a výkonnější zdroje světla, a to především zářivky a halogenové žárovky. V padesátých letech se totiž ukázalo, že denní světlo ošetřené dříve uvedenými ochrannými opatřeními má nižší obsah UV záření, než má světlo vyzařované zářivkami a především halogenovými žárovkami. Z toho důvodu byla k ochraně historických materiálů vyvinuty filtrační metody, které významně snižují nejen obsah UV záření, ale i IČ záření. Většina těchto metod již byla popsána v předchozí kapitole a dále budou diskutovány pouze některé zvláštnosti související se zmíněnými zdroji světla.

K instalaci ochranných opatření v případě zářivek je vhodné přistupovat až tehdy, když je to skutečně nezbytné, a to na základě pečlivého proměření UV záření, které zářivky skutečně emitují. Může se stát, že instalace ochrany proti UV záření není nutná. Zářivky, vzhledem k tomu, že při svícení nevyvíjejí významné množství tepla, mohou být zakryty různými kryty z plastů. Polymery (většinou PMMA, jeho kopolymery a PC), z nichž jsou tyto kryty vyrobeny, jsou primárně stabilizovány UV absorbéry a dalšími přísadami tak, aby se zlepšila jejich odolnost vůči UV záření, především z hlediska změny jejich mechanických vlastností. Tato stabilizace přirozeně potlačuje i průnik UV záření těmito kryty do té míry, že instalace ochranných trubíc je mnohdy zbytečná.

V případě, že měřením bylo zjištěno, že tyto kryty nedostačují k odstranění UV záření, nebo když je požadován nižší podíl UV záření než $75 \mu\text{W}/\text{lm}$, k filtraci UV záření jsou běžně používány již dříve popsané *filmy*. Nejvhodněji je možno je aplikovat na vnitřní stranu skel výstavních skříní. Filmy v tomto případě chrání objekty nejen proti UV záření, ale i proti rozbití skla a do určité míry i proti násilnému vniknutí. Stejně je možné k tomuto účelu použít *vrstvená skla*.

Obdobně je možno chránit kulturní objekty před UV zářením, které produkují zářivky, *polymerními deskami*, které obsahují UV absorbér. I v tomto případě jsou desky používány většinou k zasklení výstavních vitrín. Výhody a nevýhody spojené s použitím těchto desek byly objasněny v *předchozí kapitole*.

Specifickou metodou odstranění UV záření v případě zářivek je překrytí zářivek *návleky*. Návleky představují elastický, tenký polymerní film, běžně PETu nebo triacetátu celulózy, v kterém je rozptýlen UV absorbér. Jsou vyráběny v různých velikostech a jsou nataženy na zářivku. Musí být jimi zakryta celá zářivka, včetně krajů. Jinak z nezakrytých konců zářivek může unikat UV záření. V poslední době jsou vyráběny zářivky, na které jsou navlečeny ochranné filmy již ve výrobním závodě. Filmy se po zahřátí smrští a dokonale přilnou k povrchu zářivky. Teplo, které vzniká mezi zářivkou a filmem, snižuje životnost zářivky až o 50 %. Filmy chrání zářivku i před rozbitím, případně návštěvníky před zraněním střepy³³.

Obdobně je možno použít k odstranění UV záření ze světla zářivek *trubice* zhotovené z tvrdého polymeru (z PMMA nebo z PC), který opět obsahuje UV absorbér. Trubice jsou několikrát dražší než návleky a dá se u nich předpokládat životnost cca 10 let. Jsou většinou připravovány vytlačováním, což je příčinou jejich nedostatků a pozdějšího selhání. Zamrzlá orientace³⁵, která vzniká v trubicích při vytlačování,

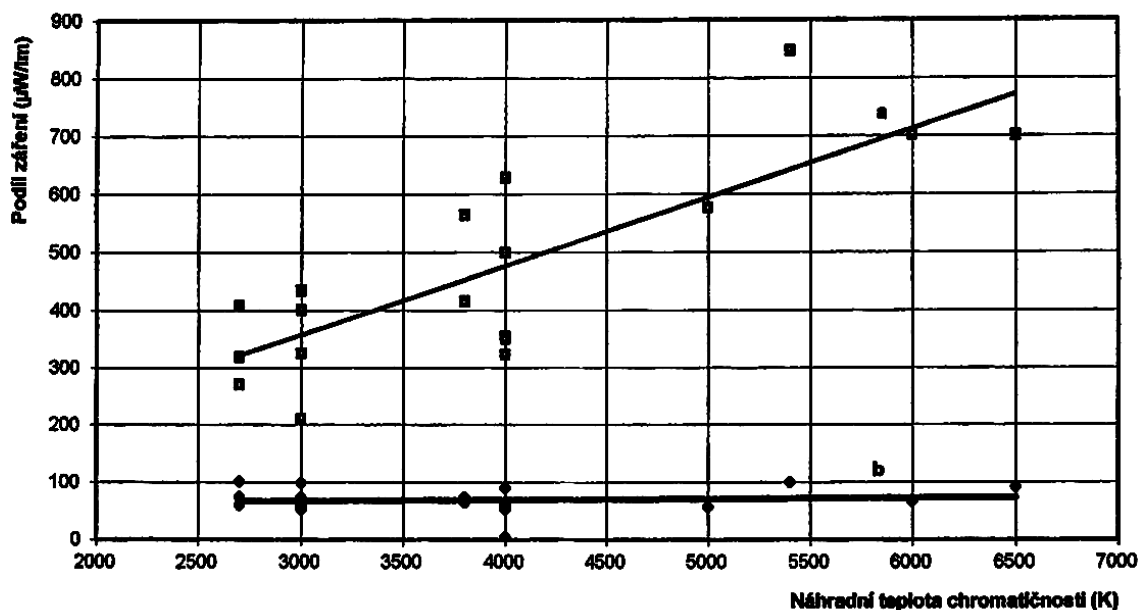
vyvolává vnitřní pnutí, které se během času uvolňuje a v některých případech končí až vznikem drobných podélných prasklin. Praskliny ve své rozvinuté formě prostupují celé stěny trubek a vyskytují se především na teplejších koncích zářivek. Rozvoj prasklin je podporován zhoršením mechanických vlastností základního polymeru, tedy jeho stárnutím vlivem UV záření. Toto stárnutí se mimo to projeví žloutnutím polymeru. Srovnáním transmisních křivek vzorků nových a stárnutých trubic bylo zjištěno, že inflexní bod křivek při cca 400 nm se stárnutím neposouvá a že se stárnutím snižuje směrnice křivky v této oblasti³⁶. Znamená to, že stárnutím materiálu trubic (žloutnutím) se zvyšuje jeho schopnost pohlcovat modré světlo a snižuje se jeho schopnost pohlcovat UV záření. Snížená schopnost pohlcovat UV záření může být vyvolána snižující se schopností UV absorberu absorbovat UV záření, ale, a to je pravděpodobnější, i průnikem nefiltrovaného světla prasklinami v trubce polymeru. Problém vzniku podélných prasklin se může projevit u každého vytlačovaného polymerního výrobku, tedy nejen u trubek, ale i u desek. Rozsah vzniku prasklin záleží nejen na typu polymeru, ale i na technologii vytlačování. Neprojeví se u desek, které jsou připravovány odléváním. V případě vícevrstevných PET filmů je omezen kolmým kladením jednotlivých vrstev.

V každém případě je nezbytné sledovat stav trubek a v případě, že se objeví příznaky degradace polymeru, jako žloutnutí, tmavnutí a praskliny, je nutné trubky vyměnit. Obdobně každé zvýšení naměřené hladiny UV záření musí vést ke kontrole stavu trubek.

Vážným nedostatkem polymerních trubic a konečně i krytů zářivek je jejich hořlavost. Pokud nejsou chráněny proti ohni příslušnými retardéry, hrozí nebezpečí požáru a často i poškození historických objektů. V některých zemích jsou kryty z PMMA z uvedených důvodů zakázány³⁷.

Základem ochrany archivních objektů před světlem a UV zářením zářivek je pečlivý výběr typu zářivky.

V této souvislosti je účelné doplnit některé starší informace o záření, které emitují zářivky. Předpokládalo se, že se stoupající náhradní teplotou chromatičnosti bude stoupat fialový podíl viditelného světla a zároveň s tím i podíl UV záření. Zpracováním dat firmy OSRAM a PHILIPS vznikl obr. 6.7, který ukazuje, že tomu tak zcela není^{32,33}.



Obr. 6.7 Závislost podílu záření na náhradní teplotě chromatičnosti T_{cn} žárovek OSRAM a PHILIPS^{32, 33}. a – záření v oblasti $\lambda = 250\text{--}450$ nm, b – záření v oblasti $\lambda = 280\text{--}380$ nm.

Tento obrázek potvrzuje skutečnost, že sledované žárovky vyzařují poměrně malý podíl UV záření v oblasti 280–380 nm, přibližně se rovnající podílu, které emituje běžná žárovka, tj. cca 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ – křivka *b*. Podíl UV záření je v podstatě nezávislý na náhradní teplotě chromatičnosti. Naopak se ukazuje, že významný podíl záření u všech žárovek se objevuje v oblasti 380–450 nm, tedy ve fialové oblasti viditelného světla, a to o hodnotě podílu 400–800 $\mu\text{W}/\text{lm}$ – křivka *a*. Vyvolávají ji výrazné pásy v oblasti 405 a 435 nm. Z obr. 6.7 vyplývá, že podíl záření v oblasti 380–450 nm je závislý na náhradní teplotě chromatičnosti.

Toto zjištění má značný význam pro výstavní praxi. V případě, že by záření emitované nechráněnými moderními žárovkami bylo hodnoceno pouze podle podílu UV záření, neměla by emitovaná intenzita záření významně poškozovat muzejní materiály, zvláště v případě, že by světlo procházelo UV filtry. Přesto je však nutno očekávat vážné poškození archivních materiálů tímto světlem. Záření ve fialové oblasti se blíží svou energií energii UV záření, především pak UV-A, a má tedy vzhledem ke své vysoké intenzitě poškozující účinek blízký poškozujícímu účinku UV záření. Nevýhodou je, že zatímco UV-A je významně filtrováno běžnými bezbarvými UV filtry, fialové světlo jimi prochází a není možno je takto odstranit. Pouze v případě, že nevadí změna barvy vystaveného materiálu, je možno použít žlutě zabarvené filtry, které potlačí prostup fialového a modrého světla²³. V práci³⁸ je toto stanovisko

podpořeno. Bylo zjištěno, že vzorky vlny barvené různými přírodními a syntetickými barvivy při umělém stárnutí světlem xenonové výbojky nejsou chráněny bezbarvými UV filtry, zatímco žlutě zabarvené filmy ochranu poskytují – *obr. 6.3, křivka b*. Na základě výsledků bylo doporučeno, aby v případě, kdy žluté filtry nejsou přijatelné vzhledem k změně barvy vystavovaných objektů, snížení osvětlenosti na 50 luxů z hlediska přírodních barev je prospěšnější než použití bezbarvého UV filtru.

Jak již bylo řečeno, volbou luminoforu je možno ovlivnit náhradní teplotu chromatičnosti světla a podání barev zářivek. Moderní typy zářivek, které používají třípásmové a především pětípásmové luminofoxy, mají vyhovující barevné podání ($R_a \approx 95$) a přijatelný měrný světelný výkon – cca 65 lm/W. Pro muzejní a galerijní účely jsou doporučovány zářivky s náhradní teplotou chromatičnosti v rozmezí 2 700 až 4 000 K⁴.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, je možno poškozující účinek světelných zdrojů, snížit zmenšením intenzity osvětlení. U zářivek je možno snížit intenzitu osvětlení stmíváním v případě, že je použit elektronický předřadník³³. Důsledkem je malé, stěží poznatelné posunutí spektrálního rozložení světla k vyšším vlnovým délkám, tedy k snížení teploty chromatičnosti. V některých případech je výhodnější řešení, kdy jsou používána osvětlovadla se třemi zářivkami. Postupným zapínáním zářivek se zvyšuje intenzita osvětlení, aniž by se měnila teplota chromatičnosti či barevné podání³.

6.2.3 Ochrana před světlem halogenových žárovek

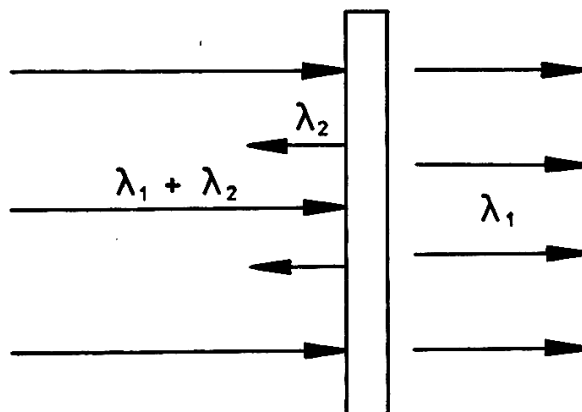
Vzhledem k tomu, že světlo vydávané *obyčejnou žárovkou* s wolframovým vláknem je dnes již historicky bráno jako optimálně vhodné z hlediska obsahu UV záření (70 $\mu\text{W}/\text{lm}$), není zvykem opatřovat osvětlovadla pracující s obyčejnou žárovkou UV filtrem. Záření kratší než 320 nm jsou absorbována vnějším skleněným krytem osvětlovadla nebo sklem vitríny.

Se stoupajícím použitím *halogenových žárovek* se objevily nové problémy. Tyto žárovky pracují při vyšších teplotách než běžné žárovky, a proto musí být vlákno uloženo do baňky z křemenného skla. Toto sklo propouští krátkovlnné UV záření (UV-B a UV-C), které jinak pohlcuje skleněná baňka normální žárovky. Podíl UV záření vyzařovaný různými halogenovými žárovkami může být až 700 $\mu\text{W}/\text{lumen}$.

Na trhu se objevily halogenové žárovky, u nichž původní křemenné sklo bylo modifikováno tak, že pohlcuje významný podíl UV záření – asi 50 % UV-A a většinu UV-B a UV-C³³.

Stejně jako v případě zářivek, je možné k ochraně objektů před UV zářením, které produkuje halogenová žárovka, použít filmy a desky, které obsahují UV absorbér.

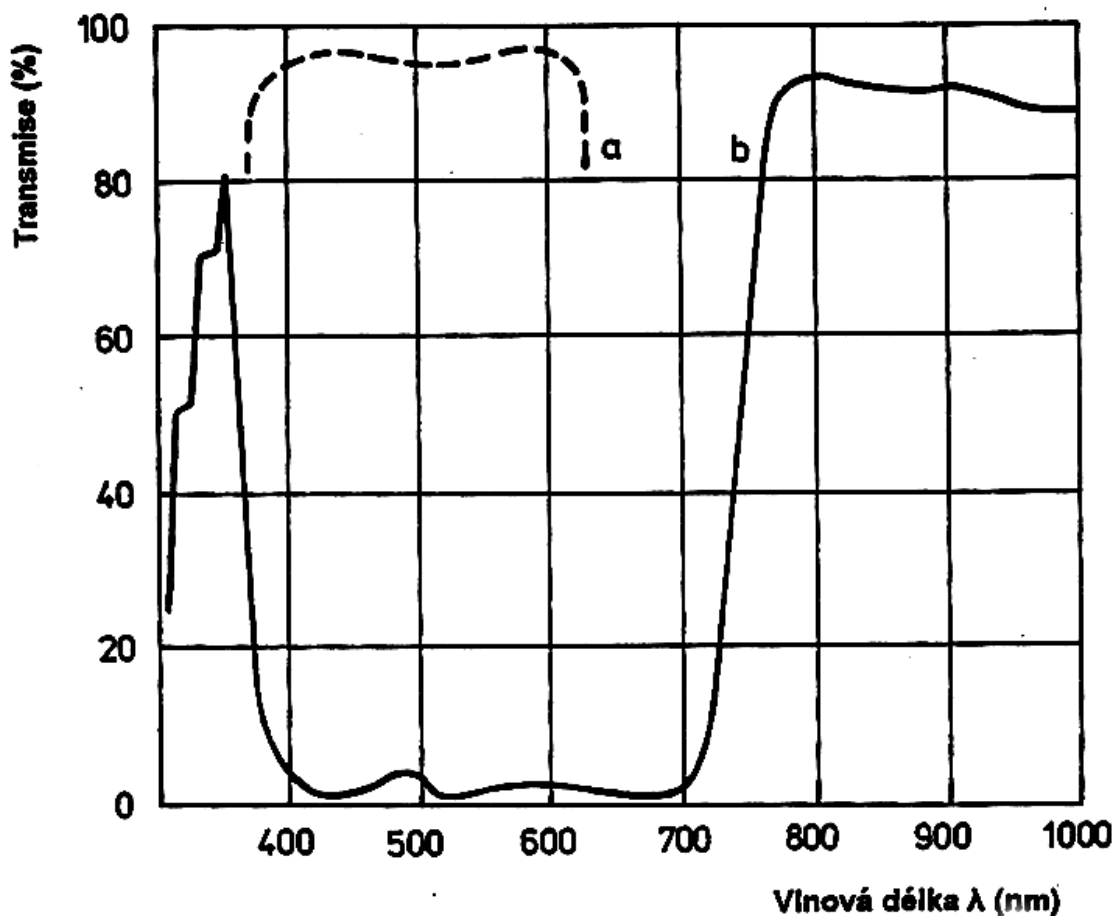
Polymerní filmy nebo desky jsou ale, na rozdíl od zářivek, nevhodné jako filtry pro osvětlovadla s halogenovými žárovkami. Vzhledem k tomu, že tyto žárovky pracují při vysokých teplotách a může dojít k poškození polymerního filtru. Je přirozeně možné umístit filtr do bezpečné vzdálenosti od žárovky, ale v tom případě se ztrácí největší výhoda osvětlovadel, která používají halogenové žárovky, a to jsou jejich malé rozměry.



Obr. 6.8 Princip funkce dichroického filtru³⁹.

Tyto skutečnosti vedly k vývoji *tepelně stabilních filtrů*¹⁶. V tomto případě jsou ve vakuu nanášeny na podklad z borosilikátového skla tenké vrstvy kovových oxidů, které jsou schopné odrážet záření o určité vlnové délce a naopak světlo o jiné vlnové délce propouštět. Tyto filtry se nazývají *dichroické* a jejich princip je uveden na obr. 6.8³⁹. Vhodnou skladbou kovových oxidů je možno potlačit průchod UV záření či viditelného světla a nebo konečně i IČ záření – obr. 6.9³⁹. Jsou používány nízkonapěťové halogenové žárovky, jejichž čelní sklo je pokryto dichroickou vrstvou schopnou snížit podíl UV záření. Ukazuje se, že tyto dichroické filtry jsou vzhledem k UV záření velmi účinné a propouštějí pouze podíl UV záření 10 μW/lm¹⁶. Nepropouštějí vůbec UV záření o vlnové délce kratší než 380 nm a 1 % záření pod 400 nm. Další výhodou dichroických filtrů je jejich dlouhá životnost a zanedbatelné zkreslení barvy. Nevýhodou je jejich poměrně vysoká cena. Pro svou tepelnou stálost

mohou být součástí svítidel s halogenovými žárovkami. Dichroické reflektory jsou používány i k snížení IČ záření ve světelném svazku, až o 66 %.



Obr. 6.9 Transmise světla halogenové žárovky s dichroickým reflektorem v závislosti na vlnové délce λ . Žárovka je umístěna ve skleněném reflektoru, který je opatřen dichroickým povlakem (filtrem), který odráží „dopředu“ viditelné světlo a propouští „dozadu“ IČ záření³⁹. a – odražené viditelné světlo, b – propuštěné UV a IČ záření. Použití: dichroické reflektory „studený paprsek“ s nízkonapětovými halogenovými žárovkami^{32,33}.

Zavedení tepelně odolných dichroických filtrů spolu se zavedením plošných UV filtrů významně ovlivnilo požadavky na kvalitu světla ve výstavních místnostech muzeí a galerií. Je doporučováno, aby hranice podílu UV záření byla snížena z 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ (UV podíl žárovky) na 10 $\mu\text{W}/\text{lm}$ ¹⁶.

Stejně jako u zářivek je možno intenzitu osvětlení halogenových žárovek zmenšit stmíváním. Při nadměrném stmívání se snižuje teplota wolframového vlákna a narušuje se regenerační halogenový cyklus. Za této situace se halogenová žárovka chová jako normální žárovka a vnitřní povrch baňky tmavne.

6.3 OSVĚTLENÍ VÝSTAVNÍCH VITRÍN

Výstavní vitríny v případě archivů či knihoven jsou používány k vystavení velmi citlivých a cenných objektů, jako jsou rukopisy, iluminace, kodexy, knižní vazby, grafiky atp. Hlavním úkolem výstavních skříní je chránit objekty před vnějším prostředím, tj. před vlhkostí, teplotou, prachem, plynnými polutanty atp., případně před nadměrným kolísáním relativní vlhkosti a teploty. Mimo to chrání předměty před vandalizmem a krádeží.

Je pochopitelné, že osvětlení výstavních vitrín musí umožňovat bezproblémové pozorování objektů návštěvníkem. Musí být nejen přijatelně intenzivní, ale často musí být řešeno tak, aby upoutávalo pozornost na zajímavé detaily pozorovaného objektu.

Osvětlení vitrín je poměrně náročným problémem^{1,4,40–42}. Z toho důvodu je vhodné osvětlení vitrín řešit s firmou, která má v této oblasti prokázané zkušenosti a která také bude vitríny dodávat.

V dalším budou stručně diskutovány zásady, dle kterých se řídí osvětlení vitrín. V případě, že jsou vitríny osvětleny *vnější osvětlením*, je možno zvolit dvě varianty. V případě, že se jedná o větší vitríny s poměrně jednoduchými vystavenými předměty, je vhodné vitríny osvětlit *stropními osvětlovadly*. Je možno použít úzkouhlé stropní reflektory (otočné a výkyvné), zavěšené na konzole nebo zářivky uložené v krytech. Osvětlovadla je možno zapustit do stropu. Počet reflektorů či zářivek je možno volit libovolně. Osvětlovadla musí být umístěna tak, aby nevrhala do vnitřku vitríny stíny jejich hran a rohů. Obdobně přesným umístěním osvětlovadel je nezbytné řešit problém odrazu světla od skla vitríny. Oslnění, které nevhodným umístěním osvětlovadel může vzniknout, je schopno potlačit viditelnost osvětlených objektů a vyvolat nepříjemné pocity u návštěvníků. Vnější osvětlení může vytvářet „skleníkový efekt“, který je možno omezit použitím dichroických reflektorů. Pro svou tepelnou stálost mohou být tyto filtry, jak již bylo řečeno, součástí reflektorů s halogenovými žárovkami, které emitují „studené“ světlo. V tomto případě je dichroický filtr nanesen na zadní stěnu reflektoru a propouští „dozadu“ IČ záření. To má za následek, že podíl IČ záření ve světelném svazku se sníží až o cca 66 %³³.

Určitá opatrnost je nezbytná v případě, že přímo nad skleněnou výstavní skříň jsou umístěna těžká osvětlovadla. Při výměně mohou spadnout a poškodit skříň. Je účelné chránit vrch skříně bezpečnostní deskou PMMA či PC.

V jiném případě vnějšího osvětlení jsou zdroje světla umístěny v *osvětlovacím krytu* nad vitrínou. Kryt je součástí vitríny. Ostré stíny je možno potlačit umístěním opálových skel, opálových desek PMMA či PC, příp. mřížek na vrch skříně. Desky PMMA a PC mohou zároveň sloužit k filtraci UV záření. K osvětlení vitrín se používají především zářivky a halogenové žárovky. Kryty jsou upraveny tak, že je možné vyměnit zdroj světla, aniž by bylo nutné otevřít vlastní vitrínu.

Vnitřně osvětlené výstavní vitríny vytvářejí zajímavé kontrasty k okolnímu světelnému prostředí a jsou schopny lépe upoutat pozornost návštěvníků. Dovedou lépe zdůraznit detaily a barvu vystavovaného objektu. Základními problémy vnitřně osvětlených výstavních skříní jsou světelnými zdroji vyvíjené teplo a poměrně obtížná výměna zdrojů světla, ohrožující bezpečnost vystavených předmětů. Zahřátí vnitřního prostoru výstavní skříně a především kolísání teploty vystavených předmětů při vypnutí a zapnutí osvětlení může vyvolat jejich poškození.

Problém tepla je řešen volbou zdroje světla. Pro své malé rozměry a malý příkon se uplatňují halogenové žárovky (především v bodových reflektorech) a pro svůj vysoký měrný světelný výkon zářivky. Výhodou halogenových žárovek je, že pracují při nízkém napětí, čímž je omezena možnost vzniku požáru zapříčiněná zkratem na elektrickém vedení. Bodové reflektory jsou upevněny na lištách a většinou jsou umístěovány do svislých rohů vitrín. V poslední době byly vyvinuty zářivky o malém průměru trubice (8 mm), které jsou zvláště vhodné pro rozptýlené měkké osvětlení^{33, 42}. Bývají zachyceny v otočných polykarbonátových trubkách. Trubky jsou nalakovány neprůhledným lakem až na štěrbinu, kterou má procházet světlo. Otáčením trubky je potom možno nastavit světlo v určitém směru tak, aby vhodně osvětlovalo vystavený předmět či aby neoslňovalo návštěvníka. Ke stejnému účelu slouží kovové kryty, které opět jsou na straně otevřené. Zářivky tohoto typu se rovněž umísťují do rohů vitrín. Elektronické předradníky, případně stmívací moduly, jako zdroje tepla musí být umístěny mimo vitrínu.

V poslední době jsou k osvětlení výstavních skříní stále častěji používána *optická vlákna* (světlovodné kabely)^{42–44}. V tomto případě světlo je vedeno k archivním objektům ze světelného generátoru optickými vlákny, buď skleněnými, nebo polymethylmethakrylátovými. Světelný generátor, který může sloužit několika kabelům (až 300), většinou sestává ze zdroje světla (halogenová žárovka nebo vysokotlaká výbojka), stmívače a filtru. Filtr je možno použít kupř. k odstranění UV či IČ záření.

Tím, že je generátor uložen mimo prostor výstavní skříně, nezahřívá ji. Kabely mohou být zakončeny různými výkyvnými optickými koncovkami, čočkami a projektory, které umožňují dalekosáhlé úpravy v osvětlení objektu. Koncovky vzhledem k jejich malým rozměrům je možno snadno umístit do hran vitrín či do prohlubenin ve dně vitríny. Kabely mohou být až 30 metrů dlouhé a je možné je dle potřeby ohýbat. Nevýhodou je, že tento typ osvětlení je dosud velmi nákladný.

4.0 ZÁVĚR

Osvětlení sbírek a jejich ochrana před světlem a UV zářením nejsou závislé jen na zdrojích světla, jejich velikosti, umístění či na případné filtraci UV záření atp., ale je do značné míry závislé na *volbě a řízení režimu osvětlení*^{45–52}.

Skladovací prostory, které nejsou obsazeny obsluhujícím personálem nebo badateli, by měly být drženy v temnotě. Měly by být bez oken a nebo okna by měla být zakryta. Světla, s výjimkou nouzového osvětlení, by měla být trvale vypnuta a zapnuta pouze v době potřeby. To je možno zajistit automatickými vypínači vybavenými senzory, které např. reagují na pohyb v místnosti. Obdobné zařízení v kombinaci se stmívačem může významně omezit intenzitu osvětlení místnosti na hladinu nouzového osvětlení. Současné moderní elektronické stmívače umožňují stmívat nejen žárovky a halogenové žárovky, ale i zářivky. K nouzovému osvětlení depozitářů by měly být vzhledem k nízkému podílu UV záření a fialového světla používány spíše žárovky než zářivky. Je nezbytné si uvědomit, že i nouzové osvětlení o nízké intenzitě může vzhledem k dlouhé době působení poškodit uložené objekty.

Archivní materiály je vhodné vložit do krabic profesionálně vyrobených z nekyselých kartonů. Tyto krabice chrání sbírky nejen před světlem, ale zároveň je chrání před kolísáním vlhkosti a teploty.

Základní směrnice pro *osvětlení výstav* byly již probrány dříve. Především musí být udržována rovnováha mezi nezbytnou ochranou materiálů a potřebou je zpřístupnit veřejnosti – podrobněji viz *článek v tomto sborníku „Vystavení archivních materiálů: vidět nebo poškodit“*. Je třeba znovu podtrhnout, že intenzita osvětlení musí být tak nízká, jak je to pro návštěvníky přijatelné. Platí základní pravidlo, že každé snížení intenzity viditelného světla snižuje dlouhodobé poškození. UV záření musí být potlačeno v maximální míře. V současné době zavedení dichroických filtrů umožňuje

zpřísnění požadavku na podíl UV záření ve světle výstavních místností a snížit jej ze 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ na 10 $\mu\text{W}/\text{lm}$. Předměty nesmí být vystaveny přímému slunečnímu světlu a neměly by být vystavovány trvale. Velmi citlivé a zranitelné předměty (předměty kategorie nulové tolerance), jako jsou některé fotografické materiály nebo objekty, u kterých barva má historickou cenu, by měly být vystavovány pro veřejnost jen po výjimečně krátkou dobu a měly by být přístupné jen badatelům. Je vhodné udržovat hladinu osvětlení na stejné nízké úrovni ve všech výstavních místnostech. Oko návštěvníka se postupně adaptuje na nižší osvětlenost a je schopné rozeznat i poměrně malé detaily či barevné rozdíly. Adaptace je podstatně pomalejší, když návštěvník přechází náhle z místností o vysoké osvětlenosti do místnosti o nízké osvětlenosti.

LITERATURA

1. Anonym: Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended Practice. IESNA, New York, 1996.
2. Cassar M.: Environmental Management. Routledge, London and New York 1999.
3. Wolfgang Prah, George Roesler: Wie werden Exponate vor Licht geschützt? Restauro (No. 4), 240–246 (1997).
4. Anonym: Lighting manual. Philips Lighting B. V., Eindhoven, The Netherlands, Fifth edition, 1993.
5. Cannon-Brookes S., Parry M.: Daylighting Dosage Prediction for Side-lit Interiors in Museum Galleries and Historic Buildings. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 11. Triennial Meeting, Edinburgh, 1.–6. září 1996, str. 19–25.
6. Hilbert G. S., Krochmann J.: Zur Beleuchtung musealer Exponate. Restauro 97 (No. 5), 313–321 (1991).
7. Hilbert G. S.: Klimaanlagen für Museen – neue Aspekte. Restauro 99 (No. 1), 36–46.
8. Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlení. FCC Public, Praha 1995.
9. Saunders D.: Environment and Lighting in the Sainsbury Wing of the National Gallery. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 10. Triennial Meeting, Washington 1993, str. 630–635.
10. Eremin K., Tate J.: The Museum of Scotland: Environment during object installation. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 12. Triennial Meeting, Lyon 1999, str. 46–51.

11. Schetz R., Fisher CH.: Reducing Visible and Ultraviolet Damage to Interior Wood Finishes. Museum Collections (Preservation Tech Notes), No. 2, 277–283 (1990).
12. Anonym: Natural light in Historic Houses. National Park Service-Harpers Ferry Lighting Committee, 1994; ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 272–274.
13. Anonym: Notes on Light Filters for windows. National Park Service-Harpers Ferry Lighting Committee, 1994; Ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 271.
14. Davis N.: Filtering Ultraviolet Radiation from Museum Exhibits. Ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 252–257.
15. Anonym: „Perspex“ VE and VA cast-acrylic sheet or application requiring high UV protection. Firemní materiál firmy ICI Chemicals & Polymers Limited, GB, označený PX TD 219, květen 1991, poskytnutý společností Ineos Acrylics, ICI (CZ) s. r. o., Praha.
16. Saunders D.: Ultra-violet Filters for Artificial Light Sources.
URL: <http://giorgio.hart.bbk.ac.uk/~david/TB13PAP.htm>.
17. Staniforth S.: Problems with Ultraviolet Filters. Ve sborníku „Lighting. A conference on lighting in Museums, Galleries and Historic Houses“. Bristol 1987, str. 25–30.
18. Anonym: Folie na sklo. Firemní materiál firmy SOLARMAX, USA, poskytnutý společností NEXT spol. s r. o., Praha.
19. Anonym: SL Llumar UV-protection films. Firemní materiál firmy Courtaulds Performance Films Vertriebs GMBH, Bielefeld, NSR, poskytnut firmou SOLAR-STOP, Praha.
20. Anonym: Fólie na sklo. Písemný materiál poskytnutý firmou SOLAR-STOP, Praha.
21. Maggen M.: UV filters. Conservation DistLists Archive.
URL: <http://palimpsest.stanford.edu/byform/mailling-lists/cdl/1997/0975.html>.
22. Anonym: GlassSafe™ by 3M Sales Representation.
URL: <http://www.visualbyte.com.br/ArtCare/glsssafe.htm>.

23. Cox Crews P.: A comparison of clear versus yellow ultraviolet filters in reducing fading of selected dyes. *Studies in Conservation*, 33, 87–93 (1988).
24. Heaver M.: Window films. Conservation DistLists Archive.
URL: <http://palimpsest.stanford.edu/byform/mailling-lists/cdl/1999/1205.html>.
25. Allen G., Black L., Hallam K., Berry J., Staniforth S.: A preliminary investigation into the effect of self-adhesive ultraviolet-absorbing films on window glass. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 12. Triennial Meeting, Lyon 1999, str. 757–763.
26. Štěpek J., Zelinger J., Kuta A.: Technologie zpracování a vlastnosti plastů. SNTL, ALFA, Praha 1989, str. 75 a další.
27. Achwal W. B.: Use of absorbers for minimizing photodegradation of disperse dyes as well as polyester fiber. *Colourage*, 41 (No. 6), 21(1994).
28. Anonym: Light Stabilizers for Olefins. Firemní materiály firmy Ciba Specialty Chemicals Inc., Basel, Switzerland. Pub. No. 016259.00040.
29. Pospíšil J.: Fotooxidační degradace polymerů: Příčiny, důsledky a ochrana. *Chemické listy* 85, 905 923 (1991).
30. Pospíšil J.: soukromé sdělení dne 10. 12. 1999.
31. Ezrati J.-J.: Proprietes anti-U. V. des films de securite. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 8. Triennial Meeting, Sydney, 1987, str. 871–874.
32. Anonym: Všeobecný katalog – světelné zdroje/příslušenství/ ovládací prvky 2000–2002. Informační materiál firmy Philips Česká republika s. r. o., Praha 2000.
33. Anonym: Lichtprogram 1999/2000. Informační materiál firmy OSRAM, GmbH, München 1999.
34. Michalski S.: General Characteristics of Light Sources for Museum. Version 3.0, Canadian Conservation Institute, Feb. 1996. Ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 22.
35. Štěpek J., Zelinger J., Kuta A.: Technologie zpracování a vlastnosti plastů. SNTL, ALFA, Praha 1989, str. 424 a další.
36. Burke J.: Deterioration of UV filters. Conservation DistLists Archive.
URL: <http://palimpsest.stanford.edu/byform/mailling-lists/cdl/1997/0237.html>.
37. Wiliamson C.: Deterioration of UV filters. Conservation DistLists Archive.
38. URL: <http://palimpsest.stanford.edu/byform/mailling-lists/cdl/1997/0251.html>.

39. Saunders D., Kirby J.: Wavelength-dependent Fading of Artists' Pigments. Sborník příspěvků kongresu Preventive Conservation Practice, Theory and Research, Ottawa 1994. (vydal IIC, London 1994), str. 190–194.
40. Anonym: Infra-red and Ultra-violet Rejection Filters. Firemní materiál firmy Coherent, Inc. USA.
URL: <http://www.catalog.cohr.com/OptFilt/RejectFilt.html>.
41. Thomson G.: The Museum Environment (Second Edition). Butterworth-Heinemann, London 1986.
42. Graham M.: Preventive Conservation Guidelines for Developments. Victoria & Albert Museum, London 1994.
43. Anonym: TECHNIK INFO, Rothstein Vitrienen GmbH, Gummersbach, BRD. Informační materiál dodaný P. Popelkou, zastoupením Rothstein pro ČR, Žďár nad Sázavou.
44. Anonym: Katalog svítidel Philips. Informační materiál firmy Philips Česká republika s. r. o., Praha 2000, str. 162.
45. Anonym: Octopus, Faseroptik-Beleuchtungssystem. Philips Licht, Product Information. Bestell-Nr. 1782, 1995.
46. Patkus B. L.: Protection from Light Damage.
URL: <http://www.nedec.org/tleaf24.htm>.
47. Glaser M. T.: Protecting Paper and Book Collections during Exhibition.
URL: <http://www.nedec.org/tleaf25.htm>.
48. Leggett J.: A Guide to Lighting Art Galleries & Museums for the Theatrical Lighting Designer.
URL: <http://www.spdcc.com/home/leggett/thesis.html>.
49. Shaw K.: Display and Conservation: The Dilemma of lighting in Museums.
URL: <http://www.krshaw.demon.co.uk/KRSLD-Web/Disp-Con.html>.
50. Wilson K. W.: Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records. NISO TR01-1995, ISSN: 1081-8006, NISO Press Bethesda, Maryland, USA, 1995.
51. Read F.: Preventive Conservation.
URL: <http://www.meaco.com/preventa.htm>.
52. Kolektiv autorů: Preventivní ochrana sbírkových předmětů. Národní muzeum, Praha 2000.

53. Zelinger J.: Poškození kulturních památek vlivem světla a ochrana proti němu. Zprávy památkové péče, příloha časopisu Zprávy památkové péče, 60 (No. 7), LXI-LXXXIV (2000).

7 METODY, POSTUPY A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ PRO MONITOROVÁNÍ INTENZITY OSVĚTLENÍ, OSVITU, INTENZITY OZÁŘENÍ, DÁVKY OZÁŘENÍ A KOLORIMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK

Ing. Jiří Krejčí

Výtvarné, umělecké a historické předměty (exponáty), nejsou-li uchovávány ve tmě a speciálně chráněny (ochranná atmosféra, teplotní a vlhkostní podmínky, obaly, pouzdra, kontejnery apod.) jsou, jak je všeobecně známo, vystaveny vlivu vnějších činitelů prostředí. Jedním z těchto činitelů je i světlo, přesněji řečeno optické záření. Kromě možného poškození mechanických vlastností materiálu exponátů má světlo a ultrafialové záření především tendenci poškozovat i vnější vzhledové vlastnosti – vybarvení a výsledkem je známý efekt blednutí, při které materiály mění svůj barevný odstín.

Materiály se liší svoji odolností vůči působení světla a optického záření, a proto jsou nutné metody a postupy, pomocí nichž se stálost na světle měří a hodnotí. Jedná se o metody, postupy a přístrojové vybavení pro hodnocení stálobarevnosti na světle a pro hodnocení změny barevného odstínu. Tyto metody a postupy lze rozdělit na subjektivní a objektivní podle způsobu vyhodnocování.

7.1 SUBJEKTIVNÍ METODY PRO HODNOCENÍ STÁLOBAREVNOSTI NA SVĚTLE A ZMĚNY ODSTÍNU

Subjektivní (vizuální) metody jsou založeny na použití přesně definovaných referenčních vzorků (sady standardů) a jejich definované změny po obdržení předepsané dávky ozáření, resp. osvitu (dávky viditelného záření, tj. dávky „světla“).

Při subjektivním hodnocení stálobarevnosti na světle se používají modré vlněné standardy a pro subjektivní hodnocení změny barevného odstínu šedé standardy (šedé stupnice).

7.1.1 Modré vlněné standardy

Modré vlněné standardy, používané přednostně pro textilie, jsou vlněné tkaniny obarvené modrými barvivy s odlišným stupněm stálosti na světle. Modré vlněné standardy používané v Evropě se označují číselnou řadou 1 až 8. Jsou to modré vlněné tkaniny obarvené modrými barvivy, uvedeným i v *tabulce č. 7.1*.

Mají rozsah od 1 (velmi nízká stálobarevnost na světle) do 8 (velmi vysoká stálobarevnost na světle). Každý standard s vyšším číslem má přibližně dvojnásobnou stálost oproti předcházejícímu. Modré vlněné standardy používané v USA se označují písmenem L s následným číselným označením 2 až 9. Sada těchto osmi standardů

je připravena mísením různých množství vlny obarvené speciálními barvivý tak, že každý standard s vyšším číslem je přibližně dvakrát tak stálý než standard předcházející /7.1/, /7.2/. Jejich barevné změny jsou úměrné dávce ozáření, resp. osvitu.

Tab. 7.1 Barviva modrých vlněných standardů.

Stupeň stálosti standardu	Použité barvivo	Barvivo – označení podle Colour Index ^{*)}
1	Acilan Brilliant Blue FFR (Bayer)	CI Acid Blue 104
2	Acilan Brilliant Blue FFB (Bayer)	CI Acid Blue 109
3	Supranolcyanin 6B (Bayer) nebo Brilliantcyanin 6B (Ciba) nebo Coomassie Brilliant Blue R (ICI)	CI Acid Blue 83
4	Supramin Blue EG (Bayer)	CI Acid Blue 121
5	Solvay Blue RN (ICI) nebo Acilan	CI Acid Blue 47
6	Alizarine Licht Blue 4 GL (Sandoz)	CI Acid Blue 23
7	Solodon Blue 4BC, prášek (ICI) nebo Indigozol 04B (Durand) nebo Anthrazol 04B (Hoechst)	CI Solubilized Vat Blue 5
8	Indigozol Blue AGG (Durand) nebo Anthrazol Blue AGG (Hoechst)	CI Solubilized Vat Blue 8

^{*)} Colour Index je vydán Society of Dyers and Colourists (třetí vydání).

7.1.2 Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu

Změna, která u materiálů nastává působením světla může být změnou odstínu (tj. sytosti), změnou barevného odstínu, změnou brilance (světlosti) nebo jejich kombinací. Bez ohledu na charakter změny je hodnocení založeno na velikosti vizuálního rozdílu mezi vzorkem po zkoušce a vzorkem referenčním (vzorkem původního neozářeného, resp. neosvitnutého materiálu). Tento rozdíl je vizuálně srovnáván se standardem šedé stupnice k hodnocení změny odstínu, přednostně opět používaným pro hodnocení textilií, jakož i při subjektivním hodnocení stálosti obrazových záznamů ve fotografii, polygrafii apod.

Základní pětistupňová stupnice sestává z pěti párů matných destiček šedé barvy nebo proužků tkanin, znázorňujících porovnatelnou barevnou odchylku, odpovídající stupňům stálosti 5, 4, 3, 2 a 1 /7.3/. Tato šedá stupnice je přesně kolorimetricky definována rozdílnou světlostí šedých stupňů, aby bylo kdykoliv možné porovnáním naměřených hodnot zjistit, zda nově vyrobené stupnice nebo stupnice, které mohly používáním změnit své vlastnosti, odpovídají požadavkům.

U každého páru této stupnice je jeden proužek stejné světlosti (použit lze i hodnocení pomocí optické hustoty). V prvním páru mají tedy oba proužky stejnou světlost a odpovídají stupni stálosti 5. U zbývajících čtyř párů proužků má druhý proužek stále se snižující hodnotu světlosti (optické hustoty), takže každý následující pár představuje vzrůstající rozdíl nebo barevný rozdíl, daný stupněm stálosti 4 (druhý pár), 3 (třetí pár), 2 (čtvrtý pár) 1 (pátý pár – nejvyšší rozdíl).

Základní šedá stupnice sestávající z pěti párů destiček či proužků může být rozšířena o podobné destičky nebo proužky, jejichž odchylky světlosti (optické hustoty) odpovídají půlstupňovým hodnotám 4–5, 3–4, 2–3 a 1–2. Tato šedá stupnice je označována jako devítistupňová.

Destičky nebo proužky jsou neutrálně šedé (nepestré) a jsou přesně kolorimetricky definovány. Jejich spektrální charakteristiky odraznosti se proměřují spektrofotometricky se zahrnutím lesku a trichromatické souřadnice jsou stanoveny v soustavě CIELAB pro smluvní bílé světlo D_{65} a doplňkového pozorovatele (10°). Standardní hodnota trichromatické složky Y (jasová složka) prvních destiček resp. proužků každého páru (tj. destiček resp. proužků se stejnou vizuální světlostí) je vždy 12 ± 1 (%) – viz kapitola 3.0, rovnice 3.10 a 3.11. Specifikace kolorimetrických hodnot šedé stupnice pro hodnocení změny odstínu je uvedena v tabulce č. 7.2.

Tab. 7.2 Kolorimetrická specifikace šedé stupnice.

Stupeň stálosti	CIELAB – barevné rozdíly	Odchylka
5	0,0	0,2
(4–5)	0,8	$\pm 0,2$
4	1,7	$\pm 0,3$
(3–4)	2,5	$\pm 0,35$
3	3,4	$\pm 0,4$
(2–3)	4,8	$\pm 0,5$
2	6,8	$\pm 0,6$
(1–2)	9,6	$\pm 0,7$
1	13,6	$\pm 1,0$

Při hodnocení výsledků zkoušek stálobarevnosti na světle se zkoušené (exponované) vzorky srovnávají se stupnicí osmi modrých vlněných standardů. Výsledkem hodnocení je číslo modrého vlněného standardu stálosti na světle, jehož rozdíl je nejblíže zkoušenému vzorku.

Při hodnocení změny odstínu se porovnává viditelný barevný rozdíl mezi referenčním vzorkem a zkoušeným vzorkem se šedou stupnicí.

Podmínky při vlastním vyhodnocování výsledků zkoušek stálobarevnosti a výsledků zkoušek změny odstínu jsou následující: zkoušený vzorek se umístí vedle referenčního vzorku (který nebyl podroben zkoušení) v téže rovině a stejným směrem (vzorky s povrchovou texturou). Pro zvýšení přesnosti mají mít zkoušený i referenční vzorek přibližně stejnou velikost a tvar. Okolí vzorků má být neutrálně šedé, stejně tak jako i případná maska pro vymezení shodné velikosti a tvaru vzorků. Stupeň světlosti (odstín) neutrálně šedé okolní plochy má ležet přibližně mezi stupněm 1 a stupněm 2 šedé stupnice pro hodnocení změny odstínu (odpovídá přibližně stupni světlosti barvy podle Munsellova atlasu barev N5). Porovnání stupňů světlosti barvy podle Munsella s hodnotami činitele odrazu, tj. se standardní fotometrickou veličinou, je uvedeno v *tabulce č. 7.3*. Porovnávané vzorky a jejich okolí se osvětlují denním světlem severní oblohy nebo odpovídajícím umělým osvětlením, například D₆₅ s intenzitou nejméně 600 lx. Světlo má dopadat na povrch ploch přibližně pod úhlem 45° a hodnocené vzorky se pozorují shora, přibližně kolmo k rovině vzorků.

Tab. 7.3 Porovnání stupně světlosti barvy podle Munsellova atlasu barev s hodnotami činitele odrazu.

Stupeň světlosti barvy podle Munsella	Činitel odrazu povrchu (%)
10,0	100,0
9,5	87,8
9,0	76,7
8,5	66,7
8,0	57,6
7,5	49,4
7,0	42,0
6,5	35,3
6,0	29,3
5,5	24,0
5,0	19,3
4,5	15,2
4,0	11,7
3,5	8,8
3,0	6,4
2,5	4,5
2,0	3,0
1,5	2,0
1,0	1,2
0,0	0,0

7.2 OBJEKTIVNÍ METODY PRO HODNOCENÍ STÁLOBAREVNOSTI NA SVĚTLE A ZMĚNY ODSTÍNU

Objektivní metody hodnocení stálobarevnosti na světle a změny odstínu jsou založeny na užití přístrojů pro měření barvy nebo barevných rozdílů. Vzorek zkoušeného materiálu i vzorek, který nebyl podroben zkoušce (referenční) se proměří na spektrofotometru. Z takto získaných spektrálních charakteristik odraznosti se standardními postupy vypočítávají kolorimetrické charakteristiky, tj. trichromatické souřadnice, nejčastěji v soustavě CIELUV (L^* , u^* , v^*) nebo v soustavě CIELAB (L^* , a^* , b^*), z nichž lze stanovit vzdálenost dvou bodů barev, tj. barvy zkoušeného vzorku a barvy vzorku referenčního ΔE^*_{uv} , resp. ΔE^*_{ab} (viz kapitola 3.0, rovnice 3.8, 3.9, 3.10. a 3.11), tj. barevný rozdíl mezi zkoušeným a referenčním vzorkem.

Objektivní kolorimetrické metody a postupy hodnocení stálobarevnosti a barevného odstínu jsou určeny především pro přesná laboratorní a typová hodnocení a nejsou vhodné pro rutinní hodnocení.

Pozn.: V současné době jsou již k dispozici i přenosné přístroje jak pro měření spektrální charakteristiky odraznosti, tak i trichromatických souřadnic a barevných rozdílů, viz tabulka 7.3.

7.3 PŘÍSTROJOVÁ MĚŘICÍ TECHNIKA

Při hodnocení účinku světla a optického záření na různé materiály, tj. při hodnocení stálobarevnosti na světle i při hodnocení změny odstínu převládají, především při hodnocení textilií, subjektivní (vizuální) metody, využívající modré vlněné standardy a šedé stupnice, i když i zde se již běžně používá kalibrace šedých stupnic podle kolorimetrických, tedy objektivních údajů a modrým vlněným standardům jsou přiřazovány ekvivalentní hodnoty osvitů (dávky ozáření), viz tabulka č. 7.4, kde jsou uvedeny ekvivalenty expozice pro americkou řadu modrých vlněných standardů stálosti na světle L2–L9.

Pro tyto účely se používají nejčastěji přístroje na měření:

- intenzity a dávky ozáření v oblasti optického spektra,
- spektrálního složení záření,
- barevných (kolorimetrických) souřadnic a barevných rozdílů,
- teploty chromatičnosti světla,
- intenzity osvětlení (osvětlenosti),
- osvitu (dávky „světla“),

- jasů.

Tab. 7.4 Ekvivalenty expozice světlem pro modré vlněné standardy stálosti na světle L2 až L9¹⁾.

Modré vlněné standardy	Pouze xenonová výbojka 420 nm (kJ . m ⁻²)	Pouze xenonová výbojka 300 nm–400 nm (kJ . m ⁻²)
L2	21	864
L3	43	1 728
L4	85 ²⁾	3 456
L5	170	6 912
L6	340 ²⁾	13 842
L7	680	27 648
L8	1 360	55 296
L9	2 720	110 592

¹⁾ Pro změnu odstínu stupeň 4 šedé stupnice pro změnu odstínu.

²⁾ Experimentálně ověřeno; ostatní hodnoty jsou vypočítané.

7.3.1 Přístroje na měření intenzity a dávky ozáření

Tyto přístroje se používají při měření celkového (globálního) záření Slunce a oblohy, simulovaného slunečního záření, při měření vymezené spektrální oblasti optického záření, například ultrafialové apod. Někdy se pro ně používá označení „fyzikální aktinometry“.*

Jsou to například pyranometry (Moll – Gorczinského, upravený je znám pod názvem Kippův solarimetr a Eppleyho pyranometr) používané např. meteorologickými službami k měření intenzity slunečního a oblohového záření a k měření zdrojů simulujících sluneční záření.

Přístroje na měření intenzity a dávky ozáření s vymezenou spektrální citlivostí v určité oblasti optického spektra (nejčastěji v ultrafialové oblasti) se používají v řadě odvětví a vzhledem ke sledovanosti ultrafialové složky denního světla i světla umělých zdrojů jsou tyto přístroje užitečné i pro archivy, muzea a galerie.

Vhodnými přístroji na měření intenzity a dávky ultrafialového záření jsou:

- 1) Přístroje firmy Kühnast Strahlungstechnik, Wächtersbach, SRN (zastoupení v ČR: C5 s. r. o., Jarcová 71, 757 01 Valašské Meziříčí).
- UV Meßgerät, spektrální rozsah 315–420 nm.

- UV A Meter, spektrální rozsah 315–400 nm.
- UV B Meter, spektrální rozsah 280–315 nm.

Přístrojem UV A Meter lze měřit jak intenzitu ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$), tak i dávku ozáření ($\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$). Přístroj umožňuje též měřit intenzitu a dávku ozáření ve spektrálním rozsahu 350–460 nm (diaz).

2) Přístroje firmy Littlemore Scientific Engineering, Oxford, UK (zastoupení v ČR není).

- Elsec Integrating UV Monitor, typ 905, spektrální rozsah 300–400 nm.

Přístroj umožňuje měřit dávku ozáření ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$) a lze tudíž při současném měření času stanovit intenzitu ozáření.

- Elsec UV Monitor, typ 762.

Přístroj měří přímo podíl UV záření ve světle zdroje (v rozsahu 0–1 000 $\mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$).

- Novější verze přístroje Elsec, kromě uvedených možností měření intenzity a dávky UV záření ve spektrálním rozsahu 300–400 nm a podílu UV záření, umožňuje i měření intenzity osvětlení (lx).

3) Přístroje firmy International Light, Newburyport, MA, USA (zastoupení v ČR není, kontakt International Light, Starna Wien, Postfach 9, A-3403 Klosterneuburg, Skallgasse 20, Rakousko).

- IL 1700 Research Radiometer – základní přístroj s řadou výměnných čidel pro měření fotometrických i radiometrických veličin (intenzity) ve spektrálním rozsahu od 250 nm do 1 000 nm.

7.3.2 Přístroje na měření spektrálního složení světla

Intenzitu ozáření nebo intenzitu osvětlení lze měřit snadno, ale podrobné zjišťování spektrálních charakteristik světla nebo záření je obtížnější. Větší spektrální změny lze bez velkých nákladů zjistit běžnými metodami měření za použití pyranometrů a selektivních filtrů. Ke zjištění podrobných spektrálních charakteristik záření je nutné použít laboratorní spektrometrické přístroje, jež mívají pouze výrobci světelných zdrojů a národní metrologické a specializované vědecké instituce.

* Existují i tzv. chemické aktinometry, využívající principu, že v aktinometrickém roztoku, např. na bázi ferrioxalátu draselného, dochází fotochemickou reakcí ke vzniku železnatých iontů, jejichž koncentrace je přímo úměrná celkovému množství absorbované energie záření /7.4/.

Představitelem přenosných přístrojů na měření kolorimetrických charakteristik zdrojů světla (trichromatických souřadnic a barevných rozdílů ve všech běžně používaných kolorimetrických soustavách (CIELUV, CIELAB apod.) pro normálního – 2° pozorovatele podle CIE), jež umožňuje vzájemné přepočty mezi jednotlivými veličinami, avšak bez zobrazení spektrální charakteristiky, je výrobek firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno).

- Chroma Meter CL–100.

Přístroje na měření spektrálních charakteristik odraznosti či prostupu pevných i kapalných vzorků, filtrů apod. jsou již v praxi používány častěji. Nejpřesnější jsou laboratorní spektrofotometry, umožňující měření ve spektrálním rozsahu od 180 nm do 2 500 až 3 000 nm i více.

Existují i přenosné přístroje na měření spektrálních charakteristik, pouze však na měření odrazných vzorků. Typickým představitelem této skupiny přístrojů jsou výrobky firmy Minolta Camera CO., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno).

- Spektralphotometer CM–1000.
- Spektralphotometer CM–2002.

Tyto přístroje umožňují měření spektrálních charakteristik vzorků v odraženém světle ve spektrálním rozsahu 400–700 nm a jejich orientační zobrazení na vlastním displeji nebo propojení s počítačem a odpovídající zobrazení a zpracování dat, tj. výpočet trichromatických souřadnic a barevných rozdílů ve všech běžně používaných kolorimetrických soustavách (CIELUV, CIELAB apod.) pro všechna v praxi používaná smluvní (referenční) světla podle CIE (A, C, D₆₅, D₅₀ a fluorescenční zdroje řady F) a pro oba typy pozorovatelů podle CIE (normálního – 2° i doplňkového – 10°), jakož i vzájemné přepočty mezi jednotlivými veličinami.

7.3.3 Přístroje na měření barevných (kolorimetrických) charakteristik a barevných rozdílů

Do této skupiny přístrojů lze zahrnout všechny přístroje uvedené v 7.3.2 a dále jednodušší přenosné přístroje určené k měření v odraženém i procházejícím světle, které kromě zobrazení spektrální charakteristiky měřených vzorků umožňují měřit, zpracovávat a vytisknout prakticky všechny kolorimetrické charakteristiky, uvedené v 7.3.2.

Typickými představiteli těchto přístrojů jsou výrobky firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno):

Přístroje pro měření pevných vzorků v odraženém světle

- Chroma Meter, řada CR–200.
- Chroma Meter, řada CR–300.

Jednotlivé varianty těchto přístrojů se liší velikostí měřené plochy, geometrií osvětlujícího a měřícího (od vzorku odraženého) světelného svazku, některé jsou určeny k měření vysoce lesklých povrchů apod.

Přístroje pro měření kapalných vzorků na prostup

- Chroma Meter CT–100.
- Chroma Meter CT–210.
- Chroma Meter CT–310.

7.3.4 Přístroje na měření teploty chromatičnosti světla

Přístroje na měření teploty chromatičnosti světla (viz kapitola 3.0, tabulka 3.4) jsou relativně jednoduché přístroje, umožňující měřit barvu světla vyjádřenou v kelvinech (K). Tyto přístroje jsou přednostně určeny k měření teplotních zdrojů (denní světlo a světlo žárovkových zdrojů), neboť pracují na principu porovnání podílu energie v modré a červené oblasti viditelného spektra. Některé z nich však umožňují měření i v zeleno-červené oblasti viditelného spektra a právě z podílu zelené oblasti lze usuzovat na to, jak se daný zdroj světla liší od zdroje teplotního.

Typickými a v praxi nejčastěji používanými přenosnými přístroji na měření teploty chromatičnosti jsou:

- 1) Přístroj firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno).
 - Minolta ColorMeter, měřicí rozsah 2 500 K až 12 500 K.
- 2) Přístroj firmy Gossen GmbH, Erlangen, SRN (zastoupení v ČR: Panter s. r. o., Vinohradská 90, Praha 3).
 - Colormaster 2F a 3F, měřicí rozsah 2 000 K až 40 000 K.

7.3.5 Přístroje na měření intenzity osvětlení (osvětlenosti)

Tyto přístroje – luxmetry – měří intenzitu osvětlení v lx. Za kvalitní luxmetr je pokládán přístroj, jehož spektrální citlivost odpovídá spektrální citlivosti lidského oka (viz kapitola č. 2, tabulka č. 2.2 a obrázek č. 2.1) a jeho receptor je opatřen tzv. kosinusovým korektorem, což je nástavec ve tvaru přibližně kulového vrchlíku z rozptýlného světlopropustného materiálu, eliminující směrovou (úhlovou) chybu při šikmém dopadu světla.

Podle /7.5/ se luxmetry zařazují do čtyř tříd přesnosti: 1, 2, 3 a 4, označených písmeny L, A, B a C. Uvedeným třídám přesnosti odpovídají nejvyšší přípustné celkové chyby luxmetrů 2 %, 5 %, 10 % a 20 %. Luxmetry, vyhovující třídě přesnosti 1 a 2 se využívají jako sekundární etalony a pro přesná měření osvětlenosti prostorů s vysokými nároky na zrakový výkon a pro přesná laboratorní měření. Pro běžná provozní měření osvětlenosti postačují přístroje třídy přesnosti 3 a 4.

Ke kvalitním luxmetrům třídy přesnosti 1, popř. 2 patří například laboratorní digitální luxmetr B 510 firmy LMT Lichtmesstechnik, SRN s rozsahem 0,001 lx až 500 000 lx nebo laboratorní digitální luxmetr firmy PRC Krochmann, SRN s měřicím rozsahem 0,0001 lx až 200 000 lx.

Luxmetry třídy přesnosti 3 a 4 určené pro provozní měření vyhovují požadavkům běžného měření osvětlenosti a jsou plně postačující i pro světelně-technická měření v archivech, muzeích a galeriích. Tyto luxmetry bývají většinou konstrukčně řešeny s delším stíněným kabelem mezi receptorem a vlastním měřicím přístrojem, aby výsledky měření nebyly ovlivněny při čtení údajů obsluhou. Malé kapesní luxmetry s vestavěným receptorem jsou proto použitelné skutečně jen pro orientační měření.

Do kategorie luxmetrů pro provozní měření lze zařadit:

1) Digitální přístroje třídy přesnosti 3 firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno).

- Illuminance Meter T-1, měřicí rozsah 0,01 lx až 300 000 lx.
- Illuminance Meter T-1M, měřicí rozsah 0,01 lx až 300 000 lx s odděleným fotočlánkem o průměru cca 14 mm.
- Illuminance Meter T-1H, měřicí rozsah 0,1 lx až 999 000 lx.

Přesnost přístrojů je podle výrobce $\pm 2 \% \pm 1$ digit.

2) Digitální přístroj třídy přesnosti 3 firmy Gossen GmbH, Erlangen, SRN (zastoupení v ČR: Panter s. r. o., Vinohradská 90, Praha 3).

- Mavolux digital, měřicí rozsah 0,1 lx až 199 000 lx, s odděleným fotočlánkem.
Přesnost přístroje je podle výrobce $\pm 2,5 \% \pm 1$ digit.
- 3) Digitální přístroje třídy 4 firmy Beha, SRN (Prodej v ČR: ELTI, M. Horákové 76, Praha 7).
 - Unitest Digitales Luxmeter, měřicí rozsah 0,1 lx až 20 000 lx, selenový oddělený fotočlánek, přesnost $\pm 5 \%$.
 - Unitest Digitales Luxmeter, měřicí rozsah 0,1 lx až 200 000 lx křemíkový oddělený fotočlánek, přesnost $\pm 3,5 \%$.
- 4) Digitální přístroj třídy přesnosti 4 firmy Metra Blansko a. s., ČR (Prodej v ČR: ELTI, M. Horákové 76, Praha 7).
 - Luxmetr PU 550, měřicí rozsah 0,1 lx až 100 000 lx, oddělený fotočlánek.

7.3.6 Přístroje na měření osvitu

Přístroje na měření osvitu (součinu intenzity osvětlení a doby působení světla – v lx.s) se prakticky na trhu nevyskytují, i když pro archivy, muzea a galerie je tento druh přístroje potřebný, neboť jím lze dlouhodobě monitorovat osvit exponátu bez přítomnosti obsluhy. Nezastupitelnou úlohu mají tyto přístroje ve výstavních prostorách s denním proměnným světlem.

Pozn.: Tento typ přístrojů byl do roku 1994 vyráběn v bývalém Výzkumném ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky (VÚZORT) v Praze pod označením Megalux v řadě obměn rozsahu měření (lx.s, lx.hod, klx.hod, Mlx.hod), tedy pro monitorování osvitu exponátů v krátkých časových intervalech až po měsíční či roční intervaly. Přístroj byl vyráběn s vestavěným i odděleným fotočlánkem malých rozměrů, vhodným pro umístění do vitrín apod. Nástupnickou firmou VÚZORT je firma SONING Praha a. s., Plzeňská 66, Praha 5.

7.3.7 Přístroje na měření jasu

Přístroje na měření jasu – jasoměry se používají ve sledovaných prostorách k měření rozložení jasů, jasového kontrastu a při měření zdrojů oslnění. Tato měření, zvláště měření jasu oslnujících zdrojů, mají svá opodstatnění i ve výstavních prostorách, studovnách a čítárnách archivů, knihoven, muzeí a galerií. Jasoměry umožňují měřit jas velmi malých ploch (měřicí úhel od $2'$ do 10° , nejčastěji 1°) z místa pozorovatele. Podle doporučení CIE /7.5/ se jasoměry dělí do čtyř tříd přesnosti, označených písmeny L, A, B a C, jimž odpovídají největší přípustné chyby měření 5 %, 7,5 %, 10 % a 20 %.

Kvalitní jasoměry nejvyšších tříd přesnosti vyrábí například firma Spectra Pritchard, USA, firmy PRC Krochmann a Lichtmesstechnik, SRN. Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko.

Zde uvádíme pouze ruční přístroje vhodné pro provozní měření, jež jsou snadno přenosné a splňují požadavky na běžná světelně-technická měření a jež jsou, kromě jiného, i cenově dostupné. Jsou to:

1) Digitální přístroj třídy přesnosti 2 až 3 firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno).

- Luminance Meter LS-100, měřicí úhel 1° , měřicí rozsah 0,001 až 299 900 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$, přesnost $\pm 2 \% \pm 1$ digit.
- Luminance Meter LS-110, měřicí úhel $1/3^\circ$, měřicí rozsah 0,01 až 999 900 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$, přesnost $\pm 2 \% \pm 1$ digit.

Pro orientační měření jasových hodnot jsou postačující (a především cenově dostupné) ruční přístroje, určené primárně pro exponometrická měření ve fotografické, kinematografické a televizní praxi. Tyto digitální přístroje s měřicím úhlem 1° indikují měřené hodnoty jasu v jednotkách EV (Exposure Value) s přesností 0,1 EV a změna jasu o 1 EV odpovídá změně jasu vždy dvakrát, přičemž vztah mezi jednotkami EV a standardními jednotkami jasu ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) je pevně dán a mezinárodně standardizován. Tyto přístroje měří spolehlivě hodnoty jasu v rozsahu od 1 do 20 EV, což odpovídá přibližně rozsahu jasů 0,28–150 000 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Do této skupiny lze zařadit:

1) Digitální přístroj firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko (zastoupení v ČR: Minolta Brno).

- Spotmeter F, měřicí úhel 1° , měřicí rozsah 1,0–22,5 EV, přesnost měření 0,1 EV.

2) Digitální přístroj firmy Gossen – Metrawatt GmbH, Nürnberg, SRN (zastoupení v ČR: Panter s. r. o., Vinohradská 90, Praha 3).

- Spot-Master 2, měřicí úhel 1° , měřicí rozsah 1,0–22 EV, přesnost měření 0,1 EV.

LITERATURA

/7.1/ ČSN EN ISO 105-B01: Textilie – Zkoušky stálobarevnosti. Část B01: Stálobarevnost na denním světle.

/7.2/ ČSN EN ISO 105-B02: Textilie – Zkoušky stálobarevnosti. Část B02. Stálobarevnost na umělém světle. Zkoušky xenonovou výbojkou.

- /7.3/ ČSN EN 20105-A02 (80 0119): Zkoušky stálobarevnosti. Část A02: Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu.
- /7.4/ ČSN 77 0338: Stanovení ochranné účinnosti plastových obalových prostředků proti viditelnému a ultrafialovému záření.
- /7.5/ Doporučení CIE: Illuminance Meters and Luminance Meters, 1983.

8 FOTOCHEMICKÁ DEGRADACE ARCHIVNÍCH MATERIÁLŮ

Ing. Jiří Neuvirt, Csc.

Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.

Ing. Hana Paulusová

Dr. Ing. Michal Ďurovič

8.1 PAPÍR

Ing. Jiří Neuvirt, CSc.

Mechanická pevnost papíru, aniž bychom zacházeli do detailů, je dána pevností a délkou vláken buničiny použité k výrobě papíru a dále hustotou mezivláknenných vazeb. Tyto vazby jsou tvořeny fibrilami, které se vytvářejí při mletí. Hlavní složkou vláken a nositelem pevnosti papíru je celulóza, což je lineární makromolekula tvořená D-glukopyranózovými jednotkami propojenými v polohách 1 a 4 β -glukosidickou vazbou. Ze sterického hlediska je opakující se jednotkou dvojice anhydroglukosových jednotek, která se nazývá celobióza. Čím je vyšší stupeň polymerace této makromolekuly, tím větší je pevnost vlákna. Všechny procesy, při kterých se stupeň polymerace snižuje, vedou k poklesu pevnosti.

Vlákno kromě celulózy obsahuje větší nebo menší množství příměsí v závislosti na původu vlákna a technologii jeho izolace. Nejčastěji jde o ligninové látky, hemicelulózy, zbytky chemikálií použitých v procesu izolace a bělení vláken a látek použitých při výrobě papíru (klíždla, fixační prostředky, plnidla, barviva apod.). Nakonec při použití papíru se na jeho povrch aplikují tiskové barvy a inkousty. Za příměs lze považovat i makromolekulu celulózy chemicky modifikovanou v procesu výroby buničiny. V průběhu várky a bělení vznikají z celulózy a hemicelulóz pentózy, hexózy a hexuronové kyseliny, které dále reagují a vedou podle podmínek várky ke vzniku fenolů, enolů a furanových derivátů, které jsou vedle ligninu významnými prekursory fotožloutnutí¹. Přehled starší literatury (do roku 1967) tematicky přehledně roztríděné zpracoval Desai² novější týkající se fotooxidace Havermans⁴⁵.

8.1.1 Fotodegradace celulózy

Fotodegradace je proces, při kterém absorpcí záření dochází ke zvýšení energie molekul ozářené hmoty, to vede k zahájení chemických reakcí, jejichž důsledkem je pokles stupně polymerace. Důležitou roli při tom hrají volné radikály. Ty vznikají buď přímou fotolýzou chemických vazeb, nebo reakcí excitovaných molekul. Přímá fotolýza vazeb v molekule celulózy vyžaduje záření s dostatečnou energií a jeho vlnová délka spadá do UV oblasti. Vztah mezi vlnovou délkou a energií záření a energií jednotlivých vazeb v molekule celulózy je uveden v *tabulce 8.1.1*³.

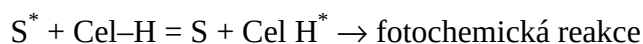
Tab. 8.1.1

Vlnová délka [nm]	Energie [kJ/mol]	Disociace vazby
200	599	O–H
253,7	473	
280	427	
286	419	
288,9	414	C–H
300	398	
307,5	389	C–O
325	368	
340	352	C–C
345	348	
360	331	
400	302	

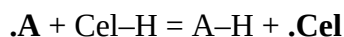
Z tabulky je patrné, že z energetického hlediska stačí k disociaci vazeb v celulóze záření o vlnové délce kratší než 345 nm.

Důležité je, že záření musí být nejprve absorbováno a pak může způsobit fotochemické změny. Vyčištěná celulóza vykazuje jen velmi slabou absorpci v oblasti mezi 200 a 300 nm s maximem u 260 nm^{4,5}. Tento absorpční pás je přisuzován acetálovým skupinám nebo ketonovému karbonylu v celulóze.

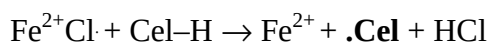
Při sledování vzniku volných radikálů v celulóze v závislosti na vlnové délce záření⁴ se ukázalo, že vlivem záření nad 340 nm v čisté celulóze žádné nevznikají, tedy nedochází k přímé fotolýze. Pokud jsou ale přítomny příměsi absorbující při vyšších vlnových délkách, může být tato energie využita k fotolýze celulózy³. Pak mluvíme o fotosenzibilované reakci nebo o nepřímé fotolýze celulózy způsobené přenosem energie excitovaného stavu příměsi S na celulózu a následnou fotochemickou reakcí:



nebo v příměsi A vznikne po excitaci radikál **.A**, který zreaguje s celulózu za vzniku radikálu **.Cel** v molekule celulózy:



Mezi nejúčinnější senzibilátory patří železitý iont, který s celulózu tvoří komplex s významným absorpčním pásem u 365 nm, jak vyplývá ze studia modelových sloučenin⁶. Předpokládaný mechanismus jeho působení je následující³:



Zde nejen vznikne volný radikál na celulóze, ale generuje se i kyselina příslušného aniontu, která také přispívá k degradaci hydrolytickým účinkem.

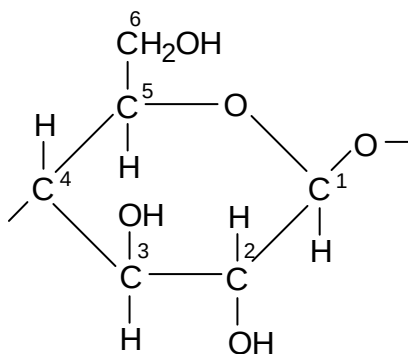
Identifikací volných radikálů, které vznikají při ozařování celulózy zářením o různé vlnové délce, se zabýval Hon³. Použil čistou celulózu izolovanou z osiky a celulózu s příměsí železitých iontů jako senzibilátoru. Jeho výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.1.2. Odpovídají ozařování ve vakuu a při teplotě kapalného dusíku.

Tab. 8.1.2 Přehled existence celulóзовých radikálů vznikajících při ozařování celulózy.

	Radikál									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Charakter vzorku celulózy a záření	H ·C1	O. C1		OH ·C2	OH ·C3	OH ·C6	H ·C5	H ·C=O	H.	HO.
Čistá celulóza $\lambda > 340$ nm	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Čistá celulóza $\lambda > 280$ nm	+	+	+	+	+	+	–	–	+	–
Čistá celulóza $\lambda > 253$ nm	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–
Senzibilovaná $\lambda > 340$ nm	–	+	+	+	+	+	–	–	–	+
Senzibilovaná $\lambda > 280$ nm	–	+	+	+	+	+	–	–	–	+
Senzibilovaná $\lambda > 253$ nm	–	+	+	+	+	+	–	–	–	+

Symbol + označuje výskyt příslušného radikálu.

Číslice u značky uhlíkového atomu v tabulce označuje polohu uhlíku v pyranovém kruhu anhydroglukózové jednotky celulózy:



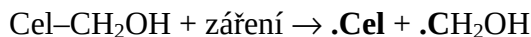
Radikál 1 a 2 vzniká při rozštěpení glukosidické vazby, které vede ke zkrácení řetězce celulózy:



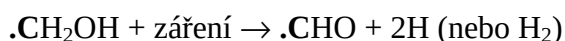
Radikál 3, 4, 5 a 6 vzniká odtržením vodíkového atomu:



Rozštěpením vazby C5–C6 se vytváří radikál 7 a současně hydroxymetylový radikál $\cdot\text{CH}_2\text{OH}$:



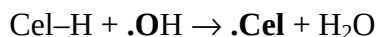
Radikál $\cdot\text{CH}_2\text{OH}$ se fotolýzou rychle rozpadá na formylový radikál 8 a vodíkový atom 9:



Absorpcí světla nebo zahřátím formylový radikál disociuje:



V plynných produktech vzniklých ozařováním celulózy lze vodík a oxid uhelnatý dokázat⁴. Hydroxylový radikál 10, který může vzniknout odtržením z molekuly celulózy, je velmi pohyblivý a nestálý. Předpokládá se, že rychle reaguje s celulózou za vzniku nového radikálu po odštěpení labilního vodíku z celulózy:



Je zřejmé, že pro čistou celulózu je kritickou oblastí vlnových délek rozmezí mezi 280 a 340 nm, kde začínají probíhat fotochemické reakce s účastí volných radikálů. Je to záření, které je zastoupeno v denním světle i ve světle zářivek (do 6 %).

V celulóze s obsahem příměsí se senzibilačním účinkem dochází k tvorbě volných radikálů i při ozáření vlnovými délkami většími než 340 nm.

8.1.1.1 Vliv teploty

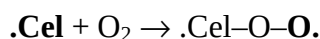
Výše uvedené skutečnosti se týkají celulózy ozařované ve vakuu a při teplotě kapalného dusíku (77 K). Jakmile se přiblížíme k reálným podmínkám a ozařování probíhá při teplotě 20 °C nebo vyšší, dochází k transformaci volných radikálů. V celulóze jde o reakci⁷:



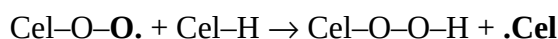
Kromě toho pohyblivé radikály mají při vyšších teplotách tak krátkou dobu života, že je již nejsme schopni detekovat. To ale neznamená, že v systému neexistují a nevstupují do chemických reakcí.

8.1.1.2 Vliv kyslíku

Další důležitou složkou reálného prostředí je přítomnost kyslíku. Kyslík v základním stavu velmi snadno vstupuje do reakce s volnými radikály a přispívá k jejich propagaci. Jde o následující reakce, kde $\cdot\text{Cel}$ reprezentuje radikál vzniklý odtržením vodíkového atomu z molekuly celulózy Cel-H ⁸⁻¹⁰:

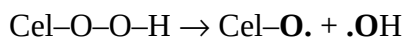


Při zvýšení teploty na 273 K jsou peroxidové radikály spotřebovány reakcí probíhající zejména na C-H skupině geminální k sekundární alkoholické skupině za vzniku peroxisloučeniny:



Další možností terminace peroxidového radikálu je rekombinace s radikálem lokalizovaným na některém uhlíku v molekule celulózy.

Peroxisloučenina Cel-O-O-H se poměrně snadno rozkládá zejména působením světla za vzniku volných radikálů:

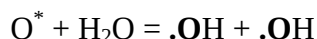


Tyto radikály štěpí celulóзовý řetězec a lze předpokládat, že jsou i původci vzniku karbonylových a karboxylových skupin.

Na tomto místě je nutno podotknout, že celulóзовý radikál lokalizovaný na kyslíku (alkoxyradikál) $\text{Cel-O}\cdot$ je vůči kyslíku inertní¹⁰ a dále, že fotooxidace probíhá zejména v amorfních oblastech celulóзовého vlákna¹¹.

Kyslík v excitovaném stavu

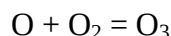
Vlivem UV záření obsaženém v denním světle na zemském povrchu vzniká v znečištěném ovzduší kyslík v singletovém excitovaném stavu $^1(\Delta_g)$, jehož doba života je 45 minut¹² a je velmi reaktivní. Snadno reaguje se sloučeninami s dvojnou vazbou za vzniku peroxidů, jejichž rozklad vede k již zmíněné degradaci polymerního řetězce¹². Atomární kyslík v excitovaném stavu je schopen reagovat s vodními parami za vzniku velmi reaktivních hydroxylových radikálů:



jejichž reakce s celulóзou již byla popsána výše.

Mechanismus vzniku atomárního kyslíku v excitovaném singletovém stavu v znečištěném ovzduší lze popsat následovně¹³:

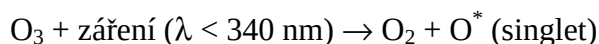
Nejobvyklejším znečištěním je oxid uhelnatý a oxid dusičitý. Fotolýzou oxidu dusičitého vzniká oxid dusnatý a atomární kyslík, který okamžitě reaguje s molekulou vzdušného kyslíku na ozón:



Poněkud složitější je vznik ozónu z přítomného oxidu uhelnatého. Reakce je vícestupňová, ale výsledek lze popsat následující rovnicí¹³:



Vzniklý ozón též podléhá fotolýze, a pokud má záření vlnovou délku kratší než 340 nm, vzniká kyslík v excitovaném singletovém stavu.



Je to jeden z mechanismů, kterým lze vysvětlit daleko zhoubnější degradaci celulózy při ozáření v průmyslové aglomeraci, než při ozáření ve volné přírodě.

8.1.1.3 Vliv vlhkosti

Při ozařování vlnovými délkami kolem 254 nm vlhkost zpomaluje fotodegradaci zřejmě vlivem ochranného působení vodíkových vazeb. Působením vlnových délek větších než 330 nm se zvýšení vlhkosti projeví zrychlením fotodegradace. Degradace byla v tomto případě sledována jako pokles stupně polymerace a snížení obsahu alfacelulózy¹⁴.

Množství volných radikálů vznikajících ozařováním celulózy klesá s rostoucím obsahem vlhkosti na méně než poloviční hodnotu v intervalu vlhkosti 0–7 %. Při dalším zvyšování vlhkosti množství radikálů rychle roste a dosahuje výchozí hodnoty při vlhkosti 10 % a pak nadále pozvolna stoupá¹⁵. Zde je namístě připomenout, že vlhkost odpovídající minimu obsahu radikálů přibližně odpovídá rovnovážnému obsahu vlhkosti v laboratorních podmínkách.

8.1.2 Fotodegradace ligninu

Významnou složkou v papírenské buničině je kromě celulózy lignin, který celulózu vždy doprovází ve větším nebo menším množství. Struktura ligninu není podrobně známa, ale na základě identifikovaných strukturních uskupení existuje její návrh¹⁶. Je to vysokomolekulární sloučenina, v níž základní stavební jednotkou je *fenylpropanový skelet*. Fenylová skupina je obvykle substituována v polohách 3 a 5 hydroxylovou nebo metoxylovou skupinou a v poloze 4 je nejčastěji vázána přes kyslíkový můstek na některý uhlík propylové skupiny následující jednotky. Propylová skupina je místem, kde nejčastěji dochází k větvení, neboť k zmíněnému připojení fenylových skupin může dojít současně na více uhlících jedné propylové skupiny. Lignin proto na rozdíl od celulózy není lineární molekula. Uhlíky propanové skupiny mohou být kromě toho substituovány hydroxylem nebo vystupovat jako karbonyl.

Vzhledem ke své struktuře je lignin citlivý ke světlu. Řada chromoforů v něm vzniká až při vaření buničiny, zejména při alkalických postupech. Jde o chinonové

a stilbenové deriváty, které snadno podléhají dalším reakcím působením světla a kyslíku¹⁷. Absorpční pásy ligninových chromoforů zasahují z UV oblasti daleko do oblasti viditelného záření. Absorpcí záření dojde k aktivaci ligninové molekuly a k iniciaci chemických reakcí, které vedou k přeměně chromoforových skupin. Pokud je přeměna taková, že ubude skupin absorbujících ve viditelné části spektra, pak dojde k „vybělení“ a pokud naopak těchto chromoforů přibude, dojde ke snížení bělosti u zkoumaného materiálu. Bylo zjištěno, že záleží na složení ozařujícího záření, který efekt převládne. U brusné dřevoviny záření s vlnovou délkou menší než 396 nm způsobuje žloutnutí, kdežto záření v modré oblasti asi do 520 nm způsobuje vybělení¹⁸.

Záření o vlnové délce > 340 nm generuje v ligninu i v buničině obsahující lignin volný fenoxylradikál, který pochází z molekuly ligninu. Na druhé straně existence volných radikálů, vzniklých disociací vazeb v celulóze působením záření s vlnovou délkou kratší než 340 nm, je přítomností ligninu omezena. To lze vysvětlit tím, že lignin ovlivňuje přenos energie v systému a zejména jí snadno lokalizuje do oblasti konjugovaných vazeb, čímž je ochráněna molekula celulózy⁹.

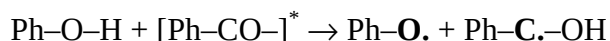
Tyto skutečnosti vrhají nové světlo na úlohu ligninu ve vztahu k trvanlivosti papíru^{19–22}. Stále se vedou diskuze o jeho prospěšnosti či škodlivosti.

8.1.2.1 Žloutnutí

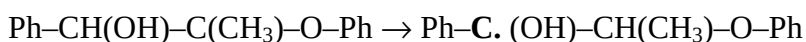
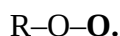
Žloutnutí papírů způsobené tepelným stárnutím je prakticky nezávislé na obsahu ligninu, ale hlavní roli zde hraje hodnota pH²⁰. Na druhé straně pokud jde o ztrátu bělosti působením světla, není pochyb o tom, že lignin tuto vlastnost zhoršuje. Výrobci vysokovýtěžkových buničin, které mají zvýšený podíl ligninu, vynakládají nemalé prostředky na výzkum možností omezit sklon těchto buničin ke ztrátě bělosti. Proto existuje velké množství prací, které se na modelových sloučeninách charakterizujících strukturní jednotky v ligninu snaží odhalit mechanismus žloutnutí působením světla. Jejich soupis je uveden v přehledných člancích^{17,23–25}.

Dosavadní znalosti lze shrnout následovně. Ukazuje se, že fotožloutnutí mechanických a vysokovýtěžkových buničin je způsobeno fotooxidací ligninu ve stěně vlákn. Východiskem pro tuto reakci je vznik již zmíněného fenoxylvého radikálu a jeho následná oxidace za vzniku chinonových sloučenin²⁶, jejichž absorpce zasahuje viditelnou oblast spektra. Fenoxylový radikál vzniká v ligninové molekule minimálně čtyřmi reakčními cestami:

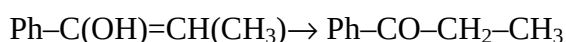
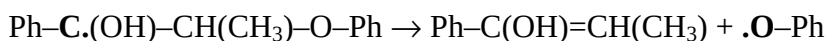
- Přímou absorpcí UV záření konjugovanými fenolickými skupinami.
- Odtržením vodíku z blízké fenolické OH skupiny excitovaným aromatickým karbonylem (Ph-CO-) v tripletovém stavu, kdy vznikne dvojice volných radikálů – fenoxylový a ketyllový.



- Pokud jsou fenolické vodíky substituovány, může dvojice fenoxylového a fenacylového (Ph-CO-CH₂-R) radikálu vzniknout rozštěpením fenacyl-alfa-O-aryléteru.
- Ve strukturní jednotce, ve které není ani fenolický vodík ani karbonyl na aromatickém jádře, může fenoxylový radikál vzniknout odštěpením benzylového vodíku peroxylovým nebo alkoxylovým radikálem za vzniku ketyllového volného radikálu²⁷:



- V němž se následně rozštěpí v místě éterového můstku beta-O-4-aryléterová vazba za vzniku fenoxylového radikálu a příslušného aryl-1-propanonu:



8.1.2.2 Vliv na pevnost

Z hlediska odolnosti vůči urychlenému stárnutí teplem je rychlost degradace pevnostních vlastností jednoznačně nižší u papírů s vyšším obsahem ligninu připravených za jinak srovnatelných podmínek, což se týká zejména hodnoty pH^{19,20,28,29}. Pokud jde o vliv světla, existuje zatím málo prací, které se zabývají vlivem obsahu ligninu v papíru na fotodegradaci pevnostních vlastností. V jedné z těchto prací³⁰ byl laboratorně připraven papír s rostoucím podílem mechanické buničiny (0–50 %). Bez ohledu na obsah ligninu v papíru se rychlost poklesu pevnosti v dvojohybech působením UV záření nemění³⁰. Problémem je, že výchozí pevnost papíru s vysokým obsahem ligninu je nízká a její další snižování v důsledku degradace

narazí dříve na hranici únosnosti, než je tomu v případě papíru, jehož pevnost je na počátku dostatečně vysoká.

Často se spekuluje o souvislosti žloutnutí papíru a degradace jeho pevnostních vlastností. Pokud je žloutnutí způsobeno pouze změnami ligninové molekuly, je pevnost papíru ovlivněna minimálně. Je-li žloutnutí důsledkem degradace molekuly celulózy, pak je korelace mezi ztrátou bělosti a ztrátou pevnosti vysoká²⁰.

8.1.3 Hemicelulózy

Hemicelulózy jsou polysacharidické látky, kde na rozdíl od celulózy jsou stavebními jednotkami řetězce různé monosacharidy, nejčastěji D-xylóza, D-manóza, D-glukóza, D-galaktóza, L-arabinóza, kyselina 4-O-methyl-D-glukuronová a v malé míře některé další deriváty monosacharidů. Stupeň polymerace je oproti celulóze nižší (většinou 100 až 200) a polymerní řetězec může být i rozvětvený. Ve struktuře vláken se většinou vyskytují v amorfním podílu a dají se snadno hydrolyzovat zředěnými kyselinami, nebo extrahovat zředěnými zásadami³¹.

O hemicelulózách je známo, že jsou hlavní příčinou ztráty bělosti bělených buničin působením tepla^{32,33}. Na druhé straně vliv hemicelulóz na ztrátu bělosti působením světla je srovnatelný s chováním celulózy s tím, že se může projevit efekt zvýšené teploty, pokud dojde k jejímu nekontrolovatelnému zvýšení v průběhu ozařování³². Jak již bylo zmíněno u celulózy, v průběhu várky a bělení vznikají z hemicelulóz pentózy, hexózy a hexuronové kyseliny, které dále reagují a vedou podle podmínek várky ke vzniku fenolů, enolů a furanových derivátů, které jsou vedle ligninu významnými prekursory fotožloutnutí³⁴.

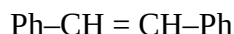
Degradace pevnosti vlivem záření v souvislosti s obsahem hemicelulóz zatím nebyla sledována, i když vzhledem k jejich úloze při vzniku mezivláčkových vazeb ji nelze pominout. Důležité je i to, že vyšší obsah hemicelulóz zvyšuje amorfní podíl, který je snáze přístupný degradaci.

8.1.4 Fluorescenční zjasňovací prostředky a ink-jet inkousty

Fluorescenční zjasňovací prostředky (FZP) jsou látky, které absorbují světlo v blízké UV oblasti (kolem 360 nm) a při přechodu do základního stavu emitují záření

ve viditelné oblasti (420–440 nm). Tím eliminují nažloutlý odstín papíru – zjasňují jej. V současnosti všechny tiskové papíry tyto prostředky obsahují.

Chemicky jsou papírenské FZP většinou stilbenové deriváty:



kde fenyly jsou substituovány v poloze 2 sulfoskupinou $-\text{SO}_3\text{H}$ a v poloze 4 triazinovým cyklem, který obsahuje různé substituenty.

Zjasňovací efekt poskytují trans deriváty, které v zředěných roztocích na světle rychle podléhají trans-cis izomerizaci a dochází k poklesu zjasňovací účinnosti.

Z fotochemického hlediska to jsou látky citlivé na světlo. Absorpcí UV složky záření dochází k jejich postupnému rozkladu na složky, které nemají fluorescenci, a po určité době ozařování je jejich efekt zvýšení bělosti eliminován^{35–37}.

Některé deriváty prokazatelně fotoiniciují vznik excitovaného kyslíku v singletovém stavu a jiné jej likvidují³⁸. Přesto u papíru dosud nebyla prokázána fotodegradace mechanických vlastností v souvislosti s obsahem FZP.

Masová produkce dokumentů prostřednictvím počítačových tiskáren a kopírek vyvolala otázku o vlivu inkoustů a tonerů na degradaci papírové podložky. Nedávno publikovaná práce³⁹ ukazuje, že interakce těchto látek s papírem vede ke zhoršení mechanické pevnosti, zejména při stárnutí světlem (Xenotest), až o 20 %. Výjimkou jsou papíry potištěné s použitím suchého toneru.

8.1.5 Ostatní pomocné prostředky

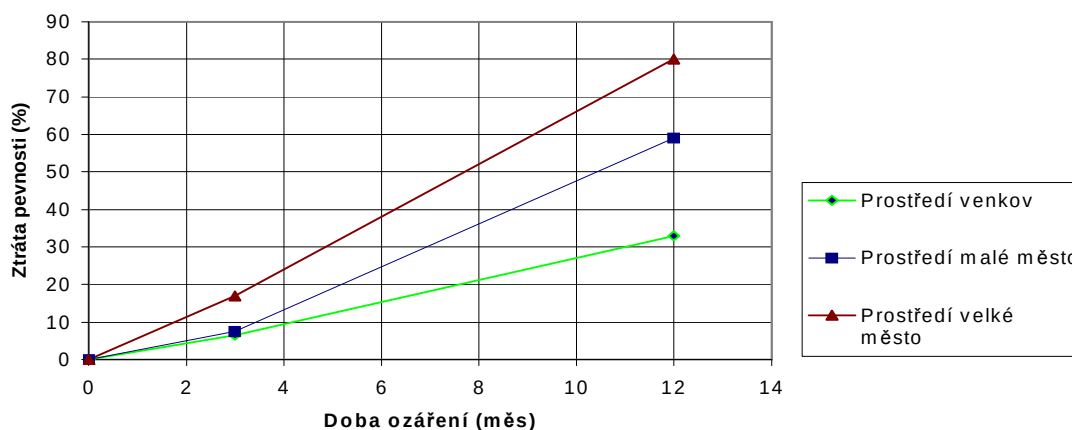
Jsou to retenční prostředky a klíždla. U těchto látek byl především studován jejich vliv na tepelné stárnutí papíru. Vliv světla se posuzuje pouze z hlediska ztráty bělosti. Z retenčních prostředků nejvíce zhoršují světlostálost, ale i výchozí bělost kationické prostředky, a nejméně neionogenní. U klíždla jsou nejvhodnější pro zachování bělosti alkylketendimerová klíždla, která klíží v neutrální nebo alkalické oblasti³⁷.

8.1.6 Ilustrativní výsledky ozařovacích testů

Mechanické poškození vyjádřené poklesem pevnostních vlastností je závislé na podílu UV složky záření, zejména vlnových délek pod 340 nm. To je patrné z výsledků stárnutí bavlněné příze (reprezentant „čisté“ celulózy) na přímém denním

světla a pod sklem, které odfiltruje záření o vlnové délce kratší než 320 nm⁴⁰. Poškození příze chráněné sklem je o 30 až 50 % menší. Významnou roli však hraje i čistota ovzduší, zejména obsah oxidů síry a dusíku, případně ozón a volné radikály. Tento vliv je patrný porovnáme-li poškození bavlněné tkaniny celoročně vystavené dennímu světlu ve venkovské krajině a v prostředí velkoměsta.

Závislost fotodegradace na prostředí



Zatímco ve venkovském prostředí klesne pevnost zhruba na 66 % původní hodnoty, ve velkém městě klesne na 20 %. Přitom lze předpokládat, že v městském prostředí bude podíl UV záření v dopadajícím světle nižší v důsledku většího výskytu smogu. Průběh degradace je patrný z připojeného obrázku.

V roce 1993 publikovali Buschle-Diller a Zeronian studii o vlivu uměle vnesených aldehydových, hydroxylových a karboxylových skupin do řetězce celulózy na její fotodegradaci⁴¹. Odhlédneme-li od drobných rozdílů, lze říci, že vnesení těchto skupin do molekuly celulózy zásadně urychlí její fotodegradaci prováděnou v přístroji Weather-Ometer (Atlas Electric Devices Co. USA) úměrně jejich obsahu. Emisní spektrum lampy je 280–700 nm. Kratší vlnové délky jsou odfiltrovány borosilikátovým sklem. Ozařování bylo prováděno v cyklu 2 hod. Z toho 102 minut osvit a 18 minut tma. Teplota byla nastavena na maximum 49 °C při osvitu a 20 °C při tmě. Teplota kondicionální vody byla 30 °C po celou dobu.

Škodlivost krátkovlnného UV záření lze kvantitativně porovnat z údajů, které publikovali Yatagai a Zeronian⁴². Porovnali výsledky dvou ozařovacích pokusů s bavlněnou celulózou, kdy jeden pokus je proveden s xenonovou výbojkou s pláštěm z borosilikátového skla, který má hranici propustnosti 280 nm a druhý s výbojkou

s křemenným pláštěm s propustností do 190 nm. V prvním pokusu po 672 hodinách ozařování si bavlněná tkanina podržela 82 % původní pevnosti, kdežto v druhém případě za pouhých 72 hodin ozařování si zachovala 76 % pevnosti. Po 144 hodinách to již bylo jen 32 %. Toto záření v archivní praxi nepřipadá v úvahu.

Se zářením imitujícím sluneční záření na zemském povrchu ozařovali Jeong a Cho různé druhy papírů⁴³. Výsledky jsou uvedeny v *tabulce 8.1.3*.

Tab. 8.1.3 Vliv ozáření na pevnost v dvojohybech⁴³.

Ozařování Weather -O-Meter $\lambda > 280 \text{ nm}$ (hod)	Typ papíru a jeho plošná hmotnost – pevnost v dvojohybech			
	kaligrafický 20 g/m ²	kaligrafický 23 g/m ²	novinový 49 g/m ²	xeroxový 84 g/m ²
0	339	48	106	29
4	332	47	94	23
8	333	46	82	23
16	303	45	64	24
32	285	44	64	22

Velmi cenná z hlediska kvantifikace dávky záření je práce, kterou publikovali Lee, Bogaard a Feller⁴⁴. Používali výbojku imitující denní světlo, kterou v porovnávacích pokusech opatřili akrylátovým filtrem s ostrou absorpční hranou, který propustí méně než 5 % dopadající zářivé energie pod 400 nm. Bez filtru výbojka emituje z celkové vyzařované světelné energie asi 3,8 % v blízké UV oblasti. Různé papíry byly osvětleny dávkou 800 000 fcd hodin. Degradace vzorků byla hodnocena stanovením podílu rozpustného v horkém 1% louhu. Výsledkem je zjištění, že degradační proces celulózové molekuly nastává okamžitě bez nějaké indukční fáze. Pokud je po ozáření vzorek tepelně stárnut, probíhá tepelná degradace u ozářeného vzorku rychleji než u neozářeného. Asi po 10 dnech stárnutí se rychlosti vyrovnají. Odfiltrování UV složky záření snížilo tvorbu podílu rozpustného v horkém louhu přibližně na polovinu.

Literatura

1. Participation of carbohydrate-derived chromophores in the yellowing of high-yield and TCF pulps. Forsskahl I., Tylli H., Olkkonen C. 9th International Symposium

- on Wood and Pulping Chemistry: 1997: Oral presentations: K3-1–K3-4 (June 12, 1997; CPPA (= Canadian Pulp and Paper Association)).
2. Photodegradation of cellulosic materials – A review of the literature. Desai R. L. Pulp Pap. Mag. Can. 1968 (August 16), T322–T330.
 3. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. VIII. Mechanisms. Hon N.-S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 1976, 14, 2497–2512.
 4. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. I. Effect of wavelength. Hon N.-S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 1975, 13, 1347–61.
 5. Spectrophotofluorometric studies of degraded cotton cellulose. Toner S. D., Plitt K. F. Tappi 1962, 45(8), 681–688.
 6. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. IV. Effect of ferric ions. Hon N.-S. J. Appl. Polym. Sci. 1975, 19(10), 2789–97.
 7. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. V. Effect of temperature. Hon N.-S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 1975, 13, 2363–74.
 8. Kleinert T. N. Holzforschung 1964, 18, 24.
 9. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. VI. Effect of lignin. Hon N.-S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 1975, 13, 2641–52.
 10. Photooxidative degradation of cellulose: Reactions of the cellulosic free radicals with oxygen. Hon N.-S. J. Polym. Sci. A, Polym. Chem. Ed. 1979, 17, 441–454.
 11. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose and related compounds. Hon N.-S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 1976, 14, 2513–2525.
 12. Basic reactions in the photodegradation of some important polymers. Raanby B. J. Macromol. Sci., Pure Appl. Chem., 1993, A30(9–10), 583–94.
 13. Photooxidation of trace gases in the troposphere. Ehhalt D. H. Phys. Chem. Chem. Phys. 1999, 1, 5401–08.
 14. Launer H. F., Wilson W. K. J. Am. Chem. Soc. 1949, 71, 958.
 15. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose. II. Effect of moisture. Hon N.-S. J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 1975, 13, 955–9.
 16. Constitution and biosynthesis of lignin. Freudenberg K., Neish A. C. Mol. Biol. Biochem. Biophysics, Vol 2. Springer Verlag, Berlin, Hedelberg, 1968.
 17. On possible Chromophoric structures in wood and pulps – A survey of the present state of knowledge. Hon D. N.-S., Glasser W. Polym.-Plast. Technol. Eng. 1979, 12(2), 159–179.

18. Factors influencing light-induced yellowing and bleaching of spruce groundwood. Andtbacka A., Holmbom B., Gratzl J. S. Proceedings 5th ISWPC, Raleigh, NC, Vol. 1, 1989, 347–351.
19. The chemistry and physics of lignin relating to mechanical permanence of lignin-containing papers. Heitner C. Proceedings: ASTM Institute for Standards Research Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers, July 6–8, 1994, Philadelphia, PA: 72–85 (October 1994, ASTM Institute of Standards Research).
20. Optical properties of lignin-containing papers as they relate to paper permanence. Leary G. J., Zou X. Proceedings: ASTM Institute for Standards Research Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers, July 6–8, 1994, Philadelphia, PA: 86–101 (October 1994, ASTM Institute of Standards Research).
21. Photochemistry of cotton and chemically modified cotton. Part I: Behavior during exposure to carbon-arc and solar radiations. Daruwalla E. H., D'Silva A. P., Mehta A. C. Text. Res. J. 1967, 37(3), 147–160.
22. Pulp and Paper Research Institute of Canada – PAPRICAN Materiály k diskusi k návrhu normy ISO 9706 Papers for long-life documents, records and publications. Normalizační středisko IRAPA.
23. The photodegradation of some naturally occurring polymers. Davidson R. S. Chemical Laboratory, The Univ. of Kent, Canterbury Kent, UK CT2 7NH. J. Photochem. Photobiol., B 1996, 33(1), 3–25 (Eng).
24. Towards an understanding of the photoyellowing of pulps and papers Forsskahl Ingegerd, Trends Photochem. Photobiol. 1994, 3(2), 503–520 (Eng).
25. Light induced yellowing of wood-containing papers. An evolution of the mechanism. Heitner Cyril ACS symp Ser. 1993, 531(Photoch Lignoc. Mat) 2–25.
26. Free radical induced oxidation of alkyphenols: some insights into the processes of photoyellowing of papers. Shkrob I. A., Depew M. C., Wan J. K. S. Res. Chem. Intermed. 1992, 17(3), 271–85.
27. Light-induced yellowing of mechanical and ultra-high yield pulps. Part 2. Radical- induced cleavage of etherified guaiacylglycerol- β -arylether groups

- is the main degradative pathway. Schmidt J. A., Heitner C. J. Wood Chem. Technol. 1993, 13(3), 309.
28. Newsprint deterioration. The influence of temperature on the relative contribution of oxygen-independent and oxygen-dependent processes in the total rate. Arney J. S., Jacobs A. J. Tappi 1980, 63(1), 75–77.
 29. The ageing behaviour of part-mechanical printing and writings made with CTMP. Stanley J., Priest D. J. Paper Technol. 1994, 15(4), 30–38.
 30. Changes in physical properties of paper containing high yield pulp by UV treatments. Kim, Bong Yong; Isogai Akira; Onabe Fumihiko; Usuda Makoto; Kami Pa Gikioshi 1989, 43(11), 1179–86 (Jap).
 31. Chémia dreva Blažej a kol. ALFA, Bratislava 1975, str. 86–115.
 32. Influence of the hemicellulose fraction on thermal and photochemical discoloration of paper. Lee S. B., Feller R. L. Adv. Chem. Ser. 212, (Needles H. L., Zeronian S. H., Eds.), 1986, 377–386.
 33. Significance of xylan and glucomannan in the brightness reversion of kraft pulp. Buchert J., Bergnor E., Lindblad G., Viikari L., Ek M. Tappi J. 80, no. 6, 165–171 (1997).
 34. Participation of carbohydrate-derived chromophores in the yellowing of high-yield and TCF pulps. Forsskahl I., Tylli H., Olkkonen C. 9th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry: 1997: Oral presentations: K3-1–K3-4 (June 12, 1997; CPPA (= Canadian Pulp and Paper Association)).
 35. Starnutie zjasnených povrchovo glejených papierov. Masaryková M., Náterová A. Papír a cel. 1988, 43(10), 205–209.
 36. Technologische Maßnahmen zur Verringerung der lichtinduzierten Vergilbung holzhaltiger Papiere. Teil 3: Optischer Aufheller im Pigmentstrich. Luo Ch., Götsching L. Wochenblatt für Papierfabrikation 1991, 18, 721–724.
 37. Einfluß von Hilfsmitteln auf die Papiervergilbung durch Licht und Temperatur. (Influence of auxiliaries on the yellowing of paper by light and temp.) Reinhardt Bernd, Arneberg Ulrik. Wochenbl. Papierfabr. 1987, 115(6), 223–4, 226–8, 230 (Ger).
 38. The photosensitizing properties and photostability of stilbene fluorescent whitening agents. Davidson R. S., Ismail G. M., Lewis D. M. J. Soc.Dyers Col. 1987, 103, 261–264.

39. Alterungsbestandigkeit von Papieren, die im Non-Impact-Verfahren bedruckt wurden. Le P.-C., Potts M., Hofer H.-H. Wochenblatt f. Papierfabrik. 2000, 5, 282–289.
40. Weathering and photodegradation of cellulose. Buschle-Diller G., Zeronian S. H. ACS Symp. Ser. 1993, 531 (Photochemistry of Lignocellulosic Materials), 177–89.
41. Photodegradation of oxidized cotton cellulose. Buschle-Diller G., Zeronian S. H. J. Applied Polymer Sci. 1993, 47, 1319–1328.
42. Effect of ultraviolet light and heat on the properties of cotton cellulose. Yatagai M., Zeronian S. H. Cellulose 1994, 1, No. 3 (September), 205–214.
43. Optical and mechanical characteristics of papers by the UV-irradiation aging treatment. Jeong S. W., Cho N. S. J. TAPPIK 1995, 27(3), 42–50.
44. Damaging effects of visible and near uv radiation on paper. Lee S. B.; Bogaard J.; Feller R. L. (Mellon Inst., Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, PA 15213 USA), ACS Symp. Ser. 1988 (Pub. 1989). 410 (Hist. Text. Pap. Mater. 2), 54–62 (Eng).
45. Photo oxidation of paper documents. A literature review. Havermans J. B. G. A., Dufour J. Restaurator 1997, 18, 103–114.

8.2 PERGAMEN A USEŇ

Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.

O výsledcích studia fotochemické degradace na vlastnosti pergamenu a usně je velmi málo informací¹⁻⁷. U pergamenu je to dáno tím, že pergamenové objekty (knižní vazby, kodexy, listiny atp.) jsou poměrně málo vystaveny osvětlení. Kodexy jsou většinou uloženy v depozitářích, v krabicích a za těchto podmínek nebylo zaznamenáno významnější poškození pergamenu světlem a UV zářením. Při nevhodném osvětlení při vystavení je většinou daleko dříve je poškozeno písmo nebo iluminace. Obecně je pergamen poškozován především hydrolyticky a oxidačně. Zvýšená vlhkost vytváří podmínky i pro mikrobiologické napadení.

Rovněž tříslučiněné vazební usně jsou poškozovány především působením kyslíku, zvýšenou vlhkostí a plynnými polutanty. Je známo, že „červený rozpad“ vyvolaný vlhkostí a působením kouřových plynů (oxidem siřičitým) je urychlován UV zářením. Nízká znalost v oblasti degradace usně vlivem světla a UV záření je dána do určité míry také tím, že v případě spotřebních průmyslových výrobků (bot, kabátů, rukavic, kožené galanterie atp.) je tato odolnost usně nevýznamná. Především je sledována stálost vybarvení usně.

Obecně proteinové řetězce jsou odolné vůči fotochemické degradaci a jsou poškozovány především hydrolytickou reakcí. Ta je podporována zvýšenou vlhkostí a zvýšenou teplotou. UV záření může vyvolat denaturaci některých bílkovin. Je pravděpodobné, že změna barvy pergamenu, příp. usně a jejich mechanických vlastností může být vyvolána i fotooxidací tukovacích látek, především nenasyčených olejů. Následná radikálová reakce je schopná poškodit i proteinové makromolekuly. Reakce může být urychlena přítomností iontů přechodných kovů a případně jinými nečistotami.

V jedné z mála prací bylo stanoveno, že přirozená barva semiše, usně činěné mozkem a kouřem, je poměrně málo stálá (ISO stupeň modré vlny 2–3), rostlinně činěná useň (ISO stupeň modré vlny 4–5) a chromočiněná (ISO stupeň modré vlny 6–7). Bylo stanoveno, že UV filtry tuto změnu barvy ovlivňují jen nepatrně⁴.

Poměrně rozsáhlé informace o vlivu světla na tříslučiněné vazební usně přináší sborník vydaný v roce v Anglii 1905¹. V této obdivuhodné práci experimentálně bylo stanoveno, že světlo má negativní vliv na rostlinně činěné usně zvláště tehdy, kdy

je jeho účinek podporován kouřovými plyny. Odolnost usní stoupá v pořadí tříslovin: mimosa, quebracho, modřínová kůra, dubová kůra, gambier, sumach a myrabolany. V práci se dále konstatuje, že světlo procházející modrými a fialovými okenními skly má přibližně stejný účinek jako bílé světlo, zatímco červená, zelená a žlutá skla chrání useň téměř úplně – viz kapitola 5.1.2.4. Je doporučeno, aby v případě, že knihy jsou vystaveny přímému slunečnímu světlu, byla používána světle žlutá nebo olivově zelená okenní skla. V závěru práce je podrobně sledována odolnost různých syntetických barviv použitých k barvení usně k blednutí světlem.

Je zajímavé, že v oblasti konzervace usně významný STEP Leather Project, který se zabývá především degradací vazebních usní, se problematikou vlivu světla na tyto usně prakticky nezabývá². Pokud se výzkumná pracoviště tímto tématem zabývala, nezveřejnila průkazné výsledky. V diskuzi se pouze konstatuje, že světlo s vysokou intenzitou spolu s polutanty především mění tanin. V další práci, aniž by byly uvedeny experimentální výsledky, se potvrzuje vliv světla na rostlinně činěné usně a doporučuje se, aby vystavené předměty byly osvětleny pouze po dobu, kdy je návštěvník pozoruje³.

Literatura

1. Cobham V., Wood H. T.: Report of the Committee on Leather for Bookbinding. The Society of Arts, George Bell & Sons, London 1905, str. 68.
2. Larsen R.: Summary Discussion and Conclusion. STEP Leather Project. Evaluation of the Correlation between Natural and Artificial Ageing of Vegetable Tanned Leather and Determination of Parameters for Standardization of an Artificial Ageing Method. Protection and Conservation of European Cultural Heritage. European Commission, Directorate – General for Science, Research and Development, Larsen R., Edit., The Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Conservation, København, Denmark 1994, str. 165.
3. Larsen R., Wouters J., Chahine C., Brimblecombe P., Calnan Ch.: Recommendations on the Production, Artificial Ageing, Assessment, Storage and Conservation of Vegetable Tanned Leathers. Ve zprávě Deterioration and Conservation of Vegetable Tanned Leather. European Commission, Environment – Leather Project EV5V-CT94-0514, Protection and conservation of European cultural heritage, Research report No. 6, Larsen R., Edit., The Royal

Danish Academy of Fine Arts, School of Conservation, København, Denmark 1997, str. 189.

4. Michalski S.: Damage to Museum Objects by visible Radiation (Light) and Ultraviolet radiation (UV). Sborník přednášek konference Lighting in Museums, Galleries and Historic Houses. UKIC, London 1987, str. 3.
5. Mills J.S.: White R.: The organic chemistry of museum objects, druhé vydání. Butterworth, Heinemann, Oxford 1999.
6. Zelinger J., Brabec M., Fries T., Šimůnková E.: Konzervace pergamenu a jeho uložení. Národní knihovna v Praze, Praha 1992.
7. Zelinger J., Heidingsfeld V., Kotlík P., Šimůnková E.: Chemie v práci konzervátora a restaurátora, Academia, Praha 1987.

8.3 TEXTIL

Ing. Hana Paulusová

Fotochemické degradační procesy textilních materiálů probíhají většinou za přítomnosti vzdušného kyslíku a vlivů okolní atmosféry (přítomnost ozónu, vliv teploty, vlhkosti). Citlivost polymerů k oxidaci je v zásadě určována charakterem uhlíkatého řetězce. Při oxidaci kyslíkem jsou nejodolnější polymery s nasyceným nevětveným řetězcem. Nejcitlivější jsou dienové polymery, tj. takové, které obsahují v řetězci dvojnou vazbu.

Oxidační reakce všech organických látek jsou ovlivňovány buď přímou *fotochemickou iniciací*, nebo *fotosensibilizovanou iniciací*.

Přímá fotochemická iniciace aktivuje oxidační reakce fotochemickými procesy, při nichž jsou reakční složky selektivně aktivovány absorpcí světelného kvanta již při nízké teplotě. V přímé fotochemické oxidaci se tvoří počáteční aktivní radikálová centra vzbuzenou molekulou osvětlené výchozí látky. Další aktivní centra se potom tvoří rozpadem hydroperoxidů, což vyžaduje méně energie a proces probíhá autokatalyticky.

Při fotosenzibilizované iniciaci se látka absorbovaným světlem nemění. Látka vstupuje do procesu v excitovaném stavu, při němž je oxidace substrátu indikována, ale v průběhu procesu se cyklicky regeneruje. Jako sensibilizátory působí při oxidaci některá barviva a pigmenty. Příkladem je chlorofyl, vícejaderné aromatické systémy a bezbarvé látky. Často působí jako fotosensibilizátory i některé oxidační zplodiny vzniklé ze substrátu, zvláště ketony.

Na degradaci textilních i jiných materiálů má vliv kolísavé, přerušované a střídavé působení podnebních činitelů. Střídání působících podnebních činitelů může mít vliv stimulační nebo inhibiční. Tak např. acetylovaná bavlna je znehodnocena mnohem více, působí-li vlhké teplo před slunečním zářením, než když sluneční záření působí před vlhkým teplem. Vlhké teplo vyvolává snadněji hydrolýzu acetylované bavlny.

Současný vliv vlhkosti a slunečního záření se projevuje negativně u všech vláken, která obsahují esterové skupiny, podléhající snadno hydrolytickému rozkladu. Příkladem jsou polyesterová vlákna. V suchém prostředí však sluneční světlo nezpůsobuje polyesterům podstatné ztráty pevnosti.

Působením světla na textilní vlákna v atmosférických podmínkách se vždy vytvářejí oxidační produkty.

8.3.1 Celulózová vlákna

Celulózová vlákna, zvláště bavlna, pokud neobsahují již oxidované podíly, nejsou za normálních podmínek slunečním světlem odbourávána. Teprve po zušlechťovacích pochodech, jako je barvení a jiné úpravy, mění se její vlastnosti a UV záření je celulózou absorbováno.

Velký vliv na degradaci celulózových vláken v přírodních podmínkách má povrch a zabarvení vlákna. Bavlněná vlákna egyptská s velkým leskem jsou odolnější vůči UV záření než východoindické druhy. Zvýšení lesku lze dosáhnout i umělou cestou. Také matovací prostředky, používané při výrobě viskóзовých vláken, mohou značně ovlivňovat odolnost proti světlu a povětrnostním vlivům.

8.3.2 Keratinová vlákna

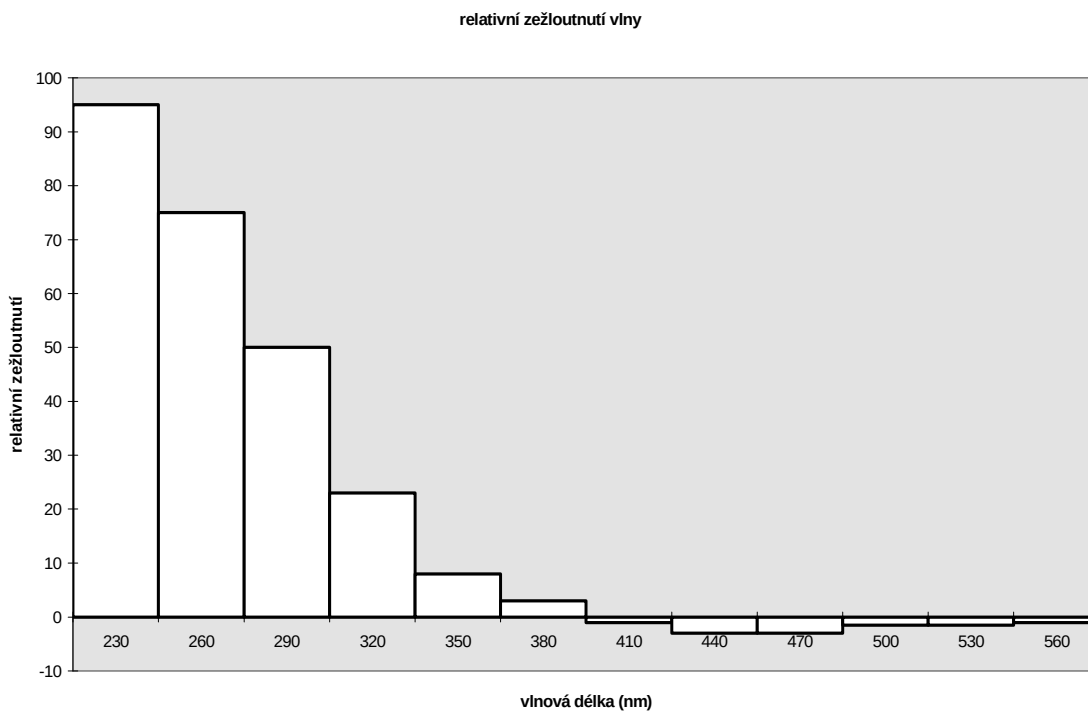
Sluneční paprsky a povětrnostní vlivy působí na vlnu již během jejího růstu na ovci. Nejvíce trpí ta část rouna, která je účinku světla vystavena nejvíce, tedy na hřbetu ovce a konečky vlasů. Různí autoři shodně zjistili, že sluneční paprsky působí hlavně na disulfidové skupiny keratinového komplexu.

Déle trvající osvětlení způsobuje, že nezbarvená vlna žloutne, avšak přirozeně zbarvená vlna poněkud vybledne. Praná vlna po delším osvětlení dostává šedavý nádech.

Průběh destrukce slunečním zářením probíhá tak, že nejprve odpadají šupinky a světlo má možnost zasáhnout citlivější kůru. Vlas v důsledku toho ztrácí pevnost v tahu, v lomu a tažnost. Klesá pružnost vlasu a jeho plstící schopnost. Voda je potom vlasem snadněji přijímána a vlas více botná. Po krátkovlnném ozáření vlasu vlny UV zdrojem ze rtuťové lampy ze vzdálenosti asi 16 cm činila ztráta pevnosti za 12 hodin přibližně 50 %, kdežto po půlročním ozáření slunečním světlem činila ztráta asi 20 %.

Na *obrázku 8.3.1* je znázorněno spektrum fotožloutnutí a bělení vlny. Žloutnutí vlny se objevuje při působení světla o vlnových délkách 340–350 nm. Je zřejmé, že při světelné expozici běží žloutnutí i bělení jako konkurenční reakce. Výsledný

viditelný efekt bude ovlivněn relativní intenzitou různých vlnových délek daného světelného zdroje a také zabarvením vlny v počáteční fázi. Míra zežloutnutí je dána i vlhkostí vlny a charakterem dalších chemických činidel, např. bělicích prostředků.



Obr. 8.3.1 Spektrum zežloutnutí či vybělení vlny po ozáření (rovnocenné dávky energie pro každou vlnovou délku)².

Ozářením vlny dochází k významné absorpci slunečního záření dvěma aminokyselinami – tryptofanem a tyrozinem. Tyrozin tvoří fenoxylradikály, z kterých dále vzniká dityrozin.

Fotochemické štěpení vazeb $-S-S-$ v cysteinu a jejich oxidace vede k otevření struktury vlny a vznikající sulfonová kyselina zhoršuje její vlastnosti. Obsah cysteinu se ve vlně vlivem chemických procesů snižuje, čímž se také snižuje její fotostabilita. Degradací tryptofanu dochází ke vzniku řady neidentifikovaných produktů, které vykazují absorpci nad 380 a pod 500 nm. Některé z těchto produktů fluoreskují, jiné fosforeskují. Tyto produkty jsou ozářením světlem o rozsahu vlnových délek (380–500 nm) rozkládány a vznikají částice, které již fluorescenci nevykazují. Z tyrozinu se po ozáření tvoří částice, které absorbují v oblasti od 350 do 500 nm.

Stav hedvábí se zhoršuje mnohem rychleji nežli u vlny. Projevuje se zde vliv např. alizarinu a brazileinu jako sensibilizátorů.

8.3.3 Polyamidová vlákna

Oxidační stárnutí polyamidů se projevuje změnou pevnosti, rozpustnosti, křehnutím a povrchovým žloutnutím. Na procesu degradace se také podílejí nízkomolekulární nečistoty.

Na základě modelových pokusů provedených s amidy kyselin a s ϵ -kaprolaktamem bylo prokázáno, že k oxidaci dochází hlavně na metylenové skupině sousedící s dusíkem amidické vazby. Aktivační účinek je však malý, a proto oxidace probíhá také na vzdálenějších metylenových skupinách uhlovodíkového článku řetězce polyamidu a reakční produkt obsahuje směs nízkomolekulárních látek.

V průběhu oxidace polyamidu zpočátku rychle klesá molekulová hmotnost, v další fázi se pokles zpomalí a postupně dochází k zesíťování. Vedle fotooxidace může současně probíhat i fotolýza. V reakčních produktech jsou obsaženy aldehydy, karboxylové kyseliny, oxid uhličitý, voda a mohou se objevit i parafinické uhlovodíky.

8.3.4 Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna vykazují na rozdíl od vláken polyamidových vyšší odolnost proti slunečnímu záření.

Polyesterová jsou citlivá pouze na záření o vlnovém rozsahu 300–330 nm. Protože se toto záření absorbuje okenním sklem, vykazují polyesterové textilie za sklem (záclony) vysokou životností. O mechanismu degradace polyesterového vlákna vyvolané ozařováním UV zdrojem za běžných atmosférických podmínek, tj. za přítomnosti kyslíku, není mnoho známo. Vznikají však jednoduché, ve vodě rozpustné štěpné produkty, zejména oxidační produkty glykolu a kyseliny tereftalové, kyselina šťavelová, kyselina benzoová, formaldehyd a acetaldehyd.

Literatura

1. Krčma L.: Degradace textilních vláken a ochrana proti ní. SNTL Praha 1976.
2. Davidson, R. S.: The photodegradation of some naturally occurring polymers. *Journal of Photochemistry and Photobiology B. Biology* 33, 1996, s.3–25.

8.4 ČERNOBÍLÁ A BAREVNÁ FOTOGRAFIE

Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.

Fotografické materiály uložené v archivních nebo muzejních sbírkách jsou velmi různorodé. Může se jednat o negativy, fotografie, diapozitivy atp. Uložené materiály se významně liší technikou fotografování (daguerrotypie, ambrotypie, autochromy, Lippmannova barevná fotografie, albuminové fotografie, černobílá fotografie, barevná fotografie atp.). Jedná se o kompozitní, vícevrstvé objekty, které představují širokou škálu různých materiálů s různou odolností vůči degradaci. Životnost fotografických materiálů rozhodujícím způsobem ovlivňuje typ použitého fotografického materiálu (podložky i citlivé vrstvy), způsob jeho zpracování (vyvolání a ustálení) a podmínky uložení a používání (archivace, kopírování, vystavení, promítání atp.).

Běžný fotografický materiál se skládá většinou ze dvou základních vrstev:

- podložka,
- citlivá vrstva (emulze).

Podložka může být v případě negativního materiálu a diapozitivů zhotovena ze skla či polymerního filmu, v případě kinofilmu z ohebného polymerního filmu a konečně v případě fotografie z kovu, skla a papíru.

První pružná podložka (film) byla vyvinuta na bázi *nitrátu celulózy (CN)* a uvedena na trh v roce 1889 firmou Eastman Kodak. CN lze měkčit kafrem (vzniká Celuloid) a běžnými nízkomolekulárními změkčovadly. V období 1889 až 1955 se z něho připravovaly foto a kino filmy. Tyto filmy jsou vysoce hořlavé a navíc jsou nestabilní. Významnou roli zde hraje odpařování změkčovadla a kysele katalyzovaná hydrolýza, která vyvolává odbourávání esteru a jeho depolymeraci. Uvolňují se oxidy dusíku, které spolu s vlhkostí přecházejí na kyselinu dusičnou. Degradace má několik stadií, která se projevuje vizuálně (jantarové zbarvení podložky, mizení obrazu), čichově (nepříjemný zápach) a hmatově (měknutí a posléze lepení filmu). Degradaci CN podporuje UV záření. Produkty rozkladu napadají želatinu a katalyzují další autokatalytický rozklad podložky. Uvolněné oxidy dusíku jsou schopné korodovat kovové předměty a navíc i iniciovat hydrolýzu v blízkosti uložených filmů z acetátu celulózy. Je nezbytné je odstranit dobrým větráním nebo pohlcením na alkalických sorbentech.

Vysoká hořlavost CN vedla k použití „bezpečné“ podložky na bázi *acetátu celulózy* (CA). Byla používána od roku 1912. Zpočátku měla horší mechanické vlastnosti než nitrocelulózkové filmy. Pod pojmem acetátcelulózkové filmy byly zahrnuty filmy připravené z různých acetátových esterů celulózy. Zpočátku používané filmy diacetátu celulózy pro svitkové filmy byly nahrazeny filmy z triacetátu celulózy. V současné době je jako plochý film používán acetobutyrátkelulózy a pro kinofilm acetopropionát celulózy. U CA-filmů je předpokládána životnost 200 let. CA je možno změkčovat běžnými změkčovadly, jako jsou fosfáty a ftaláty – trikresylfosfát, dibutylftalát, dioktylftalát atp. (až 30 %). Filmy na bázi CA je poměrně obtížné zapálit a jsou proto používány jako „bezpečné“ filmy. Acetáty celulózy nejsou stabilní a rozkládají se hydrolyticky. Rozklad podporují oxidy síry, dusíku a ionty těžkých kovů. Uvolňuje se kyselina octová, která hydrolytický proces dále urychluje. Zvláště silně vzhledem k vysoké sorpci vody je postižen diacetát celulózy. Rozklad je poznatelný podle zápachu kyseliny octové a je patrný především v uzavřených krabicích, např. s kinofilmami. Uvolněná kyselina octová může poškozovat další archivní, především kovové objekty. Rozklad probíhá pomaleji než u nitrátů celulózy. Rozklad CA podporuje světlo a UV záření a je nezbytné jej stabilizovat vhodnými účinnými UV stabilizátory – viz. kapitola 6.1.2.2.2. Fólie acetobutyrátkelulózy jsou používány při konzervaci papíru, jednak jako laminační podložka, a mimoto se uplatňují při přípravě obálek chránících archivní materiály proti působení vnějšího prostředí. Fólie acetátu celulózy jsou v poslední době nahrazovány stálejšími polymery, především polyethylentereftalátem.

Od roku 1950 je používána filmová podložka na bázi *polyethylentereftalátu*. Má vynikající užitkové vlastnosti (pevnost, tažnost, odolnost vůči otěru, tvarovou stálost, nasákavost vody). Představuje nejstabilnější filmový materiál pro podložku a jeho životnost by měla být asi desetkrát větší než u CA filmu. I tento polymer je nezbytné, v případě že bude vystaven světlu a UV záření, stabilizovat příslušným stabilizačním systémem – viz též kapitola 6.1.2.2.2.

Nejčastější podložkou pozitivního fotografického obrazu je *papír*. Jeho chemické složení, vlastnosti a odolnost vůči světlu a UV záření jsou popsány v kapitole 8.1. Neupravený papír byl používán jako podložka jen krátce. Papír se rozmácel, příliš vsakoval emulzi, takže fotografický obraz se stával těžko čitelný. Kvalita novodobého fotografického papíru je zlepšována pomocí vrstvy želatiny nebo syntetického pojidla,

které obsahuje pigment dobře odrážející světlo. Nejčastěji to je síran barnatý (baryt). Nověji se používá oxid titaničitý (titanová běloba). Použití posledně zmíněného pigmentu je spojeno s rizikem, neboť pigment je sám fotoaktivní a může podpořit degradaci barev a podložky. V tom případě je vhodné chránit barevný obraz polymerní fólií, která obsahuje UV absorbér.

V poslední době se stále častěji používá tzv. *RC papír* (z angl. „resin coated“). V tomto případě je na papír jednostranně nebo oboustranně nanášena vrstva polymerního materiálu – většinou polyethylenu. Vzhledem k nízké odolnosti polyethylenu vůči působení světla a UV záření je nezbytné, aby byl příslušně stabilizován. Jinak fotochemická degradace vyvolá zkřehnutí polymeru a jeho popraskání a produkty degradace mohou mít i negativní vliv na barviva.

Citlivou vrstvu (emulzi) tvoří emulzní nosič a v něm jsou rozptýlené světlocitlivé látky. Jako *emulzní nosič* byla a většinou je používána želatina, ale historicky byl také používán albumin a kolodium. Želatina jako pojivo je poměrně stálá na světlo. Její stabilitu mohou ovlivnit nečistoty, především ionty přechodných kovů.

Od vzniku fotografie byly používány různé *světlocitlivé materiály*. V současné době většina černobílých fotografií je založena na chloridu stříbrném, případně na dalších halogenidech stříbra rozptýlených v želatině. Halogenidy se po expozici fotochemickým zpracováním změní na stříbro, které tvoří konečný obraz. Z předchozího plyne, že dobře vyvolané černobílé stříbro-želatinové fotografie a negativy jsou při přiměřeném osvětlení v podstatě stabilní. Podložky mohou být významně poškozeny, když jsou vystaveny po delší dobu viditelnému světlu v rozsahu 400 až 500 nm nebo UV záření v rozsahu 300–400 nm. Poškození vyvolané světlem je kumulativní a závisí na intenzitě osvětlení a době osvětlení. Stejně, i když v menším rozsahu, může být poškozena želatina.

Černobílé fotografie, jejichž podklad tvoří filmy na bázi nitrátu celulózy a acetátu celulózy budou v největší míře poškozovány uložením ve vysoké relativní vlhkosti za zvýšené teploty. Tyto podmínky jsou schopny vyvolat hydrolýzu obou polymerů a tedy zároveň poškození fotografie. Je pravděpodobné, že vysoká intenzita osvětlení, zvláště v případě, že filmy obsahují nečistoty a nejsou stabilizovány vůči světlu a UV záření (což je pravděpodobné u starších objektů), může urychlit degradační reakce. Stříbro samo nepodléhá změnám vlivem světla; je ovlivňováno především oxidačním procesem.

Složitější situace je v případě *barevné fotografie*. Všechny barevné procesy vytvářejí produkty, které jsou ve své podstatě nestálé vůči světlu a UV záření. Konečný obraz tvoří málo stabilní organická barviva, případně o něco stabilnější částice pigmentu rozptýlené v želatině. Osvětlení vyvolává blednutí barviv, přičemž jednotlivá barviva mohou blednout rozdílnou rychlostí. Je známo, že některá barviva blednou i při uložení v temnotě.

V současné době jsou barevné fotografie používána většinou *azomethinová* barviva. Tato barviva mají dobrou světelnou stabilitu, ale přesto při dlouhodobém běžném osvětlení blednou. Mechanismus, kterým dopadající energie záření degraduje molekuly barviva, není dosud zcela objasněn a studie v této oblasti sledují jak teoretické, tak technologické zájmy.

Přebytek energie molekuly barviva po dopadu světelného kvanta (fotonu) může být uvolněn několika způsoby. Většinou závisí na použitém stabilizačním systému. Metody stabilizace barviv, tj. deaktivace excitovaného stavu molekuly barviva, mohou být rozděleny do 4 kategorií:

1. Přejít z excitovaného stavu do nižšího energetického stavu je uskutečněno za případné účasti UV absorbéru radiačně; energie je vyzařována fluorescencí a proces nevede k přímé degradaci barviva. Fluorescence může zkreslit barvu barviva.
2. Deaktivace excitovaného stavu barviva je uskutečněna chemicky intramolekulárně, tj. isomerisací nebo fotodisociací. Isomerisace nemusí vést ke degradaci barviva, zatímco fotodisociace k ní pravidelně vede.
3. Fyzikální zhášení je intermolekulární proces, kdy energie molekuly excitovaného barviva je předána další molekule – zhášeči, který přijetím energie přechází do excitovaného stavu. Energie excitovaného zhášeče se uvolňuje většinou formou tepla. Fyzikální zhášení vede pravidelně k deaktivaci bez chemické změny barviva. Jako účinné zhášeče se používají např. různé organické komplexy niklu.
4. Chemické zhášení, které zahrnuje účast jiné molekuly, např. inhibitoru volných radikálů, je spojené s chemickou změnou barviva.

Změnu barviva urychluje zvýšená teplota a vlhkost. Významná urychlující role je přikládána přítomnosti kyslíku. Je proto účelné překrytím fotografií polymerními filmy vytvářet fyzikální bariery proti kyslíku a vodě.

Všeobecně je možno konstatovat, že poškození barviv je dále závislé na typu barevného procesu a na kvalitě vyvolání. Závisí tedy na výrobci daného fotografického materiálu. V poslední době renomovaní výrobci poskytují informace o bezpečných podmínkách uložení svých materiálů.

Poškození fotografických materiálů vlivem světla a UV záření během vystavení je možno shrnout do následujících bodů:

1. Stříbro obrazu, 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 tmavnout vlivem světla.
4. Thiosíraný a jiné komplexy stříbra, které se nahromadily v nedokonale vypraných stříbrných fotografiích mohou působením světla vyvolat vznik skvrn.
5. Stříbrné ionty vzniklé působením vlhkosti a oxidačních činidel, mohou být redukovány vlivem světla.
6. Produkty degradace polyethylenu RC-papírů vzniklé působením světla a UV záření mohou ovlivnit stříbro obrazu.
7. Organická barviva, tvořící fotografický obraz nebo přítomná jako filtry či senzibilizátory, jsou ovlivňována světlem. Barviva papírové podložky některých albuminových fotografií 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 albumenu jsou narušovány přetržením vazeb a fotooxidací. Želatina, která je méně citlivá než albumen, 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. Polyetylen 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 do budoucna.
12. Monochromatické a barevné fotografie byly často zdůrazněny a doplněny malbami různými médii. Ty mohou představovat nejméně stabilní složky fotografie. Je nezbytné si uvědomit, že černá barva 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 povlakem, jehož přesné složení znal pouze výrobce. Světelná stabilita tohoto povlaku a jiných organických povlaků používaných na fotografie není dostatečně popsána v literatuře o konzervaci fotografií.

Barevné diapozitivy jsou zvláště přístupné k blednutí v případě, že jsou vystaveny UV záření a světlu. Neměly by být promítány déle než 10 vteřin. Intenzivní osvětlení halogenovou žárovkou běžného projektoru může vyvolat barevný posun a vyblednutí. Kupř. diapozitivy Kodachrom mohou významně vyblednout během 10 minut promítání, a to bez ohledu na to, že jinak Kodachromy mají vynikající stabilitu při uložení v temnu.

Historické fotografie a barevné fotografie by měly být vystaveny při nižších hladinách osvětlení než moderní černobílé fotografie. Intenzita osvětlení pro historické a barevné fotografie měla by být v rozsahu 30–100 lx. I když některé moderní fotografie mohou být vystaveny za vyšší osvětlenosti – až 200 lx, přesto je lepší nepřekročit hladinu osvětlenosti 100 lx. Podíl UV záření by neměl být vyšší než $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$.

Podmínky uložení a vystavení fotografických materiálů z hlediska osvětlení je možno shrnout do následujících bodů:

1. Všechny fotografické materiály by měly být uloženy v depozitářích v temnu, bez přístupu denního světla a UV záření.
2. Materiály by měly být uloženy v rozumně těsných papírových nebo plechových krabicích, zásuvkách nebo skříních.
3. V depozitářích je vhodné používat pouze tlumené světlo, jehož intenzita je přizpůsobena právě prováděné operaci (úklidu, vyhledávání materiálů atp.).
4. Při osvětlení depozitářů dávat přednost žárovkám s wolframovým vláknem.
5. Nepřipustit trvalé, dlouhodobé a opakované vystavení originálních fotografií.

6. Při vystavení a promítání v maximální míře používat kopíí, jak fotografií, tak diapozitivů.
7. Intenzitu osvětlení při vystavení pro starší fotografie a barevné fotografie volit 50 lx, a pro novější fotografie maximálně 200 lx.
8. Volbou zdrojů světla, případně použitím UV filtrů snížit podíl UV záření na $75 \mu\text{W.lm}^{-1}$.
9. Zamezit nadměrné světelné expozici fotografií při kopírování. Nepoužívat xerox-kopírky.

Literatura

1. Maxová I.: Černobílá fotografie. Rešerše odborné literatury, Praha 1999.
2. Roosa M., Fellow R. V.: Care, handling and storage of photographs. International Federation of Library Associations and Institutions, Information leaflet.
3. Hendriks K. B.: The stability and preservation of recorded images. Z knihy: Imaging processes and materials. Neblette's eight edition. Ed.: Sturge J., Walworth V., Shepp A., Van Nostrand Reinhold, New York 1989.
4. McElhone J. P.: Determining Responsible Display Conditions for Photographs. Proceedings of Conference „The Imperfect Image: Photographs their Past, Present and Future“, Windermere 1992, str. 182.
5. Douglas P., Townsend S. M.: Photodegradation of Photographic Image Dyes. Proceedings of Conference „The Imperfect Image: Photographs their Past, Present and Future“, Windermere 1992, str. 274.
6. Zikmund J.: Přehled základních zásad pro uložení fotografických sbírek. Sborník 6. pražského semináře historiků a teoretiků fotografie. Národní technické muzeum v Praze 1998, vydalo České foto, str. 9.
7. Číp J.: K problematice ochrany a prezentace daguerrotypií. Sborník 6. pražského semináře historiků a teoretiků fotografie; vydalo České foto, Národní technické muzeum v Praze 1998, str. 57.
8. Wilson D.: The Care and Storage of Photographs. Recommendations for good Practice. NAPLIB, London 1997.
9. Kolektiv autorů: Preventivní ochrana sbírkových předmětů. Národní muzeum, Praha 2000.

8.5 BAREVNÁ VRSTVA ILUMINACÍ A KOLOROVANÝCH KRESEB

Ing. Hana Paulusová

8.5.1 Světelná stálost pigmentů používaných v iluminaci

8.5.1.1 Úvod

Světelná stálost staromistrovských pigmentů je ve většině případů střední až velmi vysoká. Jedná se o pigmenty získávané z přírodních minerálů, které byly rozemlety a čištěny plavením či proséváním, i o významné pigmenty, které se připravovaly uměle. Mezi staromistrovské pigmenty se řadí např. olovnatá běloba, olovnatocínčitá žlutě, rumělka, azurit, smalt, ultramarín, malachit, měděnka.

Druhou důležitou skupinou jsou organická barviva, která byla převážně používána ve formě laků. Laky se připravují srážením barviva na substrát typu oxidu hlinitého, síranu barnatého apod.. Mají obecně nízkou stabilitu. K nim se řadí např. mořenový, košenilový a kermesový lak. O světelné stabilitě barviv rozhoduje celá řada faktorů.

Poškození vrstvy malby světlem probíhá na povrchu barevné vrstvy a zasahuje do hloubky 4–5 μm .¹ Často se stává, že horní vrstva malby se vlivem světla stane opakní a chrání tak spodní vrstvy před dalšími změnami.² Vliv na světelnou stálost barevné vrstvy má kromě jiných faktorů i druh použitého pojiva. Je pozorováno, že pigmenty bývají stálejší v olejové malbě nebo v temperě a méně stálé v akvarelu. V akvarelu jsou všechny částice pigmentu vystaveny působení světla, a proto jsou daleko citlivější. UV záření způsobuje erozi a krakelování pojiv.

8.5.1.2 Nejvýznamnější pigmenty

Informace o odolnosti pigmentů vůči světelnému záření jsou velmi různorodé a roztržité. Některé z nich vycházejí z dlouhodobého pozorování uměleckých objektů vystavených dennímu osvětlení. Bližšímu studiu se věnovala řada autorů, ovšem výsledky jejich práce je velmi problematické vzájemně porovnat vzhledem k různým podmínkám prováděných experimentů.

Jedním ze zdrojů, které shromažďují informace o světlostálosti, případně o další odolnosti barviv a pigmentů vůči různým prostředím, je Colour Index.

Stálosti na světle nejznámějších pigmentů je uvedena v *tabulce 8.5.1*.

Tab. 8.5.1 Světelná stabilita významných pigmentů použitých v iluminaci dle C. I.³

Název pigmentu dle C. I.	Český název	Stálost na světle
Pigment Black 9	kostní čern	výborná
Pigment Black 11	železitá čern	výborná
Pigment Black	uhlíková čern	
Pigment Red 101 a 102	oxidy železa přírodní a umělé	výborná
Pigment Red 105	minium či suřík	–
Pigment Red 106	rumělka	velmi dobrá (tmavne)
Pigment Blue 27	pruská modř	výborná
Pigment Blue 28	kobaltová modř	výborná
Pigment Blue 29	ultramarin	výborná
Pigment Blue 30	azurit	–
Pigment Blue 31	egyptská modř	–
Pigment Blue 34	měďnatá modř	není poškozena
Pigment Green 20	měděnka	dosti dobrá
Pigment Green 21	svinibrodská zeleň	dobrá
Pigment Green 23	zem zelená	výborná
Pigment Green 30	malachit	–
Pigment Brown 6 a 7	okry, umbry, sieny	výborná
Pigment Brown	manganová hněd	výborná
Pigment Yellow 39	auripigment a realgar	–
Pigment Yellow 42,43	přírodní a umělé okry	permanentní
Pigment Yellow 46	masikot	–

Pozn.: U některých pigmentů nejsou světlostálosti stanoveny.

Bližší vlastnosti některých významných pigmentů a lakových barviv používaných v iluminacích^{4,5,6}

Indigo

Světelná stabilita indiga jako textilního barviva je rozdílná a závisí na jakém substrátu se nachází. Na vlněném substrátu vykazuje výbornou světlostálost (8. stupeň modré stupnice), zatímco na bavlně pouze stupeň dosti dobrou (4. stupeň, Colour Index). Crew popisuje indigo jako nejodolnější přírodní barvivo. Kuramoto a Kitao studovali mechanismus světelného blednutí indiga. Jako pigment na substrátech má indigo dobrou světlostálost. Saunders a Kirby publikovali výsledky závislosti blednutí na vlnové délce.⁴ Tholen označuje indigo jako umělecký pigment za odolný k působení vzduchu a stabilní k působení sulfanu.

Mořenový a alizarinový lak

Alizarinové laky a světlé růžové mořenové laky, které obsahují pseudopurpurin jako barevnou složku, mají světlostálost stupeň 7 modré stupnice. Protože mořenové laky obsahují málo světlostálý purpurin, obecně jsou méně světlostálé nežli čisté alizarinové laky. Růžové mořenové laky, obsahující převážně purpurinový lak, mají

nižší světlostálost. Práce Saunderse a Kirbyho prokázala dobrou světlostálost alizarinového laku, mořenový lak bledne vyšší rychlostí s klesající vlnovou délkou ozáření.⁷ Je však světlostálejší nežli kermes, laka, košenil nebo laky z brazilského dřeva. Studie ukazují, že mořenový lak je velmi reaktivní s ozónem v nepřítomnosti vzduchu. Byl studován mechanismus blednutí alizarinového laku, který je smíchán s oxidem titaničitým.

Gumiguta

Světlostálost gumiguty není vysoká, při použití ochrany před UV zářením se pohybuje mezi stupněm 2–3 modré stupnice. Příkladem je Hookerova zeleň, která se může po prodloužené expozici světelným zářením měnit na modrou, protože přítomná pruská modř je světlostálejší než gumiguta. I další směsné pigmenty mohou vykazovat změny na stejném principu. Rychlost blednutí gumiguty ve směsi s oxidem titaničitým (rutil) je závislá na relativní vlhkosti. Ve vztahu k proměnlivé relativní vlhkosti dochází k relativně malým změnám u gumiguty pojené hydroxypropylcelulózou nebo karboxymethylcelulózou, žádné změny nebyly zaznamenány u pigmentu s polyvinylacetátovým pojivem. Ozón a nečistoty z atmosféry mohou vyvolat i blednutí ve tmě.

Auripigment a realgar

As_2S_3 je stálý k působení viditelného a ultrafialového světla, pokud je v suchém stavu. Ve studené vodě se pomalu rozkládá, v horké vodě rychleji. Bylo pozorováno, že auripigment v klišovém pojivu se částečně změnil po 50 letech expozice světlem na bílý oxid arzenitý. Auripigment, který byl použit jako repelent v papírovém rukopisu v Nepálu, se časem změnil na bílý.

Realgar je méně stálý nežli auripigment a jsou známy jeho změny již po krátké expozici světla, kdy se tvoří oxid arzenitý. Byly zaznamenány změny přechodu realgaru na auripigment a oxid arzenitý. Žlutý produkt však může být pararealgar. Laurie se domnívá, že tyto změny jsou důkazem přítomnosti částic realgaru, který byl někdy mísen s auripigmentem v iluminovaných rukopisech. Realgar může být přítomen i jako nečistota v přírodním minerálu a auripigment není tudíž produktem jeho změny.

Egyptská modř

Egyptská modř je stálá ve všech pojivech. Uchovala si modrou barvu na památkách v Egyptě i po vystavení silnému slunečnímu záření po tisíce let.

Pruská modř

Pruská modř byla popsána jako permanentní i naopak. Toch upozorňuje na její nestálost ve směsi. Vhodná je však směs se zinkovou bělobou, permanentní je nemísená, bez použití fermeží. Při použití kopálu se pruská modř mění na zelenou. Ve směsi s olovnatou bělobou se odbarvuje a často přechází do zelenavých tónů. Zelenavý tón může být způsoben i pojivem. Železité modře jsou chemicky redukovatelné.

Stálost čisté pruské modře je hodnocena jako permanentní (8 stupeň modré stupnice), po smísení s titanovou bělobou (1:10) se sníží na 4. stupeň. V přítomnosti ozónu je středně stálá. Stálost pruské modře je závislá na způsobu její přípravy. Časnější přípravy modře poskytovaly méně stálé produkty nežli moderní.

Svinibrodská zeleň

Bachhoffner uvádí, že arzenoměďnaté pigmenty nejsou velmi stálé, přestože jsou nejlepší ze všech měďnatých zelení. Pokud je přítomen hydroxid měďnatý, bledne svinibrodská zeleň daleko rychleji.

Banik a Ponahlo zjistili, že svinibrodská zeleň nezpůsobuje degradaci celulózy.

Indická žluť

Indická žluť je zařazena ve stupnici světlostálosti před alizarin.

Minium

Cennino Cennini zmiňuje, že olovnatá červen se na nástěnných malbách mění působením vzduchu do černé. Tmavnutí olovnaté červeně bylo pozorováno v několika středověkých rukopisech i na indických miniaturách z 15. století. Na vzorcích z této malby nebyl identifikován oxid olovnatý. Na některých nástěnných malbách rozšířených ve střední Číně a Afganistánu byla pozorována změna olovnaté červeně do čokoládově hnědé. Gettens se domnívá, že příčinou je vznik oxidu olovičitého. Později byla přítomnost oxidu olovičitého prokázána rentgenovou difrakcí. Proces tmavnutí byl uměle vyvolán na vzorcích s klišovým pojivem po expozici světlem a vysokou relativní vlhkostí. Kenjo a Toisshi testovali minium v atmosférách kyslíku, oxidu uhličitého,

dusíku, dále ve tmě a v ultrafialovém světle, s použitím klišového pojiva i bez něho a měřili změny spektrofotometrem. Přítomnost klišu chránila olovnatou červen v kyslíku a oxidu uhličitým, ale ne v dusíku.

Černý oxid olovičitý není zcela stálý, vlivem světla se pomalu rozkládá. Různí autoři poznamenávají, že v lněném oleji přechází olovnatá červen do světlejší barvy. Vlivem slunečního záření, deště a atmosférického oxidu uhličitého může dojít ke vzniku zásaditého uhličitanu olovnatého.

Zem zelená

Zem zelená je zařazena mezi permanentní pigmenty, je stálá na vzduchu i na světle. Zem zelená byla zařazena mezi permanentní pigmenty publikovano „German Society for Rational Painting Techniques“.

Karmínové laky

Karmínové laky mají jen slabou odolnost k působení světla a počasí. Snadno blednou již působením žárovkového ozáření. Olejomalby a akvarely na bázi moderních karmínových laků vykazují světlostálost mezi 1–2 stupnice. Padfield a Landi zjistili, že košenil a kermes mají vyšší světlostálosti při vybarvení na vlně s hliníkovým mořidlem (stupeň 3) a s cíničitým mořidlem (stupeň 5–7).

Umělý ultramarin

Za běžných podmínek je umělý ultramarin relativně permanentní. Má dobrou světlostálost. Je vysoce citlivý k působení kyselin a v průmyslových oblastech k působení znečištěné atmosféry s oxidem siřičitým nebo dalšími kyselými plyny.

Olovnatá běloba

Působením světla olovnatá běloba nepodléhá žádným změnám. Pokud je aplikována v akvarelu, mohou stopy sulfanu způsobit přeměnu běloby na černý sulfid olovnatý.

Olovnatocíničitá žlut'

Olovnatocíničitá žlut' I a II na rozdíl od žlutého PbO, který snadno tmavne zvláště ve vodorozpusných pojivech, není poškozena působením světla.

Měděnka

Testy připravených vzorků zásadité a neutrální měděnky ve lněném oleji a vaječné tepeře prokázaly dobrou světlostálost.

Rezinát mědi

Vlivem světla se mění a transparentní zelená přechází na opakní hnědou.

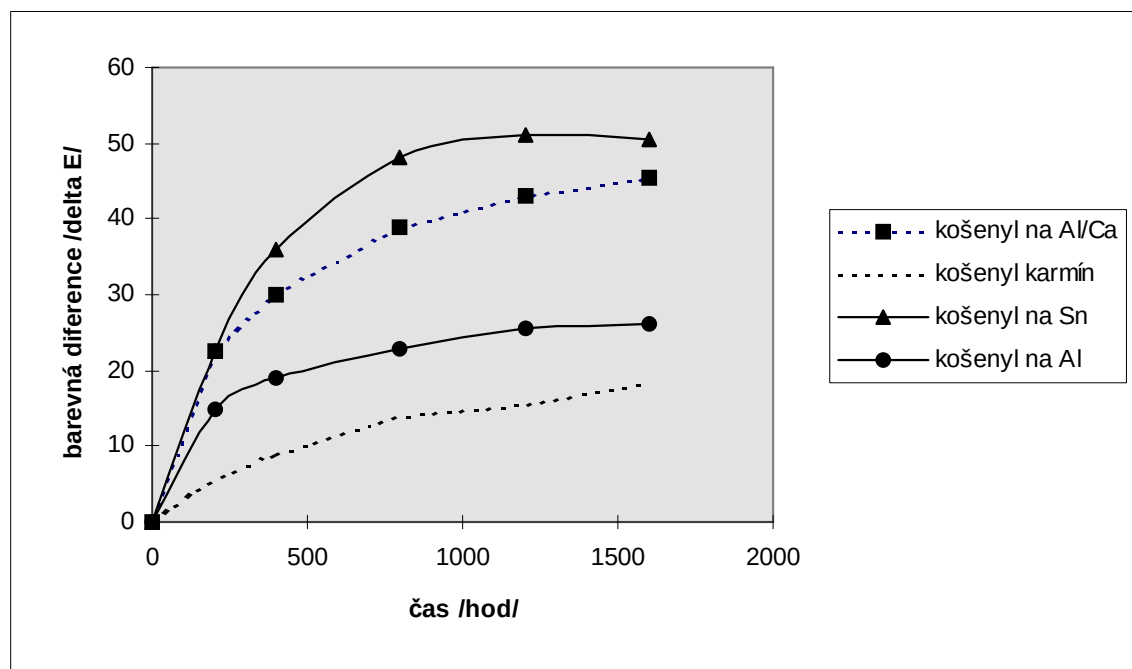
8.5.1.3 Lakové pigmenty⁷

Lakové pigmenty jsou ze skupiny pigmentů nejméně světlostálé. Jedním z faktorů, který má vliv na jeho stabilitu, je metoda, jakou bylo barvivo extrahováno z přírodního materiálu. Nejjednodušší způsob je extrakce barviva vodou nebo alkáliemi. Rozpustná barevná sloučenina se potom převádí na nerozpustný lakový pigment. Alternativní metodou je extrakce barviva alkalickou sloučeninou z odstřižku obarveného textilu. Textil se obarvil běžným způsobem v barvicí lázni za použitím mořidla. Textilní odstřižky pak byly používány jako zdroj barviva, z kterých se barvivo podle potřeby extrahovalo louhem získaným z popela nebo jinými alkalickými sloučeninami. Pigment byl potom srážen přidáním kamence k extraktu. Tento princip přípravy laků byl znám z receptur 15. a 16. století a běžně byl používán pro přípravy laků kermesových a košenilových. Způsob přípravy ovlivňoval i výsledné zbarvení laku, např. kermesový lak je více červený a méně hnědý při nepřímé přípravě. V práci Saunderse a Kirbyho bylo ověřeno, že pigmenty připravené přímou metodou blednou pomaleji nežli vzorky získané z vlněných odstřižků.

Na výslednou světlostálost má vliv i druh použitého substrátu. V období před 19. stoletím byly používány jako substrát bílé sloučeniny, které se po dispergování v pojivu staly průsvitnými. Běžným substrátem byl hydratovaný oxid hlinitý, často s vápenatými solemi, dále některé formy uhličitanu vápenatého (např. mramor), které se přidávaly do roztoku barviva s kamencem nebo se přidávaly k alkáliím. Výsledný substrát obsahoval vysráženou vápenatou i hlinitou sůl. Přebytek vápenaté soli působil jako plnidlo. Ojedinele byly laky připraveny tak, že se do barvicí lázně přidala křída obsahující hlinku nebo jiný inertní materiál. Pigment pak obsahoval jen málo hlinitých sloučenin. V těchto pigmentech je vytvořená chemická vazba mezi molekulou barviva a anorganickým substrátem mnohem slabší nežli u pigmentů, kde byl substrát srážen během reakce. Substráty, které obsahují vápenaté ionty, mají vliv na výslednou barvu

pigmentu. V recepturách se objevují např. při přípravě žlutých laků a laků z brazilského dřeva.

Z experimentů Saunderse a Kirbyho vyplynulo, že košenilové karmíny jsou světlostálější nežli připravené laky. Světlostálost laků se lišila podle substrátů, jak je vidět na *obrázku 8.5.1*.



Obr. 8.5.1 Barevné difference (ΔE) košenilových laků s různými substráty a košenilového karmínu při různých dávkách osvětlení (umělé denní světlo – zářivka s umělým denním světlem Thorn, intenzita osvětlení 10 000 luxů)⁷.

V *tabulce 8.5.2* jsou pro srovnání uvedeny světlostálosti lakových pigmentů, které byly studovány Fehlerem.⁸

Tab. 8.5.2 Příklady světlostálosti vybraných pigmentů.

Pigment	Stupeň světlostálosti (přibližně dle ISO R105)
Alizarinový lak	4–5
Indigo	2–3
Kvercitronový lak	2–3
Gumiguta	2–3
Karmínový lak	1–2
Světlice barvířská – červeň	1
Kurkuma	1

Pozn.: Zkoušky byly provedeny na vzorcích umístěných ve vzdálenosti 8,75 cm pod lampou s denním světlem (General Electric HO daylight fluorescent lamps) v místnosti při 21 °C a 50 % relativní vlhkosti. Celková dávka ozáření (320–700 nm) obsahuje okolo 3,8 % blízké UV (320–400 nm).

Na světelnou stabilitu má vliv celá řada dalších faktorů, jejichž význam je uveden dále.

Zařazení UV filtru pomáhá zvýšit světlostálost laků pouze v některých případech.

8.5.2 Stálost barviv na světle

Barvivem je obecně nazývaná každá látka, která je sama silně zabarvená a má schopnost se rozmanitým způsobem vázat na jiné látky. Většina organických barviv je používána v iluminacích ve formě laků. Tyto laky se řadí mezi pigmenty s nízkou světlostálostí (viz výše). Některá barviva však byla používána bez srážení na pigment přímo, např. s pomocí mořidel, při tónování grafických papírů, při barvení obalového papíru, dopisního papíru, některá barviva byla použita v razítkových barvách apod. V archivních sbírkách je výskyt barviv v obou formách velmi hojný a je třeba jim věnovat dostatečnou pozornost.

Organická barviva byla zpočátku získávána extrakcí z různých částí rostlin, později se začala vyrábět uměle. Světelné stálosti rostlinných barviv nejsou v Colour Indexu uvedené, protože jsou zcela mimo zájem současné průmyslové produkce.

Při určování světlostálosti barviv je vždy třeba brát v úvahu studovaný systém jako celek. Výsledná světlostálost je dána světelnou stabilitou celého systému, tzn. na jakém substrátu se dané barvivo nalézá, v jakých podmínkách je světlu vystaveno, jaké další látky jsou v systému přítomné, např. jaké bylo použito pojivo apod. Každá soustava pak představuje svým způsobem unikát, kdy zjištěná světlostálost platí jen pro tento případ. Proto je velmi obtížné porovnat i jednotlivé dosažené výsledky světlostálosti barviv od různých autorů, protože testy byly většinou prováděny za různých podmínek.

Převážná většina přírodních barviv má nízkou až dosti dobrou světlostálost, zatímco syntetická barviva se nacházejí v celém rozsahu stupnice světlostálosti. Je to dáno rozdíly v jejich chemických a fyzikálních vlastnostech.

Vliv faktorů, které mohou výrazně zpomalit či urychlit světelné blednutí, je uveden v následujícím přehledu.

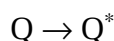
8.5.2.1 Základní principy

Stálost barviva na světle je závislé na celé řadě faktorů. Mezi ty nejdůležitější patří:^{9, 10, 11, 12, 13}

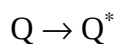
Vnitřní fotostabilita molekuly barviva

Fotostabilita barviv (i pigmentů) závisí na reaktivitě excitovaných stavů způsobených absorpcí světla. Je dána podílem molekul, které po osvětlení za specifických podmínek podléhají rozkladu. Pro barviva připadají v úvahu tři typy fotochemických reakcí:

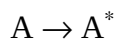
- a) Barvivo absorbuje světlo a potom se rozloží, protože molekuly barviva nejsou v excitovaném stavu chemicky stabilní. Pro fotochemický rozklad není nutná reakce s dalšími sloučeninami, které se nacházejí v systému. Reakce jde vyjádřit schématem:



- b) Fotoexcitovaný stav molekuly barviva je nestabilní, pokud jsou v systému přítomny další sloučeniny. Tyto sloučeniny reagují s excitovanými molekulami barviva, přičemž dochází k jejich přeměně na jiné sloučeniny. Pokud v systému příslušné sloučeniny přítomny nejsou, aktivovaná molekula barviva přejde do základního energetického stavu fyzikální deaktivací a nedojde k blednutí barviva.



- c) Světlo absorbují jiné sloučeniny nežli barvivo, které potom ve svém excitovaném stavu reagují s barvivem.



Obrovská většina světlostálých molekul barviv a pigmentů převádí původní absorbovanou světelnou energii na teplo, čímž nedochází k porušení vazeb v molekule.

Chemická struktura barviva

Chemická struktura barviva má přímý vztah ke stálosti na světle.

Chemickou strukturu barviva lze rozdělit na dvě části:

- základní skelet,

- další substituenty (skupiny).

Každá třída barviv vychází z charakteristického skeletu, který obecně určuje průměrné vlastnosti světlostálosti. Další substituenty změní světlostálost určitého barviva pouze uvnitř dané třídy, tzn. nijak významně. V současné době je ustanoveno přes 25 tříd barviv, přírodní barviva jsou zařazena do 8 tříd. V rámci jednoho základního skeletu molekuly barviva platí:

- Přítomnost aminoskupiny a hydroxylových skupin v organické molekule stálost na světle snižuje.
- Přítomnost sulfoskupin, karboxyskupin a halogenů ji často podstatně zvyšují.
- Intramolekulární vodíková vazba světelnou stabilitu zvyšuje.

Např. krátká životnost tripletových stavů 1,4-disubstitovaných antrachinonů a aminoantrachinonů je dána existencí silné intramolekulární vodíkové vazby, která umožňuje rychlou deaktivaci. Rovněž v případě indigoidních barviv jsou důležitým faktorem urychlení nežádoucího rozpadu (vnitřní konverze) intermolekulární a především intramolekulární vodíkové vazby.

- Symetrická molekula barviva má obecně vyšší světlostálost než nesymetrická.

Tyto poznatky se dají aplikovat jen u souboru barviv stejné základní struktury a nejdou zobecnit pro barviva s rozdílným chemickým základem.

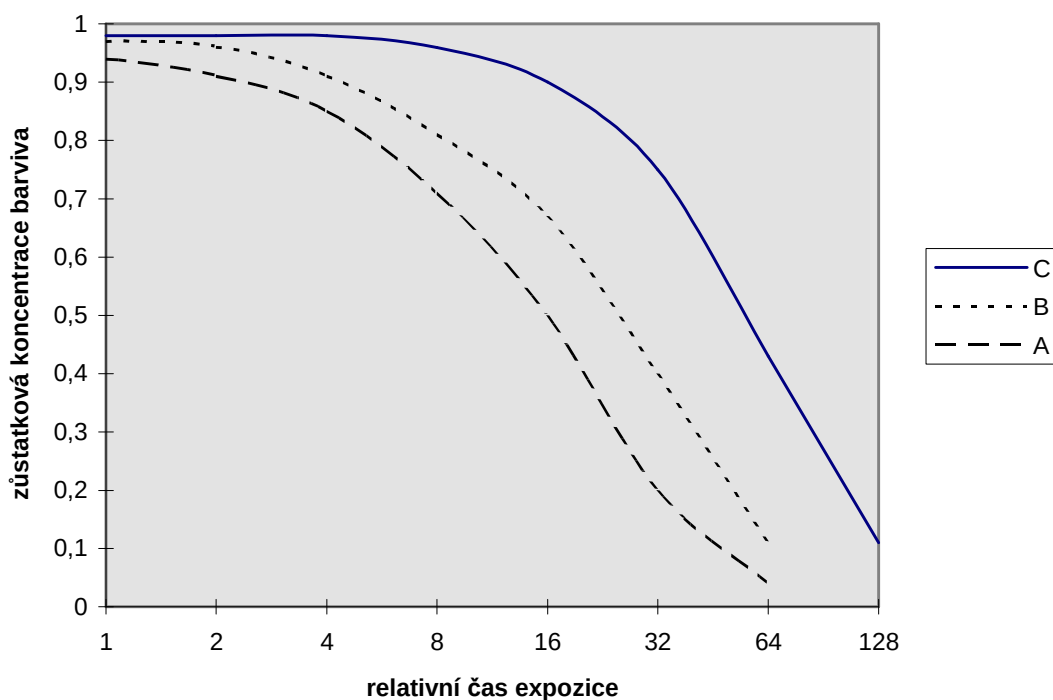
Koncentrace a/nebo stupeň agregace barviva v substrátu

Většina vodorozpustných barviv tvoří asociované částice, které se adsorbují na vlákno. Molekula barviva je velká a má silnou intermolekulární přitažlivost, která se projevuje při kontaktu s pevným povrchem, kdy ztrácí ochranný obal vody. Barvivo se může nacházet v obarveném vlákne v širokém rozmezí velikosti částic; od jednotlivých molekul až po rozsáhlé agregáty, které obsahují stovky molekul. Barvivo s většími agregáty má vyšší světelnou stabilitu, protože je expozici světla a vzduchu přístupný jen menší povrch částic.

Ve vodě nerozpustná barviva tvoří na vlákne amorfni částice nebo krystaly.

Zvyšování světlostálosti se stoupající koncentrací barviva musí být proto v mnoha případech výsledkem vzniku agregátů ve vlákne. Pokles světlostálosti se stoupající koncentrací barviva je jev extrémně vzácný. Objevuje se u některých fluorescenčních

zjasňujících prostředků (FBA) disperzního typu. Na *obrázku 8.5.2* je znázorněn průběh blednutí barveného filmu za předpokladu, že rychlost blednutí je úměrná intenzitě osvětlení, film je barvivem obarven homogenně, produkt blednutí je inaktivní a záření je monochromatické. Z průběhu křivek je patrné, že slabé vybarvení je méně stálé na světle nežli silné vybarvení.



Obr.8.5.2 Blednutí obarveného filmu¹⁴. A – slabé vybarvení (relativní koncentrace 0,33), B – střední vybarvení (relativní koncentrace 1,0), C – silné vybarvení (relativní koncentrace 3,0).

Průběh blednutí barviv, které poskytují zbarvené produkty je jiný.

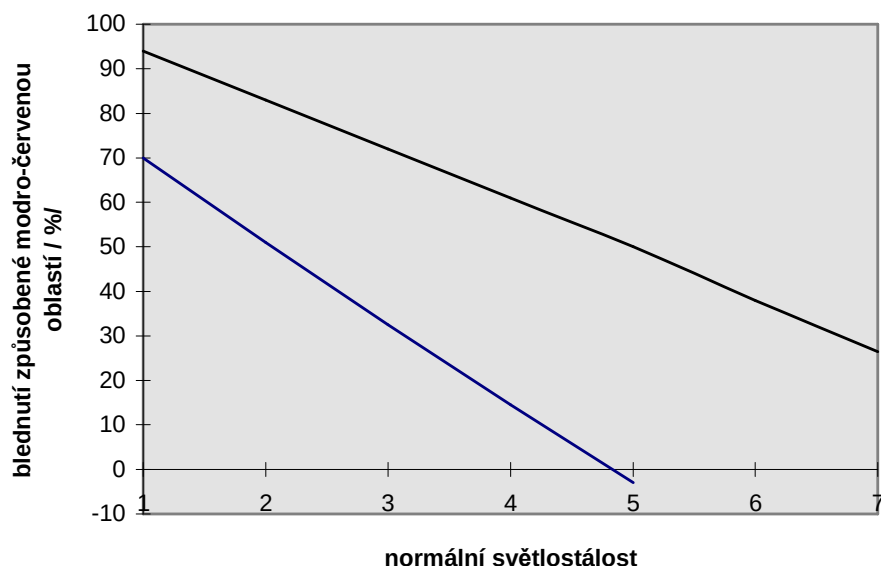
Druh substrátu (rozuměj obarvený materiál)

Světelná stabilita určitého barviva může být různá vzhledem k použitému substrátu. Např. indigo je mnohem světlostálější na vlně nežli na bavlně, zásaditá barviva jsou stálější na akrylovém vlákne nežli na vlně nebo bavlně. Obecně jsou barviva stálější ke světlu na viskóзовém hedvábí nežli na bavlně. Rozdílná je i světelná stabilita organických laků. Je závislá na tom, jaký druh substrátu byl při srážení použit. Z výsledků experimentů vyplývá, že na stabilitu laků nemá významný vliv podložka⁷.

Charakteristika dopadajícího záření

Vlnová délka dopadajícího záření má rozhodující vliv na blednutí barviva a přímo souvisí s vnitřní fotostabilitou každého barviva. Obecně platí, že nestálá barviva jsou citlivá k UV i viditelné oblasti spektra. Stálá barviva jsou citlivá jen k oblasti UV záření. Některý materiál bledne vlivem záření při určitých vlnových délkách. Bezbarvý materiál jako laky nebo pojiva absorbují UV, proto je jejich poškození významné v této oblasti.

V roce 1956 Mc Laren¹⁵ publikoval souhrn poškození přibližně stovky moderních barviv různých stupňů světlostálosti způsobených viditelným zářením slunečního světla. Z obrázku vyplývá, že existuje vzájemný vztah mezi světlostálostí barviva a mírou poškození modro-červenou oblastí světelného záření.



Obr. 8.5.3 Vztah mezi normální světlostálostí barviva (modrá stupnice) a účinností modro-červené spektrální oblasti při blednutí.

Podle Mc Larena leží pouze 20 ze 117 zkoušených různorodých barviv mimo oblast ohraničenou v grafu dvěma čarami.

Všechny druhy organických sloučenin, ať barvivo, pojivo nebo podložka, mají svůj práh vlnové délky. Všechny vlnové délky kratší než tento práh mohou způsobit poškození v případě, že jsou těmito látkami absorbované. Stabilnější materiál bude mít tedy tento práh u kratších vlnových délek.

Krochman¹⁶ studoval 5 tříd materiálu, který se běžně vyskytuje v muzeích:

- novinový papír,
- grafický papír,
- olejové barvy,
- textil,
- akvarel.

Zjistil, že novinový papír je velmi citlivý k poškození v UV oblasti, vyšší odolnost začíná vykazovat od 450 nm a ještě odolnější je při vlnových délkách nad 550 nm. Akvarel a textil vykazovaly podobnou citlivost k poškození v celé oblasti viditelného spektra. Grafický papír a olejové barvy jsou středně odolné. Krochmann se pokusil o grafické vyjádření poškození studovaných skupin světlem o různých vlnových délkách – faktor poškození x vlnová délka. Zjistil, že všechny skupiny jsou obecně méně citlivé k poškození se stoupající vlnovou délkou, avšak pro každou skupinu je v grafu jiná směrnice.

Mc Laren² uvádí, že permanentní barviva jsou nejvíce ovlivňována v ultrafialové oblasti spektra, zatímco méně stabilní barviva mohou být poškozena i v oblasti viditelného spektra. V této studii byla viditelná oblast světla rozdělena do tří oblastí: 400–460 nm, 460–600 nm a více než 600.

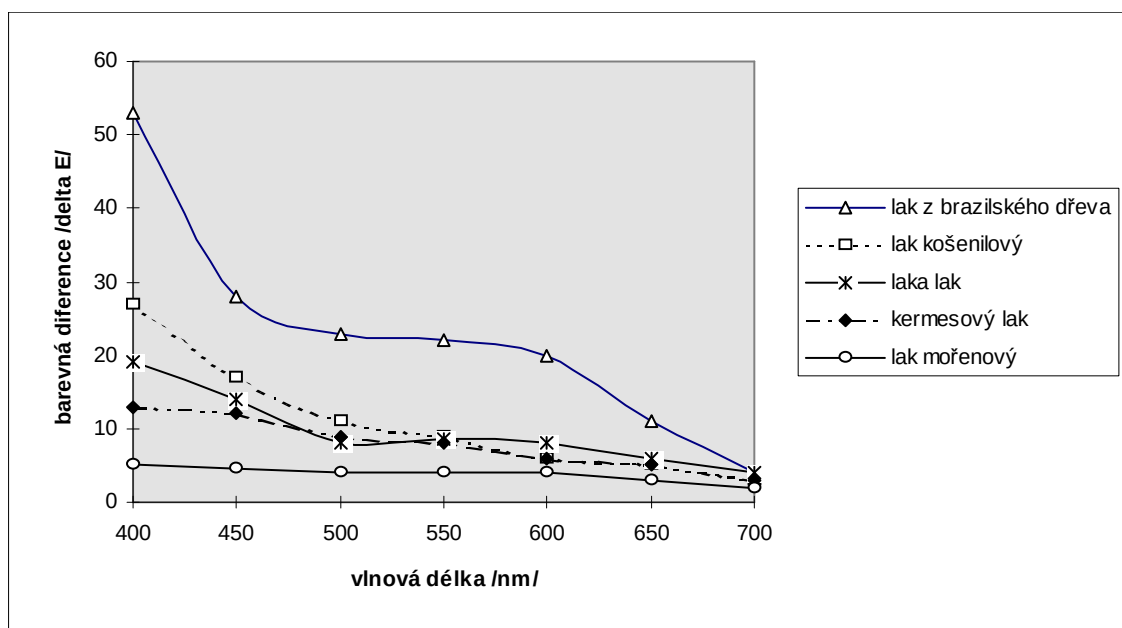
Kenjo¹⁷ ve svých dvou pracech detailněji studoval vliv záření (7 vlnových délek od 390 do 700 nm) na 6 druhů barviv.

Saunders a Kirby⁷ studovali vliv oblasti viditelného záření s vyloučením UV na stabilitu některých vybraných barviv a uměleckých pigmentů. Barviva byla předem vysrážena na nerozpustný anorganický substrát – hydratovaný oxid hlinitý a jako podložka byl použit papír, v některých případech vlna.

Ozářené vzorky byly porovnávány se vzorky uloženými v temnu. Bylo zjištěno, že mírně zvýšená teplota bez světelného vlivu nepoškozuje pigmenty. Nejvyšší změny v barevnosti zaznamenaly vzorky ozářené plným umělým světlem. Při omezení části spektra docházelo k pomalejším změnám. V práci je uveden graf typické barevné změny lakového žlutého barviva získaného ze zralých bobulí *Rhamnus infectoria* v závislosti na vlnové délce ozáření (7 vlnových délek). Rychlost blednutí je nejvyšší při 400 nm a snižuje se se stoupající vlnovou délkou. Pro každý studovaný pigment byl vypracován podobný graf průběhu barevných změn. Pro stanovení vztahu mezi vlnovou ozáření

a poškozením, které je dáno funkcí D_λ , je počítána interpolací barevná změna po expozici $25\,000\text{ Whm}^{-2}$. Tyto hodnoty jsou pak použity při sestavení grafické závislosti barevné změny ΔE proti vlnové délce. Expozice $25\,000\text{ Whm}^{-2}$ je ekvivalentní ozáření vzorku umělým denním světlem (UV záření je odstraněno) při 50 luxech po dobu 8 hodin každý den po čas 40 let.

Vypracovaný graf pro červené lakové pigmenty ukazuje, že laky z brazilského dřeva jsou nejméně stálé, zatímco laky z mořeny barvířské jsou nejstálejší. Mezi nimi se nacházejí košenila, kermes a laka. U všech pigmentů se poškození snižuje se stoupající vlnovou délkou.

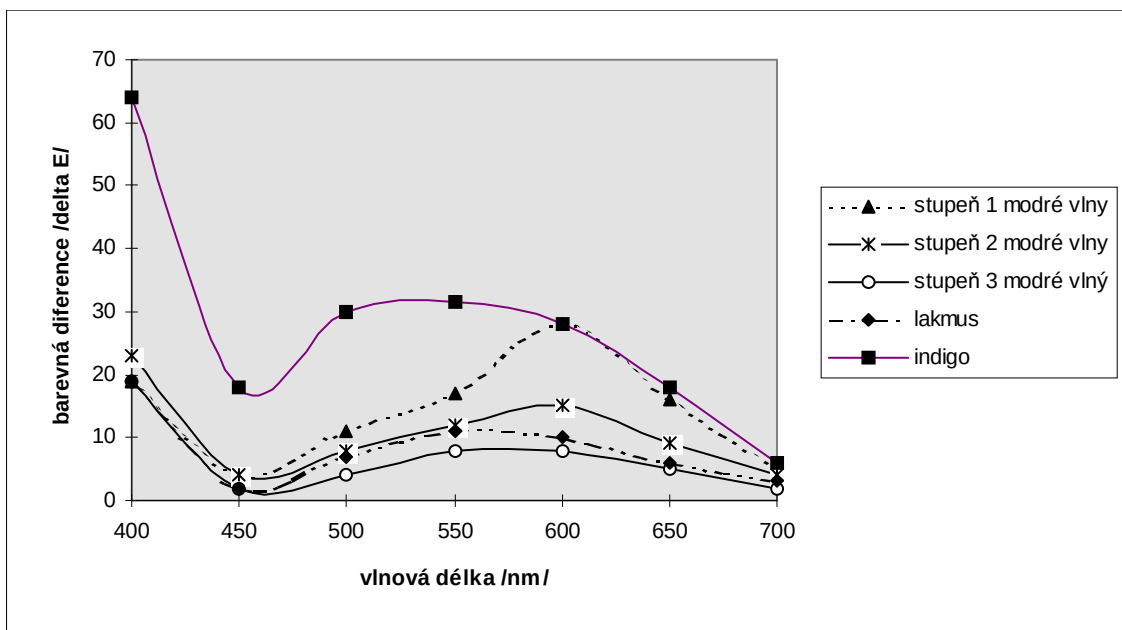


Obr. 8.5.4 Poškození červených lakových pigmentů v závislosti na vlnové délce⁷.

Jiná situace je u modrých pigmentů. Průběh grafu nemá postupnou klesající tendenci. K nejvyššímu poškození dochází při vysokoenergetickém ozáření při 400 nm. Při 450 nm dosahuje poškození modrých pigmentů minima. Toto minimum se nachází v modré oblasti viditelného spektra. Tento jev se vysvětluje tím, že každý modrý pigment má reflektanční maximum právě v této oblasti. Reflektance se snižuje v zelenožluté oblasti, větší poškození je způsobeno právě absorpcí v této oblasti.

V oranžovočervené oblasti se poškození snižuje v závislosti na poklesu energie světla se stoupající vlnovou délkou. Poškození pigmentu není závislé tedy pouze na energii záření, ale i na tom, do jaké míry daný pigment odráží či pohlcuje určitou část spektra. Červené pigmenty naopak absorbují vysokoenergetickou část spektra v modré

oblasti viditelného záření a odrážejí nízkoenergetické červené světlo. Chování žlutých laků je velmi podobné chování laků červených, a může být vysvětleno stejným způsobem.



Obr. 8.5.5 Poškození modrých pigmentů v závislosti na vlnové délce⁷.

Složení atmosféry

Vliv relativní vlhkosti

Ve vlhkém prostředí dochází k rychlejšímu blednutí barviva. Příčiny citlivosti k vlhkosti nejsou dosud spolehlivě vysvětleny. Neplatí, že rychlost blednutí se zvyšuje se stoupající koncentrací vody. Rychlost blednutí barviv se obvykle zvyšuje mezi 45–80 % relativní vlhkosti prostředí. Na toto blednutí má vliv i typ substrátu. U hydrofilních vláken, zvláště celulózových, dochází k výraznému zvýšení rychlosti blednutí se stoupající vlhkostí. U vlny jsou tyto změny mnohem nižší, a proto byla vlna použita jako standardní předloha pro stanovení světlostálosti. Mc Laren uvádí, že působení vlhkosti může vest ke kuriózním a dosti neočekávaným průběhům blednutí barviv, zvláště na celulózovém vlákne. Rozdílné chování se projeví tam, kde obarvená celulóza bude vystavena podmínkám zataženého nebe a přímého slunečního osvětlu nebo osvětlu v mírném podnebním pásu a tropickém pásu. Bez přímého slunečního osvětlu zůstává objekt chladnější a absorbuje větší množství vlhkosti, tudíž může i rychleji vyblednout. Některé vlhké vzorky blednou až 16krát rychleji nežli suché.

McLaren² zavedl pojem efektivní vlhkosti, což je vlhkost vzduchu v kontaktu s povrchem sledovaného vzorku. Je definována jako kombinace teplot vzduchu a povrchu vzorku a relativní vlhkosti vzduchu během osvětlování.¹⁸

Mnoho barviv (zvláště vysoce světlostálých) se sdružuje v obarveném vlákně do agregátů, které se pravděpodobně tvoří během barvení. Při barvení je vlákno silně nabobtnalé a molekulový řetězec vlákna je vodou dobře oddělen. Po vysušení na vzduchu se srazí do mnohem kompaktnější struktury, a tak uzavře částice barviva. Dokonce i malé částice, které jsou tvořeny několika molekulami, by mohly způsobit blokaci pórů ve vlákně po usušení na vzduchu. Rychlost blednutí systému barvivo–vlákno pak bude záviset na rychlosti, při které molekuly vody proniknou blokovánými místy k místům citlivým k blednutí. Obsah vody zadržované ve vlákně může zvyšovat rychlost blednutí, protože se podílí na zvýšení koncentrace molekul vody, které pronikají přes bariéru. Barviva s nízkou světlostálostí, která jsou reprezentována hlavně malými částicemi, tvoří méně účinné bariéry než světlostálá. Barviva na bavlně jsou k vlhkosti mnohem citlivější než barviva na vlně. Vysvětluje se to tím, že proteinové molekuly jsou mnohem ohebnější než molekuly celulózy, které jsou ve srovnání s vlnou nehybné. Při vysychání se flexibilní vlákna obalí částicemi barviva mnohem snadněji nežli u celulózových molekul.

Některé vlákno se při ozáření na vzduchu rozkládá za vývoje kyslíku a vody, které pak působí na barvivo.

Vliv kyslíku

Bylo zjištěno, že ve vakuu a v inertním plynu barviva neblednou.¹⁸ Slabé změny, které v nepřítomnosti kyslíku probíhají, jsou způsobeny stopami vzduchu nacházejícím se ve vláknech. Některé práce však uvádějí, že barviva významně blednou na textilních substrátech nebo v roztoku bez přítomnosti kyslíku. Tyto rozdíly v dosažených výsledcích vyplývají z toho, že je studována vždy jen jednotlivá soustava barvivo–vlákno, a tudíž získané výsledky nelze zevšeobecnit pro jakýkoliv systém. Příkladem je světelná stabilita 1-amino-4-hydroxyantrachinonu (C. I. Disperze Red 15). Na vlákně acetátu celulózy je vliv záření UV a viditelné oblasti v suchém dusíku zanedbatelný, zatímco v suchém kyslíku je významný. Blednutí tohoto barviva ve vakuu a v inertním plynu na textilním vlákně tedy neprobíhá. Stejně barvivo má však zcela jiné chování na filmu z nylonu. V dusíku značně bledne při použití stejného typu ozáření

a kyslík naopak nezpůsobuje významné blednutí. Je to proto, že dané barvivo nepotřebuje pro reakci s polymerním substrátem kyslík, další rozklad pak probíhá v přítomnosti kyslíku. Při ozáření barviva v dusíku UV kratší vlnové délky dochází k redukci barviva.

Lasarev¹⁹ našel exponenciální vztah mezi koncentrací kyslíku v atmosféře a rychlostí blednutí. Při zvýšeném tlaku kyslíku (nad 100 atm) se rychlost blednutí zvyšuje k limitním hodnotám a stává se na tlaku nezávislá.

V některých případech může kyslík působit jako inhibitor blednutí.

Vliv teploty

Teplotní koeficient blednutí je nízký a změny teploty mají převážně nepřímý vliv na rychlost blednutí (viz vlhkost). Pokud je udržována vlhkost vzduchu na konstantní hodnotě, zvýšením teploty se zvyšuje rychlost blednutí. Vliv teploty je malý, ale významný a liší se v závislosti na barvivu. Se zvýšením teploty o 10 °C odpovídá průměrnému zvýšení stupně blednutí o 10 %.

Vliv oxidu siřičitého a oxidů dusíku

Kouřové plyny způsobují blednutí, rovněž atmosférický oxid siřičitý a smog může také blednutí ovlivňovat. Oxid siřičitý má částečně význam při blednutí barviv na vlně, která ho významněji absorbuje. Oxidy dusíku se podílejí na blednutí přímých barviv na celulóze v kyselém prostředí.

Přítomnost dalšího materiálu v systému

Další sloučeniny přítomné v systému mohou vstupovat do fotochemických reakcí s barvivem nebo působí fotokatalytickým vlivem na interakci barvivo–substrát. I nepatrné množství může vyvolat relativně výrazné zvýšení rychlosti blednutí. Pozornost je třeba věnovat kovovým solím nebo oxidům, které se nalézají např. v prachu (oxidy železa).

Některé sloučeniny přítomné ve vláknu snižují světlostálost barviva. Příkladem je oxid titaničitý (používaný jako plnivo), který katalyzuje ve vlhkém prostředí vznik peroxidu vodíku. Jinou látkou jsou pryskyřice, jako formaldehydové nebo močovinoformaldehydové. Přítomnost kationaktivních látek a látek tvořících vodíkové můstky ovlivňuje také negativně světlostálost. Příkladem může být fenol, který

rozrušuje agregáty barviva v roztoku i na pevném substrátu. Povrchově aktivní látky rovněž ovlivňují agregaci barviva, což vyvolá změnu světlostálosti.

Sloučeniny, které působí jako UV absorbéry (např. deriváty 2-hydroxybenzofenonu), zabraňují degradaci vláken a blednutí některých barviv. Jejich aplikace má význam pro barviva, která nejsou citlivá k působení viditelného záření. Zvýšení světlostálosti barviva však není vyšší než o 1 stupeň.

Převedením barviva na lak se světlostálost obvykle zvyšuje. Při této reakci dochází ke značné agregaci barviva. Jedná se tedy o fyzikální jev.

Vliv pojiv v barevné vrstvě není příliš významný, jejich absorpce, vzhledem k tomu, že se jedná o bezbarvé látky, je v UV oblasti.

8.5.2.2 Význam oxidace a redukce během blednutí

Molekula barviva je excitována absorbovaným světlem a tak se účastní oxidačně-redukčních reakcí. Barviva mohou být oxidována nebo redukována a současně s nimi i další sloučeniny, např. vlákno. Bylo prokázáno, že při světelném blednutí barviv na celulóзовém substrátu se tvoří převážně oxidační produkty. Produkty oxidace např. azobarviv dávají vlivem H_2O_2 nebo dalších oxidačních činidel barevné reakce s různými činidly. Skupiny $-NO_2$ a $-Cl^-$ zvyšují odolnost azobarviv k oxidaci a přispívají ke zvýšení světlostálosti barviva na celulóze. Skupiny ethoxy- a methoxy- v barvivu naopak odolnost k oxidaci na celulóze snižují. U proteinových substrátů je účinek opačný. Fotochemické oxidaci snadněji podléhají barviva, která jsou chemicky méně stabilní, tj. ta, jejichž molekula má zranitelná místa v podobě pohyblivých atomů a nestálých vazeb. Pohyblivými atomy jsou v barvivech vodíkové atomy v aminoskupinách a hydroxyskupinách a nestálými vazbami jsou vazby v chinoidních jádrech. Pohyblivost atomů vodíku se snižuje vždy, když jsou hydroxyskupiny nebo aminoskupiny v poloze orto- nebo para- k azoskupině. Atomy vodíku těchto skupin vytvářejí vodíkové vazby s atomy dusíku azoskupin.²⁰

Na proteinovém substrátu při blednutí dochází většinou k redukci barviva. Specifické místo proteinového řetězce, které odpovídá za redukci barviva, bylo identifikováno jako histidin. Detaily nejsou známy.

Z těchto důvodů je velmi obtížné studovat světelnou stabilitu určitého barviva. Pro studijní účely je nutné stanovit určité standardní podmínky. ISO metody standardizují podmínky pro charakteristiku dopadajícího záření a složení atmosféry.

Světlostálost je pak definována pro dané médium nebo substrát s barvivem o známých koncentracích.

8.5.2.3 Rychlost blednutí barviv

Křivky rychlosti blednutí barviv²¹

Křivky rychlosti blednutí představují souhrn vzájemných vztahů mezi fyzikálními a chemickými vlastnostmi barviva ve vláknech a jeho světlostálosti.

Bylo popsáno 5 typů křivek rychlosti blednutí. Jejich význam je např. pro stanovení koncentrace barviva, které je třeba k přizpůsobení vybledlého materiálu. Byla testována řada syntetických a přírodních barviv.

Typ blednutí I

Rychlost blednutí se s časem exponenciálně snižuje. Tento průběh blednutí se v praxi vyskytuje jen zřídka. Barvivo je ve vláknech pravděpodobně molekulárně dispergované.

Třída blednutí II

Zpočátku je rychlost velmi vysoká a s časem se zpomaluje. Blednutí později probíhá při konstantní rychlosti. Do této skupiny patří řada přírodních barviv a většina syntetických barviv.

Tento průběh blednutí vykazuje řada syntetických barviv. Barviva jsou uložena ve formě agregátů uvnitř vlákenného substrátu, avšak malá část barviva je molekulárně dispergovaná.

Třída blednutí III

Tento typ se vyznačuje lineárním průběhem blednutí, rychlost je od začátku konstantní. Objevuje se nejčastěji u pigmentů a barviv, které tvoří uvnitř vláken rozsáhlé agregáty. Patří sem světlostálá přírodní barviva jako košenil a indigo a světlostálá syntetická barviva.

Třída blednutí IV

Barviva zahrnovaná do této skupiny zpočátku tmavnou a později pomalu blednou. Tento typ blednutí se vyskytuje jen u několika stálých barviv. Negativní blednutí je pravděpodobně způsobeno dezintegrací částic vlivem tepla. V některých případech

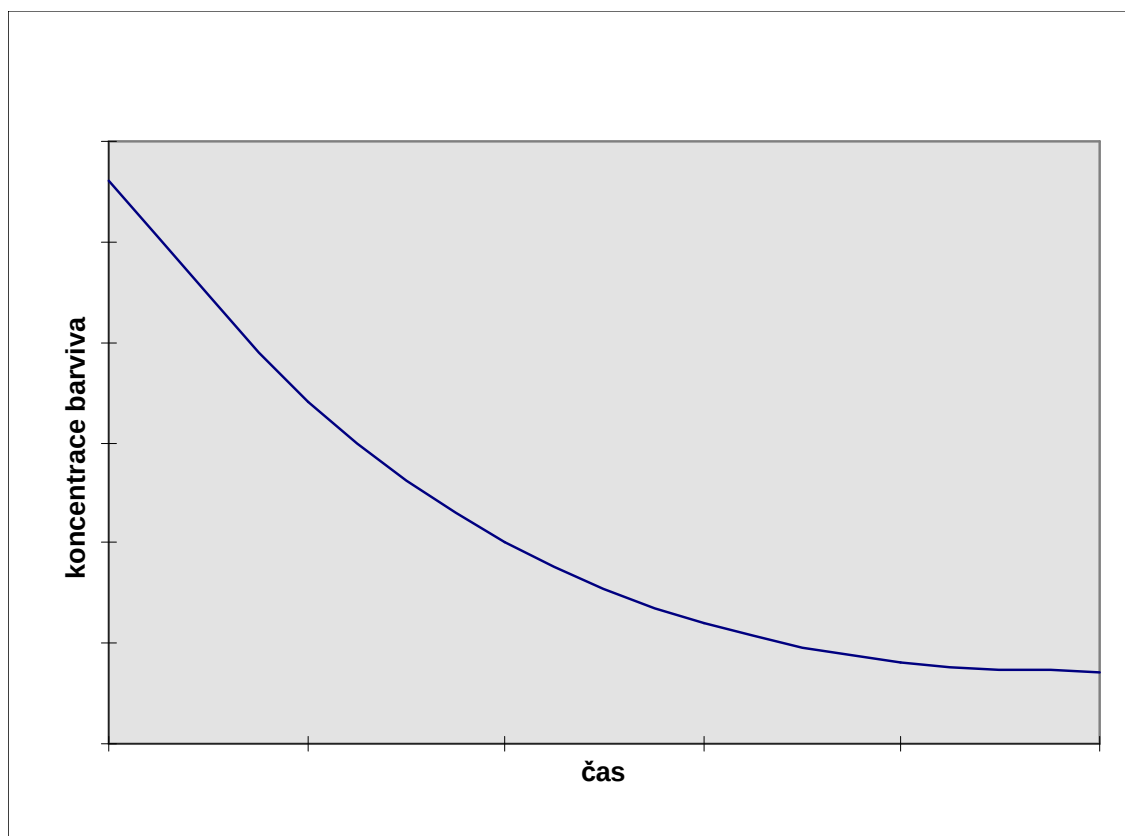
je vyvolán fototropickými změnami barviva. Negativní blednutí je někdy reverzibilní; ochlazením obarveného materiálu (fotochromie neboli fototropie) nebo uložením ve tmě (fotochromie neboli fototropie) po dobu několika hodin dochází k reagraci částic barviva.

Třída blednutí V

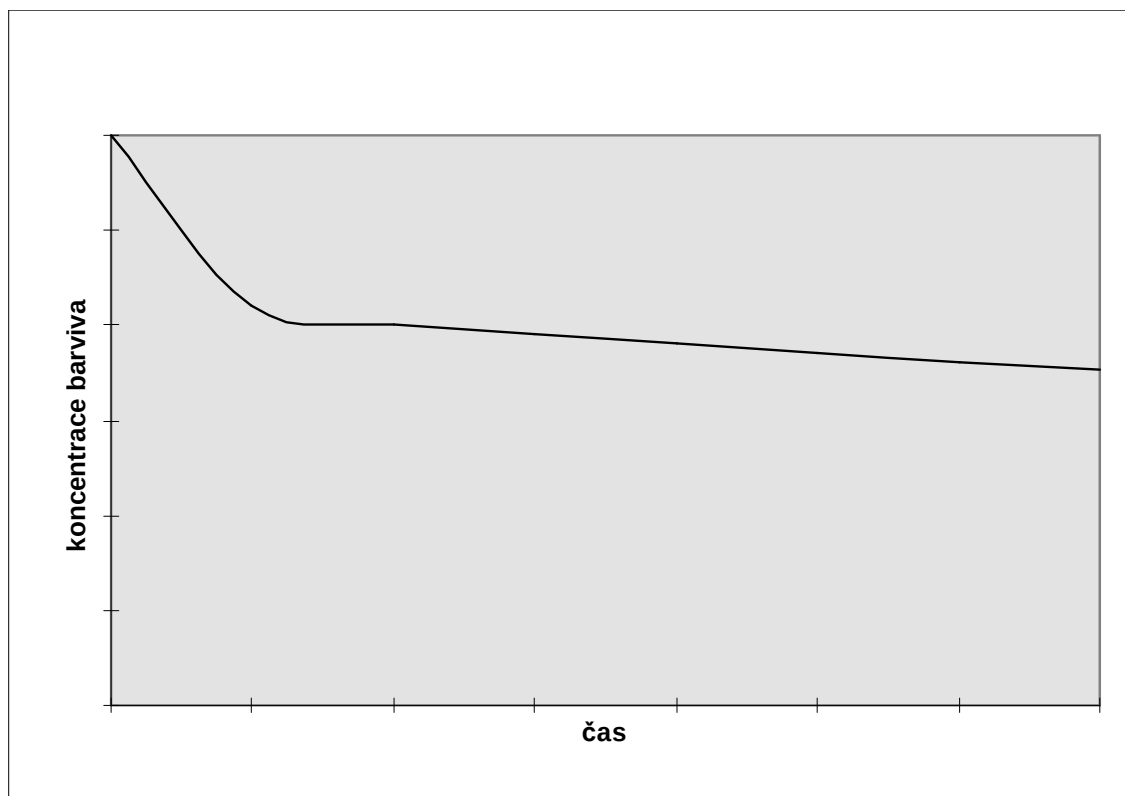
Rychlost blednutí se stále zvyšuje v závislosti na čase. Vyskytuje se někdy u azobarviv na celulóзовém vlákne. U tohoto typu blednutí dochází k pozvolnému rozpadu velkých částic barviva na menší, který je způsoben pravděpodobně teplem ze zdroje osvětlení. Tím se zvětšuje povrch částic barviva a urychluje se i blednutí.

Tvar některých křivek rychlosti blednutí naznačuje rozpad barviva podle reakčních rovnic II. řádu. Produkty rozpadu jsou méně vybarvené nežli původní barvivo.

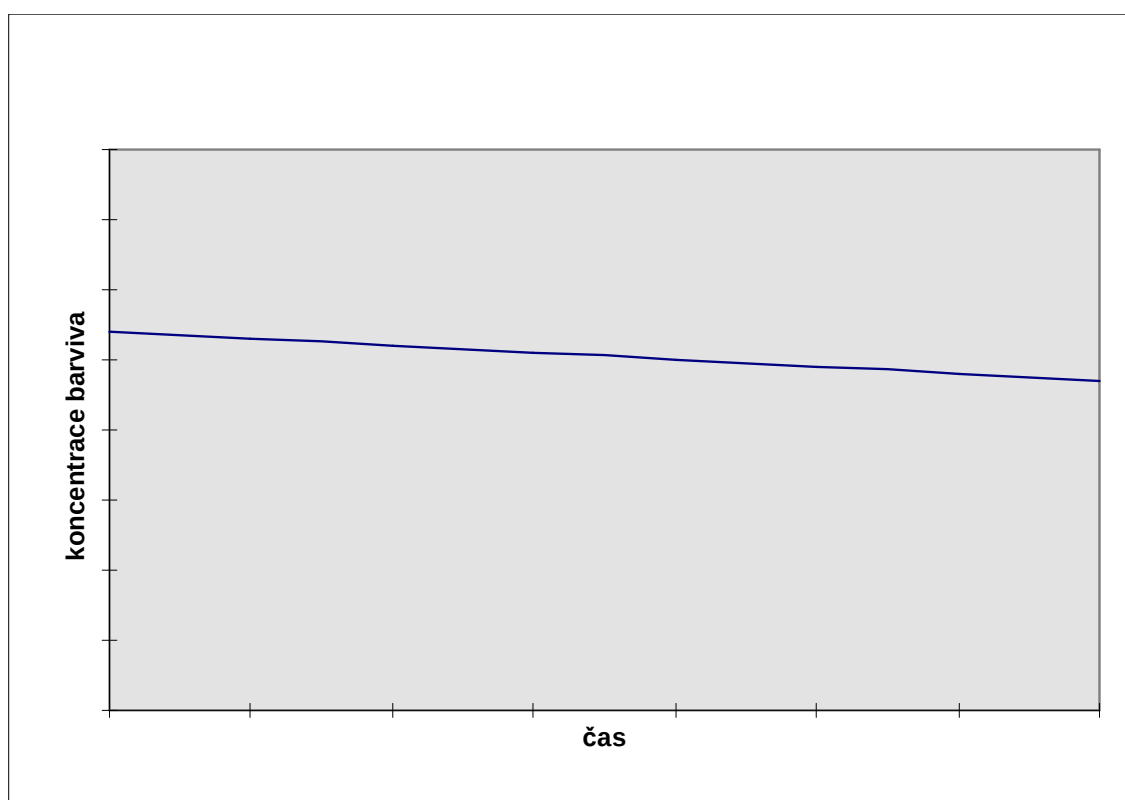
Grafické znázornění křivek rychlosti blednutí



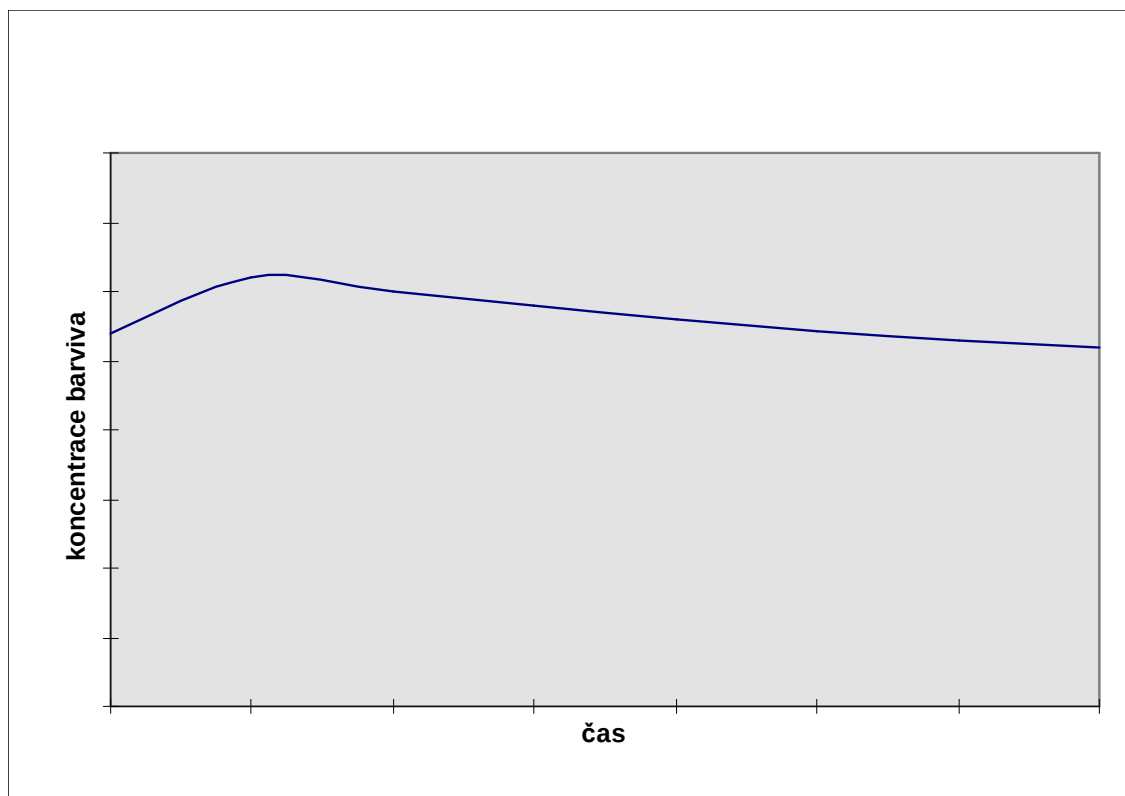
Obr. 8.5.6 I. třída blednutí barviv.



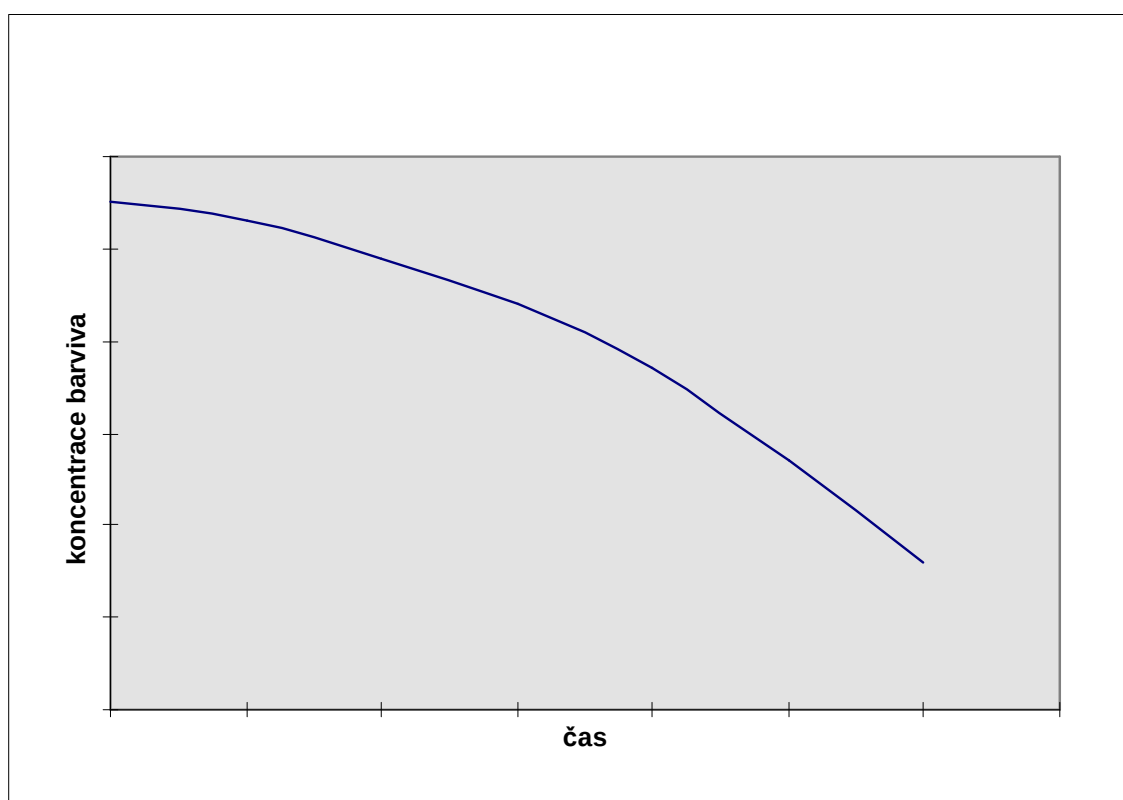
Obr. 8.5.7 II. třída blednutí barviv.



Obr. 8.5.8 III. třída blednutí barviv.



Obr. 8.5.9 IV. třída blednutí barviv.



Obr. 8.5.10 V. třída blednutí barviv.

8.5.3 Ochrana barevných objektů před poškozením

Za nejlepší strategii ochrany muzejních fondů je považována kombinace filtrace UV záření, výběr vhodného osvětlovacího zdroje s nízkou teplotou chromatičnosti a omezování doby expozice.

Kanadský konzervační institut (CCI) vyvinul pro potřeby vystavovatelů v muzeích, galeriích apod. na základě dostupných dat posuvné pravítko světelného poškození.²² (Toto pravítko lze koupit za 20 dolarů). Dále Michalski vypracoval obecného průvodce (Michalski, S.: *Lights and Conservation Guidelines*, Canadian Conservation Institut, Ottawa, Sept.1989). Michalski ve své práci navazuje na Fellerovy tři kategorie.²³

- Nestálá – fugitive (ISO 1–3),
- střední – intermediate (ISO 4–6),
- odolná – durable (ISO 7,8 a více).

a zavádí kategorii čtvrtou: stabilní – permanent.

Tabulka Světelné poškození některých významných pigmentů.

Permanent	Durable		Intermediat			Fugitive		
ISO	8	7	6	5	4	3	2	1
uhlíková čern	kadmia		alizarin (mořena) lak				karmínový lak	
ultramarin okry,umbr			silný	poloviční	slabý		quercitron lak gumigita	
oxidy železa		rumělka						
terre verte						karmín		
azurit						silný	slabý	
CS 98-62 Class I ASTM D4303 Class I								
	30	10	3	1			10 000 lx	
	300	100	30	10	3	1		1 000 lx
	1000	300	100	30	10	3	1	300 lx
	6 000	2 000	600	200	60	20	6	50 lx
Roky ⁺ , za které dojde k první pozorovatelné barevné změně ⁺⁺ .								

+ 3 000 hodin za rok, tj. 300 dní x 10 hodin.

++ Úplná ztráta barvy trvá přibližně 30krát déle, u tenké vrstvy je kratší.

Dle Michalského umožňuje rozdělení světlostálosti materiálů do těchto kategorií učinit tyto praktické závěry:

1. Většina historických barviv a lakových pigmentů, většina rostlinných a živočišných barviv spadají do první kategorie. Naštěstí se většinou nacházejí v knihách, které se přechovávají zavřené a uskladňují v tmavých depozitářích.
2. Indigo a výtažky z mořeny barvířské jsou odolné na vlněné podložce, ale středně odolné na hedvábí a nestálá na bavlně. Iridizující barviva jsou odolná.
3. Významné červené pigmenty, karmín, lak z kořene mořeny barvířské a alizarinový lak spadají do střední kategorie, pouze karmín ve slabé vrstvě je nestálý. Alizarinový lak je odolný v silné vrstvě.
4. Sazové inkousty jsou odolné až stabilní. Malba s trvanlivými a permanentními pigmenty v přítomnosti UV záření dříve zkřídovají nežli blednou.
5. Poškození lesku a křídovatění je způsobeno především UV zářením. Většina poživ je nestálá a středně stálá.

8.5.4 Dodatky

Způsoby hodnocení stálosti pigmentů a barviv na světle

Hodnocení světlostálosti barviv a pigmentů je prováděno podle zavedených konvencí v textilním průmyslu.

Modrá osmičlenná stupnice pro zkoušky stálosti na světle a v povětrnosti dle ISO 105–B²⁴

Jednotlivé stupně modré stupnice značí:

Stupeň č.	Stálost na světle nebo v povětrnosti	
1	velmi nízká	very poor
2	nízká	poor
3	dosti dobrá	moderate
4	středně dobrá	fairly good
5	dobrá	good
6	velmi dobrá	very good
7	výborná	excellent
8	vynikající	unsurpassed

Tato stupnice je též součástí normy British blue wool standard BSS 1006 a DIN 16525 a je v současné době velmi rozšířená. Systém „Modré vlny“ tvoří 8 barvených vlněných pruhů, které blednou charakteristickou rychlostí. ISO 1 je nejméně stálé

a ISO 8 je nejstálejší. Každý standard s vyšším číslem má přibližně dvojnásobnou stálost než předcházející.

Stálost na světle a povětrnosti je testována ozařováním xenonovou výbojkou (přístroj Xenotest 450) spolu s osmičlennou standardní stupnicí. V přístroji jsou imitovány různé klimatické podmínky změnami teploty a vlhkosti.

Ve Spojených státech amerických se stále dává přednost při hodnocení stálosti slovnímu pětistupňovému vyjádření světlostálosti před použitím modré stupnice, a to výrazy:

Stupeň č.	Stálost	
1	nízká	poor
2	dosti dobrá	fair
3	dobrá	good
4	velmi dobrá	very good
5	výborná	excellent

Další tabulka představuje způsob hodnocení světelné stálosti uměleckých děl pro výstavní účely. Hodnocení představuje určité zjednodušení a snažší provedení v praxi. V tabulce je vyjádřena přibližná kvantifikace světelného záření v megaluxhodinách, které je potřeba k dosažení právě zpozorované změny blednutí pro každý stupeň ISO.

Tabulka ²⁵.

ISO stupnice Modré vlny	1	2	3	4	5	6	7	8
První změna (megaluxhod)	0,4	1,2	3,6	10	32	100	300	900
Kategorie dle Feller [*]	C			B			A	
	Fugitive			Intermediate			Excellent	
Kategorie dle MMMFA ^{**}	1			2			3	
	Sensitive			Intermediate			Durable	

^{*} Center of the Materials of the Artist and Conservator navrhl na základě jednání v Záhřebu a Veroně hodnocení světlostálosti uměleckých materiálů ve třech kategoriích, které jsou v přímé souvislosti se stupnicí modré vlny ISO R105 (viz tabulka). Dělení do těchto kategorií má význam především pro zjednodušení přípravy výstav různých uměleckých děl.

^{**} Montreal Museum of Fine Arts navrhuje také tři kategorie stálosti.

Vysvětlení některých pojmů

Termochromie (termotropie)

Termochromie je úkaz, kdy se barevný odstín látky mění vlivem teploty.

Fotochromie (fototropie)

Fotochromií se nazývá jev, kdy nebarevná nebo slabě zabarvená sloučenina v krystalu nebo v roztoku se působením světla silně zabarvuje a ve tmě se původní barva téměř úplně vrátí. Jedním z nejlépe prostudovaných typů jsou fototropní látky s izomerií cis-trans. Termodynamicky stálější forma trans přechází působením světelné expozice na méně stálou formu cis, která se ve tmě vrací na stálou formu trans. Druhým typem fototropních látek jsou látky s disociačním mechanismem. Molekula fototropní látky disociuje účinkem světla na ionty, někdy ve spojení s otvíráním kruhu. Ve tmě probíhá obrácený proces na původní nedisociovanou látku. Typickým představitelem tohoto typu mechanismu jsou trifenylmetanová barviva.

Literatura

1. Michalski S.: Damage to Museum Objects by Visible Radiation (Light) and Ultraviolet Radiation (UV).
2. Thomson Garry: The Museum Environment, Second Edition, London 1960–1985.
3. Colour Index, Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists, 1956–1973.
4. FitzHugh W. E. (Editor): Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics, Volume 3, National Gallery of Art, Washington, 1997.
5. Feller R. L.: Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics, Volume 1, National Gallery of Art, Washington, 1986.
6. Roy A. (Editor): Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics, Volume 2. National Gallery of Art, Washington, 1993.
7. Saunders D. and Kirby J.: Wavelength Dependent Fading of Artists' Pigments .Preventive Conservation Practice, Theory and Research, ed. A. Roy and P. Smith (London 1994), 190–194, Saunders D.: Light-induced Colour Changes in Red and Yellow Lake Pigments, National Gallery Technical Bulletin, 1994, vol. 15, p. 79–97.
8. Feller R. L. and Johnston-Feller R.: Continued Investigations Involving the ISO Blue – Wool Standards of Exposure. ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa 1981.
9. Arient J.: Přehled barviv, SNTL, Praha 1968.

10. Giles C. H., Mc Kay R. B.: The Lightfastness of Dyes: A Review. *Textile Research Journal*, Vol. 33, July 1963, p. 527–577.
11. Egerton G.S., Morgan A.G.: The Photochemistry of Dyes. *Journal of the Society of Dyers and Colourists.*, Vol 86, No 2, 1970, p.79–83, p.79–83.
12. Giles, C. H., Duff, D. G, Sinclair, R. S.: The relationship between dye structure and fastness properties. Review of progress in coloration and related topics. vol. 12, 1982, pp. 58–65.
13. Beek H. C. A., Heertjes P. M.: Fading by Light of Organic Dyes on Textiles and Other Materials. *Studies in Conservation*, vol. 11, No. 3, 1966.
14. Egerton G. S., Morgan A. G.: The Photochemistry of Dyes. II – Some Aspects of the Fading Process. *JSDC* June 1970 pp. 242–249.
15. McLaren K.: The spectral regions of daylight which cause fading. *Journal of the Society of Dyers and Colourists* 72 (1956) 86–99, 527.
16. Aydinli S., Krochmann E., Hilbert E., Krochmann J.: On the deterioration of exhibited museum objects by optical radiation. CIE Publication 89/3. CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) Technical Collection, 1990.
17. Kenjo T.: Discoloration of some red colors irradiated with monochromatic lights. *Science for Conservation* 26 (1987) 31–34.
18. Bolis M. A.: *Journal Soc.Dyers Colourists* 25, 1909 s. 65.
19. Lasarev P.: *Ann.Physik* 24, 1907, s. 661.
20. Zahradník M. Barviva používaná v technické praxi, SNTL, Praha 1986.
21. Crew C. P.: The fading rates of some natural dyes. *Studies in conservation* 32, 1987, p. 65–72.
22. A light damage slide rule, CCI Notes N2/6, Canadian Conservation Institute, Ottawa (1989).
23. Michalski S.: Towards Specific Lighting Guidelines. Preprints of the 9th Triennial Meeting, Dresden, Germany, p. 583–588.
24. ČSN EN ISO 105-B02
25. Colby M. K.: A Suggested Exhibition/Exposure for Works of Art on Paper, Montreal Museum of Fine Art.

8.6 NOVODOBÉ PSACÍ PROSTŘEDKY¹⁻⁹

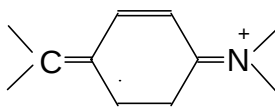
Dr. Ing. Michal Ďurovič

8.6.1 Úvod

Základ výroby syntetických barviv byl položen roku 1834, kdy byl destilací uhelného dehtu získán anilin, tvořící výchozí produkt výroby syntetických – anilinových barviv. Dnes se nazývají dle suroviny barviva dehtová. V roce 1856 vyrobil anglický chemik Perkin první syntetické barvivo – mauvein. V roce 1859 bylo vyrobeno červené barvivo fuchsin. Prvé azobarvivo bylo připraveno v roce 1877. Koncem 19. a začátkem 20. století začíná nástup a rozvoj průmyslové výroby produkující stovky barviv nejrůznějších odstínů a složení. Většinu novodobých záznamových prostředků tvoří arylmethanová a azobarviva.

8.6.2 Arylmetanová barviva

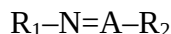
Skelet *arylmetanových barviv* lze znázornit následujícím strukturním vzorcem:



Chinoidní uskupení tvoří chromofor, který je substituován nejčastěji v para poloze k centrálnímu uhlíkovému atomu amino-, alkoxy- či hydroxy- skupinou. Celé seskupení má kationový charakter a je schopné tvorby solí, takže se tato skupina barviv nazývá bazickou. Zavedení sulfonové skupiny do molekuly eliminuje bazické vlastnosti a zavedením další získá barvivo kyselý charakter. Charakteristickými odstíny arylmethanových barviv jsou violet, modř, zeleň a červen. Žádná skupina ostatních dehtových barviv nedosahuje jejich brilanci, čistotu odstínu a intenzitu. Velkou nevýhodou je jejich nízká odolnost vůči světlu, vodě, alkáliím a redukčním činidlům.

8.6.3 Azobarviva

Azobarviva jsou další rozsáhlou skupinou s mnohostranným použitím. Základ jejich chromoforového systému tvoří azoskupina:

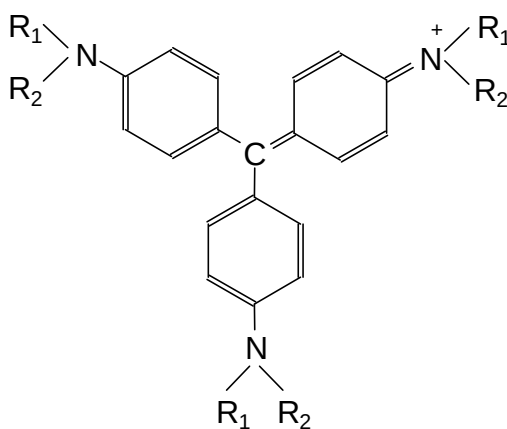


Alkyly R_1 a R_2 jsou většinou substituované aromatické jádro. Substituenty se liší a určují charakter a stálost barviva. Konjugovaných azoskupin v molekule může být i více, pak hovoříme o diazobarvivech, triazobarvivech. Následující přehled zahrnuje nejužívanější novodobé záznamové prostředky seskupené dle způsobu použití.

8.6.4 Kancelářské inkousty

Inkousty se nejprve připravovaly rozpuštěním barviva v určitém množství vody. Vhodné rheologické vlastnosti se dosáhly přidavkem cukru či arabské gumy. Kyselost roztoku se upravila kyselinou šťavelovou či octovou a roztok se zředil na optimální koncentraci barviva (0,5–1,5 %). Po několikadenním stání se inkoust přefiltroval a byl připraven k použití. Začátkem 20. století se začala stékavost a rozpíjivost upravovat přidavkem dextrinu a k inkoustům se přidávala dezinfekční činidla (formaldehyd, fenol). Barviva nejčastěji používaná pro kancelářské inkousty jsou uvedena v následujícím přehledu.

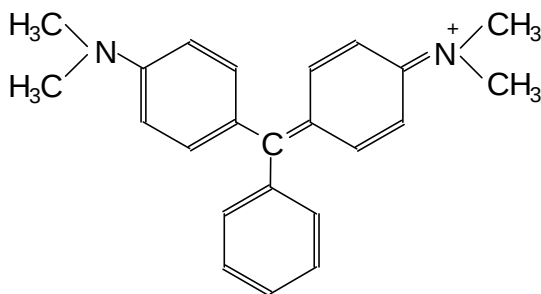
Fialový inkoust se vyráběl na bázi methylvioleti – Basic violet 1:



R_1, R_2 je $-CH_3$ nebo $-H$

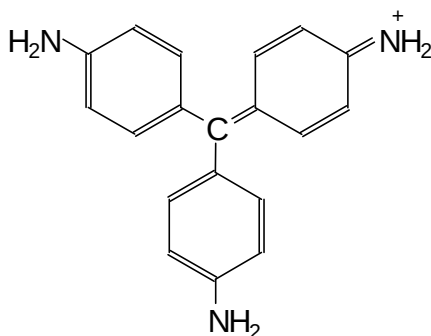
Inkoust dosáhl celosvětového rozšíření a užívá se dodnes. Toto barvivo také tvoří základ inkoustových tužek, fialových kopírovacích papírů, fialových pásek do psacích strojů a fialových kopírovacích (hektografických) inkoustů. Nevýhodou je velmi nízká odolnost vůči světlu, alkáliím, redukčním činidlům, chlóru a teplu. Odolnější je ke kyselinám.

Zelený inkoust se původně vyráběl z malachitové zeleně – Basic green 4:



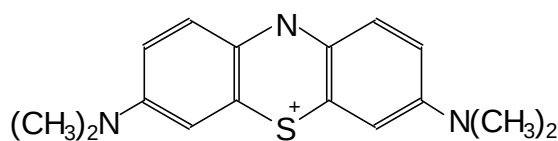
Jde o barvivo velmi citlivé na světlo, redukční činidla, alkálie a chlór. K přípravě zeleného inkoustu se také užívala methylenová zeleň. Byl také připravován redukcí chromanů ethanolem. Později se užívala kyselá arylmethanová barviva Acid green 5 a 9.

Červený inkoust byl původně vyráběn z přírodních organických barviv. Tato byla nahrazena syntetickým fuchsinem – Basic violet 14:

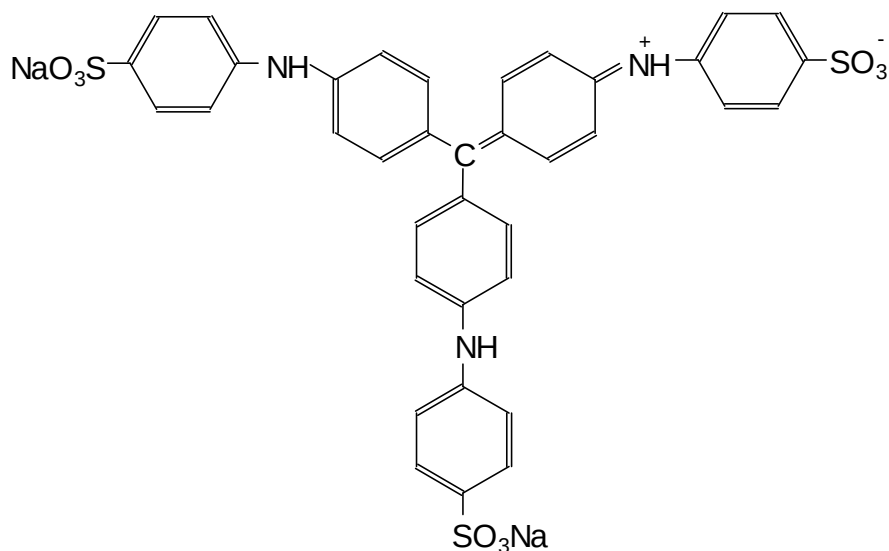


Později se pro výrobu používaly Basic violet 10, Basic red 2 a Acid red 87.

Modrý inkoust byl vyráběn z methylenové modře – Basic blue 9:



Používány byly také rezorcinové a anilinové modři, přírodní indigokarmín a stálý inkoust na bázi berlínské modři. Později získalo dominantní postavení kyselé arylmethanové barvivo známé pod firemní značkou Tintenblau – Acid blue 93:

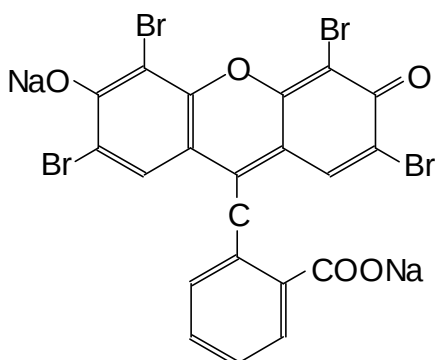


Menšího rozšíření dosáhly inkousty hnědé (Bismarkova hněd'), černé (nigrozin a anilinová čern) a oranžové (methylořaň).

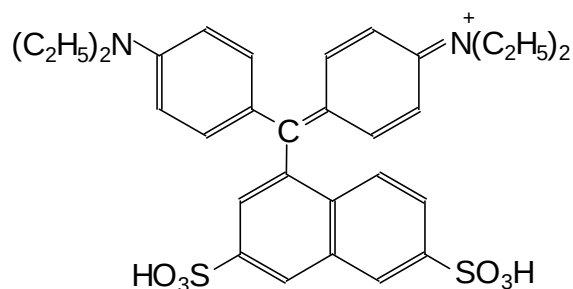
8.6.5 Inkousty do plicích per

Inkousty se připravovaly rozpuštěním barviva v horké destilované vodě. Po ochlazení se přidaly konzervační přísady (fenol, formaldehyd) a látky upravující pH (kyselina octová, uhličitán sodný). Směs se naředila vodou a nechala 1–3 dny ustát. Po filtraci byl inkoust připraven k použití. Důraz se kladl především na čistotu roztoku, neboť pevné příměsi by zanášely tenký kanálek plicního pera.

Modrý inkoust je dlouhodobě vyráběl z barviva Acid blue 93. Červený inkoust z xathenového barviva eosin – Acid red 87:



Fialový inkoust se vyráběl z již popsané metylvioleti. Zelený inkoust se připravoval z mnoha barviv, z nichž největšího rozšíření dosáhlo Acid green 16:



Černé a dokumentní inkousty se vyrábějí na bázi klasického železnato-gallového inkoustu, který je pouze dobarven dehtovým barvivem.

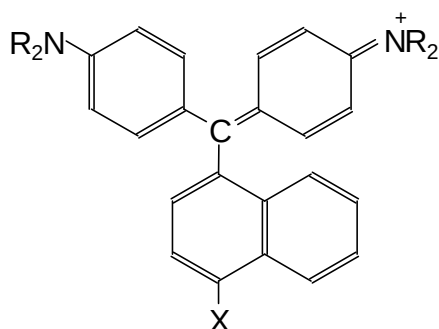
8.6.6 Náplně kuličkových per

Barvivo je v trubičce nad kuličkou a vzhledem k omezené kapacitě náplně i slabého nánosu barevné vrstvy musí být v podobě syté vydatné pasty. Barviva pro přípravu nejrozšířenějších modrých a černých náplní jsou následující. Základem modré pasty je Solvent blue 51, což je v ftalocyaninové barvivo s dobrou odolností proti světlu, vodě i chemickým vlivům. Pro zvýšení brilance modrého zabarvení se do pasty přidávají Solvent blue 4, Basic blue 3, Solvent violet 8 a Solvent violet 9. Černá pasta se vyrábí z barviv na bázi nigrozinů, která se vyznačují světlostálostí i odolností k chemikáliím i rozpouštědlům. Nejčastěji se používá nigrozin R a nigrozinová báze GBA.

8.6.7 Razítkové barvy

Razítka se dělí na kovová a gumová. Pro kovová razítka se používají barvy pojené fermeží, podobné tiskařským. Rozšířenější – gumová – razítka používají barviva rozpuštěná ve směsi vody, glycerinu a vyšších glykolů.

Modrá barva se vyrábí především z bazických arylmethanových barviv ze skupiny Viktoriiny modři – Basic blue 11, Basic blue 26 a Basic blue 52:



X = substituovaná aminoskupina
R = alkyl

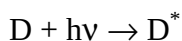
Dále se užívala směs barviv Basic violet 1 a 3 a Basic blue 9. Červená barva se původně vyráběla z fuchsinu, nyní se používá eosin. Fialová barva se dlouhodobě vyrábí z methylvioleti. Někdy se užívají i sulfonované deriváty (Acid violet 49). Černá razítková barva je nejčastěji vyráběna ze stabilních nigrozinových barviv.

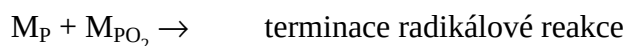
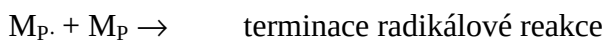
8.6.8 Vliv světla na stabilitu záznamových prostředků

Blednutí barviv vlivem světla probíhá z hlediska chemické kinetiky reakcí prvního řádu. Vliv světelné energie na molekulu barviva probíhá přes stadium jejího excitovaného stavu. Dále molekula barviva v excitovaném stavu reaguje se sousední molekulou nebo volným radikálem, rozpadne se a pozbyde tím chromoforový systém. Reakce probíhá dle následujícího schématu, přičemž celkovou rychlost blednutí barviva určuje reakce (2):



X může být molekula kyslíku, vody, hydroxylový radikál nebo radikál vzniklý ze substrátu. Vzniklé radikály hrají důležitou roli při fotodegradaci barviv nanesených na polymerní matrici. Sirbiladze⁷ navrhuje následující schéma fotodegradace:

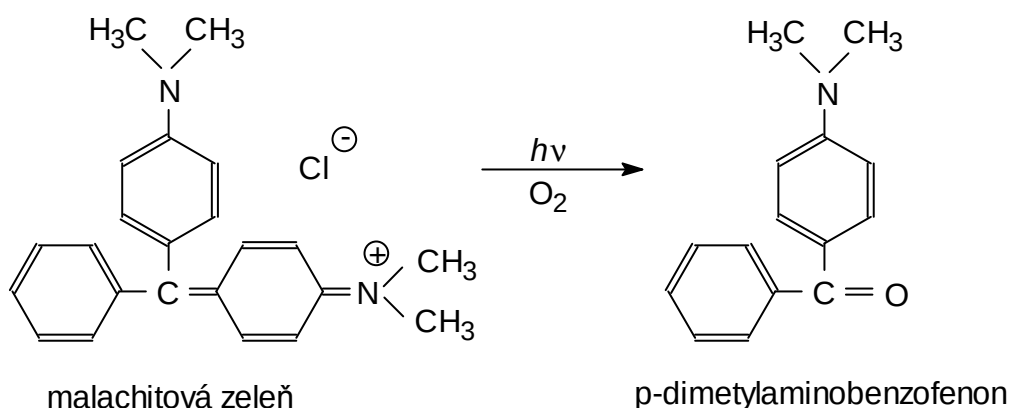




kde D je molekula barviva, D^* excitovaný stav molekuly barviva, P polymerní makromolekula, $P\cdot$ radikál vzniklý z polymeru, $PO_2\cdot$ peroxyradikál vzniklý z polymeru.

Stabilita barviv vůči světlu je dána dvěma reakcemi, které probíhají souběžně – tvorba radikálů a jejich interakce s molekulou barviva. V případě obarvené bavlny může být barvivo považováno za substanci generující radikály.⁷

Arylmetanová barviva obecně vykazují velmi špatnou světlostálost, kterou lze zlepšit zavedením vhodných substituentů do jejich molekuly. Účinkem světla za přítomnosti kyslíku se arylmetanová barviva rozpadají na deriváty benzofenonu. Při rozkladu malachitové zeleně byl identifikován jako rozkladný produkt p-dimethylaminobenzofenon^{1,4}:



Fotodegradace probíhá i za nepřítomnosti kyslíku. Rozklad barviv je velmi rychlý, k úplnému vyblednutí fialového či zeleného nánosu stačí 30–50 hodin sluneční expozice. Egerton a Morgan⁴ popsali rozklad krystalové violeti vlivem světelné energie. Jako produkt rozkladu vzniká barvivo fuchsin:

3. Egerton G. S., Morgan A. G.: The Photochemistry of Dyes I – Fundamental Principles. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 86 (2), 79 (1970).
4. Egerton G. S., Morgan A. G.: The Photochemistry of Dyes II – Some Aspects of the Fading Process. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 86 (2), 242 (1970).
5. Beek H. C. A., Heertjes P. M.: Fading by Light of Organic Dyes on Textiles and Other Materials. *Studies in Conservation*, 11 (3), 123 (1966).
6. Giles, C. H.; Duff, D. G.; Sinclair, R. S.: The relationship between dye structure and fastness properties. *Review of progress in coloration and related topics*, 12, 58 (1982).
7. Sirbiladze K. J. a kol.: Determination of the Lightfastness of Dyestuff by Kinetic Characteristics. *Dyes and Pigments* 14, 23 (1990).
8. Giles Ch. H., Johari D. P., Shah Ch. D.: Some Observation on the Kinetics of Dye Fading. *Textile Research Journal*, 38, 1048 (1968).
9. Zahradník M. Barviva používaná v technické praxi. SNTL, Praha 1986.

9 VIDITELNOST A DOPORUČENÉ INTENZITY OSVĚTLENÍ RŮZNÝCH ARCHIVNÍCH MATERIÁLŮ

Prof. Ing. Jiří Zelinger, DrSc.

9.1 ÚVOD

Archivy vystavují a uchovávají předměty, které charakterizují vývoj lidské civilizace. Vystavují nejen kodexy, knihy, fotografie, archivní dokumenty, ale i umělecké předměty, historické předměty všeho druhu, etnografické předměty a řadu dalších objektů. Většina těchto objektů, především organického původu, je v různé míře poškozována světlem a z toho důvodu jejich osvětlení při vystavení musí být pečlivě zváženo. Úspěšné vystavení, které by nevedlo k poškození objektů a nebo toto poškození omezilo na „přijatelnou“ míru, umožní pouze dobře zpracovaný projekt osvětlení a jeho následné pečlivé technické provedení a dodržení.

Ve vystavení mnohých archivních předmětů se skrývá zásadní paradox. Světlo poškozuje a posléze může zničit řadu objektů, které je účelné vidět a představit veřejnosti. Z toho důvodu metody vystavení a osvětlení těchto objektů musí mít takovou úroveň, aby zabezpečily na jedné straně jejich co nejmenší poškození a na druhé straně umožnily jejich co nejlepší vidění návštěvníkem. Předměty, které jsou chráněny před působením světla trvalým uložením v depozitáři a nejsou vystavovány, ztrácejí z hlediska vzdělávací funkce archivu do značné míry svůj význam.

Objekt, který má být vystaven musí být posouzen z hlediska jeho dispozice pro poškození světlem. Je úkolem zodpovědných pracovníků archivu a především konzervátorů, nalézt rovnováhu mezi oprávněnou snahou chránit dílo před světlem a potřebou je vystavit. Rozhodnutí vystavit dílo a osvětlit je, znamená automaticky, že je akceptováno jeho poškození do určitého stupně. Vystavované objekty archivů, především pak iluminované kodexy a další umělecká díla, není vhodné držet na prahu minimální osvětlenosti. Pouze objekty, které jsou dostatečně osvětlené, může návštěvník ocenit.

9.2 OSVĚTLENOST A VIDITELNOST ARCHIVNÍCH SBÍREK

Hladiny osvětlení, přesněji řečeno intenzity osvětlení (osvětlenosti), jsou v muzeích a galeriích nezbytně věcí kompromisu. Světlo poškozuje většinu materiálů organického původu, ale zároveň je určitá osvětlenost nezbytná, aby objekty vytvořené z těchto materiálů byly jasně viděny badateli a návštěvníky. V současné době jsou lidé pracující v archivech vystaveni významnému tlaku. Ve snaze vzbudit zájem veřejnosti o objekty vystavené na výstavách pořádaných muzei, galeriemi a archivy a zvětšit tak

návštěvnost, jsou vedeni k tomu, aby zvýšili přitažlivost vystavených objektů vyšší osvětleností, a tím je činili poutavější pro oči návštěvníků. Většina z nich chápe svou zodpovědnost za uchování jim svěřených sbírek, ale současně jsou si vědomi, že přísné dodržování v současné době obecně akceptovaných hranic osvětlenosti – viz *tab. 5.1* – může významně ovlivnit význam a přitažlivost jejich výstav.

Základní požadavky na osvětlení muzejních objektů, a tedy i archivních objektů, byly stanoveny již v roce 1961¹. V publikaci Britské společnosti osvětlovacích inženýrů (British Illuminating Engineering Society) (I. E. S.), zvané „I. E. S. – Code 1961“, se objevila doporučení pro dobré vnitřní osvětlení². Jako optimální hodnota minimální osvětlenosti byla navržena hodnota 150 lx. Doporučení byla založena na fyziologicko-optických zákonitostech vidění a zaručovala bezproblémové kvalitní vidění objektů. Hodnota osvětlenosti byl odvozena světelnými techniky od zrakové obtížnosti prováděného úkolu a byl doporučena i pro muzea.

S touto hodnotou nesouhlasil Garry Thomson, tehdejší ředitel Mezinárodního institutu pro konzervaci (International Institute for Conservation) (IIC), který doporučil pro citlivé předměty maximální hodnotu osvětlenosti 50 lx³. Vycházel při tom z vlastních zkušeností a dále ze zkušeností japonských galerií a francouzských muzeí, které byly zveřejněny již v roce 1930 a 1934. Jeho stanovisko bylo všeobecně přijato a tvořilo podklad pro doporučení CIBSE z roku 1980, která jsou uvedena v *tab. 5.1*⁴. Hodnoty byly navrženy za předpokladu, že fotochemické procesy neprobíhají při osvětlenosti pod 50 luxů, ale že se rozvíjejí teprve při vyšších hodnotách osvětlenosti. Při tvorbě návrhů dále nebylo uváženo dlouhodobé působení světla, tedy faktor času – viz *kapitola 5*.

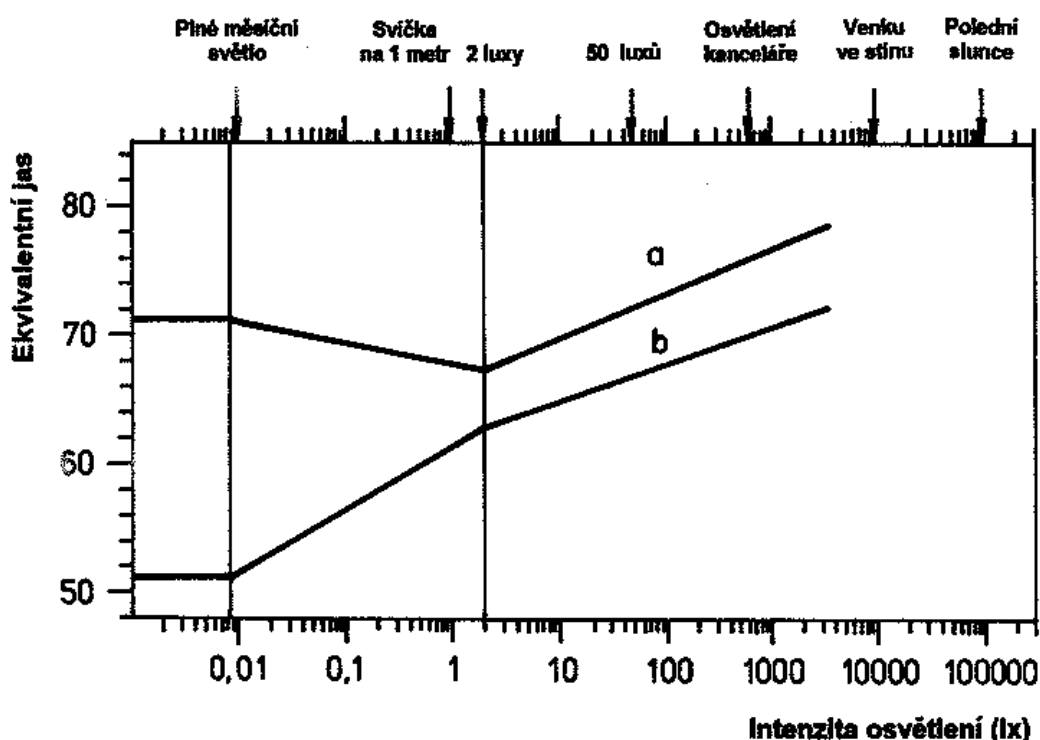
Vznikl tak v současné době nejrozšířenější a všeobecně uznávaný způsob klasifikace muzejních a galerijních objektů do tří kategorií dle citlivosti k světlu – viz *tab. 5.1*. Tato klasifikace, která byla provedena na základě dlouhodobých empirických zkušeností celé řady autorů, je v současné době všeobecně používána jako základ pro doporučení maximální osvětlenosti kulturních objektů.

V *tabulce 5.1* je navržena intenzita osvětlení pro velmi citlivá díla 50 luxů. Uvedená hodnota byla, jak bylo řečeno, všeobecně akceptována v šedesátých letech a představovala pokus vytvořit rovnováhu mezi dobrou možností pozorovat vystavený objekt a požadavky na bezpečnost objektu z hlediska konzervace. Tato osvětlenost umožňuje většině návštěvníků dobře rozlišovat barvy objektu a sledovat i kontrasty.

Závislost mezi osvětleností určitého objektu a schopností rozlišovat detaily

na jeho povrchu či barevné rozdíly je příznačná pro lidský zrakový systém. Tento systém je velmi přizpůsobivý a množství studií, které o něm byly provedeny, je velmi vysoké^{8–18}.

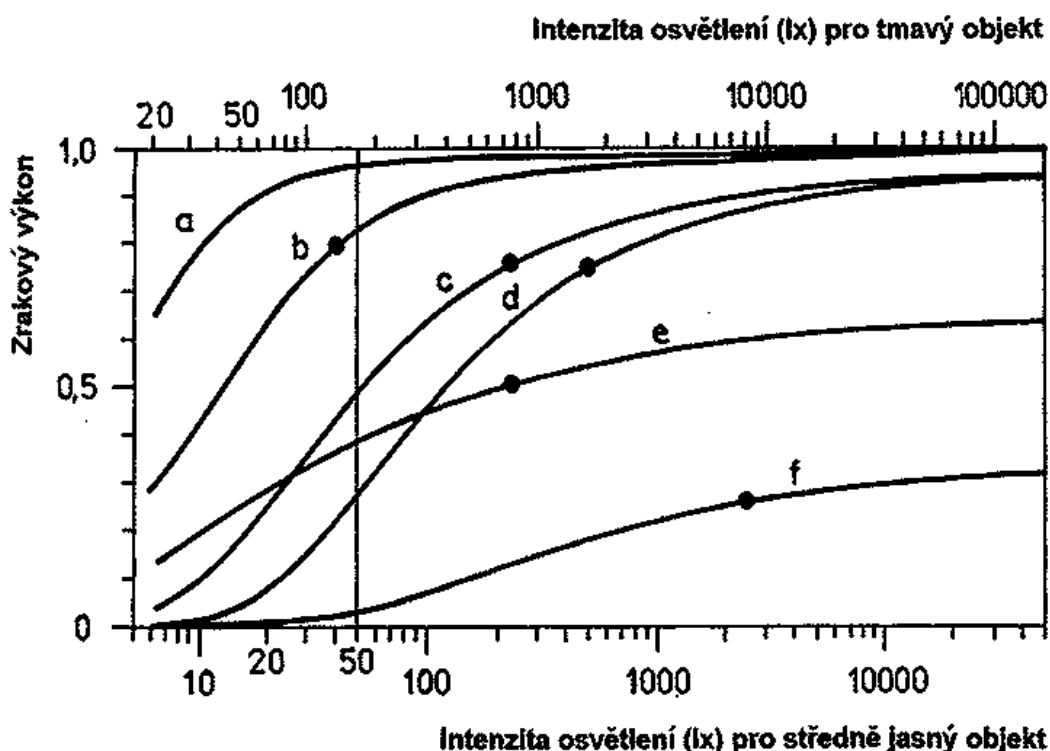
Jedním ze základních problémů volby osvětlenosti kulturních objektů je vztah mezi osvětleností a viditelností určité barvy. V rozporu se všeobecným míněním, že 50 luxů představuje přechod od bezbarvého „nočního“ vidění k barevnému „dennímu“ vidění, se ukazuje, že tento přechod nastává při daleko nižších hodnotách. Jak je patrné z *obr. 9.1*, přechod z monochromatického nočního vidění k barevnému vidění je ukončen již při osvětlenosti cca 2 lx^{10–12}. Barvy a většina detailů je patrná pro mladé lidi při 30–50 luxech. Crawford ve své studii potvrzuje¹³, že schopnost rozlišovat barvy se významně nezmenšuje, dokud osvětlenost neklesne pod 30 luxů. Na druhé straně však konstatuje, že při 50 luxech může být ovlivněn vzhled barevných ploch obrazu v takovém rozsahu, že je potlačen původní umělecký záměr umělce. Konstatuje, že změna vzhledu barev může být významná v případě, že osvětlenost klesne pod 300 luxů.



Obr. 9.1 Závislost ekvivalentního jasů barevného povrchu na osvětlenosti pro různé barvy¹⁰.
a – barva modrá a zelená, b – barva červená a žlutá.

Pracovníci zabývající se návrhem osvětlovacích soustav pokládali vždy viditelnost detailů za základní kritérium viditelnosti¹⁴. Viditelnost barvy byla méně významná. Byl zaveden pojem zrakový výkon, který umožnil popsat přesně to, co je míněno viditelností objektu, tj. přesnost s kterou je viděn objekt ve všech detailech při procházení výstavou.

Schematická představa o závislosti zrakového výkonu na intenzitě osvětlení pro různé podmínky sledování objektu, jako je obtížnost zrakového úkolu, kontrast, jasnost, doba pozorování či stáří pozorovatele, je uvedena na obr. 9.2¹¹.



Obr. 9.2 Závislost zrakového výkonu na intenzitě osvětlení pro různé podmínky pozorování objektu, jako je kontrast, jasnost, doba pozorování či stáří pozorovatele¹³. Velikost detailu 1,2 mm, viděno ze vzdálenosti 1 m. Vysvětlení jednotlivých křivek je v textu kapitoly 9.2.

Křivka *b* na tomto obrázku představuje zrakový výkon pro pozorovatele ve věku 25 let, který řeší snadný zrakový úkol při středním kontrastu. Jako vhodná osvětlenost pro určitý úkol je uvažována osvětlenost, při níž je dosaženo 80 % maximálního zrakového výkonu (při plném denním světle). Tato hodnota osvětlenosti je vyznačena kroužkem v ohybu křivky. V případě, že je sledován objekt se středním jasnem, je hodnota intenzity osvětlení odečtena na spodní ose *x*. V tom případě je kroužek

v blízkosti 50 lx. To potvrzuje základní tradiční zkušenost, že 50 lx poskytuje dobrou viditelnost pro přiměřeně malé detaily za přiměřeného kontrastu pro mladé lidi mající dostatek pozorovacího času.

Křivky *a* a *c* se liší od základní křivky *b* tím, že popisují zrakový výkon při různém kontrastu detailů objektu. Křivka *a* platí pro malý kontrast detailů. Její ohyb na křivce, opět označený kroužkem, označuje hodnotu zrakového výkonu 80 %, kterého bylo dosaženo při cca 250 lx. Pro objekty s vysokým kontrastem dostačuje, jak je patrné z křivky *a*, daleko nižší osvětlenost, a to i při celkově tmavém objektu – horní osa *x*.

Křivka *d* představuje zrakový výkon pro stejné podmínky jako křivka *b* s tím rozdílem, že věk návštěvníka je 65 let místo 25 let. Je zřejmé, že křivka dosahuje stále hodnoty 1 při plném denním světle, ale 80 % maximální zrakový výkon (kroužek na křivce) požaduje téměř 500 lx na spodní ose, tedy 10krát více než pro návštěvníky 25 let staré.

Křivka *e* představuje zrakový výkon pro stejné podmínky jako křivka *b* s tím, že úkol pozorování je složitější. Křivka dosahuje pouze hodnoty 0,6 zrakového výkonu i při plném denním osvětlení a kroužek na křivce označující 80 % zrakového výkonu značí hodnotu čtenou na spodní ose 250 lx.

Konečně na křivce *f* je znázorněn vliv vysokého věku, obtížného úkolu pozorování spolu s nízkým kontrastem. Z křivky je např. patrné, že v případě tmavého objektu při 80 % zrakovém výkonu (kroužek na křivce) je dle čtení na horní ose *x* nezbytné osvětlení cca 8 000 lx.

Z uvedeného je patrné, že hodnota minimální osvětlenosti 50 luxů nevyhovuje ve všech případech¹¹. Bylo navrženo, aby zmíněná hodnota byla vždy násobena činitelem 3, čímž by byly kompenzovány v předchozím textu uvedené proměnné veličiny omezující kvalitu pozorování objektu. Např. v případě, že objekt s nízkým kontrastem detailů s tmavým povrchem by měl být rychle viděn návštěvníkem ve věku 65 let, potom vypočtená hodnota osvětlenosti je: $50 \text{ luxů} \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 4050 \text{ luxů}$. Všeobecně starší konzervátor, kurátor, badatel či znalec provádějící zevrubnou prohlídku tmavého objektu, mající dostatečnou dobu k pozorování, potřebuje $50 \text{ luxů} \times 3 \times 3 \times 3 = 1350 \text{ luxů}$. Je přirozené, že takové aktivity starších expertů je účelné omezit na krátká období, neboť vysoké hodnoty osvětlenosti mohou vyvolat významná poškození – viz kapitola 5.1. I tak je nutno zdůraznit, že zvýšenou intenzitu osvětlení je nezbytné kompenzovat zkrácením doby osvětlení. Např. je doporučováno, aby doba detailního pozorování nestálých barev (ISO 1, 2 a 3) při 1 500 lx nepřekročila

1 % běžného výstavního času při 50 lx.

I když argumenty pro zvýšení intenzity osvětlení ve zmíněných případech jsou racionální, dle jiných autorů není přijatelné, aby při vystavení byla využita maximální vypočitatelná hranice, (tj. 4050 luxů v případě, že by byly kompenzovány všechny proměnné současně), ale předpokládá se využití pouze maximální intenzity osvětlení 150 luxů (50×3)²⁰. I tato zvýšená intenzita osvětlení musí být kompenzována zkrácenou dobou vystavení objektu – viz kapitola 5.1.

Významné je, že pro úspěšné pozorování při nízké hladině osvětlenosti pozorovatel potřebuje několik minut na adaptaci na nízkou hladinu osvětlení. V případě, že je dočasně vystaven vyšší osvětlenosti, např. při přechodu z jedné výstavní místnosti do druhé intenzivně osvětlenou chodbou, adaptační doba se prodlužuje. Je-li tedy skutečně nutné pracovat s nízkými hladinami osvětlenosti, je žádoucí, aby nejen výstavní místnosti, ale i chodby, případně další nevýstavní prostory, kterými prochází návštěvník, byly osvětleny rovnoměrně nízkou osvětleností.

9.3 OSVĚTLENOST A POŠKOZENÍ ARCHIVNÍCH SBÍREK

9.3.1 Intenzita osvětlení a životnost archivních materiálů

Základní možností, jak snížit poškození kulturních památek světlem, je snížení podílu UV záření a snížení intenzity osvětlení. Orientační představu o těchto možnostech dává *tab. 9.1*.

Tab. 9.1 Vzrůst životnosti archivních materiálů podpořený snížením podílu UV záření a intenzity osvětlení projevující se potlačením žloutnutí nebo omezením porušení povrchů maleb, laků, dřeva, kůže, pryže a plastů²¹.

Podíl UV záření	Intenzita osvětlení			
	30 000 lx Průměrné denní světlo	3 000 lx Blízko okna, blízko zářivky, blízko bodového reflektoru	300 Osvětlenost zajišťuje dobrou viditelnost pro návštěvníky každého stáří	30 lx Minimum osvětlenosti pro mladé návštěvníky
Nad 750 $\mu\text{W}/\text{lm}$, tj. denní světlo	x 1	x 10	x 100	x 1 000
75 $\mu\text{W}/\text{lm}$, tj. dobrý UV filtr	x 10 až x 30	x 100 až x 300	x 1 000 až x 3 000	x 10 000 až x 30 000
0–10 $\mu\text{W}/\text{lm}$, tj. nejlepší UV filtr	x 10 až x 100	x 100 až x 1 000	x 1 000 až x 10 000	x 10 000 až x 100 000

Z *tab. 9.1* je možno např. stanovit, jak rychle zežloutne novinový papír za různých podmínek osvětlení. Tento papír v případě, že je vystaven vnějšímu dennímu světlu,

zežloutne cca za 1 týden. V případě dobrého UV filtru se podíl UV záření sníží na 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$, a tím se „doba před zežloutnutím“ prodlouží na 10–30 týdnů. V případě, že je použit nejlepší filtr (propuštěný podíl UV záření 0–10 $\mu\text{W}/\text{lm}$) „doba před zežloutnutím“ se protáhne na hodnoty mezi 10–100 týdnů v závislosti na intenzitě slunečního světla. Je přirozené, že poškození bude záviset i na fialovém a modrém podílu světla – viz *předchozí kapitola*.

Je zjevné, že prodloužení „doby před zežloutnutím“ při použití nejlepšího filtru na cca 2 roky není dostatečné. Jedinou cestou, jak prodloužit „doba před zežloutnutím“ na několik let, je snížit intenzitu osvětlení. Tak v případě, že novinový papír je vystaven intenzitě osvětlení 300 lx a je chráněn nejlepším filtrem, je možno očekávat, že zežloutne za 1 000 až 10 000 týdnů, tj. za 20 až 200 let.

9.3.2 Výstavní strategie

I když *tab. 9.1* poskytuje některé zajímavé informace o vlivu osvětlenosti a podílu UV záření na stárnutí archivních materiálů, přesto neumožňuje běžným konzervátorům a dalším archivním pracovníkům detailní orientaci v zákonitostech výstavní strategie.

Těmito problémy se velmi podrobně zabývali pracovníci Montrealského muzeu krásných umění (The Montreal Museum of Fine Arts – MMFA). Vzhledem k tomu, že jejich přístup k řešení výstavní strategie představuje dobrý příklad, bude dále probrán podrobněji²². Dřívější výstavní strategie MMFA pro umělecká díla na papíru působila jako zdroj napětí mezi různými odděleními v muzeu. Stanovená maximální doba expozice 6 týdnů vyvolala konflikt při každém požadavku na externí vystavení. I když racionální podklad vedoucí ke stanovení této expoziční hranice byl neznámý i konzervačnímu oddělení, výjimky byly běžně udělovány v zájmu splnění nevyhnutelných „politicky významných“ požadavků. V zájmu zachování důvěryhodnosti jak ochrany sbírek při vystavení, tak konzervátorské profese, bylo pro konzervační oddělení významné vyvinout nový přístup, který bylo možno obhájit a vysvětlit.

Motivační faktory, které vedly k přepracování výstavní strategie, byly následující:

1. Požadavek, aby byl vypracován solidně založený kompromis mezi dvěma úkoly muzea, a to konzervací a vystavováním.
2. Nezbytnost vyvinout reálnou ochrannou strategii, která by byla přijatelná pro konzervační oddělení praktické ochrany.

3. Všeobecný souhlas s tím, že strategie musí být založena na dostupných znalostech a poznatcích přírodovědného výzkumu.
4. Významný nárůst počtu požadavků na použití sbírek (i mimo domovské muzeum), který stará strategie nebyla již schopna zvládnout.

Výstavní strategie MMFA nebyla jediná, která měla tyto nedostatky. Některé předběžné výzkumy výstavních strategií většiny ostatních kanadských uměleckých institucí ukázaly, že v této problematice neexistuje jednota a shoda, ale navíc neexistuje ani shoda v přístupu. Dokladem je skutečnost, že se liší názory jednotlivých muzeí na stanovení trvání standardní výstavy díla na papíru. Tato doba se pohybuje v závislosti na instituci mezi 4 týdny až 6 měsíci za rok. Neformální dotazy na konzervátory těchto muzeí ukázaly, že výstavní strategie nebyla znovu posouzena po řadu let a ve většině případů je neznámý i racionální podklad pro dovolenou dobu trvání výstavy.

Při zpracování nové, o něco složitější strategie MMFA, bylo věnováno velké úsilí stanovení citlivosti na světlo jednotlivých děl na papíru ve sbírkách. Významným požadavkem bylo, aby nový navrhovaný systém byl zvládnutelný z hlediska administrativy. Díla na papíru pokrývala rozsáhlý okruh možných citlivostí ke světlu a bylo obtížné je vzájemně rozdělit do kategorií pro potřebu strategie. Dřívější přístup pracovníků muzea dle stanoviska „jedna míra vyhovuje pro všechny“, nebo-li přístup respektující pouze jednu kategorii, poskytl svou přísností na jedné straně falešný pocit bezpečnosti v případě extrémně citlivých uměleckých děl, ale na druhé straně vedl k nadměrné opatrnosti v případě trvanlivějších uměleckých děl. Naskýtala se buď možnost považovat všechna umělecká díla za velmi citlivá, s maximální dobou vystavení 4 týdny za rok, respektující snahu jenom zpomalit blednutí citlivých děl, nebo vytvořit systém, který by umožnil přizpůsobit se v případě odolnějších objektů. Výsledkem byl nový přístup k třídění objektů, který je úspěšně používán konzervačním oddělením MMFA při stanovení vnitřních doporučení pro vystavení od roku 1991.

9.3.2.1 ISO systém modré vlny

Základem výstavní strategie byla skutečnost, že všechna umělecká díla na papíru byla zařazena dle jejich citlivosti ke světlu do jedné ze tří kategorií. Kategorie jsou založeny na Britském standardu modré vlny (British Blue Wool Standard) nebo na standardu ISO (International Standards Organisation) následujícím způsobem:

- Kategorie 1: Díla s hladinou citlivosti ISO 1, 2 a 3.
- Kategorie 2: Díla s hladinou citlivosti ISO 4, 5 a 6.
- Kategorie 3: Díla s hladinou citlivosti ISO 7, 8 a vyšší.

Umělecká díla rozdělili do kategorií konzervátoři. Činili tak na základě znalosti citlivosti ke světlu dle ISO hladin modré vlny uvažovaných materiálů, nebo na základě hledání v *tabulkách 7, 8 a 9*, které pro tyto účely připravilo konzervační oddělení MMFA – viz *kapitola 3.2.3*.

Systém modré vlny se vztahuje k *Britskému standardu modré vlny* BS 1006; 1978, známému také jako standard R 105 série Mezinárodní organizace standardů (International Standards Organisation – ISO 105 series)^{11, 12, 23–25}. Systém sestává z 8 obarvených proužků vlny, které blednou vlivem světla charakteristickou rychlostí. ISO 1 je nejméně stálý a ISO 8 je nejstálejší. Změna barvy zkoumaných materiálů je přirovnávána k změně barvy vzorku některé ISO hladiny. Vzhledem k tomu, že literatura obsahovala dostatek údajů umožňujících zařazení materiálů uměleckých děl na papíru do ISO kategorií, neprovedli pracovníci MMFA originální testování nebo výzkum chování materiálů pro účely tohoto projektu.

Založení strategie na ISO systému modré vlny má mnohé výhody. Je kupř. velmi užitečný k výstižnému a každému pochopitelnému doložení, že všechna umělecká díla na papíru nespadají do nejnižší (nejcitlivější) hladiny, jak bylo často předpokládáno, ale, že ve skutečnosti pokrývají celé spektrum ISO citlivosti od hladiny 1 do hladiny 8. Použití systému ISO je navíc jedinou reálnou cestou k pokusu diskutovat chování materiálů a barviv v závislosti na jejich reakci k světlu. Jiná výhoda je, že systém může být použit k názornému vysvětlení významu blednutí i pracovníkům bez hlubšího přírodovědného vzdělání. Poskytuje konzervátorům přesvědčivé argumenty pro tvorbu ochranné strategie. Sdělení racionálních přírodovědných podkladů podporujících ochrannou strategii umožňuje vznik spolupráce mezi pracovníky různých zaměření a umožňuje i získat podporu při jejím zavádění.

Rozumí se, že systém modré vlny, přísně uvažováno, nemůže být vždy použit k hodnocení všech materiálů v rámci skupiny děl na papíru, a to především tam, kde blednutí barvy není nezbytně rozhodující měněnou vlastností – např. při změně pevnosti v tahu novinového papíru vlivem světla. Výhodné je, že kategorie založené na systému modré vlny poskytují počáteční logické schéma, které umožňuje i jejich rozšíření o další materiály.

9.3.2.2 Racionální podklady výstavní strategie

Východiskem pro obecné úvahy pracovníků MMFA o přijatelné roční expozici byla *tab. 9.2*, kterou zpracoval S. Michalski z Kanadského konzervátorského institutu, kde historické pigmenty byly dle jejich odolnosti vůči světlu zařazeny dle ISO standardu modré vlny do 4 kategorií^{11, 12, 23}.

Tab. 9.2 Poškození různých pigmentů světlem^{11, 12, 13}.

Stálé	Trvanlivé		Středně citlivé			Prchavé		
ISO ⁺⁺⁺	8	7	6	5	4	3	2	1
Uhlíkaté černě	kadmia*		lak alizarinový (mořenový)				karmínový lak	
Ultramarín			plný nános	poloviční nános	tenká lazura		gumiguta***	
Okry, umbry							kvercitronový lak***	
Oxidy železa		vermilion						
Zelená zem					karmín			
Azurit					plný nános	tenká lazura		
CS 98-62 Class I**								
ASTM D 4303 Class I**								
Osvětlenost	Doba (roky)⁺ do první pozorovatelné změny barvy⁺⁺							
při 10000 lx	30	10	3	1	0	0	0	0
při 1000 lx	300	100	30	10	3	1	0	0
při 300 lx	1000	300	100	30	10	3	1	0
při 50 lx	6000	2000	600	200	60	20	6	2

Hodnoty v tabulce předpokládají dobrou UV filtraci a neuvažují jiné vlivy na trvanlivost, jako vliv polutantů.

* Kadmia (červené, žluté) jsou ve skutečnosti stálá, ale jejich data je zařazují na horní konec trvanlivých.

** Tyto americké standardy uměleckých barev zahrnují stálé a trvanlivé barvy vrcholné kvality.

*** Tyto žluté jsou také součástí mnohých zelení, jako je Hookerova zeleň, šťavní zeleň a pruská zeleň.

⁺ Je uvažováno 3000 hod. za rok, tj. 300 dní x 10 hod.

⁺⁺ Téměř úplná ztráta barvy trvá 30krát déle, u tenkých lazur méně.

⁺⁺⁺ ISO systém modré vlny.

Pracovníci MMFA vyšli z *tab. 9.2* a zpracovali *tab. 9.3*, kde pro jednotlivé stupně ISO modré vlny stanovili expozici vyvolávající právě *právě rozlišitelné vyblednutí* (just noticeable fade – dále JNF)²².

Tab. 9.3 Kategorizace citlivosti muzejních objektů na světlo dle ISO hladin stupnice modré vlny²².

ISO hladina (modrá vlna)	1 2 3	4 5 6	7 8
Expozice* vyvolávající 1 JNF (Mlx.h)**	0,4 1,2 3,6	10 32 100	300 900 –
Kategorie dle Feller ^{24,25}	C prchavé	B Střední	A vynikající
Kategorie MMFA	1 citlivé	2 Střední	3 trvalé

* Rozumí se expozice viditelným světlem bez UV záření.

** Právě rozlišitelné vyblednutí bylo stanoveno kolorimetricky pomocí diagramu chromatičnosti jako barevný rozdíl mezi původním a novým barevným bodem po stárnutí. Expozice světlem, či obecněji, zářením, které u normálního fotometrického pozorovatele vyvolá právě rozeznatelnou barevnou odchylku má JNF = 1 – viz též kapitola 3.3.1.

Tab. 9.3 shrnuje některé významné základní údaje. Ukazuje přibližné expozici světlem v Mlx.h nezbytnou pro dosažení JNF = 1 pro každou ISO hladinu. I když materiály děl na papíru pokrývají celý rozsah ISO hladin od 1 do 8, bylo nezbytné připustit, že představují značný, obtížně zvládnutelný a přesně diferencovatelný rozsah citlivosti. Bylo proto rozhodnuto pracovat se třemi širšími kategoriemi. To umožnilo určitou pružnost v stanovení možné expozice a zároveň dovolilo snadněji administrativně zvládnout strategii. Kategorie A, B, a C, které poprvé navrhl R. Feller²⁴, byly vhodné a pro tento účel byly přejmenovány na kategorie 3 (trvalé), 2 (střední) a 1 (citlivé).

Bylo nezbytné se zaměřit na jednu z ISO hladin ve všech třech kategoriích. Původní myšlenka byla vybrat nejnižší hodnotu hladiny ISO v každé kategorii, čímž by byla chráněna nejcitlivější díla celé kategorie. To bylo přijatelné pro trvalejší skupiny (kategorie 2 a 3), ve kterých byly uvažovány hladiny ISO 4, případně 7.

V nejcitlivější skupině (kategorie 1) to bylo obtížné. Tato skupina začíná s materiály s nejvyšší citlivostí na světlo (ve skutečnosti s nulovou tolerancí na světlo) a pokračuje do hladiny ISO 3. Vybrání nejcitlivějších materiálů jako standard by pro zbytek kategorie znamenalo velmi omezenou přijatelnou expozici a nebylo by tedy dobrým řešením. V praxi je pro konzervátora nesnadné rozlišit materiály ISO hladiny 1 a nižší. Tyto materiály se často zněmily dávno před tím, než byly zařazeny do sbírek a měnily se kdykoliv během 0 až 100 let i za velmi dobrých podmínek vystavení. Konzervátor má často potíže při odhadu jejich přesného zařazení.

Ukazuje se, že je nezbytné považovat všechna díla, u kterých je podezření, že obsahují materiály hladiny citlivosti ISO 1 a nižší, za výjimku ve strategii a v těchto případech je nezbytné vypracovat doporučení pro vystavení na základě individuálního

rozhodnutí. V praxi se to objevuje velmi často a je řada výjimek. Celkově je to ale malý podíl proti tomu, co bylo před zavedením této strategie. Proto bylo rozhodnuto zvolit ISO 2 hladinu za všeobecného představitele této kategorie. Budiž připomenuto, že tato hladina je přibližně 3krát citlivější než materiály hladiny ISO 3, a tak pokrývá většinu kategorie 1.

Samotná výstavní strategie je shrnuta v *tab. 9.4*. Strategie je založena na poznání přibližného množství luxhodin (expoziční), které mohou vyvolat právě rozlišitelný stupeň vyblednutí JNF nejcitlivějších děl každé kategorie²². Toto množství luxhodin je ukázáno v druhém sloupci *tab. 9.4*. Na základě tohoto množství luxhodin je navržena roční doba vystavení pro každou kategorii. Ta je uvedena v třetím sloupci. V případě, že umělecké dílo je vystaveno podle tohoto doporučení, je možno předpokládat, že dílo určité kategorie znatelně vybledne v počtu let uvedených v čtvrtém sloupci. Je třeba zaznamenat, že se jedná o přibližné údaje. Rychlost blednutí, především pak závislost této rychlosti na čase po dlouhém období existence objektu s neznámou historií osvětlení, je velmi obtížné přesně předpovědět.

Pro určení přibližné světelné expozice nutné k vyvolání prvního vyblednutí většiny materiálů každé kategorie musí pracovníci muzea rozhodnout, jak rychle chtějí zužitkovat v *tab. 9.4* uvedené světelné expozice. Jinak řečeno, musí zvážit, kolik let pokládají za přiměřené a přijatelné k vzniku hypotetického prvního vyblednutí.

Kompromis, kterého se dosáhlo v každé kategorii, byl již ilustrován v *tab. 9.4*. Třetí sloupec zaznamenává roční expozici (dávku) lux.h/rok (také vyjádřenou v týdnech vystavení) a čtvrtý sloupec udává počet roků, za které pravděpodobně bude zpozorováno první vyblednutí na některém díle této kategorie.

Tab. 9.4 Shrnutí výstavní strategie MMFA²².

	Expozice vyvolávající právě poznatelné vyblednutí (Mlx . h)	Doporučená doba vystavení (týdny/rok*) nebo celková roční expozice (lx . h/rok)	Doba nezbytná k vyvolání právě rozlišitelného vyblednutí (roky)
Kategorie 1 (citlivé, ISO 1, 2, 3)	1,2 Mlx . h (ISO 2)	4 týdny** nebo 12 000 lx . h	100
Kategorie 2 (středně citlivé, ISO 4, 5, 6)	10 Mlx . h (ISO 4)	10 týdnů nebo 42 000 lx . h	250
Kategorie 3 (trvanlivé, ISO 7, 8 a vyšší)	300 Mlx . h (ISO 7)	20 týdnů nebo 84 000 lx . h	3 500

Poznámka: Předpokládá se, že případné UV záření světelného zdroje bylo odfiltrováno.

* Uvažován 42hodinový výstavní týden s intenzitou osvětlení 100 luxů pro kategorie 2 a 3 a 75 luxů pro kategorie 1.

** Při delší době trvání výstavy se doporučená doba vystavení upravuje následujícím způsobem: 4 týdny/rok, nebo 8 týdnů/2 roky, nebo 12 týdnů/3 roky atp. Doporučuje se, aby doba vystavení nepřekročila 20 týdnů.

Návrh konzervátorů na 100letý, 250letý a 3500letý časový rámec pro kategorii 1, 2 a 3, byl v přípravném stádiu konzultován s pracovníky kurátorského a administrativního oddělení. S pochopením všech faktorů, které byly zahrnuty do úvah, měli tito pracovníci možnost uvažovat o jiných eventualitách. Kupř. měli možnost uvažovat o delším ročním výstavním limitu v nižší kategorii, pokud byli připraveni přijmout zodpovědnost za předpokládanou větší rychlost blednutí. Správcové sbírek často nebyli ochotni připustit možné vyblednutí v menším intervalu než století, a proto 100 let bylo stanoveno jako minimum pro kategorii 1. I když 100 let se může zdát jako varovně krátké období, v kterém se akceptuje změna, zdá se, že představuje realistický kompromis mezi pověřením muzea vystavit sbírky a ochraňovat je.

Jak již bylo uvedeno, všechny výpočty předpokládají hladiny osvětlení 75 luxů u děl kategorie 1 a 100 luxů pro kategorie 2 a 3. To je o něco více, než je běžně uváděno, ale bylo přihlédnuto k putovním výstavám, kde není jisté, že doporučená osvětlenost 50 lx je ve skutečnosti dodržována. Získává se tím i určitá pružnost v nastavení světelných hladin při výstavách. Je nevhodné používat ve stoupající míře 50 luxů při výstavách a vytvářet tak prostředí, které je příliš tmavé pro starší návštěvníky¹¹ – viz kapitola 9.2.

Doporučení pro roční trvání výstav je definováno buď v týdnech, nebo v luxhodinách. To umožňuje větší pružnost při plnění speciálních osvětlovacích požadavků, kupř. v případě výstav současných umělců. Je možno snadněji zajistit osvětlení, když jsou uvažovány hodnoty expozice v luxhodinách za rok, než jsou-li uvažovány týdny či měsíce vystavení.

Horní hranice dvaceti týdnů je doporučena jako celková doba trvání výstavy za celý rok pro všechny kategorie bez ohledu na akumulovaný výstavní čas. To bylo přijato z několika důvodů. Za prvé to zabraňuje tomu, aby nashromážděné „rezervy“ výstavního času byly úplně vyčerpány. Za druhé bylo vyvoláno stanoviskem veřejnosti a muzejní administrativy, že trvalé vystavení je pro sbírky příliš náročné. Musí být uváženo, že jsou další faktory, které ovlivňují vzhled sbírkových předmětů během času. Mezi ně patří transport, manipulace, opotřebení, poškození vlivem vlhkosti, prachu a polutantů. Vzhledem k tomu, že často nejsou k dispozici kvantitativní informace o těchto faktorech, bylo rozhodnuto, že by bylo vhodné přijmout určitou horní hranici trvání výstavy. Bylo usouzeno, že 20 týdnů je rozumný kompromis. To je důvod doporučení 20týdenní roční expozice i pro předměty kategorie 3, kdy světelné omezení nemůže být důvodem restrikce trvalého vystavení děl.

Konečně musí být řečeno, že tato strategie neopravňuje vyslovovat specifické předpovědi o rychlostech blednutí jednotlivých konkrétních objektů. Není známo, jaký stupeň částečného vyblednutí již proběhl u řady uměleckých děl. Většinou je stanovena aktuální ISO hladina daných materiálů a dle toho jsou objekty roztríděny do 3 citlivostních kategorií. Musí být chápána omezení, která z toho vznikají a potlačena pokušení dělat specifické soudy.

9.3.2.3 Klasifikace uměleckých děl na papíru do kategorií

Přesná klasifikace uměleckých děl na papíru do příslušné kategorie dle citlivosti ke světlu má zjevně rozhodující význam. Je to široká a složitá problematika s četnými neobjasněnými otázkami, která je stále studována. Konzervátor, který je dobře informován o chování materiálů, by měl být schopen rychle a bezpečně zařadit umělecká díla do příslušných kategorií. Je ovšem důležité, aby také konzervátoři s relativně malou zkušeností na tomto poli mohli pracovat správně s navrženou strategií.

Obecně jsou uvažovány dva přístupy ke klasifikaci uměleckých děl. K nejpřesnějším výsledkům vede detailní přírodovědný výzkum pigmentů a podkladových materiálů. To je doporučováno tam, kde k průzkumu je dostatek času, a navíc to umožňují finanční zdroje. Je to žádoucí i tam, kde to vyžaduje význam uměleckých děl. Tento přístup je v současné době stále málo vyvinutý a rozsahem malý.

V prostředí muzeí a archivů, kde čas, vybavení a zkušenosti neumožňují pigmentovou a materiálovou analýzu na rutinní bázi, je praktičtější využít informace o pigmentech, pojivech a technikách uvedené v *tab. 9.5, 9.6 a 9.7*, které vypracovali pracovníci MMFA. Tento přístup má tu výhodu, že je velmi rychlý a pomalu uvádí i nezkušeného konzervátora do problematiky vlastností objektů a dále umožňuje, aby strategie vystavení byla využita bezprostředně.

Tab. 9.5 Materiály uměleckých děl na papíru zahrnuté do kategorie 1²².

Definice děl:
Všechna díla s barvami, pojivy a podložkami se zařazením dle světelné stálosti do ISO standardu modré vlny 3 a nižší. Následující materiály a techniky byly zařazeny do kategorie 1:
• Pastely; některé citlivé barvy, neznámé a laciné palety. • Akvarely; některé citlivé barvy, neznámé a laciné palety. • Kvaše; některé citlivé barvy, neznámé a laciné palety.
• Barevné tiskařské inkousty (včetně na bázi oleje); některé citlivé barvy a neznámé palety, tj. litografie, sítotisk, obchodní tisk atp. • Mnohobarevné temperové malby s nedefinovanými pigmenty (tj. iluminované rukopisy, orientální kvaše nebo tempera na papíru a hedvábí).
• Většina tónovaných papírů, tj. šedomodré, zelenošedé. • Barevné fotografie neznámé kvality, včetně starších barevných fotografií. • Polaroidové snímky.
• Většina historických přírodních barviv na textilu (s výjimkou indiga a mořeny na vlně).
• Kresby provedené propisovačem. • Bistr, sépie (citlivost neznámých železitých inkoustů). • Složité černé inkousty. • Neznámé žlutě a červeně v japonských blokových tiscích. • Neznámé žlutě a červeně v evropských rukopisech. • Peří, málo kvalitní obchodní materiály použité v kolážích.
Specifické pigmenty:
Všechny pigmenty citlivosti ISO 1, 2 a 3 jsou klasifikovány jako kategorie 1, včetně následujících:
• Gumiguta. • Složité černě. • Mořena a indigo na bavlně. • Indigo v akvarelu.
• Tenké lazury a lavírované malby provedené přechodnými pigmenty tj. většina karmínových lakových pigmentů (kvercitron, karmín v lavírované malbě na bílém papíře).
• Světlice barvířská. • Kurkuma. • Křížatka (Commelina communis – dayflower blue).

Tab. 9.6 Materiály uměleckých děl na papíru zahrnuté do kategorie 2²⁵.

Definice děl:
Všechna díla s barvami, pojivy a podložkami se zařazením světelné stálosti dle ISO standardu modré vlny 4, 5 nebo 6. Následující materiály a techniky byly zařazeny do kategorie 2:
• Dřevovina a ostatní málo kvalitní papíry a papírové podložky. • Barevné diapozitivy, o kterých je známo, že mají značku Kodachrome, Ektachrome, Fujichrome atp. • Cibachromy. • Nové barevné fotografie (přibližně do roku 1980).
Specifické pigmenty
Všechny pigmenty citlivosti ISO 4, 5 a 6 jsou klasifikovány jako kategorie 2, včetně následujících:
• některá tradiční barviva na textil²⁹. • Vermilion (spíše tmavne než bledne). • Indická žluť. • Základní brilantní červeně: karmínový, mořenový a alizarinový lak.

Tab. 9.7 Materiály uměleckých děl na papíru zahrnuté do kategorie 3²⁵.

Definice děl:
Všechna díla s barvami, pojivy a podložkami se zařazením světelné stálosti dle ISO standardu modré vlny 7, 8 a výše. Následující materiály a techniky byly zařazeny do kategorie 3:
• Hladový papír dobré kvality. • Inkousty na bázi uhlíku. • Grafit, dřevěné uhlí (koks). • Kresba stříbrným a kovovým hrotem (povlaky pro papír pro techniku kovového hrotu jsou snad přijatelné v případě, že jsou bílé a ne barevné). • Yemité pigmenty, okry, umbry atp. • Přírodní křídly, krvavě červené, hnědé, černé a bílé (conté crayons). • Černobílé stříbrno/železinové fotografie. • Zlatem nebo selenem tónované nebo jinak trvale zpracované fotografie. • Plasty*, polyethylen, syntetické pryskyřice.
Specifické pigmenty:
Všechny pigmenty citlivosti ISO 7, 8 a výše jsou klasifikovány jako kategorie 3, včetně následujících:
• Moderní barvy vrcholové kvality, včetně vodových barev, barev pro kvaše, pastely atp. • Moderní kadmiové červeně. • Ultramarín, většina modří. • Aureolin (kobaltová žluť). • Indigo a mořena barvířská na vlně.

**Poznámka autora:* K světelné odolnosti plastů je nutno poznamenat, že řada z nich, např. polyethylen, má nízkou odolnost vůči světlu. Vyšší odolnost mohou získat vhodnou stabilizací proti světlu^{29,30}.

Je celkem jednoduché identifikovat materiály a typické techniky pro umělecká díla na papíru a následovně je přiřadit ke kategoriím. Je však vhodné upozornit na několik významných faktorů. Hodnocení zařazení objektů dle světelné stálosti

je většinou voleno pro typický střední odstín. Tenké vrstvy a lavírované malby mohou být zařazeny do 1 a 2 ISO hladiny, zatímco barvy nanesené v silnějších vrstvách mohou být trvalejší¹². Média, s kterými jsou smíchány pigmenty, představují jistou proměnnou, ale jak se zdá, příliš neovlivňují světelnou citlivost¹². Zdá se, že pigmenty v případě, že jsou smíchány s olejem, jsou trvalejší, než když jsou smíchány s polyakrylátovými pojivy. Testy provedené v Kanadském konzervátorském institutu s vybranými pigmenty ukázaly, že není významný rozdíl v blednutí pigmentů v oleji a ve vodových barvách¹². Z toho důvodu v *tab. 9.5–9.7* není pojivo pigmentů většinou uvažováno jako rozhodující faktor.

Seznamy uvedené v *tab. 9.5–9.7* mohou být použity ke stanovení typické techniky pro každou kategorii. Je zajímavé diskutovat několik příkladů. Kategorie 1 má nejdelší seznam. Je to také nejcitlivější kategorie, v které jsou zahrnuty neznámé a neidentifikované materiály. Je často překvapivé, že barevné tiskařské inkousty mohou být právě tak citlivé, jako některé akvarelové barvy a pastely. Je také známo, že některé akvarelové barvy (např. vybrané kvalitní barvy Winsor a Newton) mohou být velmi odolné vůči světlu. V případě, že není známo jméno výrobce a kvalita barevných materiálů, musí být předpokládáno, že minimálně jedna přítomná barva bude velmi citlivá na světlo, a proto celou paletu je nezbytné zařadit do kategorie 1.

V kategorii 2 (*tab. 9.6*) je nejvýznamnější, že jsou do ní zahrnuty papíry na bázi dřevoviny. Dřevovinové papíry většinou zhoršují své mechanické vlastnosti a mění barvu v případě, že jsou vystaveny UV záření. V případě, že UV záření je vyloučeno ze světelného zdroje, jak předpokládá diskutovaná strategie, dřevovinové papíry se chovají jako středně citlivé materiály³⁰.

Kategorie 3 (*tab. 9.7*) je významná tím, že obsahuje všechny historické černé a bílé tisky na hadrovém papíru dobré kvality. Inkousty na bázi uhlíku mají vynikající odolnost vůči světlu stejně jako hadrové papíry v případě, že je vyloučeno UV záření. To zjevně představuje velké množství děl v muzejních a archivních sbírkách a je výhodné, že mohou být častěji vystaveny, aniž by byly sníženy ochranné požadavky.

Je přirozené, že seznamy kategorií nejsou definitivní a měly by být měněny a aktualizovány, jakmile se objeví nové informace. To je zvláště důležité v případě pigmentů. Jakmile to čas a finanční prostředky dovolí, měl by být proveden podrobnější literární průzkum a i laboratorní výzkum odolnosti různých materiálů vůči světlu. Konečně, kdykoliv to bude možné, by bylo účelné shromažďovat informace

o obchodních názvech materiálů. Nejlepší způsobem pro takovou aktualizaci může být malá příručka obsahující tabulky s místem pro přidání stránek v seznamu kategorií.

9.3.3 Přípustná doba expozice dle Krochmanna

Významným příspěvkem k získání představy o odolnosti širší skupiny muzejních objektů proti světlu jsou práce J. Krochmanna a spol.^{30–33} – viz kapitola 5. V tomto případě byly kvantitativně vyhodnocovány příčiny, které vedou k barevným změnám materiálů vystavených záření xenonové lampy za podmínek umělého stárnutí. Sledovány byly akvarelové barvy na hadrovém papíru, olejové barvy na plátně a dále materiály jako textil, hadrový papír a novinový papír.

Výsledkem prací, který je podrobně diskutován v kapitolách 5.1.2.4 až 5.1.2.7, bylo vypočítání *přípustné doby expozice*³⁰ pro různé vystavované materiály a světelné zdroje, které jsou nejčastěji používány v muzeích. Přípustnou dobu expozice je možno snadno přepočítat na výstavní dobu (v rocích) po zohlednění běžných hodin pro návštěvníky. Pro světelné zdroje, které jsou používány ve výstavní praxi, je vypočítaná přípustná výstavní doba uvedená v tab. 5.7.

9.3.4 Administrativní zajištění výstav

Technická stránka strategie vystavení by měla být přirozeně řízena konzervačním oddělením daného muzea či archivu²². Toto oddělení by mělo zajišťovat především klasifikaci materiálů a jak bylo dříve řešeno, i následující doporučení výstavního režimu. To znamená, že nová výstavní strategie navrhovaná MMFA sama od sebe nepředstavuje velkou změnu. Bylo vždy součástí činnosti konzervačního oddělení zkoušet materiály a formulovat doporučení týkající se požadavku na pronájem a vystavení. Tabulky uvedené v této kapitole usnadňují práci oddělení a představují soustavně se rozšiřující seznam pigmentů a materiálů s rozlišením jejich citlivostí na světlo. Jakmile je většina sbírky muzea či archivu roztríděna a klasifikovaná a získaná informace o kvalitě a stavu sbírky je vložena do počítačového systému muzea, může kvalifikovaný pracovník v oddělení zprávy sbírek předem vyloučit většinu zjevně nevhodných požadavků na pronajmutí. Většina muzeí a archivů není ještě v tomto stavu, ale je to otázka logického vývoje.

Základním nástrojem strategie je zavedení a soustavné udržování záznamů výstavní historie, které obsahují údaje o vystavení každého předmětu v minulosti.

V případě požadavků na pronájem je výstavní historie uvažovaných uměleckých děl bez výjimky předmětem individuálního posouzení. Oddělení správy sbírek zašle záznam o výstavní historii každého díla spolu s formulářem požadavku na pronájem konzervačnímu oddělení, kde zodpovědný konzervátor ověří, zda doporučená akumulace výstavní doby nebyla překročena. Při schvalování a pronájmu je účelné trvat na tom, aby administrativa byla včas upozorněna na skutečnost, že výstavní čas nezbytný pro ospravedlnění požadované doby trvání výstavy byl již naakumulován. To zabrání potížím, kterým je nutno čelit v případě, že se objeví snaha prodloužit délku výstavního období po řádném ukončení výstavy. Je užitečné zaznamenat všechny údaje. Počítačové zpracování všech vnitřních operací a inventarizací činí tyto operace snadnější a účinnější.

9.4 ZÁVĚR

Je přirozené, že různé instituce mohou mít různé požadavky a priority na vystavení svých objektů a že podrobnosti výstavních podmínek mohou být modifikovány. Rozhodující je, aby každá instituce měla vypracované zásady výstavní strategie vycházející z naznačených principů strategie, přičemž detaily strategie MMFA představují přirozeně pouze jednu možnost.

V celku je nutno mít na vědomí, že kvantitativní výzkum poškození muzejních a archivních objektů je teprve na počátku. Je to i z toho důvodu, že dosud byly sledovány většinou barevné změny zkoumaných materiálů a nebyly sledovány změny mechanických vlastností, např. papíru, pergamenu, textilu atp. Tyto změny nemusí nezbytně souviset se změnou barvy. U některých materiálů, např. textilu, jsou tyto změny velmi významné a z hlediska životnosti často rozhodující.

LITERATURA

1. Günter S. Hilbert: Lichtschutz: Die Erfindung der 50 Lux. *Restauro*, (No. 4), 238–239 (1997).
2. Anonym: I. E. S. Code „Recommendations for Good Interior Lighting“, London 1961. Citace převzatá z odkazu 1.

3. Garry Thomson: A new Look at Colour Rendering, Level Illumination, and Protection from Ultraviolet Radiation in Museum Lighting. *Studies in Conservation*, 6, (No. 2/3), 49–70 (1961).
4. Anonym: CIBSE Lighting Guide: Museums and Art Galleries (London: Chartered Institution of Building Services Engineers), 1980. Citace převzatá z odkazu 5.
5. Cuttle Ch.: Lighting works of art for exhibition and conservation. *Lighting Research and Technology*, 20 (No. 2), 43–53 (1988).
6. Cuttle Ch.: Damage of Museum Objects Due to Light Exposure. *Lighting Research and Technology*, 28 (No. 1), 1–9 (1996).
7. Tikovský L.: Ochrana písemných památek před negativními účinky UV a IR záření. Ve sborníku X. semináře restaurátorů a historiků, Litomyšl 1997, str. 87–94.
8. Thompson G.: *The Museum Environment* (Second Edition). Butterworth-Heinemann, London, 1986.
9. Michalski S.: Towards Specific Lighting Guidelines. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 9. Triennial Meeting, Dresden, 1990, str. 583–588.
10. Ikeda M., Huang C. C., Ashizawa: Equivalent lightness of colored objects at illuminances from the scotopic to the photopic level. *Color Research and Application*, 14, (No. 4), 198–206 (1989). Citace převzatá z odkazu 11.
11. Michalski S.: The Lighting Decision. Ve sborníku Symposium 97: Fabric of an exhibition: an interdisciplinary approach. Ottawa, CCI, 1997, str. 97–104.
12. Michalski S.: Time's Effect on Paintings. Ve sborníku přednášek semináře pro kurátory a konzervátory Shared Responsibility, National Gallery of Canada, Ottawa 1990, str. 39–70.
13. Crawford B. H.: Just perceptible colour differences in relation to level of illumination. *Studies in Conservation*, 18, 159–166 (1973).
14. Anonym: CIE. An Analytic Model for Describing the Influence of lighting Parameters Upon Visual Performance. CIE No. 19/2 (Vol. 1 and 2), Commission Internationale De L'Éclairage, Paris 1981. Citace převzatá z odkazu 11.
15. Lull W. P., Merk L. E.: Lighting for Storage of Museum Collections. *Technology & Conservation*, 20–23, summer 1992.
16. Anonym: *Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended Practice*. IESNA, New York, 1996.
17. Habel J. a kol.: *Světelná technika a osvětlení*. FCC Public, Praha 1995.

18. Anonym: Lighting manual. Philips Lighting B. V., Eindhoven, The Netherlands, páté vydání 1993.
19. Boyce P. R.: Visual acuity, colour discrimination and light level. Ve sborníku „Lighting. A conference on lighting in Museums, Galleries and Historic Houses“. Bristol, 9.–10. dubna 1987, str. 25–30.
20. Derbyshire A., Ashley-Smith J.: A proposed practical lighting policy for works of art on paper at V&A Museum. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 12. Triennial Meeting, Lyon, 1999, str. 38–41.
21. Michalski S.: Controlling UV damage. Version 1.0 S. Michalski, CCI, Ottawa 1994. Ve sborníku 25. výročního setkání AIC „Museum exhibit Lighting. An Interdisciplinary Approach: Conservation, Design & Technology“. San Diego, California 1997, str. 103.
22. Colby K. M.: A Suggested Exhibition/Exposure Policy for Works of Art on Paper. URL: <http://www.lightresource.com/policy1.html>.
23. Michalski S.: Damage to Museum Objects by Visible Radiation (Light) and Ultraviolet Radiation (UV). Ve sborníku přednášek Lighting in Museums, Galleries and Historic Houses, The [British] Museums Association, 1987, str. 315.
24. Feller R. F. Studies on Photochemical Deterioration. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 4. Triennial Meeting, Venice, 1975, 75/19/4, převzato z odkazu 25.
25. Feller R. L.: Further Studies on the International Blue-Wool Standards for Exposure to Light. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 5th Triennial Meeting, Zagreb, 1978, 78/18/294-6.
26. Padfield T., Landi S.: The Lightfastness of the Natural Dyes. Studies in Conservation, 11, 181-1995 (1966).
27. Feller R. L.: Further Studies on the International Blue-Wool Standards for Exposure to Light. Ve sborníku ICOM Committee for Conservation, 5th Triennial Meeting, Zagreb, 1978, 78/18/294-6.
28. Štěpek J., Zelinger J., Kuta A.: Technologie zpracování a vlastnosti plastů. SNTL, ALFA, Praha 1989.
29. Pospíšil J.: Fotooxidační degradace polymerů: Příčiny, důsledky a ochrana. Chemické listy 85, 905–923 (1991).
30. Hilbert S. H., Aydinli S., Krochmann J.: Zur Beleuchtung musealer Exponate. Restauro, 97 (No. 5), 313–321 (1991).

31. Aydinli S., Hilbert S. H., Krochmann J.: Über die Gefährdung von Ausstellungsgegenständen durch optische Strahlung. Licht-Forschung, 5 (No. 1), 35–47 (1983). Citace převzatá z odkazu 23.
32. Krochmann J.: Beleuchtung von lichtempfindlichen Ausstellungsstücken unter besonderer Berücksichtigung der Objektschädigung durch optische Strahlung. Restauro, 94 (No. 23), 227 (1988).
33. Barbara Fischer, Uwe Hecker, Martin Janowski: Ausstellung und Beleuchtung. Restauro (No. 5), 328–331 (1997).

10 VLIV UV NA MIKROMYCETY

PhMr. Bronislava Bacílková

10.1 MIKROMYCETY

10.1.1 Morfologické pojmy

Mikromycety (mikroskopické houby) jsou jednobuněčné až mnohobuněčné organismy, které mají normálně vybavené buňky s jádrem i dalšími organelami jako všechny vyšší organismy. Proto je řadíme na rozdíl od bakterií do skupiny *Eukaryonta*. Ve většině případů vytvářejí jednoduchá nebo větvená vlákna (*hyfy*), které jsou buď bez přehrádek, nebo s přehrádkami. Soustava vláken se označuje jako *mycelium* (u vyšších hub podhoubí). Na myceliu vyrůstají speciální mikroskopické útvary (*výtrusnice*), na jejichž povrchu nebo uvnitř kterých se vytvářejí výtrusy.

Mikromycety jsou tvarově a velikostně velmi různorodé, odlišují se vzájemně různým způsobem rozmnožování a jejich výtrusy jsou neobyčejně rozličné nejen tvarem a velikostí, ale i početností buněk a povrchovými strukturami. Buněčná stěna vláken a výtrusů je nejčastěji chitinové povahy, v menší míře je celulózní.¹

Výtrusy mohou vznikat pohlavní nebo nepohlavní cestou. Pohlavní cestou vznikají u mikromycet výtrusy trvalé (*trvalé spory*, *oospory*, *zygospory*, *askospory* a *basidiospory*); vytrvávajícími částicemi se však mohou stát i krátké úseky hyf, které mají silnější buněčnou blánu a zahuštěnější buněčný obsah (*gemy*, *chlamydospory*) nebo větší myceliální útvary složené z hustě propletených hyf a s povrchovou vrstvou tlustostěnných buněk (*sklerocia*, *stromata*).

Nepohlavní výtrusy se tvoří buď ve vacích zvaných *sporangia* – pak se nazývají *sporangiospory*, nebo na zvláštních myceliálních větvích (*konidioforech*) – tzv. *konidie*.²

10.1.2 Fyziologie mikromycet

Ke své výživě potřebují houby všeobecně uhlík, dusík, minerální látky, vitaminy a jiné růstové látky. Je však známo, že zejména mikroskopické houby mohou díky své neobyčejné přizpůsobivosti osídlovat velmi extrémní substráty s nepatrným množstvím živin (např. žijí na zdech, plastech, v destilované vodě, některé nacházíme i v kyselinách a v naftových směsích). Téměř ve všech případech se jedná o aerobní organismy (výjimkou jsou kvasinky s fermentačními procesy). Štěpení složitějších organických látek jim umožňují enzymy. Při jejich metabolických pochodech vznikají druhotné látky, které vypouštějí do substrátu a jež bývají pro určité skupiny nebo druhy či kmeny

specifické (např. *antibiotika*, *toxiny* apod.). Optimum pH je všeobecně mezi 4,5 až 5,5. Jsou však známy mnohé druhy, které žijí i při nízkém pH (2 až 3). Proti extrémně nízkým nebo vysokým teplotám jsou zvláště odolné spory mnohých hub. Je to dáno tím, že mají nízký obsah vody (6 až 25 %), zatímco mycelium obsahuje 90 až 95 % vody. Trvalé spory některých hub jsou schopny přežít i teploty přes 90 °C.¹

10.1.3 Mikromycety na historickém materiálu

V posledních desetiletích byla vykonána řada průzkumů, při nichž byly shromážděny a určeny mikromycety z nejrůznějších historických materiálů a depozitářů. Jedná se o druhy, které se ve většině případů vyskytují velmi hojně v přírodě i v životním prostředí člověka. Na historickém materiálu, ale i na stěnách nebo regálech nemusí být porosty hub nijak mimořádně nápadné. Mycelium nebývá často vůbec patrné. Viditelný bývá spíše poprašek spor (konidií) jako bělošedé skvrny, jindy se vytvářejí na dřevě, papírových i jiných předmětech různě zabarvené skvrny způsobené vedlejšími metabolity mikromycet. Velmi zřídka se setkáváme na postižených místech s jediným druhem. Obvykle se vyskytuje společně na jednom substrátu několik druhů, shodných v požadavcích na živiny.³

10.2 TEORIE ÚČINKŮ UV ZÁŘENÍ NA ORGANISMY

Vliv na živé organismy byl prokázán především v oblasti ultrafialového záření, která je více vzdálena od viditelného světla (UVB, UVC). Na rozdíl od ionizujícího záření daleké UV pouze předává energii ve formě excitací elektronů, která probíhá hlavně u konjugovaných systémů (střídání jednoduché a dvojné vazby v uhlíkovém řetězci). Excitace obvykle nenastává u relativně jednoduchých molekul nebo u molekul vysoce nasycených, jako jsou glycidy a tuky. Absorpce UV v biologickém materiálu je nenáhodná a nastává především v nukleových kyselinách, proteinech a koenzymech.

10.2.1 Změny makromolekul vlivem UV záření

10.2.1.1 Změny proteinů

Změny proteinů mohou být v zásadě genetické nebo negenetické povahy.

Genetické změny jsou způsobeny změnami genetického kódu, který se následně projeví změnami pořadí aminokyselin v bílkovinách. Tento typ změn je pro buňku kritický, protože poškozeny jsou všechny molekuly určitého proteinu, např. enzymu.

Negenetické změny představují poškození již hotového proteinu. Nefunkční je tedy jen určitá část molekul, takže funkce ovlivňovaná tímto proteinem není úplně a trvale narušena, protože je neustále syntetizován a doplňován normální nepoškozený protein.

Zářením může docházet k porušení peptidických vazeb, a tím ke zlomům polypeptidických řetězců proteinů, deaminaci, ztrátě aminokyselin, poškození koenzymů a dalším změnám. Může také docházet k vazbám bílkovin na nukleové kyseliny za vzniku křížných vazeb, např. pyrimidinu s cystinem.

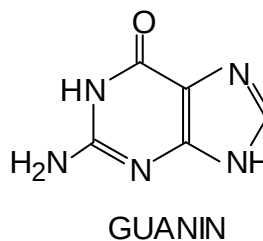
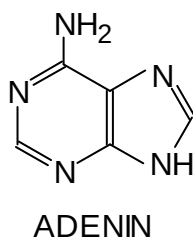
Negenetické poškození funkce proteinů je z velké části reversibilní a trvalé funkční změny nastávají až při vysokých dávkách záření. Tento jev není způsoben rezistencí proteinů, ale spíše jejich relativně malou molekulou (ve srovnání s DNA) a dále tím, že v buňce je přítomné velké množství proteinů, takže poškození jejich části se nemusí ani projevit.^{4,5}

10.2.1.2 Změny nukleových kyselin

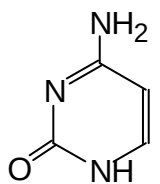
Nukleové kyseliny jsou poškozovány jak ionizujícím, tak ultrafialovým zářením. Přitom je lze považovat za nejdůležitější a nejdefinovanější složky živé hmoty, ale jsou také nejcitlivější strukturou vůči ozáření.

Deoxyribonukleová kyselina (DNA) je složena z monomerních deoxyribonukleotidových jednotek (deoxyadenylátu, deoxyguanylátu, deoxycytidylátu a thymidylátu). Každá jednotka se skládá z *pyrimidinové nebo purinové base, sacharidu a fosfátu*.

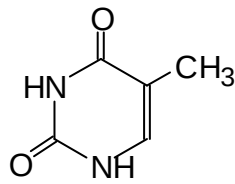
Purinové base



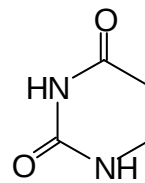
Pyrimidinové base



CYTOSIN



THYMIN
(pouze u DNA)



URACIL
(pouze u RNA)

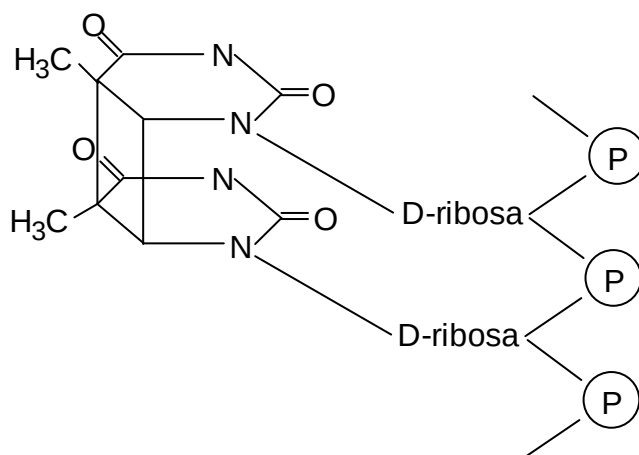
Konjugované dvojné vazby heterocyklických basí purinů a pyrimidinů jsou příčinou toho, že nukleosidy, nukleotidy a polynukleotidy absorbují ultrafialové světlo. Jejich spektra jsou závislá na pH (připojení či disociace protonu ovlivní rozložení nábojů v molekule) – při pH 7 všechny buněčné nukleotidy absorbují světlo o vlnové délce kolem 260 nm. Mutagenita UV světla je tedy dána přítomností purinových a pyrimidinových basí v DNA (dále jsou obsaženy v RNA, ATP, cAMP apod.).⁶

Pro UV záření je charakteristický dvojí typ poškození nukleových kyselin – tvorba dimerů (zejména pyrimidinových) a tvorba jednoduchých zlomů.

10.2.1.2.1 Dimerizace basí a vznik pyrimidinových můstků

Vlivem UV záření probíhá reakce, při které dva sousední pyrimidiny ve stejném řetězci DNA tvoří kovalentní vazbu v poloze C₅–C₆, takže vzniká čtyřuhlíkový kruh (cyklobutanový). Tvorba dimerů vede ke ztrátě dvojné vazby spojené se ztrátou aromatických vlastností pyrimidinového kruhu a tím ke ztrátě charakteristického absorpčního maxima 260 nm. Teoreticky mohou dimery vznikat ze všech pyrimidinových basí, nejčastější je však tvorba *thyminových můstků*.

V dimeru jsou obě base uspořádány paralelně, kdežto v normální dvoušroubovité struktuře dvě sousední base svírají úhel 36°. Dimerizace tedy způsobuje v daném místě deformaci nebo vydutí polynukleotidového řetězce. Taková místa mohou být rozpoznána enzymem endonukleázou schopnou zahájit speciální reparační proces s vyříznutím vzniklých dimerů.



THYMINOVÝ DIMER

10.2.1.2.2 Zlomy polynukleotidového řetězce

Působením UV záření mohou vznikat v molekulách nukleových kyselin jednoduché (jednořetězcové) zlomy, na rozdíl od ionizujícího záření, které způsobuje zlomy dvojité. Jednoduché zlomy však nevznikají zřejmě přímo účinkem záření, nýbrž v důsledku reparačního procesu v místě výskytu dimeru. V takovém případě endonukleáza vyřízne poškozené místo z řetězce. Jestliže je z nějakých důvodů reparační proces přerušen v tomto stadiu, zůstanou jednoduché zlomy fosfodiesterické vazby. V DNA však zůstává komplementární druhé nepoškozené vlákno, které umožňuje reparačním enzymům obnovu původního stavu. Proto se jednoduché zlomy nepodílejí tak významnou měrou na genetickém poškození buněk.

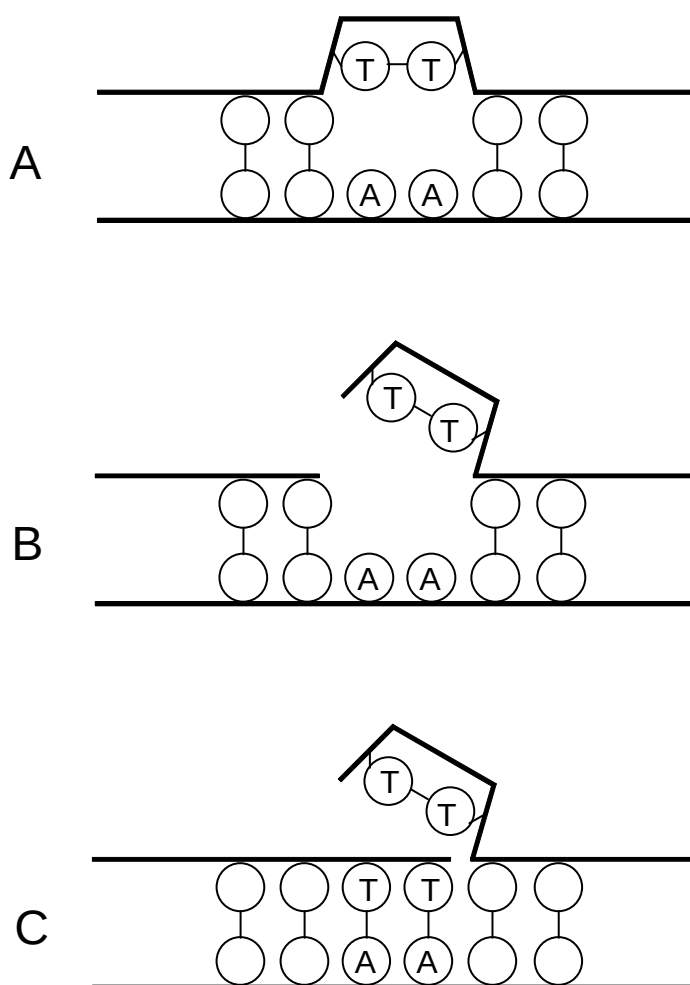
10.2.2 Reparační mechanismy

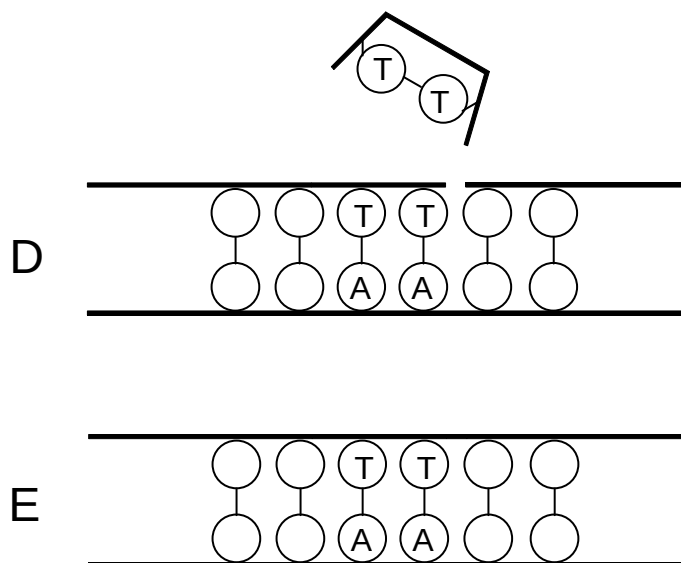
Reparací rozumíme obnovu genetické aktivity poškozené DNA tzv. reparačními mechanismy. Jsou to enzymatické procesy, jimiž jsou nejen napravovány, ale také rozlišovány různé typy poškození struktury DNA. Primárním hlediskem buňky je však obnovení normální délky řetězců a normálního průběhu replikace DNA, zatímco zachování původního pořadí nukleotidů je až na druhém místě. Proto mohou být některé reparační mechanismy mutagenní (způsobují změnu pořadí nukleotidů, a tím změnu genetického kódu).

10.2.2.1 Fotoreaktivace

Již delší dobu je známo, že škodlivý účinek UV záření na organismy je snižován současným a následným osvětlením zářením vyšších vlnových délek. Tato tzv. fotoreaktivace může být uskutečněna několika mechanismy. Nejvýznamnějším z nich je *fotoenzymatická reparace*. Reakce se účastní enzym fotolyáza, který monomerizuje pyrimidinové dimery tak, že rozštěpí jejich cyklobutanové vazby aniž je odstraňuje z DNA (na rozdíl od excizní reparace).

10.2.2.2 Excizní reparace





Excizní reparace⁹ je universální reparační systém, kterým je poškozená část DNA odstraněna, chybějící část je současně dosyntetizována. Excizní reparace jsou tedy multienzymatické procesy, ve kterých jsou poškozené nukleotidy (A) rozpoznány specifickými enzymy, působícími buď zlom glykosidické vazby a odstraňující pouze base s deoxyribosou (glykosidázy), nebo zlom fosfodiesterové vazby mezi deoxyribosou a fosfátem (endonukleázy) u poškozeného nukleotidu. Enzymatický vznik zlomu v blízkosti poškozeného nukleotidu se nazývá *incize* (B). Tyto nukleotidy jsou spolu s větším nebo menším množstvím dalších sousedních nukleotidů odstraněny z řetězce dvoušroubovice pomocí exonukleáz (D); vzniklé prázdné úseky jsou současně dosyntetizovány pomocí DNA polymeráz (C), které využívají protilehlého nepoškozeného řetězce jako matrice. Proces je skončen spojením nových úseků se starými pomocí DNA ligáz (E).

10.2.2.3 Reparace zlomů DNA

Reparace neincizních jednořetězcových zlomů využívá v podstatě stejných enzymů jako excizní reparace, až na enzym způsobující incizi, a často se obejde i bez excizních exonukleáz a polymeráz.^{4,5}

10.3 ÚČINKY UV ZÁŘENÍ NA MIKROMYCETY

10.3.1 Účinky na vegetativní formy mikromycet

V poslední době je věnovaná zvýšená pozornost zejména výzkumu vlivu složky UVB, která je součástí slunečního záření, na rostliny a mikroorganismy – důvodem je ubývající ozónová vrstva.

Byla prováděna celá řada výzkumů, týkající se vlivu UV záření zejména na rostlinné patogeny a saprofyty (význam v zemědělství a potravinářství), každá práce byla však úzce zaměřena na jeden problém nebo na úzké spektrum organismů.

Byly například zjišťovány rozdíly v odolnosti vůči UV záření mezi jednotlivými rody a druhy mikromycet. Výsledky jsou velmi silně ovlivňovány podmínkami pokusů (substrát, hydratace organismu, druh záření apod.).⁷

Existují však i rozdíly v citlivosti vůči UV záření mezi jednotlivými kmeny téhož druhu. Například izoláty z teplejších klimatických podmínek severní Afriky byly méně citlivé vůči UVB záření než kmeny téhož druhu izolované ve Velké Británii.⁷ Je tedy zřejmé, že některé druhy mikromycet jsou schopny adaptace na vyšší příjem záření, protože žijí v podmínkách, kde jsou vyšším dávkám přirozeného záření po mnoho generací vystavovány.

Důležitou roli hraje pigmentace mikromycet. Tmavý pigment (zejména melanin) pohlcuje záření, a proto preventivně chrání buňku před poškozením – zejména DNA.

Byly však také prováděny pokusy na bakteriích, kde nebyly shledány rozdíly v odolnosti vůči záření u pigmentovaných a nepigmentovaných kmenů téhož druhu.⁸ Proto kromě prosté přítomnosti pigmentu hraje důležitou roli rovněž přítomnost reparačních mechanismů buňky.

10.3.2 Účinky na klidové formy mikromycet

Pokud se mikromycety nacházejí v klidovém (dormantním) stadiu, může mít UV záření zcela jiné účinky než na vegetativní formy. V tomto případě se mikromycety nacházejí ve stavu minimálního metabolismu organismu, který zaručuje přežití při nepříznivých podmínkách. Kromě vnějších podmínek způsobují dormanci i tzv. *samoinhibitory*, což jsou metabolické produkty mateřského organismu, které udržují konidie ve stavu klidu, aby svým klíčením a růstem nenarušily mateřskou kolonii. UV záření může způsobit změnu v aktivitě některých samoinhibitorů – může

např. dojít ke změně cis-isomerů na trans-formu, která je inaktivní. V tomto případě tedy UV záření podporuje klíčení konidií.¹⁰

10.4 ZÁVĚR

Obecně lze říci, že oblast UV záření kolem 260 nm má nejvýraznější negativní účinky na mikroorganismy. Toho se využívá v tzv. germicidních zářivkách, které slouží k dezinfekci uzavřených prostor.

Záření o delších vlnových délkách má účinky méně výrazné a navíc jsou závislé na ostatních podmínkách (teplota, hydratace organismu apod.). Více odolné jsou mikroorganismy obsahující tmavý pigment a vybavené enzymatickým reparačním systémem.

Vliv UV záření na mikromycety nacházející se na historickém materiálu je tedy sice negativní, avšak vlnové délky blízké viditelnému světlu nemají příliš spolehlivý účinek. Je to způsobeno obrovskou přizpůsobivostí buněk, které jsou vybaveny k těmto účelům ochrannými mechanismy.

LITERATURA

1. Bartoš, J., Verner, P.: Ochrana proti skladištním škůdcům a chorobám, SZN Praha 1979.
2. Fassatiová, O.: Plísňe a vláknité houby v technické mikrobiologii, SNTL Praha 1979.
3. Skorkovský, B. a kol.: Mikroorganismy jako původci degradace archiválií, TEPS Praha 1981.
4. Fremuth, F.: Účinky záření a chemických látek na buňky a organismus, SPN Praha 1981.
5. Fremuth, F., Kovář, J.: Základy radiační, užité a teoretické biofyziky, 1. svazek, SPN Praha 1980.
6. Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A., Rodwell, V. W.: Harperova biochemie, druhé české vydání, Nakladatelství H&H Jinočany 1998.
7. Ayres, P. G., Rasanayagam, M. S., Paul, N. D., Gunesequera, T.: UVB effects on leaf surface saprophytes and pathogens. In: Frankland, J. C., Magan, N., Gadd,

- G. M. (Eds.): Fungi and environmental change. Cambridge University Press, Cambridge 1996.
8. Nazim, A., James, A. P.: Life under conditions of high irradiation. In: Kushner, D. J. (Ed.): Microbial life in extreme environments. Academic Press, London 1978.
 9. Berger, J.: Buněčná a molekulární biochemie, 1. vydání, Tobiáš Havlíčkův Brod 1996.
 10. Florian, M.-L.: Heritage eaters. Insect and fungi in heritage collections. James & James, London 1997.

B NÁVRH STRATEGIE OSVĚTLOVÁNÍ VÝSTAV ARCHIVNÍCH DOKUMENTŮ

1 ÚVOD

Jedním z hlavních úkolů archivům je zpracování a zpřístupňování archivních fondů na jedné straně a na druhé straně péče o jejich fyzický stav. Vystavování archiválií patří bezesporu mezi velmi účinné a účelné způsoby jejich zpřístupňování a prezentace, avšak samotné vystavení archivních předmětů skrývá v sobě zásadní protiklad. Světlo poškozuje a posléze může zničit řadu objektů, které je účelné vidět a představit veřejnosti. Z toho důvodu metody vystavení a osvětlení těchto objektů musí mít takovou úroveň, aby minimalizovaly jejich poškození a přitom umožnily co nejlepší vidění návštěvníkem.

Objekt, který má být vystaven, musí být posouzen z hlediska jeho dispozice pro poškození světlem. Je úkolem zodpovědných pracovníků archivu a *především konzervátorů*, nalézt rovnováhu mezi oprávněnou snahou chránit dílo před světlem a potřebou je vystavit.

2 DOPORUČENÉ DOBY VYSTAVENÍ – ZÁKLADY NAVRŽENÉ VÝSTAVNÍ STRATEGIE

Základem výstavní strategie je skutečnost, že všechna umělecká díla na papíru jsou zařazena dle jejich citlivosti ke světlu do jedné ze tří kategorií. Kategorie jsou založeny na Britském standardu modré vlny BS 1006 (British Blue Wool Standard) nebo na standardu ISO 105 následujícím způsobem:

- Kategorie 1: Díla s hladinou citlivosti ISO 1, 2 a 3.
- Kategorie 2: Díla s hladinou citlivosti ISO 4, 5 a 6.
- Kategorie 3: Díla s hladinou citlivosti ISO 7, 8 a vyšší.

Systém modré vlny se sestává z 8 obarvených proužků vlny, které blednou vlivem světla charakteristickou rychlostí. ISO 1 je nejméně stálý a ISO 8 je nejstálejší. Změna barvy zkoumaných materiálů je přirovnávána k změně barvy vzorku některé ISO hladiny. Pro jednotlivé stupně ISO modré vlny byly experimentálně stanoveny expozice vyvolávající prvé **právě rozlišitelné vyblednutí** (just noticeable fade – dále JNF), které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1 Kategorizace citlivosti objektů na světlo dle hladin stupnice modré vlny (ISO 105).

ISO hladina (modrá vlna)	1 2 3	4 5 6	7 8
Expozice * vyvolávající 1 JNF ** (Mlx.h)	0,4 1,2 3,6	10 32 100	300 900
Kategorie	1 citlivé	2 střední	3 trvalé

* Rozumí se expozice viditelným světlem bez UV záření.

** Právě rozlišitelné vyblednutí bylo stanoveno kolorimetricky pomocí diagramu chromatičnosti jako barevný rozdíl mezi původním a novým barevným bodem po stárnutí. Expozice světlem, které u normálního fotometrického pozorovatele vyvolá právě rozeznatelnou barevnou odchylku, má JNF = 1.

Tabulka shrnuje některé významné základní údaje. Ukazuje přibližnou expozici světlem v Mlx.h nezbytnou pro dosažení JNF = 1 pro každou ISO hladinu. I když materiály děl na papíru pokrývají celý rozsah ISO hladin od 1 do 8, bylo rozhodnuto pracovat pouze se třemi širšími kategoriemi. Aby bylo možné stanovit doporučené doby vystavení pro jednotlivé kategorie, bylo nezbytné se zaměřit na jednu z ISO hladin v každé kategorii a vybrat ji jako standard. U kategorií 2 a 3 byly vybrány vždy nejnižší hladiny citlivosti ISO. Pro kategorii 2 hladina citlivosti ISO 4 a pro kategorii 3 hladina citlivosti ISO 7. V nejcitlivější skupině (kategorie 1) nebylo možné vybrat hladinu citlivosti ISO 1 jako standard, protože do ní patří materiály s nejvyšší citlivostí na světlo (ve skutečnosti s nulovou tolerancí na světlo). Vybrání nejcitlivějších materiálů jako

standard by pro zbytek kategorie znamenalo velmi omezenou přijatelnou expozici. Proto bylo rozhodnuto zvolit ISO 2 hladinu za všeobecného představitele této kategorie.

V praxi je pro konzervátora nesnadné rozlišit materiály ISO hladiny 1 a nižší. Tyto materiály se často změnily dávno před tím, než byly zařazeny do sbírek, a měnily se kdykoliv během staletí i za velmi dobrých podmínek vystavení. Konzervátor má často potíže při odhadu jejich přesného zařazení. Ukazuje se proto, že je nezbytné považovat všechna díla, u kterých je podezření, že obsahují materiály hladiny citlivosti ISO 1 a nižší, za výjimku ve strategii a v těchto případech je nezbytné vypracovat doporučení pro vystavení na základě individuálního rozhodnutí.

Samotná výstavní strategie je shrnuta v *tab. 2* a je založena na poznání přibližného množství světelné dávky v luxhodinách, které mohou vyvolat právě rozlišitelný stupeň vyblednutí JNF rovno 1 nejcitlivějších děl každé kategorie. Toto množství luxhodin je ukázáno v druhém sloupci *tab. 2*. Na základě těchto hodnot je navržena roční doba vystavení pro každou kategorii. Ta je uvedena v třetím sloupci tabulky. V případě, že umělecké dílo je vystaveno podle tohoto doporučení, je možno předpokládat, že dílo určité kategorie znatelně vybledne v počtu let uvedených v čtvrtém sloupci. Je třeba poznamenat, že se jedná o přibližné údaje. Rychlost blednutí, především pak závislost této rychlosti na čase po dlouhém období existence objektu s neznámou historií osvětlení, je velmi obtížné přesně předpovědět.

Tab. 2 Doporučené doby vystavení exponátů kategorie 1, 2 a 3.

	Expozice vyvolávající právě rozlišitelného vyblednutí (Mlx . h)	Doporučená doba vystavení (týdny/rok) nebo celková roční expozice (lx.h/rok)	Doba nezbytná k vyvolání právě rozlišitelného vyblednutí (roky)
Kategorie 1 (citlivé – ISO 1, 2, 3)	1,2 Mlx . h (ISO 2)	4 týdny nebo 12 000 lx . h	100
Kategorie 2 (středně citlivé – ISO 4, 5, 6)	10 Mlx . h (ISO 4)	10 týdnů nebo 42 000 lx . h	250
Kategorie 3 (trvanlivé – ISO 7, 8 a vyšší)	300 Mlx . h (ISO 7)	20 týdnů nebo 84 000 lx . h	3 500

Při výpočtu doporučené doby vystavení je uvažován 42hodinový výstavní týden s intenzitou osvětlení *100 luxů* pro kategorie 2 a 3 a *75 luxů* pro kategorie 1. Předpokládá se, že případné ultrafialové záření světelného zdroje bylo odfiltrováno. Při delší době trvání výstavy se doporučená doba vystavení upravuje následujícím

způsobem: 4 týdny za rok, případně 8 týdnů za 2 roky nebo 12 týdnů za 3 roky atp.

Doporučuje se však, aby doba vystavení nepřekročila 20 týdnů.

3 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ DO JEDNOTLIVÝCH KATEGORIÍ

Rozdělení materiálů podle jejich citlivosti ke světlu do jednotlivých kategorií na základě Britském standardu BS 1006 nebo standardu ISO 105 je uvedeno v *tabulkách 3–5*.

Tab. 3 **Materiály uměleckých děl na papíru zahrnuté do kategorie 1.**

Definice děl: Všechna díla s barvami, pojivy a podložkami se zařazením dle světelné stálosti do ISO standardu modré vlny 3 a nižší. Následující materiály a techniky byly zařazeny do kategorie 1: – Pastely; některé citlivé barvy, neznámé a laciné palety. – Akvarely; některé citlivé barvy, neznámé a laciné palety. – Kvaše; některé citlivé barvy, neznámé a laciné palety. – Barevné tiskařské inkousty (včetně na bázi oleje); některé citlivé barvy a neznámé palety tj. litografie, sítotisk, obchodní tisk atp. – Mnohobarevné temperové malby s nedefinovanými pigmenty (tj. iluminované rukopisy, orientální kvaše nebo tempera na papíru a hedvábí). – Většina tónovaných papírů, tj. šedomodré, zelenošedé. – Barevné fotografie neznámé kvality, včetně starších barevných fotografií. – Polaroidové snímky. – Většina historických přírodních barviv na textilu (s výjimkou indiga a mořeny na vlně). – Kresby provedené popisovačem. – Bistr, sépie (citlivost neznámých železitých inkoustů). – Složitě černé inkousty. – Neznámé žlutě a červeně v japonských blokových tiscích. – Neznámé žlutě a červeně v evropských rukopisech. – Peří, málo kvalitní obchodní materiály použité v kolážích.
Specifické pigmenty: Všechny pigmenty citlivosti ISO 1, 2 a 3 jsou klasifikovány jako kategorie 1, včetně následujících: – Gumiguta. – Složitě černě. – Mořena a indigo na bavlně. – Indigo v akvarelu. – Tenké lazury a lavírované malby provedené přechodnými pigmenty tj. většina karmínových lakových pigmentů (kvercitron, karmín v lavírované malbě na bílém papíře). – Světlice barvířská. – Kurkuma. – Křížatka (<i>Commelina communis</i> – dayflower blue).

Tab. 4 **Materiály uměleckých děl na papíru zahrnuté do kategorie 2.**

Definice děl: Všechna díla s barvami, pojivy a podložkami se zařazením světelné stálosti dle ISO standardu modré vlny 4, 5 nebo 6. Následující materiály a techniky byly zařazeny do kategorie 2: – Dřevovina a ostatní málo kvalitní papíry a papírové podložky. – Barevné diapositivy, o kterých je známo, že mají značku Kodachrome, Ektachrome, Fujichrome atp. – Cibachromy. – Nové barevné fotografie (přibližně do roku 1980).
Specifické pigmenty: Všechny pigmenty citlivosti ISO 4, 5 a 6 jsou klasifikovány jako kategorie 2, včetně následujících: – Někteří tradiční barviva na textil. – Vermilion (spíše tmavne než bledne). – Indická žluť. – Základní brilantní červeně: karmínový, mořenový a alizarinový lak.

Tab. 5 **Materiály uměleckých děl na papíru zahrnuté do kategorie 3.**

Definice děl: Všechna díla s barvami, pojivy a podložkami se zařazením světelné stálosti dle ISO standardu modré vlny 7, 8 a výše. Následující materiály a techniky byly zařazeny do kategorie 3: – Hladový papír dobré kvality. – Inkousty na bázi uhlíku. – Grafit, dřevěné uhlí (koks). – Kresba stříbrným a kovovým hrotem (povlaky pro papír pro techniku kovového hrotu jsou snad přijatelné v případě, že jsou bílé a ne barevné). – Zemité pigmenty, okry, umbry atp. – Přírodní křídý, krvavě červené, hnědé, černé a bílé (conté crayons). – Černobílé stříbrno/želatinové fotografie. – Zlatem nebo selenem tónované nebo jinak trvale zpracované fotografie. – Plasty, polyethylen, syntetické pryskyřice.
Specifické pigmenty: Všechny pigmenty citlivosti ISO 7, 8 a výše jsou klasifikovány jako kategorie 3, včetně následujících: – Moderní barvy nejvyšší kvality, včetně vodových barev, barev pro kvaše, pastely atp. – Moderní kadmiové červeně. – Ultramarín, většina modří. – Aureolin (kobaltová žluť). – Indigo a mořena barvířská na vlně.

4 DOPORUČENÉ INTENZITY OSVĚTLENÍ A PODÍLU ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ PŘI OSVĚTLOVÁNÍ EXPONÁTŮ

Hladiny osvětlení, přesněji řečeno intenzity osvětlení (osvětlenosti), jsou v archivech, knihovnách, muzeích i galeriích nezbytně věcí kompromisu. Světlo poškozují většinu materiálů organického původu, ale zároveň je určitá osvětlenost nezbytná, aby objekty vytvořené z těchto materiálů byly jasně viděny návštěvníky.

Navržená strategie výstav doporučuje intenzitu osvětlení *100 luxů* pro kategorie 2 a 3 a *75 luxů* pro kategorii 1. U nejcitlivějších materiálů kategorie 1 (hladina citlivosti 1 dle ISO 105) se doporučuje intenzita osvětlení *50 lx*. Přirozeně se předpokládá, že případné UV záření světelného zdroje bylo odfiltrováno.

Významné je, že pro úspěšné pozorování při nízké hladině osvětlenosti pozorovatel potřebuje několik minut na adaptaci na nízkou hladinu osvětlení. V případě, že je dočasně vystaven vyšší intenzitě osvětlení (např. při přechodu z jedné výstavní místnosti do druhé intenzivně osvětlenou chodbou) adaptační doba se prodlužuje. Je-li tedy skutečně nutné pracovat s nízkými hladinami osvětlení, je žádoucí, aby nejen výstavní místnosti, ale i chodby, případně další nevýstavní prostory, kterými prochází návštěvník, byly osvětleny rovnoměrně nízkou osvětleností.

Je doporučeno, aby v současné době akceptovaný podíl ultrafialového záření *75 $\mu W/lm$* byl snížen na *10 $\mu W/lm$* .

5 OCHRANA ARCHIVNÍCH MATERIÁLŮ PROTI SVĚTLU A ULTRAFIALOVÉMU ZÁŘENÍ

Navržená strategie předpokládá, že při archivních výstavách jsou světelné zdroje zbaveny případného ultrafialového záření. V první řadě je nutné minimalizovat – *nejlépe úplně vyloučit* – osvětlování výstavních prostor denním světlem. Při osvětlování exponátů umělými světelnými zdroji je nutné použít pouze takové zdroje, které neemitují, nebo minimálně emitují ultrafialové záření. Další ze způsobů ochrany exponátů je použití kvalitních filtrů ultrafialového záření. V praxi jsou mnohdy jednotlivé způsoby ochrany exponátů proti světelné energii kombinovány.

5.1 ZPŮSOBY OCHRANY PROTI DENNÍMU SVĚTLU

Pokud je to možné, je vhodné zamezit přístupu denního světla do výstavních prostor. Pro tento účel lze použít *okenní rolety* a používat je v době přímého slunečního ozáření oken a v době, kdy místnost není používána. Rolety jsou ovládány párovým navijákem a musejí přesně zapadat do okenního rámu. Jejich barva je většinou hnědožlutá nebo zelená. Nové systémy zhotovené ze skleněných vláken mohou být instalovány jak na vnitřní, tak na vnější stranu oken. Jsou k dispozici v rozsahu barev skleněných vláken; nejlepší ochranu proti viditelnému světlu a UV záření poskytuje bílé zabarvení.

Většinou je možno použít k zamezení vstupu světla do místnosti stávající *dřevěné okenice*, ovšem za předpokladu, že jsou v pořádku a schopné provozu.

Stejně je možno použít k omezení přístupu denního světla *žaluzie*. Žaluzie mohou být zhotoveny ze dřeva, kovu nebo plastu. Textilní pásy žaluzií musí vykazovat vysokou odolnost k trvalému světelnému namáhání. Pro dosažení dostatečné ochranné účinnosti žaluzií je nezbytné, aby žaluzie dostatečně (alespoň o 5 cm) přesahovala okenní rám. Mimoto žaluzie s délkou větší než 280 cm nepřiléhají tak dobře k okenním rámcům, jako žaluzie kratší. Žaluzie jsou většinou účinnější v případě, že jsou umístěny na vnější straně okna. Jejich nastavení ovlivňuje tepelné poměry v místnosti. Musí být nastaveny tak, aby odrážely světlo zpět do vnějšího prostoru. Žaluzie umístěné uvnitř místnosti nejsou v řadě případů vhodné. Prostor mezi sklem a clonou vytváří miniaturní „skleník“, kde zachycená světelná energie se mění nekontrolovatelným způsobem v teplo a vyvolává zvýšení teploty v místnosti.

K ochraně objektů před světlem je možno použít i *drapérie a záclony*. Záclony musí být dostatečně široké, aby zakrývaly jak střed okna, tak rám okna. Je pochopitelné, že čím více látky je složeno do záclony, tím větší je její ochranný účinek.

V případě zvláště citlivých materiálů je vhodné zakrýt výstavní vitríny stínicí *textilní záclonou či přehozem*. Tato záclona je odkryta návštěvníkem pouze po dobu bezprostředního pozorování objektu.

Omezit dopadající UV záření je možné též vymalováním stěn místností barvami, které obsahují oxid zinečnatý a titaničitý. Tyto oxidy pohlcují UV záření, ale neodstraňují je úplně!

5.2 FILTRY ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ

Filtry ultrafialového záření v optimálním případě úplně odstraňují záření, jehož vlnová délka je nižší než 380 nm a naopak maximálně propouštějí viditelnou oblast světelného spektra (vlnová délka větší než 380 nm). Vzhledem k tomu, že existuje mnoho dodavatelů filtrů ultrafialového záření, jejichž kvalita je mnohdy různá, doporučuje se před nákupem, ověřit filtrační účinnost renomovaným a nezávislým pracovištěm.

Současný stav technického rozvoje nabízí několik možností, jak odfiltrovat ultrafialové záření:

- tradiční silikátové tabulové okenní sklo,
- vrstvené sklo,
- desky plastů,
- filmy plastů,
- nátěry plastů.

Tradiční silikátové okenní sklo má výhodu v tom, že je běžně dostupné a relativně levné. Jeho zásadní nevýhodou je, že propouští většinu UV záření o vlnové délce 320 až 400 nm.

Vrstvené sklo představuje sendvič, který vzniká spojením tabulí silikátového skla fólií polyvinylbutyralu. Fólie obsahuje UV absorbér schopný účinně bránit prostupu UV záření (až 99 %). Je výhodné, že tabule skla chrání UV absorbér polymerní mezivrstvy před oxidací vzdušným kyslíkem a prodlužují tak jeho životnost.

Desky plastů – v současné době jsou především používány tvrdé desky polymethylmethakrylátu (PMMA) a polykarbonátu (PC), obsahující rozptýlený UV absorbér.

Vážným nedostatkem těchto materiálů je, že snadno hoří, vzniká stékající tavenina, která může poškodit vystavené objekty, a to většinou nevratně. Z tohoto hlediska polymerní desky poskytují horší ochranu než vrstvené sklo, a proto se nedoporučují.

Filmy plastů jsou určeny především pro použití na vnitřním povrchu okenního skla. V současné době je vyráběna široká paleta těchto filmů na bázi biaxiálně orientovaných filmů polyethylentereftalátu (PET). Filmy jsou vyráběny zejména jako *bezpečnostní* filmy, tedy filmy, které mají chránit okna před jejich roztržením různými prostředky, včetně výbuchu bomb, a případně některé typy před nežádoucím proniknutím do objektu. Vzhledem k tomu, že není vždy jisté, že tyto „bezpečnostní filmy“ mají i dostatečnou ochranu proti UV záření, je nezbytné otázku schopnosti filmu chránit proti UV záření předem projednat s výrobcem filmu nebo s dodavatelem. Je třeba si uvědomit, že transparentní bezbarvé filmy vhodné pro ochranu proti UV záření tvoří jen malý podíl vyráběných filmů, a proto jejich výroba není vždy pro výrobce výhodná.

Z hlediska ochrany proti světlu jsou vyráběny především *reflexní filmy*, většinou vícevrstvé. V tomto případě je na film PETu ve vakuu nanесena tenká vrstva vhodného kovu (stříbro, zlato, bronz, nikl/chrom nerezavějící ocel), která dodává filmu kovový lesk (zrcadlový efekt). Kovová vrstva je chráněna povrchovým filmem PET. Barvu kovového lesku je možno ovlivnit jednak použitým kovem, nebo do některé vrstvy přidáním barvivem. Tyto filmy mají jak výrazně nižší prostup viditelného světla (18–47 %), tak UV záření (1 %). Významně odrážejí IČ záření, a mají proto termoizolační účinek. Tyto filmy nejsou vhodné pro použití na ochranu oken historických budov. Jsou jednostranně průhledné. Filmy tohoto typu rovněž snižují nebezpečí zranění osob rozbitým sklem a znesnadňují, zvláště když jsou použity vícevrstvé typy i pokusy o vloupání do objektu.

Dále pak jsou vyráběny čiré PET okenní *filmy*, které jsou *schopné absorbovat UV záření* a které jsou tedy vhodné jak k ochraně okenních skel, tak o ochraně skel výstavních vitrín. Tyto filmy, většinou vícevrstvé, obsahují UV absorbér. V případě, že jsou filmy dobře aplikovány, jsou prakticky neviditelné. Po aplikaci filmů může dojít

k praskání některých historických skel, zvláště v případě, že jsou extrémně tvrdá nebo mají-li na povrchu drobné praskliny, vrypy či jiné nepravidelnosti. Moderní skla takové nepravidelnosti většinou nemají a ochranným filmům dobře odolávají. V zájmu zamezení zmíněných škod je nezbytné, aby práce spojené jak s aplikací, tak s odstraněním filmu prováděla firma s prokázanými zkušenostmi v tomto oboru. Před uzavřením smlouvy o dodávce filmu je vhodné vyžádat si větší vzorky filmu, ty aplikovat na okna a posoudit jejich estetickou přijatelnost. V případě, že je dosaženo vyhovujících výsledků, je rozumné se snažit získat informace o výrobci filmů. Je účelné nakupovat filmy od výrobců, jejichž filmy se již osvědčily. Nejjistější cestou, jak zabránit potížím s praskáním skla a s nedostatkem adheze, je nalézt dodavatelskou firmu, která se již dostatečně dlouho zabývá touto problematikou a je tedy schopna překonat případné potíže zkušenostmi, které získala v předchozí práci. Smlouva by měla zahrnovat povinnost opravit škody, které vzniknou v prvních dvou letech, vyvolané především selháním adheze, prasknutím skla okna a snížením filtrační kapacity. Je rozumné aplikovat film i na několik náhradních tabulek skla. Mohou být později využity k výměně tabulek rozbitých jinými příčinami.

Filmy absorbující UV záření mohou vzniknout i odpařením roztoků plastů nanesených na povrch skla. Tyto *nátěry plastů*, schopné absorbovat UV záření, jsou připravovány smísením roztoku vhodného plastu (většinou PMMA, akrylátových kopolymerů, řidčeji triacetátu celulózy) s UV absorbérem. Vzhledem k tomu, že se jedná o zdánlivě snadno připravitelné produkty, zabývají se jejich výrobou i firmy, které často nejsou schopné zajistit optimální a standardní kvalitu. Ochranná účinnost může významně kolísat. Slabým místem těchto nátěrů, pokud nejsou naneseny v továrně, je především jejich nerovnoměrné nanesení na plochu skla a tedy i jejich nepravidelná transparence a ochranná účinnost. Nevýhodou je i snadná zranitelnost nátěrů poškrábáním. Filmy vzniklé odpařením nátěrů většinou rychle stárnou, praskají a odlupují se. V současné době se málo používají a dává se přednost PET filmům.

Tab. 6 Seznam některých prodejců UV fólií v České republice.

Výrobce	Adresa	Prodejce v ČR	Adresa
Courtaulds Pefromance Films	P. O. Box 5068 Martinsville Virginia 24115 USA	Solar-Stop B. Procházka	U hodin 122 Praha 10 – Bubeneč tel.: 02-71961391-4, fax: 02-71960556
3M Specified Construction Products Dep.	3M Center Building 225-4S-08 St. Paul MN 55144-1000 USA	Solar-Stop B. Procházka	U hodin 122 Praha 10 – Bubeneč tel.: 02-71961391-4, fax: 02-71960556
Madico	64 Industrial Parkway Woburn MA 01801 USA	Steinbauer Ing. J. Würtherle	Sadská 12, 198 00 Praha 9 tel.: 02-66611062, 02-66611064 fax: 02-81861883
Film Technologies Inc. Sun Gard Glass Gard		Charvát Zdeněk Charvát	U Cukrovaru 1077, 278 01 Kralupy nad Vltavou tel.:0205-24105, fax:0205-24105
		Dytec s. r. o.	Na Klášterním 1/1428, 162 00 Praha 6 tel./fax: 02-361257
		SignAll & Prima Design	Hloubětínská 11, 198 00 Praha 9 tel./fax: 02-81868216

5.3 ZDROJE UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ

Žárovky produkují světlo tím, že elektrický proud prochází wolframovým vláknem a zahřívá je na cca 2700 °C. Rozžhavené vlákno žárovky emituje světlo. Žárovky přeměňují pouze malý podíl elektrické energie na světlo, zbytek energie je přeměněn na teplo. Nevýhodou je, že světelný tok obyčejných žárovek se během doby snižuje, což je dáno tím, že wolfram se z vlákna odpařuje a usazuje se jako tmavý povlak na vnitřní stěně baňky. Žárovky produkují malý podíl UV záření (cca 75 $\mu\text{W/lm}$) a tento podíl je dosud považován za přijatelné množství záření, které významně nepoškozuje kulturní objekty. Při osvětlení žárovkou se proto nepožaduje filtrace světla. Pro svůj vysoký podíl IČ záření, nejsou žárovky vhodné pro vnitřní osvětlení vitrín. Výhodné je, že intenzitu osvětlení je možno snadno snižovat stmíváním.

Halogenové žárovky byly vyvinuty z tradiční žárovky. Vnesením halogenu (např. bromu) do plnicího plynu v baňce z křemenného skla se významně prodlouží životnost wolframového vlákna. Křemenné sklo, které je použito na výrobu baňky

vzhledem k vyšší pracovní teplotě žárovky, propouští UV záření. Proto světlo halogenových zářivek obsahuje vyšší podíl UV záření a je nutno je odfiltrovat. V poslední době se objevily na trhu zlepšené halogenové žárovky, u nichž křemenné sklo bylo modifikováno tak, že pohlcuje větší podíl UV záření – především UV-B a UV-C. Halogenové žárovky mohou pracovat při nízkém napětí (např. 12 V), což umožňuje jejich miniaturizaci. Pro své malé rozměry jsou častou součástí různých reflektorů používaných ve výstavnictví. Halogenové žárovky je možno do určité míry stmívat. (Při nadměrném stmívání se však snižuje teplota wolframového vlákna a narušuje se regenerační halogenový cyklus. Za této situace se halogenová žárovka chová jako normální žárovka a vnitřní povrch baňky tmavne a zhoršuje se index podání barev.)

Osvětlení *zářivkami* se stalo vzhledem k jejich vysokým měrným světelným výkonům (až 100 lm/W) běžným osvětlením kanceláří, provozoven a prostor veřejných institucí. Zářivky z ekonomických důvodů představují přitažlivou možnost osvětlení a v řadě případů nahrazují žárovky. Zářivky mají ale i určité nevýhody v případě, že je jich použito pro osvětlení výstavních prostor, kde je důležitá přesná reprodukce barev. Některé z nich mají nevyhovující index podání barev.

Zářivky představují nízkotlaké rtuťové výbojky, ve kterých vzniká světlo tím, že ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti k emisi neviditelného UV záření. Luminofor na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje UV záření na viditelné světlo. Zářivky mají čárové spektrum. Volbou luminoforu je možno ovlivnit náhradní teplotu chromatičnosti světla a podání barev světla. Moderní typy zářivek, které používají třípásmové nebo pětípásmové luminofony, mají vyhovující podání barev (R_a cca 95) a přijatelný měrný světelný výkon – přibližně 65 lm/W. Přežívá dosud názor, že zářivky vyzařují nadměrné množství UV záření. Toto stanovisko není oprávněné u moderních typů zářivek. Intenzita UV záření těchto zářivek se pohybuje kolem požadované hladiny 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$. Zářivky vyžadují pro svůj provoz předřadníky. Při použití moderních předřadníků je možno zářivky stmívat. Jejich výhodou je, mají poměrně velkou životnost a vyzařují malé množství tepla. Jejich světlo se obtížně usměrňuje v paprsek. Jsou vyráběny malé zářivky o průměru trubice 8 mm, které jsou vhodné pro výstavní vitríny. Pro muzejní a galerijní účely jsou doporučovány zářivky s náhradní teplotou chromatičnosti v rozmezí 2 700 až 4 000 K.

V poslední době jsou stále častěji používány *kompaktní zářivky*, kdy tenká zářicí trubice je ohnuta tak, že je dosaženo rozměrů běžných žárovek. Hlavní výhodou je opět vysoký měrný světelný výkon a dlouhá životnost. Kompaktní zářivky není možno stmívat.

V současnosti se ve výstavnictví stále více prosazují *výbojky*. V případě *halogenidových výbojek* je světelné spektrum, vzniklé obloukovým výbojem rtuťových par, zlepšeno přidáním jodidů kovů a jodidů vzácných zemin ke rtuti. Halogenidové výbojky mají vysoký měrný světelný výkon, nízké tepelné vyzařování a extrémně dlouhou životnost. Zatímco původní rtuťové výbojky měly nevyhovující podání barev, některé moderní halogenidové výbojky dosahují vynikajícího podání barev – až R_a cca 92. Díky svému krátkobloukovému výboji jsou výborným bodovým zdrojem, jehož světlo se dá velmi dobře směřovat. Nevýhodou halogenidových výbojek je vysoký podíl UV záření ve vyzařovaném světle. I když v poslední době se objevily na trhu výbojky se sníženým podílem UV záření, přesto je nezbytné jejich světlo filtrovat. Halogenidové výbojky vyžadují ke svému provozu předřadníky. Vzhledem ke svému velkému příkonu (až 2000 W) a tedy i intenzitě osvětlení bývají součástí různých reflektorů především pro vnější osvětlení stavebních památek. Určitou nevýhodou je, že po přerušení napájecího proudu je nutno nechat výbojku cca 10 minut vychladnout, než je ji možno znovu rozsvítit.

Další typy výbojek jsou *nízkotlaké a vysokotlaké sodíkové výbojky*, které jsou stále více používány k osvětlení depozitářů, chodeb, pomocných prostor atp. Jsou používány především k nouzovému osvětlení. Mimoto se uplatňují se k venkovnímu osvětlení, např. historických budov. Jejich výhodou je vysoký měrný světelný výkon.

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou založeny na obdobném principu jako zářivky. Zatímco v případě zářivek vzniká viditelné světlo přeměnou UV záření vytvořeného výbojem rtuti na luminoforu, v případě nízkotlaké sodíkové výbojky viditelné záření je vytvářeno přímo sodíkovým výbojem. Tyto výbojky vyzařují v podstatě monochromatické žluté světlo v čarách 589 nm a 589,6 nm. Mají mimořádně velkou světelnou účinnost a životnost. Nevýhodou je, že mají velmi nízké rozlišení barvy. Používají se k nouzovému osvětlení.

Fyzikální princip *vysokotlakých sodíkových výbojek* je zcela odlišný od nízkotlakých sodíkových výbojek. Výbojová trubice vysokotlakých sodíkových výbojek obsahuje přebytek sodíku a rtuti. Náhradní teplota chromatičnosti a index

podání barev se zvyšují se stoupajícím tlakem par sodíku. Výbojka, zvaná „bílý sodík“, pracuje při tlaku sodíkových par 95 kPa vyzařuje energii v rozsáhlé části viditelného spektra a má přijatelné podání barev – R_a cca 85. Užívá se k intenzivnímu osvětlení výstavních místností. Obecně jsou vysokotlaké sodíkové výbojky používány k světlování velkých prostor a k osvětlení komunikací.

Pro pracovníky archivů, především konzervátory a restaurátory, je velmi důležité znát alespoň orientačně základní vlastnosti různých zdrojů světla. Proto jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7 Vlastnosti některých světelných zdrojů.

Zdroj světla	Teplota chromatičnosti (°K)	Index podání barev R_a	Podíl UV záření ($\mu\text{W}/\text{lm}$)	Měrný světelný výkon (lm/W)
Normální žárovky	2 800	100	60–80	8–21
Halogenové žárovky	2 800–3 200	100	49–130	15–28
Zářivky				
Teple bílá	2 700–3 300	85–95	80	63–96
Neutrálně bílá	3 300–5 000	57–95	85	76
Chladné denní světlo	5 000–6 500	72–97	110	65–90
Výbojky				
Vysokotlaká rtuťová výbojka s luminoforem	4 000	45	50–100	36–54
Halogenidová výbojky	4 300–4 900	65–69	150–600	58–115
Nízkotlaká sodíková výbojka SOX	1 700	44	0	123–200
Vysokotlaká sodíková výbojka SON	1 950–2 150	20–65	30–70	67–138
Vysokotlaká sodíková výbojka SON „bílý sodík“	2 500	85		46
Jasně modré nebe	15 000	100	1 600	
Částečně zatažené nebe	8 000	100	800	
Zatažené nebe	6 000	100	540	
Přímé slunce	4 100–5 600	100	400	

5.3.1 Ochrana před světlem zářivek

K instalaci ochranných opatření v případě zářivek je vhodné přistupovat až tehdy, když je to skutečně nezbytné, a to na základě pečlivého proměření UV záření, které zářivky skutečně emitují. Zářivky, vzhledem k tomu, že při svícení nevyvíjejí významné množství tepla, mohou být zakryty různými kryty z plastů. Polymery (většinou PMMA,

jeho kopolymery a PC), z nichž jsou tyto kryty vyrobeny, jsou primárně stabilizovány UV absorbéry a dalšími přísadami tak, aby se zlepšila jejich odolnost vůči UV záření, především z hlediska změny jejich mechanických vlastností. Tato stabilizace přirozeně potlačuje i průnik UV záření těmito kryty do té míry, že instalace ochranných trubice je mnohdy zbytečná.

Specifickou metodou odstranění UV záření v případě zářivek je překrytí zářivek *návleky*. Návleky představují elastický, tenký polymerní film, běžně PETu nebo triacetátu celulózy, v kterém je rozptýlen UV absorbér. Jsou vyráběny v různých velikostech a jsou nataženy na zářivku. Musí být jimi zakryta celá zářivka, včetně krajů. Jinak z nezakrytých konců zářivek může unikat UV záření. V poslední době jsou vyráběny zářivky, na které jsou navlečeny ochranné filmy již ve výrobním závodě. Filmy se po zahřátí smrští a dokonale přilnou k povrchu zářivky. Teplo, které vzniká mezi zářivkou a filmem snižuje životnost zářivky až o 50 %. Filmy chrání zářivku i před rozbitím, případně návštěvníky před zraněním střepy.

Obdobně je možno použít k odstranění UV záření ze světla zářivek *trubice* zhotovené z tvrdého polymeru (z PMMA nebo z PC), který opět obsahuje UV absorbér. Trubice jsou několikrát dražší než návleky a dá se u nich předpokládat životnost cca 10 let.

Poznámka:

Důležitým poznatkem je, že zářivky vyzařují sice poměrně malý podíl UV záření v oblasti 280–380 nm, ale naopak významný podíl záření se u všech zářivek objevuje v oblasti 380–450 nm (ve fialové oblasti viditelného světla). Toto zjištění má značný význam pro výstavní praxi. V případě, že by záření emitované nechráněnými moderními zářivkami bylo hodnoceno pouze podle podílu UV záření, neměla by emitovaná intenzita záření významně poškozovat muzejní materiály, zvláště v případě, že by světlo procházelo UV filtry. Přesto je však nutno očekávat vážné poškození archivních materiálů tímto světlem. Záření ve fialové oblasti se blíží svou energií energii UV záření, především pak UV-A, a má tedy vzhledem ke své vysoké intenzitě poškozující účinek blízký poškozujícímu účinku UV záření. Nevýhodou je, že zatímco UV-A je významně filtrováno běžnými bezbarvými UV filtry, fialové světlo jimi prochází a není možno je takto odstranit. V případě, že nevedí změna barvy vystaveného materiálu, je možno použít žlutě zabarvené filtry, které potlačí prostup fialového a modrého světla. V případech, kdy žluté filtry nejsou přijatelné vzhledem ke změně barvy vystavovaných objektů, je nejvhodnější snížit intenzitu osvětlení na 50 luxů.

5.3.2 Ochrana před světlem halogenových žárovek

Vzhledem k tomu, že světlo vydávané **obyčejnou žárovkou** s wolframovým vláknem je dnes již historicky bráno jako optimálně vhodné z hlediska obsahu UV záření (70 μ W/lm), není zvykem opatřovat osvětlovadla pracující s obyčejnou žárovkou UV filtrem. Záření kratší než 320 nm jsou absorbována vnějším skleněným krytem osvětlovadla nebo sklem vitríny.

Křemenné sklo baněk *halogenových žárovek* propouští krátkovlnné UV záření (UV-B a UV-C), které jinak pohlcuje skleněná baňka normální žárovky. Podíl UV záření vyzařovaný různými halogenovými žárovkami může být až 700 $\mu\text{W/lumen}$. Na trhu se objevily halogenové žárovky, u nichž původní křemenné sklo bylo modifikováno tak, že pohlcuje významný podíl UV záření – asi 50 % UV-A a většinu UV-B a UV-C. Dalším způsobem ochrany pře UV zářením jsou tzv. tepelně stabilní filtry (dichroické). V tomto případě jsou ve vakuu nanášeny na podklad z borosilikátového skla tenké vrstvy kovových oxidů, které jsou schopné odrážet záření o určité vlnové délce a naopak světlo o jiné vlnové délce propouštět. Tyto dichroické filtry pouze 10 $\mu\text{W/lm}$ ultrafialového záření. Nepropouštějí vůbec UV záření o vlnové délce kratší než 380 nm a 1 % záření pod 400 nm. Další výhodou dichroických filtrů je jejich dlouhá životnost a zanedbatelné zkreslení barvy. Nevýhodou je jejich poměrně vysoká cena.

6 ZPŮSOBY MĚŘENÍ INTENZITY OSVĚTLENÍ, DÁVKY SVĚTLA A PODÍLU ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ

Nejrozšířenější metoda měření celkové dávky absorbovaného záření je systém „modré vlny“. Systém „modré vlny“ tvoří 8 barvených vlněných pruhů, které blednou charakteristickou rychlostí. Jejich barevné změny jsou úměrné dávce ozáření, resp. osvitu. ISO 1 je nejméně stálé a ISO 8 je nejstálejší. Každý standard s vyšším číslem má přibližně dvojnásobnou stálost než předcházející (viz *tabulka 1*). Tato stupnice je součástí normy *British blue wool standard BS 1006 a ISO 105-B*.

Tab. 8 Stupnice modré vlny.

Stupeň č.	Stálost na světle nebo v povětrnosti	
1	velmi nízká	very poor
2	nízká	poor
3	dosti dobrá	moderate
4	středně dobrá	fairly good
5	dobrá	good
6	velmi dobrá	very good
7	výborná	excellent
8	vynikající	unsurpassed

Stupnici modré vlny lze v České republice zakoupit ve firmě Ostacolor a. s. Pardubice.

Dalším způsobem měření celkové dávky absorbovaného záření jsou tzv. *chemické aktinometry*. Chemické aktinometry jsou založeny na principu, že v aktinometrickém roztoku (např. na bázi ferrioxalátu draselného) dochází fotochemickou reakcí ke vzniku železnatých iontů, jejichž koncentrace je přímo úměrná celkovému množství absorbované energie záření.

Přístroje na měření intenzity a dávky ozáření s vymezenou spektrální citlivostí v určité oblasti optického spektra (nejčastěji v ultrafialové oblasti) záření jsou následující:

Přístroje firmy Kühnast Strahlungstechnik, Wächtersbach, SRN

(Zastoupení v ČR: C5 s. r. o., Jarcová 71, 757 01 Valašské Meziříčí.)

- *UV Meßgerät* (spektrální rozsah 315–420 nm).
- *UV A Meter* (spektrální rozsah 315–400 nm).
- *UV B Meter* (spektrální rozsah 280–315 nm).

Přístrojem UV A Meter lze měřit jak intenzitu ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$), tak i dávku ozáření ($\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$). Přístroj umožňuje též měřit intenzitu a dávku ozáření ve spektrálním

rozsahu 350–460 nm (diaz).

Přístroje firmy Littlemore Scientific Engineering, Oxford, UK

(Zastoupení v České republice není.)

- *Elsec Integrating UV Monitor – typ 905* (spektrální rozsah 300–400 nm).
Přístroj umožňuje měřit dávku ozáření ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$) a lze tudíž při současném měření času stanovit intenzitu ozáření.
- *Elsec UV Monitor – typ 762*.
Přístroj měří přímo podíl UV záření ve světle zdroje (v rozsahu 0–1 000 $\mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$).

Novější verze přístroje Elsec, kromě uvedených možností měření intenzity a dávky UV záření ve spektrálním rozsahu 300–400 nm a podílu UV záření, umožňuje i měření intenzity osvětlení (lx).

Přístroje firmy International Light, Newburyport, MA, USA

(Zastoupení v České republice není, kontakt International Light, Starna Wien, Postfach 9, A-3403 Klosterneuburg, Skallgasse 20, Rakousko.)

- *IL 1 700 Research Radiometer*.
Základní přístroj s řadou výměnných čidel pro měření fotometrických i radiometrických veličin (intenzity) ve spektrálním rozsahu od 250 nm do 1 000 nm.

Přístroje na měření intenzity osvětlení (osvětlenosti) – *luxmetry* – měří intenzitu osvětlení v jednotkách lux (lx). Za kvalitní luxmetr je pokládán přístroj, jehož spektrální citlivost odpovídá spektrální citlivosti lidského a jeho receptor je opatřen tzv. kosinusovým korektorem, což je nástavec ve tvaru přibližně kulového vrchlíku z rozptýlného světlopropustného materiálu, eliminující směrovou (úhlovou) chybu při šikmém dopadu světla. Luxmetry se zařazují do čtyř tříd přesnosti: 1, 2, 3 a 4 (označených písmeny L, A, B a C). Uvedeným třídám přesnosti odpovídají nejvyšší přípustné celkové chyby luxmetrů – 2 %, 5 %, 10 % a 20 %. Luxmetry, vyhovující třídě přesnosti 1 a 2, se využívají jako sekundární etalony a pro přesná měření osvětlenosti prostorů s vysokými nároky na zrakový výkon a pro přesná laboratorní měření. Pro běžná provozní měření osvětlenosti postačují přístroje třídy přesnosti 3 a 4.

Ke kvalitním luxmetrům třídy přesnosti 1, popř. 2 patří:

- *Luxmetr B 510* (LMT Lichtmesstechnik, SRN) s rozsahem 0,001 lx až 500 000 lx.
- *Luxmetr firmy PRC Krochmann, SRN* s měřicím rozsahem 0,0001 lx až 200 000 lx.

Luxmetry třídy přesnosti 3 a 4 určené pro provozní měření vyhovují požadavkům běžného měření osvětlenosti a jsou plně postačující i pro světelně-technická měření v archivech, muzeích a galeriích. Tyto luxmetry bývají většinou konstrukčně řešeny s delším stíněným kabelem mezi receptorem a vlastním měřicím přístrojem, aby výsledky měření nebyly ovlivněny při čtení údajů obsluhou. Malé kapesní luxmetry s vestavěným receptorem jsou proto použitelné skutečně jen pro orientační měření. Do kategorie luxmetrů pro provozní měření lze zařadit:

Digitální přístroje třídy přesnosti 3 firmy Minolta Camera Co., Ltd., Japonsko

(Zastoupení v České republice: Minolta Brno.)

- *Illuminance Meter T-1* (měřicí rozsah 0,01 lx až 300 000 lx).
- *Illuminance Meter T-1M* (měřicí rozsah 0,01 lx až 300 000 lx s odděleným fotočlánkem o průměru cca 14 mm).
- *Illuminance Meter T-1H* (měřicí rozsah 0,1 lx až 999 000 lx).

Přesnost přístrojů je podle výrobce $\pm 2 \% \pm 1$ digit.

Digitální přístroj třídy přesnosti 3 firmy Gossen GmbH, Erlangen, SRN

(Zastoupení v České republice: Panter s. r. o., Vinohradská 90, Praha 3.)

- *Mavolux digital* (měřicí rozsah 0,1 lx až 199 000 lx, s odděleným fotočlánkem).

Přesnost přístroje je podle výrobce $\pm 2,5 \% \pm 1$ digit.

Digitální přístroje třídy 4 firmy Beha, SRN

(Prodej v České republice: ELTI, M. Horákové 76, Praha 7.)

- *Unitest Digitales Luxmeter* (měřicí rozsah 0,1 lx až 20 000 lx, selenový oddělený fotočlánek, přesnost $\pm 5 \%$)
- *Unitest Digitales Luxmeter* (měřicí rozsah 0,1 lx až 200 000 lx, křemíkový oddělený fotočlánek, přesnost $\pm 3,5 \%$)

Digitální přístroj třídy přesnosti 4 firmy Metra Blansko a. s., Česká republika

(Prodej v ČR: ELTI, Horákové 76, Praha 7.)

- *Luxmetr PU550* (měřicí rozsah 0,1 lx až 100 000 lx, oddělený fotočlánek)

Přístroje na měření osvitů (součinu intenzity osvětlení a doby působení světla – v lx.s) se prakticky na trhu nevyskytují, i když pro archivy, muzea a galerie je tento druh přístroje potřebný, neboť jím lze dlouhodobě monitorovat osvit exponátu bez přítomnosti obsluhy. Nezastupitelnou úlohu mají tyto přístroje ve výstavních prostorách s denním proměnným světlem. Tento typ přístrojů byl do roku 1994 vyráběn v bývalém Výzkumném ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky (VÚZORT) v Praze pod označením Megalux v řadě obměn rozsahu měření (lx.s, lx.hod, klx.hod, Mlx.hod), tedy pro monitorování osvitů exponátů v krátkých časových intervalech až po měsíční či roční intervaly. Přístroj byl vyráběn s vestavěným i odděleným fotočlánekem malých rozměrů, vhodným pro umístění do vitrín apod. Nástupnickou firmou VÚZORT je firma SONING Praha a. s., Plzeňská 66, Praha 5.

7 „SVĚTELNÝ ŽIVOTOPIS“ VYSTAVENÉ ARCHIVÁLIE

Vzhledem k tomu, že účinek světla má kumulativní charakter a zvláště atraktivní archiválie jsou vystavovány častěji, je nutné přesně znát množství světelné energie, které v minulosti památka již absorbovala. Tyto údaje by pak měly sloužit při rozhodování o jejím dalším vystavení.

Pro tyto účely byl navrhnout následující formulář, který vyplní konzervátor po ukončení výstavy a který bude pečlivě archivován:

PROTOKOL O VYSTAVENÍ ARCHIVÁLIE	
Název instituce:	
Vystavená archiválie:	Název fondu: Signatura: Kategorie I., II., III
Název výstavy:	
Místo konání výstavy:	
Datum zahájení výstavy:	
Datum ukončení výstavy:	
Otevírací doba (od–do):	
Informace o výstavních prostorách:	Přístup denního světla: ano/ne UV filtry: – okna ano/ne – výstavní vitríny ano/ne – vystavené exponáty ano/ne Průměrná teplota: _____ °C Průměrná relativní vlhkost: _____ %
Intenzita osvětlení exponátů:	lux
Použité zdroje umělého světla:	Druh: Typ: Emise UV záření: _____ μW/lm
Vypracoval(a):	Datum: