

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

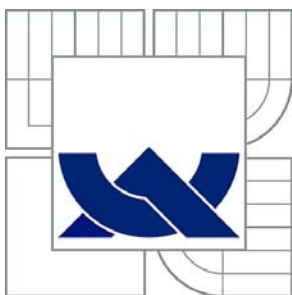
SVĚTLĚTOSTÍ INKOUSTOVÉHO TISKU

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. SILVIA KÁŠKOVÁ

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

## SVĚTLOSTÁLNOST INKUSTOVÉHO TISKU

LIGHTFASTNESS OF INKJET PRINTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. SILVIA KÁŠKEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL VESELÝ, CSc.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	<b>FCH-DIP0372/2009</b>	Akademický rok: <b>2009/2010</b>
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka):	<b>Bc. Silvia Káňerová</b>	
Studijní program:	Spotřební chemie (N2806)	
Studijní obor:	Spotřební chemie (2806T002)	
Vedoucí práce	<b>doc. Ing. Michal Veselý, CSc.</b>	
Konzultanti:		

### Název diplomové práce:

Svítlostálост inkoustového tisku

### Zadání diplomové práce:

1. Vypracovat rešerši na téma svítlostálост inkoustového tisku a metody jejího měření.
2. Dlouhodobý experiment hodnocení odolnosti inkjetových výtisků vůči vlivům prostředí.
3. Hodnotit inkjetové výtisky s barvivovými i pigmentovými inkousty.

### Termín odevzdání diplomové práce: 14.5.2010

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

-----  
Bc. Silvia Káňerová  
Student(ka)

-----  
doc. Ing. Michal Veselý, CSc.  
Vedoucí práce

-----  
prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
editel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Stabilitu inkjetových výtlačkov ovplyvňuje mnoho faktorov. Veľmi významnú úlohu v stabilite zohráva práve okolité prostredie, kedy výtlačky blednú nielen vplyvom svetla, ale i vplyvom vzdušnej vlhkosti, ozónu a ostatných polutantov zo vzduchu. Medzi ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú stabilitu výtlačkov, patrí druh prijímacej vrstvy, či zloženie atramentu.

Táto diplomová práca sa zaoberá štúdiom dlhodobého starnutia výtlačkov digitálnych fotografií produkovaných inkjetovou tlačou. Štúdium stálosti inkjetových výtlačkov sa uskutočňovalo na deviatich rôznych druhoch médií. Vzorke boli pripravené farbivovými i pigmentovými atramentmi. Experiment bol urobený v prirodzených podmienkach, kde bol sledovaný vplyv svetla, ale i ozónu, na stálosť študovaných výtlačkov. Na sledovaných vzorkách boli vyhodnotené zmeny vytlačených farieb na základe merania odrazových spektier, z ktorých boli vypočítané vybrané kolorimetrické veličiny. Pri štúdiu degradácie inkjetových výtlačkov bol tiež sledovaný priebeh závislostí objemov farbových gamutov na dávke ožiarenia vo viditeľnej i ultrafialovej oblasti spektra.

Kľúčové slová: atramentová tlač, inkjet, starnutie výtlačkov, svetlostálosť, ozón.

## **ABSTRACT**

The stability of inkjet print is influenced by a lot of factors. Just the surrounding environment in image stability plays an important role. When the prints fade, not only this does occur by light exposure, but also considerable effect has relative humidity, ozone and other air pollutants. The types of receiving layers or ink composition belong to other factors, which affect the stability of prints.

This diploma thesis deals with the long-term ageing of digital prints produced by ink jet technology. The study of resistance of inkjet prints was realized on nine different types of media. Samples were prepared with use of dye-based and pigment-based inks. The attention was especially focused on the influence of light on print durability, but study was also oriented on the impact of ozone. The samples were exposed to the indoor daylight. Changes in printed colours were measured and evaluated in colorimetric quantities. In this study of inkjet prints degradation the dependence of colour gamut volumes on UV and VIS exposure dose was evaluated.

Key words: inkjet printing, ageing of prints, lightfastness, gasfastness.



Káčerová, S. *Stárnutí inkoustového tisku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 109 s. Vedúci diplomovej práce doc. Ing. Michal Veselý, CSc.

## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne a že všetky použité literárne zdroje boli správne a úplne citované. Diplomová práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemickej VUT v Brně a môže byť využitá ku komerčným účelom iba so súhlasom vedúceho diplomovej práce a dekana FCH VUT.

.....  
podpis študenta

### *Podakovanie:*

*Chcela by som poďakovať Doc. Ing. Michalovi Veselému, CSc., Ing. Petrovi Džikovovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Stančíkovi za ich ústretovosť, čas a cenné rady. Ďalej by som chcela poďakovať všetkým, ktorí so mnou zdieľali svoje skúsenosti a bez ktorých účasti by táto práca nemohla vzniknúť.*

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČASŤ .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Inkjetová tlač.....</b>	<b>8</b>
2.1.1 Technika inkjetovej tlače Continual stream .....	8
2.1.2 Technika inkjetovej tlače Drop on demand.....	9
<b>2.2 Tlačové papiere .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Podložky.....	12
2.2.2 Prijímacie vrstvy .....	14
<b>2.3 Druhy atramentov.....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Vodou riediteľné atramenty .....	15
2.3.2 Riedidlové atramenty .....	16
2.3.3 Špeciálne atramenty .....	17
<b>2.4 Zloženie vodou riediteľných atramentov.....</b>	<b>17</b>
2.4.1 Farbonosné zložky (koloranty).....	18
2.4.2 Rozpúšťadlá a pomocné látky (aditíva).....	23
<b>2.5 Interakcie atramentov a prijímacej vrstvy.....</b>	<b>24</b>
2.5.1 Degradácia atramentov vplyvom svetla .....	25
2.5.2 Degradácia atramentov vplyvom tepla.....	28
2.5.3 Degradácia atramentov vplyvom vlhkosti.....	29
2.5.4 Degradácia atramentov vplyvom ovzdušia.....	29
<b>2.6 Svetlo a farba.....</b>	<b>30</b>
2.6.1 Meranie farby .....	32
2.6.2 Prístroje k meraniu farby .....	36
<b>3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Použité zariadenia a chemikálie .....</b>	<b>39</b>
3.1.1 Zariadenie a vybavenie laboratória .....	39
3.1.2 Chemikálie a atramenty.....	39
3.1.3 Použitý software.....	39
3.1.4 Použité papiere .....	40
<b>3.2 Príprava vzoriek.....</b>	<b>40</b>
3.2.1 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla.....	40
3.2.2 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla a polutantov .....	41
3.2.3 Vzorky s nižšou sieťovou tónovou hodnotou.....	42
<b>4 VÝSLEDKY A DISKUSIA.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Hodnotenie degradácie inkjetových výtlačkov.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Vplyv svetla pri dlhodobom starnutí.....</b>	<b>52</b>
4.2.1 Svetelné podmienky .....	52
4.2.2 Hodnotenie testovacích škál.....	55

<b>4.3 Vplyv svetla a polutantov pri dlhodobom starnutí .....</b>	<b>67</b>
4.3.1 Svetelné podmienky .....	67
4.3.2 Hodnotenie farbivových atramentov .....	70
4.3.3 Hodnotenie pigmentových atramentov.....	82
<b>4.4 Testy s nízkou sieťovou tónovou hodnotou .....</b>	<b>93</b>
4.4.1 Svetelné podmienky pre dlhodobý test.....	93
4.4.2 Hodnotenie testu dlhodobého starnutia .....	95
4.4.3 Svetelné podmienky pre test urýchleného starnutia .....	100
4.4.4 Hodnotenie testu urýchleného starnutia .....	100
<b>5 ZÁVER .....</b>	<b>104</b>
<b>6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....</b>	<b>105</b>
<b>7 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV.....</b>	<b>108</b>

## 1 ÚVOD

Atramentová tlač sa za posledných pár rokov stala veľmi žiadanou zobrazovacou technológiou. Jej využitie sa rozšírilo najmä používaním digitálnych tlačiarenských aplikácií. Zhotovujú sa ňou nielen bežné výtlačky, ale i digitálne fotografie, či reklamné billboardy a postery. To však vyžaduje zlepšenie stálosti výtlačkov. Výtlačky musia byť stabilné mnoho rokov pre archivovanie alebo uchovanie obrazov pri vystavení podmienkam prostredia. Na určenie stálosti výtlačkov sa robia testy urýchleného starnutia. Testy sa riadia technickými odporučeniami a normami. Ich úlohou je v kratšom časovom období určiť, akú dlhú dobu bude daný výtlačok stabilný v predpokladaných podmienkach použitia. Nevýhodou je, že neposkytujú celkom reálne výsledky, pretože výtlačky sú viac poškodené pri dlhšej expozícii nižšou hladinou osvetlenia, ako pri krátkej expozícii extrémne vysokou hladinou osvetlenia. Stabilitu výtlačkov ovplyvňuje množstvo faktorov. Na jednej strane je to typ prijímacích vrstiev, na ktorých sú atramenty vytlačené, ako i zloženie atramentov. Na strane druhej, výtlačky ovplyvňuje okolité prostredie. Výsledkom ich vzájomného pôsobenia je, že výtlačky strácajú svoju pôvodnú kvalitu a podliehajú degradácii.

Cieľom tejto diplomovej práce je vypracovať literárnu rešerš na tému svetlostálosť atramentovej tlače a metódy jej merania. Ďalším vytýčeným cieľom je uskutočniť dlhodobý experiment hodnotenia odolnosti inkjetových výtlačkov s farbivovými a pigmentovými atramentmi voči vplyvom prostredia. Budú tiež študované inkjetové výtlačky, ktoré budú podrobené nielen dlhodobému starnutiu v prirodzených podmienkach, ale i urýchlenému starnutiu pôsobením xenónovej výbojky.

## 2 TEORETICKÁ ČASŤ

### 2.1 Inkjetová tlač

Inkjet je digitálny tlačový proces, v ktorom je atrament prenášaný priamo na substrát prostredníctvom tlačovej hlavy riadenej elektronickým signálom<sup>1</sup>. Tá vystreľuje kvapky atramentu na potlačované médium, kde atrament zasychá. Moderné tlačiarne vedia meniť veľkosť vystreľovanej kvapky, takže pre záznam obrazových tónových hodnôt sa využíva kombinácia frekvenčného a amplitúdového rastrovania<sup>2</sup>.

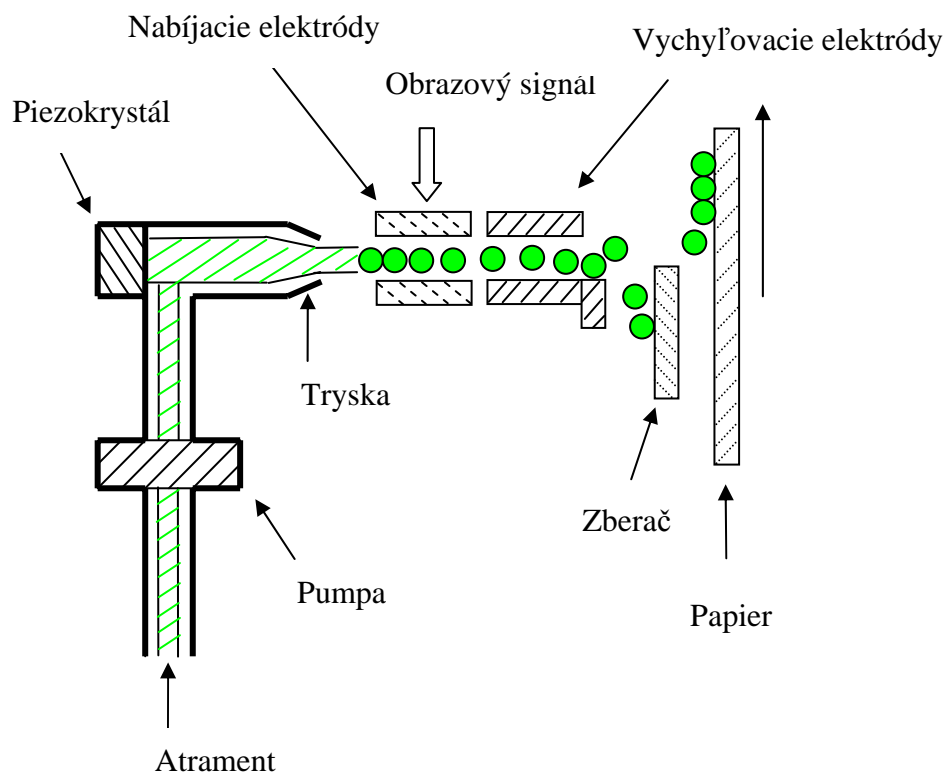
Rozlišujeme dva typy inkjetových technológií. Je to tzv. *continual stream (CS) inkjet* a *drop on demand inkjet (DOD)*.

#### 2.1.1 Technika inkjetovej tlače Continual stream

Continual stream inkjet patrí medzi najstaršie používané inkjetové technológie. Pri tlači sa vytvára prúd malých atramentových kvapiek, z ktorých len časť dopadá na papier. Kvapky sú vystavené elektrostatickému poľu, vytvorenému vďaka pôsobeniu nabitých elektród, v ktorom získavajú elektrický náboj.

Obr. 1 ukazuje základný princíp tryskového systému založeného na Hertzovej technológii, ktorá umožňuje vytvoriť prúd kvapiek s vysokou frekvenciou<sup>3</sup>. Pri binárne odkloňujúcom CS inkjete je kvapalina pod tlakom vytláčaná tryskou cez piezo-oscilátor. Veľkosť kvapiek spolu s intervalom sú závislé na niekoľkých faktoroch: priemere trysiek, viskozite a povrchovom napätí kvapaliny. Vzhľadom k tomu, že ide o binárny systém, sú kvapky dvoch typov. Kvapky, ktoré boli nabité elektródou a získali náboj, sú v elektrickom poli vychyľované. Kvapky bez náboja dopadajú priamo na papier.

V multi-odkloňujúcom CS inkjete sa nachádza systém s rozdielne nabitými kvapkami. Ich vychyľovanie je závislé od intenzity náboja. Rozlíšenie výtlačku závisí od vzdialenosti inkjetovej hlavy a povrchu substrátu, od rýchlosti posúvania substrátu a od frekvencie kvapiek. Inkjetové technológie zvyčajne vytvárajú rozlíšenie medzi 300 až 600 dpi a môžu vytvárať niekoľko stupňov sivej na pixel<sup>3</sup>. Pri vysokej frekvencii kvapiek je možné získať až 30 stupňov sivej. Rozlíšenie sa pri niektorých systémoch pohybuje v šírke materiálu až do 1200 dpi, v druhom rozmere je ovplyvnené rýchlosťou posuvu materiálu<sup>4</sup>.



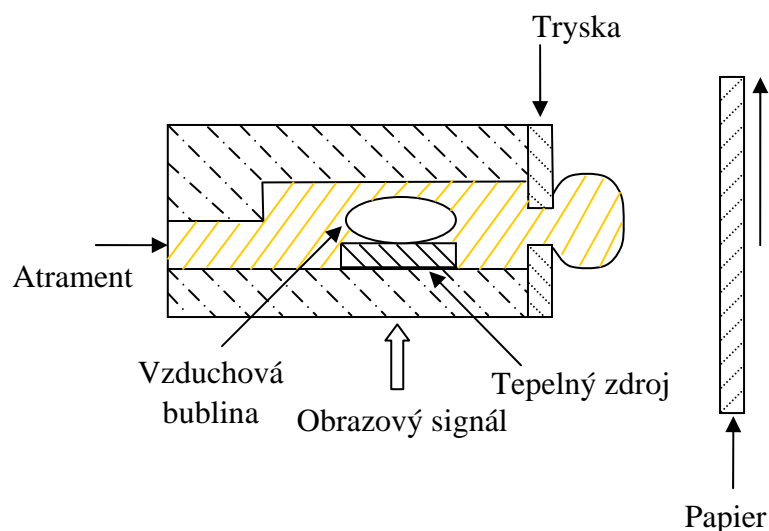
**Obr. 1** Princíp činnosti pre CS inkjetový systém.

### 2.1.2 Technika inkjetovej tlače Drop on demand

Pri DOD inkjetovom systéme dopadá na papier každá vzniknutá kvapka. Rozlíšenie, pri ktorom DOD systémy tlačia, presahuje v jednom smere i 1440 dpi. Ich výhodou je, že nimi možno potlačovať i ťažko spracovateľné materiály, napr. plasty. DOD inkjetové systémy môžu byť klasifikované podľa spôsobu, akým sú tvorené jednotlivé kvapky atramentu<sup>3</sup>.

#### 2.1.2.1 Termálny DOD inkjet

Princípom termálnych inkjetových systémov je tvorba kvapky pomocou termo prvku (tepelný zdroj), ktorý spôsobuje vyparovanie kvapaliny v tryskovej komôrke. Prechodom elektrického prúdu dôjde k prudkému zahriatiu termo prvku, čo následne vedie k odpareniu atramentu, čím v jeho vnútri vzniká bublina, ktorá vytlačí kvapku atramentu cez trysku (Obr. 2). Teplota termo prvku i bublina následne prudko klesnú a v dôsledku kapilárnych síl je do trysky doplnený nový atrament. Ich hlavnou nevýhodou je pripaľovanie atramentu na povrchu vyhrievacieho telesa. Do týchto typov tlačiarní je možné používať iba vodou riediteľné atramenty. Ďalšou nevýhodou je, že nemožno zvýšiť frekvenciu zahrievania<sup>5</sup>. Tieto systémy majú väčšinou separované tlačové hlavy pre každú farbu.

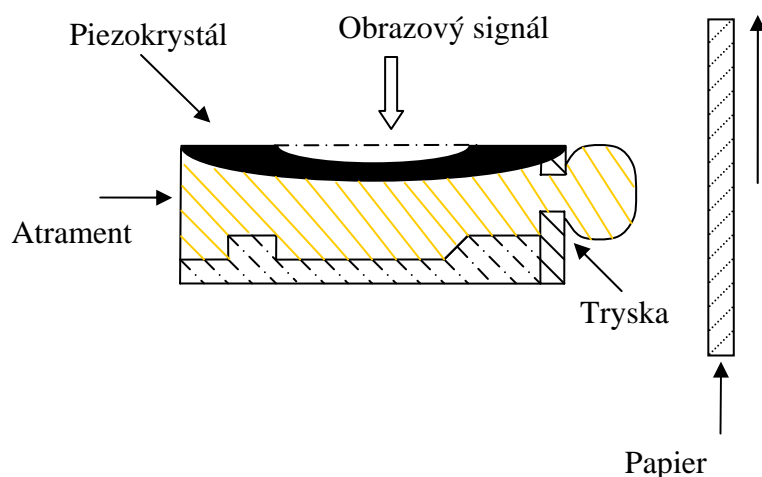


**Obr. 2** Princíp činnosti DOD termálnych inkjetových systémov.

### 2.1.2.2 Piezo DOD inkjet

Pri piezo inkjete sú kvapky vypudzované prostredníctvom elektricky kontrolovanej mechanickej deformácie symetrického kanáliku (Obr. 3). Kvapka môže vzniknúť v jednom kanáliku deformáciou zadnej steny komory, alebo môže byť tvorená aj v sústave kanálikov, kedy v jednom kanáliku dochádza k nasávaniu a v susednom kanáliku sa uskutočňuje vypudzovanie. Z hľadiska použiteľnosti atramentov sú tlačiarne založené na tejto inkjetovej technológii univerzálne.

Techniku piezo inkjetu možno rozdeliť do štyroch skupín, podľa typu tlačových hláv: zmrštenie (squeeze), ohyb (bend), stlačenie (push) a strih (shear). V režime *zmrštenia* môže byť kanálik skonštruovaný ako tenká piezokeramická rúrka obklopená sklenenou tryskou, alebo plastom. Tlačová hlava sa skladá z dvanástich takýchto trysiek. V režime *ohybu* sú piezokeramické pláty spojené do membrány tvoriac pole bilaminárnych elektromechanických snímačov používaných k vystreleniu atramentových kvapiek. V režime *stlačenia* piezokeramické tyče expandujú a vyvíjajú tlak na atrament, kým nedôjde k vystreleniu kvapky cez trysku. V režime *strihu* je elektrické pole navrhnuté tak, aby bolo kolmé k polarizácii piezo ovládača. Šmykom sa deformuje piezo doska a dochádza k vypudeniu kvapky.



**Obr. 3** Princíp činnosti DOD piezo inkjetových systémov.

### 2.1.2.3 Elektrostatický DOD inkjet

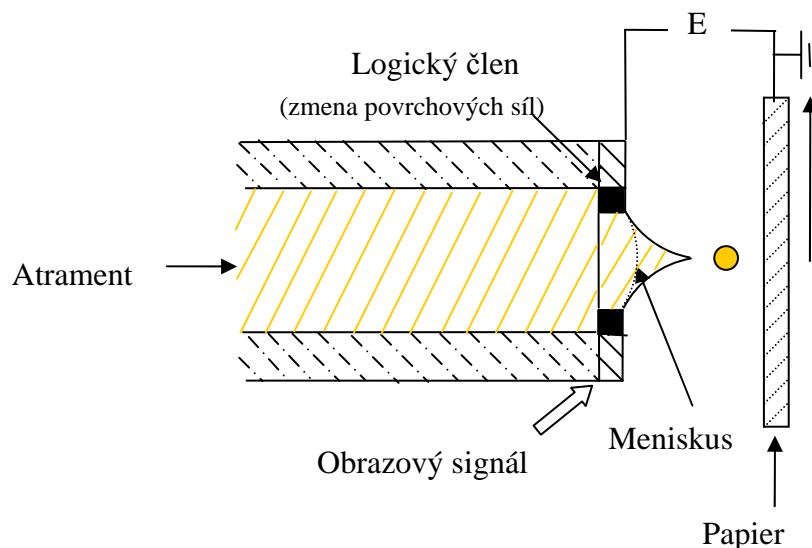
Pri elektrostatických inkjetových systémoch sú kvapky tvorené posielaním riadených signálov cez trysku. Tieto impulzy spôsobujú uvoľnenie kvapky a jej smerovanie cez elektrické pole na substrát (Obr. 4).

*Elektrostatický IJ s použitím Taylorovho efektu* – tenké prúdy kvapaliny z trysiek sú tvorené v elektrostatickom poli. Tvar trysky, z ktorej prúdi kvapalina s priemerom podstatne menším ako je priemer trysky, sa nazýva Taylorov kužeľ. Výhodou toho je, že možno získať veľmi malé kvapky generované s pomerne veľkými tryskami. Kvapky sú potom tvorené na základe obrazu v dôsledku elektrického poľa vytvoreného medzi papierom a tryskou, a superpozície napätia signálov<sup>3</sup>.

*Elektrostatický IJ regulovaný prostredníctvom tepelného účinku* – kvapalnú atrament je v nádržke za mierneho pretlaku. Pretlak v atramente a elektrické pole medzi tryskou a substrátom sú v rovnováhe s povrchovým napätím kvapaliny. Všetky trysky majú kruhové vyhrievacie teleso a môžu byť kontrolované oddelene. Okraj trysky môže byť zahrievaný pomocou prúdového impulzu. Atrament je uvoľňovaný zahrievaním jednotlivých trysiek.

*Elektrostatický IJ s hmlovým nástrekom* – princípom je tvorba veľmi malých kvapiek atramentu (s priemerom asi 2,5  $\mu\text{m}$ ) pomocou ultrazvuku. Ultrazvukové vlny, sústredené na konci trysky, vyvolajú povrchovú vlnu na hladine atramentu. Množstvo kvapiek je kontrolované vysoko-frekvenčnými signálmi rôznej dĺžky.





**Obr. 4** Princíp činnosti DOD elektrostatických inkjetových systémov.

## 2.2 Tlačové papiere

Tlačové papiere pozostávajú z dvoch hlavných zložiek. Sú to podložky a prijímacie vrstvy. Výsledok tlače je závislý na vlastnostiach jednotlivých zložiek ako i na kombinácii nosnej podložky a prijímacej vrstvy. Pri ich kombinovaní je potrebné brať do úvahy niekoľko aspektov. Je nutné zohľadniť, či je prijímacia vrstva kompatibilná s podložkou (napr. cast-coated prijímacie vrstvy nie sú kompatibilné s inertnými podložkami). Tiež je potrebné brať do úvahy, že na papierovej podložke nie je možné vytvoriť dokonale lesklý povrch. Nemenej dôležité sú v tomto prípade i požiadavky spotrebiteľa, ktorý je pri fotopapieroch zvyknutý na RC podložku.

### 2.2.1 Podložky

Prijímacie atramentové vrstvy sú nanosené na nosných podložkách. Ide o špeciálne upravené papiere. Ako nosné podložky sa používajú RC papiere, polyesterové podložky a barytovaný papier (bezdrevný papier potiahnutý vrstvou barytu v organickom spojive).

#### 2.2.1.1 Inertné podložky

*RC papiere* (resign coated) sú obojstranne potiahnuté vrstvičkou polyetylénu. Tieto podložky patria medzi lacné a bežne dostupné.

*Polyesterové podložky* možno ešte rozdeliť na priesvitné, priehľadné a nepriehľadné. Hlavnou výhodou nepriehľadného bieleho polyesteru je jeho veľmi dobrá pevnosť. Medzi jeho ďalšie prednosti patrí dokonale hladký povrch a zrkadlový lesk. Z hľadiska archívnej stálosti sú tieto materiály v podstate bezproblémové. Priesvitný biely polyester i priehľadný majú vlastnosti rovnaké ako nepriehľadný, líšia sa však použitím. Priesvitný biely polyester sa využíva pre presvetľovacie pulty bez mliečneho skla<sup>6</sup>.

### 2.2.1.2 Papierové podložky

Do tejto skupiny podložiek možno zaradiť klasický bezdrevný papier, hadrovinový papier, či bavlnený. Archívnu stálosť v prípade papierových podložiek ovplyvňuje kyslosť papiera, obsah zvyškového lignínu a opticky zjasňujúce prostriedky.

*Kyslosť papiera* je spôsobená niekoľkými faktormi (zvyškové kontaminanty z výroby buničiny, nevhodné technológie – kyslé glejovanie, a najmä atmosférické znečistenie)<sup>7</sup>. Ak v papieri klesne pH do kyslej oblasti, dochádza ku kaskáde degradačných procesov označovaných pojmom kyslá hydrolýza. V dôsledku katalytického štiepenia celulózových makromolekúl sa znižuje mechanická odolnosť. Papier je krehký a ľahko lámavý. Ochranou proti kyslej hydrolýze je tzv. alkalická rezerva, kedy sa do papieroviny pridávajú alkálie k zneutralizovaniu kyseliny. Najčastejšie používanými alkáliami sú uhličitan horečnatý a uhličitan vápenatý. Alkálie sa pridávajú v miernom nadbytku, aby zneutralizovali i ďalšie kyseliny vznikajúce rozkladom či oxidáciou papieroviny a kyslých atmosférických polutantov<sup>6</sup>.

*Lignín* je biopolymér vyskytujúci sa v dreve, ktorého molekuly sú vysoko vetvené a štruktúrne variabilné. To spôsobuje, že nemá vhodné mechanické vlastnosti. Pri výrobe chemických buničín sa odstraňuje, v polo chemických a mechanických buničinách však zostáva prítomný. Obsah lignínu má rozhodujúci vplyv na stabilitu papiera vystaveného svetlu<sup>8</sup>. Každá monoména jednotka lignínovej makromolekuly obsahuje tzv. chromofóry. Chromórov je veľa druhov. Sú to chemické skupiny absorbujúce viditeľné alebo UV svetlo. Absorbciou svetla z nich vznikajú excitované skupiny, ktoré vedú k fotodegradačným alebo fotooxidačným reakciám. Dôsledkom je opäť zhoršenie mechanických vlastností, či žltnutie papiera<sup>6</sup>.

*Opticky zjasňujúce prostriedky* (optical brightening agents – OBA's) sú aditíva špeciálne využívané v papierenskom a textilnom priemysle k zdanlivému zvýšeniu belosti. Tieto molekuly zvyšujú belosť absorpciou UV oblasti svetla (330–380 nm) a emisiou viditeľného modrého svetla (400–450 nm)<sup>9,10</sup>. Pre tento účel je nevyhnutné, aby fluorescenčné zjasňovače mali rovinnú molekulovú štruktúru s konjugovanými dvojitémi väzbami a elektrón-donorné skupiny, aby sa prejavila vysoká fluorescenčná aktivita<sup>11</sup>. Opticky zjasňujúce prostriedky efektívne potláčajú žltý nádych prirodzene bielych materiálov (papier, tkaniny) a spôsobujú, že sa javia žiarivo brilantne biele. Ich veľkým nedostatkom je, že taktiež podliehajú rozkladu – „blednú“. Blednutie OBA spôsobuje žltnutie materiálov, navyše produkty ich rozkladu môžu spustiť ďalšie degradačné procesy. Veľa fotopapierov ich však obsahuje, pretože extrémne žiarivé biele papiere sú populárne<sup>12</sup>.

Papiere vyrábané z tzv. hadroviny (vlákien ľanu alebo konope) sú označované ako *Photo-Rag*. Bezdrevné a *rag* podložky, ktoré sú veľmi dôležité pre inkjetovú tlač, bývajú označované ako FB podložky (fibre based). Ide o podložky často využívané pre výrobu barytového papiera. Je to proces, pri ktorom je podložka potiahnutá vrstvou barytu (biely pigment BaSO<sub>4</sub>) v organickom spojive. Tým dochádza k zlepšeniu belosti a zvyšuje sa hladkosť povrchu. Oproti inertným podložkám nemajú papierové podložky prirodzenú bariérovú funkciu, pri tlači je síce farbonosná zložka atramentu zachytená najmä v hornej prijímacie vrstve, ale rozpúšťadlo môže preniknúť až do papierového nosiča<sup>2</sup>.

## 2.2.2 Prijímacie vrstvy

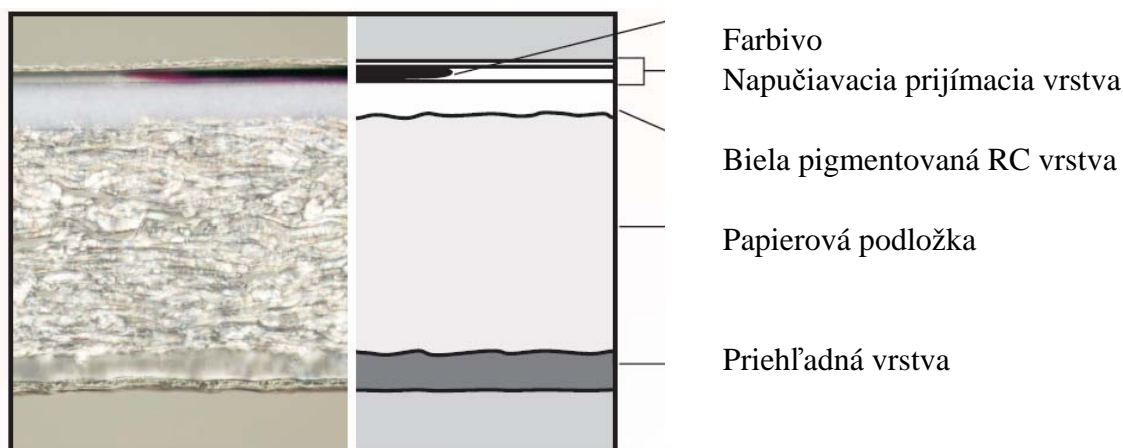
Pre potreby inkjetovej tlače bolo vyskúšaných veľa typov prijímacích vrstiev. Postupom času sa z nich vyčlenilo niekoľko základných typov, ktoré majú starostlivo vyladené vlastnosti.

### 2.2.2.1 Konvenčné PV

Konvenčné cast-coated prijímacie vrstvy sú založené na minerálnom plnive (v súčasnosti najmä kaolín) a na organickom spojive<sup>13</sup>. Pri tomto type vrstvy je možné získať lesklé, polo lesklé i matné povrchy. Tento typ vrstvy je nestály len v prípade, že je vystavený podmienkam extrémne vysokej vzdušnej vlhkosti.

### 2.2.2.2 Napučiacie PV

Napučiavacie prijímacie vrstvy (*swellable polymer layer*) sú tvorené zmesou hydrofilných polymérov, najčastejšie polyvinylalkoholu, často doplneného o modifikované želatíny alebo škroby, s rôznym stupňom zosieťovania. Pri nanosení atramentu vrstva napučí v určitom mieste a atrament prenikne do prijímacej vrstvy. Odparením rozpúšťadla potom vzniká selektívne prefarbený xerogel. Výsledkom je obraz s vynikajúcou kvalitou, preto sú tieto vrstvy určené najmä pre tlač fotografií. Napučiacie média obsahujú vrstvy, ktoré sú schopné absorbovať vo vode rozpustné atramenty. To má za následok pomalé sušenie a s tým spojené problémy výtlakov. Ide o lepivosť, presakovanie, či koalescenciu určitých typov atramentových systémov. Na Obr. 5 možno vidieť pričný rez napučiacich prijímacích vrstiev. Napučiacie prijímacie vrstvy sú všeobecne vhodné pre termálne inkjetové tlačiarne<sup>14</sup>.

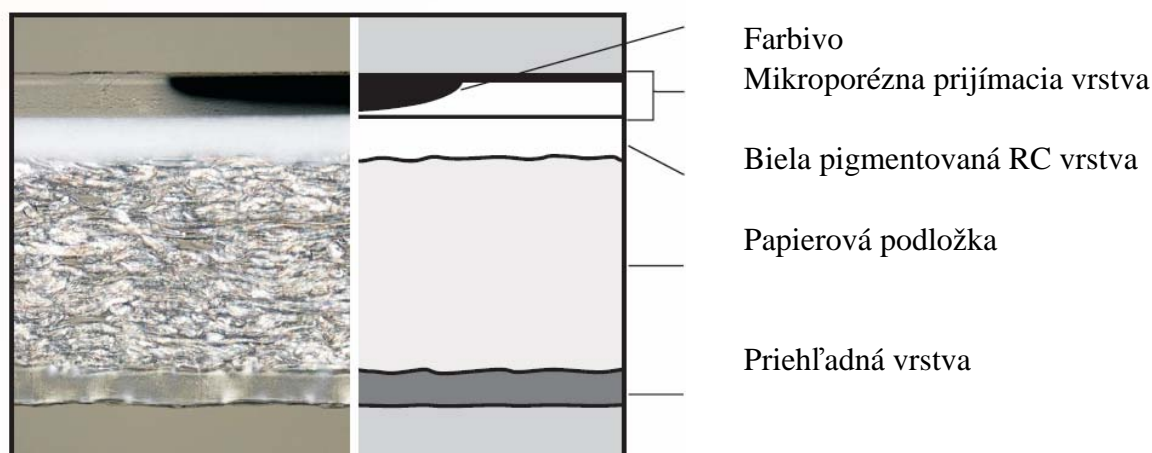


**Obr. 5** Zväčšený profil napučiacieho inkjetového fotopapiera.<sup>12</sup>

### 2.2.2.3 Mikroporézne PV

Mikroporézne prijímacie vrstvy sú založené na syntetických vysoko poréznych sorbentoch s obrovským aktívnym povrchom (výrobcami označované ako napr. mikrokeramické nanočastice), rozptýlených vo vhodnom organickom spojive. Funkciu spojiva plní hydrofilný polymér, ktorý tiež zaisťuje lesklý povrch vrstvy. Pri nanosení atramentu dôjde veľmi rýchlo k jeho prieniku kapilárnym mechanizmom do vrstvy a v mikropóroch sorbentu k jeho zafixovaniu. Ich výhodou je, že sa prijímacia vrstva nelepí, i keď sa rozpúšťadlo vyparuje

z výtlačku dlhšiu dobu. Počas tohto vyparovania sa môže mierne meniť farba výtlačku (gamut). Molekuly farbiva sa v tomto prípade viažu na aktívne miesta sorbentov tak pevne, že výtlačky získavajú vysoký stupeň vodeodolnosti. Extrémne vysoká porozita má za následok množstvo problémov pri dlhodobom uskladnení. Obrovský aktívny povrch týchto materiálov viaže polutanty zo vzduchu, ktoré potom prispievajú k deštrukcii viazaných farbív a pigmentov, ale i vlastnej prijímacej vrstvy. Tieto problémy sú oveľa menej výrazné, ak vrstvy obsahujú želatínu či polyvinylalkohol. Napriek tomu, že tieto materiály nie sú v súčasnosti považované za archívne stále, je tento druh prijímacích vrstiev najpopulárnejší. Tieto vrstvy sú najvhodnejšie do tlačiarní s technológiu piezo inkjetovej hlavy, ale sú tiež vhodné pre rýchlejšie termálne tlačiacie systémy<sup>14</sup>. Obr. 6 znázorňuje priečny rez mikro-poréznej prijímacej vrstvy.



**Obr. 6** Zväčšený profil mikro-porézneho inkjetového fotopapiera.<sup>12</sup>

## 2.3 Druhy atramentov

Atrament je nízko viskózna homogénna alebo mikroheterogénna kvapalina, skladajúca sa z rozpúšťadla, farbonosnej zložky a pomocných látok (povrchovo aktívne látky, látky ovplyvňujúce viskozitu, konzervačné látky, ap.) Je to farbonosné médium selektívne nanášané na potláčaný materiál<sup>2</sup>. Jeho úlohou je vytvoriť opticky vnímateľné zobrazenie na potláčanom materiáli. Podľa typu rozpúšťadla sa atramenty delia do dvoch hlavných skupín. Sú to vodou riediteľné atramenty (*water-based inks*) a riedidlové atramenty (*solvent inks*). Okrem týchto najpoužívanejších existujú ešte špeciálne atramenty, kam patria glykolové, sublimačné, voskové, či UV-tvrditeľné atramenty.

### 2.3.1 Vodou riediteľné atramenty

Patria medzi najčastejšie používané atramenty. Voda, ako základná zložka týchto atramentov, sa používa z troch hlavných dôvodov. Je najrozšírenejšou látkou na Zemi, preto je veľmi dostupnou a lacnou zložkou atramentov. Voda je vynikajúce rozpúšťadlo, najmä pre aniónové vo vode rozpustné farbivá. Z vody sa tvoria kvapky lepšie ako z iných rozpúšťadiel. Fixácia atramentov založených na vodnej báze prebieha penetráciou/absorpciou prípadne vyparovaním. Jej nevýhodou je pomalé schnutie. Aby sa zabránilo tomuto negatívnemu efektu, používajú sa materiály s povrchovou úpravou.

Vodou riediteľné atramenty sa podľa farbonosnej zložky ďalej delia do troch skupín:

1) *Farbivové (dye-based) atramenty* – ich farbonosnou zložkou sú výlučne vo vode rozpustné farbivá. Výsledný atrament je homogénnou zmesou – ide teda o pravý analytický roztok. Tieto atramenty majú schopnosť prenikať hlboko do prijímacích vrstiev potlačených médií, čo je spôsobené analytickými rozmermi častíc použitých farbív. Vplyvom toho sa na povrchu nevytvárajú rušivé artefakty. Farbivové atramenty sú schopné prenikať aj do lesklých fotopapierov s prijímacou vrstvou založenou na hydrofilných polyméroch. Farbivá použité na prípravu atramentov sa vyznačujú vysokou čistotou a brilantnosťou farieb, preto atramentové sady založené na týchto farbivách majú veľký farebný gamut. Tieto farbivá sa tiež vyznačujú obmedzenou svetlostálosťou a na svetle sa časom rozkladajú. Ich problémom je aj odolnosť voči vode, ako i blednutie vplyvom plynov, vlhkosti a blednutie v tme<sup>15</sup>.

2) *Pigmentové (pigment-based) atramenty* – ich farbonosnou zložkou sú výlučne nerozpustné pigmenty. Nanočastice nerozpustného pigmentu sú rozptýlené vo vode a stabilizované proti sedimentácii a koagulácii. Atrament tvorí mikroheterogénnu zmes. Pigmentové atramenty prenikajú hlbšie iba do poréznych a mikroporéznych tlačových médií. Nie je veľa fotomédií, ktoré sú kompatibilné s pigmentovými atramentmi<sup>15</sup>. Aby sa dosiahol vysoký lesk, sú vyžadované špeciálne prispôbosené média. Ak majú fotopapiere prijímaciu vrstvu zloženú z hydrofilných polymérov, častice sa pri tlači agregujú na povrchu. Následkom tohto javu vznikajú rušivé artefakty, ktoré negatívne ovplyvňujú kvalitu tlače. Pigmenty použité v týchto atramentoch majú nižšiu farebnú sýtosť a preto majú ich atramentové sady menší farebný gamut. Sú však predurčené pre archívne výtlačky, pretože sa vyznačujú vysokou svetlostálosťou ale i odolnosťou voči plynom (ozónu). Pigmentové atramenty musia byť transparentné a nesmú rozptyľovať svetlo. Z tohto dôvodu musia byť častice pigmentu menšie ako polovica najkratšej vlnovej dĺžky viditeľného svetla (400 nm). To znamená, že častice pigmentu musia byť menšie ako 200 nm<sup>16</sup>. Pigmentové atramenty sú stabilné i v rôznych klimatických podmienkach, ako je teplota a vlhkosť.

3) *Pigmentované (pigmented) atramenty* – vznikli ako výsledok kombinácie farbivových a pigmentových atramentov, za účelom eliminácie ich nevýhod. V praxi však pozorujeme skôr vznik nových problémov, napríklad tzv. chromatografickú separáciu: Pokiaľ atrament obsahujúci pigment aj farbivo zároveň interaguje s poréznym substrátom, môže sa ľahko stať, že podstatne menšie a pohyblivejšie molekuly farbiva preniknú hlbšie ako objemnejšie častice pigmentu. Následkom tejto separácie môže dôjsť k výraznej zmene farebného odtieňa. Táto zmena je na rôznych médiách rôzna, preto má výtlačok na rôznych papieroch rôzne farby. Najčastejšie využívané pigmentované atramenty sú čierne, kedy farbivo dodáva vysokú optickú hustotu a pigment zabezpečuje odolnosť proti blednutiu.

### 2.3.2 Riedidlové atramenty

V tomto prípade plní funkciu rozpúšťadla riedidlo. Ich hlavnou nevýhodou je, že sú ekologicky škodlivé a majú nepriaznivý dopad na zdravie ľudí. Na rozdiel od vody sa riedidlá vyznačujú značnou prchavosťou. To ovplyvňuje najmä sušenie výtlačku, ktorý je po odparení rozpúšťadla takmer okamžite suchý. Pracujú na podobnom princípe ako vodouriediteľné pigmentové atramenty. V riedidlách sú však čiastočky farebného pigmentu rozpustené. Pri riedidlových atramentoch nedochádza k zapíjaniu farbiva, pretože atramenty neprenikajú

v dôsledku rýchleho sušenia hlbšie do materiálu. Nevyžadujú žiadne špeciálne natierané papiere ako vodou riediteľné atramenty. Tým sa zvyšuje ich atraktivita i cenová výhodnosť.

### 2.3.3 Špeciálne atramenty

Ako už bolo vyššie spomenuté, možno túto skupinu atramentov na základe ich špeciálnych vlastností ďalej rozdeliť na glykolové, sublimačné, voskové, UV-tvrditeľné atramenty, atď.

1) Názov *glykolové atramenty* dostali podľa toho, že farbonosné zložky sú rozpustené v glykole. Najčastejšou farbonosnou zložkou sú farbivá, sú teda obdobou vodou riediteľných farbivových atramentov. Výhodou glykolu je, že je ako rozpúšťadlo ekologické a tiež sa veľmi rýchlo vyparuje, výtláčok teda rýchlo schne.

2) *Sublimačné atramenty* sa využívajú najmä pre potlač textílii (tričká, vlajky, dresy, atď.) Princíp spočíva v tom, že atrament sa naniesie na prenosový papier, z ktorého sa pomocou tepla preniesie na textil.

3) *Voskové atramenty (hot melt ink)* patria do kategórie atramentov, ktoré menia svoju fázu, tzv. *phase change ink*. Atrament je z trysky vypudený vo forme roztavenej kvapaliny. Po dopadnutí atramentu na médium okamžite dôjde k jeho stuhnutiu. Výhodou toho je, že nedochádza k jeho oteru, či penetrácii hlboko do profilu potlačovaného média. Výsledkom je obraz vysokej kvality na rôznych druhoch médií.

4) *UV-tvrditeľné atramenty* sú chemicky i mechanicky veľmi odolné (vysoká odolnosť voči vode i oteru). UV-tvrditeľné spojivá sú často živice<sup>5</sup>. Pri správnom vytvrdení poskytujú veľmi vysoký lesk. Ich preniknutie do polygrafie so sebou prinieslo množstvo výhod. Z ekologického hľadiska sú neškodné, sú tu prakticky nulové emisie VOC (*volatile organic compound* – prchavé organické látky). Ďalšou výhodou je okamžité schnutie, v dôsledku čoho dochádza k minimálnej penetrácii do profilu potlačovaného média. Z toho vyplýva, že tieto atramenty majú širokú kompatibilitu s potlačovanými médiami, a tiež sú farebne konzistentné na rôznych médiách. Fixácia prebieha polymerizáciou celého objemu nanoseného atramentu. Atramentovú maticu tvorí reaktívny monomér, oligomér a iniciátor. Reaktívny monomér slúži ako rozpúšťadlo a sieťovacie činidlo a zároveň plní i úlohu výstavbového prvku. Úlohou oligoméru je riadiť viskozitu a ovplyvňovať mechanické vlastnosti atramentu. Ako iniciátor sa používa radikálový fotoiniciátor, ktorý je citlivý v UV oblasti spektra. Nevýhodou týchto atramentov je ich cena a negatívny vplyv na zdravie ľudí. UV žiarenie môže privodiť vážne zdravotné problémy (pokožka, oči, imunitný systém).

## 2.4 Zloženie vodou riediteľných atramentov

Ako už bolo vyššie spomenuté, atramenty sú zložené z rozpúšťadla, farbonosnej zložky a pomocných látok (Obr. 7). Obsah jednotlivých zložiek v atramente je nasledovný: 3–6 % farbiva, 70–80 % vody, 5–10 % zvláčňujúcich činidiel, 1 % povrchovo aktívnych látok a 2–10 % penetrantov<sup>17</sup> (látky prenikajúce do substrátu).

Atramenty pre inkjetovú tlač musia mať dobrú odolnosť voči tvorbe povlaku (kôrnateniu), dobrú stabilitu, vhodnú viskozitu a povrchové napätie, nízke zapúšťanie farieb (farby do farby), musia rýchlo schnúť a byť bezpečné pre zákazníka. Po nanosení na papier musia poskytovať obrazy s dobrými farebnými charakteristikami: správny odtieň a vysokú sýtosť, a to nielen na obyčajnom hladkom papieri, ale i na transparentnom filme, natieranom papieri, či fotopapieri<sup>18</sup>. Pre termálne inkjetové tlačiarne, je tiež vyžadovaná vysoká tepelná stabilita

atramentov, pretože teplota môže miestami dosiahnuť až 350 °C. Pre splnenie všetkých týchto požiadaviek je nevyhnutná vhodná kombinácia zložiek tvoriacich atrament.



Obr. 7 Zloženie atramentu.

### 2.4.1 Farbonosné zložky (koloranty)

Farbonosné zložky inak nazývané aj koloranty sú látky, ktoré absorbujú alebo emitujú svetlo, zabezpečujú optické vlastnosti tlačoviny. Podľa základného rozdelenia sa delia na farbivá a pigmenty.

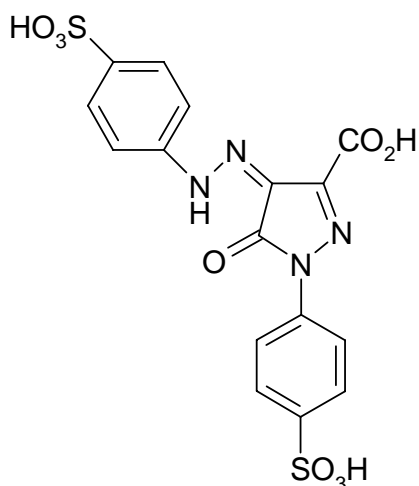
#### 2.4.1.1 Farbivá

Farbivá možno ďalej rozdeliť na vo vode rozpustné (*water-soluble dyes*), kyslé (*acid dyes*), reaktívne (*reactive dyes*) a priame (tzv. *direct dyes*). Iba malé množstvo farbív je vhodných aby boli použité pre technológiu inkjetovej tlače. Príčinou sú ich vlastnosti ovplyvňujúce či už rozpustnosť/schopnosť dispergovať, reológiu, čistotu, malú odolnosť voči vysokým teplotám, stabilitu<sup>5</sup>. Veľkým problémom pri inkjetovej tlači je upchávanie trysiek. Preto sú pre potreby tejto tlačovej techniky najvhodnejšie práve farbonosné zložky rozpustné vo vode alebo v rozpúšťadlách. Pretože voda je bežnou hlavnou zložkou IJ atramentov a pH atramentov je často zásadité, je dôležité, aby farbonosné zložky používané v IJ tlači boli hydrolyticky stabilné<sup>19</sup>.

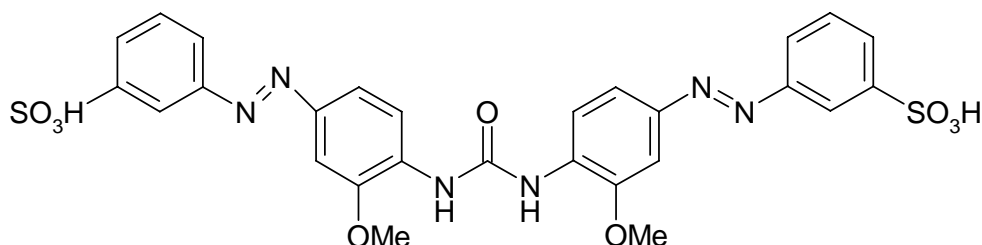
Pri výbere farbív použitých k receptúrovaniu by mali byť splnené nasledujúce požiadavky: malé alebo žiadne posunutie farebného tónu vplyvom vlhkosti, dobré farebné prevedenie, dobrá svetlostalosť, odolnosť voči zapúšťaniu čierneho farbiva do farebného, výborná čitateľnosť a potlačiteľnosť. Farbivá nesmú reagovať so zrážacími činidlami a musia byť dostatočne rozpustné. Pri tvorbe atramentu sa často používa kombinácia farbív, napríklad žltý atrament zahŕňa zmes C.I. Acid Yellow 23 a C.I. Direct Yellow 132 (cit.<sup>18</sup>). Takéto kombinovanie farbív sa uskutočňuje za účelom zlepšenia ich vlastností. Jedno farbivo zvyšuje intenzívnosť, živosť farieb, kým druhé farbivo zlepšuje svetlostalosť<sup>20</sup>. Pri kombinácii je však potrebné zvažovať výber jednotlivých farbív, aby nedochádzalo ku katalytickej degradácii.

Zobrazovacie systémy používajú tri primárne subtraktívne farby, ktorými sú žltá, purpurová a azúrová, plus čierna. Prvé tri farby produkujú najväčší farebný gamut (dosiahnuteľná oblasť farieb v určitom farebnom priestore).

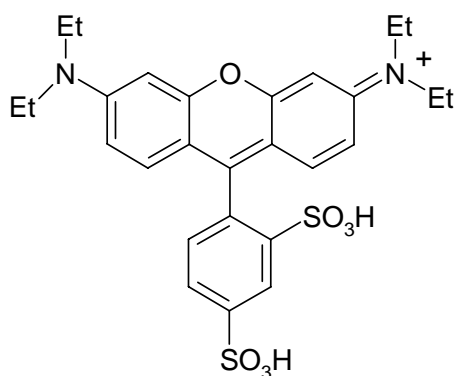
Typickými farbivami používanými pri inkjetovej tlači sú napríklad farbivá C.I. Acid Yellow 23 – tartrazin (Obr. 8), C.I. Direct Yellow 132 – disazo (Obr. 9), C.I. Acid Red 52 – xantén (Obr. 10), C.I. Direct Blue 86 – ftalocyanin meďnatý (Obr. 11), C.I. Direct Black 19 – tetrakisazo (Obr. 12). Ostatné často používané farbivá v inkjetovej technológii sú uvedené v tabuľke (Tabuľka 1)<sup>17,21</sup>.



**Obr. 8** Molekula žltého farbiva CI Acid Yellow 23.

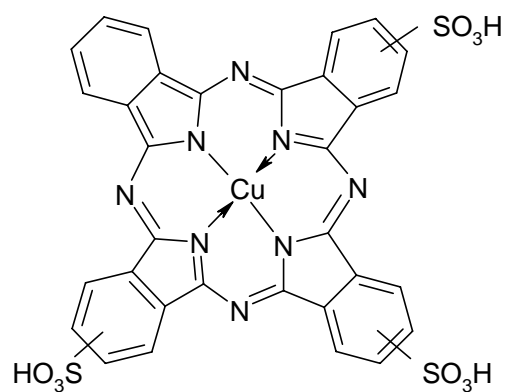


**Obr. 9** Molekula žltého farbiva CI Direct Yellow 132.

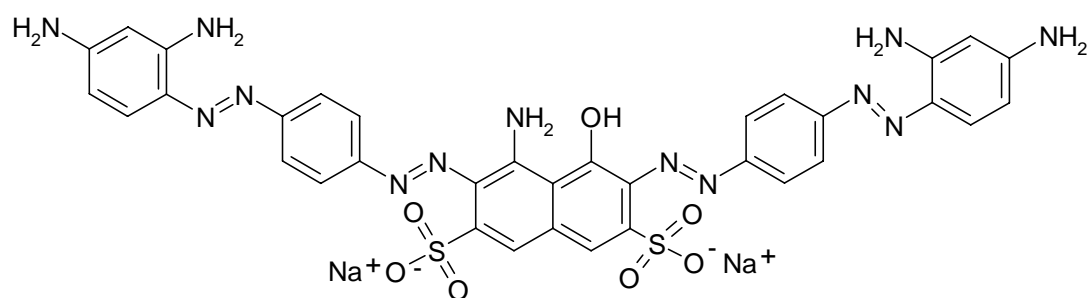


**Obr. 10** Molekula purpurového farbiva CI Acid Red 52.





**Obr. 11** Molekula azúrového farbiva CI Direct Blue 86.



**Obr. 12** Molekula čierneho farbiva CI Direct Black 19.

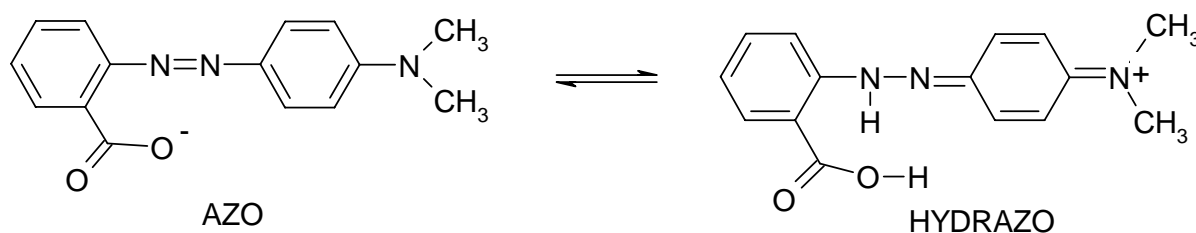
**Tabuľka 1** Zoznam farbív (kolorantov) používaných v inkjete.<sup>21</sup>

Farba	Color index všeobecný názov	Chemická trieda
azúrová	Acid Blue 9	trifenylnmetany
	Direct Blue 199	ftalocyaniny
	Solvent Blue 44	ftalocyaniny
purpurová	Acid Red 37	monoazo (gamma-kyseliny)
	Acid Red 51	xanteny
	Acid Red 52	xanteny
	Reactive Red 23	monoazo, komplexy medi
	Reactive Red 24	monochlortriaziny (reaktívne azofarbivá)
	Reactive Red 120	triaziny
	Reactive Red 180	monoazo (H-kyseliny)
	Solvent Red 91	azo 1:2 komplex kobaltu
žltá	Reactive Red 127	azo 1:2 komplex chrómu
	Acid Yellow 23	monoazo (tartrazíny)
	Direct Yellow 5	chinofthalony
	Direct Yellow 86	disazo
	Direct Yellow 132	disazo
	Reactive Yellow 37	monoazo
čierna	Solvent Yellow 83:1	azo 1:2 komplex chromu
	Acid Black 194	kovokomplexné farbivo
	Direct Black 19	tetrakisazo
	Direct Black 154	trisazo (o-Tolidin)
	Direct Black 168	polyazo, sol lítia
	Direct Black 171	trisazo
	Reactive Black 31	disazo, komplex medi
	Food Black 2	disazo
	Solvent Black 45	azo 1.2 komplex chrómu
Solubilized Sulfur Black 1	2,4-dinitrofenoly	

Farbivá C.I. Direct Yellow 132, azo purpurové farbivo a ftalocyanin med'natý majú veľmi dobrú stálosť na svetle, používajú sa pre tlač digitálnych fotografií. Bežné inkjetové farbivá ako C.I. Acid Red 52, C.I. Acid Blue 9, C.I. Acid Yellow 23 poskytujú intenzívne farby, ale s nízkou svetlostálosťou. Farbivá obsahujúce vo svojej štruktúre kovový ión dávajú menej intenzívne avšak svetlostálejšie farby, napríklad C.I. Reactive Red 23 alebo C.I. Direct Blue 199. Poslednou skupinou farbív sú tie, ktoré kombinujú priemernú svetlostálosť s priemernou intenzívnosťou farieb. Do tejto skupiny farbív patria azofarbivá ako napríklad C.I. Reactive Red 180 (cit.<sup>20</sup>).

Najdôležitejšou a zároveň najpočetnejšou skupinou farbív sú organické zlúčeniny označované pojmom azofarbivá. Azofarbivami sa teda nazývajú zlúčeniny obsahujúce vo svojej molekule aspoň jednu azoskupinu ( $-N=N-$ ), na ktorú sú naviazané aromatické, heterocyklické a alifatické zvyšky. Naviazané substituenty ako i počet azoskupín ovplyvňujú farebný odtieň<sup>22</sup>. V ich štruktúre sa nachádza konjugovaný systém  $\pi$ -elektrónov, ktorý je podstatou ich farebnosti. Najčastejšie obsahujú kombináciu aromatických jadier s nenasýtenými skupinami (chromofórmami) a skupín s voľným elektrónovým párom (auxochrómami). Každá

molekula azofarbiva obsahuje jednu alebo viac azoskupín. Azofarbivá existujú v dvoch tautomérnych formách – azovej a hydrazonovej forme. Príklad oboch typov tautomérnych foriem je na Obr. 13.



**Obr. 13** *Methylčerveň: 4'-(N,N-dimethylamino)azobenzén-2-karboxylová kyselina.*<sup>23</sup>

### 2.4.1.2 Pigmenty

Pigmenty sú jemne dispergované, tuhé, nerozpustné častice. Ide teda o častice nerozpustné v zmesi ostatných zložiek atramentu. Na týchto čiastočkách dochádza k absorpcii a rozptylu svetla. Hlavnými požadovanými vlastnosťami pigmentov sú farebná výdatnosť (schopnosť zmeniť farebný odtieň), farebná stálosť (nemennosť farby vplyvom svetla a tepla) a veľkosť častíc (čím menšie častice, tým väčšia sýtosť).

Podľa chemickej povahy sa delia pigmenty na anorganické a organické. Pigmenty možno tiež rozdeliť na čierne, biele a pestré (podľa systému Color Index sa farbonosné zložky označujú charakteristikou farebného tónu a číslom). Z čiernych pigmentov sú najpoužívanejšie sadze. Ide o takmer čistý amorfný uhlík, ktorý sa však špatne miesi s inými pigmentmi. Ako biely pigment sa najčastejšie používa titánová beloba, modifikácia kryštalickej štruktúry rutil.

Organické pigmenty sa vyznačujú lepšou farbitosťou, jasnejšími odtieňmi, nižšou hustotou, vysokou transparentiou. Vlastnosti ako odolnosť voči teplu, svetlu a chemikáliám (vrátane tenzidov a olejov) a tendencia tzv. krvácať (presakovať) v rozpúšťadlách sa pri organických pigmentoch pohybujú v pomerne širokom rozpätí<sup>24</sup>. Najčastejšie používané pigmenty v inkjetovej tlači sú uvedené v Tabuľka 2. Pigmenty rovnako ako farbivá môžu byť pri tvorbe atramentu kombinované s inými pigmentmi, za účelom zlepšenia ich vlastností. Spomenuté pigmenty poskytujú obrazy s vysokou svetlostálosťou, odolnosťou voči vode a veľkým gamutom<sup>21,25</sup>.

**Tabuľka 2** Zoznam pigmentov (kolorantov) používaných v inkjete.<sup>21</sup>

Farba	Color index všeobecný názov	Chemická trieda	Bežný názov	
azúrová	PB 15:3	ftalocyaniny medi	ftalová modrá	
	PB 15:4			
purpurová	PR 57:1	azolaky, vápenatá soľ	chinakridónová purpurová, červená	
	PR 122	chinakridóny		
	PR 202			
	PV 19	naftoly AS		
	PR 184			pigment rubín
	PR 185			monoazo: 3-hydroxy-2-naftalidin
	PR 254	diketopyrrolpyrolové		versalová červeň
žltá	PY 13	diarylid	arylidová žltá diarylidová žltá tetrachloroisoindolinová žltá disazo žltá benzimidazonová žltá bisacetoacetarylidová žltá	
	PY 74	monoazo: acetoacetyl		
	PY 83	disazo		
	PY 110	isoindolinové		
	PY 128	disazo kondenzácia		
	PY 151	monoazo: acetoacetyl		
	PY 180			
	PY 155			azo kondenzácia
	PY 218	monohalogenované chinolónchinolóny		
	PY 220			
PY 221				
čierna	P Bl 6, 7, 8	carbon black	čierna	

#### 2.4.2 Rozpúšťadlá a pomocné látky (aditíva)

Rozpúšťadlá majú za úlohu rozpúšťať filmotvornú látku a upraviť viskozitu farby<sup>26</sup>. Asi najčastejšie používaným rozpúšťadlom v IJ atramentoch býva voda, ďalšie často používané sú riedidlá (organické rozpúšťadlá). Jednotlivé výhody a nevýhody ich používania sú uvedené v odseku 2.3. Najviac preferovanými organickými rozpúšťadlami sú 1,2-pentandiol, 1,2-hexandiol a 1,2-heptandiol<sup>18</sup>.

Úlohou zvláčňujúcich činidiel je zabrániť vyparovaniu vody z trysiek tlačovej hlavy, keď tlačiareň nie je používaná. V opačnom prípade by došlo k blokovaniu trysiek a atrament by nemohol byť vypudený na papier. Spôsobuje to práve značné vyparovanie vody, kedy dochádza ku kryštalizácii farbiva z atramentu a na povrchu trysky sa vytvorí akoby „škrupinka“. Do skupiny zvláčňujúcich činidiel sa zaraďujú s vodou miešateľné zlúčeniny, ktoré majú vysoký bod varu, napr. dietylén glykol a 2-pyrrolidon.

Povrchovo aktívne látky a penetranty sa používajú, aby znížili povrchové napätie a ovplyvnili rýchlosť penetrácie atramentov do médií. Nízke povrchové napätie penetrujúcich atramentov sa používa pre inkjetové farebné atramenty, aby veľmi rýchlo prenikali do substrátu bez rozpíjania. Čierne farbivo, ktoré sa používa k vytváraniu intenzívneho čierneho textu, nepreniká do substrátu. Preto povrchovo aktívne látky, ani penetranty, nie sú potrebné v čiernych atramentoch. Typickým penetrantom je pentan-1,5-diol (cit.<sup>17</sup>) a veľmi preferovanou povrchovo aktívnou látkou je Tergitol 15-S-5. Táto povrchovo aktívna látka zastupuje

sekundárnu alkoholovú oxyetylénovú povrchovú látku, ktorá má asi 15 uhlíkov v alifatickom reťazci a asi 5 oxyetylénových jednotiek<sup>18</sup>.

Ďalšou zložkou, ktorú však vyžadujú iba pigmenty, býva spojivo. Jeho úlohou je obklopiť časticu pigmentu ako schránka a zabrániť tak dispergovaným časticiam v zhlukovaní. Po vytlačení spojivo uschne a prilepí časticu pigmentu k substrátu. Farbivá sa väčšinou spájajú s povrchom substrátu priamo, chemickou väzbou<sup>3</sup>.

## 2.5 Interakcie atramentov a prijímacej vrstvy

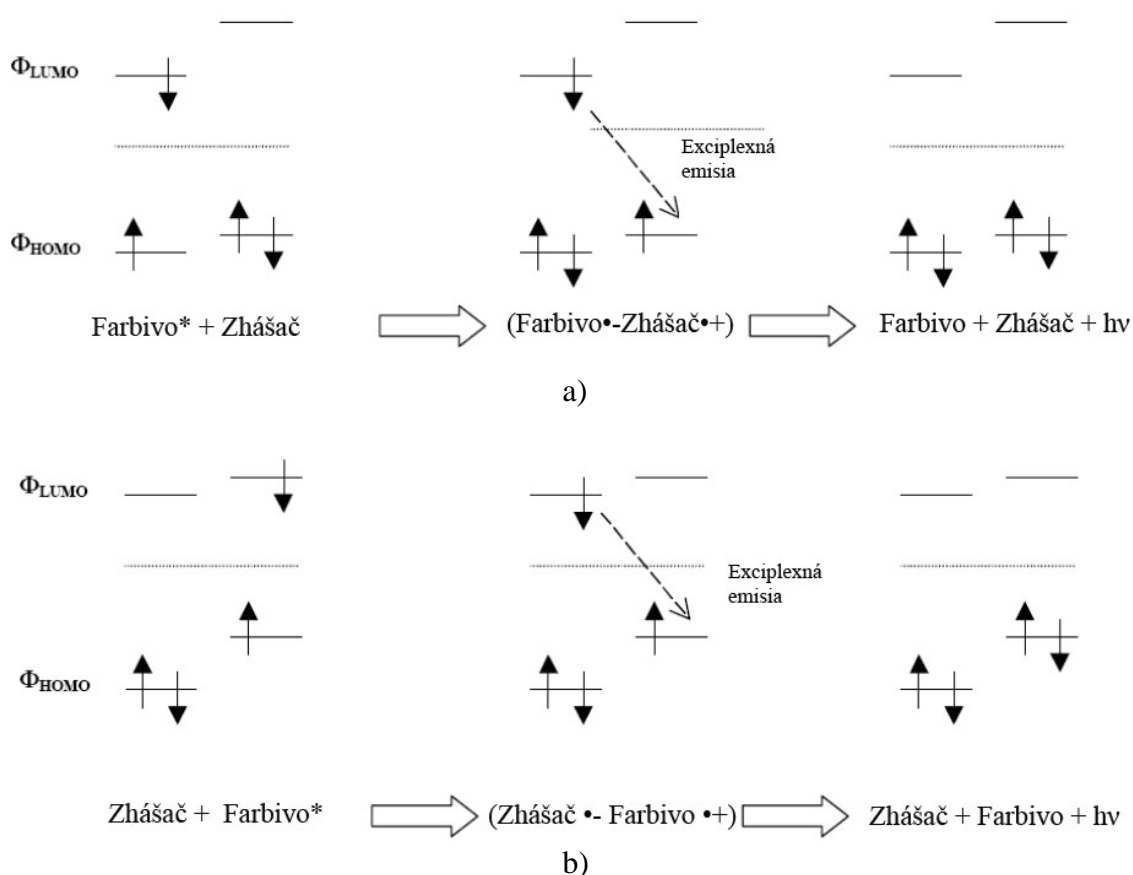
Pre tvorbu výťažkov produkovaných inkjetom sa používa veľa druhov papierov. Okrem hladkých papierov sú stále viac používané špeciálne alebo lakované substráty obsahujúce jednu či viac vrstiev. Pre zlepšenie svetlostálosti sa do vrstiev lesklých tlačových médií používa malé množstvo fotoiniciátorov<sup>27</sup>. Povrch papierov je často veľmi porézny, čo umožňuje rýchle prenikanie atramentového spojiva do prijímacej vrstvy kapilárnym mechanizmom. Nátery absorbujúce atrament sú schopné fixovať farbivá a poskytovať ochranu pred ich blednutím. Farbivové atramenty reagujú s povlakmi substrátov elektrostatickými interakciami a interakciami vodíkových mostíkov. Pre pigmentové atramenty nie sú reakcie tohto typu medzi farbonosnou zložkou a substrátom reálne. Bežnými polymérnymi systémami na povrchu substrátov sú metylcelulóza, karboxymetyl celulóza, polyvinylalkohol, polyakryláty alebo želatína. Ich hlavnou funkciou je veľmi dobre absorbovať spojivo a urýchliť tak mechanizmus schnutia a stabilizovať atrament. Atrament by sa nemal absorbovať hlboko do substrátu, aby atramentový bod nestratil optickú hustotu a nerozpíjal sa. Ideálnym prípadom je, keď atrament vytvorí po nanosení na substrát symetrický bod. Rozpíjaním sa naopak atramentový bod rozširuje do strán, čo spôsobuje nepatrné zvýšenie pokrytej plochy a rozmazaný vzhľad.

Dôležitými kritériami kvality inkjetových výťažkov sú kolorimetrické vlastnosti a sorpčná vlastnosť povrchu papiera. Je veľmi dôležité nechať atrament po vytlačení vyschnúť, aby došlo k stabilizácii kolorimetrických vlastností. Najväčšie zmeny kolorimetrických vlastností nastávajú v prvých 60 minútach po vytlačení. Proces sušenia však nezávisí len od sorpčných vlastností papiera ale i od druhu atramentu. Bolo zistené, že najdlhší čas na sušenie vyžaduje azúrový atrament bez ohľadu na druh papiera. Kolorimetrické merania výťažkov nie je doporučené robiť skôr ako ubehne aspoň 96 hodín od vytlačenia, pretože dovtedy sú výťažky stále v procese sušenia<sup>28</sup>.

Farebné výťažky sa pri tlači získavajú kombináciou štyroch základných farieb CMYK (C – azúrová, M – purpurová, Y – žltá, K – čierna). Aby bol dosiahnutý požadovaný odtieň farby, musia byť atramenty nanášané na substrát v rôznych množstvách. Farby sa navzájom prekrývajú. Pri ich prekrývaní na substráte nesmie dochádzať k zmiešaniu atramentov, inak sa nedosiahne požadovaný výsledok a farba je kalná a škvritá. Problémom pri prekrývaní atramentov je zapúšťanie jedného atramentu do druhého. To býva spôsobené rozdielnym povrchovým napätím, pričom atrament s nízkym povrchovým napätím sa zapúšťa do atramentu s vyšším povrchovým napätím a výťažok pôsobí rozmazane a neostro. Je možné tomu zabrániť, ak sa vyrovná povrchové napätie atramentov. Pri atramentoch s nižším povrchovým napätím sa obmedzí použitie odpeňovačov a povrchovo aktívnych látok, ktoré povrchové napätie znižujú.

Katalytické blednutie je dôsledok pôsobenia jedného farbiva ako katalyzátoru degradácie farbiva druhého<sup>33</sup>. Kombinácia farbív bledne rýchlejšie ako samotné farbivo. Napríklad v inkjetovej tlači je možné pozorovať katalytické blednutie purpurového farbiva azúrovým

farbivom. Katalytické blednutie je väčšinou zanedbateľné, ak je optická hustota menšia ako hodnota 0,5. Príčinou je menšie prekrytie kvapiek pri nižších optických hustotách<sup>29</sup>. Niektoré zložky v atramente alebo médiu môžu pôsobiť ako fotokatalyzátory. Napríklad vodíkové donory iniciujú redukcii azo farbív a singletový kyslík ich oxidáciu. Absorpcia žiarenia v UV alebo vo VIS oblasti spektra môže iniciovať buď reakciu vedúcu k degradácii, alebo je energia transferovaná do iného farbiva, ktorého excitovaný stav je v nižšej hladine. V takto excitovanom stave sa farbivo stáva reaktívnejším a je náchylnejšie k degradácii (ak nevie rýchlo disipovať nadbytočnú energiu). Ak je zdrojom excitácie UV žiarenie, môžu byť na ochranu použité UV absorbéry, alebo môže byť obraz potiahnutý laminátom chrániacim pred UV žiarením. Ak je však absorbované viditeľné svetlo, problém je komplexnejší. Na ochranu môžu byť pridané zhášače slúžiace ako akceptory energie z farbiva v excitovanom stave<sup>35</sup>. Problém katalytického blednutia je ilustrovaný na Obr. 14.



**Obr. 14** Katalytické blednutie: a) excitované farbivo ako elektron akceptor, b) excitované farbivo ako elektrón donor.<sup>35</sup>

### 2.5.1 Degradácia atramentov vplyvom svetla

Je niekoľko faktorov ovplyvňujúcich stálosť výťažkov. Sú nimi svetlo, voda, vlhkosť, zvýšená teplota ako i chemické látky nachádzajúce sa vo vzduchu, najmä ozón. Najväčším nepriateľom stálosti atramentových výťažkov je nepochybne svetlo, pretože všetky zložky selektívne absorbujú časť UV/VIS spektra (farbonosné zložky, polyméry v prijímacej vrstve, podložky). Vďaka absorbovanej energii dochádza k excitácii molekúl farbív a pigmentov. Excitované molekuly sa však musia prebytočnej energie zbaviť, čo robia najčastejšie

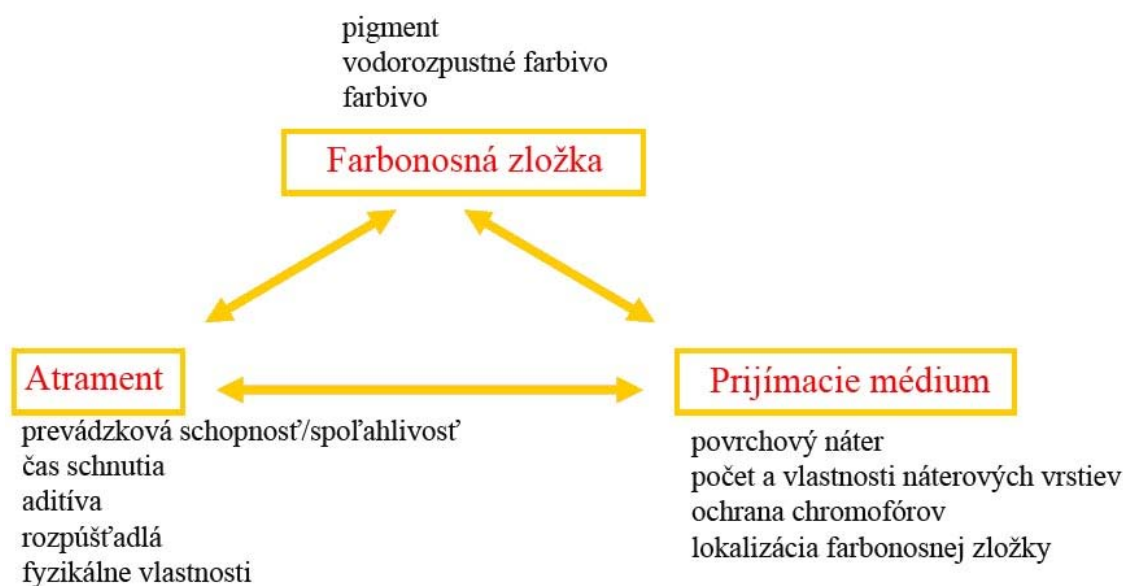
vyžiarením tepla. Excitované molekuly sú ale nestabilné a môžu sa do chemickej reakcie zapojiť skôr, ako dôjde k ich deexcitácii. Svetlo samozrejme pôsobí na ostatné zložky potlačného média, a vďaka rôznym čiastkovým procesom možno vo výsledku pozorovať komplexné farebné zmeny:

- blednutie – zvyšovanie jasnosti a znižovanie sýtosť farieb v dôsledku svetelného rozkladu farbosných zložiek
- žltnutie podložky v dôsledku fotooxidácie lignínu
- degradáciu podložky – tá môže nastať prípadnou fotokatalytickou aktivitou niektorej reakčnej komponenty (často  $\text{TiO}_2$ )
- zdanlivé žltnutie spôsobené „vyhorením“ opticky zjasňujúcich prostriedkov
- reálne zožltnutie zapríčinené produktmi degradácie opticky zjasňujúcich prostriedkov<sup>6</sup>.

Je veľmi dôležité, aby si pigmentové i farbivové atramenty vystavené svetlu zachovali farebnú stálosť<sup>30</sup>.

Svetlo je teda najvýznamnejším faktorom ovplyvňujúcim stálosť výtlačkov. Fotochemickú degradáciu však málokedy vyvolajú fotóny infračervenej časti spektra. Oveľa vyššiu energiu majú fotóny kratších vlnových dĺžok, od modrej a fialovej oblasti viditeľného spektra až po ultrafialovú oblasť spektra. Tieto fotóny už sú schopné vyvolať fotochemické zmeny.

Niektoré vlastnosti substrátov ovplyvňujú svetlostálosť a spôsobujú interakcie s atramentmi (Obr. 15). Patrí sem pH substrátu, chemické zloženie povrchu substrátu, vstrebávanie farbosnej zložky vo vnútri substrátu a tiež zloženie aditív.



**Obr. 15** Interakcie ovplyvňujúce svetlostálosť výtlačkov.<sup>34</sup>

Kyslé pH ovplyvňuje rozpustnosť farbív, čo vedie ku kryštalizácii alebo agregácii na povrchu papiera. Azo formy farbív, ktoré sú stabilné pri vyšších hodnotách pH, majú lepšiu svetlostálosť. Pri kyslom pH však vznikajú hydrazo formy niektorých žltých, purpurových alebo čiernych azofarbív.

Svetlostálosť je v prítomnosti organických kationov často nižšia. Naopak anorganické kationy, obzvlášť prechodné kovové ióny, zvyšujú fotostabilitu výtlačkov. Na svetlostálosť výtlačkov dramaticky vplýva i druh prijímacej vrstvy. Želatína a polyhydroxypolyméry

poskytujú chromofórom najlepšiu ochranu<sup>34</sup>. Fotostabilita farbiva dramaticky klesá i so znížením koncentrácie atramentu. Zriedený atrament teda bledne oveľa rýchlejšie ako atrament koncentrovaný. Blednutie farbiva urýchľuje tiež použitie zvláčňujúcich prísad (glykolov, tetraetylenglykolov, či polyetylenglykolov). Dôvodom je ich nízka prchavosť, čo zapríčiňuje, že zostávajú s farbivom dlhšiu dobu, a teda udržujú vyššiu vlhkosť a kyslík blízko farbiva.

Ďalším faktorom ovplyvňujúcim svetlostálosť výtláčkov je fyzikálna forma farbiva. Keď farbivo kryštalizuje na povrchu substrátu, farbonosná zložka je chránená tým, že molekuly agregujú do nanokryštálov. Toto je pozorované pri farbivách rozpustných vo vode, ktoré sú závislé od pH. Vplyv agregácie farbiva na svetlostálosť výtláčkov bola študovaná pridávaním rozpúšťadiel do atramentov. Iná technika spočíva v používaní prijímacích vrstiev, ktoré obsahujú zlúčeniny ovplyvňujúce agregáciu farbiva. Polyvinylpyrolidon, iné polyméry a určité deriváty celulózy spôsobujú drastický pokles svetlostálosti farbiva svojimi antiagregačnými vlastnosťami<sup>31</sup>.

Svetelné blednutie by sa malo určovať dávkou ožiarenia. Dávka ožiarenia sa vypočíta násobením intenzity ožiarenia časom expozície. I keď sa získajú dávky ožiarenia rovnakých hodnôt, pri blednutí svetlom dochádza k zlyhaniu recipročného zákona, pretože farebné obrázky vystavené veľmi dlhú dobu nízkym hodnotám osvetlenia utrpia oveľa vyššiu škodu, ako výtláčky vystavené krátkym expozíciám veľmi vysokých intenzít.

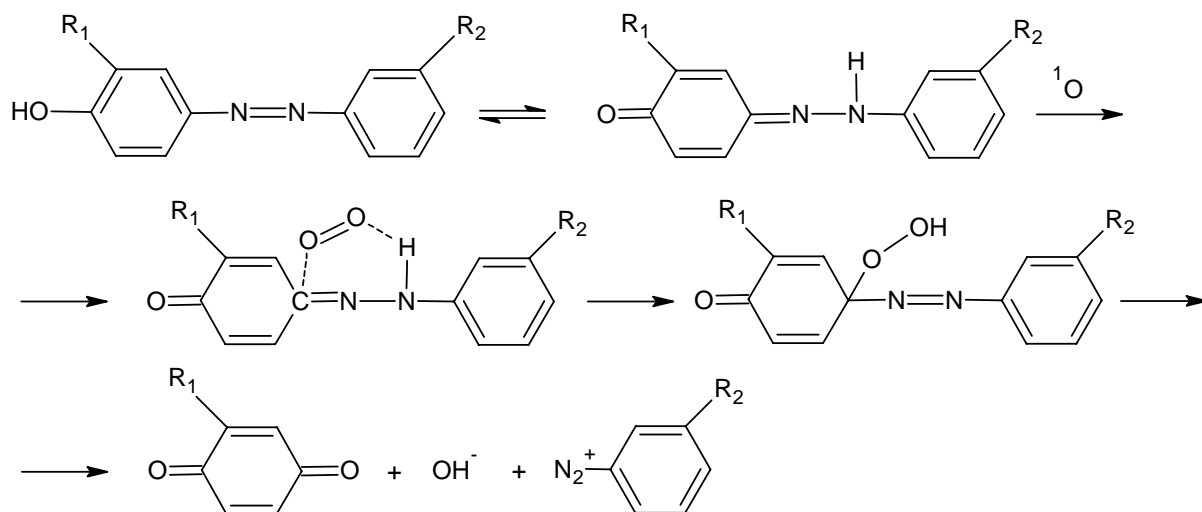
Existuje niekoľko spôsobov pre určenie svetlostálosti výtláčkov. Najjednoduchším je exponovať výtláčok skutočným svetlom, čiže, vystaviť ho reálnym podmienkam. Táto metóda je však z časového hľadiska veľmi zdĺhavá a prináša so sebou množstvo problémov. Na druhej strane sa získajú pravdivé poznatky o starnutí výtláčkov v reálnych podmienkach. Druhou možnosťou sú testy urýchleného starnutia, ktoré sa uskutočňujú s cieľom v krátkom čase zhodnotiť chemickú stabilitu materiálov, či kombinácie materiálov. Majú tiež stanoviť, alebo predpovedať životnosť materiálov v predpokladaných podmienkach používania. Urýchlené starnutie je vykonávané v laboratóriu, za účelom objasnenia chemických reakcií (mechanizmu zhoršenia) a fyzikálnych dôsledkov z toho vyplývajúcich (rozklad a zlyhanie materiálov). Dôležitým aspektom tohto úsilia je objasnenie mechanizmu degradácie. Základným cieľom výskumu je vývoj techník, ktoré môžu monitorovať mieru zhoršenia a metódy, ktorými môže byť životnosť materiálov predĺžená<sup>32</sup>.

Na zlepšenie svetlostálosti systémov, je potrebné pochopiť mechanizmus, akým blednú. Dôležitým bodom je, že farbivá málokedy blednú iba jedným mechanizmom. Oveľa častejším prípadom je, že sa vyskytuje celá skupina mechanizmov degradácie, ktoré sa navzájom ovplyvňujú. Použité chromofóry majú dominantný vplyv na spektrálne charakteristiky a dosiahnutú svetlostálosť. Kľúčovou zložkou vo výskumnej stratégii pri navrhovaní farbív s vysokou svetlostálosťou, je pochopiť blednutie dôležitých chromofórov a získať spoľahlivé metódy pre výskum degradačných mechanizmov všetkých chromofórov na danom substráte<sup>33</sup>.

Azo farbivá môžu blednúť dvoma spôsobmi: oxidačnými alebo redukčnými reakciami. Farbivá aplikované k proteínovým štruktúram prijímacej vrstvy podliehajú redukčnému blednutiu, kým farbivá na celulóзовých, polyhydroxy povlakoch, či polyesterových substrátoch podliehajú oxidačnému blednutiu<sup>34</sup>. V prítomnosti svetla, ale i vlhkosti a kyslíka podstupuje veľa farbív oxidačné blednutie. Po absorpcii fotónu je farbivo excitované do prvého alebo vyššieho excitovaného singletového stavu. Následne sa vracia do základného stavu buď priamo vyžiarovaním svetelného kvanta (fluorescencia) alebo medzisystémovým prechodom do

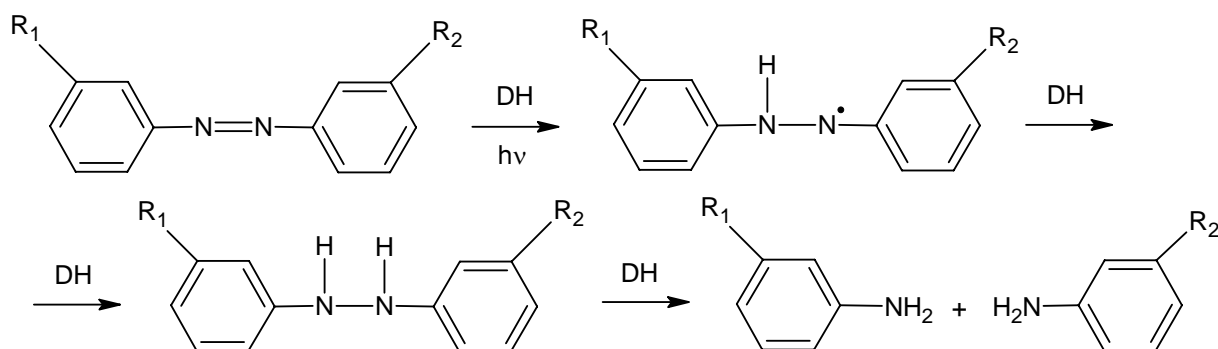


tripletového stavu. Farbonosná zložka môže podstúpiť fotochemickú reakciu v tomto vysoko reaktívnom excitovanom stave. Farbivá s dlhou životnosťou excitovaného singletového stavu podliehajú veľmi rýchlo fotodegradácii. Skrátением doby života singletového stavu sa môže zvýšiť fotostabilita farbiva<sup>34</sup>. Oxidačné blednutie je pripísané ataku singletového kyslíka na ich hydrazónový tautomér za vzniku chinónu (Obr. 16). Singletové kyslíkové zhášače ako 1,4-diazabicyklo[2,2,2]-oktán (DABCO) a nikel-dibutylditiokarbamat (NBC) potlačujú blednutie<sup>35</sup>.



**Obr. 16** Oxidačný mechanizmus blednutia pre azo farbivá.

Môže dochádzať i k redukčnému blednutiu, tento prípad však nastáva len zriedka. Môže nastať na proteínových substrátoch, ako želatína, hodváb alebo vlna. V anaeróbných podmienkach môže byť azo farbivo redukované na amíny odstránením vodíkového atómu z donoru vodíka (Obr. 17). Táto reakcia je veľmi urýchlená, pokiaľ je farbivo alebo donor vodíka foto-excitované. Veľmi dobré donory vodíka, ktoré absorbujú v UV oblasti spektra, sú amíny, alkoholy, karboxylové kyseliny, ketóny, étery a estery<sup>35</sup>.



**Obr. 17** Redukčný mechanizmus blednutia pre azo farbivá.

### 2.5.2 Degradácia atramentov vplyvom tepla

Ako už bolo spomínané, najväčším nepriateľom inkjetových výtlačkov z vplyvov okolia je svetlo. Žiaľ, nemožno povedať, že pri uskladnení výtlačkov v archívnych podmienkach nedochádza k žiadnym degradačným procesom. Archívne podmienky sú tzv. *dark storage* podmienky, kde sú výtlačky uskladnené v tme a suchu. Vplyvom tepla i tu dochádza

k spontánnemu rozkladu všetkých zložiek (farbivá/pigmenty, polyméry v prijímacej vrstve, podložky), čo sa časom prejaví zmenou v sýtosťi i vo vyvážení farieb. V archívnych podmienkach však dochádza pôsobením tepla najmä k tvorbe žltých škvŕn na podložke. Tieto škvŕny sú limitujúcim faktorom určujúcim životnosť výtlačkov v tme<sup>36</sup>. Bolo zistené, že ich tvorba je urýchlená, ak sa zvyšuje koncentrácia NO<sub>2</sub> vo vzduchu<sup>37</sup>.

Atramentové výtlačky sú všeobecne stálejšie v podmienkach dark storage ako klasické fotografické materiály. To je spôsobené najmä prítomnosťou nezreagovaných farbotvorných zložiek vo fotografických materiáloch, ktoré ľahko podliehajú celej rade degradačných reakcií a zapríčiňujú farebné závoje. Inkjetové materiály týmto problémom samozrejme netrpia<sup>38</sup>.

### 2.5.3 Degradácia atramentov vplyvom vlhkosti

Stálosť voči vlhkosti je odolnosť obrazu v podmienkach vysokej vzdušnej vlhkosti. Je to väčšinou špecifický problém pre hladké povrchy a papiere a nastáva, ak farbivo difunduje do média. Pigmentové atramenty majú vďaka ich nerozpustnosti dobrú vode odolnosť. Veľa farbivových atramentov je však vo vode rozpustných, a to môže spôsobiť migráciu farbiva alebo rozpíjanie obrazu, keď na obraz kvapne voda. Tento problém však možno odstrániť fixáciou farbivových atramentov v prijímacej vrstve, použitím kladne nabitých organických alebo anorganických činidiel.

Migrácia farbiva však môže nastať aj v prípade, že je výtlačok vystavený podmienkam vysokej vzdušnej vlhkosti. Vo vode rozpustné organické rozpúšťadlá, používané k zabráneniu kôrnatenia, majú vysoký bod varu a nízku prchavosť, a preto sa nevyparujú na výtlačku. Toto zapríčiňuje, že atramenty sú extrémne citlivé na podmienky vysokej vzdušnej vlhkosti, či na vysokú teplotu. V takýchto podmienkach dochádza k rozpíjaniu atramentu a obraz tak pôsobí neostro a rozmazane. Prejavuje sa to znížením hranovej ostroty čiarových prvkov v obraze. Stupeň migrácie závisí na vlastnostiach farbiva, druhu média a na stupni fixácie farbonosných zložiek vnútri náterovej vrstvy média. Vplyvom rôznej pohyblivosti rôznych farbív dochádza tiež k chromatografickej separácii a k následnému vzniku farebných kontúr – ak je napríklad modrá čiara vytvorená pretlačou azúrového a purpurového farbiva a ak je purpurové farbivo pohyblivejšie, môžeme následne pozorovať vznik purpurových kontúr. Pigmentové atramenty sú proti týmto javom podstatne odolnejšie, pretože veľké pigmentové častice sú rádovo menej pohyblivé ako jednotlivé molekuly farbív<sup>39</sup>.

Pigmentové i farbivové atramenty majú na mikroporéznych médiách veľmi dobrú odolnosť voči vlhkosti, v prípade napučiacich prijímacích vrstiev sú však farbivové atramenty málo odolné. Nasorbovaná voda tu pôsobí ako zmäkčovadlo hydrofilných polymérov, čo sa prejavuje výrazným poklesom teploty skelného prechodu týchto polymérov. Výsledkom tohto javu je zmena povrchových vlastností a vyššia náchylnosť k mechanickému poškodeniu (zlepovanie, zmeny lesku, zapúšťanie farbiva, atď.)

### 2.5.4 Degradácia atramentov vplyvom ovzdušia

Degradácia výtlačkov vplyvom plynov z ovzdušia sa nazýva „gas fading“. Z plynov nachádzajúcich sa v ovzduší je pre inkjetové výtlačky najnebezpečnejší ozón. Ďalšie plyny spôsobujúce najmä degradáciu farbivových výtlačkov sú kyslík <sup>3</sup>O<sub>2</sub>, či polutanty ako oxidy síry (najmä oxid siričitý) a dusíka (oxid dusnatý, oxid dusičný, peroxid dusíka a ich zmes). Ak sú výtlačky vystavené atmosférickým polutantom, výtlačky blednú fotodegradačnými mechanizmami, buď oxidačným (Obr. 16) alebo redukčným (Obr. 17). Atmosférické polutanty

generujú voľné radikály, ktoré degradujú inkjetový atrament a/alebo tlačové médium čím sa generuje viac voľných radikálov, ktoré ďalej urýchľujú degradačný proces<sup>40</sup>. K urýchleniu degradačného procesu vplyvom  $O_3$  prispieva i vyššia teplota a vlhkosť. Na rozdiel od blednutia vplyvom svetla možno povedať, že pri blednutí vplyvom  $O_3$  nedochádza k zlyhaniu recipročného zákona<sup>41</sup>.

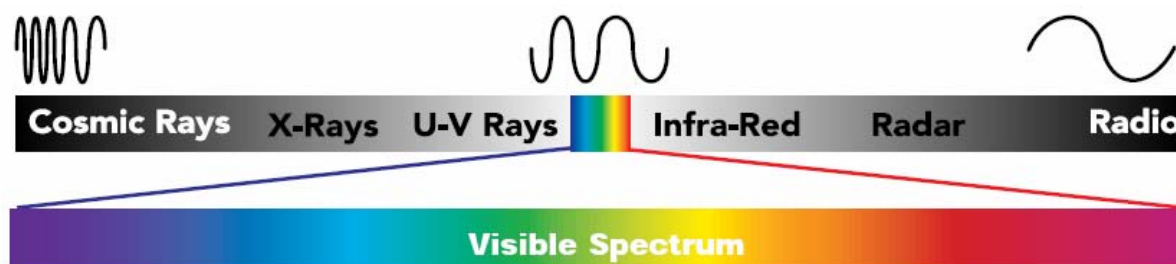
Z podložiek je k degradácii vplyvom plynov náchylný iba papier, ktorý pohlcuje polutanty zo vzduchu, pričom dochádza k jeho okysľovaniu a postupnej degradácii kyslou hydrolyzou. Tomuto javu je však možné predchádzať, ak sa používa papier s dostatočnou alkalickou rezervou.

Čo sa týka prijímacích vrstiev, konvenčné prijímacie vrstvy sú málo porézne, a teda sa vyznačujú vysokou odolnosťou pri blednutí vplyvom polutantov. Napučiavacie médiá pôsobia ako fyzikálna bariéra voči ozónu. Tenký film polyméru pravdepodobne chráni farbivá tlačené na napučiavacie prijímacie vrstvy, čo výrazne redukuje blednutie farbív v prítomnosti ozónu. K degradácii vplyvom ovzdušia sú najnáchylnejšie mikroporézne prijímacie vrstvy. Je to spôsobené práve ich otvorenou štruktúrou a vysokou porozitou. Obrovský aktívny povrch syntetických sorbentov zachytáva molekuly ozónu už vo veľmi malých koncentráciách. Sorbovaný ozón si však zachováva svoju vysokú reaktivitu, preto dochádza k ataku prítomných molekúl farbiva alebo častíc pigmentu.

Pigmentové atramenty sú všeobecne odolnejšie ako farbivové voči blednutiu vplyvom ozónu. Farbivové atramenty sú vďaka ataku ozónu veľmi rýchlo oxidované. Viac náchylné k blednutiu vplyvom plynu sú najmä azúrové farbivové atramenty, naopak najstabilnejšie v tomto prípade sú žlté farbivové atramenty<sup>14</sup>. K stabilite pigmentových atramentov výrazne prispieva veľkosť pigmentových častíc. Pri dlhodobom pôsobení ozónu, však i určité pigmentové atramenty blednú (ide najmä o anorganické pigmenty na mikroporéznych médiách).

## 2.6 Svetlo a farba

Farba a farebnosť je spojená s farebným vnemom, ktorý vzniká pri dopade svetla do zrakového systému oka. Jeho charakter je závislý na vlnovej dĺžke oka. Svetlo je definované ako viditeľná časť elektromagnetického spektra v rozmedzí od 380–780 nm (Obr. 18). Svetlo s kratšími vlnovými dĺžkami vyvoláva vnem modrej a fialovej farby, svetlo stredných vlnových dĺžok vnem zelenej, žltej a oranžovej farby a dlhovlnné svetlo vyvoláva vnem červených vlnových dĺžok. Farebný vnem je teda výsledkom troch faktorov: farebnej plochy, osvetlenia a citlivosti zrakového systému. Pohlcovanie svetla istých vlnových dĺžok farebnou plochou a odražanie svetla iných vlnových dĺžok popisuje remisné spektrum alebo remisná krivka (krivka spektrálnych činiteľov odrazu). Keď svetlo prechádza farebnou plochou hovorí sa o transmisnom spektre a transmisnej krivke (krivka spektrálnych činiteľov prestupu).

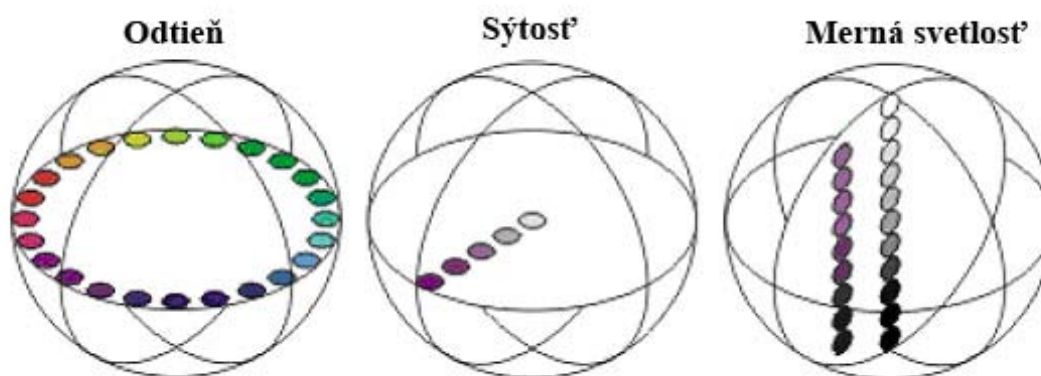


Obr. 18 Elektromagnetické spektrum.<sup>42</sup>

Vlastnosti osvetlenia sú charakterizované spektrálnou distribúciou svetla. Tá určuje, aký je podiel jednotlivých vlnových dĺžok v celkovom svetle. Svetlo sa po dopade na farebnú plochu odráža. Spektrálna distribúcia svetla sa zmení, lebo v závislosti na remisnej krivke sa svetlo s istými vlnovými dĺžkami odrazí a s inými vlnovými dĺžkami sa na povrchu pohltí. Odrazené svetlo tak obsahuje informáciu o sfarbení povrchu.

Po odraze svetla od farebného povrchu dopadá do oka, kde vyvoláva farebný vnem. V zrakovom systéme sú dva druhy svetlocitlivých buniek. Tyčinky sú citlivejšie, ale nerozlišujú farbu. Čapíky zabezpečujú, že ľudské oko je schopné vnímať farbu. Sú tri druhy čapíkov, z ktorých každý je citlivý na iné svetlo. Jeden je na modré, druhý na zelené a tretí na červené svetlo. Každá svetlocitlivá bunka sa v závislosti na spektrálnom zložení svetla podráždi inak. Výsledkom kombinácie týchto podnetov je farebný vnem, ktorý je určený tromi základnými atribútmi (psychofyzikálnymi charakteristikami – Obr. 19):

- Merná svetlosť – vyjadruje tú stránku zrakového vnemu, podľa ktorej sa javí farba svetlejšia alebo menej svetlá.
- Odtieň – vyjadruje základný pocit z farby a kvalitu farby. Odtieň je to, ako vnímame farbu objektu – červená, oranžová, zelená, modrá, atď.<sup>43</sup>
- Sýtosť – vyjadruje stupeň odlišnosti farby od sivej farby s rovnakou svetlosťou.

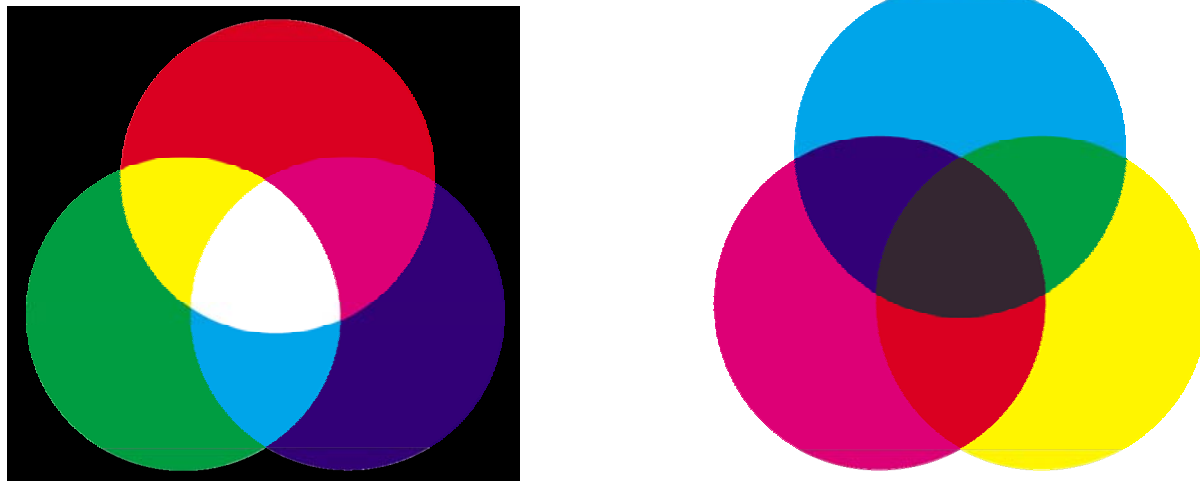


**Obr. 19** Zmena odtieňa, zmena sýtosti, zmena mernej svetlosti.<sup>44</sup>

Pojem farebný podnet sa používa, keď sa hovorí o videní alebo meraní farby. Je výsledkom pôsobenia svetelného zdroja a objektu, od ktorého sa svetlo odráža, alebo cez ktorý prechádza. Farebný podnet sa zmení pri použití iného svetelného zdroja, ktorý ma inú charakteristickú spektrálnu distribúciu. Je však možné, že dva farebné podnety s odlišnou spektrálnou distribúciou vnímame ako identickú farbu. Tento jav sa nazýva metaméria. Dochádza k nemu len pri farebných vnemoch, nikdy nie pri objektoch, môže teda vznikáť pri osvetlení jedným svetelným zdrojom, avšak nie pri osvetlení druhým<sup>45</sup>.

Farbu možno získať miešaním spektrálnych zložiek – *aditívnym* alebo *subtraktívnym* (Obr. 20). Pri aditívnom miešaní dochádza k skladaniu troch primárnych svetiel RGB, ide tu teda o sčítanie primárnych zložiek spektra. Aditívnym miešaním možno získať biele svetlo, pokiaľ majú všetky tri zdroje rovnakú intenzitu. Aditívne miešanie sa využíva najmä pri zobrazení na monitore. Pri subtraktívnom miešaní tvoríme farby nanášaním troch atramentov s rôznym krytím na bielu podložku. Pri tomto type miešania označujeme za primárne základné subtraktívne farby: azúrovú (C), purpurovú (M) a žltú (Y). Princípom tohto miešania je

odčítanie pohlcovaných zložiek spektra. Napríklad zmiešaním azúrovej a purpurovej sú odčítané červené a zelené zložky spektra, vzniknutá farba je teda modrá. Subtraktívnym miešaním možno získať čiernu farbu, pokiaľ majú všetky tri farby plné krytie. Na tomto type miešania je založená reprodukcia tlačou.



Obr. 20 Miešanie farieb: vľavo aditívne, vpravo subtraktívne.<sup>46</sup>

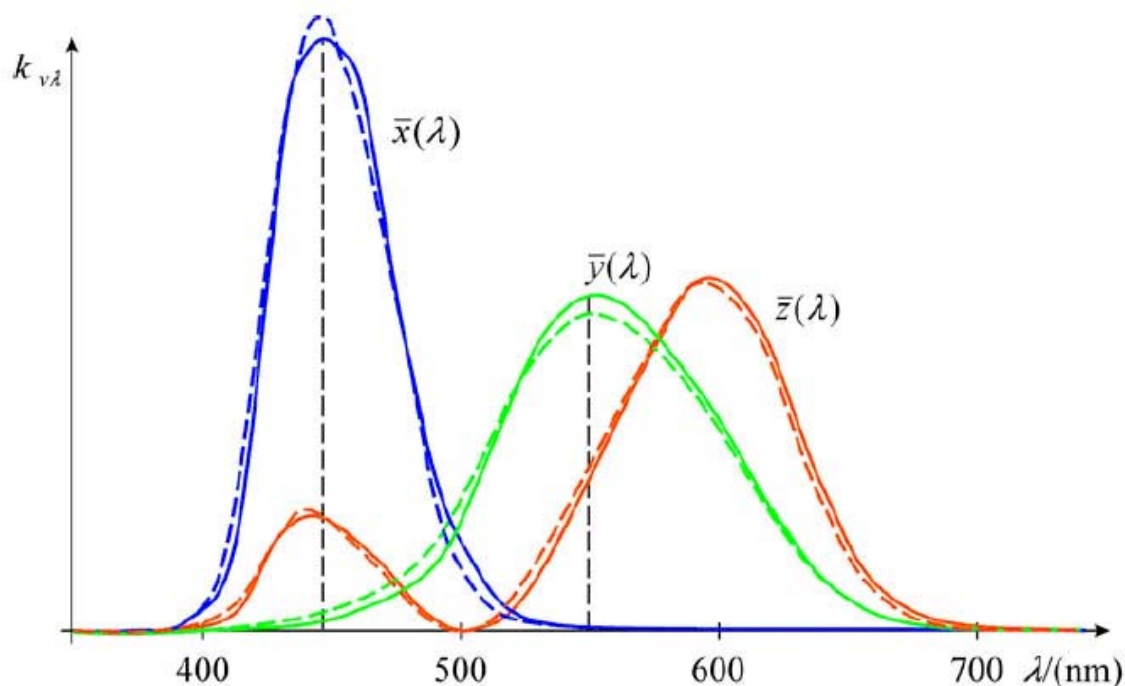
### 2.6.1 Meranie farby

Dnešné metódy merania farby (kolorimetrie), sa zakladajú na dokumentoch obsahujúcich štandardy a technické špecifikácie pre meranie farby, ktoré vypracovala a vydala Medzinárodná komisia pre osvetlenie – *CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)*. V roku 1931 urobila *CIE* zásadný krok v štandardizácii systémov merania farby. Definovala štandardné zdroje osvetlenia, podmienky osvetlenia vzorky, detekciu odrazeného svetla, zaviedla funkciu štandardného pozorovateľa a odporučila spôsob vyhodnotenia získaných primárnych údajov a viac druhov osvetlenia.

Medzi definované zdroje osvetlenia patria zdroj A (wolfrámova žiarovka), zdroj B (priame slnečné svetlo), zdroj C (priemerné denné svetlo). V roku 1963 boli definované ďalšie zdroje:  $D_{50}$  (priame slnečné svetlo pri teplote chromatickosti 5000 K),  $D_{65}$  (zatiahnutá obloha s teplotou chromatickosti 6500 K) a  $D_{75}$  (svetlo severnej oblohy s teplotou chromatickosti 7500 K). Pre fluorescenčné zdroje sa používa označenie F. V kolorimetrii sa najčastejšie pracuje s osvetlením  $D_{65}$ , ktoré reprezentuje priemerné denné svetlo. Teplota chromatickosti je definovaná ako teplota, na ktorú musí byť zahriate absolútne čierne teleso, aby vyžarovalo spektrum takmer zhodné so spektrom určitého zdroja svetla. Absolútne čierne teleso je ideálne teleso, ktoré žiarenie ani neodráža ani neprepúšťa, ale dochádza u neho k absolútnej absorpcii.

Štandardný pozorovateľ má funkcie, ktoré predstavujú spektrálnu citlivosť priemerného ľudského oka na tri farby – červenú, modrú a zelenú. Funkcie štandardného pozorovateľa sa označujú ako trichromatické členiteľa  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ . Pretože zodpovedajú pozorovaniu farebného poľa v uhle  $2^\circ$ , ktorým je na sietnici vymedzená žltá škvrna, nazývajú sa tiež ako  $2^\circ$  štandardný pozorovateľ *CIE 1931*. V roku 1964 boli pre  $10^\circ$  štandardného pozorovateľa definované tzv. *CIE 1964 doplnkové trichromatické členiteľa*  $\bar{x}_{10}$ ,  $\bar{y}_{10}$ ,  $\bar{z}_{10}$ . Zorný uhol  $10^\circ$

zahrňuje na sietnici tiež okolie žltej škvrny. Priebeh trichromatických členiteľov je ilustrovaný na Obr. 21.



**Obr. 21** Funkcie štandardného kolorimetrického pozorovateľa CIE (plne 2°, čiarkovane 10°).<sup>47</sup>

Farbu teda možno jednoznačne definovať pomocou trichromatických zložiek  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ . Sú vypočítané zo spektrálnej reflektancie farebnej vzorky  $R(\lambda)$ , spektrálnej distribúcie osvetlenia  $\Phi^0(\lambda)$  a funkcií trichromatických členiteľov  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ <sup>48</sup>, podľa vzťahov (1), (2) a (3).

$$X = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \quad (1)$$

$$Y = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \quad (2)$$

$$Z = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \quad (3)$$

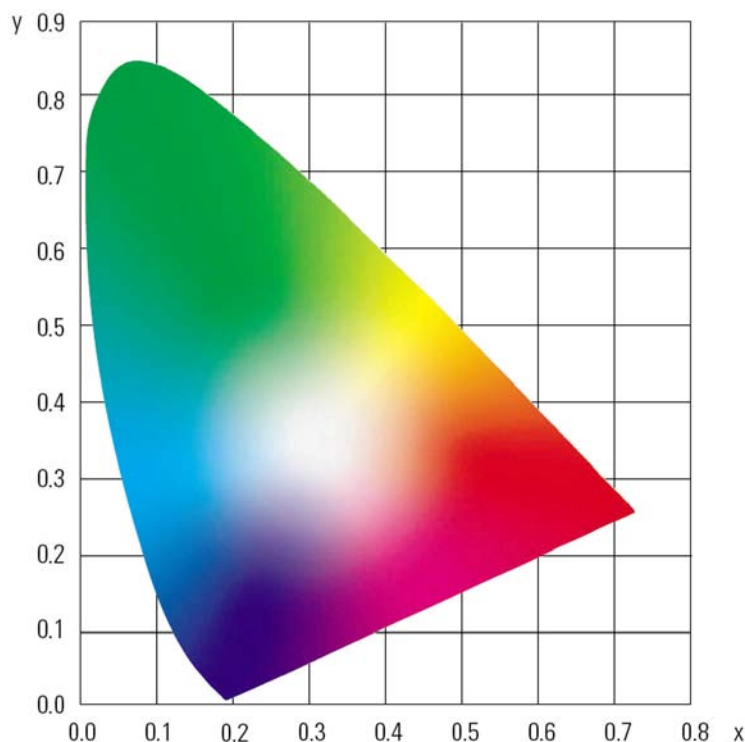
$K$  je normalizačná konštanta, pre ktorú platí vzťah (4). Jej hodnota sa získa tak, že za  $Y$  sa dosadí 100, pretože ide o dokonale biely, ideálny predmet, ktorého reflektancia je pre celé spektrum jednotková.

$$K = \frac{100}{\sum \Phi^0(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)} \quad (4)$$

Normovaním trichromatických zložiek možno získať trichromatické súradnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , podľa vzťahu (5). Na definíciu farby stačia dve trichromatické súradnice  $x$  a  $y$ , lebo  $x + y + z = 1$ . Rovina, ktorú definujú, sa nazýva chromatická rovina a popisuje pestré vlastnosti farieb. Tieto dve trichromatické súradnice spolu s trichromatickou zložkou  $Y$  určujú

polohu farby vo farebnom priestore  $CIE\ xyY$ . Trichromatická zložka  $Y$  definuje svetlosť. Súbor súradníc  $x$  a  $y$  všetkých farieb vytvára v chromatickej rovine kolorimetrický trojuholník  $CIE\ x, y$  (Obr. 22).

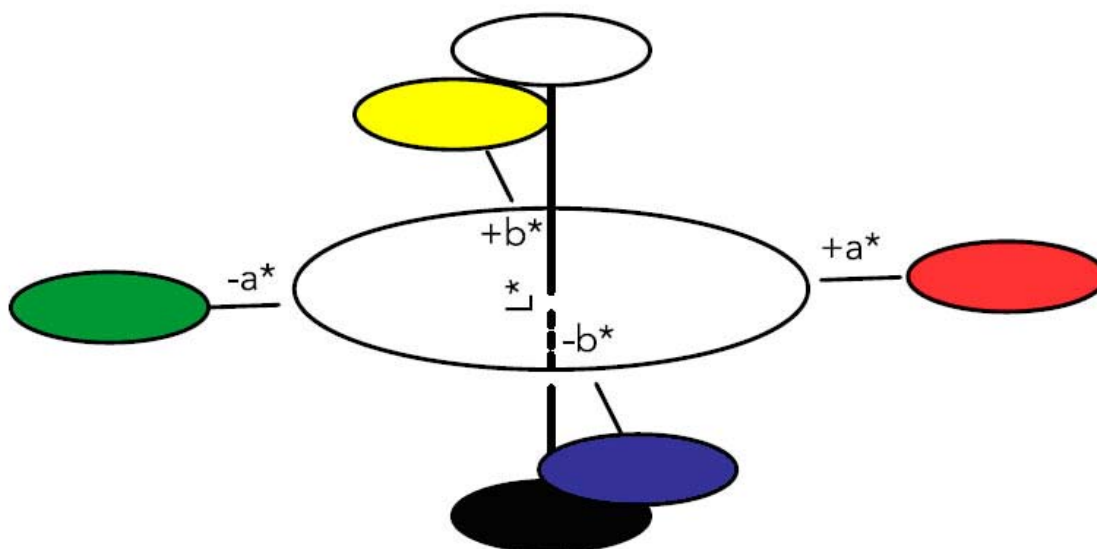
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (5)$$



**Obr. 22** Kolorimetrický trojuholník  $CIE\ x, y$  (cit. <sup>48</sup>).

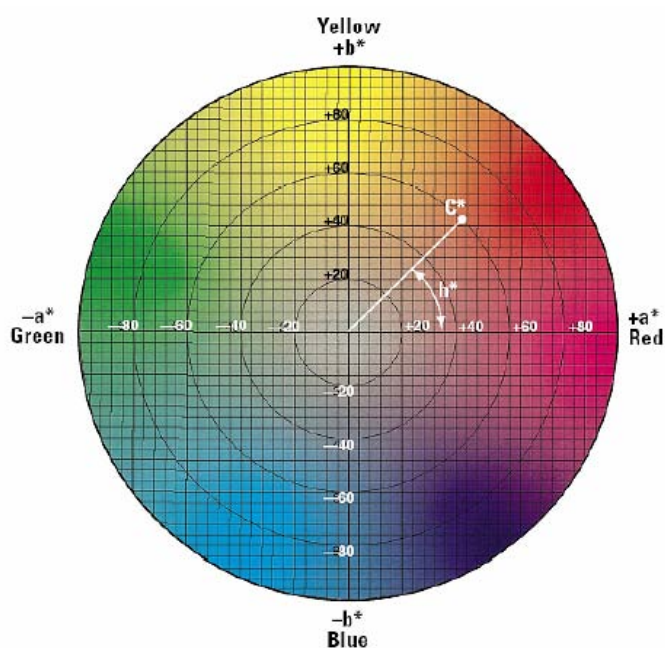
Tento pôvodný kolorimetrický trojuholník  $CIE\ x, y$  a farebný priestor  $CIE\ xyY$  mali závažný nedostatok, ktorou bola neuniformita. Ide o farebné rozdiely, ktoré zodpovedali rovnakým rozdielom farebného vnemu a v chromatickej rovine sa zobrazovali rôznymi úsečkami, ktorých dĺžka je závislá od polohy porovnávaných farieb v kolorimetrickom trojuholníku. Na vyriešenie tohto problému v roku 1976  $CIE$  navrhla dva alternatívne farebné priestory: 1976  $CIE\ L^*u^*v^*$  a 1976  $CIE\ L^*a^*b^*$ . Sú to pravouhlye priestory s nepestrými farbami na vertikálnej osi, ktorú reprezentuje merná svetlosť  $L^*$ . Chromatické osi  $a^*$  resp.  $u^*$ , ležia v smere červená – zelená, a  $b^*$  resp.  $v^*$  v smere žltá – modrá (Obr. 23).





**Obr. 23** Farebný priestor 1979 CIE  $L^*a^*b^*$  (cit.) a pozícia tlačných farieb v kvadrantoch chromatickej roviny.

Ďalší variant priestoru  $CIE L^*a^*b^*$ , ktorý už plne splňuje charakteristiky vnímania farby ľudským okom je priestor  $CIE L^*C^*_{ab}h^*_{ab}$  (Obr. 24). Priestor LCh je obmenou Lab priestoru v polárnych súradniciach. Súradnica  $h^*_{ab}$  je označovaná ako merný uhol farebného tónu *CIE 1976 hue angle* –  $h^*_{ab}$ . Vyjadruje farebný tón určený uhlom, ktorý zvierá priemet polohy farby do chromatickej roviny s osou  $a^*$ . Napr. merný uhol farebného tónu červenej farby je  $0^\circ$ , žltej farby  $90^\circ$  atď. Súradnica  $C^*_{ab}$  je označovaná ako merná čistota farebného tónu *CIE 1976 chroma* –  $C^*_{ab}$  a vyjadruje vzdialenosť priemetu polohy danej farby do chromatickej roviny od súradnicového počiatku. Sýtejšie farby sú vzdialenejšie od počiatku súradnicovej roviny, majú väčšiu hodnotu mernej sýtosti  $C^*_{ab}$ .



**Obr. 24** Chromatická rovina priestoru CIE LCh.



Hodnoty súradníc  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$  udávajú polohu farby v trojrozmernom farebnom priestore, dajú sa získať prepočtom z trichromatických zložiek podľa rovníc (6), (7) a (8). Súradnice<sup>48</sup>  $C^*_{ab}$  a  $h^*_{ab}$ , sú definované vzťahmi (9) a (10).

$$L^* = 116 \cdot (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (6)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[ (X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right] \quad (7)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[ (Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right] \quad (8)$$

$$C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (9)$$

$$h^*_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \quad (10)$$

Pri hodnotení farieb, ich vzťahov, rozdielov a zhody má veľký význam rozdiel farieb CIE 1976. Je to rozdiel dvoch farieb vo farebnom priestore CIE  $L^*a^*b^*$  a označuje sa ako  $\Delta E^*_{ab}$ , vypočíta sa zo vzťahu (11). Farbová odchýlka<sup>48</sup> je objektívnou mierou dosiahnutej kvality a je vhodná na posudzovanie rozdielov a odchýlok výsledkov farebnej tlače. CIE  $a b$  rozdiel farebného tónu udáva rovnica (12).

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (11)$$

$$\Delta H^*_{ab} = \left[ (\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

Doteraz nebol prijatý žiadny záväzný ani doporučený dokument so širšou platnosťou, definujúci prípustné hodnoty farbových odchýlok  $\Delta E^*_{ab}$ , k orientácii môže preto poslúžiť Tabuľka 3.

**Tabuľka 3** Hodnotenie rozdielu farieb.

Hodnota $\Delta E^*_{ab}$	
0,5–2	Rozdiel vnímaný ako farebná zhoda.
2–4	Rozdiel farieb vnímateľný iba pri priamom porovnaní.
4–8	Rozdiel farieb vnímateľný i keď nie je možné priame porovnanie.
> 8	Výrazný rozdiel farieb.

Štandardizáciu merania farby, základné definície pojmov a veličín, podmienky a požiadavky na meranie farieb a prepočty medzi kolorimetrickými veličinami pre potreby polygrafie definuje norma ISO 13655-1996 (cit.<sup>49</sup>).

### 2.6.2 Prístroje k meraniu farby

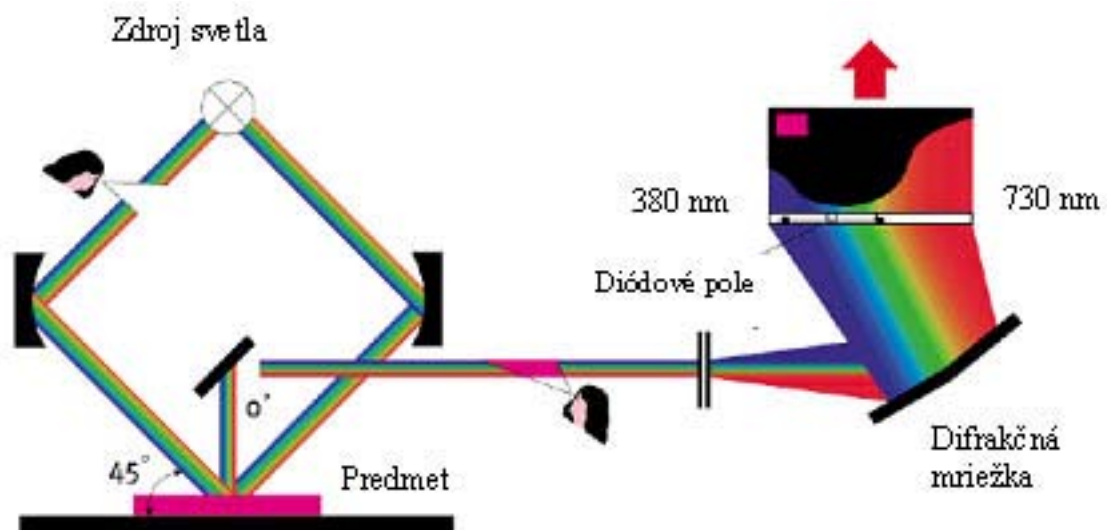
Prístroj, ktorým sa meria farba musí zabezpečiť osvetlenie meraného povrchu zvoleným štandardným osvetlením, detekciu a meranie zmeny vlastností odrazeného svetla od meraného povrchu a samozrejme vyhodnotenie a vyčíslenie trichromatických zložiek v zmysle ich definície. Na meranie sa používajú tri typy prístrojov. Všetky majú rovnaký princíp: svetlo s definovaným spektrom vyžarované prístrojom dopadá na povrch objektu alebo ním

prechádza, pričom detektor sa snaží odmerať svetlo, ktoré povrch objektu odrazil, či objektom prešlo. Detektor nie je schopný určiť vlnovú dĺžku fotónov, je teda potrebné i filtrovanie svetla dopadajúceho na detektor. Rozdiely meracích prístrojov sú určené počtom a typmi použitých filtrov a tiež spočívajú v citlivosti ich detektorov.

1) *Denzitometre* sú prístroje určené na meranie optickej hustoty. Je to miera s akou odrazový povrch svetlo absorbuje, alebo transparentný povrch svetlo prepúšťa. Čím viac svetla sa absorbuje, tým väčšia je jeho optická hustota. Tieto prístroje ale nemerajú optickú hustotu priamo. Merajú pomer intenzity svetla dopadajúceho na povrch či povrchom prechádzajúceho a svetla dopadajúceho do detektoru prístroja. Podľa toho, či sa merajú povrchy odrazové alebo transparentné, je tento pomer nazývaný odrazivosťou (R) alebo priepustnosťou (T). Pri meraní musíme vedieť aký povrch meriame, aby sme mohli zvoliť vhodný filter.

4) *Kolorimetre* merajú farbu pomocou troch farebných filtrov, ktoré zodpovedajú CIE špecifikácii spektrálnej citlivosti ľudského oka (funkcie trichromatických členiteľov). Meraním sa priamo získavajú trichromatické zložky X, Y a Z, z ktorých možno vypočítať hodnoty  $L^*a^*b^*$ . Vlastnosti farebných filtrov v praxi však nie sú ideálne a ich spektrálne zloženie presne nezodpovedá funkciám trichromatických členiteľov. Nevýhodou trichromatických kolorimetrov oproti spektrofotometrom je, že merania sú platné len pre špecifikované podmienky merania ( $D_{50}$ ,  $2^\circ$  štandardný pozorovateľ), keďže meranie sa deje integrálne cez celé farebné spektrum.

2) *Spektrofotometre* umožňujú merať spektrálne vlastnosti povrchu, teda koľko svetla s istou vlnovou dĺžkou daný povrch odráža, či prepúšťa (Obr. 25). Pomocou spektrofotometrov sa meria spektrálna odrazivosť. Je to pomer intenzity dopadajúceho svetla a svetla odrazeného do detektoru prístroja, meraný pre každú vlnovú dĺžku samostatne. Namiesto optických filtrov spektrofotometre obsahujú difrakčnú mriežku (monochromátor), rozkladajúci svetlo podľa vlnových dĺžok v rozsahu viditeľného spektra – obvykle od 380 nm do 730 alebo 750 nm. Svetlo, ktoré z monochromátoru vychádza pod rôznymi uhlami pre každú vlnovú dĺžku, dopadá na riadkový fotodetektor (lineárne usporiadané pole fotodiod), kde každá fotodioda zaznamenáva určitý uhlový rozsah dopadajúcich lúčov a tým i určitý spektrálny rozsah vlnových dĺžok<sup>24</sup>. Spektrofotometre v grafike rozdeľujú viditeľné spektrum na pásy so šírkou 10–20 nm, vedecké prístroje ho rozdeľujú na väčší počet pásov. Spektrofotometre sa v súčasnej dobe využívajú oveľa častejšie ako kolorimetre, či denzitometre, pretože poskytujú presnejšie a objemnejšie dáta, z ktorých môžeme získať optickú hustotu i kolorimetrické hodnoty. Sú teda základným a univerzálnym nástrojom pre meranie farby.



Obr. 25 Princíp merania spektrofotometra.<sup>50</sup>

### 3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

#### 3.1 Použité zariadenia a chemikálie

##### 3.1.1 Zariadenie a vybavenie laboratória

- Spektrofotometer Gretag MacBeth Spectrolino
- Epson Stylus Photo R220
- Epson Stylus Photo R220 Series MIS PROPIG
- Digitálny multimeter UT70B
- Fotocitlivý senzor, TSL235, TAOS
- Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-1-B/S
- Gretag Macbeth™ KeyWizard 2.5
- Gretag Macbeth™ ProfileMaker 5.0.5
- Imatest LLC Gamutvision™
- X11 Optometer so sondou XD-9502
- X97 Irradiance Meter so sondou X9-7
- Vlhkometer a teplomer Testo 625
- Ocean Optics Red Tide USB650

##### 3.1.2 Chemikálie a atramenty

###### 3.1.2.1 *Farbivové atramenty, MIS Associates, Inc.*

- Black ESC-R200-4-K (MIS Dyebase)
- Cyan ESC-R200-4-C (MIS Dyebase)
- Light Cyan ESC-R200-4-LC (MIS Dyebase)
- Magenta ESC-R200-4-M (MIS Dyebase)
- Light Magenta ESC-R200-4-LM (MIS Dyebase)
- Yellow ESC-R200-4-Y (MIS Dyebase)

###### 3.1.2.2 *Pigmentové atramenty*

- Black MP-4-K (MIS Pro)
- Cyan MP-4-C (MIS Pro)
- Light Cyan MP-4-LC (MIS Pro)
- Magenta MP-4-M (MIS Pro)
- Light Magenta MP-4-LM (MIS Pro)
- Yellow MP-4-Y (MIS Pro)

##### 3.1.3 Použitý software

- Microsoft® Office Word 2003
- Microsoft® Office Excel 2003
- Origin® 7.0
- Adobe® Photoshop® CS2 9.0
- Quad Tone RIP Graphical Interface Version 2.5.2.0
- Ocean Optics Spectra Suite

### 3.1.4 Použité papiere

#### 3.1.4.1 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla pri dlhodobom starnutí

- Epson Premium Glossy, 255 g m<sup>-2</sup>
- Foma 1224, 120 g m<sup>-2</sup>
- Epson Archival Matt, 192 g m<sup>-2</sup>
- Ilford Gallerie Classic Gloss, 290 g m<sup>-2</sup>
- Ilford Gallerie Smooth Gloss, 290 g m<sup>-2</sup>
- Ilford Gallerie Smooth Pearl, 290 g m<sup>-2</sup>
- Chagall biely, 260 g m<sup>-2</sup>

#### 3.1.4.2 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla a polutantov pri dlhodobom starnutí

- Foma 1224, 120 g m<sup>-2</sup>
- Epson Archival Matt, 192 g m<sup>-2</sup>
- Ilford Gallerie Classic Gloss, 290 g m<sup>-2</sup>
- Ilford Gallerie Smooth Gloss, 290 g m<sup>-2</sup>

#### 3.1.4.3 Vzorky s nižšou plošnou koncentráciou atramentov

- Ilford Gallerie Classic Pearl, 290 g m<sup>-2</sup>
- Ilford Gallerie Smooth Gloss, 290 g m<sup>-2</sup>
- Foma 1224, 120 g m<sup>-2</sup>
- Chagall biely, 260 g m<sup>-2</sup>
- Hahnemühle Glossy Photo Rag, 315 g m<sup>-2</sup>
- Hahnemühle Glossy Cellulose, 325 g m<sup>-2</sup>

## 3.2 Príprava vzoriek

### 3.2.1 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla

Boli pripravené testovacie škály pre dlhodobý test štúdia starnutia inkjetových výtlačkov v prirodzených podmienkach. Testovacie škály boli vytlačené tlačiarňou Epson Stylus Photo R220 na vybrané druhy médií (kap. 3.1.4.1) farbivovými atramentmi (kap. 3.1.2.1). Po vyschnutí a následnom meraní odrazových spektier spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino (Obr. 26), boli výtlačky adjustované do obrazových rámov, do ktorých bol umiestnený fotocitlivý senzor zapojený na digitálny multimeter. Rámy boli od 23. 4. 2008 do 7. 10. 2009 umiestnené v slnečnej chodbe (Obr. 27). Dáta frekvencie korešpondujúcej s intenzitou ožiarenia boli trvalo zberané do PC.



a)



b)

**Obr. 26** Spektrofotometer Gretag MacBeth: a) spectroscan, b) spectrolino.



**Obr. 27** Testovacie škály v rámoch umiestnených na stene slnečnej chodby spolu s fotocitlivým senzorom intenzity ožiarenia.

### 3.2.2 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla a polutantov

Dňa 13. 5. 2009 bol zahájený ďalší test, kedy testovacie škály boli tlačené na vybrané druhy médií, ktoré sú uvedené v odseku 3.1.4.2. Testovacie škály boli tlačené farbivovými atramentmi (kap. 3.1.2.1) s použitím tlačiarne Epson Stylus Photo R220, ale i pigmentovými atramentmi (kap. 3.1.2.2), kedy tlačiarňou Epson Stylus Photo R220 vznikli pigmentové výtlačky. Z každého druhu papiera bolo získaných šesť výtlačkov, tri boli vytlačené pigmentovými atramentmi a tri farbivovými atramentmi. Celkovo bolo pripravených 24 výtlačkov, zo štyroch druhov papiera. Farbivové i pigmentové testovacie škály z každého papiera, spolu 8 testovacích škál, bolo uložených do obálky z bavlneného papiera a krabice z kartónu s vysokou alkalicou rezervou od firmy EMBA. Ide o referenčné vzorky. Ostatné výtlačky boli adjustované do štyroch obrazových rámov. V dvoch rámoch boli vystavené testovacie škály vytlačené pigmentovými atramentmi a v ďalších dvoch rámoch testovacie škály pripravené farbivovými atramentmi. Jeden rám vytlačený pigmentovými atramentmi bol so sklom a druhý bez skla (za účelom dlhodobého sledovania vplyvu polutantov na rýchlosť

degradácie výtlačkov). Rovnakým spôsobom boli adjustované i testovacie škály vytlačené farbivovými atramentmi.

### 3.2.3 Vzorky s nižšou sieťovou tónovou hodnotou

#### 3.2.3.1 Vzorky pre štúdium vplyvu svetla a polutantov

Ďalší test k sledovaniu vplyvu polutantov i svetla na degradáciu inkjetových výtlačkov bol zahájený dňa 30. 11. 2009. Testovacie obrazce boli opäť tlačené tlačiarňou Epson Stylus Photo R220 na vybrané druhy médií (kap. 3.1.4.3). Vzorky boli tlačené iba farbivovými atramentmi (kap. 3.1.2.1). Vzorky v tomto teste sa odlišovali od predchádzajúcich najmä tým, že sieťová tónová hodnota atramentov bola nižšia.

Testovacie obrazce pre tento test boli pripravené v grafickom editore Adobe Photoshop. Testovací obrazec sa skladal z dvoch tabuliek so šírkou 9 cm a výškou 6 cm, pričom každá tabuľka obsahovala 15 stĺpcov a 10 riadkov, skladala sa teda zo 150 políčok rôznej farby. Tento testovací obrazec, zložený z dvoch rôznych tabuliek, bolo potrebné vytlačiť pre účel študovania degradácie viackrát, preto boli na list formátu A4 umiestnené štyri takéto obrazce, čiže osem tabuliek. Jeden testovací obrazec tvorili dve tabuľky umiestnené vedľa seba (Tabuľka 4, Tabuľka 5).

**Tabuľka 4** *Percentuálne zastúpenie CMYK atramentov v prvej tabuľke testovacieho obrazca.*

0	5C	10C	15C	20C	5K	5M	10M	15M	20M	100C	5C	10C	15C	20C
5Y	5C 5Y	10C 5Y	15C 5Y	20C 5Y	5Y	5M 5Y	10M 5Y	15M 5Y	20M 5Y	5M	5C 5M	10C 5M	15C 5M	20C 5M
10Y	5C 10Y	10C 10Y	15C 10Y	20C 10Y	10Y	5M 10Y	10M 10Y	15M 10Y	20M 10Y	10M	5C 10M	10C 10M	15C 10M	20C 10M
15Y	5C 15Y	10C 15Y	15C 15Y	20C 15Y	15Y	5M 15Y	10M 15Y	15M 15Y	20M 15Y	15M	5C 15M	10C 15M	15C 15M	20C 15M
20Y	5C 20Y	10C 20Y	15C 20Y	20C 20Y	20Y	5M 20Y	10M 20Y	15M 20Y	20M 20Y	20M	5C 20M	10C 20M	15C 20M	20C 20M
100Y	5C 5K	10C 5K	15C 5K	20C 5K	100 M	5M 5K	10M 5K	15M 5K	20M 5K	100K	5C 5K	10C 5K	15C 5K	20C 5K
5Y 5K	5C 5Y 5K	10C 5Y 5K	15C 5Y 5K	20C 5Y 5K	5Y 5K	5M 5Y 5K	10M 5Y 5K	15M 5Y 5K	20M 5Y 5K	5M 5K	5C 5M 5K	10C 5M 5K	15C 5M 5K	20C 5M 5K
10Y 5K	5C 10Y 5K	10C 10Y 5K	15C 10Y 5K	20C 10Y 5K	10Y 5K	5M 10Y 5K	10M 10Y 5K	15M 10Y 5K	20M 10Y 5K	10M 5K	5C 10M 5K	10C 10M 5K	15C 10M 5K	20C 10M 5K
15Y 5K	5C 15Y 5K	10C 15Y 5K	15C 15Y 5K	20C 15Y 5K	15Y 5K	5M 15Y 5K	10M 15Y 5K	15M 15Y 5K	20M 15Y 5K	15M 5K	5C 15M 5K	10C 15M 5K	15C 15M 5K	20C 15M 5K
20Y 5K	5C 20Y 5K	10C 20Y 5K	15C 20Y 5K	20C 20Y 5K	20Y 5K	5M 20Y 5K	10M 20Y 5K	15M 20Y 5K	20M 20Y 5K	20M 5K	5C 20M 5K	10C 20M 5K	15C 20M 5K	20C 20M 5K

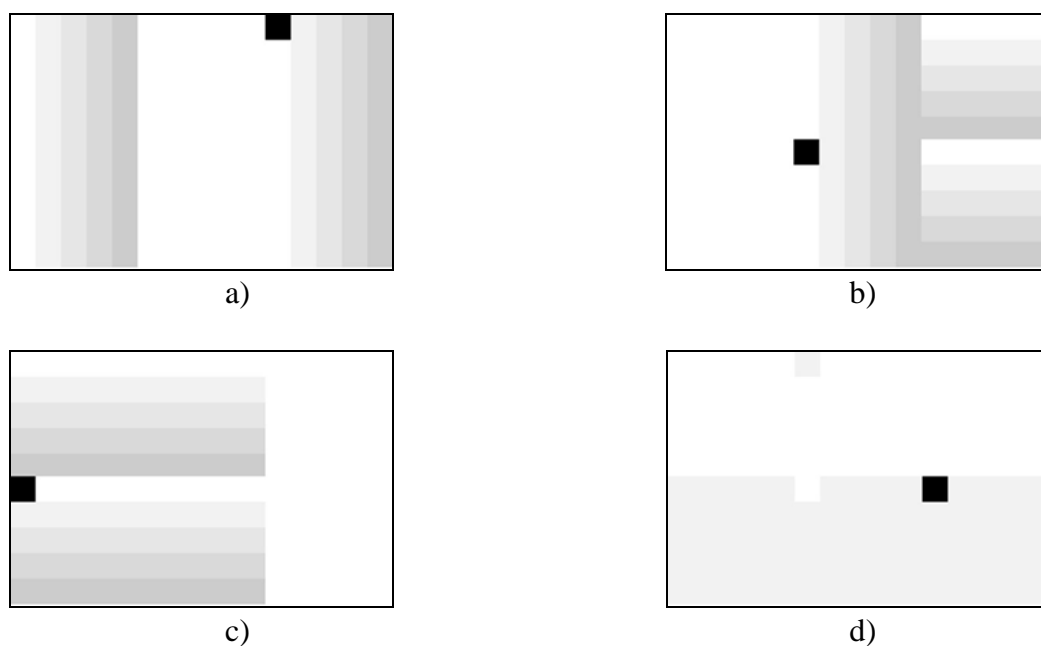
**Tabuľka 5** *Percentuálne zastúpenie CMYK atramentov v druhej tabuľke testovacieho obrazca.*

0	5C 10K	10C 10K	15C 10K	20C 10K	100 M 100Y	5M 10K	10M 10K	15M 10K	20M 10K	100C 100 M	5C 10K	10C 10K	15C 10K	20C 10K
5Y 10K	5C 5Y 10K	10C 5Y 10K	15C 5Y 10K	20C 5Y 10K	5Y 10K	5M 5Y 10K	10M 5Y 10K	15M 5Y 10K	20M 5Y 10K	5M 10K	5C 5M 10K	10C 5M 10K	15C 5M 10K	20C 5M 10K
10Y 10K	5C 10Y 10K	10C 10Y 10K	15C 10Y 10K	20C 10Y 10K	10Y 10K	5M 10Y 10K	10M 10Y 10K	15M 10Y 10K	20M 10Y 10K	10M 10K	5C 10M 10K	10C 10M 10K	15C 10M 10K	20C 10M 10K
15Y 10K	5C 15Y 10K	10C 15Y 10K	15C 15Y 10K	20C 15Y 10K	15Y 10K	5M 15Y 10K	10M 15Y 10K	15M 15Y 10K	20M 15Y 10K	15M 10K	5C 15M 10K	10C 15M 10K	15C 15M 10K	20C 15M 10K
20Y 10K	5C 20Y 10K	10C 20Y 10K	15C 20Y 10K	20C 20Y 10K	20Y 10K	5M 20Y 10K	10M 20Y 10K	15M 20Y 10K	20M 20Y 10K	20M 10K	5C 20M 10K	10C 20M 10K	15C 20M 10K	20C 20M 10K
100Y 100C	5C 20K	10C 20K	15C 20K	20C 20K	10K	5M 20K	10M 20K	15M 20K	20M 20K	20K	5C 20K	10C 20K	15C 20K	20C 20K
5Y 20K	5C 5Y 20K	10C 5Y 20K	15C 5Y 20K	20C 5Y 20K	5Y 20K	5M 5Y 20K	10M 5Y 20K	15M 5Y 20K	20M 5Y 20K	5M 20K	5C 5M 20K	10C 5M 20K	15C 5M 20K	20C 5M 20K
10Y 20K	5C 10Y 20K	10C 10Y 20K	15C 10Y 20K	20C 10Y 20K	10Y 20K	5M 10Y 20K	10M 10Y 20K	15M 10Y 20K	20M 10Y 20K	10M 20K	5C 10M 20K	10C 10M 20K	15C 10M 20K	20C 10M 20K
15Y 20K	5C 15Y 20K	10C 15Y 20K	15C 15Y 20K	20C 15Y 20K	15Y 20K	5M 15Y 20K	10M 15Y 20K	15M 15Y 20K	20M 15Y 20K	15M 20K	5C 15M 20K	10C 15M 20K	15C 15M 20K	20C 15M 20K
20Y 20K	5C 20Y 20K	10C 20Y 20K	15C 20Y 20K	20C 20Y 20K	20Y 20K	5M 20Y 20K	10M 20Y 20K	15M 20Y 20K	20M 20Y 20K	20M 20K	5C 20M 20K	10C 20M 20K	15C 20M 20K	20C 20M 20K

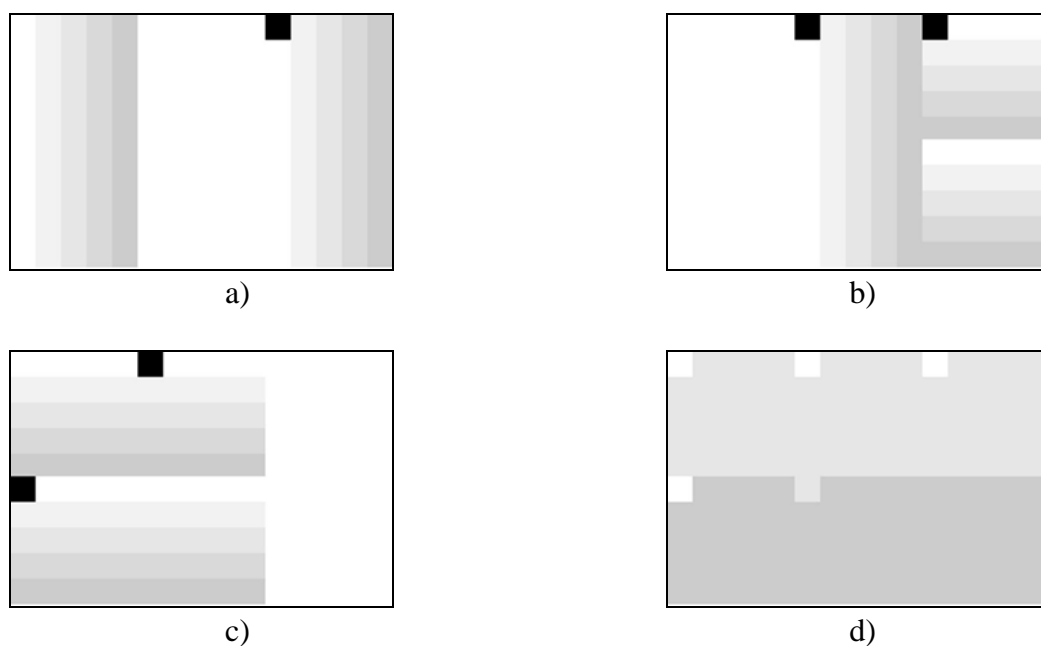
Pre poskladanie tabuliek na list formátu A4, so šírkou 274 mm a výškou 184 mm, bol opäť využitý grafický editor Photoshop. Bola tu nastavená veľkosť listu daného formátu. Medzi každou testovacou tabuľkou bola medzera 1 cm na šírku i na výšku. Z každého druhu papiera bol vytlačený jeden list. Testovacie obrazce boli pre potreby experimentov oddelené rezačkou.

Farebné obrazce vznikli pretlačou farieb CMYK štvornásobným prechodom tlačiarňou. Bolo potrebné z farebného obrazca separovať šedé výťažky pre každú farbu CMYK (Obr. 28 a Obr. 29). Tie boli následne uložené a použité pri skladaní testovacích obrazcov v grafickom editore Photoshop. Pre každú farbu bol vytvorený list, v ktorom boli usporiadané v šedej škále výťažky pre danú farbu podľa testovacieho obrazca. Celkovo teda bolo pripravených osem listov uložených ako súbory tif.



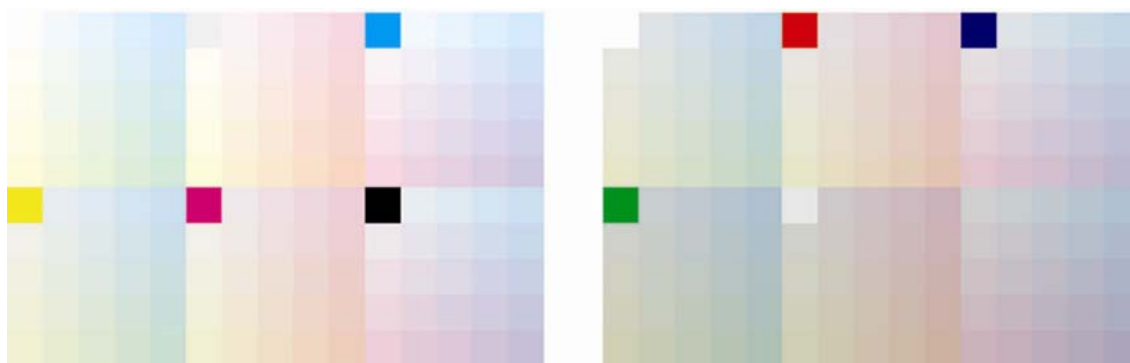


**Obr. 28** Šedé škály CMYK atramentov pre prvú tabuľku testovacieho obrazca: a) azúrová, b) pupurová, c) žltá, d) čierna.



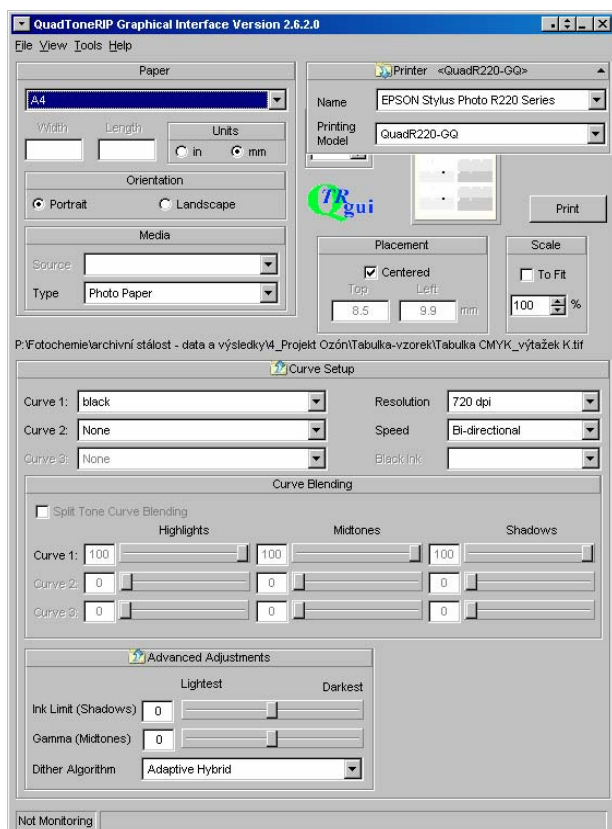
**Obr. 29** Šedé škály CMYK atramentov pre druhú tabuľku testovacieho obrazca: a) azúrová, b) pupurová, c) žltá, d) čierna.

Ako prvý bol tlačný azúrový atrament, druhý purpurový, ďalším v poradí bol žltý a ako posledný bol tlačný čierny atrament. Pri tlači bolo potrebné, aby jednotlivé atramenty dôkladne vyschli, preto sa po vytlačení každého atramentu muselo počkať aspoň hodinu. Tieto obrazce sa skladali z rôzneho percentuálneho zastúpenia jednotlivých atramentov, preto boli v testovacom obrazci vytvorené rôzne farby (Obr. 30).



Obr. 30 Testovací obrazec.

Preťah CMYK atramentov bola robená z uložených šedých škál pomocou RIPu. Nastavenie RIPu pred tlačou možno vidieť na Obr. 31.

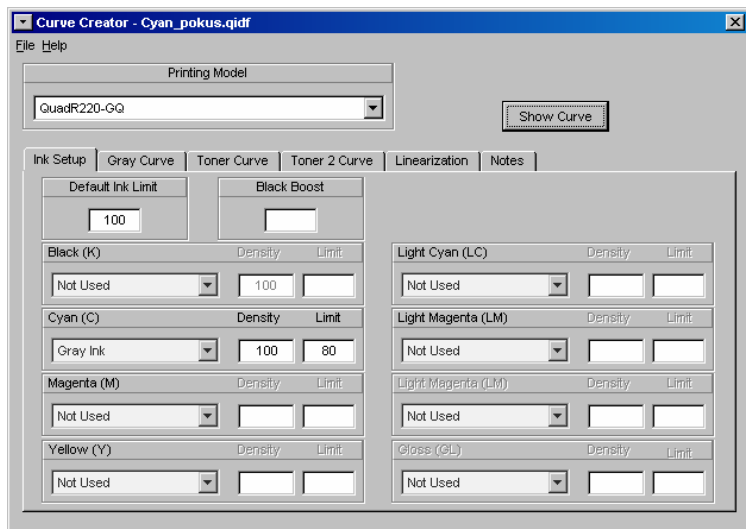


Obr. 31 Nastavenie programu Quad Tone RIP Graphical Interface pred tlačou čiernej.

Keďže sa testovacie obrazce tlačili farbivovými atramentmi ako tlačiareň bola zvolená farbivová tlačiareň Epson Stylus Photo R220. Pred tlačou musel byť zvolený obrázok a nami zvolený výťažok. Aby bol obrazec správne vytlačený, musel byť pre šedú škálu daného výťažku zvolený k nemu príslušný atrament, napr.: čierny výťažok mal byť tlačený čiernym atramentom. Táto funkcia sa nastavuje vo voľbe *Curve 1*, to znamená, že farba krivky musí súhlasiť s nahraným súborom. Ako *Curve 2* musí byť pri preťahi vždy nastavená voľba *None*.

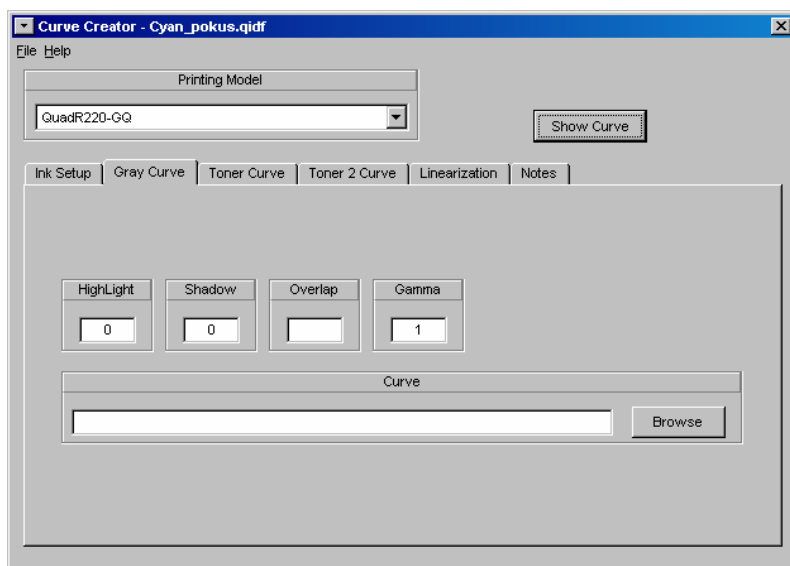
Aby mohla byť krivka *Curve 1* pre príslušnú farbu zvolená, musí byť najskôr vytvorená. V nastavení sa vyberie funkcia *Tools*/*Curve creation* a v nastavovaní sa pokračuje podľa Obr. 32. *Black Boost* je potrebné vymazať, aby nebol koniec krivky na 100 % nezávisle na nastavenej

hodnote *Limit*. Pre požadovanú farbu je zvolený *Gray Ink*, pretože výťažok je šedý, kde sa nastaví do okna *Density* hodnota 100 a do okna *Limit* hodnota 80.



**Obr. 32** Nastavenie programu *Quad Tone RIP Graphical Interface* pri tvorbe krivky cyan.

Takto nastavená krivka však nie je lineárna. Toto je ďalej potrebné nastaviť v záložke *Gray Curve*, kde sa v oknách *HighLight* a *Shadow* nastaví namiesto hodnôt 10 hodnoty 0 (Obr. 33). Takto vytvorenú krivku uložíme pod názvom farby, pre ktorú bola vytvorená.



**Obr. 33** Nastavenie krivky cyan tak, aby bola lineárna.

### 3.2.3.2 Vzorky pre test urýchleného starnutia

Pre test urýchleného starnutia boli testovacie obrazce pripravené spolu s testovacími obrazcami určenými pre štúdium vplyvu svetla a polutantov pri dlhodobom starnutí. Podrobný popis tlače testovacích obrazcov je opísaný v kapitole 3.2.3. Na jeden list papiera A4 bolo umiestnených osem tabuliek, teda štyri testovacie obrazce. Na test urýchleného starnutia bol použitý jeden testovací obrazec pozostávajúci z dvoch tabuliek (Obr. 30) z každého

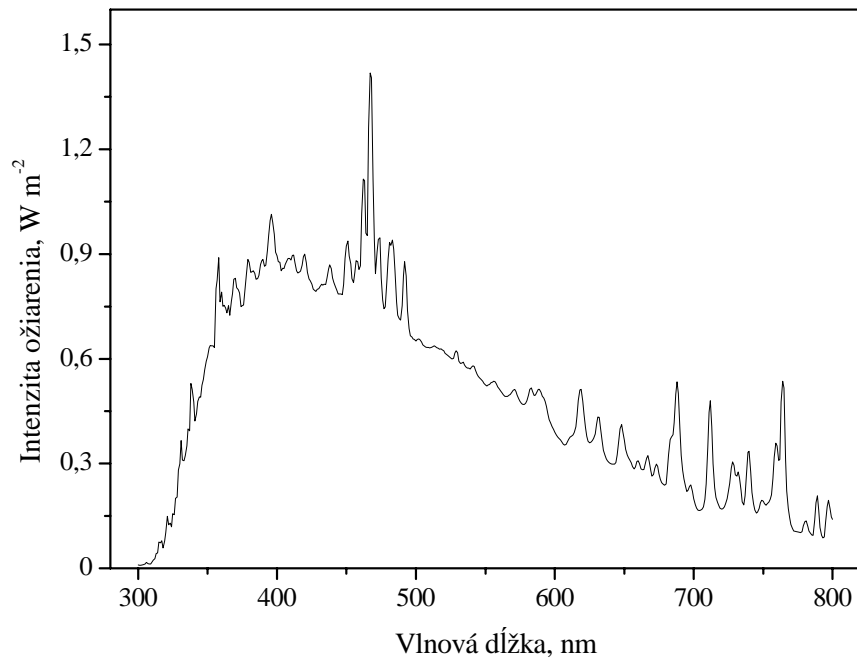
druhu papiera (kap. 3.1.4.3). Celkovo teda bolo skúmaných šesť testovacích obrazcov (dvaásť testovacích tabuliek).

Testovacie tabuľky boli oddelené rezačkou a umiestnené na dve čierne podložky so šírkou 200 mm a výškou 240 mm. Na jednu podložku bolo umiestnených šesť tabuliek (tri testovacie obrazce), vid' Obr. 36.

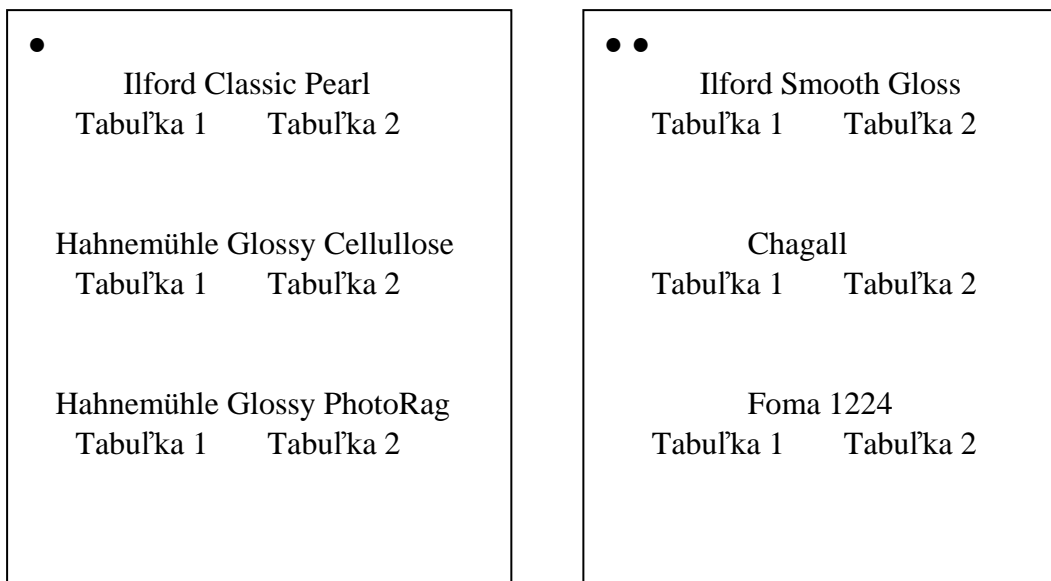
Takto pripravené a premerané testovacie obrazce boli exponované xenónovou výbojkou v Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-1-B/S (Obr. 34) intenzitou ožiarenia  $0,90 \text{ W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$  pri vlnovej dĺžke 420 nm. Časť UV žiarenia bola filtrovaná „okenným“ filtrom (window filter). Spektrum xenónovej výbojky v Q-SUN Xenon Test Chamber je vidieť na Obr. 35. Testovacie obrazce boli exponované dva razy po 4 hodinách, následne bol časový interval zvýšený na osem hodín. Vždy po 8 hodinách expozície boli čierne podložky s testovacími obrazcami vložené do Q-SUN Xenon Test Chamber v inej polohe, aby sa eliminovali prípadné nehomogenity intenzity ožiarenia. Východisková poloha je ilustrovaná na Obr. 36 (bodky boli vľavo hore), po 8 hodinách expozície boli čierne podložky prehodené (čierna podložka s dvomi bodkami bola umiestnená vľavo, podložka s jednou bodkou vpravo), po ďalších 8 hodinách boli čierne podložky otočené (bodky boli vpravo dole) a po ďalších 8 hodinách expozície boli čierne podložky s testovacími obrazcami opäť len prehodené (podložka s dvomi bodkami bola umiestnená vpravo, podložka s jednou bodkou vľavo). Po ďalších 8 hodinách expozície sa vzorky opäť dostali do východiskovej polohy, a zmeny polôh pokračovali v priebehu celého testu. Expozícia vzoriek prebiehala v časových intervaloch: 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 a 80 hodín. Po 80 hodinách expozície bol test urýchleného starnutia ukončený.



**Obr. 34** Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-1-B/S so vzorkami.



**Obr. 35** *Spektrum xenónovej výbojky v Q-SUN Xenon Test Chamber.*



**Obr. 36** *Umiestnenie testovacích tabuliek na čiernych podložkách*

## 4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

### 4.1 Hodnotenie degradácie inkjetových výtlačkov

Farbová odchýlka  $\Delta E^*_{ab}$ , je veličina vyjadrujúca zmenu farby atramentových farbív, možno ju vypočítať podľa vzťahu (11). Napriek tomu, že táto veličina neposkytuje informáciu o smere zmeny farby, je všeobecne uznávanou veličinou. Je postačujúca pre znázornenie farebných zmien študovaných výtlačkov.

Spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino boli na všetkých 990 políčkach testovacej škály merané odrazové spektrá a z nich počítané CIE  $L^*a^*b^*$  hodnoty. Rovnako boli merané i testovacie obrazce (Obr. 30). Z nameraných spektier boli vypočítané objemy farbových gamutov a z CIE  $L^*a^*b^*$  hodnôt farbové odchýlky  $\Delta E^*_{ab}$ .

V priebehu štúdia starnutia výtlačkov boli tiež merané intenzity ožiarenia ako aj intenzity osvetlenia. Za referenčný rám bol zvolený rám, v ktorom bol umiestnený fotocitlivý senzor zapojený na digitálny multimeter, pomocou ktorého boli zbierané hodnoty frekvencie korešpondujúcej s intenzitou ožiarenia. Meranie intenzít bolo robené pomocou rádiometrov (Obr. 37). Intenzity ožiarenia v UV-A oblasti spektra a intenzity osvetlenia boli merané X11 Optometrom so sondou XD-9502. Pre intenzity ožiarenia vo VIS oblasti spektra bol použitý X97 Irradiance Meter so sondou X9-7. Keďže intenzity ožiarenia a osvetlenia sa menia, merania boli uskutočňované každý týždeň. Meranie bolo do značnej miery závislé od počasia. Aby boli získané skutočne reálne podmienky v priebehu roka, v každom mesiaci boli intenzity merané za každého počasia.

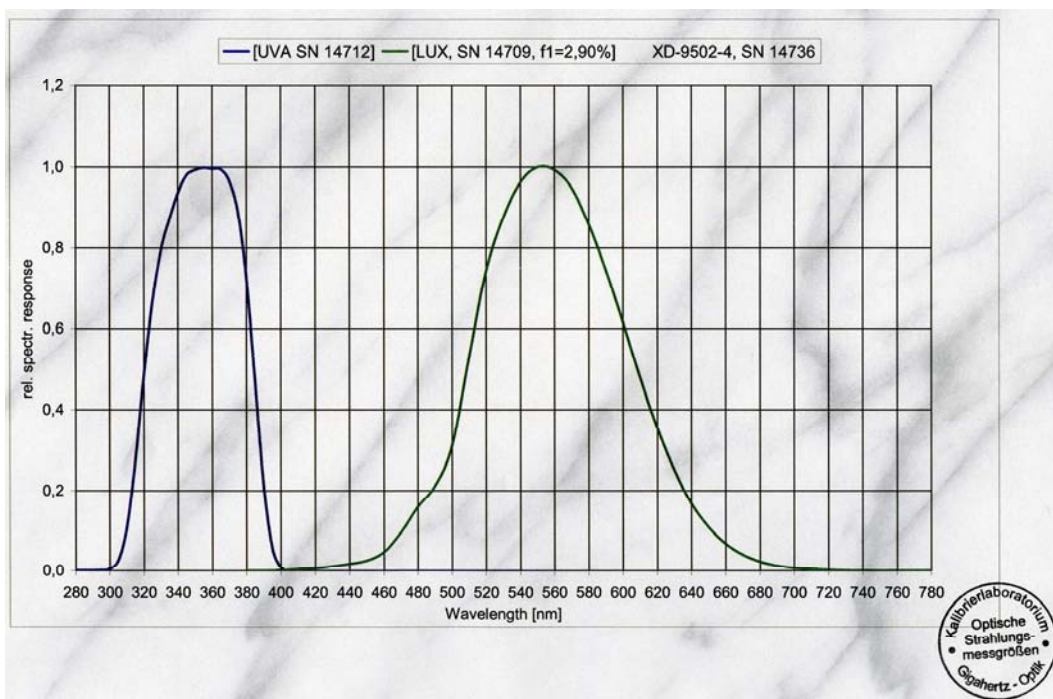


**Obr. 37** Rádiometre. Vľavo: X97 Irradiance Meter so sondou X9-7, vpravo: X11 Optometer so sondou XD-950.

Spektrálne odozvy oboch rádiometrov sú na Obr. 38 a Obr. 39. Na Obr. 38 je uvedená spektrálna citlivosť X97 Irradiance Metra so sondou X9-7, ktorého rozsah je od 400 do 800 nm (intenzita ožiarenia). Obr. 39 ilustruje spektrálnu odozvu X11 Optometra s kombinovanou sondou XD-950 pre UV-A (intenzita ožiarenia, modrá krivka) a VIS oblasti spektra (intenzita osvetlenia, zelená krivka).



Obr. 38 Spektrálna odozva rádiometra X97 Irradiance Meter so sondou X9-7.



Obr. 39 Spektrálna odozva rádiometra X11 Optometer so sondou XD-950.

Pre každý rám, vždy na siedmych rovnakých pozíciách (Obr. 40), boli merané v čase  $t$  nasledujúce hodnoty: intenzita ožiarenia v UV oblasti spektra  $E_c^{UV}$ , intenzita ožiarenia vo VIS oblasti spektra  $E_c^{VIS}$  a intenzita osvetlenia  $E$ . Namerané intenzity boli potrebné ku kalibrácii fotocitlivého senzora, pomocou ktorého boli merané hodnoty frekvencie  $\nu_t$ . Pomerom intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra a hodnoty frekvencie získanej v čase  $t$ , bol vypočítaný koeficient intenzity ožiarenia na 1 kHz pre UV oblasť spektra (13).

$$x^{UV} = \frac{E_e^{UV}}{\nu_i} \quad (13)$$

Rovnakým spôsobom bol získaný i koeficient intenzity ožiarenia na 1 kHz pre VIS oblasť spektra (14). Koeficient intenzity osvetlenia na 1 kHz bol vypočítaný pomerom intenzity osvetlenia a frekvencie (15).

$$x^{VIS} = \frac{E_e^{VIS}}{\nu_i} \quad (14)$$

$$y = \frac{E}{\nu_i} \quad (15)$$

Zo 6–9 meraní uvedených koeficientov, bola vypočítaná priemerná mesačná hodnota koeficientu. Zo zberaných hodnôt frekvencie fotocitlivého senzoru bola vypočítaná príslušná intenzita ožiarenia (16), (17) a osvetlenia (18). Intenzity ožiarenia, resp. osvetlenia boli vypočítané pre minútové intervaly ( $\Delta t_i$ ).

$$E_{e,i}^{VIS} = \bar{x}^{VIS} \cdot \nu_i \quad (16)$$

$$E_{e,i}^{UV} = \bar{x}^{UV} \cdot \nu_i \quad (17)$$

$$E = \bar{y} \cdot \nu_i \quad (18)$$

Zo získaných hodnôt intenzít ožiarenia a osvetlenia bola vypočítaná príslušná dávka ožiarenia (19), (20) a osvit (21).

$$H_{e,i}^{VIS} = E_{e,i}^{VIS} \cdot t_i \quad (19)$$

$$H_{e,i}^{UV} = E_{e,i}^{UV} \cdot t_i \quad (20)$$

$$H_i = E_i \cdot t_i \quad (21)$$

Integráciou jednotlivých dávok ožiarenia, resp. osvitú počas každého týždňa (10 080 min) boli získané celkové týždenné dávky ožiarenia (22), (23), resp. osvitú (24).

$$H_e^{VIS} = \sum_{i=1}^{10080} H_{e,i}^{VIS} \cdot \Delta t_i \quad (22)$$

$$H_e^{UV} = \sum_{i=1}^{10080} H_{e,i}^{UV} \cdot \Delta t_i \quad (23)$$

$$H = \sum_{i=1}^{10080} H_i \cdot \Delta t_i \quad (24)$$

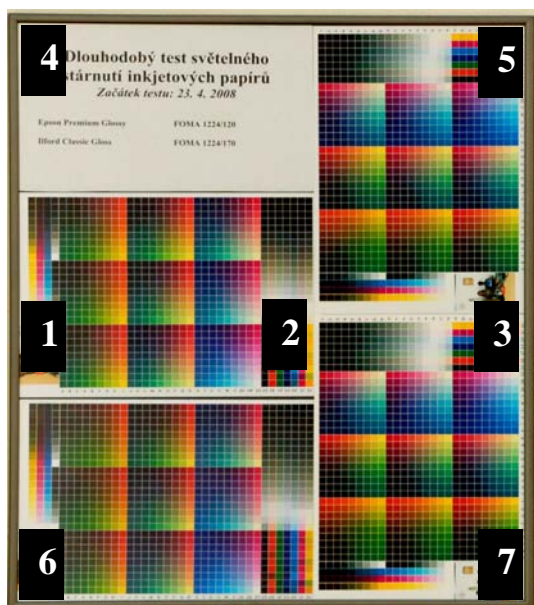
Pretože fotocitlivý senzor bol umiestnený iba v jednom ráme, z porovnávacích meraní intenzít ožiarenia a osvetlenia boli vypočítané prepočítavacie koeficienty pre ostatné rámy. Integrované hodnoty dávok ožiarenia a osvitú boli prepočítané príslušnými koeficientmi pre každý rám, ktoré boli získané podielom priemerného mesačného koeficientu intenzity ožiarenia, resp. osvetlenia na 1 kHz príslušného rámu a koeficientu ožiarenia, resp. osvetlenia na 1 kHz referenčného rámu (25), (26), (27).

$$x_j^{VIS} = \frac{\bar{x}_j^{VIS}}{\bar{x}^{VIS}} \quad (25)$$

$$x_j^{UV} = \frac{\bar{x}_j^{UV}}{\bar{x}^{UV}} \quad (26)$$

$$y_j = \frac{\bar{y}_j}{\bar{y}} \quad (27)$$



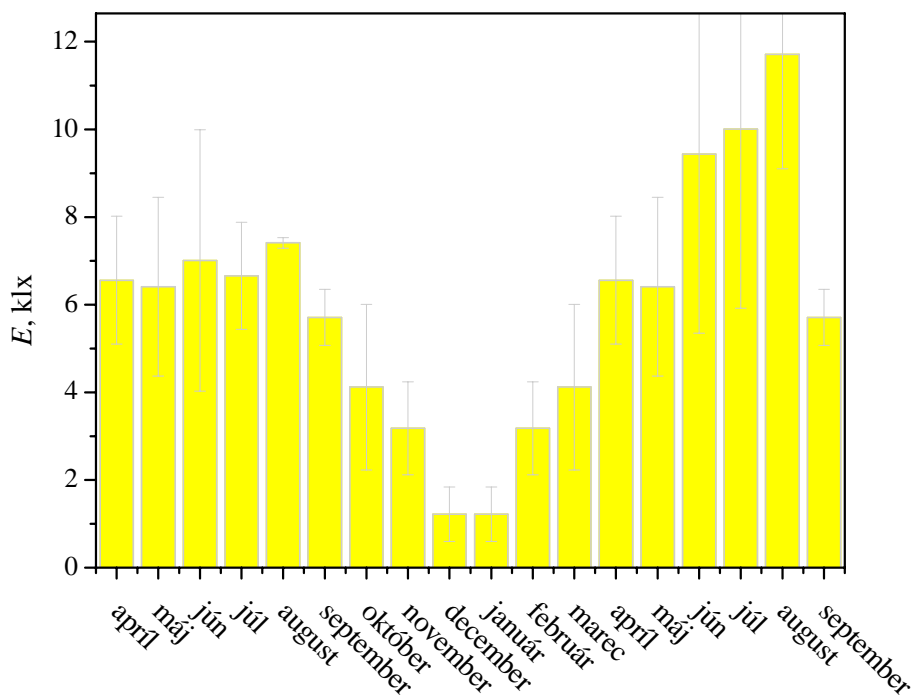


Obr. 40 Pozície, na ktorých boli merané rámy s testovacími škálami.

## 4.2 Vplyv svetla pri dlhodobom starnutí

### 4.2.1 Svetelné podmienky

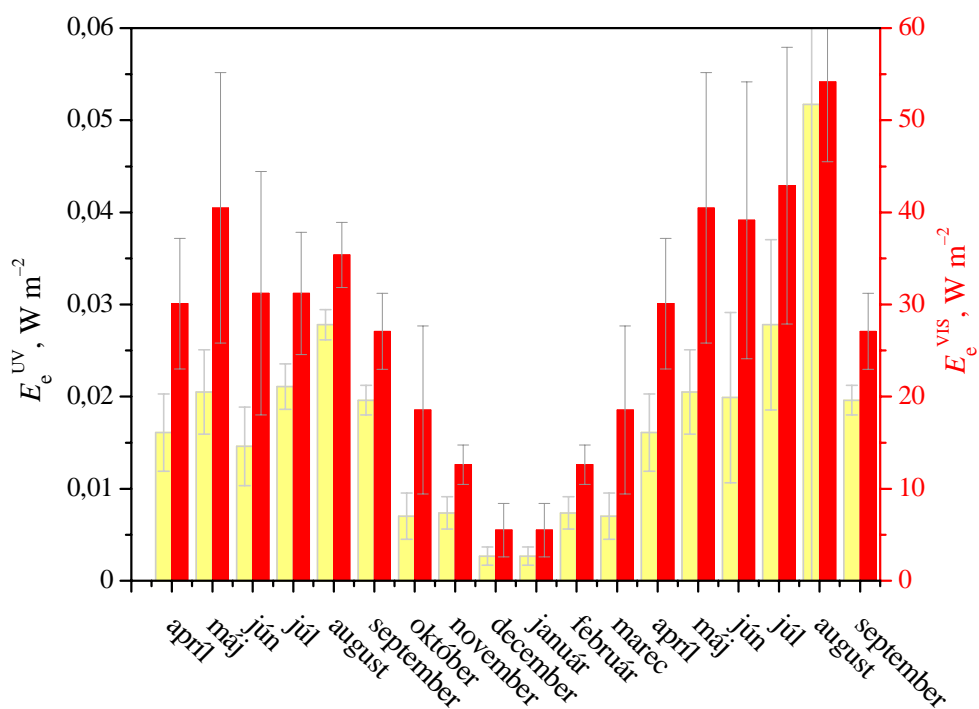
Test dlhodobého štúdia starnutia inkjetových výtlačkov vplyvom svetla prebiehal od apríla 2008 do začiatku októbra 2009. Konkrétne hodnoty intenzít osvetlenia vynesené v závislosti na mesiacoch, počas ktorých test prebiehal, možno vidieť na Obr. 41. Z nameraných výsledkov možno konštatovať, že v zimných mesiacoch bola intenzita osvetlenia nízka, naopak najvyššie hodnoty boli dosiahnuté v letných mesiacoch. Ročný priemer bol  $4,73 \pm 1,30$  klx, priemerná hodnota v mesiacoch apríl až september bola  $7,47 \pm 4,90$  klx. Priemerná hodnota v mesiacoch október až marec bola  $2,84 \pm 1,89$  klx.



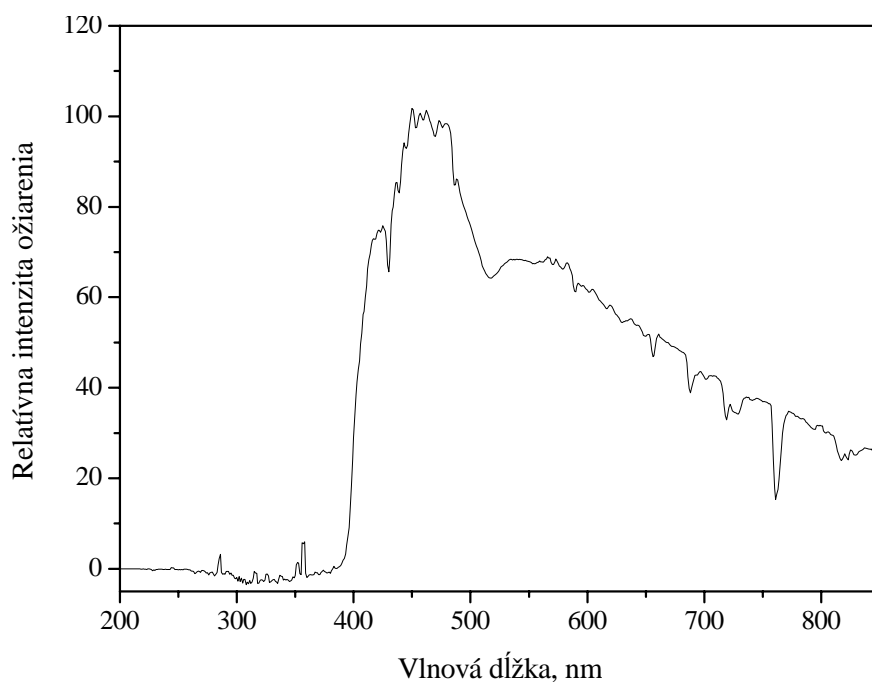
**Obr. 41** Závislosť intenzít osvetlenia na mesiacoch.

V grafe (Obr. 42) je vynesená závislosť intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra  $E_e^{UV}$  a intenzity ožiarenia vo VIS oblasti spektra  $E_e^{VIS}$  na mesiacoch, počas ktorých prebiehal test dlhodobého starnutia inkjetových výtlačkov. Najvyššie hodnoty intenzít boli dosiahnuté opäť v letných mesiacoch. Ročný priemer intenzít ožiarenia vo VIS oblasti spektra bol  $22,4 \pm 0,65 \text{ W m}^{-2}$ ; priemerná hodnota v mesiacoch apríl až september bola  $35,78 \pm 1,50 \text{ W m}^{-2}$ . Priemerná hodnota v mesiacoch október až marec bola  $12,22 \pm 0,91 \text{ W m}^{-2}$ . Ročný priemer intenzít ožiarenia v UV oblasti spektra bol  $1,28 \cdot 10^{-2} \pm 0,24 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$  priemerná hodnota v mesiacoch apríl až september bola  $2,29 \cdot 10^{-2} \pm 0,45 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$ . Priemerná hodnota v mesiacoch október až marec bola  $7,68 \cdot 10^{-3} \pm 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-2}$ .

Ako možno vidieť na grafe (najmä augustové hodnoty) intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra  $E_e^{UV}$  sú najmä v letných mesiacoch výrazne vyššie ako v zimných mesiacoch. Tento jav je spôsobený tým, že v letných mesiacoch boli otvárané ventilačné okná na chodbe, kde boli umiestnené testovacie škály. Keďže okenné tabule sú z polykarbonátu zachytávajúceho UV žiarenie, pri ich otvorení intenzita ožiarenia  $E_e^{UV}$  výrazne stúpla. Spektrum denného svetla filtrované polykarbonátovými okennými tabuľami je na Obr. 43. Toto spektrum bolo merané spektrometrom Ocean Optics Red Tide USB650 a softwaru Ocean Optics Spectra Suite. V tomto teste bol študovaný vplyv svetla na stálosť inkjetových výtlačkov a vzorky boli umiestnené v ráme so sklom, preto bolo merané spektrum svetla, ktoré bolo ešte filtrované sklom.



**Obr. 42** Závislosť intenzity ožiarenia v UV i vo VIS oblasti spektra na mesiacoch, počas trvania testu.



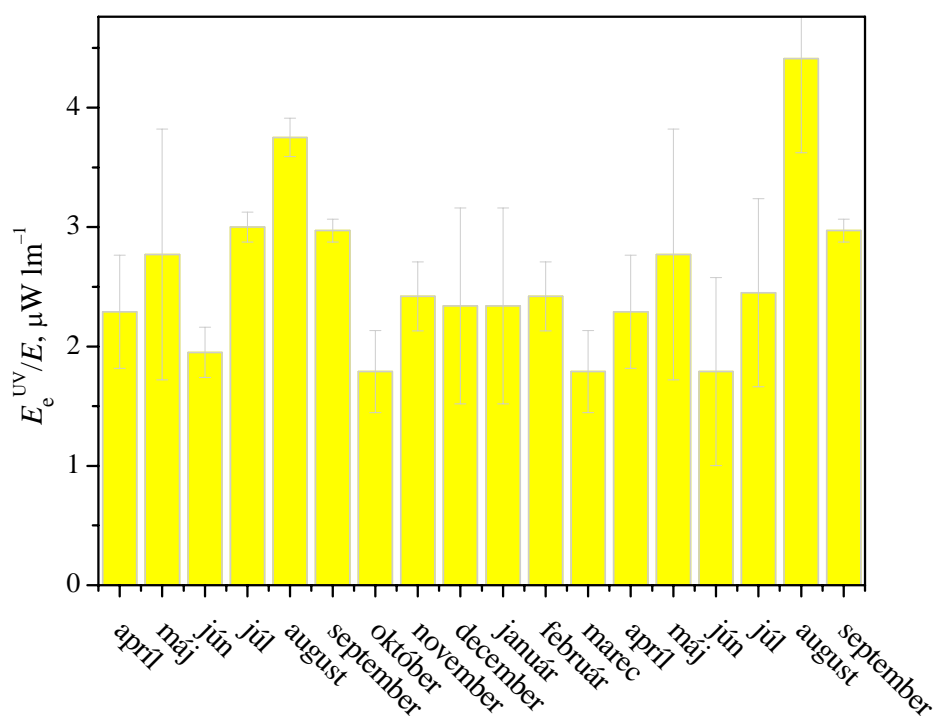
**Obr. 43** Spektrum denného svetla filtrované polykarbonátovými okennými tabuľami.

Celková dávka ožiarenia i celkový osvit sa menili v závislosti od umiestnenia rámu na slnečnej chodbe. Pre každú testovaciu škálu sú v tabuľke (Tabuľka 6) uvedené konkrétne hodnoty dávky ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvitu ( $H$ ).

**Tabuľka 6** Hodnoty celkových dávok ožiarenia a osvetlu.

Rám č.	Testovacia škála	$H_e^{UV}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{VIS}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H$ [ $\text{klx h}$ ]
1	Epson Premium Glossy	287,0	$4,10 \cdot 10^2$	$2,41 \cdot 10^4$
	Ilford Classic Gloss			
	Foma 1224			
2	Epson Archival Matt	261,2	$4,06 \cdot 10^2$	$2,40 \cdot 10^4$
	Ilford Smooth Gloss			
	Ilford Smooth Pearl			
	Chagall			

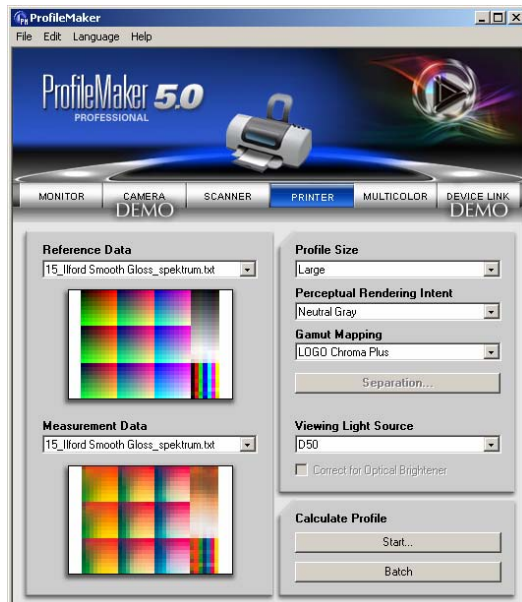
Z grafu (Obr. 44) možno vidieť, že obsah UV zložky sa výrazne mení v závislosti na ročných obdobiach. Väčší obsah UV zložky bol dosiahnutý v mesiacoch júl, august, september, čiže v letných mesiacoch. Dôležité je posúdiť podiel UV žiarenia v dopadajúcom žiarení. Tento podiel sa obvykle vyjadruje ako pomer intenzity ožiarenia k intenzite osvetlenia. Ukázalo sa, že tento pomer bol počas všetkých dlhodobých experimentov veľmi nízky (priemerne  $2,58 \pm 0,50 \mu\text{W lm}^{-1}$ ), a zďaleka nedosiahol hraničnú hodnotu  $50 \mu\text{W lm}^{-1}$ , nad ktorou by mohlo dochádzať k výraznému poškodeniu všetkých dokumentov, vrátane fotografií.

**Obr. 44** Zmena pomeru intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra k intenzite osvetlenia v závislosti na mesiacoch.

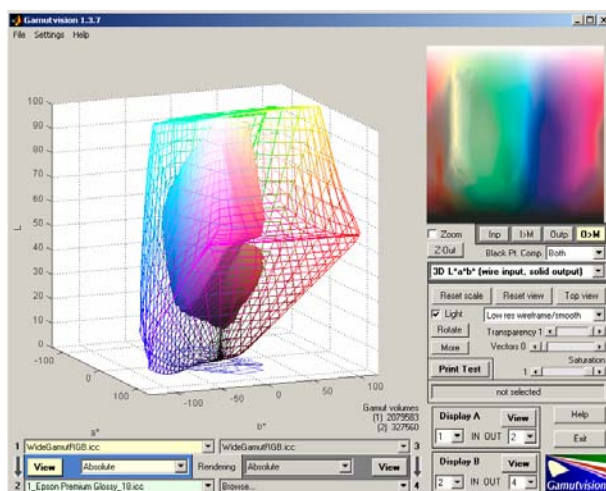
#### 4.2.2 Hodnotenie testovacích škál

Testovacie škály pripravené podľa postupu uvedeného v kapitole 3.2.1 boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino odmerané pred expozíciou. Meranie odrazových spektier v rozsahu 380 až 730 nm bolo uskutočňované bez použitia polarizačného filtra. Počas 534 dní expozície svetlom boli vzorky pravidelne merané rovnakým spôsobom ako pred expozíciou. Po 534 dňoch expozície bol dlhodobý test starnutia vplyvom svetla ukončený.

Z vypočítaných hodnôt CIE  $L^*a^*b^*$  boli výpočtom podľa rovnice (11) získané hodnoty  $\Delta E^*_{ab}$ . Z odrazových spektier boli programom Gretag Macbeth™ ProfileMaker 5.0.5 počítané ICC profily (Obr. 45). Vizualizáciou ICC profilov programom Imatest LLC Gamutvision™ boli získané farbové gamuty a objemy farbových gamutov (Obr. 46).



Obr. 45 Nastavenie programu Gretag Macbeth™ ProfileMaker 5.0.5 pri počítaní profilov.



Obr. 46 Nastavenie Imatest LLC Gamutvision™ pri vizualizácii ICC profilov.

V tomto teste boli za rovnakých svetelných podmienok študované testovacie škály vytlačené na siedmych rôznych druhoch médií, uvedených v kapitole 3.1.4.1. Už po relatívne krátkom čase bolo možno vidieť značný rozdiel v svetlostálosti, podľa degradácie jednotlivých výtlačkov.

Tabuľka 7 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvitu ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času testovacie škály vystavené. Tieto hodnoty platia pre testovacie škály vytlačené na papieri Ilford Classic Gloss, Epson Premium Glossy a Foma 1224, ktoré boli umiestnené v spoločnom ráme. Počet dní

expozície zodpovedá časovému intervalu, v ktorom boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino merané jednotlivé testovacie škály.

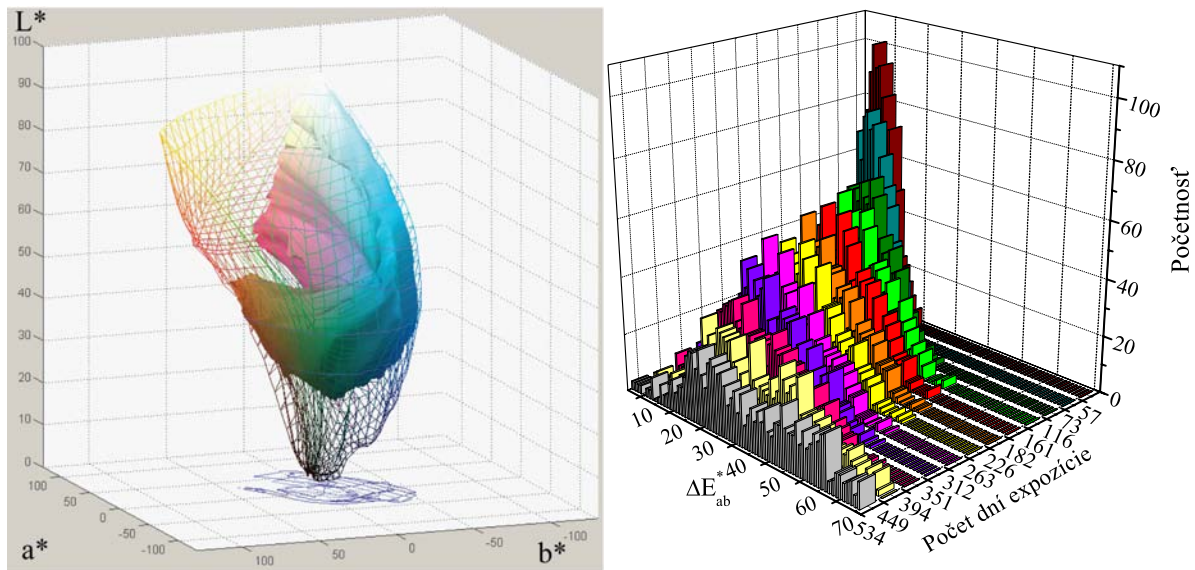
**Tabuľka 7** Hodnoty dávok ožiarenia a osvetlenia.

Počet dní expozície	$H_e^{\text{VIS}}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{\text{UV}}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H$ [klx h]
57	51,98	28,15	3146,93
73	71,93	37,34	4306,64
116	112,45	58,78	6667,18
161	135,89	72,30	8062,52
182	142,99	74,89	8472,47
226	148,57	77,39	8812,62
263	150,29	78,36	8927,27
312	157,99	82,81	9432,24
351	184,55	93,99	11006,74
394	237,44	127,37	13975,43
449	299,34	174,42	17824,19
534	410,15	286,12	24127,27

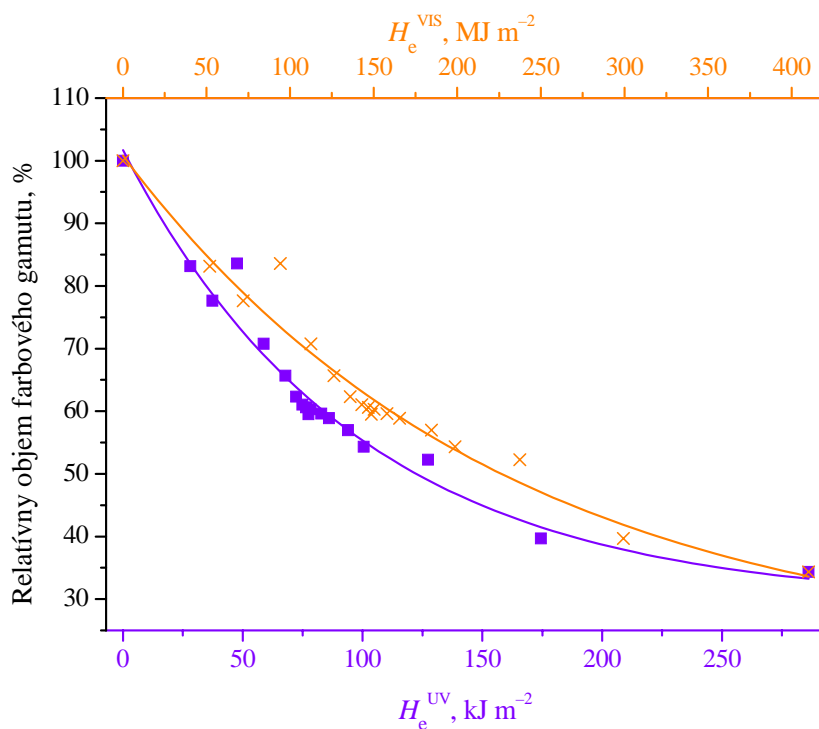
Zmenu objemu farebného gamutu na prijímacom médiu Ilford Classic Gloss demonštruje Obr. 47. Pred expozíciou bol farebný gamut štvornásobne väčší ako po 534 dňoch expozície. Je možné vidieť, že najväčší úbytok zaznamenali žltá a purpurová farba. Naopak, najstabilnejšou farbou bola azúrová, i keď aj pri tejto farbe došlo k určitému úbytku objemu.

Na Obr. 47 je vidieť početnosť farebných odchýlok, opäť na papieri Ilford Classic Gloss. Z grafu je vidieť, že počas prvých 57 dní expozície boli najpočetnejšie farebné odchýlky  $\Delta E_{ab}^* = 8$ . Na základe delenia farebných odchýlok v tabuľke (Tabuľka 3) teda možno konštatovať, že počas prvých 57 dní expozície bolo možné pozorovať farebný rozdiel, i keď nebolo možné priame porovnanie s referenčnou testovacou škálou. Počas ďalších dní expozície sa farebná odchýlka posúvala k stále vyšším hodnotám, farebný rozdiel bol výrazný a pozorovateľný voľným okom.

Pokles relatívneho objemu farebného gamutu v závislosti na dávke ožiarenia v UV i vo VIS oblasti spektra je znázornený na Obr. 48. Úbytok objemu farebného gamutu bol približne 60 %.



**Obr. 47** Vľavo: zmena farbového gamutu na papieri Ilford Classic Gloss pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 7).

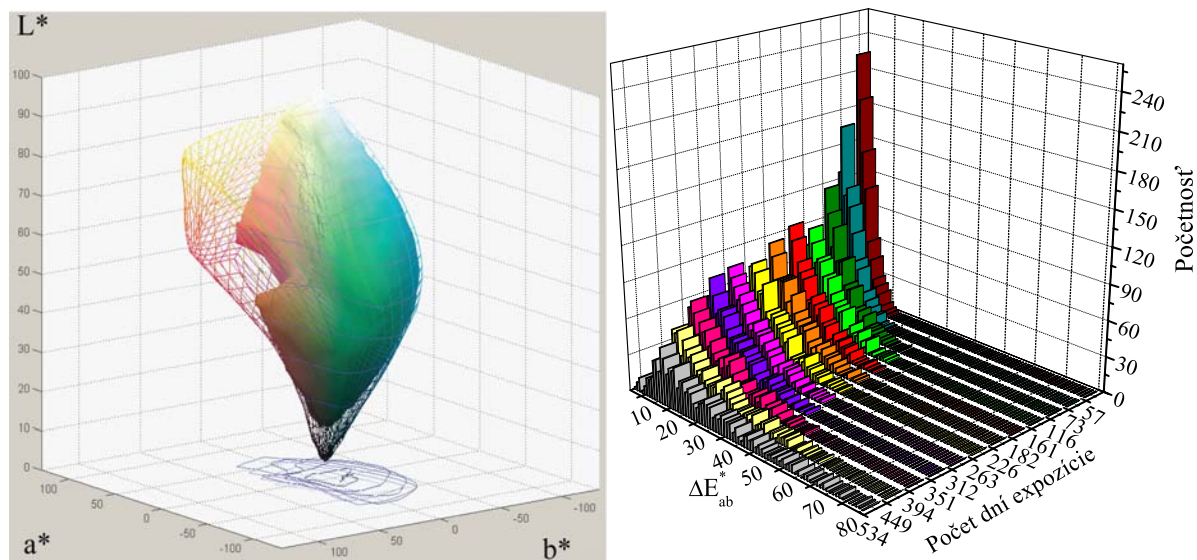


**Obr. 48** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu na papieri Ilford Classic Gloss v závislosti na dávke ožiarenia vo VIS i UV oblasti spektra.

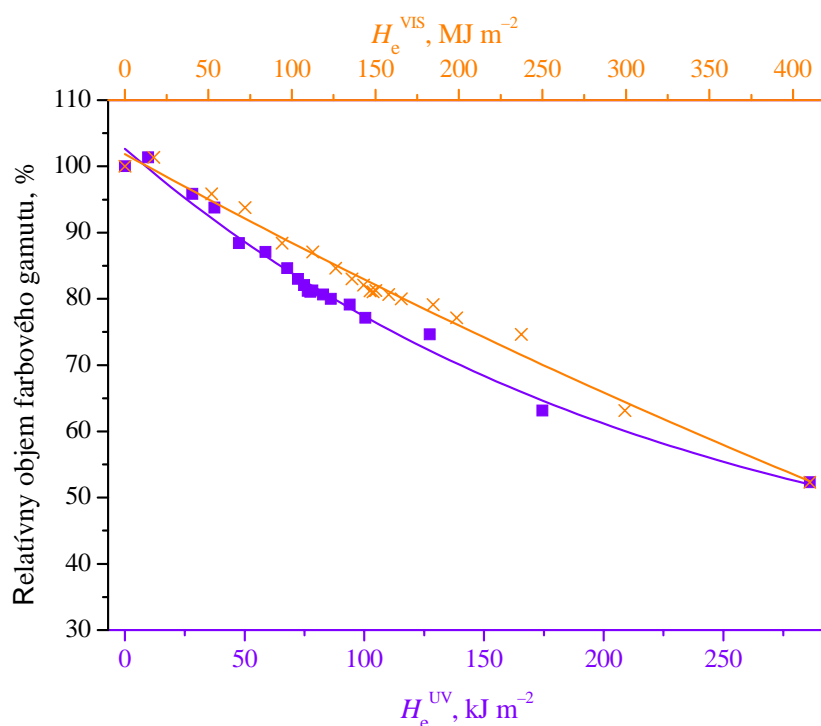
Pri gamute na papieri Epson Premium Glossy (Obr. 49) je viditeľný úbytok najmä žltého atramentu a o niečo menej purpurového atramentu. Azúrový atrament možno považovať i na tomto prijímacom médiu za stabilný voči svetelnej degradácii. Možno tiež konštatovať, že objem farbového gamutu po 534 dňoch expozície klesol o viac ako polovicu pôvodného objemu, čiže objemu gamutu pred expozíciou (Obr. 50).



Na grafe (Obr. 49) vidieť početnosť farbových odchýlok na papieri Epson Premium Glossy. Je tu vidieť ako s narastajúcou dávkou ožiarenia vo VIS i UV oblasti spektra (počtom dní expozície) rastie i farbová odchýlka. Po 534 dňoch expozície bola farbová odchýlka väčšia ako 80.



**Obr. 49** Vľavo: zmena farbového gamutu na papieri Epson Premium Glossy pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 7).

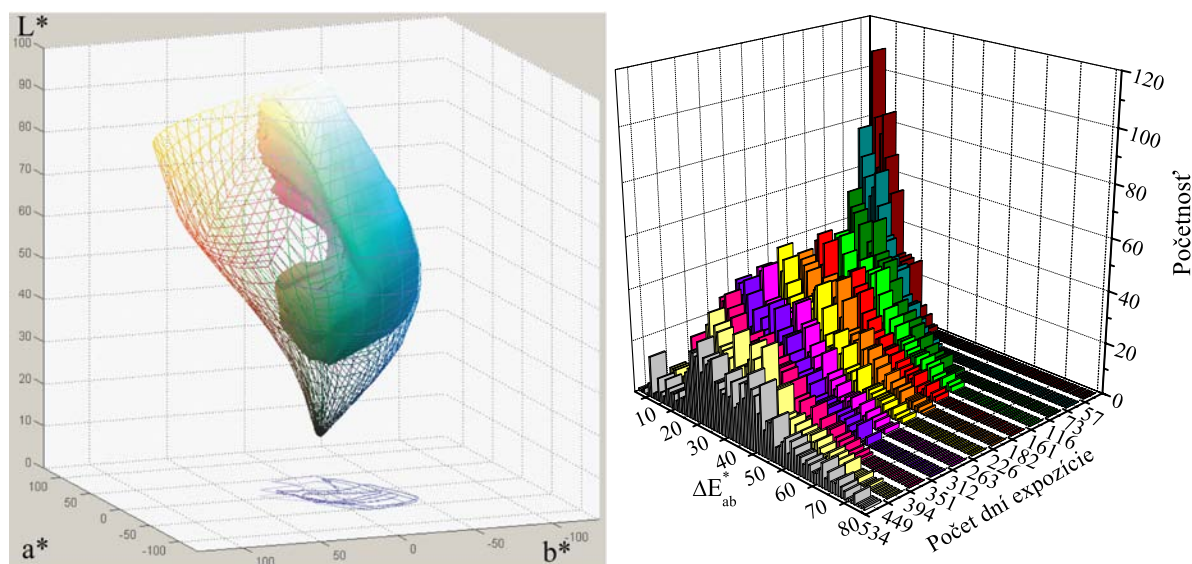


**Obr. 50** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu na papieri Epson Premium Glossy v závislosti na dávke ožiarenia.

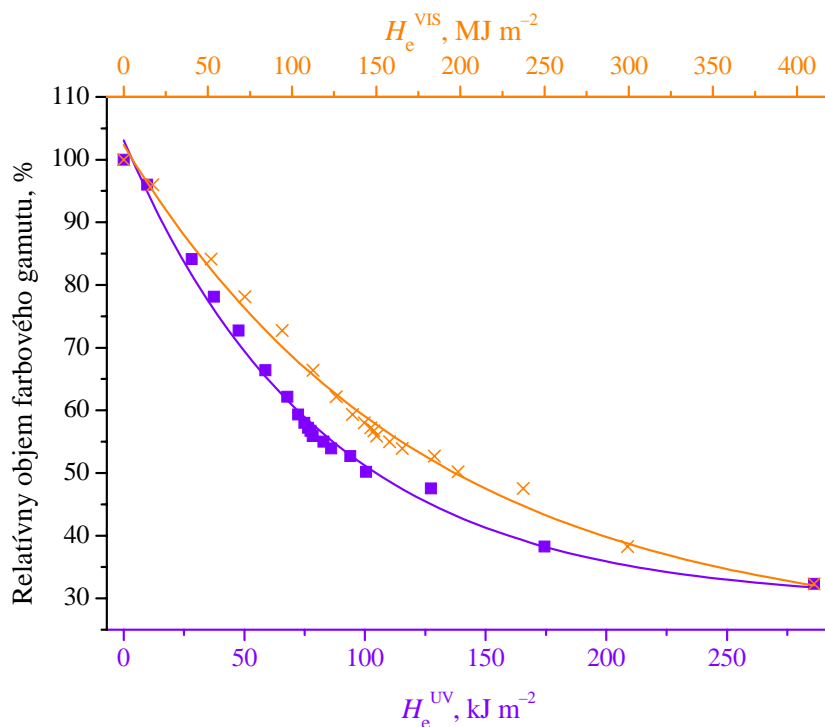


Na papieri Foma nebol úbytok farbového gamutu až tak dramatický ako na papieri Ilford Classic Gloss, ale i tak možno konštatovať, že bol značný. Z Obr. 51 možno opäť vidieť, že najviac degradoval žltý a purpurový atrament a najstabilnejšie sa choval práve azúrový atrament. Objem farbového gamutu klesol až na 30 % pôvodného objemu farbového gamutu. Úbytok objemu farbového gamutu na papieri Foma 1224 je vidieť na Obr. 52, kde je znázornená závislosť relatívneho objemu farbového gamutu na dávke ožiarenia vo viditeľnej i UV oblasti spektra.

V 3-D grafe na Obr. 51 je vynesená početnosť farbových odchýlok v závislosti na počte dní, počas ktorých bola testovacia škála vystavená pôsobeniu slnečného žiarenia. Na konci expozície, po ukončení dlhodobého testu svetlostálosti, bola farbová odchýlka opäť väčšia ako 80. I tu možno vidieť, že počas prvých 57 dní expozície slnečným žiarením boli najpočetnejšie farbové odchýlky  $\Delta E_{ab}^* \leq 7$ . V prvých 21 dňoch expozície bolo potrebné priame porovnanie s referenčnou testovacou škálou, aby bol viditeľný farebný rozdiel (Tabuľka 3). V nasledujúcich dňoch už bol farebný rozdiel viditeľný i bez priameho porovnania testovacích škál. Možno vidieť, že po 73 dňoch expozície slnečným žiarením bola testovacia škála už značne zdegradovaná, pretože farbové odchýlky dosahujú hodnotu väčšiu ako 30, a táto hranica sa narastajúcim počtom dní expozície stále posúvala k vyšším hodnotám.



**Obr. 51** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu na papieri Foma 1224 pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 7).



**Obr. 52** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu na papieri Foma 1224 v závislosti na dávke ožiarenia.

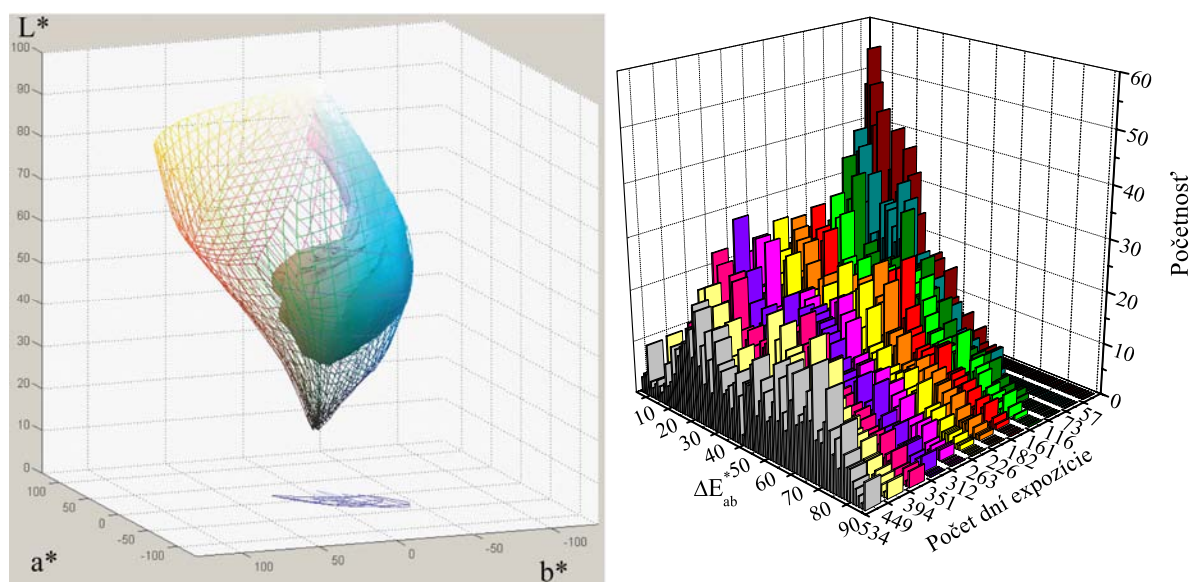
Tabuľka 8 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{\text{VIS}}$ ) i UV ( $H_e^{\text{UV}}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvitu ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času testovacie škály vystavené. Tieto hodnoty platia pre testovacie škály vytlačené na papieri Epson Archival Matt, Ilford Smooth Gloss, Ilford Smooth Pearl a Chagall biely, ktoré boli umiestnené v spoločnom ráme. Počet dní expozície opäť zodpovedá časovému intervalu, v ktorom boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino merané jednotlivé testovacie škály.

**Tabuľka 8** Hodnoty dávok ožiarenia a osvitu.

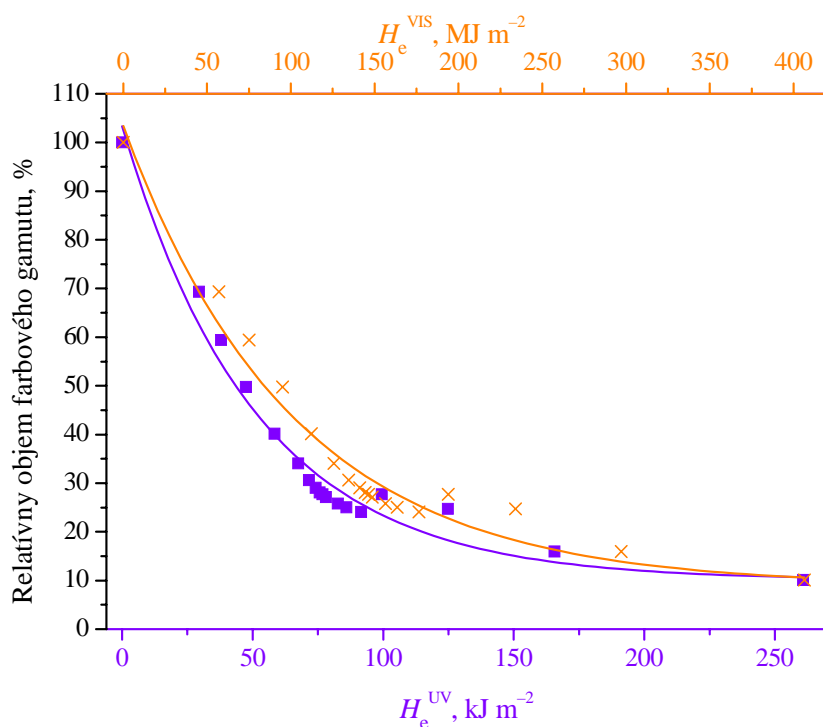
Počet dní expozície	$H_e^{\text{VIS}}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{\text{UV}}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H$ [klx h]
57	57,09	29,37	3213,84
73	75,06	37,89	4337,34
95	95,12	47,40	5592,01
116	112,36	58,41	6625,31
161	134,57	71,51	7948,36
182	141,01	74,14	8357,52
226	146,42	76,76	8708,28
263	148,69	78,02	8850,33
312	156,46	82,63	9374,68
351	176,45	91,52	10647,84
394	234,12	124,71	13872,82
449	297,08	165,65	17663,64
534	406,40	260,79	23981,48

Degradáciu jednotlivých farieb možno vidieť na zmene objemu gamutu. Na Obr. 53 je viditeľný pokles objemu farbového gamutu na papieri Epson Archival Matt po expozícii. Úbytkom všetkých troch farieb (žltej, purpurovej i azúrovej) sa zmenšil objem farbového gamutu približne desaťnásobne. Po ukončení dlhodobého testu svetlostálosti výtlačkov sa dá povedať, že testovacia škála vytlačená na papier Epson Archival Matt zdegradovala najrýchlejšie a úbytok objemu farbového gamutu bol najväčší. To možno vidieť aj na Obr. 54, kde je znázornený priebeh úbytku farbového gamutu na dávke ožiarenia vo viditeľnej i UV oblasti. Pokles objemu farbového gamutu na tomto papieri bol až 90 %. Po skončení dlhodobého testu bol teda objem farbového gamutu iba 10 % z pôvodného objemu gamutu, a možno povedať, že tento zostávajúci objem bol tvorený najmä azúrovým atramentom (viď Obr. 53).

Na grafe početnosti farbových odchýlok (Obr. 53) možno pozorovať, ako rýchlo začala testovacia škála na papieri Epson Archival Matt degradovať. Už po 57 dňoch expozície bola farbová odchýlka väčšia ako 55. To znamená, že v období, kedy testovacie škály na iných druhoch papierov ešte len začali degradovať, bol už úbytok objemu farbového gamutu na papieri Epson Archival Matt 40 %. Po skončení expozície slnečným žiarením dosahovala farbová odchýlka hodnotu až 94.



**Obr. 53** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu na papieri Epson Archival Matt pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: Početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 8).

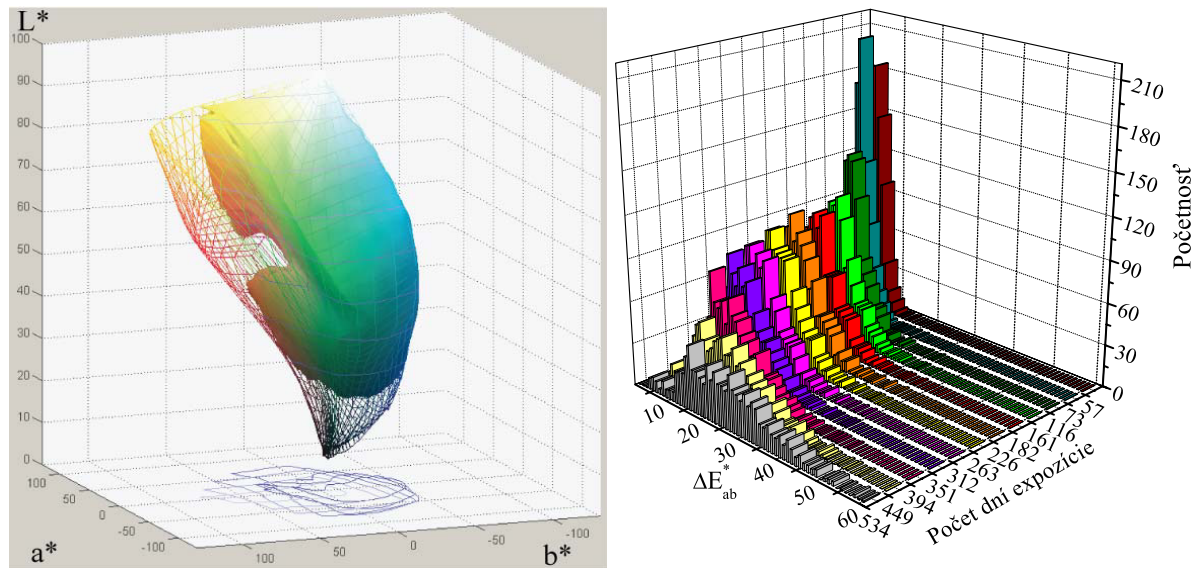


**Obr. 54** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu na papieri Epson Archival Matt v závislosti na dávke ožiarenia.

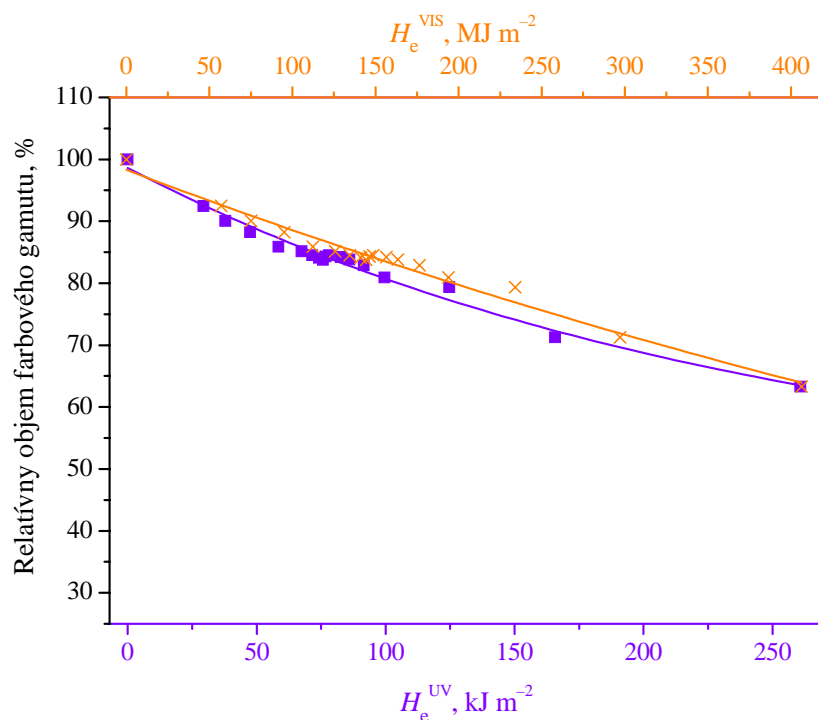
Na papieri Ilford Smooth Gloss objem farbového gamutu po expozícii svetlom poklesol, v porovnaní s ostatnými študovanými testovacími škálami, o menej ako polovicu. Potvrďuje to i Obr. 55, kde žlté, azúrové a purpurové farbivo v tomto prípade degradovali približne v rovnakom rozsahu, tzn. úbytok jednotlivých farieb z objemu farbového gamutu bol rovnaký.

Obr. 56 ilustruje pokles objemu farbového gamutu na papieri Ilford Smooth Gloss v závislosti na dávke ožiarenia vo VIS i UV oblasti spektra. Tento pokles nie je tak dramatický ako v predchádzajúcom prípade, na papieri Epson Archival Matt. Úbytok objemu farbového gamutu bol teda 30 % z pôvodného objemu farbového gamutu.

Počnosť farbových odchýlok je ilustrovaná na Obr. 55. Farbové odchýlky po skončení dlhodobého testu svetlostályosti nadobudli hodnotu 64. Možno teda povedať, že testovacia škála vytlačená na papieri Ilford Smooth Gloss bola i po 534 dňoch expozície svetlom relatívne stabilná.



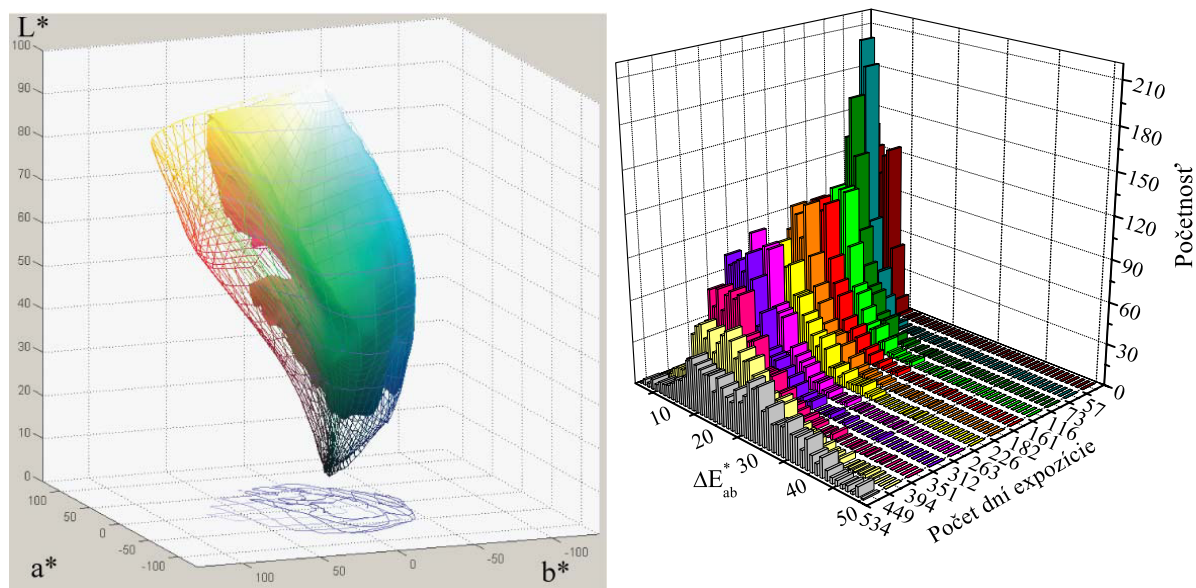
**Obr. 55** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu na papieri Ilford Smooth Gloss pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: Početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 8)



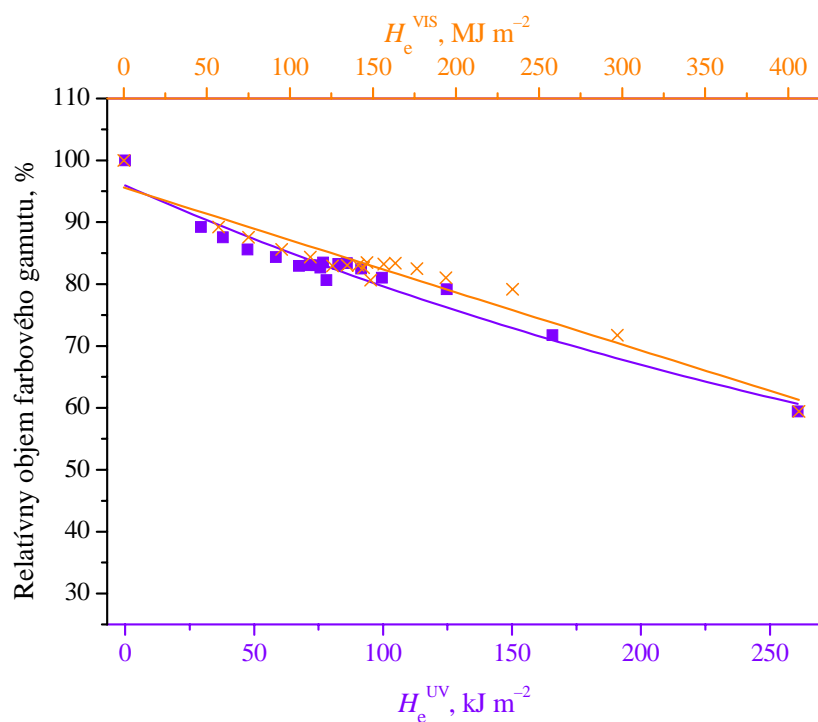
**Obr. 56** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu na papieri Ilford Smooth Gloss v závislosti na dávke ožiarenia.

Pri porovnaní farebných gamutov na Obr. 55 a Obr. 57 možno povedať, že tieto dva papiere sa pri degradácii vplyvom svetla chovali veľmi podobne. Veľkosť gamutov pred expozíciou bola takmer rovnaká a úbytok objemov gamutov z oboch papierov bol tiež takmer identický. Rovnakú situáciu môžeme vidieť i na Obr. 58, kde je znázornená závislosť poklesu relatívneho objemu farebného gamutu na dávke ožiarenia vo VIS i UV oblasti spektra, a na Obr. 57, kde je ilustrovaná početnosť farebných odchýlok.





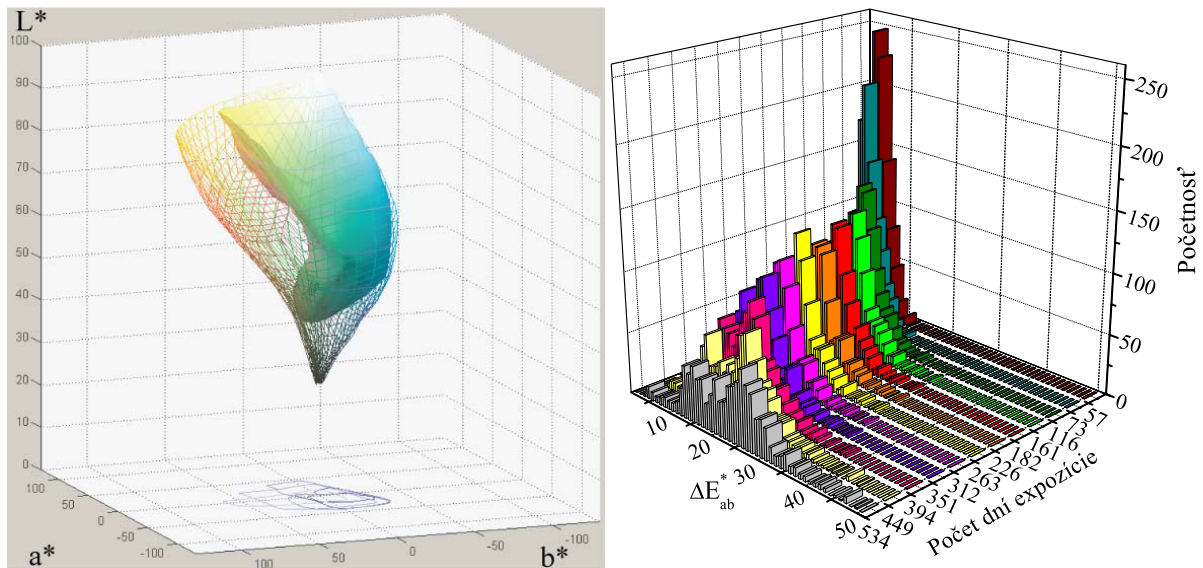
**Obr. 57** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu na papieri Ilford Smooth Pearl pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: Početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 8).



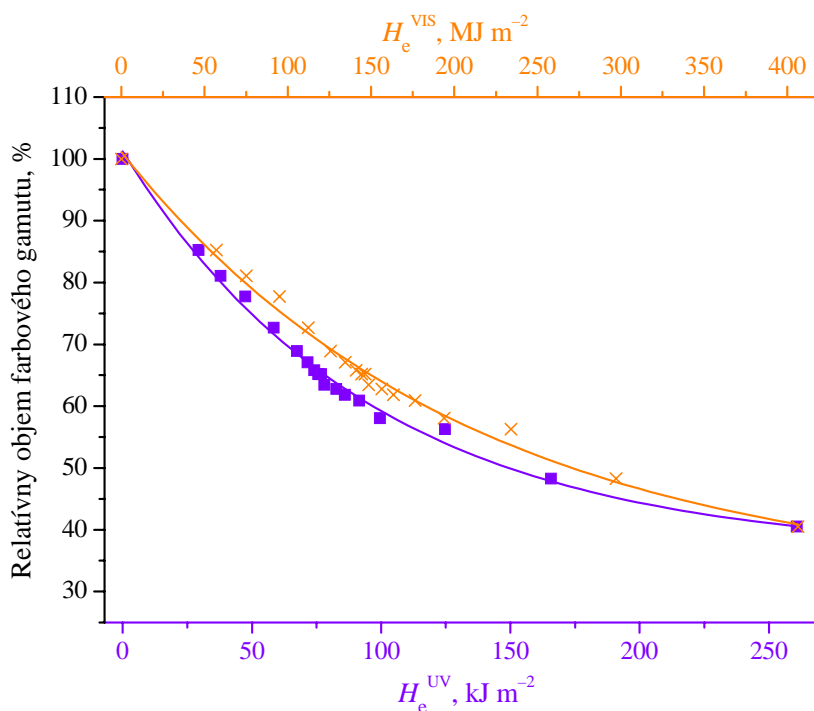
**Obr. 58** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu na papieri Ilford Smooth Pearl v závislosti na dávke ožiarenia.

Posledným hodnoteným v tomto teste je papier Chagall biely. Výsledky tohto papiera boli prekvapujúce, keďže sa nejedná o fotopapier, ale iba o ofsetový kartón bez UV absorbérov. Predpokladala sa veľmi rýchla degradácia jednotlivých farbív, napriek tomu možno tento papier pokladať za relatívne stabilný voči svetlu. Obr. 59 znázorňuje, že najväčší pokles opäť zaznamenalo žlté a purpurové farbivo a najmenší úbytok bol pri azúrovom farbive. Objem farebného gamutu nebol príliš veľký ani pred expozíciou, čo je spôsobené práve tým, že sa

nejedná o fotopapier. Porovnaním úbytku objemu gamutu na papieri Chagall biely a Epson Archival Matt však možno konštatovať, že na papieri Epson Archival Matt bol úbytok objemu gamutu pri rovnakej expozičnej dávke viditeľne dramatickejší napriek tomu, že sa jednalo o fotopapier. Túto skutočnosť možno potvrdiť i porovnaním Obr. 54 a Obr. 60, kde je zobrazená závislosť úbytku objemu gamutu na expozičnej dávke vo VIS i UV oblasti spektra. Objem farbového gamutu na papieri Chagall biely klesol približne o 60 %. Početnosť farbových odchýlok na tomto druhu papiera je ilustrovaná na Obr. 59. Možno teda povedať, že i testovacia škála na tomto druhu papiera bola relatívne stabilná voči degradácii vplyvom svetla.



**Obr. 59** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu na papieri Chagall biely pred expozíciou (sieť) a po 534 dňoch expozície (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (vid' Tabuľka 8).



**Obr. 60** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu na papieri Chagall biely v závislosti na dávke ožiarenia.

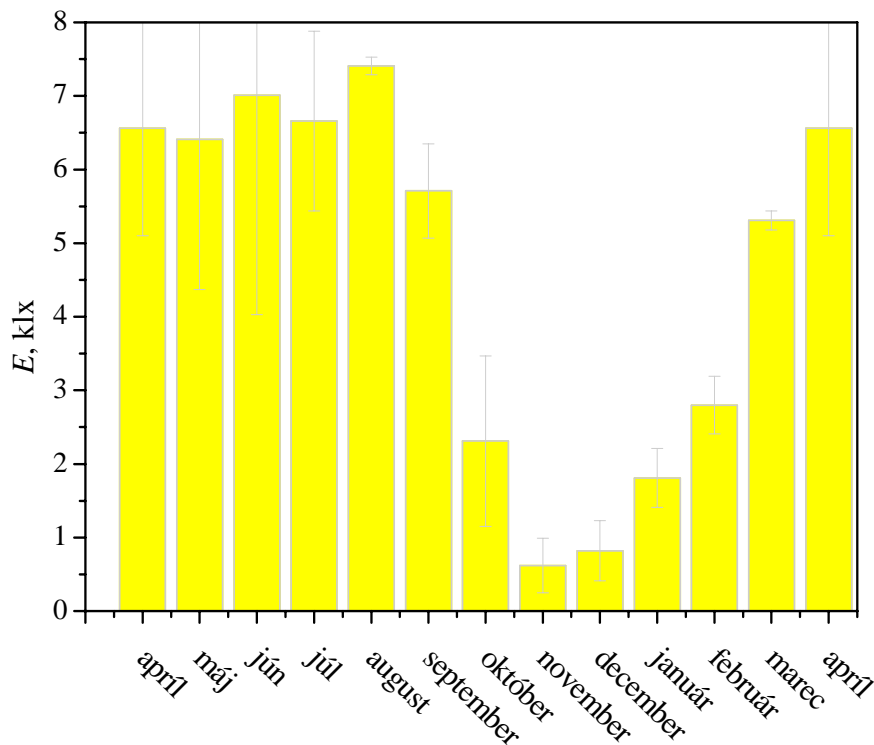
Po skončení dlhodobého testu svetlostályosti možno na základe výsledkov povedať, že najstabilnejšou vzorkou bola testovacia škála vytlačená na papieri Ilford Smooth Gloss, resp. Ilford Smooth Pearl, ktoré sa chovali veľmi podobne. Naopak, najmenej stabilnou bola testovacia škála na papieri Epson Archival Matt.

### 4.3 Vplyv svetla a polutantov pri dlhodobom starnutí

#### 4.3.1 Svetelné podmienky

Od mája 2009 do polovice apríla 2010 prebiehal test dlhodobého štúdia starnutia farbivových a zároveň pigmentových inkjetových výtlačkov. Na grafe (Obr. 61) sú uvedené konkrétne hodnoty intenzít osvetlenia  $E$  v závislosti na mesiacoch, počas ktorých test prebiehal. Najvyššie hodnoty intenzít boli zaznamenané počas letných mesiacov. Možno konštatovať, že práve v tomto období dochádzalo u študovaných testovacích škál vďaka vysokým hodnotám intenzít osvetlenia k najvýraznejšiemu blednutiu a teda úbytku objemov farebných gamutov.

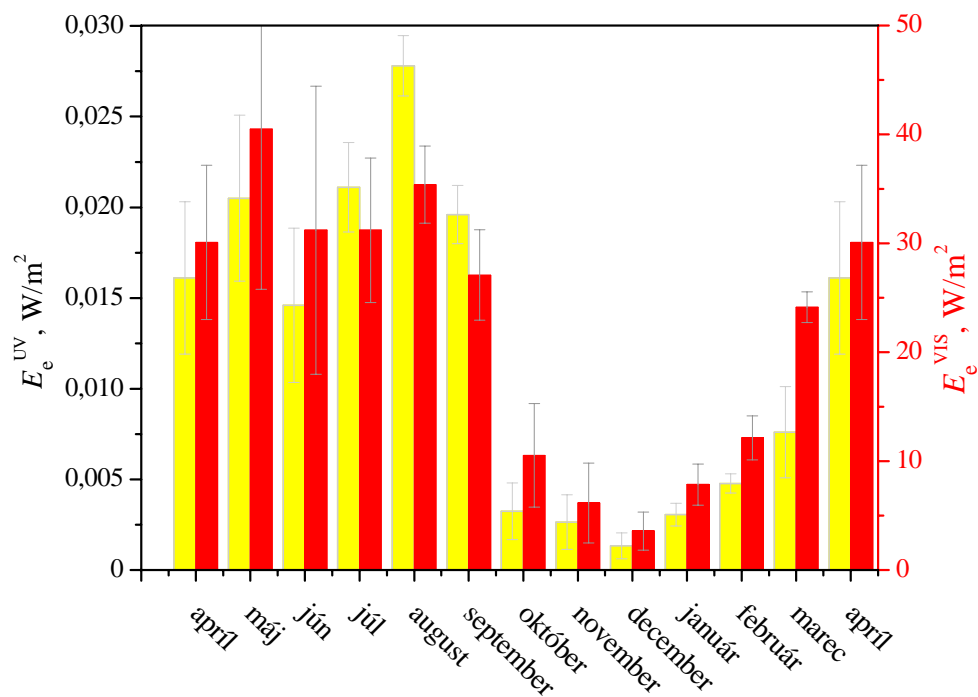




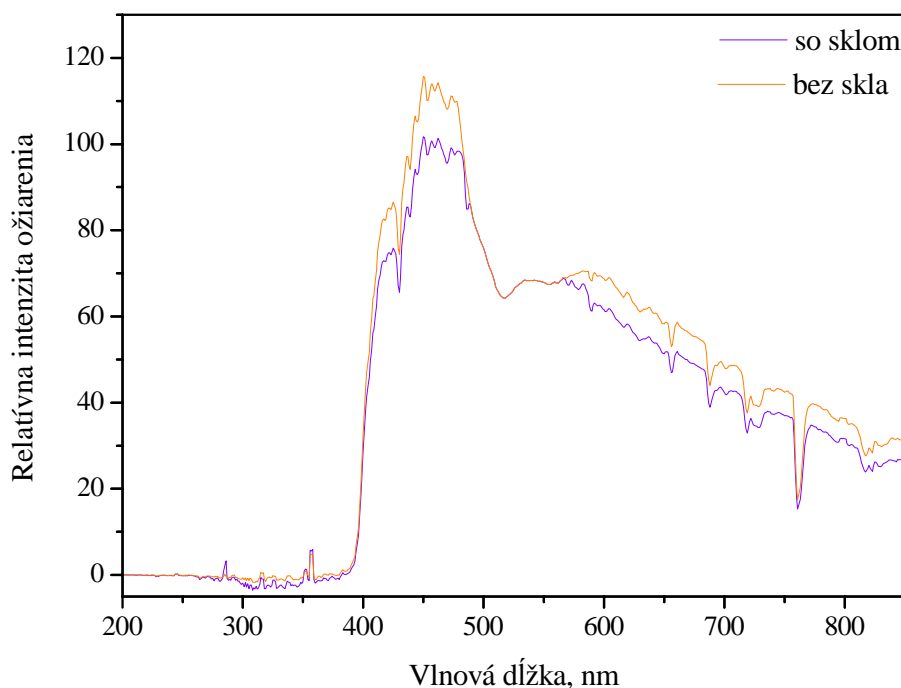
**Obr. 61** Závislosť intenzít osvetlenia na mesiacoch.

Na Obr. 62 sú ilustrované intenzity ožiarenia vo viditeľnej ( $E_e^{VIS}$ ) a UV ( $E_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako sa menili v závislosti na mesiacoch počas priebehu tohto dlhodobého testu. Najnižšie hodnoty intenzít ožiarenia boli zaznamenané počas zimných mesiacov, naopak najvyššie hodnoty boli dosiahnuté v letnom období. Ako už bolo spomenuté v kapitole 4.2.1, prudký nárast intenzít ožiarenia v letných mesiacoch zapríčinil fakt, že počas tohto obdobia boli otvárané ventilačné okná a UV žiarenie v tomto období nebolo filtrované. Významná časť UV žiarenia bola zachytávaná polykarbonátovými okennými tabuľami, z ktorých sú ventilačné okná vyrobené. Ich otvorením teda prenikalo na snečnú chodbu podstatne viac UV žiarenia.

Spektrum denného svetla filtrovaného polykarbonátovými okennými tabuľami je uvedené na Obr. 63. V tomto teste boli vzorky adjustované do rámu so sklom, kde bol sledovaný vplyv svetla na stálosť inkjetových výtláčkov, ale i do rámu bez skla, kde bol študovaný vplyv svetla i polutantov. Z tohto dôvodu bolo premerané spektrum denného svetla na chodbe prepustené sklom, i spektrum, ktoré sklom filtrované nebolo. Meranie sa uskutočnilo pomocou spektrometru Ocean Optics Red Tide USB650.



**Obr. 62** Závislosť intenzity ožiarenia v UV i vo VIS oblasti spektra na mesiacoch, počas trvania testu.



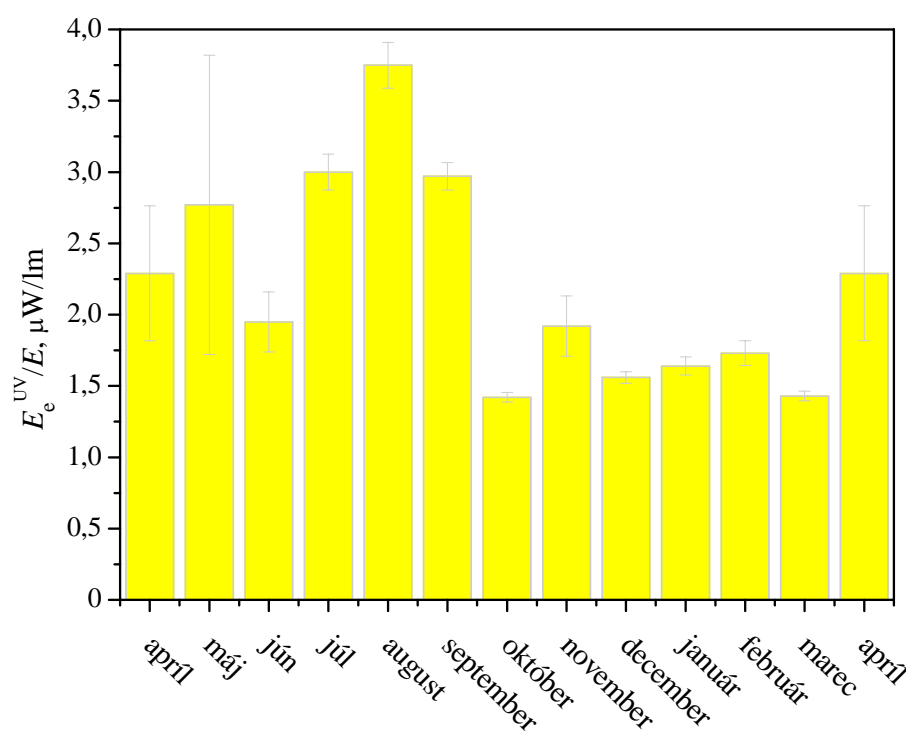
**Obr. 63** Spektrum denného svetla filtrované polykarbonátovými okennými tabuľkami.

V každom ráme boli umiestnené testovacie škály vytlačené vždy na štyri druhy papierov: Epson Archival Matt, Ilford Smooth Gloss, Ilford Classic Gloss a Foma 1224. V tabuľke (Tabuľka 9) sú uvedené celkové dávky ožiarenia vo VIS oblasti spektra ( $H_e^{VIS}$ ) a dávky ožiarenia v UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra ako i osvit ( $H$ ), ktorým boli tieto testovacie škály vystavené.

**Tabuľka 9** Hodnoty dávok ožiarenia a osvetlu.

Umiestnenie	Testovacie škály	$H_e^{UV}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{VIS}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H$ [ $\text{klx h}$ ]
Rám bez skla	farbivové	133,31	$2,58 \cdot 10^2$	$1,27 \cdot 10^4$
Rám so sklom	farbivové	120,42	$2,06 \cdot 10^2$	$1,24 \cdot 10^4$
Rám bez skla	pigmentové	133,21	$2,52 \cdot 10^2$	$1,18 \cdot 10^4$
Rám so sklom	pigmentové	116,94	$1,99 \cdot 10^2$	$1,23 \cdot 10^4$

Na Obr. 64 je vynesená závislosť pomeru intenzity ožiarenia k intenzite osvetlenia na mesiacoch. V zimných mesiacoch sú hodnoty intenzít takmer vyrovnané, počas letných mesiacov hodnoty kolísajú. Je to zapríčinené tým, že v letných mesiacoch sú veľké rozdiely v intenzitách počas slnečných a oblačných dní.



**Obr. 64** Zmena pomeru intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra k intenzite osvetlenia v závislosti na mesiacoch, počas ktorých test prebiehal.

#### 4.3.2 Hodnotenie farbivových atramentov

Testovacie škály boli pripravené podľa postupu uvedeného v kapitole 3.2.2. Po vyschnutí, pred zahájením expozície, boli všetky testovacie obrazce zmerané Spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino. Pri matných testovacích škálach (vytlačných na papieroch Foma 1224 a Epson Archival Matt) sa meranie uskutočňovalo bez použitia polarizačného filtra, pri lesklých vzorkách (Ilford Classic Gloss, Ilford Smooth Gloss) bol pri meraní použitý i polarizačný filter. Pri lesklých vzorkách musel byť polarizačný filter použitý, pretože potlačuje prechod rozptýleného svetla a prepúšťa svetlo kmitajúce v jednej rovine (výrazne

potlačuje odlesky). Z nameraných odrazových spektier boli programom Gretag Macbeth™ ProfileMaker 5.0.5 počítané ICC profily (Obr. 45). Vizualizáciou ICC profilov programom Imatest LLC Gamutvision™ boli získané farbové gamuty a ich objemy (Obr. 46). Z vypočítaných hodnôt CIE  $L^*a^*b^*$  boli výpočtom podľa rovnice (11) získané hodnoty  $\Delta E^*_{ab}$ .

V tomto dlhodobom teste bola sledovaná svetlostálosť výtlačkov a zároveň bol študovaný i vplyv polutantov na tieto výtlačky. Cieľom tohto testu bolo pozorovať a porovnať stálosť inkjetových výtlačkov na vybraných druhoch médií (kap. 3.1.4.2). Vzorky boli umiestnené do štyroch obrazových rámov. Tabuľka 10 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvitú ( $H$ ), ktorým boli vystavené testovacie škály vytlačené farbivovými atramentmi, umiestnené v ráme so sklom. Počet dní expozície opäť zodpovedá časovému intervalu, v ktorom boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino merané jednotlivé testovacie škály.

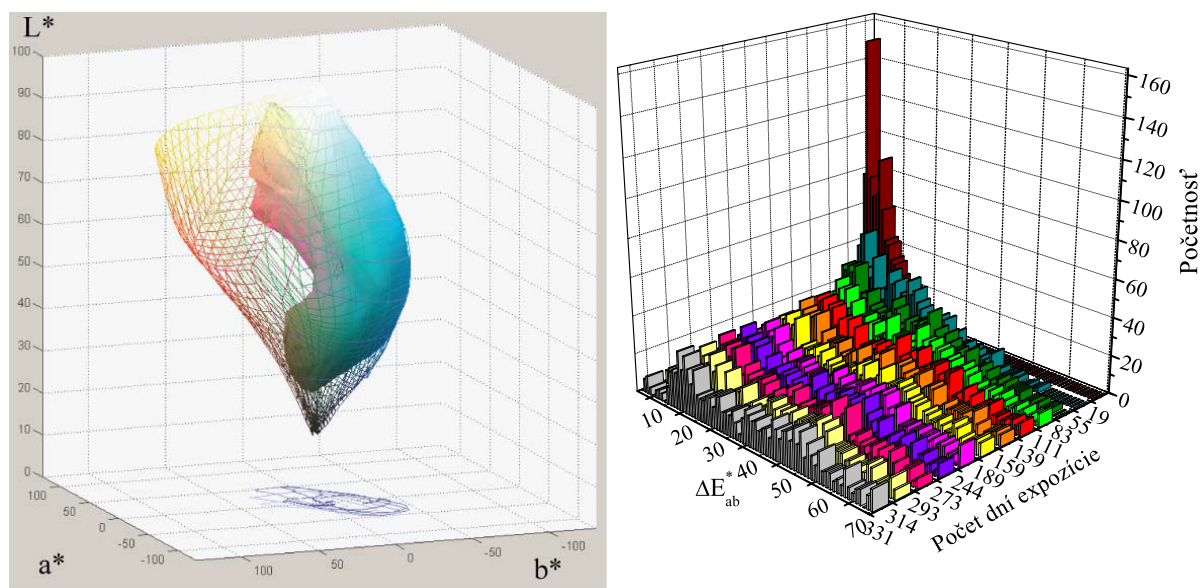
**Tabuľka 10** Hodnoty dávok ožiarenia a osvitú.

Počet dní expozície	$H_e^{VIS}$ [MJ m <sup>-2</sup> ]	$H_e^{UV}$ [kJ m <sup>-2</sup> ]	$H$ [klx h]
19	27,10	14,52	1446,04
55	65,65	34,90	3823,39
83	89,03	53,83	5160,63
111	118,65	77,81	6854,05
139	145,53	94,77	8324,11
159	163,05	102,01	9311,64
189	168,14	103,88	9623,25
244	177,01	107,52	10190,01
273	177,51	108,96	10436,39
294	184,00	112,70	11073,50
314	194,94	116,16	11744,10
331	205,51	120,42	12389,59

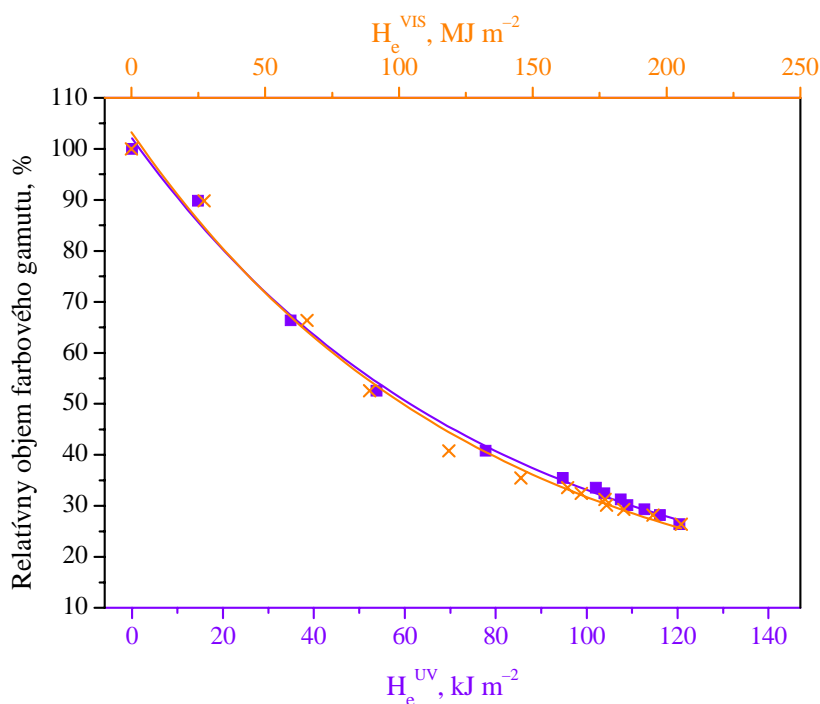
Na základe výsledkov možno povedať, že vplyvom svetla najrýchlejšie zdegradovala testovacia škála vytlačená na papieri Epson Archival Matt. Dochádzalo tu najmä k úbytku žltého a purpurového atramentu, naopak veľmi stabilným bol azúrový atrament. Možno to vidieť vľavo na Obr. 65, kde je ilustrovaný úbytok objemu farbového gamutu. Pred expozíciou bol objem farbového gamutu takmer štvornásobne väčší ako po 331 dňoch expozície svetlom.

Na Obr. 65 vpravo je graficky znázornená závislosť početnosti farbových odchýlok na počte dní expozície. Farbové odchýlky  $\Delta E^*_{ab}$  na papieri Epson Archival Matt dosahovali hodnotu väčšiu ako 70. Farebné zmeny na tejto testovacej škále boli viditeľné po 83 dňoch expozície. Po skončení expozície bola táto testovacia škála úplne vyblednutá.

Úbytok objemu farbového gamutu v závislosti na dávke ožiarenia vo VIS i UV oblasti spektra je ilustrovaný i na Obr. 66. Po skončení expozície svetlom klesol objem farbového gamutu až o 75 %.



**Obr. 65** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 10).

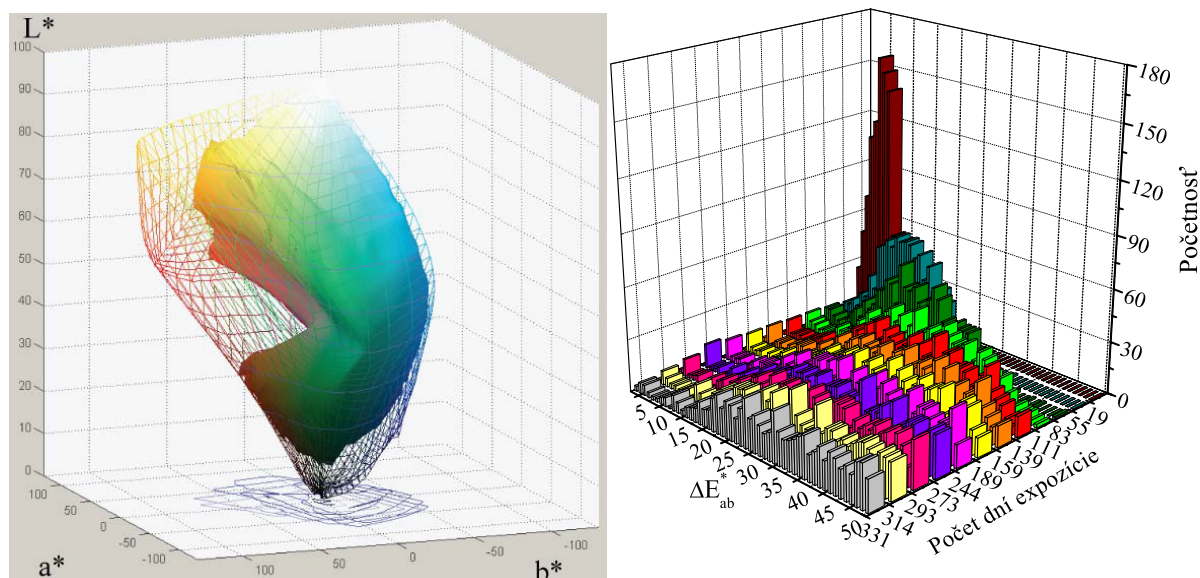


**Obr. 66** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

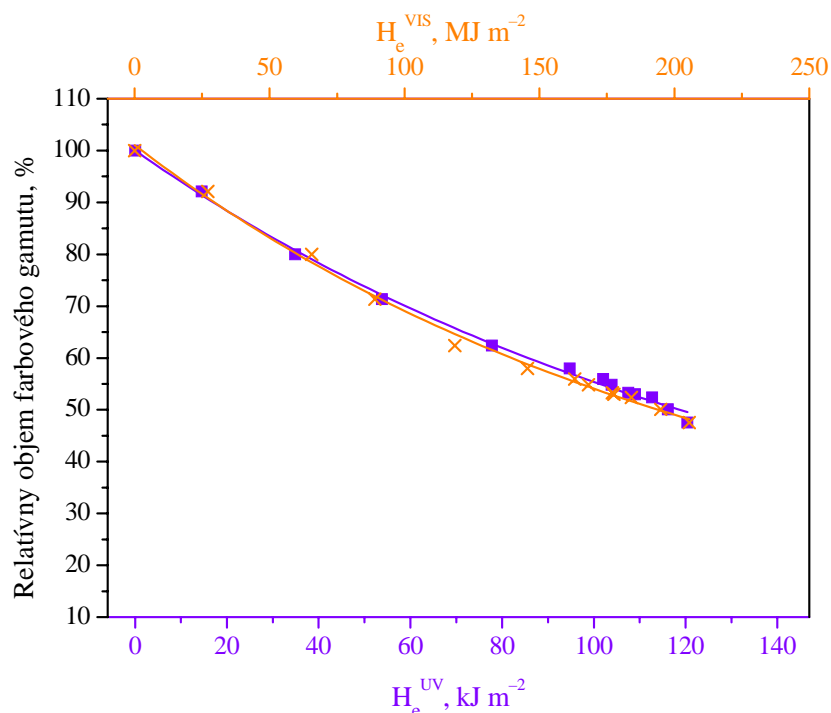
Na Obr. 67 vľavo je ilustrovaný objem farebného gamutu pred expozíciou a po 331 dňoch expozície. Táto testovacia škála bola vytlačená s použitím farbivových atramentov na papier Ilford Classic Gloss, a bola umiestnená opäť v ráme so sklom. I v tomto prípade, rovnako ako na papieri Epson Archival Matt, dochádzalo najmä k úbytku žltého a purpurového atramentu. Tento úbytok však bol takmer o polovicu menší ako v predchádzajúcom prípade, pretože objem farebného gamutu pred expozíciou bol dvojnásobne väčší.

Vpravo na Obr. 67 je vidieť, ako sa menila početnosť farbových odchýlok  $\Delta E_{ab}^*$  v závislosti na dĺžke expozície. Možno vidieť, že v prvých dňoch expozície boli najpočetnejšie políčka s farebnými odchýlkami 1 až 5. Spolu s počtom dní expozície však narastala aj hodnota farebnej odchýlky. Po skončení expozície bola farebná odchýlka väčšia ako 50. Na tejto testovacej škále boli opäť viditeľné farebné odchýlky i bez priameho porovnania s referenčnou testovacou škálou.

Pokles relatívneho objemu farbového gamutu v závislosti na dávke ožiarenia je graficky znázornený na Obr. 68. Tu možno vidieť, že objem farbového gamutu klesol približne o 55 %.



**Obr. 67** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (siet') a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (vid' Tabuľka 10).

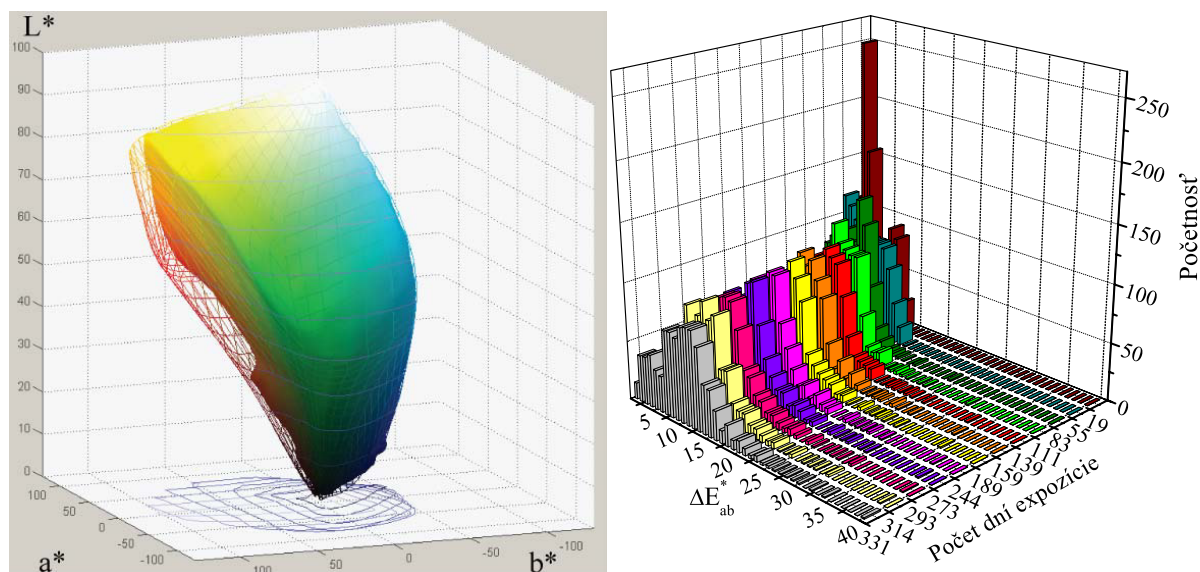


**Obr. 68** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

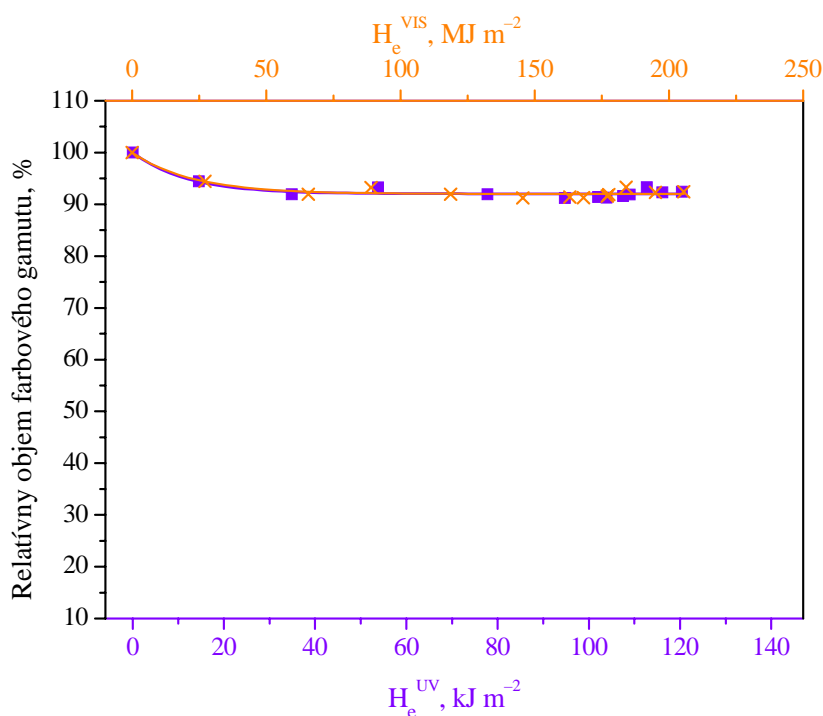
Testovacia škála vytlačená farbivovými atramentmi na papier Ilford Smooth Gloss bola voči blednutiu vplyvom svetla najstabilnejšou. To dokazujú i výsledky dlhodobého experimentu na Obr. 69 a Obr. 70. Na Obr. 69 vľavo je viditeľný pomerne malý úbytok objemu farbového gamutu. V oblasti azúrovej farby bol výtláčok stabilný i po 331 dňoch expozície. K úbytku farbového gamutu došlo v oblasti žltého atramentu a relatívne malý úbytok zaznamenal i purpurový atrament. Vpravo je ilustrovaná početnosť farbových odchýlok. V prípade tejto testovacej škály dosiahla farbová odchýlka maximálnu hodnotu 20. Napriek tomu, že táto testovacia škála bola najstabilnejšia, boli už i tu farebné zmeny viditeľné i bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou.

Na Obr. 70 je vynesená závislosť poklesu objemu farbového gamutu na dávke ožiarenia vo VIS i UV oblasti, kde objem farbového gamutu klesol len o 10 %.





**Obr. 69** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: Početnosť farebných odchýlok (vid' Tabuľka 10).



**Obr. 70** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

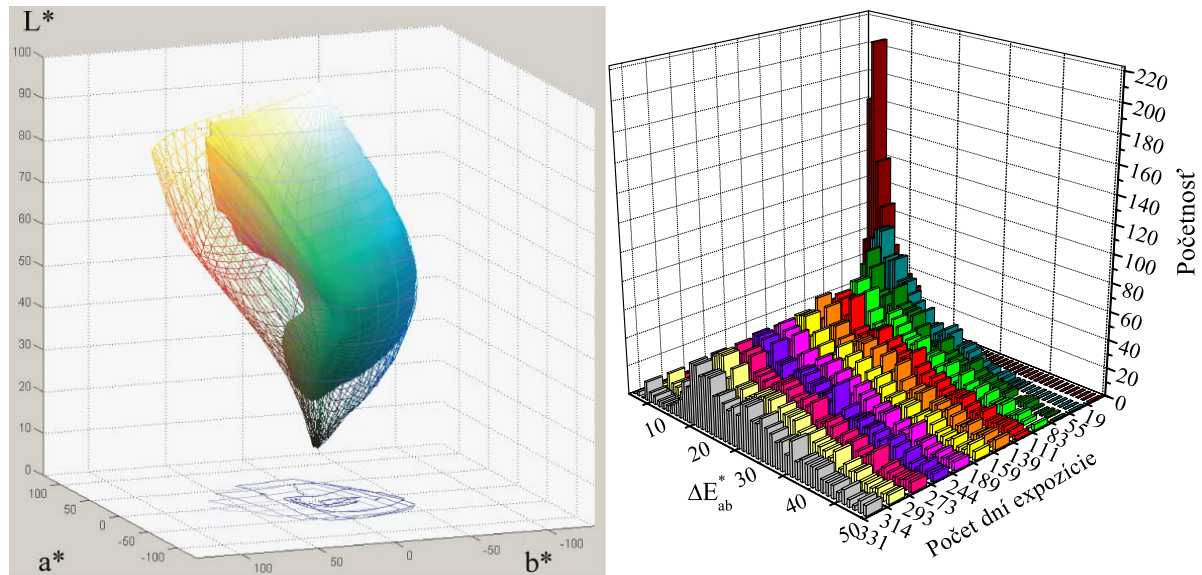
Objem farebného gamutu pri vzorke vytlačenej na papieri Foma 1224 bol po skončení expozície takmer dvojnásobne menší ako pred zahájením dlhodobého testu (Obr. 71). Opäť najmenej stabilným bol žltý atrament a purpurový. K najmenšiemu úbytku došlo pri azúrovom atramente.

Maximálna hodnota farebnej odchýlky presahuje hodnotu 50. Je to vidieť vpravo na Obr. 71, kde je vynesená závislosť početnosti farebných odchýlok na počte dní expozície. Možno

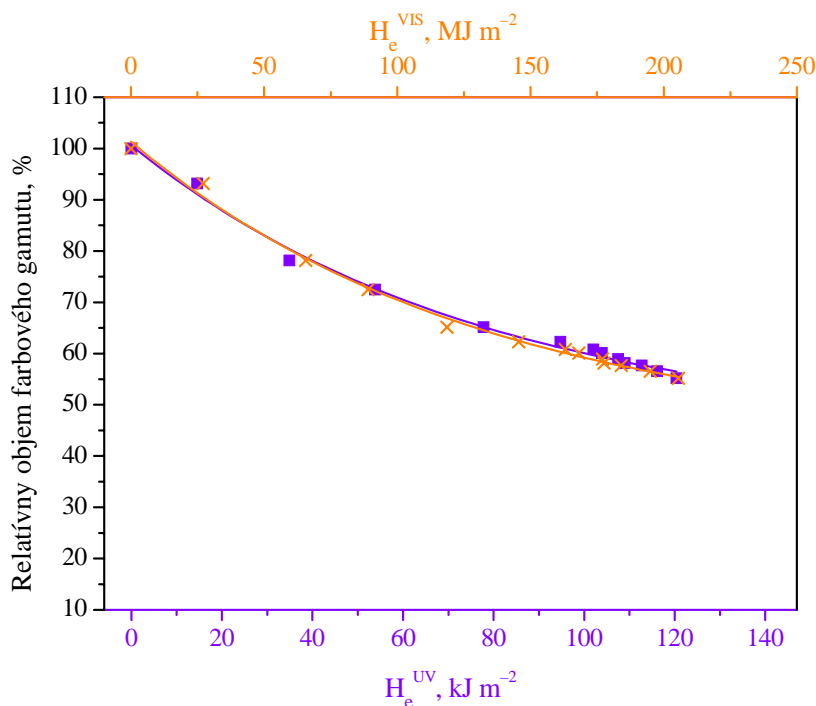


povedať, že farebná zmena bola postrehnuteľná bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou už po 19 dňoch expozície (viď Tabuľka 3).

Po 331 dňoch expozície svetlom klesol objem farebného gamutu na farbivovom výtlačku asi o 45 % (Obr. 72)



**Obr. 71** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 10).



**Obr. 72** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

Tabuľka 11 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{\text{VIS}}$ ) i UV ( $H_e^{\text{UV}}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvitú ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času vystavené testovacie škály. Tieto hodnoty platia pre testovacie škály vytlačené farbivovými atramentmi na papieri Epson Archival Matt, Ilford Smooth Gloss, Ilford Classic Gloss a Foma 1224, ktoré boli umiestnené v spoločnom ráme bez skla. Počet dní expozície opäť zodpovedá časovému intervalu, v ktorom boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino merané jednotlivé testovacie škály.

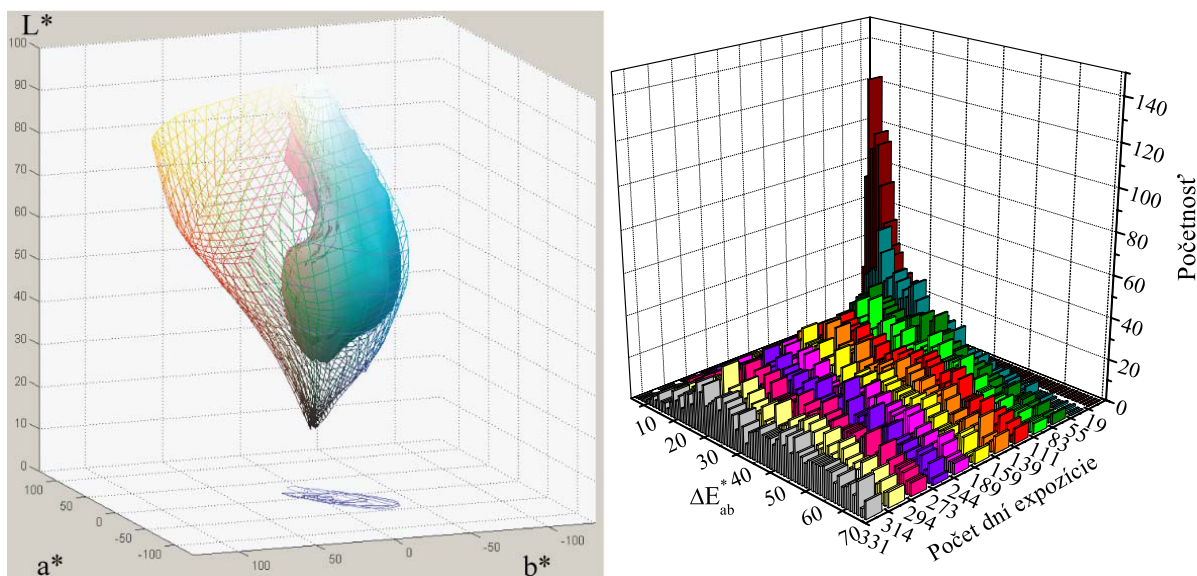
**Tabuľka 11** Hodnoty dávok ožiarenia a osvitú.

Počet dní expozície	$H_e^{\text{VIS}}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{\text{UV}}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H$ [klx h]
19	33,23	19,69	1398,77
55	76,06	43,55	3743,69
83	97,00	62,14	4972,59
111	123,52	85,68	6528,81
139	153,40	105,85	7925,03
159	171,40	114,35	8862,69
189	175,89	116,06	9148,85
244	183,48	119,27	9659,15
273	183,86	120,58	9887,17
294	206,96	124,00	10487,36
314	240,76	127,33	11091,93
331	252,01	133,21	11807,26

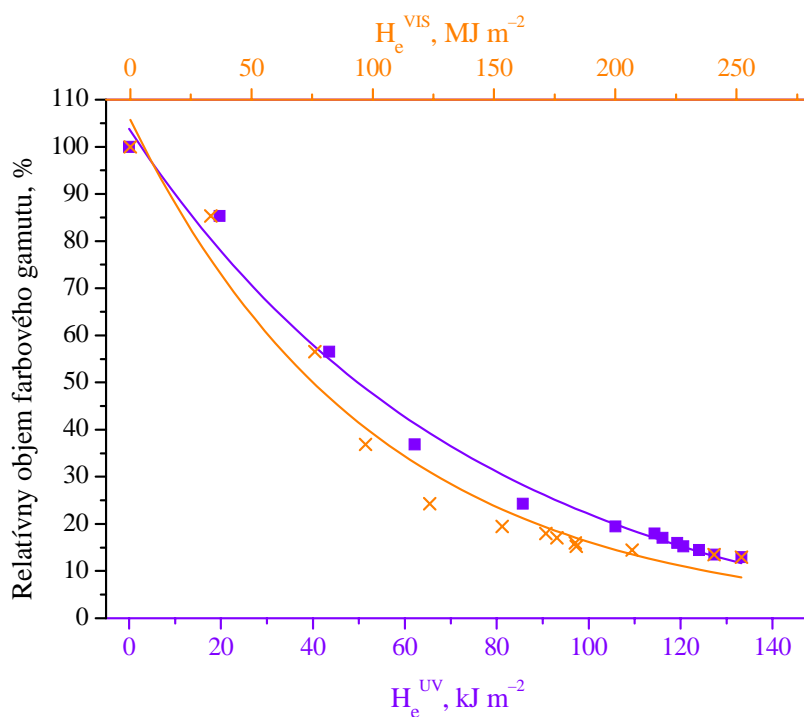
Na Obr. 73 je vľavo ilustrovaný úbytok objemu farbového gamutu na papieri Epson Archival Matt. Táto testovacia škála vytlačená farbivovými atramentmi bola adjustovaná do rámu bez skla. Možno vidieť, že pôsobením viacerých faktorov (svetla, polutantov, vlhkosti) zároveň je degradácia výtlačkov oveľa intenzívnejšia ako pri pôsobení iba jedného faktoru (Obr. 65 a Obr. 66). Po 331 dňoch expozície bol objem farbového gamutu takmer osemnásobne menší ako pôvodný objem farbového gamutu, pred začiatkom expozície. Na testovacej škále takmer úplne vybledol žltý a purpurový atrament.

Vpravo na Obr. 73 je vidieť, že už po 19 dňoch expozície dosahovala farbová odchýlka hodnotu 60. K značnému vyblednutiu teda došlo už v prvých dňoch expozície. Degradácia sa po rýchlym zahájení časom už len prehlbovala.

Na grafe závislosti poklesu relatívneho objemu farbového gamutu na dávke ožiarenia vidieť, že už v prvých 50 dňoch expozície došlo k úbytku takmer polovice objemu farbového gamutu (Obr. 74). Po ukončení testu dlhodobého starnutia zostalo z pôvodného objemu farbového gamutu iba 10 %.



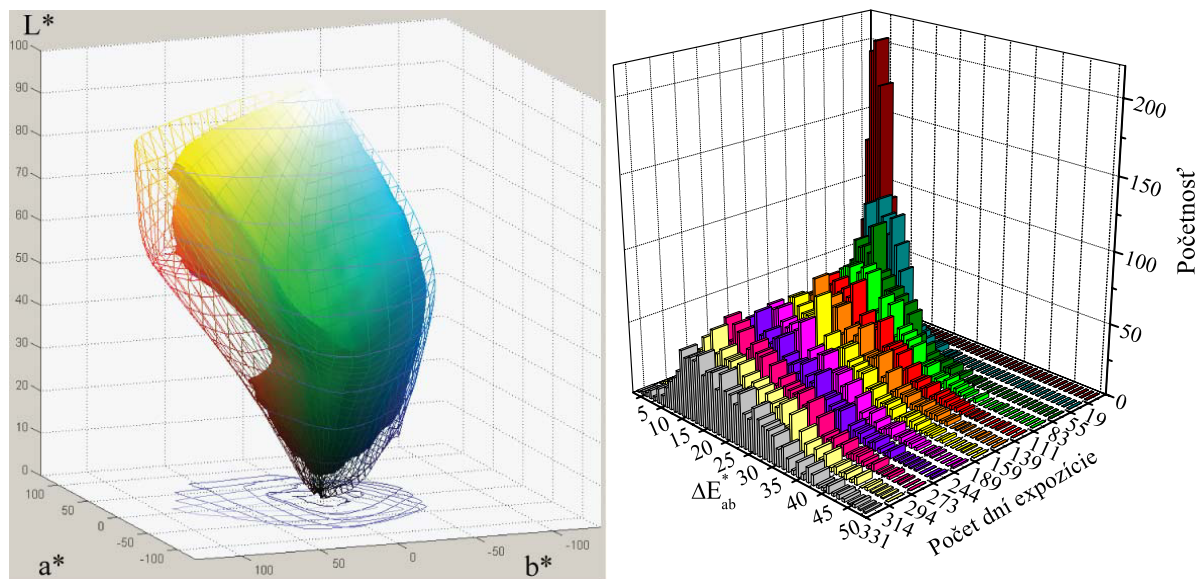
**Obr. 73** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 11).



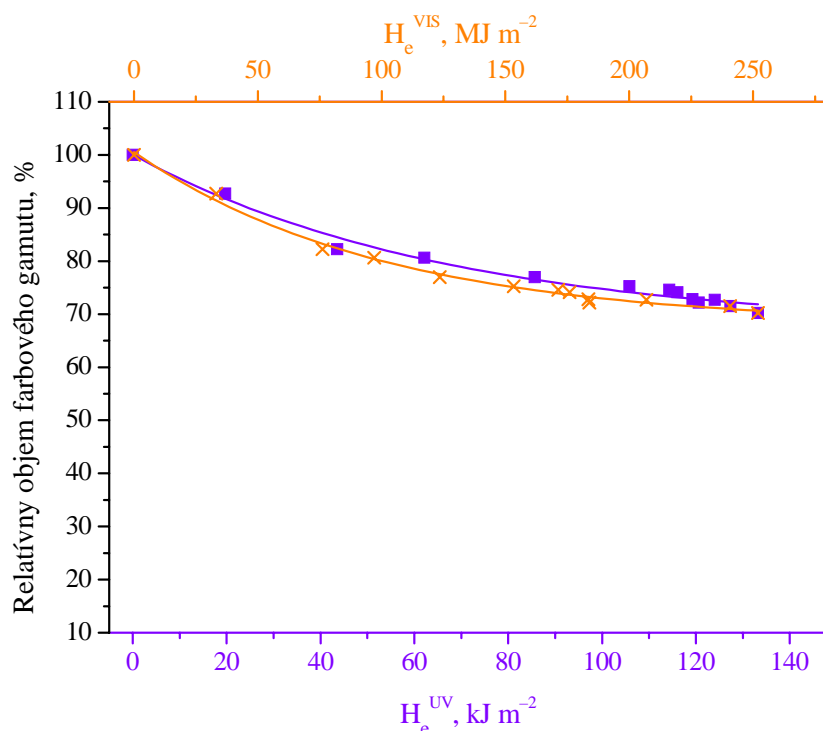
**Obr. 74** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

Testovacia škála vytlačená na papier Ilford Classic Gloss, umiestnená v ráme bez skla, degradovala pôsobením svetla i polutantov menej ako rovnaká testovacia škála, ktorá bledla len pôsobením svetla (Obr. 67 a Obr. 68). V tomto prípade bola degradácia vplyvom viacerých faktorov pomalšia, ako dokazujú Obr. 75 a Obr. 76. Na Obr. 75 je vľavo znázornený úbytok objemu farebného gamutu najmä v oblasti žltej a purpurovej. Vpravo na Obr. 75 je ilustrovaná početnosť farebných odchýlok, ktorých maximálna hodnota nepresahuje číslo 50.

Na Obr. 76 je vidieť, že po 331 dňoch expozície klesol objem farbového gamutu o 30 %. V prípade testovacej škály vytlačenej na rovnaký druh papiera, ktorá bola umiestnená v ráme so sklom, bol úbytok objemu farbového gamutu až 55 % (Obr. 68).



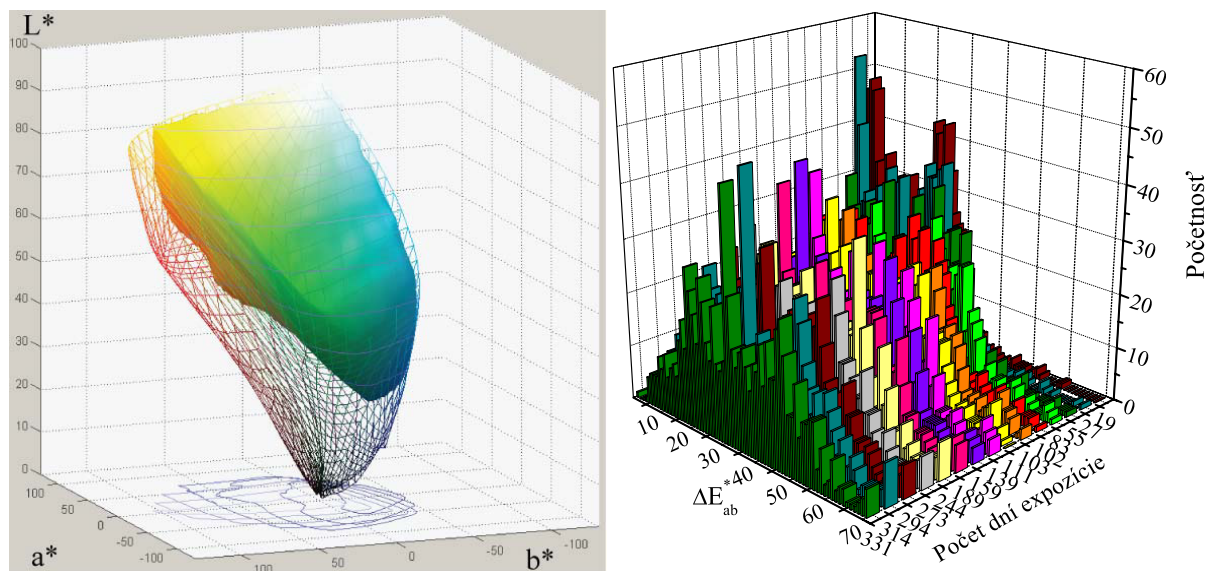
**Obr. 75** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 11).



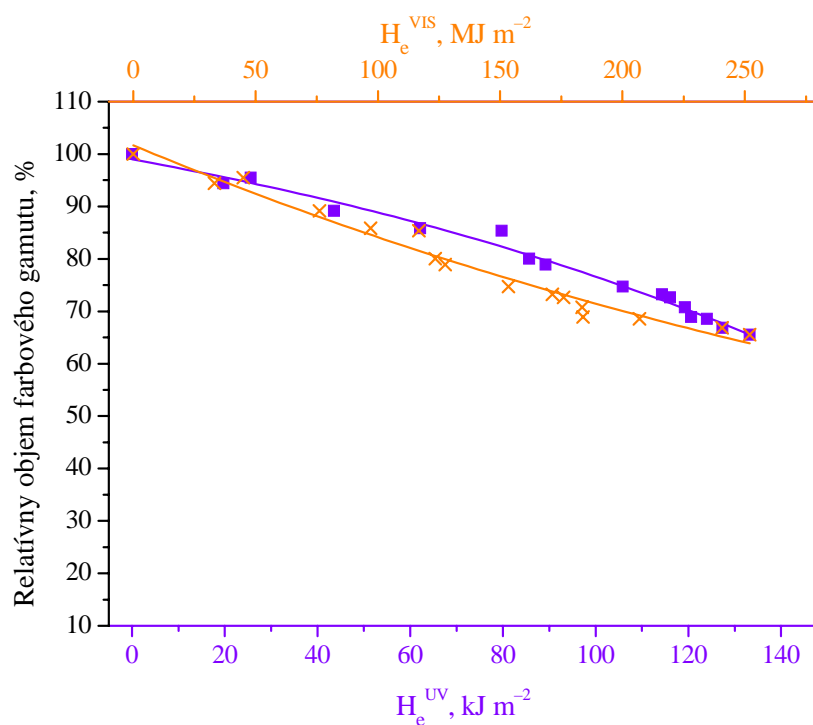
**Obr. 76** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

V prípade testovacej škály vytlačenej farbivovými atramentmi na papier Ilford Smooth Gloss, ktorý degradoval pôsobením svetla i polutantov, prebiehala degradácia veľmi rýchlo

hneď po zahájení expozície. Degradácia tejto testovacej škály pôsobením svetla (Obr. 69 a Obr. 70) bola úplne odlišná. Už po 19 dňoch expozície došlo k významnému úbytku azúrového atramentu a počas ďalších dní expozície dochádzalo k postupnému úbytku nielen azúrového ale i žltého atramentu (Obr. 77 vľavo). Po 331 dňoch expozície došlo k 35% úbytku objemu farbového gamutu (Obr. 78).



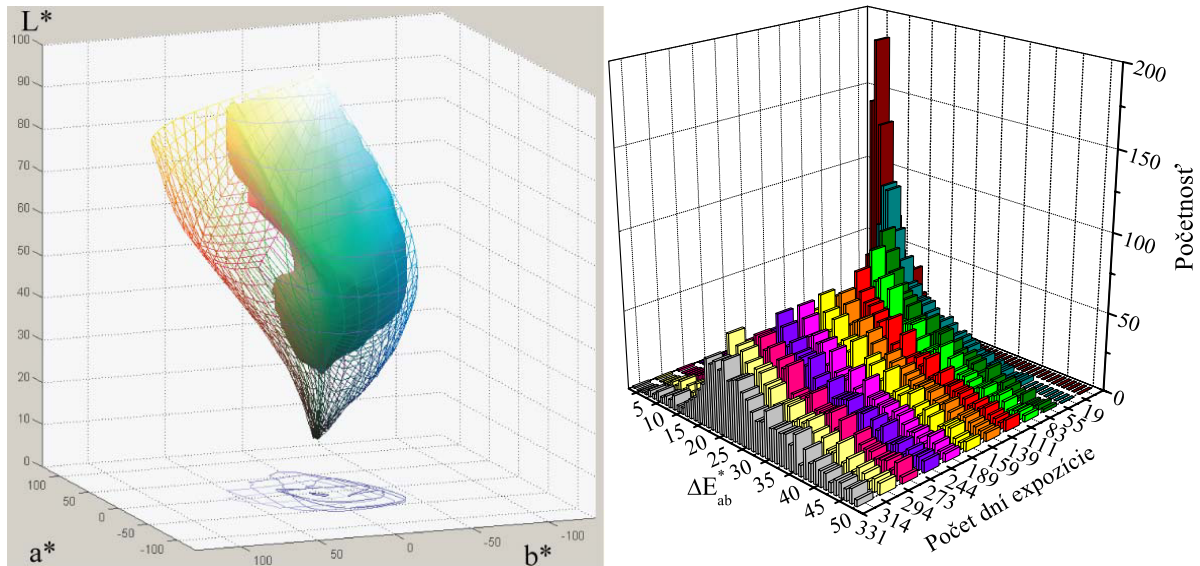
**Obr. 77** Vpravo: zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vľavo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 11).



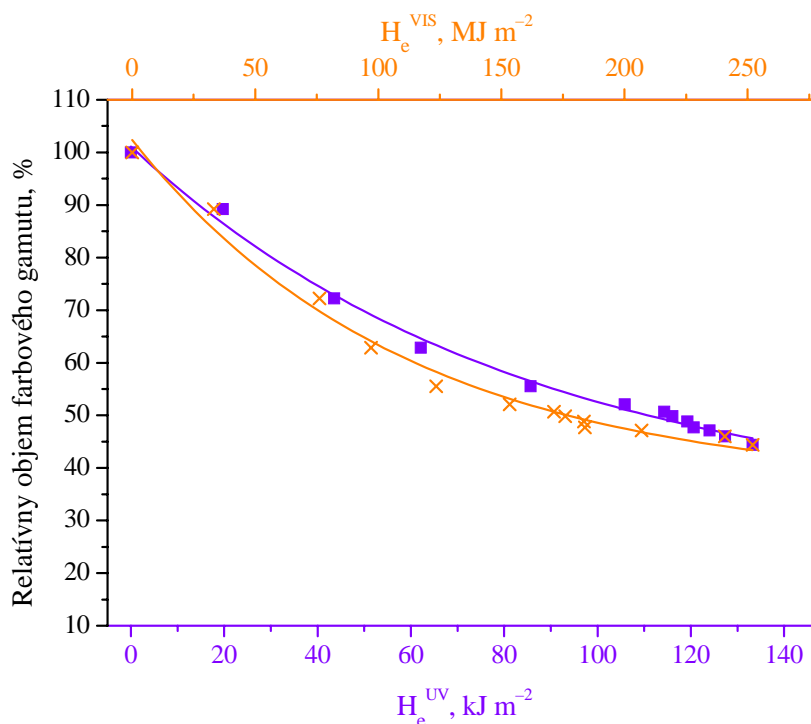
**Obr. 78** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.



Na Obr. 79 vľavo je zmena objemu farebného gamutu testovacej škály pripravenej na papier Foma 1224, po expozícii vplyvom svetla i polutantov. Možno povedať, že dochádza k úbytku všetkých troch atramentov, azúrový je však i v tomto prípade najstabilnejší. Na Obr. 79 vpravo je zobrazená početnosť farebných odchýlok v závislosti na trvaní expozície. Po 55 dňoch už došlo k viditeľnému farebnému posunu smerom k azúrovej.



**Obr. 79** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 11).



**Obr. 80** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

I v prípade tejto testovacej škály, ktorá degradovala iba pôsobením svetla bol úbytok objemu farbového gamutu o niečo (Obr. 71 a Obr. 72). Závislosť poklesu relatívneho objemu farbového gamutu na dávke ožiarenia je vynesena na Obr. 80. Na konci expozície dosiahol objem farbového gamutu až 55% úbytok z pôvodného objemu.

Po vyhodnotení všetkých testovacích škál vytlačených farbivovými atramentmi možno povedať, že najstabilnejšou zo všetkých bola testovacia škála vytlačená na papier Ilford Smooth Gloss, ktorá bola umiestnená v ráme so sklom, teda degradovala iba pôsobením svetla. Naopak najmenej stabilnou sa ukázala testovacia škála vytlačená na papier Epson Archival Matt, či už na ňu pôsobil iba jeden faktor alebo viacero faktorov zároveň. Za najstabilnejší atrament možno považovať azúrový. Iba v prípade testovacej škály vytlačenej na papier Ilford Smooth Gloss adjustovanej do rámu bez skla vybledol azúrový atrament najrýchlejšie. Na všetkých ostatných vzorkách bol najmenej stabilným žltý atrament.

### 4.3.3 Hodnotenie pigmentových atramentov

Testovacie obrazce boli pripravené podľa postupu uvedeného v kapitole 3.2.2. Pred zahájením expozície a po každej expozícii, boli všetky testovacie obrazce zmerané Spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino. Spektrofotometrom boli merané odrazové spektrá, z ktorých boli vygenerované CIE  $L^*a^*b^*$  hodnoty. Pri matných testovacích obrazcoch (vytlačených na papieroch Foma 1224 a Epson Archival Matt) sa meranie opäť uskutočňovalo bez použitia polarizačného filtra, pri lesklých vzorkách (Ilford Smooth Gloss a Ilford Classic Gloss) bol pri meraní použitý i polarizačný filter, aby sa potlačili odlesky Z nameraných odrazových spektier boli programom Gretag Macbeth™ ProfileMaker 5.0.5 počítané ICC profily (Obr. 45). Vizualizáciou ICC profilov programom Imatest LLC Gamutvision™ boli získané farbové gamuty ako aj ich objemy (Obr. 46).

Tabuľka 12 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvitú ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času testovacie škály vystavené. Tieto hodnoty platia pre testovacie škály vytlačené pigmentovými atramentmi na papieri Epson Archival Matt, Ilford Smooth Gloss, Ilford Classic Gloss a Foma 1224, ktoré boli umiestnené v spoločnom ráme so sklom. Počet dní expozície opäť zodpovedá časovému intervalu merania jednotlivých testovacích škál.

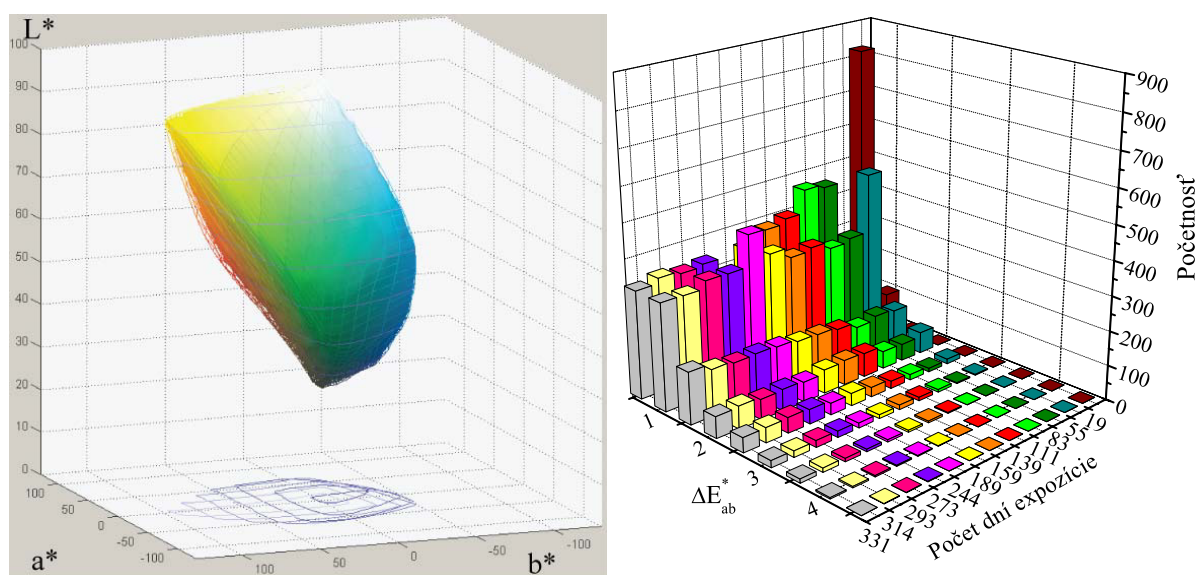
**Tabuľka 12** Hodnoty dávok ožiarenia a osvitú.

Počet dní expozície	$H_e^{VIS}$ [MJ m <sup>-2</sup> ]	$H_e^{UV}$ [kJ m <sup>-2</sup> ]	$H$ [klx h]
19	22,08	13,14	1366,73
55	64,21	34,61	3819,83
83	87,71	53,05	5196,91
111	117,47	76,42	6940,78
139	141,15	92,29	8375,38
159	157,33	99,02	9324,11
189	162,47	100,82	9625,21
244	170,91	104,33	10160,29
273	171,34	105,70	10388,83
294	177,45	109,15	10985,82
314	187,88	112,45	11620,47
331	198,81	116,94	12280,61

Testovacie škály pripravené s použitím pigmentových atramentov boli všetky pomerne stále. Meranie bolo v polovici apríla pre potreby tejto diplomovej práce ukončené, dlhodobý test však pri pigmentových výtláčkoch naďalej prebieha.

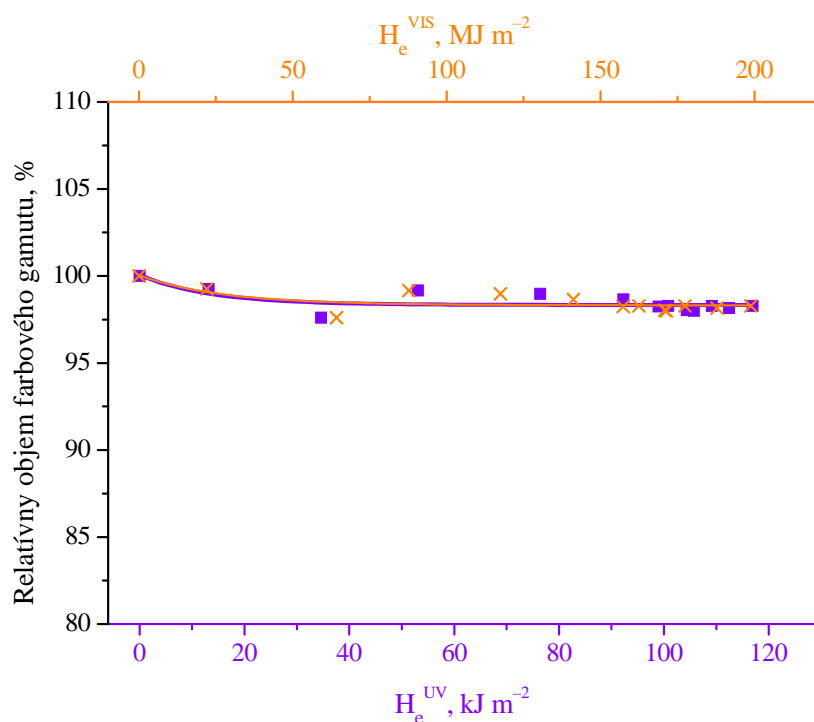
Pri testovacej škále vytlačenej na papier Epson Archival Matt dochádza k pomerne malému úbytku gamutu v oblasti žltého a purpurového atramentu (Obr. 81, vľavo). Tento úbytok však nie je vôbec výrazný, čo dokazuje i početnosť farbových odchýlok, ktorých maximálna hodnota po 331 dňoch expozície vplyvom svetla je 4. Najpočetnejšie sú však farbové odchýlky  $\Delta E_{ab}^*$  0,5 a 1 (Obr. 81 vpravo). Podľa tabuľky hodnotenia rozdielu farieb (Tabuľka 3) je rozdiel vnímaný ako farebná zhoda.

Stabilitu tejto vzorky voči svetlu potvrdzuje i graf závislosti poklesu relatívneho objemu farbového gamutu na dávke ožiarenia v UV i VIS oblasti spektra (Obr. 82). Celkový pokles objemu gamutu bol po skončení expozície približne iba 2,5 %.



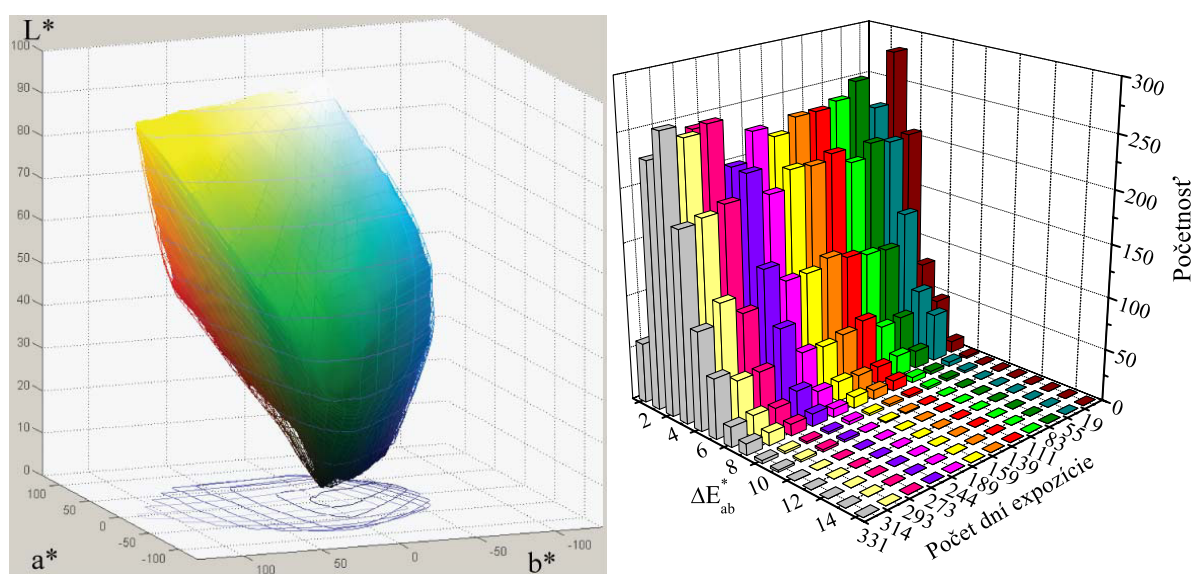
**Obr. 81** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (siet') a po expozícii (plný objem) Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 12).





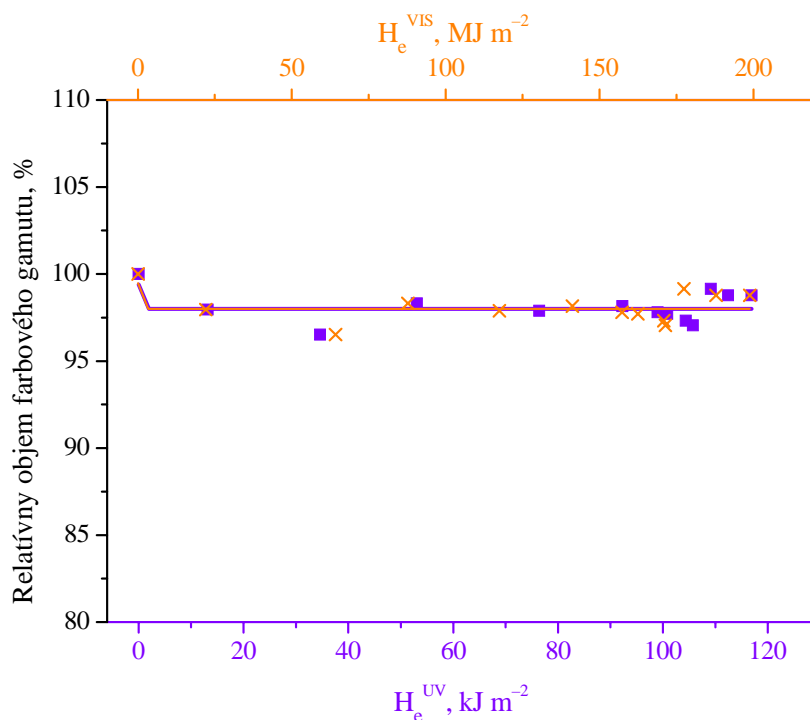
**Obr. 82** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

Na papieri Ilford Classic Gloss vytlačennom pigmentovými atramentmi sa menil objem gamutu v oblasti purpurovej farby (Obr. 83). Táto zmena však opäť nebola nijak dramatická. Napriek tomu, že farbová odchýlka dosahuje maximálnu hodnotu 10, najpočetnejšie sú odchýlky 1 až 4 (Obr. 83) a teda podľa tabuľky hodnotenia rozdielu farieb (Tabuľka 3) je farebný rozdiel vnímateľný iba pri priamom porovnaní s referenčnou vzorkou.



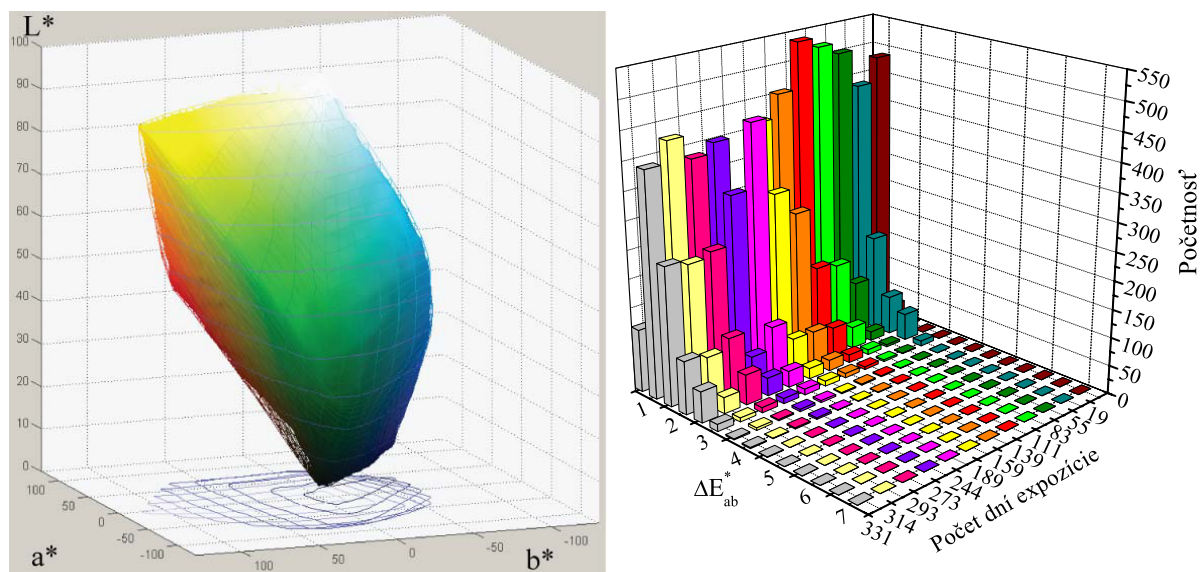
**Obr. 83** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (siet') a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 12).

Obr. 84 ukazuje pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia. I v tomto prípade však došlo k 2,5% úbytku objemu farebného gamutu.

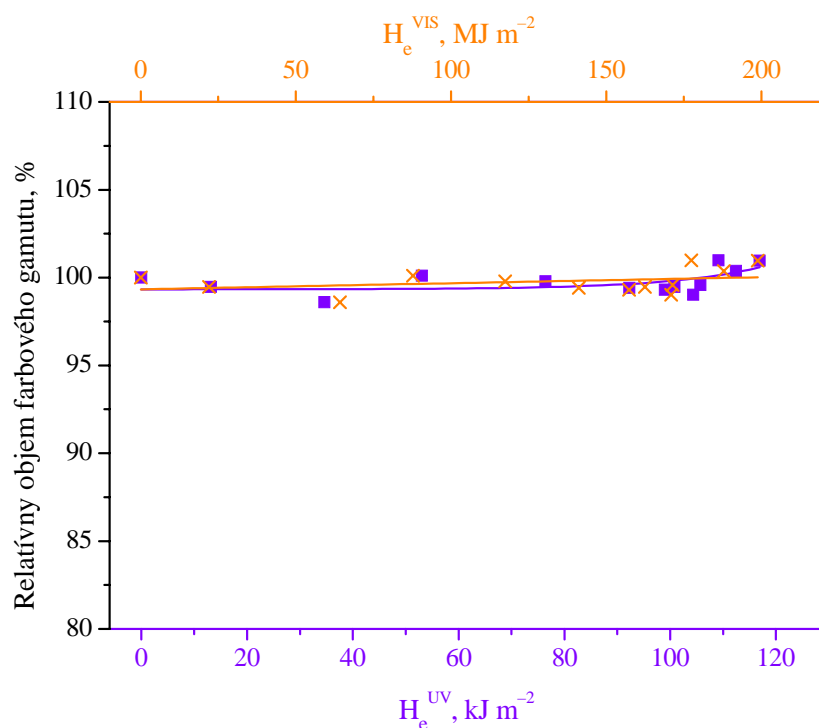


**Obr. 84** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

Rovnako ako v prípade testovacích škál vytlačených farbivovými atramentmi na papier Ilford Smooth Gloss i v prípade testovacej škály vytlačenej pigmentovými atramentmi na rovnaký druh média možno povedať, že táto testovacia škála je na svetle opäť najstabilnejšia. Na Obr. 85 vľavo je viditeľná minimálna zmena v objeme farebného gamutu. Táto skutočnosť je potvrdená i grafom početnosti farebných odchýlok (Obr. 85, vpravo). Maximálna hodnota farebných odchýlok je 3 a aj po 331 dňoch expozície sú najpočetnejšie farebné odchýlky 1 a 2. Podľa tabuľky hodnotenia rozdielu farieb (Tabuľka 3) nie je tento rozdiel vôbec vnímaný. Na Obr. 86 klesol objem farebného gamutu iba asi o 2 %.

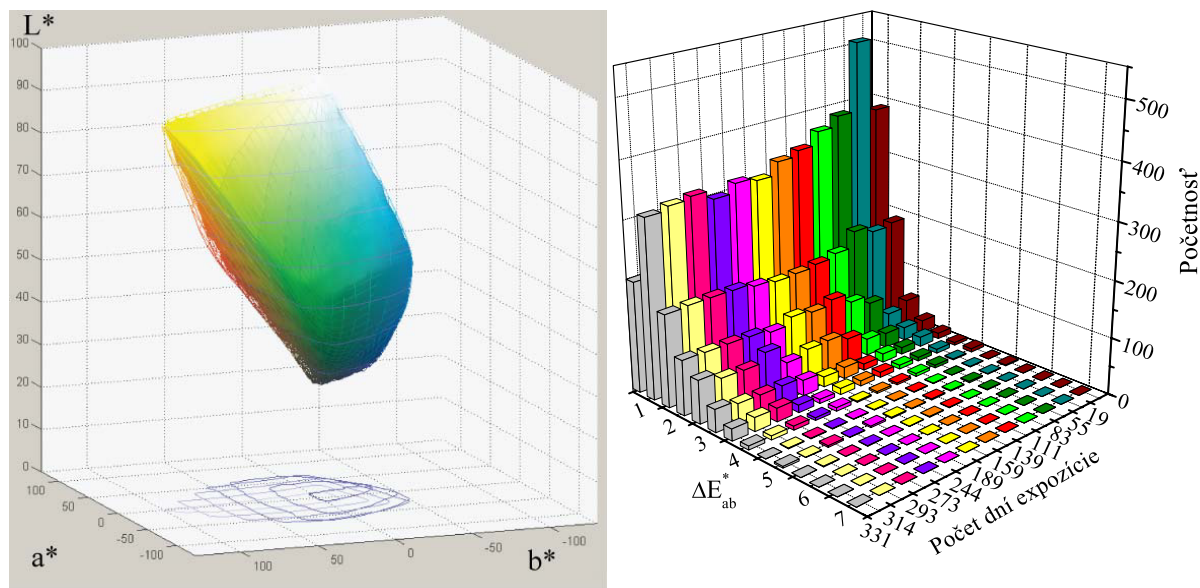


**Obr. 85** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (siet') a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 12).

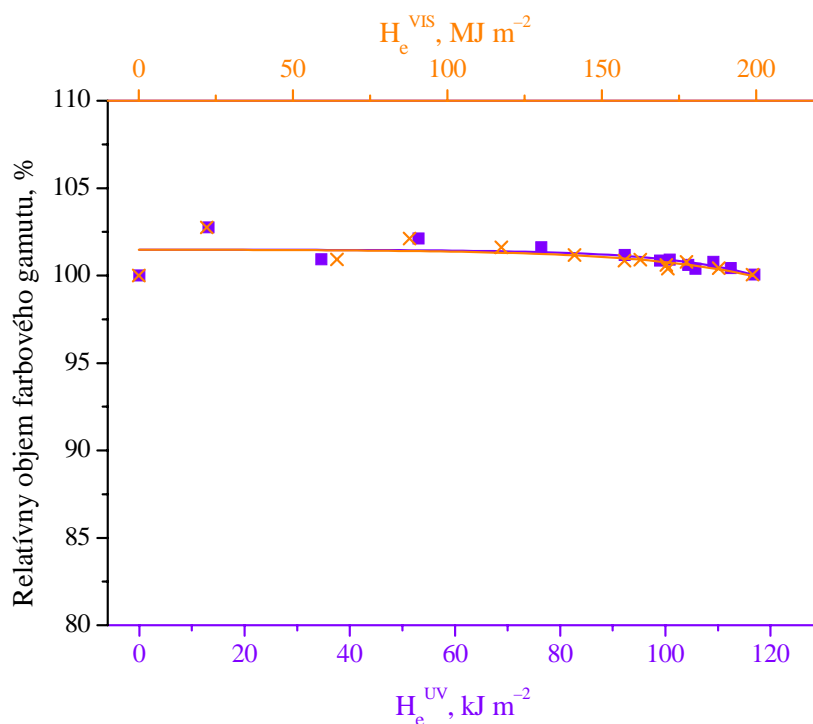


**Obr. 86** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme so sklom, v závislosti na dávke ožiarenia.

Na papieri Foma 1224 dochádza k miernemu úbytku žltej farby z objemu farebného gamutu. Početnosť farebných odchýlok je po 331 dňoch opäť najvyššia v hodnote 1 a 2 (Obr. 87). Podľa tabuľky hodnotenia rozdielu farieb (Tabuľka 3) je rozdiel farieb vnímaný ako farebná zhoda. Na grafe závislosti relatívneho objemu farebného gamutu na dávke ožiarenia dochádza dokonca k nárastu objemu farebného gamutu (Obr. 88).



**Obr. 87** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme so sklom. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (vid' Tabuľka 12).



**Obr. 88** Závislosť relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme so sklom, na dávke ožiarenia.

Tabuľka 13 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvetlenia ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času testovacie škály vystavené. Tieto hodnoty platia pre testovacie škály vytlačené pigmentovými atramentmi na papieri Epson Archival Matt, Ilford Smooth Gloss, Ilford Classic Gloss a Foma 1224, ktoré boli umiestnené v spoločnom ráme bez skla. Počet dní expozície opäť zodpovedá časovému

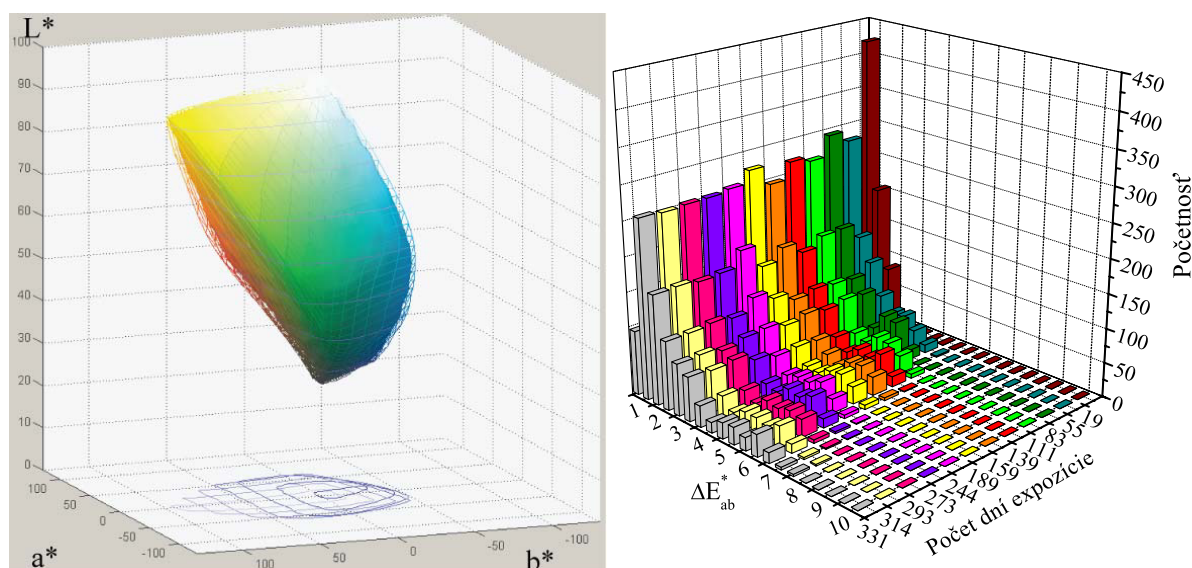
intervalu, v ktorom boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino merané jednotlivé testovacie škály.

**Tabuľka 13** Hodnoty dávok ožiarenia a osvitu.

Počet dní expozície	$H_e^{\text{VIS}}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{\text{UV}}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H$ [klx h]
19	35,86	18,38	1548,90
55	76,86	41,92	4115,05
83	99,92	61,60	5495,38
111	129,12	86,53	7243,36
139	161,55	106,28	8797,23
159	180,26	114,42	9780,81
189	184,74	116,15	10073,06
244	192,45	119,51	10601,88
273	192,85	120,82	10833,39
294	214,69	124,27	11432,53
314	246,16	127,48	12032,83
331	257,99	133,31	12746,62

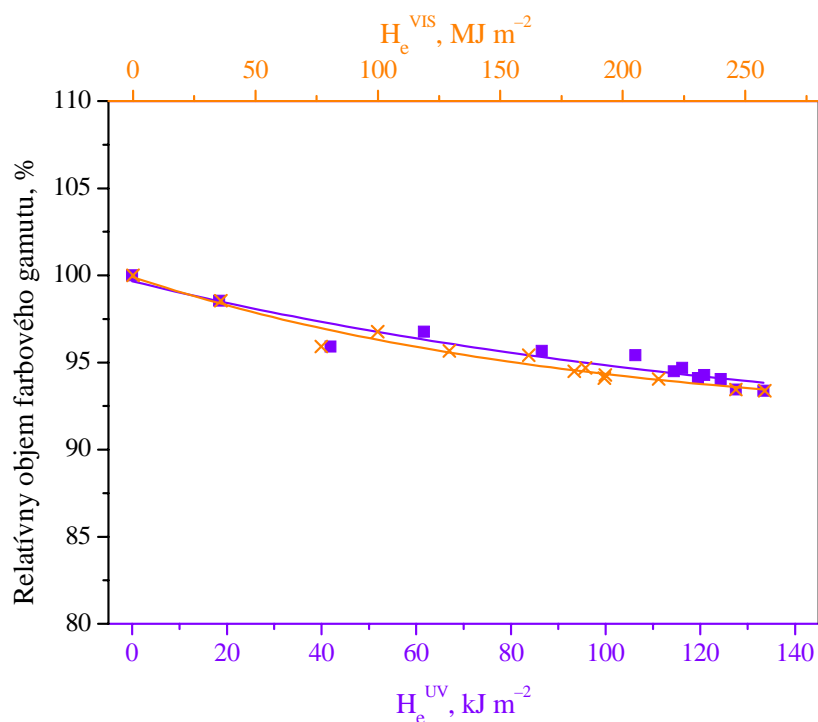
Pôsobením viacerých faktorov zároveň dochádza i pri testovacích škálach tlačných pigmentovými atramentmi k rýchlejšej degradácii. Ani pri pôsobení svetla a polutantov súčasne však nie je táto degradácia výrazne dramatická.

Na papieri Epson Archival Matt klesol objem farebného gamutu o 6 % (Obr. 90). Rozdiel medzi touto a rovnakou testovacou škálou, ktorá bola vystavená vplyvu svetla, je iba 3,5 %. (Obr. 81 a Obr. 82) Farebný gamut sa mení rovnomerne vo všetkých atramentoch. Početnosť farebných odchýlok dosahuje maximálnu hodnotu 8, najpočetnejšie sú však políčka s farebnou odchýlkou 1 a 2 (Obr. 89), čiže podľa tabuľky hodnotenia rozdielu farieb (Tabuľka 3) je rozdiel vnímateľný iba pri priamom porovnaní s referenčnou vzorkou.



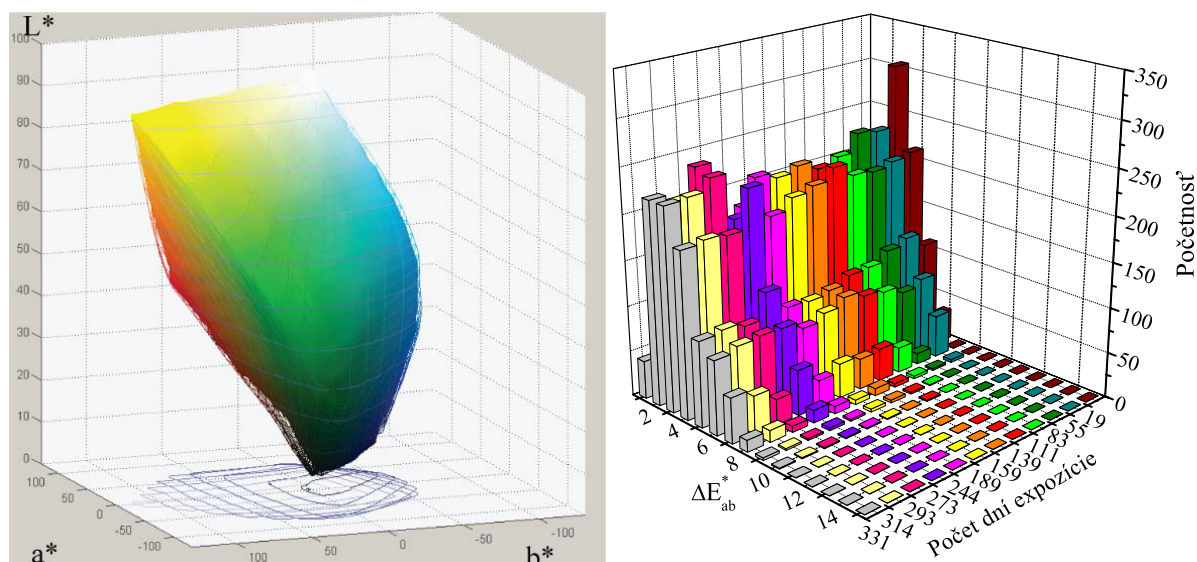
**Obr. 89** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 13).





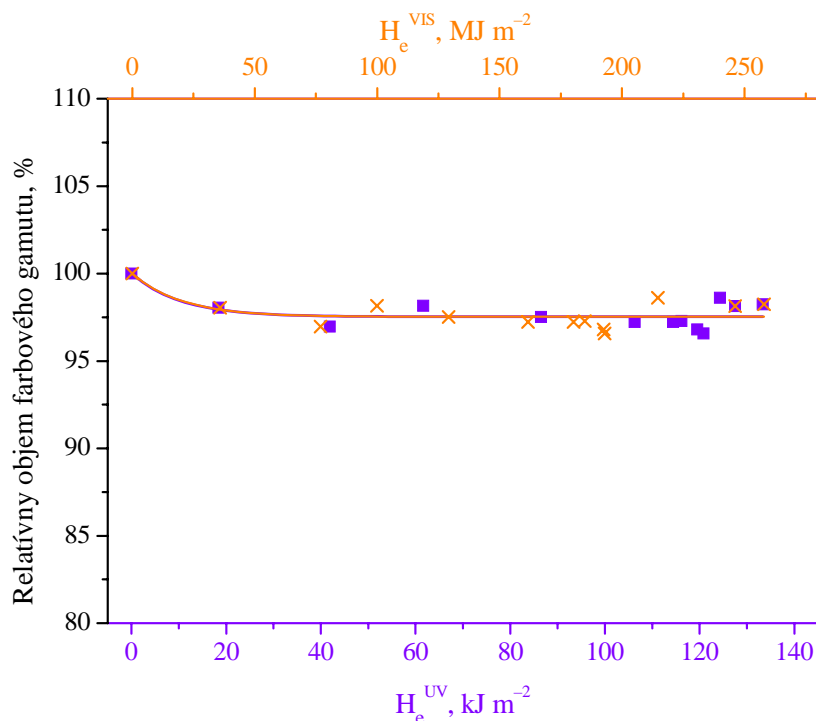
**Obr. 90** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Epson Archival Matt, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

Zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme bez skla je veľmi malá, a to v oblasti purpurovej farby. Početnosť farbových odchýlok je najvyššia pri hodnotách 1 a 2, maximálna hodnota farebnej odchýlky je 14. Po 331 dňoch expozície svetlom i polutantmi je farebná odlišnosť viditeľná i bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou (Obr. 91).



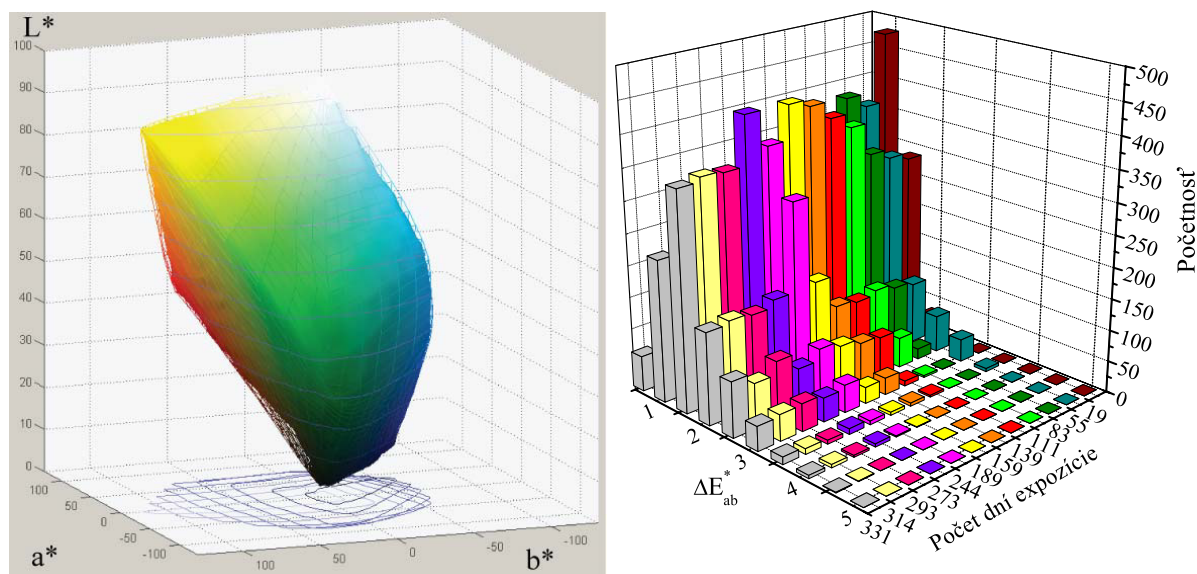
**Obr. 91** Vľavo: zmena objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (siet') a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farbových odchýlok (viď Tabuľka 13).

Na grafe závislosti poklesu relatívneho objemu farbového gamutu na dávke ožiarenia vo VIS i UV oblasti, možno vidieť maximálne 2,5% úbytok objemu gamutu (Obr. 92). Výsledky degradácie iba pôsobením svetla na tejto testovacej škále nie sú veľmi odlišné (vid' Obr. 83 a Obr. 84)

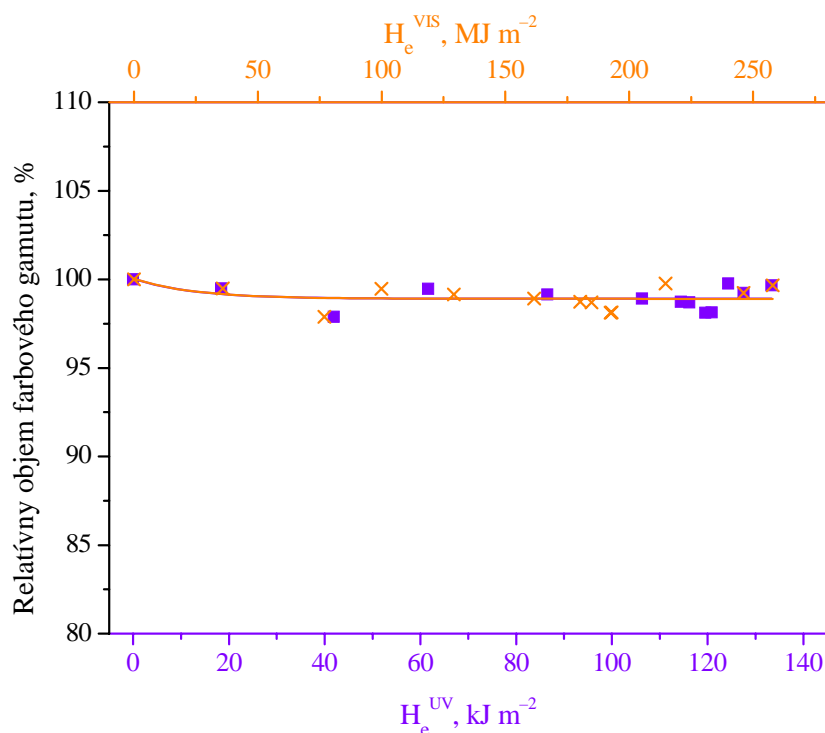


**Obr. 92** Pokles relatívneho objemu farbového gamutu testovacej škály na papieri Ilford Classic Gloss, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

Rovnako, ako pri pôsobení jedného faktoru (Obr. 85 a Obr. 86), aj pri pôsobení viacerých faktorov zároveň je testovacia škála vytlačená na papier Ilford Smooth Gloss najstabilnejšia. Zmena objemu farbového gamutu je minimálna, ako naznačuje i Obr. 93. Ako možno vidieť na grafe početnosti farbových odchýlok, ani po 331 dňoch expozície nie sú pozorovateľné farebné zmeny. Najpočetnejšie sú totiž farbové odchýlky s hodnotami 0,5 a 1 (Obr. 93 vpravo). Tak isto ako v predchádzajúcom prípade na rovnakej testovacej škále došlo po expozícii iba k 2,5 % úbytku z objemu farbového gamutu (Obr. 94).



**Obr. 93** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (vid' Tabuľka 13).

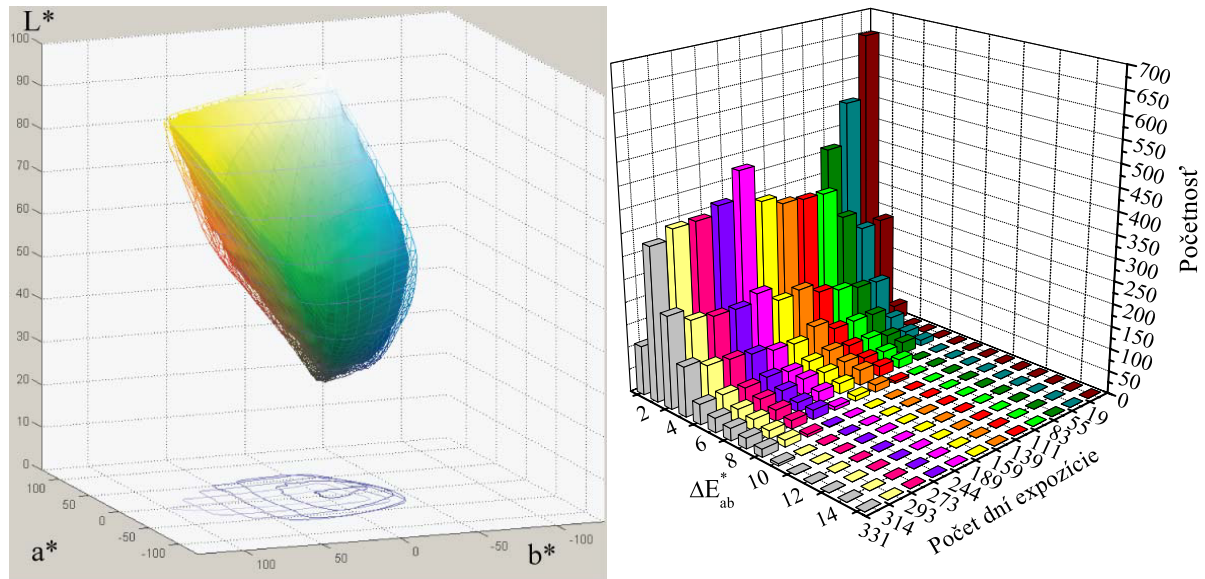


**Obr. 94** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Ilford Smooth Gloss, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

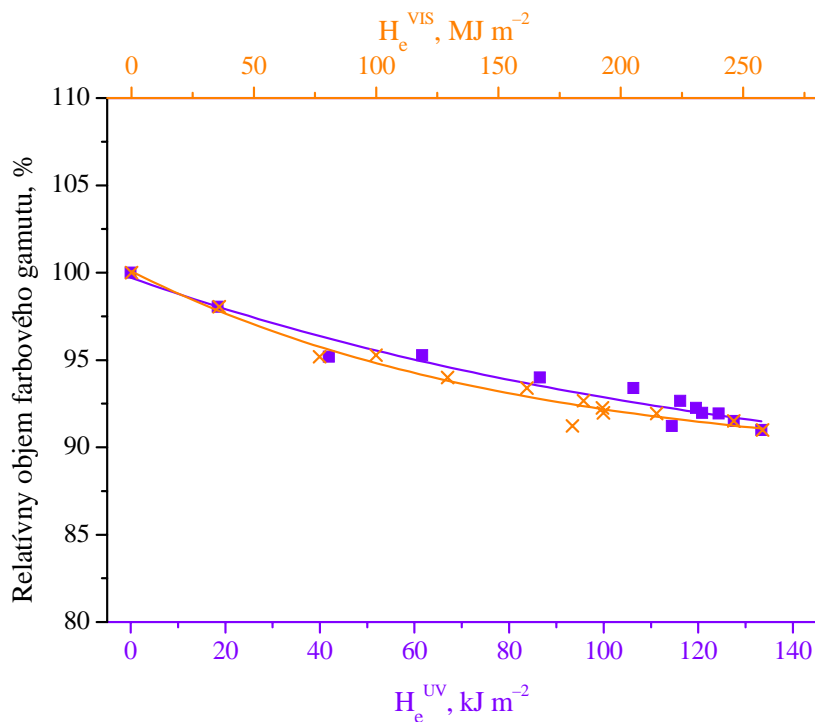
Jediná testovacia škála, ktorá výraznejšie degraduje vytlačená pigmentovými atramentmi na papier Foma 1224. Kým pri pôsobení svetla na túto testovaciu škálu dochádzalo k nárastu objemu farebného gamutu (Obr. 87 a Obr. 88), pôsobením svetla a zároveň polutantov klesol objem gamutu asi o 7 % (Obr. 96). Ani v tomto prípade sa však nejedná o dramatický farebný rozdiel ako naznačuje i početnosť farebných odchýlok, ktorých maximálna hodnota je 12 a a



najpočetnejšie sú v hodnotách 1 a 2. Zmena objemu farebného gamutu je vo všetkých farbách približne rovnaká (Obr. 95).



**Obr. 95** Vľavo: zmena objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme bez skla. Pred expozíciou (sieť) a po expozícii (plný objem). Vpravo: početnosť farebných odchýlok (viď Tabuľka 13).



**Obr. 96** Pokles relatívneho objemu farebného gamutu testovacej škály na papieri Foma 1224, umiestnenej v ráme bez skla, v závislosti na dávke ožiarenia.

**Tabuľka 14** Porovnanie farbových gamutov pre podmienky expozície so sklom (vplyv svetla) a bez skla (vplyv svetla a polutantov) pri dávke ožiarenia  $200 \text{ MJ m}^{-2}$ .

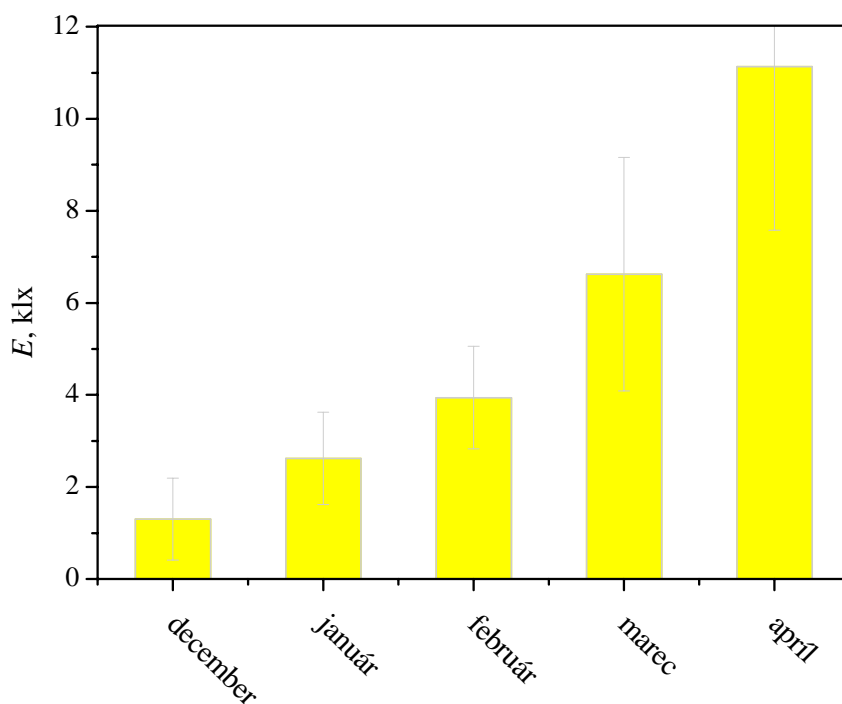
Papier, atramenty	Vplyv svetla Rel. objem f. gamutu, %	Vplyv svetla a polutantov Rel. objem f. gamutu, %
Epson Archival Matt, farbivové	25,0	20,0
Ilford Classic Gloss, farbivové	45,0	75,0
Ilford Smooth Gloss, farbivové	90,0	75,0
Foma 1224, farbivové	55,0	55,0
Epson Archival Matt, pigmentové	97,5	97,5
Ilford Classic Gloss, pigmentové	97,5	97,5
Ilford Smooth Gloss, pigmentové	98,0	97,5
Foma 1224, pigmentové	100,0	94,0

#### 4.4 Testy s nízkou sieťovou tónovou hodnotou

V tomto teste boli študované testovacie obrazce s nižšou sieťovou tónovou hodnotou atramentov. Z tohto dôvodu boli volené iba veľmi svetlé farby s optickou hustotou až do 0,97. Voľba týchto svetlých farieb neumožňuje dobre počítať gamuty. Študovanie takýchto vzoriek bolo zvolené z dôvodu počítania plošných koncentrácií. Pri vyhodnocovaní týchto testovacích obrazcov sú teda vynesené iba početnosti farbových odchýlok v závislosti na počte dní expozície.

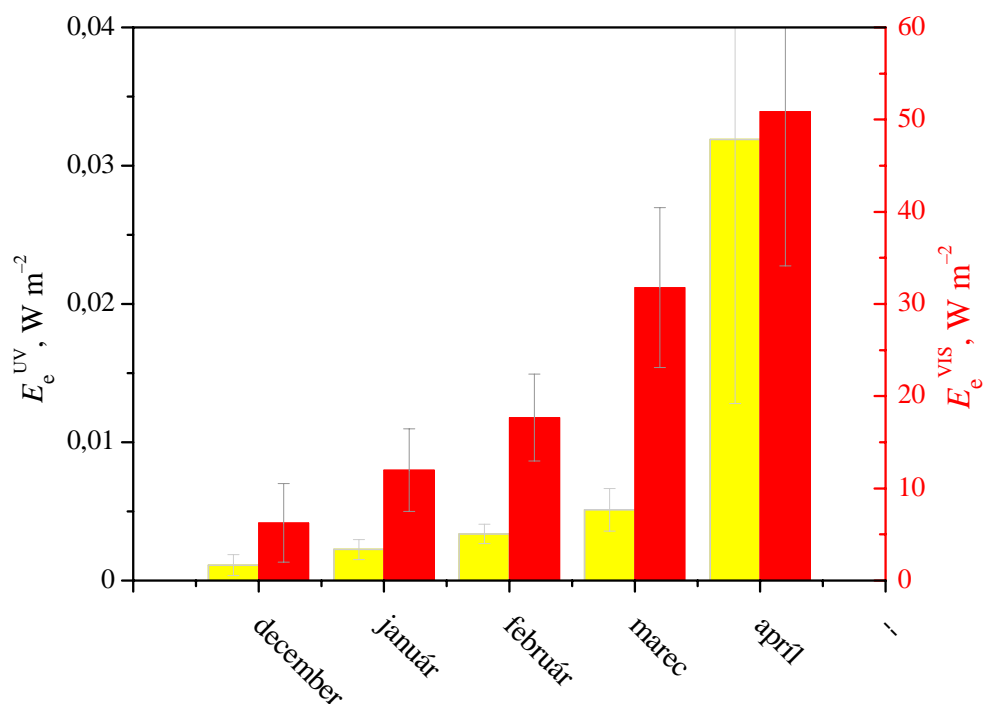
##### 4.4.1 Svetelné podmienky pre dlhodobý test

Ďalší dlhodobý test štúdia inkjetových výtlačkov bol zahájený koncom novembra 2009. Tento test prebieha i naďalej, pre potreby tejto diplomovej práce boli však merania ukončené v polovici apríla 2010.

**Obr. 97** Závislosť intenzít osvetlenia na mesiacoch.

Závislosť intenzít osvetlenia  $E$  na mesiacoch, počas ktorých tento test prebiehal, je uvedená na Obr. 97. Je tu vidieť ako hodnoty intenzít osvetlenia v každom mesiaci narastajú.

Veľmi podobný priebeh ako intenzity osvetlenia majú v tomto prípade i intenzity ožiarenia vo VIS oblasti spektra ( $E_e^{\text{VIS}}$ ). Intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra ( $E_e^{\text{UV}}$ ) majú v zimných mesiacoch takmer vyrovnané hodnoty, na jar však dochádza k významnému nárastu. Je to ilustrované na Obr. 98, kde sú intenzity ožiarenia v UV i vo VIS oblasti vynesené v závislosti na mesiacoch, počas ktorých test prebiehal.



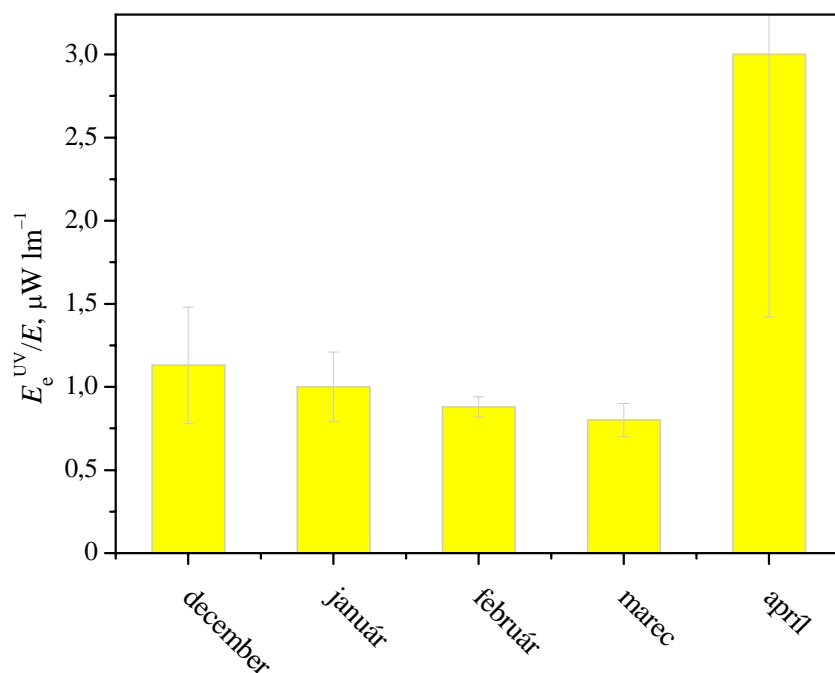
**Obr. 98** Závislosť intenzity ožiarenia v UV i vo VIS oblasti spektra na mesiacoch, počas trvania testu.

V oboch rámoch boli umiestnené testovacie obrazce vytlačené na papieroch Foma 1224, Chagall biely, Hahnemühle Glossy Photo Rag, Hahnemühle Glossy Cellulose, Ilford Smooth Gloss a Ilford Classic Pearl (3.1.4.3). Ich odlišnosť spočívala iba v tom, že jeden rám s testovacími obrazcami bol bez skla a v druhom ráme boli testovacie obrazce chránené sklom pred ozónom a polutantmi. V tabuľke (Tabuľka 15) sú uvedené hodnoty dávok ožiarenia v UV oblasti ( $H_e^{\text{UV}}$ ) a vo VIS oblasti spektra ( $H_e^{\text{VIS}}$ ) a osvit ( $H$ ), ktorým boli tieto testovacie obrazce vystavené. V porovnaní s hodnotami z predchádzajúcich testov sú tieto hodnoty podstatne nižšie, pretože tento test trval najkratšie a prebiehal najmä v zimných mesiacoch, kedy sú intenzity ožiarenia i osvetlenia nízke.

**Tabuľka 15** Hodnoty dávok ožiarenia a osvitu.

Umiestnenie	$H_e^{\text{UV}} [\text{kJ m}^{-2}]$	$H_e^{\text{VIS}} [\text{MJ m}^{-2}]$	$H [\text{klx h}]$
Rám bez skla	10,78	81,6	$2,93 \cdot 10^3$
Rám so sklom	10,49	88,3	$2,86 \cdot 10^3$

Zmena pomeru intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra k intenzite osvetlenia v závislosti na mesiacoch je ilustrovaná na Obr. 99. V zimných mesiacoch má tento pomer klesajúcu tendenciu, pretože intenzity osvetlenia počas týchto mesiacov naopak stúpajú.



**Obr. 99** Zmena pomeru intenzity ožiarenia v UV oblasti spektra k intenzite osvetlenia v závislosti na mesiacoch, počas ktorých test prebiehal.

#### 4.4.2 Hodnotenie testu dlhodobého starnutia

Testovacie obrazce boli pripravené podľa postupu uvedeného v kapitole 3.2.3. Po vyschnutí, pred zahájením expozície, boli všetky testovacie obrazce zmerané Spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino. Pri matných testovacích obrazcoch (vytlačených na papieroch Foma 1224 a Chagall biely) sa meranie uskutočňovalo bez použitia polarizačného filtra, pri lesklých vzorkách bol pri meraní použitý i polarizačný filter. Pri lesklých vzorkách musel byť polarizačný filter použitý, pretože potlačuje prechod rozptýleného svetla a prepúšťa svetlo kmitajúce v jednej rovine (výrazne potlačuje odlesky).

V dlhodobom teste štúdia starnutia atramentových výtláčkov bol študovaný vplyv svetla a zároveň vplyv svetla i polutantov na rýchlosť degradácie testovacích obrazcov s nižšou plošným pokrytím farbivových atramentov. Testovacie obrazce boli adjustované do dvoch obrazových rámov. V oboch rámoch sa nachádzali testovacie obrazce vytlačené na vybrané druhy médií, ktoré sú uvedené v kapitole 3.1.4.3. Jeden rám bol so sklom a druhý bez skla. V ráme so sklom bol sledovaný vplyv svetla na rýchlosť degradácie atramentových výtláčkov. V ráme bez skla bol sledovaný vplyv svetla a zároveň i vplyv polutantov a vlhkosti.

Tabuľka 16 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvetlenia ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času vystavené testovacie obrazce na papieroch Hahnemühle Glossy Photo Rag, Hahnemühle Glossy Cellulose, Ilford Smooth Gloss, Ilford Classic Pearl, Chagall biely a Foma 1224, umiestnené v ráme bez skla. Tabuľka 17 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia vo VIS ( $H_e^{VIS}$ ) i UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvetlenia ( $H$ ), ktorým boli počas expozičného času vystavené testovacie

obrazce umiestnené v spoločnom ráme so sklom. Počet dní expozície opäť zodpovedá časovému intervalu, v ktorom boli spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino merané jednotlivé testovacie obrazce.

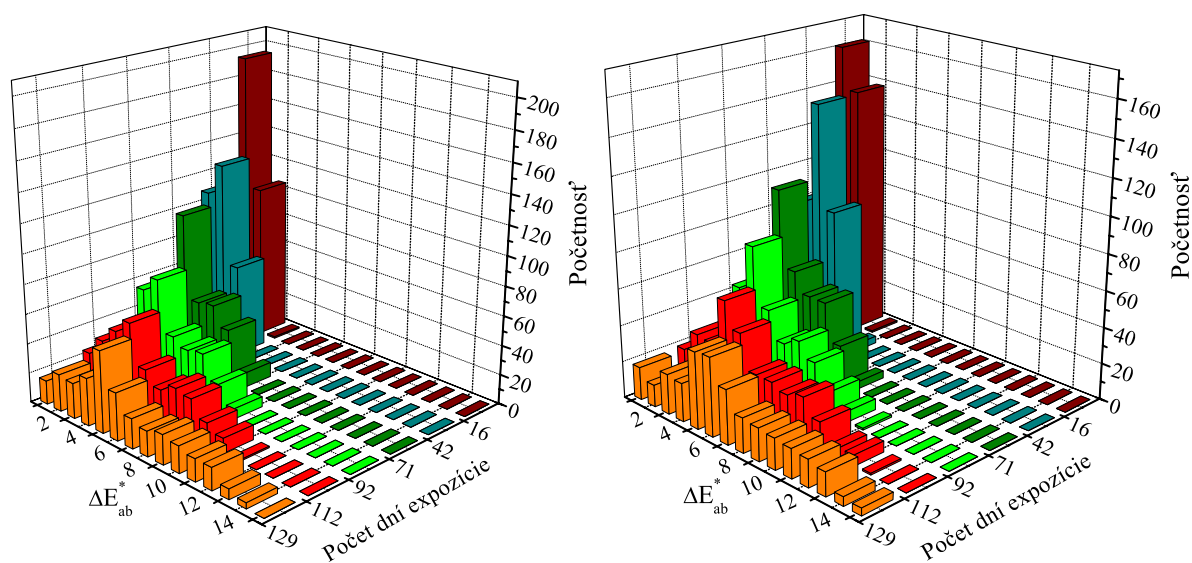
**Tabuľka 16** Hodnoty dávok ožiarenia a osvit.

Počet dní expozície	$H_e^{\text{VIS}}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{\text{UV}}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H$ [klx·h]
16	1,47	0,37	93,79
42	4,56	1,13	290,76
71	5,17	2,21	593,37
92	31,85	4,48	1351,96
112	75,10	6,45	2055,25
129	88,27	10,49	2857,10

**Tabuľka 17** Hodnoty dávok ožiarenia a osvit.

Počet dní expozície	$H_e^{\text{VIS}}$ [ $\text{MJ m}^{-2}$ ]	$H_e^{\text{UV}}$ [ $\text{kJ m}^{-2}$ ]	$H$ [klx·h]
16	1,49	0,38	94,29
42	4,63	1,17	292,29
71	5,25	2,27	593,08
92	28,14	4,58	1355,09
112	68,00	6,68	2109,89
129	81,57	10,78	2930,40

Početnosť farbových odchýlok v závislosti na počte dní expozície je vynesená na Obr. 100 vľavo. Tieto hodnoty početnosti platia pre testovací obrazec vytlačený na papier Ilford Classic Pearl, ktorý bol umiestnený v ráme so sklom. Farebný rozdiel je viditeľný už i voľným okom bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou, pretože maximálna hodnota  $\Delta E^*_{ab}$  je väčšia ako 13.

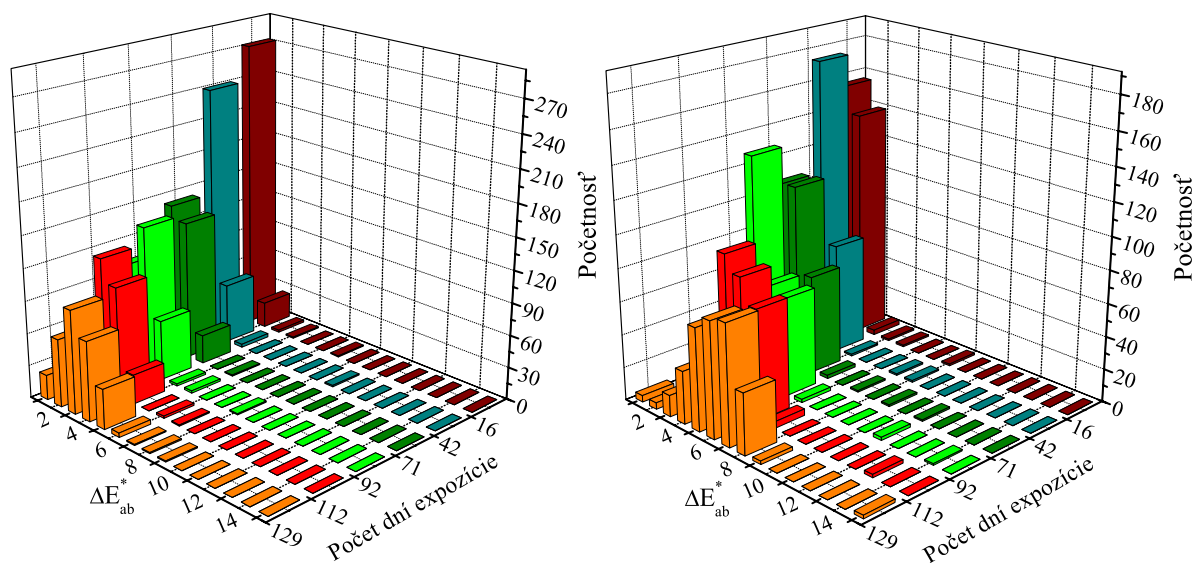


**Obr. 100** Početnosť farbových odchýlok na papieri Ilford Classic Pearl. Vľavo: umiestnený v ráme so sklom (vid' Tabuľka 17), vpravo: umiestnený v ráme bez skla (vid' Tabuľka 16)

Na Obr. 100 vpravo je vynesená početnosť farbových odchýlok pre testovací obrazec umiestnený v ráme bez skla. Najpočetnejšie sú farbové odchýlky 4 a 5, podľa tabuľky (Tabuľka 3) možno konštatovať, že rozdiel farieb je vnímateľný iba pri priamom porovnaní s referenčným vzorkom.

Možno konštatovať že po 129 dňoch expozície vplyvom svetla, na papieri Ilford Smooth Gloss umiestnenom v ráme so sklom, je farebná zmena na testovacom obraze pozorovaná iba priamym porovnaním s referenčnou vzorkou (Obr. 101 vľavo).

V ráme bez skla. už začali byť po 129 dňoch expozície farebné rozdiely viditeľné i bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou, pretože farbová odchýlka  $\Delta E_{ab}^*$  dosahuje hodnotu 8 (Obr. 101 vpravo).

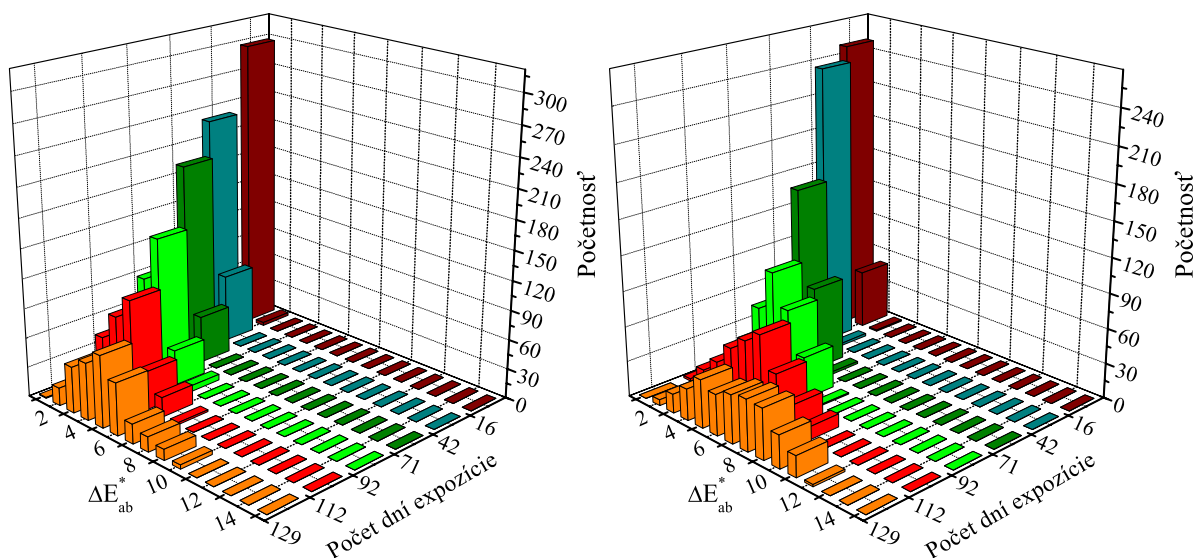


**Obr. 101** Početnosť farbových odchýlok na papieri Ilford Smooth Gloss. Vľavo: umiestnený v ráme so sklom (vid' Tabuľka 17), vpravo: umiestnený v ráme bez skla (vid' Tabuľka 16).

Na papieri Foma 1224, umiestnenom v ráme so sklom, dosahuje farbová odchýlka maximálnu hodnotu 8, najpočetnejšia je však v hodnote 5 (Obr. 102 vľavo). Farebné zmeny sú už teda viditeľné voľným okom, bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou.

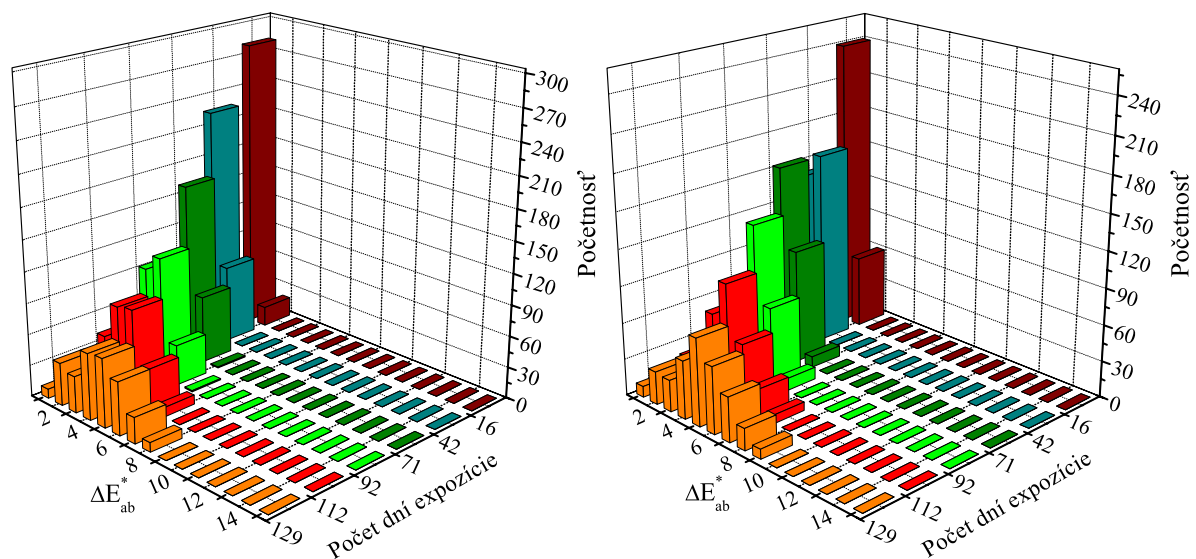
Na papieri Foma 1224, ktorý bol umiestnený v ráme bez skla, je už farebný rozdiel viditeľný i voľným okom, bez priameho porovnania s referenčným vzorkom. Dokazuje to i závislosť početnosti farbových odchýlok na počte dní expozície (Obr. 102 vpravo), kde farbová odchýlka  $\Delta E_{ab}^*$  dosahuje i hodnotu 12. Po 129 dňoch testovania boli najpočetnejšie farbové odchýlky s hodnotami  $\Delta E_{ab}^*$  4 až 10.





**Obr. 102** Početnosť farbových odchýlok na papieri Foma 1224. Vľavo: umiestnený v ráme so sklom (vid' Tabuľka 17), vpravo: umiestnený v ráme bez skla (vid' Tabuľka 16).

Na papieri Chagall biely, umiestnenom v ráme so sklom, boli najpočetnejšie farbové odchýlky v hodnotách  $\Delta E_{ab}^*$  4 až 6 (Obr. 103 vľavo). Niektoré farebné zmeny boli už viditeľné voľným okom, iné boli pozorovateľné až pri priamom porovnaní testovacieho obrazca s referenčnou vzorkou. Farbové odchýlky  $\Delta E_{ab}^*$  (Obr. 103 vpravo) na papieri umiestnenom v ráme bez skla sú najpočetnejšie na hodnote 4, dosahujú však už i hodnotu 10, preto možno konštatovať, že degradácia je viditeľná voľným okom.

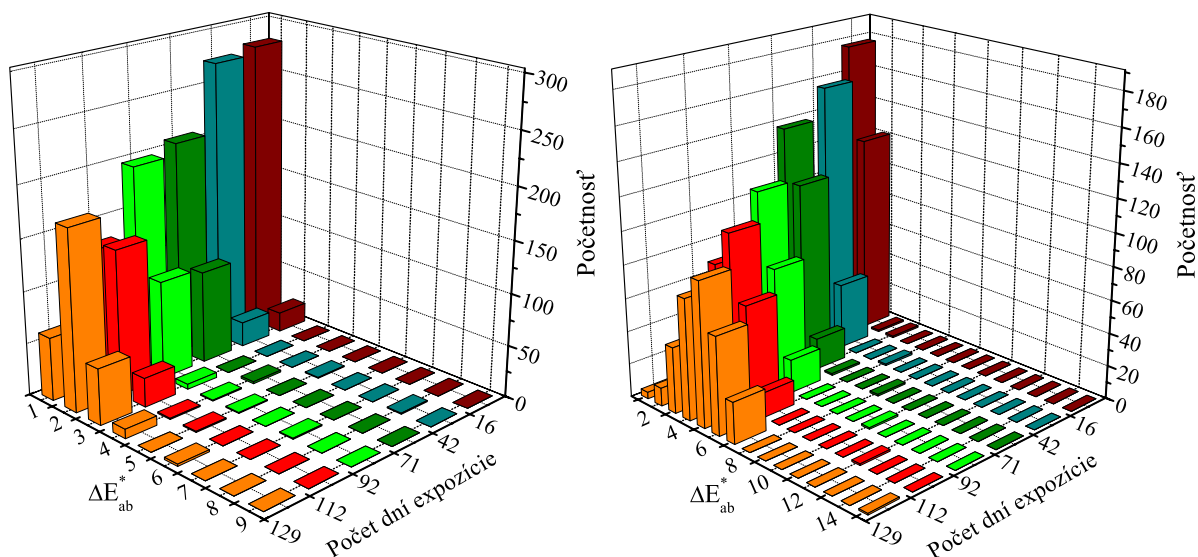


**Obr. 103** Početnosť farbových odchýlok na papieri Chagall. Vľavo: umiestnený v ráme so sklom (vid' Tabuľka 17), vpravo: umiestnený v ráme bez skla (vid' Tabuľka 16).

Početnosť farbových odchýlok  $\Delta E_{ab}^*$  na papieri Hahnemühle Glossy Photo Rag je ilustrovaná na Obr. 104 vľavo. Farbová odchýlka dosahuje maximálnu hodnotu 4 a po 129 dňoch expozície svetlom je najpočetnejšia v hodnote 2. Podľa tabuľky (Tabuľka 3) pri tomto

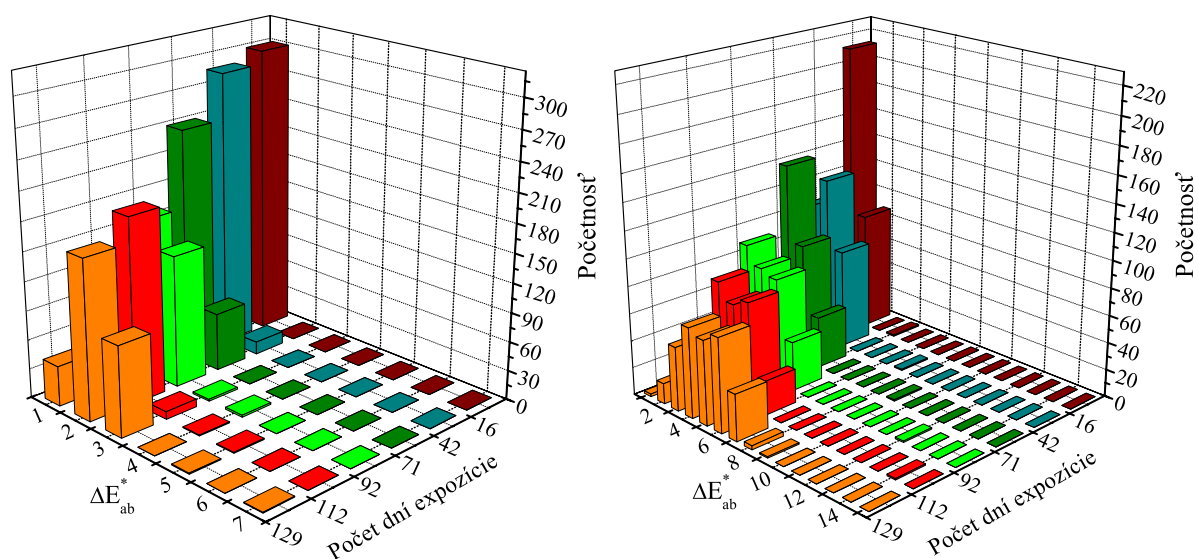
testovacím obrazci nie sú viditeľné farebné zmeny bez priameho porovnania s referenčným testovacím obrazcom.

Na papieri umiestnenom v ráme bez skla po 129 dňoch expozície ešte nie je viditeľná farebná zmena. Je to možné vidieť iba pri priamom porovnaní s referenčnou vzorkou. Vyplýva to z výsledkov, keďže farebová odchýlka dosahuje maximálnu hodnotu 6 a najpočetnejšia je pri hodnote 4 (Obr. 104 vpravo).



**Obr. 104** Početnosť farebných odchýlok na papieri Hahnemühle Glossy Photo Rag. Vľavo: umiestnený v ráme so sklom (vid' Tabuľka 17), vpravo: umiestnený v ráme bez skla (vid' Tabuľka 16).

I v prípade testovacieho obrazca na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose, umiestneného v ráme so sklom, je farebová odchýlka najpočetnejšia v hodnote 2 (Obr. 105), avšak maximálna hodnota  $\Delta E^*_{ab}$  je 3.



**Obr. 105** Početnosť farebných odchýlok na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose. Vľavo: umiestnený v ráme so sklom (vid' Tabuľka 17), vpravo: umiestnený v ráme bez skla (vid' Tabuľka 16).



Farbová odchýlka na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose, umiestnenom v ráme bez skla, dosahuje maximálnu hodnotu 8, najpočetnejšia je však v hodnote 5, to znamená, že farebný rozdiel by mal byť vnímateľný i bez priameho porovnania. V skutočnosti je však farebná odlišnosť bez priameho porovnania nepozorovateľná (Obr. 105 vpravo).

Na základe výsledkov možno konštatovať, že testovacie obrazce vystavené v ráme so sklom boli stabilnejšie ako testovacie obrazce, ktoré boli vystavené nielen pôsobeniu svetla ale i polutantov a vlhkosti, čiže boli adjustované do rámu bez skla. Za najstabilnejší v tomto teste možno považovať testovací obrazec vytlačený na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose umiestnený v ráme so sklom. Naopak, za najmenej stabilný môžeme na základe výsledkov považovať testovací obrazec na papieri Foma 1224.

#### 4.4.3 Svetelné podmienky pre test urýchleného starnutia

Aby mohli byť podmienky v testovacej komore Q-SUN Xenon Test Chamber porovnané so svetelnými podmienkami na chodbe, boli optometrom so sondou XD-950 zmerané i intenzity osvetlenia v xenónovej testovacej komore. Hodnoty intenzít osvetlenia boli merané pri nastavených intenzitách ožiarenia 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{ nm}^{-1}$ .

**Tabuľka 18** *Namerané hodnoty intenzít osvetlenia v xenónovej testovacej komore, zodpovedajúce nastaveným intenzitám ožiarenia.*

Intenzita ožiarenia [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{ nm}^{-1}$ ]	Intenzita ožiarenia UV-A [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]	Intenzita osvetlenia [klx]
1,0	27,94	75,00
0,9	24,94	64,00
0,8	21,78	59,50
0,7	18,74	50,40
0,6	16,60	45,50
0,5	12,55	37,12
0,4	10,11	30,69
0,3	8,49	25,06

#### 4.4.4 Hodnotenie testu urýchleného starnutia

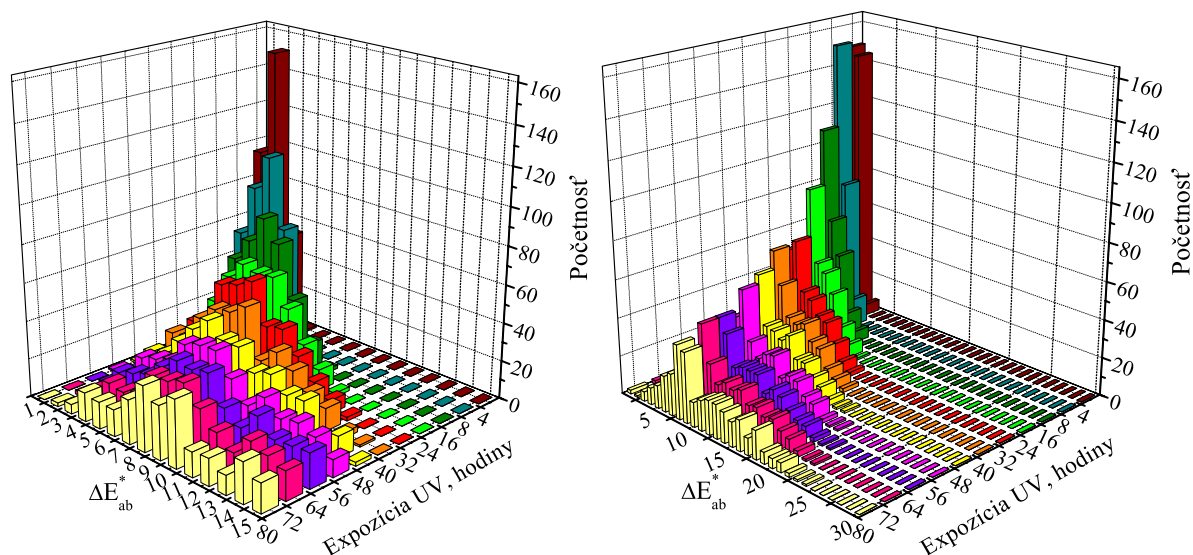
Testovacie obrazce vyhodnocované v tejto podkapitole boli pripravené podľa postupu uvedeného v kapitole 3.2.3.2. Pred zahájením expozície v Q\_SUN Xenon Test Chamber a po každej expozícii, boli všetky testovacie obrazce zmerané Spektrofotometrom Gretag MacBeth Spectrolino. Spektrofotometrom boli merané odrazové spektrá, z ktorých boli vygenerované CIE  $L^*a^*b^*$  hodnoty. Pri matných testovacích obrazcoch (vytlačených na papieroch Foma a Chagall) sa meranie opäť uskutočňovalo bez použitia polarizačného filtra, pri lesklých vzorkách bol pri meraní použitý i polarizačný filter, aby sa potlačili odlesky

**Tabuľka 19** Hodnoty dávok ožiarenia a osvetlenia.

Expozícia [hodiny]	$H_e^{UV}$ [ $J\ m^{-2}$ ]	$H$ [klx h]
4	99,76	256
8	199,52	512
16	399,04	1024
24	598,56	1536
32	798,08	2048
40	997,60	2560
48	1197,12	3072
56	1396,64	3584
64	1596,16	4096
72	1795,68	4608
80	1995,20	5120

Tabuľka 19 uvádza konkrétne hodnoty dávok ožiarenia v UV ( $H_e^{UV}$ ) oblasti spektra, ako i hodnoty osvetlenia ( $H$ ), ktorým boli počas urýchleného starnutia vystavené testovacie obrazce na papieroch Hahnemühle Glossy Photo Rag, Hahnemühle Glossy Cellulose, Ilford Smooth Gloss, Ilford Classic Pearl, Chagall biely a Foma 1224, počas expozície v Q\_SUN Xenon Test Chamber.

Po 80 hodinách expozície UV žiarením dosiahla početnosť farbových odchýlok na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose (Obr. 106 vľavo) hodnoty vyššie ako 15. Farbové odchýlky  $\Delta E_{ab}^*$  boli najpočetnejšie pri hodnotách 8 až 10. Po skončení expozície bola testovacia škála na tomto papieri viditeľne vyblednutá. Farebné zmeny boli viditeľné i bez priameho porovnania s referenčným testovacím obrazcom.



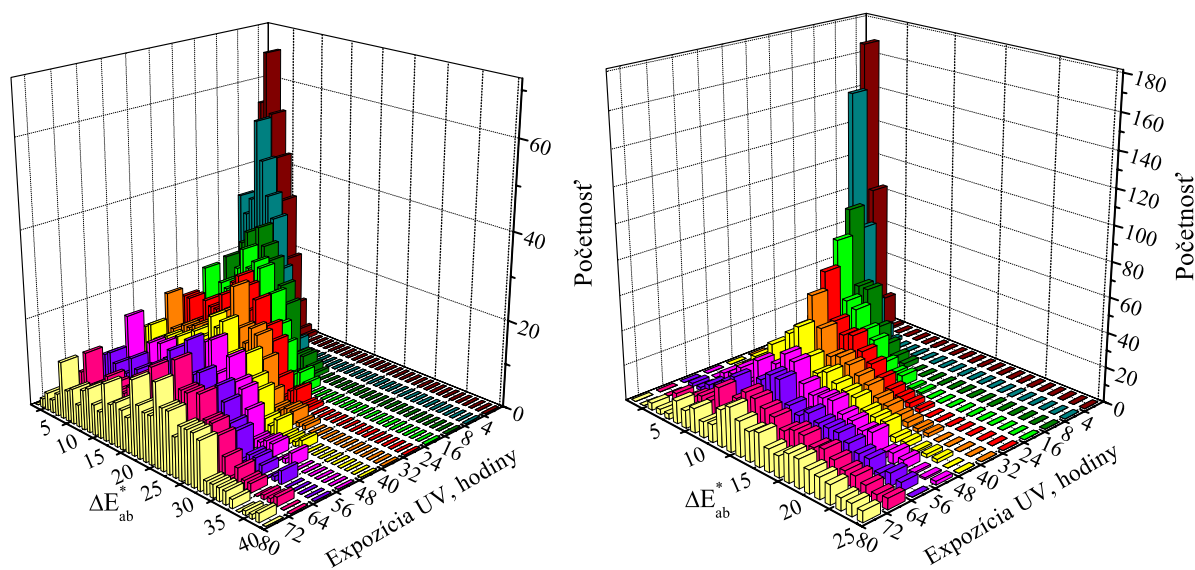
**Obr. 106** Vľavo: početnosť farbových odchýlok na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose, vpravo: početnosť farbových odchýlok na papieri Hahnemühle Glossy Photo Rag (viď Tabuľka 19).

Na papieri Hahnemühle Glossy Photo Rag boli po skončení expozície UV žiarením pri urýchlenom starnutí najpočetnejšie farbové odchýlky v hodnotách 7 a 8 (Obr. 106 vpravo).

Maximálna hodnota farebnej odchýlky bola väčšia ako 20. I na tomto papieri boli farebné zmeny viditeľné aj bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou.

Farbové odchýlky na papieri Ilford Classic Pearl presahujú v maximálnej hodnote číslo 40 (Obr. 107 vľavo). Po skočení expozície UV žiarením, po 80 hodinách žiarenia s xenónovou výbojkou s intenzitou  $0,9 \text{ W m}^{-2}$  pri vlnovej dĺžke 420 nm, bol tento testovací obrazec viditeľne vyblednutý.

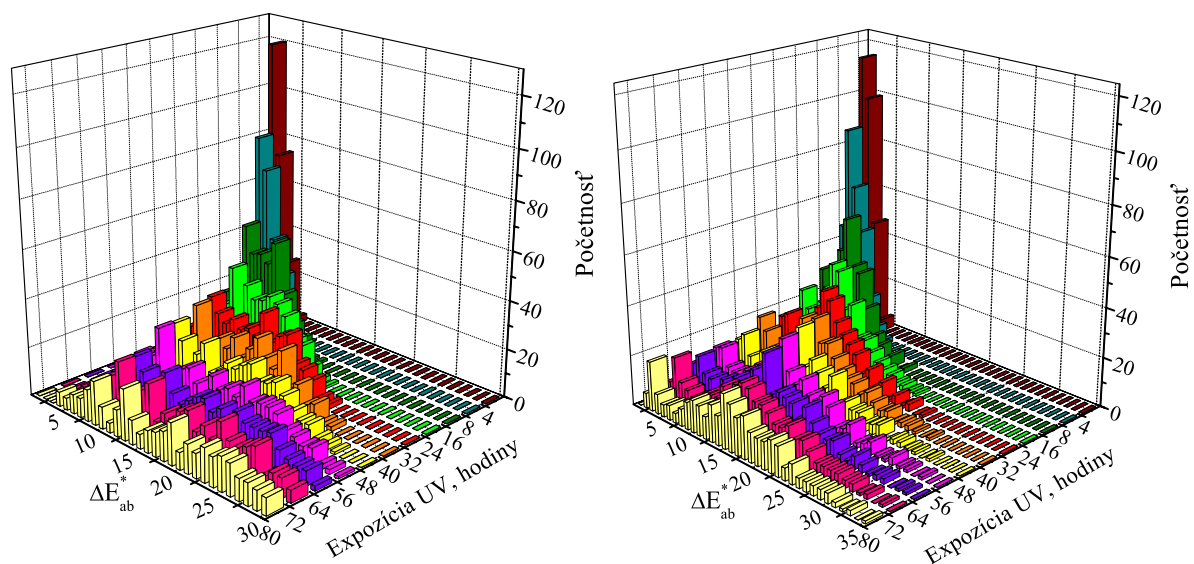
Farbové odchýlky na papieri Ilford Smooth Gloss (Obr. 107 vpravo) dosahujú maximálnu hodnotu väčšiu ako 30. Napriek tomu, že po skončení expozície svetlom je početnosť takmer vyrovnaná, najpočetnejšie boli farbové odchýlky  $\Delta E^*_{ab}$  s hodnotou 12. Farebná odlišnosť bola opäť viditeľná voľným okom.



**Obr. 107** Vľavo: početnosť farebných odchýlok na papieri Ilford Classic Pearl, vpravo: početnosť farebných odchýlok na papieri Ilford Smooth Gloss (viď Tabuľka 19).

Testovací obrazec na papieri Foma 1224 bol vizuálne po skončení expozície UV žiarením najviac vyblednutý. Maximálna hodnota farebnej odchýlky prekračuje hodnotu 35. Početnosť farebných odchýlok na tomto druhu papiera bola po 80 hodinách expozície opäť takmer vyrovnaná (Obr. 108 vľavo).

Na papieri Chagall biley boli najpočetnejšia políčka s farbovou odchýlkou  $\Delta E^*_{ab}$  12 až 15 (Obr. 108 vpravo). I na tomto druhu papiera boli farbové odchýlky viditeľné i bez priameho porovnania s referenčnou vzorkou.



**Obr. 108** Vľavo: početnosť farbových odchýlok na papieri Foma 1224, vpravo: početnosť farbových odchýlok na papieri Chagall biely (viď Tabuľka 19).

## 5 ZÁVER

1. Bolo študované dlhodobé starnutie inkjetových výtlačkov vplyvom svetla na rôznych prijímacích médiách s farbivovými atramentmi. Na študovaných výtlačkoch boli merané odrazové spektrá, z ktorých boli vypočítané CIE  $L^*a^*b^*$  hodnoty. Zo získaných hodnôt boli počítané farbové odchýlky  $\Delta E^*_{ab}$ , ICC profily; výsledky boli vyjadrované ako relatívna zmena farbového gamutu, početnosť farbových odchýlok a graficky bola znázorňovaná zmena objemov farbových gamutov. Test prebiehal počas 534 dní. Počas celého testu boli nepretržite monitorované svetelné podmienky použitím fotocitlivého senzoru pravidelne kalibrovaného pomocou rádiometrov (kap. 4.1).
2. Analyzovaním svetelných podmienok sa zistilo, že v mieste uloženia inkjetových výtlačkov bol veľmi malý podiel UV žiarenia, ktorý dosahoval maximálnu hodnotu  $4,41 \pm 0,79 \mu\text{W lm}^{-1}$ . Ukázalo sa, že pri daných experimentálnych podmienkach najväčší vplyv na degradáciu farbív má VIS žiarenie. Zo získaných výsledkov bolo zistené, že pri niektorých prijímacích médiách dochádza k výraznému blednutiu farieb (kap. 4.2).
3. Na základe uvedeného testu bol uskutočnený nový test dlhodobého starnutia, kde sa študovali vlastnosti inkjetových výtlačkov na vybraných druhoch prijímacích médií s farbivovými i pigmentovými atramentmi (kap. 4.3). V tomto teste bol sledovaný nielen vplyv svetla (vzorky chránené sklom), ale i súčasný účinok svetla a polutantov, najmä ozónu (vzorky adjustované v ráme bez skla). Opäť boli v priebehu celého testu monitorované svetelné podmienky na chodbe, kde boli výtlačky umiestnené. Pri inkjetových výtlačkoch s farbivovými atramentmi sa zistilo, že vo väčšine prípadov viedlo dlhodobé starnutie vplyvom svetla k degradácii žltého a purpurového farbiva, čo malo za následok výrazné zníženie objemov farbových gamutov. Naproti tomu, pri dlhodobom starnutí inkjetových výtlačkov vplyvom svetla i polutantov dochádzalo k výraznejšiemu blednutiu, a teda i k výraznejšiemu zmenšeniu objemov farbových gamutov (viď Tabuľka 14). Mikroporézne prijímacie médium Ilford Smooth Gloss vykázalo úplne odlišné výsledky. V tomto papieri je veľké množstvo mikroporézneho absorbentu schopného absorbovať molekuly polutantov, najmä ozónu, a spôsobovať konkurenčnú reakciu oxidácie farbív. Iba v tomto prípade došlo k blednutiu azúrového farbiva. Degradácia azúrového farbiva bola na ostatných médiách v porovnaní s degradáciou žltého a azúrového farbiva zanedbateľná. Pigmentové výtlačky boli v porovnaní s farbivovými veľmi stabilné, ale niektoré sa účinkom polutantov rozkladali (viď Tabuľka 14).
4. Na základe uvedených dlhodobých experimentov boli vytvorené nové testovacie obrazce, ktoré obsahovali iba svetlé farby. Tie boli tlačené iba na vybrané druhy médií farbivovými atramentmi a boli podrobené dlhodobému i urýchlenu starnutiu. Na týchto testovacích obrazcoch boli vyhodnocované farbové odchýlky  $\Delta E^*_{ab}$  počítané z CIE  $L^*a^*b^*$  hodnôt. Z výsledkov dlhodobého testu možno konštatovať, že pôsobením svetla i polutantov bola degradácia výtlačkov výraznejšia (kap. 4.4.2). Pri urýchlenu starnutí pôsobením xenónovej výbojky najvýraznejšie zdegradovali výtlačky na papieroch Foma 1224 a Chagall biely, najmenej výtlačok na papieri Hahnemühle Glossy Cellulose.
5. Získané dáta môžu byť analyzované v ďalších prácach nadväzujúcich na predloženú diplomovú prácu.

## 6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- <sup>1</sup> Veselý, M., Dzik, P., Stančík, J.: UV Absorbers in Layers Designed for Inkjet Printing. *Sborník přednášek VIII. Polygrafického semináře (Seminar in Graphic Arts)*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2007, p. 138–142. ISBN 978-80-7194-991-6.
- <sup>2</sup> Dzik, P., Veselý, M.: Inkoustový tisk – současný stav, možnosti a trendy. *Sborník přednášek VII. Polygrafického semináře*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, p. 80–88. ISBN 80-7194-793-8.
- <sup>3</sup> Kipphan, H.: Handbook of Print Media. *Technologies and Production Methods*. Springer, Německo, 2001, p. 711–730. ISBN 3-540-67326-1.
- <sup>4</sup> Thoma, P.: Ink-jetový digitální tisk. *Svět tisku*, 2006, vol. 5, p. 40–41.
- <sup>5</sup> Romano, F. J.: INKJET! History, Technology, Markets and Applications. Volume 1, *Printing Industries Press and Digital Printing Council*. Pittsburgh, 2008, p. 85–127. ISBN 978-0-88362-623-8.
- <sup>6</sup> <http://www.paladix.cz/clanky/problematika-archivni-stalosti-inkoustoveho-tisku.html>  
[cit. 28.1.2010]
- <sup>7</sup> Adelstein, P. Z., Zinn, E. D., Reilly, J. M.: Effect of atmospheric pollution on paper stability. *Journal of Pulp and Paper Science*, 2003, vol. 29, no. 1, p. 21–28. ISSN: 0826-6220.
- <sup>8</sup> Brunow, G., Sivonen, M.: Yellowing of lignin. II. Participation of oxygen in the photodegradation of lignin model compounds. *Paperi ja Puu*, 1975, vol. 57, p. 215–16, 219-20. ISSN: 0031-1243.
- <sup>9</sup> Venkataraman, K.: The Chemistry of Synthetic Dyes. *Academic Press*. 1971, vol. 5, p. 535.
- <sup>10</sup> Zahradník, M.: The Production and Application of Fluorescent Brightening Agents. *John Wiley & Sons*, Prague, 1982.
- <sup>11</sup> Shamsipur, M., et al.: Peroxyoxalate-chemiluminescence of Tinopal CBS as a commercially important optical brightener: Mechanic study and quantification. *Journal of Luminescence*, 2010, vol. 130, no. 5, p. 748–755.
- <sup>12</sup> [http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml\\_sub/modernphotopapers.pdf](http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml_sub/modernphotopapers.pdf)  
[cit. 28.1.2010]
- <sup>13</sup> Dzik, P., Veselý, M.: Problematika archivní stálosti inkoustového tisku. *Sborník přednášek VIII. Polygrafického semináře (Seminar in Graphic Arts)*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2007, p. 70–76. ISBN 978-80-7194-991-6.
- <sup>14</sup> Barcock, R. A.; Lavery, A. J.: Ozone Degradation of Ink Jet Photoquality Images. *Journal of Imaging Science and Technology*. 2004, vol. 48, no. 2, p. 153–159.
- <sup>15</sup> Lavery A.: The environmental stability of digital photopapers. *The Imaging Science Journal*, 2002, vol. 50, p. 125–132.
- <sup>16</sup> Matz, D. J.: Lightfast Ink Jet Images. IS&T's NIP16: *International Conference on Digital Printing Technologies*. 2000, p. 100–106. ISBN 0-89208-230-5



- <sup>17</sup> Gregory, P.: Digital photography. *Optics & Laser Technology*, 2006, vol. 38, p. 306–314.
- <sup>18</sup> Adamic, R. J., Austin, M. E., Lauw, H. P., Parazak, D. P., Rehman, Z.: *Dye based ink set for ink jet printing*. EP 1 254 932 A2.
- <sup>19</sup> Wright, G.: *Ink-jet printing process, ink and colorant*. WO 2008/025949 A1.
- <sup>20</sup> Wang, P. A., Kabalnov, A. S.: *Lightfade-stable ink formulations based on blends of rhodamines and metal-containing dyes*. EP 1 333 070 A1.
- <sup>21</sup> Bourek, J.: *UV stabilizace disperzantů pro inkousty Ink-jet tiskáren*, Pardubice, 2009. 109 p. Dizertační práce na Fakultě chemicko-technologické Univerzity Pardubice, Katedra polygrafie a fotofyziky.
- <sup>22</sup> Macháček, V., Panchartek, J., Pytela, O.: *Organická chemie*. 3. vyd. Upravené. Univerzita Pardubice, Pardubice 2005. p. 560–563. ISBN 80-7194-763-6.
- <sup>23</sup> <http://www.jergym.hiedu.cz/%7Ecanovm/barva/azo.html> [cit. 28.1.2010]
- <sup>24</sup> Kaplanová, M. a kolektiv: Moderní polygrafie. *Svaz polygrafických podnikatelů*. 2009. p. 14–49, 146–165, p. 289–293. ISBN 978-80-254-4230-2
- <sup>25</sup> Sano, T. S., Takemoto, K. S.: *Ink set for ink jet recording and method for ink jet recording*. EP 2 075 292 A1.
- <sup>26</sup> Panák, J., Čeppan, M., Dvonka, V., Karpinský, Ľ., Kordoš, P., Mikula, M., Jakucewicz, S.: *Polygrafické minimum*. 2. vyd. *TYPOSET*, Bratislava 2000. p. 165–170. ISBN 80-967811-3-8.
- <sup>27</sup> Smith, G. S.: *Lightfastness improvements of inkjet print media through the addition of photoinitiators*. EP 1 193 079 A2.
- <sup>28</sup> Černič, M., Bračko, S.: Influence of Paper on Colorimetric Properties of an Ink Jet Print. *Journal of Imaging Science and Technology*. 2007, vol. 51, no. 1, p. 53–58.
- <sup>29</sup> Schüttel, S., Hofmann, R.: The Influence of Diluted Inks and Drying on the Lightfastness of Dye Based Ink-Jet Prints. *IS&T's NIP15: International Conference on Digital Printing Technologies*, Orlando, 1999, p. 120–123. ISBN: 0-89208-222-4
- <sup>30</sup> Chovancová, V., Fleming, P. D., Howell, P., Rasmusson, A.: Color and Lightfastness Performance of Different Epson Ink Sets. *Journal of Imaging and Science and Technology*. 2005, vol. 49, no. 6, p. 652–659.
- <sup>31</sup> Steiger, R., Brugger, P.: Photochemical Studies on the Lightfastness of Ink-Jet Systems. *IS&T's NIP14: International Conference on Digital Printing Technologies*, Toronto, 1998, p. 114–117. ISBN 0-89208-212-7
- <sup>32</sup> Feller, L. R.: *Accelerated aging: photochemical and thermal aspects*. Michigan: The J. Paul Getty Trust, 1994. 200 p. ISBN 0-89236-125-5.
- <sup>33</sup> Avecia, W. P.: Issues in Ink Jet Image Stability. *IS&T's NIP16: International Conference on Digital Printing Technologies*, Vancouver, 2000, p. 86–89. ISBN 0-89208-230-5
- <sup>34</sup> Lavery, A., Provost, J.: The Influence of Media on the Light Fastness of Ink Jet Prints. *IS&T's NIP14: International Conference on Digital Printing Technologies*, Toronto, 1998, p. 123–128. ISBN 0-89208-212-7
- <sup>35</sup> Doll, P., Shi, F., Kelly, S., Wnek, W.: The Problem of Catalytic Fading With Ink-Jet Inks. *IS&T's NIP14: International Conference on Digital Printing Technologies*, Toronto, 1998. p. 118–121. ISBN 0-89208-212-7

- <sup>36</sup> Wilhelm, Henry: Light-Induced and Thermally-Induced Yellowish Stain Formation in Inkjet Prints and Traditional Chromogenic Color Photographs. *The Imaging Society of Japan*, Tokyo, 2003, p. 213–216.
- <sup>37</sup> Kanazava, Y., Seoka, Y., Kishimoto, S., Muro, N.: Indoor Pollutant Gas Concentration and the Effect on Image Stability. IS&T's NIP20: *International Conference on Digital Printing Technologies*, Salt Lake City, 2004, p. 748–752. ISBN 0-89208-253-4
- <sup>38</sup> Wilhelm, Henry: Yellowish stain formation in inkjet prints and traditional silver-halide color photographs. IS&T's NIP19: *International Conference on Digital Printing Technologies, Final Program and Proceedings*, New Orleans, 2003, p. 444–449. ISBN 0-89208-247-X
- <sup>39</sup> Marc McCormick-Goodhart, Henry Wilhelm: Humidity-Induced Color Changes and Ink Migration Effects in Inkjet Photographs in Real-World Environmental Conditions. IS&T's NIP16: *International Conference on Digital Printing Technologies*, Vancouver, 2000, p. 74–77. ISBN 0-89208-230-5
- <sup>40</sup> Moffatt, J. R., Thornberry, M.: *Protection of printed images from gasfade*. EP 1 518 703 A1.
- <sup>41</sup> Kitamura, K., Oki, Y., Kanada, H., Hayashi, H.: A Study of Fading Property Indoors Without Glass Frame from an Ozone Accelerated Test. IS&T's NIP19: *International Conference on Digital Printing Technologies*, New Orleans, 2003, p. 415–419. ISBN 0-89208-247-X
- <sup>42</sup> *Color guide 3<sup>th</sup>*. Grandville (USA): X-Rite, Incorporated, 2002.
- <sup>43</sup> *A Guide to Understanding Color Communication*. Grandville (USA): X-Rite, Incorporated, 2002.
- <sup>44</sup> [http://www.printing.cz/art/colormanagement/barvy\\_a\\_modely.html](http://www.printing.cz/art/colormanagement/barvy_a_modely.html) [cit. 26.1.2010]
- <sup>45</sup> Giorgianni, E., J., Madden, T., E.: *Digital color management: Encoding solutions*. 1st print., Massachusetts: Addison Wesley Longman, Inc., 1997. 576 p. ISBN 0-201-63426-0.
- <sup>46</sup> <http://www.colormanagement.sk/CMkurz/Lekcia02.php> [cit. 27.1.2010]
- <sup>47</sup> Zmeškal, O., Čeppan, M., Dzik, P.: *Barevné prostory a správa barev*. VUT v Brně, Chemická fakulta, Ústav fyzikální a spotřební chemie. (10/2002).
- <sup>48</sup> Veselý, M., Králová, I., Dzik, P., Zita, J.: *Vnímaní barev a jejich měření*. VUT v Brně, Chemická fakulta, Ústav fyzikální a spotřební chemie.
- <sup>49</sup> ISO 13655: *Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images*. 1996.
- <sup>50</sup> Gašparík, M.: *Správa farieb v ink-jetovej tlači*. Bratislava, 2004. 54 p. Diplomová práca na Fakulte Chemickej a potravinárskej technológie Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Katedra polygrafie a aplikovanej fotochemie.



## 7 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

3-D	trojdimenzionálny
A	wolfrámová žiarovka
$a^*, b^*$	súradnice chromatickej roviny farebného priestoru 1979 CIE $L^* a^* b^*$
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	priame slnečné svetlo
C	priemerné denné svetlo
C	azúrový atrament
$C_{ab}^*$	merná čistota farebného tónu CIE 1976
C.I.	color index (označenie hlavného katalógového čísla farbiva)
CIE	Commision Internationale de l'Éclairage (Medzinárodná komisia pre osvetlenie)
CS	tlačová technika continual stream
D <sub>50</sub>	denné svetlo s teplotou chromatickosti 5000 K
D <sub>65</sub>	denné svetlo s teplotou chromatickosti 6500 K
D <sub>75</sub>	denné svetlo s teplotou chromatickosti 7500 K
DABCO	1,4-diazabicyklo[2,2,2]-oktán
DOD	tlačová technika drop on demand
dpi	dots per inch
$E$	intenzita osvetlenia
$E_e^{UV}$	intenzita ožiarenia v ultrafialovej oblasti spektra
$E_e^{VIS}$	intenzita ožiarenia vo viditeľnej oblasti spektra
$\Delta E_{ab}^*$	rozdiel farieb
F	fluorescenčné zdroje
FB	fibre based (bezdrevné a rag podložky)
$H$	osvit
$h_{ab}^*$	merný uhol farebného tónu CIE 1976
$\Delta H_{ab}^*$	rozdiel farebného tónu
$H_e^{UV}$	dávka ožiarenia v ultrafialovej oblasti spektra
$H_e^{VIS}$	dávka ožiarenia vo viditeľnej oblasti spektra
ICC	International Color Consortium
IJ	inkjet
ISO	International Organization for Standardization
K	čierny atrament
K	normalizačná konštanta
$\lambda$	vlnová dĺžka
$L^*$	merná svetlosť
M	purpurový atrament
NBC	nikel-dibutyliditiokarbamat
OBA	optical brightening agents (opticky zjasňujúce prostriedky)
PV	prijímacie vrstvy
$R$	odrazivosť
RIP	raster image processor
RC	resign coated (papier obojstranne potiahnutý vrstvičkou polyetylénu)
$R(\lambda)$	spektrálna reflektancia
$T$	priepustnosť
$u^*, v^*$	súradnice chromatickej roviny farebného priestoru 1979 CIE $L^* u^* v^*$

UV	ultrafialové
UV-A	oblasť spektra od 315-400 nm
$\nu_t$	frekvencia v čase $t$
X, Y, Z	trichromatické zložky červené, zelené a modré
$x, y, z$	trichromatické súradnice červené, zelené a modré
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	trichromatické členiteľa pre červenú, zelenú a modrú farbu
$\bar{x}_{10}, \bar{y}_{10}, \bar{z}_{10}$	trichromatické členiteľa pre červenú, zelenú a modrú farbu pre 10° štandardného pozorovateľa
$x^{UV}; x^{VIS}$	koeficient intenzity ožiarenia na 1 kHz pre UV a VIS oblasť spektra
$\bar{x}^{UV}; \bar{x}^{VIS}$	priemerná mesačná hodnota koeficientu intenzity ožiarenia na 1 kHz pre UV a VIS oblasť spektra
$x_j^{UV}; x_j^{VIS}$	koeficient intenzity ožiarenia na 1 kHz pre UV a VIS oblasť spektra pre rám
$y$	koeficient intenzity osvetlenia na 1 kHz
$\bar{y}$	priemerná mesačná hodnota koeficientu intenzity osvetlenia na 1 kHz
$y_j$	koeficient intenzity osvetlenia na 1 kHz pre rám
Y	žltý atrament
$\Phi^0(\lambda)$	spektrálna distribúcia osvetlenia
VIS	viditeľné
VOC	Volatile organic compounds (prchavé organické látky)