

DEGRADÁCIA FAREBNEJ FOTOGRAFIE NA DENNOM SVETLE (DEGRADATION OF COLOR PHOTOGRAPHY ON DAYLIGHT)¹

Vladimír Bukovský, Mariana Švehlová, Katarína Kianicová

Abstrakt

Farebná fotografia Kodak a farebný termosublimačný tlačový výstup boli ožarované na dennom svetle počas leta za stavebným sklom budovy po dobu 138 dní. Popísaná je kinetika starnutia, t.j. strata farby v závislosti od množstva dopadajúcej žiarivej energie na sledované objekty. Množstvo dopadajúcej energie bolo vypočítané v spolupráci so SHMÚ v Bratislave. Získané poznatky môžu pomôcť pri ochrane farebnej fotografie a iných farebných tlačových výstupoch počas ich priameho vystavenia svetelnej energii, napr. výstavy.

Kľúčové slová: farebná fotografia, termosublimačný tlačový výstup, slnečná energia, strata farby (blednutie), kinetika degradácie farieb

Abstract

The color photography and color thermo-sublimation printed outputs located behind the building glass were radiated by daylight during summer months within 138 days. In the article, aging kinetics is described; it means color fading according to the quantity of incident ray energy on investigated objects. The amount of incident ray energy was calculated in co-operation with the Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava. A set of gained knowledge might be helpful in the field of protection of color photography and other color printed outputs within their exposure to incident ray energy what could happen when the above-mentioned materials create an integral part of exhibitions, as well.

Keywords: color photography, thermosublimation output, solar energy, color degradation

1. Úvod

Ochrana farebného kultúrneho dedičstva, t. j. fotografií, diapozitívov, filmového materiálu a v poslednej dobe aj rôznych farebných tlačových výstupov (technológií je viacero) si vyžaduje viac poznatkov o vplyve vonkajšieho prostredia na ich degradáciu (1). Okrem dlhodobého skladovania, kde sú podmienky uloženia väčšinou dobre merané a regulované, sú problémom situácie, kedy sú tieto materiály vystavované svetlu (počas štúdia v študovniach, vystavovaniu na rôznych, nie vždy optimálne zabezpečených výstavách a pod.).

Pri popise a následnom hodnotení vplyvov vonkajších podmienok (v našom prípade ide o svetlo) na farebný materiál umiestnený za stavebným sklom (1) narážame na dva hlavné problémy. Prvým je určiť množstvo žiarivej energie, ktoré na materiál dopadne a druhým problémom je meranie rozsahu degradácie farebného materiálu najčastejšie spojeného so stratou reflexnej denzity farieb a súčasným sfarbovaním pozadia.

¹ Príspevok je výstupom a súčasťou výskumu podporeného Agentúrou pre vedu a výskum (APVV) v rámci projektu *Intelektuálne dedičstvo a vedecká komunikácia 1500 – 1800 so slovenskými vzťahmi ako súčasť európskej histórie a identity* (APVV-15-0554).

V reálnej fotografii je ťažko nájsť čisté farby CMY, resp. RGB, ktoré by sa dali merať, a v prípade aj nejakého merania nemáme s čím tieto merania porovnať. Pre hodnotenia stavu farebného fotografického materiálu Reilly (2) uvádza, že k strate tohto materiálu dochádza, keď sa stratí 30 % denzity farieb. Nepopisuje však, ako sa tieto straty dajú zmerať. Riešením môžu byť modelové fotografie, kde sú tieto farby presne určené a porovnané so štandardami (3,4,5).

Problémom pri hodnotení degradácie farebných objektov, t.j. straty farby je skutočnosť, že jednotlivé farby CMY starnú rôznou rýchlosťou (1,6,7). Ďalej sme zistili, že medzi reflexnou denzitou farieb (D_R)- ďalej len denzitou farieb (8) a ich umiestnením vo farebnom kruhu chromatickej roviny priestoru CIEL*a*b*, nie je lineárny vzťah (4). Aj pri vytváraní farieb RGB, ktoré teoreticky vznikajú miešaním farieb CMY v pomere 1 : 1, ich umiestnenie v CIEL*a*b* farebnom kruhu Spectrodens vo vzťahu k denzite farieb nezodpovedá tomuto pomeru (4).

V práci sme sa zamerali na riešenie dvoch problémov. V spolupráci so SHMÚ v Bratislava sme riešili výpočet množstva žiarivej slnečnej energie, ktorá dopadá na zemský povrch a následne na objekty umiestnené za stavebným sklom okna počas dlhodobého ožarovania (farebná fotografia, termosublimačný tlačový výstup).

Ďalším riešením bola snaha nájsť spôsob hodnotenia degradácie reálnych farebných fotografií.

2. Materiál a metodika

SHMÚ v Bratislave nám poskytol všetky meteorologické merania zo stanice Dolný Hričov (letisko), v takmer celom priebehu ožarovania farebnej fotografie (FF) a termosublimačného tlačového výstupu (TSV). Množstvo žiarivej energie (globálne žiarenie t.j. hustota toku slnečného žiarenia) dopadajúce na zemský povrch bolo kumulatívne merané v $J.cm^{-2}$ a $W.m^{-2}$ v hodinových intervaloch počas každého dňa (automatický systém ukladania dát VAISALA MILOS).

Z hodinových a denných meraní sme vypočítali hodnoty dopadajúcej žiarivej energie na povrch zeme ($W.m^{-2}$) počas nášho experimentu. V určitých dňoch sme medzi 12. – 14. dennou hodinou merali prístrojom VOLTcraft PL-110SM aktuálne množstvo žiarivej energie ($W.m^{-2}$) pred a za stavebným sklom na južnej strane budovy (3. nadzemné podlažie).

Porovnávaním meraní zo SHMÚ s našimi meraniami sme vypočítali množstvo dopadajúcej žiarivej energie slnka na plášť budovy a po prechode cez stavebné sklo aj na ožarované objekty. Z týchto hodnôt energie sme počítali aj kinetiku starnutia svetelnej degradácie ožiarených predmetov. Súčasne sme riešili aj vplyv polohy merača pri meraní na namerané hodnoty hustoty žiarivého toku.

Reálne farebné fotografie Kodak- matný povrch (KodakM) boli vyrobené vo fotolabe Kodak v Žiline na prístroji DKS 1500 (Photo-Me-Group) s chemikáliami Champion na matnom papieri Kodak Royal 15x21 cm (3) a termosublimačné tlačové výstupy (TSV) na matnom pozadí (TermoM) vyrobené vo fotolabe BaB v Martine na tlačiarňi Dai Nippon Printing DP-DS620 (9). Rovnakým spôsobom boli vyrobené z .jpg. aj predlohy modelovej fotografie a TSV. Reálne a modelové fotografie a termosublimačné tlačové výstupy zvislo uložené za stavebným sklom (vzdialenosť od skla bola 1 cm) sme ožarovali počas 138 dní.

Strata farby sa merala v 3. intervaloch: po 25 dňoch (od 27.6. – 21.7.2016, následne po 60 dňoch (22.7. – 12.9.2016 a po prestávke po 60 dňoch (11.10. – 9.12.2016).

Farebné zmeny reflexnej denzity farieb (8) po ožiarení sme merali spektrodensitometrom SpectroDens (TECHKON) vo CIEL*a*b* (1976) a porovnávali s kontrolnými vzorkami uloženými v tme (7,10). Nastavenie prístroja: iluminant- D50, uhol pozorovania- 2°, vypnutý polarizačný filter- noPOL, kalibrácia na absolútnu bielu- ABS, nastavenie pozadia- biely papier 90g/m² (Metsä).

Z nameraných hodnôt a* a b* farieb CMY a RGB pred a po ožiarení na modelových fotografiách a TSV, sme v L*a*b* farebnom kruhu SpectroDens (chromatická rovina CIEL*a*b*) urobili ab-gamuty (9,10). Takéto usporiadanie relatívne najlepšie popisuje farebnú fotografiu a iné tlačové výstupy. Plochu ab-gamutov vymedzenú v L*a*b* farebnom kruhu Spectrodens sme stanovili vázkovou metódou po vytlačení plôch na papier a vystrihnutí. Z úbytkov plôch ab-gamutov v ožiarených farebných fotografiách a TSV sme v porovnaní so súčasne nameranými kontrolnými vzorkami (hodnota 100%) vypočítali stratu denzity farieb (blednutie) v % (2). Tieto straty sa dali do súvislosti s množstvom energie slnečného žiarenia, ktoré reálnom čase dopadlo na objekty za stavebným sklom. Z kinetiky starnutia, je možné vypočítať množstvo energie potrebné napr. aj na zničenie farebného dokumentu (2).

3. Výsledky a diskusia

Z výsledkov merania SHMÚ v Dolnom Hričove sme vypočítali množstvo energie slnečného žiarenia (kW.m⁻²) dopadajúce na zemský povrch v 3 intervaloch, v ktorých boli farebné fotografie a TSV ožarované.

Tab. 1: Množstvo energie dopadajúce na zemský povrch v priebehu 3 intervalov ožarovania.

SHMU		kW.m ⁻²
rok 2016	dni	celkom
1. interval	25	138,9
1.+2. interval	78	402,9
1.+2.+3. interval	138	499,0

Celková hodnota žiarivej energie, ktorá dopadla na zemský povrch počas 3 intervalov ožarovania bola 138,9 ; 402,9 a 499 kW.m⁻². Z týchto hodnôt energie a množstva energie nameranej pred a za stavebným sklom v polohe merača zvislo (t.j. v polohe za sklom vystavených farebných fotografií a TSV) sme vypočítali množstvo energie, ktoré dopadlo na ožarované objekty vystavené za stavebným sklom.

Tab. 2: Množstvo energie, ktoré dopadlo na zemský povrch, bolo namerané za stavebným sklom v priebehu troch intervalov ožarovania.

Meranie						
Poloha merača /		Zem	Pred oknom	Prepočet	Za oknom	Prepočet
Interval	dni	kW.m ⁻²	%*	kW.m ⁻²	%*	kW.m ⁻²
1.	25	138,9	62,5	86,8	13,3	18,5
2.	53	264,0	79	208,6	21,4	56,5
3.	60	96,1	79	75,9	21,4	20,6

Celkom	138	499,0	74,4	371,3	19,2	95,6
--------	-----	-------	------	-------	------	------

Zistili sme, že hodnoty energie namerané pred stavebným sklom sú v priemere o 25,6% nižšie v porovnaní s hodnotami (SHMÚ), ktoré dopadali na zemský povrch. Menšie percento nameraných hodnôt v 1. intervale (na vrchole leta) pripisujeme vysokej polohe Slnka na oblohe. Z nameraných hodnôt energie nameraných za stavebným sklom vyplýva, že na ožarované objekty dopadá z celkovej žiarivej energie namerickej na povrch Zeme v priemere len 19,2%. Hodnoty žiarivej energie z tejto tabuľky sme porovnávali s rýchlosťou straty farby ožarovaných objektov.

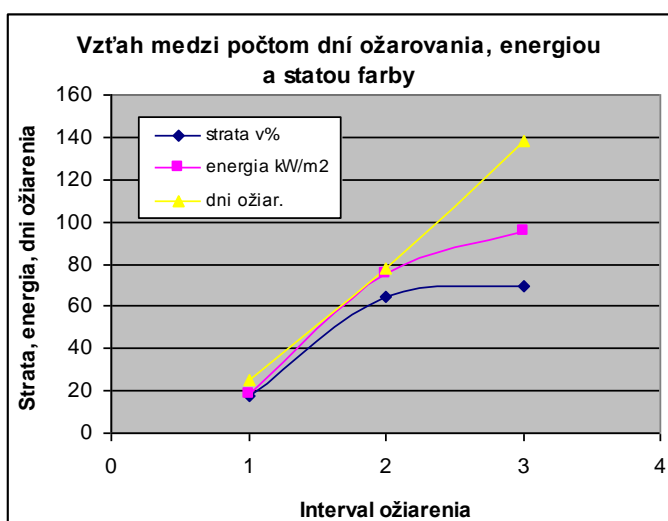
Pre praktickú časť merania energie sme porovnali aj polohu merača počas merania (fotobunka zvislo a vodorovne).

Tab. 3: Hodnoty energie namerané za stavebným sklom v priebehu troch intervalov ožarovania meračom VOLTcraft PL-110SM vo zvislej a vodorovnej polohe fotobunky.

	Merač /	Merač --
	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$
1. int.	18,5	21,7
2. int.	56,5	54,13
3. int.	20,6	19,7
Celkom	95,6	95,5

Namerané energie sú veľmi podobné a zdá sa, že poloha fotobunky merača nemá výraznejší vplyv na meranie. V 1. intervale dáva vodorovná poloha vyššie hodnoty, čo spôsobuje práve výška slnka na oblohe.

Meranie energie počas dlhodobého ožarovania je dôležité, lebo kinetika degradácie vzťahovaná len na počet dní ožarovania (intervaly) nie je v korelácii s rozsahom degradácie.



Obr. 1: Vzťah medzi počtom dní ožarovania (intervaly) a množstvom slnečnej žiarivej energie, ktorá dopadla na ožarované objekty za stavebným sklom.

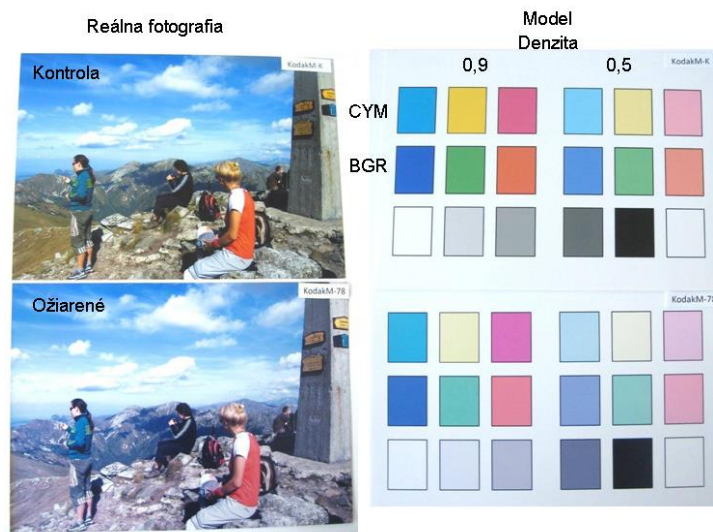
Reálne fotografie a modelové fotografie boli vyrobené súčasne a rovnakým postupom. Modelové fotografie boli pripravené tak, aby reflexná denzita farieb CMY a farieb RGB mala

hodnotu 0,9 a 0,5. Tento postup sme zvolili preto, lebo v CIEL*a*b* chromatickom farebnom kruhu SpectroDens (10) sú od hodnoty denzít farieb vyšších ako 0,5 už v nelineárnej závislosti medzi nameranými súradnicami a* a b* (4).

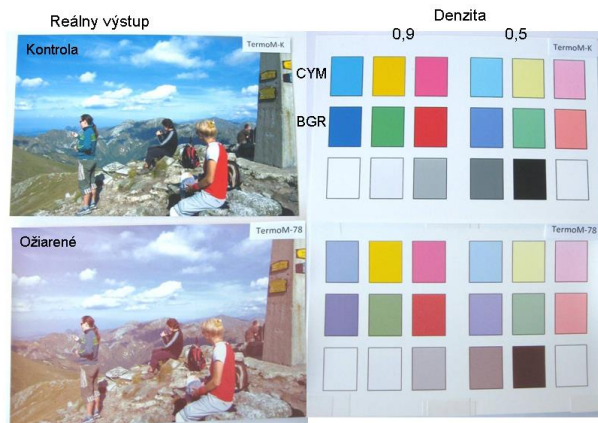
Ďalším problémom je skutočnosť, že jednotlivé farby CMY degradujú aj pod vplyvom slnečnej energie rôznou rýchlosťou (1,7). Na reálnych fotografiách to možno vnímať ako posun do určitej farby, najčastejšie do modrej, resp. do červenej. Súčasne sa stráca sa aj celková farebnosť objektov (blednutie). Objektívne zhodnotiť rozsah degradácie na reálnych fotografiách nie je jednoduché, a preto sme zvolili ich modely, kde sú jednotlivé farby CMY a RGB presne popísané (3,9).

Reilly vo svojej práci (2) považuje rozsah degradácie fotografického farebného materiálu v rozsahu 30% straty denzity farieb za zničenie farebného objektu. Akým spôsobom meral túto stratu na reálnom farebnom obraze v práci nie je uvedené. Podľa ISO normy (1) sa vplyv vonkajšieho prostredia na farebné fotografické objekty dá čiastočne hodnotiť aj zo zmien denzity jednotlivých farieb RGB a CMY.

V ISO norme (5) sa na popis hodnotenia degradácie či už na svetle, alebo v tme odporúča použiť modelový štandard s 84 farebnými plochami. Z nameraných hodnôt celkovej farebnej zmeny ΔE^*_{ab} jednotlivých farieb štandardu sa vypočíta priemerná celková farebná zmena ΔE^*_{ab} , ktorá by mala byť obrazom zmien aj v reálnom farebnom objekte. Takýto postup hodnotenia zmien v reflexnej denzite farieb sme porovnali aj s hodnotením prostredníctvom ab-gamutov (9) a usúdili sme, že popis degradácie, resp. popis kinetiky degradácie sa dá názornejšie a výhodnejšie popísať pomocou ab-gamutov.

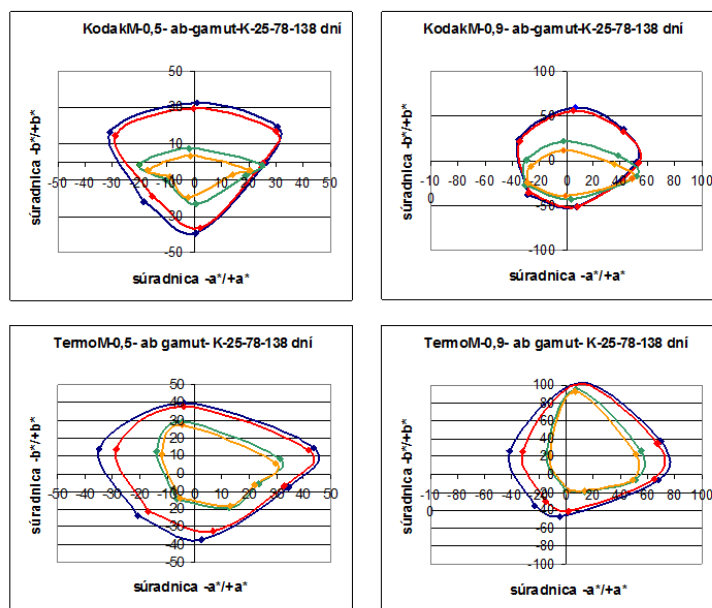


Obr. 2: Ukážka starnutia reálnej fotografie a modelovej fotografie Kodak-matná úprava po 78 dňoch ožarovania (po 2. intervale).



Obr. 3: Ukážka starnutia reálneho a modelového termosublumačného tlačového výstupu po 78 dňoch ožarovania (po 2. intervale).

Z nameraných hodnôt a^* a b^* farieb v kontrolnej modelovej fotografii, kontrolnom termosublumačnom výstupe a po ich ožiarení v troch intervaloch sme urobili ab-gamuty.



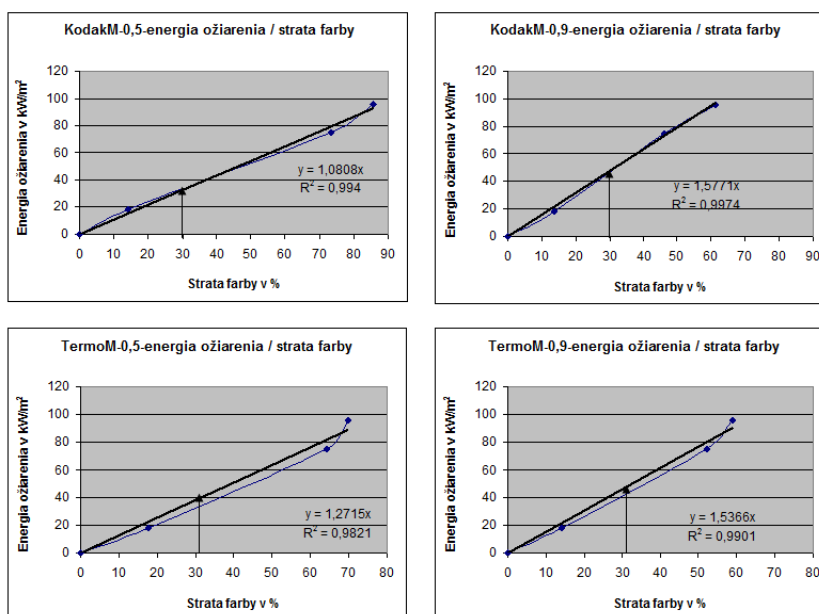
Obr. 4: ab-gamuty farieb CMY a RGB v CIEL^{*}a^{*}b^{*} chromatickom farebnom priestore SpectroDens (na obrázku sú znázornené len súradnice farebného priestoru, ktorými je reálny kruh vymedzený). Modrá – kontrola, červená – 25 dní starnutia, zelená – 78 dní starnutia a žltá – 138 dní starnutia. Ľavá strana: výsek z kruhového farebného priestoru, súradnica a^* -50/+50, súradnica b^* +50/-50 (polovica priestoru). Pravá strana: celý kruhový farebný priestor, súradnica a^* -100/+100, súradnica b^* +100/-100. Farby zhora v smere hodinových ručičiek: žltá, červená, magenta, modrá, cyan, zelená.

Umiestnenie kontrolnej modelovej farebnej fotografie KodakM (na obrázku kruh modrej farby) s denzitou farieb 0,9, ale aj 0,5 ukazuje na kvalitu farebného výstupu fotografie. Čím je väčšia plocha vymedzená v kruhovom priestore, tým je kvalitnejší celkový farebný výstup. V porovnaní s KodakM sa ukazuje, že TSV je pri oboch denzitách farieb výrazne kvalitnejší (väčšia plocha).

Ďalšou dôležitou charakteristikou pri posudzovaní kvality farebných fotografií, resp. iných farebných tlačových výstupov je uloženie ab-gamutu v CIEL*a*b* farebnom kruhu SpectroDens (10) oproti strediu kruhu, t.j. podiel plochy v určitom kvadrante kruhového priestoru. Na prvý pohľad je zrejmé, že pri denzite farieb 0,5 je umiestnenie farieb vo farebnom kruhu iné ako pri vyššej denzite farieb. Tieto rozdiely súvisia s reprodukovateľnosťou farieb (9).

Pre hodnotenie starnutia modelovej fotografie, resp. TSV sú dôležité dva faktory – rýchlosť straty farby (zmenšovanie plochy a presun plochy ab-gamutu do určitého kvadrantu) a nerovnomernosť rýchlosti starnutia jednotlivých farieb.

Hodnotenie rozsahu starnutia je v tomto príspevku zamerané len na úbytok denzity farieb modelovej fotografie a TSV. Úbytok plochy ab-gamutu (strata farby-SF%) ako zmenu v % sme dali do súvislosti s množstvom žiarivej energie, ktorá dopadla na ožarované objekty v každom sledovanom intervale.



Obr. 5: Kinetika starnutia farieb u farebnej fotografii KodakM a TSV v závislosti na množstve dopadajúcej žiarivej energie. Rovnica popisujúca tento vzťah je $E_{(kW/m^2)} = k \cdot SF\%$.

V sledovanom intervale 138 dní je v podstate rýchlosť degradácie priamo úmerná žiarivej energii nameranej za stavebným sklom. Rýchlostná konštanta **k** je mierou degradácie všetkých farieb na modelovej a zrejme aj na reálnej fotografii, resp. TSV. Kinetika nerieši zmeny v jednotlivých farbách a nerieši ani ich umiestnenie kruhovom farebnom priestore počas starnutia. Súhrne výsledky sú v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 4: Rýchlostné konštanty degradácie farebnej fotografie KodakM a TSV pri denzite farieb 0,5 a 0,9 a množstvo žiarivej energie potrebnej na stratu farieb v rozsahu 30%, t.j. na „zničenie“ farebného objektu (2).

		Energia
	k	kW.m ²
KodakM-0,5	1,081	32,4
KodakM-0,9	1,577	47,3

TermoM-0,5	1,271	38,1
TermoM-0,9	1,537	46,1

Sýtejšie farby u fotografie KodakM-0,9 a termosublimačnom tlačovom výstupe TermoM-0,9 starnú približne rovnako rýchlo a ich životnosť sa končí (SF30%) po ožiarení asi s 46-47 kW.m⁻². Bledšie farby starnú rýchlejšie. Na dosiahnutie 30% straty farby potrebujú menšiu energiu v rozsahu 32-38 kW.m⁻². V porovnaní s termosublimačným výstupom (TermoM-0,5) farebná fotografia KodakM-0,5 starne rýchlejšie.

4. Závěry

1/ Výpočet energie slnečného žiarenia, resp. iného žiarenia, ktoré sa podieľa na degradácii farieb rôznych predmetov (dokumentov) kultúrneho dedičstva je dôležité pre ich preventívnu ochranu.

2/ Rozsah degradácie takýchto predmetov v závislosti na množstve žiarivej svetelnej energie je určovaný povahou farieb a technológiou vzniku predmetu a ich pôvodom, resp. výrobcom.

3/ Objektívne posúdiť rozsah a povahu degradácie reálneho farebného dokumentu a určiť jeho životnosť je podľa našich skúseností možné len na modeloch.

4/ Množstvo žiarivej energie, ktoré je potrebné na „zničenie“ obidvoch popísaných farebných dokumentov (farebná fotografia Kodak-matný, termosublimačný-matný tlačový výstup) by sa malo posudzovať predovšetkým podľa straty farebnej denzity „bledých“ farieb.

5/ Vizualne pozorovateľná celková farebná zmena po ožiarení slnečným žiarením, resp. iným zdrojom je daná predovšetkým rôznou rýchlosťou degradácie CMY farieb s čím súvisí posun gamutov do určitého kvadrantu farebného kruhu.

Pod'akovanie

Ďakujeme Slovenskému hydrometeorologickému ústavu v Bratislave za poskytnutie požadovaných údajov zo stanice Žilina - Dolný Hričov pre potrebu tejto práce.

Zoznam bibliografických odkazov a použitej literatúry

BUKOVSKÝ, Vladimír a Katarína KIANICOVÁ. Kinetika svetelného starnutia farebnej fotografie. In: XV. seminár restarátorů a historiků. Praha: Národní archiv, 2015, s. 164-170. ISBN 978-80-7469-016-7

BUKOVSKÝ, Vladimír a Mariana ŠVEHLOVÁ. Štandard SpectroDens a Kodak Q13. In: Mediamatika a kultúrne dedičstvo: revue o nových médiách a kultúrnom dedičstve, 2017, roč. 4, č. 1. ISSN 1339-777X

BUKOVSKÝ, Vladimír, ŠVEHLOVÁ, Mariana a Zuzana CHOVANCOVÁ. Reprodukovateľnosť farieb v dvoch technologicky rozdielnych tlačových výstupoch. In: Mediamatika a kultúrne dedičstvo: revue o nových médiách a kultúrnom dedičstve, 2017, roč. 4, č. 2. ISSN 1339-777X

ISO 18909:2006(E). Photography - Processed photographic colour films and paper prints - Methods for measuring image stability

ISO 18946:2011(E). Imaging materials – Reflection colour photographic prints – Method for testing humidity fastness.

ISO 5-4:2009(en) Photography and graphic technology – Density measurements – Part 4: Geometric conditions for reflection density.

KIANICOVÁ, Katarína a Vladimír BUKOVSKÝ. Reprodukovaťnosť farieb farebnej fotografie Kodak a Fuji. In: Mediamatika a kultúrne dedičstvo: Revue o nových médiách a kultúrnom dedičstve, 2016, roč. 3, č. 1. ISSN 1339-777X

KIANICOVÁ, Katarína a Vladimír BUKOVSKÝ. Modelové starnutie farebnej fotografie a jej zmeny. In: Forum pro konzervátory-restaurátory. Opava: Technické muzeum Brno, 2011, 37-40. ISBN 978-80-86413-80-8

Manual Spectro-Densitometer. TECHKON, 2013. Dostupné na: <http://www.techkon.com>

Reilly, J.M., 1998. The Storage Guide for Color Photographic Materials [cit. 2017-04-01].

Dostupné na internete: http://www.imagepermanenceinstitute.org/webfm_send/517.