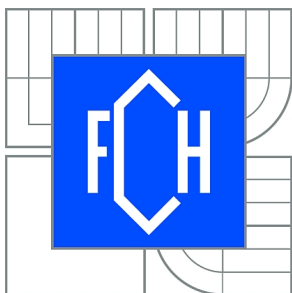


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

METODY HODNOCENÍ ÚČINKU POLUTANTŮ NA FOTOGRAFIE

EVALUATION OF POLLUTANT IMPACT ON PHOTOGRAPHIC IMAGES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ BRABLC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL VESELÝ, CSc.

BRNO 2012



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

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0631/2011	Akademický rok: 2011/2012
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka):	Bc. Tomáš Brablc	
Studijní program:	Spotřební chemie (N2806)	
Studijní obor:	Spotřební chemie (2806T002)	
Vedoucí práce	doc. Ing. Michal Veselý, CSc.	
Konzultanti:		

Název diplomové práce:

Metody hodnocení účinku polutantů na fotografie

Zadání diplomové práce:

1. Literární rešerše a studium platných norem pro hodnocení trvanlivosti fotografií
2. Příprava a tisk vhodné testovací skály
3. Expozice připravených škál ozonem
4. Vyjádření efektu blednutí barviv pomocí výpočtů koncentrace barviv, barvového gamutu a optických hustot.

Termín odevzdání diplomové práce: 11.5.2012

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

Bc. Tomáš Brablc
Student(ka)

doc. Ing. Michal Veselý, CSc.
Vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2012

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem ozónu na barevné fotografie zhotovené inkoustovým tiskem. V práci jsou shrnuty základní principy inkoustového tisku, složení inkoustů a negativní faktory působící na kvalitu výtisků. Z běžných polutantů způsobuje největší degradaci ozón, proto byl jeho vliv zkoumán v experimentální části. Na testovacích škálách vytištěných dvěma typy různých inkoustů byl proveden test urychleného stárnutí ozónem s měnící se koncentrací a dobou expozice. Z odrazových spekter 918 barevných polí byly počítané hodnoty $L^*a^*b^*$ a optické hustoty vybraných polí. Z hodnot $L^*a^*b^*$ byl počítán barvový gamut a jeho objem. Změny objemu barvového gamutu korelovaly se změnou optických hustot. Ukázalo se, že použití objemu gamutů jako nástroje pro hodnocení rychlosti degradace barviv inkoustových výtisků je oprávněné a je vhodné tuto metodu doporučit pro akcelerované testy s ozónem.

Klíčová slova: inkoustový tisk, blednutí tisku, blednutí ozónem, urychlené stárnutí, ozón.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the impact of pollutants on colour photographs made by inkjet printing technology. There are summarized basic principles of inkjet printing, composition of inks and negative factors influencing the printout quality. The ozone was studied in the experimental part, because it has the strongest degrading effect of all common pollutants. The accelerated ageing test with changing the concentration of ozone and the time of exposure was performed. The test scales were made by using two different inks. The $L^*a^*b^*$ values and optical densities of selected fields were calculated from the reflectance spectra of 918 colour fields. The colour gamut and its volume were calculated from the $L^*a^*b^*$ values. The changes of colour gamut volume correlated with the changes of optical densities. It emerged that using the colour gamut as the instrument of evaluation of the inkjet printout dyes degradation rate is eligible and it is suitable to recommend this method for the ozone accelerated tests.

Key words: inkjet printing, print fading, gas fading, ozone fading, accelerated ageing, ozone.

BRABLC, T. *Metody hodnocení účinku polutantů na fotografie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Michal Veselý, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje byly správně a úplně citovány. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

Poděkování: Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Michalu Veselému, CSc., za jeho vstřícnost, čas a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat celému kolektivu laboratoří 3078 a 0001.

OBSAH

1	Úvod.....	7
2	Teoretická část.....	8
2.1	Inkoustový tisk.....	8
2.1.1	Kontinuální inkjet.....	8
2.1.2	Drop on Demand inkjet.....	9
2.2	Inkousty.....	11
2.2.1	Barvivové inkousty	11
2.2.2	Pigmentové inkousty	11
2.2.3	Pigmentované inkousty	12
2.3	Složení inkoustu.....	12
2.3.1	Barvonosné složky	12
2.3.2	Filmotvorné látky	14
2.3.3	Rozpouštědla	14
2.3.4	Aditiva.....	15
2.4	Přijímací tiskové vrstvy	15
2.4.1	Vazba barviva na přijímací vrstvu	15
2.4.2	Vliv přijímací vrstvy na stabilitu výtisku.....	16
2.5	Blednutí inkoustového tisku	17
2.5.1	Vliv světla	17
2.5.2	Mechanismus blednutí	17
2.5.3	Vliv vlhkosti.....	19
2.5.4	Katalytické blednutí	19
2.6	Blednutí vlivem vzdušných polutantů	19
2.6.1	Ozón	20
2.6.2	Blednutí vlivem ozónu	21
2.6.3	Mechanismus degradace barviva ozónem.....	22
2.6.4	Stanovení koncentrace ozónu.....	23
2.7	Hodnocení trvanlivosti.....	24
2.7.1	Testy urychleného stárnutí	24
2.7.2	ISO 18909	24
2.7.3	JEITA CP-3901	25
2.7.4	Inkjet a denzitometrie.....	25
2.8	Barva a její vnímání	26
2.8.1	Měření barvy	26
2.8.2	Barvový gamut a jeho výpočet.....	30
2.8.3	Optická hustota.....	32

3	Experimentální část.....	33
3.1	Použitá zařízení a chemikálie.....	33
3.1.1	Zařízení a vybavení laboratoře.....	33
3.1.2	Použité chemikálie a inkousty.....	33
3.1.3	Použitý software.....	33
3.1.4	Použitá tisková média	34
3.2	Příprava vzorků.....	34
3.3	Expozice vzorků ozónem.....	35
3.3.1	Parametry expozice	36
3.3.2	Stanovení průtoku plynu aparaturou	37
3.3.3	Stanovení koncentrace ozónu.....	37
3.3.4	VolGa 3.0	38
4	Výsledky a diskuse	40
4.1	Vyhodnocení vzorků.....	40
4.2	Změny optických hustot.....	40
4.3	Změny barvových gamutů	43
4.4	Mapy barvových odchylek.....	50
4.5	Porovnání jednotlivých metod	50
5	Závěr.....	52
6	Seznam použitých zdrojů.....	53
7	Seznam zkratk a symbolů	56
8	Přílohy	57

1 ÚVOD

Barevná fotografie patří mezi nejoblíbenější způsoby jak zaznamenat obrazovou informaci. V dnešní době se pro barevnou fotografii postupně vytrácí použití klasické halogenidostříbrné technologie, která je úspěšně nahrazována tiskovými procesy. Největší expanze z tiskových technik v oblasti fotografie dosáhl v posledních letech inkoustový (inkjetový) tisk.

Inkoustový tisk je tak kvůli své cenové dostupnosti a jednoduchému ovládání široce využíván pro domácí i obchodní účely. Je to první digitální tisková technologie, která dosáhla přijatelné kvality obrazového tisku ve srovnání s klasickou halogenidostříbrnou fotografií. Díky rozvoji digitálních fotoaparátů se tak pro jejich amatérské i profesionální uživatele stává inkoustový tisk primární metodou jak „dostat“ jejich digitální obrazový soubor na papír.

Důležitá je však otázka archivní stálosti fotografií. Inkoustové tiskárny pro fotorealistický tisk vznikaly postupně z tiskáren původně určených pro kancelářské využití, kde byla hlavní priorita v čitelnosti a aktuálním vzhledu barev výtisku na úkor jejich stálosti. V dnešní době jsou již tiskárny i inkousty na velice dobré úrovni, ale stálost výtisku je pořád problematická.

Degradace inkoustového tisku je ovlivňována jednak výběrem inkoustů a přijímacího média a jednak mnoha okolními faktory, které na fotografii působí. Jsou to hlavně světlo, vlhkost, teplota a vzdušné polutanty. Ze vzdušných polutantů je dramaticky nejagresivnější ozón.

Cílem této práce je porovnat hodnocení účinků ozónu na inkoustové výtisky pomocí denzitometrických měření a relativních objemů gamutů vypočtených z kolorimetrických dat $L^*a^*b^*$.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Inkoustový tisk

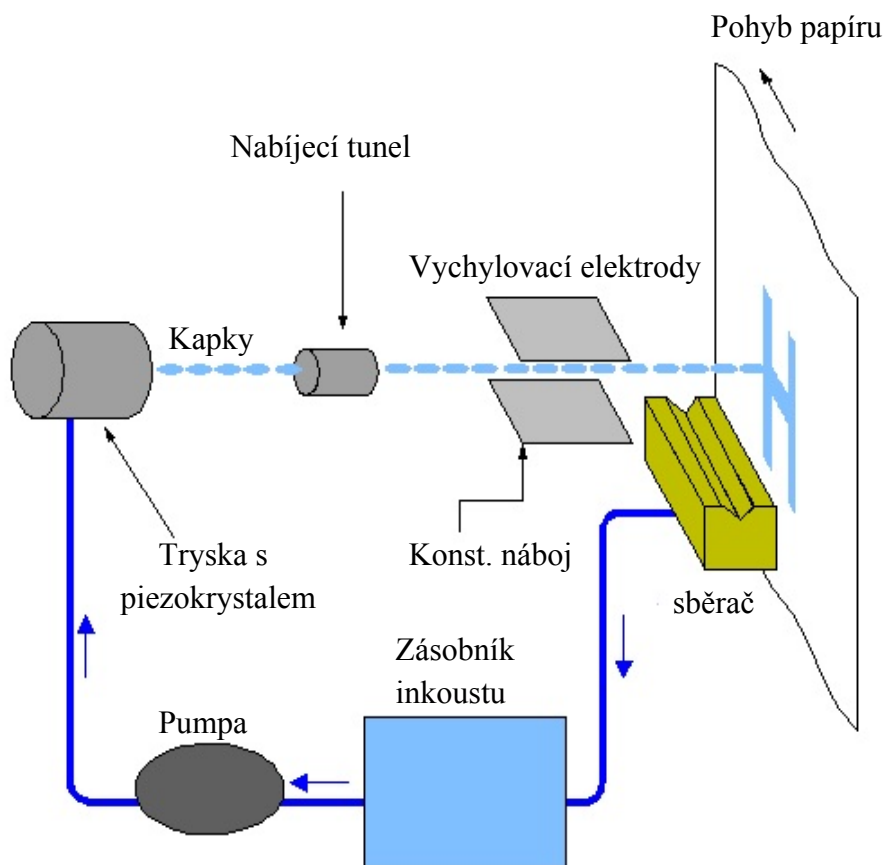
Inkoustový neboli inkjetový tisk patří mezi elektronické tiskové techniky bez použití tlaku (non-impact). Inkoustový tisk je založen na kontrolovaném umístění mikrokapek inkoustu vystřikovaných z trysky o průměru několika desítek mikrometrů na potiskovaný materiál. Všechny tisknuté prvky stránky jsou pak vytvořeny pomocí těchto mikrokapek. Kontrolována je jejich poloha, jejich počet umístěných na jedno místo a jejich velikost. Velikost stopy jedné kapky na potiskovaném materiálu určuje rozlišovací schopnost. Počet kapek umístěných za časovou jednotku spolu s jejich velikostí určuje rychlost tisku.

Inkoustový tisk pak může probíhat ve dvou základních variantách. V první, nazývané *kontinuální inkjet*, je proud kapek tvořen neustále, ale pouze část jich je použita pro zobrazení prvku. Druhá varianta je nazývána *Drop on Demand inkjet*, kde se kapky vytvářejí pouze pokud je potřeba (tryska se nachází aktuálně v místě, kde je tisknut prvek)^{1,2}.

2.1.1 Kontinuální inkjet

Kontinuální (continual stream) inkjet technologie je založena na neustálém proudu malých inkoustových kapek mířených z trysky přímo na potiskovaný materiál. Po uvolnění z trysky získají tyto kapky elektrický náboj v nabíjecím tunelu a jejich pohyb je pak elektronicky řízen při průchodu elektrickým polem mezi vychylovacími elektrodami. Většina kapek inkoustu je tímto polem vychýlena do sběrače, který jej zavádí zpět do zásobníku. Odtud jde inkoust pumpou znovu ke trysce. Před tryskou se nachází piezokrystal, který usměrňuje proud inkoustu a tlačí jej do trysky (Obr. 1).

Tato varianta inkjetu je realizována dvěma způsoby – *binary deflection* a *multi deflection*. Oba způsoby se od sebe liší nabitím kapky. U binary deflection získá kapka buď vždy stejný náboj a je vychýlena do sběrače nebo zůstane nenabitá a dostane se na potiskovaný materiál. Multi deflection je založeno na tom, že kapky získávají různě velké náboje a mohou tak být při průchodu elektrickým polem vychylovány do různých směrů při dopadu na potiskovaný materiál. Kontinuální inkjet je velmi rychlý, ale ne příliš úsporný, proto se příliš neprosadil a je využíván pouze ve velkoformátovém a velkonákladovém tisku^{1,3,4}.



Obr. 1 Inkoustový tisk – kontinuální inkjet⁴

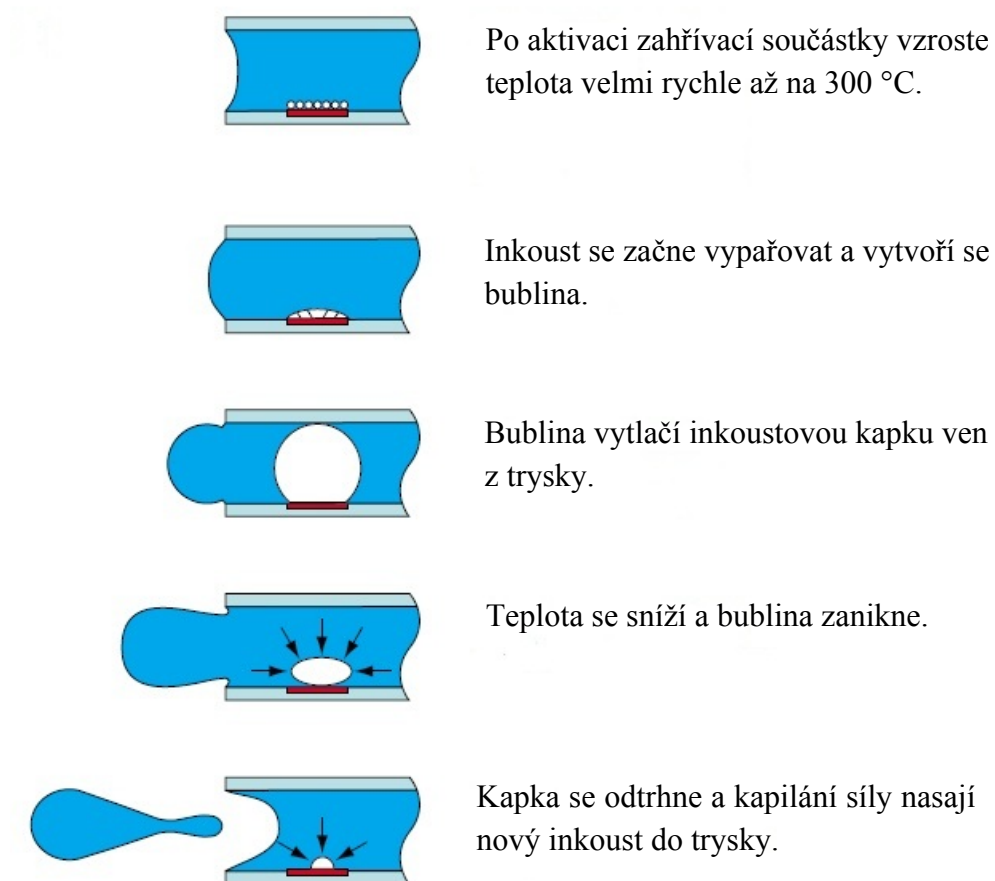
2.1.2 Drop on Demand inkjet

Při tisku Drop on Demand je kapka generována pouze pokud to vyžaduje obrazový signál a tato technologie se dále dělí podle toho, jakým způsobem je kapka vytvořena. Nejvýznamnější jsou metody *termální inkjet* a *piezoelektrický inkjet*.

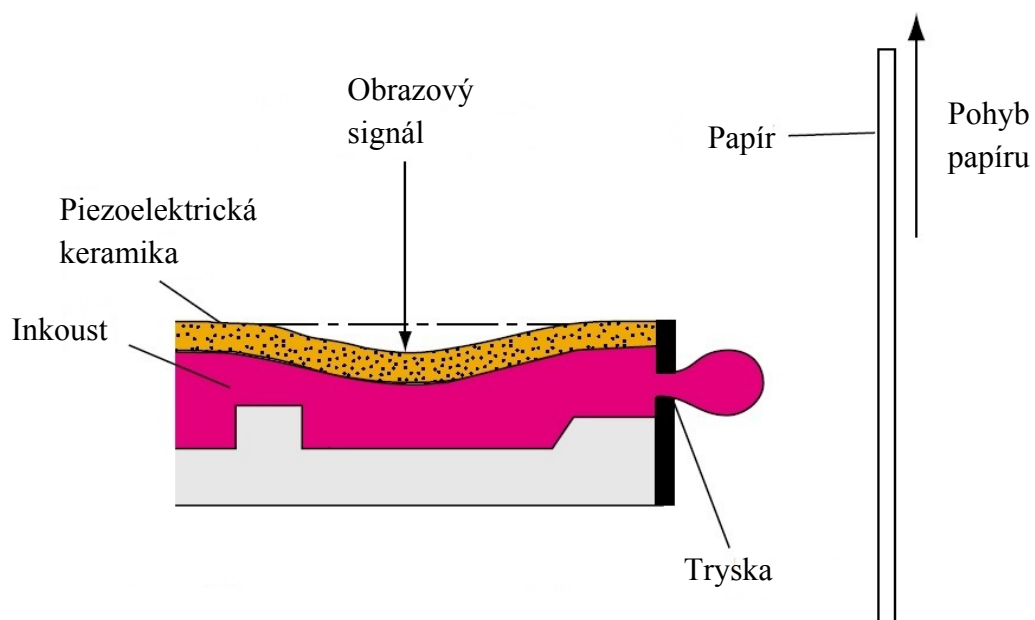
Termální inkjet spočívá v prudkém zahřátí tekutého inkoustu tepelným rezistorem. Ten se začne vypařovat a nad rezistorem vytvoří bublinu, která se roztáhne a tímto tlakem vytlačí kapku z trysky ven. Tato metoda je proto často nazývána *bubble jet*. Po vypuštění kapky z trysky teplota klesne a bublina zanikne. To způsobí podtlak, díky kterému se nový inkoust nasaje do trysky (Obr. 2).

Piezoelektrický tisk (Obr. 3) je založen na mechanickém posunu piezo-keramické stěny v inkoustovém kanálku, který má za následek uvolnění kapky z trysky. Piezo-keramické materiály se ideálně hodí pro takovéto malé, elektricky ovládané systémy. Jejich základní vlastností je, že s odpovídajícím elektrickým ovladačem jsou schopny měnit svůj geometrický tvar, zatímco objem zůstává nezměněn. Narozdíl od termálního inkjetu je tato technologie schopna pracovat s vyšší frekvencí a širším spektrem inkoustů, což je jistě ohromná výhoda.

Za zmínku také stojí varianta *elektrostatický inkjet*, která je založena na elektrickém poli mezi inkjetovým systémem a povrchem, který má být potiskován. Kapky jsou generovány na základě obrazového signálu a jsou řízeny elektrickým polem směrem na substrát³.



Obr. 2 Inkoustový tisk – termální Drop on Demand³



Obr. 3 Inkoustový tisk – piezoelektrický Drop on Demand inkjet³

2.2 Inkousty

V inkoustovém tisku je za vytvoření opticky vnímatelného zobrazení zodpovědný inkoust. Je to nízkoviskózní homogenní nebo mikroheterogenní kapalina, jejíž úkolem je přenášet barvu na potiskovaný materiál – je to barvonosné médium. Inkoust je složen z barvonosné složky, rozpouštědla, filmotvorné látky a dalších pomocných aditiv (povrchově aktivní látky, látky ovlivňující viskozitu, konzervační látky, atd.)⁵.

Inkousty můžeme rozdělit podle jejich základní složky (voda, minerální oleje, různá rozpouštědla jako taková). V dnešní době se ze zdravotního hlediska a kvůli přísným ekologickým požadavkům dává přednost inkoustům na vodním základě před inkousty na základě olejovém nebo rozpouštědlovém. Na základě použité barvonosné složky dělíme inkousty na *inkousty barvivové (dye-based)*, *inkousty pigmentové (pigment-based)* a *pigmentované inkousty (pigmented)*.

2.2.1 Barvivové inkousty

Inkousty založené na barvivech (dye-based) používají jako barvonosnou složku výhradně rozpustná barviva, z toho důvodu můžeme tento inkoust označit jako homogenní směs – pravý analytický roztok. Částice použitých barviv jsou tak malé, že tyto inkousty mohou pronikat hluboko do přijímacích vrstev potiskovaných materiálů a netvoří na jejich povrchu rušivé artefakty. Lze je také využít i při tisku na lesklé fotopapíry s přijímacími vrstvami založenými na hydrofilních polymerech. Pro přípravu inkoustů se používají vysoce čistá a brilantní barviva, proto je obecným znakem inkoustových sad založených na barvivových inkoustech velký barevný gamut. Nevýhodou je, že tato barviva nejsou na světle příliš stálá a podléhají rozkladu.

2.2.2 Pigmentové inkousty

Pigmentové inkousty obsahují jako barvonosnou složku výhradně nerozpustné pigmenty. Ty jsou zastoupeny v podobě částíček mikroskopických rozměrů rozptýlených v rozpouštědle, kde jsou stabilizovány proti sedimentaci a koagulaci. Pigmentové inkousty jsou tedy mikroheterogenní směsí. Částice těchto rozměrů mohou hlouběji pronikat pouze do porézních a mikroporézních materiálů. Narozdíl od barvivových inkoustů však tyto inkousty nejsou vhodné pro tisk na lesklé fotopapíry s přijímacími vrstvami založenými na hydrofilních polymerech, protože na jejich povrchu tyto částičky vytvářejí agregáty, což jsou rušivé artefakty, které zhoršují výslednou kvalitu výtisku.

Další nevýhodou pigmentových inkoustů oproti barvivovým je menší barvový gamut. Je to způsobeno tím, že inkousty na pigmentovém základě nejsou pravým analytickým roztokem, proto jejich částice neinteragují se světlem v takové míře jako částice barvivových inkoustů, kde téměř každá molekula je přístupná této interakci. U pigmentových inkoustů může interagovat se světlem pouze svrchní vrstva pigmentových mikročástic, zatímco nižší vrstvy skryté za touto „slupkou“ se již interakce zúčastnit nemohou. Na druhou stranu lze tyto inkousty s výhodou využít při archivním tisku, protože jejich světlostálost je ve srovnání s barvivovými inkousty mnohem vyšší.

2.2.3 Pigmentované inkousty

Pigmentované inkousty (pigmented inks) vznikly jako kombinace obou předchozích typů inkoustů ve snaze odstranit jejich nevýhody. Realita je však bohužel jiná a místo odstranění nevýhod se objevily nové problémy. Jedním z nich je např. chromatografická separace. Dochází k ní při interakci inkoustu obsahujícího pigment i barvivo s porézním materiálem. Často se pak stane, že částice barviva analytických rozměrů pronikají do materiálu hlouběji než větší pigmentové částice. Díky tomu následně dochází k razantní změně barevného odstínu, která se liší v závislosti na použitém materiálu, proto se pak na různých materiálech tentýž výtisk barevně liší^{5,6}.

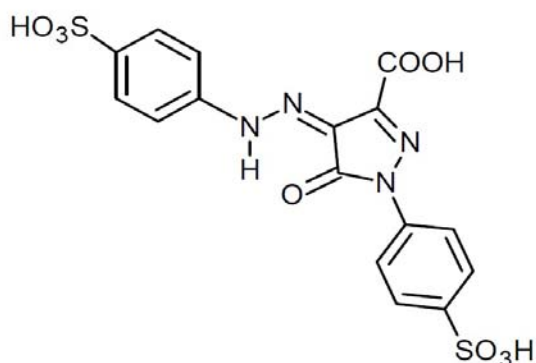
2.3 Složení inkoustu

Jak již bylo zmíněno inkousty jsou složeny z *barvonosné složky* (pigmenty, barviva), *filmotvorné látky*, *rozpouštědla* a *nejrůznějších aditiv*. Tyto látky jsou zodpovědné za vlastnosti inkoustu, na které jsou kladeny vysoké požadavky. Inkoust musí být dobře transportovatelný v tiskovém systému, velikost částic barviva nesmí být příliš velká, aby se nezanesla tryska, musí být co nejkratší čas schnutí a schnutí nesmí probíhat v tiskovém systému, dále musí splňovat dobré optické vlastnosti jako vydatnost a intenzita barvy, lesk, světlostálost a také musí být odolný proti mechanickému namáhání (odírání, stírání)^{1,6}.

2.3.1 Barvonosné složky

Úlohu barvonosné složky v inkoustu plní barviva a pigmenty, které zajišťují správný barevný odstín inkoustu. Barviva jsou rozpustné organické látky, pigmenty jsou nerozpustné anorganické nebo organické prášky. Při inkoustovém tisku se pro barvy jednotlivých inkoustů uplatňují tzv. doplňkové barvy (cyan, magenta, yellow a black).

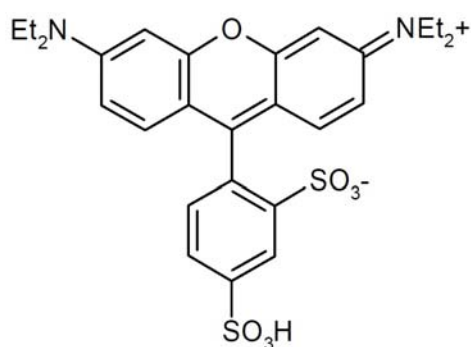
Jako barviva do těchto inkoustů jsou využívána např. kyselá barviva, přímá barviva, reaktivní barviva, disperzní barviva, fotografická barviva, aj. Některá konkrétní barviva využívaná v inkoustovém tisku jsou pro jednotlivé inkousty uvedena v tabulce (Tabulka 1). Na obrázku je znázorněna struktura barviva Acid Yellow 23 (Obr. 4) a Acid Red 52 (Obr. 5) (cit.⁷).



Obr. 4 Žluté barvivo Acid Yellow 23 (cit.⁷)

Tabulka 1 Barviva využívaná v inkoustovém tisku⁷

Barviva		
Barva inkoustu	Color index	Chemická třída
Cyan	Acid Blue 9	trifénymethany
	Direct Blue 199	ftalocyaniny
	Solvent Blue 44	ftalocyaniny
Magenta	Acid Red 52	xantheny
	Reactive Red 23	monoazo
	Solvent Red 91	azo 1:2 komplex kobaltu
Yellow	Acid Yellow 23	monoazo
	Direct Yellow 132	disazo
	Reactive Yellow 37	monoazo
Black	Acid Black 194	kovokomplexní barvivo
	Direct Black 19	tetrakisazo
	Solvent Black 45	azo 1:2 komplex chromu



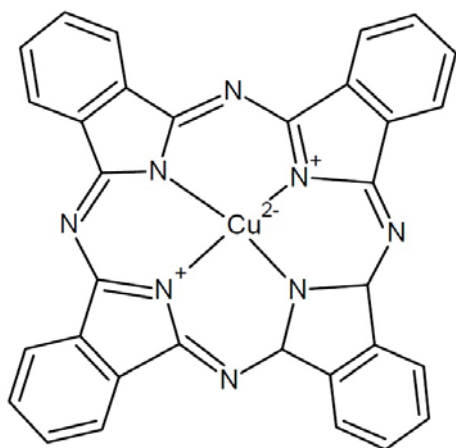
Obr. 5 Purpurové barvivo Acid Red 52 (cit.⁸)

Pigmenty se od barviv liší tím, že jsou nerozpustné ve vodě a organických rozpouštědlech. Narozdíl od barviv mají vyšší kryvost a jsou odolnější proti vnějším vlivům, zato jejich barevná čistota a síla barvy je nižší. V dnešní době jsou již některé organické pigmenty svými barevnými vlastnostmi na velmi podobné úrovni jako barviva.

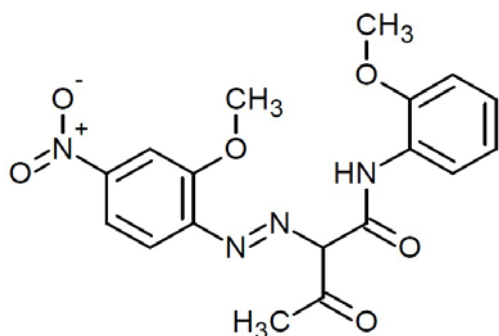
Anorganické pigmenty bývají hojně využívány k výrobě černého a bílého inkjetového inkoustu. Černý inkoust je připravován nejčastěji z uhlíkové černi (carbon black, saze). Podle klasifikace C. I. patří uhlíková čern mezi Pigment Black 6, 7 a 8. K výrobě bílého inkoustu je nejčastěji využívaným pigmentem C. I. Pigment White 6, což je titanová běloba (oxid titaničitý – TiO₂).

Organické pigmenty se liší od anorganických větším specifickým povrchem, menší hustotou, větší transparentí, větší barvicí silou a vyšší čistotou odstínů. Jedna částice organického pigmentu o průměru 1 μm se skládá přibližně z milionu molekul barviv. Organické pigmenty se proto používají převážně k přípravě barevných inkoustů. Pro výrobu

azurového pigmentu se využívá např. C. I. Pigment Blue 15 (Obr. 6), purpurového např. Pigment Violet 19 nebo Pigment Red 122 a žlutého např. Pigment Yellow 74 (Obr. 7) (cit.^{7,8}).



Obr. 6 Azurové pigmentové barvivo C. I. Pigment Blue 15 (cit.⁷)



Obr. 7 Žluté barvivo C. I. Pigment Yellow 74 (cit.⁷)

2.3.2 Filtrovací látky

Tyto látky se používají jako pojiva tiskových barev a jsou zodpovědné za stabilizaci disperze pigmentu, transport inkoustu a po jeho vyschnutí vytvoření nelepivého filmu pevně spojeného s potiskovaným materiálem. Jedná se o látky vysokomolekulární (přírodní a syntetické živice a polymery)¹.

2.3.3 Rozpouštědla

Rozpouštědla se používají kvůli rozpuštění tuhé filmtvorné látky a jako nosná média k zajištění dobré tekutosti barvy. Rozpouštědlo se po tisku musí bezzbytkově odpařit nebo zapít do přijímací vrstvy. Bod varu rozpouštědla je dán typem tiskové hlavy a mechanismem schnutí¹. Rozpouštědlo je voleno podle použité tiskové techniky, ale hlavně podle rozpustnosti barvonosné složky.

2.3.4 Aditiva

Jejich přidáním jsou zásadně ovlivněny vlastnosti inkoustu. Některá aditiva mohou měnit vlastnosti inkoustu pro specifické využití, jiná ovlivňují chování kapky po vypuštění z trysky, její zapíjení nebo odpaření na povrchu materiálu, v neposlední řadě aditiva upravující vlastnosti filmu barvy po jejím zaschnutí. Aditiva mohou být přidávána již při výrobě barvy a stávají se tak její součástí nebo se mohou přidat do barvy až těsně před jejím použitím. Jako aditiva se používají stabilizátory, plastifikátory, vosky, smáčedla, antioxidanty, puify, prostředky zabraňující zanášení tiskových hlav, aj^{1,7}.

2.4 Přijímací tiskové vrstvy

Přijímací tiskové vrstvy ovlivňují zásadním způsobem výslednou kvalitu výtisku. Jsou složeny z několika funkčních vrstev umístěných na nosné podložce. Nejběžnější podložkou pro vysoce kvalitní inkoustový tisk je RC papír (resin-coated – oboustranně potažený papír vrstvičkou polyethylenu). Dále jsou jako podložky využívány různé polyesterové fólie, které vynikají ve svých mechanických vlastnostech (výtisk téměř nelze roztrhnout), hladkém povrchu a zrcadlovém lesku. Na tyto podložky jsou pak nanášeny přijímací vrstvy, které jsou na základě svých vlastností rozděleny do tří základních skupin.

Konvenční cast-coated přijímací vrstvy jsou založeny na minerálním plnivu (kaolín) a organickém pojivu. Tyto vrstvy mohou být na povrchu lesklé, pololesklé i matné. Různých vzhledů povrchu lze docílit různým výrobním postupem a poměrem plnivo/pojivo. Tento typ nemá se stabilitou příliš velké problémy, musí se však vyhnout podmínkám extrémní vlhkosti.

Bobtnající přijímací vrstvy (swellable polymer) jsou vrstvy tvořeny směsí hydrofilních polymerů s různým stupněm zesíťování. Bobtnající vrstvy jsou svými vlastnostmi vhodné zejména pro tisk fotografií. Kontakt s inkoustem způsobí nabobtnání vrstvy, inkoust tak do vrstvy může proniknout a po odpaření rozpouštědla vznikne selektivně probarvený xerogel. Nevýhodou tohoto procesu je dlouhá doba bobtnání a fixace inkoustu, zato výsledný výtisk oplývá výbornou kvalitou obrazu. Z hlediska stability je tento typ rovněž bezproblémový, ale rovněž nesmí být uložen v příliš vlhkém prostředí.

Mikroporézní vrstvy jsou složeny z vysoce porézních syntetických sorbentů rozptýlených ve vhodném organickém pojivu. Díky obrovskému měrnému povrchu těchto sorbentů dojde při nanesení inkoustu k jeho rychlému průniku do vrstvy a k jeho fixaci v pórech. Rozpouštědlo se pak sice z pórů odpařuje delší dobu, ale svrchní část přijímací vrstvy je téměř okamžitě suchá a proto nelepí. Během odpaření rozpouštědla může výtisk mírně měnit barvu. Tato přijímací vrstva se těší velké popularitě a postupně nahrazuje obě předchozí. Velká slabina této přijímací vrstvy je však její extrémně vysoká porozita, která způsobuje problémy při dlouhodobém uložení⁹.

2.4.1 Vazba barviva na přijímací vrstvu

Správná fixace molekuly barviva k povrchu přijímací vrstvy je důležitá k zajištění vysoké optické hustoty, jasných barevných tónů, vysoké ostrosti, ale také příznivě ovlivňuje stálost výtisku a jeho odolnost proti vlhkosti.

Částice barviva inkoustu mohou být vázány na částice přijímací vrstvy mnoha různými způsoby chemické vazby. Iontové interakce (elektrostatické interakce a Coulombické vazby) vznikají při reakci inkoustu obsahujícího aniontové skupiny ve vodě rozpustné např. SO_3^{2-} , COO^- , PO_3^{3-} s kationtovými skupinami na povrchu přijímací vrstvy např. Ti^{4+} , Al^{3+} , Ca^{2+} a NR^{4+} . Tyto interakce se řadí mezi silné a díky nim je kvalita tisku velmi dobrá.

Hydrofobní interakce se objevují u inkoustů s rozpouštědlovým základem, které ve své struktuře obsahují hydrofobní skupiny jako např. alkylové řetězce. Ty pak interagují s podobnými hydrofobními řetězci v přijímacích vrstvách. Hydrofobní interakce jsou v podstatě kombinací vodíkových můstků a van der Waalsových sil.

Inkoust také může obsahovat molekuly barviva, které obsahují ve vodě rozpustný řetězec, pomocí kterého se pak vážou k povrchu přijímací vrstvy. Takovýmto řetězcem mohou být např. polyethylenoxid a polyvinylalkohol².

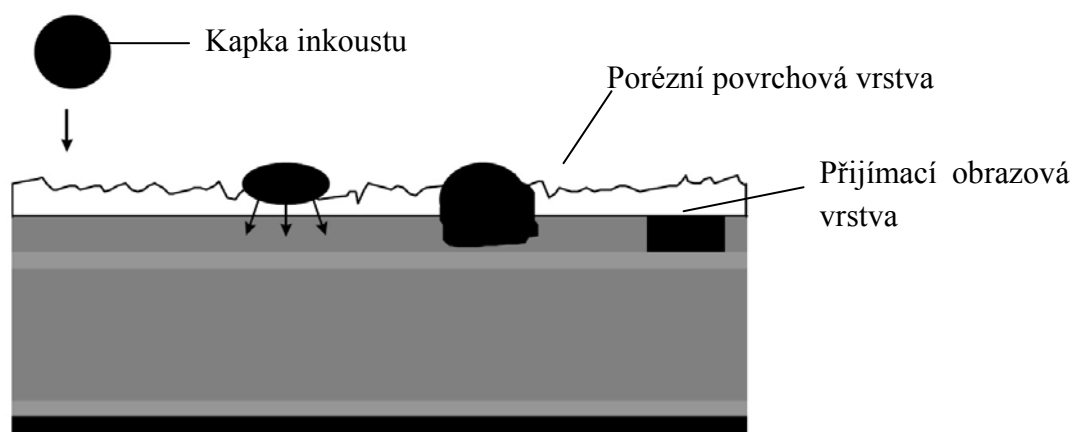
2.4.2 Vliv přijímací vrstvy na stabilitu výtisku

Stabilita výtisku z hlediska přijímací vrstvy je určena několika faktory. Základním faktorem je struktura, na které je přijímací vrstva založena. Přijímací vrstvy s proteinovou strukturou způsobují redukční blednutí nanesených barviv, zatímco barviva nanesená na přijímací vrstvy se strukturou celulózovou, polyhydroxy nebo polyesterovou podléhají blednutí oxidativnímu.

Mezi další významné vlastnosti přijímací vrstvy patří počet vrstev, jejich šířka, porozita, propustnost, ale také jejich pH. Anorganické oxidy jako SiO_2 a TiO_2 tvoří kyselé povrchy přijímací vrstvy, které pak ovlivňují rozpustnost inkoustu vedoucí ke krystalizaci nebo srážení jeho částic na povrchu papíru. Toho s výhodou využívají hydrazo formy žlutých, purpurových a černých barviv. Zásadité povrchy jsou tvořeny CaCO_3 a jsou výhodné pro azo formy barviv, které jsou stabilnější při vyšších hodnotách pH. Neutrální povrchy jsou tvořeny z oxidu hlinitého (Al_2O_3).

Důležitou složkou přijímací vrstvy jsou také aditiva, která mohou pozitivně ovlivnit stabilitu naneseného inkoustu. V závislosti na mechanismu blednutí se tak používají redukční činidla nebo antioxidanty, které zpomalují průběh blednutí.

Pro vysoce kvalitní tisk se nepoužívají běžné papíry, ale papíry pokryté jednou (*single layer*) nebo více speciálními vrstvami (*multi layer*). Svrchní povrchová vrstva bývá často porézní, což způsobí rychlý průnik inkoustu do obrazové přijímací vrstvy. Tyto povrchy jsou pak schopny zajistit inkoust na přijímací vrstvě a poskytovat ochranu proti blednutí. Průnik kapky inkoustu přes porézní povrchovou vrstvu do obrazové přijímací vrstvy je znázorněn na obrázku (Obr. 8). Takovéto nejběžněji používané polymerní povrchy obsahují methylcelulózu, karboxymethylcelulózu, polyvinylalkohol, polyakryláty a želatinu^{8,10}.



Obr. 8 Průnik kapky inkoustu do vícevrstvého papíru⁸

2.5 Blednutí inkoustového tisku

Inkousty obecně odolávají blednutí ve vakuu, ale při kontaktu se světlem, vzduchem, vlhkostí, různými nečistotami a materiálem, na který jsou aplikovány, ale také jiným inkoustem dochází k jejich rozkladu, což se opticky projeví jako blednutí. Blednutí většinou neprobíhá jako následek pouze jednoho mechanismu, ale jako následek několika mechanismů, které mohou probíhat zároveň nebo může docházet ke zpomalení nebo urychlení jednoho mechanismu vlivem druhého¹¹.

2.5.1 Vliv světla

Světlostálost patří k nejintenzivněji studovaným vlastnostem blednutí inkoustového tisku. Barva na výtisku je tvořena chromofory barviv nebo pigmentů. Barviva se v inkoustu vyskytují jako rozpustné samostatné barevné molekuly. Pigmenty jsou nerozpustné chemikálie, které jsou tvořeny několika tisíci barevných molekul. Blednutí barvy je způsobeno chemickou reakcí, během které se rozpadne daný chromofor. Za stejných podmínek blednou barviva mnohem rychleji než pigmenty. Dopadající světlo na barviva nebo pigmenty je selektivně absorbováno a tím je změněno spektrum světla odraženého. Při této absorpci naráží fotony do molekuly barviva nebo do shluku molekul pigmentu a předají jim svou energii. Molekula barviva se po takovémto dodání dostatečně velké energie rozloží. Pokud dojde k nárazu fotonu do shluku molekul pigmentu, energie se rozdělí mezi tyto molekuly a ty pak potřebují mnohem více podobných nárazů, aby došlo k jejich rozkladu. Proto pigmentové inkousty blednou pomaleji než barvivové¹². Rychlost blednutí vlivem světla pak samozřejmě závisí na intenzitě světla a jeho spektrálním složení. Nejnebezpečnější pro inkoustový tisk je proto UV záření, které nese mnohem vyšší energii než viditelné světlo, a proto je také mnohem ničivější⁹.

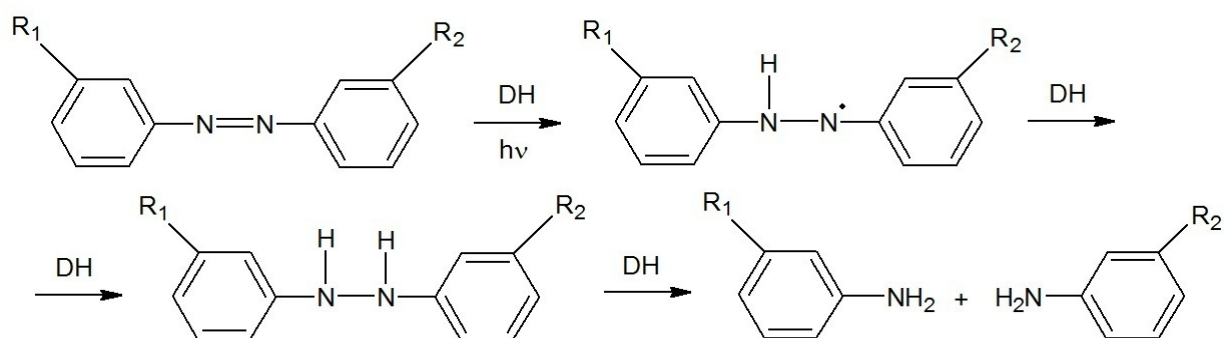
2.5.2 Mechanismus blednutí

Inkousty obsahují komponenty, které se mohou chovat jako fotokatalyzátory. Těmi se stanou, když je molekula v inkoustu excitována UV nebo viditelným zářením. Tyto fotokatalyzátory

pak buď mohou iniciovat reakce vedoucí k degradaci nebo mohou předat svou energii jiné molekule barviva, která má nižší energetickou hodnotu excitovaného stavu. Pokud se molekula barviva nachází v excitovaném stavu, stává se velmi reaktivní a je náchylná k degradaci pokud se přebytku energie rychle nezbaví. Existují dva základní mechanismy degradace – *reduktivní mechanismus* a *oxidativní mechanismus*.

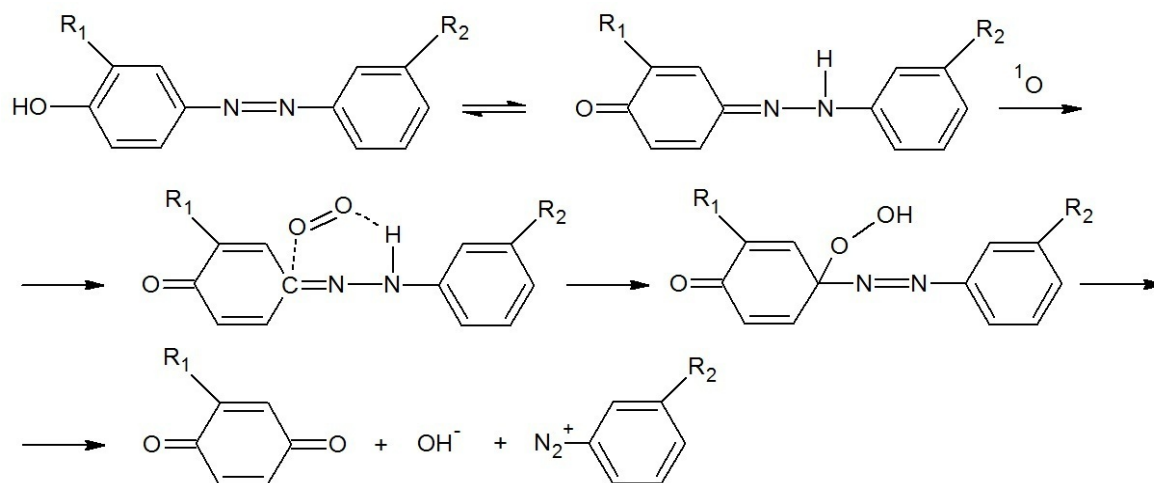
Oba tyto mechanismy jsou závislé na chemickém okolí inkoustu (nosná média, komponenty v inkoustu, okolní ovzduší).

Reduktivní mechanismus (Obr. 9) probíhá bez přístupu vzduchu, kdy je azo barvivo redukováno na odpovídající aminy. K iniciaci této fotoredukce je potřeba donor vodíku (alkoholy, aminy, ketony). Reakce je mnohem rychlejší, pokud donor vodíku nebo samotné barvivo jsou excitovány zářením.



Obr. 9 Schéma reduktivního mechanismu blednutí¹¹

Oxidativní mechanismus (Obr. 10) způsobuje rovněž blednutí inkoustů. Iniciuje jej kyslík v singletovém stavu. Tato iniciace vede ke vzniku peroxidu, který podléhá rozkladu¹¹.



Obr. 10 Schéma oxidativního mechanismu blednutí¹¹

2.5.3 Vliv vlhkosti

Vlhkost je také nezanedbatelný faktor ovlivňující stabilitu výtisku. Obecně platí, že vlhkost urychluje degradaci inkoustového tisku. Oproti světlu je však méně destruktivní a dá se relativně dobře předpovídat a také omezit. Stupeň ovlivnění stability tisku vlhkostí pak závisí na kombinaci inkoust-nosné medium¹³. Zvláště náchylné jsou pak bobtnající přijímací vrstvy, které se při kontaktu s vlhkostí poškozuji. Společným problémem všech typů přijímacích vrstev je zvýšená difúze barvonosné složky inkoustu díky zvýšené vlhkosti. Při vlhkosti dlouhodobě vyšší než cca. 70 % se vodní páry nasorbují do přijímací vrstvy. Molekuly barviva jsou díky nasorbované vodě pohyblivější a mohou se tak přesunovat do nepotištěných oblastí. To způsobí nižší hranovou ostrost čárových prvků v obraze a může také docházet ke chromatografické separaci a následným barevným konturám v důsledku rozdílné pohyblivosti jednotlivých barviv.

2.5.4 Katalytické blednutí

Katalytické blednutí (catalytic fading) je definováno jako vzájemný negativní vliv jednotlivých inkoustů na světlostálost jejich kombinace. To znamená, že plochy výtisku potištěné dvěma nebo více inkousty blednou mnohem rychleji než plochy potištěné pouze jedním čistým inkoustem. Je to způsobeno tím, že jeden inkoust může obsahovat součást, která urychluje degradaci druhého. Např. žluté barvivo, která je samo o sobě stabilní bledne mnohem rychleji v zelených odstínech, kde je kombinováno s barvivem azurovým, které způsobuje jeho degradaci.

Katalytické blednutí má rychlejší průběh než samotné blednutí inkoustu vlivem světla. Je proto jevem velmi nežádoucím. Např. na výtisku obsahujícím přetiskové plochy i plochy čistých inkoustů mohou být přetisky katalytickým blednutím postiženy, zatímco plochy tvořené jedním inkoustem mohou zobrazovat barvu stále věrně.

Katalytické blednutí se vyskytuje hlavně v středně a hustě potištěných místech. Proto jsou jim postiženy převážně tmavší odstíny barev. Světlejší barvy se vyskytují na plochách s nižším povrchovým krytím, v těchto místech pak nedochází k tak silnému promíchání inkoustů a katalytické blednutí je méně intenzivní. Podobný problém se vyskytuje při použití zředěných inkoustů. Ty pro zachování věrného zobrazení barvy musí být natištěny s vyšším povrchovým krytím, dojde tak k většímu promíchání inkoustů a katalytické blednutí se znovu objeví^{14,15,16,17}.

2.6 Blednutí vlivem vzdušných polutantů

Stálost inkoustového výtisku ovlivňují rovněž polutanty nacházející se běžně v ovzduší. Nejvýraznější prvek způsobující degradaci je ozón. Dále se při degradaci na vzduchu uplatňují různé nečistoty a polutanty např. oxidy dusíku nebo síry. Degradovány jsou hlavně barviva, pigmenty jsou odolnější. Z hlediska přijímacích vrstev jsou na tom se stabilitou nejlépe bobtnající přijímací vrstvy, které jsou neporézní a proto do nich nemohou polutanty pronikat. Vrstvy cast-coated s nízkou porozitou se také dají označit za stabilní, nejméně stabilní jsou pak mikroporézní vrstvy⁹.

Pokud je inkoustový výtisk vystaven vzdušným polutantům může docházet k jeho degradaci oxidativním nebo reduktivním mechanismem. Vliv oxidů dusíku a oxidu siřičitého

na blednutí je však zanedbatelný ve srovnání s ozónem. Bylo dokázáno, že ozón má mnohem větší degradační účinky než ostatní polutanty. Proto je tato práce zaměřena zejména na ozón¹⁸.

2.6.1 Ozón

Ozón je za normálních podmínek vysoce reaktivní plyn modré barvy. V přírodě se vyskytuje ve dvou formách a to jako přírodní (ve stratosféře známý jako ozónová vrstva, která nás chrání před škodlivými účinky slunečního UV záření) a v přízemních vrstvách jako umělý – vytvořený člověkem^{19,20}.

Přízemní ozón je tvořen působením slunečního záření při nízké relativní vlhkosti za přítomnosti oxidů dusíku a organických prchavých látek. Koncentrace ozónu ve vzduchu je relativně malá (v létě mezi 20 až 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v zimě 30 až 60 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a je závislá na ročním období, míře spalování fosilních paliv v dané oblasti a také na teplotě, vlhkosti a rychlosti větru. V městských oblastech je ozón produktem spalovacích procesů, kde jednu z hlavních rolí na jeho vznik má doprava. I přes nízkou koncentraci se jedná o silné oxidační činidlo, které má silné degradační účinky na inkoustový tisk. Ozón se snadno rozkládá na molekulu kyslíku a na atomární kyslík nebo vytváří se stopami vody hydroxylový radikál. Tyto velmi reaktivní částice jsou silná oxidační činidla, která napadají molekuly barviv inkjetového inkoustu.

Zdrojem organických látek, které podporují vznik ozónu jsou v městských oblastech většinou spalovací procesy a to hlavně doprava. Přízemní ozón je generován rozkladem oxidu dusičitého (NO_2) slunečním zářením za vzniku oxidu dusnatého (NO) a atomárního kyslíku, který rychle reaguje s molekulou kyslíku (O_2) za tvorby ozónu (O_3). Za normálních podmínek dojde ke zpětné oxidaci oxidu dusnatého na oxid dusičitý a z ozónu tak vznikne kyslík. Pokud se však v místě reakce nacházejí prchavé organické látky a jejich radikály, dojde k nahrazení ozónu v reakci s oxidem dusnatým za vzniku oxidu dusičitého, ze kterého vznikne působením slunečního záření opět další molekula ozónu, a tím dochází k jeho hromadění v přízemních vrstvách atmosféry. Tento proces lze vyjádřit rovnicemi:



Obecně se vyšší koncentrace ozónu vyskytují ve venkovských a horských oblastech, kde je ozón generován v důsledku přirozeného fotochemického cyklu v troposféře a nedochází tam tak v důsledku proměnlivé koncentrace organických prchavých látek k lokálním nárůstům koncentrace ozónu.

Naopak, ve velkých městských aglomeracích je ozónu díky neustálým reakcím s oxidy dusíku méně a dlouhodobé průměrné hodnoty jsou nižší. Avšak při vhodných podmínkách může nastat “ozónová epizoda” s nárůstem ozónu v ovzduší, která může mít až několikadenní

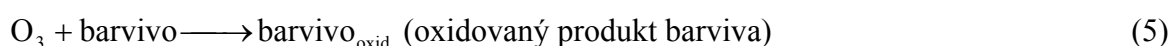
délku a s tím i související úroveň dosahovaných koncentrací ozónu (přes 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (cit. 21,22).

2.6.2 Blednutí vlivem ozónu

Ozón je relativně nestabilní plyn, který se snadno rozkládá na molekulu kyslíku a atomární kyslík nebo vytváří se stopami vody hydroxylový radikál. Tyto produkty jsou velmi silná oxidační činidla, která napadají molekuly barviv inkoustů. Pigmentové inkousty jsou degradovány také, ale ve srovnání s barvivovými je tato degradace několikanásobně nižší. Nevýhodou je, že většina tiskáren není s pigmentovými inkousty plně kompatibilní, proto je potřeba použít méně stabilní barvivové. Rozkladu ozónem podléhají nejvíce chromofory azurových barviv, samozřejmě jsou degradována i purpurová a černá barviva. Žlutá barviva jsou nejodolnější, ale ne zcela imunní.

Blednutí ozónem je závislé na teplotě okolí a zejména na vlhkosti. Při zvýšení teploty nebo vlhkosti dojde při stejné koncentraci ozónu k mnohem větší degradaci. V hodnocení světlostalosti inkjetového tisku se objevuje selhání reciprocity. Znamená to, že za kratší dobu expozice s vyšší intenzitou (koncentrací) by mělo dojít ke stejné degradaci jako při expozici po delší dobu s nižší intenzitou (koncentrací). Expoziční dávky by se tedy měly rovnat a způsobit tak stejné poškození. Většinou při urychleném stárnutí ozónem nedochází ke selhání reciprocity, ale v některých případech kombinací inkoust-médium k selhání dojít může.

Při vystavení výtisku okolní atmosféře se ozón a jiné polutanty adsorbují v pórech přijímací vrstvy. Dostávají se tak do těsného kontaktu s barvivem, ozón se rozpadne a začíná degradace barviv atomárním kyslíkem. Rychlost degradace je dána koncentrací ozónu, druhem barviva, druhem adsorbentu v přijímacím médiu, relativní vlhkostí a dopadajícím zářením. Tato degradace lze vyjádřit rovnicemi:



Nepřímá reakce probíhá takto:



Obecně lze říci, že organické barvivo je nejcitlivější k ozónu v místech zvýšené elektronové hustoty. Abychom tedy co nejvíce zvýšili odolnost tisku proti ozónu můžeme použít: inkousty tvořené z barviv s vyšší odolností ozónu (vhodná chemická struktura méně citlivá k oxidaci), pigmentové inkousty, aditiva v inkoustech nebo přijímacích vrstvách (látky, které zreagují s ozónem rychleji než barviva), různé krycí procesy jako např. laminace, lakování nebo umístění výtisku pod skleněný rám²³.

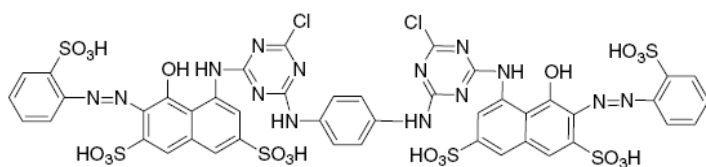
Nejdůležitější faktor jak zabránit blednutí ozónem v případě využití barvivových inkoustů je správná volba média. Díky tomu lze blednutí ozónem snížit na minimální možnou úroveň.

Mikroporézní média poskytují excelentní kvalitu obrazu díky téměř okamžité absorpci inkoustu, která nedovoluje vzniku kapiček nebo jiných rozmazaných míst. Vysoká porozita však dovoluje vstupu atmosférických plynů skrz póry až k inkoustu, který je tak degradován a výsledný efekt je označován pojmem "gas fading". V případě bobtnajících vrstev dochází po kontaktu inkoustu s povrchem k jeho nabobtnání a absorpci inkoustu pod tuto vrstvu. Schnutí je sice delší než u mikroporézních vrstev, ale bobtnající vrstva po zaschnutí tvoří bariéru, která inkousty odděluje a chrání od okolí^{10,19,21,24,25,26}.

Ozón rovněž může způsobovat degradaci přijímacího média. Mezi nejčastější projevy této degradace patří žloutnutí papíru způsobené reakcí ozónu s optickými zjasňujícími prvky, které zajišťují bělost papíru nebo se mohou objevovat prasklinky na povrchu přijímací vrstvy²⁷.

2.6.3 Mechanismus degradace barviva ozónem

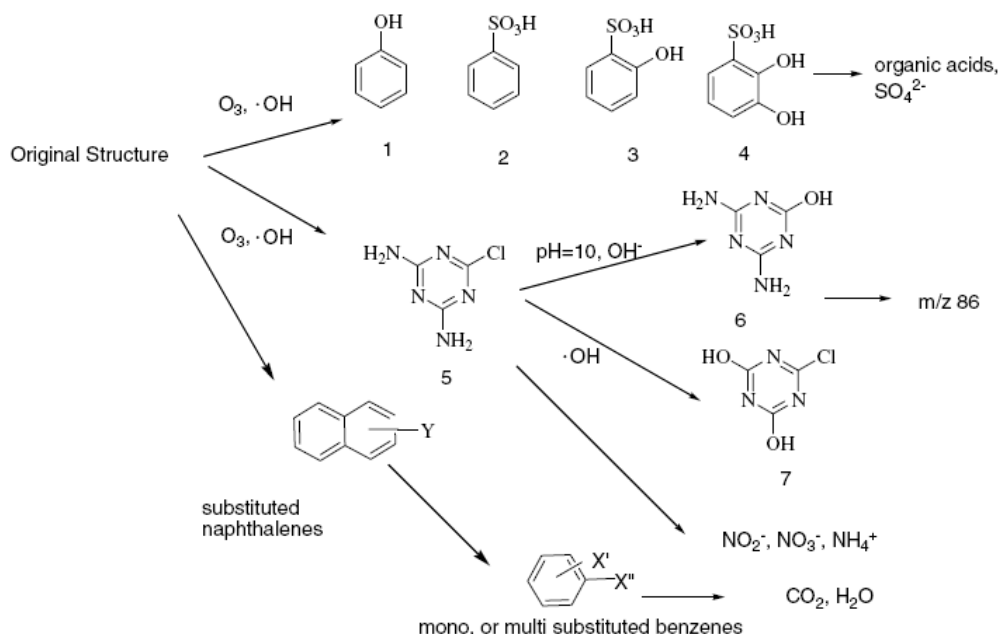
Následující chemické rovnice ukazují princip degradace barviva ozónem. V tomto případě se jedná o barvivo Reactive Red 120. Ozón v přítomnosti vzdušné vlhkosti velmi snadno tvoří hydroxylový radikál. Tyto rovnice ukazují průběh degradace způsobené jak ozónem tak i hydroxylovým radikálem²⁸.



Molecular formula: $C_{44}H_{24}Cl_2N_{14}O_{20}S_6H_6$

Mw: 1,337.34 g mol⁻¹; Water solubility: 70 g l⁻¹

Obr. 11 Chemický vzorec červeného barviva Reactive Red 120 (cit.²⁸)



Obr. 12 Mechanismus degradace barviva Reactive Red 120 ozónem a hydroxylovým radikálem²⁸

2.6.4 Stanovení koncentrace ozónu

Při práci s ozónem je nutné znát jeho koncentraci. Existuje mnoho metod, kterými lze stanovit množství vygenerovaného ozónu. Jedná se o různé analytické metody jako např. chemická oxidace, absorpce ultrafialového záření, katalytický rozklad, chemiluminiscence nebo fluorescence a štěpení dvojných vazeb. Většina z těchto metod není specifická pro ozón, ale obecně stanovuje množství oxidačních činidel. Metody stanovení koncentrace ozónu můžeme rozdělit na metody *chemické* a metody *fotochemické*. Výhoda fotochemické metody oproti chemické je možnost kontinuálního stanovení množství ozónu.

Nejpoužívanější *fotochemická* metoda je založena na absorpci UV záření při průchodu látkou. Schopnost částice pohlcovat záření o dané vlnové délce je charakterizována absorpčním účinným průřezem $\sigma(\nu)$ nebo absorpčním koeficientem $k(\nu)$. Absorpční účinný průřez je definován Lambert-Beerovým zákonem:

$$I(\nu) = I_0(\nu) e^{-\sigma(\nu)N}, \quad (8)$$

kde $I_0(\nu)$ je intenzita dopadajícího záření na absorbující sloupec plynu, $I(\nu)$ je intenzita prošlého záření, $\sigma(\nu)$ je absorpční účinný průřez a N je počet absorbujících částic (molekul nebo atomů) nacházejících se ve válci se základnou o ploše 1 cm^2 . Účinný průřez σ se obvykle udává v jednotkách Megabarn (Mb), přičemž platí $1 \text{ Mb} = 10^{-18} \text{ cm}^2$. Lambert-Beerův zákon lze také zapsat pomocí absorpčního koeficientu $k(\nu)$:

$$I(\nu) = I_0(\nu) e^{-k(\nu)l}, \quad (9)$$

kde l je dráha, kterou prošel paprsek v daném prostředí. Vztah mezi účinným průřezem $\sigma(\nu)$ a absorpčním koeficientem $k(\nu)$ můžeme určit pomocí Loschmidtova čísla $N_0 = 2,687 \cdot 10^{19} \text{ molekul} \cdot \text{cm}^{-3}$, které udává počet molekul nacházejících se v jednom cm^3 za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě $T_0 = 273,15 \text{ K}$ a tlaku $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$.

Chemická metoda je založena na jodometrické titraci, kdy reaguje ozón s roztokem alkalického jodidu:



při této reakci dojde k vyloučení jodu z jodidu a roztok se tak zbarví žlutě až hnědě. Množství jodidu se následně stanoví vlastní titrací thiosíranem sodným v kyselém prostředí:



příčemž redukce jodu na jodid se projeví odbarvením žlutohnědého roztoku. Pro zcitlivění reakce se před koncem titrace přidává škrobový roztok, který zbarví titrovaný roztok do modra. Vymizení modrého zbarvení je pro oko snáze pozorovatelné²⁹.

2.7 Hodnocení trvanlivosti

Zkoumání blednutí vytištěných fotografií nám poskytuje informaci o jejich trvanlivosti. Pomocí testu urychleného stárnutí pak lze simulovat podmínky, ve kterých se tento výtisk bude pravděpodobně vyskytovat a tak předpovědět jeho životnost. Tato práce je zaměřena na vliv polutantů, zejména ozónu.

Standardizované testy pomáhají spotřebitelům vybrat si ten nejvhodnější a nejodolnější materiál v závislosti na ceně a výsledné kvalitě. Výrobci tiskáren, inkoustů a papírů rovněž potřebují tyto testy, aby mohli neustále zlepšovat vlastnosti svých výrobků. V neposlední řadě je důležité umět předpovědět životnost tisků pro archivní účely.

Jak již bylo zmíněno, inkoustový tisk postupně nahradil "mokré" fotografické procesy. Zatím ale stále není k dispozici norma, která by upravovala podmínky hodnocení trvanlivosti inkoustového tisku. Používá se proto ne příliš vhodných denzitometrických měření, která doporučuje norma ISO 18909, ale jen pro halogenidostříbrné fotografie^{9,30,31}.

2.7.1 Testy urychleného stárnutí

Nejpřesnějších výsledků testování stálosti lze dosáhnout vystavením vzorků přímo reálným podmínkám a počkat až vyblednou. Tento postup by však byl příliš zdoluhavý a nepohodlný. Proto se používají testy urychleného stárnutí. Tyto testy jsou schopny simulovat stárnutí výtisku za daných podmínek mnohokrát rychleji, a tak poskytnout mnohem dříve data ke zpracování.

Testy urychleného stárnutí se obecně používají ze tří hlavních důvodů. Prvním je získání hodnocení kvality materiálu a získání informací o jeho chemické stabilitě a celkové výdrži. Druhý důvod je určení nebo předpověď životnosti materiálu v předpokládaných podmínkách. Za třetí, díky tomuto urychlení je možno odhalit mechanismus degradace materiálu a následně se pokusit o jeho zpomalení nebo zastavení.

Jelikož je koncentrace ozónu v ovzduší velmi proměnlivá a většinou se pohybuje v řádech ppb, v urychlených testech se obvykle používá koncentrace ozónu v řádech ppm. Rozdíl se skutečným stárnutím pak může způsobit ještě okolní teplota, vlhkost a rychlost průtoku plynu.

Pro testy urychleného stárnutí jsou tvořeny standardní normy, které se snaží sjednotit všechny podmínky testů a umožnit tak jejich lepší reprodukovatelnost. Výsledky však nemusí ve všech ohledech odpovídat stárnutí běžnému, protože při urychleném stárnutí se mohou uplatňovat odlišné degradační mechanismy^{12,13,32,33}.

2.7.2 ISO 18909

Norma ISO 18909 se zaměřuje na hodnocení světlostálosti klasické halogenidostříbrné fotografie. Zaměřuje se hlavně na stárnutí na světle nebo ve tmě a sjednocuje podmínky testu (intenzita osvětlení, teplota, relativní vlhkost). Tato norma popisuje 5 různých testů světlostálosti, které simulují běžné podmínky a mohou být na fotografii aplikovány. Testy uvedené v normě se liší v závislosti na použitém osvětlení:

- Vysoce intenzivní osvětlení xenonovou výbojkou D_{65} o intenzitě 50–100 klx filtrované okenním sklem pro simulaci nepřímého denního světla uvnitř místnosti.
- Fluorescentní pokojové osvětlení filtrované přes sklo – chladné bílé zářivky o intenzitě 80 klx nebo nižší.
- Pokojové osvětlení wolframovou žárovkou o intenzitě 3 klx – CIE osvětlení spektrální distribuce A.
- Simulované venkovní osvětlení sluncem pomocí xenonové výbojky o intenzitě 100 klx – CIE D_{65} spektrální distribuce.
- Střídavá halogen-wolframová lampa s IR propustným zrcadlem a skleněným filtrem pohlcujícím IR záření pro osvětlení projektoru na diapozitivy s intenzitou 1000 klx.

Norma ISO 18909 doporučuje jako metodu vyhodnocení denzitometrii. Měly by být změřeny optické hustoty azurových, purpurových, žlutých a neutrálních polí pod filtry RGB s výchozí hodnotou optické hustoty 1,0 (cit.³⁴).

2.7.3 JEITA CP-3901

Další normou zabývající se testováním fotografických materiálů je japonská JEITA CP-3901. Tato norma rovněž standardizuje intenzitu osvětlení a okolní podmínky pro testování fotografií. Doporučná velikost vzorku je velikost pohlednice a vzorky by měly obsahovat neutrální pole a pole barev CMY s danou optickou hustotou. V tomto dokumentu jsou také zmíněny podmínky testování "gas fading". Během testování vlivu ozónu by mělo být možno měnit koncentraci ozónu a zároveň také průtok plynu aparaturou. Doporučená koncentrace ozónu touto normou je $1\text{--}5 \text{ ppm} \pm 10 \%$. Ozón by po průchodu aparaturou měl být zničen. Norma doporučuje měření koncentrace ozónu elektrochemicky nebo UV absorpční spektrometrií. Je rovněž doporučeno vyměnit ozón v testovací komoře minimálně třikrát za hodinu. Vzorek má být umístěn čelem k toku plynu a mělo by být zabráněno průniku ozónu do vzorku ze zadní strany.

Norma JEITA doporučuje zaznamenávat změnu optické hustoty neutrálního políčka s výchozí hodnotou D_N $0,5 \pm 10 \%$, $1,0 \pm 10 \%$, $1,5 \pm 10 \%$ pod filtry RGB a změnu minimální optické hustoty vzorku $D_{\min}$ pod filtry RGB. Dále změnu optické hustoty polí D_C , D_M , D_Y pod příslušnými filtry s výchozími hodnotami optických hustot $0,5 \pm 10 \%$, $1,0 \pm 10 \%$, $1,5 \pm 10 \%$. Pokud však zařízení není schopno vytvořit pole o optické hustotě 1,5, použije se jako $D_{\max}$ nejvyšší dosažitelná hodnota. Tato norma rovněž zavádí měření kolorimetrické. Měří se kolorimetrické veličiny $L^*a^*b^*$ a z nich se vypočte barvová odchylka ΔE , která charakterizuje číselně změnu barvy po vyblednutí od původní hodnoty³⁵.

2.7.4 Inkjet a denzitometrie

Denzitometrie není pro případ inkoustového tisku vhodná, protože je při něm použita široká škála barviv a pigmentů, které mají absorpční maxima odlišná od barev klasických halogenidostříbrných fotografií. Dalším problémem pak je skutečnost, že blednutí fotografie je relativně rovnoměrné a tím pádem je uniformní i ztráta optické hustoty. Klasická fotografie má rovněž barviva uložena v želatinovém gelu a jsou od sebe oddělena mezivrstvami, proto

spolu jednotlivá barviva nepřicházejí do kontaktu. V případě inkoustového tisku jsou všechna barviva tištěna přes sebe, mohou se tedy navzájem ovlivňovat a každé z nich bledne jinak, proto se pak změny optických hustot liší.

Nové metody hodnocení trvanlivosti fotografií využívají kolorimetrická měření. Pomocí nich lze získat hodnoty, ze kterých je možno vypočítat barvové gamuty a z rozdílu jejich objemů můžeme efektivně interpretovat blednutí inkjetového výtisku⁹.

2.8 Barva a její vnímání

Barva a barevnost je bezprostředně spojena s vnímáním barvy, barevným vjemem. Barevný vjem vzniká, když viditelné světlo dopadá do zrakového systému oka. Viditelné světlo označujeme jako elektromagnetické záření o vlnových délkách z intervalu 380–780 nm. Výsledná barva světla závisí na jeho vlnové délce. Světlo kratších vlnových délek vyvolává vjem fialové a modré barvy, světlo střední vlnové délky zelené, žluté a oranžové, světlo o nejdelších vlnových délkách pak vjem červené barvy. Barevný vjem lze zjednodušeně označit jako výsledek vzájemného působení třech faktorů: 1. pozorované barevné plochy, 2. osvětlení, 3. citlivosti zrakového systému.

Barevná plocha pohlcuje světlo určitých vlnových délek, zatímco světla jiných vlnových délek odráží. Tato vlastnost barevné plochy je charakterizována odrazovým (remisním) spektrem. Pokud se však jedná o pozorování světla procházejícího plochou, mluvíme o tzv. transmisním spektru.

Osvětlení je popsáno spektrální distribucí osvětlení, která nám sděluje, jaké je poměrné zastoupení jednobarevných světél v celkovém světle. Červené světlo obsahuje pouze podíly s vlnovými délkami kolem 630 nm, zelené světlo kolem 495 nm, modré světlo 420 nm a bílé světlo je složeno kombinací všech těchto světél.

Po dopadu na barevnou plochu se světlo odráží. V závislosti na odrazovém spektru se však odráží pouze světlo některých vlnových délek, světlo jiných vlnových délek je pohlceno. Odražené světlo tak nese do světlocitlivých buněk zrakového systému oka informaci o barvě povrchu. Světlocitlivé buňky nacházející se ve zrakovém systému jsou tzv. tyčinky a čípky. Tyčinky jsou sice citlivější, ale barvu vnímají čípky. Čípky jsou tří druhů, každý je citlivý na jinou barvu. Jeden druh vnímá červené světlo, druhý modré a třetí zelené. Tyto tři druhy čípků se podráždí každý různě v závislosti na spektrálním složení světla a výsledkem je barevný vjem. Barevný vjem charakterizují tři atributy:

- Světlost, jas – popisuje vlastnost barvy podle měřítka „světlá – tmavá“.
- Odstín, barevný tón – jedná se o vlastnost, pomocí které se odlišuje jedna barva od druhé (červená se liší od zelené, modrá od žluté).
- Sytost, chroma – vyjadřuje stupeň odlišnosti dané barvy od barvy šedé o stejné světlosti, vyjadřuje rozsah „zředění“ daného odstínu bílou.

2.8.1 Měření barvy

Měření barvy je založeno na systémech a standardech vypracovaných a vydaných *Mezinárodní komisí pro osvětlení* (Commision Internationale de l'Eclavage – CIE).

Rozhodující krok ve standardizaci měření barvy provedla CIE roku 1931. Definovala nejdůležitější prvky barvy jako standardní zdroje osvětlení, podmínky osvětlení, detekce odraženého světla, definice spektrální citlivosti detektorů zavedením standardního pozorovatele a také doporučila způsoby vyhodnocení získaných údajů.

CIE definovala více druhů *standardních osvětlení*. Nejpoužívanější z nich jsou standardní osvětlení A, které odpovídá umělému osvětlení žárovkou a standardní osvětlení D, které odpovídá dennímu světlu. Nejčastěji se v kolorimetrii využívá standardní osvětlení D₆₅, které popisuje průměrné denní osvětlení interiéru. Spektrální citlivost fotometru pro základní tři barvy barevného vidění je určena *standardním pozorovatelem*. Jeho funkce představují spektrální citlivost průměrného lidského oka na základní tři barvy – červenou, zelenou, modrou (RGB). Tyto funkce jsou nazvány CIE trichromatické členitele $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$, které jsou také označovány jako 2° standardní pozorovatel (odpovídají pozorování barevného pole pod úhlem 2°). Později však CIE definovala ještě doplňkové trichromatické členitele $\bar{x}_{10}$, $\bar{y}_{10}$, $\bar{z}_{10}$ pro 10° standardního pozorovatele. Tyto trichromatické členitele definují jak se barevný signál při měření barvy transformuje na tři trichromatické složky X, Y, Z, které jednoznačně popisují barvu.

Trichromatické složky se vypočítají podle vztahů (12), (13), (14), kde $R(\lambda)$ je spektrální reflektance, $\Phi^0(\lambda)$ je spektrální distribuce osvětlení, $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ jsou funkce trichromatických činitelů a K je normalizační konstanta určená vztahem (15).

$$X = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \quad (12)$$

$$Y = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \quad (13)$$

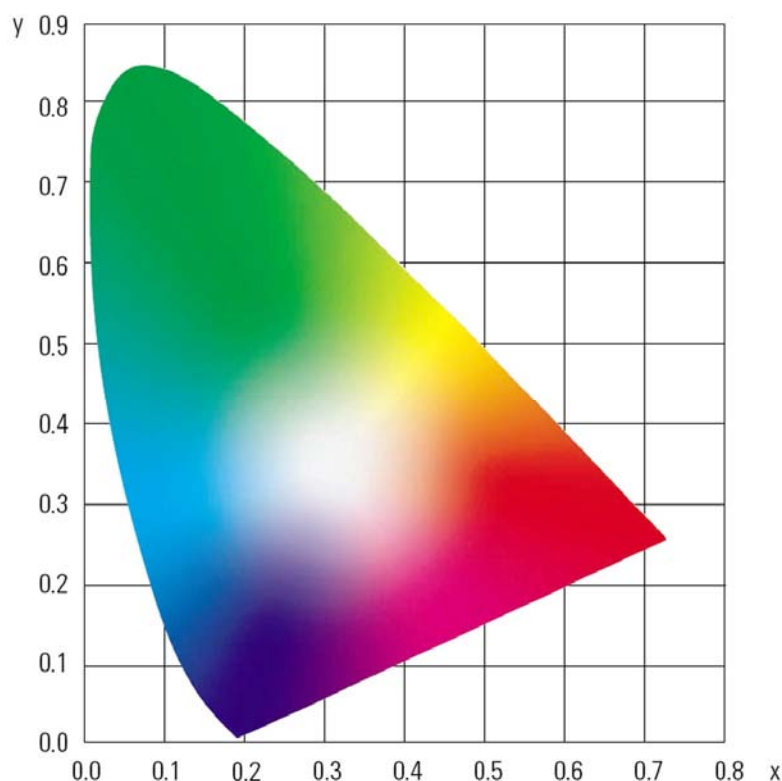
$$Z = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \quad (14)$$

$$K = \frac{100}{\sum \Phi^0(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)} \quad (15)$$

Trichromatické souřadnice (16) se získávají normováním jednotlivých trichromatických složek:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; y = \frac{Y}{X + Y + Z}; z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (16)$$

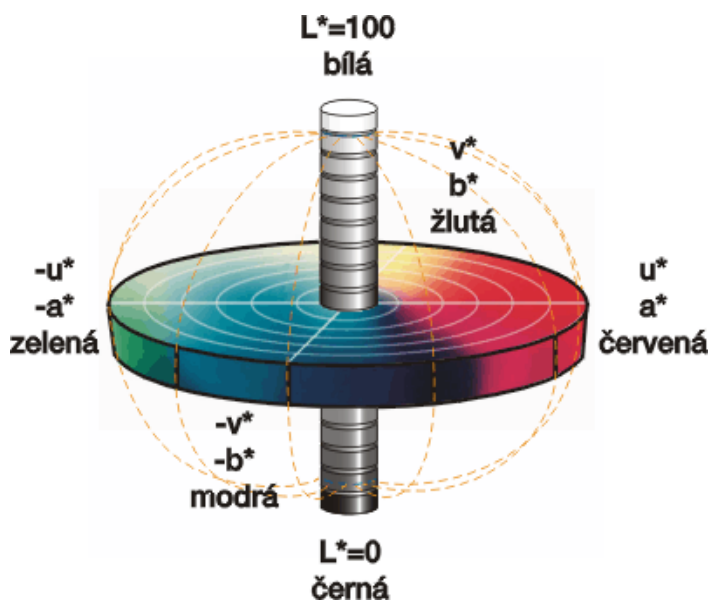
Jelikož $x + y + z = 1$, pro definici barvy stačí dvě trichromatické souřadnice x a y , které spolu s trichromatickou složkou Y určují polohu barvy v barevném prostoru CIE xyY . Tento prostor (Obr. 13) se nazývá kolorimetrický trojúhelník (chromatický diagram).



Obr. 13 CIE xyY barevný prostor

Obvod tohoto trojúhelníku odpovídá škále spektrálních barev viditelného světla. Barvy po obvodu jsou syté, pestré, zatímco barvy ve středu trojúhelníka odpovídají bílé, černé a různým stupňům šedi.

Barevný systém CIE xyY však není úplně dokonalý, protože barevné rozdíly odpovídající stejným rozdílům barevného vjemu se v této rovině zobrazují nesteréjně dlouhými úsečkami. Proto roku 1976 CIE vytvořila dva alternativní barevné prostory CIELAB a CIELUV (Obr. 14). Hodnoty souřadnic těchto barevných prostorů se získávají přepočtem z trichromatických složek dané barvy podle vztahů (17), (18), (19). Tyto prostory jsou pravoúhlé s nepestrými barvami (bílá, černá, stupně šedé) na vertikální ose, která je označena L^* a reprezentuje měrnou světlost. Chromatické osy a^* a b^* , resp. u^* a v^* leží ve směru červená zelená (a^* , u^*) a ve směru žlutá modrá (b^* , v^*).



Obr. 14 Barevný prostor CIE $L^*a^*b^*$, CIE $L^*u^*v^*$

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (17)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (18)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (19)$$

Při hodnocení odlišnosti nebo shodnosti barev má klíčový význam číselné vyjádření rozdílu barev. Veličina charakterizující tento rozdíl barev se nazývá barvová odchylka – ΔE^*_{ab} . Barvová odchylka definuje celkovou barevnou odlišnost dvou barev, bere do úvahy i rozdíl světlosti a rozdíl v chromatické rovině, proto je vhodná pro posuzování kvality tisku. Hodnota ΔE^*_{ab} se vypočítá podle vztahu (20) a v tabulce (Tabulka 2) je uvedeno hodnocení rozdílu podle velikosti barevné odchylky^{1,36,37}.

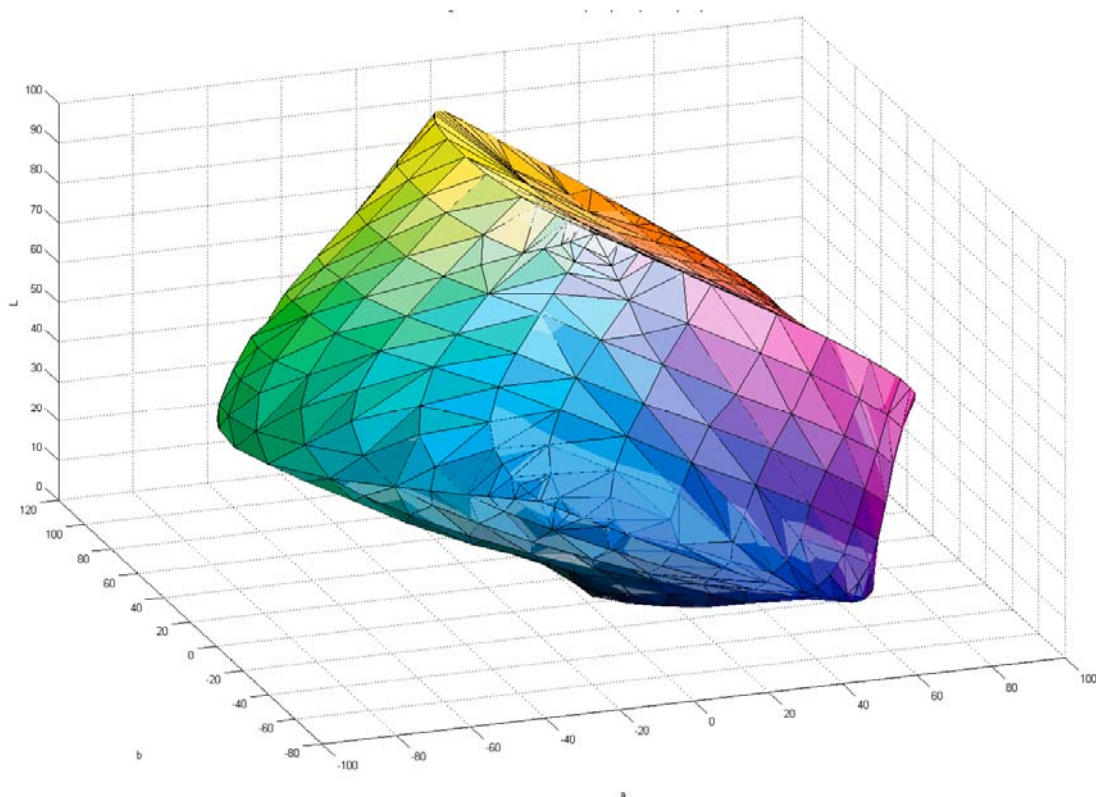
$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (20)$$

Tabulka 2 Hodnocení rozdílu barvové odchylky

Hodnocení barvové odchylky	
ΔE^*_{ab}	rozdíl
0,0–0,2	nepostřehnutelný
0,2–0,5	velmi slabý
0,5–1,5	slabý
1,5–3,0	jasně postřehnutelný
3,0–6,0	střední
6,0–12,0	výrazný
12,0–16,0	velmi výrazný
>16,0	rušící

2.8.2 Barvový gamut a jeho výpočet

Barvový gamut (Obr. 15) je obvykle definován jako spojitá podmnožina barvového prostoru, která zobrazuje všechny barvy, které je dané zařízení schopno přesně reprodukovat. Gamuty jsou často zobrazovány v CIE 1931 barevném prostoru, ale plné zobrazení gamutu musí být umístěno v 3D barevném prostoru. K tomuto zobrazení je preferováno použití CIE $L^*a^*b^*$ barvového prostoru. Často bývá také gamut doprovázen 2D "řezem" z CIE $L^*a^*b^*$ prostoru v různých hodnotách L .



Obr. 15 Barvový gamut v CIE $L^*a^*b^*$ barevném prostoru

Výpočet barvového gamutu a jeho objemu lze realizovat pomocí programu VolGa 3.0. Výpočet vychází z $L^*a^*b^*$ dat z N naměřených barevných políček, které se nachází uvnitř nebo na hranici barvového gamutu. Z těchto dat se vypočítá x_i , které představuje $L^*a^*b^*$ souřadnice i -tého políčka:

$$x_i = (L_i, a_i, b_i). \quad (21)$$

Dále je vypočítáno těžiště (angl. center of gravity, CG), které leží uvnitř gamutu a jeho souřadnice $L^*a^*b^*$ jsou většinou blízko (50,0,0):

$$CG = (L_{CG}, a_{CG}, b_{CG}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (22)$$

Následuje výpočet vzdálenosti d_i každého bodu x_i od těžiště:

$$d_i = \|CG - x_i\| = \sqrt{(L_i - L_{CG})^2 + (a_i - a_{CG})^2 + (b_i - b_{CG})^2}. \quad (23)$$

Tato vzdálenost je normalizována tak, že hodnoty jsou mezi 0 a 1:

$$nd_i = \frac{d_i}{\max\{d_i\}}. \quad (24)$$

Nyní je provedena nelineární konvexní transformace prostřednictvím funkce $x \rightarrow x^\gamma$, kde parametr $\gamma \in (0,1)$. Takto se získá:

$$cnd_i = (nd_i)^\gamma. \quad (25)$$

Gamut je tedy sestaven po identifikování svých vrcholů aproximací na prostorový mnohostěn. Je velice důležité zvolit správný parametr γ . Konvexní transformace posune body s malými hodnotami nd_i (blízko těžiště) směrem k hranicím gamutu, zatímco body blízko hranic gamutu (nd_i blízko 1) zůstanou téměř nezměněny. Hodnotou γ lze tedy měnit stupeň konvexní transformace.

Vysoké hodnoty γ ($\gamma \rightarrow 1$) mají za následek pouze malé "nafouknutí", takže je identifikován pouze malý počet vrcholů a to má za následek, že mnohostěn přesahuje skutečný objem počítaného gamutu.

Na druhou stranu příliš malé hodnoty γ ($\gamma \rightarrow 0$) způsobí značné "nafouknutí", je tudíž identifikováno příliš mnoho vrcholů a výsledný mnohostěn je pak velmi hrbolatý a

promáčknutý a znázorňuje tak menší objem než je skutečný objem počítaného gamutu. Tvůrci software VolGa 3.0 doporučují používat hodnotu $\gamma \cong 0,1$ (cit.³⁸).

2.8.3 Optická hustota

Pojmem optická hustota (angl. optical density, zkratka OD) se označuje míra absorpce světla dopadajícího na předlohu. Čím je materiál tmavší, tím více pohlcuje světlo a tím je jeho optická hustota vyšší. Optickou hustotu při odraženém světle lze vyjádřit rovnicí:

$$D = \log \frac{1}{R}, \quad (26)$$

kde R je reflektance.

Při výpočtu optické hustoty ze spektra se využívá obecný vzorec:

$$D = -\log \left(\frac{\sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) \cdot I(\lambda)}{\sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda)} \right). \quad (27)$$

Pro výpočet optické hustoty pro jednotlivé barvy můžeme využít vzorce (28) pro žlutou, (29) pro purpurovou a (30) pro azurovou barvu:

$$D_Y = -\log \left(\frac{\sum_{400}^{510} R(\lambda) \cdot I(\lambda)}{\sum_{400}^{510} I(\lambda)} \right), \quad (28)$$

$$D_M = -\log \left(\frac{\sum_{480}^{610} R(\lambda) \cdot I(\lambda)}{\sum_{480}^{610} I(\lambda)} \right), \quad (29)$$

$$D_C = -\log \left(\frac{\sum_{580}^{760} R(\lambda) \cdot I(\lambda)}{\sum_{580}^{760} I(\lambda)} \right), \quad (30)$$

kde $R(\lambda)$ je reflektance a $I(\lambda)$ je spektrální produkt příslušného senzimetrického statusu.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použité zařízení a chemikálie

3.1.1 Zařízení a vybavení laboratoře

- Tiskárna Epson Stylus Photo P50
- Spektrofotometr Gretag Macbeth Spectroscan
- X-Rite Spektrodenzitometr 500 Series
- Ozonizátor na principu bariérového výboje
- Plynový průtokoměr
- Lahve se stlačeným kyslíkem a dusíkem
- Skleněná válcová komora pro umístění vzorků

3.1.2 Použité chemikálie a inkousty

- Jodid draselný
- Thiosíran sodný
- Kyselina chlorovodíková
- Škrobový roztok
- 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)
- Epson Claria T0801 Black Ink Cartridge
- Epson Claria T0802 Cyan Ink Cartridge
- Epson Claria T0805 Light Cyan Ink Cartridge
- Epson Claria T0803 Magenta Ink Cartridge
- Epson Claria T0806 Light Magenta Ink Cartridge
- Epson Claria T0804 Yellow Ink Cartridge

3.1.3 Použitý software

- Microsoft® Office Word 2003
- Microsoft® Office Excel 2003
- Adobe® Photoshop® CS2 9.0

- Gretag MacbethTM MeasureTool 5.0.5
- MatLab 7.1
- VolGa 3.0
- Origin[®] 7.5

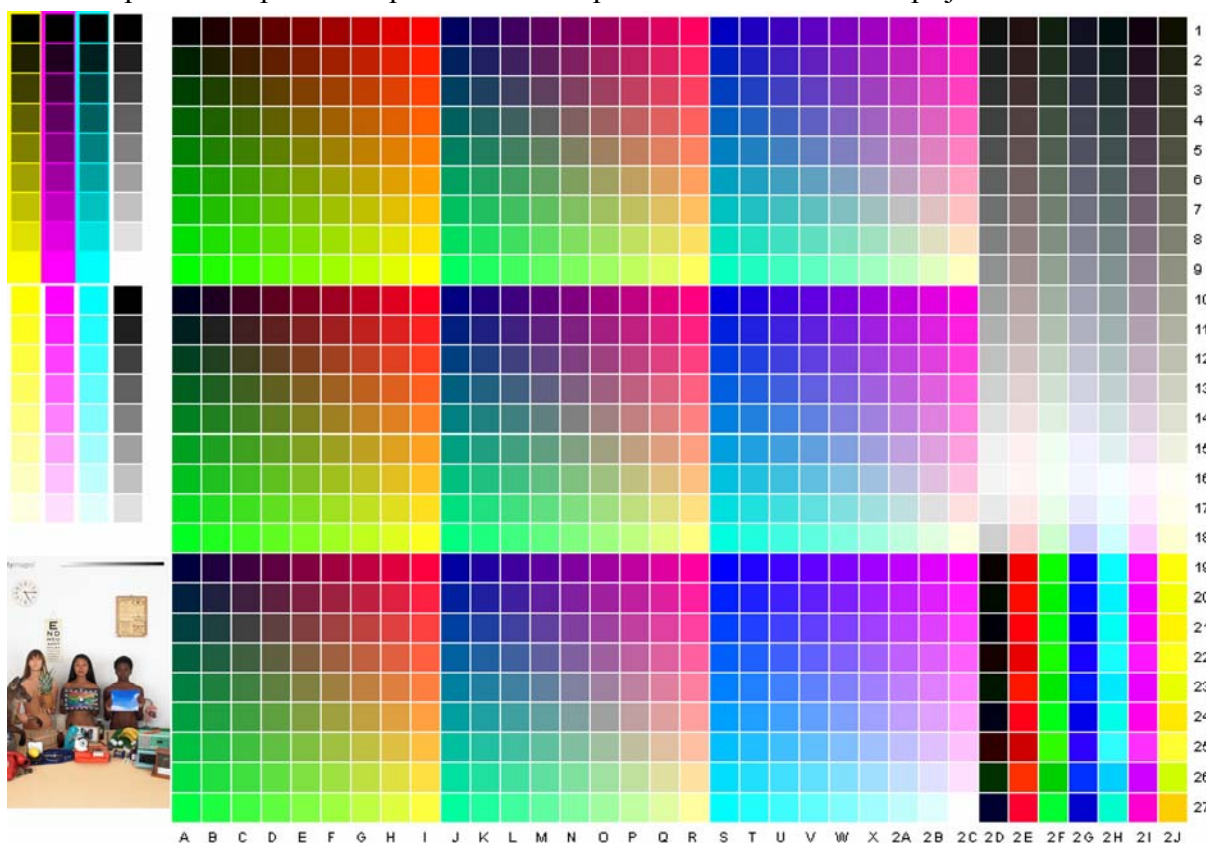
3.1.4 Použitá tisková média

- Ilford Gallerie Smooth Pearl, 290 g·m⁻²

3.2 Příprava vzorků

Jako testovací obrazec pro hodnocení vlivu ozónu byla zvolena škála RGB T9.18 (Obr. 16). Škála se skládá z 918 RGB políček (A–2J; 1–27) a 68 políček CMYK (v levé části, bez označení).

Tato škála byla vytištěna několikrát vždy na stejný papír Ilford Gallerie Smooth Pearl o plošné hmotnosti 290 g·m⁻². Tisk probíhal na tiskárně Epson Stylus Photo P50 za použití barvivových inkoustů s nastavením bez použití správy barev. Vliv ozónu byl zkoumán na 2 typy inkoustů a to originální inkousty Epson Claria a alternativní inkousty MIS Dyebase. Celkem bylo vytištěno 24 vzorků. Vzorky byly ponechány ke schnutí minimálně 48 h, aby došlo k úplnému odpaření rozpouštědla a ke správné fixaci barviva na přijímací vrstvu.



Obr. 16 Testovací škála RGB T9.18

Všechny vzorky byly změřeny spektrofotometrem Gretag Macbeth Spectroscan (Obr. 17). K měření byl využit software Gretag MacbethTM MeasureTool 5.0.5. Měření probíhalo bez

polarizačního filtru se standardním osvětlením D_{50} a 2° pozorovatelem. Tímto spektrofotometrem bylo měřeno 918 RGB políček. Byla uložena reflektanční spektra a hodnoty $L^*a^*b^*$.

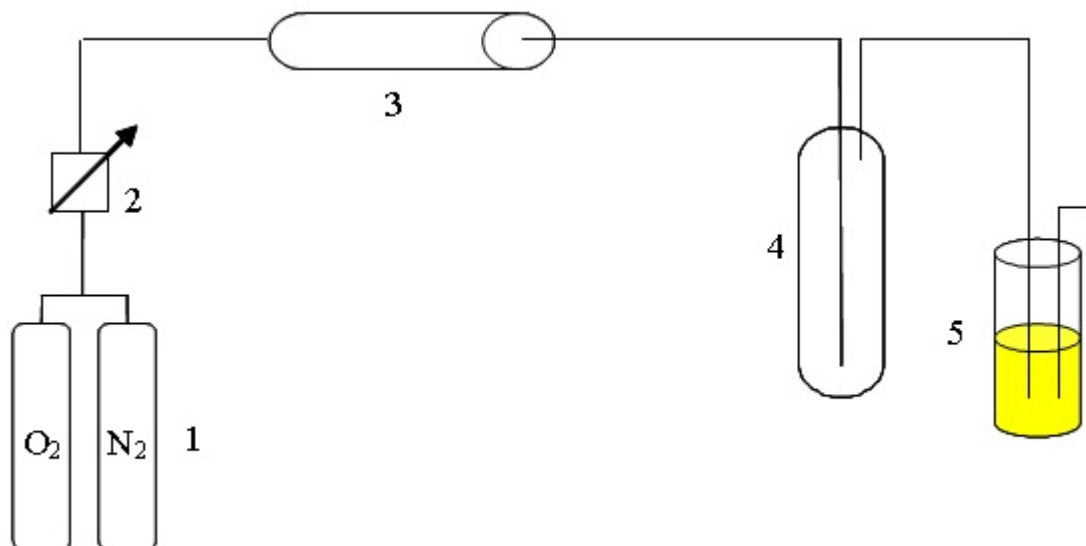
Dále byl k měření použit X-Rite Spektrodenzitometr 500 Series, kterým byla změřena políčka s čistými CMYK inkousty. Z těchto políček byla vybrána ta, jejichž optická hustota byla co nejblíže hodnotě 1,0. Optická hustota těchto polí byla ukládána.



Obr. 17 Spektrofotometr Gretag Macbeth Spectroscan

3.3 Expozice vzorků ozónem

Byla sestavena aparatura na urychlené stárnutí vzorků ozónem. Tato aparatura se skládala z lahví se stlačeným dusíkem a kyslíkem, průtokoměrů, ozonizátoru, expoziční nádoby a promývací lahve (Obr. 18).



Obr. 18 Aparatura pro expozici ozónem. 1–lahve se stlačeným kyslíkem a dusíkem; 2–průtokoměry; 3–ozonizátor; 4–expoziční nádoba; 5–promývací láhev

Z tlakových lahví byla vytvářena pomocí průtokoměrů směs kyslíku a dusíku s průtoky: kyslík 0,2 l/min a dusík 0,8 l/min, tj. poměr kyslík:dusík byl 1:4. Tato směs dále putovala

do ozonizátoru, na kterém je možno potenciometrem měnit výkon výboje a tak i koncentraci generovaného ozónu. Ozón po vygenerování postupoval do expoziční nádoby (Obr. 19), která byla vytvořena z odměrného válce takové velikosti, aby do ní bylo možno umístit vzorek formátu A4. Tato nádoba má objem 1600 cm^3 a pomocí 6 šroubů ji lze dokonale utěsnit od vnější atmosféry. Nádoba byla při experimentu obalena alobalem, aby expozice probíhala za tmy bez přístupu jakéhokoliv záření a mohl tak být zkoumán pouze vliv ozónu. Ozón po průchodu expoziční nádobou probublával v promývací láhvi do roztoku jodidu draselného o koncentraci $c=0,2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, kde ihned reagoval s jodidem za vzniku jodu a kyslíku. Tímto způsobem byl přebytečný ozón likvidován.



Obr. 19 Expoziční nádoba

Po expozici byly vzorky opět přeměřeny stejným způsobem jako před expozicí a získaná data byla vyhodnocena pomocí programů Microsoft® Office Excel 2003 a programu VolGa 3.0, který běží v prostředí MatLab.

3.3.1 Parametry expozice

Následující tabulka (Tabulka 3) shrnuje parametry expozice. Vzorky pro každý z obou inkoustů byly rozděleny na 3 série. Každá série obsahovala 4 vzorky, které byly exponovány se stejnou koncentrací ozónu, ale s jiným expozičním časem. Expoziční časy a koncentrace ozónu byly voleny tak, aby byl jejich součin odpovídajících si vzorků z různých sérií vždy stejný (tj. expoziční dávky jsou si rovny).

Tabulka 3 *Tabulka expozičních parametrů*

Epson Claria			MIS Dyebase		
číslo vzorku	čas expozice [h]	koncentrace ozónu [ppm/h]	číslo vzorku	čas expozice [h]	koncentrace ozónu [ppm/h]
1	1	80	1	1	80
2	2	80	2	2	80
3	3	80	3	3	80
4	4	80	4	4	80
5	2	40	5	2	40
6	4	40	6	4	40
7	6	40	7	6	40
8	8	40	8	8	40
9	4	20	9	4	20
10	8	20	10	8	20
11	12	20	11	12	20
12	16	20	12	16	20

3.3.2 Stanovení průtoku plynu aparaturou

Pomocí soustavy dvou odměrných válců s vodou byl stanoven průtok směsi plynů aparaturou. Stopkami byl měřen čas, za který se do prostoru mezi válci naplní 100 ml směsi kyslíku a dusíku. Naměřená data jsou uvedena v tabulce (Tabulka 4).

Tabulka 4 *Stanovení průtoku*

číslo měření	čas [s]
1	4,22
2	4,47
3	4,77
4	4,49
5	4,40
průměr	4,47
průtok [ml/s]	22,37
průtok [l/h]	80,54

3.3.3 Stanovení koncentrace ozónu

Koncentraci ozónu bylo možno stanovit buď fotochemicky pomocí spektrofotometru nebo jodometrickou titrací. Byla použita metoda jodometrické titrace. Při kontaktu ozónu s 0,2M KI vzniká jod (10), který zabarví roztok žlutohnědě. Jod je redukován 0,01M roztokem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ za vzniku jodidu (11). Během této redukce se roztok odbarví. Pro zcitlivění reakce je vhodné přidat 10 ml 2M HCl a roztok škrobového mazu pro lepší barevnou indikaci bodu ekvivalence.

Při výpočtu koncentrace se vychází z faktu, že 1 ml 0,05M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ odpovídá 1,2 mg ozónu. Přesná koncentrace $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ byla stanovena titrací na roztok KIO_3 na 0,01006 M.

Přímou úměrou lze určit, že 1 ml 0,01006 odpovídá 0,24144 mg ozónu. Ze známého průtoku v minutách t pak lze vypočítat množství vygenerovaného ozónu za 1 hodinu:

$$m_{O_3} = V_{Na_2S_2O_3} \cdot 0,24144 \cdot \frac{60}{t} = 9,05 \cdot 0,24144 \cdot \frac{60}{10} = 13,11 \text{ mg} \quad (31)$$

Dále je nutno vypočíst látkové množství ozónu n :

$$n_{O_3} = \frac{m_{O_3}}{M_{O_3}} = \frac{13,11}{47,9982} = 2,7314 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \quad (32)$$

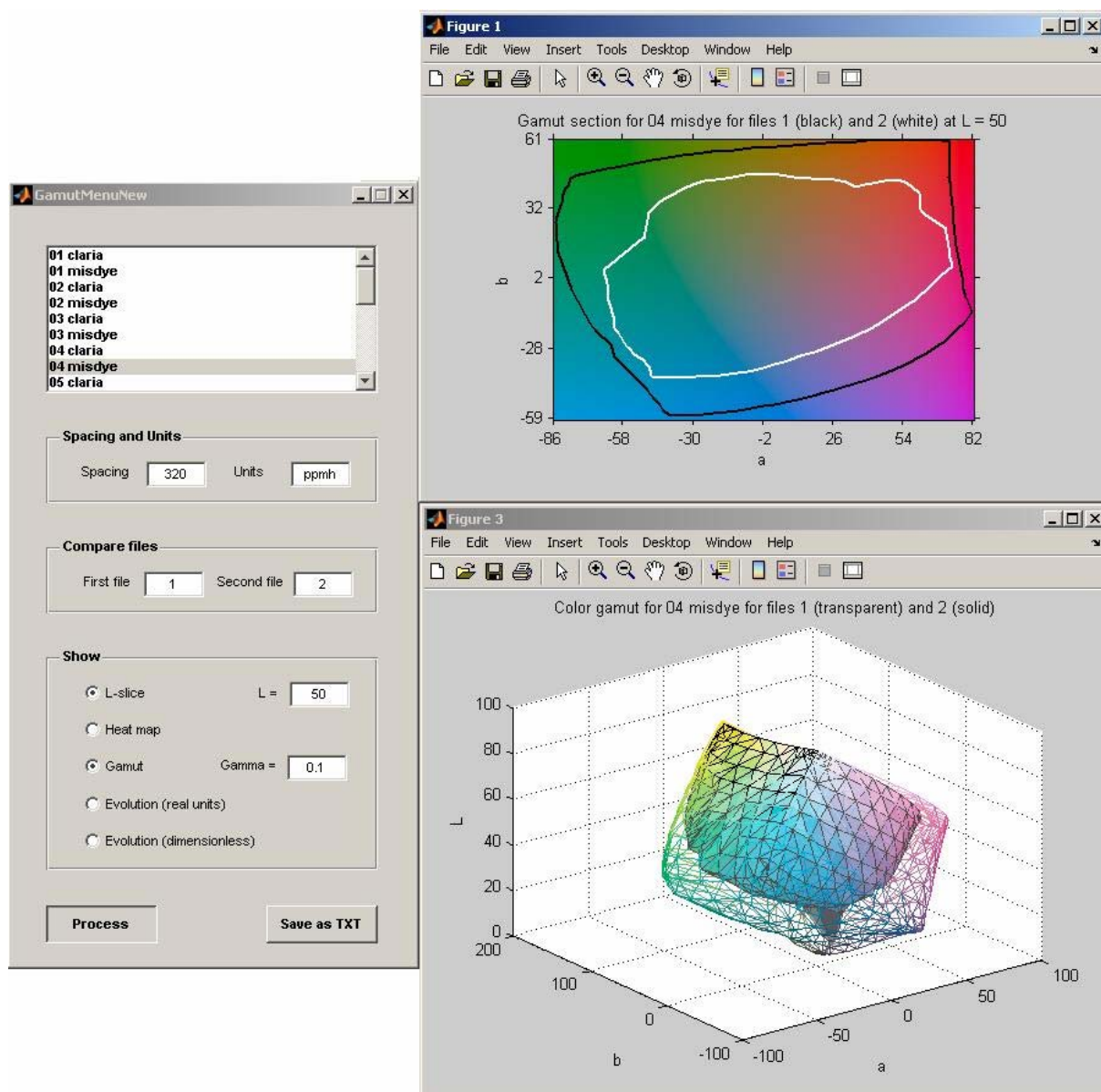
K výpočtu koncentrace ozónu v ppm musíme vypočítat objem ozónu v litrech ze stavové rovnice ideálního plynu. Ten je po převodu na μl vydělen průtokem v l/h:

$$V_{O_3} = \frac{n_{O_3} \cdot R \cdot T}{p} = \frac{2,7314 \cdot 10^{-4} \cdot 8,314 \cdot 295,65 \cdot 1000}{101325} = 6,63 \cdot 10^{-3} \text{ l} \quad (33)$$

$$c_{O_3} = \frac{V_{O_3} \cdot 1 \cdot 10^6}{V} = \frac{6,63 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^6}{80,54} \cong 82,3 \text{ ppm} \quad (34)$$

3.3.4 VolGa 3.0

Program VolGa 3.0 počítá barvové gamuty z dat $L^*a^*b^*$. Textové soubory s těmito daty je potřeba označit na začátku jejich názvu postupně čísla 01, 02, 03, atd. Tyto soubory se pak ve složce označující název vzorku nakopírují do adresáře source, který se standardně nachází v adresáři VolGa. Poté je možno spustit samotný program buď *.exe souborem nebo přepnutím se do složky s pracovními *.m soubory v prostředí MatLab, kde se následně zadá příkaz *gamutmenunew*. Po zadání tohoto příkazu v MatLabu nebo spuštění *.exe souboru přímo z operačního systému načte základní okno programu VolGa 3.0 (Obr. 20). Z nabídky si pak lze vybrat název složky umístěné v adresáři source a z uložených dat následně po označení volby L-slice a Gamut spočítat barvový gamut a jeho řez. Do pole $L=$ pak lze vepsat hodnotu jasu, ve které má být řez proveden a pomocí hodnoty Gamma lze zajistit správné vykreslení gamutu jak je popsáno v kap. 2.8.2. Volbou Save as TXT program uloží do adresáře s daty vypočtené hodnoty objemů gamutů pro další zpracování.



Obr. 20 Okno programu VolGa 3.0 (vlevo), vypočtený řez barvovým gamutem (vpravo nahoře), vypočtený barvový gamut (vpravo dole)

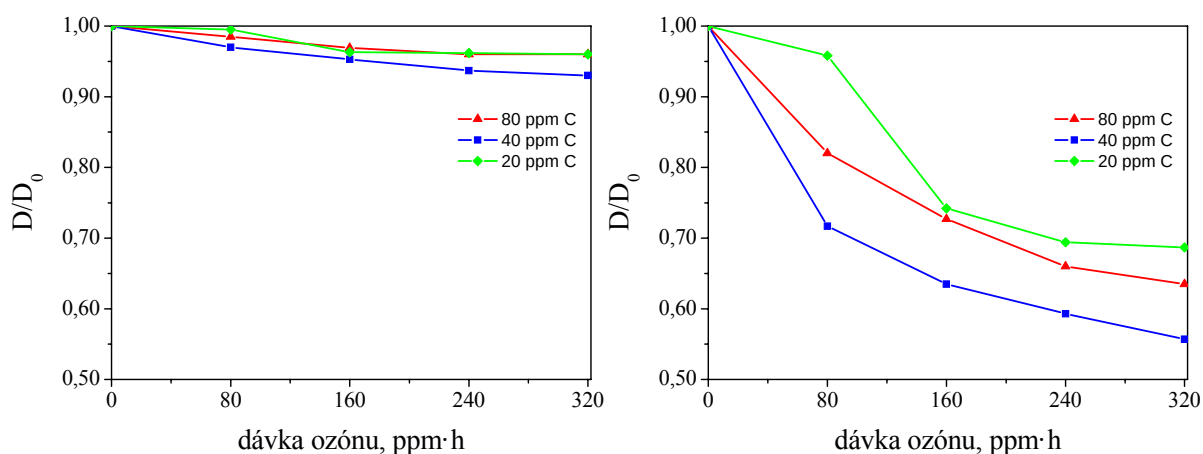
4 VÝSLEDKY A DISKUSE

4.1 Vyhodnocení vzorků

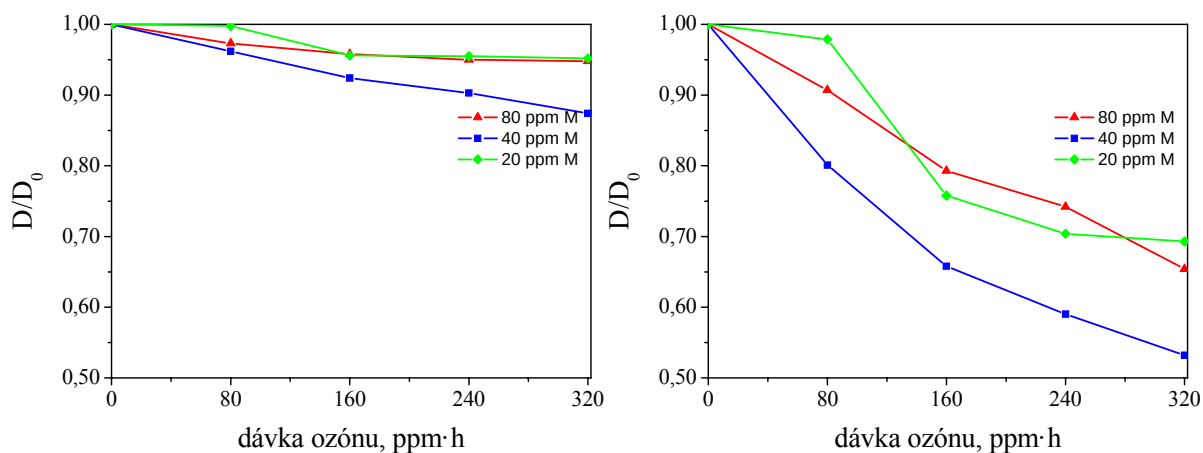
Pro blednutí ozónem je k dispozici pouze norma Jeita CP-3901. Ačkoliv tato norma doporučuje koncentrace ozónu v rozmezí 1–5 ppm, záměrně jsme použili koncentrace vyšší, abychom otestovali chování vzorků v těchto koncentracích a zároveň platnost recipročního zákona. V době experimentů vyšla ještě norma ISO 18941:2011 Imaging materials – Colour reflection prints – Test method for ozone gas fading stability, ale tato norma nebyla k dispozici, proto se postupovalo podle ISO 18909 z hlediska hodnocení účinku ozónu. Vyhodnocení bylo provedeno několika způsoby. Byla použita denzitometrie, která je doporučována pro starší fotografické materiály. Byla sledována změna optické hustoty políčka s výchozí hodnotou blízkou 1,0. Z těchto hodnot byly sestaveny grafy znázorňující pokles optické hustoty v závislosti na dávce. Dále byly z hodnot $L^*a^*b^*$ vypočteny barvé odchylky podle rovnice (20). Z těchto vypočtených hodnot byly sestaveny mapy barvových odchylek, které svým vzhledem a souřadnicemi kopírují vzorky, proto tak velmi dobře znázorňují změnu barvy jednotlivých políček. Jako třetí metoda vyhodnocení bylo využito změny objemů barvových gamutů. Barvé gamuty byly vypočteny z kolorimetrických souřadnic $L^*a^*b^*$ a znázorňují maximální dosažitelnost barev v daném zobrazení. Změny objemů barvových gamutů po jednotlivých expozicích byly uvedeny pro přehlednost do tabulky a pro lepší ilustraci jsou tyto změny interpretovány i na obrázku.

4.2 Změny optických hustot

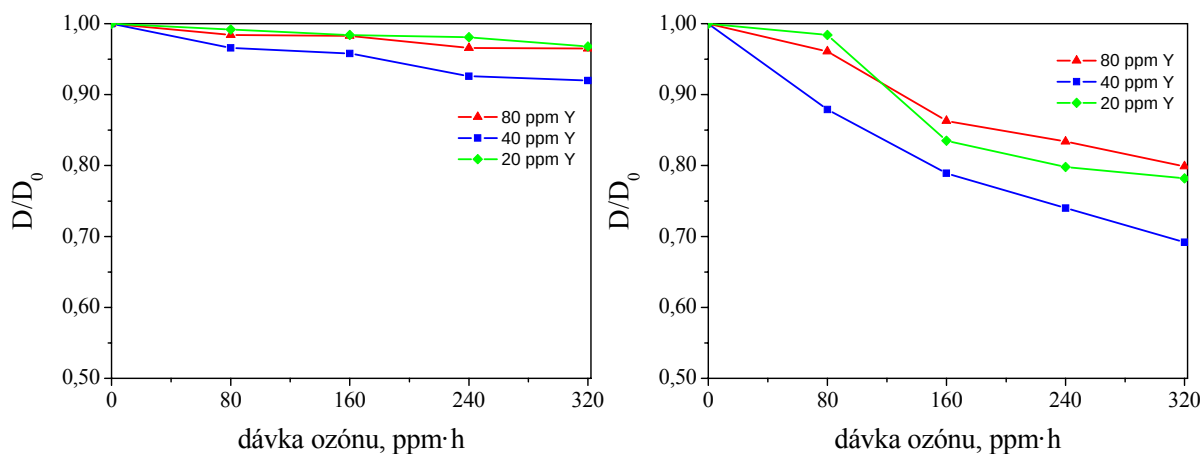
Následující grafy (Obr. 21, Obr. 22, Obr. 23 a Obr. 24) znázorňují závislost poklesu optických hustot políček jednotlivých barev CMYK na dávce ozónu. Pro každou barvu je sestaven graf, který zahrnuje výsledky expozic s koncentracemi ozónu 20, 40 a 80 ppm a tomu odpovídajícím expozičním časům, aby byla dávka vždy stejná. Jsou porovnávány hodnoty vzorků s inkousty Epson Claria a MIS Dyebase. Na těchto grafech lze v některých případech pozorovat platnost recipročního zákona.



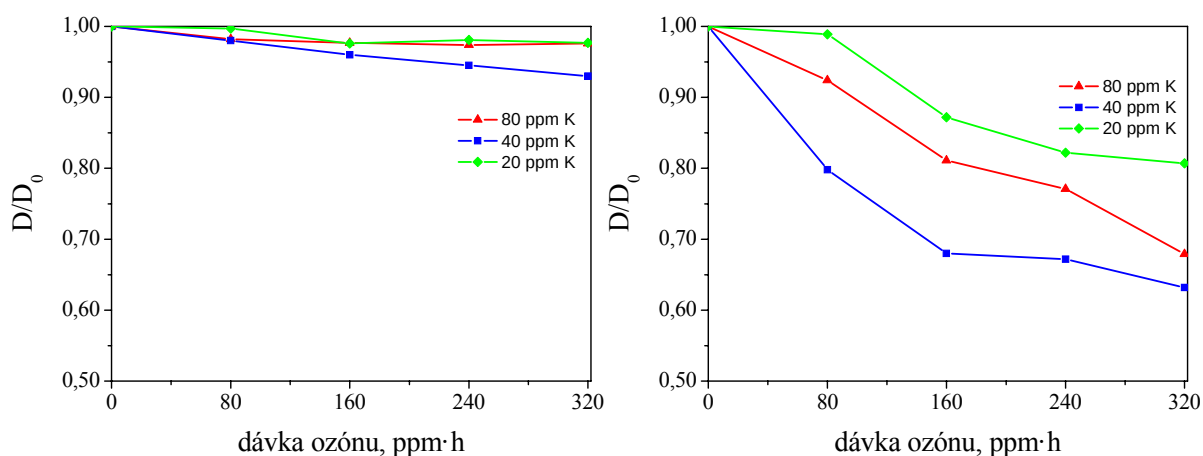
Obr. 21 Pokles optických hustot azurového políčka vzorku s inkoustem Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)



Obr. 22 Pokles optických hustot purpurového polička vzorku s inkoustem Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)

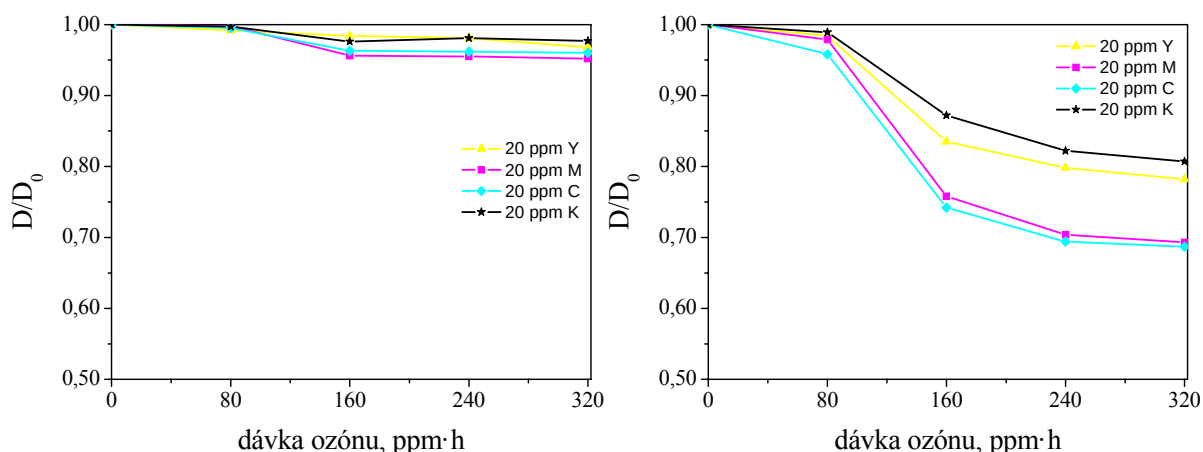


Obr. 23 Pokles optických hustot žlutého polička vzorku s inkoustem Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)

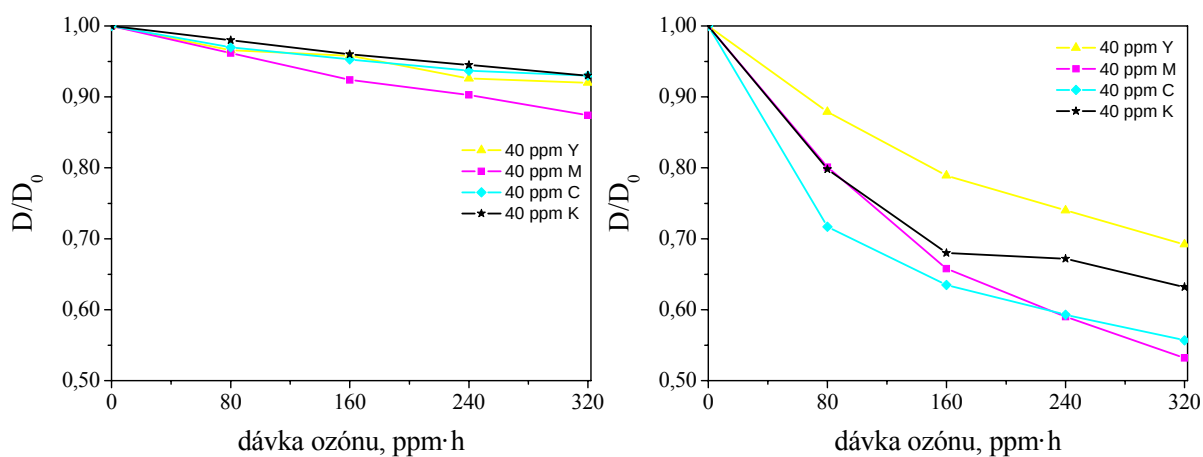


Obr. 24 Pokles optických hustot černého polička vzorku s inkoustem Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)

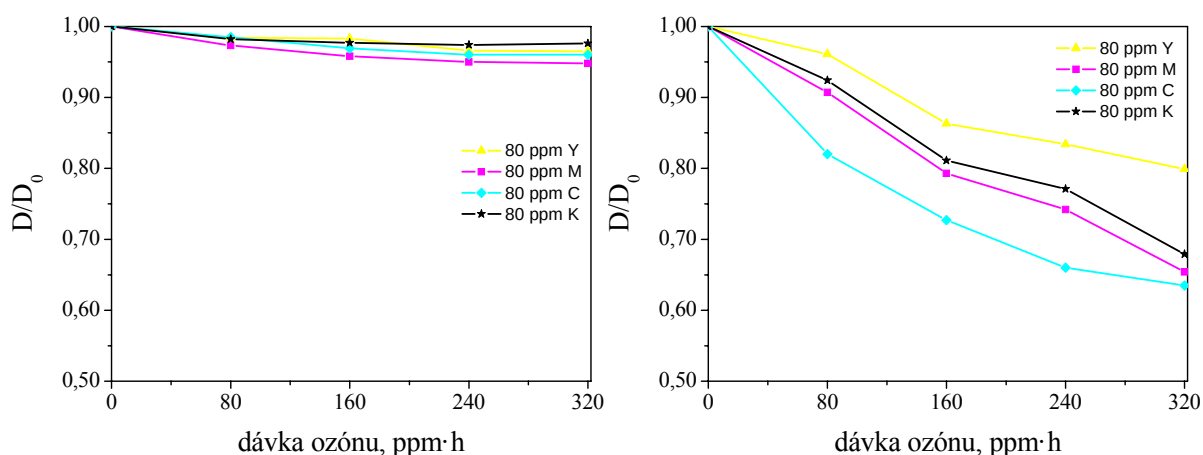
Ve všech těchto grafech lze pozorovat, že originální inkousty Epson Claria doporučené výrobcem tiskárny ztrácejí optickou hustotu méně. Tyto inkousty také v případě koncentrace ozónu 20 ppm a 80 ppm splňovaly reciproční zákon. V případě koncentrace ozónu 40 ppm reciprocita mírně selhávala. Inkousty MIS Dyebase tedy bledly znatelně více a to i ve vizuálním porovnání pouhým okem. Reciprocita se mírně potvrzovala v případě žlutého a purpurového inkoustu s koncentrací ozónu 20 ppm a 80 ppm (Obr. 22, Obr. 23). Expozice s koncentrací ozónu 40 ppm opět z reciprocitu vybočovala a inkousty po této expozici degradovaly v případě obou inkoustů nejvíce.



Obr. 25 Pokles optických hustot jednotlivých inkoustů CMYK po expozici ozónem o koncentraci 20 ppm u vzorků s inkousty Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)



Obr. 26 Pokles optických hustot jednotlivých inkoustů CMYK po expozici ozónem o koncentraci 40 ppm u vzorků s inkousty Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)



Obr. 27 Pokles optických hustot jednotlivých inkoustů CMYK po expozici ozónem o koncentraci 80 ppm u vzorků s inkousty Epson Claria (vlevo) a MIS Dyebase (vpravo)

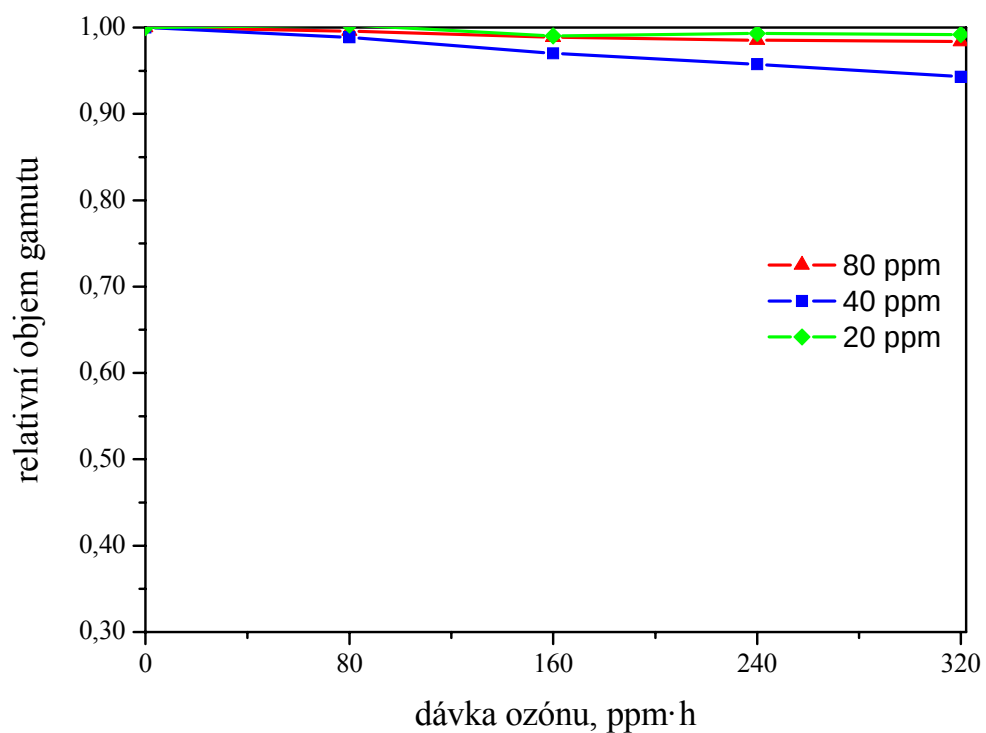
Na grafech (Obr. 25, Obr. 26, Obr. 27) můžeme pozorovat opět větší odolnost inkoustů Epson Claria vůči ozónu. Lze z nich také usoudit, že v obou případech byl nejstabilnější žlutý a černý inkoust. Azurový a purpurový inkoust podléhaly blednutí vždy nejvíce.

4.3 Změny barvových gamutů

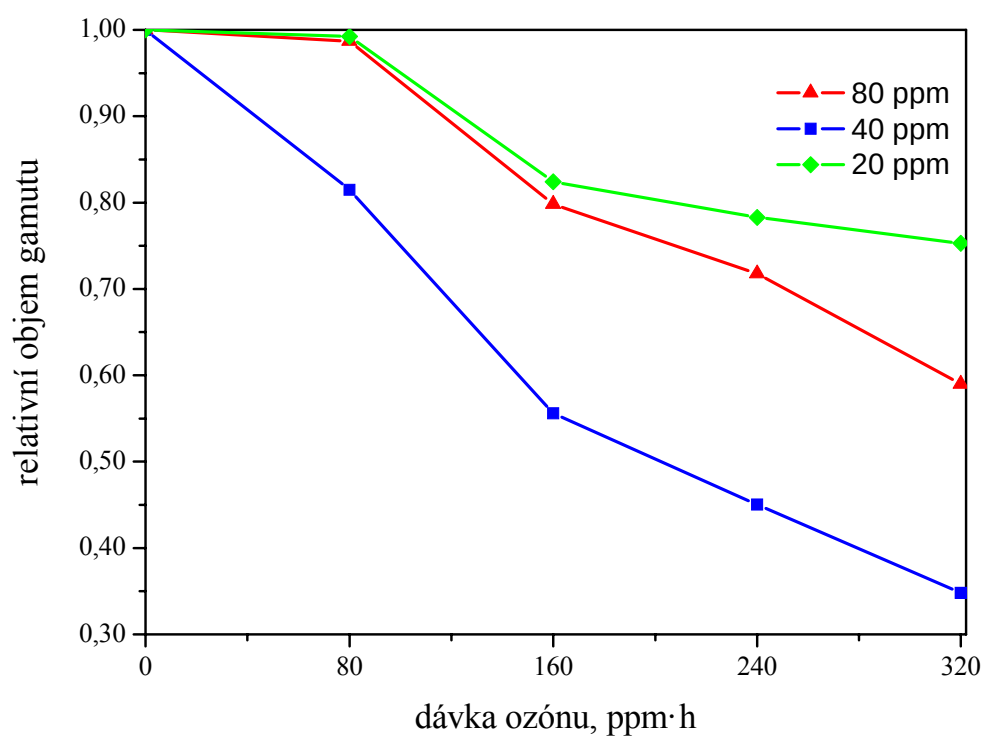
Následující grafy (Obr. 28, Obr. 29) znázorňují poklesy relativních objemů gamutů pro inkousty Epson Claria a MIS Dyebase v závislosti na dávce ozónu. Na první pohled je patrné, že barvové gamuty vzorků vytištěných inkousty MIS Dyebase byly mnohem méně stabilní a objemy jejích barvových gamutů poklesly ve srovnání s inkousty Epson Claria několikanásobně více.

Na obrázcích Obr. 30, Obr. 31 a Obr. 32 jsou změny barvových gamutů a jejich řezů vzorků Epson Claria a to vždy po maximální dávce ozónu, tj. 320 ppm·h. Změny objemů gamutů těchto vzorků byly i po maximální dávce ozónu tak malé, že pro ilustraci postačují pouze tyto obrázky.

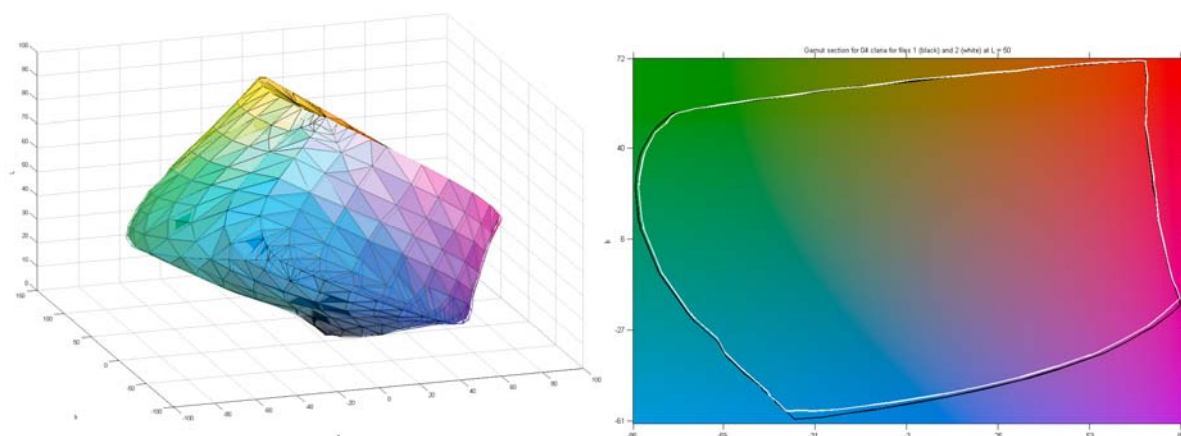
Obrázky Obr. 33–Obr. 44 obsahují změny objemů barvových gamutů a jejich řezů vzorků MIS Dyebase. Tyto obrázky znázorňují postupně změnu objemů barvových gamutů s rostoucí dávkou ozónu jak je uvedeno v tabulce parametrů expozice (Tabulka 3). Všechny tyto obrázky v podstatě ilustrují jednotlivé změny jdoucí podle křivek v předchozím grafu (Obr. 29). Data týkající se změn relativních objemů gamutů jsou přehledně shrnuta v tabulce (Tabulka 5).



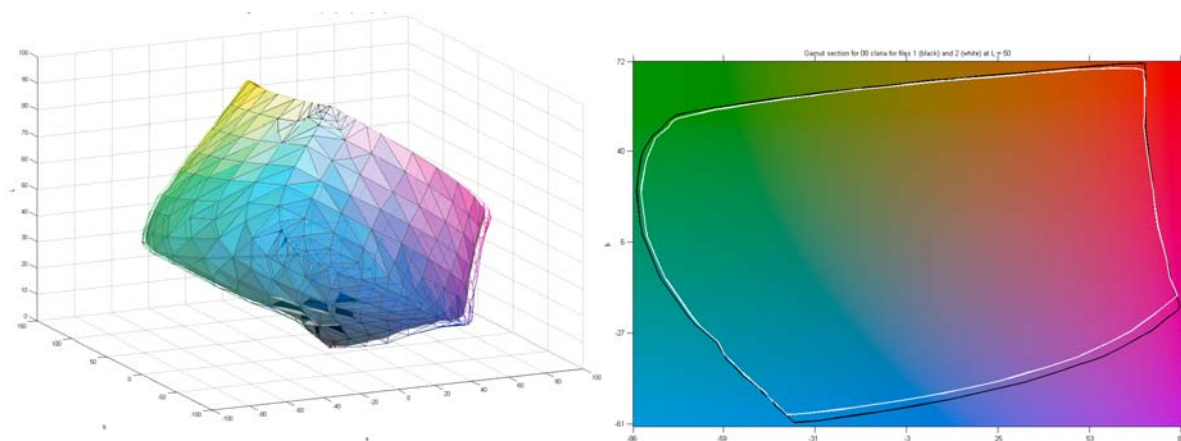
Obr. 28 Změna relativních objemů barvových gamutů vzorků s inkousty Epson Claria a koncentracemi ozónu 20, 40 a 80 ppm



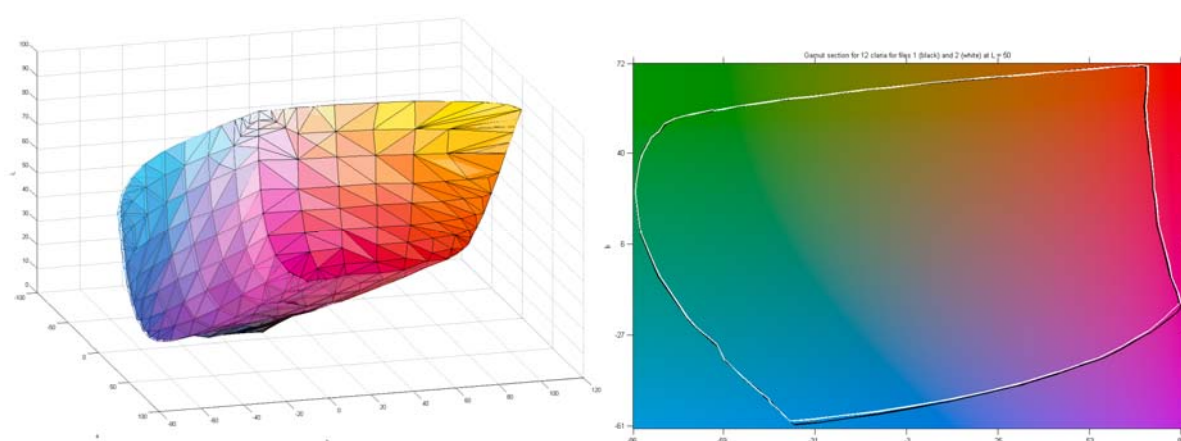
Obr. 29 Změna relativních objemů barvových gamutů vzorků s inkousty MIS Dyebase a koncentracemi ozónu 20, 40 a 80 ppm



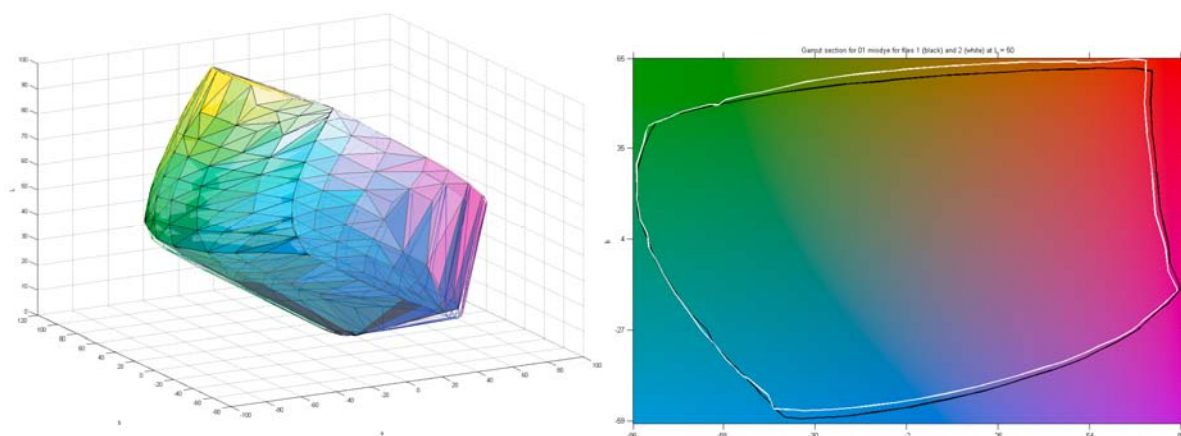
Obr. 30 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 4 Epson Claria (4 h, 80 ppm)



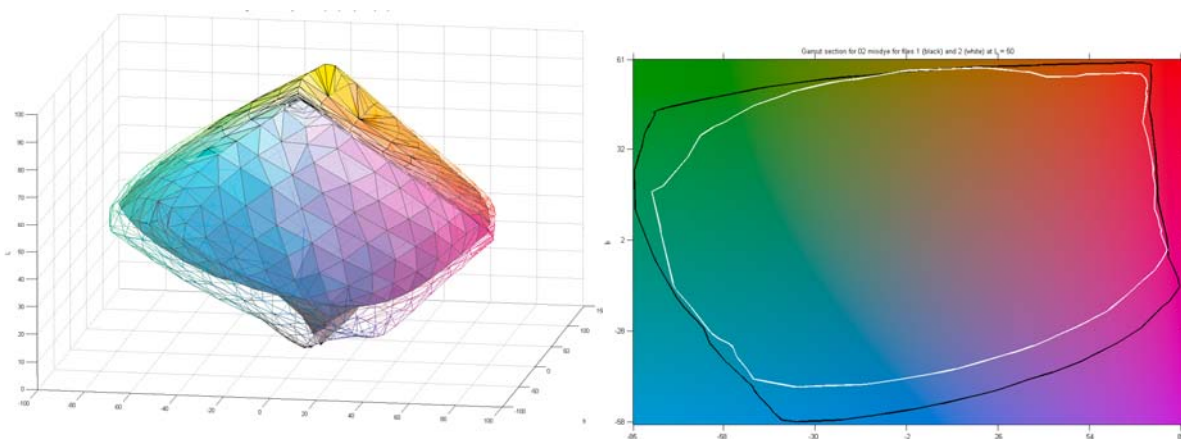
Obr. 31 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 8 Epson Claria (8 h, 40 ppm)



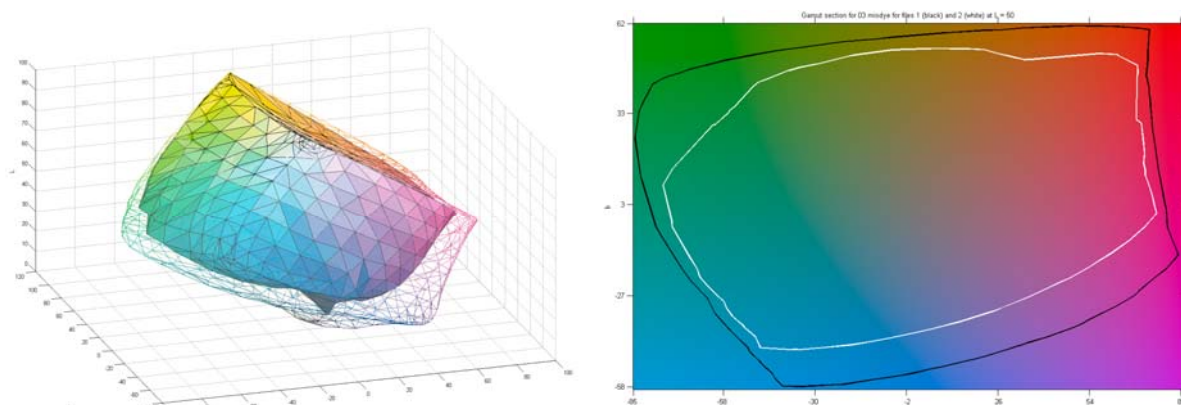
Obr. 32 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 12 Epson Claria (16 h, 20 ppm)



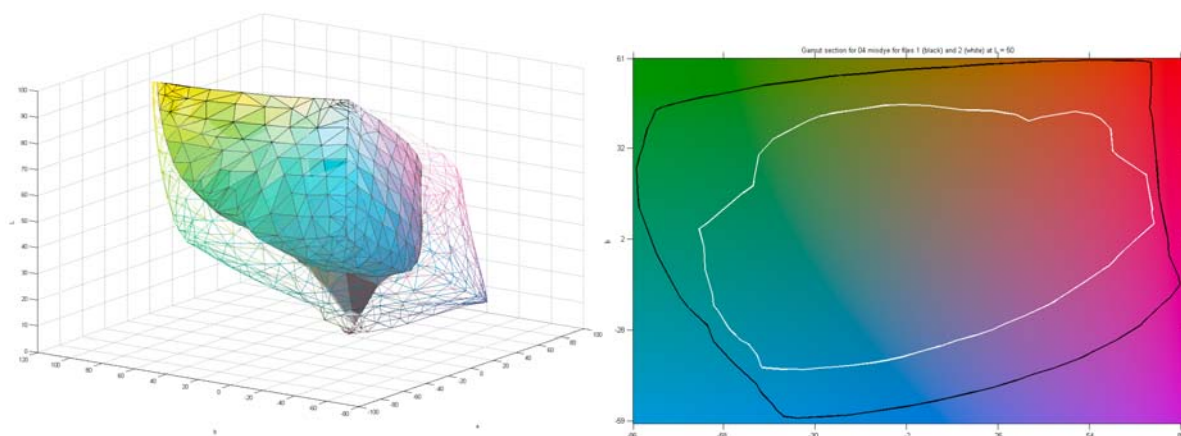
Obr. 33 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 1 MIS Dyebase (1 h, 80 ppm)



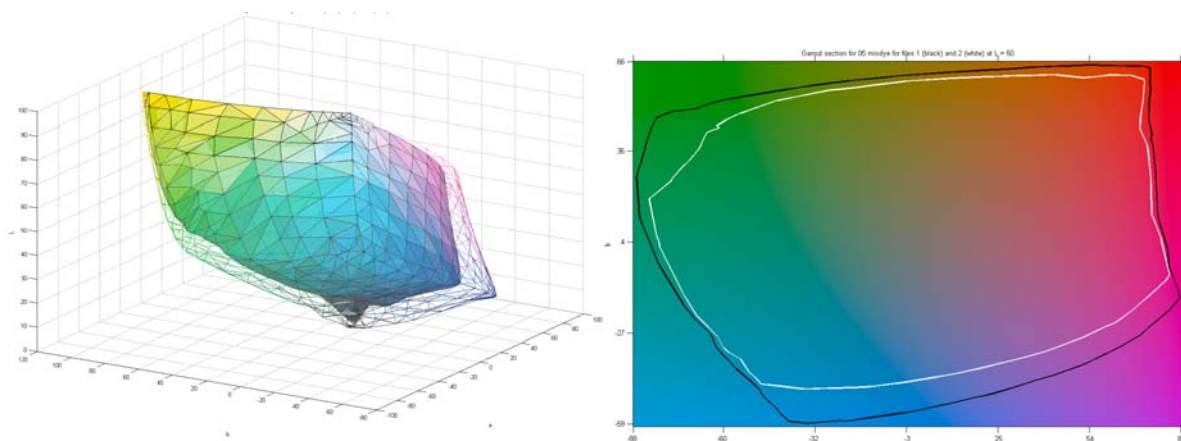
Obr. 34 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 2 MIS Dyebase (2 h, 80 ppm)



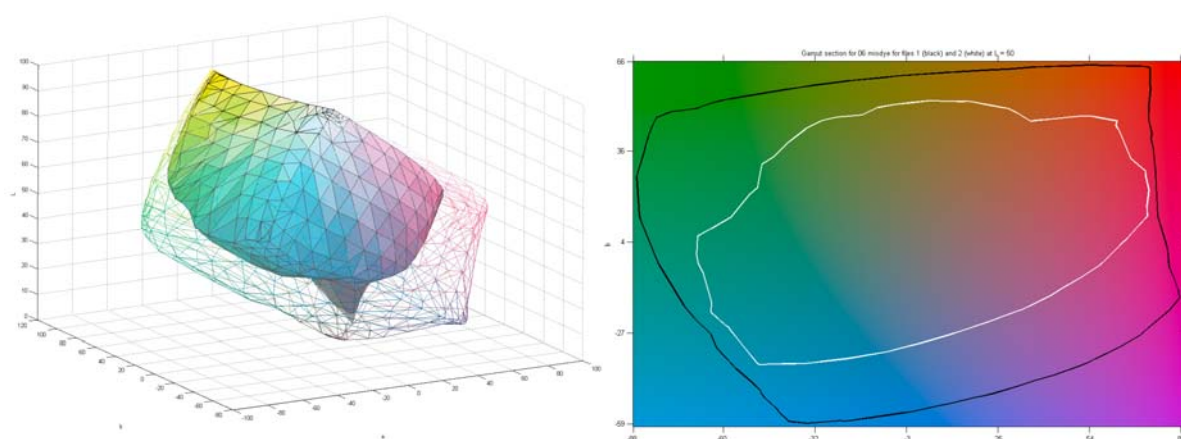
Obr. 35 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 3 MIS Dyebase (3 h, 80 ppm)



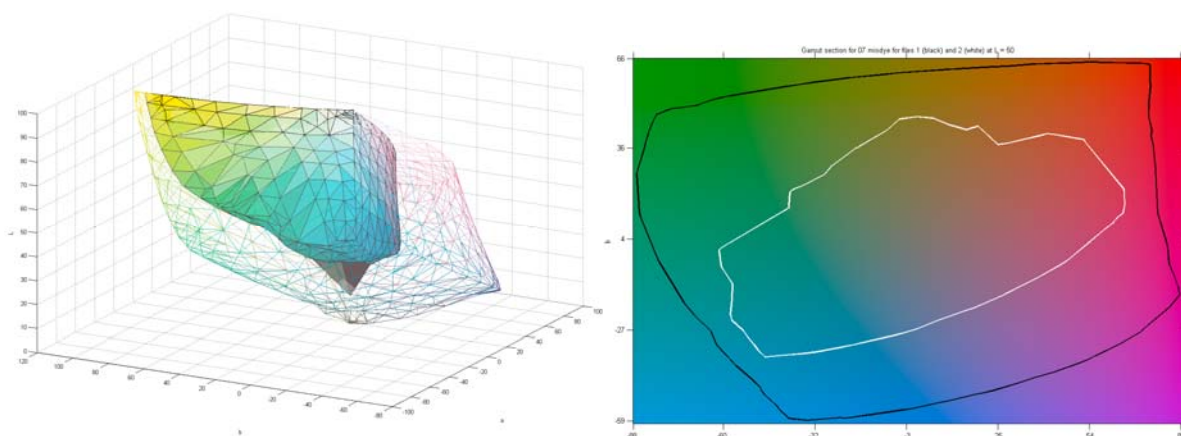
Obr. 36 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 4 MIS Dyebase (4 h, 80 ppm)



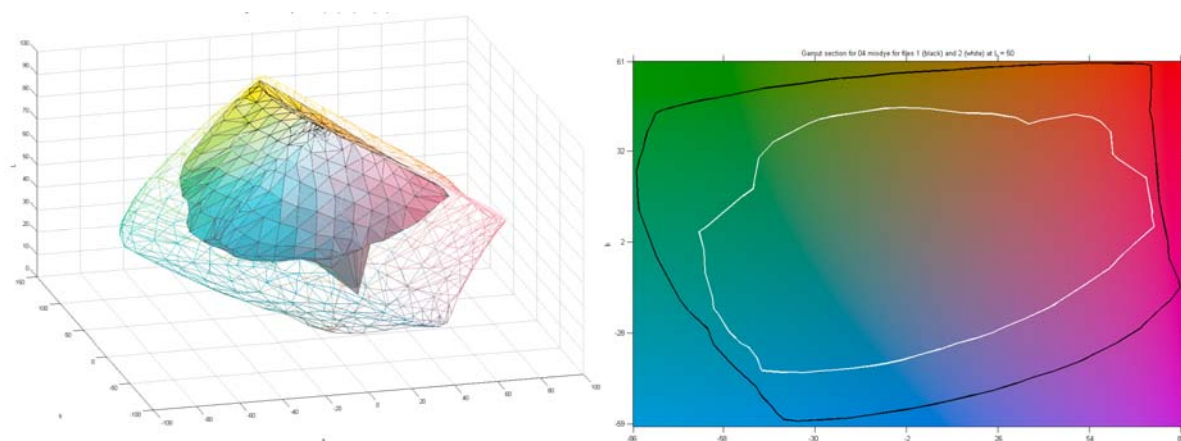
Obr. 37 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 5 MIS Dyebase (2 h, 40 ppm)



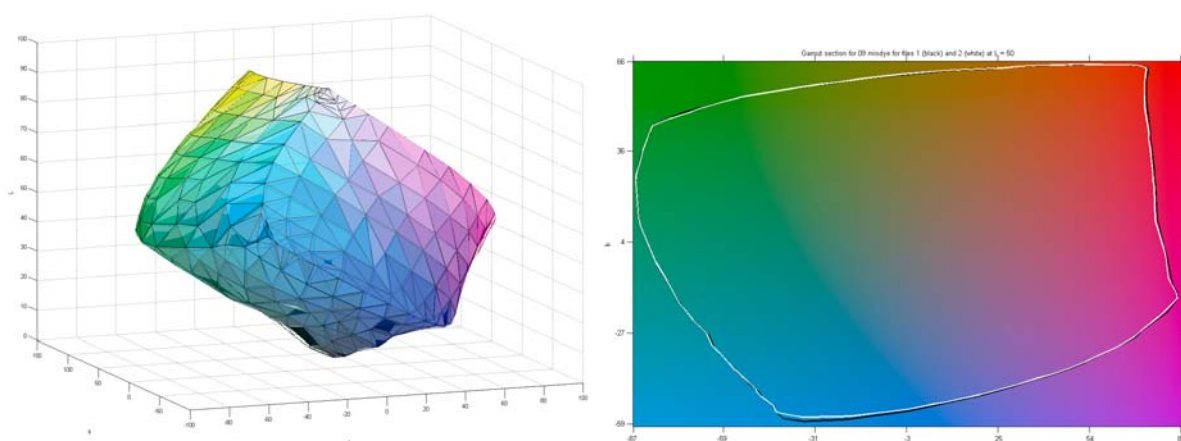
Obr. 38 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 6 MIS Dyebase (4 h, 40 ppm)



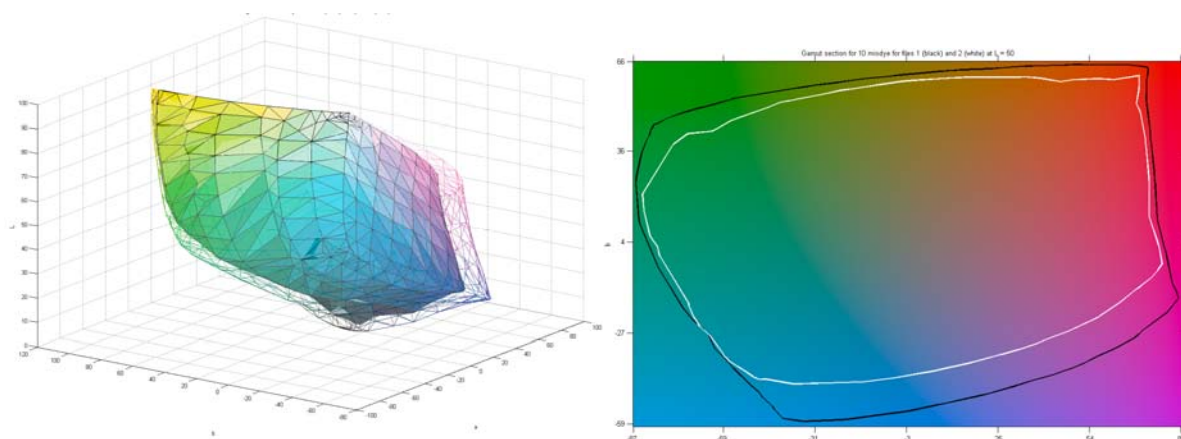
Obr. 39 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 7 MIS Dyebase (6 h, 40 ppm)



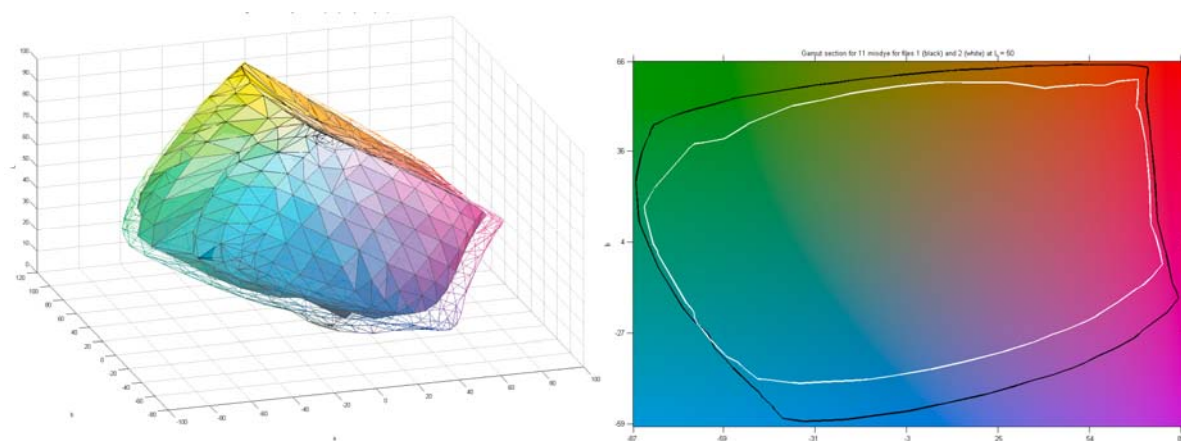
Obr. 40 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 8 MIS Dyebase (8 h, 40 ppm)



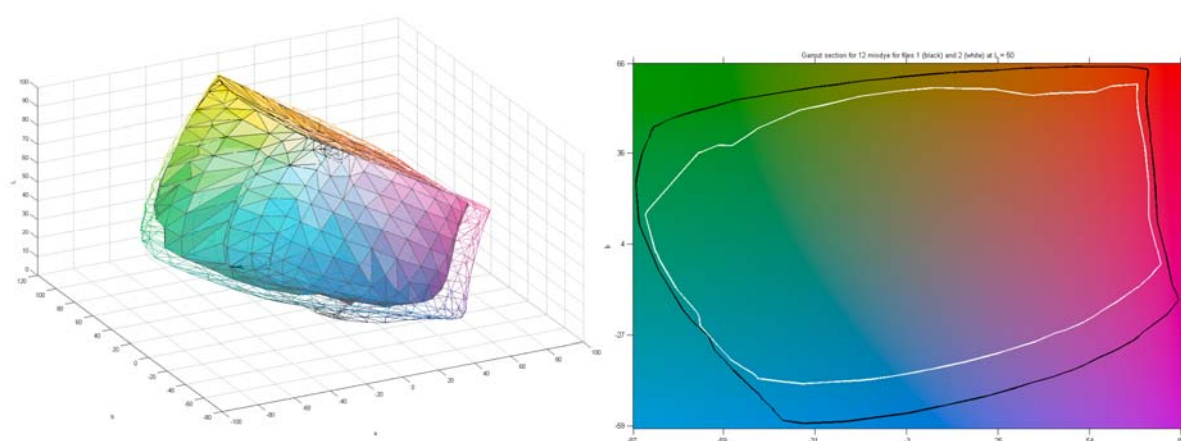
Obr. 41 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 9 MIS Dyebase (4 h, 20 ppm)



Obr. 42 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 10 MIS Dyebase (8 h, 20 ppm)



Obr. 43 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 11 MIS Dyebase (12 h, 20 ppm)



Obr. 44 Barvový gamut (vlevo) a řez barvovým gamutem v hodnotě $L=50$ (vpravo) vzorku č. 12 MIS Dyebase (16 h, 20 ppm)

Tabulka 5 Změny objemů barvových gamutů

číslo vzorku	t[h]	c [ppm]	dávka O ₃ [ppm·h]	Epson Claria – relativní objem gamutu	MIS Dyebase – relativní objem gamutu
1	1	80	80	0,9959	0,9872
2	2	80	160	0,9886	0,7983
3	3	80	240	0,9853	0,7178
4	4	80	320	0,9839	0,5900
5	2	40	80	0,9885	0,8148
6	4	40	160	0,9700	0,5558
7	6	40	240	0,9575	0,4503
8	8	40	320	0,9432	0,3481
9	4	20	80	1,0029	0,9922
10	8	20	160	0,9905	0,8240
11	12	20	240	0,9933	0,7830
12	16	20	320	0,9920	0,7528

4.4 Mapy barvových odchylek

Na konci této práce v příloze jsou přiloženy mapy barvových odchylek vzorků vždy po maximální dávce ozónu (320 ppm·h) pro jednotlivé koncentrace ozónu a inkousty. Z těchto map lze přehledně identifikovat a pomocí barvové odchylky číselně vyjádřit změnu barvy jednotlivých políček. Na první pohled je opět patrná vyšší odolnost inkoustů Epson Claria vůči ozónu, protože maximální barvová odchylka dosahovala hodnoty 7,9, zatímco u méně stabilních inkoustů MIS Dyebase barvová odchylka stejného políčka (2G,20) za stejných podmínek dosahovala hodnoty 72.

Z map barvových odchylek je také patrné, že nejintenzivněji poškozovala výtisky koncentrace ozónu 40 ppm. „Nejmírnější“ byla ke vzorkům koncentrace 20 ppm.

4.5 Porovnání jednotlivých metod

Po zpracování všech výsledků byly porovnány metody hodnocení blednutí výtisků vlivem ozónu. Toto porovnání bylo provedeno pouze na vzorcích MIS Dyebase. U některých vzorků nedosáhla optická hustota hodnoty 0,7, tj. 30% pokles optické hustoty, proto byla provedena extrapolace v programu Origin 7.5. Následně byly odečteny hodnoty expozičních dávek, které představovaly průsečík extrapolované křivky s pomyslnou čarou vedenou rovnoběžně s osou x v hodnotě 0,7. Vzorky Epson Claria dosahovaly pouze malých poklesů optických hustot i relativních objemů barvových gamutů, proto by musely být provedeny extrapolace u všech křivek. Tyto extrapolace by byly velmi nepřesné, protože hodnoty poklesů vzorků Epson Claria se velmi pomalu přibližují hodnotě 0,7.

V tabulce (Tabulka 6) jsou z grafů (Obr. 25, Obr. 26, Obr. 27) odečtené hodnoty dávek ozónu, které způsobily pokles optické hustoty o 30 %. Některé hodnoty byly získány po extrapolaci v programu Origin 7.5. V další tabulce (Tabulka 7) jsou hodnoty dávek ozónu pro jednotlivé koncentrace, které způsobí pokles relativního objemu barvového gamutu rovněž o

30 %. Tato data byla odečtena z grafů Obr. 28 a Obr. 29. V tabulce (Tabulka 8) jsou relativní optické hustoty, které byly získány tak, že byly dávky ozónu z tabulky (Tabulka 7) vyneseny do grafů (Obr. 25, Obr. 26, Obr. 27) a následně odečteny odpovídající optické hustoty. Tímto způsobem jsou porovnávána denzitometrická a kolorimetrická měření. Z tabulky (Tabulka 8) je patrné, že hodnoty relativních optických hustot nejcitlivějších inkoustů (azurový a purpurový) se velmi blíží hodnotě 0,7. Proto lze říci, že se kolorimetrická měření a následný výpočet barvového gamutu se dá doporučit k hodnocení vlivu ozónu na barevné inkoustové výtisky.

Tabulka 6 *Dávka ozónu, po které dojde k poklesu optické hustoty o 30 % pro jednotlivé koncentrace a barvy CMYK*

	Dávka O ₃ [ppm·h]		
	MIS Dyebase 20	MIS Dyebase 40	MIS Dyebase 80
C	228,2	96,5	191,4
M	270,3	136,3	277,8
Y	728,8	146,6	303,0
K	888,8	307,2	546,1

Tabulka 7 *Dávka ozónu, po které dojde k poklesu relativního objemu barvového gamutu o 30 % pro jednotlivé koncentrace ozónu*

ppm	Dávka O ₃ [ppm·h]
20	459,04
40	115,87
80	251,11

Tabulka 8 *Relativní optické hustoty barev CMYK odpovídající 30% snížení objemu barvového gamutu při různých koncentracích ozónu*

	Relativní optická hustota		
	20 ppm·h	40 ppm·h	80 ppm·h
C	0,68	0,68	0,66
M	0,68	0,74	0,73
Y	0,75	0,84	0,83
K	0,78	0,75	0,76

5 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala metodami hodnocení účinku polutantů na inkoustové výtisky. Je zde porovnána metoda denzitometrická a kolorimetrická. Vzorky byly vytištěny dvěma typy inkoustů (Epson Claria a MIS Dyebase) na jeden typ média (Ilford Gallerie Smooth Pearl, $290 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). Vzorky pak byly exponovány ozónem s měnící se dobou a koncentrací ozónu tak, aby dávky byly stejné (80, 160, 240 a $320 \text{ ppm}\cdot\text{h}$). Ozón byl generován bariérovým výbojem ze směsi kyslíku a dusíku.

Po expozici byly tyto vzorky změřeny denzitometrem X-Rite 500 Series a spektrofotometrem Gretag Macbeth Spectroscan. Z naměřených dat byly sestaveny grafy a z dat $L^*a^*b^*$ byly sestrojeny barvové gamuty a jejich řezy. Z grafů byly odečteny hodnoty dávek ozónu, kdy došlo k poklesu optických hustot a relativních objemů barvových gamutů na hodnotu 0,7, tj. o 30 %.

Bylo provedeno porovnání obou vyhodnocovacích metod. Zjistilo se, že dávky ozónu odpovídající snížení optické hustoty o 30 % způsobí přibližně stejný pokles objemu barvového gamutu u nejrychleji blednoucích barviv (azurové a purpurové). Je tedy možné konstatovat, že moderní kolorimetrická metoda pro hodnocení barvových změn inkjetových výtisků je vhodná pro sledování procesu blednutí barviv ozónem. Metody mohly být porovnány pouze na rychle blednoucích inkoustech MIS Dyebase, protože vzorky Epson Claria jsou vůči ozónu velmi odolné a jejich degradace nebyla za stejných podmínek dostatečná.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 Panák, J., Čeppan, M., Dvonka, V., Karpinský, L.‘., Kordoš, P., Mikula, M., Jakucewicz, S. *Polygrafické minimum*. 2. vyd. Bratislava: TypoSet, 2000, pp. 223. ISBN 80-967811-3-8.
- 2 Kettle, J., Lamminmäki, T., Game, P. A review of modified surfaces for high speed inkjet coating. *Surface and Coatings Technology*. 2010, vol. 204. pp. 2103–2109. ISSN 0257-8972
- 3 Kipphan, H. *Handbook of Print Media*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2001, pp. 63–65, 711–725. ISBN 3-540-67326-1.
- 4 *PC Magazine Encyclopedia* [online]. 1981-2010 [cit. 2012-04-07]. Inkjet printer definition. Dostupné z WWW: http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,2542,t=inkjet+printer&i=58062,00.asp.
- 5 Dzik, P., Veselý, M. Inkoustový tisk – současný stav, možnosti a trendy. *Sborník přednášek VII. Polygrafického semináře*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, pp. 80–88. ISBN 80-7194-793-8.
- 6 Gregory, P. Digital photography. *Optics & Laser Technology*, 2006, vol. 38, 306–314. ISSN 0030-3992
- 7 Bourek, J. *UV stabilizace disperzantů pro inkousty Ink-jet tiskáren* [online]. Univerzita Pardubice, 2009. 109 s. Dizertační práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Katedra polygrafie a fotofyziky. Dostupné z WWW: https://dspace.upce.cz:8443/bitstream/10195/35503/1/IB_UV%20Stabilizace_MK_2010%20.pdf.
- 8 Lavery, A., Provost, J., Sherwin, A., Watkinson, J. The influence of Media on the Light Fastness of Ink Jet Prints. *International Conference on Digital Printing Technologies*. 1998, pp. 123–128. ISSN 0-89208-220-8
- 9 Dzik, P., Veselý, M. Problematika archivní stálosti inkoustového tisku. *Sborník přednášek VIII. Polygrafického semináře*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2007, pp. 70–76. ISBN 978-80-7194-991-6.
- 10 Lavery A. The environmental stability of digital photopapers. *The Imaging Science Journal*, 2002, vol. 50, pp. 125–132. ISSN 1368-2199
- 11 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*, pp. 118–121. Toronto 1998. ISSN 0-89208-212-7
- 12 Matz, D., J. Lightfast Ink Jet Images. *IS&T's NIP16: International Conference on Digital Printing Technologies*, pp. 100–106. Vancouver 2000. ISSN 0-89208-230-5
- 13 Miyazawa, K., Suda, Y. Uncertainty in Evaluation of Accelerated Ozone Fading Tests of Inkjet Prints. *IS&T's NIP20: International Conference on Digital Printing Technologies, Tokyo 2004*. ISSN 0-89208-253-4

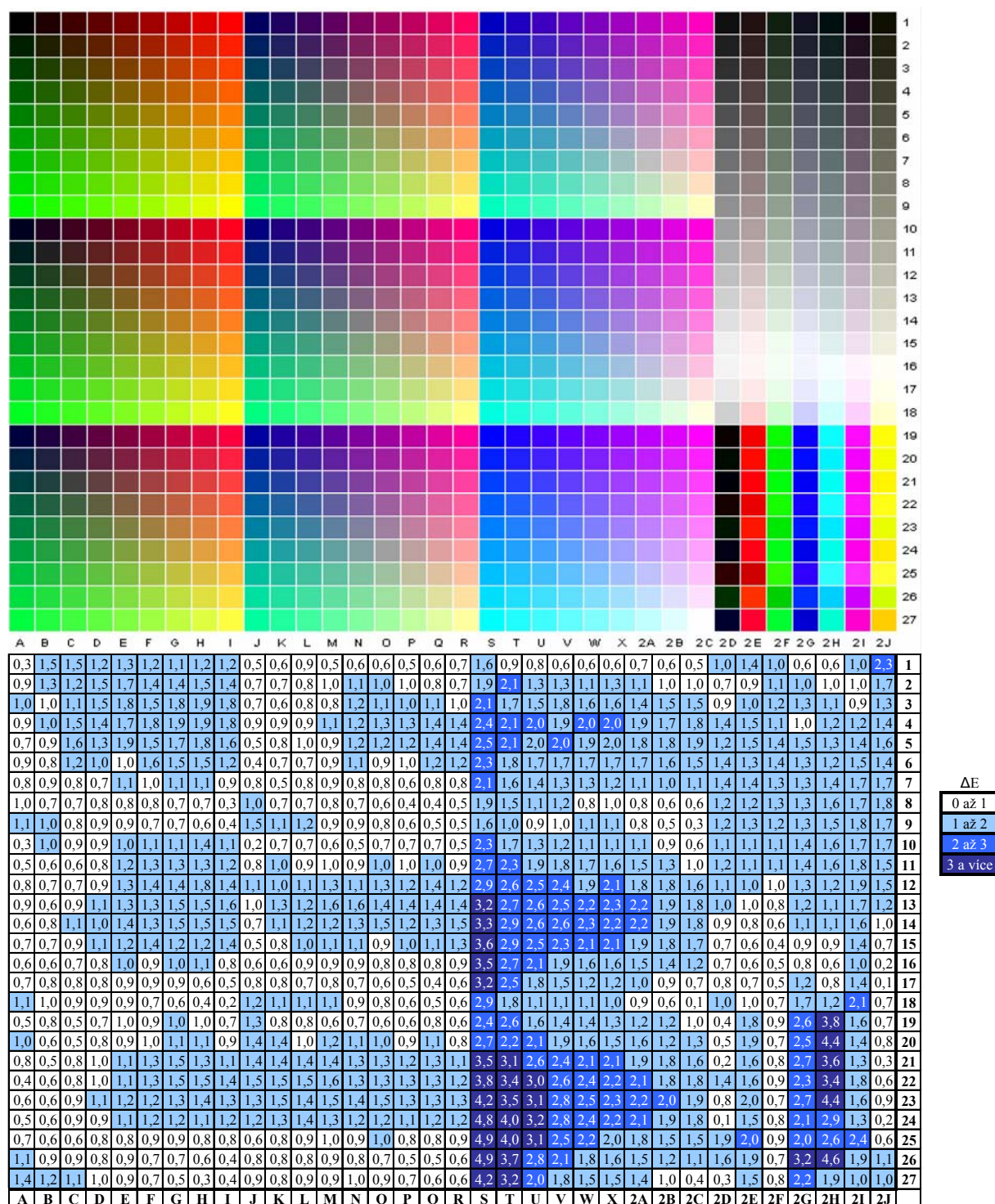
- 14 Okada, Y., Hihara, T., Morita, Z. Analysis of the catalytic fading of pyridone-azo disperse dyes on polyester using the semi-empirical, molecular orbital PM5 method. *Dyes and Pigments*, vol. 78, no. 2, pp. 179–198, Japan 2008. ISSN 0143-7208
- 15 Avecia, W. P. Issues in Ink Jet Image Stability. *IS&T's NIP16: International Conference on Digital Printing Technologies*, pp. 86–89. Vancouver 2000. ISSN 0-89208-230-5
- 16 Wilhelm, H., McCormick-Goodhart, M. An Overview of the Permanence of Inkjet Prints Compared with Traditional Color Prints. *IS&T's 11th International Symposium on Photofinishing Technologies*, pp. 34–39. Las Vegas 2000. ISBN: 0-89208-226-7.
- 17 Schüttel, S., Hofmann, R. The Influence of Diluted Inks and Drying on the Lightfastness of Dye Based Ink-Jet Prints. *IS&T's NIP 15: International Conference on Digital Printing Technologies*. pp. 120–123. Orlando 1999. ISSN 0-89208-222-4
- 18 Barcock, R., A., Lavery, A. Ozone Degradation of Ink Jet Photoquality Images. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2004, vol. 48, no. 2, pp. 153–159. ISSN 1062-3701.
- 19 Inkjet Fading. Ozone Exposure Tests. *Nifty-Stuff.com* [online]. 12.1.2006 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <http://www.nifty-stuff.com/inkjet-fading1.php>
- 20 Kazlauciusas, A. Photorealistic ink-jet digital printing – factors influencing image quality, image stability and print durability. *Coloration Technology*. Leeds 2010. pp. 315–324. doi 10.1111/j.1478-4408.2010.00271.x
- 21 Veselý, M. *Přízemí ozon a jeho účinky na fotografii* [online]. 17.07.2011 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <http://www.chempoint.cz/prizemni-ozon-a-jeho-ucinky-na-fotografie>
- 22 Ozon v ovzduší. *OZON.CZ* [online]. 2004 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.ozon.cz/cz/ozon-v-ovzdusi.htm>
- 23 Veselý, M., Dzik, P., Káčerová, S., Štěpánková, E., Pasečná, K. Gas Fading of Inkjet prints with Ozone. *Scientific Papers of the University of Pardubice. Series A, Faculty of Chemical Technology. Univerzita Pardubice CB CI*. 2011. 17 (2011)(9). pp. 211 - 228. ISSN 1211-5541.
- 24 Geisenberger, J., Saitmacher, K., Macholdt, H.-T., Menzel, H. Stability of Ink Jet Prints to Gas Fading – New Developments. *Proceedings of IS&T's NIP 19th International Conference on Digital Printing Technologies*, pp. 394–395, New Orleans, September 2003. ISSN 0-89208-247-X
- 25 Kitamura, K., Oki, Y., Kanada, H., Hayashi, H. A Study of Fading Property Indoors Without Glass Frame from an Ozone Accelerated Test. *Proceedings of IS&T's NIP 19th International Conference on Digital Printing Technologies*, pp. 415–419, New Orleans, September 2003. ISSN 0-89208-247-X
- 26 Thornberry, M., Looman, S. Air Fade and Ozone Fade on Porous Media. *Proceedings of IS&T's NIP 19th International Conference on Digital Printing Technologies*, pp. 426–430, New Orleans, September 2003. ISBN 0-89208-247-X

- 27 Burge, D., Gordeladze, N., Bigourdan, J.-L., Nishimura, D. Effects of Ozone on the Various Digital Print Technologies: Photographs and Documents. *Journal of Physics: Conference series*. 2010, vol. 231, pp. 1-6. DOI: 10.1088/1742-6596/231/1/012001.
- 28 Zhang, F., Yediler, A., Liang, X. Decomposition pathways and reaction intermediate formation of the purified, hydrolyzed azo reactive dye C.I. Reactive Red 120 during ozonization. *Chemosphere*, vol. 67, pp. 712–717, 2007. ISSN 0045-6535
- 29 Krčma, F., Stará, Z. Ozone Generation in the Practical Exercises of Applied Plasma Chemistry Course, Proc. Int. Workshop Ozotech, pp 36–39, Bratislava, November 2007, ISBN: 978-80-89186-25-9.
- 30 Wilhelm, H. How Long Will They Last? An Overview of the Light Fading Stability of Inkjet Prints and Traditional Color Photographs. *IS&T's 12th International Symposium on Photofinishing Technologies Fort Lauderdale*, pp. 32–37, Florida, 2002. ISSN 0-89208-249-6
- 31 Adelstein, Z. P. International Standards on Stability of Digital Prints. *Journal of Physics: Conference series*. 2010, vol. 231, USA. doi:10.1088/1742-6596/231/1/012014
- 32 Feller, L. R. *Accelerated Aging: photochemical and thermal aspects*. Michigan: The J. Paul Getty Trust, 1994. 204 p. ISBN 0-89236-125-5.
- 33 Stančík, J., Veselý, M., Dzik, P. An Overview of Inkjet Printouts Accelerated Ageing Methods. *Chemické listy*, 2008, roč. 102, č. 15, pp. 1016–1019. ISSN 1213-7103
- 34 ISO 18909 *Photography – Processed photographic colour films and paper prints – Methods for Measuring Image Stability*. Švýcarsko, 2006.
- 35 JEITA CP-3901 *Digital Color Photo Print Stability Evaluation*, Japonsko, 2007.
- 36 Třešňák, K. *Printing.cz* [online]. 18.2.2001 [cit. 2012-04-07]. Barvy a barevné modely. Dostupné z WWW: < <http://www.printing.cz/clanky/pokrocilejsi-temata/barvy-a-barevne-modely-1176cz> >.
- 37 Zmeškal, O., Čeppan, M., Dzik, P. *Barevné prostory a správa barev* [online]. 2002 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf>.
- 38 Dzik, P. *How_it_works*. *Fakulta chemická VUT v Brně* [online]. 2011 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z WWW: < <http://www.fch.vutbr.cz/cs/laboratore/volga/how-it-works.html> >

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a^*, b^*	Souřadnice chromatické roviny barvového prostoru CIE $L^* a^* b^*$
angl.	V anglickém jazyce
B	Modrá barva (Blue)
C	Azurová barva (Cyan)
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlení
D_{65}	Denní světlo s teplotou chromatičnosti 6500 K
D	Optická hustota
$D_{\max}$	Maximální hodnota optické hustoty
$D_{\min}$	Minimální hodnota optické hustoty
ΔE^*_{ab}	Barvová odchylka
G	Zelená barva (Green)
IR	Infračervené
M	Purpurová barva (Magenta)
K	Černá barva (Black)
K	Normalizační konstanta
L^*	Měrná světlost barvového prostoru CIE $L^* a^* b^*$
ppm	Parts per million
R	Červená barva (Red)
$R(\lambda)$	Spektrální reflektance
UV	Ultrafialové
u^*, v^*	Souřadnice chromatické roviny barvového prostoru CIE $L^* u^* v^*$
x, y, z	Trichromatické souřadnice
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	Trichromatické členitele pro jednotlivé barvy a 2° standardního pozorovatele
$\bar{x}_{10}, \bar{y}_{10}, \bar{z}_{10}$	Trichromatické členitele pro jednotlivé barvy a 10° standardního pozorovatele
X, Y, Z	Trichromatické složky pro jednotlivé barvy
Y	Žlutá barva (Yellow)
$\Phi^0(\lambda)$	Spektrální distribuce osvětlení

8 PŘÍLOHY



Obr. 45 Mapa barvových odchylek vzorku č. 4 Epson Claria (4 h, 80 ppm)

0,6	4,4	4,2	3,4	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	2,0	2,3	2,2	2,4	2,1	2,3	2,3	2,4	2,7	4,6	3,7	2,6	2,3	2,1	1,9	1,9	1,9	2,0	3,1	3,4	3,7	2,8	2,4	3,3	4,6	1
3,5	4,1	4,5	4,6	5,1	4,9	4,9	4,7	4,6	2,4	2,8	3,2	3,5	3,8	3,8	3,6	3,4	3,6	4,7	4,7	4,5	4,4	4,2	4,1	3,7	3,4	3,2	3,1	3,3	3,5	3,2	3,1	3,0	3,9	2
3,7	4,1	4,5	5,2	5,6	5,6	5,6	5,5	5,3	2,9	3,1	3,2	3,8	4,1	4,3	4,3	4,4	4,5	4,7	4,9	5,2	5,2	5,1	4,9	4,9	4,7	3,4	3,5	3,8	3,5	3,5	3,3	3,9	3	
3,5	4,0	4,8	5,1	5,6	5,7	5,7	5,5	5,5	2,8	3,0	3,5	3,9	4,1	4,4	4,6	4,9	5,2	4,1	4,8	5,4	5,5	5,8	5,7	5,6	5,5	5,6	3,8	3,7	3,8	3,8	3,5	3,8	3,9	4
2,7	3,5	4,3	4,6	5,0	5,3	5,4	5,4	5,3	2,6	2,8	3,2	3,6	3,7	4,0	4,2	4,6	5,2	3,8	4,3	4,7	5,1	5,3	5,4	5,3	5,3	5,5	4,0	4,1	3,7	4,0	3,6	4,3	3,9	5
1,8	2,4	3,0	3,5	3,9	4,0	4,4	4,3	4,4	1,8	2,3	2,5	2,8	3,1	3,1	3,5	4,1	4,8	2,9	3,7	3,7	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,7	4,0	3,6	3,8	3,8	3,7	4,1	4,2	6
1,2	1,6	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,2	3,3	1,5	1,7	1,8	2,1	2,2	2,3	2,6	3,0	3,6	2,1	2,7	2,9	3,1	3,2	3,2	2,9	2,7	3,2	3,9	3,9	3,6	3,8	3,9	4,6	4,3	7
1,1	1,1	1,4	1,5	1,6	1,7	2,0	1,8	1,9	1,7	1,5	2,1	2,0	2,2	2,0	1,8	2,0	2,7	1,1	1,4	1,7	2,1	2,2	2,1	1,7	1,3	2,0	3,7	3,8	3,3	4,0	3,9	4,5	4,2	8
1,7	1,5	1,4	1,6	1,5	1,3	1,0	0,5	1,0	2,4	2,3	2,7	3,0	2,8	2,6	2,4	2,4	3,0	0,7	1,4	2,2	2,9	3,2	2,9	2,4	1,8	2,0	3,6	3,6	3,4	4,0	4,2	4,6	4,0	9
1,2	2,9	2,9	2,8	3,2	3,0	2,9	2,8	2,8	2,2	2,1	1,9	1,9	1,8	2,0	1,9	2,1	2,6	5,4	4,7	4,0	3,0	2,5	2,3	2,1	1,8	1,5	3,2	3,4	3,1	4,2	4,2	4,6	3,9	10
2,5	2,4	2,8	3,5	3,9	3,8	3,7	3,5	3,7	2,7	2,9	2,9	3,1	3,4	3,3	3,2	3,0	3,3	5,7	5,7	5,2	4,7	4,3	3,9	3,4	3,0	2,7	3,2	3,1	2,8	3,9	3,9	4,5	3,4	11
3,1	3,0	3,5	3,8	4,1	4,4	4,4	4,3	4,5	2,9	3,1	3,5	3,8	3,9	4,0	4,1	4,1	4,3	5,6	6,2	6,2	5,8	5,7	5,3	5,0	4,6	4,2	3,0	2,8	2,4	3,5	3,2	4,1	3,0	12
2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,6	4,9	5,1	2,8	3,1	3,5	3,8	4,3	4,4	4,5	4,7	5,2	5,4	6,3	6,3	6,6	6,5	6,0	5,8	5,6	5,3	2,5	2,4	2,0	3,2	2,8	3,7	2,4	13
2,4	2,8	3,2	3,5	3,7	4,1	4,4	4,7	5,1	2,2	2,8	3,2	3,5	3,9	4,1	4,2	4,7	5,5	5,1	6,1	6,3	6,5	6,5	6,2	6,0	5,8	5,5	2,2	1,9	1,5	2,9	2,6	3,4	2,0	14
1,7	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	1,8	2,2	2,5	3,0	3,1	3,2	3,5	4,2	5,1	4,7	5,3	5,5	5,6	5,7	5,5	5,4	5,2	5,1	1,5	1,4	0,9	2,2	2,0	3,1	1,1	15
1,1	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	1,6	1,8	2,0	2,3	2,4	2,4	2,6	3,0	3,7	3,9	4,2	4,2	4,2	4,2	4,0	3,9	3,6	3,7	1,3	1,1	0,8	1,8	1,2	1,7	0,8	16
1,0	1,0	1,1	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	2,0	2,0	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	2,0	2,3	3,0	3,0	2,9	2,7	2,8	2,8	2,6	2,4	2,1	2,1	1,8	1,8	1,3	2,8	1,8	3,2	1,1	17
1,2	1,3	1,5	1,5	1,5	1,3	1,0	0,7	1,3	2,4	2,7	3,1	3,4	3,3	3,3	2,7	2,8	3,2	2,0	1,6	1,7	2,3	2,8	2,7	2,3	1,4	1,0	2,6	2,8	2,2	4,2	2,5	4,8	2,3	18
1,6	2,0	1,8	1,7	2,1	2,4	2,4	2,2	2,6	3,4	2,6	2,4	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	2,4	6,8	6,1	5,2	4,6	3,7	3,4	3,1	2,6	2,1	1,6	3,5	1,6	6,0	4,2	2,8	1,1	19
1,6	2,1	2,3	2,9	3,4	3,4	3,4	3,3	3,4	3,6	3,5	3,4	3,6	3,6	3,4	3,1	2,9	3,2	7,3	6,2	6,2	5,6	5,0	4,7	4,3	3,4	1,5	3,9	1,3	7,9	5,3	2,9	1,1	20	
2,4	2,4	3,0	3,4	3,7	4,0	4,1	4,1	4,3	3,4	3,7	4,1	4,4	4,5	4,3	4,1	4,3	4,4	7,6	7,4	7,5	7,2	6,9	6,3	5,9	5,7	5,5	0,6	3,5	2,0	6,7	3,7	2,5	0,3	21
2,4	2,8	3,1	3,5	3,7	4,0	4,3	4,6	4,8	2,9	3,4	3,9	4,6	4,6	4,6	4,7	4,9	5,1	7,0	7,6	7,7	7,6	7,3	6,9	6,8	6,7	6,3	4,3	3,8	1,5	7,0	4,4	4,0	1,0	22
2,2	2,7	2,9	3,2	3,6	3,8	4,1	4,5	5,0	2,2	2,9	3,6	4,3	4,4	4,6	4,6	4,7	5,2	6,7	7,3	7,6	7,3	7,2	7,1	6,7	6,4	4,4	4,2	1,1	7,0	5,6	3,1	1,3	23	
1,6	2,2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	4,0	4,6	1,8	2,4	2,8	3,3	3,4	3,4	3,6	4,1	4,7	6,4	7,1	7,1	7,0	6,8	6,5	6,4	6,1	5,7	0,7	3,4	1,5	6,4	2,7	2,4	1,1	24
1,3	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,7	3,0	3,4	1,5	1,8	2,1	2,5	2,6	2,6	2,5	2,8	3,6	6,2	6,5	6,3	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,6	5,4	3,9	1,7	5,9	3,8	5,8	1,8	25
1,7	1,6	1,7	1,8	1,8	1,7	1,7	1,9	2,4	1,3	1,5	1,9	2,2	2,3	2,2	1,8	1,9	2,6	5,8	5,4	5,0	4,5	4,2	3,8	3,5	3,0	2,9	4,6	4,9	1,3	7,2	6,2	3,1	1,8	26
2,3	2,4	2,5	2,6	2,3	2,1	1,7	1,8	2,4	1,8	2,4	3,1	3,6	3,7	3,5	3,1	2,9	3,3	4,9	4,2	3,5	3,2	3,4	3,4	3,0	2,0	0,4	1,5	2,6	2,0	6,0	1,1	2,1	3,1	27
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	2A	2B	2C	2D	2E	2F	2G	2H	2I	2J	

0 až 1

1 až 2

2 až 3

3 a více

0 až 1
1 až 2
2 až 3
3 a více

Obr. 46 Mapa barvových odchylek vzorku č. 8 Epson Claria (8 h, 40 ppm)

0,5	1,7	1,7	1,1	1,2	1,4	1,4	1,3	1,2	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,4	1,1	0,9	1,9	1,6	1,2	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1	0,9	1,2	1,7	1,3	1,2	1,0	1,7	2,3	1	
1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,1	1,4	2,5	0,4	0,7	0,9	0,8	1,0	1,1	1,2	1,2	1,0	1,5	1,4	1,5	1,3	1,6	1,5	1,6	1,4	1,3	1,2	1,4	1,1	0,9	1,5	1,1	1,4	2	
0,8	1,1	1,2	1,4	1,5	8,8	1,6	1,3	1,5	0,5	0,7	0,7	1,0	1,2	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1,4	1,7	1,9	1,7	1,7	1,6	1,5	1,0	1,1	1,1	0,8	1,0	1,1	1,3	3		
0,5	0,9	1,3	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	0,5	0,5	0,6	1,0	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4	1,4	1,5	1,7	1,8	1,8	1,6	1,5	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,2	4	4		
0,5	0,7	0,8	1,2	1,1	1,3	1,3	1,2	1,1	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,4	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	5		
0,4	0,6	0,8	0,6	1,0	1,1	1,2	1,0	0,9	0,4	0,5	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,3	1,4	6	
0,5	0,4	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	0,8	1,1	1,2	1,5	1,5	7	
0,6	0,7	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,8	0,9	1,0	1,1	1,4	1,5	1,5	8		
0,7	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,8	0,8	0,9	1,2	1,4	1,7	1,6	9	
0,3	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,0	0,9	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	1,5	10	
0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	1,2	1,4	1,6	1,6	11	
0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	0,7	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	1,1	1,4	1,7	1,3	12	
0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,2	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,8	0,6	1,0	1,0	1,0	1,2	1,3	1,2	1,1	0,8	0,8	0,7	1,0	1,2	1,4	1,0	13	
0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	1,0	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	0,8	0,6	0,6	0,9	1,1	1,3	0,9	14	
0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	1,1	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,6	0,5	0,5	0,7	0,9	1,1	0,5	15	
0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,8	0,5	0,4	0,4	0,7	0,6	0,7	0,2	16	
0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5	0,5	0,8	0,9	1,2	0,4	17	
0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	1,0	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,2	0,8	0,6	0,6	1,2	1,2	1,7	1,0	18	
0,5	0,6	0,5	0,3	0,6	1,0	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	1,5	0,7	0,1	2,2	1,2	0,4	19
0,1	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,7	1,6	0,6	1,4	2,6	1,3	0,5	20	
0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	0,4	1,2	0,6	1,1	2,0	1,1	0,3	21	
0,5	0,4	0,5	0,5	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,6	1,1	0,9	0,8	1,0	0,8	0,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,3	1,1	1,5	0,6	1,2	2,2	1,4	0,2	22	
0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	0,7	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	0,8	1,5	0,7	1,4	2,7	1,2	0,4	23	
0,4	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,5	0,6	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	0,3	1,5	0,5	1,4	1,6	0,9	0,4	24	
0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9	0,7	0,9	2,7	2,5	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,9	1,8	0,8	1,6	1,9	2,1	0,7	25	
0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,8	0,9	1,0	0,8	0,8	0,6	0,8	2,9	2,5	2,1	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,4	1,2	1,7	1,9	0,8	2,2	3,0	1,7	0,7	26
0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,6	0,6	0,5	0,8	0,4	0,5	1,1	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	1,0	2,8	2,3	1,8	1,6	1,7	1,6	1,4	0,4	0,4	1,0	0,5	1,6	0,9	1,2	0,9	27	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	2A	2B	2C	2D	2E	2F	2G	2H	2I	2J		

7.5	31.5	25.4	20.1	16.8	15.6	15.3	16.3	18.1	17.8	21.0	19.6	17.9	15.3	12.6	11.8	13.1	18.2	27.3	25.4	24.0	21.8	19.7	16.8	12.7	10.0	11.2	26.5	28.0	26.2	25.3	18.9	29.0	35.1	1
26.7	31.6	27.6	25.4	22.8	19.9	18.1	18.1	19.8	19.1	19.9	20.2	17.5	15.1	14.2	14.0	15.0	19.2	26.3	24.9	24.2	22.6	19.9	17.1	14.9	13.7	16.3	24.6	24.5	23.7	22.4	26.0	27.5	25.9	2
24.8	26.4	26.6	27.4	25.3	22.0	19.7	19.1	20.7	17.4	17.9	18.5	16.5	14.5	13.8	14.2	16.3	20.9	23.9	24.2	23.0	21.2	18.9	17.2	14.7	15.4	18.8	23.1	23.8	23.2	21.7	22.7	23.4	22.4	3
21.2	23.5	26.0	27.1	25.5	22.4	20.2	19.6	21.7	16.2	16.5	16.7	15.2	13.7	12.9	13.7	16.6	20.9	20.7	20.9	20.0	18.9	16.9	15.3	14.0	15.3	19.2	21.2	22.4	22.9	23.5	23.8	23.7	22.3	4
18.1	21.0	22.7	23.8	23.7	21.2	18.9	18.2	20.4	15.2	16.2	16.1	15.1	13.7	12.6	13.3	16.0	21.3	17.5	16.5	15.6	14.2	12.9	12.2	13.7	16.8	19.0	19.8	20.2	18.4	19.3	19.8	20.1	5	
16.0	18.0	19.7	21.1	20.5	18.3	15.7	14.6	17.6	14.7	17.0	16.6	15.8	14.3	13.5	13.5	15.7	20.2	13.5	12.4	12.9	13.0	11.6	10.3	10.0	11.2	13.3	16.8	17.1	17.6	17.4	18.8	18.9	19.8	6
15.1	16.7	18.6	19.0	17.4	15.3	11.4	10.9	14.6	15.3	17.7	18.5	17.4	16.2	15.3	14.6	13.9	15.7	10.0	10.6	11.8	12.1	11.0	9.6	7.3	6.3	8.0	14.7	15.0	15.5	15.1	16.4	17.7	18.9	7
16.3	17.0	18.2	18.4	16.6	13.5	9.5	6.6	9.3	16.4	20.8	21.5	20.9	19.3	18.6	15.2	12.6	13.6	8.8	12.5	15.4	15.9	15.1	13.1	7.6	4.6	5.4	13.6	13.0	13.7	12.4	14.1	15.7	17.1	8
18.3	18.4	19.0	19.2	16.8	13.7	9.7	4.0	5.5	18.6	23.4	25.6	25.4	23.6	21.1	15.5	13.6	14.4	9.3	16.4	21.2	22.3	20.5	16.3	9.9	6.7	4.6	12.1	11.6	12.4	11.4	13.6	14.7	15.3	9
22.8	37.8	30.8	25.9	21.3	16.1	11.9	10.8	14.4	21.5	23.3	23.0	22.3	21.0	15.7	10.9	10.0	14.9	36.1	34.4	32.7	30.9	28.2	23.1	17.5	11.8	9.1	10.7	10.4	11.2	10.1	12.2	13.2	14.3	10
32.1	25.9	24.8	22.7	20.0	16.6	14.2	14.4	17.3	21.0	21.4	21.3	19.6	18.2	15.5	13.9	14.4	19.8	35.2	34.8	33.4	31.4	28.5	23.4	19.5	15.4	13.9	9.4	9.0	9.8	9.2	10.4	11.6	13.1	11
27.0	23.5	22.2	20.4	19.0	16.9	16.0	16.9	20.9	19.2	19.2	19.2	18.5	17.3	15.5	15.1	17.1	22.8	34.0	33.6	32.7	30.1	27.5	24.0	20.7	18.0	17.0	7.3	6.4	7.1	7.7	9.2	10.8	10.8	12
22.1	21.4	20.2	18.9	17.5	16.0	16.0	18.0	22.2	16.7	17.0	17.1	16.7	15.1	14.1	14.5	17.4	23.9	31.8	30.4	29.5	28.3	25.3	22.3	19.8	18.2	17.3	4.8	4.3	4.6	6.1	6.8	8.6	7.4	13
19.0	20.0	18.9	17.7	16.0	14.8	15.0	17.3	21.6	14.8	15.7	16.0	15.5	14.1	12.8	13.7	17.2	23.5	28.1	25.7	24.5	24.2	21.4	19.1	17.2	16.4	15.5	3.3	3.1	2.7	5.0	5.0	6.7	4.6	14
17.6	19.0	18.3	16.9	15.6	12.8	13.2	15.3	19.8	13.6	16.3	16.4	15.6	14.3	13.3	13.7	17.2	21.9	23.5	20.7	19.3	18.3	16.5	15.1	14.5	13.8	12.8	2.4	2.4	1.6	4.2	3.6	5.6	2.5	15
18.1	19.4	18.8	17.4	15.3	13.0	11.4	12.0	14.6	15.1	18.7	19.0	18.3	16.9	15.8	15.0	13.8	15.3	17.9	15.3	14.2	14.2	13.1	11.8	9.1	7.6	7.9	2.2	2.0	1.2	3.3	1.8	3.4	0.7	16
18.6	20.3	19.8	18.3	15.6	13.0	9.8	8.1	10.3	17.6	22.2	23.4	23.3	21.7	17.1	15.7	12.0	12.5	13.8	12.5	13.5	13.9	12.8	9.9	5.4	3.2	3.9	2.8	3.2	2.6	5.7	3.1	6.0	1.5	17
18.2	20.8	20.9	19.7	16.7	14.3	9.2	6.5	9.2	19.7	26.1	28.5	28.7	27.3	23.5	16.0	12.5	12.2	11.2	11.6	15.4	16.3	15.2	11.3	6.7	3.8	2.1	4.7	5.9	7.3	11.2	5.7	11.0	4.1	18
24.7	31.1	27.7	25.1	21.5	15.4	11.0	10.6	14.6	25.1	24.7	23.4	22.9	20.9	16.8	10.9	7.7	10.4	39.2	38.1	35.8	34.1	31.5	26.3	21.7	16.2	12.3	31.8	18.7	21.7	46.5	24.5	25.9	13.6	19
22.8	22.1	20.9	19.3	16.9	14.6	12.8	13.2	15.7	21.0	20.6	20.2	19.0	17.7	15.0	12.1	11.3	14.6	39.2	37.9	36.0	34.2	31.4	27.5	24.2	20.7	18.2	26.4	20.1	22.7	48.3	28.6	22.0	12.0	20
20.2	18.5	17.4	16.0	14.9	13.4	13.6	14.3	17.8	17.5	17.9	18.0	17.4	16.0	14.4	12.8	13.6	17.3	39.3	38.0	36.1	32.9	30.7	27.9	24.9	23.1	21.8	13.9	17.9	22.7	45.7	20.4	19.8	15.2	21
17.9	16.4	15.4	14.8	13.5	13.1	13.7	15.8	19.4	15.6	15.8	16.4	16.5	14.9	13.4	12.1	14.0	18.9	39.6	33.9	31.4	28.5	26.3	24.4	23.1	21.6	42.1	14.8	21.0	46.5	23.0	27.0	18.4	22	
16.8	15.4	15.1	14.8	13.6	13.1	13.9	16.2	21.0	13.9	14.3	14.9	14.1	12.7	11.0	10.6	13.3	18.1	38.1	34.0	29.8	27.7	26.1	24.1	22.7	21.2	19.7	33.1	17.5	19.6	45.7	29.2	23.6	13.4	23
16.3	16.7	17.1	16.4	15.2	14.3	14.2	16.4	20.1	12.1	13.5	13.4	12.6	11.2	9.9	9.8	12.1	15.7	34.6	31.3	26.3	23.8	22.4	21.4	20.9	18.4	16.2	19.7	16.4	20.5	38.7	13.8	17.9	15.7	24
18.7	19.3	19.4	18.2	16.9	15.5	14.5	14.3	15.1	15.0	14.8	13.6	12.4	11.2	9.6	8.9	10.9	30.4	26.3	22.3	20.2	18.8	17.9	14.6	12.1	11.0	41.0	15.0	20.5	39.4	19.0	31.6	20.7	25	
21.1	21.7	21.7	21.1	19.1	17.6	13.7	19.1	13.2	13.1	18.0	19.0	17.8	17.1	16.1	10.9	7.8	8.2	27.4	22.6	19.1	17.3	15.7	13.1	9.4	6.8	6.0	31.6	22.3	18.5	42.6	30.3	27.8	12.1	26
22.7	24.3	25.2	24.3	22.5	19.4	13.8	11.9	13.3	15.4	22.4	25.6	25.1	23.0	19.3	12.5	8.5	6.9	24.2	19.7	17.6	16.7	15.2	12.1	7.5	3.8	0.4	18.8	20.2	31.7	8.5	15.3	18.4	27	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	2A	2B	2C	2D	2E	2F	2G	2H	2I	2J	

ΔE

0 až 10

5 až 10

10 až 20

20 a více

ΔE
0 až 5
5 až 10
10 až 20
20 a více

Obr. 48 Mapa barvových odchylek vzorku č. 4 MIS Dyebase (4 h, 80 ppm)

22.4	41.6	30.6	26.1	25.1	25.8	26.6	28.3	31.2	31.7	28.9	25.7	26.0	24.8	24.3	23.4	26.1	29.3	44.2	40.7	38.7	34.2	31.4	26.6	22.0	20.3	19.3	30.3	31.4	29.4	30.8	31.1	38.0	40.7	1	
36.0	36.7	31.6	30.0	28.8	28.3	29.0	30.8	33.5	32.6	29.4	28.3	25.9	25.0	25.0	26.1	29.4	34.7	43.7	42.6	40.9	37.4	34.1	30.7	27.5	26.1	27.3	28.6	29.6	26.9	27.0	31.8	34.0	32.0	2	
30.5	31.3	30.6	30.4	29.8	28.6	28.6	30.0	32.8	27.8	26.7	25.7	23.6	22.6	22.5	24.8	29.9	37.0	40.0	39.6	37.8	34.2	32.2	30.0	27.4	27.8	30.8	29.2	31.1	27.9	28.1	28.1	30.3	30.6	3	
26.8	27.6	27.7	28.3	27.9	26.8	26.6	28.2	31.2	23.8	23.0	22.2	20.8	20.2	20.7	22.9	28.9	36.7	33.3	33.6	32.0	30.7	28.4	27.2	25.7	26.5	30.1	27.7	29.1	26.2	27.0	27.9	30.6	30.8	4	
23.6	23.1	22.4	23.8	23.3	23.1	24.8	27.6	21.6	21.3	21.2	20.4	19.4	19.6	22.2	28.3	36.3	25.8	25.5	25.6	25.2	23.7	22.0	21.4	22.9	26.7	24.9	25.9	23.8	24.5	26.2	29.0	28.9	5		
23.6	20.3	19.1	19.4	18.7	17.6	17.5	19.2	23.0	22.7	23.3	22.3	21.7	20.9	21.1	23.3	28.4	35.7	18.8	18.9	19.6	19.7	18.4	16.7	16.7	19.2	22.1	22.7	23.7	22.1	22.9	24.3	26.2	26.5	6	
26.2	20.6	18.1	17.0	15.4	13.0	11.8	14.2	19.6	26.4	27.5	27.1	26.3	25.4	25.6	26.1	27.5	30.4	14.0	15.7	17.2	17.0	15.6	13.7	11.2	11.5	14.7	20.7	21.7	20.2	21.9	22.9	24.4	24.7	7	
28.7	21.9	18.9	17.4	14.1	11.0	9.2	10.4	15.1	31.0	33.6	33.9	33.4	32.7	33.1	29.8	26.3	26.8	12.3	17.7	21.4	21.9	20.2	18.3	12.4	9.1	9.8	19.2	19.4	19.0	19.6	21.3	22.7	23.1	8	
31.4	25.6	22.2	20.0	16.1	12.4	10.3	10.1	13.8	35.5	40.5	42.1	41.8	40.8	38.5	32.8	27.4	25.9	13.4	23.1	29.9	31.4	29.6	25.5	18.0	12.0	7.7	18.1	17.9	17.6	17.2	19.5	20.9	20.6	9	
38.0	46.0	36.7	31.3	27.8	25.1	24.8	27.5	31.6	41.1	40.1	37.0	32.9	28.6	24.5	22.0	23.0	27.4	61.1	59.3	56.5	52.3	47.0	41.1	35.7	31.2	28.4	17.0	16.7	15.8	15.9	17.9	19.0	19.0	10	
42.3	33.8	32.0	29.9	28.0	26.5	26.6	29.5	33.5	38.5	37.5	35.8	31.9	29.4	26.8	26.2	27.7	33.5	59.7	59.4	57.8	54.7	50.2	44.1	40.1	36.5	34.8	15.1	15.3	15.7	15.4	16.3	17.6	17.7	11	
34.5	30.8	28.7	26.7	25.6	25.3	26.3	29.0	33.6	32.5	32.3	30.9	28.9	26.8	25.7	25.5	28.9	35.9	55.4	55.3	54.6	50.9	46.3	42.8	39.5	37.0	35.7	11.9	11.1	11.2	12.7	14.2	16.2	14.4	12	
28.8	28.2	25.7	23.8	22.9	23.1	24.9	28.4	33.5	25.7	26.3	26.7	25.1	22.8	22.2	23.1	28.0	37.1	49.4	48.5	48.3	46.3	41.5	37.8	35.5	34.1	33.0	7.8	7.5	7.3	9.8	10.3	12.9	10.5	13	
27.5	27.1	24.7	22.5	21.3	21.4	23.1	27.0	31.7	21.4	22.7	22.8	21.7	19.8	18.6	20.7	26.5	35.7	41.3	39.1	38.5	38.6	34.6	31.7	29.6	28.9	28.0	5.0	4.8	4.4	7.5	7.4	9.6	6.8	14	
29.1	28.5	26.3	23.6	21.0	20.3	21.3	24.6	29.5	22.1	23.5	22.5	20.8	19.4	18.4	20.0	26.1	34.2	33.3	30.6	29.2	28.2	25.8	23.9	23.6	23.6	22.7	3.2	3.4	2.4	5.9	4.9	7.4	3.5	15	
32.4	31.8	29.1	25.2	22.3	20.6	20.2	21.4	24.6	24.8	26.2	25.6	24.4	22.9	22.1	21.6	23.5	27.3	24.2	21.0	20.9	23.9	17.8	14.8	12.9	13.5	2.8	2.7	1.8	4.6	2.3	4.4	0.9	16		
35.5	35.5	31.8	27.2	23.2	20.7	18.8	19.4	21.9	27.6	30.1	31.1	30.8	30.2	29.4	25.1	22.1	22.1	18.4	17.2	18.0	18.6	17.1	14.1	8.3	4.9	6.1	4.0	4.7	4.1	8.2	4.1	7.7	2.1	17	
38.3	37.2	32.7	27.8	23.1	20.0	17.6	18.1	22.4	29.4	36.2	40.0	40.7	39.8	36.8	29.0	22.6	19.6	15.1	16.0	20.6	22.3	21.2	17.3	11.4	6.5	3.3	7.9	10.2	12.5	17.2	8.3	15.0	5.0	18	
41.3	43.2	36.2	30.7	26.8	22.8	21.5	23.0	26.7	44.7	42.3	38.7	31.7	32.2	26.6	21.2	18.5	20.3	64.6	64.1	61.8	58.6	53.2	46.8	41.8	37.2	33.9	35.3	30.0	70.3	31.7	49.7	25.5	19		
38.7	34.5	31.5	27.8	25.8	25.0	24.9	26.9	30.6	41.3	39.7	38.8	35.9	28.9	25.5	24.3	26.9	65.0	64.1	62.7	60.8	56.2	50.1	46.2	42.8	40.5	38.9	33.0	72.0	36.2	46.8	21.4	20			
31.2	29.3	26.8	24.4	23.5	23.7	25.8	28.9	34.5	35.3	35.5	34.4	32.1	29.3	26.9	25.4	26.6	31.7	64.7	62.1	60.8	58.8	54.8	50.6	46.8	44.2	43.2	41.7	37.8	35.8	70.2	27.0	43.0	24.2	21	
25.9	25.1	23.4	22.5	21.8	22.3	25.8	30.6	34.2	30.8	30.4	29.1	27.9	24.9	23.4	22.5	25.5	32.7	61.7	57.0	55.1	53.9	49.6	46.6	44.8	43.0	41.2	39.6	34.5	31.7	71.9	30.0	50.7	32.2	22	
25.8	25.3	24.3	22.5	21.7	22.6	25.9	31.3	38.1	24.5	24.1	23.5	22.2	20.1	18.6	18.6	23.0	31.0	56.5	52.6	48.7	41.7	43.5	40.6	39.4	38.0	36.5	51.5	38.0	30.9	70.6	37.5	46.3	21.8	23	
29.7	29.8	28.0	25.2	23.9	24.1	27.1	31.7	37.1	19.1	20.3	19.3	18.4	16.7	15.2	15.7	21.1	27.0	49.1	46.2	41.3	39.4	36.6	34.4	34.6	32.1	29.6	44.2	40.9	35.5	64.1	19.8	40.2	24.2	24	
35.0	34.2	32.6	30.5	28.5	28.2	29.4	29.6	31.7	17.2	20.9	20.5	19.7	18.0	16.4	15.2	16.8	20.5	42.0	37.3	33.4	31.8	29.5	27.8	23.9	20.5	18.8	50.2	36.8	29.5	67.2	26.5	31.6	33.5	25	
39.2	38.6	37.8	36.8	35.1	34.6	30.7	26.7	27.7	18.9	25.2	26.6	26.7	25.3	24.0	19.4	15.7	14.9	36.4	31.3	28.1	26.7	24.0	20.4	15.0	10.7	9.0	39.7	41.5	29.9	66.7	40.6	48.8	21.5	26	
44.9	47.3	45.9	44.7	42.4	40.1	35.3	25.5	25.4	21.0	31.2	34.9	36.4	35.7	31.6	23.8	16.4	11.2	31.4	27.0	25.6	25.3	22.8	18.8	12.0	5.5	3.7	49.2	42.4	42.6	55.6	11.6	32.7	26.1	27	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	2A	2B	2C	2D	2E	2F	2G	2H	2I	2J