

# The usage of fractal analysis for evaluating the quality of print

Oldrich Zmeskal, Martin Nezadal, Ondrej Sedlak  
Institute of Physical and Applied Chemistry, Faculty of Chemistry  
Brno University of Technology, Purkynova 118, 612 00 Brno  
e-mail: [zmeskal@fch.vutbr.cz](mailto:zmeskal@fch.vutbr.cz)

## Abstract

In this article there are shown possibilities of the usage of new modern method (the imaging photometry) for evaluation the quality of print. The are described methods for image data acquisition from samples of printed structures and the data preparation before processing it. One of the image analysis methods – fractal analysis – is briefly described here. At the end of the contribution there are introduced results of image analysis of typical printed structures. They were obtained with the help of HarFA (Harmonic and Fractal Image Analyser) software. It was compiled by the authors of the article. HarFA can be used to determine the basic parameters of print quality of printed structures (the lightness of printed material, the quality of print, homogeneity of printed material and printed area, the quality of printed edges and so on. Further information can be obtained on web pages dedicated to this area ([www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci)).

## Využití fraktální analýzy při hodnocení kvality tisku

Oldřich Zmeškal, Martin Nežádal, Ondřej Sedlák  
Ústav fyzikální a spotřební chemie Fakulta chemická  
Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, 612 00 Brno  
e-mail: [zmeskal@fch.vutbr.cz](mailto:zmeskal@fch.vutbr.cz)

Při výrobě tiskovin má kromě obsahové role (poskytnutí informací ve formě textů a obrázků) velký význam také role estetická. Ta souvisí především s formátem stránky a rozmístěním prvků informačního obsahu na stránce. Nemalý vliv na estetickou úroveň tiskovin má ovšem také kvalita potiskovaného materiálu (papíru, fólie) a kvalita vlastního tisku. Každá z technik, které se v současné době používají má z tohoto pohledu své výhody a nevýhody.

V současné době se tiskové techniky dělí do dvou hlavních skupin [1], a to na

- klasické (mechanické s použitím tlaku - impaktní), analogové,
- nekonvenční (elektronické bez použití tlaku - neimpaktní), digitální.

Společným znakem pro klasické tiskové techniky je existence tiskové formy s tiskovými a netiskovými prvky, jejichž přímý nebo nepřímý otisk vytvoří na potiskovaném materiálu zobrazení písmových znaků a obrazových prvků. Podle principu přenosu tiskové barvy prostřednictvím tiskové formy můžeme klasické techniky rozdělit do čtyřech hlavních skupin

- tisk z výšky (knihtisk, flexotisk)
- tisk z hloubky (hlubotisk, tampónový tisk)
- tisk z plochy (ofsetový tisk)
- tisk průtlakem (sítotisk)

Tyto metody jsou vhodné jak pro jednobarevný tak i pro plnobarevný tisk pořizovaný ve velkých nákladech (kromě sítotisku). Kvalita tisku se v průběhu tisku zhoršuje z důvodů opotřebování tiskové formy.

Nekonvenční techniky vznikly jako důsledek digitalizace zpracování textových a obrazových předloh a digitální tvorby kompletních plnobarevných dokumentů pomocí cenově dostupných počítačů a programů. K tisku jsou využívány tiskové stroje (tiskárny), které pracují na elektronickém principu, nevyužívají tedy tiskovou formu. Podle principu je můžeme rozdělit do čtyř základních skupin

- elektrofotografický tisk (laserové, LED tiskárny),
- tryskový tisk (inkoustové, bublinové, voskové tiskárny),
- tepelný tisk (termosublimační, termotransferové tiskárny),
- tepelný tisk na teplocitlivý papír.

První tři uvedené techniky jsou vhodné pro plnobarevný digitální malonákladový tisk. Jejich podíl v polygrafické produkci je zatím malý. Kvalita tisku jednotlivých kopií je přibližně stejná, protože každý tisk je vlastně originál. Poslední z nich se používá u elektronických pokladen a faxů.

## Potiskovaný materiál

Potiskovanými materiály nazýváme všechny materiály používané v polygrafickém průmyslu. Mezi rovinné materiály, které se používají nejčastěji, zařazujeme např. přírodní a syntetické papíry nebo plastové a kovové fólie. Kvalita tisku [1] z hlediska potiskovaného materiálu souvisí s

- plošnou nerovnoměrností (tloušťka, plošná hmotnost, průsvitnost, pórovitost, savost),
- anizotropií (směrová závislost pevnosti, tuhosti, roztažnosti),
- dvoustranností, tj. různou kvalitou lícové a rubové strany (drsnot, savost, lesk, bělost),
- hygroskopičností, tj. vlivem teploty a vlhkosti na změnu vlastností.

Potiskovatelnost papíru je silně závislá na jeho hladkosti (tiskové hladkosti), savosti, odrazivosti povrchu papíru (lesku), absorpční schopnosti, neprůsvitnosti (opacitě), bělosti (resp. barvě) papíru, rozměrové stabilitě (modul pružnosti, viskoelasticita), povrchové pevnosti a sklonu papíru k prášení. Druhy tiskových papírů z hlediska látkového složení dělíme na dřevité, středojemné, bezdřevé a recyklované.

## Tiskové barvy

Úlohou tiskové barvy je vytvořit na potiskovaném materiálu vizuálně - opticky vnímatelné zobrazení informačního obsahu tiskoviny. Optické vlastnosti tiskové barvy zabezpečuje barevná látka, která musí být transportovatelná ze zásobníku barvy na potiskovaný materiál. Barva musí být lepivá vůči potiskovanému materiálu, musí se změnit co nejrychleji procesy schnutí na nelepivou tuhounou vrstvu, která má dostatečně pevné adhézní spojení s podkladem, a musí být odolná vůči mechanickému a chemickému namáhání. Tyto vlastnosti zabezpečuje pojivo. Barevné složky mohou být ve dvou formách

- ve formě roztoku barviva v pojivu,
- ve formě nerozpustných částic v pojivu (pigmenty).

Mechanismus schnutí barvy je určen především technikou tisku, vlastnostmi potiskovaného materiálu (savostí) a požadavky na vlastnosti vrstvy barvy po zaschnutí. Schnutí barvy lze urychlit sušením. Proces sušení lze rozdělit do několika skupin: sušení důsledkem chemické reakce, sušení zapájením a sušení odpařením.

Jak je zřejmé z předcházejícího stručného přehledu ovlivňuje kvalitu tisku velké množství faktorů souvisejících jednak z kvalitou potiskovaného materiálu, s vlastnostmi tiskových barev, ale především s technologií vlastního tisku. Je vždy třeba najít kompromis mezi kvalitou tištěného výstupu a finanční náročností vlastního tisku.

## Hodnocení kvality tisku

V polygrafické výrobě se při určování kvality – čímž rozumíme soubor užitečných vlastností, které odpovídají požadavkům užitečnosti pro zákazníka – hodnotí jednak estetická úroveň tiskoviny (např. kvalita rukopisu, obrazových předloh, kvalita grafického a typografického návrhu), ale také kvalita vlastní realizace tisku. Cílem systému kontroly kvality tisku je především ulehčit tiskaři hodnocení pomocí předem definovaných kritérií. Spotřebitel zpravidla hodnotí vizuální parametry tisku jako jsou např.

- sytost, hloubka, čistota a kontrast barev,
- bohatost barevných tónů, plynulost přechodů a plastičnost,
- vykreslení detailů v celém tónovém rozsahu,
- chyby v obraze (zrnitost, skvrnitost),
- přirozené, resp. očekávané barevné podání obecně známých objektů reálného světa (např. obličej, ovoce, květiny).

K detailnímu hodnocení kvality tisku se zpravidla používají speciální přístroje - densitometry a kolorimetry. V současné době se začínají využívat také zařízení pro digitalizaci obrazových předloh, tzv. zobrazovací fotometry.

**Densitometry** – přístroje určené k měření optické barevné hustoty - density, patří ke standardnímu vybavení tiskáren a densitometrie hraje důležitou roli při řízení a kontrole celého procesu tisku. Densitometry pracují na fotometrickém principu, vyhodnocují tedy podíl světla, které se od analyzovaného (potištěného) povrchu odrazí (reflexní densitometrie) nebo přes něj projde (transmisní densitometrie).

Optická hustota (densita) je potom definována podle vztahů

$$D_R = -\log(R), \quad \text{resp. } D_T = -\log(T), \quad (1)$$

kde  $R$  je reflektance,  $T$  transmitance, (2) potiskovaného materiálu. Současné densitometry umožňují provádět kromě měření vizuální optické hustoty (přes vizuální filtr) měření i optické hustoty jednotlivých barevných složek (azurové -  $C$ , purpurové -  $M$  a žluté -  $Y$ ) prostřednictvím speciálních barevných filtrů (červeného -  $R$ , zeleného -  $G$  a modrého -  $B$ ).

**Kolorimetry** – přístroje k měření kvality barevných tisků, umožňují získat detailnější informace o kvalitě tiskovin. Principiálně se používají dva odlišné typy kolorimetrů

- trichromatické (trojfiltrové) kolorimetry,
- spektrofotometrické kolorimetry.

*Trichromatické kolorimetry* pracují na stejném principu jako reflexní densitometry vybavené trojicí světelných barevných filtrů. Jejich citlivost odpovídá funkcím trichromatických činitelů CIE (na rozdíl od densimetru). Takto lze přímo získat trichromatické složky  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  analyzovaného prvku.

*Spektrofotokolorimetry* jsou určené k měření remisních křivek analyzovaného barevného povrchu, tj. podílu světla odraženého od povrchu při určitých vlnových délkách spektra viditelného světla (380 - 730 nm) obvykle s krokem 10 nm. Z těchto závislostí se potom počítají trichromatické složky  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  činitelů CIE. Díky numerickému zpracování naměřených dat jsou spektrální kolorimetry podstatně přesnější jako trichromatické kolorimetry.

**Zobrazovací fotometry.** S rozvojem osobních počítačů a jejich programového vybavení pro analýzu obrazových dat, a dále s rozvojem jejich vstupních zařízení pro digitalizaci obrazových předloh (skenery, digitální fotoaparáty, digitální kamery) se naskýtají nové moderní možnosti hodnocení kvality tisku. Tato zařízení, a to především digitální fotoaparáty a kamery mohou být

využity např. k hodnocení všech nebo vybraných tiskovin přímo v průběhu tiskového procesu. Lze tak bezprostředně zareagovat na zhoršení kvality tisku způsobenou např. poruchou stroje a příp. celý proces zastavit. Kromě toho je lze využít také k detailní analýze potištěných materiálů. Používají se např. k hodnocení

- homogenity potiskovaného materiálu,
- homogenity tiskové barvy na povrchu potiskovaného materiálu,
- kvality tiskových hran a vykreslených detailů,
- barevného podání tisku.

Digitální fotoaparáty (kamery) mohou být doplněny optickou soustavou umožňující zobrazení detailů povrchu (např. optický mikroskop nebo nástavec fotoaparátu), jejich příslušenství tvoří programové vybavení pro uložení, resp. další zpracování zpravidla pomocí osobního počítače. Rozložení snímané plochy do pixelů a její popis mapou mikrofotometrických hodnot vytváří vhodné podmínky pro aplikaci prostředků a postupů komplexnějších a složitějších metod, jako je např. obrazová analýza, frekvenční analýza obrazu apod.

### **Analýza barevných tiskovin pomocí digitálních fotoaparátů**

Barevné zobrazení – barevný tiskový obraz – je z hlediska pozorovatele optickým signálem, který vzniká při osvětlení tiskoviny. Dopadající světlo interaguje se zbarveným povrchem a moduluje se v závislosti na rozdělení tiskové barvy na povrchu. Optický signál potom představuje distribuci intenzity a spektrálního složení odraženého světla. Základní veličinou charakterizující vlastnosti tiskové plochy je odrazivost (reflektance), která je podílem odraženého ( $\Phi$ ) a dopadajícího ( $\Phi_0$ ) světelného toku

$$R = \Phi / \Phi_0 \quad (2)$$

Jestliže je měřený povrch, který má reflexní spektrum  $r(\lambda)$ , osvětlený polychromatickým světlem se spektrálním rozdělením světelného toku  $\Phi_0(\lambda)$  a spektrální citlivost detektoru je  $s(\lambda)$ , bude reflektance vyjádřena vztahem

$$R = \frac{\int_{\lambda} \Phi_0(\lambda) r(\lambda) s(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} \Phi_0(\lambda) s(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

Základní součástí digitálních fotoaparátů (kamer) jsou CCD (Charge Coupled Device) prvky. Jsou to světlocitlivé senzory uspořádané v římce, nebo častěji v dvojrozměrné matici. Obraz se jako optický signál promítá na CCD snímače fotoaparátu (kamery) a generuje v nich elektrické signály, které se transformují do počítačových digitálních dat. Optický obraz původního obrazu se tak prostorově rozdělí do matice pixelů. Počet bitů, kterými je popsán každý pixel, definuje hloubku – rozlišitelnost záznamu. Při barevném zobrazování se celkový optický signál pomocí vhodných optických filtrů separuje do jednotlivých výtazků. Nejčastěji se používá separace do tří složek nepřímé trichromatické reprodukce – červené ( $R$ ), zelené ( $G$ ) a modré ( $B$ ). Barevný obraz je potom popsán třemi maticemi pixelů.

Digitální údaj – obsah každého pixelu zobrazovacího pole – je v rámci pracovní oblasti CCD senzoru úměrný světelnému toku, který na něj dopadl

$$\rho'_{i,j} = \int_{\lambda} \Phi_0(\lambda) r_i(\lambda) s_j(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

kde  $\Phi_0(\lambda)$  je opět funkce spektrálního rozdělení použitého osvětlení,  $r_i(\lambda)$  je reflexní spektrum snímaného povrchu v pozici  $i$  a  $s_j(\lambda)$  je funkce relativní spektrální citlivosti  $j$ -tého ( $j = R, G, B$ ) kanálu CCD pole.

Nejjednodušší způsob transformace primárních signálů CCD fotoaparátu (kamery) do optických hustot procesových barev ( $C$ ,  $M$ ,  $Y$ ) využívá definiční vztah pro optické hustoty azurové ( $C$ ), purpurové ( $M$ ) a žluté ( $Y$ ) barvy

$$D_{i,C} = \log \frac{w_i}{\rho'_{i,R}}, \quad D_{i,M} = \log \frac{w_i}{\rho'_{i,G}}, \quad D_{i,Y} = \log \frac{w_i}{\rho'_{i,B}}, \quad (5)$$

kde  $w_i = \sum_{j=R,G,B} \rho'_{i,j}(W)/3$  je průměrná hodnota primárního signálu bílého standardu.

## Optická soustava

Možné uspořádání zobrazovacího fotometru je znázorněno na *obr. 1*. Skládá se z optického mikroskopu Meopta a digitálního fotoaparátu NIKON Coolpix 990. Ten umožňuje snímat obrazy ve formátu \*.tif nebo \*.jpg s rozlišením až 2048 x 1536 pixelů. Barevná informace je uložena ve tvaru RGB, 8 bitů pro každý kanál ( $R$ ,  $G$ ,  $B$ ).

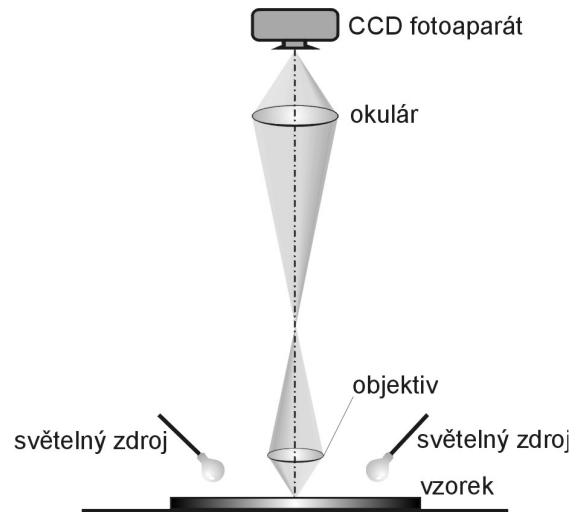
Nevýhodou použité optické soustavy je nerovnoměrné osvětlení vzorku. Vzorek je ve středu zorného pole osvětlen více než při okrajích. Tento jev by při zpracování obrazů působil rušivě, proto je třeba tuto nehomogenitu osvětlení vhodným způsobem odstranit.

Nepříjemnou vlastností digitálního fotoaparátu je jeho nelineární přenos jasů. To znamená, že posloupnost hodnot jasu obrazu na vstupu neodpovídá posloupnosti hodnot signálu na výstupu. Proto je nutné provést tzv. *gamma korekci*, která upraví přenos jasů na lineární.

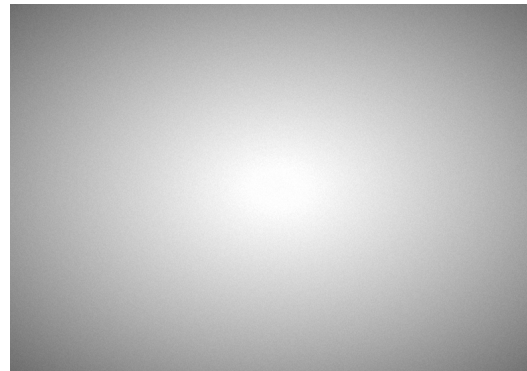
**Nehomogenita osvětlení** (*obr. 2*), tj. ztráta světelnosti snímaného obrazu mimo osu optické soustavy, je způsobena nedokonalostí optických prvků (především objektivu a okuláru). Digitální záznam obrazu nehomogenního osvětlení lze provést např. tak, že se zaznamená obraz zcela bílého papíru. Ten se následně Gaussovsky rozostří (např. pomocí vyhlazovacích filtrů z nabídky *Filters* programu *HarFA* [6]), čímž se eliminuje povrchová struktura papíru.

Vlastní korekce obrazu spočívá ve zjištění průměrných hodnot všech tří barevných kanálů ( $R_{AVG}$ ,  $G_{AVG}$  a  $B_{AVG}$ ) obrazu rozostřeného nehomogenně osvětleného papíru a v provedení úpravy obrazu ( $R_{KOR}$ ,  $G_{KOR}$ ,  $B_{KOR}$ ) pomocí následujících vztahů

$$R_{KOR}[x, y] = R_{AVG} \frac{R_N[x, y]}{R_p[x, y]}, \quad G_{KOR}[x, y] = G_{AVG} \frac{G_N[x, y]}{G_p[x, y]}, \quad B_{KOR}[x, y] = B_{AVG} \frac{B_N[x, y]}{B_p[x, y]}, \quad (6)$$



Obr. 1 Schéma měřicí aparatury



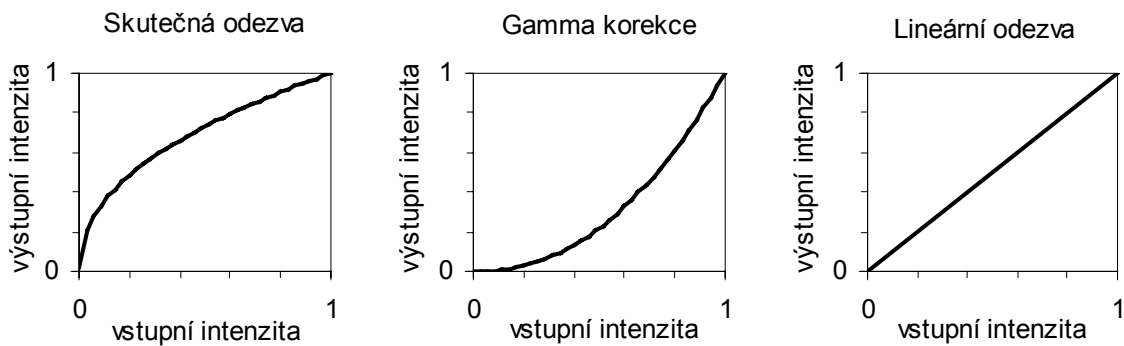
Obr. 2 Znázornění nehomogenity osvětlení

kde  $R_N[x, y]$ ,  $G_N[x, y]$  a  $B_N[x, y]$ , jsou hodnoty příslušných barevných kanálů pixelu o souřadnicích  $[x, y]$  opravovaného obrazu,  $R_P[x, y]$ ,  $G_P[x, y]$  a  $B_P[x, y]$  jsou hodnoty barevných kanálů obrazu pixelu o souřadnicích  $[x, y]$  obrazu rozostřeného papíru (v programu *HarFA* [6] lze nehomogenitu osvětlení odstranit pomocí nabídky *Corrections/Light Homogeneity Correction*).

**Gamma korekce** je číslo vyjadřující vztah mezi hodnotami signálu na vstupu a hodnotami na výstupu optické soustavy. Když je hodnota gamma korekce rovna jedné, chová se systém lineárně – intenzita výstupu zařízení je přímo úměrná intenzitě vstupu. Digitální fotoaparáty mají ovšem gammu záměrně upravenou na nižší hodnotu. Důvodem je skutečnost, že fotografie z digitálních fotoaparátů jsou určeny především k zobrazení na monitorech, které mají naopak gammu vyšší [3], [4] (obr. 3). Závislost intenzity výstupního signálu na vstupním je dána vztahem

$$Y = k(I/255)^\gamma + Y_0, \quad (7)$$

kde  $Y_0$  je případný nenulový výstupní signál při nulové vstupní intenzitě osvětlení (tzv. ofset),  $k$  je normalizační konstanta. Exponent  $\gamma$  je zjišťovaná gamma hodnota.



Obr. 3 Znárodnění procesu gamma korekce

Aby mohly být získané obrazy objektivně vyhodnoceny, musí se tedy nejprve provést jejich gamma korekce – musí se definovaným způsobem snížit intenzita výstupního signálu. Tuto operaci lze popsat vztahem

$$I' = 255((Y - Y_0)/k)^{1/\gamma} \quad (8)$$

Zjištění hodnoty gamma korekce fotoaparátu lze provést např. následujícím postupem

- naexponuje se šedý densitometrický klín, zaznamená se pomocí digitálního fotoaparátu a u získaných obrazů se provede korekce nehomogenity osvětlení,
- barevný obraz se převede na obraz v odstínech šedé podle vztahu  $I = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$  (ve vztahu jsou zohledněny vlastnosti lidského oka) [5],
- pro jednotlivá políčka densitometrického klínu se zjistí nejvíce zastoupený odstín intenzity. To lze zjistit např. proměřením tzv. fraktální dimenze (např. pomocí programu *HarFA* [6], nabídky *Process/Fractal Analysis – Range*). Hledanému odstínu bude odpovídat intenzita, při které je fraktální dimenze maximální – měla by se blížit dvěma, protože fraktální dimenze plné plochy  $D = 2$ . Výsledné hodnoty se normalizují na rozsah  $\langle 0; 1 \rangle$  dělením konstantou 255,
- šedý klín se proměří reflexním densitometrem a výsledné hodnoty density  $D$  se přepočítají na reflektanci podle vztahu

$$R = 10^{-D} \quad (9)$$

- vynese se závislost hodnot „reflektancí“ naexponovaných obrazů na hodnotách reflektancí zjištěných densitometricky a data se proloží mocninnou křivkou, exponent této mocninné závislosti představuje gamma hodnotu (7),
- vlastní gamma korekce se poté provede podle rovnice (8).

## Experimentální výsledky

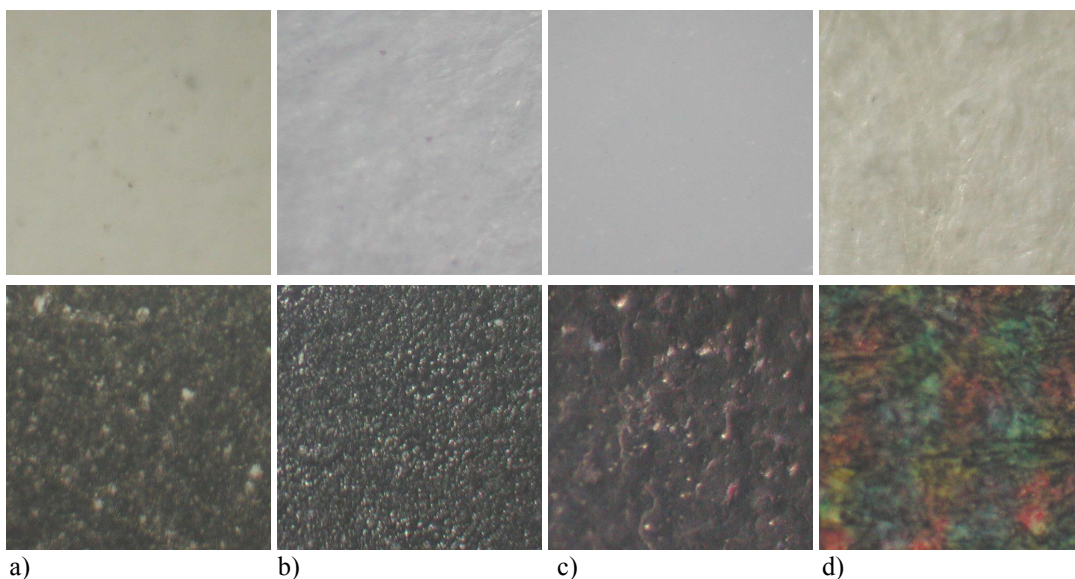
Z předcházejícího výkladu je zřejmé, že k tomu, abychom mohli pomocí zobrazovací fotometrie získat srovnatelné výsledky s výsledky naměřenými densitometricky nebo kolorimetricky je třeba věnovat značnou pozornost získání minimálně zkraslených obrazů analyzovaných tiskových struktur. Vlastní zpracování dat může pak spočívat v získání optických hustot (podobně jako u densitometru) nebo trichromatických složek členů CIE (podobně jako u kolorimetru). Naskýtá se však možnost mnohem detailnější analýzy než umožňují densitometry a kolorimetry. S výhodou lze využít např. harmonickou nebo fraktální analýzu, které jsou určeny k analýze nehomogenních struktur potiskovaných materiálů a tiskových vrstev. Z následujících obrázků je zřejmé, jaké kvality dosahují různé technologie při výrobě tiskovin

- lesklý papír - ofsetový tisk (*obr. 4a*),
- xerografický papír - laserový tisk (*obr. 4b*),
- novinový papír - ofsetový tisk (*obr. 4c*),
- fotografický papír - inkoustový tisk (*obr. 4d*).

Z uvedeného rozboru je zřejmé, že ve všech případech je obraz analyzovaného materiálu i vlastního tisku víceméně nehomogenní. V prvé řadě je třeba odstranit chyby obrazu způsobené vlastnostmi optické a snímací soustavy

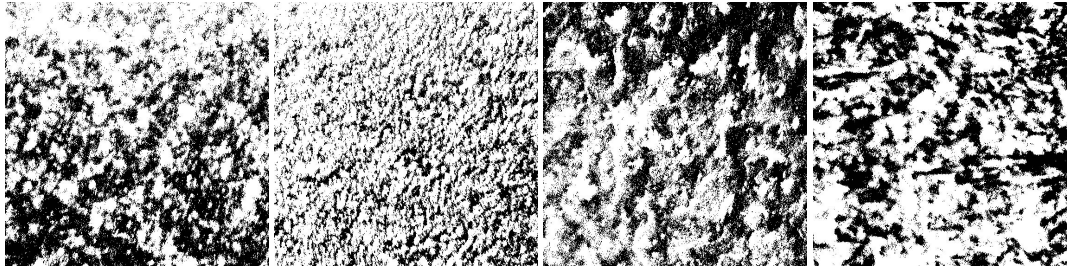
- teplotní šum digitálního fotoaparátu,
- nehomogenitu osvětlení vzorku,
- gamma korekci digitálního fotoaparátu, pokud je jeho charakteristika nelineární.

V dalším kroku je pak možné provést vlastní analýzu digitalizovaného obrazu, tj. určit homogenitu potiskovaného materiálu a vlastního tisku. Toho lze docílit tak, že se provede prahování digitalizovaného obrázku podle zadaných kritérií, nejčastěji intenzity (gray scale), jasu a světlosti (brightness, lightness), resp. barevných složek obrazu (red, green, blue) v celém



Obr. 4 Porovnání kvality tisku různých technologií: a) lesklý papír - ofsetový tisk, b) xerografický papír - laserový tisk, c) fotografický papír - inkoustový tisk, d) novinový papír - ofsetový tisk

rozsahu kvantovaných úrovní (zpravidla 0 - 255). Pod termínem prahování rozumíme přiřazení bílé, resp. černé barvy pixelům obrázku, jejichž barva se nachází pod, resp. nad úrovní definovaného prahu. Příklady prahování pro technologie z *obr. 4* jsou uvedeny na *obr. 5*. Intenzita  $I$  byla volena tak, aby rozhraní mezi tmavšími a světlejšími odstíny šedé bylo co největší.



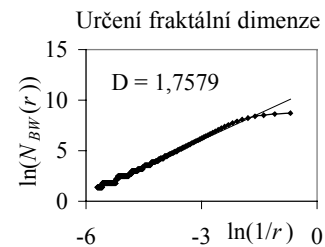
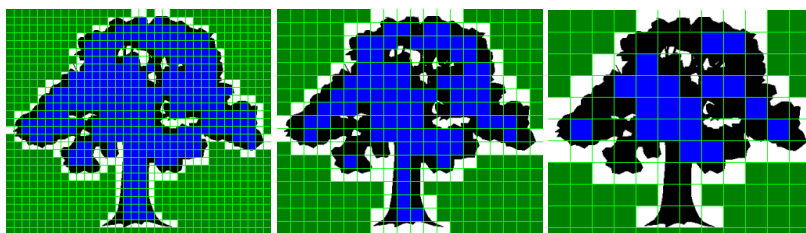
*Obr. 5 Porovnání kvality tisku různých technologií, prahování obrázku: ofsetový tisk, lesklý papír ( $I=30$ ), laserový tisk ( $I=25$ ), inkoustový tisk ( $I=45$ ), ofsetový tisk, novinový papír ( $I=35$ )*

## Fraktální analýza

Podstatou fraktální analýzy je určení členitosti maskovaného obrázku (viz např. *obr. 5*). Ta se vyjadřuje pomocí dvou parametrů (fraktální míry  $K$  a fraktální dimenze  $D$ ), které lze získat z měření závislosti délky obvodu obrazů na velikosti měřítka  $\varepsilon$ , které použijeme k měření

$$L(\varepsilon) = K \varepsilon^{E-D}, \quad (10)$$

kde  $E$  je tzv. topologická dimenze (pro plochu  $E = 2$ ). Z uvedeného vztahu je zřejmé, že pro  $D = E$  nebude délka rozhraní záviset na délce měřítka, ale u tzv. fraktálních obrazců, kde  $D < E$  bude. Obecně se hodnota fraktální dimenze může měnit v rozsahu  $D \in \langle 0, E \rangle$ . Čím je hodnota  $D$  menší, tím je objekt méně uspořádaný a tedy i méně homogenní.



*Obr. 6 Podstata metody určení fraktální dimenze a fraktální míry maskované struktury ( tzv. box counting method)*

Velikost rozhraní se dá určit pokládáním délkového měřítka, resp. čtvercové sítě na maskovaný černobílý obrázek, viz *obr. 6*. Délka rozhraní je v tomto případě úměrná počtu čtverců pokrývajících rozhraní (bílé čtverce). Kromě délky rozhraní lze pomocí této metody určit i velikost černé, resp. bílé plochy a jim odpovídající fraktální dimenze a míry.

Postup výpočtu fraktálních dimenzí a fraktálních měr je následující. Určíme počet bílých čtverců ( $N_W$ ), počet černobílých čtverců ( $N_{BW}$ ) a počet černých čtverců sítě ( $N_B$ ). Postup opakujeme pro různé velikosti čtverce pokládané sítě  $\varepsilon = 1/r$ . Vyneseme-li závislost logaritmu počtu čtverců  $\ln(N)$  na reciproké hodnotě logaritmu velikosti sítě  $\ln(1/r)$ , získáme v ideálním případě



přímkovou závislost, jejíž směrnice je rovna fraktální dimenzi  $D$  a úsek na ose  $y$  je roven fraktální míře  $K$ .

Popsanou metodu (lineární regresní analýzu) lze zdokonalit důkladnější analýzou závislostí počtu čtverců na jejich velikosti (jednoduchá analýza strmostí, komplexní analýza strmostí). Lze také provádět výpočet tzv. fraktálních spekter (fraktální dimenze a fraktální míry pro různé hodnoty prahů analyzovaného obrázku).

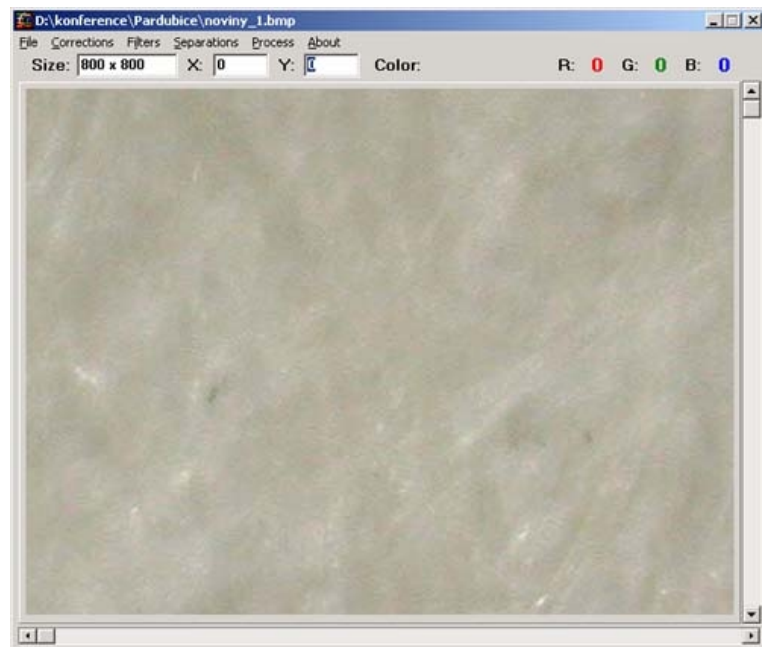
## HarFA - Harmonický a fraktální analyzátor obrazu

K obrazové analýze tiskových struktur lze využít programový produkt *Harmonic and Fractal Image Analyser* [6]. Ten umožňuje provádět modifikace obrazových dat před jejich vlastním zpracováním, harmonickou a fraktální analýzu obrazových struktur. Modifikace dat může spočívat např. v provádění korekcí obrazu (odstranění teplotního šumu, nehomogenity osvětlení a gamma korekci), aplikování derivačních, integračních, integračně derivačních a hranových filtrů na obrazové struktury a vytváření barevných separací obrazů (RGB, HSB, HLS). Fourierova analýza (1D, 2D) je určena k analýze tiskových hran obrazových struktur [7] fraktální analýza ke zjišťování nehomogenity tiskových obrazů.

Pomocí fraktální analýzy je možné určovat fraktální dimenze obrazových struktur, resp. jejich fraktální spektra. Výsledky pro novinový papír jsou uvedeny na obrázcích na následující straně. Na levém obrázku jsou uvedeny výsledky lineární regresní analýzy pro maskovací podmínku intenzity  $I \leq 160$ . Ve spodní části obrázku jsou uvedeny hodnoty fraktální dimenze  $D$  (strmost lineární závislosti) a fraktální míry  $K$  (počet pokrytí měřítkem o velikost  $r = 1$ ) včetně jejich chyb pro černou (B+BW) a bílou plochu (W+BW) maskované struktury a pro jejich rozhraní (BW).

V posledním sloupci je uveden koeficient regrese, který charakterizuje spolehlivost výsledků.

Na pravém obrázku je znázorněno fraktální spektrum uvedené struktury. Vzniklo postupným výpočtem fraktálních dimenzí pro maskovací podmínky  $I \leq x$ , kde  $x = 0 \dots 255$ . Z obrázku je zřejmé maximum fraktální dimenze rozhraní  $D = 1,906$  pro odstín intenzity  $I = 173$ . Tomuto maximu odpovídá největší průměrné plošné pokrytí. Představuje tedy intenzitu odstínu barvy papíru. Obdobným způsobem lze provést i analýzu zbývajících struktur.



Souhrnné výsledky analyzovaných potiskovaných materiálů a tiskových technik jsou uvedeny v tab. 1. Z tabulky vyplývá, že bělost papíru je ve všech případech přibližně stejná (bílé barvě odpovídá hodnota  $I = 255$ ), pokrytí papíru černou barvou není již rovnoměrné, nejlepší krytí má laserový tisk, jehož hodnota se nejvíce blíží hodnotě černé barvy ( $I = 0$ ). Homogennost papíru a potištěného materiálu lze posoudit z hodnot fraktální dimenze  $D$ . Jako nejlepší se jeví lesklý a xerografický papír jejichž

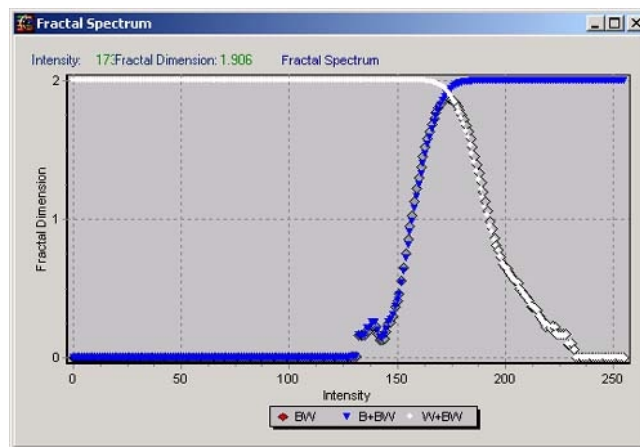
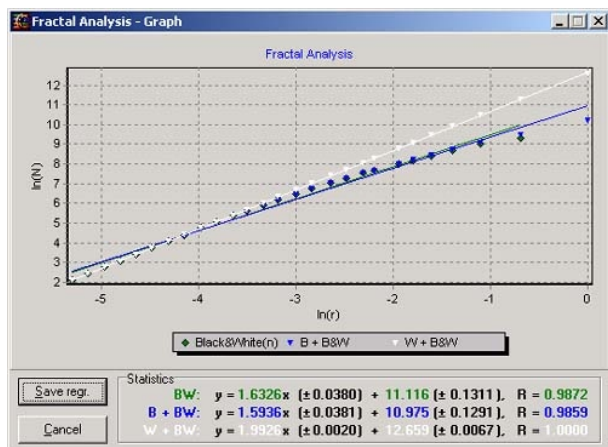
hodnota fraktální dimenze se blíží hodnotě  $D = 2$ . Z potištěných ploch dosahuje nejlepších výsledků inkoustový tisk. Homogenost papíru, resp. potištěné plochy lze posoudit pomocí fraktální míry  $K$ , která vyjadřuje počet pixelů obrazu, které mají stejný odstín. Lze také vyjádřit v procentech vzhledem k celé ploše obrazu. Pro analyzované obrazy o rozměru  $569 \times 569$  pixelů je  $\ln K = \ln(569 \times 569) = 12,688$ . Z tohoto pohledu se jeví jako nejlepší xerografický papír, resp. inkoustový tisk na fotografickém papíru.

Tabulka 1: Hodnocení kvality papíru

		$I_{max}$	$D_{BW}$	$\ln K_{BW}$	$K_{BW}/K$ (%)
1	lesklý papír	173	1,8852	12,221	62,70
2	xerografický papír	172	1,8872	12,234	63,52
3	fotografický papír	171	1,8719	12,175	59,88
4	novinový papír	173	1,8298	11,988	49,67
5	ideální papír	255	2,0000	12,688	100,00

Tabulka 2: Hodnocení kvality tisku

		$I_{max}$	$D_{BW}$	$\ln K_{BW}$	$K_{BW}/K$ (%)
1	ofsetový tisk	30	1,8520	12,087	54,84
2	laserový tisk	25	1,8695	12,164	59,22
3	inkoustový tisk	45	1,8807	12,205	61,70
4	ofsetový tisk	35	1,7884	11,818	41,91
5	ideální tisk	0	2,0000	12,688	100,00



## Závěr

V příspěvku jsou naznačeny možnosti užití nové moderní metody hodnocení kvality tiskovin pomocí tzv. zobrazovací fotometrie. Jsou v něm popsány metody získání obrazových dat tiskových struktur a jejich úprava před vlastním zpracováním. Je zde stručně popsána jedna z metod obrazové analýzy dat, tzv. fraktální analýza. V závěru jsou uvedeny výsledky analýzy typických obrazových dat tiskových struktur získané pomocí programu *HarFA* (Harmonic and Fractal Image Analyser) vytvořeného autory příspěvku. Pomocí něho je možné určit základní parametry charakterizující kvalitu tiskových struktur (světlost potiskovaného materiálu, kvalita tisku, homogenita potiskovaného materiálu a tiskové plochy, ale i kvalita tiskových hran). Další informace je možno získat na [www stránkách](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci) věnovaných této problematice ([www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci)).

## Literatura

- [1] Panák J., Čeppan M., Dvonka V., Karpinský Ľ., Kordoš P., Mikula M., Jakucewicz S.: Polygrafické minimum, TypoSet, Bratislava, 2000
- [2] Čeppan M., Dvonka V., Fedák J.: Analýza farebných tlačovín pomocou CCD kamery: Zobrazovacia fotometria, Sborník prednášiek, III. Polygrafický seminár, Pardubice, 1997
- [3] Chovancová V.: Kolorimetria farebných monitorov, Bakalársky projekt, Katedra polygrafie a aplikovanej fotochémie CHTF STU, Bratislava, 2000
- [4] Giorgiany E. J., Madden T. E.: Digital Color Management, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA, 1997
- [5] Gonzales R. C.: Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA, 1987
- [6] Zmeškal O., Nežádal M.: HarFA - Harmonic and Fractal Image Analyser, programový produkt, [www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci), © 2001.
- [7] Nežádal M., Zmeškal O., Buchniček M., Lapčík L., Dvonka V.: Harmonická analýza tiskových štruktúr, konf. Polygrafia Academica 2000, CHTF STU Bratislava, 2000