

Hodnocení kvality tiskových bodů metodami obrazové (waveletové) analýzy

Oldřich Zmeškal, Barbora Komendová, Tomáš Bžatek, Martin Julínek

Ústav fyzikální a spotřební chemie, Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně,
Purkyňova 118, 612 00 Brno

1. Autotypická reprodukce

V příspěvku jsou popsány nové metody zjišťování kvality tisku rastrových bodů autotypické reprodukce založené na jejich obrazové analýze. Autotypická reprodukce monochromatických tónových předloh se realizuje tak, že se každé rastrové buňce přiřadí rastrový tiskový bod s takovou plochou (např. černou), která odpovídá tónové hodnotě digitálního obrazu. Vyjádření tónové hodnoty je definováno pomocí procentuálního podílu vyplněné plochy rastrové buňky. Větší rastrové body budou odpovídat tmavším ploškám, menší rastrové body ploškám světlejším. Sousední rastrové body jsou pak při vjemu lidským okem spojeny do souvislé plochy a člověk bude takto vytvořenou plochu vnímat jako šedou.

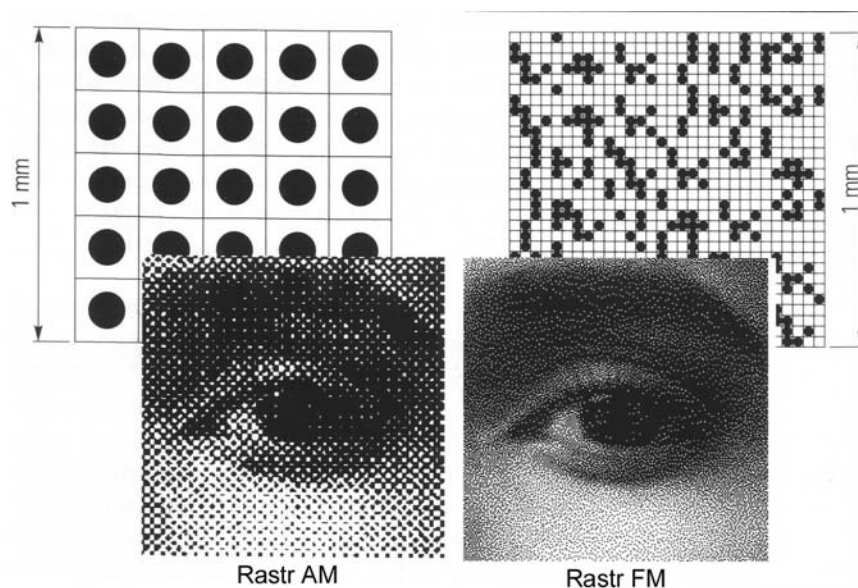
Důležitým parametrem autotypie je hustota rastru, která je definována počtem tisknutých rastrových bodů na jednotku délky. S rostoucí hustotou rastru se vykreslí více detailů, rastr je jemnější.

V praxi se používají se různé tvary rastrových tiskových bodů (např. kruhový, čtvercový, kosočtvercový, eliptický) umístěných v různých pozicích rastrové buňky. Důležité je též natočení rastru o 45° při autotypické reprodukci černobílých předloh z důvodů lepšího vjemu lidským okem.

Pomocí autotypie je možné pořizovat i barevné reprodukce např. postupným tiskem čtyř různých barev (azurová, purpurová, žlutá, černá - CMYK). Při soutisku překrývajících se rastrových vzorů mohou v tomto případě vznikat sekundární obrazce (moaré) v důsledku optických interferenčních jevů mezi jednotlivými periodickými soustavami výtažků. Aby se minimalizovala interference překrývajících se rastrů provádí se natočení výtažků: černá o 45° vůči kolmici, purpurová o 75° , azurová o 15° nebo o 105° a žlutá o 0° nebo o 90° .

V praxi se používají dva základní druhy rastrů – amplitudový a frekvenční (*obr. 1*). Při amplitudovém rastrování (AM) se dosahuje různého plošného pokrytí pro jednotlivé tónové hodnoty různou velikostí rastrových bodů. Tónové hodnoty stochastického (frekvenčně modulovaného) rastru (FM) vznikají náhodným rozložením malých bodů stejné velikosti, přičemž požadované krytí se vytváří různým počtem bodů. Dochází tedy k rozbití rastrového

bodů amplitudového rastru na malé body, které se náhodně rozmístí. Při stochastickém rastrování nevzniká problém s moaré i bez natáčení rastrů díky náhodnému rozmístění rastrových bodů v jednotlivých výtažcích. Malé rastrové body zlepšují reprodukci detailů a celkovou brilantnost reprodukce.



Obr.1 Struktura rastru a rastrového bodu při klasickém a stochastickém rastrování [1]

2. Metody obrazové analýzy

Obrazová analýza kvantitativně hodnotí vlastnosti obrazu. Její podstatou je jeho digitalizace a zpracování vzniklého souboru v počítači. Nejprve se musí obraz zaznamenat (digitálním fotoaparátem, kamerou, skenerem), převést obrazový signál na digitální data a nakonec zpracovat pomocí programového vybavení určeného k obrazové analýze. Obraz je možné hodnotit jako celek nebo jen vybrané části. Nepracuje se přitom s jednotlivými pixely, ale s celým obrázkem najednou. Využívá se přitom lineárních (integrálních) transformací dat, kterým se přiřazují pomocí definované báze jiná data (tzv. spektrum). V těchto spektrech jednotlivé pixely zvýrazňují různé vlastnosti (definované bázi) celého původního obrazu. Pokud je transformace ortogonální (ortonormální), lze pomocí inverzní báze dat získat lineární (integrální) transformaci původní data. Bázi mohou tvořit diskrétní periodické funkce (např. harmonické) nebo diskrétní prostorově omezené funkce (tzv. wavelety). Musí být zváženo, která transformace je na vyhodnocení dané struktury vhodnější. Rozhodující důvody mohou být například následující:

- obraz lze ve spektrální oblasti jednodušeji vyhodnotit,
- ve spektrální oblasti lze provést některé operace (např. filtraci) snadněji než v originální oblasti,

- ze spektrální oblasti lze snadněji vyloučit redundantní složky,
- spektrální reprezentace obrazů může být odolnější při přenosu než reprezentace originální.

Mezi základní metody obrazové analýzy patří harmonická a waveletová analýza pomocí nichž lze určit fraktální parametry struktur. Podkladem pro fraktální analýzu mohou být obrazové struktury získané pomocí měřicí aparatury popsané v [2] a korigované na časově závislý teplotní šum a nerovnoměrné osvětlení vzorku.

2.1 Zpracování obrazu pomocí programu HarFA 5.0

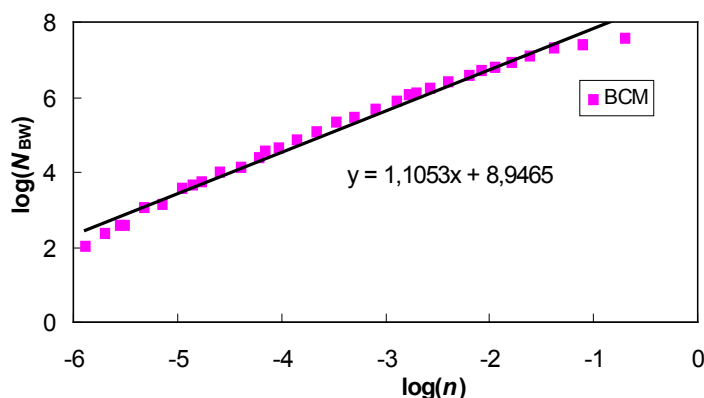
V práci byl k vyhodnocení získaných obrázků používán počítačový program HarFA (Harmonic and Fractal Image Analyser), který byl vyvinut na Fakultě chemické VUT v Brně [3]. Tento program řeší problémy obrazové (fraktální) analýzy prostřednictvím harmonické a waveletové transformace. Program umožňuje provádět korekce obrazu jako je např. odstranění teplotního šumu, nehomogenity osvětlení nebo gamma korekci. Pomocí něho je také možné aplikovat na obrazové struktury filtry (derivační, integrační, integračně derivační a hranové) a vytvářet barevné separace obrazu (RGB, HLS, HSB).

2.2 Harmonická analýza v programu HarFA 5.0

Harmonická analýza zahrnuje 1D a 2D Fourierovu transformaci obrazové informace. Je realizována pomocí algoritmu rychlé Cooley – Tukey diskretní Fourierovy transformace (DFFT). Algoritmus pracuje na poznatku, že DFT posloupnosti délky N (nebo $N \times N$ v 2D procesu) může být vypočtena jako suma dvou DFT posloupností $N/2$. Algoritmus FFT je nejefektivnější, je-li vstupní posloupnost délky $N = 2^q$, kde q je celé číslo větší než 1. Proto velikosti analyzované plochy jsou voleny 32, 64, 128, 256, 512, 1024 nebo 2048 pixelů. Při vlastní analýze může uživatel určit způsob jakým se má analýza provést. Nejprve musí určit jaká část barevné informace se má analyzovat. Program umožňuje pracovat s intenzitou (volba *Intensity* – odstíny šedé), odstínem (volba *Hue*), jasem (volba *Brightness*) nebo zpracovávat přímo některou z barevných složek prostoru RGB (volby *Red*, *Green* nebo *Blue*). Fourierova transformace je presentována jako modulační přenosová funkce (volba *MTF*), fázová přenosová funkce (volba *PTF*), reálná nebo imaginární část spektra (volby *Re* a *Im*). Harmonická analýza může být provedena buď v 1D nebo 2D prostoru a výsledky mohou být zobrazeny pomocí 1D, 2D a 3D (jen u 2D FFT) grafů. Z harmonické analýzy vychází také nová metoda výpočtu fraktálních parametrů obrazových struktur (fraktální dimenze a fraktální míry).

2.3 Fraktální analýza v programu HarFA 5.0

Pomocí fraktální analýzy se stanovuje fraktální dimenze a fraktální míra obrázku. Tyto parametry se získají použitím variací *box counting metody* (metody počítání čtverců). Pomocí



Obr. 2 Zjištění fraktální dimenze a míry pomocí box counting metody

kteřá má být prahována jako černá a všechny ostatní pixely se stanou bílé). Pro jeden obrázek mohou být získány různé fraktální dimenze a míry.

Pokud je analyzován fraktál, u kterého není známo, která část barevného spektra má být hodnocena, je možné použít nástroj *Fractal Analysis – Range*. Získá se fraktální dimenze obrazu v celé oblasti maskovacích podmínek (fraktální dimenze se stanoví automaticky pro všechny možné vytvořené fraktály vybraného kanálu). Získá se fraktální spektrum, kde fraktální dimenze je funkcí maskovací hodnoty barevné informace (např. fraktální dimenze je funkcí hodnoty intenzity).

Box counting metoda je založena na pokládání čtvercové sítě na černobílý obrázek a zjištění počtu černých N_B , bílých N_W a černobílých čtverců N_{BW} . Ze závislosti počtu černých N_B , bílých N_W a černobílých N_{BW} čtverců na jejich velikosti $n = 1/\varepsilon$ lze určit fraktální dimenze černé plochy, bílé plochy a jejich rozhraní (D_{BBW} , D_{WBW} , D_{BW}). Pro výpočet dimenzí D_{BBW} a D_{WBW} je použit součet černých a černobílých ($N_{BBW} = N_B + N_{BW}$), resp. bílých a černobílých čtverců ($N_{WBW} = N_W + N_{BW}$). Tyto závislosti lze vyjádřit vztahem

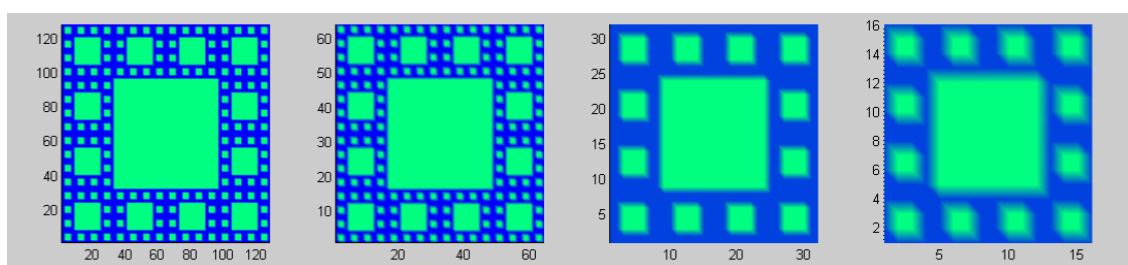
$$N(\varepsilon) = K \cdot \varepsilon^{-D}, \text{ resp. } N(n) = K \cdot n^D \quad (1)$$

kde K jsou tzv. fraktální míry a D fraktální dimenze jednotlivých struktur. Po vynesení závislosti logaritmu počtu čtverců ($\ln N$) na reciproké hodnotě logaritmu velikosti čtverců sítě ($\ln 1/\varepsilon$) se získá přímková závislost, kde směrnice udává fraktální dimenzi D a úsek na ose y fraktální míru K .

této metody lze zkoumat černobílé fraktální struktury, které vznikají procesem zvaným *thresholding*. *Thresholding* transformuje barevné objekty obrázku na černobílé. Pomocí kritérií, které mohou být měněny, je možné z původního obrázku získat mnoho různých fraktálních struktur (např. změněním minimální hodnoty odstínu,

2.4 Waveletová analýza v programu HarFA 5.0

Waveletová analýza vychází z 1D a 2D Haarovy transformace. V programu lze využít především k určení fraktálních parametrů čtvercových výřezů obrázků o velikosti $N = 2^q$, kde q je celé číslo větší než 1 (např. 32, 64, 128, 256, 512, 1024 nebo 2048 pixelů). Z Haarovy transformace vychází i *box counting metoda* (metoda počítáním čtverců) popsaná v předcházející kapitole. Pro určení fraktálních parametrů analyzovaných struktur jsou využívány obrazy získané zpětnou transformací Haarova spektra původního obrázku, na která jsou aplikovány dolní propusti o různé velikosti, viz obr. 3. Ve skutečnosti lze realizovat filtrované detaily sčítáním hodnot čtveřice sousedních pixelů, případně normovaných na bitovou hloubku obrázku.



Obr. 3 Sierpinského koberec a jeho obrazy po odfiltrování detailů [4]

3. Stanovení kvality tiskových bodů

V příspěvku jsou uvedeny výsledky hodnocení kvality modelových a reálných tiskových bodů. U modelových tiskových bodů jsme předpokládali homogenně pokrytou plochu barvou ($D_{BBW} = 2$) a její geometrické okraje ($D_{BW} = 1$). U reálných struktur docházelo ke změnám kvality povrchů i okrajů tiskových bodů (měly fraktální charakter) a tedy i ke změnám obou dimenzí ($D_{BBW} < 2$, $D_{BW} > 1$). Velikost pokládané sítě na obrázek byla 1024×1024 pixelů. Při hodnocení se určovalo jakou fraktální strukturu tiskové body vykazují a jak ovlivňuje různá distribuce tiskových bodů výsledky analýzy. Výsledky byly odečítány z grafu závislosti poměru poloměrů r_L/r_S určených z plochy tiskových bodů a délky jejich okrajů na logaritmu velikosti sítě $\ln(1/\varepsilon)$.

Z počtu čtverců pokrývajících černou plochu N_{BBW} nebo rozhraní N_{BW} kruhových tiskových bodů lze pomocí vztahů

$$S = \varepsilon^2 N_{BBW} = x\pi r_S^2, \quad L = \varepsilon N_{BW} = 2x\pi r_L, \quad (2)$$

kde x je počet analyzovaných tiskových bodů, určit poloměry r_S a r_L a také jejich poměr r_L/r_S

$$r_S = \sqrt{\frac{\varepsilon^2 N_{BBW}}{x\pi}}, \quad r_L = \frac{\varepsilon N_{BW}}{2x\pi}, \quad \frac{r_L}{r_S} = \frac{N_{BW}}{2\sqrt{\pi x N_{BBW}}}. \quad (3)$$

Poměr je závislý na velikosti měřítka použité sítě. Pro ideální případ jako jsou kruhové tiskové body by měl být roven jedné. Veškeré odchylky od této hodnoty vykazují informaci o struktuře a kvalitě analyzovaných tiskových bodů.

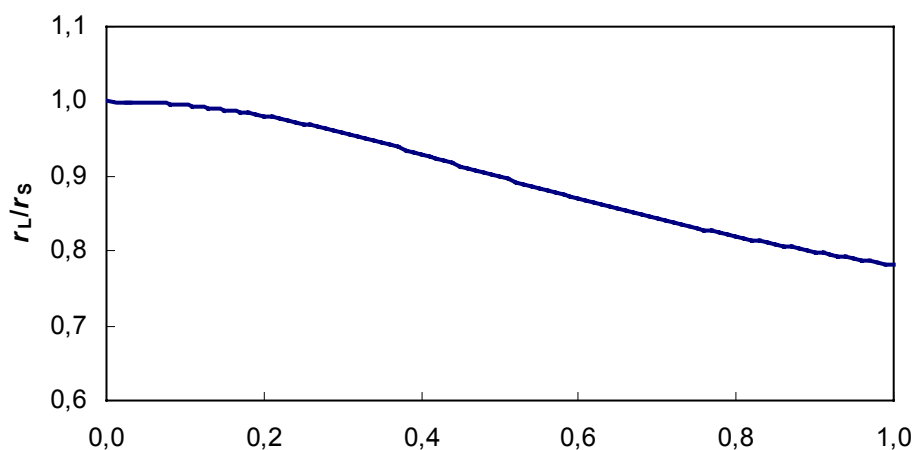
Když budou mít tiskové body jiný tvar než kruhový, projeví se to opět odchylkou mezi oběma poloměry. Použitím korekčního koeficientu $\sqrt{\pi/[n \operatorname{tg}(\pi/n)]}$ lze tuto odchylku eliminovat. Pro kružnici opsanou n -úhelníku např. platí

$$\frac{r_L}{r_S} = \frac{N_{\text{BW}}}{2\sqrt{n \operatorname{tg}(\pi/n)} \times N_{\text{BBW}}} . \quad (4)$$

V případě, že soubor analyzovaných tiskových bodů bude mít různé velikosti, definované např. normálním rozdělením $h(r)$, bude poměr poloměrů r_L/r_S vždy menší jak jedna. Poloměry r_L a r_S vypočtené pomocí fraktální analýzy z plochy a obvodu souboru tiskových bodů budou záviset na směrodatné odchylce rozdělení σ . Pomocí vztahů

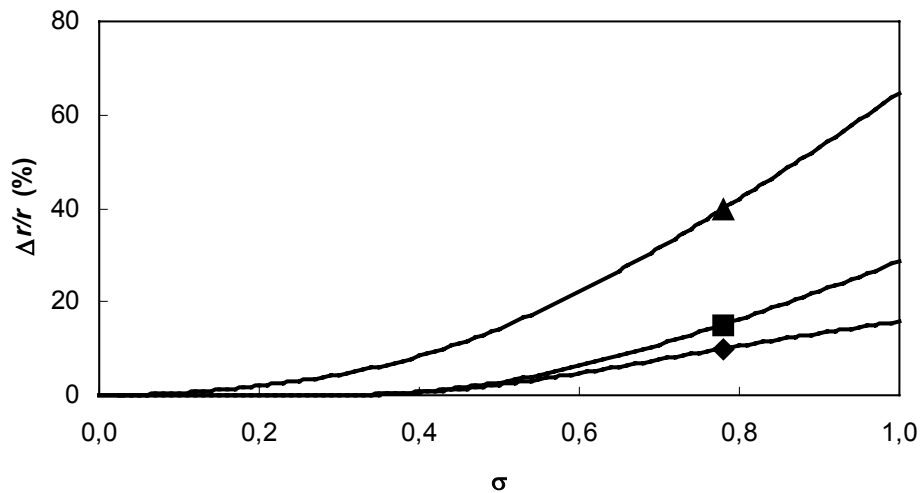
$$r_L = \frac{\int_0^{\infty} r h(r) dr}{\int_0^{\infty} h(r) dr} , \quad r_S^2 = \frac{\int_0^{\infty} r^2 h(r) dr}{\int_0^{\infty} h(r) dr} , \quad \frac{r_L}{r_S} = \frac{\int_0^{\infty} r h(r) dr}{\sqrt{\int_0^{\infty} r^2 h(r) dr}} \quad (5)$$

Lze vypočítat kalibrační křivky pomocí nichž je možné z dat získaných pomocí fraktální analýzy zpětně rekonstruovat parametry rozdělení. Tyto kalibrační křivky pro normální rozdělení se střední hodnotou $r_{\text{str}} = 1$ a směrodatnou odchylkou $\sigma \in \langle 0,1 \rangle$ jsou uvedeny na obr. 4 a obr. 5. Pomocí kalibrační křivky na obr. 4 lze z hodnot poměru poloměrů r_L/r_S zjištěných pomocí fraktální analýzy určit normovanou směrodatnou odchylku σ a z ní potom



Obr. 4 Kalibrační křivka poměru poloměrů zjištěného z plochy a obvodu kruhových tiskových bodů na velikosti směrodatné odchylky pro normálního rozdělení

pomocí kalibrační křivky na *obr. 5* koeficient pro výpočet středního poloměru r_{str} z poloměrů r_L a r_S zjištěných fraktální analýzou. Směrodatnou odchylku je pak nutno renormalizovat k této hodnotě. Odchylka chyby střední hodnoty od nuly (\blacklozenge , *obr. 5*) je způsobena vymizením bodů pro větší směrodatné odchylky. Je tedy kritériem pro použitelnost daného rozdělení k popisu distribuce tiskových bodů podle velikosti.



Obr. 5 Závislost odchylky vypočtených poloměrů r_L (\blacktriangle), r_S (\blacksquare) a r_{str} (\blacklozenge) od jejich střední hodnoty na velikosti směrodatné odchylky normálního rozdělení

Kromě analýzy poměru poloměrů r_L/r_S tiskových bodů lze pomocí fraktální analýzy určit plošné krytí obrázku (výřezu obrázku) tiskovými body

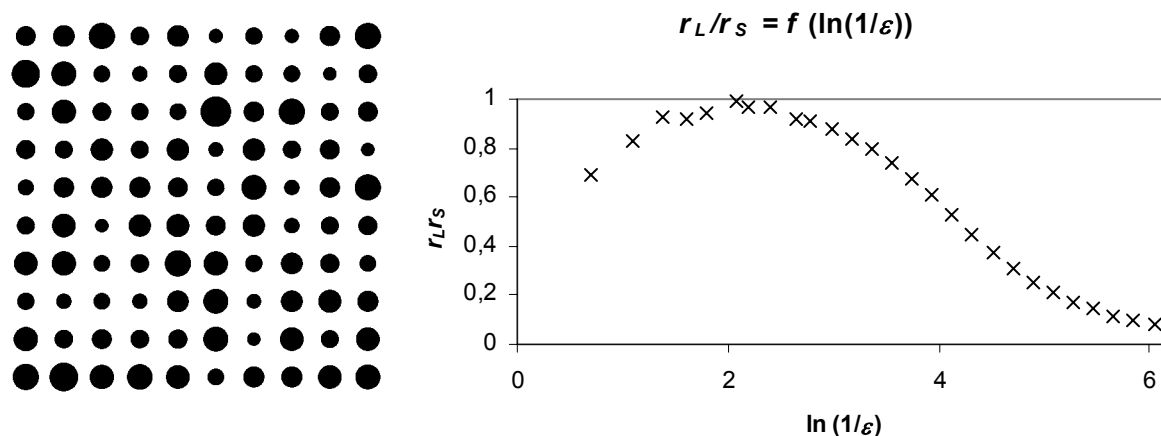
$$\frac{S}{S_{\max}} = \frac{K_{BBW} - K_{BW} / 2}{K_{BBW} + K_{WBW} - K_{BW}} \quad (6)$$

4. Výsledky obrazové analýzy

4.1 Stanovení středního poloměru a distribuce velikosti tiskových bodů

Kalibrační křivky (*obr. 4* a *obr. 5*) byly použity k určení parametrů rozdělení tiskových bodů (střední hodnoty a směrodatné odchylky normálního rozdělení) podle jejich velikosti. Byly vytvořeny modelové struktury se středním poloměrem 35 pixelů a počtem tiskových bodů v obrázku 100. Směrodatná odchylka rozdělení velikostí poloměrů byla měněna od 0 do 16 pixelů (po normování pro $\sigma < 0,4$ na *obr. 5*). Vyšší odchylky způsobovaly slévání bodů nebo jejich vymizení z rastru, což se projevovalo chybným vyhodnocením pomocí programu HarFA a tedy i chybnou interpretací výsledků. Pomocí fraktální analýzy byly získány hodnoty počtu černých N_B , bílých N_W a černobílých N_{BW} bodů pro různé velikosti sítě ε . Z nich byla pak vypočtena závislost poměru r_L/r_S na velikosti sítě. K nejlepšímu ohraničení tiskových

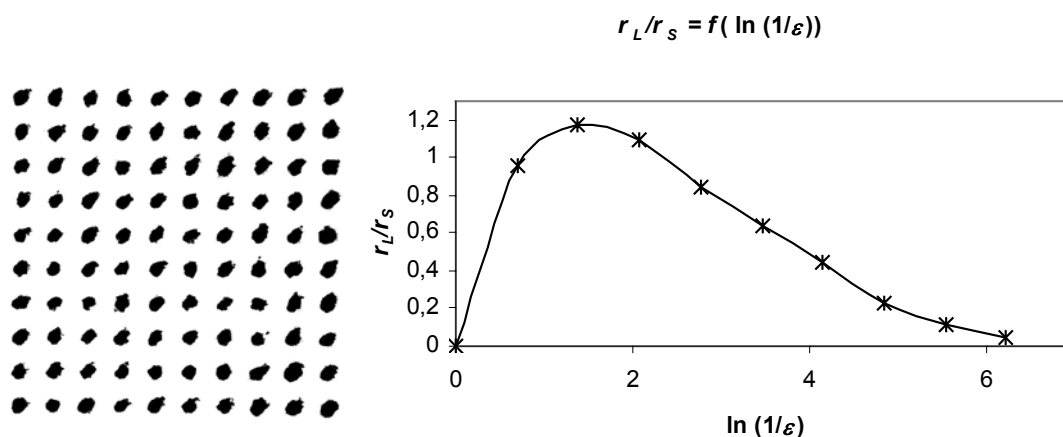
bodů dochází tehdy, když poměr r_L/r_S nabývá maximální hodnoty (viz obr. 6). Pro kruhové tiskové body stejné velikosti je tento poměr roven jedné (2), se zvyšující se směrodatnou odchylkou se tento poměr snižuje.



Obr. 6 Vyhodnocení modelové struktury se středním poloměrem 35 pixelů a směrodatnou odchylkou o velikosti 7 pixelů

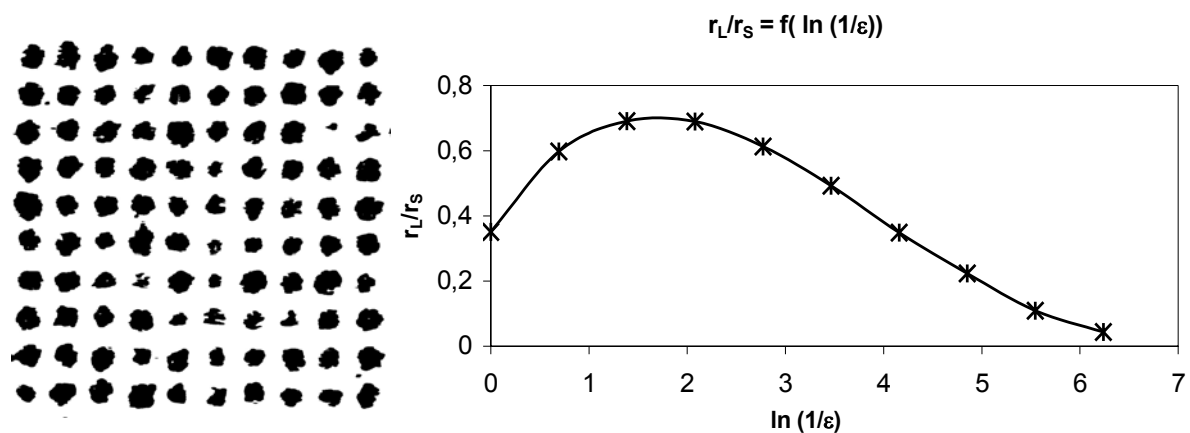
Programem HarFA byly vyhodnocovány náhodné modelové tiskové struktury i zaznamenané obrazy reálných tiskových struktur (počet tiskových bodů byl volen vždy 100). Z maximální hodnoty poměru poloměrů tiskových bodů r_L/r_S zjištěného pomocí fraktální analýzy (programem HarFA) lze pomocí kalibrační křivky poměru poloměrů (obr. 4) určit směrodatnou odchylku jejich rozdělení podle velikosti (např. pro poměr $r_L/r_S = 0,98$ je $\sigma \cong 0,2$ tj, asi 7 pixelů) a jeho střední poloměr (pro $\sigma \cong 0,2$ a vypočtený poloměr $r = 37$ pixelů je korigovaný poloměr asi o 2 % menší, tj. přibližně 36 pixelů).

Vyhodnocování reálných tiskových bodů bylo prováděno z pěti měření, z nichž byly výsledky zprůměrnovány. Z těchto výsledků byl pomocí vztahu (3) vypočten poměr r_L/r_S . Jak



Obr. 7 Vyhodnocení reálné tiskové struktury kruhových tiskových bodů stejného poloměru

je zřejmé z *obr. 7* je jeho hodnota větší než jedna ($r_L/r_S \approx 1,2$), nelze proto pomocí kalibračních křivek určit parametry rozdělení tiskových bodů. Poměr r_L/r_S v tomto případě vypovídá o tom do jaké míry má daná tisková struktura fraktální charakter. Je samozřejmé, že u modelových tiskových bodů nebyl tento trend zaznamenán, neboť vykazují jen rozptýl velikostí, ale nikoli fraktální strukturu. U reálných tiskových bodů na celkový poměr r_L/r_S působí vliv fraktální struktury, která posouvá hodnoty nahoru r_L/r_S (teoreticky k nekonečnu), a vliv distribuce velikostí tiskových bodů, která je posouvá naopak dolů. Poměr vychází nad (pod) číslo jedna podle převládajícího vlivu. Proto na výsledky nemohou být obecně aplikovány kalibrační křivky uvedené na *obr. 4* a *obr. 5*.



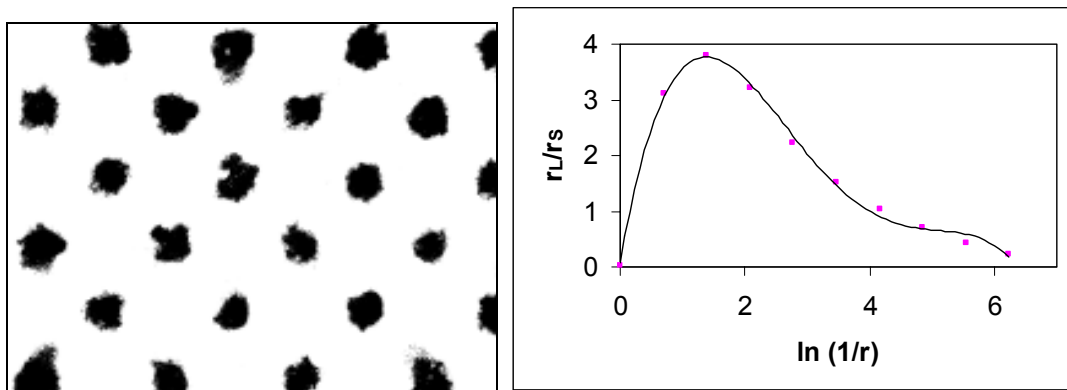
Obr. 8 Vyhodnocení reálné tiskové struktury kruhových tiskových bodů nestejného poloměru

Na tiskových bodech na *obr. 8* je zřetelně vidět rozptýl velikostí a zároveň nekvalitní tisk. Analýzou bylo zjištěno, že poměr r_L/r_S vyšel pod číslo jedna, převládá tedy vliv distribuce velikostí bodů. Z kalibračních křivek je zřejmé, že pro poměr $r_L/r_S \approx 0,7$ je směrodatná odchylka větší než jedna a vyhodnocení není možné z daných kalibračních křivek provést.

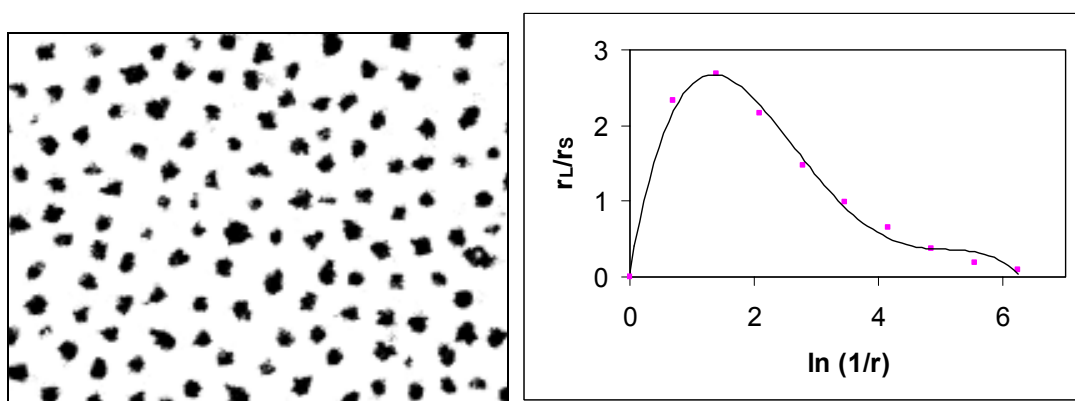
4.2 Stanovení parametrů barevného AM a FM tisku

V další části je provedena analýza barevných rastrových obrazů s klasickým (amplitudovým) a stochastickým (frekvenčním) rastrem. Pomocí programu HarFA byla provedena separace barevných složek CMY. Od bílého obrazu (white – W) byly pomocí funkce *Substraction of Images* odečteny postupně barevné složky (červená – R, zelená – G, modrá – B). Získané obrazy byly naprahovány na nejvhodnější úroveň a analyzovány postupem v předcházejících kapitolách. Analyzované obrazy stejného rastrového tisku realizovaného klasickou (AM) a stochastickou (FM) modulací jsou uvedeny v prvním sloupci *tabulky 1*.

Na *obr. 9* a *obr. 10* jsou uvedeny výsledky obrazové analýzy pro žlutou složku realizovanou oběma tiskovými technikami. Z grafů vpravo je zřejmé, že naprahované obrazy se vyznačují silnou fraktální strukturou (poměr r_L/r_S je velmi vysoký). Ze srovnání grafů vpravo vyplývá, že amplitudový rastr vykazuje výraznější fraktální strukturu.





Obr. 9 Vyhodnocení žluté složky klasického rastrového tisku (AM) – 23 tiskových bodů



Obr. 10 Vyhodnocení žluté složky stochastického rastrového tisku (FM)- 129 tiskových bodů

Souhrnné výsledky obrazové analýzy všech barevných separací a to jak amplitudového tak i frekvenčního rastrového tisku jsou uvedeny v *tabulce 1*. Je z ní zřejmé, že obě metody dávají srovnatelné výsledky. Pokrytí barevnými složkami AM i FM rastrem je srovnatelné, průměrná velikost tiskových bodů FM rastru je pro všechny barevné složky přibližně stejná, pro AM rastr odpovídá stejné pokrytí stejně velkým tiskovým bodům. Větší odchylky pro žlutou barevnou složku jsou zřejmě způsobeny žlutým odstínem papíru.

Tabulka 1 Vypočtené hodnoty

Vzorek	Typ rastru	Separace CMY	Pokrytí barvou (%)	Počet tiskových bodů	Průměrná velikost bodu (pixelů)	r_L/r_S (max.)
	AM	C	1,98	21	68,18	1,76
		M	14,14	23	174,11	1,27
		Y	14,16	23	174,18	3,79
	FM	C	1,99	21	68,27	1,14
		M	11,23	100	74,39	1,31
		Y	14,40	129	74,17	2,68

5. Závěr

V příspěvku je popsán postup analýzy obrazů tiskových bodů pomocí program HarFA. Pozornost je soustředěna především na studium fraktálního charakteru jejich rozhraní a ploch a na studium jejich rozdělení podle velikostí. Analyzovány byly černobílé i barevné rastrové tisky a to jak frekvenčně tak i amplitudově modulované. Z analýzy výsledků můžeme učinit následující závěry:

- Popsanou metodu lze využít jak k hodnocení kvality tisku rastrových tiskových bodů, tak i jejich rozdělení podle velikostí. Oba jevy ovlivňují kvalitu tisku současně, a proto je někdy složitější oba vlivy odlišit.
- Lepší kvalitu reprodukce detailů při barevném tisku zaručuje FM rastr. Počet tiskových bodů je (při stejném krytí) oproti AM rastru u některých separacích až šestinásobný.

6. Literatura

- [1] Panák J., Čeppan M., Dvonka V., Karpinský L., Kordoš P., Mikula M., Jakucewicz S.: *Polygrafické minimum*, TypoSet, Bratislava, 2000, ISBN 80-967811-2-X
- [2] Zmeškal O., Julínek M., Bžatek T.: *Obrazová analýza povrchu potiskovaných materiálů a potištěných ploch (The Image Analysis of print materials and printed surfaces)*, V. Polygraphic Conference, University of Pardubice, September 12. - 13., 2003, ISBN 80-7194-372-X
- [3] Zmeškal O., Bžatek T., Nežádal M.: *HarFA – Harmonic and Fractal Image Analyser*, version HarFA 5.0 (© 2004) , www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci
- [4] Zmeškal O., Nežádal M., Komendová B., Julínek M., Bžatek T.: *Fraktální analýza obrazů tiskových struktur (Fractal analysis of printed structure images)*, Conference of Wood, Pulp and Paper. 1st ed. FCHPT STU Bratislava, 2003. p. 57 - 59 ISBN 80-901250-8-5
- [5] Zmeškal O., Nežádal M., Sedlák O.: *Využití fraktální analýzy při hodnocení kvality tisku (The usage of fractal analysis for evaluating the quality of print)*, IV. Polygraphic Conference, University of Pardubice, September 12. - 13., 2001, ISBN 80-7194-372-X
- [6] Zmeškal O., Nežádal M., Sedlák O.: *Metody obrazové analýzy dat (Methods of Image Analysis)*, *Digital Imaging in Biology and Medicine*, Czech Academy of Science České Budějovice: May 13., 2002, pp. 34 - 43, ISBN 80-901250-8-5
- [7] Zmeškal O., Veselý M., Nežádal M., Buchníček M.: *Fractal Analysis of Image Structures*, conf. Digital Imaging in Biology and Medicine, Czech Academy of Science, České Budějovice, May 15, 2001, ISBN 80-901-2506-9