

Harmonická analýza tiskových struktur

M. Nežádal, O. Zmeškal, M. Buchníček, L. Lapčík, V. Dvonka*

Ústav fyzikální a spotřební chemie, FCH VUT Brno, Purkyňova 118, 612 00 Brno

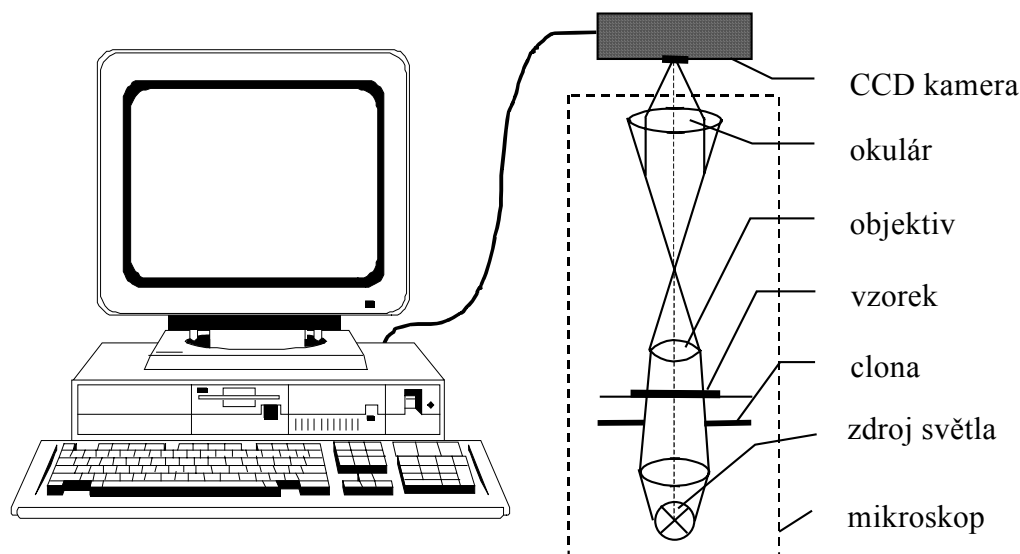
*Katedra polygrafie a aplikované fotochemie, CHTF STU, Radlinského 9, 812 37 Bratislava

V polygrafické výrobě se stále ve větší míře zavádějí nové metody objektivní kontroly reprodukčního cyklu. Hodnotit kvalitu tiskoviny je však téměř nemožné, protože kromě měřitelných fyzikálních veličin na ni má vliv i estetické cítění, které je u každého člověka individuální. Kvalita tisku je určena kvalitou použitých materiálů (např. papíru, barvy), ale i vhodností jejich vzájemné kombinace a způsobem tisku.

Jevy související s difúzním rozptylem světla papíru lze vyhodnocovat pomocí metod harmonické analýzy. Na rozhraní potištěné a nepotištěné plochy dochází totiž k jeho absorpci rubovou stranou barvy, což způsobuje, že vytištěná autotypická plocha vykazuje nižší jas a vyšší optickou hustotu, než odpovídá skutečnému geometrickému krytí. Tento jev se označuje jako optický nárůst tiskového bodu (optical dot gain). Pro kvalitní tiskoviny je třeba zajistit, aby toto rozšíření velikosti bodu bylo co nejmenší.

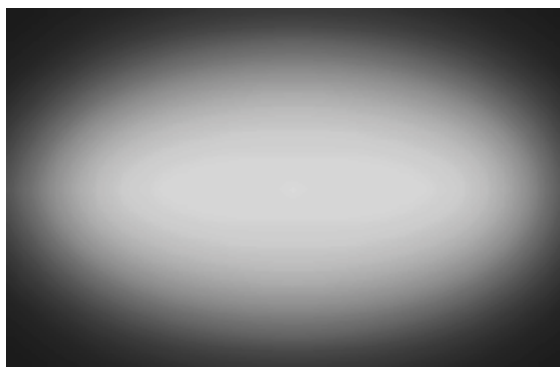
1. Podstata metody

Nárůst tiskového bodu, resp. optické zvětšení tiskové hrany lze poměrně jednoduše hodnotit metodami založenými na harmonické analýze digitalizovaného obrazu povrchu potištěné plochy. K získání obrazu lze použít měřící aparaturu (*obr. 1*) sestávající z PC, CCD kamery a optického mikroskopu.



Obr. 1. Schéma použité měřící aparatury

V našem případě byla použita kamera, která produkovala obrazy s rozlišením 751×488 pixelu, což na snímané ploše $8,67 \times 6,59$ mm reprezentuje pixely o velikosti $11,5 \times 13,5$ μm . Barevná informace je uložena ve tvaru RGB, 8 bitů (256 úrovní barev) pro každý barevný kanál. Nepříjemnou vlastností této kamery je časově závislý teplotní šum a nerovnoměrné osvětlení vzorku (*obr. 2*), které je třeba kompenzovat [1], [2]



Obr. 2. Nehomogenita osvětlení vzorku

Pro naše potřeby byla data převedena na odstíny šedé (gray level) vyjadřující intenzitu jednotlivých barevných složek (pomocí vztahu: $I = 0,299 R + 0,578 G + 0,114 B$) a ta podrobena analýze. Zájem byl soustředěn na jevy, k nimž dochází na rozhraní barva – papír. Vlivem rozptylu světla v papíru se z původně ideální hrany

černá - bílá (tisk – papír) (*obr. 3a*) stává tónový přechod (*obr. 3b*). Výsledná funkce se označuje jako funkce rozšíření hrany (edge spread function – ESF [3]). Míru rozptylu světla v papíru (v našem případě hranový, tzv. laterální rozptyl) budeme vyhodnocovat pomocí stanovení modulační přenosové funkce (MTF) z funkce rozšíření hrany (ESF)

$$MTF(\omega) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x) \cdot e^{-i\omega x} dx \right|. \quad (1)$$

Tuto metodu nelze použít přímo, protože hladký průběh funkce rozšíření hrany je porušen vlivem povrchové struktury papíru a nerovnoměrným krytím barvy (*obr. 3c*). Proto je třeba použít vhodný vyhlazovací filtr, který odstraní šum a přitom výrazně nezmění tvar modulační přenosové funkce.

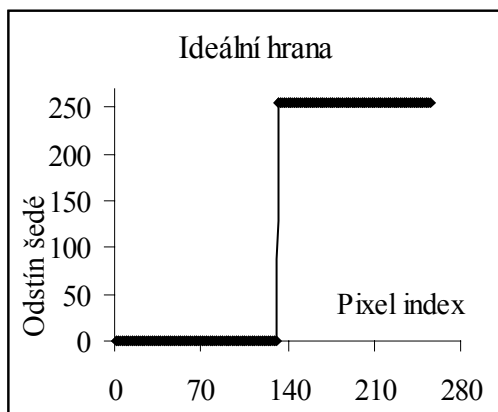
Někdy se k vyhodnocení využívá funkce rozšíření čáry (line spread function – LSF), která vznikne derivací funkce rozšíření hrany

$$LSF(x) = \frac{d[ESF(x)]}{dx}. \quad (2)$$

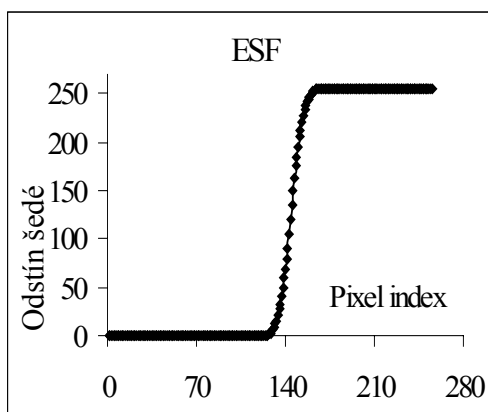
Z *obr. 3d* je patrné, že při jejím výpočtu dochází ke zvýraznění vysokofrekvenčního šumu

$$MTF^*(\omega) = \omega \cdot MTF(\omega) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x) \cdot e^{-i\omega x} dx \right|. \quad (3)$$

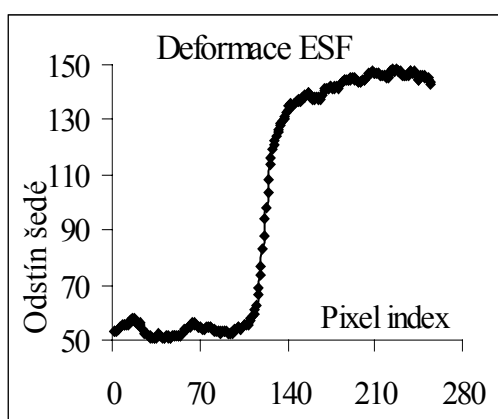
Není-li obraz dostatečně vyhlazen, může dokonce toto zvýraznění docela „utopit“ původní signál.



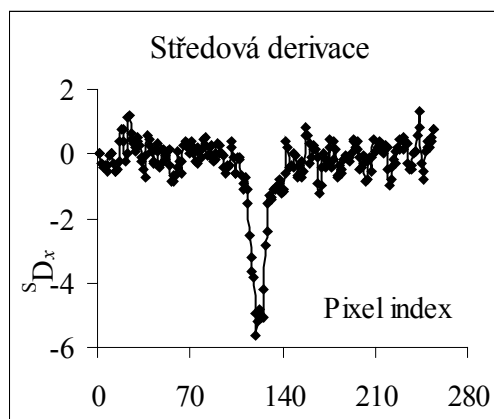
Obr. 3a: Ideální tisková hrana



Obr. 3b: Tónový přechod - ESF



Obr. 3c: Deformace ESF vlivem povrchové struktury papíru

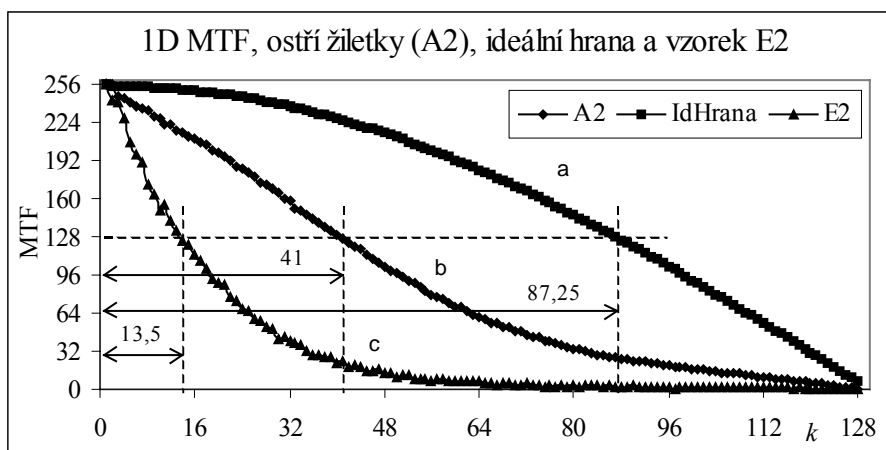


Obr. 3d: Derivace hranové funkce - LSF

2. 1D Fourierova analýza

V literatuře [3], [4], [5] se jako kritérium kvality tisku hodnotí šířka modulační přenosové funkce (MTF*) funkce rozšíření čáry (LSF) na 50% maxima. Čím je MTF* širší, tím méně je ideální hrana deformována vlivem rozptylu světla v papíru na tónový přechod. K výpočtu byla použita diskrétní rychlá Fourierova transformace (FFT), při které bylo analyzováno 256 hodnot z naměřených dat. Za předpokladu, že hrana probíhá na obraze horizontálně a testované pole má velikost 256×256 pixelů, můžeme odfiltrovat šum průměrováním všech sloupců v testovaném poli. Data byla před Fourierovou transformací podrobena působení mediánového filtru (který zachovává tvar přenosové funkce, ale vyhladí ji a odfiltruje vysoké frekvence), derivována a normalizována tak, aby spektra dosahovala hodnoty v intervalu 0 – 255.

Na následujícím obrázku (obr. 4) jsou zobrazeny MTF ideální hrany (ostrá hrana přechod černá – bílá), MTF vzorku A2 (ostří žiletky nasnímané použitou optickou soustavou) a MTF vzorku E2 (natíraný lesklý papír potištěný ofsetem, oblast hrany).

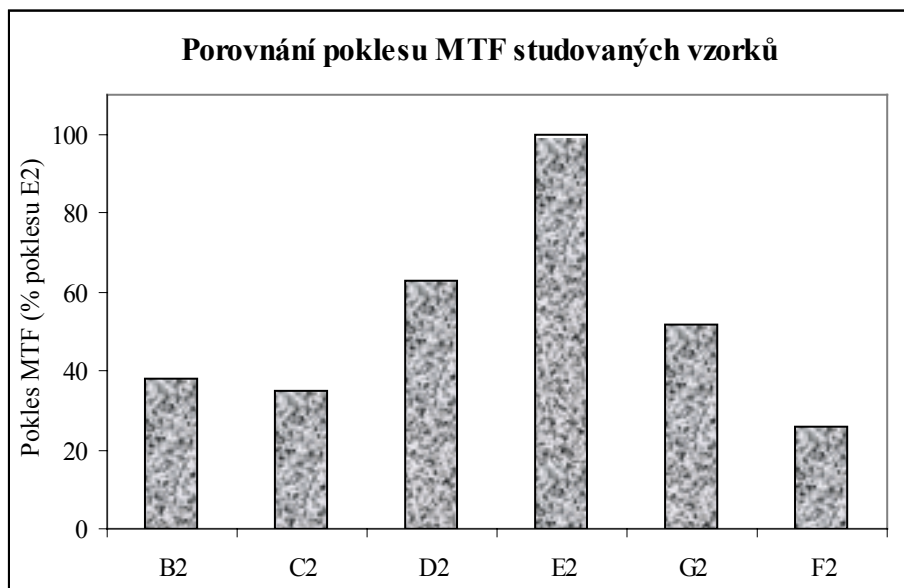


Obr. 4. a) MTF ideální hrany, b) MTF oblasti hrany žiletky, c) MTF hrany natřeného lesklého papíru potištěného ofsetem, určení poklesu MTF na 50% maxima.

Provedená měření jsou shrnuta v následující tabulce a grafu (obr.5):

Vzorek	Délka poklesu MTF	Procenta poklesu vzorku E2
A2	41,00	-
B2	5,10	37,8
C2	4,75	35,2
D2	8,50	63,0
E2	13,50	100,0
F2	3,50	25,9
G2	7,00	51,9

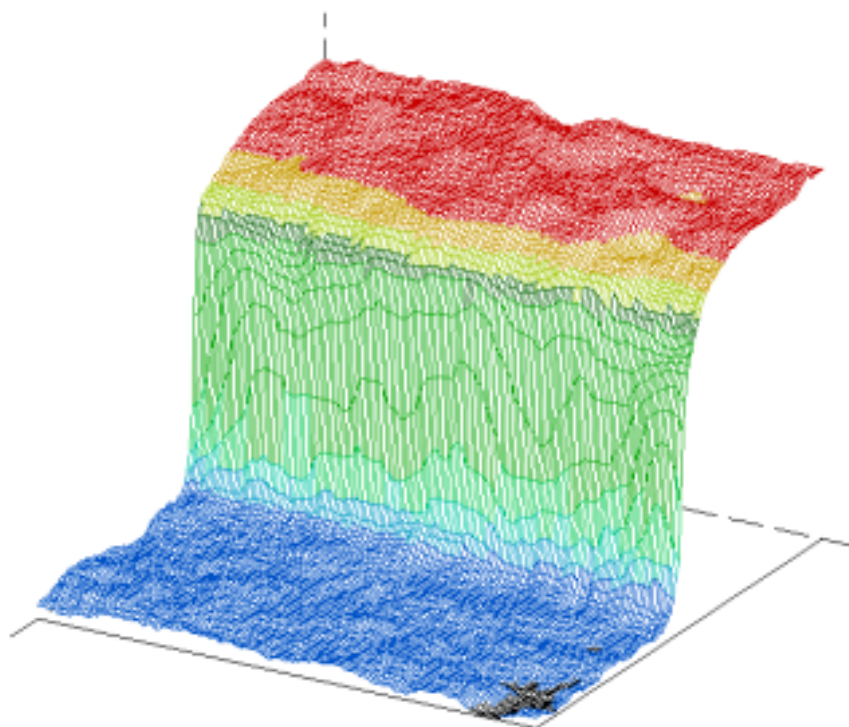
Pokud přijmeme jako kritérium kvality tisku pokles MTF na 50%, pak nejlepším vzorkem byl vzorek natíraného lesklého papíru, potištěný ofsetem (E2). Tomuto vzorku byl přiřazena referenční úroveň 100% kvality tisku. 63,0% kvality tisku dosáhl vzorek matně natíraného papíru, potištěného taktéž ofsetovým způsobem tisku (D2). Třetí z vzorků ofsetového tisku – vzorek G2 (ofsetový papír) dosáhl 51,9% kvality vzorku E2. Podstatně horší kvalitu tisku vykazují vzorky vytištěné digitální metodikou tisku – na matně natíraném papíru (B2) 37,8% kvality tisku vzorku E2 a na ofsetovém papíru (C2) 35,2% kvality vzorku E2. Vůbec nejhorším vzorkem z hlediska kvality tisku je vzorek novin – novinový papír potištěný ofsetem (F2). Dosahuje pouze 25,9% kvality natíraného lesklého papíru.



Obr. 5: Srovnání jednotlivých vzorků, pokles MTF na 50% maxima.

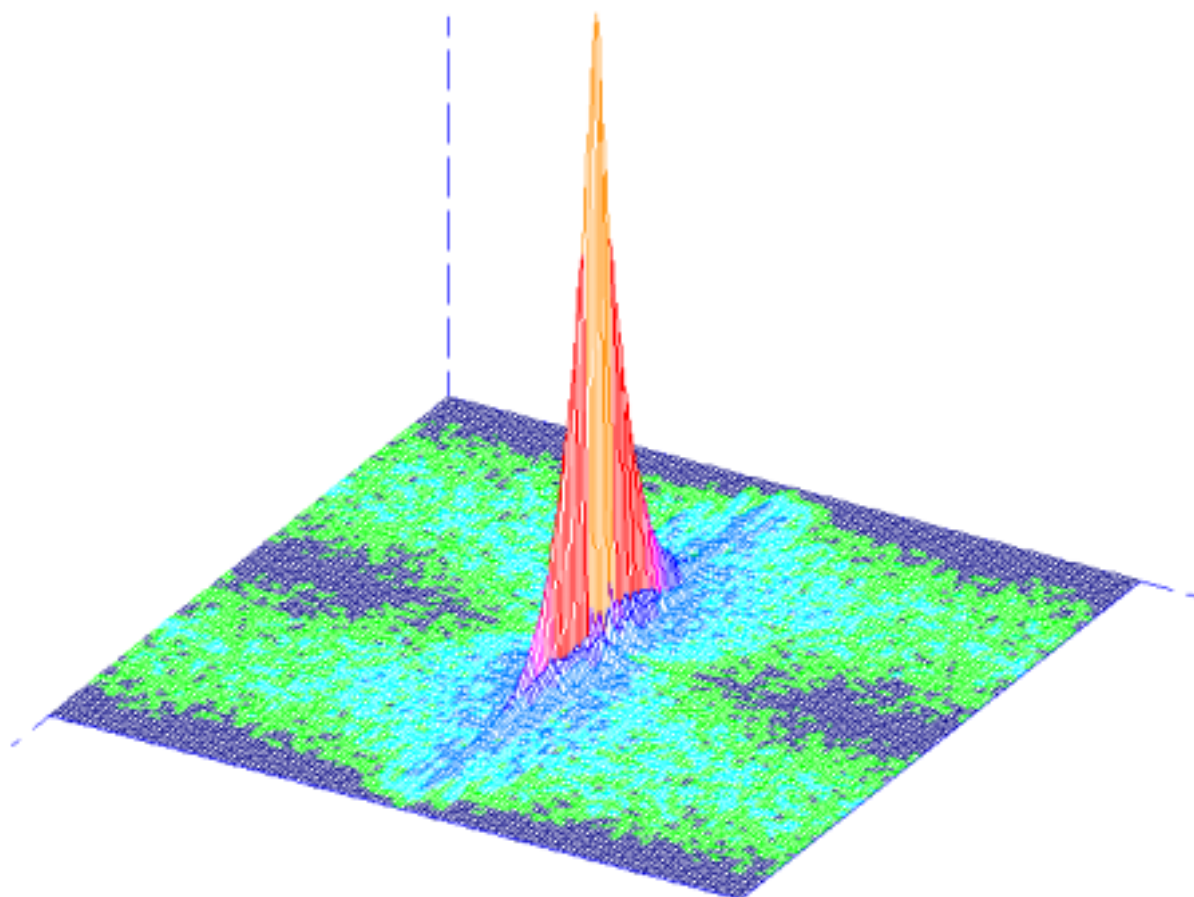
3. 2D Fourierova analýza

Nevýhodou 1D Fourierovy transformace je, že původně dvojdimenzionální (plošnou) obrazovou informaci musíme před zpracováním převést na jednodimenzionální posloupnost hodnot (např. průměrováním řádků). Tím samozřejmě dochází ke zkreslení informačního obsahu a tedy ke zkreslení výsledků analýzy.



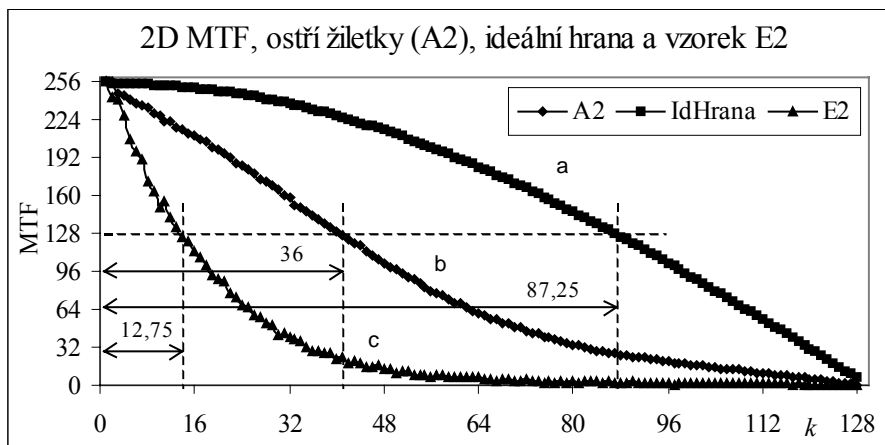
Obr. 6a: Tisková hrana vzorku E2 (natíraný lesklý papír, ofset)

Proto byla využita k vyhodnocování vzorků 2D Fourierova transformace, která poskytuje obecně komplexnější informace o studovaném objektu právě proto, že není třeba provést transformaci na 1D posloupnost, ale že lze plošný vzorek analyzovat plošně (*obr. 6a*). Komplikací tohoto postupu je poměrně obtížná interpretace výsledků, které obdržíme opět ve formě dvojdimenzionálního pole hodnot (*obr. 6b*). Z obrázku je zřejmé, že při vyhodnocení se nedopustíme velké chyby, pokud budeme získaná data vyhodnocovat pouze v jednom směru (kolmém na orientaci původního rozhraní vzorku) Většina 2D informace je totiž soustředěna právě v tomto směru (pík je ve vertikálním směru zanedbatelně široký oproti šířce v horizontálním směru). 2D spektra byla v tomto konkrétním případě vyhodnocena sledováním poklesu MTF vzorku na 50% maxima ve sloupci s vertikální souřadnicí 129 – tedy ve sloupci přesně uprostřed Fourierova spektra. Vzorky byly před analýzou opět podrobeny nejprve působení mediánového filtru a poté působení sloupcového derivačního filtru (viz *kap. 2*).



Obr. 6.b. MTF vzorku E2 (natíraný lesklý papír, ofset)

Na následujícím obrázku (*obr. 7*) jsou uvedena Fourierova spektra získaná 2D FFT. Z výsledků je zřejmé, že jsou téměř shodná se spektry vypočítanými pomocí 1D FFT. Také hodnoty poklesu maxima MTF na 50% jsou velmi podobné.

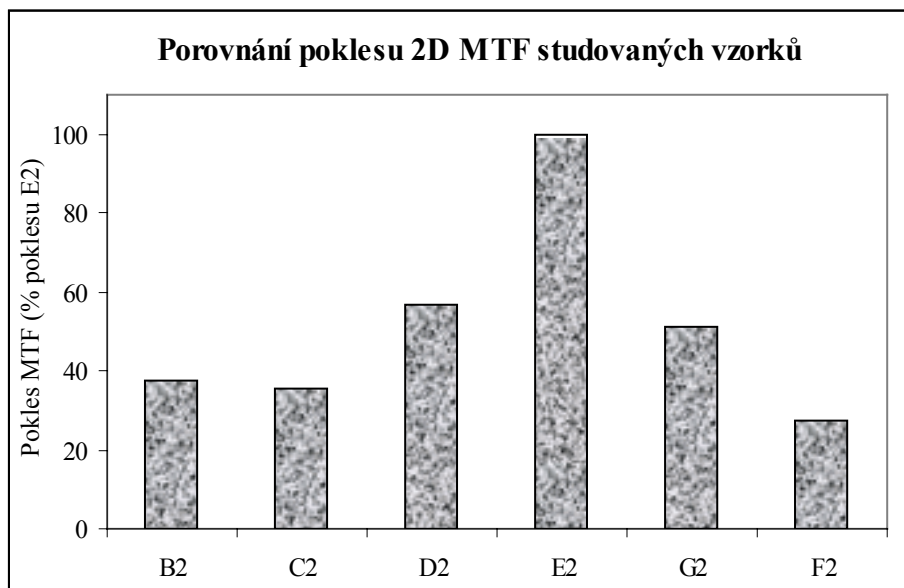


Obr. 7. a) MTF ideální hrany, b) MTF oblasti hrany žiletky, c) MTF hrany natřeného lesklého papíru potištěného ofsetem, určení poklesu MTF na 50% maxima.

Provedená měření jsou shrnuta v následující tabulce a grafu (*obr. 8*):

Vzorek	Délka poklesu MTF	Procenta poklesu vzorku E2
A2	36,00	-
B2	4,80	37,6
C2	4,50	35,3
D2	7,25	56,9
E2	12,75	100,0
F2	3,50	27,5
G2	6,50	51,0

Nejlepším vzorkem byl opět vzorek natíraného lesklého papíru, potištěný ofsetem (E2). Tomuto vzorku byl přiřazena referenční úroveň 100% kvality tisku (viz *obr. 8*). 56,9% kvality vzorku E2 dosáhl druhý ze vzorků ofsetu, vzorek matně natíraného papíru (D2). Třetí z vzorků ofsetového tisku – vzorek G2 (ofsetový papír) dosáhl 51,0% kvality vzorku E2. Zbylé tři vzorky jsou podstatně horší. Papíry potištěné digitální metodikou tisku – matně natíraný papír (B2) 37,6% kvality tisku vzorku E2 a ofsetový papír (C2) 35,3% kvality vzorku E2. Nejhorším vzorkem z hlediska kvality tisku je vzorek novin (F2), dosahuje pouze 27,9% kvality natíraného lesklého papíru.



Obr. 8. Srovnání jednotlivých vzorků, pokles 2D MTF na 50% maxima.

4. Závěr

Výsledky získané 1D FFT a 2D FFT se prakticky neliší. Jejich průměrná vzájemná odchylka je 3,5%. To je dáno tím, že dvojdimenzionální informační obsah přímého rovnoměrného rozhraní je malý. Proto metodikou 2D FFT dospějeme k výsledkům velmi podobným výsledkům získaným 1D FFT. Zároveň je malá odchylka dvou nezávislých měření důkazem, že harmonická analýza vede k důvěryhodným hodnotám a chyba metody je nízká.

5. Literatura

- [1] Fedák J.: *Štúdium optických vlastností štruktúr potlačených polymérnych materiálov*, (písomná práca k dizertačnej skúške), CHTF STU, Bratislava 1999
- [2] Nežádal M.: *Harmonická a fraktální analýza obrazových struktur*, (diplomová práce) Fakulta chemická VUT, Brno 2000
- [3] Arney, J. S., Arney C. D., Katsube M., Engeldrum P. G.: *An MTF Analysis of Papers*, Journal of Imaging Science and Technology, **40**, (1996).
- [4] Inoue S., Tsumura N., Miyake Y.: *Analyzing CTF of Print by MTF of Paper*, Journal of Imaging Science and Technology, **42**, (1998).
- [5] Heikkila I., Oitinen P.: *The Interrelations of Paper Surface Structure Screening and Print Noise Power Spectra*, TAGA/IARIGAI Conference in Paris, (1995).