

# OBRAZOVÁ ANALÝZA POVRCHU POTISKOVANÝCH MATERIÁLŮ A POTIŠTĚNÝCH PLOCH

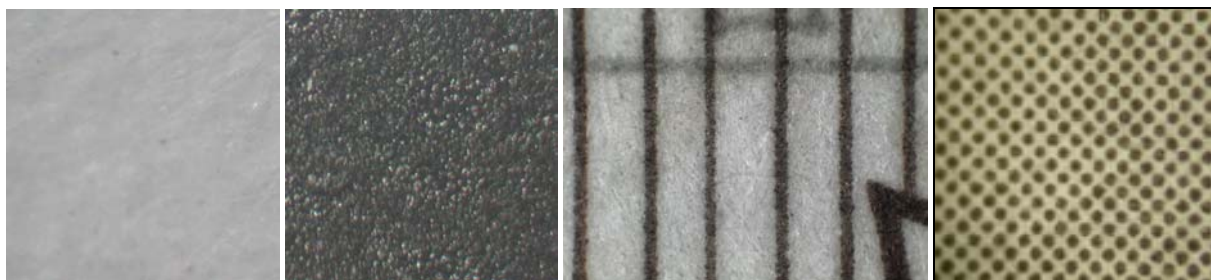
Zmeškal Oldřich, Martin Julínek, Tomáš Bžatek

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

## 1. Úvod

K hodnocení kvality tisku se stále častěji začínají využívat metody obrazové analýzy. Do první skupiny bychom mohli zařadit ty metody, které nahrazují klasické fotometrické přístroje (*denzitometry* a *kolorimetry*). Patří sem především tzv. *zobrazovací fotometry*, které umožňují hodnotit kvalitu tisku mnohem efektivněji než tomu bylo dříve. Do druhé skupiny lze zařadit ty metody, které vznikly jako aplikace metod určených pro práci s obrazy do oblasti polygrafie. Tato zařízení využívají pro digitalizaci obrazových předloh plošné a filmové skenery, digitální fotoaparáty a digitální kamery. Tato zařízení mohou být využita k hodnocení tiskovin i v průběhu tiskového procesu. Lze tak bezprostředně reagovat na zhoršení kvality tisku způsobené např. poruchou tiskového stroje. Kromě toho je lze využít také k záznamu obrazů určených pro detailní obrazovou analýzu, např.

- kvality potištěných materiálů,
- homogenity potiskovaných materiálů (*obr. 1a*),
- homogenity tiskové barvy na povrchu materiálu (*obr. 1b*),
- kvality tiskových hran a vykreslených detailů (*obr. 1c*),
- barevného podání tisku,
- kvality reprodukce tiskových bodů (*obr. 1d*).



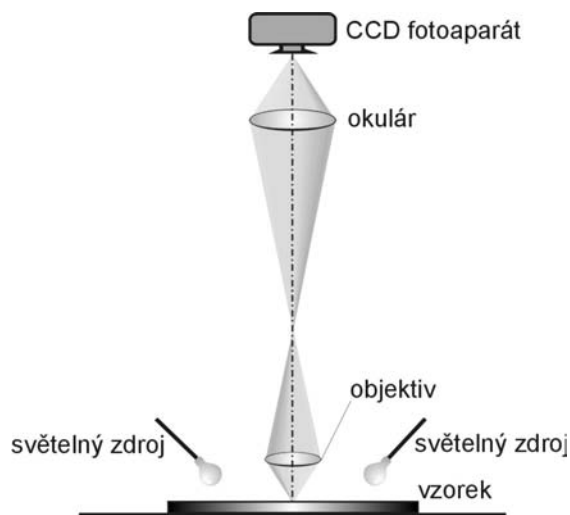
**Obr. 1** Mikrofotografie povrchu a) xerografického papíru, b) laserového tisku na xerografickém papíru, c) tiskových hran na ceninách, d) tiskových bodů ofsetového tisku

Výsledkem obrazové analýzy by mělo být několik určujících parametrů, které by charakterizovaly vlastnosti potištěných povrchů, resp. parametry sloužící ke srovnání odpovídajících tisků. Např. při hodnocení homogenity povrchů (*obr. 1a,b*) by to mohl být barevný odstín (nebo odstín barevných separací) a jeho rozptyl, při hodnocení vlastností tiskových hran nebo tiskových bodů ostrost přechodu mezi potiskovaným materiálem a tiskem (optické rozšíření tiskové hrany nebo tiskového bodu).

K tomu, aby chyby obrazové analýzy byly co nejmenší, je třeba zaznamenat digitální mikrofotografie tak, aby byly zatíženy co nejmenšími chybami.

## 2. Metody obrazové analýzy

K záznamu obrazů se používají výhradně zařízení obsahující CCD prvek (např. soustava mikroskop – digitální fotoaparát, viz *obr. 2*). V současné době lze pořídit tato zařízení s dostatečnou plošnou rozlišovací schopností (určenou počtem pixelů obrazového senzoru) a barevnou hloubkou (určenou počtem kvantovacích kroků převodníku analogového signálu vygenerovaného světlem na digitální data). Na druhé straně mohou vzniknout v průběhu záznamu a převodu obrazu na digitální data chyby, které je nutno odstranit (např. nehomogenitu osvětlení obrazu, nelineární přenos jasů – tzv. gamma korekce a teplotní šum).



Obr. 2 Schéma měřicí aparatury

Před vlastní obrazovou analýzou se data zpravidla upravují do podoby vhodné k dalšímu zpracování (např. rozklad na barevné složky – RGB, HSB, HLS, Gray Scale, úpravy využívající operace s pixely obrazu – barevnými složkami, jednoduché filtrace dat).

Po těchto (vhodných) úpravách je možné přistoupit k vlastní obrazové analýze dat, tj. k detailní charakterizaci obrazů potíštěných ploch. Při této analýze se nepracuje 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*), ve kterých jednotlivé pixely odrážejí různé vlastnosti (definované bázi) celého původního obrazu. Pokud je transformace ortogonální (ortonormální), lze pomocí inverzní

báze dat získat lineární (integrální) transformací původní data. Velmi často tvoří bázi *diskrétní periodické funkce* (např. při 2D harmonické analýze) nebo *diskrétní prostorově omezené funkce* (tzv. *wavelety*). O použití a volbě jistého druhu transformace mohou rozhodovat např. následující důvody

- obraz lze ve spektrální oblasti jednodušeji vyhodnotit
- ve spektrální oblasti lze provést některé operace (např. filtrace) snadněji než v originální oblasti,
- ze spektrální oblasti lze snadněji vyloučit redundantní složky
- spektrální reprezentace obrazů může být odolnější při přenosu než reprezentace originální

### Periodické transformace

Při obrazové analýze se nejčastěji používá diskrétní Fourierova transformace, kosinová transformace a Walsh - Hadamardova transformace. Při těchto transformacích jsou jednotlivé funkce vytvářeny změnou měřítka a opakováním.

*Diskrétní Fourierova transformace* (DFT) je lineární ortogonální transformace pomocí, které se transformuje obraz  $f(m, n)$ , kde  $m = 1, 2, \dots, M-1$ ,  $n = 1, 2, \dots, N-1$  jsou souřadnice obrazu o velikosti  $M \times N$ , na diskrétní spektrum představované komplexní funkcí  $F(k, l)$ , kde  $k = 1, 2, \dots, M-1$ ,  $l = 1, 2, \dots, N-1$

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{-2\pi j(mk/M + nl/N)}, \quad (1)$$

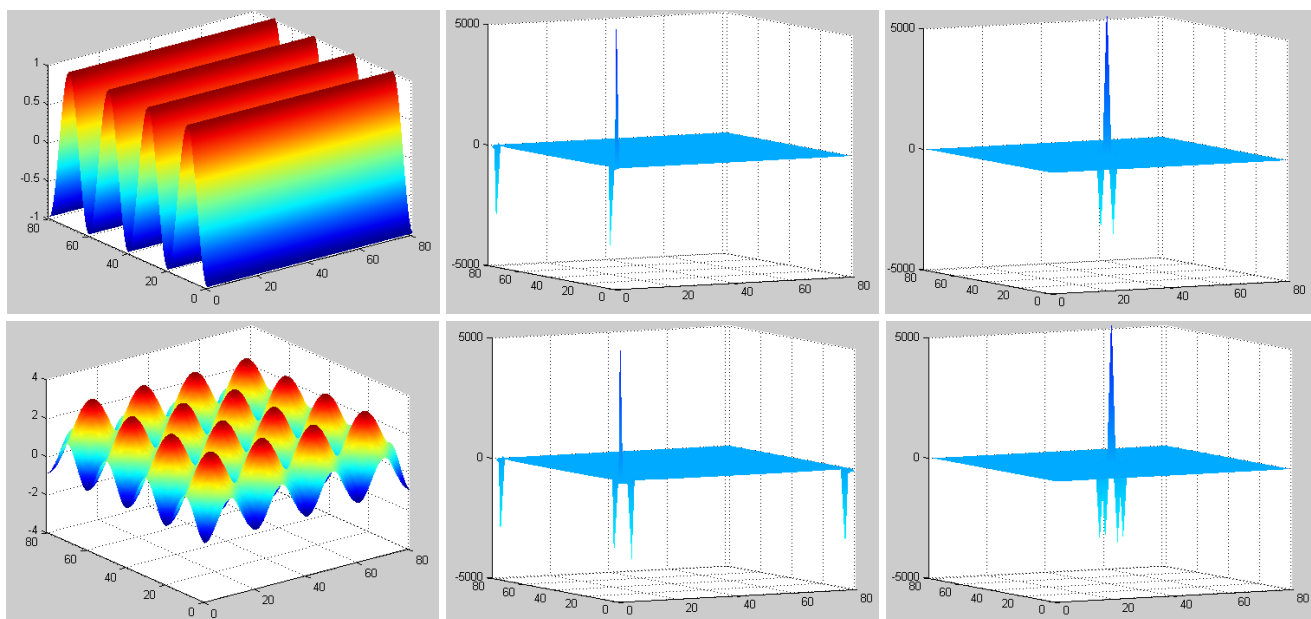
kde  $j = \sqrt{-1}$  je imaginární jednotka. K výpočtu spekter obrazů se často používají algoritmy rychlé Fourierovy transformace (FFT) vyžadující počet dat  $N = M = 2^i$ , kde  $i$  je celé číslo. Je-li Fourierova transformace aplikována na reálná obrazová data, je reálná složka obrazu funkcí sudou, imaginární funkcí lichou. K hodnocení se pak využívá tzv. modulační přenosová funkce (MTF), která je osově symetrická

$$\text{MTF} = \text{Re}[F(k, l)] + \text{Im}[F(k, l)]. \quad (2)$$

*Diskrétní kosinová transformace* (DCT) je opět lineární ortogonální transformací, její bázi tvoří funkce kosinus. Transformuje obraz  $f(m, n)$  na diskrétní spektrum představované reálnou funkcí  $F(k, l)$

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cos[\pi k(2m+1)/2M + \pi l(2n+1)/2N]. \quad (3)$$

K výpočtu spekter se používají buď algoritmy rychlé Fourierovy transformace (FFT) nebo speciální algoritmy (viz obr. 3). Kosinová transformace se využívá především při kompresi obrazů.



**Obr. 3** Jednoduchý model a) tiskových hran (tiskových linií), b) tiskových bodů ofsetového tisku (vlevo) a jejich spektra (uprostřed) a posunutá spektra s nulovou frekvencí uprostřed (vpravo)

*Walsh - Hadamardova transformace* (WHT) je opět lineární ortogonální transformací, její bázi tvoří funkce signum (obdélníkové funkce). Transformuje reálný obraz  $f(m, n)$  na diskretní spektrum představované reálnou funkcí  $F(k, l)$

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) h_{m,k} h_{n,l}, \quad (4)$$

kde  $h_{n,k}$  a  $h_{m,l}$  jsou koeficienty tzv. Hadamardovy matice  $H_{N(M)}$

$$H_0 = 1, \quad H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \dots, \quad H_{n(m)+1} = \begin{bmatrix} [H_{n(m)}] & [H_{n(m)}] \\ [H_{n(m)}] & -[H_{n(m)}] \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Pro Hadamardovu matici  $n$ -tého řádu platí  $H_n' \cdot H_n = n \cdot I$ , kde  $H_n'$  je transponovaná matice k  $H_n$ ,  $I$  je diagonální jednotková matice.

### *Waveletové transformace*

U waveletových transformací může být báze opět tvořena harmonickými (sin, cos) nebo obdélníkovými (sign) funkcemi. V praxi se často využívají i speciální funkce, které lépe vystihují charakter signálu nebo motivu obrazu (např. Ingrid Daubechies wavelets). Při těchto transformacích jsou jednotlivé funkce vytvářeny změnou měřítka a posunutím. Při obrazové analýze se velmi často používá tzv. *Haarova transformace*, ze které vychází jedna z metod fraktální analýzy (tzv. box counting method).

*Haarova transformace* (HT) je opět lineární ortogonální transformací, její bázi tvoří funkce signum (obdélníkové funkce). Transformuje reálný obraz  $f(m, n)$  na diskretní spektrum představované reálnou funkcí  $F(k, l)$

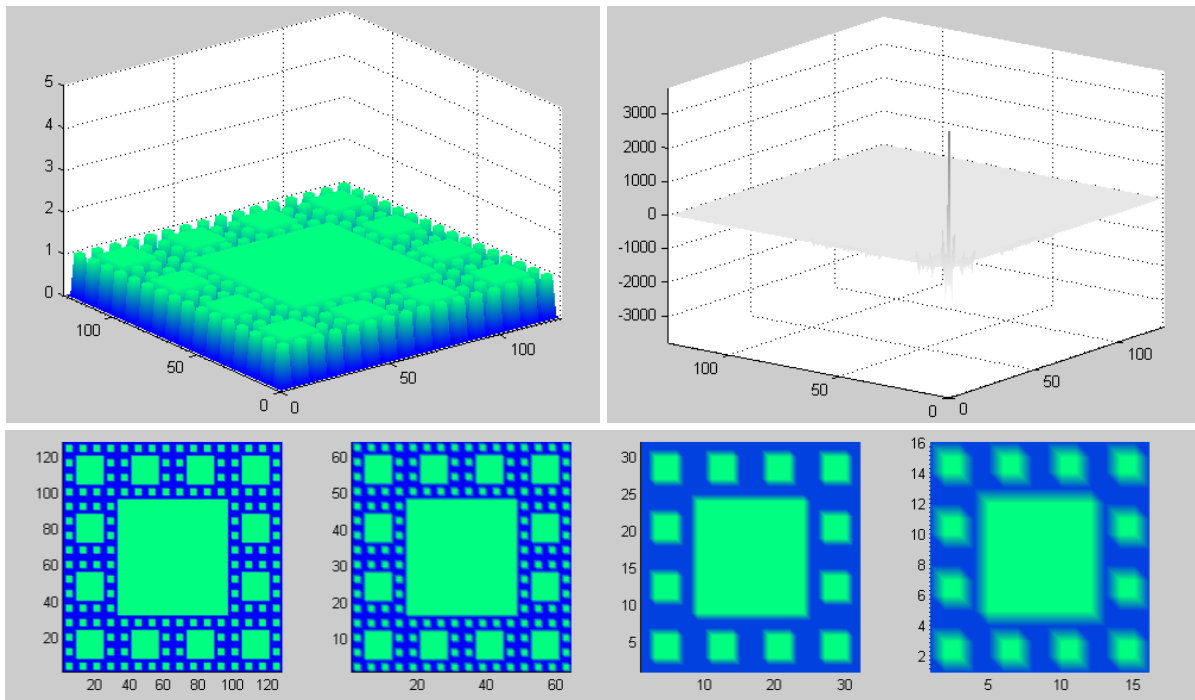
$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) h_{m,k} h_{n,l}, \quad (6)$$

kde  $h_{n,k}$  a  $h_{m,l}$  jsou koeficienty tzv. Haarovy matice  $H_N$

$$H_0 = 1, \quad H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}, \dots \quad (7)$$

Haarova matice  $H_n$  je tedy řádu  $2^n$  ( $2^n$  rozměrná matice).

Na obr. 4 je znázorněno použití Haarovy transformace při analýze modelové fraktální struktury (tzv. Sierpinského koberce). Vlevo nahoře je zobrazen analyzovaný obraz, vpravo nahoře jeho spektrum, dole potom zpětně rekonstruované obrazy po odfiltrování různě velkých detailů.



**Obr. 4** Použití Haarovy transformace při analýze obrazu Sierpinského koberce: původní obraz (vlevo nahoře), jeho spektrum (vpravo nahoře) a rekonstruované obrazy po odfiltrování detailů (dole)

Z těchto obrazů lze jednoduše určit fraktální dimenze obrazové struktury (tmavé  $D_{BBW}$  a světlé  $D_{WBW}$  plochy). Pro jejich výpočet se použije počet tmavých  $N_{BBW}$  a světlých  $N_{WBW}$  pixelů obrazu.

$$N(\varepsilon) = K \cdot \varepsilon^{-D} \quad (8)$$

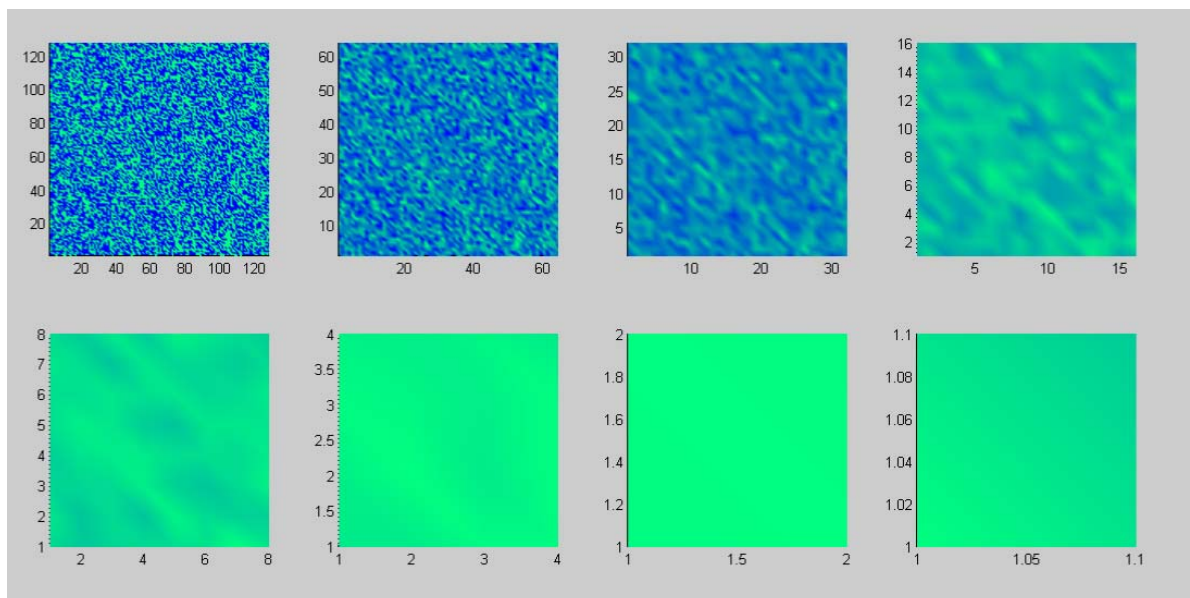
Hranice mezi tmavými a světlými pixely se volí na padesátiprocentní úrovni odstínu šedé (pro 255 úrovní jasů je hraniční hodnota rovna 128).

Z analýzy vyplývá, že hodnoty fraktální dimenze obrazových struktur mohou nabývat hodnot  $D \in \langle 0, 2 \rangle$ . Hodnota fraktální dimenze  $D = 0$  bude zjištěna tehdy, když barva nebude v obraze zastoupena, hodnota  $D = 2$  tehdy, když bude zastoupena stoprocentně. Rozhraní mezi černou a bílou barvou bude mít fraktální dimenzi  $D_{BW}$  rovnu dvěma, když všechny sousedící pixely budou mít odlišné barvy. Ideálním případem křivky mající fraktální dimenzi  $D_{BW} = 2$  je tzv. Peanova křivka. Ta vyplňuje celou plochu obrazu.

Vypočtená hodnota pro Sierpinského koberec  $D = 1,8024$  je ve shodě s teoretickou hodnotou  $D = \ln(12)/\ln(4) = 1,7925$ .

Obdobně fraktální míra může nabývat hodnot  $K \in \langle 0, K_{\max} \rangle$ , kde  $K_{\max}$  je počet pixelů obrazu. Z této veličiny lze určit procentuální krytí obrazu fraktální strukturou (černou, bílou, resp. rozhraním). Např. pro rozhraní s fraktální dimenzí  $D_{BW}$  rovné dvěma bude fraktální míra rovna počtu pixelů obrazu, resp.  $K_{BW}/K_{\max} = 1$  (100 %).

Na obr. 5 je provedena obdobná analýza pro rovnoměrně pokrytou plochu (obrázek vlevo nahoře 128 × 128 dat). Na zbývajících obrázcích jsou znázorněny rekonstruované obrazy pro různé hladiny zjednodušení (64, 32, 16, 8, 4, 2, 1). Z obrázku je zřejmé, že původně dvoubarevný obrázek se mění na obrázek se více odstíny. Z těchto obrazů lze opět jednoduše určit fraktální dimenze původní obrazové struktury. Vypočtená hodnota pro tuto strukturu  $D = 2,0141$  je ve shodě s teoretickou hodnotou  $D = \ln(16)/\ln(4) = 2,0000$ .



**Obr. 5** Použití Haarovy transformace při analýze obrazu rovnoměrného pokrytí plochy: původní obraz (vlevo nahoře) a jeho spektra pro různé hladiny zjednodušení (na zbývajících obrázcích)

### 3. Závěr

V příspěvku jsou naznačeny možnosti využití integrálních transformací při analýze obrazových dat, konkrétně při hodnocení kvality tisku (reprodukce tiskových hran a homogenosti pokrytí plochy barvou). Jako nejvhodnější se jeví jednak metody harmonické (rychlá Fourierova transformace) a waveletové (Haarova transformace) analýzy. Pomocí první z nich lze posuzovat kvalitu ze srovnání tzv. modulačních přenosových funkcí, pomocí druhé pak ze srovnání fraktálních dimenzí. Hodnoty fraktálních dimenzí jsou ve shodě s hodnotami zjišťovanými pomocí metody box counting.

### 4. Literatura

- [1] Zmeškal O, Nežádal M, Buchniček M.: *Fractal–Cantorian Geometry, Hausdorff Dimension and the Fundamental Laws of Physics*, Chaos, Solitons & Fractals 2003, 17: p. 113–119
- [2] Zmeškal O., Sedlák O., Nežádal M.: *Metody obrazové analýzy dat*, Digital Imaging in Biology and Medicine, 1st ed. České Budějovice: Czech Academy of Science, 2002, p. 34–43
- [3] Krtička A., Smékal Z., Zicha Z.: *Číslíkové zpracování signálů*, skriptu VA Brno, 1983
- [4] Zmeškal O., Nežádal M., Sedlák O.: *Využití fraktální analýzy při hodnocení kvality tisku*, IV. Polygraphic Conference, University of Pardubice, September 12. – 13., 2001, p. 92 – 101
- [5] Nežádal M., Zmeškal O., Buchniček M., Lapčík L., Dvonka V.: *Harmonická analýza tiskových struktur*, conf. Polygrafia Academica 2000, CHTF STU Bratislava, September 7 - 8, 2000, p. 199-206
- [6] Zmeškal O., Nežádal M., Buchniček M., Fedák J.: *Fraktální analýza tiskových struktur*, conf. Polygrafia Academica 2000, CHTF STU Bratislava, September 7. – 8., 2000, p. 207-213