

VĚRNOST BAREVNÉ TISKOVÉ REPRODUKCE

Jan Kaiser

Abstrakt

Mohu svůj tiskový systém použít pro digitální nátisk vyhovující ISO normě 12647? Je kalibrace systému, kterou jsem si zaplatil, skutečně efektivní? Je reprodukce černobílých fotografií skutečně neutrální? V tomto článku bude prakticky představena metodika, která Vám tyto otázky zodpoví.

1 Kritérium barevné věrnosti

Výchozí podmínka barevně věrné reprodukce je rovnost barevnosti originálu a reprodukováného vzorku, přičemž barevnost je určena vybranými veličinami pro objektivní popis barev. Tedy například trichromatickými složkami X, Y a Z nebo kolorimetrickými koordináty L^* , a^* , b^* popisujícími polohu barvy v nezávislém kolorimetrickém prostoru CIE- $L^*a^*b^*$ (1976). Druhé jmenované budou v tomto článku s výhodou nasazeny, a to z jednoduchého důvodu: kritérium úspěšnosti barevné reprodukce (vyhodnocení kolorimetrického zkreslení) je v teoretických pracích i praktických aplikacích nejčastěji definováno jako vzdálenost polohy originální a reprodukované barvy právě v kolorimetrickém prostoru CIE- $L^*a^*b^*$ (1976). Tato vzdálenost je korektně označována jako ΔE_{Lab} , častěji však zkráceně delta(LAB) nebo jen Delta E. Výpočet barevné neshody je realizován následujícím vztahem

$$\Delta E_{Lab} = \sqrt{(L^*_R - L^*_O)^2 + (a^*_R - a^*_O)^2 + (b^*_R - b^*_O)^2} \quad (1)$$

kde L^*_O , a^*_O , b^*_O a L^*_R , a^*_R , b^*_R jsou L^* , a^* , b^* souřadnice originálního a reprodukováného barevného světla či odrazného vzorku.

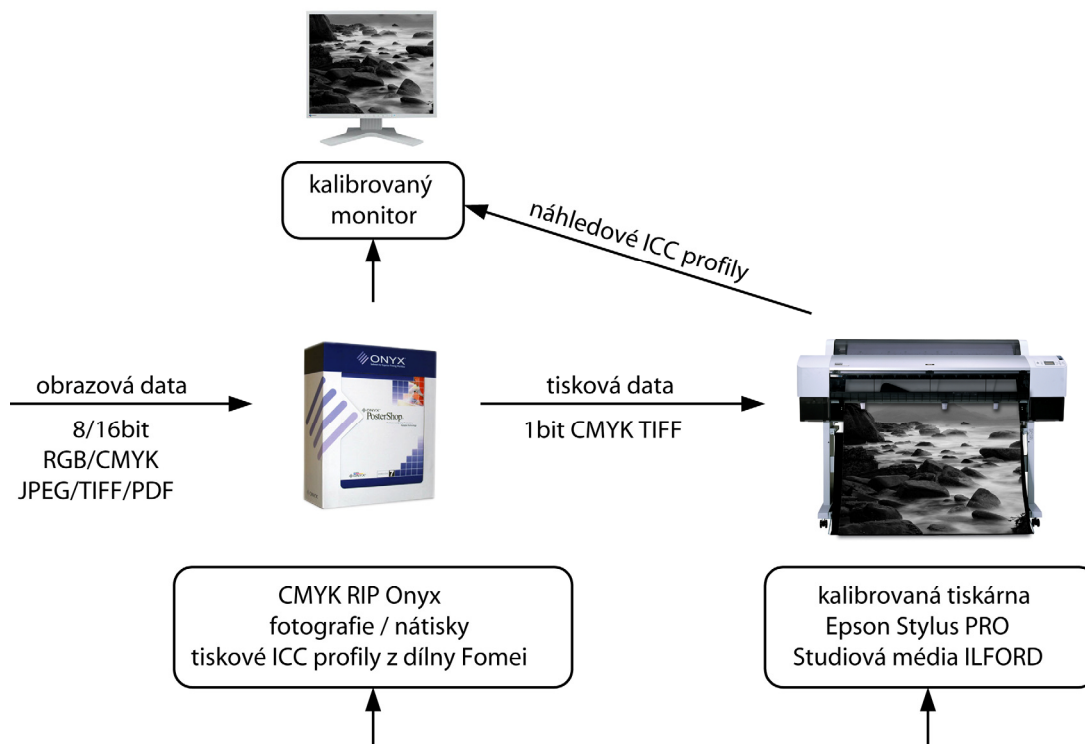
Na základě subjektivních testů s homogenními barevnými vzorky lze prohlásit, že $\Delta E_{Lab} \approx 1,5$ znamená hranici právě postřehnutelného rozdílu mezi oběma srovnávanými vzorky. U achromatických vzorků je tato hranice ještě nižší, u chromatických vzorků je lidský zrakový systém naopak benevolentnější. Na základě subjektivních testů s přirozenými barevnými obrazy (fotografiemi) pozorovanými na kalibrovaném monitoru lze spolehlivě prohlásit, že hranice právě postřehnutelného barevného rozdílu mezi dvěma obrazy odpovídá dvojnásobné hodnotě, tedy přibližně $\Delta E_{Lab} \approx 3$ [1, kap. 5].

2 Konfigurace vyšetřovaného systému

Veškerá zde uvedená měření a výpočty se týkají tiskového systému STUDIO Professional (Obr. 1), jehož podrobnou konfiguraci odhaluje Tab. 1 níže. Technická specifikace testovaného inkjet média je obsahem Tab. 2.

Tabulka 1: KONFIGURACE V TESTU NASAZENÉHO STUDIA PROFESSIONAL

část STUDIO Professional	výrobce
RIP Onyx PosterShop 7v2	ONYX Graphics
Ink-jet médium Ilford OmniJet Pearl P255	ILFORD Imaging Switzerland GmbH
Tiskárna Epson Stylus PRO 9880	Seiko Epson Corporation
Inkousty Epson UltraChrome K3 Vivid Magenta	Seiko Epson Corporation
Měřicí a výpočetní sw&hw – GretagMacbeth / Matlab	Gretag-Macbeth GmbH / The MathWorks
Kalibrace a profilace médií&tiskárny a monitoru	Fomei a.s.



Obr. 1: Tok barvové informace ve STUDIO Professional

Tabulka 2: MÉDIUM ILFORD OMNIJET PEARL 255

parametr	hodnota	norma
gramáž	255 g/m ²	ISO 536
tloušťka	0.265 mm (10 mil)	ISO 534
odstín (CIE-L*a*b*)	95.5, -0.4, -4.5	D50, 2° pozorovatel
lesk 60°	24 %	ISO 8254-3
opacita	> 98.5 %	ISO 2471

3 Měřicí podmínky a vybavení

Teplota: 22 až 24 °C
 Vlhkost: 48 až 58% RH
 Spektrofotometr Gretag Macbeth (X-rite) i1 Pro (bez UV filtru)
 Měřicí stůl Gretag Macbeth (X-rite) iO
 sw Profile Maker Pro, sw Matlab

4 Metodika

Pro celé hodnocení byl zvolen následující předpoklad: Barevný prostor reprodukovatelný na vyšetřované médium pokrývá barevný prostor standardu ISO Coated v2 (ISO Coated v2 je podmnožinou). Vzhledem k vlastnostem inkoustů UltraChrome K3 Vivid Magenta a médium OmniJet Pearl P255 je to předpoklad spolehlivě splnitelný.

Přesnost (věrnost) reprodukce byla ověřována ve třech etapách:

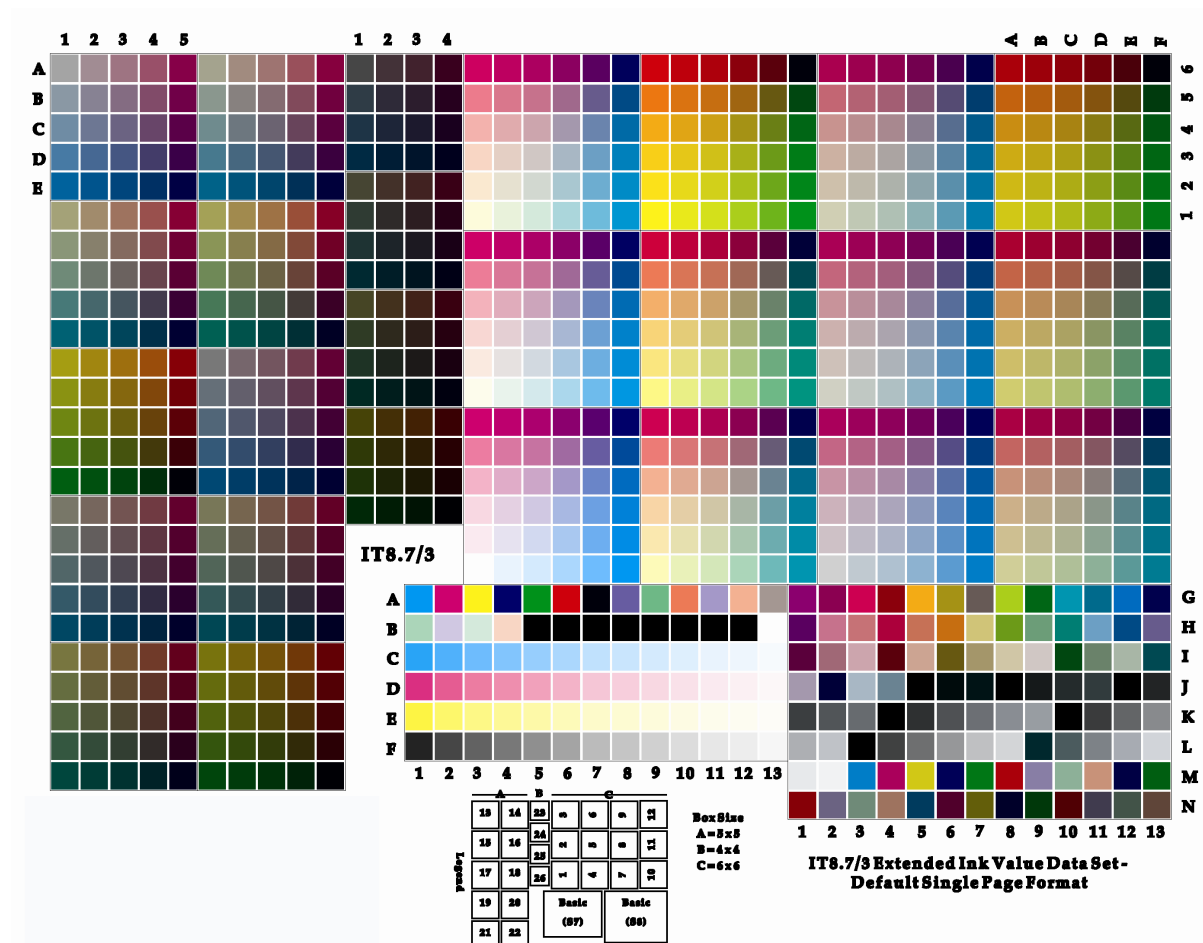
- tisk ze CMYKových dat (ISO Coated v2)
- tisk z RGB dat (sRGB)
- tisk šedotónové škály z RGB dat (Adobe RGB (1998))

Originálem jsou tedy elektronické CMYK nebo RGB předlohy se vzorky barevně objektivně popsanými kolorimetrickými souřadnicemi L^*_O , a^*_O , b^*_O (souřadnice prostoru CIE- $L^*a^*b^*$). Reprodukci je výtisk těchto vzorků, přičemž jednotlivé vzorky jsou proměřeny spektrofotometrem a ze spektrálních průběhů jsou vypočteny souřadnice L^*_R , a^*_R , b^*_R . Čím více budou od sebe vzdáleny body originálu od reprodukce v prostoru CIE- $L^*a^*b^*$ (čím vyšší bude Delta E), tím vyšším kolorimetrickým zkreslením je daná reprodukce zatížena a daný systém ztrácí punc kvalitně kalibrovaného a profilovaného.

5 Postup měření – reprodukce CMYK dat

Standardizovanému terči IT8.7-3 CMYK Target.tif (Obr. 2) byl přiřazen profil ISO Coated v2 a následně byl absolutně kolorimetrickou metodou dvakrát vytištěn na vyšetřovaný papír (při nasazení zákaznického profilu daného papíru).

Oba terče byly po dokonalém uzrání spektrálně změřeny a byl vypočítán jejich aritmetický průměr. Dvojnásobným tiskem, měřením a následným průměrováním byla dále minimalizována chyba objektivního hodnocení. Změřené a vypočtené výsledky byly porovnány s originálními (referenčními) daty ISO Coated v2 v kolorimetrickém prostoru CIE $L^*a^*b^*$ a byly stanoveny kolorimetrické odchylky – viz. Tab. 3.



Obr. 2: Profilační terč IT8.7-3 CMYK Target

Tabulka 3: VÝSLEDKY MĚŘENÍ NAD TERČEM Z OBR. 2 – SEPARACE CMYK TO CMYK

$\Delta v(\Delta E_{Lab})$ total / best 90% / worst 10%	1.71 / 1.51 / 3.50
$\sigma(\Delta E_{Lab})$ total / best 90% / worst 10%	0.86 / 0.60 / 0.80
$\text{Max}(\Delta E_{Lab})$ total / best 90%	6.82 / 2.70

Z Tab. 3 plyne, že simulace (věrnost reprodukce) barev obsažených v prostoru ISO Coated v2 (natíraná křída) je při tisku ze CMYKu v daném systému zatížena průměrnou chybou $\Delta E_{CIE-Lab} = 1.71$ a maximální chybou $MaxE_{CIE-Lab} = 6.82$. Průměrná chyba nižší než 3 a maximální chyba nižší než 10 indikují kvalitní, věrnou reprodukci. Vyšetřovaný tiskový systém je tedy schopen velmi přesně simulovat ofsetový tisk na natíraný papír a má tedy plné uplatnění v předtiskové přípravě.

6 Postup měření – reprodukce RGB dat

Standardizovanému terči IT8.7-3 CMYK Target.tif (Obr. 2) byl přiřazen profil ISO Coated v2 a následně byl absolutně kolorimetrickou metodou převeden do prostoru sRGB a poté dvakrát vytištěn na vyšetřovaný papír (při nasazení zákaznického profilu daného papíru a zvolené absolutní kolorimetrické metodě přepočtu). Tak byla korektně testována separace RGB to CMYK – tisk z RGB dat, která však leží uvnitř prostoru ISO Coated v2.

Oba terče byly opět po dokonalém uzrání spektrálně změřeny a byl vypočítán jejich aritmetický průměr. Dvojnásobným tiskem, měřením a následným průměrováním byla dále minimalizována chyba objektivního hodnocení. Referenční data byla získána absolutně kolorimetrickým převodem ISO Coated v2 → sRGB. Změřené a vypočtené výsledky byly porovnány s referenčními daty v kolorimetrickém prostoru CIE-L*a*b* a byly stanoveny kolorimetrické odchylky – viz. Tab. 4.

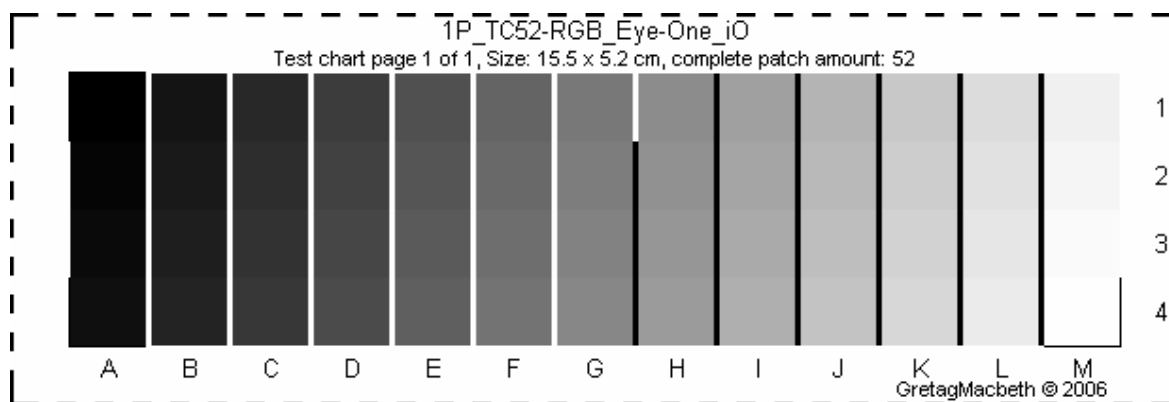
Tabulka 4: VÝSLEDKY MĚŘENÍ NAD TERČEM Z OBR. 2 – SEPARACE RGB TO CMYK

$\Delta E_{L,ab}$ total / best 90% / worst 10%	1.87 / 1.69 / 3.51
$\sigma(\Delta E_{L,ab})$ total / best 90% / worst 10%	0.80 / 0.57 / 0.66
$Max(\Delta E_{L,ab})$ total / best 90%	5.86 / 2.85

Z uvedené tabulky plyne, že tisk z RGB dat (ležících uvnitř barvového prostoru ISO Coated v2) je zatížen průměrnou chybou $\Delta E_{CIE-Lab} = 1.87$ a maximální chybou $MaxE_{CIE-Lab} = 5.86$. V souhrnu výsledků v Tab. 4 lze opět najít i další metriky. Uvedené chyby opět dokazují preciznost reprodukce na médium Ilford OmniJet Pearl P255 v systému STUDIO Professional.

7 Postup měření – reprodukce šedotónové škály

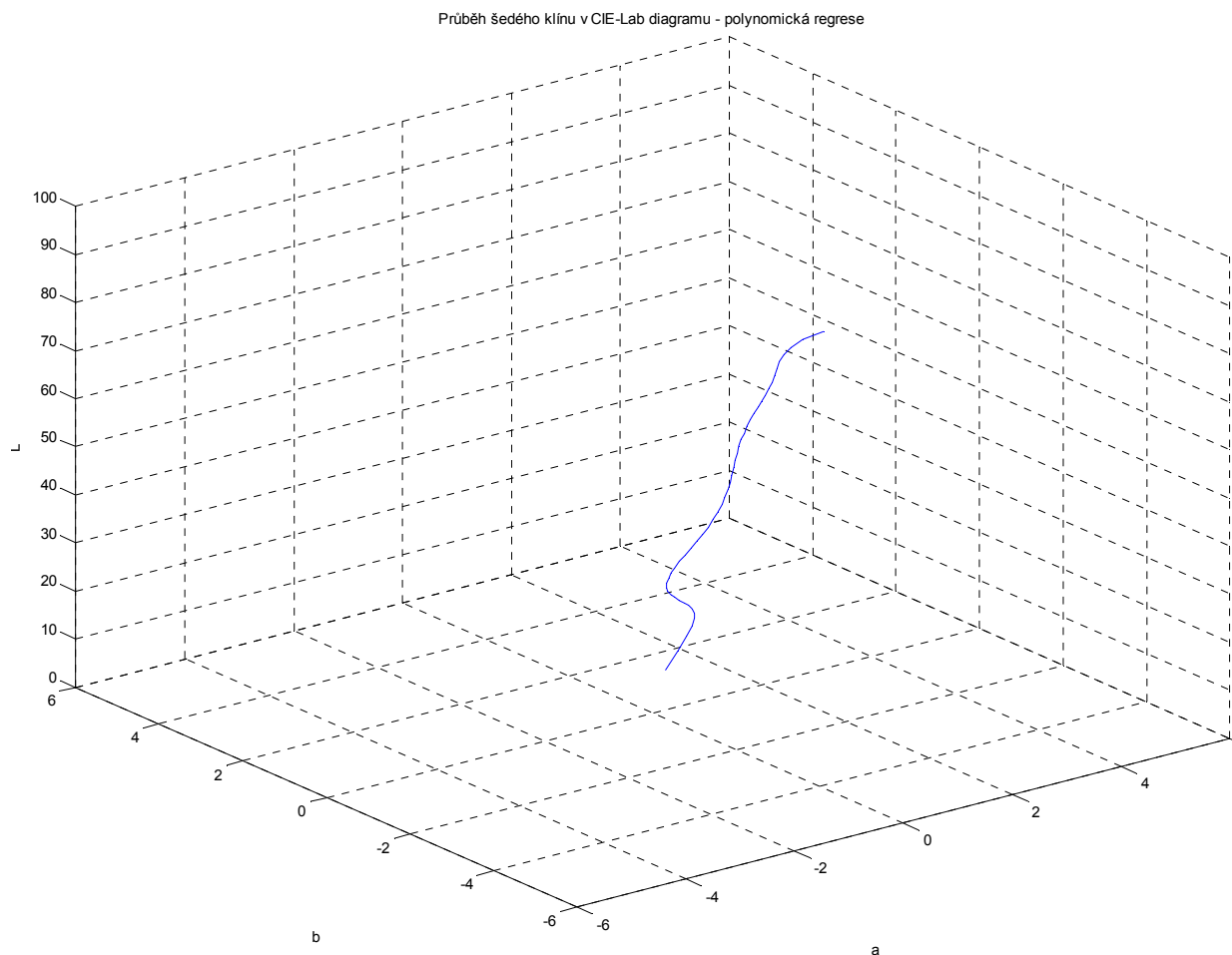
Posledním typem vyšetřovaných dat je šedotónový klín definovaný v prostoru Adobe RGB (1998) čítající 52 polí s lineárním přírůstkem v kolorimetrickém prostoru CIE L*a*b* - viz. Obr. 3. níže. Jedná se o kritické měření, je-li daný tiskový využíván k reprodukci čb fotografií a grafiky (tedy ne jen k nátisku). Šedotónový klín byl vytištěn opět dvakrát, a to využitím perceptuální metody. Tak byla totiž otestována RGB → CMYK separace reálně užívaná k „fotografickému tisku“. Oba výtisky byly opět proměřeny a zprůměrovány.



Obr. 3: Terč pro testování věrnosti čb reprodukce

Výsledek měření – křivka v 3D prostoru nepředstavuje nejvhodnější interpretaci, proto jsou vedle 3D zobrazení v CIE $L^*a^*b^*$ prostoru uvedeny i průměty do rovin L^*a^* a L^*b^* a je zkoumán také průběh samotné osy L^* . Tyto průměty jsou navíc publikovány ve dvou variantách – a) originální měření (bez interpolace či regrese), b) polynomičká regrese osmého řádu z naměřených dat.

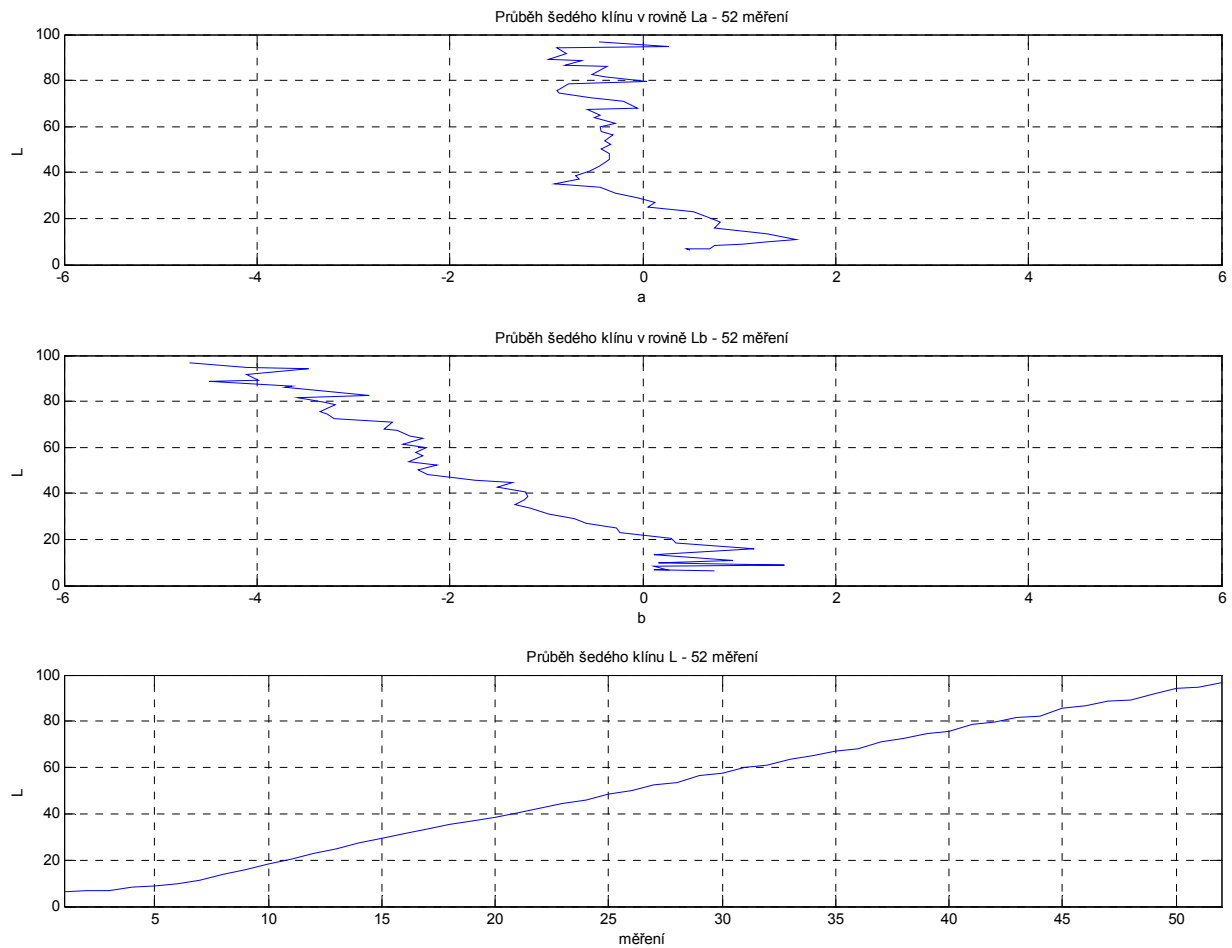
Na Obr. 4 je vynesena průběh šedotónového klínu v kolorimetrickém prostoru CIE $L^*a^*b^*$. Jedná se o polynomičkou regresi osmého řádu. Čím více se křivka svým průběhem odchyluje od přímky, tím je subjektivně čb reprodukce hodnocena jako méně a méně věrná – s barevným nádechem nebo barevnými „úšťřely“ v určitých rozsazích jasů.



Obr. 4: Průběh šedotónového klínu v kolorimetrickém prostoru CIE $L^*a^*b^*$

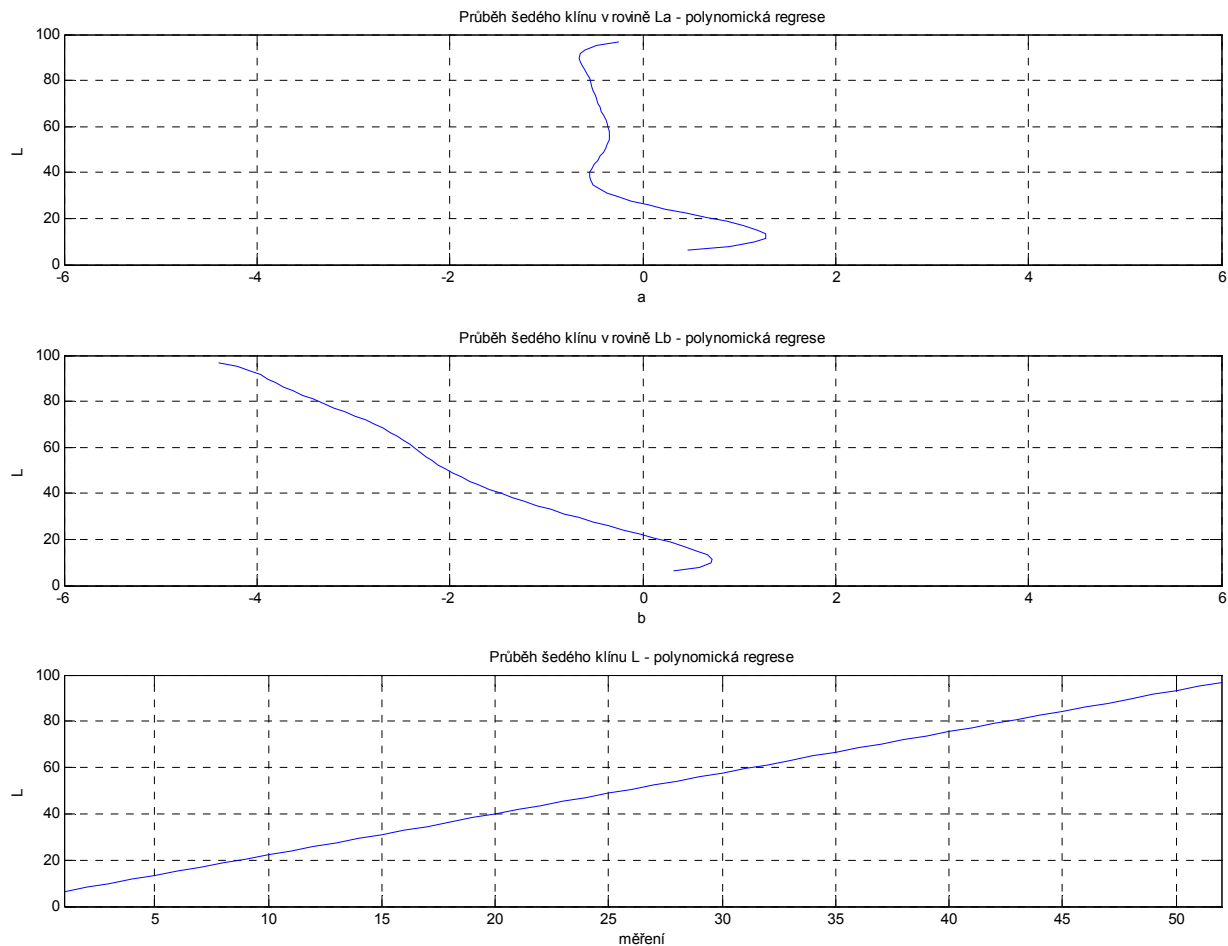
Průměty křivky z Obr. 4., která demonstruje neutrálnost reprodukce achromatických dat ($a^*=b^*=0$), najdeme na Obr. 5 (originální měření) a Obr. 6 (polynomičká regrese). Vyneseny jsou průměty do rovin L^*a^* a L^*b^* a je zkoumán také průběh samotné osy L^* - v ideálním případě by se jednalo o lineární monotónně rostoucí funkci.

Srovnáme-li objektivní měření se subjektivním hodnocením vytištěných terčů a fotografií, polynomičkou regresi jako nástroj pro zpřehlednění interpretace naměřených dat lze jednoznačně doporučit pro případ průmětů do rovin L^*a^* a L^*b^* . V případě detailního rozboru průběhu lumenční osy L^* již polynomičká regrese „smaže“ důležitou informaci v počátku – pomalejší nárůst (porovnej spodní grafy z Obr. 5 a 6).



Obr. 5: Originální naměřená data
 horní graf – průběh průmětu šedotónového klínu do roviny CIE L^*a^* ;
 prostřední graf – průběh průmětu šedotónového klínu do roviny CIE L^*b^* ;
 spodní graf – průběh naměřených dat v ose CIE L^*

Z jednotlivých průmětů lze jednoduše usoudit klady a úskalí zvoleného profilačního algoritmu. Teoretický (lineární) průběh je nejlépe dodržen v jasové složce L^* , na druhé místo se řadí neutralita v barvové ose a^* (červeno-zelená), nejobtížněji je pak neutralita dodržena v barvové ose b^* (žluto-modrá). Vzhledem k současnému stavu měřicí techniky a profilačních algoritmů se však jedná o velmi úspěšně kalibrovaný a profilovaný tiskový systém, kdy tiskové výstupy jsou subjektivně hodnoceny výborně [1, str. 87].



Obr. 6: Polynomická regrese osmého řádu
horní graf – průběh průmětu šedotónového klínu do roviny CIE L*a*;
prostřední graf – průběh průmětu šedotónového klínu do roviny CIE L*b*;
spodní graf – regresní průběh naměřených dat v ose L*

8 Diskuze a závěr

Inkjet médium Ilford OmniJet Pearl P255 je v systému STUDIO Professional precizně kalibrované a separace CMYK → CMYK i RGB → CMYK jsou v daném RIPu bezproblémové.

Pokud by byly výše uvedené chyby přibližně dvojnásobné, reprodukci by již nebylo možné označit za věrnou a nesplňovala by kritéria ISO normy o digitálním nátisku. Takové chyby by ukazovaly na jednu z pravděpodobných příčin barevně nevěrné reprodukce:

- nepřesnost sondy, pomocí které vznikal vyšetřovaný tiskový profil nebo
- nevhodně zvolený algoritmus měření / generování vyšetřovaného tiskového profilu.

Z charakteru výsledku lze dále rozpoznat, zda se jedná o chybu nahodilou či systematickou. Jestliže je např. profilace vyšetřovaného tiskového systému přesná „sama na sebe“, tj. při absolutní kolorimetrické konverzi CIE L*b* → ICC profil → CIE L*b* dojde k malému a uniformnímu barevnému zkreslení, avšak nátisk ISO Coated v2 → ICC profil → CIE L*b* vykazuje rušivé kolorimetrické zkreslení, jedná se o nevhodně zvolený algoritmus měření / generování ICC profilu se zavlečenou systematickou chybou.

Přesnost reprodukce při absolutně kolorimetrickém přístupu (odst. 5 a 6) již předurčuje i kvalitní reprodukci při perceptuálním (fotografickým) přístupu, což nakonec bylo v odst. 7 ověřeno.

Použité zdroje

- [1] J. Kaiser. *Colorimetric Aspects of the Future Imaging Systems*. Ph.D. thesis, FEE CTU in Prague, 2005.
 - [2] J. Kaiser, K. Fliegel, A. Vajčner. *Certifikáty kvality systému STUDIO Professional*, dokument Fomei a.s., 2007
-

Jan Kaiser
Fomei a.s.
Digital Color Imaging
Machkova 587
500 11 Hradec Králové
Czech Republic

www.fomei.com

Kaiser@fomei.com

tel: +420 495 056 315

gsm: +420 603 587 898