

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

Bakalářská práce

Digitalizace starých map zařízením

Contex CRYSTAL G600

Vložené zadání

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím zdrojů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 5. června 2009

.....

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat Ing. Radku Fialovi, vedoucímu bakalářské práce, především za poskytnuté rady a věcné připomínky, materiály a věnovaný čas. Děkuji také panu Ing. Bomilu Michalíkovi, který je pracovníkem Zeměměřického úřadu, za poskytnuté informace týkající se testování přesnosti skeneru.

Dále bych chtěla poděkovat celé své rodině a především manželovi za podporu a pomoc po celou dobu studia.

Abstrakt

Tato práce popisuje digitalizaci starých map a prostředky k tomu používané. V práci je obsažen rozbor metodiky testování geometrické přesnosti skenerů dle pokynů č. 32 ČÚZK. Metodika je nově popsána a rozšířena nad rámec pokynů. Tato práce dále obsahuje návod jak skenovat zařízením Contex CRYSTAL G600. Dalším tématem v práci zmíněným je úprava rastrových ekvivalentů.

Klíčová slova

Atest, digitalizace, geometrická přesnost, rastrový obraz, skener, skenování, testování přesnosti.

Abstract

This thesis describes digitizing of old maps and used instruments. Thesis contains analysis of methodics to test geometric accuracy of scanners according to directive no. 32 ČÚZK. Methodics is newly described and extended further than in directive no. 32 ČÚZK. Thesis contains guideline how to operate with Contex CRYSTAL G600 scanner device. Another subject in thesis is digitized image adjustments.

Keywords

Attest, digitizing, geometric accuracy, raster image, scanner, scan, accuracy testing.

Obsah

Úvod	7
1 Digitalizace	8
1.1 Vzorkování	8
1.2 Kvantování	9
1.3 Způsoby digitalizace	10
1.4 Barvy	10
1.5 Barevné prostory	11
2 Skenování	13
2.1 Druhy snímačů	13
2.2 Druhy skenerů	15
2.3 Parametry skenerů	16
2.4 Skener Contex Crystal G600	17
2.5 Formáty rastrových souborů	18
3 Testování přesnosti skenerů	20
3.1 Průběh testování	21
3.2 Chyby metody testování	23
3.3 Možnosti zmenšení chyb současné metody	24
3.4 Použití jiných metod	25
4 Postup při skenování	27
4.1 Kalibrace skeneru	28
4.2 Nastavení parametrů skenování	29
4.3 Výběr rozlišení	31
4.4 Výběr hodnoty zaostření	33
4.5 Skenování tlustých předloh	33
5 Úpravy naskenovaných map	34
5.1 Geometrické transformace	34
5.2 Transformace barev	35
5.3 Ostatní úpravy	36
6 Závěr	39
Seznam zdrojů	40

Úvod

Dnes žijeme v digitální době a všude se projevují tendence mít veškerá data v digitální podobě. Se zvyšováním výpočetního výkonu a paměťových kapacit počítačů se otevírá prostor pro ukládání dat o objektech, které dříve kvůli své velikosti nebylo možné zpracovávat počítačem. Z toho logicky vyvstává nutnost převádět analogová data do digitální podoby. Pro oblast kartografie to znamená, že je možno digitalizovat rozsáhlé mapové archivy. Digitalizaci starých map je potřeba provádět pečlivě, jelikož poskytují mnoho cenných informací, které můžeme následně zpracovat a především poskytují neocenitelný pohled na minulost zobrazované krajiny.

Digitalizace takto velkých obrazových zdrojů s sebou přináší nemalá úskalí. Především je potřeba, aby výsledkem byla co nejvěrnější kopie analogové mapy jak z hlediska geometrické přesnosti tak i grafické věrnosti. V současnosti se testováním přístrojů (skenerů) provádějících převod analogové mapy do digitální podoby zabývá pouze Zeměměřický úřad. Toto testování se provádí na základě pokynů č. 32 Českého úřadu zeměměřického a katastrálního.

Cílem této bakalářské práce je zachycení postupu testování přesnosti skenerů nad rámec pokynů č. 32, analýza chyb vyplývajících z postupu testování a návrh opatření nebo postupů, kterými by šlo chyby snížit.

Dalším cílem je sepsání jednoduchého návodu pro skenování zařízením Contex CRYSTAL G600 a výběr doporučeného nastavení parametrů pro skenování starých map zejména za účelem archivace. Dále by v práci měly být stručně popsány možnosti úpravy naskenovaných map a popis provedení těchto úprav v některém z grafických editorů.

1 Digitalizace

Obraz chápeme jako průmět reálného světa na sítnici oka, jako fotografii či obrázek na papíře. Tento obraz je v jednoduchém případě vymezen matematicky pomocí spojitě funkce dvou proměnných $f(x, y)$, která se nazývá obrazová funkce. Hodnotami obrazové funkce jsou některé fyzikální veličiny, např. jas či teplota. Pro obrazovou funkci dvou proměnných se používá název intenzitní obraz. Obrazová funkce obvykle vyjadřuje více hodnot, pro vyjádření barevného obrazu se jedná o trojici RGB (viz kap. 1.5). Spojitý obraz je potřeba převést na diskrétní vyjádření (obraz na monitoru počítače je diskrétní). Tento proces se nazývá digitalizace. Přechod od spojitého obrazu na diskrétní se děje ve dvou krocích, jimiž jsou kvantování a vzorkování [6].

1.1 Vzorkování

Vzorkování spočívá v rozdělení obrazu na matici $M \times N$ bodů. Těmto bodům matice se říká obrazové elementy, neboli (z anglického picture element). Je potřeba určit interval vzorkování a vybrat vzorkovací mřížku.

Interval vzorkování je vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Označme si tuto vzdálenost Δx . Vzorkovací frekvence f_s pak vypadá takto:

$$f_s = \frac{1}{\Delta x},$$

její jednotku představuje počet vzorků za jednotku času [Hz] nebo na jednotku vzdálenosti [DPI]. Vzdálenost vzorků (vzorkovací frekvenci) řeší Shannonova věta o vzorkování, která se uvádí pro jednorozměrné signály (tuto větu lze najít v [6] či [19]), ovšem je možné ji aplikovat i na dvojrozměrný signál.

Vzorkovací věta: *Pokud signál $x(t)$ spojitý v čase obsahuje pouze frekvenční složky s frekvencemi menšími než f_{max} , pak $x(t)$ může být jednoznačně rekonstruován z posloupnosti ekvidistantních vzorků $x(n\Delta x)$, pokud vzorkovací frekvence $f_s = 1/\Delta x$ je větší, než $2f_{max}$, čili*

$$f_s > 2f_{max}.$$

Ze vzorkovací věty plyne, maximální nenulová frekvence f_{max} je polovinou vzorkovací frekvence f_s . Ve zpracovávaném analogovém obraze je možné za maximální frekvenci považovat nejmenší detail. Takovýmto nejmenším detailem jsou nejčastěji tenké čáry.

Vzorkovací frekvence f_s by tedy měla být polovinou maximální frekvence f_{max} , tudíž by to měla být polovina rozměru nejmenšího detailu v obrazu [6]. Z důvodu dalšího digitálního zpracování digitalizovaného analogového obrazu by se měla vzorkovací frekvence zvýšit vůči hodnotě vyplývající ze vzorkovací věty, a to na čtvrtinu až šestinu f_{max} [4]. Jelikož s vyšší vzorkovací frekvencí roste počet výsledných vzorků a narůstá tím paměťová náročnost je možné, při nutnosti šetřit paměti, volit vzorkovací frekvenci s minimální teoretickou mezí, tzn. s frekvencí odpovídající polovině nejmenšího detailu v obraze.

Vzorkovací mřížka určuje plošné uspořádání bodů při vzorkování. Může mít různý tvar, obvykle je pravidelná. Tvar vzorkovací mřížky může být čtvercový, hexagonální či trojúhelníkový. Čtvercová mřížka je nejvíce používaná a to proto, že je kompatibilní s počítačovými perifériemi (monitor, skener) a je snadno realizovatelná v algoritmech. Její nevýhodou je problém se spojitostí oblastí při zavádění vzdálenosti jednotlivých bodů mřížky. Hexagonální mřížka se používá velmi zřídka, ovšem není u ní problém s definicí vzdálenosti mezi pixely (body). Tato mřížka se ale nehodí pro některé operace, jako je například Fourierova frekvenční filtrace (více o těchto problémech v [6]). Digitální model reliéfu je reprezentován pomocí trojúhelníkové mřížky, u níž je tvar jednotlivých bodů tvořen trojúhelníky.

1.2 Kvantování

Při kvantování se z definičního oboru hodnot obrazové funkce rozdělí na intervaly (kvantovací úrovně) a každému intervalu se přiřadí jedna zástupná hodnota. Intervaly se většinou volí konstantní, se stejnou délkou intervalu (k stejných intervalů), jedná se o uniformní kvantování. Proměnná délka intervalu se používá při neuniformním kvantování, které zohledňuje nerovnoměrně rozložené hodnoty [19]. Kvůli citlivosti lidského oka a aby se vyjádřily detaily obrazu a nevznikaly falešné obrysy je nutné, aby byl počet kvantovacích úrovní dostatečně velký. Falešné obrysy člověk začne vnímat, pokud je počet úrovní jasu menší než 50 [6]. Počet úrovní jasu je $k = 2^b$, kde b představuje reprezentaci obrazového elementu v bitech (obvykle se používá 8 bitů na obrazový element). Zástupná hodnota se přiřazuje různými způsoby, například jako průměr celého intervalu, vážený průměr, medián, apod. Nahrazení množiny hodnot jedinou hodnotou a možnost vybrat zástupnou hodnotu různou metodou znamená, že při kvantování vždy dochází ke ztrátě informace. Této ztrátě se říká kvantizační chyba a projevuje se jako náhlý skok barev [19].

1.3 Způsoby digitalizace

Digitalizovat lze různými metodami, ať již kartometrickou digitalizací, fotografováním či skenováním. Každá z metod je vhodná pro jiný účel a zvolení konkrétní metody závisí na tom, jaká je požadovaná přesnost a podrobnost digitalizace, kolik je k dispozici finančních prostředků a jaký výstup je požadován.

- **Kartometrická digitalizace** se provádí na digitizéru neboli tabletu. Zařízení se skládá z pevné podložky různé velikosti (až A0) a ze snímacího optického kurzoru, který je opatřen křížkem či tečkou. Podklad, který chceme snímat se upevní na podložku tabletu a pohybem optického kurzoru nad podkladem se získává poloha jednotlivých bodů z předlohy. Výsledkem jsou souřadnice jednotlivých nasnímaných bodů. Přesnost se pohybuje v setinách milimetru. Metoda je levná a vhodná pro digitalizaci menšího počtu bodových prvků, liniových či plošných objektů [3].
- **Fotografování** lze provádět většinou s běžným klasickým digitálním fotoaparátem. Výsledný rastrový obraz je rovnou v digitální podobě a je získán pomocí odrazu světla od fotografovaného předmětu, které projde přes objektiv (tvořen soustavou čoček) fotoaparátu na snímací čip (tzv. CMOS či CCD čip). Problémem je nutnost dodržení kolmé osy fotografování k rovině fotografované předlohy, rovnoměrné osvětlení předlohy a je nutné znát distorzi (zkreslení) objektivu anebo použít objektiv s co nejmenší distorzi. Jedná se o rychlou metodu, u níž na přesnosti výsledku závisí dodržení výše uvedených postupů [3].
- **Skenování** se věnuje kapitola 2.

1.4 Barvy

Lidské oko vnímá světlo, které má různou vlnovou délku. Jsme schopni rozlišit viditelnou část spektra od cca 400 do 700 nm. V této viditelné části spektra vnímáme záření s určitou vlnovou délkou jako barvu. Vnímání barev je velmi subjektivní. Oko nevidí světlo jako vlnovou délku, nýbrž vnímá barvy jako odezvu ze tří receptorů barev (pro červené, zelené a modré světlo). Barva se intuitivně popisuje pomocí barevného tónu, sytosti a jasů. Barevný tón označuje spektrální barvu (např. žlutá, oranžová, fialová). Sytost značí příměs jiných barev (čistá barva má vysokou sytost). Množství bílého světla je dáno jasem [5].

Barvu je potřeba vyjádřit číselnými hodnotami. Roku 1931 byla komisi s názvem

Commission Internationale de l'Éclairage (zkratka CIE) ustanovena specifikace barev pomocí matematických souřadnic, která odpovídá tomu, jak vnímá barvy ve viditelném spektru standardní pozorovatel. Každý barevný prostor, který specifikuje barvy, se musí přesně vztahovat ke specifikaci CIE [12].

1.5 Barevné prostory

- Prostor RGB funguje na principu aditivního (neboli součtového) míchání barev. Skládá se z červené (R = Red), zelené (G = Green) a modré (B = Blue) složky. Tento princip míchání barev je použit v např. v monitorech a televizích. Výsledná barva vzniká smísením všech tří složek. Hodnota 0 znamená, že složka není zastoupena, černá barva se tedy vyjádří jako (0,0,0). Čím větší hodnoty barev se sčítají, tím světlejší barva vzniká. U monitorů ovšem svítivost roste nelineárně, a proto se používá tzv. gamma korekce [19]. Jednotlivé složky se vyjadřují v bitech, pokud je každá vyjádřena 8 bity pak se tomuto zápisu říká true color. Pro výpočet jasů se používá vztah [19]:

$$I = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B.$$

Pro různé účely existuje několik barevných prostorů RGB, které jsou definovány různými poměry složek tří základních barev RGB a různou hodnotou bílého bodu.

Jedním z takto definovaných barevných prostorů je sRGB (standardní RGB), který byl vytvořen spoluprací Hewlett-Packard a Microsoft. Tento barevný prostor byl vytvořený pro použití v monitorech a používá se ve velkém množství na internetu. Odpovídá co nejvíce reálnému zobrazování barev na monitorech [16].

Dalším takto definovaným prostorem je NTSC. Byl specifikován v roce 1953 pro zobrazování barev na tehdejších monitorech a televizních přístrojích [13]. Tyto monitory a televizory se ovšem průběžně vyvíjejí a je potřeba zavádět nové specifikace v zobrazování barev. V mírně pozměněné podobě se NTSC používá v televizním vysílání v Severní Americe.

- Prostor CMY obsahuje barvu tyrkysovou (C = Cyan), purpurovou (M = Magenta) a žlutou (Y = yellow). Funguje na principu subtraktivního míchání barev, tzn. když se všechny barvy smísí vznikne černá barva. Jelikož se ale nejedná o úplně černou barvu tak vznikl model CMYK, který se používá v tiskárnách, kde se černá barva tiskne jako samostatná barva (K = black). Převod mezi RGB a CMY [19]:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

- Prostor HSV nejlíže odpovídá vnímání barev u člověka. Je představován barevným tónem (H = Hue), sytostí (S = Saturation) a hodnotou jasu (V = value). Význam jednotlivých složek popsán výše v úvodu kapitoly barvy. Pro tento model se můžeme setkat i s jinými označeními (HSI, HSB, HLS), které se od sebe příliš neliší.
- Barevný prostor CIE XYZ byl vyvinut roku 1931 (viz výše). Barva je určena pomocí souřadnic X, Y, Z. Převedením X, Y a Z do normalizovaného tvaru získáváme chromatický diagram CIE xy [13].

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Z těchto souřadnic ale nelze získat jas barvy a proto se používá zápis CIE xyY, kde xy jsou souřadnice a Y je jas.

Roku 1976 byly definovány barevné prostory CIE Luv (CIELUV) a CIE Lab (CIELAB). CIE Luv má rovnoměrněji rozloženy barvy oproti CIE z roku 1931. U obou barevných prostorů představuje L světlost. Prostor CIE Lab slouží pro vyjádření barev materiálů (Luv slouží pro barvy vzniklé mícháním barevných zdrojů s vlastním zářením) a byl navržen tak, aby nebyl závislý na zařízení. Souřadnice a reprezentuje rozsah od zelené (-a) až k červené barvě (+a), souřadnice b rozsah od modré (-b) po žlutou (+b) [19].

Barevný prostor CIE Lab má největší rozsah zaznamenaných barev a používá se jako referenční prostor pro převody mezi jednotlivými barevnými prostory (tyto prostory jsou podmnožinou barevného spektra).

Dnes by již každé zařízení mělo mít tzv. ICC profil barev (International Color Consortium). Jedná se o soubor, ve kterém je popsána charakteristika barev zařízení, jeho nastavení spolu s popisem, jak převést barevné hodnoty. Účelem je, aby tento soubor použil management pro barvy (CMM = Color Management Module) ve chvíli, kdy je potřeba převést barvy zařízení do barevného prostoru jiného zařízení (převod se děje pomocí tzv. spojovacího prostoru profilu). Například skener může mít v souboru uložená nastavení pro RGB a XYZ, která popisují výstup dat z něj. Pro převody mezi barevnými prostory zařízení zvolilo ICC prostory CIE Lab a CIE XYZ (spojovací barevné prostory, nezávislé na zařízení) [18].

2 Skenování

Skenování je jedním ze způsobů digitalizace obrazových předloh. Umožňuje převést předlohu do digitální podoby. Je to jediná metoda, která dovoluje pořizování věrné kopie z hlediska prostorového i kolorimetrického [3]. Výsledkem je rastrový soubor.

Přístroj pro skenování se nazývá skener (anglicky scanner neboli snímač). Jedná se o optickomechanický přístroj, který snímá analogový obraz (předlohu) bod po bodu po řádcích a převádí jej do digitální podoby. Tyto body se nazývají pixely (kap. 1.1). Každý pixel je jednoznačně identifikovatelný podle jeho souřadnic (řádek, sloupec), je to nejmenší jednotka v rastru a obsahuje informaci o barvě.

Téměř všechny druhy skenerů pracují na stejném principu. Předlohu je potřeba dostatečně nasvítit. Skener zachytává světlo odražené od předlohy pomocí snímacího prvku (snímače). Osvětlení je realizováno pomocí fluorescentní lampy (zářivky) či pomocí LED diod. Osvícení předlohy by mělo být rovnoměrné, čehož ale není v případě osvětlení pomocí lampy docíleno a proto je používána optická soustava zrcadel a čoček, která zaručuje odraz světla na místa, kde je ho potřeba. Zdroj světla i snímač je umístěn pod sklem, na kterém je umístěna skenovaná předloha.

Při zahájení skenování přečte snímač první řádek bod po bodu. Poté se plynule za pomoci krokového motoru přesune spolu s osvětlovacím zařízením na další řádek a opakuje se stejný proces jako u prvního řádku. U některých druhů skenerů se neposunuje snímač ale předloha. Postupným posunem snímače a osvětlovacího zařízení se nasnímá celá předloha. Vznikne tak matice bodů, které jsou uspořádány do řádků a sloupců. Tyto body mají různou barvu, která je jim přiřazena snímačem, jehož princip fungování je popsán v následujícím odstavci.

2.1 Druhy snímačů

Snímač je zařízení, které přeměňuje dopadající intenzitu světla na elektrický náboj o různé síle. Tento náboj se následně zesílí a je digitalizován [1]. Elektronická součástka, která změří elektrický náboj ze snímače a převede jej do digitální podoby (do dvojkové soustavy ve které pracují počítače) se nazývá analogově digitální převodník (A/D převodník). Jako snímač se používá tzv. CCD snímací prvek či CIS senzor.

- CCD (Charge Coupled Device) snímač je polovodičová součástka na bázi křemíku a v překladu to znamená zařízení s vázanými náboji. Při použití tohoto snímače se k osvětlení používá lampa a světlo se do něj odráží přes optickou soustavu. Pracuje na principu fotoefektu (fotoelektrického jevu), kdy energie částice světla foton při nárazu do atomu způsobí, že přemístí elektron ze svého valenčního pásma. Tento elektron je zdrojem elektrického napětí, jehož projevem je proud úměrný množství dopadající energie [6]. Informace o vzniklém náboji (napětí) odchází postupně z buňky na buňku (snímač obsahuje množství světlocitlivých buněk) a jsou předány do zesilovače a poté do A/D převodníku.

Z hlediska konstrukce existují lineární a plošné CCD snímače. Lineární CCD se používají v případech, kdy nám postačí nasnímat jednorozměrný obraz a druhý rozměr je dodán pomocí pohybu snímače či předlohy. Lineární CCD snímače lze najít ve faxech či skenerech. Tento snímač si lze představit jako řadu bodů (buněk), které leží vedle sebe a každý bod snímače představuje po naskenování jeden bod (pixel) rastru. Plošné CCD se používají v případech, kdy potřebujeme nasnímat dvojrozměrný obraz najednou, využívají se tedy v kamerách či digitálních fotoaparátech.

Barevný obraz se tvoří za pomoci tří základních barev R, G, B, kdy je každý bod snímán třikrát (pomocí tří samostatných CCD snímačů, respektive pomocí tří buněk snímače), pokaždé přes jiný filtr (červený, zelený, modrý) a pixel v obraze je tvořen intenzitou těchto tří základních barev. Barevného obrazu se ještě dá docílit i jiným způsobem a to tak, že se barevné filtry umístí v šachovnicovém vzoru před jednotlivé body jediného snímače [15].

- CIS (Contact Image Sensor) senzor (snímač) se používá ve spojení s LED diodami, které jsou umístěné u senzoru, což přináší rovnoměrné osvětlení po celé šířce dokumentu. Pro získání barevného obrazu se CIS nasvětluje třemi řadami diod, kde každá řada osvětluje jinou barvou, konkrétně se jedná o červenou, zelenou a modrou barvu.

Skener, vybavený CIS snímačem, má nižší cenu než skener vybavený technologií CCD, protože není nutná optická soustava zrcadel a čoček. Jeho nevýhodou je nižší citlivost a svítivost [27].

2.2 Druhy skenerů

Dnes je na trhu celá řada skenerů. Lze je rozdělit podle různých hledisek do několika skupin (např. dělení zde [17]). Skenery se především odlišují konstrukcí, způsobem využití (pro domácí použití či profesionální), schopností snímat barevně nebo jen černobíle (dnes již převládají barevné skenery, protože rozdíl v ceně je zanedbatelný) a samozřejmě cenou. Na následujících řádcích budou i s ukázkami popsány nejčastější druhy skenerů a způsob, jakým pracují. Kromě přístrojů ke skenování papírových předloh existují i 3D skenery a dále pak i filmové skenery [2], které dokáží naskenovat kinofilmy a jiné průsvitné fotografické materiály.

- Ruční skener, jak již z názvu vyplývá, se používá tak, že se s ním musí vlastnoručně přejet po předloze. Jeho šířka je mezi 15 až 25 cm a vyžaduje co nejpřesnější a nejplynulejší přejetí po předloze od shora dolů. Tento druh skeneru nedosahuje velké přesnosti, především z důvodu obtížné udržitelnosti přímé dráhy při skenování a nutnosti naskenovat předlohu ve více pruzích a pak je „slepit“ dohromady [7]. Původně byl tento skener používán v kancelářích a postupně byl vytlačen stolním skenerem.

Pro skenování textových předloh se používá tzv. tužkový skener, který má podobu tužky a jedná se o druh ručního skeneru [8]. Tímto skenerem se přejíždí řádek po řádce nad textovým dokumentem.

- Plošný skener (neboli stolní či deskový) je nejrozšířenějším skenerem zejména ve velikosti pro skenování předloh ve formátu A4. V současnosti lze tyto skenery díky své nízké ceně spatřit nejen v kancelářích, ale postupně se dostávají i do domácností. Princip fungování skenování je velice jednoduchý a v zásadě již byl popsán výše. Předloha se položí na skleněnou desku, pod kterou se pohybuje snímací mechanismus [24].

Mezi plošné skenery se řadí velkoformátové skenery, které dokáží snímat předlohy až do formátu A0. Místo pohybu snímacího mechanismu se pohybuje předloha, která se do skeneru zasune a pomocí koleček se konstantní rychlostí posouvá a je snímána.

- Bubnový skener (rotační) funguje na principu upevnění předlohy na buben, který se otáčí velkou rychlostí a pomocí světelného paprsku se snímá předloha po řádcích (jeden řádek za jednu otáčku). Tyto skenery jsou velmi přesné a jsou kladené velké nároky na jejich kvalitu a jsou nákladné [9].

2.3 Parametry skenerů

Skenery mají různé parametry, ať se již jedná o způsob propojení s počítačem (USB, SCSI nebo FireWire port), rychlost skenování či přesnost. Mezi další parametry patří denzita a především dvě velice důležité hodnoty, které lze nastavit při každém skenování, a těmi jsou rozlišení a barevná hloubka.

Denzita udává, v jakém rozsahu skener rozliší různé jasy. Maximální denzita vyjadřuje, jak je skener schopen při snímání rozlišit ve velmi tmavých plochách jemnou kresbu, minimální denzita je opak, tzn. snímání velmi světlé plochy s jemnou kresbou. Platí, že čím vyšší rozsah denzit (rozdíl mezi maximální a minimální denzitou) a čím vyšší maximální denzita, tím kvalitnější skener [1].

Rozlišení se udává v DPI (Dots Per Inch), což jsou body na palec. Vzdálenost těchto bodů pak představuje vzorkovací frekvenci (interval vzorkování), která je určena jak pro x tak pro y (viz kap. 1.1 vzorkování). Čím více bodů je skener schopen rozlišit, tím je rozlišení i kvalita skeneru vyšší. Rozlišení tedy určuje, jak kvalitně bude nasnímaná předloha. S vyšší hodnotou DPI narůstá velikost rastrového souboru. Při počtu 600 DPI má snímač 600 bodů na vzdálenost palce. Rozlišení lze udávat jako součin počtu bodů (např. 600 x 1200 DPI), kde první hodnota představuje hodnotu optického rozlišení v horizontálním směru a druhá hodnota je ve vertikálním směru (pohybující se snímač či předloha), která se odvíjí od přesnosti krokového motoru. Čím menší krok motorek zajistí, tím vznikne větší rozlišení [7]. Kromě optického (skutečného fyzického) rozlišení, které vypovídá o kvalitě skeneru, se někdy můžeme setkat s tzv. interpolovaným rozlišením, které je násobkem optického rozlišení. Například při dvojnásobném zvětšení vzniknou mezi řádky a sloupci obrazu prázdné body, které je potřeba doplnit. Pomocí softwaru se vyinterpoluje barva těchto prázdných bodů jako průměr barev ze sousedních bodů [11]. Interpolací se nijak nezlepšuje kvalita nasnímané předlohy (nedochází k zachycení většího množství detailů).

Hodnota barevné hloubky udává, jaké množství barev a jejich odstínů je skener schopen rozlišit a jak věrně dokáže zobrazit barvy předlohy. Barevná hloubka vychází z počtu výsledných kvantizačních úrovní (kvantování kap 1.2). Udává se v bitech, čím větší číslo, tím větší počet barev a tím vzroste velikost rastrového souboru, do kterého se naskenovaná předloha ukládá. Černobílý obraz má 1 bitovou barevnou hloubku a počet barev je $2^1 = 2$. Obvyklá barevná hloubka je 24 bitová, což odpovídá $2^{24} = 16\,777\,216$ barev (8 bitů na každý barevný kanál, tzv. true color) [8]. V současnosti existují skenery, které dokáží snímat s barevnou hloubkou až 48 bitů (16 bitů na barevný kanál).

2.4 Skener Contex Crystal G600

Velkoformátový skener Contex CRYSTAL G600 byl pořízen katedrou matematiky ZČU (dále jen KMA) v roce 2007 v rámci výzkumného záměru č. MSM4977751301 [21]. Skener je zejména využíván členy oddělení geomatiky ke skenování map. Z hlediska skenování starých map nás především zajímá geometrická přesnost a grafická věrnost map. Geometrickou (kartometrickou) přesnost je možno nechat zjistit provedením testu. Testy na základě písemné žádosti provádí pracovník Zeměměřického úřadu. Na základě výsledků provedeného testu se poté udělí atest, který může opravňovat ke skenování map pro účely katastru nemovitostí. Více o testování přesnosti skenerů a získání atestu v kapitole 3.

Základní parametry skeneru, který se nachází na KMA, jsou uvedeny v tabulce 2.1. Skener se vyrábí v základní či v tzv. plus verzi. Na KMA se nachází skener v základní verzi, tzn. dosahuje optického (hardwarového) rozlišení 600 DPI a interpolovaného rozlišení až 1200 DPI. Dva rozdíly mezi základní a plus verzí jsou takové, že plus verze dosahuje interpolovaného rozlišení až 9600 DPI a při 24 bitovém barevném skenování v RGB dosahuje nepatrně vyšší rychlosti skenování (1 palec za sekundu oproti 0.6 palce za sekundu). Skener obsahuje tzv. ALE technologii (Accuracy Lens Enhancement Technology), což je funkce, která kompenzuje geometrické zkreslení způsobené optikou snímačů [20]. Skener je dodáván spolu se softwarem WIDEsistem, který obsahuje nástroje pro údržbu, programy ke skenování a ovladače.

Tabulka 2.1: Parametry skeneru Contex CRYSTAL G600.

Contex CRYSTAL G600	
Optické rozlišení:	600 DPI
Barevná hloubka:	48 bitová pro barevné snímání, 16 bitová pro šedotónové snímání
Přesnost:	0.1% ± 1 pixel
Maximální šířka skenování/dokumentu:	1066/1118 mm
Maximální tloušťka dokumentu:	15 mm
Barevné prostory:	NTSC, sRGB
Snímače:	3 čtyřřádkové (lineární) CCD snímače
Propojení s počítačem:	FireWire, USB2, STI, WIA TWAIN
Operační systém:	Windows, Macintosh

Zdroj [26].

2.5 Formáty rastrových souborů

Analogový obraz převedený do digitální podoby je potřeba uložit v nějakém formátu. Pro rastrová (neboli bitmapová) data, reprezentována mřížkou tvořenou pixely, které nabývají barevných hodnot, existuje velké množství formátů, ve kterých je možno je uložit. Rastr se ukládá rovnou jako hodnoty jednotlivých obrazových bodů či se data z důvodu paměťové náročnosti komprimují. Kompresi může být ztrátová či bezztrátová a existuje několik metod jak data zkomprimovat (metody komprese a jejich principy je možno nalézt v [10], [19]). Různou velikost rastrového souboru mimo jiné způsobuje počet barev, které se ukládají v bitech. U černobílého obrazu se ukládá pouze černá a bílá barva v 1 bitu ($2^1 = 2$), přičemž u 1 bitové barevné hloubky se nemusí jednat jen o černou a bílou barvu ale o jakoukoli dvojici barev. U šedotónových se ukládá v 8 bitech 256 odstínů šedi ($2^8 = 256$). Nejčastěji se ukládá barevný obraz ve 24 bitové barevné hloubce (8 bitů pro každý barevný kanál RGB, tzn. 3×8 bitů), tzv. true color barvy, který obsahuje $2^{24} = 16\,777\,216$ barev. U tzv. indexovaných (paletových) barev je ukládán barevný obraz v 8 bitech, tzn. $2^8 = 256$ barev. Barevná paleta obsahuje 256 barev z hodnot RGB (tedy 256 barev z $16\,777\,216$). Hodnoty pixelů jsou indexy v barevné paletě [19]. Na následujících řádcích bude stručně představeno a popsáno několik rastrových formátů.

- BMP (Microsoft Windows Bitmap) byl vyvinut společností Microsoft. Formát pracuje s RLE kódováním (kompresi), ale často je ukládán bez komprese, což má za následek velkou velikost souboru. Podporuje až 24 bitová data (true color) [10].
- CIT je formát, používaný například pro archivaci a distribuci katastrálních map. Jedná se o jednobitový (černobílý) formát, který lze georeferencovat (má v hlavičce údaje o souřadnicovém systému [22]).
- GIF (Graphics Interchange Format) používá paletu barev a bezztrátovou LZW kompresi. Uchovává data v barevné hloubce od jedno do osmi bitů. Dovede ukládat více obrázků do jednoho a tím je možno vytvářet animace. Formát je podporován velkou řadou aplikací a je velmi populární, ovšem dnes je již na ústupu, protože nepodporuje větší barevnou hloubku než 8 bitů [10].
- JPEG (Joint Photographic Experts Group) je široce rozšířený formát pro rastrová data. Jeho název by správně měl být JFIF (JPEG File Interchange Format), ovšem vžilo se označení JPEG, což je ve skutečnosti název komprese. Tato komprese je ztrátová, pracuje na principu kosinové transformace a dovede vytvářet velmi komprimované soubory. Při této ztrátové kompresi dochází ke ztrátě informací,

které může lidské oko zachytit jen velmi stěží (zejména odstíny šedí). Podporuje až 24 bitovou hloubku, tedy true color [10]. JPEG lze georeferencovat pomocí souboru s příponou .JGW, ve kterém jsou uloženy parametry pro připojení do souřadnicového systému.

- PNG (Portable Network Graphics) byl navržen pro přenos obrazových dat po síti (internetu) a má nahradit formát GIF. Formát umožňuje velkou bitovou hloubku, 48 bitů v true color a až 16 bitů ve stupních šedé. Podporuje indexovanou paletu [10].
- TIFF (Tag Image File Format) je velice univerzální a všestranný formát, lze jej použít v jakémkoli operačním prostředí. Prošel dlouholetým vývojem a umožňuje použít různé kompresní metody. Formát pracuje s 24 bitovou hloubkou barev. Podporuje tzv. dlaždice (tiles), což znamená, že lze pracovat jen s nějakou částí obrazu. Umí v sobě uložit více obrázků v různém rozlišení (tzv. pyramidování). Stejně jako JPEG tak i TIFF umožňuje souřadnicové připojení a to buď přidáním informací přímo do souboru obrázku (pomocí tagu, viz specifikace GeoTIFF [14]) či do nového souboru s příponou .TFW.

3 Testování přesnosti skenerů

Skenery se testují na základě pokynů č. 32 Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (dále jen ČÚZK) pro skenování katastrálních map a grafických operátů dřívějších pozemkových evidencí [25]. Účelem skenování je dle odst. 1 „vyhotovování kopií mapových podkladů v digitální formě jako rastrových počítačových souborů (dále jen „rastrové soubory“) pro účely archivace, vedení a obnovy katastru nemovitostí a pro jiné účely, např. pro využití v dalších informačních systémech jiných správců“ [25].

ČÚZK uděluje atest na základě provedeného testu pracovníkem Zeměměřického úřadu (dále jen ZÚ). Na základě výsledků testu se udělí atest pro kartometrické či orientační skenování. Požadavky na rastrová data pro kartometrické a orientační skenování jsou uvedeny v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Požadavky na rastrová data.

	Kartometrické skenování	Orientační skenování
Střední chyba transformačního klíče	$\leq 0,07$ mm	$\leq 0,12$ mm
Střední souřadnicová chyba	$\leq 0,10$ mm	$\leq 0,15$ mm
Maximální odchylka v poloze	pro válcové skenery: $\leq 0,30$ mm pro ostatní skenery: $\leq 0,20$ mm	pro všechny skenery: $\leq 0,40$ mm
Hodnota rozlišení	minimálně 400 DPI	minimálně 400 DPI

Zdroj [25].

Pro účely katastru je nezbytné, aby byla zachována kartometrická kvalita (kartometrické skenování) mapových podkladů. Výsledky orientačního skenování nelze využít pro účely katastru. Skenování provádí Zeměměřický úřad (dále jen ZÚ), katastrální úřady a případně externí skenovací pracoviště, které vlastní skenery s platným atestem.

Test se provádí na podkladě písemné žádosti provozovatele skeneru, přičemž provozovatel musí být oprávněn vykonávat zeměměřické činnosti ve smyslu zákona k zeměměřictví (toto oprávnění provozovatel skeneru doloží kopií živnostenského listu popřípadě dokladem o vzdělání odborně způsobilé osoby). Na základě výsledků testu se uděluje atest na dobu čtyř měsíců po prvním testu a pokud se při opakovaných testech prokáže stabilita vnitřní přesnosti skeneru může být tato doba prodloužena až na jeden rok. Atest je doplněn o protokol testování skeneru, ve kterém jsou shrnuty výsledky testu.

Testování skeneru se dle odst. 13.5 zaměřuje na určení geometrické přesnosti rastrového obrazu skenované předlohy a na zhodnocení grafické kvality (čitelnosti kresby)

dosažené při optimálním nastavení prahových hodnot. Pro účely této práce je důležitý zejména odst. 13.5.1 (přesné znění tohoto odstavce a několika dalších vybraných odstavců vztahujících se ke zjišťování geometrické přesnosti a grafické kvality lze nalézt v příloze A), ve kterém je uvedeno, že se pro určování geometrické přesnosti využívá kontrolní mřížka (sít' po 50 mm o rozměrech 700 mm x 550 mm), která byla vyrobena rytinou na plastové fólii kreslicím stolem CORA II v ZÚ [25]. Tato kontrolní mřížka (dále fólie) byla vyrobena v roce 1991 a dnes jí již není možno vyrobit (kreslicí stůl neexistuje a materiál astralon, ze kterého je fólie vyrobena se dnes již nepoužívá). Souřadnice fólie jsou určeny s přesností 0,02 mm. Kontrola stálosti fólie (neměnnost souřadnic křížků) se kontroluje ve Výzkumném ústavu geodetickém, topografickém a kartografickém ve Zdíbech a naposledy byla provedena v roce 2005. Z výsledků kontrol vyplývá, že fólie je rozměrově stabilní.

Podrobnosti o fólii a bližší informace o průběhu testování byly získány konzultací s panem Ing. Bohumilem Michalíkem, pracovníkem ZÚ, který prováděl test skeneru na ZČU ve dnech 22.4.2008 a 28.5.2009. Atest, který byl udělen na základě prvního testu se nachází na příloženém CD.

3.1 Průběh testování

1. Před samotným skenováním je nutno připravit fólii. Fólie s křížky (180 křížků, rastr 12×15 , vzdálenost 50 mm) je položena na rovnou podložku (nejčastěji stůl), kde dojde k jejímu vyrovnání a srovnání teploty, což trvá 1–2 hodiny podle okolní teploty. Fólie se přepravuje stočená v roli a během přepravy je vystavena střídání teplot. Pokud by se fólie s křížky nenechala dostatečnou dobu srovnat, mohlo by dojít k lokální deformaci.
2. Během doby, kdy se připravuje fólie je provedeno černobílé skenování opotřebené barevné mapy (pro přiblížení reálným podmínkám) s rozlišením 400 DPI. Skenování se provede v případě nutnosti několikrát, dokud není vhodným nastavením prahu dosaženo optimální kvality. K tomuto se přistupuje z důvodu ověření schopnosti skeneru věrně převést různobarevná data na černobílou reprezentaci. Díky způsobu konstrukce skenerů může dojít k problémům se skenováním pouze na části barevného spektra. Sleduje se zejména kvalita skenování červených čar, protože jeden z testovaných skenerů měl potíže s jejich skenováním.

3. Po vyrovnání fólie se provede vlastní skenování. Skenuje se opět černobíle při rozlišení nejméně 400 DPI. Praha se volí tak, aby linky naskenovaných křížků měly tloušťku 3 až 6 pixelů. Po naskenování se kontroluje tloušťka 4 krajních křížků a několik dalších náhodně zvolených. Po nalezení vhodného prahu se skenování provádí celkem čtyřikrát: pro dva různé prahy (tloušťka křížků na spodní a na horní hranici) a pro dvě orientace fólie (otočení o 180°). V praxi se ukazuje, že hodnoty prahů pro jednotlivé přístroje se nemění.
4. V naskenovaných rastrových datech se najdou středy křížků – ručně se vektorizují jednotlivé úsečky tvořící křížky a z nich se vypočtou průsečíky – středy. Tato metoda je mnohem přesnější, než kdyby se přímo určovaly středy.
5. Nalezené souřadnice středů křížků se poté transformují na místní souřadnice fólie za použití afinní transformace. Nejprve je ze 4 rohových křížků metodou nejmenších čtverců spočítán transformační klíč. S jeho pomocí se poté transformují i ostatní křížky. Použití afinní transformace, s klíčem vypočítaným ze 4 rohů, vychází z praxe, kde se stejná metoda používá i pro transformaci map. Afinní transformace dokáže potlačit chybu rotováním, zkosením, posunem a změnou měřítko. Chyby, které mohou být způsobeny vnějšími vlivy (obsluhou skeneru) a nemají tedy vliv na geometrickou přesnost samotného skeneru, spadají do kategorie chyb potlačitelných afinní transformací.
6. Výše uvedeným postupem se získají souřadnice křížků naskenovaných dat ve stejném souřadnicovém systému jako souřadnice vzorových křížků. Očíslují-li se křížky postupně po řádcích (12 bodů na řádek), pak se srovnáním jednotlivých párů získají souřadnicové odchylky a z nich se vypočítá chyba transformačního klíče podle vzorce:

$$\mathcal{E}_k = \sqrt{\frac{1}{4} \sum (\delta_{xi}^2 + \delta_{yi}^2)} \quad \text{pro } i = \{1, 12, 169, 180\}$$

a směrodatná odchylka (střední souřadnicová chyba) podle vzorce:

$$\mathcal{E}_s = \sqrt{\frac{1}{180} \frac{1}{2} \sum (\delta_{xi}^2 + \delta_{yi}^2)} \quad \text{pro } i = \{1, \dots, 180\}$$

přičemž platí, že δ_{xi} a δ_{yi} jsou souřadnicové chyby mezi skutečnými a naměřenými souřadnicemi po transformaci. Tyto hodnoty potom představují chybový vektor:

$$\vec{\epsilon}_i = (\delta_{xi}, \delta_{yi}) .$$

Ze získaných souřadnicových odchylek se dále sestaví vektorová mapa odchylek.

3.2 Chyby metody testování

Fólie není vyrobena přesně, proto se pro získání souřadnic křížků provedla jejich vektorizace na digitizéru. Stálost fólie (neměnnost souřadnic) se kontrolami potvrdila. Naskenovaná data se pro použití nejprve musí také vektorizovat, to se děje na počítači. Obě operace vytvoří chybu, která představuje rozdíl mezi skutečnými polohami křížků a jim odpovídajícím vektorizovaným polohám. Obě chyby se z hlediska metody považují za zanedbatelné, a proto se s nimi nepočítá.

Definujeme jednotlivé vektory jako souřadnice bodů, které reprezentují:

\vec{x}_i - středy křížků získané z naskenovaných dat,

\vec{y}_i - středy křížků získané transformací naskenovaných dat,

\vec{z}_i - středy křížků vzorových dat.

Jak je ukázáno v příloze B, pro jednotlivé hodnoty platí vztahy:

$$\vec{y}_i = \mathbf{A} \vec{x}_i + \vec{b} \quad \text{a} \quad \vec{z}_i = \vec{y}_i - \vec{\varepsilon}_i .$$

Pomocí metody nejmenších čtverců vypočteme aproximaci pro \mathbf{A} a \vec{b} . Získáme hodnoty \mathbf{A}' a \vec{b}' pro něž platí:

$$\mathbf{A}' = \mathbf{A} - \varepsilon_A \quad \text{a} \quad \vec{b}' = \vec{b} - \vec{\varepsilon}_b .$$

Protože známe pouze aproximaci klíče afinní transformace, můžeme získat jen data \vec{y}_i' , která budou transformována s chybou $\vec{\varepsilon}_{Ti}$ (chyba transformace):

$$\vec{y}_i = \vec{y}_i' + \vec{\varepsilon}_{Ti} .$$

Můžeme odvodit:

$$\begin{aligned} \vec{y}_i &= (\mathbf{A}' + \varepsilon_A) \vec{x}_i + \vec{b}' + \vec{\varepsilon}_b = \mathbf{A}' \vec{x}_i + \vec{b}' + \varepsilon_A \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_b \\ &=> \\ \vec{\varepsilon}_{Ti} &= \varepsilon_A \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_b . \end{aligned}$$

Ačkoliv předpis chyby odpovídá předpisu afinní transformace, nelze chybu určit pomocí metody nejmenších čtverců, protože neznáme \vec{y}_i' .

Dosazením získáme vzorec pro výpočet $\vec{\varepsilon}_i$, ze kterého je vypočten výsledek metody:

$$\vec{\varepsilon}_i = \vec{y}_i' + \vec{\varepsilon}_{Ti} - \vec{z}_i \quad (\text{z definice: } \vec{\varepsilon}_i = (\delta_{xi}, \delta_{yi}) .)$$

Aproximace klíče se provádí pouze ze souřadnic rohových křížků. Chyba transformace je tedy závislá pouze na chybách rohových křížků. Z toho plyne, že celkový výsledek metody – změřená geometrická přesnost, je závislá i na metodě. Na stejném skeneru při použití jiných vzorových dat a jiné metody se stejným typem výsledku by mohl

být výsledek velmi rozdílný. Pokud budeme používat skener ke skenování map srovnatelně velkých jako fólie a mapy umístíme na stejnou pozici, pak můžeme považovat výsledek metody za věrohodný. V opačném případě je výsledek věrohodný pouze pokud je chybovost skeneru stejná na celém skenovacím intervalu – skener nemůže vykazovat lokální nárůst chybovosti.

3.3 Možnosti zmenšení chyb současné metody

Obecně můžeme říci, že čím více dat dokážeme získat, tím přesnější a podrobnější závěry můžeme vyvodit. Pro zpřesnění metody by bylo možno použít několik vylepšení:

- vektorizační automat (program),
- zvětšení počtu skenování,
- zvětšení počtu snímaných bodů,
- změna charakteru snímaných dat,
- barevné rozdělení dat (RGB+K).

Vektorizační automat

Časová náročnost ruční vektorizace naměřených dat limituje počet bodů ve skenovaných datech (na vzorové fólii) i počet vlastních skenování. Pokud bychom byli schopni navrhnout program, který by umožnil provedení vektorizace automaticky, oba limity by byly odstraněny (z pohledu vektorizace). To by umožnilo provádět podstatně komplexnější analýzu, aniž by došlo k výraznému nárůstu časové náročnosti samotného procesu získání dat. Fáze časově náročné ruční vektorizace by odpadla úplně. Dá se předpokládat, že vzhledem k současnému výpočetnímu výkonu běžných počítačů a reálnému maximu velikosti naskenovaných dat by vektorizace a následné výpočty probíhaly téměř v reálném čase.

Zvětšení počtu skenování

V současnosti se fólie se vzorovými daty skenuje čtyřikrát a vektorizace se provádí pouze na dvou vybraných skenováních. To není příliš šťastné, protože fólie nemůže ve většině případů pokrýt celou oblast, kterou je skener schopen nasnímat. Důvody jsou zřejmé: časová náročnost ruční vektorizace. Předpokládejme, že by bylo možno použít automat a toto omezení by odpadlo. Pak by bylo možné vícenásobným skenováním

s bočním posunutím pokrýt celou skenovací oblast. Bylo by také možné použít více různých testovacích fólií. Dále by bylo možno začít měřit chybu opakování, popřípadě využít průměrování a dalších metod, které využívají možnosti vícenásobného skenování se stejnými počátečními podmínkami.

Zvětšení počtu snímaných bodů

Fólie se vzorovými daty obsahuje 180 křížků ve čtvercové mřížce 12×15 . Středů křížků jsou 50 mm od sebe. Skenuje se s rozlišením 400 DPI. Z uvedených hodnot vyplývá, že středů křížků jsou od sebe vzdáleny cca 790 pixelů. Pokud uvažujeme tloušťku čar křížků do 10 pixelů, pak je vidět, že mezi křížky se nachází relativně velký prostor pro přidání dalších. Při použití jiné než čtvercové mřížky by pak bylo možno dosáhnout ještě větší hustoty křížků. Je zřejmé, že by opět muselo dojít k využití vektorizačního automatu.

Změna charakteru snímaných dat

Skenovaná data jsou křížky. To je vhodné pro ruční vektorizaci, protože se díky tomu poměrně jednoduše a přesně dokáže určit střed. Při použití vektorizačního automatu by bylo možné použít i jiné tvary, nicméně nejlepší varianta by byla použít celou mřížku, sadu navzájem se protínajících rovnoběžných přímk. Vektorizovali bychom potom ohraničené části přímk. Získaná data by měla řádově vyšší vypovídací hodnotu, než jednoduché body.

Barevné rozdělení dat

V rámci testování by bylo dobré, aby se skenovala různobarevná data (RGB+K). Skener může mít problémy se skenováním základních barev i z geometrického hlediska. Složit skenovací data z různobarevných elementů by mohlo odhalit další chyby skeneru.

3.4 Použití jiných metod

Z výše zmíněného je zřejmé, že největší síla a slabost metody je v jejím úzkém profilu poskytovaných výsledků. Jakákoliv obecnější metoda bude s největší pravděpodobností poskytovat méně přesné výsledky pro použití standardní metody transformace map. Na druhou stranu ale obecnější metoda vypoví mnohem více o skeneru samotném.

Pokud bychom se rozhodli navrhnout jinou metodu, první problém, který musíme řešit, je volba způsobu transformace dat. Různé transformace mohou poskytnout velmi

rozdílné výsledky. Určení transformačního klíče je další postup, který je potřeba definovat. I zde platí, že různé postupy určení produkuje ve finále různé výsledky. Definování toho, co je vlastně výsledkem, je další velmi složitý problém.

Evidentně je důležité, aby výsledek byl co nejvíce věrohodný a aby vypovídací hodnota byla co největší. Logickým závěrem tedy je, že pro každou operaci, která převádí naskenovaná data na výsledek skenování, by měla existovat optimalizovaná metoda určení chyby vycházející z operace samotné.

Pro určení obecného popisu chyb by se neměla používat žádná transformace dat. Jednalo by se o komplexní popis lokálních chybovostí daného skeneru. Je zřejmé, že z tohoto popisu by bylo možno do jisté míry usuzovat na přesnost specializovaných metod.

Protokol o geometrické přesnosti skeneru by tedy měl obsahovat souhrn geometrických přesností v závislosti na použitých metodách a obecný popis chyb. Složitost sestavení takového protokolu by nebyla výrazně větší než složitost sestavení protokolu pro jednu metodu, protože pro různé výpočty by byla použita stejná naskenovaná data. Nicméně program, který by tato data zpracovával by byl řádově složitější.

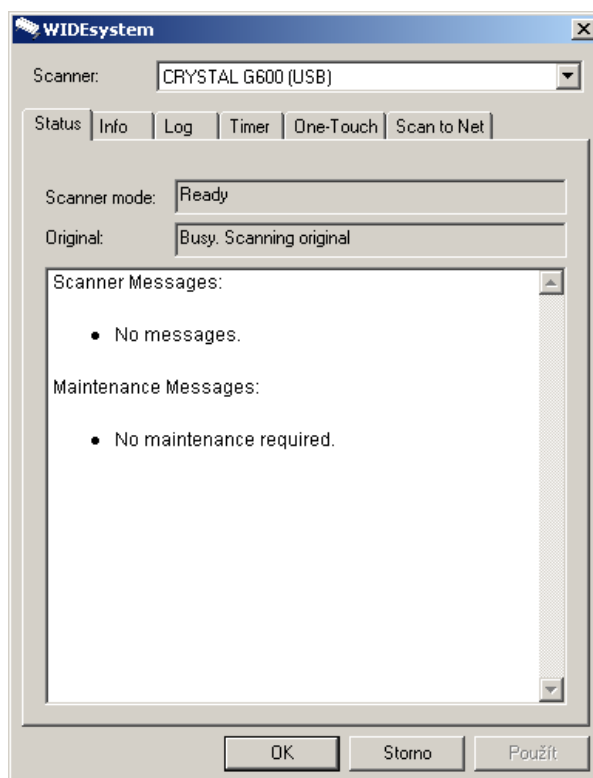
4 Postup při skenování

Jaké vybrat rozlišení, barevnou hloubku či jiné nastavitelné parametry při skenování map? Tyto otázky si položí každý, kdo se chystá naskenovat jakoukoli mapu. Tato kapitola podává informace o tom, jak skenovat na zařízení Contex CRYSTAL G600 a také zejména jaké vybrat rozlišení a další parametry z hlediska geometrické přesnosti a grafické věrnosti starých map. Více informací o nastavení skeneru a o jeho používání lze najít v nápovědě programu WIDEimage a v [28].

Před prvním použitím skeneru je nutné nainstalovat na počítač ovladače skeneru (instalují se automaticky spolu se softwarem WIDEsystem), program s nástroji pro údržbu skeneru a program pro skenování WIDEimage. Veškerý software je dodáván na CD (WIDEsystem TOOLS CD). Propojení počítače se skenerem je možné pomocí USB či FireWire portu, je tedy nutné použít počítač, který má alespoň jeden ze jmenovaných portů. Na KMA je pro skenování vyhrazen notebook, na kterém je již nainstalováno vše potřebné pro skenování, není tedy nutné cokoli instalovat.

Po zapnutí skeneru a propojení s počítačem se je možné přesvědčit, že propojení funguje a to poklepáním na ikonu skeneru v oblasti systémových ikon (tray). Dvojklikem se otevře okno, ve kterém jsou na první záložce informace o módu skeneru (Scanner mode), zda je skenován dokument, či zda je nutné provést údržbu a jiné zprávy. Ukázka tohoto okna je na obrázku 4.1, konkrétně se jedná o chvíli, kdy probíhá skenování. Na druhé záložce se nacházejí různé informace o skeneru, například sériové číslo, po jakou dobu je skener zapnut apod. Zajímá je čtvrtá záložka (Timer), kde je možné nastavit pro každý den v týdnu čas, kdy se má skener zapnout a vypnout. Toto je užitečné zejména při pravidelném skenování v určité hodiny.

Před započítím skenování je potřeba nechat skener nejprve hodinu zahřát (snímače mohou mít lehké posuvy a u lamp dochází k menším změnám intenzity svitu).



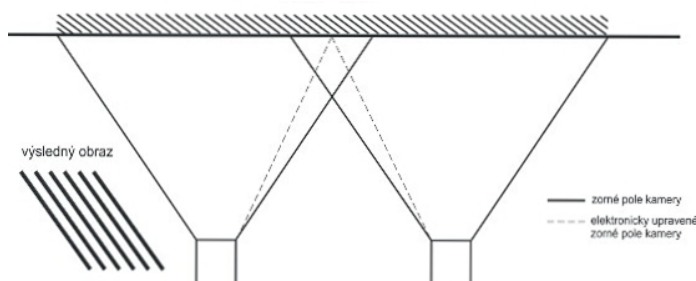
Obrázek 4.1: WIDEsystem.

4.1 Kalibrace skeneru

Před prvním použitím skeneru ale i při jeho používání (jak pravidelném tak nepravidelném) je nutné provádět kalibraci. Důvodem je především požadavek pořizovat co nejméně kopie map (rastrové soubory). U velkoformátových skenerů se mohou vyskytnout různé vady, například mohou být špatné body na CCD snímači. Kalibrace skeneru Contex CRYSTAL G600 je zaměřena na odstranění jiných vad. Časem dochází k ovlivnění vyváženosti barev (používáním se ovlivňují detektory světla). Další vadou je chyba při tzv. stitching, kdy dochází k překrytu snímačů. K překrytu zorných polí snímačů dochází, jelikož se jich používá více (u skeneru na KMA jsou 3 CCD snímače). Překrytí je softwarově upravováno tak, aby tento překryt nebyl poznat, aby byl obraz souvislý, viz obrázek 4.2.

Pokud chceme provést kalibraci přístroje musíme jej nejprve nechat hodinu zahřát (stejně jako před započítím skenování, viz výše). Dále je nutné očistit skleněnou desku ve skenovací oblasti (více o čištění v [28]). Po spuštění programu pro údržbu skeneru se do skeneru zavede kalibrační karta (calibration sheet). Kalibrace probíhá zcela automaticky, postačí řídit se pokyny v průvodci údržbou. Nejprve se vyrovnají kamery do přímky

a zajistí se správný překryt. Následuje kalibrace šedých barev a na závěr kalibrace barev. Barvy z kalibrační karty jsou definované v CIE Lab a jsou skenovány v hodnotách RGB. Následně jsou naskenované hodnoty konvertovány do prostoru CIE Lab a jsou porovnávány se známými hodnotami barev z kalibrační karty. Na základě porovnání referenčních hodnot s naskenovanými hodnotami barev se propočítává korekce barev.



Obrázek 4.2: Překryt dvou snímačů. Zdroj [3].

4.2 Nastavení parametrů skenování

Veškeré nastavení se provádí pomocí programu WIDEimage. Možnosti nastavení se nachází v levém horním rohu programu (obrázek 4.3), při skenování je poté pod tlačítky nastavení zobrazován přehled celého skenovaného dokumentu (dále se budeme věnovat jen mapám) a ve větší části vpravo se zobrazuje konkrétní skenovaná část.

1. Nejprve je nutné zavést mapu do skeneru. Na výběr je buď vložení mapy k levému okraji skeneru či uprostřed skeneru. Toto souvisí s následným výběrem šířky papíru. Pozici mapy je nutné nastavit v menu File→Preferences→Scan Preferences. V praxi se častěji používá vkládání s centrováním na střed skeneru, kde lze následně odečíst rozměry mapy (nad otvorem pro vkládání mapy se nalézá pravítko s hodnotami v cm). Dále lze v menu Scan→Scanner Setup v první položce nastavit manuální či automatické zavádění mapy. Rozdíl mezi nimi je, že při automatickém zavádění si skener zavede mapu ve chvíli, jakmile se dá do otvoru pro vkládání (je možné nastavit dobu prodlevy kvůli kontrole zavedení). V této položce nastavení se nachází volba jemného zacházení (Soft Handling). Tuto volbu je lépe zaškrtnout při práci se starými mapami, jelikož při procházení skenerem dochází k jemnější manipulaci s mapou.
2. V hlavním okně WIDEimage si lze vybrat z několika přednastavení skeneru (např. barevné foto, barevná mapa) a také si lze sestavit vlastní přednastavení (nastavují se parametry jako barevný režim, rozlišení atd.). Nejlépe je nevybírat žádné přednastavení a nastavit parametry ručně v závislosti na mapě, kterou chceme

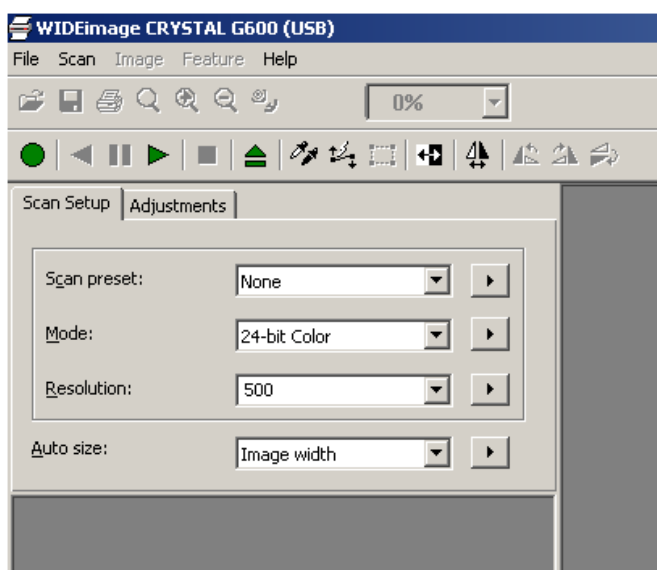
skenovat. Před samotným skenováním je nutné nastavit rozměry mapy (poslední položka v hlavním okně WIDEimage). Na výběr jsou standardní rozměry, možnost detekce rozměrů papíru (mapy) skenerem a manuální nastavení šířky. Jelikož staré mapy nemívají standardní rozměry a automatická detekce rozměrů se ukázala nedostatečná, je potřeba nastavit šířku mapy ručně (kde zjistit hodnotu šířky mapy je napsáno výše). Šířku lze nastavit v palcích či milimetrech (File→Preferences→Unit). Pokud chceme je možno po kliknutí na šipku u okna pro rozměry papíru zaškrtnout volbu pro použití jednotek skeneru. S nastavením rozměrů souvisí nastavení offsetů. Toto lze nalézt v záložce Media Offset okna Scan→Scanner Setup. Dobré je pro jistotu nastavit hodnotu horního offsetu -5 mm a dolního 5 mm. Pokud při zadávání šířky mapy zvolíme rozměr o cca 5 mm větší pak není nutno nastavovat boční offset.

3. Výběru konkrétní hodnoty rozlišení se blíže věnuje kapitola 4.3. Nastavení rozlišení se provádí v hlavním okně WIDEimage. K dispozici je několik metod nastavení rozlišení (např. normální znamená, že lze nastavit rozlišení v krocích po jednom DPI, při nastavení turbo se zrychlí proces skenování atd.).
4. Druh barevného režimu se vybírá v hlavním okně (Mode) a závisí na druhu skenované mapy. Nabízí možnosti skenovat černobíle, ve stupních šedi, barevně a v režimech pro kopírování. Z hlediska skenování starých map nás režimy pro kopírování nezajímají (slouží ke skenování materiálů, které jsou určeny pro opětovný tisk). U černobílého skenování lze buď nastavit prahovou hodnotu (rozhodnutí, zda je pixel černý nebo bílý) ručně či zvolit adaptivní režim. Toto nastavení je vhodné pro mapy tvořené pouze černobílou kresbou. Skenování ve stupních šedi je vhodné pro mapy, které jsou tvořeny odstíny šedi. Režim skenování v klasifikovaných barvách je vhodný pro mapy, kde je potřeba redukovat počet barev a zvýraznit tak některé barvy (vhodné pro skenování map, které mají stejné barevné schéma). Indexované barvy se použijí v případě, že máme mapu, která obsahuje omezený počet barev. Z hlediska pořizování graficky věrných kopií je nutné použít 24 bitový režim barev, který nejlépe odpovídá skutečnosti.
5. Při skenování map dobré zaškrtnout položku ALE v Scan→Scanner Setup záložka Misc (popis ALE viz kap. 2.4). Mezi další možnosti nastavení patří například hodnota jasu, kontrastu atd., které lze nalézt v hlavním okně WIDEimage ve druhé záložce (Adjustments). Tyto hodnoty lze upravovat i po naskenování a je jim věnována 5. kapitola. Pro zjištění optimálního nastavení hodnoty zaostření bylo

provedeno naskenování mapy v celém rozsahu zaostřování a výsledky jsou popsány v kap. 4.4.

6. Naskenovaný obraz lze uložit do souboru ve zvoleném formátu, či jej lze odeslat do prohlížeče (kde lze provést úpravy a až poté jej uložit), lze jej odeslat na tiskárnu či pokud je zřízena počítačová síť tak existuje možnost odeslat jej k uložení na jiný počítač.

Program WIDEimage dále nabízí změnu barevného prostoru (File→Scan Preferences). Samozřejmě představuje předběžný sken, který slouží k náhledu a po jehož zhodnocení se mohou upravit parametry pro skenování.



Obrázek 4.3: WIDEimage tlačítka nastavení.

4.3 Výběr rozlišení

Volba rozlišení by se měla řešit dle vzorkovací věty (kap. 1.1), ovšem nebylo by praktické pro každou mapu zvlášť určovat rozlišení v jakém se má naskenovat. Mapy jsou skenovány především za účelem archivace a je vyžadována geometrická přesnost a grafická věrnost. Je nutné najít hodnotu rozlišení, která se bude aplikovat na každou skenovanou mapu. V úvahu by se také mohla brát velikost rastrového souboru, jelikož s větším rozlišením narůstá jeho objemnost. Nejjednodušším postupem pro určení rozlišení, ve kterém se mapy mají skenovat, je vizuální porovnání map, které jsou naskenovány v různých rozlišení.

Na jedné z map archivu města Plzně bylo provedeno skenování s 12 různými hodnotami rozlišení. Hodnoty rozlišení byly 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600,

800, 1000 a 1200 DPI (poslední tři hodnoty již není fyzické rozlišení ale interpolované). Mapa byla naskenována ve 24 bitové barevné hloubce a uložena ve formátu TIFF bez použití komprese. Vizuální porovnání bylo provedeno na výřezech stejného místa. Pro hodnoty do 300 DPI je porovnávaná vyřiznutá oblast větší než pro výřezy ve větších hodnotách rozlišení (při vyšších hodnotách se jde více do detailu). Výřezy se nacházejí v příloze C.

Mapa naskenovaná v rozlišení 50 DPI by se hodila maximálně pro malý náhled o jakou oblast se jedná. Velké nadpisy jdou přečíst, ovšem samotnou mapovou kresbu nelze rozeznat. Také jsou viditelné pixely, které neodpovídají barvám na originálu, např. pixely zbarvené do modra či do červena (barevné artefakty), způsobené zejména šumem snímače a zaostřením. Pro 75 DPI platí totéž, mapová kresba je stále nečitelná. Při 100 DPI již začínají být velmi zhruba rozeznatelné prvky mapové kresby, ovšem stále ještě nelze plně rozeznat názvy měst. Při rozlišení 150 DPI se již dají s problémy přečíst názvy měst a mapová kresba je již čitelná. Nad hodnoty 200 DPI je již možné bez větších problémů přečíst názvy měst. Na šestém výřezu, kde je naskenována mapa s rozlišením 300 DPI, dochází již pouze výraznému vyhlazení kresby, zejména v případě lehce zaměnitelných písmen c a e. Další výřezy map s vyššími hodnotami DPI jsou zhotoveny s detailem názvu města, jelikož na větší oblasti by nebyly poznat rozdíly mezi jednotlivými vyššími rozlišeními.

Do hodnoty optického rozlišení skeneru (tzn. 600 DPI) dochází postupně k vyhlazování písmen. Tento jev je patrný jak mezi hodnotou 400 a 500 DPI tak mezi 500 a 600 DPI. Při hodnotách interpolovaného rozlišení se ještě více vyhlazují písmena, ovšem jednotlivé rozdíly ve vyhlazení jsou již méně patrné než v případech mezi 400 až 600 DPI.

Jelikož interpolované rozlišení se počítá softwarově, dopočítáním hodnot pixelů v hustší mřížce, nedostávají se tak skutečné naskenované hodnoty a proto z hlediska archivování a pořizování věrných rastrových kopií nemá smysl používat interpolovaná rozlišení. Jako ideální hodnota rozlišení se při skenování několika starých map (seznam skenovaných map a jejich popis v příloženém CD) jeví hodnota 600 DPI, což je maximální optické (fyzické) rozlišení skeneru a většina z naskenovaných map má v tomto rozlišení stále přijatelnou velikost (mezi 300 až 500 MB v nekomprimovaném formátu TIFF).

4.4 Výběr hodnoty zaostření

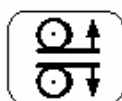
Hodnotu zaostření lze měnit v diskrétních krocích od -1 do 6 , kdy záporná hodnota provede rozostření hran a kladná hodnota zaostření hran. Co toto nastavení znamená pro výsledný rastrový obraz budeme zkoumat na výřezech jedné mapy, která byla naskenována osmkrát (pokaždé s jinou hodnotou zaostření). Jelikož jsou rozdíly obtížně rozlišitelné, nachází se v příloze D pouze 4 výřezy s různou hodnotou zaostření.

Se zvyšující se hodnotou zaostření se hrany okolo písmen a i kresba stávají zřetelnější a jasněji rozlišitelné. Do hodnoty 2 jsou hrany nepříliš výrazné a zvláště pro hodnoty -1 a 0 se obraz jeví jakoby zamlžený. Vždy pro vyšší hodnotu zaostření se obraz o něco zaostří, změna je více postřehnutelná pokud srovnáme hodnoty jdoucí ne přímo po sobě. Z hlediska velikosti výsledného rastrového souboru změna zaostření nepřináší žádný rozdíl. Pro skenování byla použita hodnota 4 , což je zhruba uprostřed kladných hodnot pro zaostření.

4.5 Skenování tlustých předloh

Skener umožňuje skenování předloh (map) až do tloušťky 15 mm. Za tlustou předlohu je považována mapa s tloušťkou přes 2 mm. Nejprve je potřeba změnit výšku vkladacího otvoru. Přidržením tlačítka pro ATAC (Automatic Thickness Adjustment Control, viz obrázek 4.4) spolu s šipkou dopředu se zvětší výška otvoru a naopak přidržením spolu s tlačítkem pro šipku dolů se výška otvoru sníží. Nejprve se tedy zvětší výška otvoru, vloží se skenovaná předloha a výška se sníží (snižování se zastaví samo jakmile se dotkne předlohy).

Skener automaticky upraví hodnoty pro skenování (stitching apod.) jakmile není v normální poloze (tj. výška otvoru na nejnižší úrovni). Při skenování se doporučuje vkládat tlusté předlohy středem a je potřeba přidržovat předlohu jak zepředu tak zezadu. Při skenování není možné použít předběžný sken. Dále je potřeba zaškrtnout v okně třetí záložky Scan→Scanner Setup použití offsetu pro tlusté předlohy. V tomtéž okně se dají ručně nastavit hodnoty pro stitching (pokud po provedení skenu při prohlížení rastru vidíme, že v místech překrytu snímačů se překrývají nebo chybí pixely).



Obrázek 4.4: Tlačítko ATAC. Zdroj [28].

5 Úpravy naskenovaných map

Tato práce se zabývá skenováním starých map, které mohou být někdy v chatrném stavu a potřebujeme s nimi zacházet velice opatrně. Z toho důvodu vyplývá snaha nevystavovat je zbytečně průchodu skenerem více než je nutné a může se tedy stát, že bude potřeba výsledný rastrový obraz upravit. Taktéž u map v dobrém stavu nemusíme mít například dostatek času k různému nastavení parametrů skenování tak, aby rastrový obraz odpovídal skutečnosti případně naší představě a tak se otevírá prostor pro dodatečné úpravy.

Úpravy rastrových obrazů se dají provádět v grafických editorech, které s nimi umějí pracovat. Jako u všech programů i těchto editorů existuje celá řada a jedná se buď o placené (komerční) programy či o produkty, které jsou nekomerční. Software dodávaný spolu se skenerem poskytuje možnost provádět celou řadu úprav rastrových obrazů počínaje otáčením, invertováním barev, změnou jasu a kontrastu apod. Přesto byly ukázky různých úprav provedeny v programu GIMP (verze 2.6.6) a to především proto, že se jedná o nekomerční program, který je velmi dobrou alternativou ke komerčnímu softwaru.

Zkratka GIMP znamená GNU Image Manipulation Program. Program je vyvíjen jako open source s licencí GPL (General Public License). GIMP je multiplatformní a lze s ním pracovat jak na nejrozšířenějším operačním systému Windows tak i na Linuxu či Mac OS [23]. K dispozici je česká lokalizace, ovšem k poslední verzi chybí česká nápověda. Po spuštění se otevřou dvě okna, na prvním jsou graficky vyobrazené nástroje (výběr, ořez, guma apod.) a ve druhém okně se po otevření zobrazí upravovaný rastr. K funkcím nacházejících se na panelu nástrojů lze přistupovat i z menu v okně upravovaného rastru, případně i po kliknutí pravým tlačítkem nad upravovaným rastrem (není tedy nutné používat graficky vyobrazené nástroje pokud nám to tak nevyhovuje).

V rastrových obrazech lze provádět mimo jiné geometrické či barevné transformace. Pod geometrickými transformacemi je možno si představit například otáčení (rotaci) obrazu a pod barevnou transformací například změnu jasu či barevné hloubky. Dále se mohou provádět úpravy, které mají za cíl například zaostřit obraz apod.

5.1 Geometrické transformace

Mezi geometrické transformace obrazu patří otočení, ořez obrazu či změna velikosti a rozlišení rastru. Při geometrických transformacích dochází k tomu, že pixely mění své souřadnice. Může docházet ke změnám měřítka, při kterých mohou vznikat „díry“ mezi

pixely, popřípadě mohou pixely ležet na sobě. Hodnoty pixelů v transformovaném obraze je proto potřeba interpolovat. Program GIMP konkrétně nabízí provedení lineární, kubické či sinc (Lanczos3) interpolace.

- Otočení (rotaci) obrazu použijeme v případě, že naskenovaná mapa je otočená vzhůru nohama či o 90° napravo či nalevo a pro další práci s ní potřebujeme, aby byla orientována normálním způsobem. Rotaci lze provést i o obecný úhel. V programu GIMP lze rotaci najít v menu **Obrázek**→**Transformace** případně **Vrstva**→**Transformovat**.
- Ořez se hodí provést pokud se za okrajem mapové kresby nachází poznámky či jiná kresba, která nás pro další zpracování nezajímá. Ořez se nachází v menu **Nástroje**→**Nástroje transformace**→**Ořezat** a rastr se ořízne podle toho, jakou oblast vymežíme.
- Změna velikosti a rozlišení rastru se provádí přes menu **Obrázek**→**Velikost obrázku**. Se změnou rozlišení dochází ke změně velikosti obrázku v pixelech. Ukázka změny rozlišení z 600 na 50 DPI ve srovnání s naskenovaným rastrovým obrazem s rozlišením 50 DPI se nachází v příloze E (přiblížený výřez obrázků). V tomto případě se konkrétně postupovalo tak, že bylo potřeba zmenšit hodnotu šířky a výšky obrázku na šestinu hodnoty naskenovaného obrazu v 600 DPI bez použití interpolace. Je patrné, že při změně rozlišení se ve výsledném obraze nevyskytují barevné artefakty jako v obraze skenovaném s 50 DPI.

5.2 Transformace barev

Každý pixel je definován polohou a nese informaci o barevné hodnotě. Lze měnit hodnotu barvy přímo jen pro jednotlivý pixel či pro vybranou oblast anebo lze změnu aplikovat bez ohledu na polohu pixelu (tedy na celý obraz). Do úprav barev patří úprava jasu, kontrastu, atd. Úpravy těchto hodnot jsou velice subjektivní záležitostí. V příloze E se nachází výřez mapy, která byla nejprve naskenována bez jakékoli úpravy obrazové složky, poté byla naskenována s upravenou hodnotou červené barvy a následně byla provedena úprava naskenované mapy bez úpravy v programu GIMP tak, aby bylo docíleno stejného vzhledu jako u naskenované mapy s upravenou hodnotou červené barvy. Přestože výsledek vypadá stejně, nejedná se o zcela identický obrázek a to díky celočíselným zaokrouhlováním na 8 bitech.

- Úprava hodnot barevných kanálů se týká jednotlivých složek RGB. Při skenování se toto nastavuje v Adjustments po klepnutí na tři tečky u Lightness/Saturation/Balance. V programu GIMP dosahujeme takovýchto úprav v menu Barvy→Vyvážení barev či přes Nástroje→Nástroje barev→Vyvážení barev. Pro jednotlivé složky RGB si lze upravit úroveň barvy posunutím posuvníku či zadáním hodnoty od -100 do 100. Pro složky RGB lze ještě upravovat barevnou křivku jednotlivých kanálů a to přes menu Barvy→Křivky či přes Nástroje→Nástroje barev→Křivky. Úpravu odstínu, světlosti a sytosti lze provést přes menu Barvy→Odstín-sytost či přes Nástroje→Nástroje barev→Odstín-sytost. Tyto tři hodnoty lze nastavit jak pro celý obrázek tak i zvlášť pro barvy RGB či CMY.



Obrázek 5.1: Výřez naskenované mapy.



Obrázek 5.2: Úprava barevných kanálů (GIMP).

- Změna jasu a kontrastu se v programu GIMP nastavuje přes menu Barvy→Jas→kontrast či přes Nástroje→Nástroje barev→Jas-kontrast. Jas lze měnit i jako jeden z kanálů v úpravě křivek (transformuje se funkce mezi vstupními a výstupními hodnotami) v menu Barvy→Křivky či přes Nástroje→Nástroje barev→Křivky.

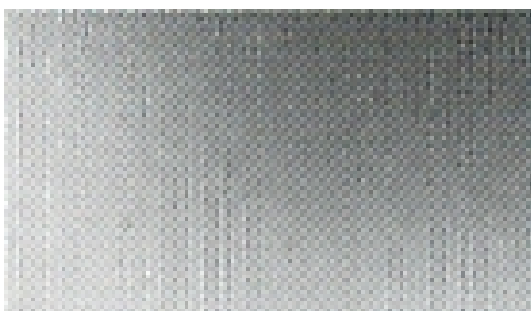
5.3 Ostatní úpravy

Mezi další úpravy rastru patří převedení do jiného formátu, rozmazání (rozostření) či zaostření, změna barevné hloubky, odstranění tiskového rastru (šumu) a operace spojené s prahováním a histogramem.

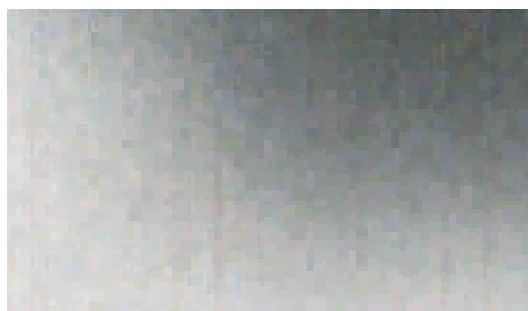
- Histogram určuje četnost jednotlivých hodnot jasů. Histogram lze nalézt po kliknutí na položku Barvy→Informace. Pomocí rolovací šipky si lze vybrat kanál který nás zajímá a prohlédnout si jej. Měníme-li jas či jiný kanál mění se i histogram obrázku. Funkce prahování se používá pro převod obrazu do černobílé podoby.

Dialog pro prahování lze nalézt v menu Barvy→Práh či přes Nástroje→Nástroje barev→Práh.

- Převedení obrazu na hodnoty šedi a redukci počtu barev lze provést v menu Obrázek→Režim a zde si vybrat převedení na odstíny šedi či na indexované barvy, u kterých si lze vybrat, zda se bude paleta generovat optimálně či si lze zvolit vlastní paletu. Převádět obrázek do indexovaných barev má smysl pouze pro obrázky s malými počty barev, jinak dochází ke ztrátě informace (ztrácí se grafická věrnost).
- Rozostření či zaostření způsobí, že se hrany v obraze stanou buď méně ostré anebo se naopak stanou strmějšími (ostřejšími). Program GIMP nabízí několik metod rozostření (Filtry→Rozostření), nejčastěji používanou metodou je Gaussovské rozostření. Zaostření lze nalézt v menu Filtry→Vylepšení a opět se zde nachází několik metod, z nichž nejčastější používanou je funkce Maskovat rozostření.
- Tiskový rastr vzniká při tisku dokumentu, kdy dochází k nanášení barvy pomocí čtyř pigmentů CMYK. Po naskenování jsou pak vidět jednotlivé body tiskového rastru. Odstranění tiskového rastru, ale i jiných šumů v obraze se docílí volbou Filtry→Vylepšení→Vyčistit. Ukázka odstranění tiskového rastru (šumu v obraze) se nachází níže a také v příloze E, kde je vidět, že po aplikování filtru je obraz kompaktnější, ovšem pokud se nachází v obrázku text, pak dochází k tomu, že se zejména v hranách písmen objevují pixely, které mají barvu písma a samotné písmeno se tak stává méně ostrým (při filtraci dochází k průměrování hodnot počtu okolních pixelů).



Obrázek 5.3: Tiskový rastr (šum v obraze).



Obrázek 5.4: Vyfiltrovaný šum (GIMP).

- Mapy byly ukládány v nekomprimovaném formátu TIFF. Pokud bychom chtěli převést naskenované mapy do jiného formátu pak by to nejčastěji bylo za účelem zmenšení velikosti souboru. V úvahu přicházejí formáty BMP, JPEG či PNG, které stejně jako TIFF pracují s 24 bitovou barevnou hloubkou. Z těchto tří formátů se

jako nejlepší pro zmenšení velikosti souboru jeví ztrátový JPEG, jelikož umožňuje zachování georeferencování rastru a je v dnešní době velmi rozšířeným a podporovaným formátem. V příloze E je uvedena ukázka 40% komprese původního souboru do formátu JPEG. Byla vybrána černobílá mapa a následně byl zvětšen detail okolí písmene, na kterém je vidět, že při převodu do formátu JPEG, za použití velké komprese, utrpěl obraz ztrátu informace a jsou v něm pixely, jejichž hodnota se změnila (toto se nazývá artefakty JPEG komprese).

6 Závěr

V rámci této bakalářské práce byl sestaven jednoduchý návod jak a především s jakými parametry skenovat mapy na zařízení Contex CRYSTAL G600. Parametry byly vybírány s ohledem na geometrickou a grafickou věrnost starých map. Součástí vypracování je stručný návod jak upravovat rastrové ekvivalenty map za pomoci grafického rastrového editoru GIMP.

Hlavním cílem práce bylo provést rozbor metodiky testování geometrické přesnosti skeneru. Tento cíl byl splněn. Poprvé byla přesně popsána metodika, která se používá při testování dle pokynů č. 32 ČÚZK a byla rozšířena nad rámec těchto pokynů. Součástí rozboru je, mimo popisu metodiky samotné, i matematické odvození výpočtů a a chyb měření. Zajímavým zjištěním vyplývajícím z matematického popisu je fakt, že metoda popisuje přesnost skeneru dobře v případě skenování map pro účely katastru, ale vypovídá velmi málo při použití skeneru pro jiné účely. V souvislosti s tímto bylo navrženo několik vylepšení, které by zvětšily přesnost současné metody a dále byly naznačeny i další možné postupy měření.

Problematika, kterou se tato práce zabývá, je natolik rozsáhlá, že by bylo možno práci rozšířit jak na kvantitativní tak kvalitativní úrovni. Z kvantitativního hlediska by bylo možno naznačené další možné postupy hlouběji rozebrat a matematicky popsat. Z hlediska kvalitativního by potom mohl být matematický model zkoumané metody popsán komplexněji a provedena statistická analýza na rozsáhlejší vzorku dat.

Seznam zdrojů

- [1] BARTOŠ, A. *O skenování a skenerech podrobně I. - Základní pojmy* [online]. 2003 Grafika Publishing, datum publikace 9.12.2004. [cit. 2009-04-27]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/art/skenery/skenery1.html>.
- [2] BARTOŠ, A. *O skenování a skenerech podrobně II. - Typy skenerů* [online]. 2003 Grafika Publishing, datum publikace 14.12.2004. [cit. 2009-04-27]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/art/skenery/skenery2.html>.
- [3] DOLANSKÝ, T. *Metodika zpracování historických mapových podkladů* [online]. Projekt. Ústí nad Labem: UJEP. Fakulta životního prostředí, 2006. [cit. 2009-04-26]. Dostupné z: <http://mapserver.fzp.ujep.cz/hmu/dokumenty/metodika.pdf>.
- [4] DOUBRAVA, P. *Zpracování rastrových mapových podkladů pro využití v oblasti aplikací GIS a katastru nemovitostí* [online]. Doktorská disertační práce. Praha: ČVUT. Fakulta stavební, srpen 2005. [cit. 2009-04-26]. Dostupné z: http://projekty.geolab.cz/gacr/a/files/dis_doubrava.pdf.
- [5] HAROLD, R. W. *An Introduction to Appearance Analysis*. SecondSight, Number 84. Sewickley: Graphic Arts Technical Foundation, 2001.
- [6] HLAVÁČ, V. - SEDLÁČEK, M. *Zpracování signálů a obrazů*. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-01-03110-0.
- [7] KNOTEK, P., at al. *Velká kniha - Skenování, úprava obrázků a tisk*. 2. vydání. Brno: UNIS Publishing, 2000. ISBN 80-86097-50-1.
- [8] KRČÁL, M. *Digitalizace dokumentů - skenování* [online]. Seminární práce. Brno: Masarykova univerzita v Brně. Filozofická fakulta, 2004. [cit. 2009-04-29]. Dostupné z: <http://www.phil.muni.cz/~krcal/Dokumenty/sken.pdf>.
- [9] LIMPER, W. *Scanner v praxi: Nasazení a obsluha moderní skenovací techniky*. Brno: UNIS publishing, 1994. ISBN 3-89362-176-8.
- [10] MURRAY, J.D. - vanRYPEN, W. *Encyklopedie grafických formátů*. 2. vydání. Praha: Computer Press, 2005. ISBN 80-7226-033-2.
- [11] PECINOVSKÝ, J. - PECINOVSKÝ, R. *Skenery a skenování: snadno a rychle*. Grada Publishing, 1999. ISBN 80-7169-844-X.

- [12] POYNTON, Ch. *A Guided Tour of Color Space* [online]. First published in New Foundations for Video Technology (Proceedings of the SMPTE Advanced Television and Electronic Imaging Conference, San Francisco, Feb. 1995). Edited version, 19.8.1997. [cit. 2009-05-10]. Dostupné z: http://www.poynton.com/PDFs/Guided_tour.pdf.
- [13] POYNTON, Ch. *Frequently Asked Questions about Color* [online]. 28.11.2006. [cit. 2009-05-10]. Dostupné z: http://www.poynton.com/notes/colour_and_gamma/ColorFAQ.html#Ref4.
- [14] RITTER, N. - RUTH, M. *GeoTIFF Format Specification: GeoTIFF Revision 1.0* [online]. Specification Version 1.8.2, Poslední modifikace 28.12.2000. [cit. 2009-05-03]. Dostupné z: <http://www.remotesensing.org/geotiff/spec/contents.html>.
- [15] SPRING, K. R. - FELLERS, T. J. - DAVIDSON, M. W. *Introduction to Charge-Coupled Devices (CCDs)* [online]. 2000-2009 Nikon MicroscopyU. [cit. 2009-04-30]. Dostupné z: <http://www.microscopyu.com/articles/digitalimaging/ccdintro.html>.
- [16] STOKES, M., et al. *A Standard Default Color Space for the Internet - sRGB* [online]. Verze 1.10. 4.11.2005. [cit. 2009-05-10]. Dostupné z: <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>.
- [17] TALHOFFER, V. *Metody sběru a pořizování dat pro modely terénu* [online]. Brno: Vojenská akademie v Brně. Fakulta vojensko technická druhů vojsk, 2000, poslední aktualizace 4. dubna 2009. [cit. 2009-04-28]. Dostupné z: <http://www.vabo.cz/stranky/talhofer> (Sběr a pořizování dat.pdf).
- [18] WALLNER, D. *Building ICC Profiles - the Mechanics and Engineering* [online]. International Color Consortium, datum publikování 2000. [cit. 2009-04-27]. Dostupné z: <http://www.color.org/icc-book1.pdf>.
- [19] ŽÁRA, J., et al. *Moderní počítačová grafika*. 2. vydání. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0454-0.
- [20] *Contex key technologies* [online]. 2009 Contex Holding. [cit. 2009-05-02]. Dostupné z: http://www.contex.com/english/scanners/legacy_scanners/42-quot_large_format_scanners/crystal_g600/product_overview.aspx.
- [21] *Geomatika na ZČU v Plzni: Technické zázemí* [online]. [cit. 2009-05-02]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/?page=vybaveni>.

- [22] *Geoportál ČÚZK: Formáty rastrových a vektorových dat a jejich umístování do souřadného systému* [online]. 2009 ČÚZK. [cit. 2009-05-03]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/default.aspx?a=inc&inc=formatydat>.
- [23] *GIMP - The GNU Image Manipulation Program* [online]. 2001-2009 The GIMP Team. [cit. 2009-04-28]. Dostupné z: <http://www.gimp.org>.
- [24] *O skenování - obecné informace* [online]. Mustek Optic-Computer & Communication International GmbH a Jakub Dvořák, 1999 - 2000. [cit. 2009-04-29]. Dostupné z: <http://www.mustek.cz/?sekce=skenovani&stranka=skenovani1&lang=cz>.
- [25] *Pokyny č. 32 pro skenování katastrálních map a grafických operátů dřívějších pozemkových evidencí* [online]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2004. [cit. 2009-05-28]. Dostupné z: <http://cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-POKYN32>.
- [26] *Specification: CRYSTAL G600* [online]. 2009 Contex Holding. [cit. 2009-05-02]. Dostupné z: http://www.contex.com/english/scanners/scanners/42-quot_large_format_scanners/crystal_g600/specifications.aspx.
- [27] *What is contact image sensor?* [online]. 2009 WebMediaBrands, poslední modifikace 20.8.2004. [cit. 2009-04-30]. Dostupné z: http://www.webopedia.com/TERM/C/contact_image_sensor.html.
- [28] *Wide Format Scanner Operator's Guide* [online]. Revize poslední verze ze srpna 2006. 2009 Contex Holding, publikováno 28.2.2007. [cit. 2009-05-23]. Dostupné z: http://support.contex.com/supportfiles/guides_scanners/Opguide_WFS_600-Ge-28feb_2007.pdf.

Příloha A – Vybrané odstavce z pokynů č. 32

13.5.1 Při určování geometrické přesnosti skeneru se využívá kontrolní mřížka (síť po 50 mm o rozměrech 700 mm x 550 mm) vyrobená rytinou na plastové folii kreslicím stolem CORA II v ZÚ. Stolové souřadnice průsečíků mřížky jsou proměřeny na digitalizátoru se zaručenou přesností 0,05 mm a jsou uloženy v seznamu souřadnic kontrolních bodů v referenčním souboru. Testovaným skenerem je pořízen rastrový obraz kontrolní mřížky (s nastavením podle odst. 14) v němž jsou s využitím programového vybavení IRAS/B digitalizovány souřadnice průsečíků mřížky. Afinní transformací se souřadnice 156 průsečíků mřížky transformují do souřadnicového systému digitalizátoru (transformační klíč je určen ze 4 rohových bodů mřížky) a vypočtou se posuny dy , dx (vzhledem k souřadnicím kontrolních bodů v referenčním souboru), určí se střední chyby v souřadnicích x a y a v poloze a zobrazí se soubor vektorů charakterizujících deformační pole zobrazení. Výsledky transformace tvoří povinnou přílohu protokolu o testování (odst. 16).

13.5.2 Grafická kvalita rastrového obrazu se posuzuje pohledovou kontrolou černobílé rastrové kopie vzorového mapového listu pořízené testovaným skenerem. Jako vzorový list se používá barevná kopie mapy bývalého pozemkového katastru vybraná tak, aby reprezentovala horší průměr opotřebení (zašpinění). Vzorový list musí obsahovat také dostatečné množství červených změnových zákresů. Při kontrole kvality rastrové kopie vzorového mapového listu se posuzuje možnost úplného vyhodnocení čárové kresby polohopisu při vektorizaci prováděné v rámci obnovy katastrálního operátu.

14. Zjišťování geometrické přesnosti skeneru – nastavení parametrů skeneru

Při skenování kontrolní mřížky (odst. 13.5.1) musí být parametry skenování u testovaného skeneru nastaveny tak, aby:

- hodnota rozlišení byla blízká 400 dpi (nejméně však 400 dpi)
- nastavení prahové hodnoty poskytlo rastrový obraz čar mřížky o tloušťce 3 až 6 pixelů

15. Posuzování grafické kvality rastrového obrazu

Vzorový mapový list se nejprve skenuje se stejným nastavením s jakým byla skenována kontrolní mřížka (odst 14). Posuzuje se plynulost, spojitost a tloušťka čar černé i červené kresby. Při neuspokojivém výsledku se skenování opakuje s upraveným nastavením prahových hodnot až do získání optimální kvality obrazu. Nastavené prahové hodnoty při testu a stručná charakteristika dosažené kvality se uvedou v protokolu o testování (odst. 16).

16. Protokol o testování

- 16.1 Výsledky testu jsou shrnuty v protokolu o testování. V protokolu je uvedena identifikace a technické údaje skeneru, akceptované exportní formáty, nastavené parametry skenování při testu, výsledky testování a jednoznačné stanovisko ZÚ k možnosti použití testovaného skeneru pro kartometrické skenování.
- 16.2 Přílohou protokolu o testování jsou výsledky zjišťování geometrické přesnosti skeneru (výsledky transformace podle (odst. 13.5.1) a výsledky pohledové kontroly (odst. 13.5.2). Protokol nebo jeho příloha dále dokumentují další důležité skutečnosti např. zjištěné známky poškozování předlohy při skenování, závady zaznamenané na daném pracovišti z hlediska bezpečnosti manipulace a uložení mapových podkladů apod.
- 16.3 Protokol o testování a jeho přílohy je opatřen jednacím číslem a musí být podepsán pracovníkem ZÚ, jenž test prováděl a jeho vedoucím.

Příloha B – Odvození transformace metody testu

Definujme jednotlivé vektory jako souřadnice bodů, které reprezentují:

\vec{x}_i - středy křížků získané z naskenovaných dat,

\vec{y}_i - středy křížků získané transformací naskenovaných dat,

\vec{z}_i - středy křížků vzorových dat.

kde i je číslo příslušného křížku, které nabývá diskretních hodnot $i = \{1, \dots, 180\}$.

Dále řekněme, že data jsou naskenována s chybou $\vec{\varepsilon}_{Ci}$:

$$\vec{z}_i = \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_{Ci}.$$

Chybu $\vec{\varepsilon}_{Ci}$ lze vyjádřit jako rozdíl:

$$\vec{\varepsilon}_{Ci} = \vec{\varepsilon}_{Li} - \vec{\varepsilon}_i,$$

kde $\vec{\varepsilon}_{Li}$ je lineární chyba prvního řádu a $\vec{\varepsilon}_i$ reprezentuje ostatní chyby. Protože je chyba

$\vec{\varepsilon}_{Li}$ lineární prvního řádu lze ji rozepsat jako součin:

$$\vec{\varepsilon}_{Li} = \boldsymbol{\varepsilon}_A \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_b,$$

kde $\boldsymbol{\varepsilon}_A$ je bazová matice chyby a $\vec{\varepsilon}_b$ chybový posun.

Dosazením potom získáme:

$$\vec{z}_i = \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_{Li} - \vec{\varepsilon}_i.$$

Chceme, aby transformace na naskenovaných datech potlačila lineární chybu prvního řádu,

proto definujeme vztah mezi \vec{x}_i a \vec{y}_i , z něhož vyplyne vztah mezi \vec{y}_i a \vec{z}_i jako:

$$\vec{y}_i = \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_{Li} \text{ pak } \vec{z}_i = \vec{y}_i - \vec{\varepsilon}_i.$$

Potom můžeme dosadit chybu ve tvaru součinu:

$$\vec{y}_i = \vec{x}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_A \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_b, \text{ po úpravě } \vec{y}_i = (\mathbf{I} + \boldsymbol{\varepsilon}_A) \vec{x}_i + \vec{\varepsilon}_b.$$

Definujme substituci:

$$\mathbf{I} + \boldsymbol{\varepsilon}_A = \mathbf{A} \text{ a } \vec{\varepsilon}_b = \vec{b}.$$

Potom platí:

$$\vec{y}_i = \mathbf{A} \vec{x}_i + \vec{b},$$

což je předpis pro *afinní transformaci*. Matice \mathbf{A} a vektor \vec{b} pak tvoří klíč afinní transformace.

Výpočet klíče afinní transformace:

Dosazením:

$$\vec{y}_i = \vec{z}_i + \vec{\varepsilon}_i \text{ do } \vec{y}_i = \mathbf{A} \vec{x}_i + \vec{b} \text{ získáme: } \mathbf{A} \vec{x}_i + \vec{b} - \vec{z}_i = \vec{\varepsilon}_i .$$

Výsledek převedeme na soustavu dvou rovnic:

$$\begin{array}{rcl} a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} & + b_1 & - z_{1i} = \varepsilon_{1i} \\ a_3 x_{1i} + a_4 x_{2i} & + b_2 & - z_{2i} = \varepsilon_{2i} \end{array} .$$

Tu potom převedeme do maticového tvaru:

$$\begin{bmatrix} x_{1i} & x_{2i} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_{1i} & x_{2i} & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{1i} \\ z_{2i} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1i} \\ \varepsilon_{2i} \\ \vdots \end{bmatrix} .$$

Z maticového zápisu je vidět, že při výpočtu řešíme soustavu rovnic o 6 neznámých. Každý bod, který bereme v úvahu „přidá“ do matic dvě řádky. Z toho plyne, že pro řešení je třeba alespoň 3 bodů (uvažujeme-li nulovou chybu). Při použití více bodů je soustava přeúčtena – při jejím řešení je potřeba použít aproximační metodu. V našem případě použijeme metodu nejmenších čtverců.

Soustavu převedeme do vektorového zápisu:

$$\mathbf{M} \vec{p} - \vec{c} = \vec{e} ,$$

kde \mathbf{M} je matice složená z prvků vektorů \vec{x} , vektor \vec{c} je složen z prvků vektorů \vec{z} , vektor \vec{e} reprezentuje chybu aproximace a vektor \vec{p} reprezentuje neznámé parametry.

Chceme, aby kvadrát chyby byl co nejmenší:

$$\|e\|^2 = e^T e \rightarrow \min .$$

To nastane v případě, kdy je derivace nulová:

$$\begin{aligned} (e^T e)' &= [(\mathbf{M} p - c)^T (\mathbf{M} p - c)]' = 0 \\ [p^T \mathbf{M}^T \mathbf{M} p - p^T \mathbf{M}^T c - c^T \mathbf{M} p + c^T c]' &= 2 \mathbf{M}^T \mathbf{M} p - 2 \mathbf{M}^T c = 0 . \end{aligned}$$

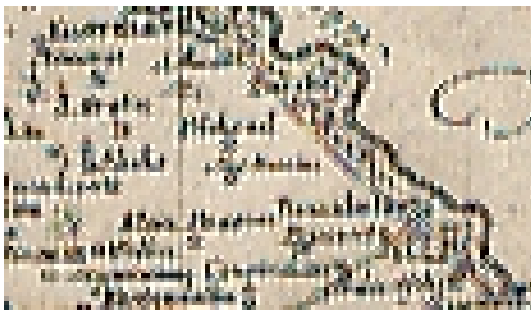
Pak vektor parametrů je:

$$p = (\mathbf{M}^T \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T c ,$$

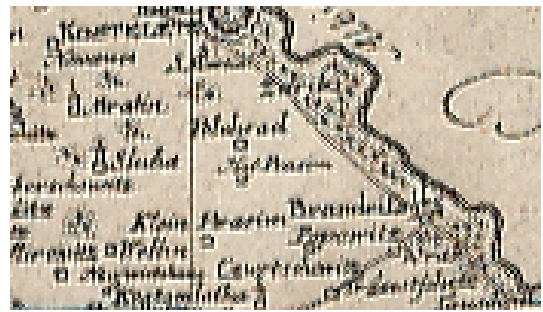
a lze z něj sestavit vypočtený transformační klíč: matici \mathbf{A} a vektor \vec{b} .

Pro výpočet klíče se použijí pouze 4 rohové křížky.

Příloha C – Porovnání DPI



50 DPI



75 DPI



100 DPI



150 DPI



200 DPI



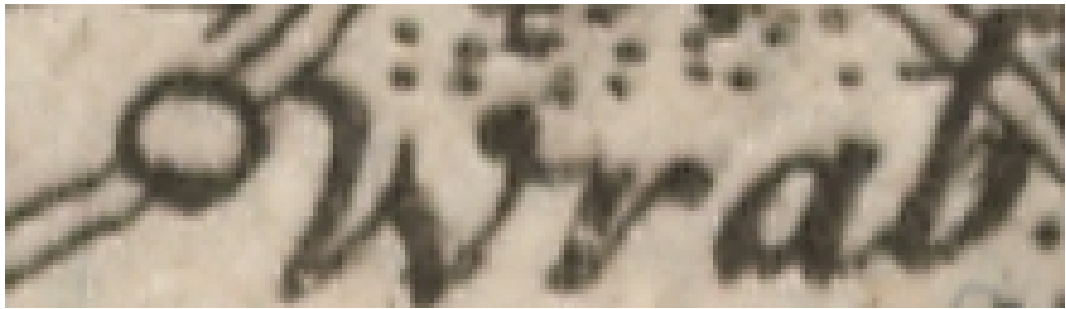
300 DPI



400 DPI



500 DPI



600 DPI



800 DPI

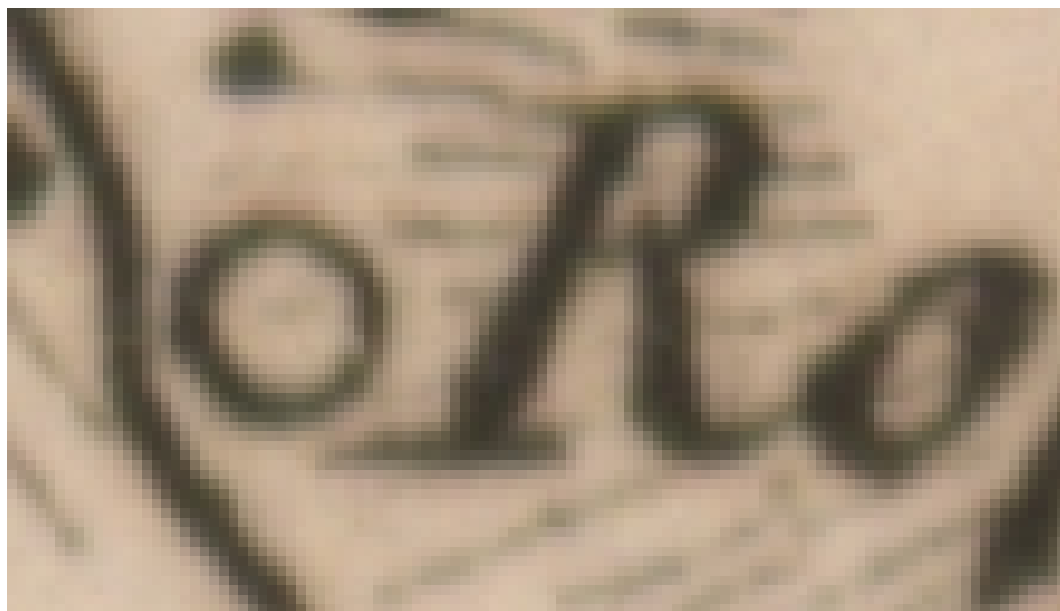


1000 DPI

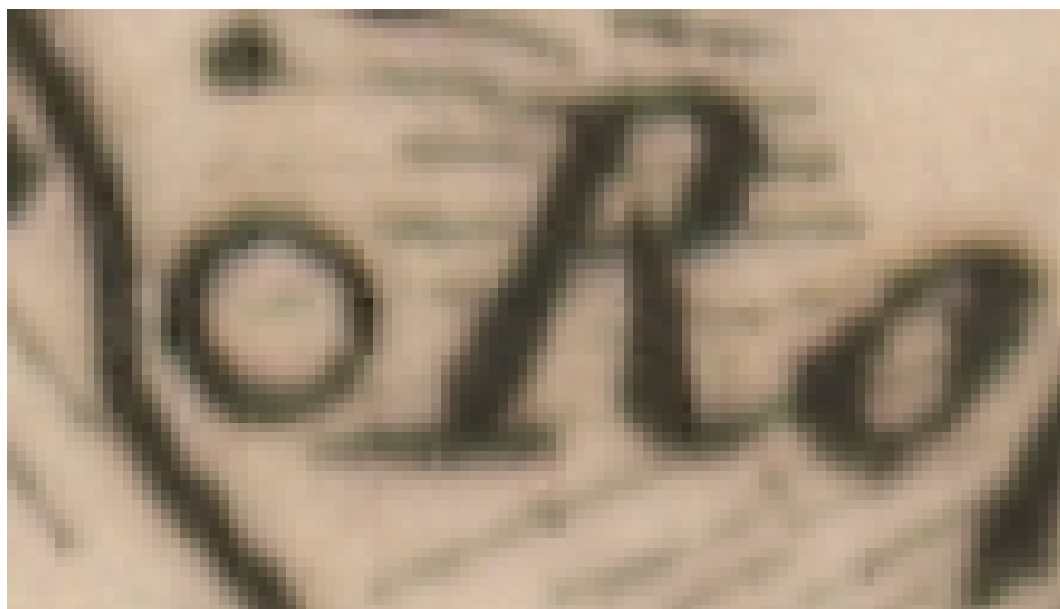


1200 DPI

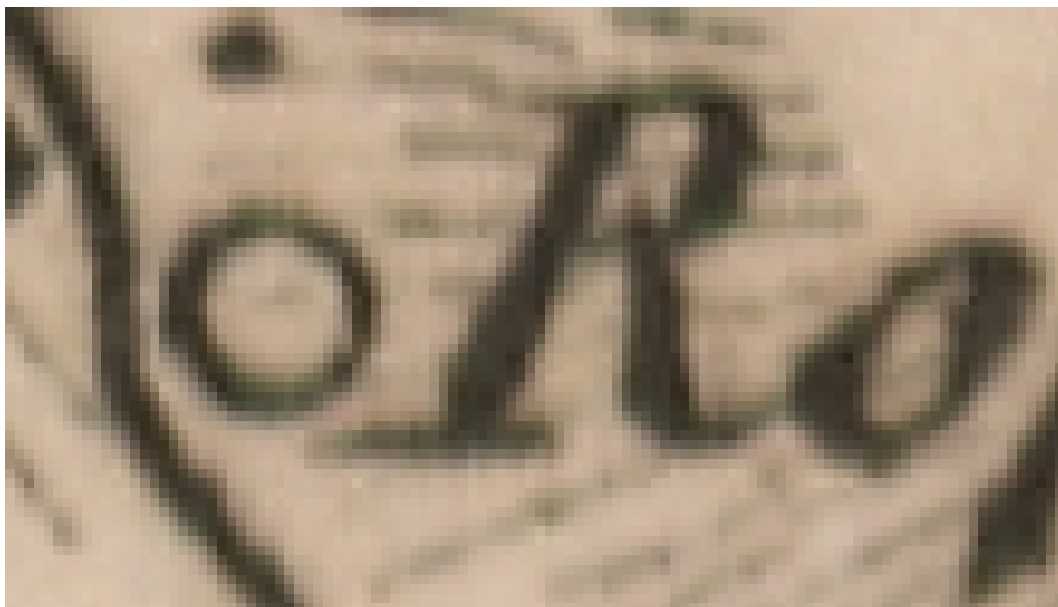
Příloha D – Hodnoty zaostření



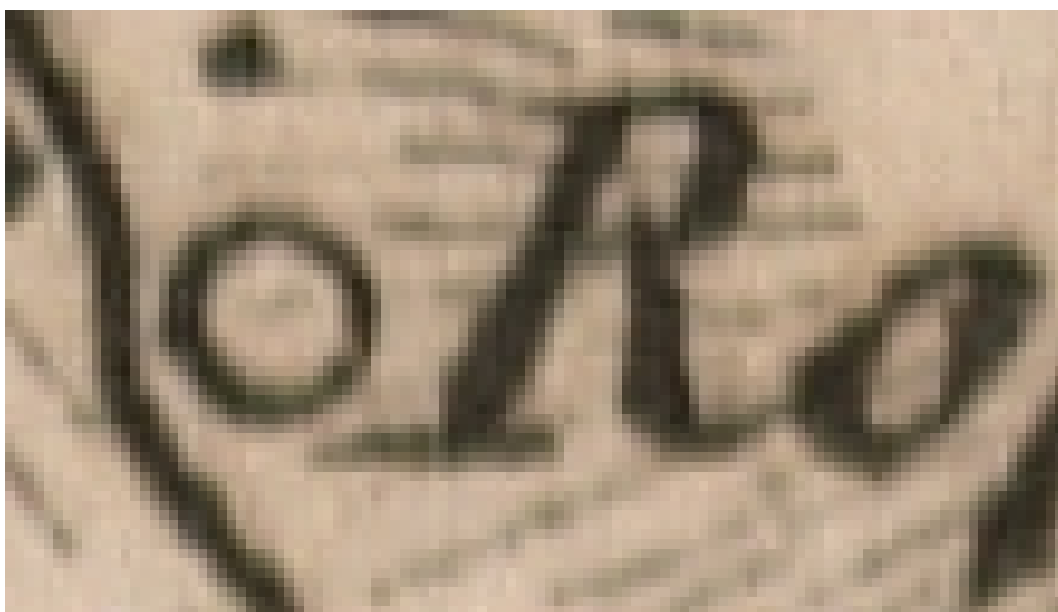
Hodnota zaostření 0.



Hodnota zaostření 2.



Hodnota zaostření 4.



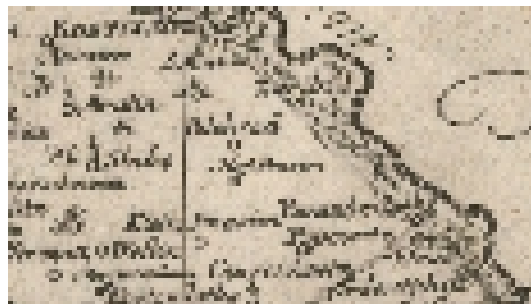
Hodnota zaostření 6.

Příloha E – Úpravy rastrů v programu GIMP

Změna rozlišení:



Skenováno s rozlišením 50 DPI.



Změna rozlišení z 600 na 50 DPI (GIMP).

Úprava červené složky:



Skenováno bez úprav barev.



Skenováno s úpravou červené složky.

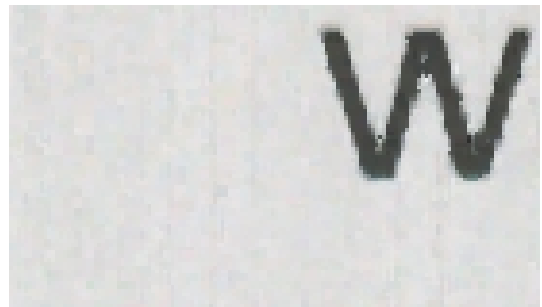


Upravený skenovaný bez úprav barev (GIMP).

Tiskový rastr (šum):



Tiskový rastr (šum v obraze).



Výfiltrovaný šum (GIMP).

JPEG komprese:



Původní rastr.



JPEG komprese 40% (GIMP).



Detail původního rastru.



Detail JPEG komprese 40%.

Příloha F – Struktura přiloženého CD

- Atest
 - obsahuje atest skeneru Contex CRYSTAL G600 ve formátu *.pdf (atest udělen na základě výsledků testování, které bylo provedeno dne 22.4.2008)
- Obrazky
 - obsahuje obrázky ve formátu *.jpg a *.png, které se nachází v textu BP
- Pokyny_c_32
 - obsahuje pokyny č. 32 ČÚZK spolu s dodatky (formát *.rtf a *.pdf)
- Priloha_C
 - obsahuje obrázky ve formátu *.jpg obsažené v příloze C
- Priloha_D
 - obsahuje obrázky ve formátu *.jpg obsažené v příloze D
- Priloha_E
 - obsahuje obrázky ve formátu *.jpg obsažené v příloze E
- Skenovane_mapy
 - obsahuje dokument ve formátu *.pdf, ve kterém se nachází popis map, které byly skenovány v roce 2008 zařízením Contex CRYSTAL G600
- Text_BP
 - obsahuje text bakalářské práce ve formátu *.pdf