České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra mapování a kartografie

Doktorská disertační práce

Nové technologie pro zpracování a zpřístupnění starých map

4. září 2007 Jiří Cajthaml

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra mapování a kartografie

Ing. Jiří Cajthaml

Nové technologie pro zpracování a zpřístupnění starých map

New technologies for old maps processing and their accessibility

Disertační práce k získání akademického titulu Ph.D.

Doktorský studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie
Školitel: Prof. Ing. Bohuslav Veverka, DrSc.

Praha, 4. září 2007

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu prof. Ing. Bohuslavu Veverkovi, DrSc. za úžasné tři roky, které jsem strávil jako jeho doktorand. Dále bych rád poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku této práce třeba jen malou radou nebo poznámkou, kolegům z katedry mapování a kartografie a samozřejmě všem svým blízkým za podporu během studia. Řadu projektů se mnou zpracovávali studenti bakalářského, magisterského i doktorského studia. Také oni zaslouží dík.

Text této práce byl vysázen systémem LaTeX. Děkuji všem, kteří se podílejí na jeho vývoji a umožňují tím kvalitní sazbu dokumentů.

Předmluva

> *„ Co opravňuje dnešní vědecký a nejednou i praktický zájem dneška o staré mapy a v širších kruzích i živou sběratelskou zálibu o každý mapový list? Je to především vědomí, že je na nich psána historie našich i cizích krajin, jejich vývoje a změn, historie, kterou můžeme číst, dovedeme-li rozlišit, co v nich je obrazem tehdejších skutečností a co výrazem představ našich předchůdců. “*
>
> — *Karel Kuchař*

Mapy jsou společníky člověka už pěknou řádku staletí. Tak, jak se vyvíjí lidská civilizace, její kultura a vzdělanost, vyvíjí se i kartografie a její výrazové prostředky. Za první mapy jsou považovány nákresy lovců mamutů, nejdříve vyryté do mamutích klů, později kreslené na stěnách jeskyní. Ve staré Mezopotámii a Egyptě byly mapy vyrývány do hliněných destiček, později kresleny na papyrus. Po velkém rozkvětu ve starověkém Řecku a úpadku v dobách římské nadvlády se kartografie v Evropě začala znovu výrazně rozvíjet ve 14. století s nástupem renesance. Spolu s námořními objevy se začaly vytvářet navigační mapy. Vynález knihtisku výrazně ovlivnil technologii tvorby map – od rukopisných map se přešlo k mapám tištěným, samozřejmě na ručně vyráběném papíru. Kromě dřevořezu začala být k tisku map používána i mědirytina. Velký vývoj zaznamenaly tiskařské techniky koncem 18. a hlavně v 19. století. Postupně byly vynalezeny litografie, zinkografie, heliogravura, fotolitografie i sítotisk. Až začátkem 20. století převládla varianta tisku z plochy – ofsetový tisk. Ten je ostatně pro tisk map využíván dodnes, a to stále jako nejrozšířenější metoda. V 80. letech minulého století byly vynalezeny novější metody tisku map (computer-to-film a computer-to-plate). S koncem století pak přichází nová metoda přímého digitálního tisku, který je dnes používán např. Zeměměřickým úřadem pro tisk Základních map ČR.

Jak je vidět, mapy prošly během své historie velkými proměnami použitých tiskových technik. Výsledným produktem tvorby map byla ale vždy analogová média (destičky, papíry, fólie). Až koncem minulého století začaly být mapy vytvářeny digitálně. Jako počítačové soubory jsou taková data snažší pro editaci i jakoukoliv další práci (porovnání, analýzy). Nezanedbatelná je také možnost snadného přenosu dříve těžko přístupných dat. Pro staré mapy, které jsou ústředním tématem mé práce, se nabízí možnost digitalizace a poté snadnější manipulace, distribuce či zkoumání. Staré tisky uložené v archivech mohou být v digitální podobě zkoumány několika odborníky najednou, a to třeba na opačných koncích naší republiky nebo dokonce na opačném konci světa.

K tématu zkoumání starých map mě přivedl můj školitel prof. Veverka. Během práce na grantovém úkolu GA ČR 205/04/0888 „Georeferencování a kartografická analýza historických mapování Čech, Moravy a Slezska“ jsem si uvědomil, že ačkoliv jsou staré mapy v posledních letech hodně využívány, neexistuje práce, která by mapovala možnosti digitalizace starých map zahrnující vlastní pořízení dat, analýzu technologií pro zpracování grafických dat, jejich georeferencování a prezentování či distribuci. S ohledem na možnosti dnešní doby se ideálním médiem pro prezentaci a distribuci starých map jeví celosvětová síť Internet. Předložená disertační práce se snaží pokrýt tato zmíněná témata.

Při zpracování jsem nemohl opomenout nejvýznamnější mapové památky našich zemí. Těžiště práce je v kapitolách věnujících se vlastní digitalizaci, georeferencování, a možnostech prezentace i distribuce starých map pomocí Internetu. Vše je dokumentováno ukázkovými projekty, které byly nebo jsou zpracovávány na katedře mapování a kartografie, ať už mnou samotným nebo některými studenty v rámci bakalářských a diplomových prací pod mým vedením. Nechybí samozřejmě kapitola věnovaná současnému stavu dané problematiky.

Práce si neklade za cíl podat úplný přehled starých map českých zemí ani úplný přehled moderních technologií pro zpracování a prezentaci obrazových dat. Mým cílem bylo postavit alespoň část cesty mezi dva rozdílné světy odborníků – geoinformatiky (nebo chcete-li kartografy-informatiky) a historiky. Právě jedině spojení těchto dvou odvětví (historie a geoinformatiky) může přinést úspěchy ve zkoumání a poznávání naší historie ze starých map.

Jiří Cajthaml

Obsah

1 Úvod **1**

2 Staré mapy českých zemí **4**
2.1 Mapy vytvářené jednotlivci . . . 5
2.1.1 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518 . . . 6
2.1.2 Helwigova mapa Slezska z roku 1561 . . . 7
2.1.3 Crigingerova mapa Čech z roku 1568 . . . 8
2.1.4 Fabriciova mapa Moravy z roku 1569 . . . 9
2.1.5 Aretinova mapa Čech z roku 1619 . . . 10
2.1.6 Komenského mapa Moravy z roku 1624 . . . 11
2.1.7 Scultetova mapa Slezska z roku 1638 . . . 13
2.1.8 Vischerova mapa Moravy z roku 1692 . . . 13
2.1.9 Vogtova mapa Čech z roku 1712 . . . 14
2.1.10 Müllerova mapa Moravy z roku 1716 . . . 15
2.1.11 Müllerova mapa Čech z roku 1720 . . . 16
2.1.12 Wielandovy mapy Slezska z roku 1752 . . . 18
2.2 Kolektivní mapová díla . . . 18
2.2.1 První vojenské mapování, 1763–1785 . . . 18
2.2.2 Stabilní katastr . . . 21
2.2.3 Druhé vojenské mapování, 1807–1869 . . . 23
2.2.4 Třetí vojenské mapování, 1870–1885 . . . 27
2.3 Mapové archivy a sbírky v ČR . . . 29
2.3.1 Archivy . . . 30
2.3.2 Knihovny . . . 30
2.3.3 Muzea a galerie . . . 31
2.3.4 Ostatní sbírky . . . 31

3 Digitalizace starých map **33**
3.1 Rastrová data . . . 33
3.1.1 Proces vzniku rastrových dat . . . 37
3.1.2 Kvantování . . . 38
3.1.3 Vzorkování . . . 39
3.1.4 Kódování . . . 41

3.1.5 Vlastní vznik rastrových dat . . . 51
3.2 Vektorová data . . . 58
3.2.1 Vektorové modely dat . . . 58
3.2.2 Používané formáty vektorových dat . . . 59
3.2.3 Vlastní vznik vektorových dat . . . 61

4 Georeferencování starých map 62
4.1 Technické řešení georeferencovaných rastrů . . . 62
4.2 Transformace souřadnic . . . 67
4.2.1 Transformace s globálním klíčem . . . 67
4.2.2 Transformace s lokálním klíčem . . . 72
4.2.3 Zhodnocení jednotlivých transformací . . . 76

5 Metody webové prezentace map 78
5.1 Pouhé sdílení dat . . . 79
5.2 Technologie klient–server . . . 80
5.2.1 Serverové technologie . . . 80
5.2.2 Klientské technologie . . . 85
5.3 Webové mapové služby . . . 89
5.3.1 Web Map Service . . . 90
5.3.2 Web Feature Service . . . 91
5.3.3 Web Coverage Service . . . 92
5.4 Možnosti prezentace starých map . . . 92
5.4.1 Statické publikování . . . 92
5.4.2 Web mapping . . . 95
5.4.3 Využití image serverů . . . 97
5.4.4 Využití WMS . . . 97

6 Současný stav publikace starých map na Internetu 99
6.1 Situace v ČR . . . 99
6.1.1 Laboratoř geoinformatiky UJEP . . . 99
6.1.2 Zeměměřický úřad . . . 101
6.1.3 Opevnění . . . 103
6.1.4 Portál veřejné správy ČR . . . 104
6.1.5 Vědecká knihovna v Olomouci . . . 105
6.1.6 Moravská zemská knihovna v Brně . . . 105
6.1.7 Západočeská univerzita, oddělení geomatiky . . . 106
6.1.8 Mapy.cz . . . 108
6.1.9 StareMapy.cz . . . 109
6.1.10 Ostatní servery . . . 109
6.2 Situace ve světě . . . 110
6.2.1 David Rumsey Map Collection . . . 110
6.2.2 Stránky založené na technologii Google maps . . . 111
6.3 ICA . . . 112

7 Řešené projekty **113**
7.1 Druhé vojenské mapování . . . 113
7.1.1 Shromáždění podkladů a jejich analýza . . . 114
7.1.2 Georeferencování map . . . 114
7.1.3 Výběr a instalace vhodného software . . . 116
7.1.4 Příprava dat pro mapový projekt . . . 117
7.1.5 Tvorba mapového projektu . . . 120
7.1.6 Tvorba webové aplikace . . . 125
7.1.7 Distribuce pomocí WMS . . . 136
7.2 Nejstarší mapy českých zemí . . . 138
7.3 Pinasův plán Prahy . . . 140
7.4 Sledování vývoje krajiny pomocí starých map . . . 141
7.5 Digitalizace mapy ve vektorové formě . . . 143
7.6 Müllerovy mapy . . . 144

8 Navržené technologie **145**
8.1 Navržené metody digitalizace . . . 145
8.2 Navržené metody georeferencování . . . 146
8.3 Navržené metody distribuce dat . . . 147
8.4 Zpracování starých map v GIS . . . 149

9 Závěr **150**
9.1 Cíle do budoucna . . . 150
9.2 Předpokládaný vývoj zkoumaného tématu . . . 151
9.3 Náměty na další práce . . . 152
9.4 Úplným závěrem . . . 153

A Obsah přiloženého CD **154**

Seznam obrázků

2.1 Etzlaubovy mapy 5
2.2 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518 6
2.3 Helwigova mapa Slezska z roku 1561 8
2.4 Crigingerova mapa Čech z roku 1568 9
2.5 Fabriciova mapa Moravy z roku 1569 10
2.6 Aretinova mapa Čech z roku 1619 11
2.7 Komenského mapa Moravy z roku 1624 12
2.8 Scultetova mapa Slezska z roku 1638 13
2.9 Vogtova mapa Čech z roku 1712 14
2.10 Müllerova mapa Moravy z roku 1716 15
2.11 Müllerova mapa Čech z roku 1720 – mapový list č.9 17
2.12 Müllerova mapa Čech z roku 1720 – Přehledný list 17
2.13 Klad listů I. vojenského mapování – Čechy 19
2.14 Klad listů I. vojenského mapování – Morava a Slezsko 20
2.15 První vojenské mapování – Čechy, list č.251 21
2.16 Souřadnicové soustavy Stabilního katastru 22
2.17 Povinný císařský otisk Stabilního katastru – ukázka 23
2.18 Klad listů II. vojenského mapování – Čechy 24
2.19 Klad listů II. vojenského mapování – Morava a Slezsko 25
2.20 Druhé vojenské mapování – Gusterberg východ, VIII, 9 26
2.21 Klad listů III. vojenského mapování 27
2.22 Třetí vojenské mapování – list č. 4253/2 28
2.23 Třetí vojenské mapování – speciální mapa č. 4253 29

3.1 Druhy pravidelného dělení rastrové sítě 34
3.2 Pořadí ukládání pixelů 35
3.3 Přímé kódování objektů 35
3.4 Kódování pomocí čtyřstromu 36
3.5 Uniformní (vlevo) a neuniformní kvantování 38
3.6 Barevný skok a kvantizační chyba 39
3.7 Bodové vzorkování 40
3.8 Barevná krychle prostoru RGB 43
3.9 Ukázky skenerů 53
3.10 Princip rasterizace 55

3.11 Pyramidování rastru 58
3.12 Topologický model vektorových dat 59

4.1 Převzorkování natočeného rastru 66

5.1 Schéma fungování webové aplikace 81
5.2 Trh s webovými servery 82
5.3 Ukázka použití image serveru - panorama Prahy 84
5.4 Schéma architektury mapového serveru [11] 95
5.5 Prostředky XHTML formulářů 96

6.1 Ukázka z aplikace Laboratoře geoinformatiky UJEP 100
6.2 Ukázka z aplikace Zeměměřického úřadu 102
6.3 Ukázka z aplikace Opevnění 103
6.4 Ukázka z aplikace Mapové služby Portálu veřejné správy 104
6.5 Ukázka z aplikace Vědecké knihovny v Olomouci 105
6.6 Ukázka z aplikace Moravské zemské knihovny 106
6.7 Ukázka z aplikace mapového serveru Západočeské univerzity 107
6.8 Ukázka z aplikace Mapy.cz 108
6.9 Ukázka z aplikace David Rumsey Map Collection 111

7.1 Ukázkový rastr II. vojenského mapování 116
7.2 Indexová vrstva rastrové vrstvy ve formátu TIFF 118
7.3 Indexová vrstva rastrové vrstvy dlaždic v JPEG 119
7.4 Náhled mapové aplikace statického web mappingu 128
7.5 Náhled mapové aplikace statického web mappingu, detail v mapě 129
7.6 Náhled mapové aplikace interaktivního web mappingu 134
7.7 Náhled mapové aplikace, obec Kralovice 135
7.8 Náhled mapové aplikace, obec Kralovice, ortofoto 135
7.9 ArcGIS desktop s připojenou vrstvou WMS 136
7.10 Google Earth se starou mapou 137
7.11 Google Earth se satelitními snímky 137
7.12 Náhled aplikace Historické mapy zemí Koruny české 138
7.13 Historické mapy zemí Koruny české, detail mapy 139
7.14 Náhled aplikace Pinasův plán Prahy 140
7.15 Pinasův plán Prahy, porovnání s SMO-5 141
7.16 Náhled aplikace Sledování vývoje krajiny 142
7.17 Sledování vývoje krajiny, zatopení přehradou Slapy 143
7.18 Vizualizace zvektorizované Klaudyánovy mapy [33] 144

9.1 Ukázka z aplikace MapAnalyst 151

Seznam tabulek

3.1 Barevná hloubka 46
3.2 Velikost dat pro starou mapu 60 x 40 *cm* 47

Kapitola 1

Úvod

Tato disertační práce se snaží vyplnit mezeru mezi odbornými pracemi zaměřenými na zkoumání starých map s pracemi zabývajícími se geoinformatikou a programováním. Osobně se necítím být ani historikem ani informatikem, ale při studování tohoto zajímavého tématu jsem musel řešit pohledy z obou stran. Nakonec tedy práce stojí někde mezi, snad pro informatiky triviální z hlediska popisu technologií, snad pro historiky triviální z hlediska popisu a studia starých map. Doufám však, že je to přesně naopak a práce je zajímavá pro obě skupiny odborníků spíše tím, co není jejich doménou.

Cílem disertační práce bylo prozkoumat, zhodnotit a navrhnout možné způsoby zpřístupnění starých map na Internetu. Celý technologický proces, který je třeba absolvovat před vlastním zpřístupněním, zahrnuje digitalizaci starých map, jejich případné georeferencování a následné prezentování na Internetu.

V práci je větší prostor věnován teoretickému popisu celé problematiky. Nejdříve jsem se zaměřil na teoretické základy digitalizace, a to jak ve formě vektorových tak i rastrových dat. Vzhledem k tomu, že k vektorizaci starých map dochází méně často a většinou již na základě rastrových dat, je teorie zaměřena právě na rastrová data. Kromě teoretických základů jsem se snažil popsat vlastní vznik rastrových dat na zařízeních různého typu. Zmíněna jsou také nejvýznamnější digitalizační střediska v ČR. Výstupem této části mé práce jsou navržené parametry skenování starých map (zejména barevná hloubka a hustota skenování). Kromě vlastních parametrů digitalizace jsem prozkoumal i možné formáty uložení dat, včetně speciálních možností pro rozsáhlá data. Výstupem je pak stručná rešerše datových formátů, kompresních algoritmů a speciálních možností uložení rastrových dat (např. dlaždicování, pyramidování).

Druhou částí naznačeného technologického postupu zpracování starých map je jejich georeferencování. Zde jsem se snažil teoreticky popsat a zhodnotit jednotlivé typy geometrických transformací obrazu. Transformace jsem rozdělil na skupiny s globálním a s lokálním transformačním klíčem. Výstupem této teoretické pasáže je zhodnocení jednotlivých transformací a hlavně návrh možných způsobů georeferencování pro různé skupiny starých map. Velmi totiž záleží na tom, zda souřadnicově umísťujeme jednolistovou mapu nebo dílo

v kladu mapových listů. Také existence rámových značek rozhoduje o využití některých metod. Kromě matematických základů transformací jsem v práci popsal nejběžnější technická řešení souřadnicového umístění rastrů. To je důležité zejména pro vlastní praktické zpracování.

Třetí vrcholnou částí zpřístupnění starých map je jejich prezentace nebo distribuce pomocí celosvětové sítě Internet. V této části práce jsem popsal všechny možné technologické způsoby využití Internetu pro staré mapy. Pouze na okraj jsou zmíněny možnosti pouhého sdílení dat, které jsou pro staré mapy velmi nevhodné. Pozornost jsem věnoval především webovým prohlížečkám dat. Je možné nalézt dvě hlavní skupiny webových aplikací. První skupinu představují prohlížečky rozsáhlých rastrových obrazů souřadnicově neumístěných. Ty jsou využívány zejména v památkové péči, ale jsou velmi dobře využitelné i pro obrazy starých map. Druhou skupinu tvoří aplikace založené na technikách web mappingu. Zde se využívá především mapových serverů. Samotné technologie jsem popsal spíše v principu jejich fungování, konkrétní aplikace jsou praktickým výsledkem disertační práce. Velkou pozornost jsem věnoval moderní technologii webových mapových služeb. Využití této technologie pro distribuci starých map je podle mého názoru velmi vhodné. Výstupem této části práce jsou doporučené webové technologie pro různé typy starých map.

Po teoretickém popisu celého postupu zpracování starých map včetně doporučených parametrů a postupů jsem se zaměřil na praktické výstupy disertační práce. Nejdříve bylo nutné zhodnotit již existující projekty zpřístupňující naše staré mapy na Internetu. Výsledkem je seznam již fungujících webových projektů spolu s popisem použitých technologií a zhodnocením. Obliba některých webových aplikací mezi uživateli je zřejmá. Ne ve všech projektech je však využita ideální technologie.

Konkrétními praktickými výstupy mé práce jsou digitalizovaná data (některá z nich georeferencovaná) a prototypy webových aplikací pro staré mapy. V oblasti digitalizace se mi podařilo georeferencovat mapové listy II. vojenského mapování z celého území ČR v souřadnicovém systému UTM. Spolu se studenty se mi dále podařilo naskenovat reprinty našich nejvýznamnějších map vytvářených jednotlivci a některé z nich georeferencovat nebo vektorizovat. Spolu s kolegou Krejčím se mi dále podařilo vytvořit souvislý rastrový obraz Müllerovy mapy Čech, který je pravděpodobně prvním digitálním obrazem této mapy v celku ve vysokém rozlišení.

Při návrhu a tvorbě webových aplikací jsem se zaměřil zejména na využití mapových serverů. V těchto aplikacích je možné využívat georeferencovaná data a porovnávat je s jinými mapovými podklady, což je obrovská výhoda. Výstupem mojí práce jsou dva prototypy webových aplikací, jeden pro statický web mapping, jeden pro interaktivní web mapping. Spojením těchto aplikací s daty II. vojenského mapování získáváme mocný nástroj pro analýzu a další výzkum tohoto mapového díla přímo na webu. Data je možné v rámci aplikací porovnávat např. s ortofotem nebo hodnotit výškopis pomocí připojené vrstvy vrstevnic. Kromě programování vlastních aplikací jsem se zaměřil na implementaci služby WMS do mapových serverů. Obě mé aplikace podporují službu WMS, a to jak v pozici klienta, tak v pozici serveru. Právě využití WMS serveru pro distribuci starých map je podle mého názoru skvělou možností. Mnou georeferencovaná data jsou nyní k dispozici pomocí služby

WMS a je možné si je připojit do libovolné desktopové (ArcGIS, KOKEŠ) nebo webové (Google Earth) aplikace.

V práci jsou dále popsány další projekty, na kterých jsem se podílel většinou jako vedoucí či konzultant studentských prací. Na závěr celé práce jsem se pokusil nastínit další možný vývoj v oblasti digitalizace a zpřístupnění starých map. Navrženy jsou také další možnosti výzkumu, který je neobyčejně široký. Pozornost je třeba věnovat zejména katalogizaci starých map (tedy metadatům) a vývoji nových technologií (webových služeb).

Na úvod celé práce je zařazena kapitola věnující se našim nejstarším mapovým památkám. Ačkoliv se jedná pouze o kompilaci téměř desítky odborných prací a můj přínos byl pouze ve výběru důležitých a správných informací, myslím, že její zařazení do práce je vhodné. Uvozuje celou práci a popisuje samotný předmět celého mého snažení. Ukazuje také na neobyčejnou kvalitu české kartografie v historii.

Kapitola 2

Staré mapy českých zemí

Ačkoliv se tato práce zabývá především technologiemi pro distribuci starých map, není možné vynechat alespoň základní informaci o mapách samotných. Protože se ve svých projektech zabývám výhradně mapami z území současné České republiky, v této kapitole budou charakterizovány staré mapy a mapová díla zobrazující právě toto území.

Pojmem *stará mapa* byla dříve označována především díla sběratelsky zajímavá, tedy mapy vytvářené zhruba do poloviny 19. století. Právě od této doby z map začala mizet zdobnost a mapy přestaly být chápány jako umělecká díla. Pokud nás zajímá samotný obsah mapy, není pojem *stará mapa* jednoznačný. Hranice významu tohoto pojmu se pak posouvá blíže k současnosti a v extrému je možné považovat za starou mapu i celkem nedávné výtvory současných kartografů (pokud došlo v daném území k nějakým změnám). Já se budu držet asi nejpoužívanějšího vymezení starých map u nás. Za staré mapy budu považovat mapy vytvářené před více než sto lety, tedy zhruba ty, které spatřily světlo světa před vznikem samostatného Československa.

Je důležité upozornit na dva pojmy, které jsou v běžné praxi často zaměňovány – *stará mapa* a *historická mapa*. Podle současného výkladu jde o dva rozdílné pojmy. Historická mapa je především mapa tematická. Znázorňuje výsledky historického výzkumu na základě jiného kartografického díla. Zpravidla jde o mapy současné, zobrazující historické informace (např. *Mapa Čech v 15. století*). Historická mapa však samozřejmě může být i mapou starou.

Při zkoumání starých map je třeba získat celou řadu informací tak, aby bylo možné správně interpretovat její obsah. Při tomto procesu je důležité zjistit, ze které doby mapa pochází, jde-li o mapu rukopisnou nebo tištěnou, jedná-li se o originál, kopii, faksimili nebo reprodukci, jaké má mapa měřítko, jaký používá značkový klíč, kde lze mapu nalézt (archivy, knihovny) a samozřejmě, kde lze nalézt výsledky již provedeného výzkumu (odborná literatura). Samotný proces zkoumání starých map přesahuje rámec této práce. Některé aspekty zkoumání starých map, zejména ty týkající se jejich přesnosti, budou dále zmíněny. Zkoumáním starých map se zabývá *historická kartografie* a její aplikace je možné nalézt např. v [36].

Pokud se podíváme na staré mapy našich zemí z pohledu autorů, je možné je rozdělit do dvou velkých skupin:

- mapy vytvářené kartografy jednotlivci
- mapy vytvářené většími kolektivy autorů (zpravidla mapová díla)

Není cílem této kapitoly předvést úplný seznam našich mapových památek. Vybrány jsou pouze nejvýznamnější mapové památky, zvláště ty, které jsem využil při návrhu metod digitalizace a internetové prezentace. Pro úplnější a detailnější popis našich starých map je nutné navštívit archivy a knihovny a ponořit se do světa historické kartografie.

2.1 Mapy vytvářené jednotlivci

Mapy vytvářené jednotlivci zahrnují naše nejstarší mapové památky. Autoři byli zpravidla učení a vzdělaní lidé, kteří našli zalíbení v kartografii. Vůbec první zmínky o našich zemích (název *Bohemia*) na mapách pochází už ze starého Řecka, od geografa Strabona [40]. Nás však budou zajímat novější středověké mapy, kde je již možné identifikovat fyzickogeografické prvky (řeky, pohoří) i sídelní osídlení.

(a) (b)

Obrázek 2.1: Etzlaubovy mapy

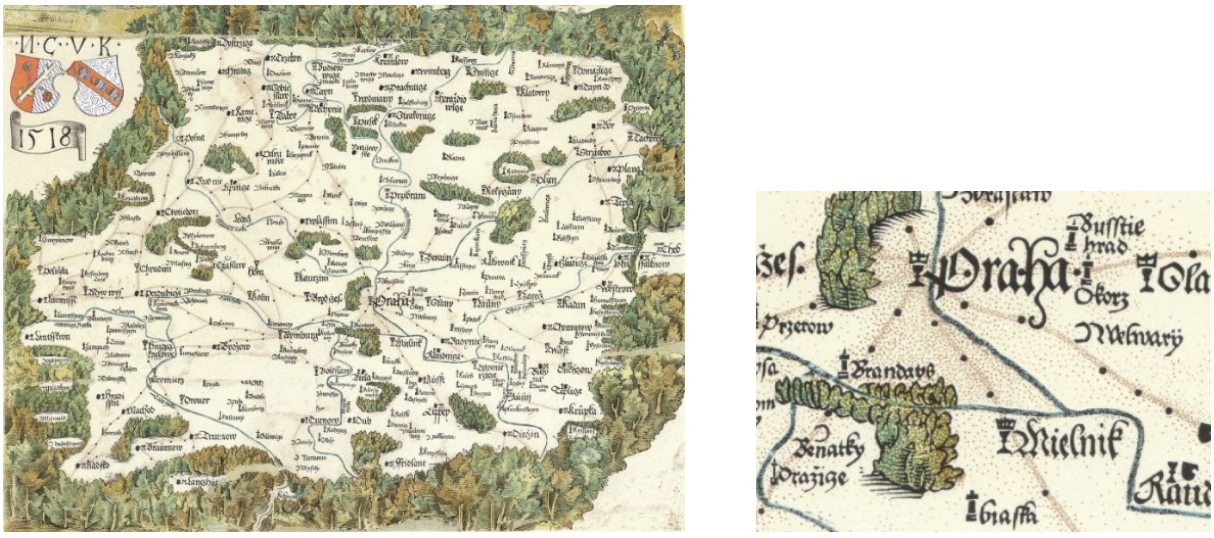
První poměrně kvalitní vystižení oblasti dnešních Čech můžeme nalézt na mapách norimberského kartografa Erharda Etzlauba. Ten vytvořil k jubilejnímu roku 1500 cestovní mapy,

které sloužily při putování věřících do Říma. Na první z dochovaných map je možné nalézt 22 českých, moravských a slezských měst, na druhé bylo ještě dalších 10 přidáno. Na těchto mapách jsou kromě měst zvýrazněny významné cesty (např. Praha – Norimerk, Olomouc – Vratislav). Cesty jsou značeny pomocí tzv. „milníků“, které určovaly vzdálenosti na cestách. Mapy jsou samozřejmě vytvořeny ve velmi malém měřítku (asi 1 : 4 000 000) a byly tištěny technikou *dřevořezu*. Po vzoru norimberských kartografů byly cestovní mapy vytvářené i v dalších městech. Pro nás jsou Etzlaubovy mapy významné především tím, že se v nich patrně inspiroval autor první samostatné mapy Čech – Mikuláš Klaudyán.

Každá z významných map vytvářených jednotlivci bude stručně charakterizována a dokumentována náhledem či výřezem mapy. Další informace o nich je možné získat např. v [9], [25], [26], [32], [36].

2.1.1 Klaudyánova mapa Čech z roku 1518

Mikuláš Klaudyán byl mladoboleslavský lékař a knihtiskař, nadšený přívrženec Jednoty bratrské. Při svých obchodních cestách do Norimberka se patrně setkal s Etzlaubovými mapami a rozhodl se vytvořit podobnou mapu zvlášť pro Čechy. V rukopisu byla mapa hotová v roce 1516, vydání se však neobešlo bez cenzury norimberské městské rady. Posouzení mapy proběhlo v lednu 1517 a když nebylo shledáno nic závadného proti katolické víře, mapa mohla být vydána.



(a) mapová část (b) detail

Obrázek 2.2: Klaudyánova mapa Čech z roku 1518

Mapa měla být původně patrně cestovní (orientace mapy k jihu nemá jiný smysl). Klaudyán však tento úmysl zastřel tím, že mapový obraz zabírá pouze spodní třetinu mapy. Zbývající dvě třetiny pak vyplňují alegorická a politická vyobrazení. Zejména jde o postavu

krále Ludvíka Jagellonského a erby zemí, kterým vládl, erby významných českých rodů a dále alegorické vyobrazení spravedlnosti či dobových poměrů. Celkově má mapa rozměr 640 x 1260 *mm*, vlastní mapová kresba však zabírá pouze 550 x 460 *mm*. Podle letopočtů v levém horním rohu je možné zjistit, že mapa byla vytvořena v roce 1517, vytištěna pak v roce 1518.

Mapa celkem obsahuje 280 sídlištních značek a názvů. Samotná města jsou značkami rozdělena na královská či panská, katolická či kališnická. Kromě měst, klášterů, zámků a tvrzí jsou vyobrazeny také některé řeky (z toho popsány Vltava, Labe, Ohře, Jizera, Orlice a Sázava). Názvosloví Klaudyánovy mapy je české a pozoruhodně správné (nezkomolené). Cesty jsou značeny pomocí milníků a protaženy tenkými tahy štětce. Horopis je vyznačen opakovanou symbolickou značkou listnatého porostu, jediným horopisným názvem jsou Krkonoše. Měřítko mapy není jednoznačné. Z různých publikovaných hodnot je nejčastější rozmezí 1 : 637 000 až 1 : 685 000.

Klaudyánova mapa je jednou z našich nejvýznamnějších mapových památek. Byla to první mapa nejen samostatných Čech, ale dokonce první samostatná mapa země ve střední Evropě. Teprve později vznikly samostatné mapy Bavorska, Polska, Uher nebo Slezska či Saska. Mapa se po světě rozšířila především zásluhou kartografa Šebastiána Münstera, který doplnil mapu do Ptolemaiovy *Geografie* v roce 1545 (mapa je zmenšená a s upraveným názvoslovím). Tuto mapu také použil Gerhard Mercator jako podklad pro tvorbu své patnáctilistové mapy Evropy (1554). Další známé kopie jsou od boloňského rytce Zalteriho. Originál Klaudyánovy mapy se zachoval pouze jeden. Jde o ručně kolorovaný výtisk nalepený na plátno. Je uložen v biskupské knihovně v Litoměřicích. Více o Klaudyánově mapě je možné nalézt v [33].

2.1.2 Helwigova mapa Slezska z roku 1561

Martin Helwig působil jako učitel ve Vratislavi. Sám se rozhodl vytvořit neexistující mapu Slezska, neboť se domníval, že je to potřeba k pochopení historie i hlubšímu poznání této oblasti. Svojí mapu dokončil v roce 1561, kdy byla vytištěna z dřevořezu v tiskárně Jana Creutzigera v Nise.

Mapa má rozměry 816 x 699 *mm* a přibližné měřítko 1 : 550 000. Mapa má jižní orientaci, podle autora prý proto, aby Horní Slezsko bylo opravdu nahoře mapy. Tištěná mapa je velmi pěkně kolorovaná. Celkově působí velmi estetickým dojmem. Kromě samotné mapové kresby obsahuje znaky slezských knížectví, jejich hlavních měst, velký znak Českého království a Polska a další dobové motivy. Na mapovém rámu jsou vyznačeny zeměpisné souřadnice. Města, kláštery a zámky jsou rozlišeny mapovými značkami. Mapa obsahuje pouze 308 míst, ale i tak působí velice zaplněně. Tento dojem je způsoben pahorkovou kresbou terénu, kompaktním zobrazením lesních ploch a příliš velkými značkami sídel. Vodstvo je zakresleno poměrně správně.

Zajímavostí mapy je zobrazení Krakonoše (vládce Krkonoš) v postavě gryfa s jeleními parohy, kozlíma nohama, ocasem a silnou větví v pazourech. Jde patrně o první zobrazení

(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.3: Helwigova mapa Slezska z roku 1561

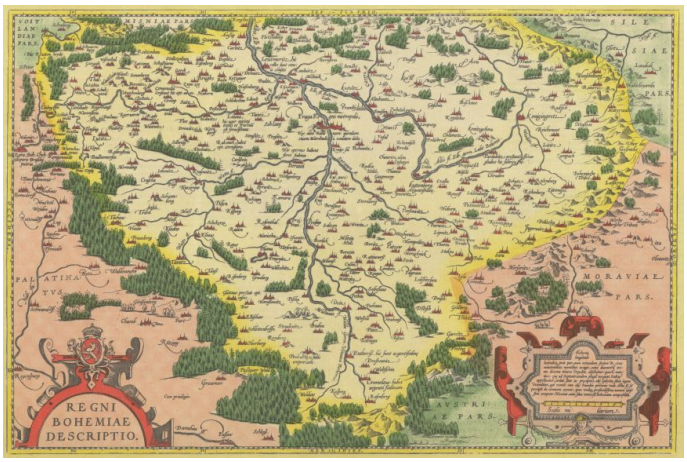
tohoto bájného obyvatele a pána Krkonoš. Mapa se dočkala asi 10 vydání, která se liší především nadpisy a texty. Byla také použita Abrahamem Orteliem do jeho atlasu. Žádný původní otisk se bohužel nedochoval. Helwigova mapa byla tištěna dlouhou dobu a sloužila jako podklad pro další mapy Slezska. Jeden z výtisků je možné nalézt v Zemském archivu v Opavě.

2.1.3 Crigingerova mapa Čech z roku 1568

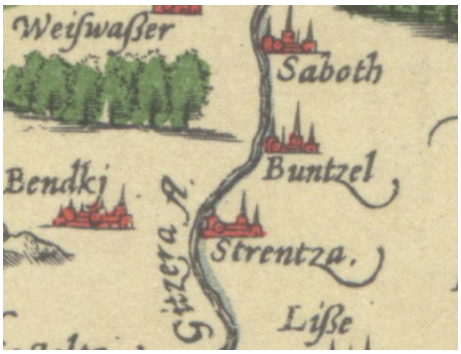
Druhá mapa Čech je z rukou jáchymovského rodáka Jana Crigingera. Ten studoval v Německu a později jako farář působil na různých místech v česko-saském pohraničí. Jeho prvním dílem byla mapa Saska, která byla vyryta do mědi v Lipsku. Druhá mapa již zobrazuje Čechy. Byla opět vyryta do mědi v Lipsku, a to Wolfem Meyerpeckem v roce 1568.

Čechy jsou na mapě vyryty do oválu a zbývající rohy jsou vyplněny figurální a heraldickou výzdobou. Celá rytina má rozměry 486 x 421 *mm* a měřítko mapy bylo určeno na 1 : 683 500 [32]. Na území Čech je zobrazeno 292 osídlených míst a poměrně podrobná říční síť (chybí Otava). Hory jsou vykresleny kopečkovým způsobem, některé hory a pohoří jsou popsány. Názvosloví je české a německé.

Crigingerova mapa je velmi významnou mapovou památkou, ačkoliv o ní příliš mnoho nevíme. Antverpský kartograf Abraham Ortelius použil právě tuto mapu jako předlohu pro svou mapu v atlase *Theatrum orbis terrarum*. K dalším známým kopiím patří Münsterova či Mercatorova, která byla doplněna o místopis jižních Čech. K popisu je použito latinské kurzívy, která je, na rozdíl od původního písma, drobnější a jednoznačně čitelná. Do součas-



(a) celkový pohled



(b) detail

Obrázek 2.4: Crigingerova mapa Čech z roku 1568

nosti se zachovaly dva neúplné výtisky této mapy. Výtisk mapy Čech, který sloužil Orteliovi za předlohu pro kopii do jeho atlasu, je uložen v Salcburku. Druhý výtisk byl nalezen ve Strahovské knihovně v Praze.

2.1.4 Fabriciova mapa Moravy z roku 1569

Pavel Fabricius byl matematik a osobní lékař císaře Maxmiliána II. Sám prováděl astronomická měření na území Rakouska a Moravy a v roce 1569 byla vydána jeho první autorská mapa Moravy, tištěna z měděných desek. Důvodem pro tvorbu takového díla byla především neexistence mapy Moravy, oproti Klaudyánově mapě Čech nebo Laziovým mapám Rakouska. Kvalitativně tyto mapy předčil hlavně zeměpisnou sítí zobrazenou v intervalu pět minut na okraji mapy.

Fabriciova mapa má na tehdejší dobu nezvykle velké rozměry 846 x 946 mm. Měřítko bylo určeno na 1 : 288 000. Obsah mapy je různorodý, místy velmi podrobný, místy je mapa „prázdnější“. Celkem je zobrazeno 347 místních názvů na Moravě a 134 názvů pro Rakousy. Některé názvy nelze identifikovat z důvodu zkomolení názvu. Názvosloví bylo německé, až v pozdějších kopiích přibyly české dublety. Horopisná a vodopisná náplň je značně podrobná, nacházejí se zde všechny význačné toky. Kresba reliéfu je provedena pomocí pahorkové manýry, která věrně zachycuje výškové rozdíly krajiny.

Fabriciova mapa byla velmi populární, v roce 1570 ji například použil do svého atlasu Abraham Ortelius. Další známá kopie Fabriciovy mapy vznikla roku 1585. Pořídil ji Gerhard Mercator a zařadil ji do třetí části svého atlasu. Z roku 1625 pak pochází Kaeriova mapa, která je opět kopií Fabriciovy mapy. Z dochovaných výtisků originálu se pouze jeden nachází u nás, a to v Mollově sbírce Moravské zemské knihovny v Brně.

(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.5: Fabriciova mapa Moravy z roku 1569

2.1.5 Aretinova mapa Čech z roku 1619

Třetí mapou Čech je mapa pražského měšťana, radního písaře Pavla Aretina. Ten se narodil v Uherském Brodě, působil i v Klatovech a na panství Petra Voka. V roce 1612 se přestěhoval do Prahy, kde také vydal roku 1619 mapu Čech. V roce 1627 byl za účast na povstání z Čech vypovězen.

Aretinova mapa je velmi podrobná, pravděpodobně založená na pracech zemského měřiče Šimona Podolského. Rozměr rámu je 766 x 544 mm, na rámu jsou vyznačeny mílové stupnice. Mapa obsahuje 1157 osídlených míst, včetně jejich jmenného rejstříku a mílových souřadnic od levého horního rohu. Měřítko mapy bylo určeno na 1 : 504 000. Celkově je v mapě použito 16 různých mapových značek pro rozlišení sídel a usedlostí. Horopis i vodstvo je zpracováno výrazně kvalitněji než u Crigingera, silniční síť chybí (kromě dvou zemských cest). Mapa také poprvé obsahuje krajské hranice (Čechy jsou rozděleny na 15 krajů).

Mapa se dočkala několika vydání. Druhé vydání z roku 1632 zaznamenalo důležité změny. Nejnápadnější změnou je zpřesněné zobrazení řek ve východních Čechách. Mapa se s největší jistotou používala pro vojenské operace, nasvědčuje tomu zobrazení vojska v okolí Hradce Králové a Pardubic. Dalších vydání se již Aretin nedožil. Třetí vydání z roku 1665 zdobí po okraji vyobrazení celkem dvanácti postav v dobových krojích. Také je uvedeno jméno rytce Daniela Vusína. Čtvrté nedatované vydání nese jméno jeho syna Kašpara Vusína. Oba rytci do obsahu mapy zasáhli jen minimálně, přesto jsou jejich jména uvedena jako jména autorů

(a) celkový pohled (b) detail

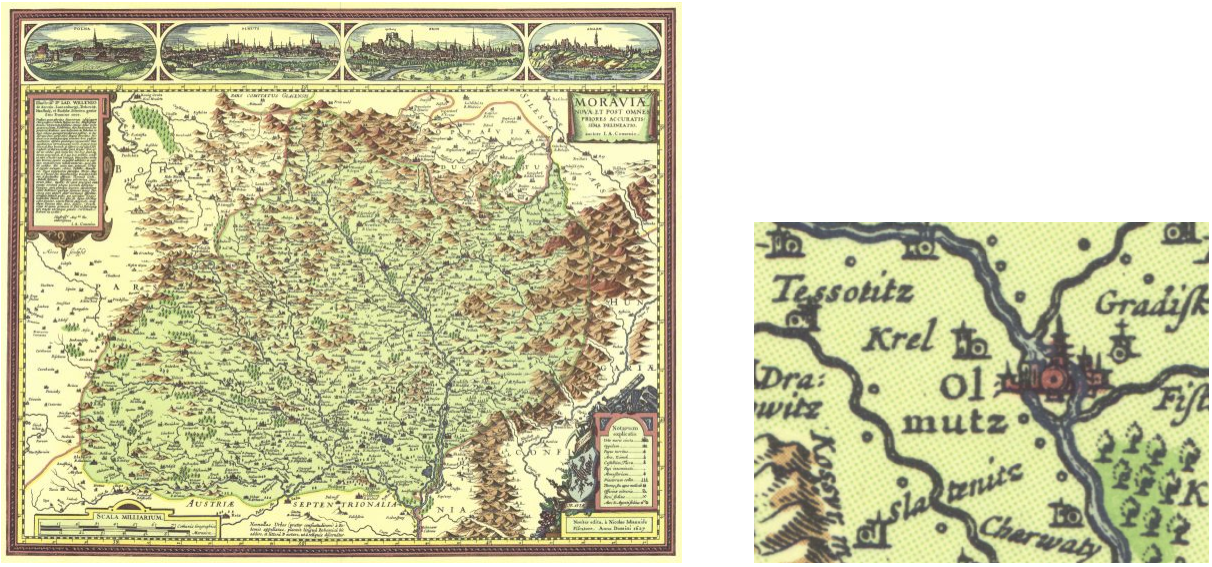
Obrázek 2.6: Aretinova mapa Čech z roku 1619

mapy. Díky podobnosti Aretinovy mapy s Zimmermannovou mapou z roku 1619 a s mapou Petra Kaeria a Jiljího Sadelera z roku 1620 je možno usuzovat na jejich společnou předlohu. Podle [25] mohl stát při jejím vzniku právě dvorní malíř a rytec Jiljí Sadeler. Aretinova mapa byla velmi populární, a proto často reprodukována v nizozemských atlasech.

Dokladem oblíbenosti Aretinovy mapy je i fakt, že byla často používána jako předloha pro jiné rukopisné mapy. V roce 1676 tak vznikla např. mapa Jana Sticha. Autor mapy byl celním revizorem a jeho úkolem bylo sledovat vybírání poplatků na hranicích. Při svých cestách po celních a výběrčích stanicích tak zpracoval rukopisnou mapu českého pohraničí. Mapa je poměrně podrobná, měřítko bylo určeno na 1 : 255 000. Svou podrobnost má však pouze v příhraničí, vnitrozemí zůstává nepopsané. Celkem je na mapě vyobrazeno 460 pohraničních míst a výběrčích stanic. Grafické provedení mapy není dobré. Autor používal při zákresu mapových značek různá razítka, aby si usnadnil práci. Mapa se dochovala (i když velmi poškozená) a je uložena v Národním archivu v Praze.

2.1.6 Komenského mapa Moravy z roku 1624

Jan Ámos Komenský je znám především jako filosof, „učitel národů“ a biskup Jednoty bratrské. Materiál na mapu Moravy shromažďoval řadu let a pravděpodobně ji chtěl připojit ke svému dílu o moravských dějinách. Rukopis tohoto díla se však nezachoval. Nejstarší výtisk mapy pochází pravděpodobně už z roku 1624, rytcem byl Abraham Goos z Vischerovy amsterdamské dílny. Důvodem pro tvorbu mapy byla především snaha napravit chyby v mapě Fabriciově. Zejména šlo o zkomolené názvosloví, nepřesné zakreslení reliéfu a celkovou deformaci mapy. Komenský získával informace vlastními cestami po Moravě a dále ze zpráv místních obyvatel.



(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.7: Komenského mapa Moravy z roku 1624

Mapa má rozměry 544 x 442 *mm*. Její rám obsahuje síť zeměpisných souřadnic po jedné minutě. Měřítko zeměpisné sítě je asi 1 : 470 000, zatímco vlastní mapa je přibližně v měřítku 1 : 520 000 [36]. Pro osídlená místa má Komenský sedm značek, jejichž kombinací dosáhl mnohem více kategorií. Z větší části byla klasifikace sídel převzata z Fabriciovy mapy. Vysvětlivky k použitým značkám se nacházejí v pravém dolním rohu. Názvosloví Komenského mapy je české, u důležitých sídel je rozšířeno o německý název. V levém dolním rohu je umístěno měřítko v moravských mílích. Kromě sídel je použito několik značek pro další objekty – vinice, lázně, sklárny,... Celkem je na mapě zobrazeno 767 objektů, z toho 499 je popsaných. Horopis je schematický, vyjádřený kopečkovou metodou. Vodstvo pak doznalo značné vylepšení oproti Fabriciovi – řeky protékají osadami a stékají se podle skutečnosti. Mapa je vyzdobena čtyřmi vedutami měst Brna, Znojma, Olomouce a Polné.

Komenského mapa je patrně nejoblíbenější z našich map vytvářených jednotlivci. Celkově bylo vytištěno přes 100 různých vydání této mapy. Známé jsou mapy použité v nizozemských atlasech Orteliem, Blaeuem, aj. U nás vyšla mapa poprvé v roce 1677 zásluhou Tomáše Pešiny z Čechorodu, jehož knihu *Mars Moravicus* doplňuje Dvořákova kopie Komenského mapy (samozřejmě bez uvedení původního autora). Původní výtisky mapy je možné nalézt např. v Mapové sbírce Univerzity Karlovy v Praze nebo na Geografickém ústavu Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně.

2.1.7 Scultetova mapa Slezska z roku 1638

Jonáš Scultetus byl právník a vychovatel ve slezských rodinách. Kartografickou činnost prováděl v letech 1626–1640. Sestavil mapy slezských knížectví, z nichž však pouze Kladsko vyšlo v roce 1626. Přehledná mapa Slezska vyšla až v roce 1638. Tato mapa má rozměry 490 x 385 *mm*. Přibližné měřítko mapy je asi 1 : 1 000 000. Na mapě jsou zakreslena sídla, horopis, vodopis, hranice slezských knížectví. Výzdobu tvoří znak Slezska a alegorie zemědělství a lovectví. Legenda obsahuje čtyři mapové značky, mapový rám je doplněn zeměpisnými souřadnicemi. Protože se Scultetovi od vrchnosti nedostalo podpory, dalších kartografických prací zanechal. Zmíněné dvě mapy jsou známé díky použití v nizozemských atlasech v 17. století.

(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.8: Scultetova mapa Slezska z roku 1638

2.1.8 Vischerova mapa Moravy z roku 1692

Vischerova mapa Moravy je stejně jako Vogtova mapa Čech méně známou než mapy předchozí. Je to hlavně v důsledku úpadku nizozemských atlasových dílen, kvůli kterému mapa nebyla moc rozšířena. Při rozkvětu německých dílen v 18. století pak už byla na světě novější mapa Müllerova. Jiří Matouš Vischer byl tyrolský kartograf a podílel se již na mapách Horních a Dolních Rakous, Sedmihradska i Uher. Mapu Moravy dokončil v roce 1692.

Mapa je nebývale podrobná, téměř jako následující Müllerova mapa z roku 1716. Obsahuje celkem 2460 místopisných značek a názvů rozdělených do dvanácti kategorií. Hodně

měst, hradů a zámků je zobrazeno miniaturami. Mapa má rozměry 1200 x 800 *mm* na celkem 12 mapových listech a měřítko asi 1 : 187 660. Mapa se bohužel moc nerozšířila a dočkala se pouze jediného vydání. Jeden z výtisků je možné nalézt v Laudonově sbírce map na Bítově. K této mapě se bohužel nepodařilo nalézt digitální obraz ukázky.

2.1.9 Vogtova mapa Čech z roku 1712

Na počátku 18. století vznikla ještě jedna původní mapa Čech. Nedočkala se však takového rozšíření jako Klaudyánova, Crigingerova či Aretinova mapa. Jejím autorem je Johann Georg Vogt. Kromě toho, že byl cisterciáckým knězem v Plasech, se také aktivně zajímal o geografii Čech. V roce 1712 vydal historický a současný geografický popis Čech a k němu připojil autorskou mapu.

(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.9: Vogtova mapa Čech z roku 1712

Vogtova mapa má rozměry 853 x 656 *mm* a měřítko asi 1 : 396 000. Mapa je vložena do rámu, který je dělen dvouminutovou stupnicí. Obrazy poledníků a rovnoběžek nejsou přes mapu narýsovány, proto nelze rozhodnout, v jakém zobrazení byla mapa sestrojena. Topografický obsah mapy je velmi podrobný. Na mapě je zobrazeno celkem 3110 lokalit. Objevuje se zde 24 značek pro sídla, hrady, mlýny, školy, pošty, sklárny a jiné význačné objekty. Vedle těchto konvenčních značek použil Vogt i některých perspektivních drobnokreseb hradů a zámků. Horstva jsou vykreslena dosti nesouvisle, takže hlavní rysy horopisu Čech zanikají. Naopak vodopis je zakreslen velice detailně a v porovnání s předešlými díly dokonaleji. Na mapě je také věnována pozornost rybníkům. Vogtova mapa má i dost hustou silniční síť, ve které se objevuje Praha jako východisko cest devíti směrů.

Mapa byla poprvé vydána roku 1712 v Norimberku u Jana Ziegera, kde ji zhotovil rytec Jan Leonard Blanck. Druhé vydání mapy pochází z roku 1750 a obsahuje také poliometrii (mílové vzdálenosti předních měst království). Jeden z výtisků Vogtovy mapy je možné nalézt v Mapové sbírce Historického ústavu AV ČR v Praze.

2.1.10 Müllerova mapa Moravy z roku 1716

Patrně nejpodrobnější mapy Českých zemí vytvářené jednotlivcem jsou z díla Jana Kryštofa Müllera. Müller byl rakouským vojenským inženýrem, studoval matematiku i kreslení. Počátkem 18. století se účastnil nového mapování východních Uher, Sedmihradska a Chorvatska u Marsigliho štábu a roku 1708 byl pověřen zpracováním přehledné mapy Uher. Ta také vyšla v roce 1709 v měřítku cca 1 : 550 000.

Již před dokončením mapy Uher začal Müller pracovat na svém nejvýznamnějším díle, a to mapování Českých zemí, v pořadí Morava, Čechy, Slezsko. Mapování Moravy probíhalo v letech 1708–1712 po jednotlivých krajích. Při měření délek používal Müller viatoria připojeného k cestovnímu vozu, směry měřil busolou. Jistě také znal princip triangulace a pro vybrané body svých map použil zeměpisné souřadnice, které byly známy.

(a) část mapového listu č.1 (b) detail

Obrázek 2.10: Müllerova mapa Moravy z roku 1716

Mapa Moravy byla dokončena roku 1712 a po mnoha revizích byla vyryta do mědi roku 1716 Janem Kryštofem Leidigem v Brně. Mapa je čtyřlistová a má rozměry 1374 x 974 *mm*. Měřítko mapy je přibližně 1 : 180 000, rukopisný originál však byl ještě podrobnější. Jeho měřítko je asi 1 : 115 000 a je uložen v Rakouské národní knihovně. Tištěná mapa obsahuje celkem 4091 místních jmen – opevněná a neopevněná města královská i poddanská, městečka, vesnice, hrady, kláštery, lázně, prameny i naleziště nerostných surovin. Terén je zobrazen kopečkovou manýrou celkem výstižně. Na rukopise použil Müller dokonce poprvé tzv.

„lavování“ (rozmývání barev) k naznačení svahů, avšak mědirytina tuto metodu neumožňovala. Vodstvo je zakresleno také velmi podrobně, někdy však pouze schematicky. Zakresleno je velké množství rybníků. Dále je možné nalézt hranice zemské i hranice krajů, včetně hraničních přechodů. Popis mapy je německý. Mapový rám obsahuje zeměpisné souřadnice po dvou minutách. Kartografické zobrazení je pravděpodobně válcové, ekvidistantní v polednících, s nezkreslenou rovnoběžkou mimo území mapy („obdélníková mapa“). Mapa se často nazývá jako „stavovská“, protože byla vydána nákladem moravských stavů.

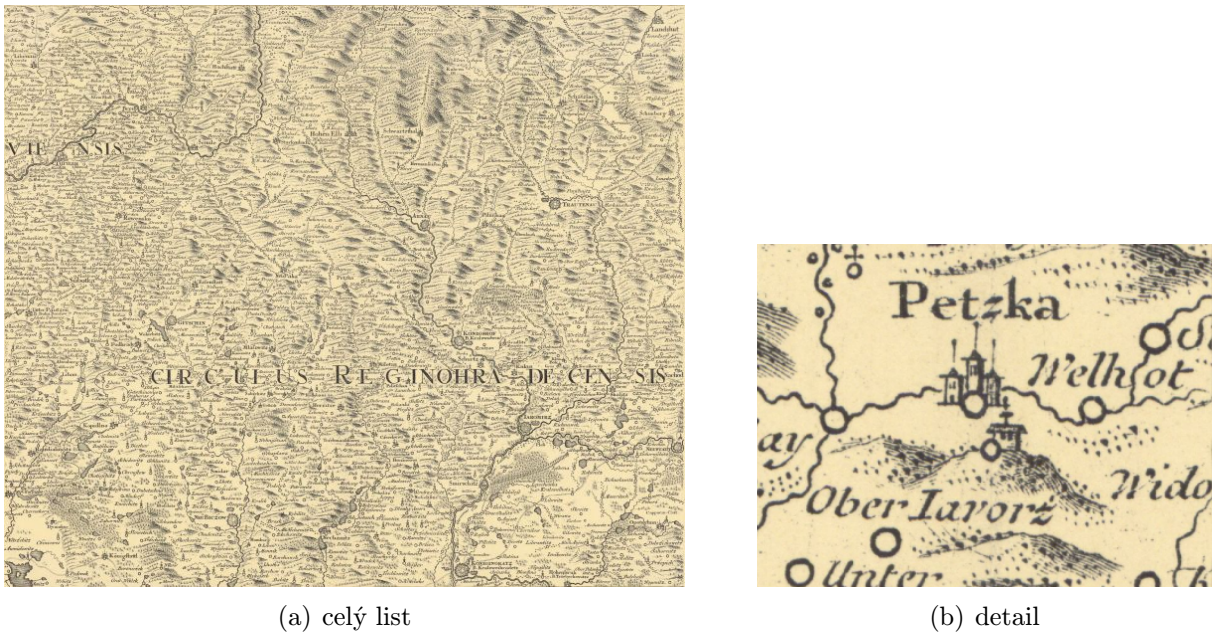
Müllerova mapa Moravy byla z původního originálu tištěna vícekrát. Po roce 1790 byla do mapy přikreslena čtvercová síť, označená velkými a malými písmeny pro usnadnění hledání míst v přiloženém indexu. Podle stavovské mapy byly vytvářeny i další mapy Moravy. Ve 20. letech 18. století vydal Jan Kryštof Homann mapy moravských krajů v 8 listech, a to ve stejném měřítku jako Müller a dále generální mapu Moravy v měřítku 1 : 641 000. Z dalších derivátů mapy je možné jmenovat např. Seutterovu mapu z roku 1733. Později byla Müllerova mapa Moravy použita pro mapu olomoucké arcidiecéze z roku 1762. Mapa byla dále používána jako předloha až do počátku 19. století. Originální tisky Müllerovy mapy Moravy je možné nalézt např. v Mapové sbírce Historického ústavu AV ČR v Praze.

2.1.11 Müllerova mapa Čech z roku 1720

Po zmapování Moravy se dal Müller do mapování Čech, které mu zabralo 8 let (1712–1720). Mapování opět probíhalo po jednotlivých krajích, nejdříve v kraji Bechyňském. Kromě mapování krajů byl Müller pověřen vytvořením česko-saské hraniční mapy, mapy budoucí vojenské pochodové silnice od Chebu do Kladska a dalších map vojenských silnic, většinou ve větších měřítkách než budoucí mapa Čech.

Mapa Čech byla dokončena v roce 1720. Mapování probíhalo obdobným způsobem jako na Moravě. Müllerova mapa Čech je rozdělena na 25 listů a má celkový rozměr 2822 x 2403 mm. Byla vyryta do mědi Michaelem Kaufferem, parerga podle předlohy Václava Vavřince Reinera vyryl Daniel Herz. Měřítko mapy je přibližně 1 : 132 000 [36]. Tištěná mapa obsahuje celkem 12495 lokalit, jejichž výklad je podán v obsáhlé legendě se 48 značkami v latině a němčině. Reliéf je zobrazen kopečkovou metodou, na rozdíl od mapy Moravy jsou pohoří popsána. Vodní toky a plochy jsou bohatě prokresleny. Zakresleny jsou také hranice tehdejších dvanácti českých krajů. Mapový rám obsahuje zeměpisné souřadnice po jedné minutě. Kartografické zobrazení je opět válcové, ekvidistantní v polednících, s nezkreslenou (pravděpodobně pražskou) rovnoběžkou.

Müllerova mapa Čech je jednou z nejvýznamnějších mapových památek našich zemí. Právě proto je jedna z jejích kopií umístěna i v kanceláři prezidenta republiky. Kromě bohatého a velmi podrobného obsahu je i esteticky na vysoké úrovni. Parerga obsahují alegorie českých řek, Pražský hrad aj. Aby se v mapě lépe orientovalo, vyhotovil Müller ještě Přehledný list k Müllerově mapě Čech. Ten má rozměry 546 x 464 mm a měřítko asi 1 : 649 180. Z originální mapy byla také odvozena praktičtější mapa menšího měřítka.



(a) celý list (b) detail

Obrázek 2.11: Müllerova mapa Čech z roku 1720 – mapový list č.9

(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.12: Müllerova mapa Čech z roku 1720 – Přehledný list

Zpracoval ji Jan Wolfgang Wieland v měřítku přibližně 1 : 232 000 a vydal ji v 25 listech v roce 1726. Mezi další odvozeniny Müllerovy mapy Čech patří mapa rytá Janem Condetem a vydaná u Covense a Mortiera v Amsterdamu v roce 1744 nebo Lidlova mapa z roku 1740.

Mapa byla i dále často používána jako podklad pro další neúřední mapy až do počátku 19. století. Tiskové desky Müllerovy mapy Čech se zachovaly a jsou uloženy v Národním technickém muzeu v Praze, Müllerovy rukopisné mapy (zpravidla ve větším měřítku) se však většinou nezachovaly. Originální tisky Müllerovy mapy Čech je možné nalézt např. v Mapové sbírce Historického ústavu AV ČR v Praze.

2.1.12 Wielandovy mapy Slezska z roku 1752

Po smrti Jana Kryštofa Müllera bylo nutné najít pokračovatele jeho práce. Zbývala totiž zpracovat mapa Slezska. Müllerovým nástupcem se stal v roce 1722 Jan Wolfgang Wieland (poručík ženijního vojska) a téhož roku začal mapovací práce ve Slezsku. Postupoval po jednotlivých knížectvích. Jeho práce byly kvalitnější než Müllerovy hlavně díky použití měřických řetězců místo kola vozu. Zároveň s jeho mapováním byly mapy revidovány komisemi a připravoval se jejich tisk. Po úředních průtazích byly nakonec mapy svěřeny nakladatelství Homannových dědiců v Norimberku. Wieland však roku 1736 zemřel a jeho práce se ujal inženýr a poručík Matyáš Schubart. Ten roku 1740 dokončil všechny revize. Z důvodu slezských válek však bylo povolení k tisku map vydáno až v roce 1750 a roku 1752 konečně vyšel celý soubor 21 map s názvem „Slezský atlas“. Obsahoval 4 generální a 16 speciálních Wielandových map a dále jednu mapu Kladska od Tobiasse Mayera.

Müllerovy (resp. Wielandovy) mapy ukončily významnou etapu mapování českých zemí, kdy bylo kartografické dílo víceméně záležitostí jednotlivce. Dále se těchto prací ujímá stát. Jako podklad pro nová mapování sloužily právě tyto mapy. Až do počátku 19. století pak byly Müllerovy mapy využívány jako předlohy hlavně pro mapy neúředního charakteru.

2.2 Kolektivní mapová díla

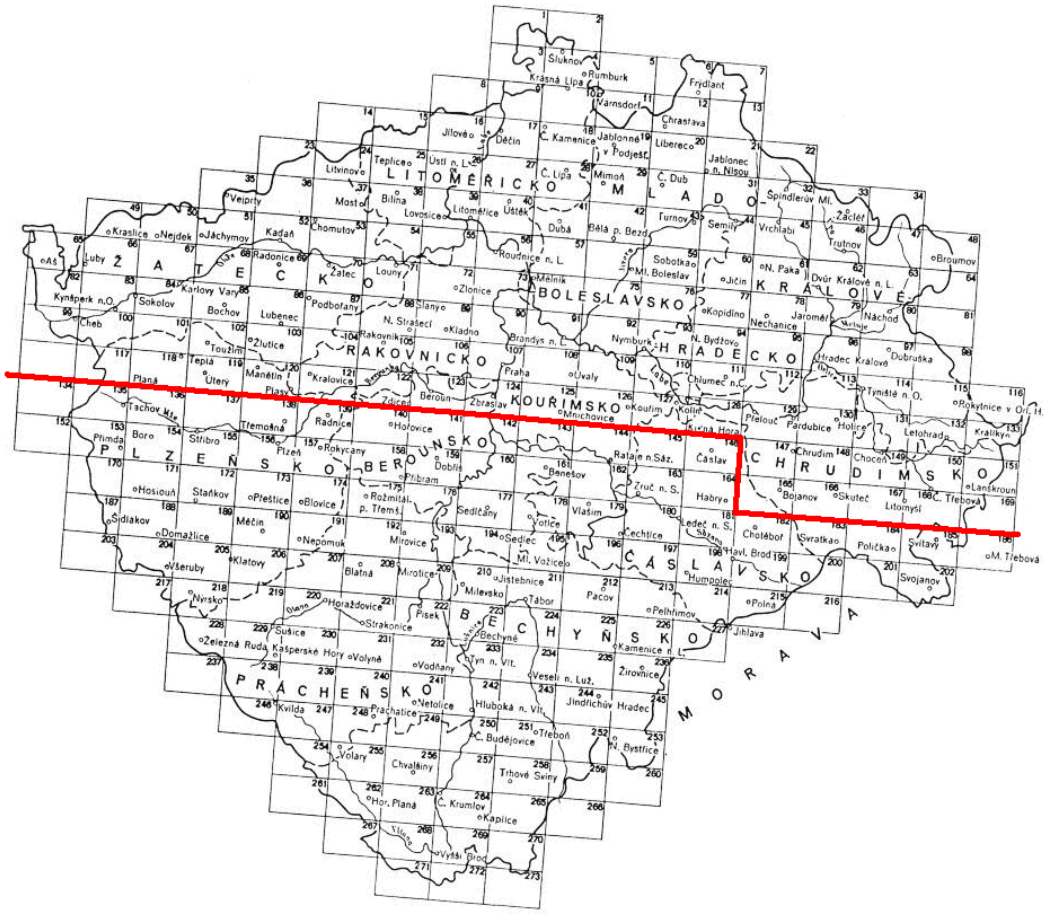
Na rozdíl od předchozí skupiny map byla kolektivní mapová díla vytvářena širokou skupinou kartografů. Souviselo to určitě s potřebou kvalitnějších a aktuálnějších map a také map většího měřítka. Tyto požadavky na nové mapy nemohl splnit sebelepší mapér. V Rakousku-Uhersku souvisela tvorba map především s potřebami map vojenských. Za vlády Marie Terezie (1740-1780) došlo konečně k ustavení stálého Generálního štábu ve Vídni a právě ten měl na starost produkci map v dobách míru. Vzhledem ke zkušenostem s nedostatkem kvalitních map ve slezských válkách bylo zřejmé, že je potřeba vytvořit kvalitní mapové dílo pro celou monarchii.

2.2.1 První vojenské mapování, 1763–1785

Zkušenosti z poslední ze slezských válek (sedmileté války z let 1756-1763) a nedostatek kvalitních map při ní, vyústily v rozhodnutí vytvořit topografickou mapu Habsburské monarchie. Mapováním byl pověřen Generální štáb ve Vídni. Celá monarchie byla zmapována za

23 let kromě Tyrolska, Vorarlbergu, Itálie a Rakouského Nizozemí. Takzvané první vojenské mapování (někdy též josefské podle císaře Josefa II., za jehož vlády bylo mapování dokončeno) probíhalo v našich zemích v následujících letech:

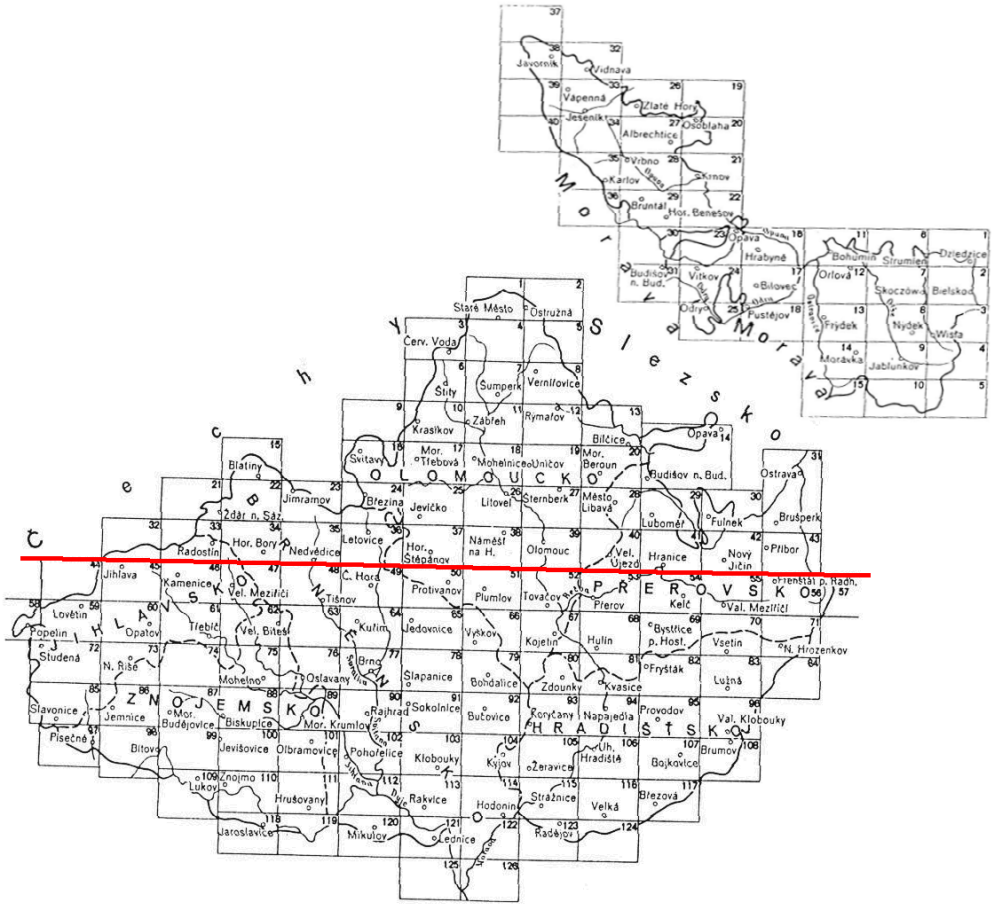
- v Čechách: 1764–1767
- na Moravě: 1764–1768
- ve Slezsku: v roce 1763 (zkušební území)



Obrázek 2.13: Klad listů I. vojenského mapování – Čechy

Mapování probíhalo v nezvykle velkém měřítku 1 : 28 800. Tato hodnota byla odvozena z požadavku, aby se vzdálenost 1000 pochodových kroků (400 vídeňských sáhů[1]) zobrazila na mapě ve vzdálenosti jednoho vídeňského palce[2]. Jeden mapový list zobrazoval území 209 km^2 na ploše 618 x 408 mm. Pro celou monarchii vzniklo cca 5400 mapových listů.

[1] 1 vídeňský sáh odpovídá 1,89648 metru
[2] 1 vídeňský palec odpovídá 26,34 milimetru

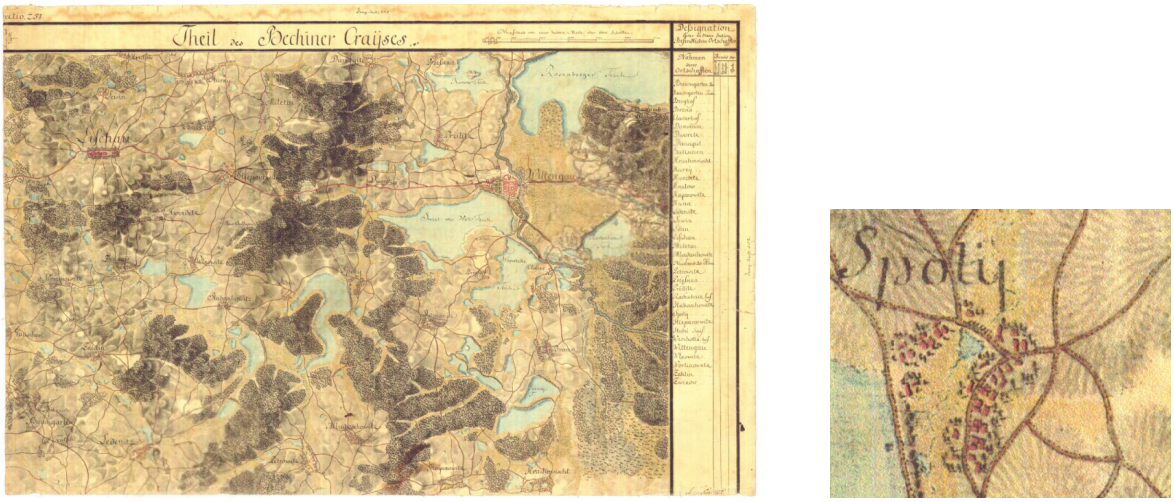


Obrázek 2.14: Klad listů I. vojenského mapování – Morava a Slezsko

V Čechách a na Moravě bylo mapování prováděno do zvětšenin Müllerových map převážně metodou „a la vue“ (od oka). Částečně bylo také mapováno grafickým protínáním pomocí měřického stolku, vzdálenosti se měřily krokováním nebo se odhadovaly. Mapa tak postrádala jakoukoliv opěrnou geodetickou síť. Popřením hlavní geodetické zásady došlo k velkým zkreslením mapových listů, které pak nebylo možné sestavit dohromady. Mapovaly se především vojensky důležité prvky krajiny: cesty, mosty, zděné budovy, louky, lesy, pastviny a vodní toky. Reliéf terénu byl vyjádřen lavováním a nepravými sklonovými šrafami. Výškopis nebyl měřen. Mapy byly vykresleny na tzv. originálních *brouillonech* a stejném počtu okopírovaných čistokreseb podlepených plátnem.

Kromě samotných map byl vytvořen vojensko-geografický popis území, který obsahuje jeho hlavní charakteristiky. V Čechách bylo vyhotoveno 273 mapových listů (někdy tzv. sekcí) a 19 svazků vojensko-geografického popisu, na Moravě 126 mapových listů a 4 svazky popisu, ve Slezsku bylo zmapováno 40 listů. Kromě mapové kresby je po pravé straně mapových listů vypracován soupis obcí, počet měšťanů, sedláků a možnosti ustájení koní. Na řadě listů bohužel údaje nejsou vyplněny.

Vzhledem k nedokonalosti map, které se projevily ve válkách s Pruskem v letech 1778–1779, nařídil císař Josef II. rektifikaci nejdůležitějších (severních) mapových listů. Při rektifikaci se ukázalo, že bude nutné provést prakticky nové mapování. V Čechách tak bylo znovu zmapováno 141 listů (a další 2 byly opraveny) v letech 1780–1783. Na Moravě bylo znovu zmapováno 36 listů (a další 4 byly opraveny) v letech 1779–1781. Ve Slezsku bylo nově zmapováno 30 listů, opraveno bylo zbývajících 10 listů (v roce 1780) [3]. Klady mapových listů s vyznačením hranice rektifikace jsou na obrázcích 2.13 a 2.14.



(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.15: První vojenské mapování – Čechy, list č.251

Všechny mapy byly samozřejmě v době svého vzniku tajné. Originály a čistokresby mapových listů z jižní části země z let 1763–1768 a severní části země z let 1779-1883 jsou uloženy v Rakouském státním archivu (Österreichisches Staatsarchiv, Kriegsarchiv). Nyní jsou všechny listy k dispozici na internetu (viz odstavec 6.1.1).

Z původních map v měřítku 1 : 28 800 zpracoval podplukovník štábu Motzel v roce 1769 přehlednou mapu Království českého na 36 listech v měřítku 1 : 115 200, opět tajnou. První veřejnou mapou odvozenou od josefského mapování pak byla Fallonova mapa rakouského císařství z roku 1822 v měřítku 1 : 864 000. Tvořilo ji 9 listů v Bonneově nepravém kuželovém zobrazení a dočkala se několikerého vydání. České země jsou zobrazeny na listech I a IV.

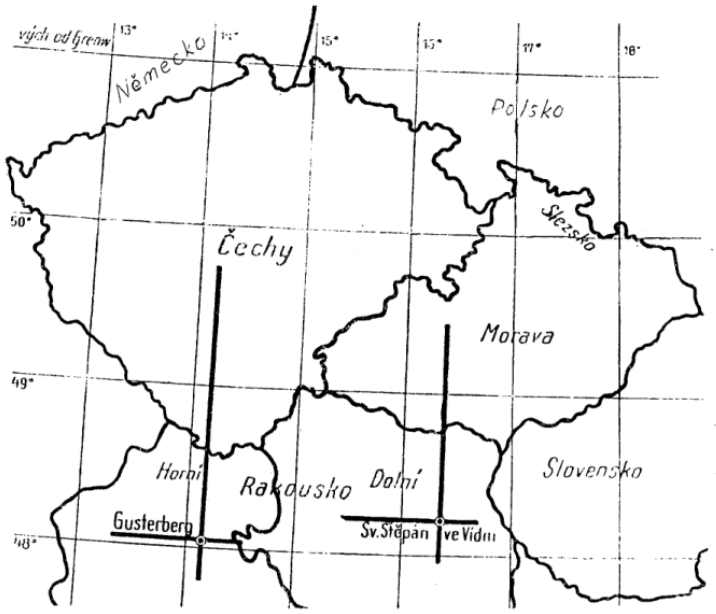
2.2.2 Stabilní katastr

Ačkoliv všechny ostatní popisované mapy jsou z dnešního hlediska mapami topografickými případně středněměřítkovými, není možné se alespoň trochu nezmínit o Stabilním katastru, tedy o katastrálním operátu s mapami velkoměřítkovými.

Počátkem 19. století začalo být jasné, že monarchie bude potřebovat kvalitní trigono-

metrickou síť. S měřickými pracemi začal Ludvík Augustin Fallon v letech 1806–1808 a 1810–1811 [36]. Poté, co v prosinci 1817 vydal císař František I. patent o pozemkové dani a vyměření půdy, bylo jasné že Fallonova měření nebudou dostatečná. Byly proto zahájeny práce na nové triangulační síti. Tyto práce probíhaly v českých zemích v letech 1821–1840. Na ně navazující mapování pak u nás probíhalo v letech 1824–1843. Matematické základy Stabilního katastru byly následující: Cassiniho transverzální válcové zobrazení ekvidistantní v kartografických polednících se Soldnerovým použitím souřadnic (osa X je obrazem základního zeměpisného poledníku, osa Y je obrazem kartografického poledníku základního bodu), Zachův elipsoid[3]. Kvůli velkým zkreslením nebylo možné použít jednu souřadnicovou soustavu pro tak velké území jakým byla Rakousko-Uherská monarchie. Celkem bylo použito 7 souřadnicových soustav (později ještě dvě přibyly) [12]. Našeho území se týkají dvě soustavy a to s počátky:

- Gusterberg (Horní Rakousko) pro Čechy
- věž kostela Sv. Štěpána ve Vídni (Dolní Rakousko) pro Moravu a Slezsko



Obrázek 2.16: Souřadnicové soustavy Stabilního katastru

Mapy byly vyhotovovány v měřítku 1 : 2 880, ve městech někdy v měřítku dvojnásobném či čtyřnásobném. Výsledkem mapovacích prací u nás byl operát, který zahrnoval 12 696 katastrálních obcí a 49 967 mapových listů o rozměrech 658 x 527 mm. Při mapování se nejdříve pořizovaly polní náčrty v terénu, na měřických stolech pak vznikaly originální mapy. Kromě originálních map byly vytvářeny čistokresby ručně kolorovaných tzv. „povinných císařských otisků“, které se posílaly do vídeňského archivu. Další kopie mapy, opět

[3]Zachův elipsoid: $a = 6\,376\,045$, $f^{-1} = 310$

kolorované, byly podlepeny kartonem, rozčtvrceny a sloužily jako tzv. „indikační skicy“ pro oceňování, zápisy jmen vlastníků, domovních čísel, atd. Další, nekolorované litografické kopie pak sloužily pro správní a administrativní účely.

Obrázek 2.17: Povinný císařský otisk Stabilního katastru – ukázka

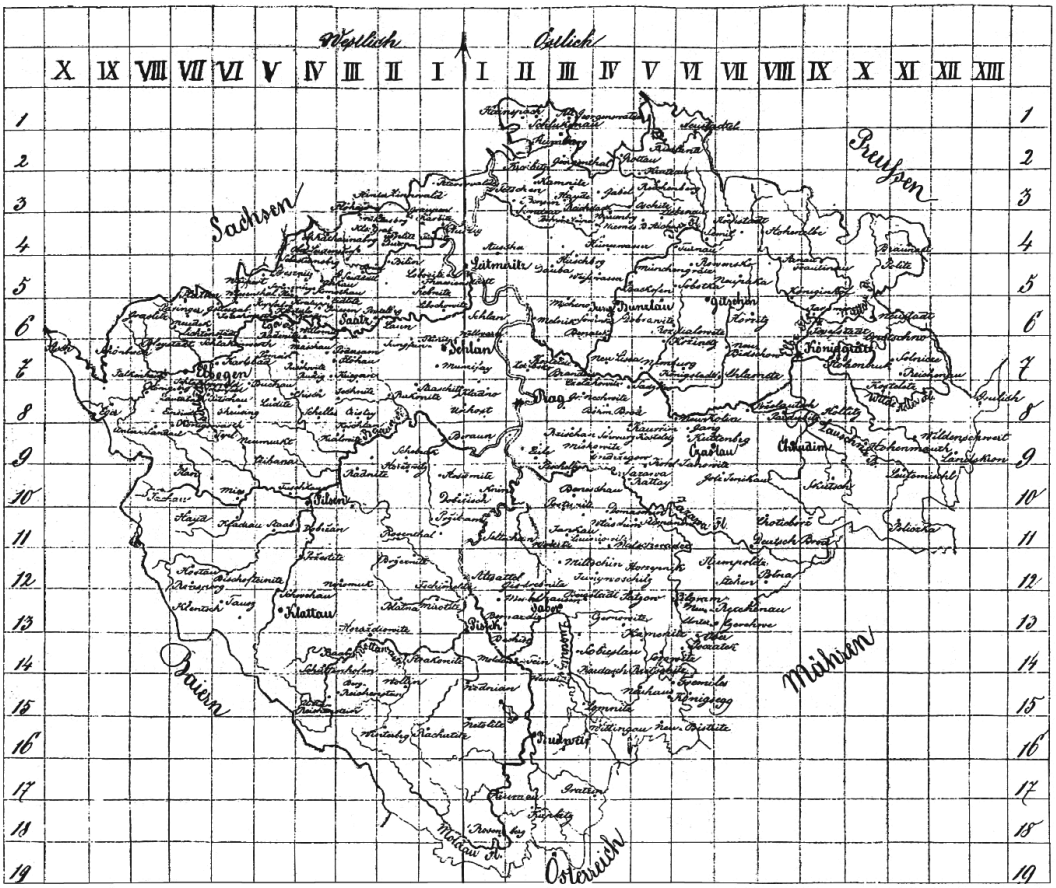
Vzhledem k tomu, že Stabilní katastr měl být podle císařského patentu udržován ve stavu se skutečností, bylo nutné zaznamenávat změny. Ty se však neprojevily na katastrálních mapách, ale pouze v *deníku změn* jako písemné záznamy. Po bouřlivém vývoji průmyslu po roce 1848 bylo nutné přistoupit k revizi Stabilního katastru. Ta proběhla v letech 1869–1880, avšak použitím méně kvalitních metod (dopustných odchylek) a personálu reambulace spíše negativně ovlivnila stav mapového operátu [16]. Stálé a průběžné zaznamenání změn v katastrálních mapách pak bylo nařízeno zákonem z roku 1883.

Z hlediska historických map jsou pro nás nejzajímavější povinné císařské otisky, které jsou velmi esteticky vyvedené a také čitelnější než samotné originály. Tyto mapy zaznamenávají stav v době mapování tedy někdy v rozmezí let 1824–1843. V současnosti je možné najít řadu císařských otisků na internetu (viz kapitola 6.1.2).

2.2.3 Druhé vojenské mapování, 1807–1869

Počátkem 19. století již josefské mapování nevyhovovalo svou přesností a spolehlivostí jako státní mapové dílo. Po skončení války s Francií roku 1805 bylo navrženo vytvoření souvislé trigonometrické sítě, která by sloužila jako kostra novému topografickému mapování.

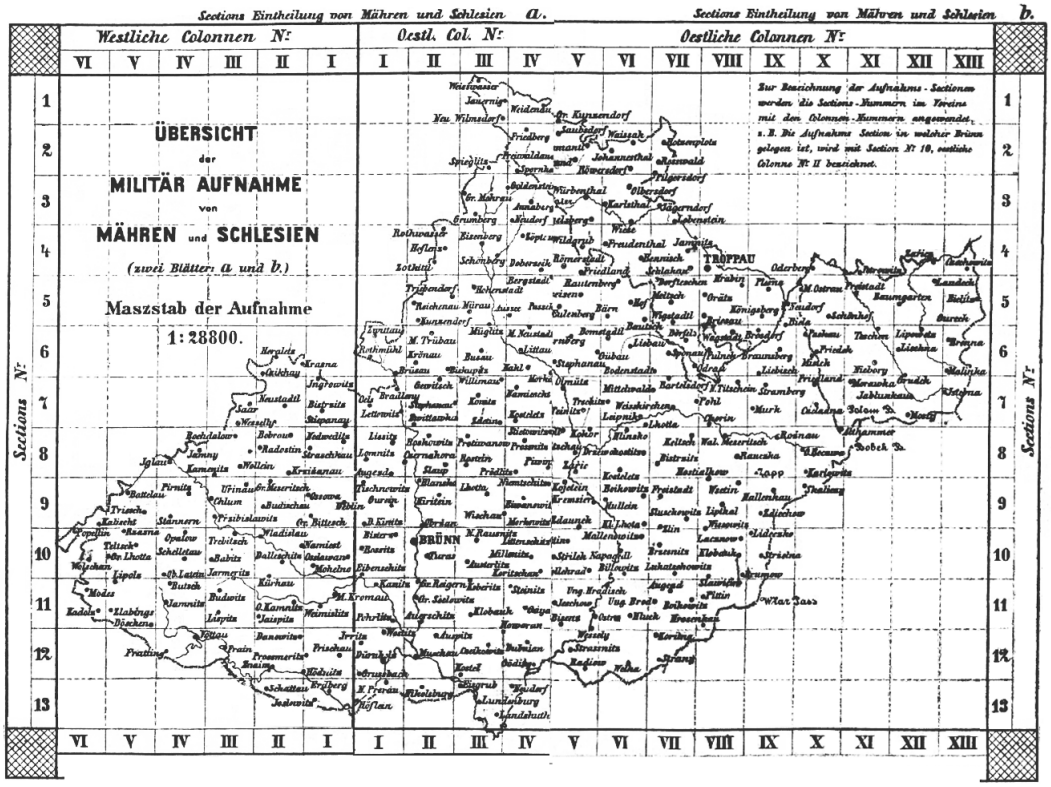
Měření se ujal Ludvík Augustin Fallon v letech 1806–1808 a 1810–1811. Jeho trigonometrická síť počítala s jedinou souřadnicovou soustavou s počátkem ve Vídni. Vlastní mapování začalo roku 1807 v Rakousích a Solnohradsku. Měření probíhalo v závislosti na budování nové trigonometrické sítě metodou grafického protínání, vzdálenosti se krokovaly. Tímto náročným způsobem byly zmapovány Dolní a Horní Rakousy, Sedmihradsko, Tyroly, Vorarlberg a Uhry. Podstatné zjednodušení pak přinesl patent Františka I. z roku 1817, kterým byl zřízen Stabilní katastr. Topografické mapy pak byly odvozeny z katastrálních map v měřítku 1 : 2 880, které byly pantograficky zmenšeny. Touto metodou byly zmapovány Čechy, Morava, Slezsko, Korutany, Štýrsko a Dalmácie. Bohužel katastrální triangulace kvůli potřebné přesnosti zavrhla jedinou souřadnicovou soustavu a bylo navrženo použití několika soustav, což se promítlo i do topografického mapování.



Obrázek 2.18: Klad listů II. vojenského mapování – Čechy

Mapování probíhalo opět v měřítku 1 : 28 800, někde v měřítku dvojnásobném. Matematické základy mapování jsou odvozeny od Stabilního katastru, použito bylo tedy Cassiniho transverzální válcové zobrazení ekvidistantní v kartografických poledníčích v několika souřadnicových soustavách. Klad listů františkova mapování (podle císaře Františka I.) byl rovnoběžný s osami použitých souřadnicových soustav. Každý mapový list představoval

čtverec se stranou dvou rakouských mílí, tedy 15,17 *km*. Ve skutečnosti měl takový list rozměry 527 x 527 *mm*.

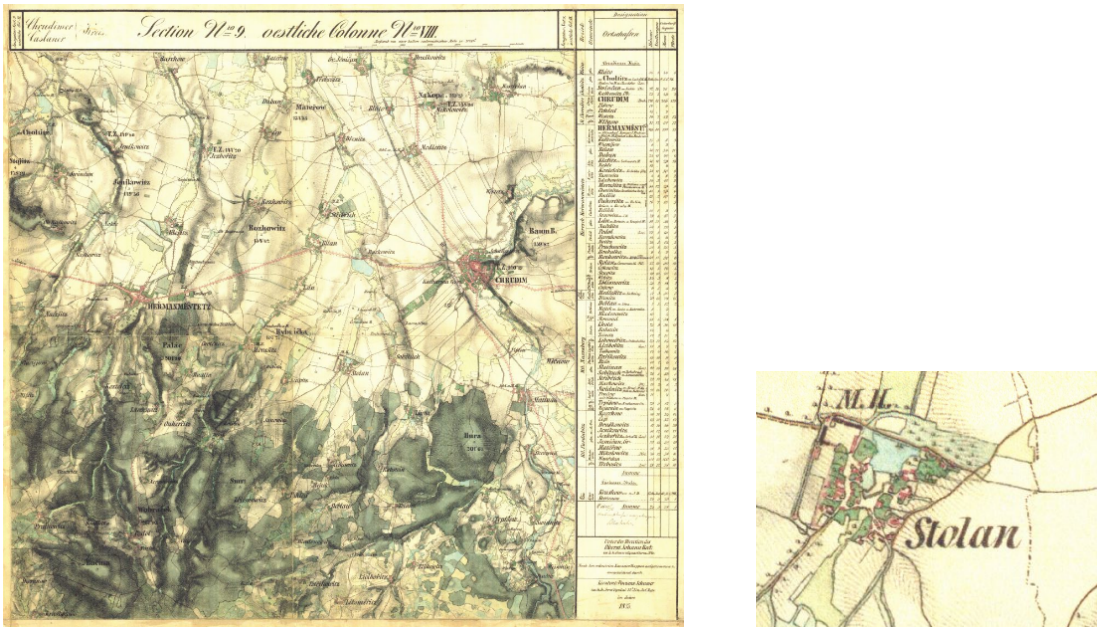


Obrázek 2.19: Klad listů II. vojenského mapování – Morava a Slezsko

V Čechách byl použit souřadnicový systém s počátkem Gusterberg. Vrstvy mapových listů byly označeny arabskými číslicemi 1–19 od severu k jihu a sloupce mapových listů byly označeny římskými číslicemi I–X směrem na západ od gusterberského poledníku a I–XIII směrem na východ od gusterberského poledníku. Na Moravě a ve Slezsku byl použit svatoštěpánský souřadnicový systém. Vrstvy byly označeny arabskými číslicemi 1–13 od severu k jihu a sloupce byly označeny římskými číslicemi I–VI na západ od svatoštěpánského poledníku a I–XIII na východ od svatoštěpánského poledníku. Klady mapových listů jsou vidět na obrázcích 2.18 a 2.19. V Čechách celkem vzniklo 267 mapových listů, na Moravě a ve Slezsku 146 mapových listů.

Mapování na našem území probíhalo v Čechách v letech 1842–1852 a na Moravě a ve Slezsku v letech 1836–1840. Mapovaly se opět vojensky významné prvky, reliéf je vyznačen poprvé Lehmannovou šrafurou (spádnicovými šrafami). Výškopis měřen nebyl, zobrazeny jsou pouze výšky bodů trigonometrické sítě. Jako mapové originály sloužily vyměřovací listy, které se poté spojily v původní list do předem konstruovaného rámu na napjatém plátně. Kromě mapové kresby je po pravé straně každého listu vypracován soupis obcí, počet domů, mužů, koní a možnosti jejich ustájení. Všechny mapy byly samozřejmě v době svého vzniku

tajné. Originály mapových listů jsou uloženy v Rakouském státním archivu (Österreichisches Staatsarchiv, Kriegsarchiv). Nyní jsou všechny listy k dispozici na internetu (viz kapitola 6.1.1).



(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.20: Druhé vojenské mapování – Gusterberg východ, VIII, 9

Z mapových listů františkova mapování bylo odvozeno několik přehledných map. V měřítku 1 : 144 000 byla postupně vydávána první tištěná neutajovaná díla rakouské státní tvorby z našeho území:

- „Speciální mapa Království českého“ z let 1847–1860 na 38 listech, s jedním listem kladu
- „Speciální mapa Markrabství moravského a části Vévodství slezského“ z roku 1844 na 19 listech

Jednotlivé listy těchto map mají rozměry 379 x 253 *mm*. Původně bylo zamýšleno vytvořit jednotné mapové dílo na celém území monarchie, ale došlo pouze k vydávání map po jednotlivých zemích se samostatnými názvy. Dalšími odvozeninami jsou mapy v měřítku 1 : 288 000, tzv. generální mapy:

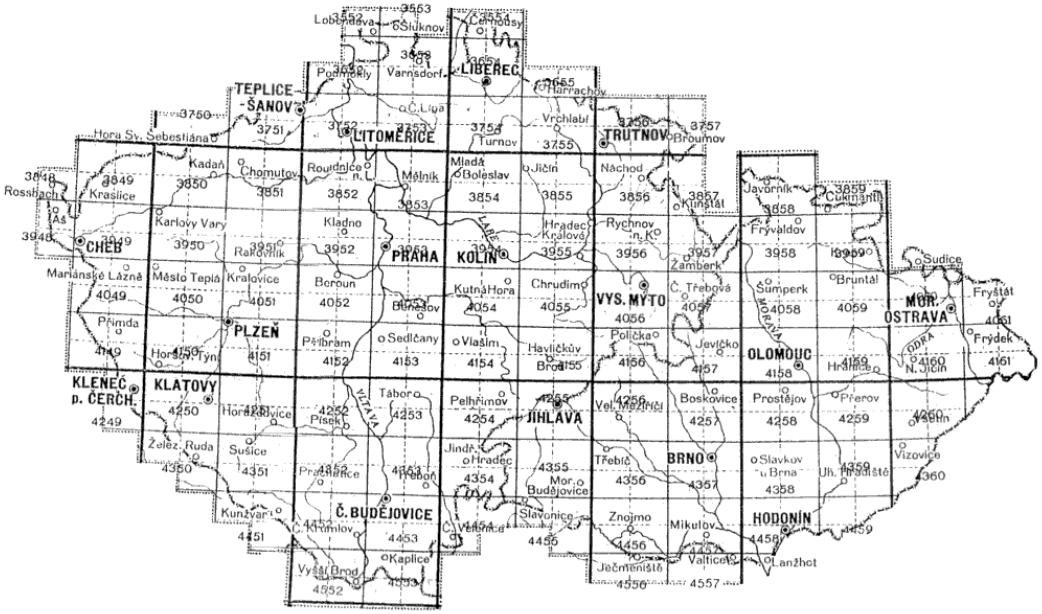
- „Generální mapa Království českého“ z roku 1865 na 4 listech
- „Generální mapa Markrabství moravského a části Vévodství slezského“ z roku 1846 na 4 listech

Kromě těchto „domácích“ map byly vytvořeny i mapy celého císařství a to:

- „Generální mapa Rakouského císařství“ z let 1856–1868 na 20 listech, tzv. „Schedova mapa“ v měřítku 1 : 576 000 a Bonneově zobrazení
- „Generální mapa střední Evropy“ z roku 1873–1876 na 207 listech v měřítku 1 : 300 000 odvozena právě ze Schedovy mapy

2.2.4 Třetí vojenské mapování, 1870–1885

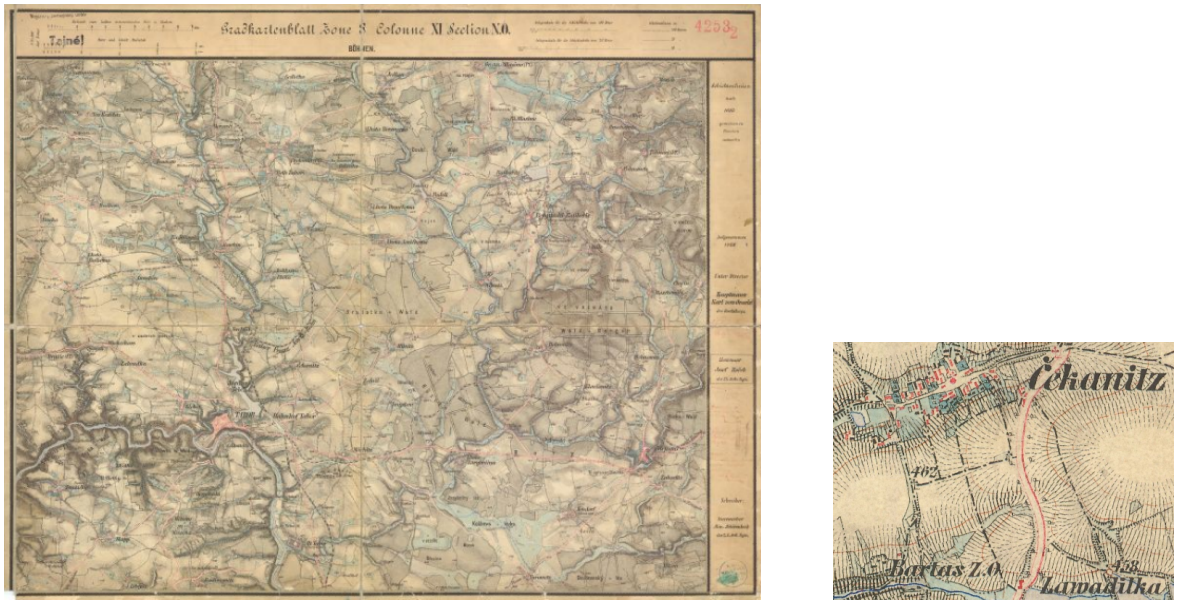
Nepříznivé zkušenosti s mapami druhého vojenského mapování v prusko-rakouské válce a dále potřeby rozmáhající se industrializace byly podnětem pro zahájení dalšího, třetího vojenského mapování. To bylo nařízeno roku 1868 rakouským ministerstvem války. Důležitou změnou mělo být především zobrazení výškopisu, který byl hlavní nevýhodou druhého vojenského mapování. Po zavedení metrické soustavy v Rakousku-Uhersku v roce 1875 bylo změněno i měřítko nového mapování. To probíhalo v měřítku 1 : 25 000, někde ve dvojnásobném 1 : 12 500.



Obrázek 2.21: Klad listů III. vojenského mapování

V Čechách probíhalo mapování v letech 1874–1880, na Moravě a ve Slezsku v letech 1876–1878. Opět se mapovalo do zvětšenin katastrálních map na čtyřech původních vyměřovacích listech, které se na závěr spojily do jednoho mapového listu. Rukopisné originály mapových listů byly jedenáctibarevné. Kromě polohopisu kresleného smluveným značkovým klíčem byl

také zobrazen výškopis, a to kótami, šrafami a vrstevnicemi po 20 m, v plochých územích i po 10 m. Při měření výšek se používal výškoměr nebo se výšky určovaly barometricky.



(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.22: Třetí vojenské mapování – list č. 4253/2

Zcela jiné bylo použití zobrazovací soustavy. Čtyři mapové listy v měřítku 1 : 25 000 tvořily jeden list odvozené *speciální mapy* („speciálky“), která tvořila samostatnou průmětnu v Sanson-Flamsteedově polyedrickém zobrazení. Speciálka zobrazuje území 15′ v zeměpisné šířce a 30′ v zeměpisné délce. Kvůli použitému zobrazení není možné speciální mapy přiložit k sobě, neboť vzniká spára sledující obraz poledníku nebo rovnoběžky. Klad mapových listů je následující. Speciálky se číslují čtyřčíslím, kde první dvě číslice značí číslo vrstvy a druhé dvě číslice značí číslo sloupce (např. 4253). Mapové listy 1 : 25 000 se pak číslují průběžně v rámci speciálek číslicemi 1 až 4 (např. 4253/2). Toto označení bylo zavedeno roku 1917. Původní označení speciálek bylo založeno na označení arabskými číslicemi po vrstvách a římskými číslicemi po sloupcích. Mapové listy již nepředstavují obdélníky, ale lichoběžníky.

Ze speciálních map byly v měřítku 1 : 200 000 odvozeny tzv. *generální mapy* („generálky“). Ty vznikly spojením 8 speciálek tak, že vzniklo území zobrazující 1° x 1°. Čechy jsou zobrazeny na 13 listech, Morava a Slezsko na 7 listech. Mapa je čtyřbarevná a její označení je založeno na souřadnicích středu mapového listu a názvu nejvýznamnějšího sídla (např. 32°50° PRAHA).

Obdobně jako u druhého vojenského mapování i na podkladě třetího mapování vznikla řada odvozených map. Nejvýznamnější z nich je patrně „Přehledná mapa Evropy“ vydána roku 1881 v měřítku 1 : 750 000 v Bonneově zobrazení. Dále vznikala řada tematických map založených na třetím vojenském mapování. Vzhledem k tomu, že speciálky byly patrně

(a) celkový pohled (b) detail

Obrázek 2.23: Třetí vojenské mapování – speciální mapa č. 4253

nejoblíbenější mapy z rakousko-uherské produkce, je možné je nalézt v mnoha exemplářích. Nyní jsou všechny listy k dispozici na internetu (viz odstavce 6.1.1, 6.1.3). Mapové listy v měřítku 1 : 25 000 jsou vzácnější. Neexistuje jejich ucelená sbírka a tak jsou na internetu vystavené alespoň ty listy, které se podařilo najít (viz odstavec 6.1.1).

Třetí vojenské mapování bylo posledním mapovým dílem provedeným na našem území před vznikem samostatného Československa v roce 1918. Speciálky byly běžně používány až do 50. let 20. století a byly do té doby také jediným dílem, pokrývajícím celé území Československa. Po převzetí těchto map nově vzniklým VZÚ (Vojenský zeměpisný ústav) došlo k reambulaci všech map třetího vojenského mapování, obzvláště v názvosloví a ve znázornění vrstevnic. To byly totiž hlavní nedostatky těchto map. Více o reambulaci a meziválečných pokusech o nové topografické mapování je možné nalézt např. v [3].

2.3 Mapové archivy a sbírky v ČR

Na závěr kapitoly o starých mapách našich zemí je vhodné alespoň stručně zmínit mapové sbírky a archivy na našem území, kde jsou tyto památky uloženy. Pravděpodobně nejpodrobnější seznam mapových archivů podávají Semotanová a Šimůnek v [37]. Zde bude uveden výčet pouze těch nejvýznamnějších. Z hlediska institucí, kde se mapy nacházejí je možné tato místa rozdělit na archivy, knihovny, muzea a galerie a ostatní sbírky.

2.3.1 Archivy

Archivy jsou nejčastějším místem uložení starých map. V [37] je uvedeno 97 archivů v ČR, které mají mapové sbírky. Většinou se jedná o Státní okresní archivy, Státní oblastní archivy a jejich pobočky a dále archivy různých organizací (vysokých škol, měst). Mezi nejvýznamnější archivy u nás (z hlediska starých map) patří následující.

- **Národní archiv ČR** se sídlem v Praze 4, na Chodovci je jedním z nejrozsáhlejších archivů u nás. Obsahuje mapovou sbírku 16. až 20. století, rozsáhlou sbírku rukopisných map a plánů z 19. století, katastrální fondy obsahují mapy, císařské otisky i indikační skicy Stabilního katastru.
- **Ústřední archiv zeměměřictví a katastru** se sídlem v Praze 8, Kobylisích obsahuje velké množství map, hlavně katastrálních (Stabilní katastr, Pozemkový katastr) a topografických (vojenská mapování Rakouska-Uherska, československé topografické mapy). Celkem je zde přes 350 tisíc různých tištěných map a přes 76 tisíc rukopisných map Stabilního katastru.
- **Archiv Hlavního města Prahy** se sídlem v Praze 4, na Chodovci obsahuje hlavně tištěné i rukopisné plány Prahy ze 17. až 20. století a dále také řadu vedut.
- **Archiv města Brna** obsahuje velké množství map a plánů Brna.
- **Státní oblastní archiv v Litoměřicích** obsahuje přes 5000 tištěných map a přes 300 map rukopisných. Kromě toho má pobočky v Děčíně a Žitenicích s dalšími několika tisíci mapami.
- **Zemský archiv v Opavě** obsahuje přes 3000 tištěných nebo rukopisných map. Je zde uložena např. Helwigova mapa Slezska, některé Homannovy mapy nebo přehledné mapy Evropy z dob Rakouska-Uherska.

2.3.2 Knihovny

Knihovny jsou velice často doplněny mapovými sbírkami. Mezi knihovny s nejvýznamnějšími z nich patří následující.

- **Národní knihovna ČR** sídlí na Praze 1 v Klementinu. V Oddělení rukopisů a starých tisků je možné najít asi 5000 tištěných map. Převážnou část tvoří Lobkovická sbírka (mapy a atlasy z 16. až 19. století).
- **Strahovská knihovna** sídlí na Praze 6 ve Strahovském klášteře. Řada původních map je stále v Památníku národního písemnictví (přesunuto po záboru kláštera StB v roce 1953). Je zde množství atlasů a glóbusů.

- **Moravská zemská knihovna** se sídlem v Brně obsahuje především mapovou sbírku Bernarda Pavla Molla. Ta obsahuje přes 10 tisíc mapových listů, vedut či plánů.
- **Zámecké knihovny** v celé ČR patří pod správu Knihovny Národního muzea. Odhadem se v nich nachází více než 5000 map, atlasů nebo glóbusů.

2.3.3 Muzea a galerie

Muzea často vlastní mapy vztahující se k tématu samotných muzejních sbírek. Několik z nich je zajímavých i pro studium starých map.

- **Národní technické muzeum** se sídlem v Praze 7 vlastní více než 7000 map a více než 200 glóbusů. Jsou zde také uloženy tiskové desky k Müllerově mapě Čech.
- **Muzeum Komenského v Přerově** se specializuje na moravské mapy, především na ty z autorské dílny Jana Ámose Komenského. Je to největší sbírka původních výtisků Komenského mapy Moravy na světě včetně výtisku z nejstarší tiskové desky této mapy.

2.3.4 Ostatní sbírky

Mezi ostatní sbírky je možné zahrnout soukromé sbírky, mapové sbírky ve školách, úřadech či jiných institucích.

- **Mapová sbírka Univerzity Karlovy** v Praze obsahuje obrovské množství map. Evidováno je tu přes 130 tisíc tištěných map, asi 1000 map rukopisných a 1400 atlasů. Bývalá Státní sbírka mapová byla postupně rozšířena o fondy Německé univerzity a dále fondy Národní knihovny a Univerzitní knihovny.
- **Mapová sbírka Geografického ústavu Masarykovy univerzity** v Brně je další významnou univerzitní sbírkou. Evidováno je zde přes 14 tisíc map a přes 1000 atlasů. Nejvzácnější jsou patrně původní výtisk Komenského mapy Moravy nebo Ortelišv atlas.
- **Mapová sbírka Historického ústavu AV ČR** v Praze eviduje přes 6200 tištěných map a 1200 atlasů. Je možné zde nalézt např. mapy Müllerových mapování.

Kromě uvedených mapových sbírek v archivech, knihovnách i jinde je samozřejmě možné hledat i na jiných místech. Prakticky každý archiv nebo knihovna může obsahovat zapomenuté mapové klenoty. Studium starých map je rozhodně časově náročné, neboť se jedná o hodiny strávené právě v archivech. Hodnocení mapových sbírek není předmětem této práce. Stručně uvedený výčet slouží jen k hrubé orientaci v mapových sbírkách v ČR.

Staré mapy našich zemí je pak samozřejmě možné nalézt i v zahraničních archivech a knihovnách. Již zde byl zmíněn Rakouský státní archiv ve Vídni, kde je možné nalézt velké množství map z doby Rakouska-Uherska. Mezi další významné knihovny s mapovými sbírkami patří ty v Paříži, Benátkách, Florencii, Římě, Miláně, Neapoli, Bruselu, Mnichově, Norimberku, Berlíně, Drážďanech, Amsterdamu, Rotterdamu, Moskvě, Madridu, Uppsale, Helsinkách, Londýně, Cambridge, Oxfordu, Washingtonu, New Yorku a jistě mnoha dalších. Více o těchto knihovnách a fondech je možné nalézt v archivnické literatuře.

Kapitola 3

Digitalizace starých map

Do dnešní doby jsou staré mapy uloženy v archivech ve své analogové podobě. S nástupem digitálních technologií je možné mapy převádět do nových formátů, a to nejen pro archivaci, ale i pro jejich další zpracování a analýzu. Převod dat z analogové do digitální formy nazýváme *digitalizací*. Zatímco analogová forma dat představuje médium (papír, plátno, fólie), na němž je určitým způsobem vyznačena kresba mapy, digitální forma představuje sadu objektů, kterým rozumí počítač, v nejobecnějším smyslu tedy sled „jedniček a nul“. Z teorie GIS[1] [21], [39] známe dva základní modely digitálních geografických dat:

- rastrová data
- vektorová data

3.1 Rastrová data

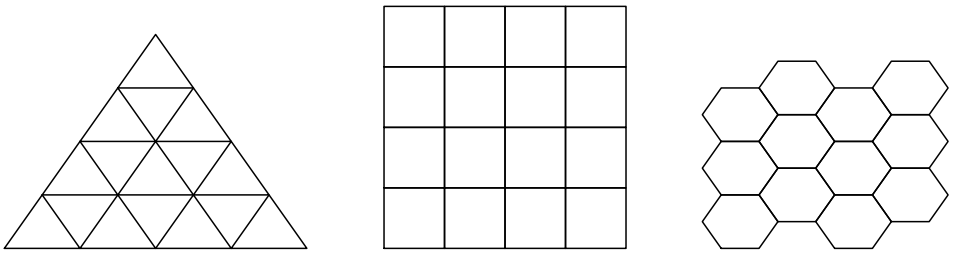
Rastrový model dat můžeme definovat jako prostorově na sebe navazující dvojrozměrné elementy různého tvaru, které komplexně vyplňují zkoumanou plochu (prostor) [39]. Oproti vektorovému modelu dat se zde nepracuje s geometrickými objekty (bod, linie, polygon), ale přímo s obrazovými elementy. Podle toho, jak je dělen prostor na jednotlivé elementy, můžeme rozlišit:

- pravidelné dělení prostoru
- nepravidelné dělení prostoru

V zásadě jde o to, zda obrazové elementy (pixely[2]) mají pravidelný tvar (stejná délka hran a vnitřní úhly mezi hranami) či nikoliv. V počítačovém zpracování je daleko použí-

[1] geografické informační systémy
[2] pixel = picture element

vanější metoda pravidelného dělení. Existují tři možnosti, jak pravidelně dělit prostor, a to na čtverce, rovnostranné trojúhelníky a šestiúhelníky.



(a) trojúhelníkové (b) čtvercové (c) šestiúhelníkové

Obrázek 3.1: Druhy pravidelného dělení rastrové sítě

Z těchto možností je historicky nejpoužívanější metoda dělení na čtverce. Je to především proto, že je kompatibilní se strukturou matic, která se používá v počítačích, dále proto, že je kompatibilní s většinou hardwarových zařízení (skener, tiskárna) a také s karteziánským souřadnicovým systémem.

Pokud jde o „šestiúhelníkové“ rastry, jejich výhoda je ve vzájemné vzdálenosti všech sousedních pixelů, která je stejná. Hodí se tak lépe pro modelování některých jevů. I přes tuto výhodu však není toto dělení příliš rozšířeno. Pokud jde o „trojúhelníkové“ rastry, ať už pravidelné nebo nepravidelné, jsou používány hlavně v oblasti modelování povrchů. Jejich nevýhodou pro běžné modelování je nestejná orientace jednotlivých pixelů. Největšího uplatnění z nich dosáhly *nepravidelné trojúhelníkové sítě* (TIN[3]), které se používají k modelování terénu.

Hlavní rozdíl mezi čtvercovým, trojúhelníkovým a šestiúhelníkovým pixelem je v tom, že pouze čtverec lze dělit na menší čtverce se stejným tvarem a orientací. U trojúhelníku dostáváme různou orientaci pixelů, šestiúhelník tímto způsobem rozdělit nejde. Také proto je čtvercový pixel výrazně nejpoužívanější a další teorie bude vztažena právě ke čtvercovému dělení prostoru.

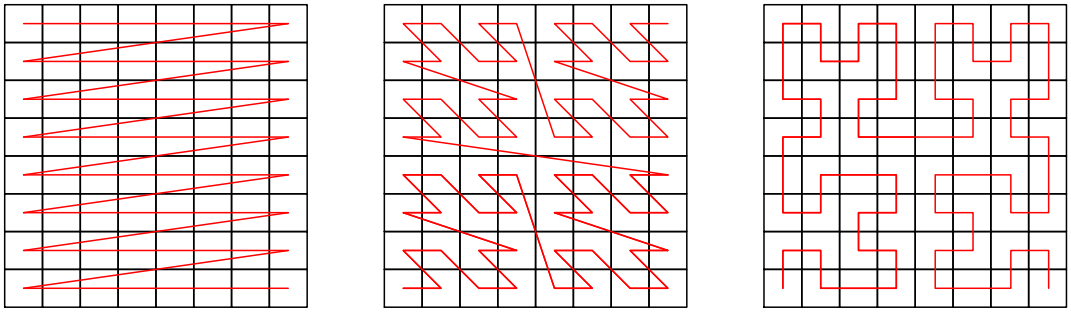
Důležité je si uvědomit, jak jsou v rastrových datech uloženy informace. Kódování polohových parametrů je založeno na seřazení pixelů do obrazu. Poté je možné využívat souřadnic pixelu v rámci obrazu, tzv. *obrazových souřadnic* (řádek, sloupec). O tom, jak mohou být obrazové souřadnice vztaženy k reálným kartografickým souřadnicím, pojednává kapitola 4. Popisné parametry (atributy) mohou být kódovány různě. Existují následující možnosti [39]:

- **Přímé datování buňky**, kde jsou pro každý pixel uloženy obrazové souřadnice a dále sloupec hodnot, které definují hodnoty atributů v jednotlivých informačních vrstvách.
- **Přímé datování informační vrstvy**, kde jsou pro každý pixel uloženy obrazové souřadnice a dále jediná hodnota atributu pro danou informační vrstvu.

[3]TIN = trianguled irregular network

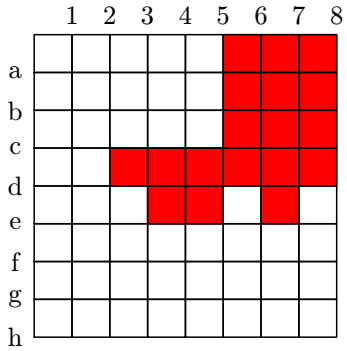
- **Přímé datování objektu**, kde jsou uloženy přímo informace o daném objektu (atributy), spolu se souřadnicemi pixelů, které ho tvoří.

V dnešních rastrových souborech se zpravidla používá nejjednoduššího způsobu uložení dat, a to metody přímého datování informační vrstvy, kde je každému pixelu přiřazena jedna hodnota popisné informace. Existují však i formáty, které dovolují zaznamenat více hodnot pro jediný pixel (důležité např. pro uchování multispektrálních družicových dat). Nejperspektivnější je pak přímé kódování objektů, které je využito např. v GIS. Kromě metody ukládání atributů je důležité, jak jsou vlastně pixely zapisovány na datová média. Nejjednodušším způsobem je uložení pixelů do řady (seznamu hodnot) po řádcích nebo po sloupcích. Existují však i jiné způsoby zápisu pořadí pixelů, které mají různé výhody (více viz [39]). Příkladem mohou být *Mortonovo pořadí* nebo *Peano pořadí*. Tyto metody nejlépe osvětlí obrázek 3.2.



(a) řádkové (b) Mortonovo (c) Peano

Obrázek 3.2: Pořadí ukládání pixelů



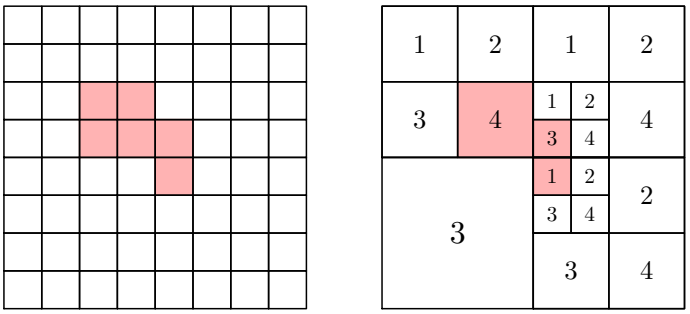
Obrázek 3.3: Přímé kódování objektů

Pro přímé datování objektů lze využít ukládání *řetězcových kódů*, které definují hranice regionu. Pokud čtyři základní směry označíme kódy 0 až 3 (doprava 0, nahoru 1, doleva 2, dolů 3), je možné zaznamenat hranici objektu jen pomocí kombinace těchto kódů a souřadnic počátečního bodu. Druhou možností je ukládání *blokových kódů*, které udávají vždy polohu

referenčního bodu (např. levý dolní) a velikost čtvercových bloků, ze kterých je možné složit celý objekt. Třetí možností je kódování *úseků řádků*, kde je zaznamenán úsek řádku (nebo sloupce), který patří k objektu svým počátečním a koncovým pixelem. Tyto metody popisuje obrázek 3.3. Výsledné kódy pak vypadají následovně:

- **řetězcové kódy:** c5 1 1 1 0 0 0 3 3 3 3 2 3 2 1 2 3 2 2 1 2 1 0 0 0
- **blokové kódy:** 5c 3 3e 2 2d 1 5d 1 6d 1 7d 1 6e 1
- **kódy úseků řádků:** a 6 8 b 6 8 c 6 8 d 3 8 e 4 5 e 7 7

Nejpokročilejší metodou kódování objektů, která je také nejvíce využita při kódování objektů v GIS je metoda čtyřstromu (*quadtree*). K definování objektu využívá opakované dělení plochy na kvadranty. Pokud daný kvadrant obsahuje data objektu je dále dělen, pokud data neobsahuje, strom zde končí. Pokud je kvadrant vyplněn plně objektem, dále se již také nedělí. Princip dělení ukazuje obrázek 3.4



Obrázek 3.4: Kódování pomocí čtyřstromu

Čtyřstromu se používá nejen při kódování objektů v rastrovém modelu dat, ale i obecně jako indexační metody jakýchkoliv dat. Často se v GIS můžeme setkat s indexovanými vektorovými vrstvami právě na základě čtyřstromu. Toto téma už ale překračuje rámec této práce. Výhody čtyřstromu pro geografická data jsou zřejmé. Jde totiž o schéma s variabilním měřítkem, kdy je možné při změně měřítka použít pouze určitou úroveň stromové struktury. Rekurzivní ukládání dat navíc odlehčuje fyzickou distribuci uložení dat a umožňuje snadné vyhledávání.

Všechny popsané metody kódování dat úzce souvisí s kompresí dat. Kvůli velkým objemům dat je totiž nutné nalézt algoritmy, které dovedou objem dat zmenšit. Proto je většina popsaných kódů dále upravována a komprimována. Komprese dat je popsána v odstavci 3.1.4.3.

Rastrový model dat má celou řadu výhod i nevýhod. Mezi výhody patří rozhodně jednoduchost datové struktury, poměrně jednoduchá možnost kombinace s jinými rastrovými daty, relativní nenáročnost na hardware a jednoduchost prováděných simulací na datech. Mezi nevýhody naopak patří velké objemy dat, horší kvalita výstupů z dat, nepřesnosti v poloze a atributech dané konečnou velikostí pixelu.

Rastrová data jsou významně využívána v aplikacích spojených s dálkovým průzkumem Země a se satelitními snímky. V těchto případech nese pixel většinou informace o radiometrických veličinách povrchu Země. V případě starých map je využita pouze část z možností rastrového modelu. Prakticky výhradně je používáno pravidelné dělení prostoru na čtvercové pixely a přímé datování jediné informační vrstvy (barvy). Staré mapy jsou uloženy vždy v analogové formě a jejich převedení do rastrového modelu je nejpoužívanější metodou digitalizace. Před popsáním konkrétních způsobů získání rastrových dat (viz odstavec 3.1.5) je vhodné popsat obecný princip vzniku rastrových dat z dat analogových.

3.1.1 Proces vzniku rastrových dat

Analogový obraz představuje vlastně spojitou funkci dvou proměnných. Tato funkce se nazývá – *obrazová funkce* [46]:

$$z = f(x, y). \tag{3.1}$$

Protože u obrazu předpokládáme omezené rozměry, je definiční prostor obrazové funkce omezen na kartézský součin dvou spojitých intervalů, které vymezují rozsah obrazu ve dvou osách. Obrazová funkce pak představuje zobrazení

$$f : \quad (\langle x_{min}, x_{max}\rangle \times \langle y_{min}, y_{max}\rangle) \quad \rightarrow \quad H. \tag{3.2}$$

Hodnota z v rovnici 3.1 představuje hodnotu obrazové funkce z oboru hodnot H. Může se jednat obecně o jakýkoliv typ hodnoty, např. reálné číslo (intenzita, jas). V počítačové grafice se však velmi často pracuje v barevných prostorech (viz odstavec 3.1.4.1), a proto bývá v hodnotě z uložena uspořádaná n-tice údajů.

Spojitou funkci dvou proměnných, která byla definována neumíme v počítači přímo uložit a zobrazovat. Zpravidla pracujeme v obrazové mřížce (rastru), která je složená z malých, ale konečných elementárních plošek (pixelů). Také hodnota obrazové funkce v praxi nebývá spojitá. Podle typu aplikace je obor hodnot omezen na konečnou množinu diskrétních hodnot. Při převodu analogových obrazových dat na rastrová digitální data dochází k těmto fázím:

- diskretizace oboru hodnot obrazové funkce – *kvantování*
- diskretizace definičního oboru obrazové funkce – *vzorkování*
- metoda ukládání diskrétních hodnot v počítači – *kódování*

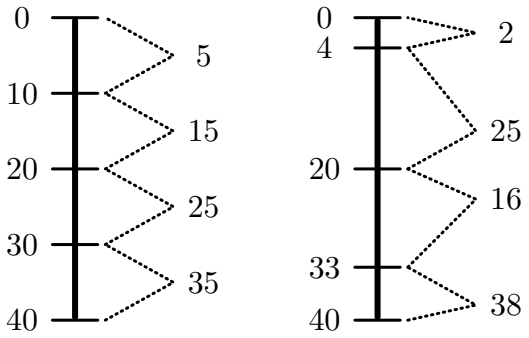
Každé z těchto fází bude věnovaný samostatný odstavec. V aplikaci na digitalizaci starých map je důležité si uvědomit, že právě fáze digitalizace a jejich parametry velkou měrou

ovlivňují kvalitu a použitelnost digitálních dat. Při každém pořizování rastrových dat ze starých map je dobré mít na paměti informace z následujících odstavců. V odvozeních a vzorcích jsou uvedeny vztahy pro jednorozměrnou obrazovou funkci, kvůli názornosti. Následné odvození pro dvourozměrnou funkci je však velmi snadné.

3.1.2 Kvantování

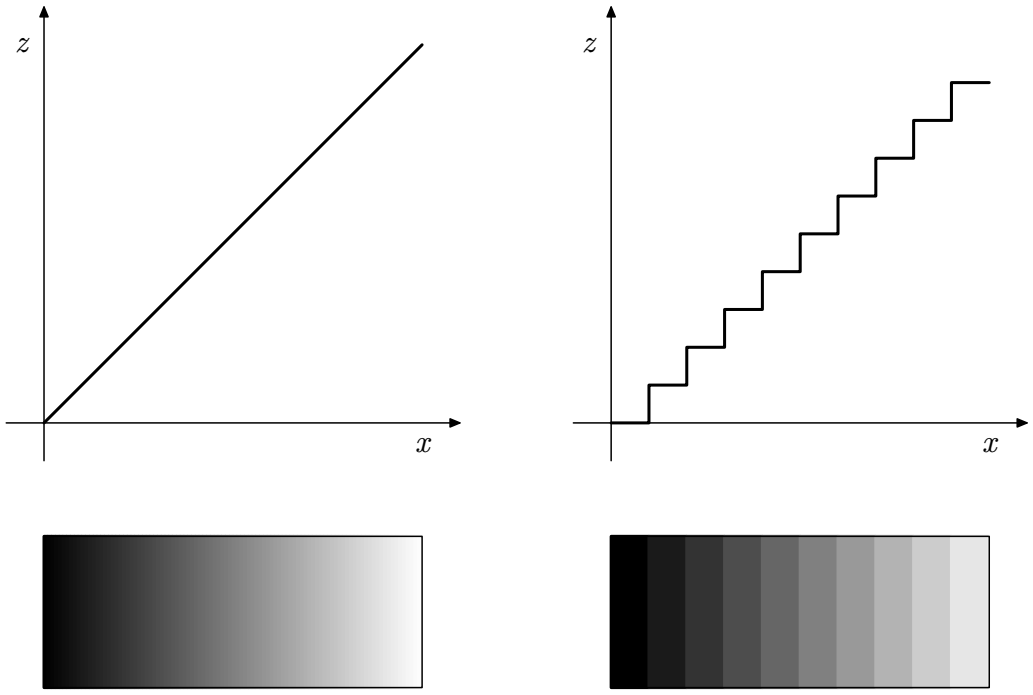
Kvantování probíhá v oboru hodnot obrazové funkce, který je rozdělen na intervaly, jimž je pak přiřazena jediná hodnota. Podle způsobu tvorby intervalů rozlišujeme kvantování *uniformní* a *neuniformní*. V uniformním kvantování jsou intervaly vytvářeny pravidelně, s konstantní délkou. Tato metoda je také o mnoho jednodušší, a proto také využívanější. Neuniformní kvantování umožňuje zohlednit nerovnoměrné rozložení hodnot měřené veličiny.

Uniformní kvantování je použito např. při skenování mapy do barevného prostoru RGB. Intervaly oboru hodnot jsou zde pravidelné. Neuniformní kvantování je použito např. při skenování dat do tzv. *adaptivní palety*, kdy je nejdříve obraz otestován a následně vytvořeny intervaly oboru hodnot podle četností jejich zastoupení. Významným použitím neuniformního kvantování je také *rekvantizace*, kdy je již digitální obraz převáděn na obraz s menší barevnou hloubkou.



Obrázek 3.5: Uniformní (vlevo) a neuniformní kvantování

Způsob výběru hodnoty pro interval může být různý. Používány jsou hodnoty jako vážený průměr, medián, průměr z okrajů aj. Kvantováním samozřejmě dochází ke ztrátě informace. Spojitý signál je převeden na diskrétní hodnoty. Na skenované mapě se kvantizační chyba může projevit jako náhlý „skok barev“, kdy je v obraze vidět přechod mezi dvěma použitými odstíny podobné barvy. Toho se můžeme vyvarovat zvýšením počtu použitých barev při uniformním kvantování, případně použitím neuniformního kvantování, které může tyto skoky potlačit. Barevný skok je vidět na obrázku 3.6. Podle použití počtu odstínů lidské oko buď vnímá barevné přechody nebo nevnímá.



Obrázek 3.6: Barevný skok a kvantizační chyba

3.1.3 Vzorkování

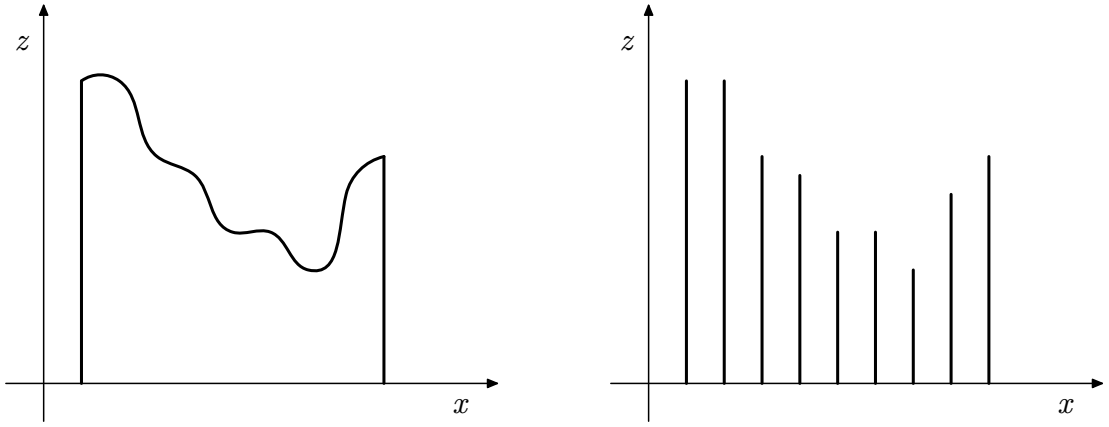
Vzorkování probíhá v definičním oboru obrazové funkce. Obrazová funkce je nahrazena diskrétními vzorky. Vzorkování by teoreticky mohlo probíhat v nestejně vzdálených vzorcích, zpravidla však probíhá konstantně. Vzorky I_i jsou pak vzdálené o hodnotu Δx a je možné je indexovat následujícím způsobem:

$$I_i = f(x_0 + i\Delta x), \qquad i = 0, 1, \ldots \tag{3.3}$$

Důležité je, jakým způsobem jsou jednotlivým vzorkům přiřazené hodnoty. Nejjednodušší metodou je tzv. bodové vzorkování (*point sampling*). Hodnoty jsou jednoduše sejmuty v diskrétních hodnotách jednotlivých vzorků. Bohužel se touto metodou můžeme dopustit chyby, která může dosahovat až vzdálenosti sousedních vzorků. Nejběžnějším způsobem je pak plošné vzorkování (*area sampling*), kde je hodnota vzorku určena ze všech hodnot sousedních vzorků, např. jako průměr

$$I_i = \frac{1}{\Delta x} \int_{x_0+i\Delta x}^{x_0+(i+1)\Delta x} f(t)\mathrm{d}t \tag{3.4}$$

Plošné vzorkování je samozřejmě náročnější, nicméně se používá často, například při skenování map. Zde snímací zařízení odečítá hodnotu propustnosti nebo odrazivosti elementární plošky. Výsledná hodnota je tedy integrálním součtem hodnot v ploše pixelu. O samotném



Obrázek 3.7: Bodové vzorkování

skenování pojednává více odstavec 3.1.5.1. I v plošném vzorkování se dopouštíme chyby a dochází ke ztrátě informace. Nejdůležitější je samozřejmě volba vzdálenosti dvou vzorků Δx a nebo její převrácená hodnota, která se nazývá *vzorkovací frekvence*.

$$f_s = \frac{1}{\Delta x} \tag{3.5}$$

Vzorkování signálu je obecně velmi často používaná metoda. Proto je také poměrně dobře propracována teorie volby vhodné vzorkovací frekvence. Při určení vhodné vzorkovací frekvence pro skenované mapy je vhodné vyjít ze známé *Shannonovy vzorkovací věty*, která platí pro frekvenčně omezené funkce.

Definice 1 *Signál spojitý v čase je plně určen posloupností vzorků odebíraných ve stejných intervalech* Δx *, je-li jejich frekvence* $f_s = \frac{1}{\Delta x}$ *větší nežli dvojnásobek nejvyšší frekvence v signálu* f_{max}*, tedy*

$$f_s > 2f_{max}. \tag{3.6}$$

Je třeba dodat, že frekvenčně omezená funkce je taková, která má konečné amplitudové spektrum. Existuje zde tedy nejvyšší frekvence f_{max}, vyšší frekvence mají nulovou amplitudu a nenesou žádnou energii. Amplitudové spektrum funkce získáme dopřednou *Fourierovou transformací*, která z prostorové oblasti převádí obraz do oblasti frekvenční. Její vzorec a navazující teorie však již přesahuje rámec této práce. Více informací je možné nalézt v [46].

Jak je zřejmé, obraz mapy nebude nikdy frekvenčně omezený. V tom případě nelze uplatnit ani Shannonovu vzorkovací větu. Je proto nutné zvolit určité zjednodušení, kdy za nejvyšší frekvenci v obraze budeme považovat frekvenci nejmenšího „zajímavého“ objektu na mapě. Tím bývá zpravidla tenká liniová kresba, ve starých mapách použitá např. pro polní cesty. Vzorkovací frekvence při skenování starých map by tedy měla být alespoň

dvakrát vyšší než frekvence odpovídající šířce těchto liniových objektů. Není jednoduché rozhodnout, jakou šířku prvků použít. Je možné vyjít ze dvou základních údajů:

- **rozlišovací schopnost lidského oka**

  V mnoha biologických shrnutích je možné najít, že lidské oko má rozlišovací schopnost zhruba 1,5′ (úhlové minuty). Vzhledem k tomu, že oko zdravého dospělého člověka je schopné zaostřit obraz, který je ve vzdálenosti alespoň 10 *cm*, je možné vypočítat teoretické maximální rozlišení mapy, které je zdravý člověk schopný rozpoznat. Šířka nejmenšího objektu vychází na 0,04 *mm*.

- **technické možnosti kresby nebo tisku map**

  Vzhledem k tomu, že za staré mapy je možné považovat mapy jak rukopisné, tak tištěné, je složité určit univerzální hodnotu. Lze však tvrdit, že detaily zobrazené v mapách se nikdy (ani v současnosti) nedostaly pod 0,1 *mm*.

Jak je vidět, lze lidským okem rozlišit detaily větší, než jsou nejmenší detaily map. Pro běžné mapy (i současné) je podle mě dostačující hodnota nejmenších detailů mapy odpovídající 0,1 *mm*. Technologie tisku map je již nyní schopná pracovat v rozlišení 0,01 *mm*, ale těžko dojde k tomu, že by se zmenšily detaily zobrazované v nově vytvářených mapách. K rozlišení oka je totiž třeba přidat různé zrakové vady nebo zhoršené podmínky prohlížení. Osobně tedy považuji za nejmenší rozlišitelný detail mapy právě hodnotu 0,1 *mm*.

Konkrétní použité hodnoty určují nejen kvalitu obrazu, ale také jeho velikost. Ta samozřejmě velmi narůstá se zvyšující se vzorkovací frekvencí a je dnešním hlavním problémem. Více o ukládání a velikostech dat bude pojednáno v odstavci 3.1.4. Hodnoty *hustoty rastru* jsou obvykle udávány v jednotkách *dpi*[4]. Tato hodnota tedy udává, kolik pixelů se zobrazí do úsečky v délce jednoho palce[5].

3.1.4 Kódování

Pokud se rozhodneme pro určité parametry vzorkování a kvantování, mělo by nás zajímat, jakým způsobem budou digitalizovaná data uložena v počítači. Obecně lze při digitalizaci ukládat informaci o jakékoliv měřitelné fyzikální veličině, v praxi se však u starých map setkáváme výhradně s informací o barvě pixelu. Než se tedy dostaneme k samotnému kódování, tedy ukládání dat a jejich kompresi, bude dobré osvětlit, jakým způsobem je možné v počítači definovat barvy.

3.1.4.1 Uložení barev

Světlo, které vnímáme, je elektromagnetické záření o vlnových délkách asi 380–720 nm. Uvnitř této oblasti vnímáme různé barvy spektra. Je to dáno fyziologií lidského oka, které

[4] dot per inch
[5] 1 palec = 25,4 mm

vnímá světlo pomocí čípků s třemi druhy fotopigmentu (modré, zelené, červené). Tyto tři barvy (s označením RGB[6]) jsou také označovány jako základní barvy. Kromě vnímání světla z hlediska jeho frekvence je možné použít jiné charakteristiky, a to jas, sytost a světlost. Jas odpovídá intenzitě světla, sytost udává čistotu barvy světla, světlost určuje velikost přítomnosti bílého (složeného) světla ve zkoumaném vzorku.

V počítači je možné barvy ukládat mnoha způsoby. Základní možnosti představuje práce s obrazy barevnými a nebo s obrazy černobílými (v odstínech šedi). V případě starých map se budeme většinou pohybovat v oblasti barevných obrazů. Aby každý pixel mohl nést barevnou informaci, je třeba definovat nějaký barevný prostor, který bude představovat obor hodnot použitých barev. V počítačové grafice existuje několik barevných prostorů. Nejvýznamnější z nich budou krátce zmíněny.

- **Barevný prostor RGB** vychází z analogie vnímaní světla lidským okem. Každá barva je definována zastoupením tří základních barev RGB. Základní vlastností modelu je *aditivní skládání* barev – čím více barev složíme, tím světlejší je výsledek. Barevný rozsah v prostoru RGB je často demonstrován na jednotkové krychli, kde tři souřadnicové osy představují jednotlivé barevné složky. Bod o souřadnicích $[0, 0, 0]$ představuje černou barvu, bod o souřadnicích $[1, 1, 1]$ představuje barvu bílou. Tři vrcholy krychle jsou tvořeny základním barvami RGB, tři zbývající vrcholy pak *doplňkovými barvami* (žlutá, fialová a tyrkysová). Barevná krychle je vidět na obrázku 3.8.

  Kromě třech základních složek prostoru RGB je někdy tento prostor doplněn o čtvrtý rozměr, tzv. *alfa kanál*. Tato hodnota značí průhlednost daného pixelu. Při zobrazení samotného obrazu nemá tato složka význam, ale při kombinování více rastrových obrazů v GIS se bez ní neobejdeme. Barevný prostor je pak nazýván *RGBA* nebo *RGB*α. Barevný prostor RGB je vhodný zejména pro displeje.

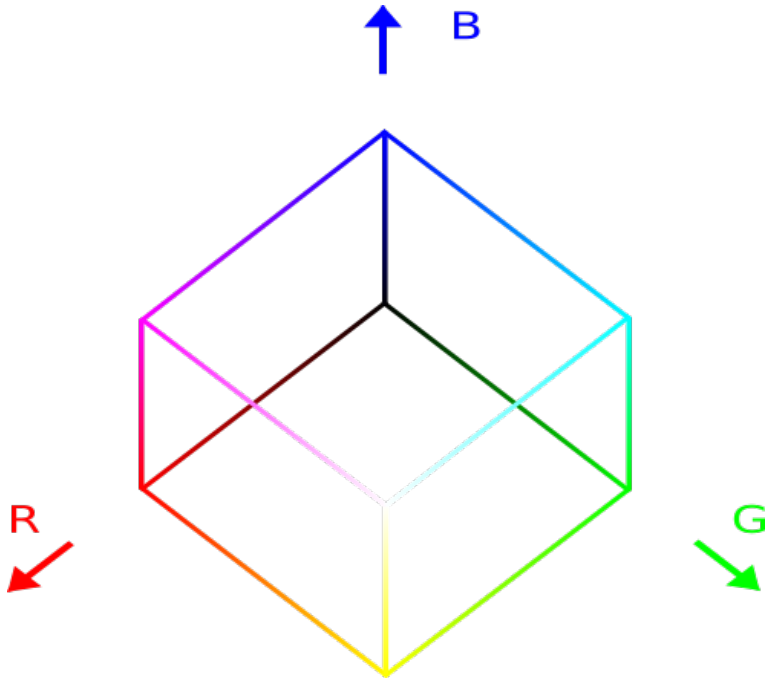
- **Barevný prostor CMYK** je na rozdíl od prostoru RGB založen na *subtraktivním skládání* barev. Složením všech barev vznikne černá barva. Tohoto je také využito v tisku, kde je CMYK základním barevným prostorem. Barvy jsou skládány ze třech základních barev CMY[7]. Tyto barvy jsou často doplňovány černou barvou (blacK), neboť díky nedokonalému mísení barev není možné tiskem z barev CMY dostat černou barvu. Také tmavší odstíny se tisknou lépe s příměsí černé. Vztah mezi barevnými prostory RGB a CMY je jednoduchý:

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - R \\ 1 - G \\ 1 - B \end{pmatrix} \tag{3.7}$$

  Jednoznačný vztah mezi prostory RGB a CMYK neexistuje. V počítačové praxi se používají následující vztahy [13]:

[6] červená = Red, zelená = Green, modrá = Blue

[7] azurová = Cyan, fialová = Magenta, žlutá = Yellow



Obrázek 3.8: Barevná krychle prostoru RGB

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \\ K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1-R-K}{1-K} \\ \frac{1-G-K}{1-K} \\ \frac{1-B-K}{1-K} \\ min\Big((1-R),(1-G),(1-K)\Big) \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-(C.(1-K)+K) \\ 1-(M.(1-K)+K) \\ 1-(Y.(1-K)+K) \end{pmatrix} \tag{3.9}$$

Barevný prostor CMYK stejně jako barevný prostor RGB není intuitivní pro člověka. Mísení barev není úplně jednoduché a člověk často neodhadne, jaká bude výsledná barva. V těchto barevných prostorech se také velmi těžko získávají světlejší či tmavší odstíny barvy při zachování barevného tónu. Z tohoto důvody byly vytvořeny další barevné prostory.

- **Barevné prostory HSV a HLS** definují barvu světla opět pomocí tří složek, které však nepředstavují základní barvy. U prostoru HSV jde o barevný tón, sytost a jasovou hodnotu[8]. Pro vizualizaci barevného rozsahu je místo krychle použit šestiboký jehlan. Jas roste směrem k podstavě jehlanu, sytost odpovídá relativní vzdálenosti od osy jehlanu, barevný tón je dán úhlem od zvoleného směru v podstavě. Čisté barvy leží tedy na obvodu podstavy jehlanu. V modelu HSV je možné zachovat barevný odstín

[8] tón = Hue, sytost = Saturation, jas = Value

a měnit jas barvy pohybem rovnoběžným s osou jehlanu. Nevýhody tohoto modelu představuje šestiúhelníkový tvar podstavy a také nesymetrie jasových hodnot.

Tyto nevýhody řeší barevný prostor HLS, který jako barevné složky používá barevný tón, světlost a sytost[9]. Barevný rozsah je zde vizualizován dvěma kužely dotýkajícími se podstavami. Barevný tón je definován opět úhlem v podstavě a sytost relativní vzdáleností od osy tohoto „dvojkužele". Světlost je dána pohybem rovnoběžným s osou kužele. Tento model odpovídá lépe skutečnosti, neboť symetricky rozděluje světlost na obě strany. V jednom vrcholu se nachází barva černá, v druhém barva bílá. Nejvíce barev se pak nachází v průměrné světlosti (v oblasti podstavy). Většina grafických software umí pracovat s některým z těchto modelů. Převod hodnot HSV nebo HLS do RGB je dán algoritmy vycházejícími z grafické reprezentace barev.

- **Barevné prostory pro televizní techniku** představují méně známou skupinu, kterou většinou grafický software neumí zpracovat, nicméně jsou používané při styku počítačové grafiky s filmem a televizí. Jejich společným rysem je oddělení jasové složky od barevné informace. To je kvůli tomu, aby i barevný signál mohl být sledován na černobílých přijímačích. Barevný prostor **YUV** se používá pro přenos televizních signálů v normě PAL. Převod mezi prostory YUV a RGB je dán maticovým násobením:

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.141 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{3.10}$$

  Barevný prostor $\mathbf{YC_BC_R}$ se používá pro přenos televizních signálů v normě SECAM. Kromě toho je tento barevný prostor základem formátu JPEG, o kterém bude více pojednáno v odstavci 3.1.4.4. Převod mezi prostory $\mathrm{YC_BC_R}$ a RGB je dán maticovým násobením:

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{3.11}$$

  Třetím zástupcem této skupiny je barevný prostor **YIQ**, který je základem televizní normy NTSC.

- **Barevné prostory CIE** jsou definované jako standardy Mezinárodní komise pro osvětlení (CIE). Nemá smysl je zde rozebírat do detailů. Stačí uvést pouze nejvýznamnější prostory, a to **CIE 1931** a **CIE 1976 Luv**. Tyto barevné prostory jsou definované pomocí tří srovnávacích funkcí, které vznikly na základě kolorimetrických experimentů. Tyto barevné prostory obsahují největší možný počet barev. Z teorie těchto prostorů lze dokázat, že není možné dosáhnout všech barev pomocí kombinací konečného počtu základních barev. Zatím uvedené prostory (např. RGB, CMYK) obsahují tedy menší počet barev, než je možné nalézt v přírodě. Oba zmíněné prostory CIE se liší pouze definovanou metrikou v rámci barevných diagramů.

[9] tón = Hue, světlost = Lightness, sytost = Saturation

Kromě zmíněných modelů, které se hodí pro popis barev vznikajících vlastním zářením, existuje ještě barevný model CIE sloužící pro vyjádření povrchových barev materiálů. Je podobný modelům HSV a HLS a nazývá se **CIE 1976 L*a*b**. K vizualizaci jednotlivých barev je použita koule, kde každá barva je definována hodnotami na třech osách koule. Jde o osy světlosti, osu zeleno-červené barvy a osu modro-žluté barvy.

Z výčtu barevných prostorů je vidět, že barvy lze definovat mnoha způsoby. Kromě samotných barevných prostorů je třeba mít na paměti i další faktory, které ovlivňují výsledné barvy. Především jde o charakteristiky zobrazovacího média. Například v monitoru počítače nedochází k vyzařování smíchané barvy, ale vyzařování třech oddělených složek ze třech světelných zdrojů RGB. Ke smíchání barev dochází až v lidském oku. Na monitoru tak není možné dosáhnout absolutně syté barvy, neboť např. při zobrazení červené barvy dochází k míchání jednoho červeného bodu a dvou černých (nesvítící zdroje modrého a zeleného světla). Různé monitory mají také různé spektrální charakteristiky a zobrazují barvy různě. Proto jsou v grafických studiích často používány velmi kvalitní (kalibrované) monitory. Také vztah mezi intenzitou zobrazení na monitoru a hodnotami RGB není lineární. Tuto nelinearitu je třeba kompenzovat tzv. *gama korekcí*.

Po výčtu barevných prostorů je třeba konstatovat, že v dnešním zpracování digitálních rastrových dat převládá použití barevného prostoru RGB. Ostatní prostory jsou využívány buď pouze v mezikrocích, protože se například hodí lépe pro metody vylepšení obrazu. Také mé projekty (pokud nebude uvedeno jinak) pracují vždy s barevným prostorem RGB. Je to dáno jeho jednoduchostí a implementací v použitých grafických formátech. Z informatického hlediska pak záleží na tom, jak velké jsou intervaly základních barev pro jednotlivé barevné kombinace.

Dnes nejpoužívanější metodou je použití 8 bitů (jednoho byte) pro každou ze základních barev RGB. Tímto získáváme celkem 2^{24} barev (přes 16 milionů). Tato barevná hloubka je někdy nazývána *true color*, neboť zobrazuje pravé barvy přibližně v barevném rozlišení lidského oka. Samozřejmě jsou používány i jiné hodnoty. Obrazy v rozlišení HDR[10] jsou nyní používány zejména v kvalitní digitální fotografii a dále v oblasti filmových triků. Přehled nejběžnějších barevných hloubek dává tabulka 3.1.

Ke každému pixelu je tedy ukládána informace o použité barvě z barevného prostoru RGB. Kromě použití přímých barev z prostoru RGB je druhou možností využití tzv. *barevné palety*. Barevná paleta představuje definice určitého počtu barev v prostoru RGB. Každému pixelu v obraze pak není přiřazena hodnota z prostoru RGB, ale odkaz na definici barvy v paletě. Nejčastěji se můžeme setkat s 8-bitovou paletou, ve které je definováno 256 barev. Samozřejmě záleží na tom, jak jsou barvy v paletě vybrány. Existuje několik standardních palet, které je možné využít. Ty se snaží pokrýt nejpoužívanější barvy. Kromě použití standardní palety se nabízí využití tzv. *adaptivní palety*. Ta vzniká speciálně pro každý obraz. Zpravidla při pořizování dat s adaptivní paletou dochází nejdříve k testování barev v obraze. Poté následuje proces výběru barev do palety (podle nejčastějšího zastoupení či jiného algoritmu) a teprve potom vlastní pořízení dat. Speciální paletou je taková, která obsahuje

[10] High Dynamic Range

barevná hloubka	**počet barev**	**bitů na barvu**				**označení rastru**
		R	G	B	α	
1 bit	2	-	-	-	-	černobílý
8 bit	256	3	3	2	-	
16 bit	65 536	5	6	5	-	high color
24 bit	16 777 216	8	8	8	-	true color
32 bit	16 777 216	8	8	8	8	true color (RGBα)
48 bit	$2.81 * 10^{14}$	16	16	16	-	HDR

Tabulka 3.1: Barevná hloubka

pouze barvy v odstínech šedi. Je využívána pro černobílé fotografie či letecké snímky a ortofotomapy.

Abychom byli schopni věrně reprodukovat barvy, tedy aby např. na počítači či na tiskárně byla zobrazena nebo vytištěna přesná barva, kterou jsme sejmuli skenerem, je nezbytné používat tzv. *Color Management*. Pro každé zařízení pracující s obrazem (skener, monitor, tiskárna) by měl být k dispozici tzv. ICC profil. Ten vlastně definuje transformace použitých barev do nezávislého barevného prostoru (zpravidla CIE 1976 L*a*b). Pokud pak spolu s dokumentem existuje uložený ICC profil zařízení, kde byla data pořízena, je snadné reprodukovat věrnou kopii na kalibrovaném zařízení (tiskárně, plotteru). Problematika barevného kalibrování je poměrně složitá. Já jsem ve svých pokusných projektech ICC profily nepoužíval. Nemělo to ani význam, neboť jsem měl k dispozici buď již naskenovaná data bez ICC profilu, nebo pouze faksimile, které byly již barevně rozdílné oproti originálu. Při korektním zpracování historických map bych však ICC profily doporučoval použít, obzvlášť pokud by digitální kopie měla sloužit jako přesný, věrný obraz originálu. Více se kalibraci při digitalizování věnuje např. článek [34].

3.1.4.2 Velikost dat

Pokud nyní víme, jakým způsobem jsou kódována data v rastrových obrazech, můžeme se zaměřit na jejich velikost. Ta totiž bývá i dnes stále omezujícím faktorem pro práci s rastry. Velikost rastrových dat je dána jedoduchým vzorcem:

$$S \quad \text{x} \quad V \quad \text{x} \quad \frac{B_H}{8} \qquad [\text{byte}], \tag{3.12}$$

kde S,V jsou rozměry rastrového obrazu (šířka, výška) v pixelech a B_H je použitá barevná hloubka v bitech. Základní parametry jsou tedy jasné – rozměry obrazu a barevná hloubka. Při pořizování digitálních kopií dat je nutné správně zvolit právě barevnou hloubku a hustotu rastru (hustotu skenování). S rozměry obrazu se toho mnoho udělat nedá. Tabulka 3.2 ukazuje, jak narůstá objem dat s barevnou hloubkou a hustotou rastru pro běžný rozměr staré mapy (60 x 40 cm). K tomu je třeba poznamenat, že pro rozlišení detailu

0,1 *mm* v obraze je nutné skenovat s poloviční velikostí pixelu (podle kapitoly 3.1.3), tedy s rozlišením asi 500 *dpi*, což je poměrně vysoká hodnota.

barevná hloubka	**hustota rastru**	**rozměry obrazu**	**velikost dat**
1 bit	200 dpi	4724 x 3150 pix	1,77 MB
8 bit	200 dpi	4724 x 3150 pix	14,16 MB
24 bit	200 dpi	4724 x 3150 pix	42,48 MB
1 bit	400 dpi	9449 x 6299 pix	7,08 MB
8 bit	400 dpi	9449 x 6299 pix	56,64 MB
24 bit	400 dpi	9449 x 6299 pix	169,92 MB
1 bit	500 dpi	11811 x 7874 pix	11,09 MB
8 bit	500 dpi	11811 x 7874 pix	88,72 MB
24 bit	500 dpi	11811 x 7874 pix	266,16 MB

Tabulka 3.2: Velikost dat pro starou mapu 60 x 40 *cm*

Je vidět, že pokud budeme chtít zaznamenat nejmenší detaily na staré mapě, a to v reálných barvách, bude nutné pro rozměr mapy 60 x 40 *cm* počítat s objemem dat přes 250 MB. Naštěstí existují techniky, které jsou schopné objem rastrových dat zmenšit. O těchto technikách pojednává následující odstavec.

3.1.4.3 Komprese dat

U rastrových dat je kompresi věnována značná pozornost. Je to hlavně kvůli tomu, že pracujeme většinou s obrovskými objemy dat. V principu rozeznáváme dva typy komprese, a to *ztrátovou* a *bezeztrátovou*. Bezeztrátová komprese zaručí možnost vrátit se k původním datům před provedenou kompresí. Ztrátová komprese využívá nedokonalosti lidského oka a vypouští z obrazu některé informace. Samozřejmě potom neexistuje možnost vrátit se k původním datům. Kompresní poměr u ztrátové komprese však bývá několikrát větší než u komprese bezeztrátové. Mezi nejpoužívanější metody komprese dat využívané u rastrových obrazů patří:

- **Run Lenght Encoding (RLE)** je jednoduchá metoda, která vychází z toho, že se v rastru vyskytují často shodné hodnoty u sousedních pixelů. Do souboru pak nejsou zapisovány přímo hodnoty pixelů, ale vždy hodnota a počet pixelů, pro kterou platí tato hodnota. Efektivnější varianta RLE je schopná zachytit i několikapixelové sekvence, které se opakují. Jde samozřejmě o kompresi bezeztrátovou. Protože v obraze může být různý kompresní poměr pro různé pořadí kódovaných pixelů (viz obrázek 3.2), provádí se někdy testování pořadí (po řádcích, po sloupcích, Mortonovo), v jakém bude RLE aplikována. Nejčastěji se však setkáme s nejjednodušší verzi, tedy s kódováním po řádcích. RLE se hodí na rastrové obrazy s barevnou hloubkou do 8 bit, nevhodná je naopak na barevné fotografie, kde není zaručena identita sousedních

pixelů. Obecně je vhodná hlavně na ručně kreslené obrázky s většími stejnobarevnými plochami.

- **Huffmanovo kódování** bylo původně navrženo komisí CCITT pro přenos černobílých dokumentů faxem. Myšlenka je založena na použití různě dlouhých bitových kódů pro symboly s různou frekvencí výskytu. Často používané symboly mají kratší kódy, méně časté symboly mají delší kódy. Kódy jsou stanoveny tabulkami CCITT vzniklými ze statistického vyhodnocení mnoha souborů dat. Z principu je jasné, že jde o bezeztrátový typ komprese. Postupně vzniklo několik verzí kódování. Dnes používané verze kódování jsou G3 a G4, přičemž existují varianty kódování 1D a 2D (dvourozměrné kódování). Můžeme se tedy setkat např. s kódováním G42D. Jak vyplývá z principu, Huffmanovo kódování je vhodné pro černobílé (1-bitové) obrazy, u kterých dosahuje výborných kompresních poměrů (až 15:1), naopak nelze použít na vícebarevné obrazy.

- **Slovníkové kódování** je na rozdíl od předchozích metod běžně používanou metodou komprese i mimo oblast počítačové grafiky. Princip je založen na nahrazení vzorků vstupních dat kódy s narůstající délkou. Vzorky se překládají pomocí tabulky (slovníku), kam jsou průběžně doplňovány nové vzorky. Po zaplnění se vždy začíná tvořit slovník od začátku, což může mít výhodu, pokud známe místo, kde k tomu dochází. Slovník se nemusí ukládat spolu s daty, protože se dá rekonstruovat právě z dat. Původní algoritmus z roku 1977 nese označení LZ77[11]. Tento algoritmus byl doplněn v roce 1984 T. Welchem a vznikl tak algoritmus LZW. Z principu algoritmu je zřejmé, že jde o bezeztrátovou kompresi, a to patrně nejlepší, jakou lze pro obrazová data použít.

- **Diskrétní kosinová transformace (DCT)** je zástupce ztrátových kompresních metod. DCT je úzce spojena s formátem JPEG, který bude ještě popsán. Postup při kompresi formátu JPEG je založen na transformaci barev do barevného prostoru YC_BC_R, redukci barev a následné dopředné DCT (ta je odvozena z algoritmu Fourierovy transformace). Poté dochází ke kvantování koeficientů DCT a ke kódování hodnot. Celkově je algoritmus poměrně složitý a více o něm lze nalézt např. v [46]. Formát JPEG dosahuje výborných kompresních poměrů pro fotografie a data s častými barevnými přechody. Kompresní poměr lze ovlivnit nastavením kvality při kvantování koeficientů DCT. Nejnovější formát JPEG2000 využívá transformaci za pomoci *vlnek* (orig. *wavelet*) a odstraňuje tak nepříjemnou vlastnost tvorby makropixelů a artefaktů ve formátu JPEG.

Existují i další algoritmy komprimující rastrová data. Zde byly stručně popsány ty, které se vztahují k následně popsaným rastrovým formátům. Pokud potřebujeme data starých map komprimovat, lze doporučit buď bezeztrátovou kompresi LZW nebo ztrátovou kompresi JPEG/JPEG2000.

[11] autoři A. Lempel a J. Ziv

3.1.4.4 Používané formáty dat

V tomto odstavci budou stručně popsány nejpoužívanější rastrové formáty dat. Pro zálohování dat je dobré zvolit takový formát, který je dostatečně otevřený, aby byla data použitelná i za delší časové období. Stejně jako v ostatních oblastech informatiky zde platí zásada držet se standardu.

- **BMP**[12] je formátem hojně používaným v prostředí Microsoft Windows. Podporuje barevnou hloubku až do 24 bit. Jako komprese je použita metoda RLE pro paletové obrázky, obrazy true color jsou nekomprimované. V praxi geografických dat se tento formát moc nepoužívá.
- **CIT** je jedním z formátů firmy Intergraph. Je určen k ukládání binárních (1-bitových) rastrů. Jako komprese je využita metoda Huffmanova kódování G42D. Kromě vlastních dat je možné v hlavičce souboru uložit souřadnicové připojení (standard firmy Intergraph, více viz odstavec 4.1). Tento formát je využíván ČÚZK[13] pro distribuci skenovaných rastrových katastrálních map.
- **COT** je dalším z formátů firmy Intergraph. Je určen k ukládání šedotónových obrazů. Data jsou v tomto formátu nekomprimována. Kromě vlastních dat je možné v hlavičce souboru uložit souřadnicové připojení (standard firmy Intergraph, více viz odstavec 4.1). Tento formát je využíván ČÚZK pro distribuci šedotónových leteckých snímků a ortofotomap. V praxi není moc rozšířen.
- **RLE** je opět formátem firmy Intergraph. Je určen k ukládání binárních (1-bitových) rastrů s kompresní metodou RLE. Kromě vlastních dat je možné v hlavičce souboru uložit souřadnicové připojení (standard firmy Intergraph, více viz odstavec 4.1). Tento formát se využívá na Slovensku pro distribuci skenovaných rastrových katastrálních map. Jinak není rozšířen.
- **RGB** je posledním z vybraných formátů firmy Intergraph. Je určen k ukládání barevných true color obrazů. Používá buď kompresní metodu RLE pro jednotlivé barevné složky zvlášť nebo je nekomprimovaný. Je vhodný pro uložení barevných leteckých snímků, ale není moc rozšířen.
- **GIF**[14] se používá velmi často dodnes. Podporuje barevnou hloubku 8 bit a kompresní metodu LZW. Specialitou tohoto formátu je možné vytvoření animací. Býval to ústřední formát pro čárové grafiky na internetu, dnes byl však nahrazen formátem PNG. Jeho nevýhodou je malá barevná hloubka a také licenční politika firmy Unisys, která vlastnila patent na komprimační metodu LZW. Dnes již licence vypršela a GIF se stále drží na internetu, zejména díky možnosti jednoduchých animací.

[12] Bit Mapped Picture
[13] Český úřad zeměměřický a katastrální
[14] Graphics Interchange Format

- **PNG**[15] je dnes nejpoužívanějším formátem pro čárové obrázky na Internetu. Podporuje obrazy s barevnou hloubkou až obrazů HDR (až 16 bit na barvu), plně využívá i alfa kanál. Jako kompresní metoda je užito slovníkové kódování LZ77. Tento formát lze doporučit pro obrazy vyžadující bezeztrátovou kompresi. V této kategorii jde totiž o nejkvalitnější formát.

- **TIFF**[16] je hodně obecně definovaný formát, který podporuje velkou šíři barevných hloubek i kompresních algoritmů. Do hlavičky souboru je navíc možné ukládat další informace (např. ICC profily) pomocí tzv. „tagů“ (značek). Kromě těchto obecných informací je možné v hlavičce ukládat i další „uživatelské“ informace. Obecnost tohoto formátu ho předurčuje jako univerzální formát pro rastrová data. Bohužel je složitost hlavičky někdy problémem pro korektní načtení v různém software. Speciálně modifikovaný typ souboru s uložením souřadnicového připojení v hlavičce se nazývá GeoTIFF (více viz odstavec 4.1). Další výhodou tohoto formátu je možnost ukládat objemné rastry speciálním způsobem. Soubor může být ukládán postupně po dlaždicích (čtvercové oblasti) nebo po pruzích (bloky řádků nebo sloupců). Toho je využito při práci pouze s částí obrazu (třeba při prohlížení při velkém zvětšení) tak, že nemusí být načítán celý soubor, ale pouze dotčené dlaždice či pruhy. TIFF také umožňuje uložení více obrazů v jednom souboru, a to dokonce obrazů s různým rozlišením. Pro rastr tak existuje možnost uložení v různých rozlišeních v jednom souboru. Vytváření takové struktury se nazývá pyramidování a je blíže popsáno v odstavci 3.1.5.4.

- **JPEG**[17] je velmi rozšířeným formátem. Je to formát využívaný většinou dnešních digitálních fotoaparátů. JPEG umožňuje uložení dat v barevném rozlišení true color, a to pomocí komprese využívající diskrétní kosinovou transformaci. Tento typ komprese, který je aplikován na obrazy s oddělenou jasovou a barevnou složkou, je velmi účinný. Algoritmus je ztrátový, ale využívá nedokonalosti lidského oka k tomu, že jsou změny v obraze málo postřehnutelné. Kvalitu komprese lze nastavit parametrem. Samozřejmě platí, že čím větší komprese, tím méně kvalitní jsou data. JPEG lze doporučit tam, kde je třeba ušetřit prostor zabíraný rastry. Pro primární uložení starých map není vhodný, ale pro aplikační (prohlížecí) využití je výhodná jeho velikost dat.

- **JPEG2000** je nejnovější verzí formátu JPEG, která však zatím není příliš využívána. Jde o standardizovaný formát umožnující bezeztrátovou i ztrátovou kompresi dat. Komprese je založena na teorii vlnek (waveletů) a dosahuje kvalitního kompresního poměru. Tento formát měl nahradit starší JPEG, ale zatím k tomu úplně nedošlo. I přesto lze očekávat, že tento formát bude rozšířen a používán daleko více než doposud.

- **MrSID**[18] je formátem založeným na podobném algoritmu jako JPEG2000, tedy na teorii vlnek a DCT. Jde o formát firmy Lizard Tech, Inc. Před několika lety vzbudil

[15] Portable Network Graphics
[16] Tag Image File Format
[17] podle skupiny Joint Photographics Expert Group
[18] Multi-resolution Seamless Image Database

rozruch svým zázračným kompresním poměrem, ale nejedná se o nic převratného. K jeho editaci je navíc potřeba zakoupit příslušnou licenci, a tak se příliš nerozšířil. Stejně jako JPEG2000 podporuje obrazy v rozlišení true color. Hodí se tedy zejména na fotografie a skenované vícebarevné předlohy.

- **ECW** je formátem firmy Earth Resouce Mapping. Jako oba předchozí formáty využívá vlnkovou kompresi dat. Všechny tři formáty jsou si velice podobné.
- **DjVu** je formát navržený přímo pro uchovávání digitalizovaných dokumentů. Nejedná se tedy přímo o rastrový formát, ale o formát komplexní. Každá stránka dokumentu DjVu může obsahovat černobílou vrstvu s daty v popředí, barevnou reprezentaci pozadí ve formátu JPEG2000 a dále textovou vrstvu. Díky tomu, že jsou odděleny jednotlivé části dokumentu, dosahuje výborných kompresních poměrů. Díky textové vrstvě, která vzniká metodami rozpoznání textu v obraze (OCR[19]), je možné v dokumentu plnotextově vyhledávat.
- **PDF**[20] je formátem určeným k šíření digitálních dokumentů. Umožňuje uchovávat informace pomocí vektorů, ale je možné vložit i rastrová data. Někdy bývá používán v digitálních knihovnách jako formát pro uchování digitalizovaných archiválií. Také PDF podporuje plnotextové prohledávání.

3.1.5 Vlastní vznik rastrových dat

Existuje několik způsobů, jak mohou vlastní rastrová data vzniknout. Vždy dojde k vytvoření matice pixelů, která je pak uložena do některého z popsaných formátů pomocí převodních vztahů. Nejčastějším vznikem rastrových dat obecně je určitě fotografování, pro mapové obrazy je typické spíše skenování. Třetí možností je rasterizace vektorových dat, která pro staré mapy prakticky nepřipadá v úvahu.

3.1.5.1 Skenování

Skenování je metodou digitalizace, která je založena na snímání obrazu maticí CCD[21]. Zařízení, kterým se skenování provádí, se nazývá skener. Skener je vybaven intenzivním zdrojem zářivého světla a dále prvky matice CCD. Při osvícení černobílé předlohy se na místech černé kresby světlo neodráží, protože je pohlceno černou barvou. Naopak světlá místa zajistí maximální odraz světla. Toto odražené světlo je vedeno systémem čoček a zrcadel až na matici CCD. Ta je složena z polovodičových čipů, které jsou citlivé na dopadající světlo a převádějí toto světlo na elektrický proud. Množství proudu závisí na intenzitě světla. Vzniklý proud je veden do ADC (analogově-digitální převodník), kde je převeden na hodnotu odpovídající určité barvě v odstínu šedi. Výsledná barva je dána metodou a

[19] Optical Character Recognition
[20] Portable Document Format
[21] Charge Coupled Device

rozlišením barevného kvantování (viz odstavec 3.1.2). Takto je uložena hodnota jednoho obrazového bodu, pixelu. Postupně jsou sejmuty všechny obrazové body v řádce a poté je postup opakován pro všechny řádky v obraze. Pro skenování barevných předloh je celá operace provedena třikrát, postupně přes tři barevné filtry. Výsledkem jsou pak uložené hodnoty v barevném prostoru (nejčastěji RGB).

Při samotném skenování je důležité znát základní parametry skeneru. Pro všechny skenery je nejdůležitějším faktorem jejich fyzické rozlišení. To je dáno velikostí snímaného bodu, neboli vzdáleností mezi dvěma řádky snímaných dat. Fyzické rozlišení skeneru odpovídá maximální hustotě, s kterou je možné data skenovat. Ve většině skenerů lze dosáhnout i vyšší hustoty, než je fyzické rozlišení skeneru. Tato hustota je získána softwarovou interpolací. Pro každý bod je zde vypočítána hodnota vzhledem k okolním snímaným bodům. Běžné fyzické rozlišení skenerů dosahuje od 50 *dpi* u ručních skenerů do 12000 *dpi* u profesionálních bubnových skenerů.

Barevné rozlišení skeneru je dáno použitou metodou kvantování. Běžné skenery pracují v barevném prostoru RGB a dokáží pracovat s barvami v true color (24 bit). Kvalitní skenery mohou mít barevné rozlišení až 48 bit.

Podle typu konstrukce rozeznáváme několik typů skenerů:

- **Ruční skener** je nejlevnější variantou skenování. Uživatel skenerem sám pohybuje po předloze. Jeho pohyb musí být plynulý tak, aby byl výsledek použitelný pro další zpracování. Takový skener se hodí pouze pro malé předlohy a nedosahuje velké kvality. Ruční skener může být třeba ve tvaru obyčejné tužky.

- **Stolní skener** je již ovládán pomocí počítače. Po vložení předlohy dochází k automatickému pohybu ramene se snímači nad či pod předlohou. Kromě klasických stolních skenerů ve formátu A4, které se dají pořídit již za několik tisíc Kč, existují i velkoformátové stolní skenery určené pro digitalizaci rozměrných předloh (třeba map). Cena kvalitního velkoformátového skeneru se zaručenou přesností snímání se pohybuje v řádech statisíců až milionů Kč.

- **Průtahový skener** je opět ovládán pomocí počítače. Na rozdíl od stolního skeneru se však pohybuje předloha, která je protahována zařízením se snímači. Touto konstrukcí je pak zaručena menší velikost celého skeneru a dále daleko menší náklady na výrobu (není třeba konstruovat přesné rameno po pohyb čidel). Tyto skenery jsou používány pro skenování velkých předloh (např. technických výkresů), které mohou být protahovány skrz zařízení. To není možné říct o všech starých mapách, které by takto mohly být poškozeny. Také přesnost těchto skenerů zaostává za kvalitními stolními, zejména ve směru pohybu předlohy, kde může dojít k prokluzu či nerovnoměrnému pohybu. Ceny těchto skenerů se pohybují ve statisících Kč.

- **Bubnový skener** je zařízení používané v grafických studiích. Snímaná předloha je připevněna na válec, kterým je pohybováno. Snímací zařízení se pak pohybuje ve směru osy válce. Tato konstrukce vykazuje menší chyby v pohybu válce než předlohy

u průtahových skenerů. Kvalita těchto skenerů je vykoupena vysokou cenou řádově v milionech Kč. Pro staré mapy se tato technologie moc nechodí, kvůli nutnosti upevnění předloh na válci.

(a) bubnový

(b) velký stolní

(c) průtahový

Obrázek 3.9: Ukázky skenerů

Samotným skenováním historických map se zabýval ve své diplomové práci Antoš [1]. Z jeho výsledků nás zajímají hlavně ty týkající se volby hustoty skenování a barevné hloubky. Hustotu skenování u historických map Antoš doporučuje na 400–500 *dpi*. V jeho práci jsou popsány testy jednotlivých rozlišení s krokem 50 *dpi*. Pokud se podíváme na barevnou hloubku, rozhodně doporučuje použití true color oproti barevné paletě. Jako formát uložení je doporučen PNG pro bezeztrátovou kompresi a JPEG pro ztrátovou kompresi.

Osobně jsem provedl také spoustu testů a mohu víceméně souhlasit s výsledky zmiňované diplomové práce. Jako vhodné hodnoty hustoty skenování doporučuji 300–500 *dpi* podle charakteru mapy, jako barevnou hloubku rozhodně true color [11]. Pokud jde o formáty uložení, osobně se mi jeví výhodné uložit primární data v nekomprimovaném formátu TIFF. Také formát PNG je poměrně vhodný pro uchování dat. Ve ztrátových formátech je stále možné doporučit JPEG, do budoucna předpokládám výrazné rozšíření formátu JPEG2000, který bude vhodnější. Velice zajímavým formátem je DjVu. Bohužel jsem zatím neměl příležitost ho blíže prozkoumat. V odborných článcích [8], [19] je doporučovaná hodnota skenování starých map kolem 1200 *dpi*. Tato hodnota převyšuje mnou navržené hodnoty více než dvojnásobně. Těchto hodnot je potřeba použít při skenování dat určených k dalšímu zpracování (automatická vektorizace, rozpoznávání textu), neboť zde bylo dosaženo lepších výsledků. Při běžné práci s daty však tak velké hodnoty hustoty skenování nejsou potřeba. Detaily zachycené touto hustotou přesahují rozlišovací schopnost lidského oka.

Pokud zvolíme správné parametry skenování, zbývá se rozhodnout, kde staré mapy naskenovat. Existuje samozřejmě několik možností, od použití maloformátového stolního skeneru po využití profesionálních služeb digitalizačních center. Metody skenování na maloformátovém skeneru a následné spojování jednotlivých částí obrazu navrhuje ve své diplomové práci Přidal [35]. Je to určitě nejlevnější metoda, nicméně někdy velmi pracná a

výsledky nemusí vždy odpovídat našim představám. Osobně doporučuji skenovat celou mapu najednou.

K tomu je možné využít řady státních i soukromých institucí. Několik geodetických firem vlastní velkoformátové (průtahové) skenery s atestem ČÚZK pro skenování map. Stejným typem skeneru jsou vybavena i kvalitní copycentra. Atestované skenery dále vlastní několik Katastrálních pracovišť a Zeměměřický úřad. Jeden z průtahových skenerů má také k dispozici katedra mapování a kartografie Fakulty stavební ČVUT v Praze. Na tomto skeneru jsem zpracovával skenování já. Většinou jde o značky skenerů Contex, HP, Anatech, EPSON, Vidar. Kvalitní velkoformátový stolní skener vlastní nyní i ODIS VÚGTK[22]. Kromě klasických skenerů, které známe z praxe, existují i skenery přímo určené k digitalizaci starých tisků. Jsou to zařízení s konstantním osvětlením, filtry, stojanem na knihy (některé umějí i obracet stránky) a dalšími specialitami. Příkladem takových zařízení mohou být výrobky firmy Zeutschel. Digitalizační středisko knihovny AV ČR disponuje dvěma takovými knižními skenery (DigiBook RGB 10000 a Zeutschel OS 7000).

3.1.5.2 Fotografování

Druhou možností, jak získat digitální rastrová data, je jejich fotografování. Princip digitálního fotoaparátu je částečně obdobný jako princip skeneru. Snímací čidla jsou umístěna ve fotoaparátu, nedochází však k jejich posunu. Proto je u tohoto principu snímání nutné pracovat s velkou maticí obrazových čidel, která jsou vzájemně urovnána. Výsledný obraz je pak záznamem pořízeným ze všech čidel naráz. Počet odečítacích zařízení je také limitujícím faktorem digitální fotografie. I přes značný pokrok v této oblasti rozlišení fotoaparátů stále nedosahují potřebných hodnot pro velké obrazové předlohy. Výhoda fotografování je však v bezdotykovém snímání a v některých archivech může být jedinou schůdnou cestou. Také digitalizační pracoviště specializující se na historické dokumenty často používají kvalitní digitální kameru jako snímací zařízení. Rozlišení těchto kamer dnes dosahuje až 100 megapixelů.

Asi nejlépe vybavené digitalizační pracoviště u nás vlastní firma AIP Beroun. Ta spolupracuje hlavně s Národní knihovnou, například na projektu Manuscriptorium[23]. Digitalizační pracoviště je vybaveno dvěma zařízeními BetterLight 6000 a jedním CRUSE Bookscanner CS145 B 220. Zde je možné skenovat jak knihy, tak samostatné listy, a to již v poměrně kvalitním rozlišení i pro velké předlohy. Dalším příkladem digitalizačního pracoviště využívající digitální kamery je zařízení ATLAS používané např. v Moravské zemské knihovně.

Protože se zde dostáváme do přímého styku s obecnou digitalizací knihoven, je dobré zmínit, že Ministerstvo kultury ČR zaměřilo na digitalizaci programy VISK[24]. Dva z našeho pohledu nejzajímavější projekty jsou:

- VISK 6 – Memorae Mundi Series Bohemica

[22] Odvětvové informační středisko, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický

[23] `http://www.manuscriptorium.com`

[24] Veřejné informační služby knihoven

- VISK 7 – Kramerius

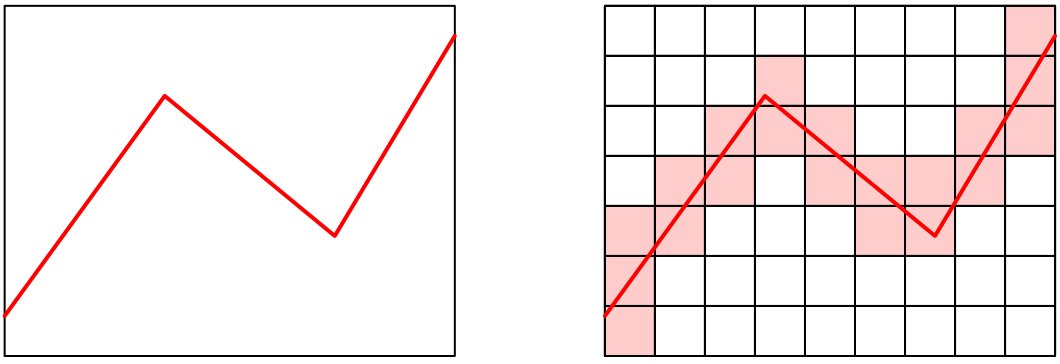
Hlavní náplní VISK 6 je zmiňovaný projekt Manuscriptorium zpřístupňující digitální kopie významných českých rukopisů. VISK 7 je zaměřen na digitální zpřístupnění dokumentů ohrožených degradací kyselého papíru. Více informací o těchto projektech je možné získat na na webové stránce `http://visk.nkp.cz/`.

3.1.5.3 Rasterizace

Rasterizace je třetí a nejméně používanou metodou vzniku rastrových dat. Dochází k ní při převodu vektorových digitálních dat na data rastrová. Typicky dochází k rasterizaci při každém zobrazení vektorových dat na obrazovce počítače, která je také složena z jednotlivých pixelů. Pokud jde o vlastní data, k rasterizaci dochází hlavně tam, kde autor požaduje, aby nebylo možné rekonstruovat původní vektorový formát. Tak je částečně ošetřena ochrana původních dat. Distribuovány jsou pouze rastrové ekvivalenty původních vektorových dat.

U starých map prakticky nemá smysl hovořit o rasterizaci. Jediným případem použití by byla rasterizace dříve zvektorizovaných prvků vybrané staré mapy (např. vodních toků). Pokud bychom nechtěli distribuovat originální vektorová data, bylo by možné data rasterizovat a distribuovat jako obraz. Stejným způsobem pracuje i webová služba WMS, o které bude pojednáno v odstavci 5.3.

Samotné technické řešení rasterizace je velmi jednoduché. Nejdříve se zjistí rozměry a určí prostorové i barevné rozlišení budoucího rastru. Poté je vytvořena matice pixelů, která zatím neobsahuje žádné hodnoty. Po přiložení vektorové vrstvy přes prázdnou matici je možné rozhodnout, které pixely jsou „zasaženy“ kresbou a bude v nich uložena informace (barva určená podle atributu vektorové kresby). Vše je naznačeno na obrázku 3.10.



Obrázek 3.10: Princip rasterizace

3.1.5.4 Manipulace s daty

Kromě samotného vzniku rastrových dat jsou důležité i operace, které nějakým způsobem mění parametry rastrového souboru. K těm může dojít třeba v případě, že potřebujeme redukovat objem dat. Z informatického hlediska je jasné, že půjde o změny dvou základních parametrů, a to velikosti pixelu a barevné hloubky.

Pokud dochází k jakékoliv transformaci rastru, která mění prostorové uspořádání pixelů v obraze, dochází k tzv. *převzorkování*. Převzorkování se tedy týká nejen změny prostorového rozlišení rastru, ale i transformací, ke kterým může dojít při georeferencování. Více o georeferencování rastrů pojednává odstavec 4.1 a případ natočení rastru a jeho převzorkování dokumentuje obrázek 4.1.

Při převzorkování dochází k převodu obrazu A do nového obrazu B. Při převodu těchto dvou obrazů je možné použít jednu ze dvou technik mapování pixelů:

- **Dopředné mapování** je založeno na tom, že se procházejí jednotlivé pixely v obraze A a počítá se jejich umístění v obraze B.
- **Zpětné mapování** je založeno na tom, že se vytvoří prázdná matice pixelů v obraze B. Ke každému pixelu se pak počítá jeho hodnota na základě hodnot pixelů v matici A.

Při dopředném mapování dochází k tomu, že výsledný obraz nemusí být obdélníkového tvaru. Také může dojít k tomu, že v obraze B vzniknou mezery. V praxi se proto používá metoda zpětného mapování, protože ta dává celistvý pravoúhlý obraz. Záleží samozřejmě na tom, jakým způsobem jsou počítány hodnoty (barvy) nových pixelů v obraze B. Pomocí transformačních vztahů je možné vypočítat polohu středů původních pixelů v novém rastru (neceločíselné pixelové souřadnice). Z těchto bodů o známých hodnotách je možné určit hodnoty pro nové pixely třemi základními způsoby, a to:

- metodou nejbližšího souseda
- bilineární interpolací
- bikubickou interpolací

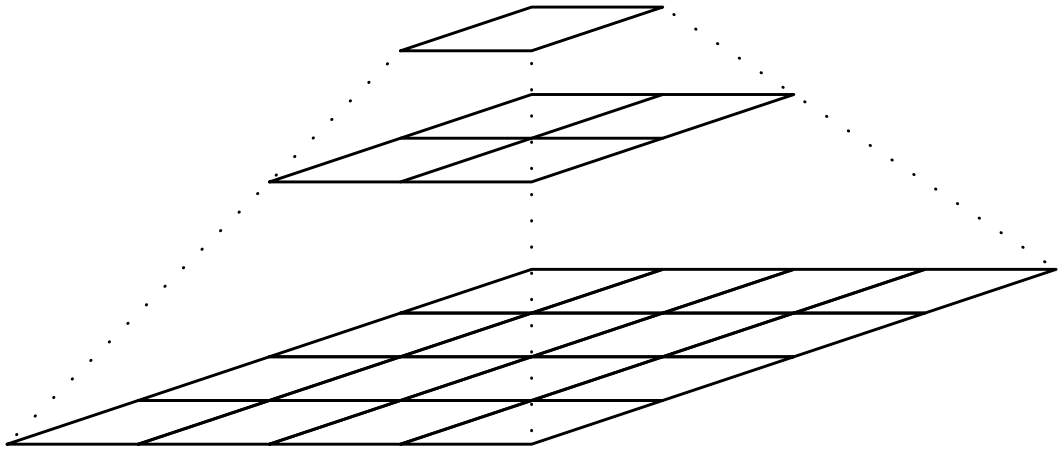
Metoda nejbližšího souseda v praxi představuje nejjednodušší možnost. Pro každý pixel v novém obraze nalezneme nejbližší transformovaný střed původního pixelu a převezmeme jeho hodnotu. To má výhodu v tom, že nedochází k tvorbě nových hodnot (barev). Nevýhodou je chyba, která může tvořit až polovinu velikosti pixelu, a také vznik nežádoucích pixelových „zubů“. **Bilineární interpolace** počítá výslednou hodnotu jako vážený průměr čtyřech nejbližších pixelů. V obraze pak dochází k mírnému rozostření a vyhlazení hran. To může být nepříjemné při převzorkování rastru s texty. **Bikubická interpolace** pak počítá vážený průměr z šestnácti nejbližších pixelů. Výsledkem jsou ostřejší data než u lineární interpolace, avšak za cenu větší výpočetní náročnosti [22].

Kromě převzorkování můžeme chtít transformovat nebo omezit i obor hodnot, tedy barevnou hloubku obrazu. Algoritmy použité k zobrazení obrazu s méně odstíny než obraz původní jsou založeny na nedokonalosti vnímání lidského oka. V počítačové grafice se tato technika nazývá *rozptylování* (orig. *dithering*). Existuje více algoritmů pro rozptylování. Jako základní je možné uvést náhodné rozptýlení, maticové rozptýlení či distribuci zaokrouhlovací chyby. Důležitá je samozřejmě volba výsledných použitých barev. Nejčastější použití snížení barev je převod true color obrazu do barevné palety (viz odstavec 3.1.4.1). Barvy v paletě jsou buď vybrány automaticky (např. pravidelně tak, že je barevná krychle prostoru RGB je rozdělena na 3–3–2 řezy) nebo adaptivně pro každý obraz. Algoritmy pro výběr barev jsou pak založeny na četnosti jednotlivých odstínů a jejich blízkosti v barevném prostoru. Pro staré mapy snížení barevné hloubky nedoporučuji. I při použití adaptivní palety dochází ke ztrátě informací, které mohou být klíčové. V obraze jsou pak znát barevné přechody a mapa nepůsobí estetickým dojmem.

Kromě zmíněných metod úpravy obrazu se nabízí řada dalších. Může jít o úpravu histogramu, zvýšení či snížení jasu a kontrastu, ostření obrazu, prahování, odstraňování šumu, filtrace a podobně. Tyto techniky jsou využívány v různých aplikacích. Ve vědách o Zemi je možné nalézt využití v úpravě dat DPZ. Pro použití těchto metod na staré mapy však musí existovat zvláštní důvod. Já se těmito operacemi v práci nezabývám, více o nich je možné nalézt v [46].

Na závěr bych rád zmínil některé speciální metody uložení rastrových dat. Vedle běžného ukládání pixelů po řádcích, sloupcích nebo v jiném pořadí existují možnosti, jak ukládat obrazová data po určitých blocích. Takový princip ukládání je vhodný k tomu, aby bylo možné přistupovat k částem obrazu přímo, bez nutnosti načítat celý zbylý obsah. Pro rozsáhlé rastry (jakými mohou být i mapy) je to prakticky jediná možnost, jak s nimi pracovat. Standardem pro ukládání rastru po blocích je formát TIFF. Ten nabízí možnosti uložení po *dlaždicích* (orig. *tiles*) nebo po *pruzích* (orig. *stripes*). Takto je možné přistupovat přímo k dlaždicím nebo pruhům obrazu. Využívá se toho například při prohlížení dat ve velkém zvětšení. Při posunu obrazu nemusí dojít k načtení celého souboru, ale pouze dotčených dlaždic.

Poslední specialitou uložení rastrových souborů je tzv. *pyramidování*. Protože bývají rastrová data poměrně objemná, i při zobrazení náhledu celého obrazu (tedy například v desetinásobném zmenšení) je nutné načítat kompletní data rastru, což velmi zdržuje při práci. Abychom se vyvarovali takových zdržení, byla uvedena metoda pyramidování. Kromě originálních dat jsou uloženy i náhledy rastru v různých rozlišeních. Pokud tedy máme např. soubor s velikostí 8000 x 6000 pixelů, jsou kromě originálních dat uloženy i obrazy o velikostech 4000 x 3000 pixelů, 2000 x 1500 pixelů, 1000 x 750 pixelů. Při zobrazení na běžném monitoru nám bez problémů bude stačit posledně jmenované rozlišení, které představuje zároveň 64 krát menší objem dat než originál. Pyramidová data mohou být uložena buď přímo v rastrovém souboru (např. TIFF), nebo mohou být uložena ve speciálním souboru (např. RRD pro software ArcGIS). Princip pyramidování objasňuje obrázek 3.11.



Obrázek 3.11: Pyramidování rastru

3.2 Vektorová data

U vektorových dat je základním geometrickým parametrem bod, resp. úsečka spojující dva sousední body. Při převodu mapy do vektorového formátu je tedy třeba nahradit obrazová data pomocí geometrických tvarů složených z bodů a úseček. Všechny objekty jsou pak definovány pomocí souřadnic lomových bodů a dále pomocí popisných údajů (atributů).

Je zřejmé, že tento formát dat není pro staré mapy příliš vhodný, neboť s sebou nese nutnost pečlivého převedení všech prvků mapy. U starých map potřebujeme většinou pracovat se samotným obrazem, a proto se vektorová data moc nepoužívají. Využití tohoto formátu u starých map spočívá v samotných výhodách vektorového uložení dat. Jelikož jsou všechny prvky uloženy ve svých souřadnicích, je možné velmi jednoduše počítat vzdálenosti, určovat topologické vztahy, transformovat souřadnice,... Takových operací můžeme využít při zkoumání přesnosti mapy nebo při cíleném výzkumu pouze vybraných prvků mapy (např. vodstva). Vektorová data a jejich modely a formáty budou popsány jen v nezbytně nutném rozsahu. Ve svých projektech jsem pracoval téměř výhradně s daty rastrovými, k vektorizaci starých map došlo pouze v projektech popsaných v odstavcích 7.4 a 7.5.

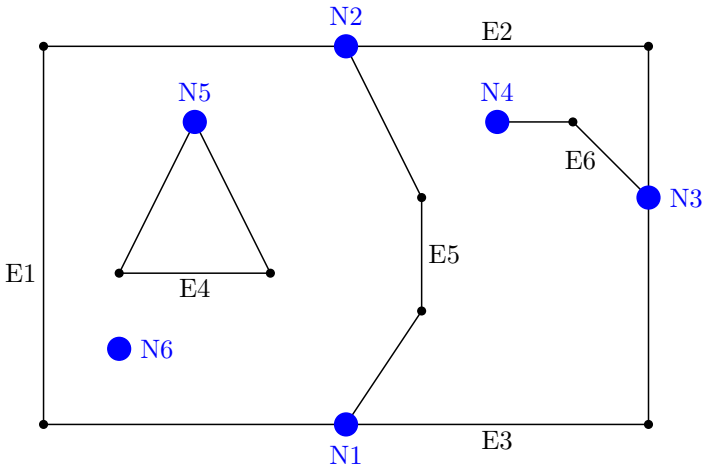
3.2.1 Vektorové modely dat

Existuje mnoho způsobů uložení vektorových dat do počítačových souborů. Během vývoje GIS byly definovány tyto základní vektorové modely:

- **Špagetový model** je přímým přepisem klasické mapy do digitální podoby. Ukládány jsou body jednotlivých čar pomocí dvojic souřadnic. Bod je reprezentován linií tvořenou jediným bodem, polygon je definován jako uzavřená linie, která definuje jeho hranice. V tomto modelu úplně chybí definice prostorových vztahů objektů. Proto

dochází často k redundanci dat (např. společné hranice polygonů). Tento model je také nevhodný k provádění jakýchkoliv analýz, neboť veškeré vztahy mezi objekty je nutné vypočítat na základě souřadnic. Vyšší prostorové operace jsou pak prakticky vyloučené.

- **Topologický model** vyjadřuje spojení a vazby mezi objekty nezávisle na jejich souřadnicích. Při změně souřadnic objektu tak zůstává uchována topologická informace. Základními topologickými objekty jsou *uzel* a *hrana*. Uzel může být samostatný bod, koncový bod hrany nebo určený bod na hraně. Hrana je pak úsek mezi dvěma uzly. Kromě souřadnic bodů jsou ve vektorovém souboru uloženy vazby mezi objekty a to pomocí topologických tabulek (tabulka spojů, tabulka uzlů). Atributy dat jsou pak uloženy v dalších speciálních tabulkách. Topologický model se velmi hodí pro analýzy založené na návaznosti nebo propojitelnosti. Má však i svoje nevýhody. U složitých sítí může být čas potřebný pro určení všech uzlů poměrně dlouhý. Také vkládání nových dat je složitější, neboť je třeba aktualizovat všechny topologické tabulky. Celkově je však model velmi vhodný pro ukládání dat prostorové povahy.



Obrázek 3.12: Topologický model vektorových dat – uzly (N) a hrany(E)

- **Hierarchický model** je založen na odděleném ukládání informací o uzlech, hranách a polygonech v logické hierarchické struktuře. Výhody se projevují především při prohledávání a manipulaci s daty. Práce s takovým modelem dat je rychlejší. Naopak složitější struktura vede k nárůstu objemu dat a také k problémům při udržení integrity dat.

3.2.2 Používané formáty vektorových dat

Stejně jako u rastrových dat, existuje řada konkrétních formátů vektorových dat. Prakticky každá větší společnost produkující GIS software disponuje vlastním formátem. Výčet

vektorových formátů nebude zdaleka tak úplný, jako u formátů rastrových. V oblasti vektorových formátů je totiž řada uzavřených firemních řešení a také tato práce je svým zaměřením orientovaná spíše na rastrová data. Uvedeny budou formáty, které jsou v tuto chvíli nejpoužívanější pro ukládání prostorových dat.

- **Shapefile**[25] je formát vyvinutý firmou ESRI. Jde o velmi jednoduchý formát, jehož specifikace byla uvolněna. Jedná se patrně o nejrozšířenější formát vektorových prostorových dat. Shapefile je složen z několika souborů. V hlavním souboru SHP je uložena grafická část dat ve špagetovém vektorovém modelu. Shapefile tedy není topologický. V souboru DBF jsou uloženy popisné informace (atributy). V dalších souborech mohou být uloženy prostorové indexy (SHX), informace o souřadnicovém systému (PRJ), ...
- **Design file (DGN)** je nativním formátem software Bentley Microstation. V tomto formátu jsou data uložena opět ve špagetovém vektorovém modelu. Tento formát není přímo určen pro GIS, proto také nenabízí možnost uložení atributů. Data jsou uložena ve vrstvách spolu s grafickými atributy pro vykreslení.
- **Geodatabáze** je nativním formátem software ESRI ArcGIS. Jde o specifický formát uložení, protože data nejsou uložena v souborech, ale v databázích. Pro osobní geodatabáze je používána platforma Microsoft Access. Použitý vektorový formát podporuje topologii. Geodatabáze je v tuto chvíli velmi nadějný formát hlavně díky podpoře topologie a rozšířenosti software firmy ESRI. Jde však o uzavřenou technologii.
- **Obecné databáze** jsou stále častěji používány pro ukládání vektorových dat. Data jsou spravována v relacích (tabulkách), které jsou propojeny pomocí tzv. klíčů. Právě tímto směrem se v současnosti ubírá vývoj ukládání vektorových prostorových dat. Existuje několik možných řešení. Data mohou být uložena v tabulkách bodů v nejjednodušším špagetovém modelu (např. ISKN[26] používá DBMS Oracle 9 a právě tabulky bodů). Druhou možností je využití klasických databázových systémů doplněných o speciální prostorové funkce a vlastnosti (např. Oracle Spatial[27] či PostGIS[28]).
- **GML** je formát založený na formátu XML. Je to standard konsorcia OGC[29], který je navržen jako výměnný formát pro vektorová prostorová data. Je využíván ve webových mapových službách a má velkou šanci stát se nejpoužívanějším formátem vektorových prostorových dat. Údaje jsou v tomto formátu ukládány v hierarchické struktuře XML.

Existuje celá řada dalších formátů, ale v této práci bohužel není prostor na jejich popis či analýzu. Vyjmenované formáty byly zmíněny pro jejich rozšířenost a také proto, aby bylo naznačeno, jakým trendem se ubírá vývoj těchto formátů (databázové uložení dat, XML).

[25] specifikace na `http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf`
[26] Informační Systém Katastru Nemovitostí
[27] nadstavba nad DBMS Oracle
[28] nadstavba nad DBMS PostgreSQL
[29] Open Geospatial Consortium

3.2.3 Vlastní vznik vektorových dat

Proces převodu obrazových dat do vektorové formy je prováděn dvěma způsoby:

- **Přímá digitalizace** využívá digitizéru, který snímá obrazové souřadnice na mapě a ukládá je do počítačového souboru. Z těchto sejmutých souřadnic lze potom v počítači konstruovat data v určitém vektorovém modelu.
- **Vektorizace** není přímou metodou digitalizace. Jako meziprodukt je třeba použít rastrový digitální obraz dat. Z rastrového do vektorového formátu je pak možné převést data pomocí vektorizace. Ta je prováděna v některém ze specializovaných software a to buď manuálně, automaticky (pomocí metod detekce hran), případně poloautomaticky (řešení konfliktů a složitých míst manuálně). Výsledkem jsou opět data v určitém vektorovém modelu.

V případě starých map dochází k přímé digitalizaci velmi vzácně. Staré mapy totiž mohou být poničeny přímým kontaktem při práci s digitizérem. Daleko běžnější metodou je vektorizace. U starých map se provádí v případě, že potřebujeme do následných analýz v GIS vektorový formát dat. Staré mapy většinou nejsou vhodné pro automatickou vektorizaci (snad s výjimkou katastrálních map). Proto také k jejich vektorizaci dochází spíše zřídka. Daleko častější je používání rastrových dat.

Příkladem použití vektorizace starých map může být projekt popsaný v odstavci 7.4. Zde byly vektorizovany vybrané prvky mapy, které je pak možné analyzovat v GIS software. Pomocí prostorových operací jsou zkoumány vztahy mezi jednotlivými mapami. Vektorizací staré mapy se také zabývá projekt 7.5. Zde je vektorizována stará mapa a poté zkoumána její přesnost pomocí různých typů transformací.

Kapitola 4

Georeferencování starých map

Georeferencování (někdy geokódování) je proces přiřazení souřadnic k obrazovým datům. V případě starých map potřebujeme rastrovému obrazu dodat informaci o jeho prostorovém umístění. Existují dva zásadní důvody, proč georeferencovat staré mapy. Za prvé je to důležité pro porovnání obsahu různých starých map mezi sebou, případně pro porovnání se současným stavem krajiny, za druhé je to důležité při prezentaci map z různých časových období v desktopové či webové aplikaci. Cílem je mít vždy data v definovaném souřadnicovém systému tak, aby byly buď všechny mapy ve stejném systému, nebo aby s nimi bylo pracováno v aplikaci, která zvládá transformace mezi použitými systémy. Z několika posledních vět by se mohlo zdát, že je vhodné georeferencovat každou starou mapu, což nemusí být pravda. V případě zkoumání starých map je to samozřejmě nezbytné, pokud se však chystáme prezentovat pouze obraz mapy bez ambice na porovnání obsahu mapy, je georeferencování zbytečné. K tomu dochází hlavně u velmi starých map, jejichž přesnost je velmi špatná. Takové mapy jsou většinou vhodné pouze k prezentaci jako neumístěná obrazová data.

Pokud se rozhodneme mapu georeferencovat, následující postup závisí na typu použité transformace identických bodů. Vždy půjde o transformaci dvou rovinných systémů, pixelových souřadnic v obrazových datech a souřadnic v soustavě, do které se snažíme mapu umístit. Identickými body mohou být buď významné body mapového rámu (rohy mapových listů, rámové značky) nebo přímo dobře identifikovatelné prvky obsahu mapy. U každé mapy je samozřejmě výběr bodů specifický. Postupy, které jsem použil já, budou popsány v kapitole 7.

4.1 Technické řešení georeferencovaných rastrů

Pokud se rozhodneme použít některou z jednoduchých transformací (shodnostní, podobnostní, afinní), není nutné data převzorkovat, pokud však použijeme některou ze složitějších transformací (projektivní, polynomickou) případně transformaci obrazu po částech, je nutné

data převzorkovat a uložit do nového rastrového souboru. Je to dáno způsobem, jakým jsou v obrazových datech uloženy informace o souřadnicovém připojení. Existuje několik způsobů, jak zaznamenat georeferenční informace o rastru, princip je však vždy stejný. Vedoucí úlohu ve formátech georeferencovaných dat drží firmy Intergraph a ESRI.

Firma Intergraph zvolila pro uložení souřadnicového připojení hlavičku svých rastrových souborů (např CIT, COT, RLE, ...). V této hlavičce je uložena tzv. homogenní transformační matice **T**:

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{pmatrix} \tag{4.1}$$

Jedná se vlastně o matici transformace upravených homogenních souřadnic v prostoru. Tato transformace má tvar:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{T}. \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \tag{4.2}$$

Prvky matice T_{14}, T_{24} představují souřadnice levého horního pixelu v obraze. Prvky $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}$ představují vlastně koeficienty zajišťující rotaci a změnu měřítka v obou rovinných osách. Pomocí těchto 6 parametrů je tedy definovaná afinní transformace v rovině (více na str. 71) mezi souřadnicemi pixelu v obrazových datech a souřadnicemi v použitém souřadnicovém systému. x, y jsou souřadnice pixelu v obrazových datech (sloupec, řádek) a x', y' jsou souřadnice pixelu v použitém souřadnicovém systému. Protože souřadnice z, z' jsou v případě rovinné transformace nulové, ostatní prvky matice nejsou pro georeferenci použity.

Firma Intergraph také podporuje vlastní definované značky (tagy) v hlavičce velmi otevřeného formátu TIFF. V tomto formátu je kromě několika povinných značek možné definovat značky vlastní, které mohou sloužit i georeferencování. Takto je rezervováno několik značek firmou Integraph, která zde používá stejnou transformační matici jako u svých formátů.

Firma ESRI použila pro georeferenci rastrů tzv. *world file*. Je to textový soubor, který je distribuován spolu s rastrem. Nejčastější formáty použití jsou TIFF, JPEG, BMP (resp. world file TFW, JGW, BPW). Rastry jsou pak distribuovány ve dvojicích souborů (např. TIFF+TFW). Soubory samozřejmě musí mít stejné názvy před příponou. Struktura *world file* je velmi jednoduchá. 6 číselných koeficientů je zaznamenáno na 6 řádcích textového souboru. Označíme-li koeficienty písmeny A až F, můžeme popsat jednotlivé koeficienty.

A	velikost pixelu v ose x
B	rotace okolo osy y
C	rotace okolo osy x
D	velikost pixelu v ose y
E	souřadnice x levého horního pixelu
F	souřadnice y levého horního pixelu

Pomocí těchto 6 parametrů je opět možné definovat afinní transformaci mezi souřadnicemi pixelu v obraze a souřadnicemi použitého souřadnicového systému. Pomocí této transformace je možné vypočítat souřadnice libovolného pixelu. Transformace má tvar

$$\begin{aligned} x' &= Ax + Cy + E \\ y' &= Bx + Dy + F \end{aligned} \tag{4.3}$$

kde x, y jsou souřadnice pixelu v obrazových datech (sloupec, řádek) a x', y' jsou souřadnice pixelu v použitém souřadnicovém systému.

Jak je vidět, obě firmy postupovaly podobným způsobem. Výhodou *world file* je velmi snadná implementace do libovolného software a také textový formát souboru, který je snadno čitelný. Nevýhodou je samozřejmě nutnost distribuce obou souborů najednou (obrazových dat a jejich připojení). Obě metody mají jednu velkou nevýhodu. V případě, že nevíme, jaký je použit souřadnicový systém, nemůžeme správně interpretovat souřadnicové připojení rastru. Tuto nevýhodu se firmy snaží vyřešit po svém. Zpravidla je k datům připojen ještě jeden soubor, který definuje použitý souřadnicový systém. Dle definice v [42] je souřadnicový systém definován:

- **geodetickým datumem**

  Geodetické datum vyjadřuje vztah souřadnicového systému k Zemi. Jedná se o definici použitého náhradního tělesa, referenčního elipsoidu, včetně jeho referenčního bodu tak, aby bylo možné jednoznačně určovat zeměpisné souřadnice.

- **kartografickým zobrazením**

  Kartografické zobrazení je matematickým vyjádřením závislosti polohy bodů na dvou různých referenčních plochách. Zpravidla je jedná o vztah zeměpisných souřadnic na referenční ploše a souřadnic v zobrazovací rovině mapy. Obvykle je definováno pomocí tzv. zobrazovacích rovnic.

- **definicí rovinné souřadnicové soustavy**

  Jde zejména o definici počátku a směru souřadnicových os. V rovině zobrazení totiž mohou být (a také někdy bývají) souřadnice redukovány (posun o konstantu), případně násobeny konstantou pro zlepšení kartografických vlastností mapy.

Následujícím způsobem je například definován souřadnicový systém S-JTSK, ve kterém jsou udržovány geodetické základy ČR. V tomto systému je také veden Katastr nemovitostí a jsou v něm vytvářeny Základní mapy ČR středních měřítek.

- Besselův elipsoid, referenční bod Hermannskogel
- Křovákovo dvojité kuželové konformní zobrazení s příslušnými konstantami
- Osu x tvoří obraz základního poledníku, její kladný směr je orientován k jihu, osa y je kolmá na osu x a její kladný směr je orientován k západu.

Při distribuci georeferencovaných rastrů by bylo vhodné znát použitý souřadnicový systém. Jak bylo zmíněno, obě firmy tento problém řeší přidáním dalšího souboru k distribuovanému rastru. Osobně jsem tento soubor použil pouze v software ArcGIS firmy ESRI, proto popíši situaci u tohoto software. Při jakékoliv operaci s rastrem v software firmy ESRI (ArcGIS) je vytvořen soubor AUX. Struktura tohoto souboru je bohužel uživateli skryta, neboť je to formát binární. Tento soubor obsahuje kromě jiného i informace o použitém souřadnicovém systému. Při opětovném načtení rastru je tento systém automaticky nastaven. Nevýhodou je samozřejmě nutnost distribuce dat v několika souborech (např. TIFF, TFW, AUX) a dále uzavřenost řešení. Informace o souřadnicovém systému samozřejmě rozpozná pouze firemní software. V nové verzi ArcGIS Desktop 9.2 je vytvářen také nový soubor typu AUX.XML, který obsahuje přímo parametry použitého souřadnicového systému ve formátu XML. Tímto krokem se definice souřadnicových systémů rastrů stává alespoň trochu otevřená.

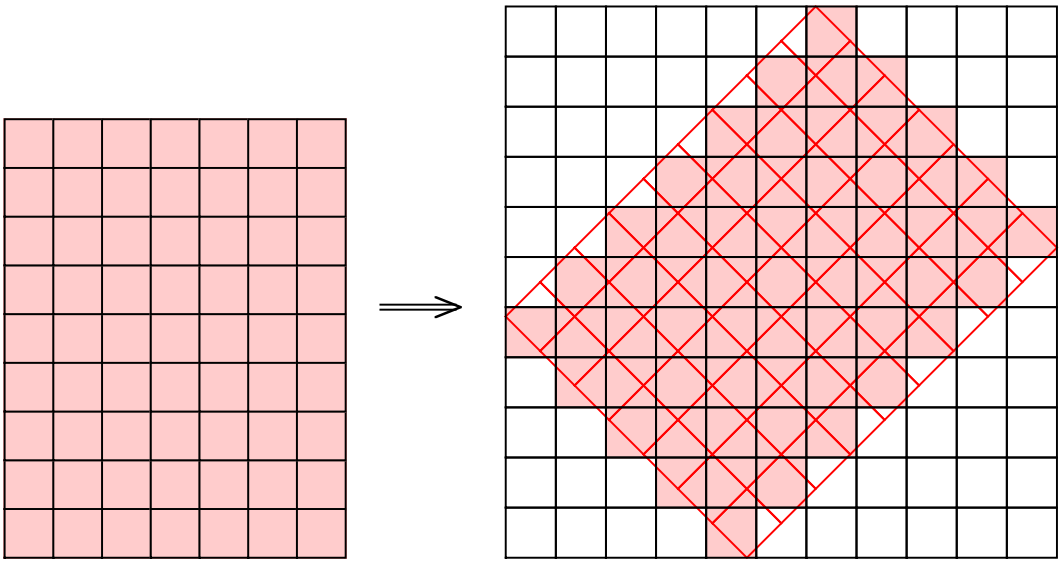
Vedle iniciativ největších firem v oblasti geoinformatiky existují i další řešení. Kromě několika velmi málo rozšířených řešení se jeví velmi slibně formát GeoTIFF. Tento formát je založen na standardu TIFF a jeho vývoj byl zahájen díky iniciativě firmy Intergraph, která začala pracovat na možnosti georeferencování formátu TIFF na počátku 90. let minulého století. Nyní je GeoTIFF schváleným standardem a je široce používán. Kromě samotné transformační matice (ta vychází z upravené transformace homogenních souřadnic v prostoru použité Intergraphem) umožňuje ukládání informací o použitém souřadnicovém systému. Tyto informace jsou v souladu s databází EPSG[1], která se běžně používá pro definici souřadnicových systémů a transformací mezi nimi. Tuto databázi využívají knihovny, které se pak v rámci GIS software starají o transformace souřadnic.

GeoTIFF je formátem, který je otevřený, a proto velmi perspektivní. Otázkou je jeho podpora v současných GIS systémech. Z vlastní zkušenosti můžu říct, že podpora u otevřených (svobodných) software je velmi dobrá, u komerčních řešení není vždy dokonalá. Mírným problémem je poměrně benevolentní možnost přidávání vlastních značek do formátu TIFF. Zde pak některé programy kolabují. I přesto považuji formát GeoTIFF za velmi vhodný pro distribuci georeferencovaných rastrů. Jako možná alternativa se jeví použití *world file*. I přesto, že jde o firemní technologii, je velmi jednoduchá a proto je snadno implementovatelná. Většina dnešních software je schopná s touto georeferencí pracovat. Také proto je

[1] zkratka European Petroleum Survey Group

tato metoda ve světě nejrozšířenější. Georeferencované rastry firmy Intergraph takovou podporu nemají a někdy bývá problematické převést data do jiného formátu. V našem prostředí k této situaci dochází u rastrů katastrálních map, které jsou ČÚZK dodávány ve formátu CIT.

Závěrem textu o technickém řešení georeferencování rastrových dat je nutné zmínit, že ne všechna programová řešení umí korektně pracovat s georeferencovanými rastry. Největší problém jim dělá natočení a zkosení rastru. Proto bývá v praxi výhodné i přesto, že to není nutné, převzorkovat data po každém novém georeferencování. Při převzorkování dochází k vypočtení nové matice pixelů, která je již souhlasně orientována s použitým souřadnicovým systémem. Dva koeficienty rotace tedy z transformace zmizí. S takto upravenými rastry pracuje většina programů bez chyby. Protože rastrová data musí být vždy uložena ve formě obdélníkové matice, dochází při natočení mapy ke vzniku „hluchých“ míst kde není žádný obraz mapy. Tyto prostory bývají vyplněné černou, bílou nebo náhodnou barvou (podle implementace v daném software). Větší představu o tomto problému dává obrázek 4.1. Nevýhodou převzorkování je samozřejmě ztráta informací v mapě. Zde se ukazuje, že je velmi důležité počítat při skenování staré mapy s tím, že před výslednou vizualizací může dojít i k několikerému převzorkování. S ohledem na tuto skutečnost je nutné uvážlivě volit hustotu skenování. O převzorkování rastrů pojednává odstavec 3.1.5.4.



Obrázek 4.1: Převzorkování natočeného rastru

Postup georeferencování starých map je velmi složitým problémem. Je to však nezbytný krok k možnosti porovnání přesnosti obsahu map nebo k porovnání vývoje prvků krajiny na mapách. Pokud jsou tyto mapy georeferencované, není problémem porovnat mapy v prostředí GIS. Otázkou zůstává, kdy se mapu vyplatí georeferencovat a kdy už ne. Pokud je totiž mapa velmi nepřesná, je velice těžké data porovnávat. V zásadě může dojít ke dvěma případům georeferencování, které souvisí s použitým souřadnicovým systémem.

Pokud známe původní (autorem použitý) souřadnicový systém, je vhodné data georeferencovat v tomto souřadnicovém systému. Hlavním motivem pro tento krok je snaha nedeformovat obraz mapy. Problémů však nastává hned několik. Pokud je tento systém dnes již nepoužívaný, neexistují pro něj definice v databázích zobrazení (např. EPSG). Jediným řešením je pak vlastní definice takového systému s tím, že většina ostatních uživatelů nebude schopná s daty korektně pracovat.

Druhou možností je využít některý ze současných souřadnicových systémů tak, aby byla data i dnes jednoduše použitelná. Zde je problémem transformace identických bodů (ať již na rámu nebo přímo v mapě) ze starého souřadnicového systému do nového. Je velmi důležité, zvolit správný typ transformace, aby došlo k co nejmenší ztrátě informace o poloze objektů v mapě. Také výběr identických bodů je klíčovou záležitostí. Představu o složitosti celého postupu dává Čada v [12]. Pro převod mezi souřadnicovým systémem Stabilního katastru a S-JTSK vytvořil globální transformační klíč zahrnující identické body z triangulace Stabilního katastru a nereziduální transformaci Thin Plate Spline (více viz odstavec 4.2.2.2).

4.2 Transformace souřadnic

Transformace souřadnic obecně představují vztah mezi dvěma souřadnicovými systémy. V případě starých map se omezíme pouze se transformace v rovině, neboť nám půjde vždy o vztah rovinných souřadnic v mapě (digitalizovaném obrazu) a rovinných souřadnic ve zvoleném souřadnicovém systému. Samotné transformace je možné rozdělit na dvě základní skupiny:

- transformace s globálním klíčem

  Tyto transformace jsou jasně definovány matematickými vztahy mezi souřadnicemi zdrojové a cílové souřadnicové soustavy. V rovině jde tedy o dvě transformační rovnice (po jedné pro každou souřadnici). Těmito rovnicemi (parametry rovnic jsou často nazývány klíčem) jsou pak body transformovány ze zdrojové do cílové soustavy. Příkladem takových transformací jsou v geodézii běžně používané podobnostní či afinní transformace.

- transformace s lokálním klíčem

  Do této skupiny patří transformace, které nemají jednotný transformační klíč pro celé transformované území. Klíč je počítán buď pro každý transformovaný bod zvlášť, nebo je počítán pro dílčí plochy (trojúhelníky, čtyřúhelníky).

4.2.1 Transformace s globálním klíčem

Pro vysvětlení základních transformací, které používají globální klíč, je vhodné použít tzv. *homogenní souřadnice*. Ty jsou definovány:

Definice 2 *Uspořádaná trojice čísel* $[x, y, w]$ *představuje homogenní souřadnice bodu* P *s kartézskými souřadnicemi* $[X, Y]$ *ve dvou rozměrech, platí-li:*

$$X = \frac{x}{w}, Y = \frac{y}{w}, W \neq 0 \tag{4.4}$$

Pomocí homogenních souřadnic je velmi jednoduché popsat základní geometrické operace probíhající při transformaci souřadnic, jakými jsou posunutí, rotace, změna měřítka a zkosení.

4.2.1.1 Posunutí

Posunutí nebo také translace (*translation, move*) bodu P je určeno vektorem posunutí $\vec{p} = (X_t, Y_t)$. Matice posunutí $\mathbf{T}$ a inverzní matice $\mathbf{T^{-1}}$ mají tvar

$$\mathbf{T}(X_t, Y_t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & X_t \\ 0 & 1 & Y_t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad \mathbf{T^{-1}}(X_t, Y_t) = \mathbf{T}(-X_t, -Y_t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -X_t \\ 0 & 1 & -Y_t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{4.5}$$

4.2.1.2 Otočení

Otočení nebo rotace(*rotation*) bodu P kolem počátku soustavy souřadnic o úhel α je dáno maticí rotace $\mathbf{R}$. Tato matice a inverzní matice $\mathbf{R^{-1}}$ mají tvar

$$\mathbf{R}(\alpha) = \begin{pmatrix} cos(\alpha) & -sin(\alpha) & 0 \\ sin(\alpha) & cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad \mathbf{R^{-1}}(\alpha) = \begin{pmatrix} cos(\alpha) & sin(\alpha) & 0 \\ -sin(\alpha) & cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{4.6}$$

4.2.1.3 Změna měřítka

Změna měřítka (*scale*) ovlivňuje polohu i velikost transformovaného objektu ve směru souřadnicových os. Když je absolutní hodnota koeficientu v intervalu $(0, 1)$, dochází ke zmenšení a k posunutí směrem k počátku. Když je absolutní hodnota koeficientu větší než 1, dochází ke zvětšení a k posunu směrem od počátku. Pokud je hodnota koeficientu záporná, dochází ke zvětšení či zmenšení v opačném směru. Koeficienty změny měřítka v obou osách (s_x, s_y) mohou být stejné, ale i různé. Potom dochází k nestejnoměrné změně měřítka v různých směrech. Speciálními případy jsou možnosti, kdy jsou koeficienty rovné 1 nebo -1. Poté dochází k souměrnosti (symetrii). Může dojít k těmto možnostem:

- totožnost $\qquad s_x = 1, \quad s_y = 1$

- středová souměrnost $s_x = -1, \quad s_y = -1$
- osová souměrnost podle osy x $s_x = -1, \quad s_y = 1$
- osová souměrnost podle osy y $s_x = 1, \quad s_y = -1$

Příslušná matice změny měřítka $\mathbf{S}$ a inverzní matice $\mathbf{S^{-1}}$ mají tvar

$$\mathbf{S}(s_x, s_y) = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad \mathbf{S^{-1}}(s_x, s_y) = \mathbf{S}\left(\frac{1}{s_x}, \frac{1}{s_y}\right) = \begin{pmatrix} \frac{1}{s_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{s_y} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{4.7}$$

4.2.1.4 Zkosení

Zkosení (*shear*) je možné provést ve směru jednotlivých os pomocí koeficientů (sh_x, sh_y).

Příslušná matice zkosení ve směru osy x $\mathbf{Sh_x}$ a ve směru osy y $\mathbf{Sh_y}$ mají tvar

$$\mathbf{Sh_x}(sh_x) = \begin{pmatrix} 1 & sh_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad \mathbf{Sh_y}(sh_y) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ sh_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{4.8}$$

4.2.1.5 Skládání transformací

Jednotlivé geometrické operace je možné skládat. Vzhledem k tomu, že máme všechny operace vyjádřené pomocí homogenních souřadnic (v maticích 3 x 3), ke skládání dochází prostým násobením matic. Samozřejmě záleží, v jakém pořadí budou operace aplikovány. Pokud transformaci zapíšeme jako $P' = \mathbf{A_1}.P$, potom přidání další operace (A_2), je provedeno jako přidání matice do součinu zleva. Výsledkem je tedy tvar $P' = \mathbf{A_2}.\mathbf{A_1}.P$.

Různým skládáním základních operací získáme známé typy používaných transformací.

4.2.1.6 Shodnostní transformace

Shodnostní transformace představuje posunutí a rotaci souřadnic. Měřítko zůstává nezměněné. Tato transformace se využívá v případech, kdy potřebujeme zachovat původní měřítko. V případě starých map se nabízí použití při transformaci staré mapy do lokálního souřadnicového systému, ve kterém bude dále provedena např. vektorizace. Lokální systém se zde využívá proto, že v originálním obraze není jednoduché definovat počátek a směr souřadnicových os. Proto se v lokálním systému zvolí snadno identifikovatelný počátek a dále směr jedné z os na dobře identifikovatelný bod. Pokud chceme pracovat s mapou v původním

měřítku, je nutné použít právě shodnostní transformaci. Tato transformace je konformní a nezkresluje délky.

Po úpravách dostáváme tvar transformačních rovnic

$$\begin{aligned} X' &= Xcos(\alpha) + Ysin(\alpha) + X_t \\ Y' &= -Xsin(\alpha) + Ycos(\alpha) + Y_t \end{aligned} \tag{4.9}$$

Jak je vidět z rovnic, vystupují zde 3 neznámé (α, X_t, Y_t). Pro určení těchto neznámých parametrů jsou tedy nutné 3 rovnice (3 souřadnice identických bodů v obou soustavách). Prakticky se vždy používají alespoň 4 rovnice (dva úplné identické body). Pokud se rozhodneme použít tuto transformaci při zpracování starých map, zpravidla volíme jeden z bodů jako počátek cílové soustavy a druhý z bodů na jedné ze souřadnicových os. Jeho staničení na ose se určí ze vzdálenosti obou bodů ve zdrojovém obraze. Při použití 4 a více identických souřadnic (tedy při nadbytečném počtu parametrů) je možné použít některou z metod vyrovnání, zpravidla metodu nejmenších čtverců (MNČ).

4.2.1.7 Podobnostní transformace

Podobnostní transformace představuje posunutí, rotaci a změnu měřítka (stejnou v obou osách). Tato transformace se využívá v případech, kdy chceme zachovat prostorové vztahy mezi objekty v obraze. Ten není nijak deformován, pouze otočen, posunut a zvětšen či zmenšen. Tato transformace je často používána v geodézii. V aplikaci na staré mapy je možné tuto transformaci použít při nejjednodušším způsobu georeferencování na identické body. Samozřejmě se omezujeme na konstantní změnu měřítka v celém obraze. Podobnostní transformace je konformní, zachovává rovnoběžnost přímek. Po úpravách dostáváme tvar transformačních rovnic

$$\begin{aligned} X' &= qXcos(\alpha) + qYsin(\alpha) + X_t \\ Y' &= -qXsin(\alpha) + qYcos(\alpha) + Y_t \end{aligned} \tag{4.10}$$

Jak je vidět z rovnic, vystupují zde 4 neznámé (α, q, X_t, Y_t). Pro určení těchto neznámých parametrů jsou tedy nutné 4 rovnice (4 souřadnice identických bodů v obou soustavách). Pokud se rozhodneme použít tuto transformaci při georeferencování starých map, zpravidla volíme více identických bodů, pokud možno rovnoměrně rozmístěné v celém obraze. Tím nejlépe docílíme určení hodnoty koeficientu změny měřítka. Při použití více identických souřadnic (tedy při nadbytečném počtu parametrů) je možné použít některou z metod vyrovnání, zpravidla metodu nejmenších čtverců (MNČ). Podobnostní transformace, jejíž parametry jsou vyrovnány MNČ, se nazývá *Helmertova transformace*.

4.2.1.8 Afinní transformace

Afinní transformace představuje kromě posunutí, rotace a změny měřítka v obou souřadnicových osách i zkosení obrazu. Více se tedy hodí pro transformaci obrazových dat, které jsou ovlivněny srážkou původního média dat (papír, fólie). Tato srážka může být specifická v různých směrech, což odhalí právě afinní transformace. Obraz navíc může být deformován zkosením.

Afinní transformace je nejpoužívanější z jednoduchých transformací používaných v kartografii. Pokud jsou rastrová data transformována do souřadnicových systémů pomocí globálního transformačního klíče, je tato transformace patrně nejlepší. Této metody bylo dříve používáno při transformování rastrových map Stabilního katastru do S-JTSK.

Protože u afinní transformace nelze hovořit o jediném úhlu stočení, nepoužívá se ani ostatních parametrů k vyjádření transformačních rovnic. Zpravidla se používají pouze koeficienty posunutí a dále obecné koeficienty představující změnu měřítka a stočení (např. $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$). Dostáváme tvar transformačních rovnic

$$\begin{aligned} X' &= a_{11}X + a_{12}Y + X_t \\ Y' &= a_{21}X + a_{22}Y + Y_t \end{aligned} \tag{4.11}$$

V afinní transformaci vystupuje 6 neznámých. Pro určení těchto parametrů je tedy nutné znát 6 identických souřadnic (3 identické body). Pokud se tato transformace používá při georeferencování starých map, zpravidla volíme více identických bodů, pokud možno rovnoměrně rozmístěné v celém obraze. Při použití více identických souřadnic (tedy při nadbytečném počtu parametrů) je možné opět použít některou z metod vyrovnání, zpravidla metodu nejmenších čtverců (MNČ).

Afinní transformace je vlastně případem polynomické transformace 1. řádu. Při použití třech identických bodů dochází ke ztotožnění jejich souřadnic. Toho je s výhodou využito při transformaci po částech v trojúhelníkové síti (viz odstavec 4.2.2.3). Afinní transformace není konformní, zachovává však rovnoběžnost přímek.

4.2.1.9 Projektivní transformace

Projektivní (kolineární) transformace je obecnou lineární transformací homogenních souřadnic. V transformační matici je použito všech 9 prvků. Tato transformace je známá především z fotogrammetrie, představuje totiž vztah transformace mezi dvěma rovinami při středovém promítání. Po úpravách dostáváme následující transformační rovnice

$$X' = \frac{a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}}{a_{31}X + a_{32}Y + 1}$$

$$Y' = \frac{a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}}{a_{31}X + a_{32}Y + 1} \tag{4.12}$$

V projektivní transformaci vystupuje celkem 8 neznámých. Pro určení těchto parametrů je tedy nutné znát 8 identických souřadnic (4 identické body). Při transformaci obrazových dat starých map je používána hlavně v případech, kdy je obraz transformován právě na 4 identické body (zpravidla rohy mapového listu). V tomto případě dochází ke ztotožnění na těchto bodech. Toho je také využito při transformaci po částech ve čtyřúhelníkové síti. (viz odstavec 4.2.2.4). Projektivní transformace není konformní, nezachovává rovnoběžnost přímek, zachovává však tzv. dvojpoměr v rámci čtveřice bodů ležících na přímce.

4.2.1.10 Polynomické transformace

Po výčtu základních lineárních transformací přicházejí na řadu složitější transformace. Polynomické transformační rovnice jsou dány polynomy až do stupně n. V praxi se zpravidla setkáváme s polynomy 2. a 3. stupně. Transformační rovnice polynomů 2. stupně vypadají následovně

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4XY + a_5Y^2 \\ Y' &= b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Po snadném odvození dostáváme minimální počet identických souřadnic pro polynomické transformace na $n^2 + 3n + 2$, kde n je stupeň polynomu. Identických bodů je tedy potřeba dvakrát méně. Polynomické transformace vyšších stupňů převádějí obrazy přímek na křivky, nejsou konformní. Také dochází k výrazné deformaci obrazu. Tyto transformace jsou používány v případě, že obrazová data samotná jsou velmi deformovaná a je předpoklad jejich zkreslení právě podle nějaké polynomické funkce. Nezbytné je použití většího počtu identických bodů tak, aby mohlo dojít k vyrovnání. Při použití polynomů vyšších stupňů bývá užitečné použít odlišné stupně pro obě souřadnice. Většinou pak před samotnou transformací probíhá testování odchylek na identických bodech a středních chyb z vyrovnání. Vybrány jsou zpravidla stupně polynomů, které mají ještě výrazný vliv na změnu odchylek a středních chyb.

Kromě běžných polynomů je možné použít i některé speciální polynomy. Používány jsou např. Čebyševovy polynomy na intervalu $\langle -1, 1 \rangle$.

4.2.2 Transformace s lokálním klíčem

Do této chvíle byly probírány transformace představující vždy dvě rovnice (pro každou souřadnici jedna) použité pro transformaci celého území. Existují však případy, kdy chceme, aby se transformační klíč přizpůsobil lokálním deformacím. Existují vlastně dvě možnosti:

- najít transformační vztahy, které zohledňují lokální deformace
- rozdělit území na více částí a transformovat je po částech

Existuje samozřejmě velké množství možností, jak daný problém vyřešit. Zde budou uvedeny pouze transformace, které jsou v praxi používány. Do skupiny transformací zohledňující lokální deformace patří *Jungova transformace* nebo *Thin Plate Spline transformace (TPS)*. Pokud jde o transformaci po částech, jsou používány dvě metody, a to rozdělení oblasti na trojúhelníky (triangulace) a rozdělení oblasti na čtyřúhelníky.

4.2.2.1 Jungova transformace

Jungova transformace patří mezi tzv. *nereziduální transformace*. Ty mají tu vlastnost, že provádějí ztotožnění na identických bodech nezávisle na jejich počtu či konfiguraci. Většinou se tyto transformace používají jako druhý krok po globálních transformacích kvůli odstranění zbytkových odchylek na identických bodech. Z tohoto nejčastějšího použití pochází i jejich označení *dotransformace*.

Jungova transformace distribuuje odchylky na identických bodech tak, že odchylky pro libovolný transformovaný bod se spočtou jako vážený průměr odchylek na všech identických bodech, přičemž váhy jsou nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti identického bodu od transformovaného bodu. Odchylky se počítají zvlášť pro obě souřadnice x, y. Matematické vztahy vypadají následovně:

$$\delta_{x_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_{ij}.\delta_{x_i}}{\sum_{i=1}^{n} p_{ij}}, \qquad \delta_{y_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_{ij}.\delta_{y_i}}{\sum_{i=1}^{n} p_{ij}} \tag{4.14}$$

$$\text{kde} \quad p_{ij} = \frac{1}{s_{ij}^2} \quad \text{a} \quad s_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Nepříjemnou vlastností Jungovy transformace ja fakt, že vliv velké odchylky nebo skupiny větších odchylek působí i v blízkém okolí bodů, které vykazují zcela jinou odchylku. Velmi pěkně je popsána distribuce odchylek v [13]. Jungova transformace byla také využita v projektu popsaném v odstavci 7.3.

4.2.2.2 Thin Plate Spline transformace

Thin Plate Spline transformace (TPS) je alternativou k Jungově transformaci. Opět se jedná o nereziduální transformaci. Model transformace je založen na deformaci nekonečného a nekonečně tenkého kovového plátu. Samotná transformace je dána lineární částí (afinní

transformace) a nelineární částí, která řeší lokální deformace. Nelineární část TPS transformace rozděluje odchylky tak, aby byl zachován plynulý obraz interpolační křivky. To je dáno podmínkou minimální deformační energie pro změnu tvaru kovového plátu. Transformační vztahy jsou dány rovnicemi:

$$\begin{aligned} Y_j &= a_y + b_y.x_j + c_y.y_j + \sum_{i=1}^{n} d_{iy}.U(r_{ij}) \\ X_j &= a_x + b_x.x_j + c_x.y_j + \sum_{i=1}^{n} d_{ix}.U(r_{ij}) \end{aligned} \tag{4.15}$$

$$\text{kde} \quad U(r_{ij}) = r_{ij}^2.\log(r_{ij}) \quad \text{a} \quad r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Pro výpočet koeficientů v rovnicích 4.15 je potřeba vyřešit soustavu $(n + 3)$ lineárních rovnic pro každou souřadnici. Základní rozdíl mezi TPS a Jungovou transformací je ve vlivu odchylek na identických bodech. Zatímco v okolí identického bodu je vliv deformace u obou transformací velmi podobný, TPS působí jinak na vzdálenější body. Nelze jednoznačně určit, která transformace je výhodnější. Z dostupné literatury se právě TPS ukazuje jako nejvhodnější metoda pro odstranění lokálních deformací.

4.2.2.3 Triangulace

Kromě využití přímých transformačních vztahů se často používají transformační metody, které provádějí transformace po částech obrazu. Někdy je tato metoda označována jako *rubber-sheeting*. Nejběžnějším způsobem je dělení prostoru na nepravidelné trojúhelníky, jejichž vrcholy jsou tvořeny identickými body. Dochází zde k jisté analogii s modelováním povrchů pomocí TIN. Rozdělení prostoru na trojúhelníky se nazývá *triangulace*. Při zpracování obrazových dat se používá tzv. zúžená definice triangulace:

Definice 3 *Pokud body z množiny P spojíme úsečkami, které se vzájemně neprotínají, takovým způsobem, že každá vnitřní oblast konvexní obálky těchto bodů je součástí trojúhelníka, je tím vytvořena triangulace.*

Vlastnosti takto definované triangulace jsou následující:

- každý bod $P_i \in P$ je vrcholem minimálně jednoho trojúhelníka
- průnik vnitřních oblastí libovolných dvou trojúhelníků je prázdný
- sjednocení všech trojúhelníků tvoří konvexní obálku bodů množiny P

Definovaná triangulace je samozřejmě nejednoznačná. K samotnému výběru trojúhelníků dochází většinou na základě určitých optimalizačních kritérií. Poté je vybrána ta triangulace, která nejlépe splňuje daná kritéria. Existuje řada používaných kriterií, která jsou

založena na optimalizaci úhlů, vzdáleností, výšek či poloměrů opsaných nebo vepsaných kružnic trojúhelníků. Ze všech triangulací vyniká tzv. *Delaunayova triangulace*, která je patrně nejpoužívanější v oblastech modelování povrchů:

Definice 4 *Triangulace je Delaunayovou triangulací pokud platí, že uvnitř kružnice opsané libovolnému trojúhelníku neleží žádný další bod jiného trojúhelníka téže triangulace.*

Tato triangulace je optimální z hlediska minimalizace opsaných kružnic a z hlediska maximalizace minimálního úhlu v trojúhelnících. Pokud žádné čtyři body neleží na kružnici, je jednoznačná. Často bývá zmiňována dualita této triangulace s Voronoiovým diagramem.

Pokud máme prostor rozdělen na trojúhelníky, je třeba zvolit transformační model, který bude použit. Nejjednodušší a zároveň nejrozšířenější metodou je použití lineárního modelu. Pokud si odchylky na identických bodech představíme jako třetí rozměr (kolmý na rovinu obrazu), je jako transformační plocha využita rovina procházející těmito třemi body. Odchylky na určovaných bodech jsou tedy dány lineárními rovnicemi v rovině, vlastně afinní transformací. V každém trojúhelníku je určeno šest neznámých parametrů afinní transformace pomocí souřadnic tří vrcholů. Výhody tohoto postupu jsou především v jeho jednoduchosti. Vlastnosti transformovaných oblastí odpovídají vlastnostem afinní transformace. Na styku dvou trojúhelníků dochází k návaznosti kresby (vlastnost afinní transformace), avšak např. linie mohou být zalomeny. To je dáno tím, že použitá transformační plocha není hladká (obecný mnohostěn).

Kromě lineárního modelu je možné transformovat trojúhelníkové oblasti pomocí hladkých povrchů. V tomto případě požadujeme plynulou návaznost transformačních ploch nad jednotlivými trojúhelníky. Je proto nutné zajistit, aby plochy měly vždy společné tečné roviny v místě vrcholů. Toho je možné dosáhnout váhováním koeficientů rovnic vrcholových ploch. Výsledná rovnice plochy nad každým trojúhelníkem je dána váženým průměrem rovnic třech vrcholových ploch. Doubrava [13] popisuje kvadratický a kvazikvadratický model, který byl využit při testování různých metod realizace globálního transformačního klíče (GTK) pro převod map ze souřadnicového systému Stabilního katastru do S-JTSK. Kvazikvadratický model byl následně využit i v realizaci GTK. Jinou implementaci tohoto modelu jsem nenalezl, pravděpodobně kvůli složitosti celé metody. Její použití však může být velmi výhodné tam, kde požadujeme rovnoměrnější rozdělení odchylek než dává lineární model.

4.2.2.4 Transformace po čtyřúhelnících

Kromě dělení prostoru na trojúhelníky je druhou možností rozdělení na čtyřúhelníky. Takové sítě se v praxi moc nepoužívají, nicméně mohou mít své výhody. Toto rozdělení obrazu mapy lze totiž využít v případech, kdy máme identické body na rámu mapy. Poté je výhodné rozdělit celý obraz na čtyřúhelníky rozřezáním podle rámových značek. Každá část obrazu je pak transformována zvlášť a dochází k odstranění nerovnoměrných deformací. Využít takového způsobu lze pro odstranění srážky mapových listů. Jako identické body

zde vystupují rámové značky (vždy protilehlé) a dále jejich známá skutečná poloha. Jako transformační metoda je používána projektivní transformace, neboť ztotožňuje právě čtyři identické body (rohy).

Této metody bylo využito Doubravou [13] pro odstranění srážky mapových listů Stabilního katastru. Pomocí metody plátování je mapový list rozdělen na dílčí čtyřúhelníkové oblasti. Ty jsou pak transformovány projektivní transformaci na čtyři vypočítané (správné) rohy každé oblasti. Výsledkem je spojitá oblast obrazu mapového listu opravená o srážku papíru. Nevýhodou této metody je použití projektivní transformace, která na styku dvou transformovaných oblastí způsobuje nenávaznost kresby. Většinou deformace map nejsou tak velké, že by byly nenávaznosti znatelné, někdy se však mohou projevit. Potom je nutné hledat další řešení pomocí nereziduálních transformací.

4.2.3 Zhodnocení jednotlivých transformací

Pokud bych měl zhodnotit jednotlivé typy transformací, nelze s určitostí říct, která z nich je nejlepší. Každá má své specifické vlastnosti, které se mohou hodit v různých případech. Dodnes je nejpoužívanější transformací pro staré mapy afinní transformace, která je také nejvíce implementována v různém software. Při transformaci na rohy mapových listů či na rohy oblastí při transformaci po částech je výhodné použít projektivní transformaci. Její implementace již není běžnou výbavou GIS software. Pro transformace rastrových dat pomocí projektivní transformace nelze využít ani základní software dvou největších firem ESRI (ArcGIS) a Intergraph (GeoMedia), naopak ji podporuje český software KOKEŠ. Také v oblasti svobodného software není situace nejlepší. Většina produktů podporuje pouze afinní transformaci či polynomické transformace různých stupňů.

Pokud jde o transformace s lokálním transformačním klíčem, v posledních letech se stala velmi populární TPS (více v [12], [13]). Ta dává zpravidla lepší výsledky než jednodušší Jungova transformace. Při georeferencování starých map je velmi používanou metodou transformování po částech, zpravidla po trojúhelnících. Tyto transformační techniky jsou implementovány na různé úrovni. V komerčním software zpravidla dochází k tomu, že nejsou popsány použité algoritmy a transformace pak pracuje jako „černá skříňka“. U nejrozšířenějšího GIS software ArcGIS prozkoumala situaci Pomykaczová [33].

Já osobně používám ve svých projektech různé typy transformací. V kapitole 8 jsou popsány navržené technologie georeferencování starých map. Zpravidla platí, že pro díla s přesně definovaným kladem nebo přesným mapovým rámem můžeme použít projektivní transformaci, pro mapy, které se transformují pomocí identických bodů v mapě je vhodné použít afinní transformaci pro přesnější mapy, transformaci po částech pro méně přesné mapy.

Při georeferencování je důležité si uvědomit i další faktory ovlivňující přesnost mapy. Prvním z nich je srážka analogového média na kterém je mapa vytištěna či vykreslena, druhým pak použité kartografické zobrazení. Srážka mapy se dá odstranit pouze při znalosti přesných rozměrů originálu (např. tiskových desek). Zjišťování použitých kartografických

zobrazení na starých mapách je složitým problémem, pokud nemáme k dispozici mapový rám se souřadnicemi, případně zmínku o použitém zobrazení v některém z písemných dokumentů týkajících se mapy. Správný postup při georeferencování staré mapy tedy začíná odstraněním srážky papíru (pokud známe přesné rozměry), poté následuje pokus o určení použitého kartografického zobrazení. Teprve následně je mapa převedena do některého ze současných souřadnicových systémů.

Kapitola 5

Metody webové prezentace map

Pokud máme k dispozici digitalizovaná data (ať už georeferencovaná či nikoliv), je důležité rozhodnout, jakým způsobem budou distribuována k uživatelům. Do nedávna byla distribuce starých map prováděna na digitálních záznamových médiích (zpravidla CD). Kvůli velkému objemu dat neexistovala jiná možnost. S nástupem celosvětové sítě Internet a hlavně se zvýšením přenosové rychlosti v této síti se začaly prosazovat i metody distribuce právě pomocí Internetu.

Historie Internetu sahá do konce 60. let minulého století, kdy byla vytvořena zkušební síť ARPANET, která měla sloužit Ministerstvu obrany USA jako spolehlivá telekomunikační síť schopná přežít jadernou válku. V roce 1983 byl jako základní protokol komunikace v síti zvolen *Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP)*. Tento standardizovaný protokol umožňuje komunikaci mezi počítači s rozdílným hardware a různými operačními systémy. Při práci v síti Internet vždy rozlišujeme dvě strany komunikace. *Klient* je počítač, který vysílá nějaký požadavek, *server* je počítač, který vyhodnocuje požadavek a vrací klientovi odpověď. V případě jednoduché distribuce dat bude server počítač s uloženými daty, klient bude běžný kancelářský počítač uživatele. Standard TCP/IP zastřešuje celou skupinu protokolů, které umožňují fungování různých internetových služeb. Existují protokoly v přenosové vrstvě (např. TCP, UDP), protokoly síťové (např. IP, DHCP) i další. Z uživatelského hlediska jsou nejdůležitější protokoly v aplikační vrstvě. Pomocí těchto protokolů komunikují internetové aplikace mezi sebou.

- **FTP**[1] slouží k základnímu sdílení dat mezi počítači. Touto službou je možné přes Internet distribuovat a stahovat objemná data.
- **TELNET**[2] slouží ke vzdálené emulaci terminálu. Pomocí tohoto protokolu je možné vzdálené připojení k serveru.
- **e-mailové protokoly** (SMTP, IMAP, POP3) jsou určeny pro přenos a přístup k elektronické poště.

[1] File Transfer Protocol
[2] Terminal Emulation Protocol

- **HTTP**[3] je nejpoužívanější protokol vůbec. Slouží k přenosu hypertextových stránek. Služba, která zajišťuje přenos, se nazývá World Wide Web (WWW).

Pokud se rozhodneme využít Internetu k distribuci map, máme na výběr prakticky pouze protokoly FTP a HTTP. Pokud se rozhodneme obrazová data pouze sdílet (bez klientské aplikace), můžeme použít protokol FTP. Uživatel pak má na výběr pouze stažení dat v určité adresářové struktuře serveru. Internet zde funguje pouze pro přenos. Prohlížení dat či jiná manipulace je možná až po stažení na lokální počítač.

Druhou možností je využití standardní metody klient–server. Zde již probíhá komunikace pomocí protokolu HTTP. Ten je schopný přenášet obrazová data, která jsou na klientském počítači zobrazena v běžící aplikaci (zpravidla webovém prohlížeči). Opakovanými požadavky je možné docílit interaktivní práci s mapou (posun, změna měřítka). Úroveň interaktivity závisí zejména na možnostech klientské aplikace a na způsobu práce s daty na serveru (statická data, dynamicky generovaná data).

Třetí, nejpokročilejší metodou distribuce obrazových dat přes Internet, jsou tzv. *webové mapové služby*. Služba běží na serveru, jejím klientem však nemusí být pouze uživatelský počítač, ale třeba jiný server. Protože jsou data distribuována ve standardním formátu, mohou být sdílena mezi servery. U webových služeb tak dochází na rozdíl od běžné komunikace klient–server ke komunikaci server–server, která je uživateli skryta.

5.1 Pouhé sdílení dat

Pokud se rozhodneme digitalizované staré mapy pouze sdílet, je určitě nejlepší metodou služba FTP. Samotná statická data by jistě šlo sdílet i pomocí služby WWW, nicméně návrh protokolu HTTP není určen pro přenos velkých objemů, a tak bych tuto možnost nedoporučoval. Sdílení je dnes možné i přes velmi populární prostředky P2P (peer–to–peer).

Nabídnout k dispozici rastrové staré mapy pouze pomocí sdílení se mi nejeví jako dobrá možnost. Pokud by měla být tato služba efektivní, doporučoval bych ji jako doplňkovou k nějaké webové aplikaci. Stahování desítek až stovek MB je totiž velkou zátěží pro síť a pro většinu uživatelů naprosto zbytečnou. Málokdo potřebuje pracovat lokálně s celým originálním rastrovým souborem. Otázkou také zůstávají autorská práva k digitalizované staré mapě. Pokud bychom chtěli tato data nějak ošetřit před zneužitím (např. neoprávněným tiskem a prodejem), je nutné data označit vodoznakem. Ve webových aplikacích lze naproti tomu zajistit nemožnost stažení celého originálního obrazu, případně tuto možnost alespoň zkomplikovat.

Pokud máme k dispozici vektorová data digitalizovaných starých map v běžně používaných formátech (Shapefile, DGN, Geodatabáze), je sdílení naopak jednou z mála možností distribuce. Málokteré serverové aplikace umí přímo distribuovat vektorová data. Obvykle

[3]Hypertext Transfer Protocol

jsou použity mapové servery (viz dále), které umí zpracovat vektorový obraz a převést ho buď na standard GML nebo do rastrové podoby. Distribuovány jsou pak místo vektorových dat opět rastry. GML je tedy cestou, jak distribuovat vektorová data na internetu. Hlubší analýza formátu GML a jeho využití je bohužel příliš vzdálené tématu této práce.

5.2 Technologie klient–server

Technologie klient–server zaručuje přímou interakci mezi uživatelem a daty na serveru. Aby celá technologie fungovala, musí na serveru neustále běžet aplikace, která zpracovává požadavky klientů a vrací jim odpovědi. Taková aplikace se nazývá *webový server* (někdy HTTP server). Klientem na uživatelské straně pak bývá většinou aplikace schopná zobrazit hypertext v jazyce XHTML, *webový prohlížeč*. Celý proces komunikace mezi klientem a serverem na příkladu jednoduché webové stránky s obrázky probíhá následovně:

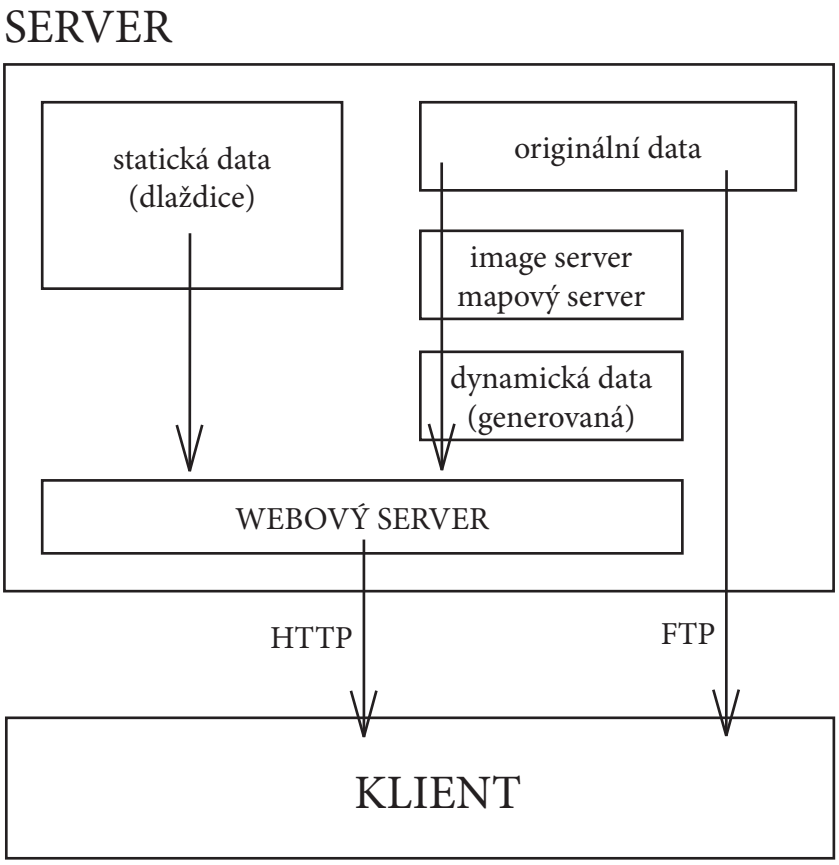
1. Po zadání adresy ve webovém prohlížeči je vyslán HTTP požadavek na server.
2. Server najde žádaný dokument XHTML, vloží do něj rastrové obrazy.
3. Celá webová stránka včetně obrazů je poslána jako příloha HTTP odpovědi
4. Webová stránka je zobrazena v prohlížeči

Vzhledem k tomu, že přenos protokolem HTTP musí být co nejrychlejší (kvůli interaktivitě), není vhodné pracovat s velkými objemy dat. Obvykle vyžadujeme objem pouze v řádu kB. Proto je nutné podívat se na to, jak mohou být rastrové obrazy uloženy na serveru. Rastrová data mohou být na serveru uložena buď ve své primární podobě (případně nějak komprimována či speciálně uložena nebo pyramidována), nebo již nějak předpřipravena pro distribuci po Internetu. Tato příprava nejčastěji zahrnuje „rozsekání“ obrazu na dlaždice. Na serveru jsou pak uložené pouze malé rastrové obrazy (zpravidla 256 x 256 pixelů), které jsou již vhodné k přímé distribuci. Pokud jsou data připravena ve formě dlaždic, mluvíme o *statických datech*. V případě, že máme uložena originální data, je nutné, aby na serveru běžela ještě aplikace, která z těchto originálních dat vygeneruje příslušný obraz na základě požadavku klienta. Pokud jsou obrazy posílané do klienta vytvářeny tímto způsobem, mluvíme o *dynamicky generovaných datech*.

5.2.1 Serverové technologie

5.2.1.1 Webový server

Webový server je aplikace běžící jako démon (na pozadí) serveru. Kdykoliv, když přijde HTTP požadavek, webový server ho zpracuje, v případě potřeby předá řízení některým dalším aplikacím, poté od nich převezme výstupy, najde případná další data a vytvoří HTTP



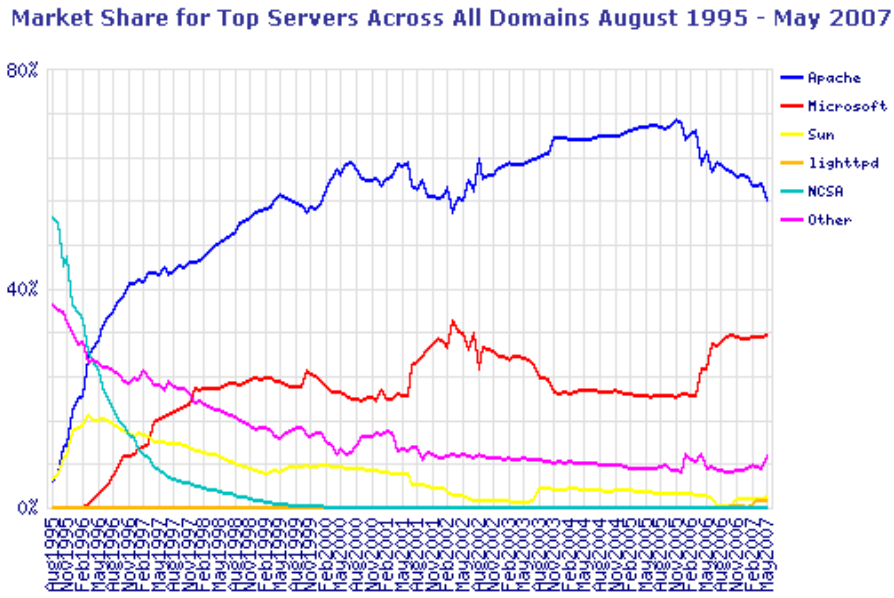
Obrázek 5.1: Schéma fungování webové aplikace

odpověď (s přílohou). Jako příloha odpovědi může být vložena XHTML stránka (nejčastěji), ale také jiné typy zpráv (např. pouze samotná rastrová data v některém ze standardních webových rastrových formátů). Vždy je však vhodné obrazy umísťovat do webových stránek tak, aby uživatel mohl s daty dále pracovat.

Za dobu existence www bylo představeno velké množství webových serverů. V době psaní této práce dominují světu dva webové servery:

- Apache HTTP Server
- Microsoft Internet Information Server

Rozložení trhu s webovými servery ukazuje obrázek 5.2. Výhoda serveru od Microsoftu je jeho přímá implementace do nejrozšířenějšího operačního systému Microsoft Windows. Apache HTTP Server je Open Source projekt, který je patrně nejlepší ukázkou toho, že kvalitní software nemusí být komerční. Zdrojové kódy Apache jsou uvolněné, aby je mohl kdokoliv prohlížet či editovat. Já využívám ve svých projektech Apache z výše zmíněných



Obrázek 5.2: Trh s webovými servery, převzato z `http://news.netcraft.com`

důvodů. Také pořizovací náklady jsou nulové a webový server je velmi kvalitní. Existuje ve verzích jak pro UN*Xové operační systémy (např. Linux) tak pro Microsoft Windows.

Nastavení webového serveru je vždy třeba věnovat pozornost. V konfiguraci jde zpravidla o nastavení práv a přístupů k jednotlivým adresářům, nastavení případné autentizace uživatelů, nastavení chybových hlášení při neúspěšných HTTP odpovědích,... Kromě toho je možné nastavit asociaci přípon souborů s různými aplikacemi a také povolovat či zakazovat načítání různých modulů, které umožňují snadnější přístup k aplikacím. Ostatní serverové aplikace se totiž mohou spouštět jako moduly webového serveru nebo jako samostatné procesy.

Většina aplikací je spouštěna v rámci Common Gateway Interface (CGI). CGI je předpisem pro komunikaci webového serveru a aplikací. Nejde tedy o vlastní technologii, ale pouze o standard, jak mají být předávány parametry z HTTP požadavku aplikacím a jakým způsobem mají aplikace vracet výstupy webovému serveru. Rozšířením základního CGI je pak FastCGI, kdy není po každém požadavku spouštěn nový proces s aplikací, ale je možné pracovat s několika požadavky v rámci jedné instance aplikace.

5.2.1.2 Mapový server

Mapový server je aplikace, která umožňuje na serveru z originálních dat vytvářet mapové výstupy na základě požadavků uživatele. Jde o serverovou aplikaci často fungující na bázi CGI. U většiny mapových serverů ale existuje možnost přístupu k jeho objektům a funkcím pomocí standardních rozhraní (API) programovacích jazyků (.NET, PHP, Python, C#).

U mapových serverů založených na jazyce Java (technologie servletů) je pak potřeba využít nějakého servlet kontejneru (např. Tomcat).

Mapový server, na rozdíl od image serveru, pracuje s georeferencovanými daty. Na serveru jsou tedy uložena prostorově umístěná data. Mapový server umí tato data převádět mezi definovanými souřadnicovými systémy, umí z nich dělat výřezy, převádět data mezi různými grafickými formáty. Na základě požadavku klienta je tedy vytvořen příslušný výřez dat v určitém souřadnicovém systému, v určité velikosti obrazu (v pixelech) a grafickém formátu. Tento obraz je pak výstupem mapového serveru. Webový server tato obrazová data vloží zpravidla do XHTML stránky a zašle klientovi.

Existují samozřejmě různé implementace mapových serverů. Prakticky každá z velkých společností zabývajících se GIS disponuje vlastním mapovým serverem. Bohužel nemám k dispozici stejný průzkum trhu, který jsem našel pro webové servery. Vyjmenuji tedy dle mého názoru nejvýznamnější zástupce, a to v pořadí jejich známého rozšíření.

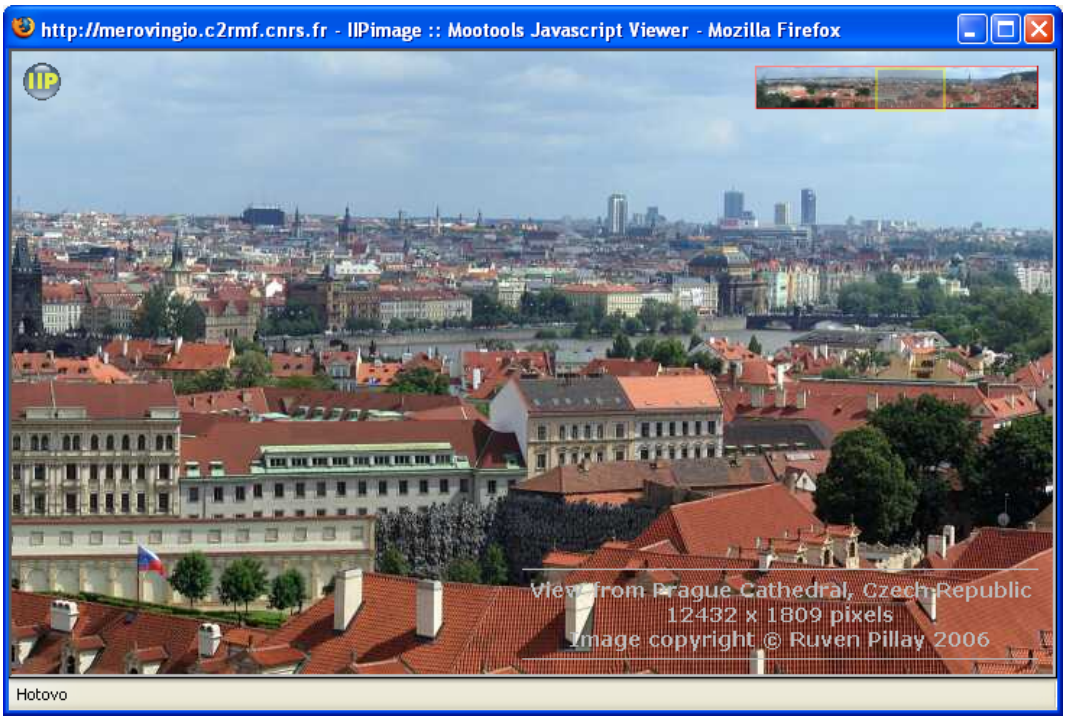
- **ArcIMS** je mapový server společnosti ESRI. Vzhledem k velké rozšířenosti mateřského software ArcGIS je to patrně nejrozšířenější mapový server.
- **UMN MapServer** je Open Source projekt založený na University of Minnesota v USA. Jde o nejrozšířenější nekomerční řešení.
- **MapGuide** je produkt firmy Autodesk. Jeho základní verze se stala v roce 2007 Open Source projektem, Enterprise verze je komerční.
- **GeoMedia WebMap** je produkt společnosti Intergraph.
- **GeoServer** je Open Source mapový server založený na balíku GeoTools. Je napsaný v Javě.
- **MapXtreme** je mapový server společnosti MapInfo. Kompletně využívá technologii Java.

Je vidět, že máme na výběr poměrně dost produktů. V ČR jsou nejvíce zastoupeny první dva jmenované mapové servery. ArcIMS je využito například Portálem veřejné správy, některými krajskými úřady nebo VGHMÚř[4] v Dobrušce, UMN Mapserver využívá například ÚHÚL[5] v Brandýse nad Labem, firma Help Service Remote Sensing nebo vysoké školy. Osobně jsem měl možnost pracovat s oběma mapovými servery, bližší je mi UMN MapServer. Také všechny mapserverové projekty, které budou prezentovány v této práci, jsou založeny na tomto produktu.

[4] Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
[5] Ústav pro hospodářskou úpravu lesů

5.2.1.3 Image server

Image server je aplikace, která umožňuje zobrazovat klientovi rozsáhlé rastrové obrazy, které jsou uloženy na serveru. Pracuje pouze s obrazovými daty, nikoli s georeferencovanými mapami jako mapový server. Jde tedy vlastně o jeho alternativu pro negeoreferencovaná data. Image server pracuje podobně jako mapový server. Podle požadavků klienta vygeneruje potřebný výřez z dat a ten předá webovému serveru jako výstup. Obrazová data jsou přenášena protokolem IIP[6] založeném na HTTP. K tomu, aby aplikace fungovala dostatečně rychle, je nutné mít obrazová data uložena speciálně (v dlaždicích a pyramidovaná). Image server umožňuje kromě výběru dat i grafické operace. Je tak možné přímo na serveru provádět operace známé pouze z grafických desktop aplikací. Image servery disponují stejně jako jiné aplikace řadou rozhraní pro programovací jazyky.



Obrázek 5.3: Ukázka použití image serveru - panorama Prahy

Protože žádný z mých projektů není založen na image serveru, nebudu se jim dále příliš věnovat. Obrázek 5.3 ukazuje možné využití těchto aplikací například pro obrovské panoramatické obrazy. Ukázkovou aplikaci image serveru pro starou mapu zprovoznil na adrese `http://www.mzk.cz/ klokan/iipdemo/` Petr Přidal. Osobně považuji image servery za zajímavé aplikace, v oblasti pouhého zobrazování dat však dnes velmi soupeří s předgenerovanými statickými daty na serveru. Jako zástupce Open Source projektů, který by bylo vhodné vyzkoušet, doporučuji IIP Image server.

[6]Internet Imaging Protocol

5.2.2 Klientské technologie

Dosud byla popsána technologie serverových aplikací. Dnešní trend naopak směřuje do vývoje aplikací na straně klienta. Je k tomu využito mnoha technologií. Klientské aplikace obecně zajišťují interaktivitu při prohlížení map. Pomocí tlačítek, přepínačů či posuvných lišt můžeme s mapou pracovat. Některé základní klientské funkce jsou obsaženy přímo v jazyce XHTML, jiných je možné dosáhnout pomocí skriptování na straně klienta (JavaScript, VBScript) nebo pomocí spouštěných aplikací, které se stahují spolu s daty ze serveru (Java applet, Flash). Existují i další technologie (např. ActiveX controls), které však nebudou popisovány, protože s nimi není v žádném popisovaném projektu pracováno. Myslím, že následující výčet představuje v současnosti nejpoužívanější technologie.

Před samotným popisem technologií je důležité zmínit základní aspekt klientských technologií, a to jejich závislost na webovém prohlížeči klienta. Bohužel jsou tyto prohlížeče v některých funkcích nekompatibilní. Často se tak můžeme setkat s aplikacemi, které správně pracují pouze v jediném prohlížeči. Stejně jako u webových serverů dominují ve světě dva hlavní produkty:

- Microsoft Internet Explorer (podíl asi 58%)
- Mozilla Firefox (podíl asi 35%)

Zatímco Internet Explorer stále nedodržuje v některých částech definovaný standard, Mozilla Firefox je Open Source projekt, který se maximálně drží standardu. Vzhledem k rozšíření obou prohlížečů je dobré optimalizovat stránky především pro ně. Mezi další známé prohlížeče patří Opera, Safari nebo Konqeuror.

5.2.2.1 XHTML a CSS

Jazyk XHTML je v současnosti základním stavebním kamenem služby WWW. Jde o následníka původního jazyka HTML, který ukončil svůj vývoj ve verzi 4.01. Jeho počátky spadají do začátku 90. let minulého století, kdy byl vyvinut první prototyp webového serveru a s ním i jazyk HTML. Původně měl web sloužit pro sdílení informací v rámci výzkumného centra CERN ve Švýcarsku. Brzy se ale rozšířil po celém světě a WWW se stalo nejpoužívanější službou Internetu. Protože byl web stále víc využíván pro grafické a prezentační účely, vznikla řada nestandardních funkcí jazyka HTML závislých zejména na použitém webovém prohlížeči. Proto došlo k rozhodnutí přetransformovat jazyk HTML do XML aplikace a udělat ho standardním. Vznikl tak jazyk XHTML, který se od svého předchůdce liší především v tom, že je důsledně oddělena informační složka od vizualizační složky obsahu. Přepsáním do XML byla také zpřísněna syntaxe zápisu HTML. Jazyk XHTML je nyní standardem pro psaní webových stránek. Ve vlastním jazyku XHTML se zapisuje pouze informační obsah stránky, vizualizace je definována externím souborem, tzv. „stylem“. Nejpoužívanějším stylovým jazykem používaným na webu jsou *Cascading Style Sheets (CSS)*, tedy kaskádové styly. Minimální soubor XHTML vypadá následovně:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE html
     PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN" "DTD/xhtml1-strict.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="cs" lang="cs">
    <head>
        <title>Ukázka minimálního souboru XHTML stránky</title>
    </head>
    <body>
        Minimální soubor XHTML!
    </body>
</html>
```

V prvním řádku je definována XML aplikace, poté následuje definice typu dokumentu. Vlastní obsah je obalen značkou `<html>`. V hlavičce `<head>` se zapisuje název stránky, metainformace vhodné pro vyhledávání a dále vložené soubory s kaskádovými styly nebo skripty. Tělo souboru `<body>` obsahuje samotný zobrazitelný obsah (texty, obrázky). V dalších ukázkách kódu XHTML bude používán vždy pouze výřez z celého souboru. Kaskádové styly mohou být vloženy do XHTML buď přímo pomocí značky `<style>`, jako zde:

```
<head>
    <style type="text/css">
        body {background-color: yellow}
    </style>
</head>
```

Nebo mohou být definice stylu uloženy v externím souboru. Předchozí zápis lze tedy nahradit těmito dvěma zápisy (první představuje soubor `styl.css`, druhý pak výřez samotného XHTML):

```
  body {background-color: yellow}
-------------------------------------
  <head>
      <link rel="stylesheet" type="text/css" href="styl.css" />
  </head>
```

V XHTML můžeme pracovat nejen s textem, ale i s tabulkami, obrázky nebo formuláři. Pomocí kaskádových stylů lze nastavit velké množství vlastností objektů XHTML stránky. Pro popis jednotlivých elementů je využito *Document Object Model (DOM)*. O teorii XHTML a CSS bylo napsáno velké množství publikací. Osobně mohu doporučit publikaci [4], podle které jsem zpracovával některé projekty. Konkrétní ukázky zdrojových kódů budou uvedeny při popisu metod prezentace starých map.

5.2.2.2 JavaScript a AJAX

JavaScript je skriptovací jazyk používaný k oživení webových stránek. Kód JavaScriptu je uložen podobně jako kaskádové styly buď přímo v hlavičce nebo těle souboru ve značce `<script>` a nebo v externím souboru, který je připojen k XHTML pomocí značky `<link>`. Kód programu v JavaScriptu je tedy uložen na serveru a přenášen spolu s XHTML stránkou. K jeho vykonání dojde až ve webovém prohlížeči uživatele. Většina dnešních prohlížečů JavaScript bez problémů podporuje.

JavaScript je výhodné využít všude tam, kde je potřeba dynamického fungování stránky. Pokud potřebujeme měnit obsah či vizualizaci stránky během práce s ní (pohyby myši, stisknutí tlačítek, kláves), je JavaScript jedinou možností. S pouhým XHTML bychom museli načítat celou stránku znova, což je pro uživatele nepříjemné a zdlouhavé. Spojením JavaScriptu s DOM vzniká mocný nástroj, který může během práce se stránkou manipulovat s různými jejími elementy. V JavaScriptu je možné naprogramovat například různá menu, pohybující se hodiny nebo pomocí něj kontrolovat vyplněná pole formuláře a vracet chybová hlášení o jejich vyplnění. V mapových aplikacích je využití JavaScriptu široké. Z nejběžnějších funkcí je možné vyjmenovat interaktivní odečítání souřadnic kurzoru myši, transformace souřadnic, měření vzdáleností a ploch. Při komunikaci s mapovým serverem je možné pomocí JavaScriptu zajistit posun mapy či zvětšování a zmenšování mapy taženým obdélníkem. Ukázka kódu JavaScriptu:

```
<body>
    <script language="JavaScript" type="text/javascript">
        document.write("Text vložený JavaScriptem");
    </script>
</body>
```

Asynchronous JavaScript And XML (AJAX) je nová metoda (popsána roku 2005) využívající JavaScript, DOM a rozhraní `XMLHttpRequest`. Metoda je založena na komunikaci webových stránek se serverem bez nutnosti načítání celého obsahu stránky znova. Pomocí rozhraní `XMLHttpRequest` je možné poslat určité informace na server, ten data zpracuje a vrátí výsledek. Pomocí JavaScriptu je výsledek akce zobrazen v určitém elementu stránky podle DOM. To celé se děje bez nutnosti načítat stránku znova a uživatel tak ani nepozná, že se na pozadí něco děje.

Jako příklad použití AJAX jsou časté webové ankety. V běžném XHTML by po zvolení odpovědi došlo odeslání informací, server by hlasování zpracoval a vrátil celou stránku znova, s aktualizovanými údaji o hlasování. Pomocí AJAX jsou opět odeslány informace, stránka však zůstává načtena. Na serveru dojde k aktualizaci dat o hlasování a ta jsou poslána klientovi a zobrazena pomocí JavaScriptu. Aktualizují se tak pouze nezbytné údaje, zatímco uživatel může klidně se stránkou dál pracovat. Komunikace se serverem je tedy asynchronní.

V mapových aplikacích je uplatnění AJAX velmi široké. Aplikace se stávají velmi uživatelsky příjemné. Příkladem mohou být třeba zobrazené informace o městech na mapovém

serveru v závislosti na pohybu myši. Ve chvíli, kdy uživatel najede kurzorem myši na město (hlídá JavaScript), je odeslán požadavek na server. Zde se například z databáze vyberou údaje k příslušnému městu a jsou odeslány zpět. V mapě se pak tyto informace mohou zobrazit třeba v informační bublině spojené s městem. Tyto a mnoho dalších interaktivních funkcí je možné vyzkoušet na serveru Google maps[7] nebo třeba českém serveru `Mapy.cz`. Ve vyvinutých aplikacích jsem využil jak běžného JavaScriptu, tak i metody AJAX. Funkčnost aplikací bude popsána při popisu jednotlivých projektů.

5.2.2.3 Java applety, Flash

Java applet je program napsaný v jazyce Java a zkompilovaný do *byte-kódu* tak, že je spustitelný v rámci webového prohlížeče. Nutností pro spuštění appletu je nainstalovaná *Java Virtual Machine (JVM)*, která rozumí právě byte-kódu. Programovací jazyk Java využívá byte-kódu jako univerzálního rozhraní pro libovolná zařízení. Programy jsou tak vlastně nezávislé na platformě. Pokud pak na libovolném zařízení běží JVM, může být aplikace široce využitelná.

Java applety byly při svém vzniku velmi populární. Dnes je tato technologie využívána čím dál méně, hlavně kvůli rozšíření dalších metod webového programování (AJAX). Samotný Java applet v byte-kódu je uložený na serveru a stahuje se spolu s webovou stránkou. Do jejího kódu je začleněn pomocí značky `<applet>`:

```
<body>
     <applet codebase="/java/jBox"  archive="jBox.jar"
             code="jBox.class"
             width="600"  height="600"  name="jBox"
             MAYSCRIPT>
             <param name="image" value="http://server.cz/mapa.png">
     </applet>
</body>
```

Výhody Java appletu jsou především dány výhodami jazyka Java. Je třeba říct, že JavaScript nemá s jazykem Java nic společného. Java je daleko mocnější nástroj, umí pracovat s grafikou i síťovými prostředky. Omezení appletů (kvůli bezpečnosti) jsou v nemožnosti zápisu na uživatelský počítač. V mapových aplikacích se applety využívají tam, kde je třeba docílit specifických funkcí. Sám v jazyce Java neprogramuji, nicméně jsem v jedné verzi svého mapového serveru použil Java applet s názvem *jBox*. Tento applet umožňuje nad mapovým serverem UMN MapServer měření vzdálenosti a plochy a hlavně změnu měřítka mapy pomocí taženého obdélníku. Dnes již používám místo appletu jiných funkcí JavaScriptu. Jeho nevýhody jsou především v nutnosti instalované a povolené Javy ve webovém prohlížeči. Také úvodní načtení JVM zabírá někdy příliš mnoho času.

[7] `http://maps.google.com`

Flash je technologie firmy Adobe (od roku 2005). Jde o samostatnou technologii pro tvorbu animací, her nebo multimediálních aplikací. Stejně jako Java applet, lze aplikaci ve formátu Flash vložit do webové stránky. Aplikace v binárním kódu SWF je spustitelná pouze při nainstalovaném přehrávači technologie Flash. Ten již bývá standardní součástí dnešních webových prohlížečů. Na rozdíl od Java appletů bývají aplikace ve Flash rychlejší. K programování ve Flash se používá ActionScript, jazyk podobný JavaScriptu. Do XHTML stránky se aplikace ve Flash vkládá značkou `<object>`:

```
<object data="movie.swf" type="application/x-shockwave-flash"
    width="500" height="500">
    <param name="movie" value="movie.swf"/>
</object>
```

Technologie Flash se využívá hlavně pro tvorbu multimediálních aplikací a webových stránek. Poměrně jednoduše lze vytvořit zajímavé animace. V oblasti zobrazování map je Flash využit v aplikacích pro zobrazování statických dlaždicových dat (např. software Zoomify). Této technologie také využívají některé mapové aplikace pracující na bázi animací. Tato oblast se však netýká starých map, ale spíše současných tematických map.

5.3 Webové mapové služby

Webové mapové služby představují vrchol v distribuci prostorových dat na Internetu. Jde o technologii založenou na XML a SOA[8]. Webové mapové služby jsou definovány Open Geospatial Consorciem (OGC) jako nástroj pro efektivní sdílení dat a procedur. Společnými vlastnostmi všech služeb je komunikace v jazyku XML. Pomocí tohoto standardu pak může služba komunikovat nejen s koncovými aplikacemi, ale i s ostatními službami.

Operace webových mapových služeb mohou být vyvolány pomocí standardního webového prohlížeče speciálně sestavenou URL adresou. Odpovědí WMS serveru může být XML dokument, případně samotná data. Na webu OGC[9] je možné nalézt řadu specifikací jednotlivých webových mapových služeb. Řada specifikací ještě není schválena a je ve vývoji. Do této doby se nejvíce prosadily služby WMS, WFS a WCS, které distribuují samotná data. Kromě těchto služeb existují i další, jiné typy služeb. Typickými zástupci jsou katalogové služby zajišťující efektivní indexaci a vyhledávání jednotlivých služeb na Internetu.

Analýzou webových mapových služeb by se mohla zabývat celá jedna disertační práce. Já se zaměřím pouze na základní charakteristiky třech nejvýznamnějších služeb. Vzhledem k zaměření na distribuci starých map je nejvíce popsána základní služba WMS, kterou jsem také implementoval v několika projektech.

[8]Service Oriented Architecture
[9]http://www.opengis.org

5.3.1 Web Map Service

Web Map Service (WMS) je služba, která dynamicky produkuje mapy z georeferencovaných dat. Zdrojovými daty na serveru mohou být jak data vektorová, tak rastry. Výsledným produktem jsou však vždy rastrové mapy v některém z podporovaných formátů (PNG, GIF, JPEG, WebCGM). U WMS jsou definovány tři základní operace:

- **GetCapabilities** vrací metadata WMS serveru (např. pokrytí území, použité souřadnicové systémy, seznam datových vrstev a další informace) ve formátu XML
- **GetMap** vrací mapu jako rastrový obrázek.
- **GetFeatureInfo** vrací informace o prvku mapy (např. atributy vektorových dat nebo hodnotu pixelu)

Ukázka dotazu na WMS (kvůli přehlednosti rozděleno na více řádek):

```
http://server.cz/webmapservice?
      service=WMS&
      version=1.1.1&
      request=GetCapabilities
```

Možná odpověď na tento dotaz:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
    <!DOCTYPE WMT_MS_Capabilities (View Source for full doctype...)>
    <WMT_MS_Capabilities version="1.1.1">
        <Service>
            <Name>OGC:WMS</Name>
            <Title>Web Map Service</Title>
            <Abstract>Jirkova Web Map Service</Abstract>
             ...
        </Service>
        <Capability>
            <Request>
                 ...
            </Request>
            <Layer noSubsets="0" opaque="0" queryable="0">
                <Title>Jirkovy vrstvy</Title>
                    <SRS>EPSG:4326</SRS>
                    <LatLonBoundingBox ... />
                    <BoundingBox SRS="EPSG:4326" ... />
                <Layer queryable="0" opaque="0" noSubsets="0">
```

```
                    <Name>1</Name>
                    <Title>Prvni vrstva</Title>
                    <SRS>EPSG:4326</SRS>
                    <LatLonBoundingBox ... />
                </Layer>
            </Layer>
        </Capability>
    </WMT_MS_Capabilities>
```

Z výsledku odpovědi je zřejmé, že WMS služba nabízí jedinou vrstvu s názvem „1“ a to v souřadnicovém systému definovaném kódem `EPSG:4326`. V proměnných *LatLonBoundingBox* a *BoundingBox* jsou definována souřadnicová omezení oblasti poskytovaných dat. Po zjištění příslušných možností služby je možné zaslat následující požadavek:

```
http://server.cz/webmapservice?
      service=WMS&
      version=1.1.1&
      request=GetMap&
      width=800&
      height=800&
      layers=1&
      srs=epsg:4326&
      bbox=-40,-40,40,40&
      format=image/png
```

Výsledkem tohoto dotazu bude grafický soubor s mapou ve formátu PNG o rozměrech 800 x 800 pixelů. Zobrazena v něm bude oblast definovaná proměnou `bbox` v souřadnicovém systému EPSG:4326 (prosté zobrazení zeměpisných souřadnic ve stupních na elipsoidu WGS84). Mapa bude tvořena z dat, kterým odpovídá vrstva s názvem „1“.

Kromě toho, že služba vrací data z WMS serveru, může poskytovat i data z jiných serverů. Dochází k tzv. „kaskádování“, kdy je WMS server vlastně klientem jiného WMS serveru. Uživatel je odstíněn od této komunikace a nemusí ani zjistit, odkud pocházejí původní data. Právě WMS je ideální možností pro distribuci georeferencovaných dat. Klientem služby může být jakákoliv aplikace, která umí zpracovat odpovědi WMS serveru. Může jít o webovou nebo i desktopovou aplikaci připojenou k Internetu. Většina velkých společností produkujících GIS software nabízí buď prohlížečky dat schopné pracovat s WMS nebo mají podporu WMS zabudovanou přímo ve svém desktop GIS.

5.3.2 Web Feature Service

Možnosti *Web Feature Service* jsou širší než možnosti WMS. WFS pracuje na rozdíl WMS pouze s vektorovými daty, a to ve standardu *Simple Features*. K přenosu informací

je využíváno kódování dat do formátu Geography Markup Language (GML). Klient může pomocí této služby přistupovat k jednotlivým objektům dat. Podporovány jsou operace vkládání, aktualizace, mazání, uzamčení nebo dotazování. Pomocí této služby je tak možné získat vektorová data pro vlastní analýzy a další zpracování na klientovi, nebo měnit a upravovat data na WFS serveru.

Na rozdíl od WMS je zde definováno více operací. Stejně jako u všech ostatních webových mapových služeb je základní operací `GetCapabilities`. Další operace je možné nalézt ve specifikaci WFS. Tato služba je pro distribuci starých map prakticky bezvýznamná. Její využití je především v distribuovaných GIS systémech, které pracují s primárními vektorovými daty. V případě vektorizace některých prvků starých map by však bylo možné distribuovat je právě pomocí WFS.

5.3.3 Web Coverage Service

Web Coverage Service (WCS) podporuje distribuci prostorových dat jako "coverages" (pokrytí, povrchy). Takto bývají reprezentovány prostorově proměnné jevy. Oproti WMS, která poskytuje prostorová data jako statické mapy, WCS poskytuje dostupná data v nativním formátu (nikoliv překreslené jako obrázky). Mohou tak být distribuovány např. vícepásmové satelitní snímky, které potřebujeme na klientovi dále zpracovávat. WCS poskytuje tři operace: `GetCapabilities`, `DescribeCoverage` a `GetCoverage`.

Využití WCS pro staré mapy by sice bylo možné, nicméně prakticky bezvýznamné. Pro rastry starých map nám stačí využít službu WMS, která je implementačně jednodušší. Pracovat s originálními rastry, které distribuuje WCS není potřeba.

5.4 Možnosti prezentace starých map

Po přehledu nejpoužívanějších technologií se pokusím shrnout možnosti prezentace starých map na webu.

5.4.1 Statické publikování

XHTML nabízí několik možností prezentace obrazových dat. První z nich je pouhé vložení obrazu do obsahu internetové stránky. Kód může vypadat následovně:

```
<body>
    <img src="./obraz.jpg" alt="obraz">
</body>
```

Ve značce `<img>` je postupně definována relativní cesta k uloženému obrazovému souboru a dále náhradní text pro webové prohlížeče bez podpory grafiky. Výsledkem zobrazení takové

stránky by byl pouze samotný obraz. Jak je vidět, je tato metoda sice velmi jednoduchá, nicméně velmi nevhodná. Obraz je stahován ve svém původním rozlišení a pro objemné rastry by zobrazení v prohlížeči trvalo neúměrně dlouhou dobu.

Jistým vylepšením pouhého vložení stránky je vytvoření náhledového políčka. Mapa je v rámci stránky zobrazena v menším než originálním rozlišení. Funguje však jako odkazové tlačítko na mapu v originálním rozlišení. Kód pak vypadá:

```
<body>
    <a href="./obraz.jpg">
        <img src="./nahled_obrazu.jpg" alt="náhled obrazu">
    </a>
</body>
```

Ve značce `<a>` je definován odkaz na originální obrázek, jako odkaz slouží vše mezi značkami `<a>` a `</a>`, v našem případě tedy náhled obrázku.

XHTML nabízí jisté vylepšení odkazových oblastí obrazů, a to ve formě tzv. „klikacích map“. Klikací mapu je možné vytvořit nad jakýmkoliv obrazem. V této mapě jsou definovány samostatné oblasti (pomocí souřadnic pixelů), které slouží jako odkazová tlačítka. Je tak možné vytvořit například mapu Evropy, kde plocha každého státu bude odkazové tlačítko na národní mapu ve větším měřítku. Pro staré mapy je tuto metodu možné využít v případě mapových listů v definovaném kladu. V úvodní stránce projektu může být zobrazen klad mapových listů, který je rozdělen klikací mapou a odkazuje na obrazy jednotlivých listů. Ukázka kódu klikací mapy:

```
<map name="map" id="map">
    <area shape="rect" coords="0,0,20,20" href="3.png" alt="list3" />
    <area shape="rect" coords="0,20,20,40" href="1.png" alt="list1" />
    <area shape="rect" coords="20,0,40,20" href="4.png" alt="list4" />
    <area shape="rect" coords="20,20,40,40" href="2.png" alt="list2" />
</map>
<img src="klad.png" usemap="#map" alt="klad listů" />
```

I přes možnosti klikacích map není použití samotného XHTML pro statické publikování vhodné. Pokud chceme zobrazit originální data, musíme totiž stáhnout vždy celý originální obraz nebo tento obraz ”rozsekat” na serveru na menší části, které však zase nemohou být zobrazovány souvisle. Proto je lepší využít nějakou klientskou aplikaci, která umí s daty lépe pracovat.

Abychom se vyhnuli stahování celého originálního obrazu, je vhodné data „rozsekat“ na více menších obrazů. Pokud chceme obrazy prohlížet v různých rozlišeních, je také výhodné originální obraz převzorkovat do několika úrovní rozlišení. Výsledkem je jakási pyramidová struktura statických dlaždic. Mezi klientské aplikace, které umožňují komfortní práci se

statickými dlaždicemi, patří Flash aplikace Zoomify. Ta je patrně nejrozšířenějším software vůbec v oblasti prohlížení objemných rastrů na webu.

Zoomify pracuje s vlastní strukturou obrazových dlaždic. Proto je třeba každý obraz zpracovat skriptem dodaným spolu s aplikací. Výsledkem provedení skriptu s běžným nastavením je vytvoření následující struktury:

- soubor `ImagePropeties.xml`
- adresář `TileGroup0`
- adresář `TileGroup1`
- ...
- adresář `TileGroupN`

Soubor `ImagePropeties.xml` definuje velikost originálního obrazu, počet vygenerovaných dlaždic a velikost jedné dlaždice v pixelech. Ukázka takového souboru:

```
<IMAGE_PROPERTIES WIDTH="6096" HEIGHT="4893"
                  NUMTILES="644" NUMIMAGES="1"
                  VERSION="1.8" TILESIZE="256"/>
```

Každá dlaždice je indexována podle tří parametrů: úroveň převzorkování, souřadnice x (kladná osa doprava), souřadnice y (kladná osa dolů). V nejvyšší úrovni převzorkování jsou uložena data v originálním rozlišení. Každá další úroveň obsahuje dlaždice s daty v poloviční rozlišení. V nulté úrovni je pak celý obraz zobrazen pouze v jediné dlaždici. Dlaždice jsou postupně ukládány do adresářů `TileGroup`. Pokud dosáhne počet dlaždic v adresáři 256, je vytvořen další adresář. Vytvořenou strukturu stačí umístit ve webovém prostoru serveru spolu s prohlížečkou ve formátu SWF (Flash). Prostým vložením Flash aplikace do XHTML (s příslušnými parametry) zajistíme funkčnost aplikace.

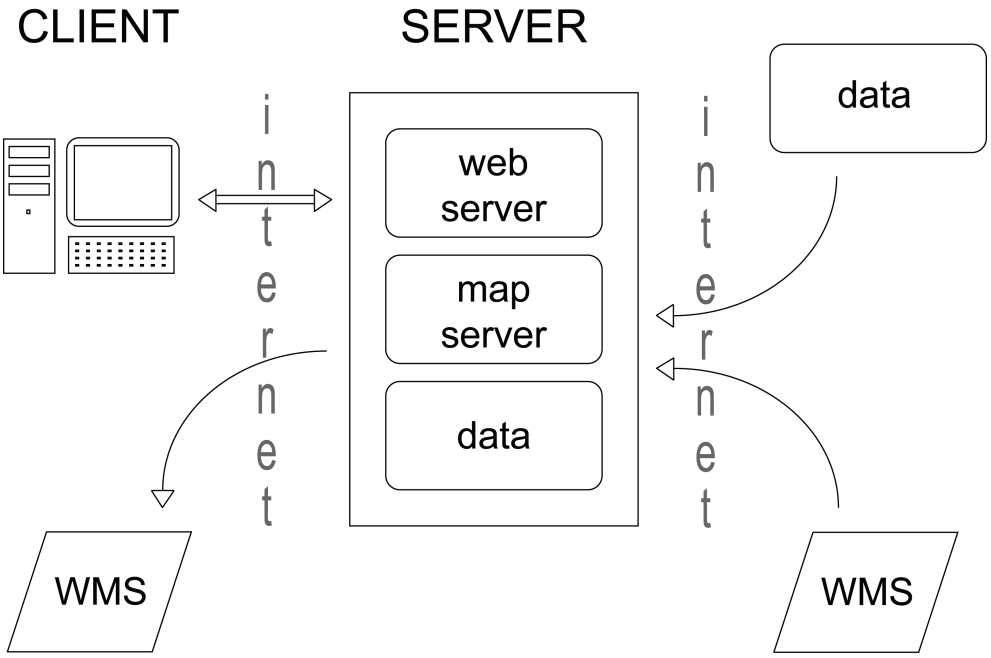
Aplikace Zoomify je velmi jednoduchá ve své základní verzi, která je volně šiřitelná. Na webových stránkách aplikace[10] je možné nalézt pokročilejší verze software, bohužel již zpoplatněné. Uživatel však kromě hotové aplikace dostává k dispozici i zdrojový kód a API pro případné komponování aplikace do vlastních produktů či pro úpravy a doplnění funkčnosti. Kvůli finančním požadavkům jsem neměl možnost tyto technologie vyzkoušet. I v základní verzi je však Zoomify patrně nejlepším nástrojem pro statické publikování obrazových dat. Prohlížečka v technologii Flash je velmi rychlá, a proto jsou funkce jako pohyb či změna měřítka velmi plynulé.

Kromě Zoomify existují i jiné aplikace pracující se statickými dlaždicemi obrazových dat. V principu není vytvoření takové aplikace nijak složité. Hlavním faktorem pro zobrazování dat je však rychlost a uživatelská jednoduchost. Těžko nějaký software překoná Zoomify v jeho jednoduchosti.

[10] `http://www.zoomify.com`

5.4.2 Web mapping

Web mapping je pojem používaný pro metody prezentace map na webu založené na mapových serverech. Celá aplikace je pak složena z několika komponent. Struktura je vidět na obrázku 5.4. Na serveru běží aplikace webového a mapového serveru. Data využitá aplikací jsou uložena buď lokálně na serveru a nebo mohou být připojena z jiného zdroje (datový sklad, datový server). Kromě komunikace s klientem může mapový server fungovat jako WMS klient i WMS server.

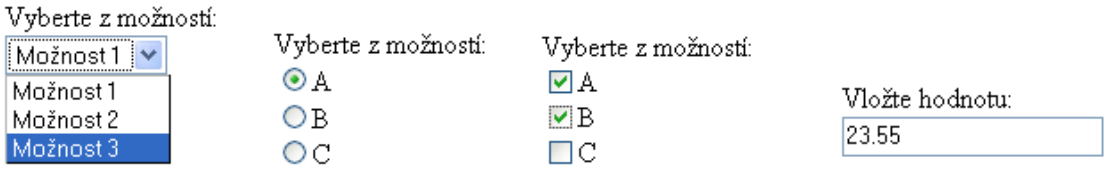


Obrázek 5.4: Schéma architektury mapového serveru [11]

V literatuře [30] se uvádí rozdělení web mappingu na statický a dynamický. *Statický web mapping* je založen na následujícím principu. Klient vyšle požadavek na server, server požadavek zpracuje a předá zaslané parametry pomocí CGI mapovému serveru. Mapový server zpracuje požadavek a vygeneruje obrázek mapy. Tento obrázek je pak vložen do webové stránky a zaslán zpět klientovi. Celá technologie stojí na posílání parametrů serveru (XHTML formuláře) a na předávání parametrů mezi webovým a mapovým serverem (CGI).

XHTML formuláře jsou technologií, která umožňuje na server posílat hodnoty určitých proměnných. Na serveru pak musí fungovat aplikace, která hodnoty proměnných nějakým způsobem zpracuje. V rámci XHTML stránky se formulář definuje pomocí značky `<form>` a povinnými atributy `method` a `action`. Atribut `method` sděluje, jakou metodou budou poslány hodnoty proměnných na server. Protokol HTTP nabízí dvě možnosti, a to metody GET a POST. Pomocí metody GET jsou vždy proměnné a jejich hodnoty zakódovány do tvaru `proměnná1=hodnota&proměnná2=hodnota...` a připojeny k URL dotazu, který je odeslán jako žádost. Při využití metody POST jsou dvojice `proměnná=hodnota` přenášeny přímo

v těle zprávy HTTP, a tak se v URL dotazu nevyskytují. Atribut `action` pak obsahuje URL s názvem serveru a cestou k programu nebo skriptu, který zpracuje vstupní data. Pro definování hodnot ve formulářích na webových stránkách je možné používat jednotlivé typy v rámci značky `<input>`:



(a) výběrové menu (b) přepínač (c) zaškrtávací pole (d) textové pole

Obrázek 5.5: Prostředky XHTML formulářů

Kromě uvedených prostředků je možné narazit na speciální typy `password` (textové pole, které se používá pro hesla), `hidden` (skryté pole, které se používá pro zaslání neviditelných hodnot, např. o stavu aplikace), `reset` (tlačítko, které maže formulář) a `submit` (tlačítko, které odesílá formulář na server).

Na serveru jsou odeslané hodnoty přijaty v rámci HTTP požadavku webovým serverem, který je následně předává CGI aplikaci (mapovému serveru). CGI aplikace rekonstruuje formulářová data a na základě nich začíná pracovat na vyřízení požadavku (vytvoření mapy). Mapa je uložena v dočasném adresáři na serveru, odkud je vložena do webové stránky, a poslána klientovi.

Použití CGI je poměrně jednoduché, nicméně má své nevýhody. Při současném přístupu několika uživatelů (požadavků) na server je nutné spouštět několik CGI procesů mapového serveru, což velmi zatěžuje hardware serveru a snižuje rychlost aplikace. CGI i HTTP jsou bezestavové technologie. To znamená, že neudržují žádné informace mezi jednotlivými transakcemi, a tím omezují interaktivitu uživatele. Pro zachování informací o stavu aplikace jsou používána zmíněná *skrytá pole* nebo tzv. *cookies*. CGI programy jsou také platformě závislé, a proto nejsou přenositelné mezi operačními systémy počítačů. Z uvedeného plyne, že CGI aplikace jsou využitelné hlavně tam, kde nepočítáme s masivní návštěvou uživatelů. Pro menší projekty je to jistě nejjednodušší cesta. Pro větší interaktivitu je však jistě vhodnější vylepšit aplikaci pomocí interaktivních prvků.

Interaktivní web mapping využívá kromě CGI některé další technologie, které zvyšují interaktivitu aplikace. Jde zejména o dynamické XHTML (JavaScript, DOM, CSS), Java applety, Flash, ActiveX controls. Na serverové straně aplikace je CGI často nahrazeno skriptovacím programovacím jazykem, kterým je možno dynamicky měnit webové stránky během chodu. V této kategorii jsou dnes nejpoužívanější jazyky PHP a ASP.NET. Velké obliby získává také programovací jazyk Python.

Jazyk PHP je velmi populární zejména tam, kde dochází k dynamice na webových stránkách. Kód jazyka PHP je vložen přímo do kódu webové stránky. Na rozdíl od klientských skriptovacích jazyků (JavaScript) je však kód proveden na serveru. Výstupem PHP

bývá většinou část kódu XHTML, která se dynamicky mění podle potřeby. Při každém znovunačtení stránky je kód PHP na serveru proveden. Uživatel tedy dostává různé webové stránky v závislosti na čase či hodnotách formulářových proměnných posílaných na server. Já jsem využil jazyk PHP pro vytvoření spojení mezi aplikací mapového serveru a databáze obcí ČR. Oproti komerční technologii ASP.NET patří PHP a Python do kategorie software Open Source.

Na straně klienta jsou běžně používány popsané technologie JavaScriptu, Java appletů či Flash aplikací. Dnes nejpopulárnější je jistě využití technologie AJAX. Ta ve spojení s PHP na serveru může zařídit například dynamické dotazy do databáze na serveru bez nutnosti znovunačtení stránky. Interaktivní web mapping je dnes základem většiny mapových aplikací. Na klientské straně se bez interaktivních prvků již není možné prosadit. Na serverové straně jsou využívány skriptovací jazyky, stále jsou však velmi významně používány CGI aplikace. Novou krev do serverových aplikací přináší v posledních letech programovací jazyk Java.

Aplikace web mappingu, jeho popis a využití v reálných projektech je možné nalézt v diplomových pracech [15], [20].

5.4.3 Využití image serverů

Využití image serverů pro staré mapy je jistě vhodné. Samotný software pracuje na serveru a dynamicky generuje data stejně jako mapový server. Využití i architektura aplikace je tedy podobná. Rozdílem zůstává rozdílný přístup k datům. Image servery jsou vytvářeny především pro obrovské rastry typu panoramatických obrazů, fotografovaných uměleckých děl a podobně. Většina mapových serverů se dnes snaží převzít techniky image serverů pro zpracování dat. Příkladem může být projekt *ER Mapper Image Web Server*. Pro negeoreferencovaná data však existuje řada technik, které mohou být výrazně rychlejší než mapový server. Nové image servery využívají formáty ECW a JPEG2000, tedy formáty založené na vlnkových kompresích dat. Tyto formáty umožňují ukládání pyramidových dat i speciální dlaždicování. Image server pak velmi rychle přistupuje k datům. Výřezy dat jsou ukládány v cache webového serveru a nebo na proxy serveru.

Rozhodně by stálo za to prozkoumat možnosti image serverů při zobrazování starých map. Neexistuje však zatím mnoho klientských aplikací a stávající jednodušší metody zobrazování rozsáhlých rastrů (např. Zoomify) nemají konkurenci. Kvalita image serverů i nově navržených přenosových protokolů by se pravděpodobně ukázala při větší zátěži serveru. Bohužel na tuto část problematiky již má práce nedosahuje.

5.4.4 Využití WMS

Webové mapové služby jsou hitem v poskytování prostorových dat na Internetu. Jak bylo zmíněno, pro staré mapy je využitelná nejvíce služba WMS. Jde také o službu nejstarší

a nejrozšířenější. Její implementace v mapových serverech je již velmi kvalitní. Většina mapových serverů umí pracovat jako WMS server i WMS klient.

Distribuovat staré mapy pomocí WMS serverů je poměrně nová metoda. Souvisí hlavně s masivním rozšířením využívání služby WMS v GIS klientech. Pokud uživatelé zjistí, že práce s WMS je poměrně jednoduchá, nebude problém distribuovat data tímto způsobem. Samotné nastavení webových služeb v aplikacích se velmi liší. Je to dáno hlavně komerčními konkurenty služby WMS, jakými jsou například služby společnosti ESRI *ArcGIS Services*. I aplikace firmy ESRI však již podporují WMS a standard tak začíná být opravdu plně využitelný.

WMS je čistě serverová technologie, pro klienty WMS platí prakticky totéž, co pro klienty běžného web mappingu. Tyto metody bývají také často úzce propojené. Mapový server je využit jednak pro zobrazování pomocí klienta ve webovém prohlížeči, a kromě toho funguje jako WMS server pro distribuci map pomocí webové mapové služby. Do této chvíle v aplikacích převažuje první metoda, tedy aplikační prohlížení dat. Druhá, daleko výhodnější metoda, teprve začíná být využívána.

Osobně jsem velkým příznivcem webových mapových služeb, a to pro jejich skvělou využitelnost. Dnešní technologie webu se začíná orientovat na distribuované systémy, kde prim hrají webové služby. Webové mapové služby jistě nejsou řešením pro všechny projekty, pro sdílení přesně georeferencovaných starých map je to však ideální metoda. Data jsou uložena pouze na jednom místě, nedochází k duplicitám a úpravám v rámci sady dat. Všichni pak mohou využívat tato data pro své projekty, ať už se zabývají jakýmkoliv odvětvím.

Kapitola 6

Současný stav publikace starých map na Internetu

V této kapitole bych rád stručně zhodnotil existující projekty, které je možno nalézt na webu. Pokud vyhledáváme staré mapy v rámci webových prohlížečů, je třeba počítat s hledáním výrazů *staré mapy*, *historické mapy*, *old maps*, a *historic maps*. Tyto termíny jsou běžně používány, a to i přesto, že správné by bylo použití pouze termínů „staré mapy“ a „old maps“.

6.1 Situace v ČR

V kapitole 2 jsou uvedeny charakteristiky nejznámějších a nejpoužívanějších map z území dnešní ČR. Jedná se o mapy vytvářené jednotlivci (do roku 1720), mapy vojenských mapování Rakouska-Uherska a mapy Stabilního katastru. Většinu z těchto map je možné nalézt na webu, a to v rozdílné kvalitě za použití rozdílných technologií.

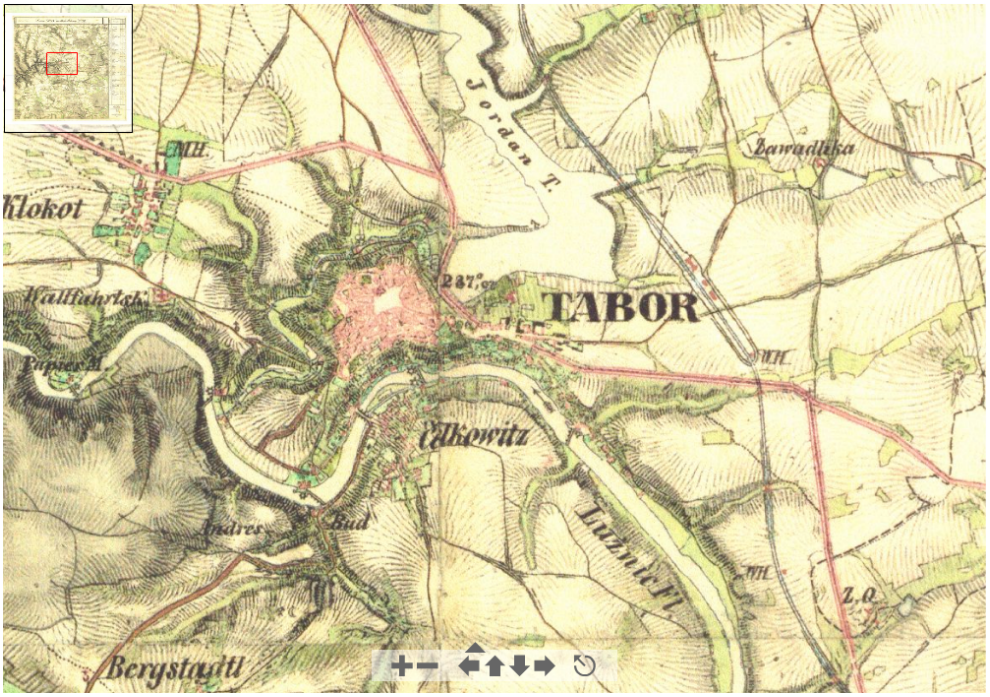
6.1.1 Laboratoř geoinformatiky UJEP

Laboratoř geoinformatiky Univerzity J. E. Purkyně sídlí na detašovaném pracovišti v Mostě. Z práce kolegů z tohoto pracoviště je třeba vyzdvihnout analýzy historických vojenských mapování i císařských otisků Stabilního katastru (viz např. [5]), ale především webové stránky `http://oldmaps.geolab.cz`. Na těchto stránkách je možno nalézt velké množství starých map zpřístupněných pomocí technologie Zoomify. V době psaní této práce jsou k dispozici následující mapová díla:

- I. vojenské mapování – všechny mapové listy z území Čech (273 mapových listů), z území Moravy (126 mapových listů), z území Slezska (40 mapových listů). Jedná se o mapy v měřítku 1 : 28 800. Původní data jsou naskenována v rozlišení 400 *dpi*

s barevnou hloubkou 8 bit (adaptivní paleta). Mapy byly skenovány pro Ministerstvo životního prostředí v Rakouském státním archivu (Österreichisches Staatsarchiv – Kriegsarchiv, Wien), kde jsou uloženy. Při zpracování v software Zoomify byla data převedena do formátu JPEG, tedy do 24-bitových barev.

- II. vojenské mapování – všechny mapové listy z území Čech (v kladu souřadnicové soustavy gusterberské), z území Moravy a Slezka (v kladu souřadnicové soustavy svatoštěpánské). Jedná se o mapy v měřítku 1 : 28 800. Původní data jsou naskenována v rozlišení 400 *dpi* s barevnou hloubkou 8 bit (adaptivní paleta). Mapy byly skenovány pro Ministerstvo životního prostředí v Rakouském státním archivu (Österreichisches Staatsarchiv – Kriegsarchiv, Wien), kde jsou uloženy. Při zpracování v software Zoomify byla data převedena do formátu JPEG, tedy do 24-bitových barev.



Obrázek 6.1: Ukázka z aplikace Laboratoře geoinformatiky UJEP

- III. vojenské mapování – mapové listy z území Československa (chybí některé mapové listy z oblasti Podkarpatské Rusi) v měřítku 1 : 75 000 (tzv. *speciální mapy*) a dále mapové sekce v měřítku 1 : 25 000 z území Čech a Moravy. Bohužel chybí asi třetina mapovaných sekcí (hlavně na severní Moravě a v severních Čechách). Původní data jsou naskenována v rozlišení 400 *dpi* s barevnou hloubkou 24 bit (ve formátu JPEG). Mapy byly poskytnuty Agenturou pro ochranu přírody a krajiny.

- Müllerova mapování – Müllerova mapa Čech z roku 1720 a Müllerova mapa Moravy z roku 1716 ve vydání z roku 1790. K dispozici jsou jednotlivé mapové sekce (25 sekcí pro mapu Čech a 16 sekcí pro mapu Moravy). Měřítka map jsou v literatuře

uváděna v hodnotách 1 : 132 000 pro mapu Čech a 1 : 180 000 pro mapu Moravy. Data byla skenována v rozlišení 300 *dpi* s barevnou hloubkou 24 bit. Originály pochází z archivu Historického ústavu AV ČR a ze soukromé sbírky. Skenovaná data byla také Historickým ústavem vydána na CD.

- Stabilní katastr – Císařské otisky stabilního katastru z 205 katastrálních území. Digitalizace proběhla ve spolupráci s Národním památkovým ústavem. Jedná se o mapy v měřítku 1 : 2880, výjimečně 1 : 1440. Originály těchto map jsou uloženy v Ústředním archivu zeměměřictví a katastru.

Pro vojenská mapování a Müllerova mapování je vždy po výběru příslušné oblasti (Čechy, Morava, ...) zobrazen klad mapových listů. Každý z mapových listů v kladu funguje jako odkazové tlačítko pro spuštění aplikace Zoomify. Je zde využito technologie „klikací mapy“. Po výběru map Stabilního katastru je uživatel přesměrován na samostatné stránky projektu. Mapy lze nalézt pod odkazem „Mapová aplikace“. Zde je opět klikací mapou možné vybrat kraj a ze zobrazeného seznamu i příslušné katastrální území. Přehledka každého katastrálního území pak funguje opět jako klikací mapa pro spuštění aplikace Zoomify.

Webové stránky `http://oldmaps.geolab.cz` jsou přehledné a používají jednu univerzální technologii pro publikaci map – projekt Zoomify. Vzhledem k tomu, že je použití této technologii velmi jednoduché, bylo možné poměrně rychle zveřejnit velké množství map. Stránky jsou mezi uživateli velmi oblíbené, a to zejména pro svou jednoduchost a rychlost zobrazení map. Projekt je také často citován a byl dokonce oceněn Mapou roku 2003 (uděluje Kartografická společnost ČR).

Nevýhodou publikovaných map je samozřejmě nemožnost porovnání s jinými mapovými zdroji jinak než pouhou vizuální kontrolou. Mapy nejsou souřadnicově umístěné, jde tedy pouze o nahlížení do obrazových dat. I tak vzbudil tento projekt velikou odezvu a nastartoval v současnosti probíhající výzkum starých map (hlavně map vojenských mapování). Pokud jde o kvalitu skenovaných dat, patrně největší nevýhodou je barevná hloubka vojenských mapování, která byla zvolena pouze na 8 bit. Více o prezentaci starých map na Internetu a v prostředí GIS, kterou provádí Laboratoř geoinformatiky UJEP, je možné nalézt např. v [6].

6.1.2 Zeměměřický úřad

Zeměměřický úřad, stejně jako Ústřední archiv zeměměřictví a katastru, sídlí v Praze 8, Kobylisích. Kromě toho, že jsou v archivu uloženy analogové povinné císařské otisky Stabilního katastru, Zeměměřický úřad pracuje na jejich zpřístupnění na internetu, a to na adrese `http://archivnimapy.cuzk.cz`.

Úvodní strana aplikace nabízí přehlednou mapu České republiky. Je možné vybírat mezi současnou přehledovou mapou, historickou přehledovou mapou a mapou zobrazující stav naskenování císařských otisků. Vše je založeno na mapovém serveru UMN MapServer, který je spouštěn jako CGI aplikace. Pro zvýšení interaktivity je použita JavaScriptová knihovna

dBox. Pomocí ní je možné mapu přibližovat pomocí taženého obdélníka. Při změně měřítka mapy jsou postupně měněny i zobrazené mapové podklady. Při dostatečně velkém měřítku je zobrazena vektorová vrstva katastrálních území. V menu v pravé části aplikace také přibude ikona výběru katastrálního území. Takto můžeme vybrat libovolné katastrální území. Po výběru se pod mapovým oknem zobrazí náhledy jednotlivých mapových listů. Každý funguje jako odkazové tlačítko pro spuštění nové instance MapServeru, tentokrát s vybraným mapovým listem. Aplikace je také přímo propojena s Obchodním modulem Geoportálu Zeměměřického úřadu, kde je možné data nakoupit.

Originální data jsou mapy v měřítku 1 : 2880, výjimečně 1 : 1440. Mapy byly skenovány s hustotou 300 *dpi* a s barevnou hloubkou 24 bit. Analogová data jsou uložena v Ústředním archivu zeměměřictví a katastru.

Obrázek 6.2: Ukázka z aplikace Zeměměřického úřadu

Webové stránky `http://archivnimapy.cuzk.cz` zpřístupňují velké množství povinných císařských otisků Stabilního katastru. Zatím je k dispozici asi 50% katastrálních území z oblasti Čech. Ačkoliv je vše postaveno na technologii mapového serveru, jeho hlavní výhoda zůstala opomenuta. Mapy totiž nejsou georeferencovány a mapový server tak pracuje ve fiktivním souřadnicovém systému obrazových dat. Z tohoto důvodu se mi zdá zbytečné používat tuto technologii. Ačkoliv jsem příznivcem mapových serverů, v případě, že prohlížíme pouze obrazová data, stačí použít libovolnou aplikaci pracující jako prohlížečka dat (např. Zoomify, libovolný image server). Mapový server je v tomto případě zbytečný hlavně kvůli jeho nárokům na operační paměť serveru.

Celý soubor císařských otisků je velmi cenným zdrojem informací. Škoda, že tyto mapy nejsou také georeferencovány, nebo alespoň spojeny do jedné mapy v rámci katastrálního

území. Tím, že je každý mapový list zobrazován v samostatné aplikaci mapového serveru, ztrácí uživatel pohodlí. Je však potřeba říct, že georeferencování celého souboru je asi nad současné možnosti. Dle mého názoru by však v budoucnu stálo za to uvažovat o georeferencování třeba jen přibližném. Jakékoliv upřesnění polohy mapového listu je podle mě důležité pro jeho efektivní využití.

6.1.3 Opevnění

Webový server `http://mapy.opevneni.cz` je součástí celku webových stránek věnujících se československému těžkému opevnění z let 1935–1938. K dispozici jsou mapy III. vojenského mapování, a to speciálky v měřítku 1 : 75 000 a generálky v měřítku 1 : 200 000. Dále je k dispozici mapa Československa v měřítku 1 : 750 000. Náhledová mapa speciálek i generálek funguje jako klikací mapa, všechny mapové listy jsou k dispozici v aplikaci Zoomify. Technologie je tedy prakticky totožná s mapami na `http://oldmaps.geolab.cz`. Prezentované mapy III. vojenského mapování jsou však odlišné svým vydáním. Na webu tedy máme k dispozici dvě různé sady speciálek, obě v aplikaci Zoomify. Protože byly speciálky patrně nejpoužívanější mapy v první polovině 20. století, existuje řada jejich vydání až do 50. let.

Obrázek 6.3: Ukázka z aplikace Opevnění

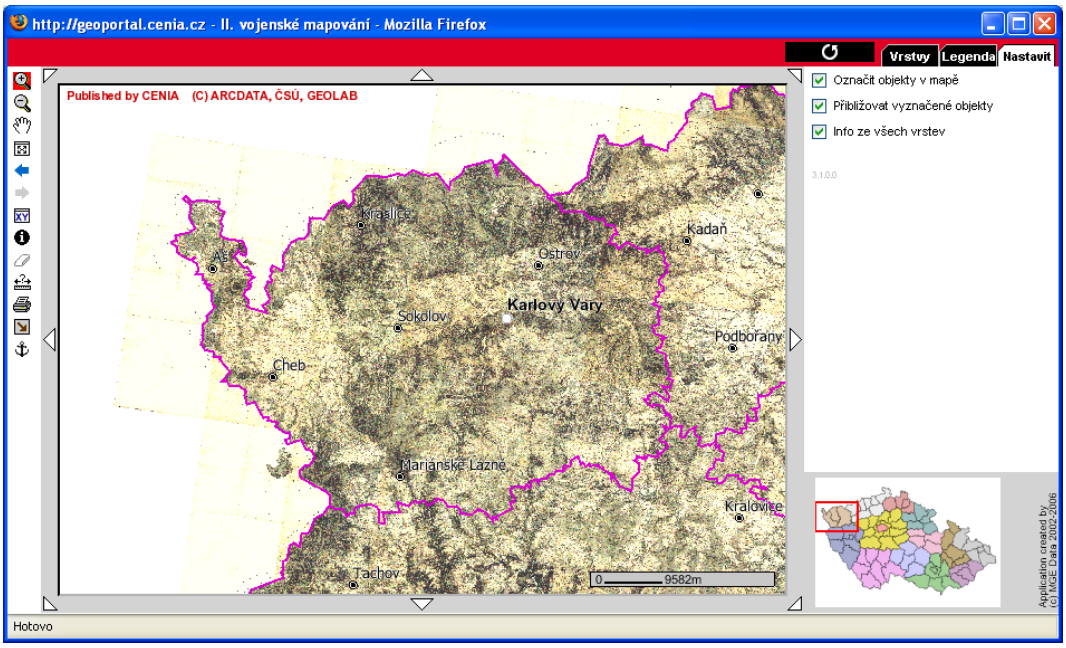
K použité technologii není moc co dodávat. Mapy se zobrazují rychle a plynule. Ocenit lze nadšení, s kterým autoři těchto stránek doplňují či opravují mapové listy. Bohužel s autory nejsem v kontaktu, a tak netuším odkud pocházejí originální mapy a v jaké hustotě či

barevné hloubce byly skenovány. Osobně odhaduji hustotu skenování 300 *dpi* a barevnou hloubku 24 bit.

6.1.4 Portál veřejné správy ČR

Mapové služby Portálu veřejné správy lze nalézt na adrese `http://geoportal.cenia.cz`. V seznamu mnoha mapových vrstev, který lze zobrazit kliknutím na ikonu se stylizovanou mapou, lze najít i mapy II. vojenského mapování. Po výběru mapové vrstvy je spuštěna aplikace mapového serveru. Mapový server Portálu veřejné správy je založen na ArcIMS. Klientská aplikace Mapmaker je založena na JavaScriptu a umožňuje běžné operace jako je posun či přiblížení pomocí taženého obdélníku.

Data II. vojenského mapování jsou georeferencována do souřadnicového systému S-JTSK. Georeference byla provedena Laboratoří geoinformatiky UJEP a data byla převzorkována z originálních 400 *dpi* tak, aby velikost pixelu byla 4 *m* ve skutečnosti (tedy na 183 *dpi*). Výhody použití mapového serveru jsou zřejmé. Staré mapy je možné porovnat se současným stavem krajiny přímo v aplikaci (vektorové vrstvy).



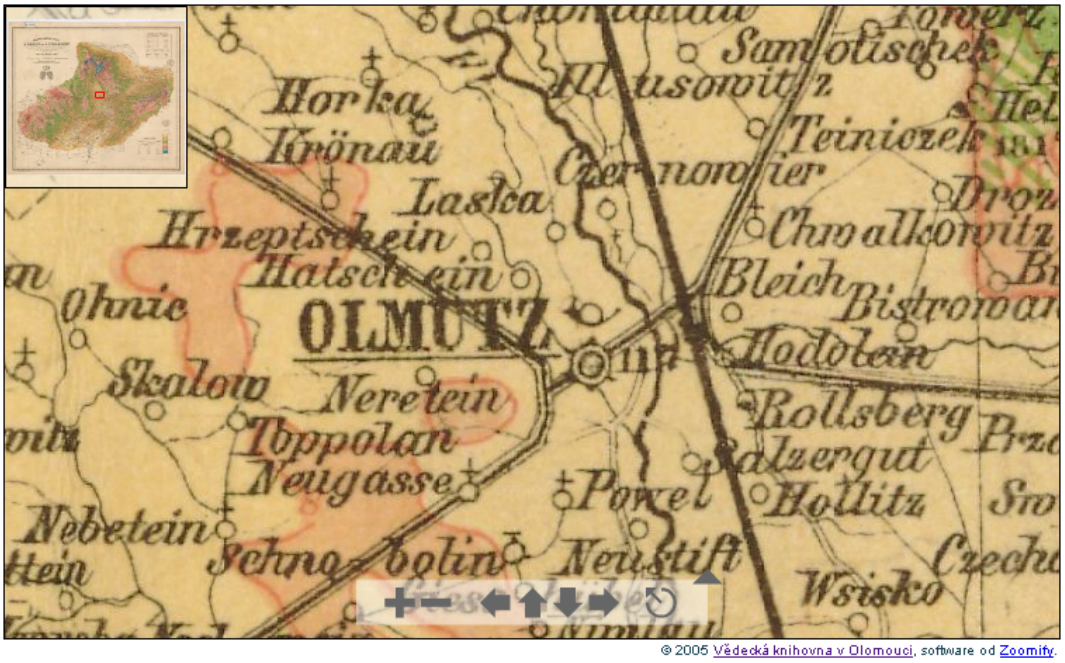
Obrázek 6.4: Ukázka z aplikace Mapové služby Portálu veřejné správy

Kromě toho, že je možné data prohlížet přímo v aplikaci Mapmaker, jsou také distribuována pomocí služeb ArcIMS a WMS. Nestandardní službu ArcIMS je možné použít pro připojení vrstvy do software firmy ESRI. Přes WMS konektor jsou data distribuována i službou WMS. Nevýhodou této mapové služby je poměrně nekvalitní georeferencování, které způsobuje na některých místech viditelné spáry mezi mapovými listy. Také rozlišení

rastru není nejlepší. Přesto jde o velmi zajímavý zdroj dat, především díky použití služby WMS.

6.1.5 Vědecká knihovna v Olomouci

Na adrese `http://mapy.vkol.cz` je možné nalézt digitalizovaný obsah 556 mapových listů z fondu Vědecké knihovny v Olomouci. Digitalizované dokumenty pochází z časového rozmezí 17. až 19. století. Digitalizace proběhla v rámci projektu VISK 5 firmou Elsyst Engineering na zařízení ATLAS. Hned úvodní stránka nabízí přehled všech digitalizovaných map v přehledné tabulce. V té jsou k dispozici malé náhledy, které zároveň slouží jako odkazová tlačítka pro spuštění aplikace Zoomify.



Obrázek 6.5: Ukázka z aplikace Vědecké knihovny v Olomouci

Tímto způsobem zpracované mapové sbírky by velmi usnadnily badatelům jejich práci. Katalog je přehledný a aplikace Zoomify je logickým řešením pro jednoduché zobrazování na webu.

6.1.6 Moravská zemská knihovna v Brně

Moravská zemská knihovna v Brně (MZK) vlastní významnou sbírku map Bernarda Pavla Molla. Část této sbírky (z území Čech, Moravy a Slezska) je přístupná na Internetu na adrese `http://almor.mzk.cz/moll/`. Skenované mapy jsou opět k dispozici v aplikaci

Zoomify. Kromě využití této aplikace testuje MZK využití dalšího software pro prezentaci starých map na internetu (IIP server, projekt TimeMap). Mapy byly digitalizovány zařízením ATLAS, některé pomocí běžných maloformátových stolních skenerů, a poté spojeny do jediného rastru pomocí software NIP2.

Obrázek 6.6: Ukázka z aplikace Moravské zemské knihovny

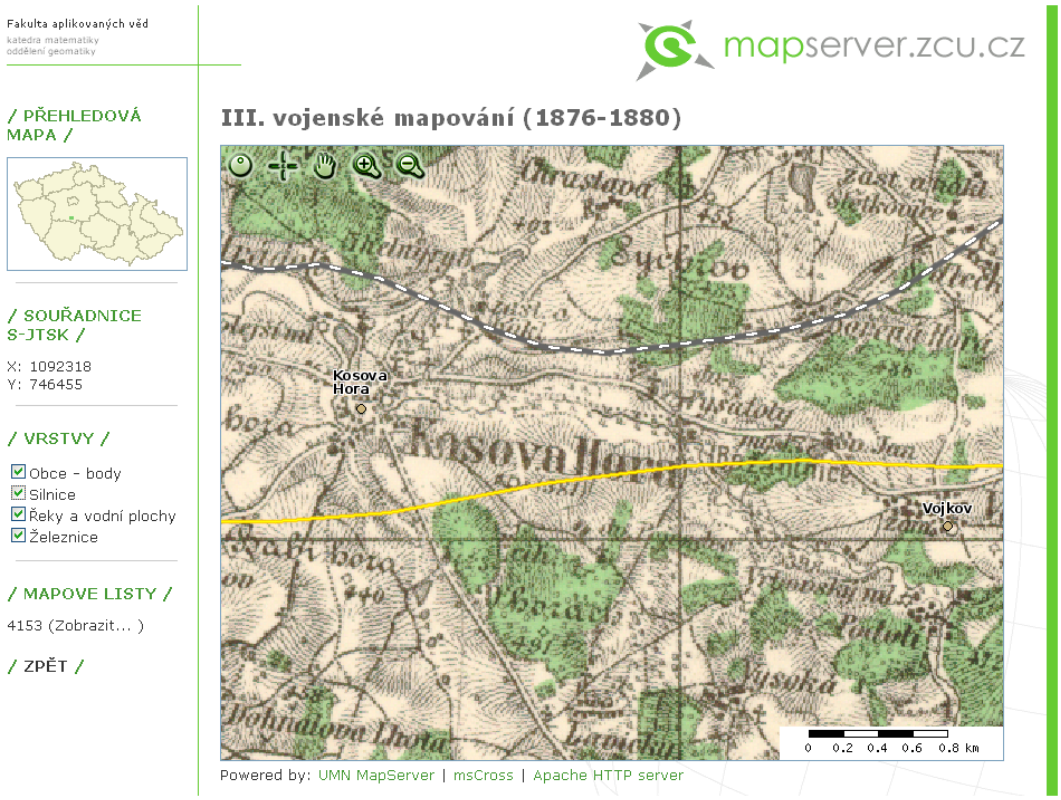
Některé projekty MZK jsou zmíněny v diplomové práci Přidala [35]. Jeho návrhy na levný způsob digitalizace starých map byly předneseny na konferenci *Archivy, knihovny, muzea v digitálním světě 2006*. Lze ocenit, že je zkoumán i jiný software než Zoomify, který je prakticky dominantní.

6.1.7 Západočeská univerzita, oddělení geomatiky

Na Západočeské univerzitě existuje v rámci katedry matematiky Fakulty aplikovaných věd oddělení geomatiky. Z práce oddělení v oblasti výzkumu starých map je možné zmínit habilitační práci Čady [12], která se týká převodu starých katastrálních map do současného souřadnicového systému, nebo publikaci o lokalizaci starých státních topografických mapových děl do S-JTSK [43]. Prvním pokusem o prezentování starých map na internetu je pak bakalářská práce Vohnouta [44].

Jeho aplikaci je možné nalézt na adrese `http://mapserver.zcu.cz`. Jako mapového

serveru je využita aplikace UMN MapServer, klient je založen na JavaScriptové knihovně msCross. Aplikace obsahuje speciálky III. vojenského mapování a dále referenční současný vektorový podklad. Jde o poměrně zdařilý projekt, zvlášť když jde „pouze“ o bakalářskou práci.

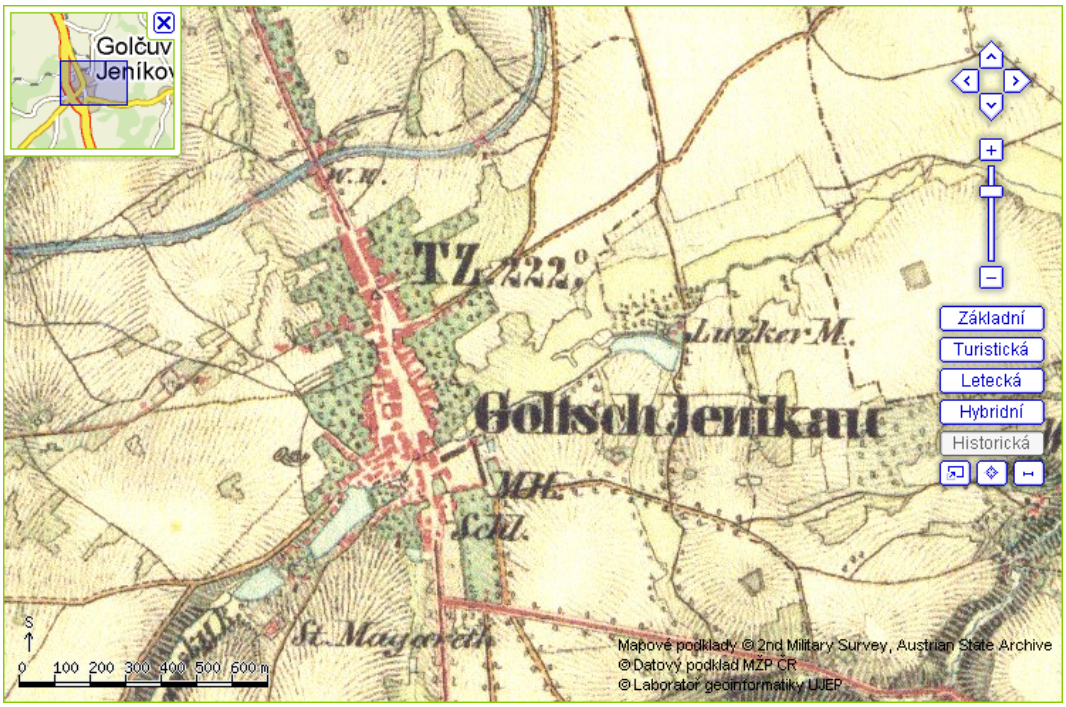


Obrázek 6.7: Ukázka z aplikace mapového serveru Západočeské univerzity

Aplikace umožňuje prohlížení map standardním způsobem v mapovém okně a nebo zvlášť po mapových listech (odkazem v levé části menu). Osobně mi nevyhovuje měřítkové omezení map, které jsou zobrazitelné až od určitého měřítka. Také referenční podklad je značně nepřesný a ve větších měřítkách spíše mate. Rychlost aplikace, která má rezervy, kritizuje na stránkách aplikace i sám autor. Velkou výhodou je použití služby WMS pro distribuci dat. Mapová služba by ještě potřebovala několik úprav, zejména sjednocení všech rastrů do jediné vrstvy. I přes výhrady je právě taková aplikace podle mě cestou, jakou by měla být zpřístupněna mapová díla. Osobně jsem s autorem aplikace několikrát konzultoval problémy při jejím vytváření. Jde o jedinou aplikaci kromě Portálu veřejné správy, která využívá pro staré mapy webových mapových služeb.

6.1.8 Mapy.cz

Server `http://www.mapy.cz` je určen především pro hledání míst v současných mapových podkladech. Samozřejmě je vybaven funkcemi vyhledávání zájmových objektů nebo hledání optimální trasy. Technologie serveru je založena na předgenerovaných statických dlaždicích dat, které jsou uloženy v centrálním skladu a indexovány. Jako klient funguje aplikace založená na nové metodě AJAX. Pomocí JavaScriptu jsou tak zařízeny funkce jako „donačítání“ dlaždic při posunu rastru nebo relativně plynulý pohyb při zvětšování a zmenšování. Kromě běžných map jsou na serveru k dispozici i barevná ortofota, a od dubna 2007 i rastry II. vojenského mapování. Tato data pocházejí z Laboratoře geoinformatiky UJEP, jsou georeferencována v systému UTM a převzorkována na velikost pixelu 4 metry. Tyto rastry je tak možné porovnávat s ostatními mapovými podklady na serveru. Bohužel chybí funkce průhlednosti rastrových vrstev.



Obrázek 6.8: Ukázka z aplikace Mapy.cz

Aplikace založené na AJAX jsou velmi uživatelsky přívětivé. Proto stále roste jejich obliba a jsou využitelné i pro staré mapy. První s podobnou aplikací prorazil gigant Google na svém mapovém serveru. Dnes existuje spousta prohlížeček založených na podobném principu. Popisovaný server je důkazem toho, že i staré mapy mohou být použity tímto způsobem, neboť služba je velmi využívána. Sám jsem se podílel na zpracování a georeferencování rastrových dat využitých právě tímto serverem.

6.1.9 StareMapy.cz

Server `http://www.staremapy.cz` není zaměřen na prezentaci starých map na internetu. Jde o jakýsi rozcestník týkající se obecně digitalizace a zpracování či zpřístupnění starých map. Autorem stránek je Petr Přidal a rozcestník je jedním z mnoha výsledků jeho diplomové práce [35]. Jde o dobrý nápad, který však zatím nemá potřebnou popularitu. Na stránkách je možné nalézt odkazy na servery se starými mapami nebo na autorovy publikace a odkazy na doporučovaný software.

Zmiňovaná diplomová práce je velmi zajímavá a popisuje především metodu levné digitalizace starých map včetně jejich následného zpřístupnění na Internetu. Dále jsou zde popsány projekty, na kterých autor pracoval – zpřístupnění části Mollovy mapové sbírky v projektu TimeMap, vytvoření prohlížečky ZoomifyJS využívající strukturu dlaždic Zoomify, vytvoření aplikace pro georeferencování dlaždic Zoomify v jazyku KML, publikace ukázkových map v GoogleEarth. Všechny projekty jsou zajímavé, i když je důraz kladen spíše na samotná obrazová data. Např. georeferencování staré mapy na 3 identické body je velmi nevhodné. Také mapové servery a webové mapové služby jsou v práci opomenuty. Protože se stal v březnu 2007 Petr Přidal studentem doktorského studia u mého školitele prof. Veverky, jsem s ním v kontaktu a sleduji dále jeho aktivity. Ty se nyní orientují na doplnění podpory statických dlaždicových dat do knihovny GDAL v rámci projektu Summer of Code 2007.

6.1.10 Ostatní servery

Kromě vyjmenovaných serverů je možné najít řadu dalších stránek, které částečně zpřístupňují staré mapy. Analýzou webové prezentace našich nejstarších map na internetu se zabývala v diplomové práci Bělecká [9]. Pokud vynecháme stránky zobrazující mapy ve velmi špatné kvalitě, prodejní servery s faksimilemi a lokální stránky zobrazující pouze detaily, můžeme ještě narazit na tyto zajímavé odkazy:

- `http://mapserver.fzp.ujep.cz`
- `http://www.vilemwalter.cz/mapy/`
- `http://mujweb.cz/www/mapy/`

V prvním případě jde o server zobrazující staré mapy Ústí nad Labem a to pouze pomocí běžného HTML. Druhý odkaz obsahuje stránky se starými mapami města Brna, zobrazované v technologii Zoomify. Pod třetím odkazem nalezneme nejstarší mapy z našeho území (skenované faksimile) zobrazované opět pouze pomocí HTML.

Kromě zmíněných serverů, které jsou zaměřeny přímo na staré mapy, existují i digitalizační projekty obecnější. Staré mapy jsou zde integrální součástí digitalizovaných fondů. Příkladem může být již zmíněný projekt *Manuscriptorium* v rámci programu VISK 6. Na adrese

`http://www.manuscriptorium.cz` lze nalézt digitalizované historické fondy (rukopisy, prvotisky) i staré tisky a mapy vydané do roku 1800. Přístup do této aplikace je však zpoplatněn.

Existuje jistě i řada dalších serverů, o jejich úplný výčet však ani nejde. Snažil jsem se popsat a zhodnotit nejvýznamnější projekty zpřístupnění starých map v ČR. Ve srovnání se světem nijak nezaostáváme v použitých technologiích. Dokonce bych řekl, že jsme poměrně daleko oproti některým zahraničním projektům, na které jsem při výzkumu narazil.

6.2 Situace ve světě

Ve světě existuje cela řada projektů zpřístupňující staré mapy na internetu. Stejně jako v našem prostředí, i ve světě jsou nejpoužívanějšími metodami pro jejich zobrazování čisté HTML, aplikace Zoomify, velmi zřídka obrazové či mapové servery. Přestože je naprosto nevhodné používat pro prezentování map pouze HTML, ve světě stále přetrvává tato obliba. Zoomify je využito např. v projektu popsaném v [8], ale i jinde. Využití mapového serveru a webových mapových služeb je ve světě ojedinělou záležitostí. Osobně vím pouze o dvou projektech, které se takovým problémem zabývají [14], [28]. S autory projektů jsem v kontaktu. Prvně citovaný projekt se týká zpřístupnění speciálek III. vojenského mapování pro celou monarchii Rakouska-Uherska. Použit je mapový server ArcIMS. Druhý projekt se týká mapového serveru se starými mapami Kanárských ostrovů. Využit je nekomerční UMN MapServer. Oba projekty jsou ukázkou toho, že mapové služby lze skutečně pro staré mapy využít.

V následujících odstavcích budou popsány pouze projekty, které jsou z mého pohledu zajímavé. Nemělo by smysl popisovat veškeré stránky se starými mapami ve světě, a tak je vybrána pouze nejvýznamnější kolekce a dále ukázka stránek založených na nové technologii Google maps API.

6.2.1 David Rumsey Map Collection

Patrně nejznámější server zpřístupňující staré mapy na Internetu je možné nalézt na adrese `http://www.davidrumsey.com`. K dispozici je zde více než 15 tisíc map. Pokud jde o prohlížení map, nabízí Rumsey Collection celkem čtyři způsoby:

- **Insight Browser** je založen na HTML a JavaScriptu.
- **Insight Java Client** je založen na Javě, a před prvním spuštěním je potřeba nainstalovat.
- **GIS Browser** je založen na Java appletech a aplikacích Maplicity a MapImager od společnosti Telemorphic. Ve funkčnosti se vyrovná běžným desktopovým GIS prohlížečkám.

- **Collections Ticker** je založen na technologii Flash a nabízí mapy jako pohybující se náhledy v liště.

Obrázek 6.9: Ukázka z aplikace David Rumsey Map Collection

Z mého pohledu mají všechny možnosti velkou nevýhodu v malé rychlosti zobrazení. U Java Clienta je nevýhodou nutnost instalace na lokální počítač. Zato práce v něm je potom poměrně komfortní. Aplikace samozřejmě umožňují vyhledávání map, a to jak podle datum vzniku, tak podle geografické oblasti, kterou zobrazují. Každopádně jde o zajímavé stránky, které využívají mnoha kvalitních technologií (někdy možná na úkor rychlosti).

6.2.2 Stránky založené na technologii Google maps

Jak bylo zmíněno dříve, na internetu se velmi rozmáhá využití technologie AJAX. Na této technologii je postaven i neznámější mapový prohlížeč na světě – Google maps. Kromě toho, že je tato technologie použita na samotném mapovém serveru Google, je k dispozici jednoduché API pro tvorbu vlastních mapových portálů založených na této technologii. API ještě není dokonalé, ale slibuje jednoduchou a rychlou tvorbu mapových rozhraní. Příkladem využití této aplikace je server `http://www.ponies.me.uk/maps/osmap.html`. Zde je možné

prohlížet staré mapy vydané Ordnance Survey[1]. Pro uživatele je výhodou známé prostředí a funkčnost.

6.3 ICA - Mezinárodní kartografická asociace

Mezinárodní kartografická asociace[2] je vrcholnou institucí celosvětové kartografie. Sdružuje odborníky ze všech zemí světa, kteří se zabývají koncepcí map, jejich tvorbou a výrobou, rozšířením a studiem map. Jednotlivé tematické okruhy zkoumání map mají na starosti *komise* a *pracovní skupiny*.

V oblasti zkoumání starých map existovala dlouho v rámci ICA jediná komise – *Comission on the History of Cartography*. Kromě vytvoření samostatné pracovní skupiny pro zkoumání koloniální kartografie v roce 2004 byla v roce 2005 vytvořena nová pracovní skupina s názvem *Working Group on Digital Technologies in Cartographic Heritage*. Vytvoření této pracovní skupiny dokumentuje fakt, že je téma mé práce aktuální. Celosvětově dochází k digitalizaci starých map a přidruženému výzkumu. Na Mezinárodní kartografické konferenci v roce 2007 v Moskvě byla tato pracovní skupina transformována na novou stálou komisi *Comission on Digital Technologies in Cartographic Heritage*, což jen dokládá význam tohoto odvětví kartografie.

V čele nové komise stojí prof. Livieratos (Soluň, Řecko), který stál už u zrodu zmíněné pracovní skupiny. Publikace pracovní skupiny (nyní již komise) jsou vydávány v internetovém sborníku *e-Perimetron*[3]. Z něj pochází také několik zde citovaných prací. S vedením komise jsem v kontaktu a doufám, že budu přijat alespoň za korespondenčního člena komise, abych mohl dále aktuálně sledovat trendy při digitalizaci a zpřístupnění dat ve světě.

[1] britská národní mapovací agentura
[2] International Cartographic Association (ICA)
[3] `http://www.e-perimetron.org/`

Kapitola 7

Řešené projekty

Do této chvíle byly v této práci prezentovány teoretické poznatky, které jsem získal během studia. V této kapitole budou prezentovány praktické projekty, na kterých jsem se podílel či podílím. Projekty využívají různé technologie, a tak je možné provést jisté srovnání. Stěžejním projektem je zpřístupnění map II. vojenského mapování na Internetu pomocí mapového serveru. Využita je jak možnost prohlížení dat, tak možnost distribuce dat pomocí WMS. Další projekty jsou většinou řešeny v rámci diplomových či bakalářských prací na mé domovské katedře mapování a kartografie. U prací jsem působil jako vedoucí či konzultant a jsem autorem návrhů systémů či použitých technologií.

Všechny projekty, které budou popsány v této kapitole, jsou přístupné na webu, a to na adrese `http://mapserver.fsv.cvut.cz`. Tato adresa odpovídá serveru, který byl během posledních dvou let využíván pro testování různých aplikací. Bohužel se hardwarově jedná pouze o obyčejné PC, a proto nemohl být dosažen optimální výkon aplikací. Počítač byl také využíván studenty pro další práce a nejedná se tak o server v pravém slova smyslu. Od srpna 2007 jsem zahájil práce na zprovoznění skutečného serveru poskytujícího staré mapy na novém hardware. Tento server běží na adrese `http://maps.fsv.cvut.cz`. Hardwarově se jedná o kvalitní serverový počítač *HP ProLiant 340ML*. Samozřejmostí jsou technologie SCSI disků a iLO[1]. Tento server bude postupně zprovozňován během druhé poloviny roku 2007. V první fázi dojde k přesunu všech stávajících projektů tak, aby byly poskytovány s lepším výkonem než doposud.

7.1 Druhé vojenské mapování

Zpřístupnění map II. vojenského mapování je rozsáhlým projektem, kterým se na katedře mapování a kartografie zabývám. Výsledky výzkumu poskytování starých map na Internetu pomocí různých technologií jsou zmíněny v závěrečné zprávě projektu GA ČR 205/04/0888 „Georeferencování a kartografická analýza historických mapování Čech, Moravy a Slezska“

[1] Integrated Lights-Out

a byly publikovány i na mezinárodním fóru [10], [11].

Základním cílem výsledné aplikace by mělo být zpřístupnění dat II. vojenského mapování v georeferencované podobě. Vytvořena by tedy měla být bezešvá mapa ČR, která bude snadno přístupná přes webový prohlížeč. Kromě toho bude tato mapa distribuována pomocí služby WMS. K zajištění těchto cílů bylo nutné shromáždit příslušná data, georeferencovat je, připravit bezešvou mapu a vytvořit internetovou aplikaci, která bude poskytovat mapy v prohlížeči a pomocí služby WMS.

7.1.1 Shromáždění podkladů a jejich analýza

Vzhledem ke spolupráci na řešení grantového úkolu GA ČR 205/04/0888 s Laboratoří geoinformatiky UJEP bylo poměrně snadné získat již naskenovaná data II. vojenského mapování. Jde o stejné rastry, které distribuovány pomocí technologie Zoomify (viz odstavec 6.1.1). Tyto rastry jsou uloženy v Rakouském státním archivu (Österreichisches Staatsarchiv, Kriegsarchiv) a byly skenovány pro Ministerstvo životního prostředí ČR. Laboratoř geoinformatiky UJEP má práva tyto mapy dále distribuovat. Při analýze těchto rastrů byly zjištěny následující parametry:

- hustota skenování 400 *dpi*
- barevná hloubka 8 bit (adaptivní barevná paleta)
- formát dat TIFF s LZW kompresí

Některé mapové listy byly skenovány vícekrát kvůli většímu rozměru mapových listů než skenovacího zařízení. Mapové listy tak byly skenovány nadvakrát. Přesahy však nejsou velké a nikdy se netýkají samotné mapové kresby. Většinou jde o doplňující textové informace k mapě, které nebudou pro distribuci potřeba. Hustota skenování vyhovuje požadavkům na prezentaci na Internetu, barevná hloubka je dle mého názoru nedostačující. Při případném dalším skenování bych doporučoval skenovat rozhodně ve 24-bitových barvách. Formát TIFF je naprosto vyhovující.

7.1.2 Georeferencování map

Mapy II. vojenského mapování byly na našem území vyhotovovány na základě souběžně vznikajících map Stabilního katastru. Mají tedy stejný souřadnicový systém:

- Zachův elipsoid
- Cassini-Soldnerovo transverzální válcové zobrazení ekvidistantní v kartografických polednících

- Osu x tvoří obraz základního poledníku, její kladný směr je orientován k jihu, osa y je kolmá na osu x a její kladný směr je orientován k západu.

Díky tomu, že byl Čadou [12] navržen a realizován globální transformační klíč (GTK) mezi popsaným souřadnicovým systémem a S-JTSK, bylo georeferencování rastrů do tohoto systému poměrně jednoduché. Otázkou zůstávalo, jaký transformační model použít. Vzhledem k tomu, že jsou mapy vytvořené v pravidelném kladu listů, vyžadujeme vytvoření souvislé mapy bez spár. Toho můžeme dosáhnout buď dvojstupňovou transformací (nejdříve globální, potom dotransformace) nebo využitím takové transformace, která při použití na mapové listy vytvoří přesně souvislý obraz. Řešením tohoto problému jsem se intenzivně zabýval. Ačkoliv je možné využít pro transformaci identické body v mapě a poté vyrovnávat styky mapových listů pomocí dotransformace, já jsem zvolil pro georeferencování rohy mapových listů, jejichž souřadnice byly určeny z GTK. Použitím projektivní transformace dojde ke ztotožnění všech čtyřech identických bodů. Pro všechny mapové listy pak dostáváme přesně souvislou oblast.

Protože v běžném GIS software není možné použít projektivní transformaci, byla georeference nakonec provedena v grafickém systému KOKEŠ. Ten se ukázal jako nejrychlejší ze všech vyzkoušených řešení. I tak je práce s rastry velikosti cca 100 MB poměrně náročná. Pro kvalitní práci je zde vyžadován hlavně dostatek operační paměti počítače.

Při georeferencování použitím projektivní transformace na rohy mapových listů můžeme narazit na dva hlavní problémy. Určit přesný roh mapy je někdy velmi obtížné. Právě v rohových oblastech mapových listů je kresba často nezřetelná, někde může dokonce část mapy chybět. Roh je pak třeba konstruovat pomocí naznačeného mapového rámu. Já jsem při georeferencování postupoval tak, že jsem vizuálně porovnával návaznosti kresby okolních mapových listů. Pokud rozdíly v návaznostech nepřesahovaly hodnoty publikované střední chyby map (asi 30 metrů [38], [45], [31]), byl jsem s výsledkem spokojen. Při větším nesouladu jsem zkoumal okolní mapové listy a pokusil se určit polohu rohu lépe. Zavést nějaké globální kritérium je v tomto případě nemožné. U každého mapového listu je třeba postupovat individuálně. Druhým problémem při georeferencování na čtyři rohy mapových listů může být deformace map. K té mohlo dojít během dlouhé doby skladování v archivu. Rovné strany mapového rámu mohou vykazovat prohnutí, a proto může mapa po transformaci přesahovat do dalšího mapového listu či částečně chybět. Odstranění této chyby by bylo možné pomocí transformace listu definovaného svým okrajem. Toho je využito např. při metodě plátování [13]. Pro georeferencování velkého souboru map by však takový postup pro mě znamenal minimálně rok práce strávený pouze s georeferencováním. Vlastní zkušenosti při georeferencování potvrdily některé mé domněnky:

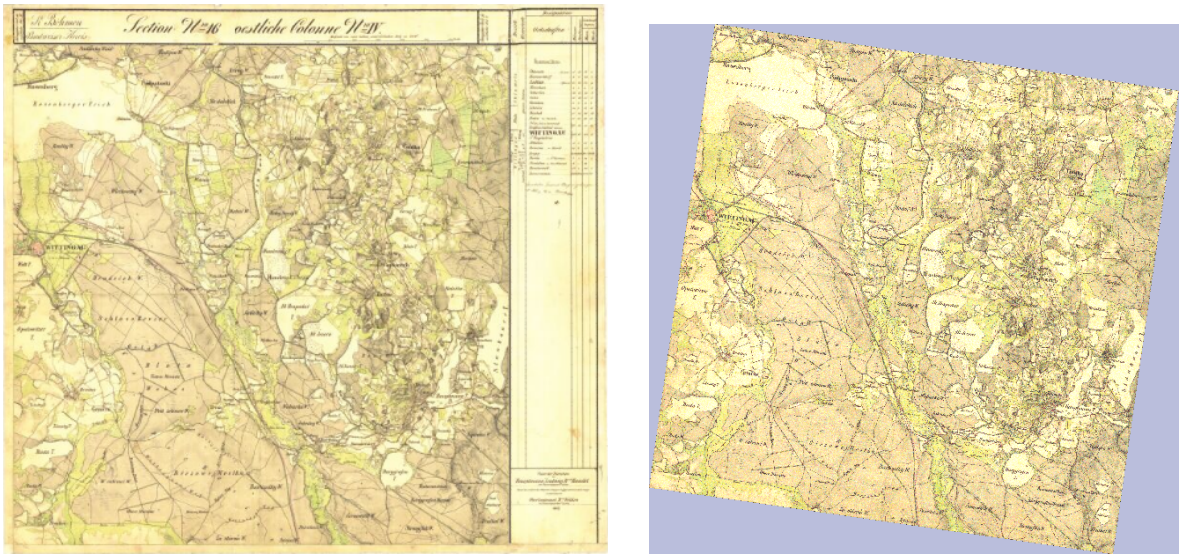
- Projektivní transformace se velmi hodí pro georeferencování mapových děl v definovaném kladu listů.
- Způsob odečítání souřadnic rohů je specifický pro každého člověka. Proto by měl být celý soubor zpracován jedním člověkem a tudíž jednotně.

- Prohnutí rámů map jsou nad mezí grafické přesnosti map pouze u 20 procent map. Z tohoto důvodu by bylo neefektivní využívat metodu plátování při georeferencování. Její využití je možné nahradit dotransformacemi na styku mapových listů.

Aby bylo možné mapové listy složit do bezešvé mapy, bylo třeba odstranit v rastrech přebytečnou kresbu za mapovým rámem. Tato část byla vyřešena v software KOKEŠ pomocí ořezání rastrů podle spojnic rohů mapových listů. Výsledné rastry byly uloženy do formátu BMP. Zároveň byly exportovány soubory se souřadnicovým připojením TFW. Formát BMP byl vybrán pouze jako dočasný, KOKEŠ totiž neumí exportovat data do formátu TIFF. Konverze BMP–TIFF byla provedena pomocí softwarového balíku *FWTools*, konkrétně skriptem `gdal_translate`:

```
gdal_translate -co "COMPRESS=LZW" raster.bmp raster.tif
```

Výsledkem byly dvojice souborů TIFF+TFW. Porovnání vstupního a výstupního rastru je vidět na obrázku 7.1.



(a) původní (b) georeferencovaný

Obrázek 7.1: Ukázkový rastr II. vojenského mapování

7.1.3 Výběr a instalace vhodného software

Než mohlo dojít k samotnému zpřístupnění georeferencovaných dat, bylo nutné rozmyslet, jaký software bude potřeba nainstalovat. Vzhledem k akademické povaze projektu, a také díky nulovým pořizovacím nákladům jsem se rozhodl vyvíjet celou aplikaci nad software z kategorie Open Source. Pokud jde o kategorie vlastního software, bylo nutné rozhodně

použít webový server a mapový server. Pro případné propojení s databází bylo nutné nainstalovat skriptovací jazyk pro přístup k databázi a samotný databázový systém. Volba padla na následující software:

- webový server Apache 2.0.59
- mapový server UMN MapServer 4.10
- skriptovací jazyk PHP 4.4.4
- databázový systém PostgreSQL 8.1

Operační systém počítače jsem bohužel volit nemohl. Kvůli využití serveru i na jiné účely zde musel být ponechán systém Microsoft Windows XP. S přechodem na nový hardware bude vše převedeno pod operační systém Ubuntu Linux. Dále budou použity novější verze všech zmíněných programů.

Instalace všech produktů proběhla bez problémů přímo z instalačních balíčků. Ve webovém serveru bylo třeba nastavit adresář pro spouštění CGI aplikací a do tohoto adresáře umístit program `mapserv.exe`. Zároveň bylo nutné nastavit v konfiguraci webového serveru načítání PHP a PostgreSQL modulů. Detailnější nastavení všech aplikací je možné nalézt na webu a příslušných diskuzních skupinách. Tam jsem také čerpal já při řešení konkrétních problémů s nastavením. O správnosti instalace mapového serveru, který je pro nás klíčový, se můžeme přesvědčit webovým dotazem:

```
http://mapserver.fsv.cvut.cz/cgi-bin/mapserv.exe
```

Správně nainstalovaná aplikace se ohlásí a zobrazí chybovou hlášku, která oznamuje, že v dotazu nejsou žádné parametry k dekódování. Když se mi podařilo všechny aplikace rozběhat, mohl jsem začít s vlastní přípravou dat pro mapový projekt.

7.1.4 Příprava dat pro mapový projekt

Před vlastní přípravou dat jsem měl k dispozici všechny georeferencované rastry II. vojenského mapování ve formátu TIFF+TFW. Jak je vidět na obrázku 7.1, georeferencované rastry jsou natočené (převzorkované) a zbývající prázdné oblasti jsou vyplněny světle modrou barvou. Formát TIFF sice povoluje průhlednost rastrů, ale tím, že bylo jako meziformátu využito BMP, nemohla být průhlednost uložena. Kvůli různým vlastnostem jsem se rozhodl připravit data do dvou různých formátů, a to TIFF a JPEG.

Příprava ve formátu TIFF znamenala odstranění kresby mimo samotný list (odstranění světle modrých oblastí) a nastavení průhlednosti. Pro rychlejší přistup k datům pak byly všechny listy pyramidovány. Odstranění oblastí vzniklých při natočení rastrů a nastavení jejich průhlednosti byl poměrně složitý úkol. Ruční práce by v tomto případě byla úmorná.

Naštěstí software Adobe Photoshop, který je na katedře mapování a kartografie používán, umí zaznamenávat jednotlivé kroky práce s obrazem do uložitelných sekvencí. S trochou zkoušení jsem nakonec vytvořil sekvenci, která byla aplikována na všechny rastry. Úspěšnost sekvence byla přes 95 procent, zbylé nestandardní rastry byly převedeny ručně. Pro pyramidování rastrů byl využit opět balík *FWtools*, konkrétně skript `gdaladdo`:

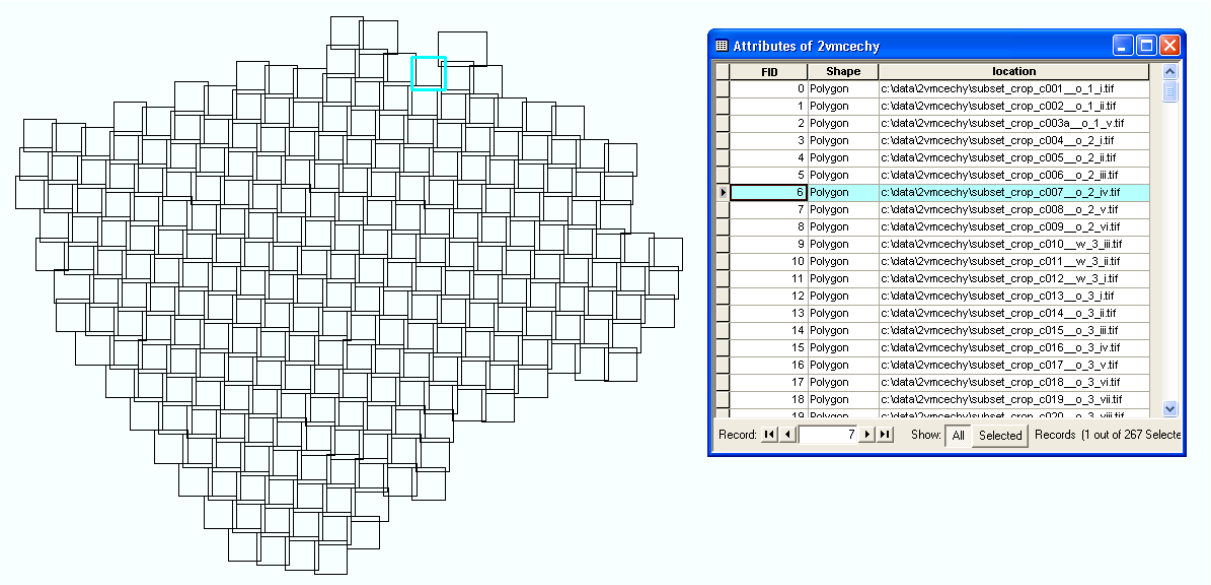
```
gdaladdo -r average raster.tif 2 4 8 16 32 64 128 256
```

Tento skript zajistí vytvoření osmi pyramidových vrstev se zdvojnásobující se velikostí pixelu v souboru `raster.tif`. Jako metoda převzorkování je užita bilineární interpolace. Tuto metodu jsem vybral po vizuální kontrole výsledku všech nabízených možností.

Protože jsou data použita v mapovém serveru UMN MapServer, bylo nutné rozmyslet, jaká bude hierarchie vrstev v rámci mapového projektu. Ideálním způsobem je podle mě vytvoření jediné obrazové vrstvy. Spojovat rastry však není účelné. Daleko lepší možností je vytvoření indexové vrstvy nad obrazovými daty, která máme k dispozici. Tato indexová vrstva se pak v rámci UMN MapServeru „tváří“ jako jediná rastrová vrstva. Pro indexování jsem z balíku *FWTools* využil skript `gdaltindex`:

```
gdaltindex -tileindex location index.shp *.tif
```

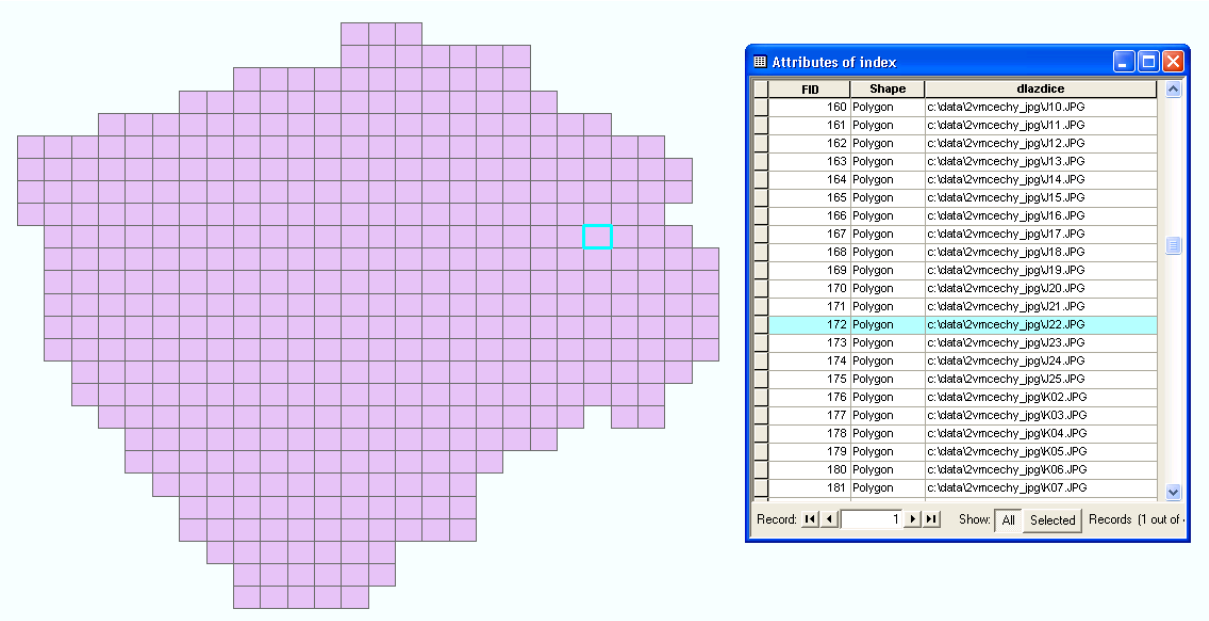
Pro indexaci UMN MapServer využívá vektorový formát Shapefile. V kresbě vrstvy jsou uloženy obdélníky s pozicemi georeferencovaných rastrů, jako jediný atribut je uložena cesta k reálnému rastru. Ukázka indexového souboru je na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2: Indexová vrstva rastrové vrstvy ve formátu TIFF

Po indexaci máme rastrová data připravena pro vložení do mapového projektu. Tímto způsobem jsem zpracoval jak území v gusterberském, tak ve svatoštěpánském systému. Ke spojení obou systémů by mohlo dojít, vyžadovalo by to však ořezání rastrů z jedné soustavy podle hranice tak, aby nedošlo k překrytu nepotřebnými částmi rastru. Tato práce je celkem zřejmá, nicméně vyžaduje několikatýdenní manuální práci. Z nedostatku času zatím nebyla provedena, nicméně se na ni chystám. Kromě georeferencování do systému S-JTSK jsem provedl s pomocí kolegy Krejčího georeferencování do souřadnicového systému UTM, a to opět jak pro gusterberský tak pro svatoštěpánský systém. Ačkoliv mapový server umí data transformovat v reálném čase mezi souřadnicovými systémy, přece jen je výhodné mít data nejen v lokálním systému, a to zejména pro zájemce o spolupráci ze zahraničí.

Druhá sada dat je založena na formátu JPEG. Tento formát je možným výstupem přímo ze software KOKEŠ, a proto není nutná konverze pomocí formátu BMP. Nevýhodou formátu JPEG je nemožnost nastavení průhlednosti rastru. To by mělo při obdobném postupu, který byl popsán, za následek překryt okolních rastrů oblastmi, které vznikly po jeho natočení a převzorkování (světle modré trojúhelníky). Za pomoci Ing. Doubravy ze společnosti GEPRO byly všechny rastry v software KOKEŠ zamaskovány podle ořezu a spojeny do jediného rastru. Tento rastr byl následně rozřezán na definované dlaždice ve formátu JPEG. Ke každé dlaždici byl vygenerován příslušný JGW soubor s informací o souřadnicovém umístění. Operace spojení a rozřezání rastru trvala na poměrně kvalitním kancelářském počítači téměř 24 hodin. Vygenerovaná indexová vrstva (obrázek 7.3) výsledných dat ukazuje, že již nedochází k překrytu jednotlivých rastrů a není tak nutné využít průhlednosti.



Obrázek 7.3: Indexová vrstva rastrové vrstvy dlaždic v JPEG

Takto zpracovaná data mám k dispozici pro gusterberský souřadnicový systém. Pro svatoštěpánský systém by byl postup obdobný. Nevýhody formátu JPEG však jsou ne-

jen v nemožnosti nastavení průhlednosti. Formát JPEG nepodporuje pyramidování rastrů. Proto, pokud chceme zajistit co největší výkon aplikace, je nutné pyramidové vrstvy vytvořit fyzicky odděleně od dat samotných. Lze k tomu využít opět softwarový balík *FWTools* a jeho skript `gdal_translate`. Pro vytvoření obdobných osmi pyramidových vrstev jako u formátu TIFF by bylo nutné tento skript pustit osmkrát. Zde je vidět ukázka nastavení pro vytvoření čtyř vrstev:

```
gdal_translate -of JPEG -outsize 50% 50% A13.JPG A13_2.JPG
gdal_translate -of JPEG -outsize 25% 25% A13.JPG A13_4.JPG
gdal_translate -of JPEG -outsize 12.5% 12.5% A13.JPG A13_8.JPG
gdal_translate -of JPEG -outsize 6.25% 6.25% A13.JPG A13_16.JPG
```

Pro každou z vrstev bylo nutné vytvořit samostatný indexový soubor pomocí skriptu `gdaltindex`. V samotném nastavení mapového projektu UMN MapServeru pak data vystupují v tolika vrstvách, v kolika jsou fyzicky uložená, což je nevýhodné. U interních pyramid formátu TIFF je vše uloženo pouze v jedné vrstvě. Na základě uvedených vlastností formátu JPEG jsem se rozhodl pracovat dále pouze s formátem TIFF. Jeho velikost je sice několikanásobně větší, nicméně obsahuje originální data a práce s ním je jednodušší. Pro data uložená ve formátu JPEG je nadějí nová verze JPEG2000, která již umožňuje uložení pyramidových vrstev. Spojení více rastrových vrstev do jedné zase řeší technika *rastrové virtuální vrstvy* v UMN MapServeru. Tyto možnosti jsem zatím nestihl prozkoumat, ale věřím, že by mohly být použitelné.

7.1.5 Tvorba mapového projektu

Mapový projekt v UMN MapServeru je definován jediným souborem nazývaným *mapfile (MAP)*. V tomto souboru je možné nastavit jednotlivé datové vrstvy, jejich vizualizaci, měřítková omezení, tvorbu legendy, grafického měřítka atd. Všechny možnosti nastavení mapového projektu jsou popsány ve skvělé dokumentaci na domovské stránce UMN MapServeru[2]. Schéma *mapfile* je vidět z následující ukázky:

```
MAP
  EXTENT 290000 5370000 604000 5660000
  SIZE 560 392
  UNITS meters
  SHAPEPATH "c:\data\2vmnove\"
  TRANSPARENT ON
  IMAGECOLOR 255 255 255
  FONTSET "C:\WINDOWS\Fonts\font.list"
  IMAGETYPE PNG
```

[2]http://mapserver.gis.umn.edu

```
  PROJECTION
    "init=epsg:32633"
  END

  WEB
    ...
  END

  REFERENCE
    ...
  END

  SCALEBAR
    ...
  END

  LAYER
    ...
  END
END
```

Jde o textový soubor, který má hierarchickou strukturu podobnou XHTML. Každý objekt začíná klíčovým slovem (svým názvem), končí slůvkem `END`. Kořenovým objektem je `MAP`. V rámci tohoto objektu jsou definovány:

- souřadnicové ohraničení mapy při startu aplikace (`EXTENT`)
- velikost generovaného obrazu v pixelech (`SIZE`)
- jednotky (`UNITS`)
- kořenový adresář s daty (`SHAPEPATH`)
- nastavení průhlednosti (`TRANSPARENT`)
- barva pozadí mapy (`IMAGECOLOR`)
- cesta k souboru s definicemi fontů (`FONTSET`)
- formát generovaného obrázku (`IMAGETYPE`)

Všechny další objekty (sekce) jsou vnořené do objektu `MAP`. V rámci objektu `PROJECTION` se definuje použitý souřadnicový systém pro výstupní mapu pomocí kódu EPSG. V mém případě je použit kód `espg:32633`, který představuje zónu 33 v souřadnicovém systému UTM.

V sekci `WEB` se definují vlastnosti mapy z hlediska webového přístupu k ní. Je zde definována cesta k XHTML stránce, v rámci které bude mapa zobrazena (`TEMPLATE`), cesta pro ukládání generovaných map, a to jak ve formátu interní cesty (`IMAGEPATH`), tak ve formátu URL (`IMAGEURL`). Jsou zde také definována metadata pro distribuci službou WMS:

```
WEB
  TEMPLATE "c:\web\data\vm2.html"
  IMAGEPATH "c:\web\data\tmp\"
  IMAGEURL "http://b866-4.fsv.cvut.cz/data/tmp/"
  METADATA
   "wms_title"           "WMS 2. vojenské mapování"
   "wms_onlineresource"  "http://mapserver.fsv.cvut.cz/cgi-bin/vm2&"
   "wms_srs"             "EPSG:32633 EPSG:4326 EPSG:102067"
  END
END
```

V sekci `REFERENCE` je definována přehledová mapka, která ve webové stránce slouží k zobrazování aktuálního výřezu mapy. Kromě cesty k samotnému souboru s mapkou jsou stejně jako pro celou mapu nastaveny velikost obrázku a jeho souřadnicové ohraničení. Dále jsou definovány parametry definující tvar, barvu a velikost symbolu, kterým bude znázorněn aktuální výřez mapy. Barvy jsou definovány v systému RGB.

```
REFERENCE
  IMAGE "c:\data\2vmnove\ref2.gif"
  SIZE 166 101
  EXTENT 270000 5358000 805000 5684000
  MINBOXSIZE 10
  MAXBOXSIZE 60
  COLOR  200 200 255
  OUTLINECOLOR 0 0 255
  MARKERSIZE 20
  MARKER "cross"
  STATUS ON
END
```

V sekci `SCALEBAR` je definováno generování grafického měřítka mapy. To se vytváří do samostatného grafického souboru. Nastavuje se typ měřítka, jeho barva, velikost, styl popisu, jednotky.

```
SCALEBAR
  IMAGECOLOR 255 255 255
  LABEL
```

```
    COLOR 0 0 0
    SIZE SMALL
  END
  STYLE 1
  SIZE 200 5
  COLOR 0 0 0
  UNITS METERS
  INTERVALS 4
  TRANSPARENT FALSE
  STATUS ON
END
```

Stěžejními sekcemi celého *mapfile* jsou `LAYER`. Zde jsou definovány vlastnosti jednotlivých vykreslovaných vrstev. V následujícím fragmentu je definována indexovaná rastrová vrstva. Indexní soubor s názvem `index.shp` má v atributu s názvem `dlazdice` uloženy cesty k jednotlivým rastrům. Definováno je samozřejmě jméno vrstvy a jeho metadata v rámci WMS. `STATUS` je pole určující, zda bude tato vrstva zobrazena vždy (`DEFAULT`) nebo bude možnost jí vypnout (`ON` – zapnutá při startu aplikace, `OFF` – vypnutá při startu aplikace).

```
LAYER
  NAME VM2
  METADATA
    "wms_title" "VM2"
  END
  PROJECTION
    "init=epsg:32633"
  END
  TILEINDEX "index.shp"
  TILEITEM "dlazdice"
  TYPE RASTER
  STATUS DEFAULT
END
```

V následujícím fragmentu je definována vektorová vrstva s hranicemi okresů ČR. Opět je nastaveno jméno, `STATUS` a cesta k datům. Protože jsou data uložena v jiném souřadnicovém systému, je třeba to definovat. UMN MapServer pak automaticky transformuje data do výstupního souřadnicového systému. V sekci `CLASS` je definován způsob, jakým budou vektorová data vizualizována.

```
LAYER
  NAME hranice
  STATUS OFF
  DATA "okresy.shp"
```

```
    TYPE POLYGON
    TRANSPARENCY 100
    PROJECTION
       "init=epsg:102067"
    END
    CLASS
       STYLE
          OUTLINECOLOR 255 0 0
       END
    END
END
```

Kromě vrstev, které využívají lokální data, je možné definovat vrstvy se zdrojem dat z WMS služeb. Následující ukázka představuje vrstvu vrstevnic z datového skladu ÚHÚL. Tímto způsobem je možné připojit libovolná data, která splňují standard OGC.

```
LAYER
  NAME vrstevnice
  TYPE RASTER
  OFFSITE 0 0 0
  STATUS OFF
  TRANSPARENCY 100
  CONNECTIONTYPE WMS
  CONNECTION "http://212.158.143.149/cgi-bin/mapserv?     \\
              map=/mnt/data/proj/oprl_2003/wms.map&amp;"
  METADATA
    "wms_title" "Výškopis"
    "wms_name" "vrstev"
    "wms_server_version" "1.1.1"
    "wms_srs" "epsg:32633"
    "wms_format" "image/png"
  END
END
```

Na fragmentech souboru bylo vysvětleno, jak pracuje soubor nastavení *mapfile*. Uvedená ukázka přímo odpovídá jednomu ze dvou fungujících mapových projektů, které jsem vytvořil:

- První mapový projekt (popsaný) obsahuje data II. vojenského mapování georeferencována v 33. zóně systému UTM. Data jsou uložena ve formátu TIFF s průhledností a kompresí LZW. Tyto rastry jsou indexovány pomocí vektorové vrstvy. Jako další vrstvy jsou definovány vektorová vrstva okresů ČR a přes WMS připojené vrstevnice z datového skladu ÚHÚL. Kvůli nedostatku místa na pevném disku serveru obsahuje

vrstva II. vojenského mapování pouze západní polovinu rastrů v gusterberském systému. Webová služba WMS pro tento projekt běží na adrese:

`http://mapserver.fsv.cvut.cz/cgi-bin/vm2?`

- Druhý mapový projekt obsahuje data II. vojenského mapování, která jsou georeferencována v S-JTSK. Data jsou uložena ve formátu JPEG v pravidelně vytvořených dlaždicích. Tyto rastry jsou také indexovány pomocí vektorové vrstvy. Dále jsou definovány vektorová vrstva s hranicemi okresů ČR, klad listů Státní mapy 1 : 5000 z WMS služby ÚHÚL, vrstevnice z WMS služby ÚHÚL a barevné ortofoto z WMS služby Portálu veřejné správy. Opět kvůli nedostatku místa jsou k dispozici pouze rastry z gusterberského systému. Webová služba WMS pro tento projekt běží na adrese:

  `http://mapserver.fsv.cvut.cz/cgi-bin/wms?`

Tyto mapové projekty jsou pak použity ve vytvořených webových aplikacích. Jejich nedokonalost je dána hlavně velkým omezením z hlediska hardware serveru. V druhé polovině roku 2007 bude zprovozněn reálný server a k dispozici tak bude aplikace poskytující data z celého území ČR v dostatečné kvalitě a rychlosti. Tvorba mapových projektů v UMN MapServeru je poměrně jednoduchá. Přesto bylo třeba důkladného studia dokumentace k tomu, abych plně pronikl do celé problematiky. Troufám si tvrdit, že nyní již UMN MapServer poměrně solidně ovládám.

7.1.6 Tvorba webové aplikace

Ve chvíli, kdy je připraven mapový projekt, je možné začít tvořit vlastní webovou aplikaci. Já jsem postupoval tak, že jsem nejdříve vyzkoušel vytvoření běžné CGI aplikace založené na statickém web mappingu. Tuto aplikaci je možné nalézt na rozcestníku mapových serverů na adrese `http://mapserver.fsv.cvut.cz` pod položkou „II. vojenské mapování (CGI MapServer)“. V této aplikaci je k vidění prvně zmíněný mapový projekt. Poté jsem začal zkoumat možnosti interaktivního web mappingu a na základě studia jsem vytvořil kvalitnější aplikaci založenou na metodě AJAX. V rámci této aplikace je také vytvořeno propojení s databází všech obcí v ČR pro vyhledávání. Druhou aplikaci je možné nalézt na stejné adrese jako první pod položkou „II. vojenské mapování (CGI MapServer + AJAX)“. V této aplikaci je pak k vidění druhý z popisovaných mapových projektů.

Statický web mapping je založen na XHTML formulářích a CGI. Jako CGI aplikace vystupuje na serveru soubor `mapserv.exe`. Definice formuláře v XHTML pak vypadá následovně:

```
<form name="mapserv" method="GET" action="/cgi-bin/mapserv.exe">
  ...
</form>
```

V rámci formuláře je třeba zvolit pole, které slouží jako vstup parametrů. V mém případě jde o zaškrtávací políčka pro zobrazování mapových vrstev (mapy II. vojenského mapování jsou nastaveny tak, že se zobrazují vždy) a výběrové menu pro změnu měřítka mapy (umožňuje mapu zmenšit nebo zvětšit v předdefinovaných násobcích). Jako vstupní pole slouží i samotné mapové okno. Po kliknutí do něj dochází k vycentrování mapy podle místa kliknutí. Stejným způsobem funguje i přehledová mapka. CGI program UMN MapServer umí zpracovat mnoho proměnných. V mé aplikaci jsou použity `map`, `layer`, `zoom`, `imgext`, `imgxy`, `img.x`, `img.y`, `ref.x` a `ref.y`.

V proměnné `map` je uložena cesta k *mapfile* příslušného mapového projektu. Zaškrtávací políčka mají definováno pomocí atributů `name` a `value` své jméno a hodnotu. Před odesláním formuláře je vždy zkontrolováno, která políčka jsou zaškrtnuta. Podle toho jsou pak generovány dvojice `proměnná=hodnota` pro zaslání na server. Protože v mém případě fungují políčka jako přepínače pro jednotlivé vrstvy, všechny mají jméno `layer` a jako hodnotu mají nastaven název příslušné vrstvy v *mapfile*. Výsledkem zaškrtávání může být výraz:

```
layer=hranice&layer=vrstevnice
```

Výběrové menu v mé aplikaci slouží pro změnu měřítka mapy. Jméno menu je proto nastaveno na `zoom`, jako hodnota může vystupovat libovolné celé číslo. Pokud se má po výběru položky dvakrát zvětšit měřítko, musí být v příslušné hodnotě nastaveno `"2"`. Pro zmenšení měřítka slouží záporná čísla. Zachování měřítka je provedeno při nastavení nuly. Po výběru položky je opět vygenerována dvojice `proměnná=hodnota`, tedy například

```
zoom=2
```

Po prvním spuštění aplikace je v proměnné `imgext` nastaveno souřadnicové ohraničení mapy z *mapfile*. V proměnné `imgxy` jsou nastaveny pixelové souřadnice středu mapy v rámci obrazu. Hodnota `zoom` je nastavena na nulu, `layers` jsou nastaveny podle definice v *mapfile*. Vygenerována je tak základní mapa. Kliknutím do plochy mapy je změněna hodnota proměnných `img.x` a `img.y`. Stejně tak kliknutím do plochy přehledové mapky jsou nastaveny hodnoty proměnných `ref.x` a `ref.y`.

Výsledný dotaz bývá v běžných formulářích odeslán na server po stisknutí tlačítka. V mém případě je stisknutí tlačítka nahrazeno změnou jakékoliv proměnné. Toho je docíleno pomocí DOM a JavaScriptu. U všech definic vstupních polí je po výběru automaticky spuštěna JavaScriptová funkce `submit()`, která odesílá formulářová data na server. Dotaz zasílaný pomocí HTTP metody GET po kliknutí do mapy může mít podobu:

```
http://mapserver.fsv.cvut.cz/cgi-bin/mapserv.exe?
     map=/web/data/vmdesktop.map&
     imgext=270000 5369995 684300 5660005&
     imgxy=280.0 196.0&
```

```
img.x=152&
img.y=203&
layer=hranice&
layer=vrstevnice&
zoom=0
```

Dotaz je odeslán na webový server, ten předá řízení pomocí CGI mapovému serveru. Mapový server zjistí hodnoty proměnných v dotazu, načte příslušný *mapfile* a zjistí, jaké vrstvy má použít k vytvoření obrazu (vrstva `VM2` je nastavena pro zobrazování vždy, v dotazu se navíc objevují další dvě vrstvy). Jsou tedy použity tři datové vrstvy (pořadí vykreslování vrstev přes sebe je dáno pořadím v *mapfile*). Z původního souřadnicového omezení, ze souřadnic bodu mapy, kde došlo ke kliknutí a z hodnoty pro zvětšení měřítka je možné dopočítat nové souřadnicové ohraničení mapy. Označíme-li prvky v polích pomocí standardního zápisu v programovacích jazycích (tedy pomocí hranatých závorek), je algoritmus výpočtu při zachování měřítka následující:

$$s = stareimgext, \quad n = noveimgext, \quad img = imgxy, \quad x = img.x, \quad y = img.y$$

$$\begin{aligned} pix &= \frac{s[3] - s[1]}{2.img[1]} \\ n[1] &= s[1] + pix.(img[1] - x) \\ n[2] &= s[2] + pix.(img[2] - y) \\ n[3] &= n[1] + 2.pix.img[1] \\ n[4] &= n[2] + 2.pix.img[2] \end{aligned} \tag{7.1}$$

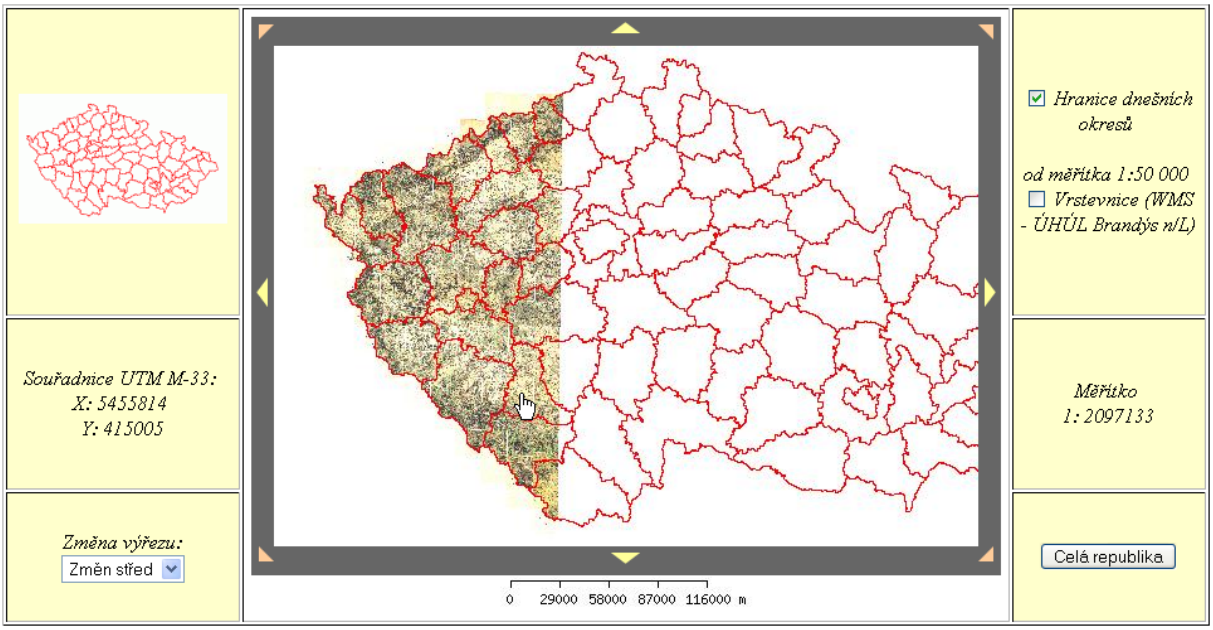
Pomocí souřadnic nového souřadnicového omezení je z dat na serveru vygenerována mapa a uložena na serveru. Ve stejnou chvíli jsou generovány i ostatní grafické prvky, pokud jsou definovány v *mapfile*. Jde zejména o přehledovou mapku a grafické měřítko. Protože UMN MapServer disponuje šablonovým systémem, je možné v rámci webových stránek používat přímé odkazy na generované objekty pomocí speciálních odkazů. Pokud chceme vložit do stránky přehledovou mapku, stačí použít text `[ref]`. Pro měřítko je možné použít `[scalebar]`, pro samotnou mapu `[img]`. Kromě grafických objektů UMN MapServer generuje i textové objekty (souřadnice středu mapy `[center]`, cestu k *mapfile* `[map]`, jméno serveru `[hostname]`). Kompletní popis šablonových objektů je možné nalézt v již zmíněné dokumentaci k UMN MapServeru.

Po rozmyšlení a realizování funkčnosti mi zbývalo pouze rozvrhnout webovou stránku z uživatelského hlediska. Dle mých zkušeností je nejpřehlednější rozložení zásadních prvků následující:

- přehledová mapka vlevo nahoře

- hlavní mapové okno uprostřed nahoře
- ovládací prvky vlevo a vpravo od mapy
- případné popisné informace nebo výsledky dotazů pod mapou

Tímto způsobem jsem vytvořil jednoduchou webovou stránku s mapovou aplikací. Náhled na celou aplikaci dávají obrázky 7.4 a 7.5.



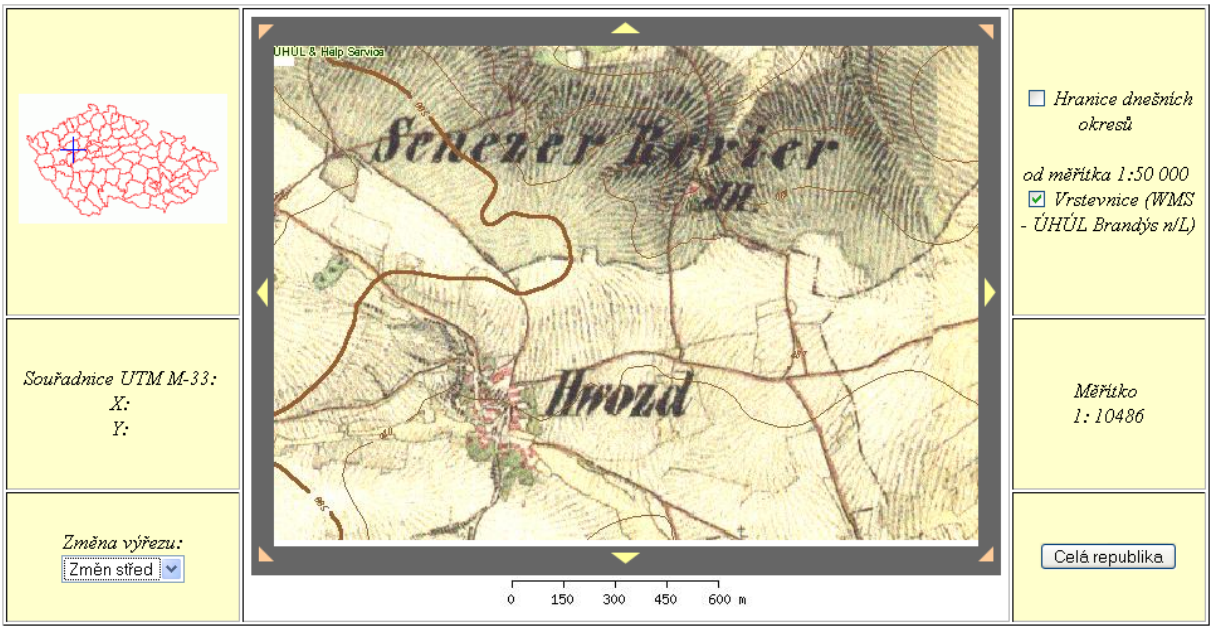
Obrázek 7.4: Náhled mapové aplikace statického web mappingu

Jak je vidět z obrázků, aplikace je doplněna dalšími tlačítky pro posun mapy v základních osmi směrech a dále pro zobrazení celé ČR. Také je doplněno interaktivní odečítání souřadnic při pohybu kurzoru myši nad mapou. Všechny tyto nadstavby jsem vytvořil v JavaScriptu a předznamenávají využití interaktivního web mappingu pro komfortnější práci uživatelů.

Zobrazení celé republiky je dáno jednoduchou funkcí:

```
function celrep() {
  document.mapserv.zoom[3].selected = true;
  document.mapserv.imgext.value = "270000 5370000 684300 5660000";
  document.mapserv.submit();
}
```

Nejdříve je nastavena hodnota proměnné `zoom` na nulu, aby nedošlo ke změně měřítka. Poté je nastavena proměnná `imgext` a vše je odesláno na server. Tam dojde k vygenerování mapy právě podle definovaného ohraničení, které představuje celý prostor ČR.



Obrázek 7.5: Náhled mapové aplikace statického web mappingu, detail v mapě

Posuny v základních osmi směrech jsou obsluhovány funkcí:

```
function pan(direction) {
  var x, y;
  var pansize = 0.75;
  if(direction == 'n') {
    x = ([mapwidth]-1)/2.0;
    y = 0 - ([mapheight] * pansize)/2.0;
  } else if(direction == 'nw') {
    x = 0 - ([mapwidth] * pansize)/2.0;
    y = 0 - ([mapheight] * pansize)/2.0;
  } else if(direction == 'ne') {
    x = ([mapwidth]-1) + ([mapwidth] * pansize)/2.0;
    y = 0 - ([mapheight] * pansize)/2.0;
  } else if(direction == 's') {
    x = ([mapwidth]-1)/2.0;
    y = ([mapheight]-1) + ([mapheight] * pansize)/2.0;
  } else if(direction == 'sw') {
    x = 0 - ([mapwidth] * pansize)/2.0;
    y = ([mapheight]-1) + ([mapheight] * pansize)/2.0;
  } else if(direction == 'se') {
    x = ([mapwidth]-1) + ([mapwidth] * pansize)/2.0;
    y = ([mapheight]-1) + ([mapheight] * pansize)/2.0;
  } else if(direction == 'e') {
```

```
    x = ([mapwidth]-1) + ([mapwidth] * pansize)/2.0;
    y = ([mapheight]-1)/2.0;
  } else if(direction == 'w') {
    x = 0 - ([mapwidth] * pansize)/2.0;
    y = ([mapheight]-1)/2.0;
  }
  document.mapserv.zoom[3].selected = true;
  document.mapserv.imgxy.value = x + " " + y;
  document.mapserv.submit();
}
```

Podle toho, jaké tlačítko je zmáčknuto, jsou přepočítány nové souřadnice středu mapy. Parametr `pansize` určuje, o jakou část mapového okna dojde k posunu. Nakonec je opět nastaven `zoom` na nulu a proměnná `imgxy` je odeslána na server, kde se vygeneruje nová mapa.

Nejsložitější funkcí, kterou jsem v této aplikaci naprogramoval, je interaktivní odečítání souřadnic kurzoru myši. Vzhledem k různé implementaci DOM ve webových prohlížečích je určování polohy kurzoru nejednoznačné. Protože jsem vyžadoval, aby aplikace fungovala pod oběma nejrozšířenějšími prohlížeči, musel jsem všechny funkce vlastně napsat dvakrát. Rozhraní celého zobrazování tvoří funkce:

```
function Mys() {
 k~= [dx] / [mapwidth];
     var obj = document.getElementById('img1');
 XX = findPosX(obj);
 YY = findPosY(obj);
 if (navigator.appName == 'Netscape') {
   document.captureEvents(Event.MOUSEMOVE);
   document.onmousemove = NNMouseMove;
 }
  if (document.all) {
     MSMouseMove();
  }
}
```

Zde je vypočtena nejdříve velikost pixelu v reálných souřadnicích „`k`“ a a nastaven objekt mapy. Dále následuje výpočet `XX` a `YY`, což jsou souřadnice levého horního rohu objektu. Funkce pro jejich výpočet nebudu uvádět. Podobné funkce se dají dohledat na webových fórech, kde jsem se také inspiroval. Podle spuštěného prohlížeče je pak zvolena funkce, která zobrazuje výsledné souřadnice. Pro Microsoft Explorer vypadá následovně:

```
function MSMouseMove() {
```

```
    document.getElementById("X").innerHTML =
          Math.round(( -k* event.offsetY + [maxy]));
    document.getElementById("Y").innerHTML =
          Math.round(( k* event.offsetX + [minx]));
}
```

Souřadnice jsou určeny z relativních pixelových souřadnic kurzoru myši vůči souřadnicím levého horního rohu objektu. Vynásobením velikostí pixelu dostáváme relativní souřadnice kurzoru myši vzhledem ke zmíněnému rohu. Kvůli orientaci souřadnicových os použitého souřadnicového systému jsou pak relativní souřadnice odečteny nebo přičteny k souřadnicím známého rohu mapy.

```
function NNMouseMove(e) {
  vyslx = e.pageX-XX;
  vysly = e.pageY-YY;
  if ((vyslx >= 0) && (vyslx < 600) &&
    (vysly >= 0) && (vysly < 420)) {
      document.getElementById("X").innerHTML =
           Math.round(( -k* vysly + [maxy]));
      document.getElementById("Y").innerHTML =
           Math.round(( k* vyslx + [minx]));
  }
}
```

Pro Mozillu Firefox je nutné pracovat se zmíněnými souřadnicemi objektu `XX` a `YY`. Postup výpočtu je pak již totožný. V obou případech jsou výsledné souřadnice zobrazeny do značek definovaných atributem `id`.

Popsané funkce by již bylo možné zařadit do interaktivního web mappingu. Druhá webová aplikace, kterou jsem vytvořil, je založena kompletně na interaktivních technologiích. Princip fungování samotného UMN MapServeru je totožný, použity jsou však knihovny pro příjemnější práci s mapou. Celá klientská aplikace je založena na JavaScriptové knihovně `msCross`[3]. Tato knihovna využívá moderní technologii AJAX a umožňuje tak tvorbu opravdu interaktivních webových mapových aplikací. Její připojení do XHTML je provedeno následujícím způsobem:

```
<haed>
  <script src="mscross.js" type="text/javascript"></script>
  ...
</head>
```

Tato knihovna obsahuje řadu funkcí, které přímo spolupracují s objekty MapServeru. Nastavení aplikace je provedeno následujícím kódem v těle XHTML:

[3] `http://datacrossing.crs4.it`

```
myMap1 = new msMap(document.getElementById('map'),'standardCornerRight');
myMap1.setCgi( '/cgi-bin/mapserv.exe' );
myMap1.setFullExtent(-970000, -470000, -1250000);
myMap1.setMapFile( 'c:/web/ms/vmdesktop.map' );
myMap1.setScaleBar( 'scalebar' );
myMap2 = new msMap( document.getElementById('ref_map') );
myMap2.setCgi( '/cgi-bin/mapserv.exe' );
myMap2.setActionNone();
myMap2.setFullExtent(-970000, -470000, -1250000);
myMap2.setMapFile( 'c:/web/ms/vmref.map' );
myMap2.setLayers( 'hranice' );
myMap1.setReferenceMap(myMap2);
chgLayers();
myMap2.redraw();
```

Jak je vidět z ukázky, nejdříve je vytvořen objekt `myMap1`, který představuje hlavní mapu. Tomuto objektu je nastavena příslušná aplikace CGI, souřadnicové ohraničení (zde se zadává pouze třemi čísly, čtvrté je automaticky dopočteno podle rozměru mapy) a příslušný *mapfile*. Dále je vytvořen objekt `myMap2`, který v mé aplikaci slouží jako přehledová mapka. Tomuto objektu jsou nastaveny opět příslušné parametry (na rozdíl od statického web mappingu zde přehledová mapka funguje prakticky stejně jako hlavní mapa, např. má svůj *mapfile*). Poté je nastavena závislost obou objektů tak, aby objekt `myMap2` fungoval opravdu jako přehledová mapka. Na závěr je spuštěna funkce `chgLayers()`, která kontroluje zapnutí jednotlivých mapových vrstev.

Základní funkce knihovny `msCross` jsou použity beze změn. V některých pasážích kódu však muselo dojít k úpravám tak, aby aplikace fungovala podle mých představ. Zásahy do kódu byly sice drobné, ale na poměrně velkém množství míst. Proto ani nemá význam veškeré změny popisovat. Změněný kód knihovny je k dispozici na přiloženém CD. Větším zásahem do fungování aplikace bylo vytvoření funkce `chgLayers()`.

```
function chgLayers() {
  var list = "";
  var objForm = document.forms[0];
  var layer_count = document.forms[0].length;
  for (i = 0; i < layer_count; i++) {
    if (objForm.elements["layer" + i].checked) {
      list = list + objForm.elements["layer" + i].value + " ";
    }
  }
  myMap1.setLayers(list);
  myMap1.redraw();
}
```

Funkce pracuje s XHTML formulářem, který obsahuje pouze zaškrtávací políčka pro jednotlivé mapové vrstvy. Do proměnné `list` jsou postupně načítány všechny názvy zaškrtnutých mapových vrstev. Výsledný řetězec je předán metodě `myMap1.setLayers()`, která má na starost zobrazování vrstev. Funkce `chgLayers()` je spouštěna při každé změně v zaškrtnutých políčkách tak, aby byly vrstvy interaktivně zapínány a vypínány.

Do této aplikace jsem také převzal funkce, které jsem naprogramoval pro interaktivní odečítání souřadnic kurzoru myši u prvně popisované aplikace. Jako ukázku využití technologie AJAX v mapových aplikacích jsem dále vytvořil funkci pro vyhledávání obcí v ČR a jejich následné přiblížení v mapovém okně.

Celá funkčnost je založena na funkci `findCity()`. Ta kontroluje hodnotu zadanou do formulářového pole s názvem `city`. Pokud je délka textového řetězce delší než jeden znak, je vytvořen nový objekt třídy `Ajax.Updater()`. Tento objekt se pokusí odeslat požadavek na serverový skript napsaný v jazyce PHP (`mesta.php`) s parametrem `nazev`. Jako hodnota parametru je doplněn textový řetězec z pole `city`. Pokud dotaz proběhne v pořádku, výstup ze skriptu bude zobrazen v elementu XHTML stránky s názvem `cityResult`. Celá funkce je vidět v následující ukázce:

```
function findCity(city) {
  if ( $F('city').length > 1) {
    var url = 'mesta.php';
    var params = 'nazev=' + $F('city');
    var ajax = new Ajax.Updater(
      {success: 'cityResult'},
      url,
      { method: 'post',
        parameters: params,
        onFailure: reportError
      }
    );
  }
}
```

Zbývá objasnit, jak pracuje skript `mesta.php` na serveru. Tento skript vytvoří nové připojení k databázi PostgreSQL s názvem `obcecr`. Databáze má jedinou tabulku `obce` s následující strukturou:

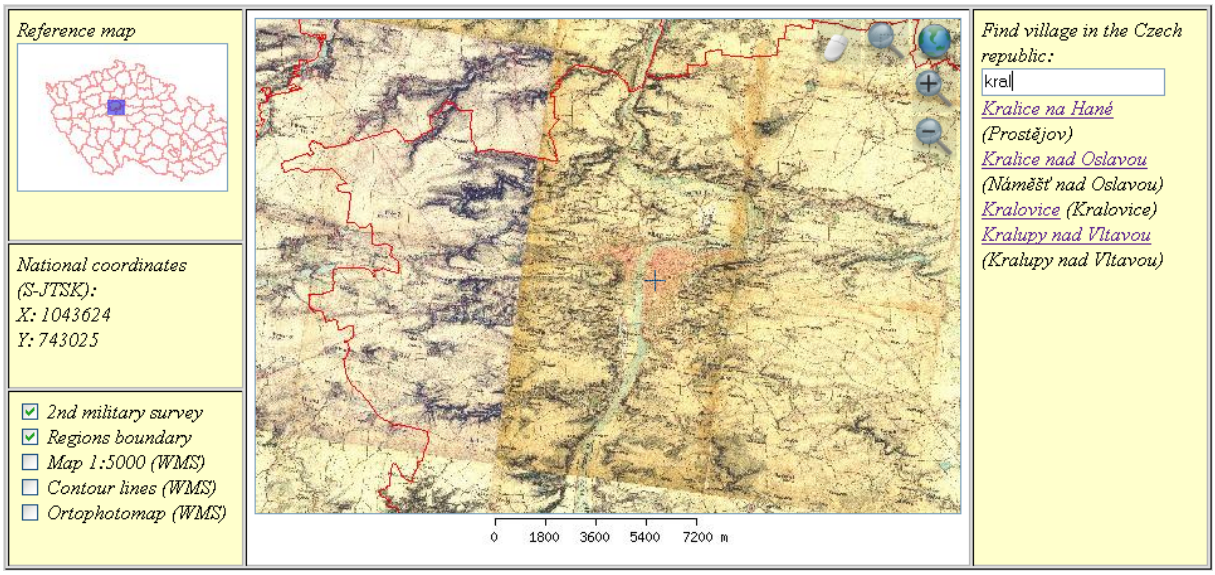
```
id |    nazev     |   y    |    x    |         orp
---+------------- +--------+---------+---------------------
 1 | Praha        | 742600 | 1043000 | Hlavní město Praha
 2 | Benešov      | 728486 | 1079285 | Benešov
 3 | Bernartice   | 698411 | 1095121 | Vlašim
 4 | Bílkovice    | 716384 | 1083350 | Vlašim
```

```
5 | Blažejovice  | 694125 | 1101920 | Vlašim
6 | Borovnice    | 706726 | 1097059 | Vlašim
...
```

Souřadnice všech obcí ČR v souřadnicovém systému S-JTSK byly převzaty z volně dostupné tabulky registru ÚIR-ZSJ Českého statistického úřadu[4]. Z této databáze skript vybere obce, které začátkem svého názvu vyhovují poslanému textovému řetězci (v PHP je vložen do proměnné `$nazev`). Ošetřeno je samozřejmě použití malých i velkých písmen. Pokud je výsledných obcí víc než 10, je vybráno pouze prvních 10. Tento výběr obstarává příkaz v jazyce SQL[5], který je standardem pro databázové dotazování:

```
SELECT * FROM obce
    WHERE lower(nazev) LIKE lower('$nazev%')
    ORDER BY nazev
    LIMIT 10;
```

Na základě výsledku SQL dotazu jsou pak vygenerovány hypertextové odkazy pro nalezené obce ve tvaru: `<a href="#" onclick="jumpTo(x,y)">nazev (orp)</a>`. Jak napovídá zápis, po kliknutí na název obce je spuštěna další funkce `jumpTo()`, která provede vycentrování mapy na příslušnou obec v příslušném měřítku. To je provedeno jednoduchým výpočtem nového souřadnicového ohraničení. Do UMN MapServeru jsou informace poslány využitím metody `myMap1.setExtent()`. Náhledy aplikace jsou na obrázcích 7.6, 7.7 a 7.8.



Obrázek 7.6: Náhled mapové aplikace interaktivního web mappingu

[4]http://www.czso.cz
[5]Structured Query Language

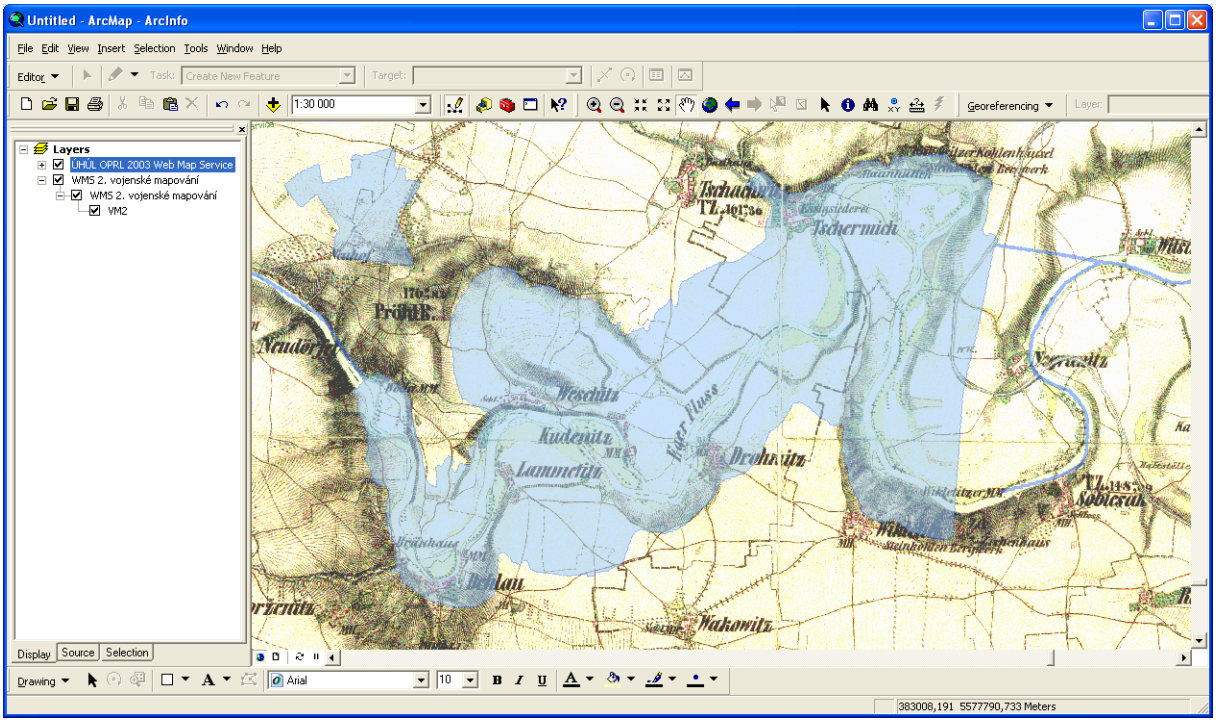
Obrázek 7.7: Náhled mapové aplikace, obec Kralovice

Obrázek 7.8: Náhled mapové aplikace, obec Kralovice, ortofoto

Popsané mapové aplikace nejsou samozřejmě v konečném stádiu. Jde o prototypy, na kterých jsem prezentoval možnosti prezentování starých map pomocí mapového serveru. Na aplikacích budu dále pracovat já nebo studenti v rámci závěrečných prací. I přesto myslím, že hlavně aplikace založená na metodě AJAX je plně funkční. Po přesunu na kvalitní hardware se pokusím o její zviditelnění formou odkazů na spřátelených webových stránkách nebo prostřednictvím článků v odborných časopisech (Zeměměřič, Geoinformace). Po předvedení aplikace na zahraničních konferencích [10], [11] se setkal můj projekt s velkým zájmem.

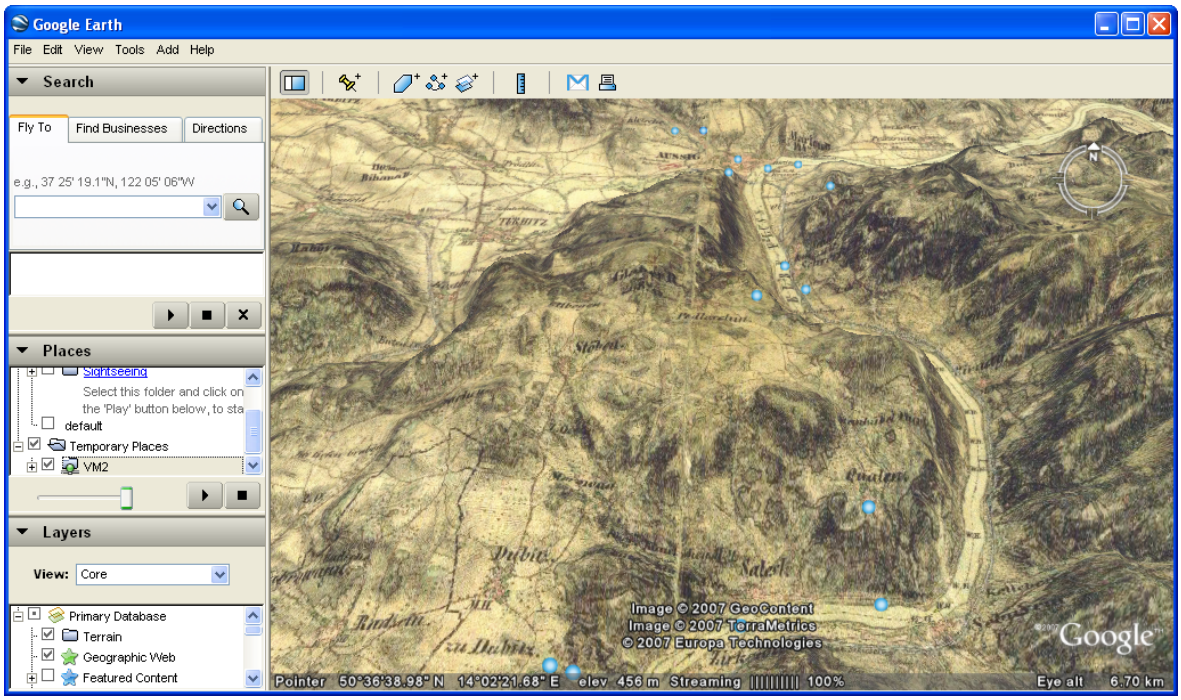
7.1.7 Distribuce pomocí WMS

Jak již bylo zmíněno v odstavci 7.1.5, jsou mé dva mapové projekty distribuovány pomocí služby WMS. Tato skutečnost nabízí připojení dat II. vojenského mapování do libovolné aplikace, která podporuje standard OGC. Pricip fungování WMS je dostatečně vysvětlen v odstavci 5.3.1. Na obrázku 7.9 je vidět připojení dat do nejrozšířenějšího desktop produktu ArcGIS. Kromě vrstvy II. vojenského mapování je připojena i další WMS vrstva zobrazující současný stav vodních ploch v ČR. Překrytím těchto vrstev můžeme na obrázku velmi elegantně pozorovat území, které jej již ztraceno pod hladinou přehradní nádrže Nechranice na Ohři.

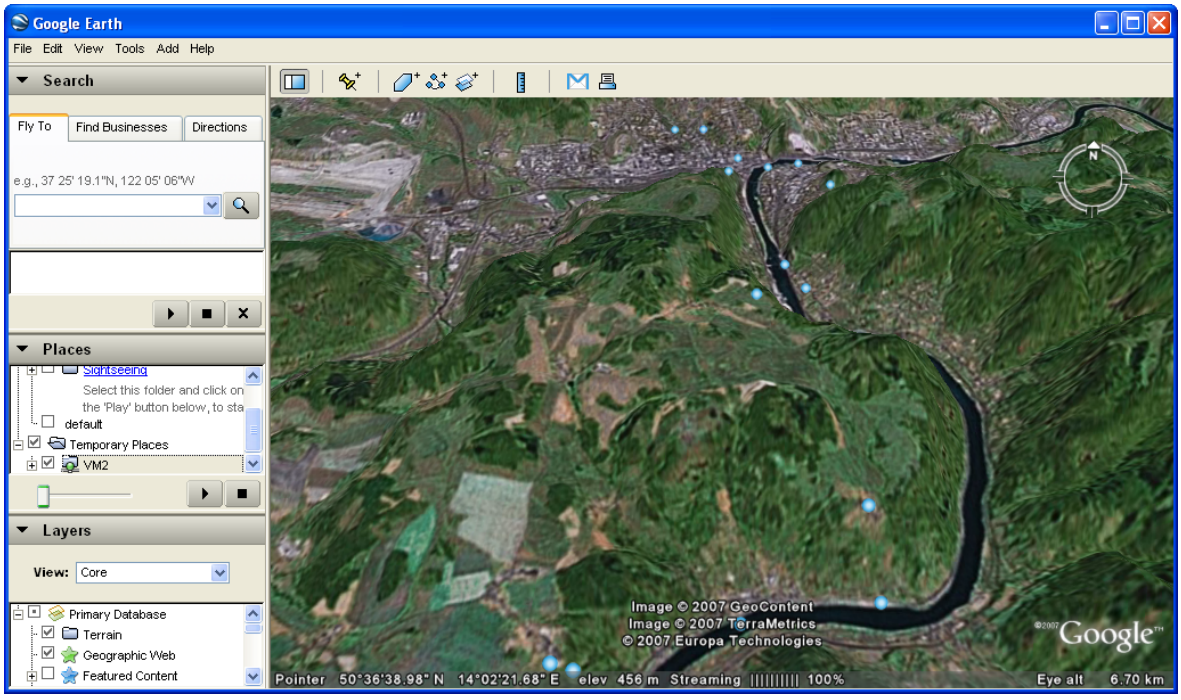


Obrázek 7.9: ArcGIS desktop s připojenou vrstvou WMS

Kromě připojení do běžných GIS aplikací je možné využít i další produkty, které podporují WMS. Jednou z nejznámějších aplikací zobrazující 3D povrch Země je Google Earth. Na obrázcích 7.10 a 7.11 je vidět stejné zájmové území s vrstvami II. vojenského mapování a současných satelitních snímků. Můžeme zde velmi pěkně porovnat vývoj krajiny, a to vše v 3D prostředí. Využití WMS dat je široké. Až se stane používání WMS masovou záležitostí, bude stačit spravovat jakákoliv data pouze na jednom místě. Nevýhodou distribuce pomocí WMS je závislost na serverovém počítači. Pokud server z libovolného důvodu selže, přestane fungovat i WMS služba.



Obrázek 7.10: Google Earth se starou mapou



Obrázek 7.11: Google Earth se satelitními snímky

7.2 Nejstarší mapy českých zemí

Projekt zpřístupnění nejstarších map českých zemí na Internetu je výsledkem diplomové práce Filipa Antoše [1], jejímž jsem byl vedoucím. Cílem práce bylo zhodnotit možnosti skenování starých map a navrhnout ideální parametry skenování, popsat a zhodnotit rastrové formáty dat a vytvořit zmíněnou webovou aplikaci. Výsledkem je velmi kvalitní diplomová práce, která byla při obhajobě oceněna pochvalou za výjimečné zpracování.

Můj příspěvek k tomuto tématu byl hlavně v nápadu takovou aplikaci vytvořit. Osobně jsem při prohledávání Internetu nenalezl podobné stránky, které by kompletovaly popisné údaje o našich nejstarších mapách spolu s jejich prohlížením ve vysoké kvalitě. V mapové sbírce na katedře mapování a kartografie jsou uloženy reprinty většiny nejvýznamnějších mapových památek českých zemí z 16. a 17. století. Ty byly také použity pro skenování. Jako parametry skenování zvolil Antoš:

- 500 *dpi*
- 24-bitové barvy
- formát TIFF bez komprese

Obrázek 7.12: Náhled aplikace Historické mapy zemí Koruny české

Tato skenovaná data byla upravena skriptem v rámci aplikace Zoomify do struktury, která je popsána v odstavci 5.4.1. Celkem bylo tímto způsobem naskenováno a upraveno

13 map. Jako textový popis k jednotlivým mapám byl využit výsledek diplomové práce Veroniky Bělecké [9]. Po shromáždění a přípravě dat vytvořil Antoš návrh webové aplikace, která umožňuje snadné prohlížení map.

Aplikace je založena na XHTML a CSS. Pro větší přehlednost jsou mapy rozděleny do tří skupin: Čechy, Morava, Slezsko. V úvodním listu každé skupiny jsou k dispozici popisné informace o mapách (autor, rok vydání, rozměr, měřítko) a malý náhled mapy. Tento náhled zároveň slouží jako odkazové tlačítko pro spuštění Flash aplikace Zoomify. Každá prohlížená mapa je opatřena pěkně vyvedeným grafickým rámem. V rámci prohlížečky je umožněn posun mezi prohlíženými mapami o jednu vpřed a vzad.

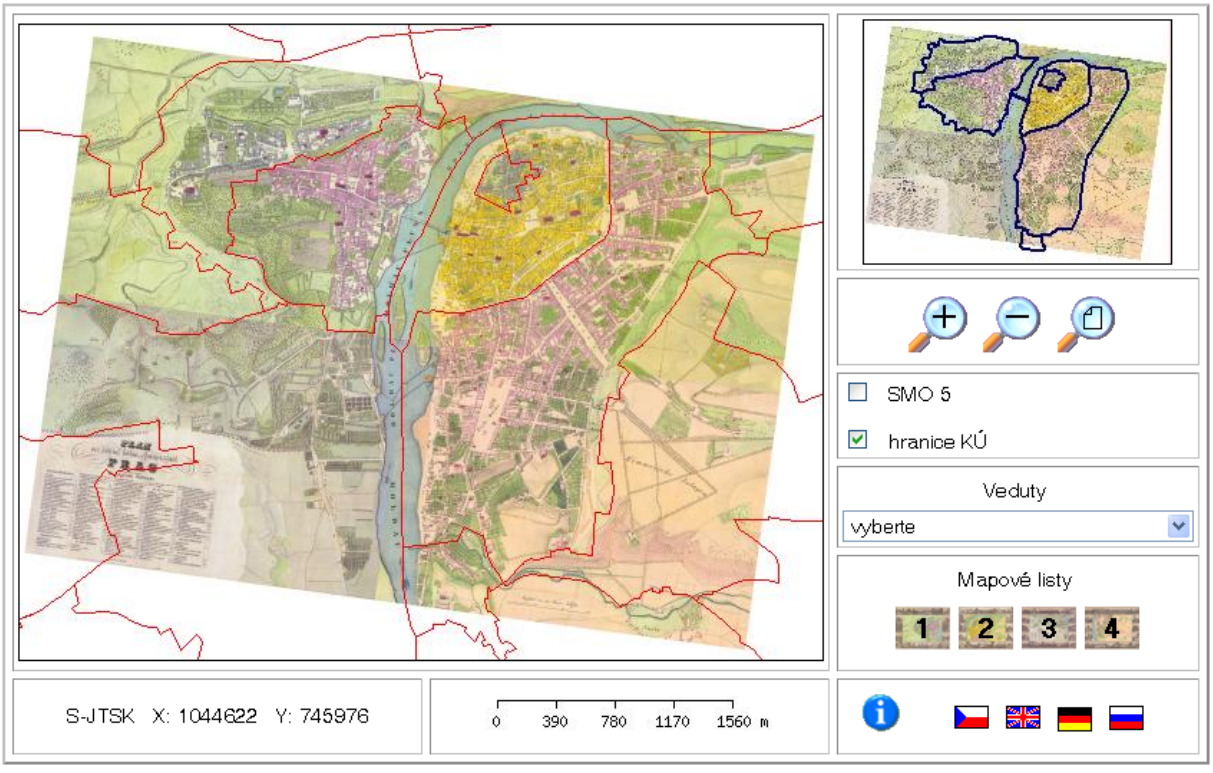
Obrázek 7.13: Historické mapy zemí Koruny české, detail mapy

Celkově působí aplikace pěkným dojmem. Při původní myšlence vytvořit podobnou aplikaci jsem si takto nějak představoval výsledek. Škoda, že se dosud nepodařilo vytvořit automatizovaný systém pro přidávání dalších map. Již Antoš se o to pokoušel pomocí formátu XML, ale bohužel narazil na špatnou podporu internetového prohlížeče Internet Explorer. I přesto aplikace funguje pěkně a rychle a bude spolu s ostatními aplikacemi přesunuta na nový server.

7.3 Pinasův plán Prahy

Jako diplomová práce Jiřího Krejčího byl digitalizován, georeferencován a na Internetu prezentován historický plán Prahy z let 1842–1845. Ten je dílem Carla hraběte Vasquez de Pinase. Dle závěrů zmíněné práce [23] je plán odvozen od staršího Jüttnerova plánu Prahy z let 1812–1815. Úkolem diplomanta bylo naskenovat faksimile všech čtyřech listů plánu, tyto listy spojit a vytvořit aplikaci na internetu, kde bude plán dostupný. Dále bylo úkolem provést kartometrická měření na plánu. Vedoucí diplomové práce byl prof. Veverka, já jsem působil jako konzultant, zejména při tvorbě internetové aplikace. Při obhajobě byla práce oceněna pochvalou za výborné zpracování.

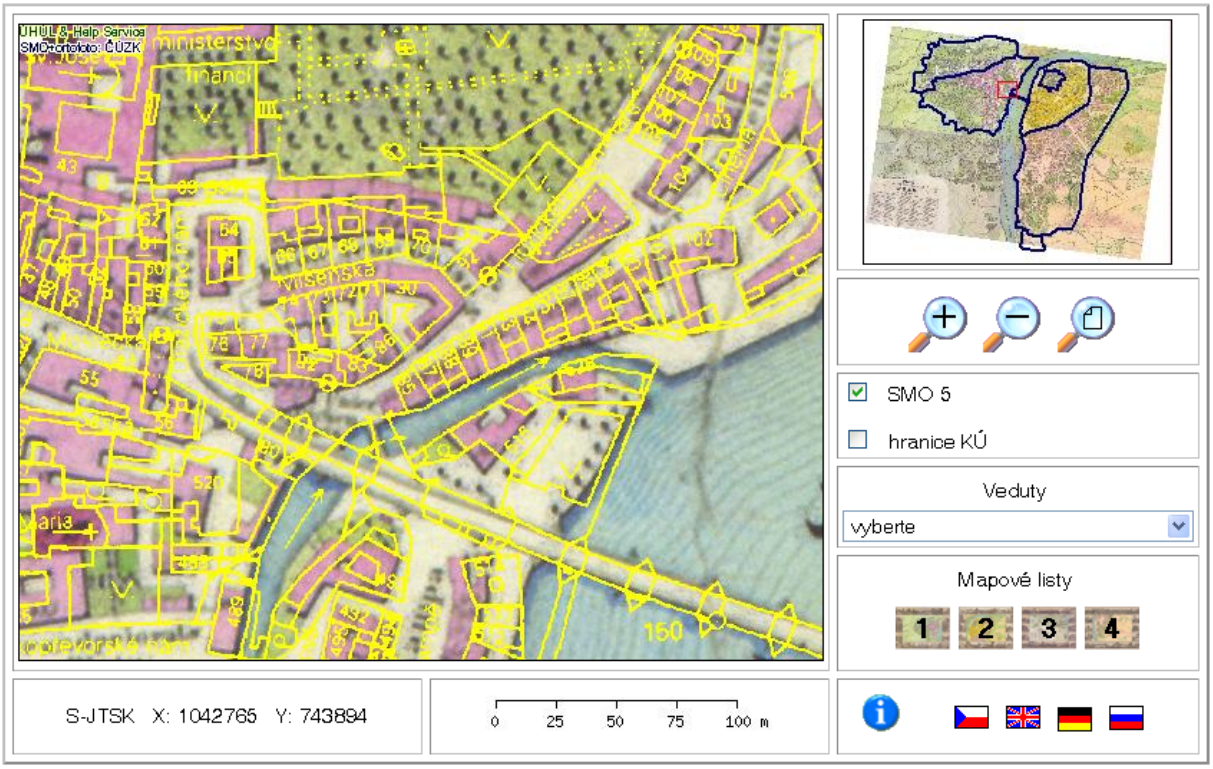
Mapové listy byly digitalizovány s hustotou 300 *dpi* ve 24-bitových barvách. Výsledek byl uložen do formátu TIFF bez komprese. Vyšší hustotu nebylo možné použít kvůli neúměrně velkým souborům s rastrovými daty, které pak již nebylo možné „rozumně“ zpracovat. Mapová kresba listů byla poté georeferencována na identické body v systému S-JTSK. Protože po georeferenci vznikly spáry mezi mapovými listy, byla použita Jungova transformace pro vyrovnání kresby na stycích mapových listů. Ve zmiňované práci je tato metoda transformování v systému KOKEŠ velmi dobře popsána.



Obrázek 7.14: Náhled aplikace Pinasův plán Prahy

Vyrovnanou kresbu plánu je již možné zobrazovat na webu v mapovém serveru. Data musela být samozřejmě předem pyramidována. Aplikace mapového serveru je z velké části

založena na mém prototypu statického web mappingu. Kromě toho diplomant zpracoval všechny čtyři originální mapové listy v aplikaci Zoomify, na jejíž spuštění vedou náhledové obrázky listů. V rámci webové stránky jsou také k dispozici veduty Prahy, které byly z mapy odstraněny ořezáním kresby.



Obrázek 7.15: Pinasův plán Prahy, porovnání s SMO-5

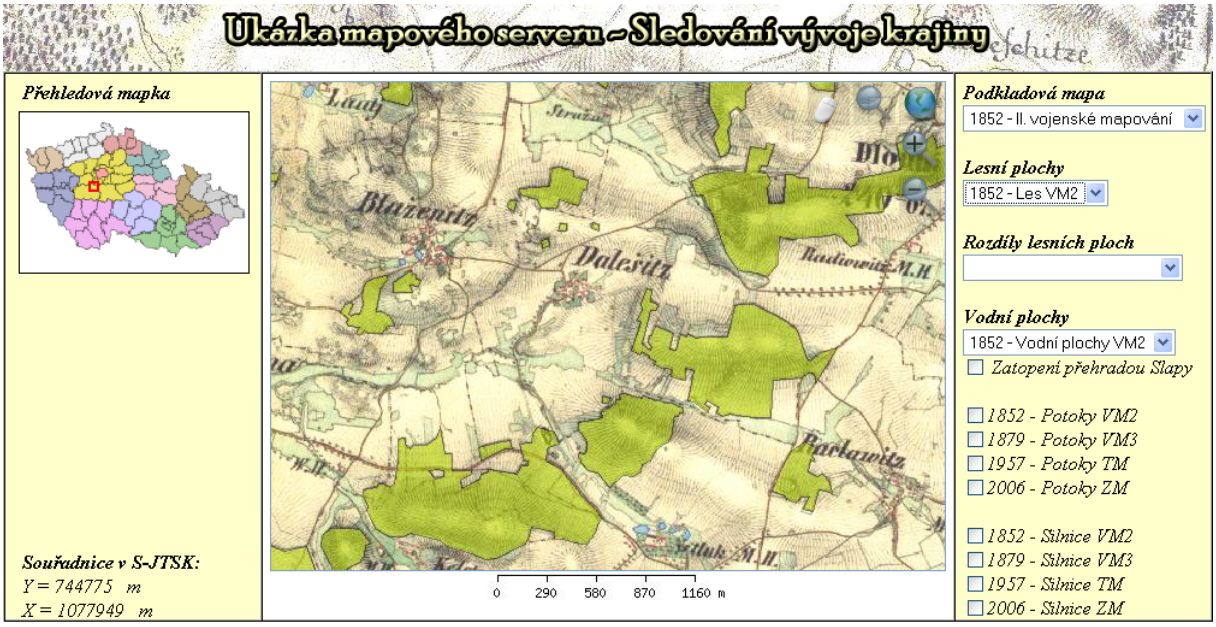
Pro porovnání jsou do mapového projektu přidány vrstva katastrálních hranic a dále rastry SMO-5, které distribuuje pomocí WMS služby ÚHÚL. Tato aplikace ukazuje, že mohou být na webu pěkně vizualizovány i staré mapy a plány měst. Kolega Krejčí je nyní doktorandem u prof. Veverky a hodlá se studiu a prezentaci starých map dále věnovat.

7.4 Sledování vývoje krajiny pomocí starých map

Kromě toho, že je možné staré mapy na webu prezentovat v prohlížečkách, je možné vytvářet aplikace prezentující výzkum s využitím starých map. Touto problematikou jsem se zabýval při zadávání témat diplomových prací v roce 2006. Výsledkem bylo téma „Sledování změn krajiny pomocí starých map v prostředí GIS“. Diplomovou práci s tímto tématem obhájil v roce 2007 Ladislav Kánský [27], a to opět s pochvalou za vynikající zpracování.

V rámci diplomové práce shromáždil Kánský mapové podklady z pěti různých časových období pro oblast, kterou dobře zná – Neveklovsko. Využity byly mapy všech tří vojenských

mapování, dále vojenská topografická mapa z let 1953–1957 a současná mapa vytvářená ze ZABAGED[6]. Použitá měřítka byla velmi podobná (1 : 28 800 u starších a 1 : 25 000 u novějších map). Všechny mapy byly georeferencovány do S-JTSK. Zajímavými výsledky jsou již přesnosti dosažené při transformaci. Specifický je také navržený postup georeferencování map III. vojenského mapování, který bude pravděpodobně použit pro zpracování celé ČR.



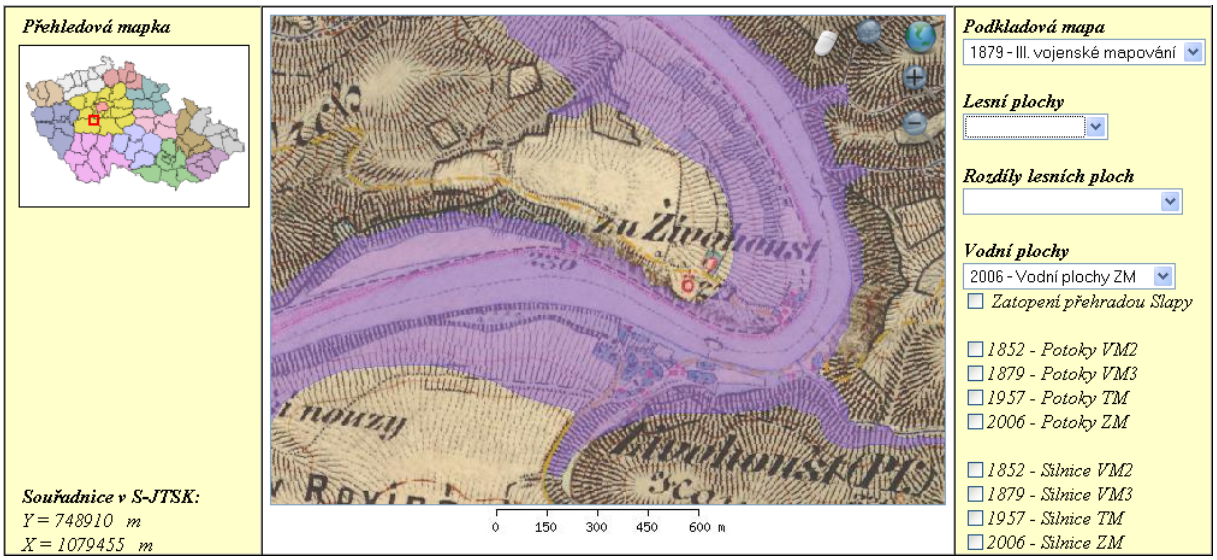
Obrázek 7.16: Náhled aplikace Sledování vývoje krajiny

Po georeferencování následovalo vyhodnocení základních prvků krajiny v software ArcGIS. Vektorizovány byly plochy lesů, vodní plochy, vodní toky, silnice a cesty. U plošných prvků mohlo dojít k aplikaci prostorových funkcí překrytí. Tak byly získány zajímavé údaje z hlediska vývoje krajiny za posledních 150 let. Na zvoleném území je možné např. pozorovat zatopení části území slapskou přehradní nádrží.

Po vyhodnocení dat došlo k vlastní prezentaci výsledků na webu. Zde diplomant použil můj prototyp aplikace interaktivního web mappingu. Kvůli specifickým funkcím muselo dojít k úpravě zdrojového kódu. Výsledkem práce je velmi pěkná aplikace prezentující názorné mapy charakterizující vývoj krajiny na Neveklovsku. Zajímavý je hlavně vývoj lesních ploch, který je dokumentován mapovými vrstvami rozdílů ploch mezi libovolnými dvěma časovými obdobími. Velmi pěkně je pak vidět zatopení přehradní nádrží Slapy (obrázek 7.17).

V této práci je vidět, kam může dále směřovat využití webových mapových aplikací. Prezentování výsledků výzkumu právě v interaktivním mapovém prostředí je velmi názorné. V některých případech samozřejmě nemůže nahradit papírovou mapu, zato je však tento způsob přístupný široké odborné i laické veřejnosti.

[6]Základní báze geografických dat



Obrázek 7.17: Sledování vývoje krajiny, zatopení přehradou Slapy

7.5 Digitalizace mapy ve vektorové formě

Doposud byly popisovány projekty, které zpřístupňovaly rastrové obrazy starých map. Digitalizace map však může být prováděna i do vektorové formy. Účelem takové digitalizace je zpravidla zachování odečtených souřadnic zajímavých prvků na mapě pro další výzkum. Vektorová data pak mohou být využita při GIS analýzách a podobně. Vektorizací a základními analýzami nad Klaudyánovou mapou Čech se zabývala Aneta Pomykaczová ve své bakalářské práci [33], kterou jsem vedl.

V rámci práce byla vektorizována sídla (města, městečka, hrady, zámky, kláštery, tvrze), říční síť a cestní síť. Vektorizace byla provedena v místním souřadnicovém systému, který je definován jednoznačně identifikovatelnými body mapy. To je důležité zejména pro další zkoumání mapy jinými uživateli. Datový model použité geodatabáze je poměrně jednoduchý. To je dáno především jednoduchostí samotné předlohy, která využívá pouze několika mapových značek.

Dále byly v práci testovány různé metody transformací (rastrových i vektorových dat) v software ArcGIS. Ukazuje se, že při transformacích velmi starých map dochází často k obrovským deformacím původního obrazu. Proto jsou pro rastrová data tohoto typu ideální afinní či projektivní transformace.

Z vektorizovaných dat je možné dělat různé mapové výstupy. Ukázka jednoho z výstupů je na obrázku 7.18. Z dat, která byla transformována do některého ze současných systémů, je možné vytvářet deformační izolinie či data porovnávat s různými ostatními mapovými podklady. Tato bakalářská práce je jedním z výstupů výzkumu, který je prováděn v rámci projektu GA ČR 205/07/0385 „Kartometrická a semiotická analýza a vizualizace starých map českých zemí z období 1518-1720“ vedeného prof. Veverkou.

Obrázek 7.18: Vizualizace zvektorizované Klaudyánovy mapy [33]

7.6 Müllerovy mapy

Nejnovějším projektem, na kterém se podílím spolu s kolegou Jiřím Krejčím, je kartometrická analýza Müllerových map a jejich prezentace na Internetu. V tomto projektu jsme zatím na úplném začátku. Na skenované Müllerově mapě Čech jsme nalezli nejvhodnější metodu pro slepení všech 25 mapových listů dohromady. Využito je zde projektivní transformace pro jednotlivé čtvrtiny mapových listů. Výsledkem je spojitý rastr pokrývající celé Čechy. Otázkou stále zůstává, zda vyrovnávat návaznosti kresby na styku mapových listů. Celý souvislý rastr je nyní k dispozici v aplikaci Zoomify na adrese

`http://mapserver.fsv.cvut.cz/muller_z/`

Po vytvoření souvislé mapy bude celkový rastr georeferencován a prezentován na mapovém serveru. Uvažujeme i o distribuci mapy pomocí WMS. Vzhledem k absenci geodetických základů při tvorbě mapy se v ní objevují značné nepřesnosti. Pro vytvoření druhé sady dat bude využito transformování po trojúhelnících s lineárním vyrovnávacím modelem. Dosavadní výzkum byl prezentován v září 2007 na „17. Kartografické konferenci“ v Bratislavě a v Kartografických listech [24].

Kapitola 8

Navržené technologie

8.1 Navržené metody digitalizace

Shrnutím disertační práce jsou navržené technologie a postupy v oblastech digitalizace, georeferencování i dalšího zpracování starých map v GIS. Základním kamenem je vždy digitalizace. Existují samozřejmě projekty, které vyžadují specifické parametry digitalizace. Mnou navržená řešení jsou dle mého soudu nejsprávnější volbou pro zpřístupnění starých map široké veřejnosti i odborníkům. Z pohledu digitálních dat existují dva hlavní důvody proč digitalizovat staré mapy. Prvním z nich je archivace originálu tak, aby digitální data pokud možno co nejvěrněji zachytila originální obraz. Druhým důvodem je distribuce dat v digitální formě mezi uživatele. Z principu vyplývá, že archivační důvody vyžadují daleko přísnější parametry digitalizace.

Pokud chceme archivovat staré mapy, je důležité pořídit odpovídající vybavení (nejlépe kvalitní bezkontaktní skener). Jako nejvýhodnější se jeví použití velkoformátového stolního skeneru, případně fotografické kamery s velkým rozlišením. Samozřejmostí je světelně izolovaná místnost s filtry proti infračervenému a ultrafialovému záření. Data je dobré skenovat s maximálním rozlišením, osobně doporučuji hodnotu 500 *dpi*. Pro výjimečné grafiky je lepší použít i vyšší rozlišení (až 1000 *dpi*). Barevná hloubka by měla být minimálně 24 bit (true color). Samozřejmostí je barevná kalibrace a pořízení ICC profilu skenujícího zařízení. Pro více informací o kvalitním skenování pro archivní účely je dobré kontaktovat dříve zmíněná digitalizační pracoviště (viz odstavec 3.1.5). Tato primární (master) data by měla být uchována na kvalitním médiu, a to v několika kopiích. Jako univerzální formát se jeví nekomprimovaný TIFF. Z těchto dat je pak možné dále odvozovat data v horší kvalitě.

Pro běžnou distribuci dat mezi veřejnost není třeba nákladných metod skenování. Pokud to lze, mapy je možné skenovat na běžných velkoformátových skenerech. Hustota skenování by však neměla nikdy klesnout pod 300 *dpi* a barevná hloubka pod 24 bit. Také přikládání ICC profilů je věcí spíše několika málo odborníků a není tedy bezpodmínečně nutné. Pokud jde o formát digitalizovaných dat, záleží na dalším použití. Vždy je však možné použít nekomprimovaný TIFF, z kterého jdou další formáty snadno odvodit.

V případě digitalizace do vektorové formy je možné použít digitizér nebo již digitalizovaný rastrový formát dat. Digitizérem je možné snímat mapy, které nemohou být při zpracování poškozeny. Jde většinou o novější mapy, případně kopie map, reprinty a faksimile. Běžnější způsob je využití rastrových dat. Pokud jde o datový model a formát, ve kterém mají být data uložena, není jednoduché zvolit jedinou možnost. I zde závisí hlavně na účelu dalšího použití dat. Datový model by měl respektovat autorský značkový klíč mapy (nemusí však obsahovat všechny značky). Pokud jde o formát dat, je dnes jednoznačně nejpoužívanější Shapefile. Abychom však vyhověli požadavku standardu, bylo by vhodné data převést do formátu GML. Ten sice není ještě ve všech software podporován, ale dá se předpokládat, že v blízké budoucnosti bude. Jinou možností je uložit data ve formě databáze. Zde bych však doporučoval připojit databázové schéma pro snazší orientaci v datech.

8.2 Navržené metody georeferencování

Nutnost georeferencování starých map souvisí s jejich dalším využitím v GIS. Samotný princip a způsoby georeferencování jsou popsány v kapitole 4. Můžeme narazit na tyto případy map, které potřebujeme georeferencovat:

- stará mapa na jednom mapovém listu, bez rámových značek
- stará mapa na jednom mapovém listu, s rámovými značkami
- stará mapa na více mapových listech, bez definovaného kladu
- stará mapa na více mapových listech, s definovaným kladem

Pokud pracujeme se starou mapou, která je zobrazena na jediném mapovém listu, a nemáme k dispozici mapový rám se souřadnicemi, je velmi těžké určit původní souřadnicový systém. Pokud tuto informaci nezjistíme hlubším bádáním, je mapa nevhodná pro další georeferencování. Když chceme přece jen mapu souřadnicově umístit, doporučuji použít transformace s lokálním klíčem. Bohužel bývají nepřesnosti těchto map tak velké, že po transformaci dochází k neúnosné deformaci obrazu (např. nemožnost přečíst texty). Pokud chceme zkoumat přesnost mapy, je vhodné mapu umístit do místního systému tak, aby bylo možné jednoznačně odečítat souřadnice zájmových objektů. K tomu je třeba zvolit jednoznačně identifikovatelný bod jako počátek soustavy a další bod pro určení směru jedné ze souřadnicových os. Poté následuje shodnostní transformace, která mapu pouze posune a otočí, zachová však původní prostorové vztahy v mapě.

Když máme k dispozici rámové značky pro jednolistovou mapu, je snazší určit původní souřadnicový systém. Ještě lepší možností je nakreslená zeměpisná síť, která dává přehled o průběhu poledníků a rovnoběžek. Pokud chceme georeferencovat mapu pomocí rámových značek, jeví se jako ideální využití ploch definovaných svých okrajem, tedy metoda plátování. Touto metodou můžeme rekonstruovat přesné rozměry mapového listu a odstranit lokální

deformace. Převedení do některého ze současných systémů je poté nejlepší provést projektivní transformací po částech definovaných obdélníkovou sítí použitých rámových značek. Jednodušší možností je využití projektivní transformace pouze na čtyři rohy mapového listu. Tento způsob je vhodný zejména pro mapy větších měřítek (např. III. vojenské mapování). U starších map bývá problémem fakt, že mapový rám byl konstruován odděleně od samotného obsahu mapy a často bývá nepřesně zakreslen. U těchto map je vhodnější využít identické body v mapě a transformace s lokálním transformačním klíčem. Mapový rám je pak pouze pomůckou při určení použitého souřadnicového systému. Z tohoto důvodu doporučuji použít transformace na rámové značky pouze u novějších map větších měřítek (vojenská mapování, katastrální mapování).

Pokud máme k dispozici mapové dílo na několika listech, které však nemá přesně definovaný klad listů (např. Müllerovo mapování Čech, I. vojenské mapování), je jejich spojení velmi náročné. Pokud známe přesné rozměry originálních mapových listů, doporučuji využít projektivní transformaci na čtyři rohy každého listu. Díky projektivní transformaci na sebe sousední mapové listy navazují bez mezer. Takto je možné získat souvislá data v původně použitém souřadnicovém systému. Když požadujeme návaznosti kresby na styku mapových listů, je možné využít Jungovu transformaci pro body ležící na rozhraní listů. Pokud chceme mapu georeferencovat do některého ze současných systémů, máme dvě možnosti. Buď využijeme spojeného rastru všech mapových listů a dále některou transformaci s lokálním transformačním klíčem (zpravidla založenou triangulaci), nebo musíme transformovat jednotlivé mapové listy zvlášť. Zde můžeme využít podobnostní transformaci na identické body v mapě pro všechny mapové listy. Vzniklé mezery a překryty mezi mapovými listy je dobré odstranit opět Jungovou transformací.

Nejpříznivější situace nastává, pokud máme k dispozici mapové dílo s přesně definovaným kladem v určitém souřadnicovém systému (např. II. vojenské mapování). Zpravidla bývá snadné určit přesné souřadnice rohů mapových listů. Poté je možné využít projektivní transformaci na čtyři rohy každého listu. Dostáváme tak souvislá data pro celé území. Problémem zůstává georeferencování do některého ze současných souřadnicových systémů. Je třeba najít vztahy mezi oběma soustavami. Protože se zpravidla jedná o systémy založené na různých triangulacích, je vhodné najít identické body v obou soustavách a poté vhodně aproximovat prostor mezi nimi. Takto je možné určit i souřadnice rohů mapových listů v současném souřadnicovém systému a pak opět provést projektivní transformaci na čtyři rohy každého listu.

8.3 Navržené metody distribuce dat

Pokud jde o metody distribuce dat, nabízí se několik možností:

- Data mohou být vystavena na Internetu ke stažení (protokol FTP, HTTP).
- Data mohou být distribuována na médiích (CD, DVD).

- Data mohou být k dispozici v prohlížečkách dat přímo na Internetu.
- Data mohou být k dispozici v desktopových prohlížečkách.
- Data mohou být k dispozici pomocí webových mapových služeb.

Osobně nejsem nakloněn metodám distribuce originálních dat. Daleko lepší se mi jeví možnosti zpřístupnění dat pomocí prohlížeček či webových mapových služeb. Také lokální prohlížečky nejsou vhodné kvůli nutnosti instalace na lokálním počítači. Více o metodách webové prezentace map pojednává kapitola 5.

Stahování originálních dat jakýmkoliv protokolem velmi zatěžuje síť. Ve většině případů uživatel originální data nepotřebuje a stahuje je spíše ze zvědavosti. Proto bych v případě distribuce dat nadále doporučoval pouze média typu DVD. Uživatelů, kteří potřebují pracovat s originálními daty, není mnoho, a proto ani kopírování na média není nijak časově náročné.

Prohlížení starých map v lokálních prohlížečkách instalovaných u uživatele může nabízet velký komfort práce s mapou. I přesto je tato metoda poměrně nevhodná. Nutnost údržby dalšího software, jeho instalace a aktualizace u klienta není právě nejpříjemnější. Na druhou stranu může prohlížečka nabízet funkce, které jsou jinak nedosažitelné. Pomocí webových aplikací však už dnes můžeme vytvářet smělé konkurenty desktop prohlížečkám. Pro složitější zpracování dat je samozřejmě nutné vlastnit některý GIS software a mít k dispozici originální data.

Podle mého názoru je nejlepší možností distribuce dat mezi uživatele webová aplikace, která umožňuje prohlížení dat, případně nabízí některé jednoduché funkce pro práci s daty. Pro samotné prohlížení rozsáhlých obrazových dat je vhodné využít buď klientskou aplikaci staženou v rámci webové stránky (např. Zoomify) nebo využít technologii image serveru. Tyto aplikace nabízejí pouze obrazová data bez georeference a dále základní funkce posunu a přibližování mapy. Tuto metodu doporučuji pro nejstarší mapové památky, které nemá smysl georeferencovat. Hodí se také pro objemné rastry spojených mapových listů, které mohou mít velikost až několik GB. V principu je však možné takto prohlížet jakoukoliv starou mapu.

Pro mapy, které jsou georeferencovány, doporučuji využití mapového serveru. Mapový server umožňuje data online porovnávat s různými jinými podklady, což je obrovská výhoda. V rámci klientské aplikace mapového serveru je pak možné využívat dalších možností: databázového připojení, měření vzdáleností a ploch, odečítání souřadnic, atd.

Nejnadějnější technologií pro distribuci starých map jsou jistě webové mapové služby. Možnost sdílení georeferencovaných datových sad nabízí celou řadu aplikací. Výhodou je standardní rozhraní, které umožňuje data připojit do prakticky libovolné aplikace. Pokud použitý mapový server podporuje službu WMS, rozhodně doporučuji její využití.

8.4 Zpracování starých map v GIS

Digitalizované staré mapy nemusíme pouze distribuovat, ale můžeme i dále zpracovávat. Georeferencované rastry je možné v GIS porovnávat s jinými datovými sadami. Aplikace takového postupu se hodí pro různé obory výzkumu. Příkladem může být sledování vývoje lesních ploch, hledání již zaniklých obcí v pohraničí, výzkum vývoje cestní sítě nebo třeba sledování industrializace v okolí měst.

Pro GIS analýzy, které je možné provádět nad daty, je samozřejmě nutné mít vektorová data pro analyzované prvky. Vektorizace často probíhá ručně, protože u starých map selhávají postupy automatické vektorizace. Ty se hodí většinou pouze pro čárovou kresbu (např. na katastrálních mapách). Popis vzniku vektorových dat je v odstavci 3.2.3. Výsledkem mohou být např. změnové polygony využití pozemků nebo polygony oblastí zatopených vodou po výstavbě přehradních nádrží. Popis možných analýz s vektorovými daty je již nad rámec této práce.

Kapitola 9

Závěr

9.1 Cíle do budoucna

Na závěr této práce bych nejdříve rád vyjmenoval cíle mého dalšího výzkumu. Zpravidla jde o dokončení stávajících projektů, náměty na možnosti dalšího výzkumu jsou uvedeny dále.

Ve stěžejním projektu zpřístupnění dat II. vojenského mapování se pokusím spojit mapy obou souřadnicových soustav (gusterberské a svatoštěpánské) tak, aby vznikla jedna souvislá vrstva pro celou ČR. Předpokládám velmi dobrou shodu na hranicích obou oblastí zejména díky tomu, že mapy byly georeferencovány na základě GTK. V samotné webové aplikaci se pokusím doplnit některé užitečné funkce:

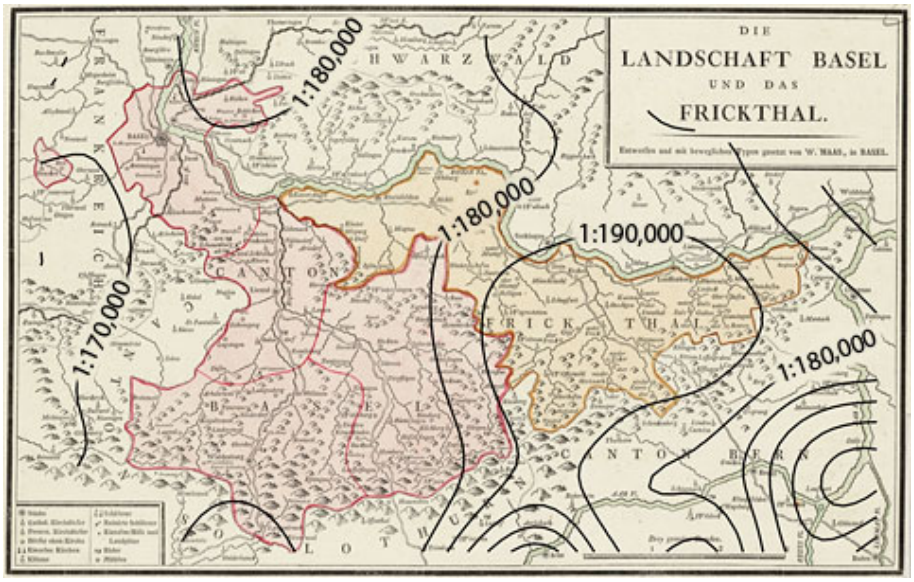
- informace o aktuálním zobrazeném mapovém listu
- odkazování na skenované originály, které jsou k dispozici na serveru Laboratoře geoinformatiky UJEP
- přímé zobrazování souřadnic v různých souřadnicových systémech
- možnost interaktivní změny průhlednosti jednotlivých vrstev

Webová mapová služba bude doplněna o kvalitní metadata, aby byla k dispozici pro katalogové služby. Poté předpokládám její začlenění do sítě webových služeb věnujících se starým mapám. Tuto síť buduje kolega Fernandez-Wyttenbach ve Španělsku.

V projektu zpřístupnění Müllerova mapování nás s kolegou Krejčím čeká ještě mnoho práce. Testování různých typů georeferencování povede k výsledné aplikaci založené na mapovém serveru. Kromě práce s celkovým rastrovým obrazem „spojené“ mapy Čech budeme testovat i transformace po jednotlivých mapových listech. Vyrovnání styků jednotlivých

listů bude provedeno Jungovou transformací. Vedle zpracování Müllerovy mapy Čech se samozřejmě chystáme na obdobné zpracování Müllerovy mapy Moravy.

V rámci výzkumu nejstarších mapových památek se chystám spolu se studenty na práce podobné bakalářské práci Anety Pomykaczové [33]. Cílem by mělo být vytvořit vektorové modely pro naše nejvýznamnější mapy vytvářené jednotlivci v letech 1518–1720. Následovat bude zkoumání přesnosti těchto map a jejich vzájemné porovnání. Kromě klasických metod bude využito i nového software *MapAnalyst* [17], který pochází z ETH[1] v Zürichu. V tomto produktu je možné vizualizovat deformační křivky a ekvideformáty starých map. Ukázka výstupu je na obrázku 9.1.



Obrázek 9.1: Ukázka z aplikace MapAnalyst

Kromě samotného zkoumání bych se rád pokusil o zviditelnění starých map v ostatních oborech. Mapy je možné využít pro environmentální výzkum, v rámci pozemkových úprav i jinde. V tomto ohledu se chystám ke spolupráci zatím s ostatními katedrami Fakulty stavební, ČVUT v Praze.

9.2 Předpokládaný vývoj zkoumaného tématu

Po zpracování rozsáhlého průzkumu nových technologií v oblasti zpracování a zpřístupnění starých map se mohu pokusit odhadnout další vývoj v této oblasti zkoumání. V oblasti digitalizace dochází k výrobě stále kvalitnějších snímacích zařízení. Nejlépe je tento vývoj vidět na kvalitě digitálních fotoaparátů. Z hlediska starých map je podle mě důležité dosáhnout fyzického rozlišení velkoformátového skeneru okolo 1000 *dpi*. Za tuto hranici již určitě

[1] `http://www.ethz.ch`

nemá smysl jít. Z hlediska konstrukce je ideální stolní velkoformátový skener se zaručenou přesností snímání. Pokud budeme mít k dispozici takto kvalitní zařízení, bude skenování starých map velmi pohodlné.

V oblasti formátů pro uložení skenovaných dat očekávám v budoucnu větší míru standardizace. Osobně mohu zatím doporučit formát TIFF, který je otevřený a umožňuje ukládat řadu doplňkových informací k datům (souřadnicové umístění, ICC profily). Myslím, že v několika nejbližších letech začnou být výrazněji využívány zejména formáty založené na vlnkové kompresi dat (JPEG2000, ECW). Velmi zajímavé jsou též formáty kombinující rastrová a vektorová data (např. DjVu). Otázkou těchto formátů zůstává jejich otevřenost a přenositelnost. Velké databázové společnosti (Oracle, Microsoft) již nyní nabízejí jako rastrová úložiště své databázové systémy. Ukládání rastrových dat do databází je předmětem současného výzkumu a jistě bude do budoucna stále více využíváno. Zatím však zcela dominuje ukládání rastrů do souborového systému.

Pro snadnější georeferencování starých map je důležité začlenit odpovídající transformace a algoritmy do desktop GIS produktů. Spíše než v komerčních produktech očekávám tuto implementaci v Open Source projektech. Příkladem může být projekt uDig, na jehož vývoji se podílí i můj kolega Jan Ježek. Z komerčních produktů je třeba vyzdvihnout český produkt KOKEŠ, který se jeví v tuto chvíli jako nejvhodnější.

Pro zpřístupnění map na Internetu budou jistě vyvíjeny nové a nové technologie. V tuto chvíli má velice dobrou pozici využití metody AJAX. Pro vytvoření interaktivní webové aplikace je to patrně nejlepší volba. Pozvolna se začíná využívat též serverových technologií založených na jazyku Java. V oblasti skriptovacích jazyků na serveru stále dominuje PHP a ASP.NET, očekávám však větší rozšíření jazyka Python. Pro samotnou prezentaci rozsáhlých obrazových dat na Internetu očekávám větší využití image serverů založených na speciálním protokolu. Pro práci s georeferencovanými daty bude pravděpodobně nadále využíváno mapových serverů. V oblasti distribuce dat pak předpokládám masivní využití webových mapových služeb.

9.3 Náměty na další práce

Zkoumání starých map je velmi široké téma, které nabízí řadu možných zaměření výzkumu. Nejde o téma jednooborové, ale multidisciplinární, které vyžaduje spolupráci několika oborů.

Z archivnické části výzkumu by jistě stálo za to prozkoumat mapové sbírky v ČR. Sami pracovnici Historického ústavu AV ČR uznávají, že neexistuje kvalitní soupis našich starých map. Samozřejmostí by bylo prozkoumat i jiné než české archivy (např. ve Vídni).

Velkým problémem starých map zůstávají jejich metadata. Různorodost knihovních systémů neumožňuje kvalitní vyhledávání. Celá jedna disertační práce by mohla být zaměřena na metadata, jejich standardy a využití v katalogizaci starých map. Nikde není spolehlivě vyřešena např. otázka vyhledávání staré mapy podle zobrazovaného území, tedy jakýsi pros-

torový dotaz do knihovnické databáze.

V technologické oblasti zpřístupnění starých map je spousta možností dalšího výzkumu. Lze jmenovat například ukládání rozsáhlých rastrových dat do databází, výzkum formátů pro kombinaci rastrových a vektorových dat, technologii image serverů nebo třeba samotné specifikace webových mapových služeb a jejich implementace.

Velkou kapitolu pak představuje výzkum vlastního obsahu starých map. Je velmi zajímavé sledovat vývoj značkových klíčů, názvosloví nebo použitých zobrazovacích prostředků. V případě, že se podaří digitalizovat staré mapy a distribuovat je např. metodami popsanými v této práci, bude v této oblasti připravena velmi dobrá startovní pozice.

9.4 Úplným závěrem

Na úplný závěr bych rád zhodnotil výsledky mé práce. Cílem bylo prozkoumat možnosti digitalizace a zpřístupnění starých map na Internetu. V oblasti digitalizace jsou zajímavým výstupem doporučené parametry skenování včetně rešerše možných formátů pro uložení dat, kompresních metod i vlastních skenovacích zařízení.

Pro následné použití dat v mapových serverech jsem navrhl různé metody georeferencování. Navržené metody využívají jak globální transformace, tak i lokální transformační klíče pro nehomogenní mapy. Jedním ze závěrů je také fakt, že stále zaostává funkčnost většiny GIS software v této oblasti.

Rozsáhlý průzkum webových technologií vhodných pro prezentaci map, který jsem provedl, odpovídá na otázku výběru vhodné metody. Výstupem jsou doporučené technologie dodržující příslušné standardy. Novinkou je návrh využití webových mapových služeb. V této oblasti jsem i na mezinárodní úrovni jeden z prvních, kdo používá služby WMS pro zpřístupnění starých map.

Veškeré navržené technologie jsem využil v reálných projektech. Jejich popis ukazuje možné způsoby řešení komplexního zpracování map od skenování až po distribuci pomocí Internetu. Zpřístupnění souřadnicově umístěných map II. vojenského mapování, celkového rastru Müllerovy mapy Čech nebo reprintů našich nejstarších map jsou dle mého názoru významnými projekty v rámci české kartografie.

Cíle práce, které jsem si vytkl před třemi lety, byly splněny. Jsem velmi rád, že se mi podařilo implementovat zejména aplikaci využívající WMS. Před třemi lety nebyla ještě tato technologie úplně rozvinuta, její volba se však ukázala jako správná cesta.

Jsem si vědom toho, že moje práce není definitivním zakončením výzkumu, ale spíše odrazovým můstkem pro jeho další pokračování. I přesto myslím, že práce shrnuje nejdůležitější poznatky z oblasti digitalizace a webové prezentace map, a může být zdrojem cenných informací pro praktickou realizaci různých webových aplikací zpřístupňujících staré mapy.

Příloha A

Obsah přiloženého CD

Struktura adresářů je následující:

```
/--- projekty/ ---- II_vojenske
               ---- Klaudyanova_mapa
               ---- Mapy_ceskych_zemi
               ---- Mullerova_mapa
               ---- Pinasuv_plan
               ---- Sledovani_krajiny
/--- text/
```

V adresáři text je možné nalézt text disertační práce a tezí k disertační práci. V ostatních adresářích jsou soubory k jednotlivým projektům. Projekt II. vojenského mapování obsahuje HTML, PHP a MAP soubory prototypů obou navržených webových aplikací. Stejné typy souborů obsahují i adresáře projektů Sledování krajiny a Pinasův plán. Samotná data přiložena nejsou kvůli obrovskému objemu rastrových dat. Ve společném adresáři projektů jsou k dispozici využívané JavaScriptové knihovny, které bylo nutno mírně upravit.

Pro projekt Klaudyánovy mapy jsou přiloženy geodatabáze vektorizovaných dat v software ArcGIS, a to v místním systému i po transformaci do S-JTSK. Ostatní projekty (založené na projektu Zoomify) jsou k dispozici úplné, tedy včetně dat. Po úpravě cest ve zdrojových souborech by tak bylo možné rekonstruovat vytvořené webové aplikace.

Aplikace na CD nejsou samostatně funkční. Jsou přiloženy pouze pro snadný přístup ke zdrojovým souborům v navržených aplikacích. Samotné webové aplikace lze nalézt na internetové adrese:

`http://mapserver.fsv.cvut.cz`

Literatura

[1] ANTOŠ, F.: Problematika skenování historických map a jejich následné prezentace na internetu, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2006.

[2] BALLETTI, C.: Georeference in the analysis of the geometric content of early maps. *e-Perimetron*, ročník 1, č. 1, 2006, ISSN 1790-3769, [online].
URL `<http://www.maplibrary.gr/e-perimetron>`

[3] BOGUSZAK, F.; CÍSAŘ, J.: *Vývoj mapového zobrazení území Československé socialistické republiky, III. díl – Mapování a měření českých zemí od poloviny 18. století do počátku 20. století.* Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1961, 129 s.

[4] BOUMPHREY, F.; GREER, C.; RAGGETT, D.; aj.: *XHTML – Průvodce vývojáře.* Praha: Mobil Media a.s., 2002, ISBN 80-86593-14-2, 479 s.

[5] BRŮNA, V.; KŘOVÁKOVÁ, K.: Analýza změn krajinné struktury s využitím map Stabilního katastru. In *Historické mapy, zborník z vedeckej konferencie*, Bratislava: Kartografická spoločnosť Slovenskej republiky, 2005, ISBN 80-968365-7-9, ISSN 1336-6262, s. 27–34.

[6] BRŮNA, V.; KŘOVÁKOVÁ, K.: Staré mapy v prostředí GIS a Internetu. In *GEOS 2006 - 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics*, Praha, 2006, ISBN 80-85881-25-X, str. 45, abstrakt, plný text na CD.

[7] BUCHAR, P.; HOJOVEC, V.: *Matematická kartografie 10.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, ISBN 80-01-01491-6, 210 s.

[8] BUCHROITHNER, M. F.; ZIMMERMANN, G.; KOCH, W. G.: The Dresden Digital Archive of Historical Maps. In *Proceedings of XXIII International Cartographic Conference*, Moscow, 2007, str. 333, abstrakt, plný text na CD.

[9] BĚLECKÁ, V.: Možnosti presentace historických českých map vytvořených jednotlivci na Internetu, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2005.

[10] CAJTHAML, J.: Publishing Old Maps via the Internet: An Overview of Possibilities. In *Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 17*, Wien: Institut für Geographie und Regionalforschlung der Universität Wien, 2006, ISBN 3-900830-59-2, s. 218–223.

[11] CAJTHAML, J.; KREJČÍ, J.: Usage of Old Maps and Their Distribution within the Frame of Web Map Services. In *Proceedings of XXIII International Cartographic Conference*, Moscow, 2007, str. 333, abstrakt, plný text na CD.

[12] ČADA, V.: Robustní metody tvorby a vedení digitálních katastrálních map v lokalitách sáhových map, habilitační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2003.

[13] DOUBRAVA, P.: Zpracování rastrových mapových podkladů pro využití v oblasti aplikací GIS a katastru nemovitostí, doktorská disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2005.

[14] FERNANDEZ-WYTTENBACH, A.; BALLARI, D.; MANSO, M.: Digital Map Library of the Canary Islands. *e-Perimetron*, ročník 1, č. 4, 2006, ISSN 1790-3769, [online]. URL `<http://www.maplibrary.gr/e-perimetron>`

[15] HONZÍK, V.: Posouzení internetových software pro použití GIS na internetu, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2002.

[16] HUML, M.; MICHAL, J.: *Mapování 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, ISBN 80-01-02113-0, 319 s.

[17] JENNY, B.: MapAnalyst — A digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps. *e-Perimetron*, ročník 1, č. 3, 2006, ISSN 1790-3769, [online]. URL `<http://www.maplibrary.gr/e-perimetron>`

[18] JEŽEK, F.: Geometrické a počítačové modelování, pomocný učební text, Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 2004.

[19] JOBST, M.; WURM, B.: The Success of Cartographic Heritage Based on Public Acceptance. In *Proceedings of XXIII International Cartographic Conference*, Moscow, 2007, str. 332, abstrakt, plný text na CD.

[20] KOLLINGER, M.: Návrh a implementace finančně nenáročného způsobu publikace geografických dat v síti Internet, diplomová práce, Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 2004.

[21] KOLÁŘ, J.: *Geografické informační systémy 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, ISBN 80-01-01698-6, 149 s.

[22] KOLÁŘ, J.; HALOUNOVÁ, L.; PAVELKA, K.: *Dálkový průzkum Země 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, ISBN 80-01-01567-X, 164 s.

[23] KREJČÍ, J.: Vizualizace a kartometrická analýza historického plánu Prahy z let 1842–1845, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2006.

[24] KREJČÍ, J.; CAJTHAML, J.: Müllerovy mapy českých zemí, jejich digitalizace a zpracování. *Kartografické listy*, ročník 2007, č. 15: s. 51–59, Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav SAV, Bratislava.

[25] KUCHAŘ, K.: *Naše mapy odedávna do dneška*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1958, 129 s.

[26] KUCHAŘ, K.: *Early Maps of Bohemia, Moravia and Silesia*. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1961, 74 s. a 12 příloh.

[27] KÁNSKÝ, L.: Sledování změn krajiny pomocí starých map v prostředí GIS, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2007.

[28] McGLAMERY, P.: Building a Globally Distributed Historical Sheet Map Set of Austro-Hungarian Topographic Maps, 1877-1914. *RLD DigiNews*, ročník 9, č. 1, 2005, ISSN 1093-5371, [online].
URL `<http://www.rlg.org>`

[29] MIKŠOVSKÝ, M.; ZIMOVÁ, R.: Historická mapování českých zemí. In *GEOS 2006 – 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics*, Praha, 2006, ISBN 80-85881-25-X, str. 78, abstrakt, plný text na CD.

[30] PENG, Z.-R.; TSOU, M.-H.: *Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and the Wireless Network*. New Jersey: Wiley, 2003, ISBN 0-471-35923-8, 679 s.

[31] PEŠŤÁK, J.; ZIMOVÁ, R.: Polohová přesnost objektů na mapách Prvního a Druhého vojenského mapování. *Kartografické Listy*, ročník 2005, č. 13: s. 92–100, Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav SAV, Bratislava.

[32] PLÁNKA, L.: *Vývoj světové a české kartografie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2004, ISBN 80-214-2675-6, 125 s.

[33] POMYKACZOVÁ, A.: Analýza Klaudyánovy mapy v prostředí GIS, bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2007.

[34] PSOHLAVEC, S.: Barevná kalibrace při digitalizaci, národní knihovna, Praha, 2000.

[35] PŘIDAL, P.: Zpracování a zpřístupnění historických dokumentů, diplomová práce, Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, Brno, 2007.

[36] SEMOTANOVÁ, E.: *Mapy Čech, Moravy a Slezska v zrcadle staletí*. Praha: Libri, 2001, ISBN 80-7277-078-6, 263 s.

[37] SEMOTANOVÁ, E.; ŠIMŮNEK, R.: *Lexikon mapových archivů a sbírek České republiky*. Praha: Historický ústav AV ČR, 2000, ISBN 80-7286-008-9, 267 s.

[38] TAUCHMAN, M.: Polohová přesnost vybraných prvků map I. a II. vojenského mapování, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2004.

[39] TUČEK, J.: *Geografické informační systémy*. Brno: Computer Press, 1998, ISBN 80-7226-091-X, 424 s.

[40] VEVERKA, B.: *Topografická a tematická kartografie.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, ISBN 80-01-01245-X, 203 s.

[41] VEVERKA, B.: Georeferencování map historických vojenských mapování na území ČR. In *GISy ve státní správě*, Pardubice: Invence Litomyšl, 2004, ISBN 80-86143-21, ISSN 1213-4163, abstrakt, plný text na CD.

[42] VEVERKA, B.: Souřadnicové transformace v geoinformatice. In *GEOS 2006 - 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics*, Praha, 2006, ISBN 80-85881-25-X, str. 46, abstrakt, plný text na CD.

[43] VICHROVÁ, M.; ČADA, V.: Geodetické základy státních mapových děl 1. poloviny 19. století a lokalizace do S-JTSK. In *Historické mapy, zborník z vedeckej konferencie*, Bratislava: Kartografická spoločnosť Slovenskej republiky, 2005, ISBN 80-968365-7-9, ISSN 1336-6262.

[44] VOHNOUT, P.: Server pro staré mapy, bakalářská práce, Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň, 2007.

[45] ZIMOVÁ, R.; PEŠŤÁK, J.; VEVERKA, B.: Historical Military Mapping of Czech Lands - Positional Accuracy of Old Maps. *GIM International*, ročník 20, č. 10, 2006: s. 21–23, ISSN 1566-9076, reed Business Information bv, The Netherlands.

[46] ŽÁRA, J.; BENEŠ, B.; SOCHOR, J.; aj.: *Moderní počítačová grafika.* Brno: Computer Press, 2004, ISBN 80-251-0454-0, 609 s.