

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Převod interferometrických obrazových dat
do GIS

Praha, červen 2008

Tomáš Vobecký

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu literatury.

V Praze dne 3.6.2008

Tomáš Vobecký

Anotace

Bakalářská práce řeší problém převodu interferometrických obrazových dat do geografického informačního systému (GIS). Interferometrická družicová data jsou uložena jako binární data, kde je každý bod popsán 4 byty informace s pohyblivou řádovou čárkou. Takto převedená data ze dvou oblastí a 24 vyhodnocených snímků dále zpracovává dle získaných podkladů z přímého geodetického měření z terénu transformací jejich původního georeferencování. Následně z takto získaných výsledků provádí vyhodnocení a analýzu území. Veškeré práce jsou prováděny v systému GeoMedia od Intergraph Corporation. Práci doplňuje, vedle hlavní části převodu a vyhodnocení interferometrických dat, pojednání o základech radarové interferometrie, misi družic ERS-1 a ERS-2 a historii Intergraph Corporation.

Abstract

Bachelor thesis dwells on transformation of interferometric image data into geographic information system (GIS). Interferometric image data are stored in binary floating-point format. Attributes for each point are stored in 4 bytes for each point in file. Radar projection covers 2 territories at 24 dates. Thesis then design procedure of transformation spatial information of transformed binary data into GIS. In this step the author adjusts radar georeferencing with geodetic terrain observations. At the end, the analysis of the area of interest is performed. Author has worked only with software GeoMedia from Intergraph Corporation. Thesis is completed with essay about radar interferometry, mission of ERS-1 and ERS-2 and history of Intergraph Corporation.

Obsah

1	Úvod	7
2	Radarová interferometrie	9
2.1	Základní definice	9
2.2	Druhy zařízení	9
3	Družice ESR-1/2	11
3.1	Úvodní poznámky	11
3.2	Technické podrobnosti	11
3.3	Výroční informace ESA	13
3.4	Konkrétní výsledky ERS-2	14
3.5	Výpočet reálné polohy ERS-2	16
4	GeoMedia Grid	17
4.1	Založení Intergraphu	17
4.2	První úspěchy Intergraphu	17
4.3	Milníky v historii Intergraphu od 80. let do současnosti	18
4.4	Shrnutí historie Intergraphu	18
4.5	Intergraph GeoMedia Professional	19
4.5.1	Základní pojmy	19
4.6	Intergraph GeoMedia Grid	20
4.6.1	Základní informace	20
4.6.2	Vysvětlení nástroje <i>Study Area</i>	20
4.6.3	Pomoc pro začínající uživatele	20

5 Převod interferometrických dat	21
5.1 Popis zájmového území	21
5.2 Popis datových souborů	22
5.3 Příprava dat	23
5.4 Práce v geoprostředí GeoMedia	24
5.4.1 Založení geoprostředí	24
5.4.2 Souřadnicové systémy a jejich nastavení	24
5.4.3 Záložení databáze	25
5.4.4 Vlastní načtení binárních dat	25
5.4.5 Zobrazení načtené vrstvy dat	29
5.4.6 Ukázka načtených radarových výsledků	30
6 Vyhodnocení načtených dat v GIS	32
6.1 Nástroje pro manipulaci s daty v gridové vrstvě	32
6.1.1 Menu Layer	32
6.1.2 Grid Calculator	36
6.2 Připojení dalších dat pro analýzu území	36
6.2.1 Zobrazení mapových sad pomocí služby WMS	36
6.2.2 Zobrazení vektorových dat ve formátech CAD	37
6.3 Transformace georeferencování z vyhodnocení InSAR	38
6.4 Zobrazení koherence a amplitudy k převedeným datům	39
6.5 Analýza území pomocí nástrojů GeoMedia Grid	40
6.6 Prezentace výsledků z oblasti Košťany	41
7 Závěr	48

Poděkování

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Leně Halounové za vedení mé práce a Ing. Ivaně Hlaváčové za konzultace v průběhu zpracování. Děkuji také české pobočce Intergraph Corporation za poskytnutí softwaru GeoMedia a Vladimíru Pekovi z této společnosti za praktické konzultace.

Kapitola 1

Úvod

Dálkový průzkum Země a geografické informační systémy jsou dnes stále více propojenými vědními obory. Dálkový průzkum Země pomocí bezkontaktních metod získává informace o jevech, objektech a jejich změnách na zemském povrchu. Základem dálkového průzkumu Země je přenos informací pomocí elektromagnetického záření. Geografické informační systémy jsou naproti tomu systémy, jež uchovávají rozličné údaje (informace) o místech na dané ploše. Tento pojem zahrnuje celé spektrum nástrojů a vybavení, které umožňuje sběr, kontrolu, uchovávání, výběr, analýzu, manipulaci, vizualizaci a prezentaci kvalitativních a kvantitativních údajů o prvcích na Zemi nebo také jiném místě ve vesmíru. Geografické informační systémy velkou měrou využívají jako zdroje dat právě metody dálkového průzkumu Země.

V dnešní době na poli geografických informačních systémů výrobce určitého systému prosazuje proprietární formát svého softwaru. Komfortní práci v programech ESRI zajistí shapefile, v MicroStation od Bentley výkres *dgn* nebo v AutoCADu od Autodesku formát *dwg*. Další, o poznání méně využívaný, se zdá postup načítání z textového formátu. Tato práce vytváří algoritmus převodu napříč obory (z DPZ do GIS) a také těmito zavedenými postupy (žádný textový soubor nebo uzavřený formát konkrétního výrobce). Z binárního souboru převádí informace do gridové vrstvy GIS nástroje. Z využití pomocí radarové interferometrie by bylo možné exportem rastrového obrázku některé informace po dalším georeferencování použít. Načtení pomocí rastru ale naprostoto nevyhovuje. Takto nelze z jednotlivých pixelů získat požadované hodnoty, v našem případě posuny zemského povrchu. Obecně jakoukoliv informaci by v daném pixelu při načtení pomocí rastru bylo možné usuzovat jen z použité barevné palety, což samozřejmě nezaručí spolehlivost a požadovanou přesnost. Posuny terénu načtením binárních dat dle závěrů této práce lze určit s přesností danou výstupem využití radarové interferometrie a navíc po převodu lze s výhodou využít celou škálu potřebných nástrojů geografických informačních systémů.

Radarová interferometrie, jejíž výsledky jsou v rámci této práce využitelné, je jednou z metod dálkového průzkumu Země. Zpracovává fázová měření ze dvou a více souborů radarových dat. Výhodou této metody je to, že nám umožňuje získat poměrně rychle velké množství dat. Po uvážení času potřebného na naplánování vyslání družice a realizace tohoto záměru, lze tvrdit, že pokud je již družice a potřebný

radar na nosiči družice v provozu, získáme za krátký časový okamžik získat hodně informací o zemském povrchu. Výsledky z radarové interferometrie umožňují vyhodnotit jednak reliéf Země jako digitální model terénu a také změny na zemské kůře.

Interferometrická družicová data pocházejí z radaru se syntetickou aperturou (SAR). Radary poskytují výsledky navzdory mlze, oblakům, mírnému dešti, ale pronikají také do porostu, sněhové pokrývky nebo půdy, a tak dostaneme také informace o vrstvách pod zemským povrchem. V radarové interferometrii při využití fáze ale tyto vlivy nejsou žádoucí.

Radarová data byla pořízena na družicích ERS-1 a ERS-2, jež byly vyslány Evropskou kosmickou agenturou (ESA) v letech 1991 (ERS-1) a 1995 (ERS-2). Družice ERS-1 již není v současnosti v provozu. Tyto družice obíhaly na stejné dráze ve výšce 785 km nad Zemí a byly první satelitní řadou, jež pořizovala radarová data pro komerční účely. Hlavním přístrojem na palubě je právě radar se syntetickou aperturou a tyto družice jsou vybaveny dalšími zařízeními pro aplikace v životním prostředí a mapování.

Vyhodnocené snímky, které byly převedeny a dále zpracovány v geografickém informačním systému, byly vyhodnoceny radarovou interferometrií metodou současného vyhodnocení většího množství snímků, které označujeme jako *stack*. Stack označuje více snímků dané oblasti. V této práci bylo pracováno s daty ze 24 již vyhodnocených snímků ze dvou oblastí ze severních Čech. První oblast "Ervěnice" se nachází mezi městy Chomutov a Most a druhá "Košťany" poblíž Teplic. Na těchto snímcích byla vyhodnocena místa s největší průměrnou koherencí, zejm. umělé objekty (silnice, železnice, budovy).

Celý postup práce v dálkovém průzkumu Země od vyslání radaru až po konečné výsledky vyhodnocení potřebného jevu rozdělujeme na 2 části. První je příprava, sběr a přenos dat na Zemi a druhá zahrnuje zpracování, analýzu a vyhodnocení takto získaných dat. Náplní této práce je řešení převodu, vyhodnocení a prezentace již vyhodnocených výsledků radarové interferometrie. Pohybuje se tedy v druhé etapě vyhodnocení dat z dálkového průzkumu Země a zároveň přechází do dalšího oboru, tj. do oblasti geografických informačních systémů. Vyhodnocení družicových interferometrických dat není předmětem této práce. Podklady pro převod byly převzaty od Ing. Ivany Hlaváčové, doktorandky laboratoře dálkového průzkumu Země na katedře mapování a kartografie Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zadáním této práce bylo tato data převést a prezentovat v geografickém informačním systému GeoMedia od Intergraph Corporation.

Kapitola 2

Radarová interferometrie

2.1 Základní definice

Radar je akronym z anglického RAdio Detection And Ranging. Přesně dle významu tohoto výrazu určují radary pomocí radiových vln umístění objektů na zemském povrchu. Radar je aktivní mikrovlný senzor. Slovo aktivní poukazuje na to, že je vybaven vlastním zdrojem mikrovlnného záření a vlnová délka tohoto záření se pohybuje mezi 0.3 mm a 1 m. Oproti ostatním senzorům v dálkovém průzkumu Země jsou radary díky tomuto rozsahu vlnových délek schopny proniknout mlhou, jemným deštěm, mraky, smogem a umožňují odlišný pohled na zemské objekty v hladkosti, resp. drsnosti povrchů.

Radar je aktivní zařízení, které samo vysílá záření a přijímá jeho odezvu deformovanou ozářenými předměty. Zobrazující radar převádí měřené vzdálenosti do formy obrazu. Radarové systémy nemusí poskytovat pouze obrazová data. Typickým příkladem radaru, který neposkytuje obrazová data, je Dopplerův radar na měření rychlosti vozidel nebo PPI radar (plan position indicator). Tento radar zobrazuje na kruhové obrazovce roviný pohled na objekty v dosahu rotující antény. Pro dálkový průzkum Země není vhodný, avšak má široké uplatnění v jiných oborech, např. meteorologii, navigaci nebo vojenství. Prostorové rozlišení radaru je dáno rozměrem antény.

Základní charakteristikou radaru je jeho vlnová délka a polarizace. Vlnová délka definiuje průchodnost záření radaru prostředím. S radarovými systémy můžeme s využitím aktivního ozařování snímkovat také v noci nebo přes mraky na obloze. Radarové záření můžeme polarizovat v horizontálním nebo ve vertikálním směru.

2.2 Druhy zařízení

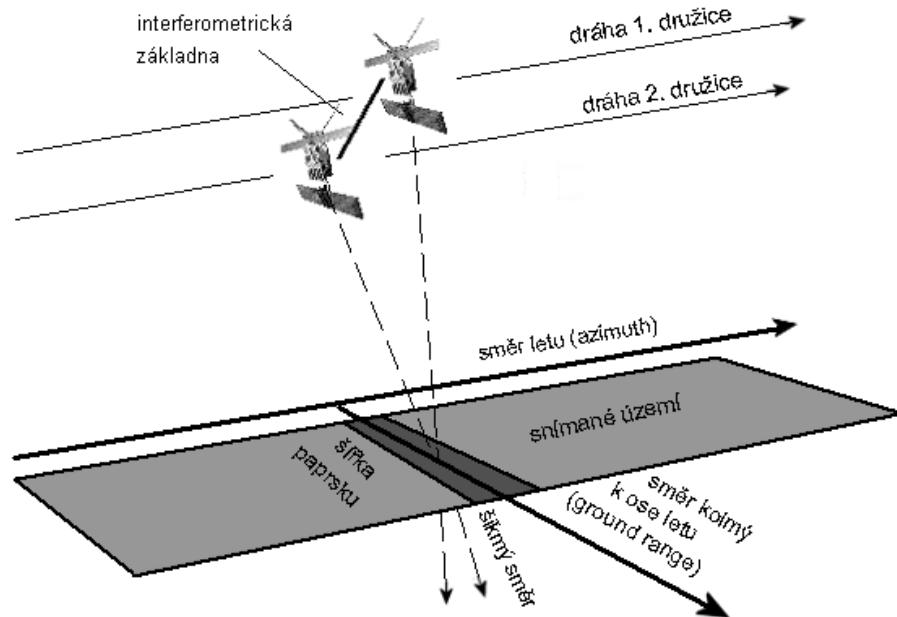
Radarové systémy existují dnes ve více podobách (převzato z [1]):

1. PPI (Plan Position Indicator),
2. radarová družicová sondáž atmosféry (microwave sounder),

3. měření rychlosti (rychlosť větru, předmětů nebo automobilů),
4. radarový výškoměr (altimeter),
5. zobrazující radar pro planetologii,
6. zobrazující radar bočního pohledu (SLR - side-looking radar, SLAR - side-looking airborne radar),
7. zobrazující radar bočního pohledu se syntetickou aperturou (SAR - synthetic aperture radar).

Z tohoto výčtu dnes největšího významu nabývá právě poslední typ radaru, tj. radar se syntetickou aperturou (dále "SAR"), jehož snímků tato práce využívá. SAR byl vyvinut kvůli špatnému plošnému rozlišení radarů se skutečnou aperturou (SLR, SLAR). Nahrazuje délku antény upraveným způsobem měření, protože využívá Dopplerova efektu frekvenčních posunů.

Pokud získáme dva radarové snímky stejného území, porovnáme fázovou složku odraženého záření mezi odpovídajícími si obrazovými body na těchto snímcích. Porovnáním fázové složky pro každý obrazový bod na snímku vypočítáme relativní výškové členění zobrazovaného území. Navíc pokud máme k dispozici další snímky téhož území, můžeme provádět analýzu vývoje území.



Obrázek 2.1: Prostorové schéma základních prvků při radarovém snímání terénu (prevzato z [5])

Kapitola 3

Družice ESR-1/2

3.1 Úvodní poznámky

Družice ERS provozované Evropskou kosmickou agenturou (ESA - European Space Agency) se staly první satelitní řadou pořizující radarová data pro komerční účely. Zkratka ERS je zkratkou anglického "European Remote Sensing" a to můžeme přeložit jako "Družice pro evropský dálkový průzkum Země". Nejprve byla 25.7.1991 vynesena raketou Ariane z kosmodromu v Kourou¹ družice ERS-1, která měla zpočátku plnit především vědecké úkoly. Avšak o 4 roky později (21.4.1995) byla doplněna téměř totožnou družicí, která byla označena ERS-2 a díky tomu, že družice obsahují téměř shodné přístrojové vybavení, vytvořila se jejich tandemová spolupráce a později tak našly výsledky uplatnění především v komerční sféře. Během tandemové spolupráce ERS-2 následovala za ERS-1 s jednodenním zpožděním, což umožnilo pořizování "stereo" dvojic snímků s výhodou krátké časové základny. Mise ERS-1 byla oficiálně ukončena v roce 1996, ale satelit byl pouze převeden do spánkového režimu pro možnou reaktivaci při mimořádných událostech (tsunami v prosinci 2004 v jihovýchodní Asii nebo pro monitoring největší evropské činné sopky Etny, jež leží na jihovýchodě Sicílie v Itálii). Tandemová spolupráce byla možná až do 10.3.2000, kdy byla mise ERS-1 z technických důvodů ukončena. Tandemová spolupráce byla velmi úspěšnou a našla uplatnění ve velkém množství oborů po celé Zemi. ERS-2 je stále v provozu a je uvedena do pohotovostního režimu.

3.2 Technické podrobnosti

Družice operují v mikrovlnné oblasti na vlnové délce $\lambda = 5.67 \text{ cm}$. Hlavním přístrojem na palubě obou družic je radar se syntetickou aperturou (SAR), který umožňuje získat data bez ohledu na světlo či vysokou oblačnost. Tomu odpovídají

¹Kourou leží v jižní Americe ve Francouzské Guyaně přibližně 500 km severně od rovníku na $05^{\circ}08'$ severní šířky, kde je výhodné, že zemská rotace raketě přidává rychlosť při startovní trajektorii směřující na východ. Na této základně lze tedy snadněji dopravit satelit na požadovanou oběžnou dráhu.



Obrázek 3.1: Propagační fotografie družice ER2-2 (převzato z [6])

cíle mise zaměřené na aplikace v životním prostředí a mapování (sledování oceánu, rychlosť větru, velikost sněhové a ledové pokrývky, aplikace v zemědělství).

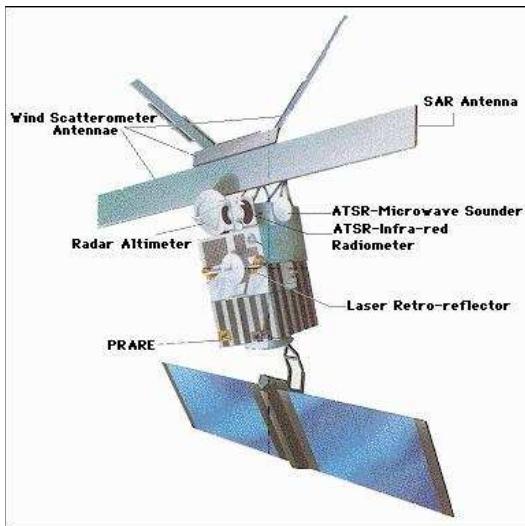
SAR je hlavním přístrojem na družicích ERS a umožňuje měření ve 3 základních režimech:

1. Image mode - pro data bez ohledu na světlo a počasí,
2. Wave mode - pro měření výšky a frekvence vln,
3. Wind Scatterometer - pro měření směru a rychlosti větru.

Přístrojová výbava pro určení polohy satelitu zahrnuje radarový altimetr (pro měření výšky nad terénem), mikrovlnný hloubkoměr (pro určení obsahu vodní páry v atmosféře), systém PRARE (Precise Range and Range Rate Equipment - určení polohy a rychlosti) a koutový odražeč LRR (Laser Retroreflector - odrážející laserové paprsky přicházející od stanic na Zemi).

Rozměry antény jsou 10 x 1 m. Družice ERS-2 se pohybuje, stejně jako dříve ERS-1, ve výšce 785 km s periodou přeletu 35 dnů. Hmotnost je 2,3 tuny s užitečnou zátěží kolem 1000 kg. Družice k provozu v plném operačním nasazení potřebuje 1kW elektrické energie, jejíž přísun zajišťují solární panely s 12metrovou délkou.

Pozemní síť tvoří 6 velkých přijímacích stanic, které jsou umístěny ve Švédsku, Itálii, na Kanárských ostrovech, v Norsku a Kanadě. Data s plným rozlišením SAR pokrývají většinu zemského povrchu a značnou část povrchu oceánů (viz obrázek 3.4).



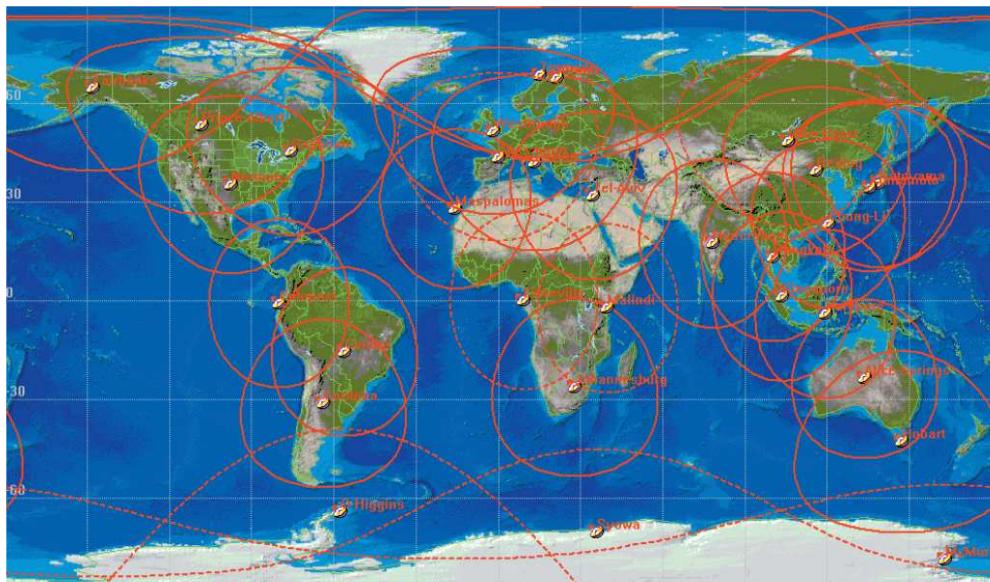
Obrázek 3.2: Schematický obrázek družice typu ERS-1/2 (převzato z [3])

<i>Satellite</i>	<i>Launch Date</i>	<i>End Mission</i>	<i>Altitude</i>	<i>Inclination</i>	<i>Repeat Cycle</i>	<i>Sensors</i>
ERS-1	25/7/91	10/3/00	785 Km	98° 52'	35 days	AMI, ATSR, MWR, RA
ERS-2	20/4/95		785 Km	98° 52'	35 days	AMI, ATSR, MWR, RA, GOME
AMI (ACTIVE MICROWAVE INSTRUMENT)						
	<i>Frequency</i>	<i>Polarisation</i>		<i>Incidence Angle</i>	<i>Spatial Resolution</i>	<i>Swath</i>
SAR Image Mode	C-band (5.3 GHz)	VV		23° at mid swath 23° + 0.5°	30 m	100 km
SAR Wave Mode	C-band (5.3 GHz)	VV			10 m	5 X 5 km
Wind Scatterometer	C-band (5.3 GHz)	VV		Fore/aft 25° – 59° Mid 18° – 47°	50 Km	500 km
ATSR						
<i>Spectral Bands</i>	1 1.6	2 3.7	3 10.8	4 12	<i>Frequency</i> K-band (13.8 GHz)	<i>Spatial Resolution</i> 1 km
						500 km

Obrázek 3.3: Přístrojová výbava ERS-1/2 (převzato z [3])

3.3 Výroční informace ESA

V roce 2005 uplynulo 10 let od uvedení satelitu ERS-2 do provozu. ESA při této příležitosti vydala zvláštní brožuru, ve které je mnoho zajímavých údajů o provozu družice. Družice za období mezi lety 1995 a 2005 provedla více než 1 milion snímků a oběhla Zemi 52000krát. Na podkladě dat z ERS-1/2 publikovalo své vědecké články více než 3000 vědců. Uplatnění našla mj. ve výpočtech preseizmických modelů, výpočtech rychlosti větru na moři pro meteorologické modely, výpočtech teploty oceánu, celkové topografie oceánu nebo monitoringu ozónové vrstvy zemské atmosféry.



Obrázek 3.4: Rozmístění pozemních stanic ESA pro ERS (převzato z [3])

3.4 Konkrétní výsledky ERS-2

Snímky, které jsou podkladem barevné syntézy na obrázku 3.5, byly pořízeny radarem se syntetickou aperturou (SAR) na družici ERS-2. Prostorové rozlišení po vyhodnocení je na 25 metrech. Číslo orbitu udává podrobnosti o datu snímkování. Když jsou 2 snímky pořízeny jednou družicí v intervalu 35 dní, je rozdíl orbitového čísla 501 a znamená to, že právě za dobu 35 dní oběhne družice 501krát zeměkouli.

Datum snímkování	Orbit	Barva
07/29/2004	35347	červená
03/11/2004	27832	zelená
05/20/2004	47371	modrá

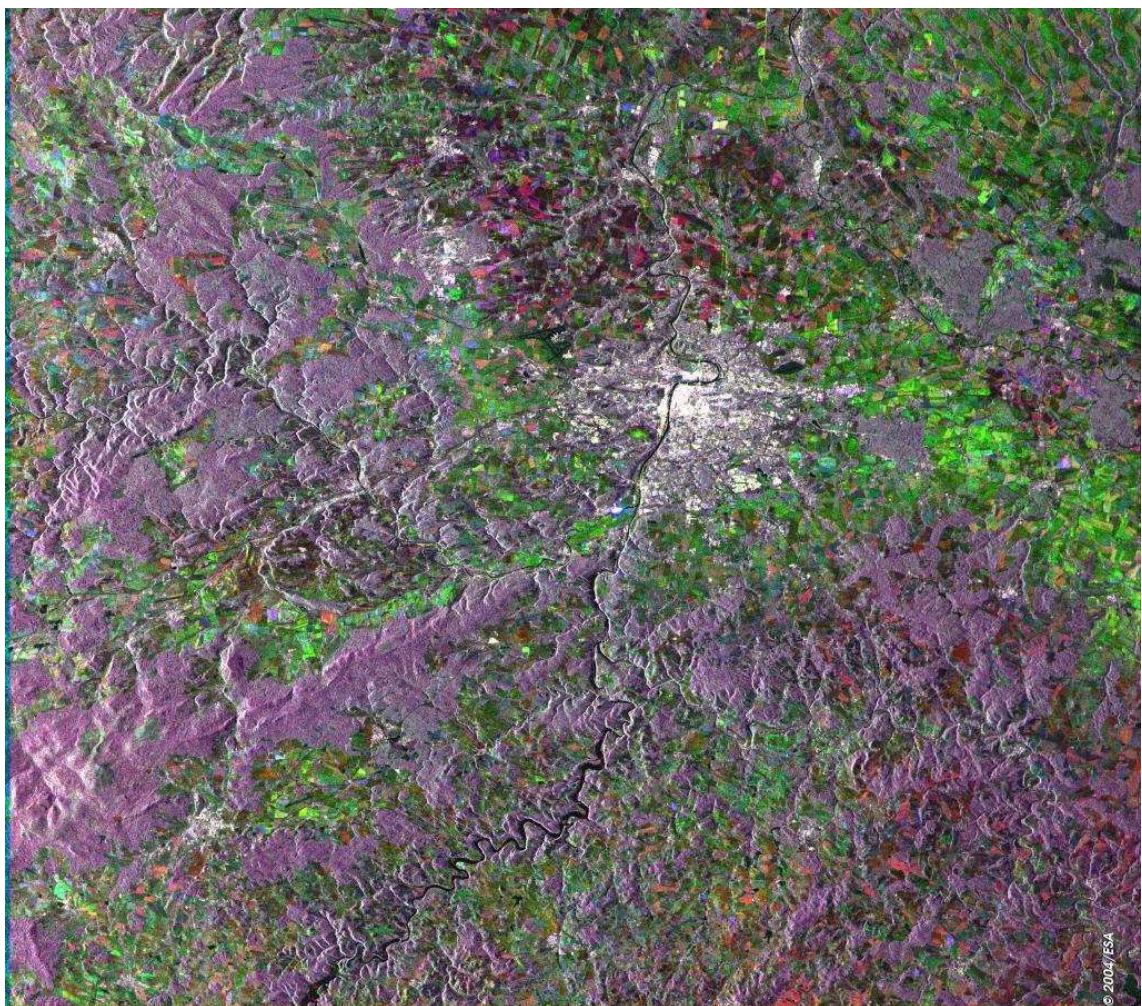
Tabulka 3.1: Technické podrobnosti snímku z ERS-2 (orbit 48494), převzato z [6]

Roh snímku	Zeměpisná šířka $[\varphi]$	Zeměpisná délka $[\lambda]$
SV	N 50.52	E 14.85
SZ	N 50.52	E 13.50
JZ	N 49.45	E 13.83
JV	N 49.64	E 15.14

Tabulka 3.2: Zeměpisné umístění snímku z ERS-2 (orbit 48494), převzato z [6]

Tento složený radarový obraz ve svém středu zobrazuje Prahu (velké světlé plochy) a zřetelně rozeznatelnou řeku Vltavu. Na obrázku vidíme kopce, zemědělskou půdu

i úrodnou půdu v jižních a středních Čechách. Obraz se skládá ze tří ERS-2 SAR PRI (Precision Radar Image) obrazových dat, která byla získána v různých termínech (viz tabulka 3.1), pomocí přiřazení RGB barev jednotlivými snímky.



Obrázek 3.5: Kompozitní obraz Prahy s přiřazením RGB barev jednotlivými snímky, převzato z [6]

3.5 Výpočet reálné polohy ERS-2

Na webových stránkách eoPortal ([6]) je z údajů poskytnutých ESA v provozu služba, která v reálném čase umožňuje výpočet polohy družice ERS-2. Poskytuje data o poloze v aktuálním čase, ale také výpočet polohy v uživatelem zadaném čase. V okamžiku zpracovávání této práce bylo období, pro které byla dráha vypočítána a zpřístupněna, od 25.3.2008 do 3.7.2008. Pro ilustraci byl do této práce dodán obrázek, který tento výpočet reálně ukazuje. Jedná se o výpočet polohy pro 23.6.2008 12:00 hodin letního času v České republice. V tento okamžik pravděpodobně bude probíhat obhajoba této bakalářské práce, a tak je tento časový okamžik zajímavý.



Obrázek 3.6: Poloha družice ERS-2 23.6.2008 ve 12 hodin letního času v ČR (převzato z [6])

Na obrázku 3.6 vlevo nahoře je vidět datum a časový údaj vypočtené polohy družice. Družice bude v daném čase právě nad západní Evropou nad pevninou Belgie nebo Nizozemí. Zanedlouho po poledni se přesune nad Atlantský oceán. Na obrázku je vidět obraz zemského povrchu, orbit družice (žlutě) a dráhu družice (azurově).

Kapitola 4

GeoMedia Grid

4.1 Založení Intergraphu

Převod interferometrických družicových dat byl realizován v softwaru GeoMedia od Intergraph Corporation. Intergraph je přední světovou společností, jež působí v oblasti řízení a vizuální prezentace komplexních informací. Historie této korporace začíná v roce 1969. Tehdy zakladatelé Intergraphu odešli z IBM, kde pracovali na projektu Apollo 8, a založili poradenskou společnost pod názvem M&S Computing. Nejprve tato firma pracovala na projektech pro americkou armádu a NASA (National Aeronautics and Space Administration - Národní úřad pro letectví a kosmonautiku). Ale v roce 1973 přišla první komerční zakázka - mapování města Nashville. V zaměření na mapování a inženýrství dále firma pokračovala a dodávala v oblasti inteligentní grafiky komplexní řešení na klíč, která zahrnovala i vlastní hardwarovou podporu na terminálových počítačích, které byly připojeny k hostitelským počítačům. A v této době byla vyvinuta první řešení interaktivního CAD produktu - IGDS (Interactive Graphics Design Software). Nejstarší M&S Computing terminál byl navržen k vytváření a zobrazování grafických informací. Skládal se z dílů od různých výrobců a obsahoval jednu obrazovku, klávesnici a menu tablet, který umožňoval vybírat z kreslících příkazů.

4.2 První úspěchy Intergraphu

První komerční prodej M&S systému byl uskutečněn s metropolitní vládou v Nashville / Davidson Country v Tennessee (USA). Béžel na něm grafický systém od Intergraphu IGDS a byl použit pro mapovací aplikace. Mikroprocesor LSI-11/2 od Digital Equipment Corporation umožnil vytvoření první lokální sítě (Local Area Network - LAN) v celé CAD historii.

V 80. letech 20. století prošla M&S Computing bouřlivým vývojem. Intergraph se stal největším světovým prodejcem počítačových grafických systémů. V roce 1980 Intergraph uvolnila první počítačový grafický terminál pro využití rastrové technologie s obrazovkou zobrazující 1280×1024 pixelů, jenž se jako standard vyskytuje až do dnešní doby. Ve stejném roce si M&S Computing změnila svůj název na Intergraph.

4.3 Milníky v historii Intergraphu od 80. let do současnosti

Mezi milníky v dalším období patří především:

- 1984 - provoz InterPro 32 - první 32bitové samostatné pracoviště s 2MB paměti, 26MB pevným diskem a 1,6MB disketou,
- 1985 - pomoc na rekonstrukci Sochy svobody - pomocí Intergraph 3D grafického systému,
- 1987 - IGDS vytvořil základ pro MicroStation formát souborů - založený na PC-CAD produktu ve vlastnictví Bentley Systems, v němž se v roce 1987 stal Intergraph spolužátkem,
- 1988 - Intergraph uvedl první 27palcovou 2megapixelovou obrazovku,
- 1991 - dokončení geografického systému Intergraphu v Kuvajtu krátce před invazí (v poválečné obnově byly tyto informace neocenitelnou pomocí),
- 1992 - velký podíl na stavbě letiště v Hongkongu, jež byla označena v tomto roce jako největší stavební projekt na světě (Intergraph dodal hardware, software a konzultační služby pro velkou část tohoto obrovského projektu, který zahrnoval srovnání ostrova a projektování výstavby letiště terminálu, komunikací, železnic, mostů a tunelů),
- 1996 - první průmyslově vyráběnou grafickou stanici od Intergraphu si vybírají přední grafické ateliéry v Hollywoodu,
- 2000 - vzhledem ke sporům o duševní vlastnictví a patenty je Intergraph nucen odstoupit z trhu hardwarové konstrukce a výroby (soudní spory s Intel),

4.4 Shrnutí historie Intergraphu

Intergraph již od svého založení v roce 1969 pracoval na řešení jednoho z nejobtížnějších problémů – jak vypravit člověka na Měsíc. Vytvářel novou cestu, když pomáhal NASA a armádě Spojených států amerických při vývoji systémů, které by umožňovaly použití výpočetní techniky pro navádění raket v reálném čase. Intergraph se také stal špičkou ve vývoji nových počítačových grafických systémů, které umožňovaly inženýrům zobrazovat a pracovat s výkresy a souvisejícími alfanumerickými informacemi. Intergraph uvedl první verzi grafického software Interactive Graphics Design System (IGDS).

4.5 Intergraph GeoMedia Professional

Software GeoMedia je nasazen po celém světě jako komplexní nástroj pro geografické informační systémy do reálných projektů a reálných dílčích úkolů. GeoMedia Professional je aktuálně k dispozici ve verzi 6.1 v anglickém jazyce a verzi 6.0 v české lokalizaci. Pro tuto práci jsem byla použita poslední verze tohoto systému, tj. 6.1, opravená aktuálním hotfixem. Tento produkt je postaven na technologii Jupiter od Intergraph Corporation a je určen pro systémy Windows ® XP, Windows ® Vista nebo novější operační systémy. Tento produkt je velmi dobrý nástroj pro sběr GIS dat, spolupráci s podnikovou databází a práci od sběru dat až do hotové mapy pro distribuci a prezentaci.

Jako nástroj pro prohlížení a analýzu tento produkt umožňuje kombinovat do jednoho prostředí geografická data z různých zdrojů, v různých formátech a množství map s různými projekcemi. Pomocí tohoto software lze provádět složité atributové a prostorové dotazy z různých zdrojů a zobrazit je jako vysoce sofistikovanou mapu v jediném geoprostředí (GeoWorkspace). GeoMedia také poskytuje možnost tisku těchto map na jednom listu doplněném o hranice, poznámky na okraji, mimorámové údaje a uskutečnění dalších dokončovacích prácí.

Tento produkt ve svém vývojovém prostředí umožňuje pomocí standardních vývojových nástrojů pro Windows (Microsoft ® Visual Basic ® a Visual C++ ®) programování dalších funkcí.

4.5.1 Základní pojmy

- GeoWorkspace - geoprostředí, pracovní prostor - obsahuje připojení na data (Warehouse), nastavení souřadnicového systému pro zobrazování, vlastnosti mapového okna, jeho rozvržení a legendy, dotazy, obsah legendy a styly zobrazení jejího obsahu,
- Warehouse - datový sklad - místo, kde jsou data uložena (Access, ArcInfo, Framme, GML, Oracle, SQL server, MGE, WMS, ad.), připojením do pracovního prostoru se nám otevří možnost tato data využít (k dispozici u některých formátů je volba pouze pro čtení nebo také pro zápis),
- Feature class - třída prvků - přidáním vrstvy do legendy se tato zobrazí v mapovém okně, resp. pouze její geometrie, atributy zjistíme otevřením datového okna, příp. jednotlivě kliknutím na jednotlivý prvek třídy, rozeznáváme bodové, liniové, plošné, souhrnné a textové geometrické typy prvků,
- Map Window - mapové okno - zobrazuje prostorové prvky tříd prvků (feature class), umožňuje základní operace s oknem (posun, zoom, měřítko, celek, ad.), poklepáním na prvek vrstvy zjistíme atributy konkrétního prvku,
- Legend - legenda - ukazuje seznam tříd prvků, pořadí třídy v legendě určuje jeho viditelnost, vykreslování vrstev probíhá zespodu, a tak výše uvedené prvky překryjí níže uvedené (např. navrchu umístěné textové prvky vhodně doplní plošné objekty zespodu), změna pořadí zobrazování se snadno změní

přesunutím třídy myší, v legendě určujeme také styly zobrazení a najdeme zde také vytvořené dotazy,

- Data Window - datové okno - jedná se o atributovou tabulkou prvků dané třídy prvků, po označení prvku v mapovém okně se vyznačí řádek v této tabulce a naopak.

4.6 Intergraph GeoMedia Grid

4.6.1 Základní informace

GeoMedia Grid je rozšíření produktů GeoMedia a GeoMedia Professional. Poskytuje celou řadu gridových nástrojů začleněných do GeoMedia. S GeoMedia Grid mohou uživatelé prohlížet a manipulovat s gridovými vrstvami, provádět gridové analýzy, rasterizovat vektorové třídy, vektorizovat rastry a provádět další činnosti a to všechny v jednom geoprostředí GeoMedia.

Vlastní instalaci GeoMedia Grid lze zkонтrolovat tím, že v nabídce *Start* nalezneme skupinu GeoMedia Grid, kde se nachází odkazy na manuálové příručky k této nadstavbě. Ovládací rozhraní je však integrováno v GeoMedia Professional a všechny funkce uživatel nalezne v menu *Grid* v liště roletových menu programu.

Menu *Grid* umožňuje vybírat z široké škály funkcí. Seznámení s jednotlivými funkcemi GeoMedia Grid proběhne v dalších stranách této práce. Základní kategorie jsou Study area, Layer, Path, Zone, Surface, Calculator, Interpolation, Classification, Statistical Analysis, Vizualization, Utilities a Help.

4.6.2 Vysvětlení nástroje *Study Area*

Study Area označuje pracovní jednotku GeoMedia Grid. Study Area organizuje a řídí práci s gridovými vrstvami v geoprostředí. Ukládá údaje o souřadnicovém systému, určuje rozsah zájmového území a rozlišení gridu pro všechny v něm uložené vrstvy. Geoprostředí umožňuje založit více study area, ale aktivní může být v jeden okamžik jen jedna. Pro práci s gridovou vrstvou musí být study area, ve které je vrstva uložena, aktivní.

4.6.3 Pomoc pro začínajícího uživatele

Pro uživatele, kteří GeoMedia Grid používají poprvé, je připravena příručka nazvaná *Introductory Tutorial* (Úvodní výuka). Tento výukový materiál je k dispozici v nabídce start v programové skupině GeoMedia Grid a menu *Introduction* (*Start - Programy - GeoMedia Grid - Introduction - Introductory Tutorial*). Otevřením složky *Introduction* je možné si osvojit si základní postupy a funkce této nadstavby. Uživatel má možnost nejprve přečíst příručku a dále vyzkoušet všechny úkoly na vzorových datech. Na tento materiál navazují další příručky v menu GeoMedia Grid a také online pomoc na webových stránkách Intergraph Corporation.

Kapitola 5

Převod interferometrických dat

5.1 Popis zájmového území

Vyhodnocené radarové snímky z radarové interferometrie (InSAR) nesou informace o území intenzivní těžby hnědého uhlí. Severočeská hnědouhelná pánev zahrnuje území od Kadaně po Ústí nad Labem.

První oblast "Ervěnice" se nachází mezi městy Chomutov a Most, druhá "Košťany" poblíž Teplic v severních Čechách. Na snímcích byla vyhodnocena místa s největší průměrnou koherencí - nejčastěji umělé objekty (silnice, železnice, budovy).

Údaje v tabulce 5.1 ukazují souřadnice snímků, které byly vyhodnoceny také radarovou interferometrií. Jak již bylo uvedeno, Ing. Hlaváčová vyhodnocuje současně 24 snímků a testuje optimální postup vyhodnocení. V současné době se pracuje na vylepšení této metody vyhodnocení. Ze 24 snímků oblasti utvoří všechny možné dvojice a z nich vybere několik (např. 100) nejlepších z hlediska spolehlivosti, resp. průměrné koherence, a s těmito dvojicemi provede vyrovnání.

Orbit	satellite	date
23428	ERS-1	1996-01-07
3755	ERS-2	1996-01-08
24430	ERS-1	1996-03-17
4757	ERS-2	1996-03-18
25432	ERS-1	1996-05-26
5759	ERS-2	1996-05-27
25933	ERS-1	1996-06-30
9266	ERS-2	1997-01-27
9767	ERS-2	1997-03-03
10268	ERS-2	1997-04-07
11771	ERS-2	1997-07-21
12773	ERS-2	1997-09-29
14777	ERS-2	1998-02-16
15278	ERS-2	1998-03-23
15779	ERS-2	1998-04-27
16280	ERS-2	1998-06-01
17282	ERS-2	1998-08-10
40963	ERS-1	1999-05-16
23294	ERS-2	1999-10-04
23795	ERS-2	1999-11-08
43468	ERS-1	1999-11-07
26300	ERS-2	2000-05-01
28304	ERS-2	2000-09-18
29306	ERS-2	2000-11-27

Tabulka 5.1: Informace o datu pořízení a fázi o všech 24 vyhodnocených snímcích (převzato z [2])

5.2 Popis datových souborů

Soubory vyhodnocených radarových dat byly převzaty od Ing. Ivany Hlaváčové, která v rámci své disertační práce pracovala na novém způsobu vyhodnocení radarových dat metodou radarové interferometrie. Ten spočívá v současném vyhodnocení většího počtu snímků, tzv. stacku, jenž označuje x snímků daného území. Konkrétní počet, se kterým bylo v této práci pracováno, byl 24 snímků. Ty byly z oblasti ervenického koridoru a Košťan, tj. v oblastech intenzivní těžby hnědého uhlí. Obě území se nacházejí v severočeské hnědouhelné pánvi v severních Čechách.

Ing. Hlaváčová v této oblasti vyhodnocuje potenciálně nestabilní území s největší průměrnou koherencí. Omezení vyhodnocení pouze na místa s největší koherencí je nutné s ohledem k náročnosti interferenčních výpočtů.

Z vyhodnocení z radarové interferometrie byla získána binární data v jednotlivých souborech dle snímků. Jejich formát neumožňuje práci v textovém režimu. Pro ilustraci je na obrázku 5.1 otevřen jeden binární soubor v aplikaci Poznámkový blok

	north	west	south	east
SAR (az.) [pix]	17600	18200	18200	17600
SAR (range) [pix]	2150	2150	1900	1900
WGS-84 (φ) [$^{\circ}$]	50.529252	50.508405	50.498317	50.519163
WGS-84 (λ) [$^{\circ}$]	13.475404	13.467872	13.537865	13.545430
S-JTSK (Y) [m]	802487	803361	798617	797743
S-JTSK (X) [m]	984772	986985	988832	986619

Tabulka 5.2: Informace o georeferencování a rozměru snímků - Ervěnice (převzato z [2])

	north	west	south	east
SAR (az.) [pix]	12950	13540	13540	12950
SAR (range) [pix]	1370	1370	1270	1270
WGS-84 (φ) [$^{\circ}$]	50.658732	50.641373	50.637119	50.654477
WGS-84 (λ) [$^{\circ}$]	13.757805	13.751411	13.780595	13.787000
S-JTSK (Y) [m]	780593	781320	779346	778619
S-JTSK (X) [m]	973465	975310	976077	974232

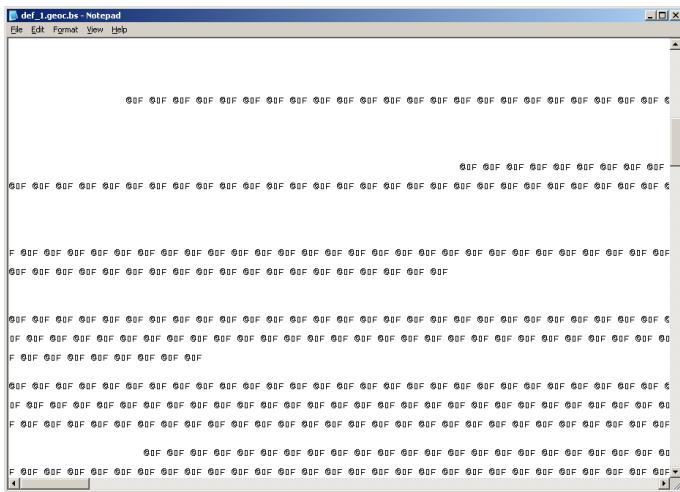
Tabulka 5.3: Informace o georeferencování a rozměru snímků - Košťany (převzato z [2])

v prostředí Microsoft Windows. Je na něm vidět, že převod přímý převod pomocí textového formátu opravdu možný není.

Výstupní soubor vyhodnocení je binární soubor typu float, tj. s pohyblivou řádovou čárkou. Na každou číslici připadají 4byty informace. Soubory byly pojmenovány vždy vzestupně podle snímku, ze kterého byly vyhodnoceny, a tak např. soubor *def_1.geoc.bs.upr* označuje první snímek z vyrovnání. Koncovky u souborů byly přidány pro odlišení stavu vyhodnocení souboru a nejsou pro převod do geografických informačních systémů podstatné. Ke každému souboru, resp. skupině souborů z jedné oblasti, byly zvlášť v textovém souboru dodány popisné údaje (souřadnice levého horního rohu, rozlišení pixelu ad.).

5.3 Příprava dat

Soubory z vyhodnocení metodou radarové interferometrie byly při zpracování autorem uloženy do složky na pevném disku počítače. Dále byly upraveny přípony souborů na jednu a to *.bin* pro úspěšné otevření v GeoMedia Grid. Pro práci s více datovými soubory je výhodné tento krok provést najednou v příkazovém rádku *cmd* Microsoft Windows. Spuštění tohoto nástroje je nejrychlejší současným stisknutím klávesy Windows a písmena *R*, kterým vyvoláme dialog rychlého spuštění *Spustit* (nebo *Run* podle jazykové verze systému), příp. myší stiskneme *Start* a *Spustit*, a napíšeme *cmd*. Využitím příkazu *ren* v cestě ke konkrétním datům jedním příkazem lze přejmenovat libovolné množství datových souborů. Příklad ilustruje obrázek 5.2, kde je jako vzorek použito 5 souborů.



Obrázek 5.1: Zobrazení binárního souboru vyhodnocených dat v Poznámkovém bloku v operačním systému Microsoft Windows

5.4 Práce v geoprostředí GeoMedia

5.4.1 Založení geoprostředí

Po spuštění systému GeoMedia Professional je nutné založit nové geoprostředí, tj. volba *Create new GeoWorkspace using* a vybrat *GeoWorkspace template*. Šablona *normal.gwt* je v pracovním adresáři GeoMedia Professional (C:\ Program Files\ GeoMedia Professional\ Templates\ GeoWorkspaces) a program ji v této cestě defaultně otevře.

Tato volba zajistí nastavení standardních hodnot prostředí pro další práci (prázdné mapové okno, prázdná legenda a předdefinovaný souřadnicový systém). Nyní je dobré vytvořené geoprostředí uložit do složky, ve které se bude pracovat. Tento krok je intuitivní a společný pro práci v mnoha systémech na platformě Windows, ale pro uživatele jiných operačních systémů nemusí rozhodně být jednoduchý. Provede se pomocí menu *File* a dále *SaveGeoWorkspace*.

5.4.2 Souřadnicové systémy a jejich nastavení

Pro aktuální geoprostředí se nastaví, resp. zkонтroluje, souřadnicový systém v menu *View* a pod *GeoWorkspace Coordinate System*. Dialog pro nastavení souřadnicového systému umožňuje nastavení typu souřadnicového systému (geografický, projekční, geocentrický), jednotek, konkrétního elipsoidu (také nastavení parametrů zobrazovací plochy) nebo nastavení jednotek a jejich formátu. Důležitou volbou je *Load* v levé dolní části dialogového okna. Zde je možné předdefinovaný souřadnicový systém načíst ze souboru formátu *csf* (Coordinate System File). Pro načtení interferometrických dat v této práci je použit souřadnicový systém WGS 84, který byl nastaven ručně v menu dialogového okna *GeoWorkspace Coordinate System* nebo ho lze vybrat z defaultní cesty C:\ Program Files \ GeoMedia Professional \ Program

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\tvobecky>cd c:\projekty\insar
C:\Projekty\insar>dir
Volume in drive C is TU1
Volume Serial Number is 40F8-CF2F

Directory of C:\Projekty\insar

09/05/2008 11:13    <DIR>          .
09/05/2008 11:13    <DIR>          ..
12/03/2008 11:30      397,760 def_1.geoc.bs.upr
12/03/2008 11:30      397,760 def_2.geoc.bs.upr
12/03/2008 11:30      397,760 def_3.geoc.bs.upr
12/03/2008 11:30      397,760 def_4.geoc.bs.upr
12/03/2008 11:30      397,760 def_5.geoc.bs.upr
               5 File(s)   1,988,800 bytes
               2 Dir(s)  6,471,241,728 bytes free

C:\Projekty\insar>help ren
Renames a file or files.

RENAME [drive:]|[path]filename1 filename2.
REN [drive:]|[path]filename1 filename2.

Note that you cannot specify a new drive or path for your destination file.

C:\Projekty\insar>ren *.upr *.bin
C:\Projekty\insar>dir
Volume in drive C is TU1
Volume Serial Number is 40F8-CF2F

Directory of C:\Projekty\insar

09/05/2008 11:15    <DIR>          .
09/05/2008 11:15    <DIR>          ..
12/03/2008 11:30      397,760 def_1.geoc.bs.bin
12/03/2008 11:30      397,760 def_2.geoc.bs.bin
12/03/2008 11:30      397,760 def_3.geoc.bs.bin
12/03/2008 11:30      397,760 def_4.geoc.bs.bin
12/03/2008 11:30      397,760 def_5.geoc.bs.bin
               5 File(s)   1,988,800 bytes
               2 Dir(s)  6,471,229,440 bytes free

C:\Projekty\insar>_

```

Obrázek 5.2: Hromadné přejmenování v cmd v Microsoft Windows

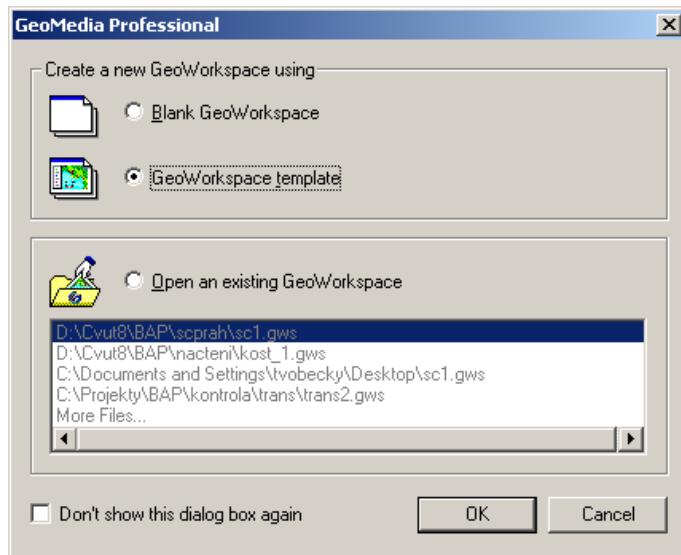
\ EPSG, kde program při instalaci ukládá základní světové souřadnicové systémy. Pro další práci je výhodné nakonfigurovat souřadnicový systém, který byl použit v interferometrických datech. V daném případě se jedná o systém WGS 84, a tak bude vhodné si jej uložit jako csf.

5.4.3 Záložení databáze

Jako pracovní soubor pro práci programu s gridovými daty se založí prázdná databáze. V menu *Warehouse* se zvolí první položka *New Warehouse*. Dále se vybere šablona *normal.gwt*, která, analogicky s šablonou pro geoprostředí, zajistí standardní nastavení databázového souboru (soubor se nachází v C:\ Program Files \ GeoMedia Professional \ Templates \ Warehouses, kde se GeoMedia opět defaultně otevře) a do svého pracovního adresáře uložíme pod libovolným jménem souboru. GeoMedia automaticky toto připojení otevřou a je možné jej zkontolovat v menu *Warehouse* a *Connection*. Databáze se vytvořila ve formátu Microsoft Access s příponou *.mdb*.

5.4.4 Vlastní načtení binárních dat

Z nabídky GeoMedia Grid (roletové menu *Grid*) se spustí funkce *Import file(s)* (menu Grid - Study Area - Import file(s)). Otevře se rozhraní, kde máme na výběr



Obrázek 5.3: Založení nového geoprostředí

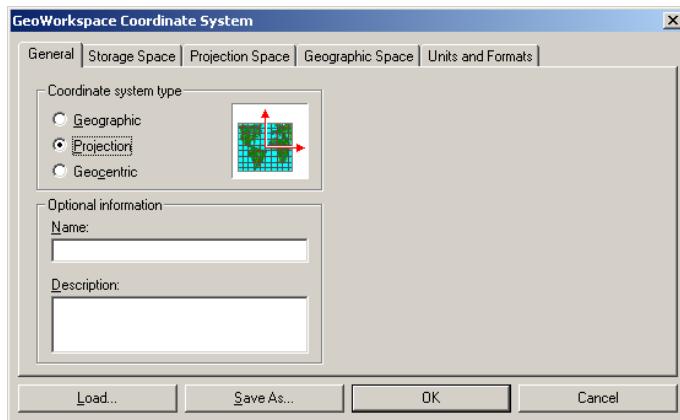
Označení systému	Kód epsg	Název souboru
S-JTSK Krovak East North	102067	EPSG102067.csf
WGS 84 (UTM zone 33N)	28403	EPSG28403.csf
WGS 84 (UTM zone 34N)	28403	EPSG28403.csf
S-42 (Gauss-Krüger zone 3)	28403	EPSG28403.csf
S-42 (Gauss-Krüger zone 4)	28404	EPSG28404.csf
Pulkovo 1942 (Gauss-Kruger CM 15E)	2493	EPSG2493.csf
Pulkovo 1942 (Gauss-Kruger CM 21E)	2494	EPSG2494.csf
WGS 84 geographic	4326	EPSG4326.csf

Tabulka 5.4: Nejpoužívanější kódy souřadnicových systémů pro Českou republiku

import jednoho nebo více souborů. Výběr více souborů je možný pouze pro některé formáty.

Jednotlivě lze načítat mnohem více druhů souborů. Patří mezi ně výměnné soubory z ArcGrid od ESRI nebo textové soubory se souřadnicemi oddělenými tabulátorem. Pro načtení interferometrických dat byl využit formát *Raw Binary*, který umožňuje převést právě binární interferometrická data s plovoucí desetinnou čárkou (float).

Po volbě zdrojového souboru a souřadnicového systému se pokračuje stisknutím *Next*. Nyní je potřeba vyplnit údaje o konkrétním vyhodnoceném snímku radarových dat. Jako příklad je uveden *def_1.geoc.bs.upr*, který byl přejmenován na *def_1.geoc.bs.bin*. Koncovky *geoc* a *bs* nejsou pro načtení souboru důležité a nyní v systému Windows již jsou jen součástí názvu souboru. Jejich zrušení, resp. přejmenování souboru, je triviální záležitostí. Tato úprava je krokem navíc, který není pro správný převod potřebný, a tak nebyl proveden. Tabulku je třeba vyplnit hodnotami, které byly získány od osoby, která radarová data vyhodnocovala. Pro data bez vyněchaných pixelů v binárním souboru se jedná o tyto údaje:



Obrázek 5.4: Dialogové okno pro nastavení parametrů souřadnicového systému

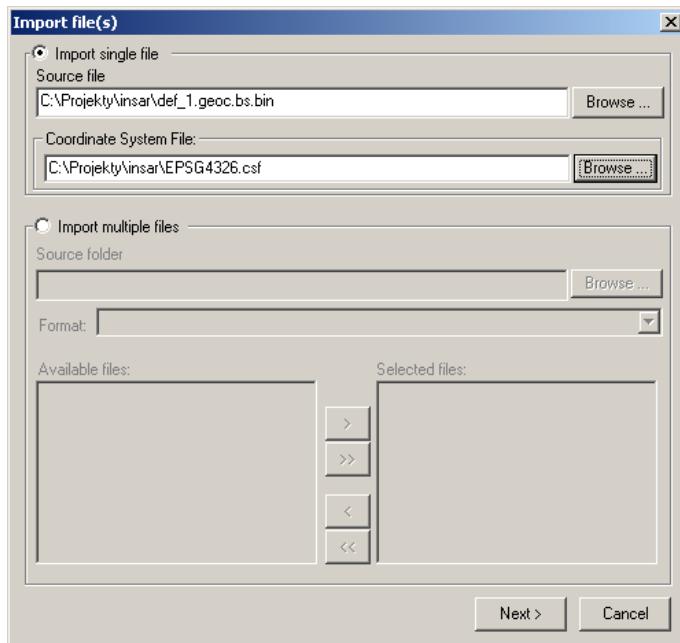
Označení souboru	Přípona souboru
USGS DEM	*.dem
USGS SDTS	*.ddf
DTED	*.dt0, *.dt1, *.dt2
GeoMedia Grid	*.mfm
GeoTIFF	*.tif
TIFF with world file	*.tif + *.tfw
Intergraph GRD	*.grd

Tabulka 5.5: Typy souborů, které lze načítat do GeoMedia Grid hromadně

- rozměry souboru - počet řádků a sloupců (rows, columns),
- souřadnice definičního bodu (na výběr je 9 možností, v gridu 3×3 přes celou vrstvu),
- velikost pixelu,
- *volitelně - hodnotu, která označuje nevyhodnocená data (no data value).*

Po vyplnění rozměrů datového souboru je potřeba určit kolik bytů je v binárním souboru vyčleněno na 1 pixel. K dispozici je 1, 2 nebo 4byte formát s fixní desetinnou čárkou nebo 4byte plovoucí soubor (float). Pro naše účely se využije právě poslední ze jmenovaných. V dalším políčku se zvolí, jaké je v binárním souboru bytové řazení (Windows/Intel nebo Macintosh/Motorola). Počet desetinných míst (decimals) pro tento typ souboru není potřeba vyplňovat. Tato volba ale není k dipozici, a tak můžeme vybrat libovolnou hodnotu, protože program ji při výpočtech nevyužije.

Nyní následuje vyplnění velikosti hlavičky souboru, tj. počet bytů, které se na začátku souboru vynechávají. Když v binárním souboru jsou vynechané pixely, tj. pixely, o nichž není v souboru žádná informace, je nutné v následující tabulce také vyplnit další hodnoty odlišně od následujícího vzoru. Jedná se o políčka *Line skip* (Band Interleaved files - BIL). Při vyplnění program vynechá daný počet řádků, které uživatel



Obrázek 5.5: Základní tabulka pro zadání parametrů pro import binárních dat

Označení souboru	Přípona souboru
ArcGrid Binary (interchange)	*.flt
ArcGrid ASCII (interchange)	*.asc
ASCII tab-delimited text	*.txt
GeoMedia Terrain ASCII	*.asc
USGS NED Binary	*.bil
Raw Binary	*.bin
XYZ text	*.xyz

Tabulka 5.6: Typy souborů, které lze načítat do GeoMedia Grid jednotlivě

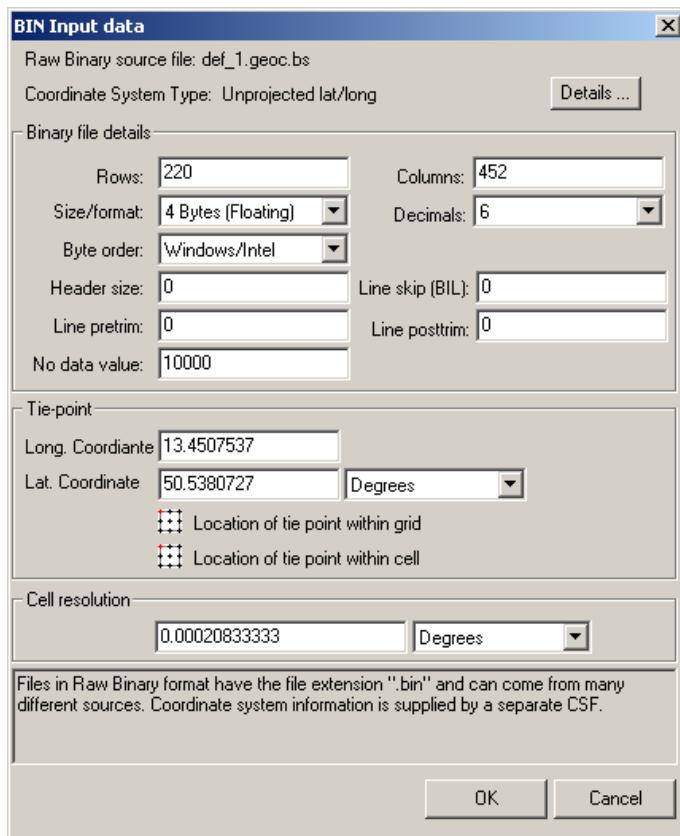
stanoví. Dále *Line pretrim* a *Line posttrim* udává počet bytů bez dat na začátku, resp. konci řádky. Poslední *No data value* umožňuje zadat hodnotu v binárním souboru, která označuje pixely, ke kterým není v souboru informace o posunu.

Po úspěšném vyplnění tabulky pro import se nabízí možnost pro zařazení do *Study Area*. Pro současné porovnání načtených dat je nezbytné, aby byla všechna tato data v jedné *Study Area*. Pro jednodušší práci je výhodné standardně nastavený název *Study Area 1* modifikovat na vlastní název, který nám rychle asociouje příslušnost k oblasti. Dále je také výhodné přejmenovat vrstvu na datum pořízení snímku místo standardního názvu vytvořeného dle názvu načteného souboru.

Následující krok zahrnuje kontrolu načteného souboru. Zde je vidět rekapitulace údajů, které byly zadány ručně, ale také údaje, které GeoMedia dopočetla. Do druhé skupiny patří souřadnice rohů, které nebyly zadány ručně, nebo rozlišení pixelu přepočtené ze stupňů ve WGS 84 do délkových jednotek.

Rozměry souboru	Souřadnice definičního bodu (LH roh)	Velikost pixelu
220x452 (rows/columns)	50.5380727°lat, 13.4507537°lon	$2.0833333 \cdot 10^{-4}^{\circ}$

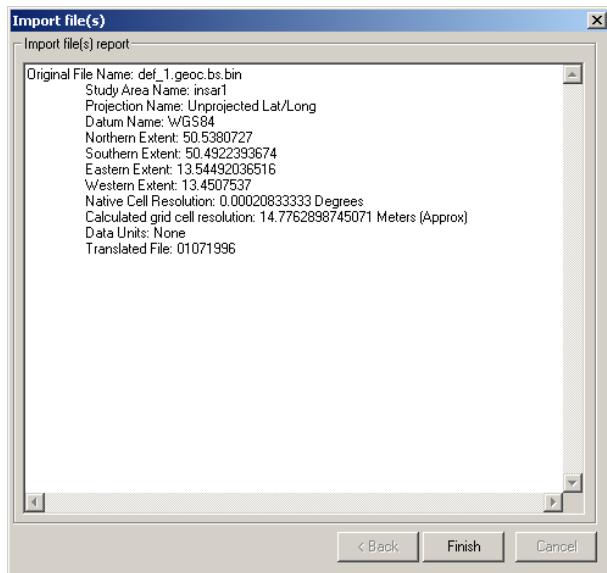
Tabulka 5.7: Podrobnosti o datech *def_1* z ervenické oblasti



Obrázek 5.6: Tabulka pro import binárních dat vyplněná pro ervenický koridor

5.4.5 Zobrazení načtené vrstvy dat

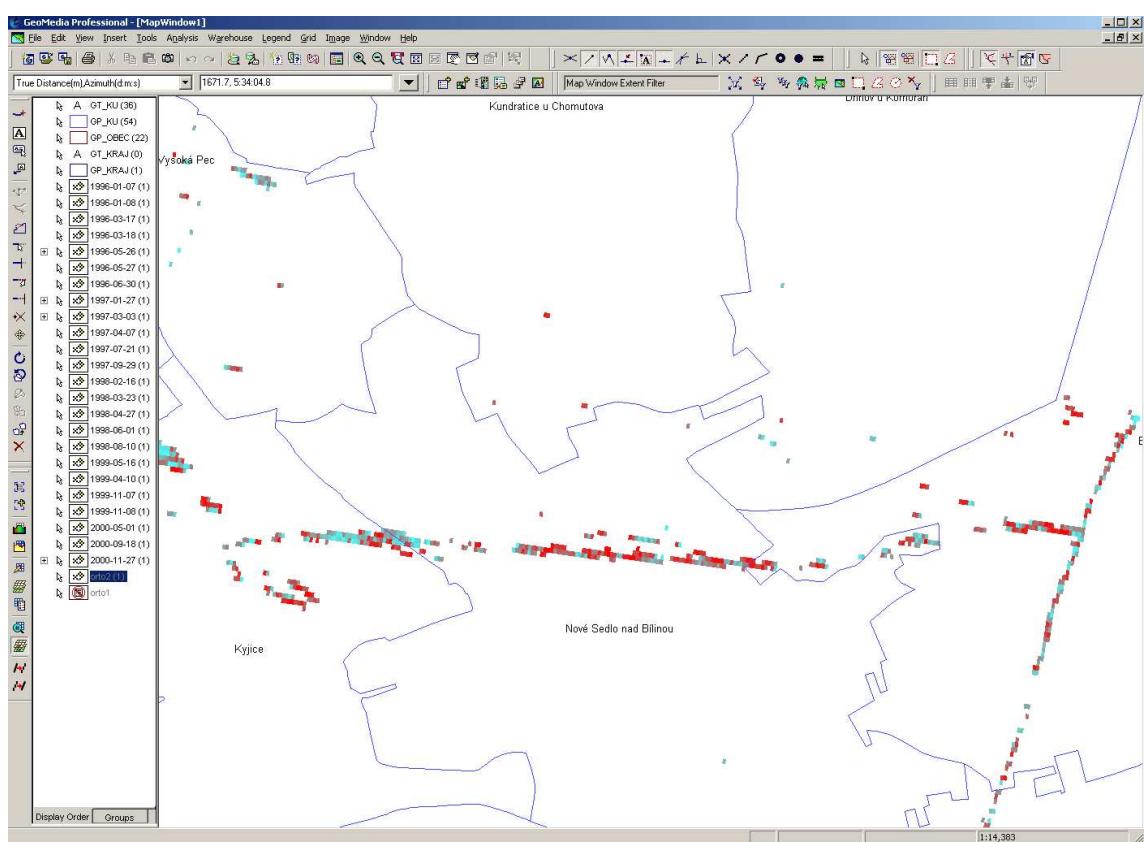
Jako poslední krok převodu interferometrických dat zbývá tato data zobrazit do prostředí GeoMedia. Tento krok realizujeme jednoduše v menu *Grid* a dále *Layer* a *Display In Map Window*. Pro rychlejší práci je možné využít nástrojový panel GeoMedia Grid, který zobrazíme v menu *View* a *Toolbars*.



Obrázek 5.7: Kontrola načtení dat do gridové vrstvy

5.4.6 Ukázka načtených radarových výsledků

Na obrázku 5.8 byla pro ukázkou zobrazena data, jenž byla pro oblast Ervěnice získána. Na obrázku je vidět v červeno-azurovém tónu převedená informace z radarové interferometrie. V tomto snímku jsou vyhodnocena místa s největší průměrnou koherencí, konkrétně železniční trať. Vpravo je vidět téměř souvislá čára vyhodnocených hodnot, jedná se o kraj snímku, který se nepovedlo při vyhodnocení radarovou interferometrií odfiltrovat. Hodnoty na těchto pixelech nejsou správné a nepopisují deformace zemského povrchu v těchto místech. Vektorové čáry jsou hranice správních jednotek, které jsou připojeny jako další vektorová vrstva a postup vytvoření tohoto připojení je popsán v následující kapitole.



Obrázek 5.8: Všechny vrstvy z oblasti Ervěnic načtené v GeoMedia

Kapitola 6

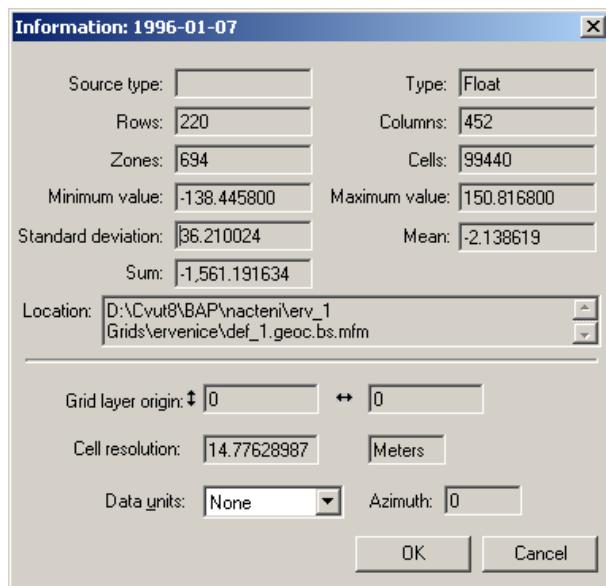
Vyhodnocení načtených dat v GIS

6.1 Nástroje pro manipulaci s daty v gridové vrstvě

6.1.1 Menu Layer

Informace a nastavení jednotek

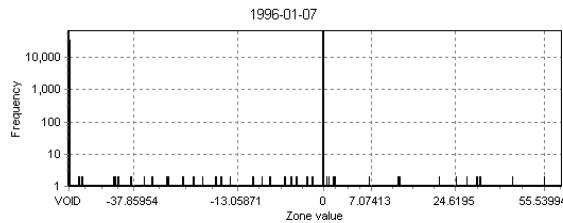
Nástrojem *Information* lze získat statistiku o daném souboru dat. Statistika zahrnuje souhrn údajů od rozptylu hodnot gridu, počtu pixelů, součet všech hodnot atd. Jedinou věcí, kterou zde lze nastavit, jsou jednotky pro zobrazení dat. Na výběr jsou metrické i anglosaské jednotky.



Obrázek 6.1: Dialogové okno pro kontrolu a nastavení jednotek

Histogram a výstup hodnot

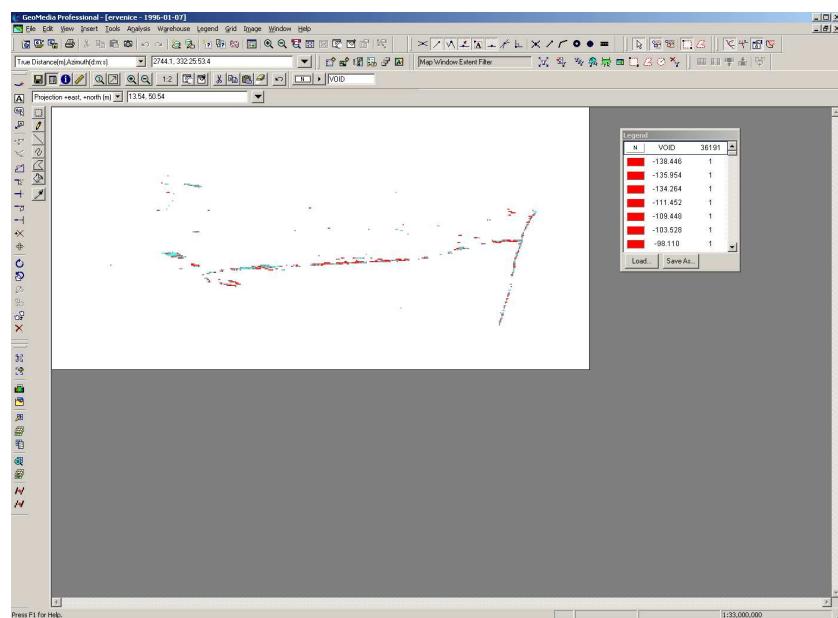
V menu je také nástroj *Histogram*, který dovoluje vytvořit výstupy pro jednotlivé pixely gridové vrstvy. Tento nástroj umožňuje výstup hodnot a grafu dané vrstvy. Jedna funkce exportuje data vrstvy ve 2 sloupcích - hodnota pixelu a počet výskytů. Další funkce tyto hodnoty zobrazí do grafu.



Obrázek 6.2: Histogram hodnot gridové vrstvy

Edit layer

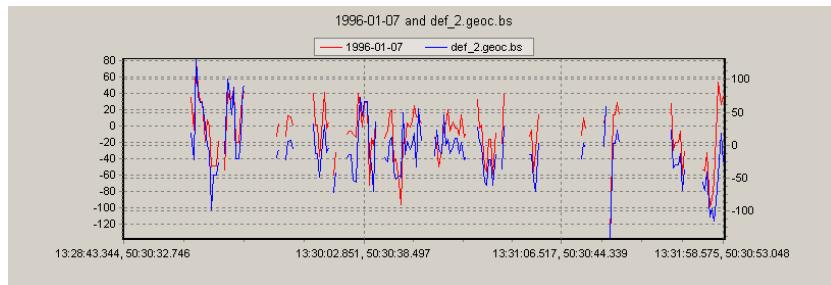
Pro načtenou gridovou vrstvu je k dispozici funkce *Edit*, která umožňuje mj. jednotnou vizualizaci zobrazených dat. V editačním okně po označení hodnot vrstvy můžeme po stisku pravého tlačítka myši zvolit barevné tónování všech hodnot pixelů. Pro tyto účely je vhodné uložit výsledné tónování do xml souboru a při úpravě další vrstvy jej načíst, a zajistit tak jednotný styl zobrazení pro všechny potřebné gridové vrstvy. Dále toto prostředí poskytuje nástroje k měření vzdáleností, změně (opravě) základních údajů, kreslení, dotazování na gridovou vrstvu.



Obrázek 6.3: Editace gridové vrstvy

Layer Profile

Tato funkce umožňuje výpočet převýšení uživatelem definovaného úseku. Profil je tvořen hodnotami segmentů, přes které úsečky procházejí. V mapovém okně je třeba umístit kurzor na požadovaný výchozí bod a kliknout levým tlačítkem myši. Dále pohybem kurzoru a kliknutím levým tlačítkem myši zadáme požadovanou trasu profilu. Pravým tlačítkem myši lze průběžně odstranit poslední koncový bod. Dvojité kliknutí levým tlačítkem myši ukončí funkci a vyvolá dialog s výsledky. Pro zrušení procesu může uživatel stisknout klávesu Escape.



Obrázek 6.4: Profil gridové vrstvy

Cell Magnifier

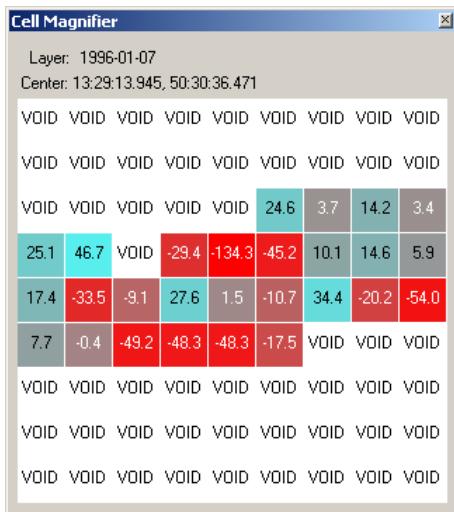
Nástroj *Cell Magnifier* poskytuje okamžité informace o pixelech v zobrazené gridové vrstvě v mapovém okně. GeoMedia zobrazí matici hodnot pixelů se středem na místě kliknutí a doplní je souřadnicemi v nastaveném souřadnicovém systému (řádek a sloupec v gridové vrstvě). Rozměr matice bodů je volitelný od 3x3 do 11x11 po lichých číslech a jeho volba je přístupná kliknutím pravým tlačítkem myši na tomto dialogovém okně.

Layer Drill-Down

Tento nástroj můžeme s výhodou použít při zobrazení více gridových vrstev v mapovém okně GeoMedia. Zobrazuje tabulku informací o všech vrstvách otevřených v místě kliknutí. Pořadí vrstev určuje pořadí vrstev v legendě. Opět je vidět v horní části dialogového okna souřadnice bodu kliknutí. Jeden ze sloupců tabulky také ukazuje souřadnice v řádcích a sloupcích gridové vrstvy. Souřadnice začínají na [0,0] v levém horním rohu a postupují vzestupně zleva doprava a shora dolů.

View Legend

Zde se nachází funkce pro zobrazení legendy libovolné gridové vrstvy z aktivní *StudyArea*. Standardní editační nástroje mohou být použity pro skupinu nebo jednotlivé vrstvy a umožňují přiřadit nové barvy, použít barevné sekvence nebo změnit hodnoty danému výběru.



Obrázek 6.5: Odečtení hodnot pixelů pro danou matici bodů

Export to file

Tato funkce umožňuje načtená data exportovat do několika výměnných formátů. Výčet těchto formátů ukazuje tabulka 6.1. Nyní můžeme využít mj. export do textového souboru se souřadnicemi v pořadí XYZ. Jedná se totiž o formát, se kterým se dá pracovat v naprosté většině výpočetních, zobrazovacích aj. programů, a také formát TIF, který doplněný o TFW souřadnicové připojení umožňuje práci v mnoha dalších prostředích.

Označení souboru
Raw Binary Format
Windows Bitmap Format
GeoMedia Terrain ASCII Format
Tagged Image File Format
Tab-Delimited Grid Text Format
XYZ Point File Format
Graphic Interchange Format
MFworks

Tabulka 6.1: Typy souborů, do kterých lze gridové vrstvy exportovat

Vectorize to feature class

Tato funkce převádí grid (rastr) do vektorové vrstvy. Vytvořeným vektorovým třídám jsou uloženy informace jako aktuální *Study Area*. Vektorizované vrstvy mohou být prohlíženy a editovány v GeoMedia, exportovány do dalších formátů, přidány ke stávající databázi nebo využity k dotazování. K dispozici jsou 3 metody vektorizace:

	Value	Layer Name	Study Area	Res.	Row, Col
1	-69.8	19960107	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
2	-118.8	19960108	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
3	-61.5	19960317	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
4	-61.8	19960318	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
5	VOID	19960526	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
6	-60.5	19960527	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
7	3.6	19960630	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
8	VOID	19970127	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
9	0.0	19970303	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
10	2.0	19970407	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
11	-12.6	19970721	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
12	-0.7	19970929	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
13	6.5	19980216	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
14	-15.7	19980323	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
15	-15.8	19980427	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
16	-11.4	19980601	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
17	-17.7	19980810	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
18	28.0	19990516	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
19	32.5	19990410	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
20	34.1	19991107	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
21	33.3	19991108	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
22	89.6	20000501	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
23	25.4	20000918	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281
24	VOID	20001127	ervenice	14.7762898745071 m	128, 281

Obrázek 6.6: Hromadné odečtení hodnot gridových vrstev

1. bodová - každý non-void grid produkuje jeden bod s informací ze zdrojového gridu,
2. liniová - buňky se stejnou hodnotou jsou považovány za součást lineární funkce, každá linie má přiřazeno unikátní identifikační číslo,
3. prostorová - každému regionu je přiřazena hodnota, další podrobnosti obširně popisuje manuálová příručka k GeoMedia Grid (viz [8]),

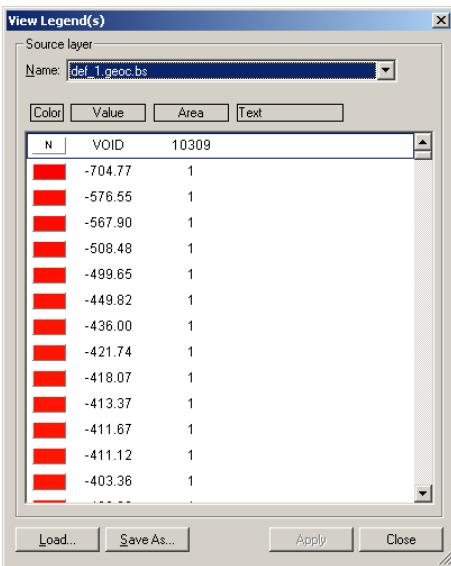
6.1.2 Grid Calculator

Nástroj *Calculator* (*Grid - Calculator*) umožňuje širokou škálu výpočtů se všemi vrstvami a je zde pro případné využití s jinými daty z radarové interferometrie. Umožňuje vytvořit novou gridovou vrstvu násobením a jinými operacemi ze stávajících rastrových vrstev. Pokud bychom do datové tabulky k načteným interferometrickým datům přidali ještě další informace nabudou tyto výpočty větších možností.

6.2 Připojení dalších dat pro analýzu území

6.2.1 Zobrazení mapových sad pomocí služby WMS

Obrázek 6.8 ukazuje, jak je možné zobrazit všechna data načtená z oblasti Evěnice společně s ortofotomapou z České informační agentury životního prostředí (CE-



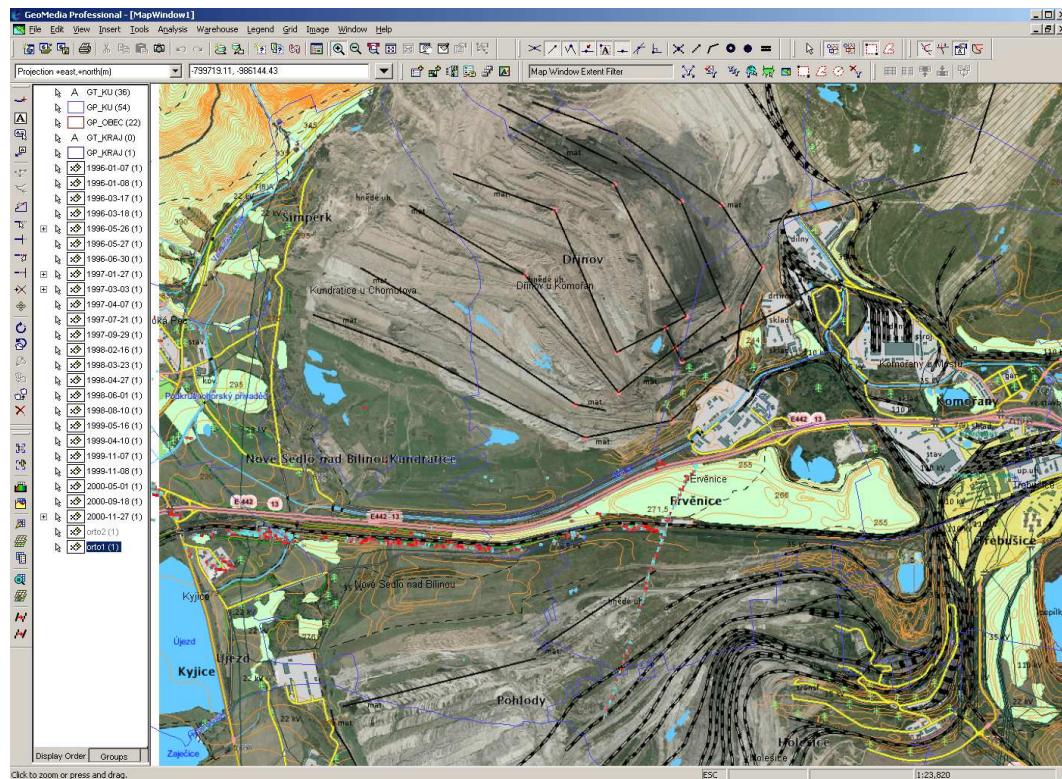
Obrázek 6.7: Zobrazení legendy gridových vrstev

NIA) při Ministerstvu životního prostředí. Tato agentura poskytuje dle standardu Web Map Service (WMS) na internetu množství mapových podkladů. Připojení do systému GeoMedia je možné realizovat jednoduše jako další (rastrovou) vrstvu. Připojení proběhne v menu *Warehouse*, *New Connection* a dále *WMS*. Zde je potřeba zadat název připojení a adresu služby. Adresa služby se zjistí v nápovědě k dané službě na webu poskytovatele nebo přes funkci *GetCapabilities*. Název připojení není parametrem, který bychom museli povinně měnit, ale jeho změna ze standardního *WMS Connection 1* na název, jež dané připojení popisuje, usnadní orientaci v geoprostředí. Další možností je využít libovolný wms prohlížeč (např. Janitor vyvýjený přímo v CENIA) a potřebný mapový výrez zobrazit jako georeferencovaný rastr, který se do GeoMedií zobrazí v menu *Insert a Georeferenced Image*.

6.2.2 Zobrazení vektorových dat ve formátech CAD

Prostředí GeoMedia umožňuje také práci s výkresy v CAD formátu. Rychle a jednoduše zobrazí výkresy MicroStation V7 a MicroStation V8 nebo AutoCAD (*.dgn, *.dwg, *.dxf). Funkce *Display CAD Files* zobrazí všechny vrstvy CAD souboru, nebo pouze vybrané.

V menu *Tools* a *Display CAD Files* nacházíme dialogové okno této funkce. Na 2 záložkách (General a Advanced) se nastaví cesta do složky se soubory, typ souboru, souřadnicový systém a také pokročilejší údaje, mezi které patří volba vrstev, volba, zda zobrazit všechny vrstvy do jedné položky v legendě, nebo jednotlivě, nebo název připojení. Po úspěšném importu souboru se zobrazí jako vrstva v legendě GeoMedia podobně jako gridové a další vrstvy. Pro naše účely je nezbytné, aby CAD soubor byl uložen ve 2D prostoru, a je dobré pojmenovat CAD připojení tak, aby bylo snadno rozlišitelné od ostatních připojení.

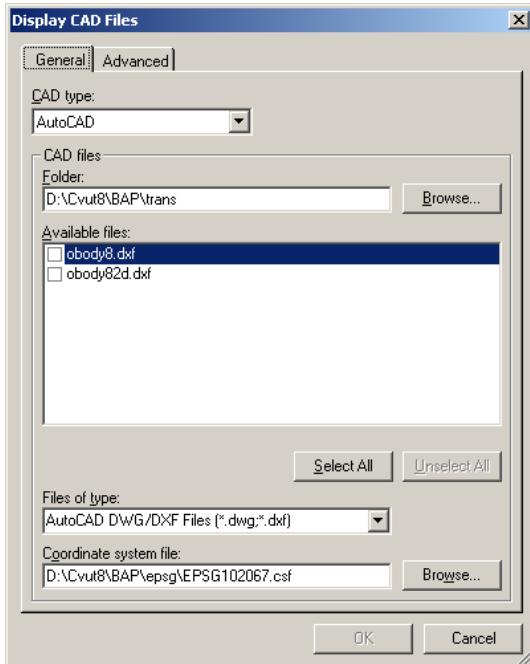


Obrázek 6.8: Všechny vrstvy z oblasti Ervěnic načtené v GeoMedia se zobrazenou ortofotomapou a DMÚ25 z CENIA

6.3 Transformace georeferencování z výhodnocení InSAR

Postup transformace rastrů je v GeoMedia Professional jednoduchý, ale může být nevýhodou, že poskytuje jen jeden druh transformace. Transformovat jednoduše v GeoMedia lze pouze afinní transformací. Myslím, že pro účely této práce a analýzy území, resp. části území radarového snímku (železnice), plně postačuje. Široké možnosti poskytuje nadstavba GeoMedia Image, která nabízí při zachování stejné jednoduchosti ovládání také projektivní, Helmertovu a polynomickou transformaci na více bodů (6, 10, 15).

Postup transformace začíná označením rastru kurzorem myši. Rastr musí být vybrán nástrojem *Select Tool* z nástrojové lišty *Selection* a nestačí jeho výběr v legendě. Nyní se pomocí funkce *Image Registration* z menu *Tools* může začít transformovat. Zadá se *New* a *Add Points* a nyní identické body. Dodržuje se takové pořadí, že první se zadává bod na rastru a poté bod na vektoru. Samotná transformace se po zadání všech identických bodů spustí tlačítkem *Register*. Obrázek 6.9 ukazuje stav před transformací rastru a následující obrázek 6.10 již trasformovaný rastr na 3 identické body. Na obrázku po transformaci je vidět vyhodnocená plocha železniční tratě (červeně) již transformovanou (posunutou) na vektorový podklad. Vektorová data pochází z měření z Mostecké uhelné společnosti, a. s., a souhlasí s mapovými podklady z CENIA, konkrétně databáze DMÚ25.



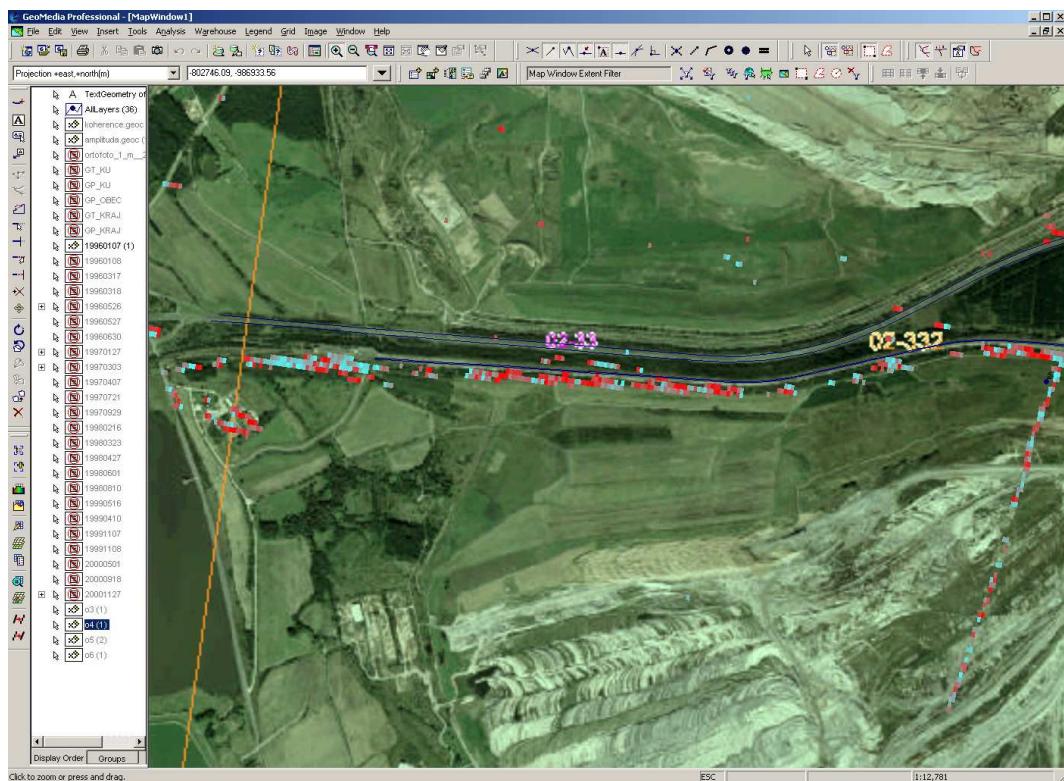
Obrázek 6.9: Dialogové okno zobrazení CAD souborů

Více rastrů lze jednoduše transformovat stejným transformačním klíčem. Transformace se provede vybráním rastru funkcí *Select tool* a po spuštění funkce se označí uložený transformační klíč a stiskne *Register*.

Před transformací byla změřena chyba v georeferencování z vyhodnocení radarovou interferometrií přibližně 100 metrů. Afinní transformace pro tato data ze zkušenosti postačuje. Pro vyhodnocenou oblast železniční tratě lze afinní transformací dosáhnout ztotožnění vektoru a rastru z binárních dat spolehlivě.

6.4 Zobrazení koherence a amplitudy k převedeným datům

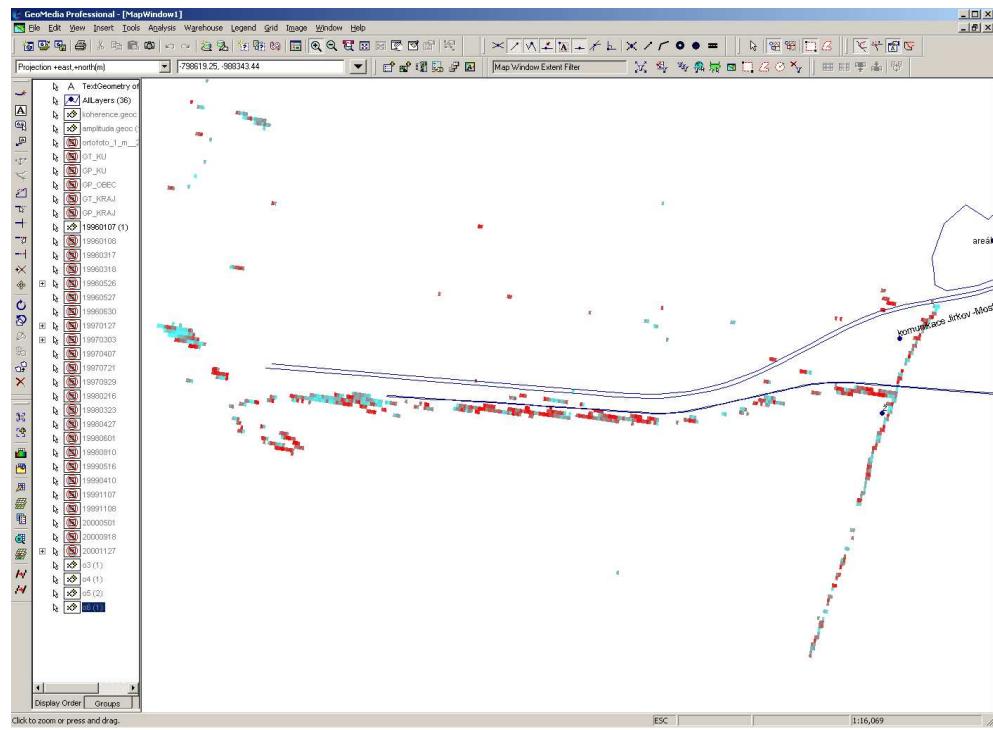
Data s uloženými hodnotami průměrné koherence byla načtena stejným způsobem jako ostatní datové soubory. Po zobrazení je vidět, že vyhodnocená oblast v ervěnickém koridoru je právě místem s největší průměrnou koherencí. S tím souvisí pojem interferogram, který je rozdílem fází dvou snímků. Vyhodnocení Ing. Hlaváčové na začátku probíhá tak, že ze 24 scén se vytvoří všechny kombinace interferogramů, tj. 552. Dále se počítá koherenční obraz, který udává spolehlivost fáze v daném místě. Jedná se o statistický ukazatel rozptylu fázového rozdílu v okolí daného pixelu. Z nich se vybere asi 100 s největší koherencí. A tak když je oblast na obou snímcích stejná, tzn. nepohnula se, vychází fáze interferogramu v celé této oblasti konstantní. Když došlo k pohybu celé této malé oblasti, je tato fáze také konstantní a zároveň různá od svého okolí.



Obrázek 6.10: Vektorová data z MUS, ortofotomapa z CENIA a interferometrická data v jednom mapovém okně

6.5 Analýza území pomocí nástrojů GeoMedia Grid

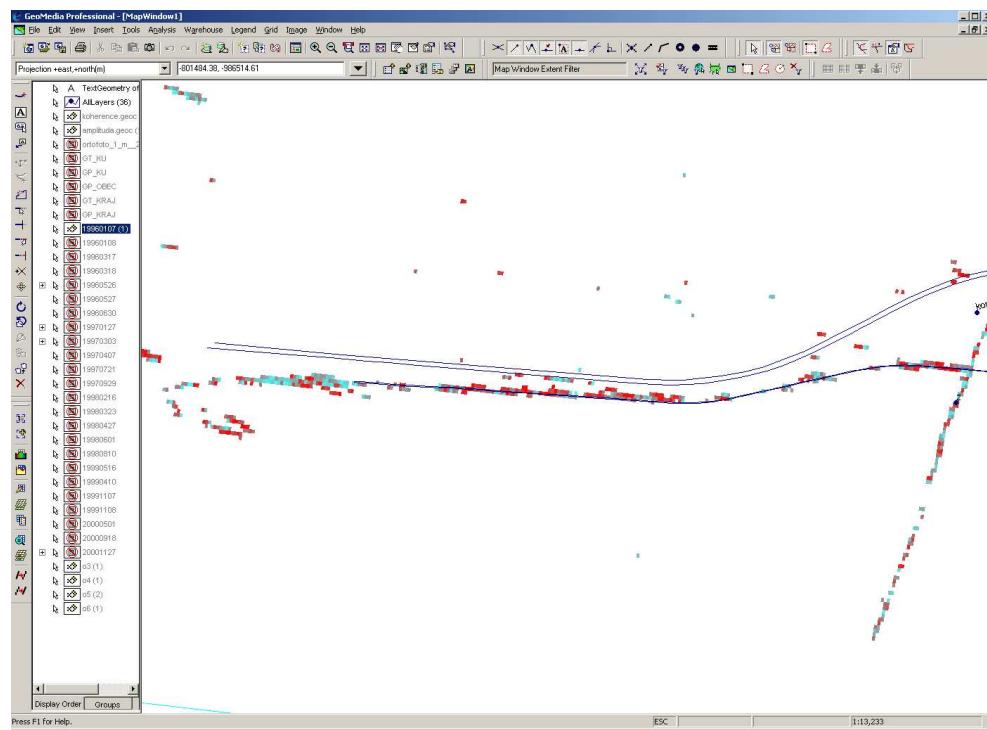
Z transformovaných podkladů vytvořených v rámci předchozího oddílu byl vytvořen profil na ploše železniční komunikace. Na obrázku 6.15 jsou tyto výsledky zobrazeny s daty z digitálního modelu území DMÚ25 od Geografické služby Armády České republiky. Profil železniční tratě zobrazuje také obrázek 6.16, kde tyto výsledky doplňují data z DMÚ25. Na obrázku 6.17 je vidět porovnání s mapou z druhého vojenského mapování, které zmapovalo Čechy v letech 1842-1852. Je zřejmé, že komunikace tehdy vedly diametrálně odlišně a povrchové doly tehdy ještě nebyly otevřeny. Studium tohoto historického vývoje přesahuje svým rámcem cíle této bakalářské práce, a tak je zde uvedeno pouze základní hodnocení vývoje v této oblasti.



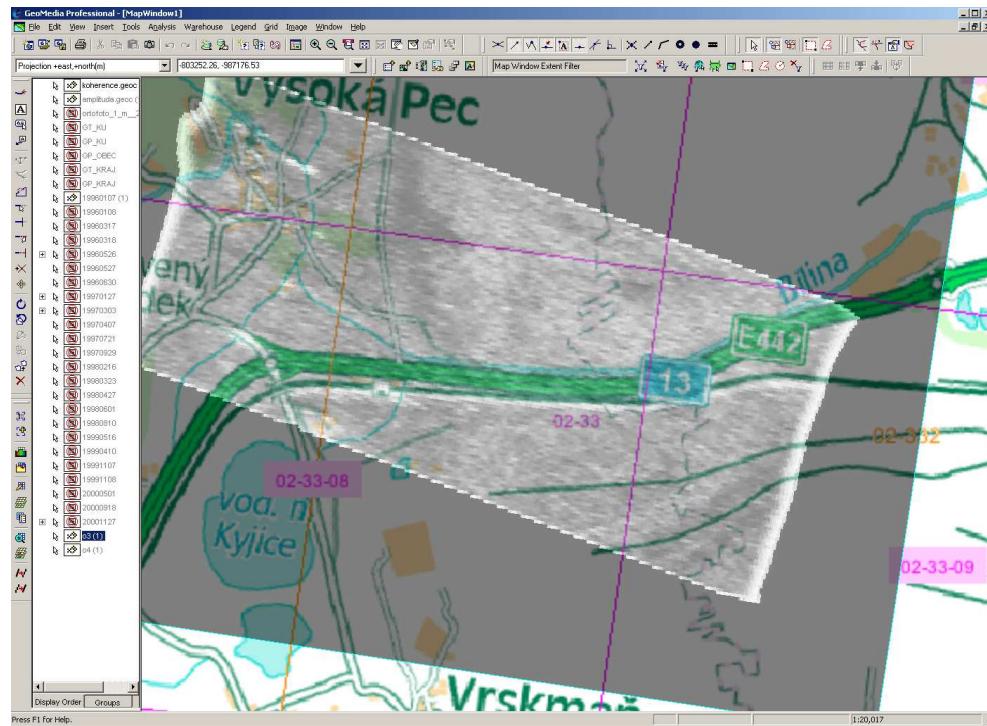
Obrázek 6.11: Rastr interferometrických dat před transformací (modře - vektorová data z měření MUS, a.s., červenoazurově - gridová data z radarové interferometrie)

6.6 Prezentace výsledků z oblasti Košťany

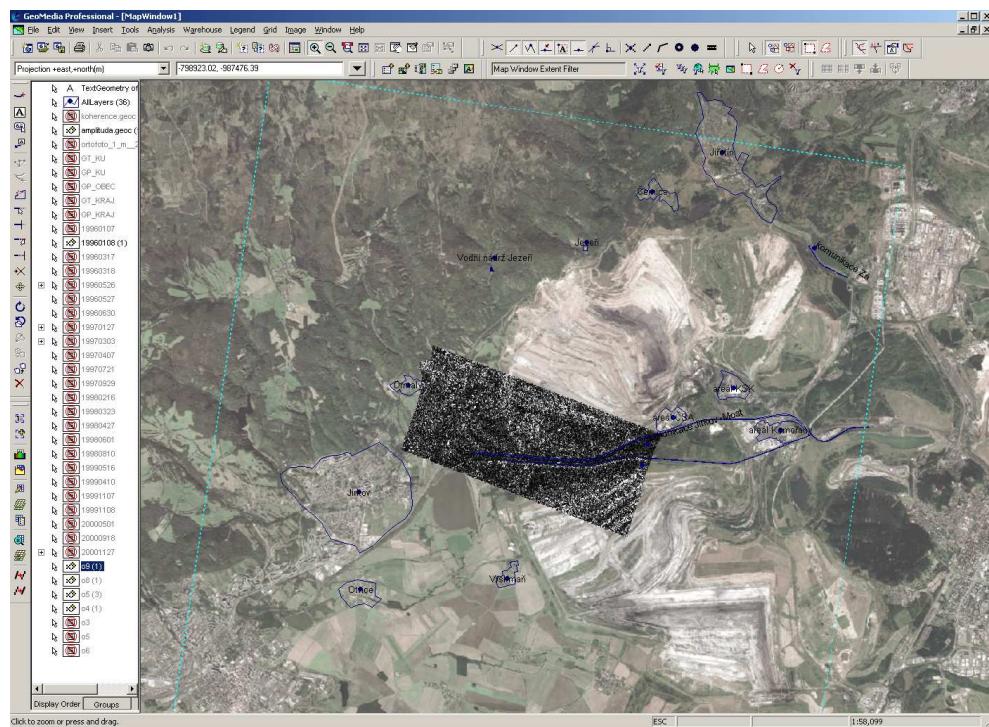
Na obrázcích 6.18 – 6.21 jsou vidět transformovaná data z oblasti Košťany. Transformace byla provedena pomocí vyhodnoceného snímku s průměrnou koherencí. Tato data umožnila přibližné stanovení břehu nádrže Barbora a následný výpočet transformačního klíče z identických bodů. Na obrázku 6.21 je vidět, že v oblasti vodní nádrž Barbora postavena nebyla a také místa osídlení byla zcela na jiných plochách než dnes.



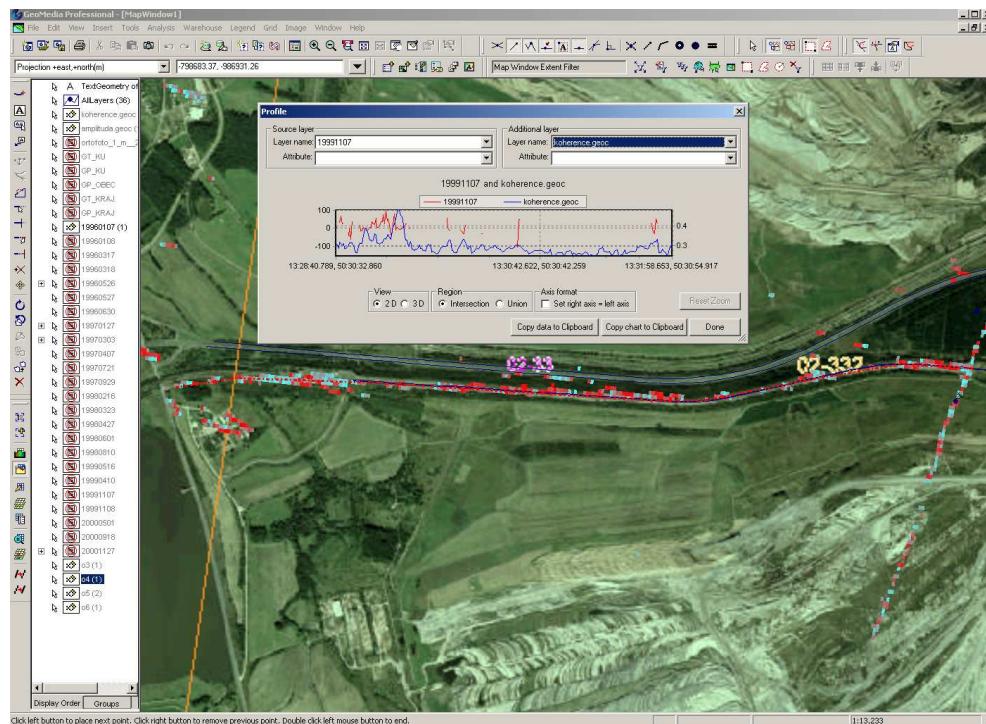
Obrázek 6.12: Rastr interferometrických dat po transformaci (modře - vektorová data z měření MUS, a.s., červenoazurově - gridová data z radarové interferometrie)



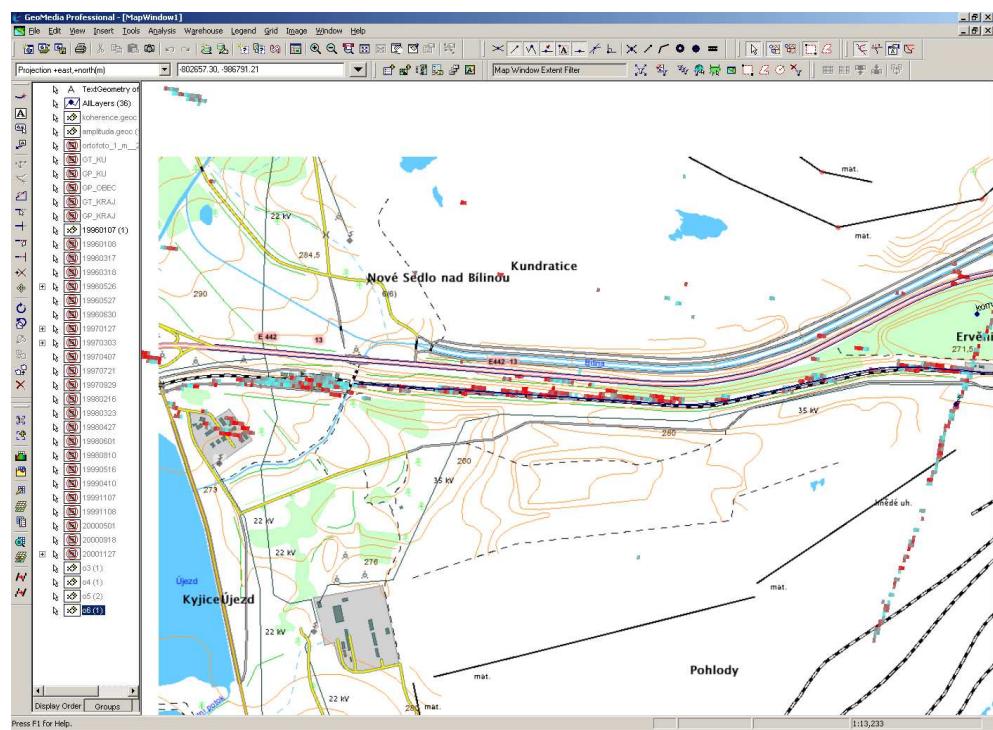
Obrázek 6.13: Vrstva koherence nad rastrovou Automapou ČR 1:100000



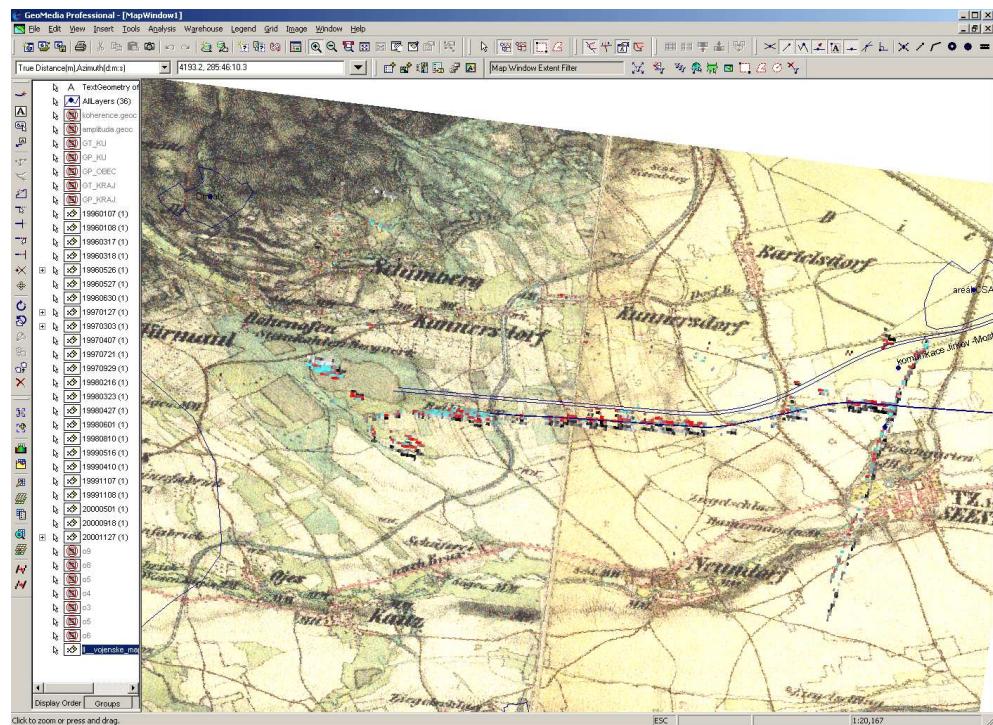
Obrázek 6.14: Radarová rastrová data pro amplitudu s ortofotomapou z CENIA se zprůhledněním pro zvýraznění vektorových prvků



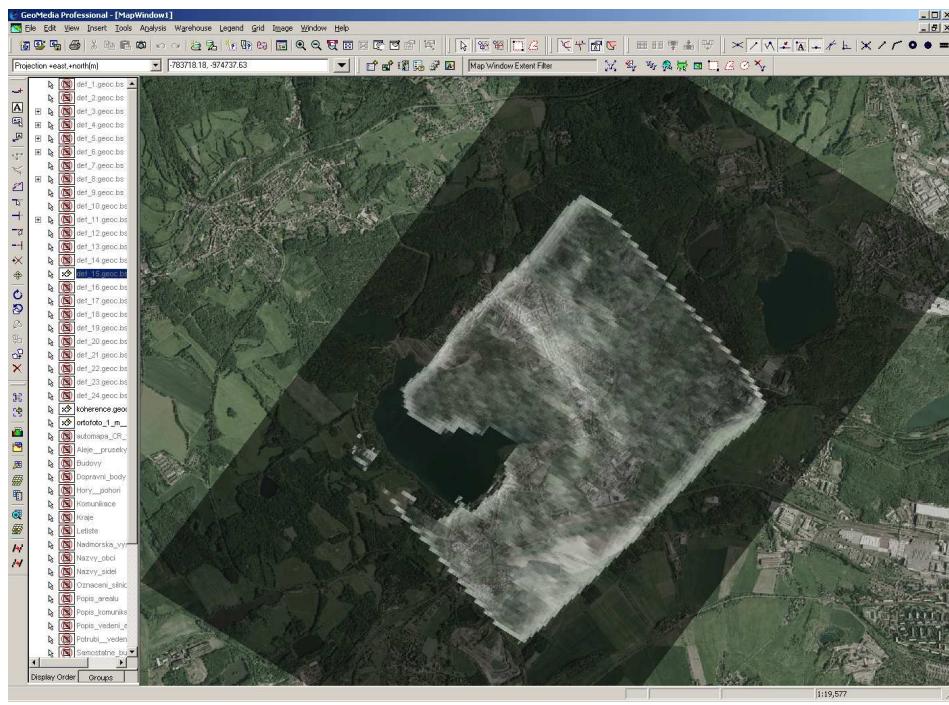
Obrázek 6.15: Profil nad železnicí po transformaci georeferencování



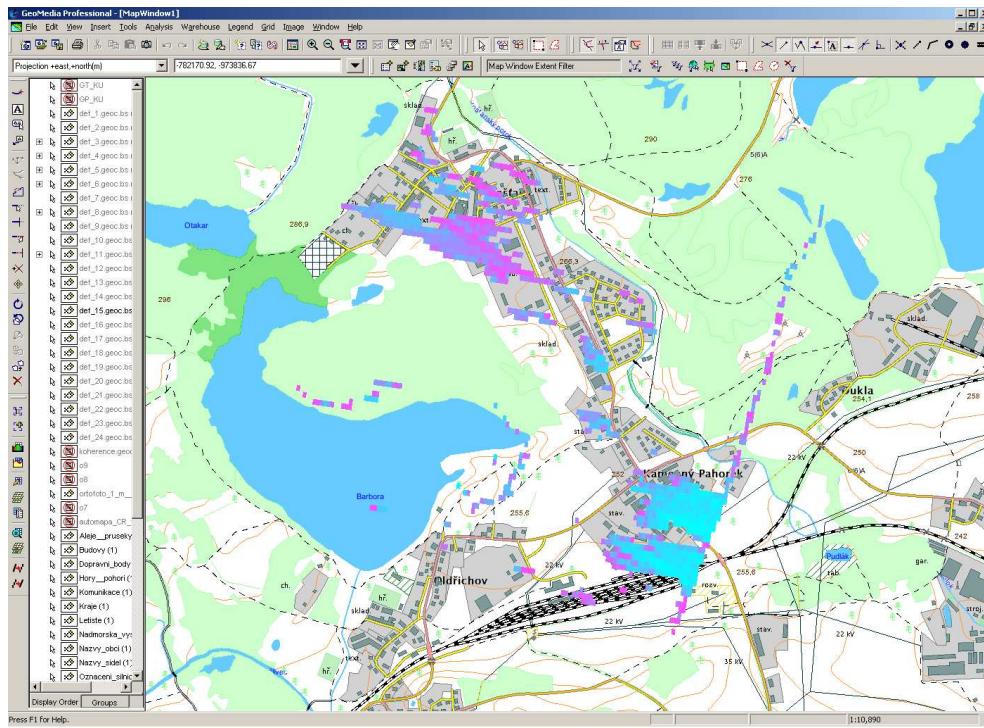
Obrázek 6.16: Transformovaná data po transformaci georeferencování se zobrazenými daty z DMÚ25



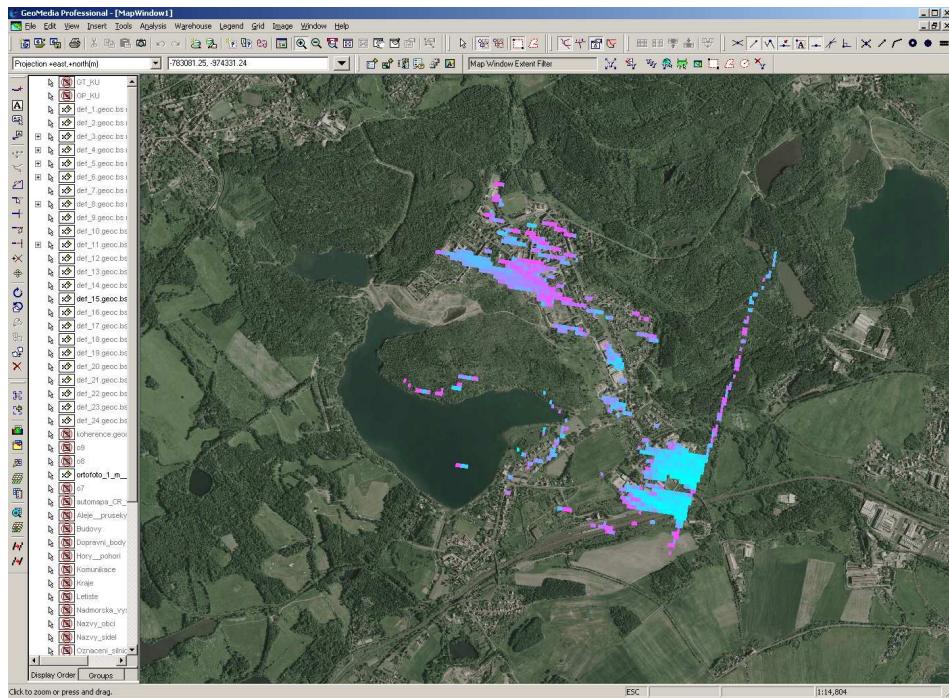
Obrázek 6.17: Transformovaná data z ervěnické oblasti se zobrazenou mapou z 2. vojenského mapování (Čechy mapovány 1842–1852)



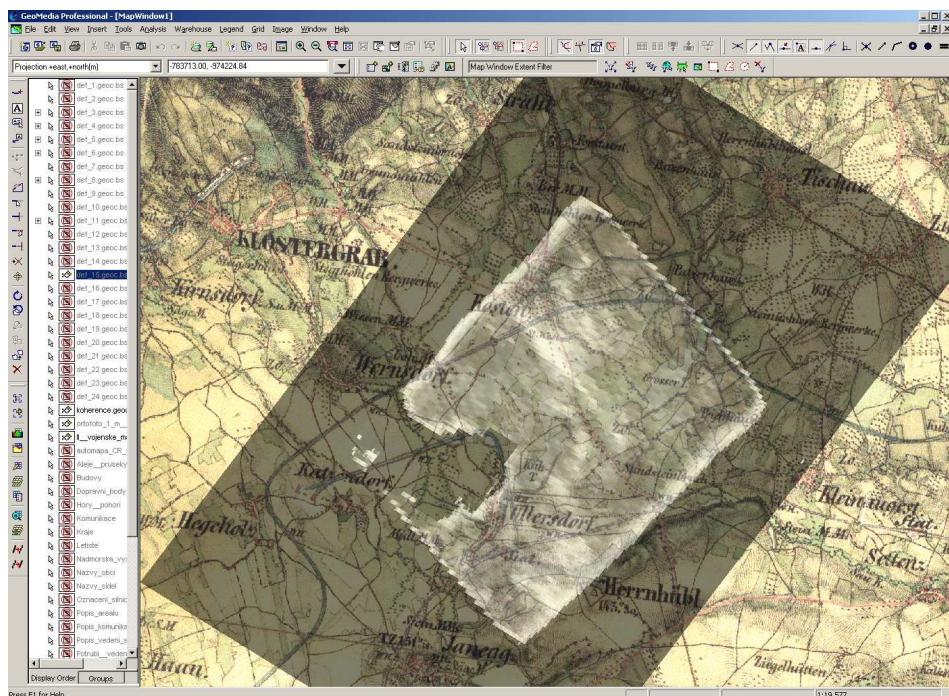
Obrázek 6.18: Transformovaná rastrová data s průměrnou koherencí z oblasti Košťany s ortofotomapou z CENIA



Obrázek 6.19: Transformovaná rastrová data s průměrnou koherencí z oblasti Košťany s DMÚ25



Obrázek 6.20: Transformovaná rastrová data z oblasti Košťany s ortofotomapou z CENIA



Obrázek 6.21: Transformovaná rastrová data s koherencí z oblasti Košťany s mapou z II. vojenského mapování

Kapitola 7

Závěr

Výsledky převodu interferometrických dat z binárního formátu s pohyblivou desetinnou čárkou se úspěšně zdařilo. Cílem bylo data, která pocházejí z vyrovnání metodou radarové interferometrie (InSAR), jednoduše transformovat a prezentovat v geografickém informačním systému. Tento cíl byl splněn.

Svým způsobem se jedná o ojedinělou studii převodu radarových dat do geografického informačního systému. S využitím zde popsaných postupů může uživatel načítat výsledky z libovolného vyhodnocení do prostředí, v němž se možnosti prezentace a dalšího využití výrazně rozšiřují. Ze souboru v binárním formátu lze po načtení do GIS začít pracovat mnoha směry.

Družice ERS-1/2, které vyslala Evropská kosmická agentura (ESA) v 90. letech 20. století, našly uplatnění v České republice a to ve sledování deformací zemského povrchu. Tato práce převádí vyhodnocená data z nové metody současného vyhodnocení 24 snímků dané oblasti. Při sledování posunu nebo deformace zemského povrchu v oblasti intenzivní těžby hnědého uhlí je právě tento způsob vyhodnocení velmi vhodný. Odborník i laik může jednoduše porovnávat stav zemského povrchu v průběhu měsíců, let nebo desetiletí v jedné aplikaci, jednom okně a jedním kliknutím.

Nová metoda současného vyhodnocení 24 snímků stále probíhá vývojem, a tak lze v blízké době očekávat lepší výsledky co se týče rozsahu vyhodnocených dat. Nyní, když probíhá zmiňovaný vývoj této metody, je z pochopitelných důvodů vyhodnocována jen část snímků. Na snímcích jsou vypočteny hodnoty především pro umělé objekty, resp. železniční trať, protože výpočet celého snímku by vyžadoval řádově více času a výkonnosti výpočetní techniky.

Převod interferometrických dat byl proveden exaktně a nebyly do dat zaneseny žádné další chyby. Musím zdůraznit, že právě chyby, které získal soubor při vytváření na družici a které přineslo do souboru dat vyhodnocení radarovou interferometrií, určují použitelnost těchto informací. Po převodu dat do geografického informačního systému umožňují GeoMedia několik možností transformace, ale ta závisí zase na počtu identických bodů do transformace vstupujících.

Z vyhodnocených dat jsem také zjistil dosaženou chybu v georeferencování tohoto souboru, kterou soubor má po provedeném vyrovnání. Standardní chyba, kterou si

soubor dat nese z InSAR zpracování je 80-120m. Při uvážení, že velikost pixelu pro tato data je 20x20m, můžu konstatovat, že výsledná chyba je poměrně na nízké úrovni.

Bakalářská práce také pojednává o historii Intergraph Corporation, jež dle dostupných informací v tomto rozsahu ještě v češtině publikována nebyla.

Některé analýzy načtených dat v GeoMedia narážely na nedostatek informací v datových souborech, ale tím nejsou pokyny této práce nijak znehodnoceny. Převod a transformace radarových dat proběhla bez problémů a chyb. Postupy převodu a analýzy popsané v této práci nezávisejí na množství vyhodnocených pixelů nebo počtu datových souborů. Lze podle této práce také načítat jednotlivé binární soubory z klasického vyhodnocení 2 snímků radarovou interferometrií. V budoucnosti se na základě jejich pokynů mohou vytvořit daleko komplexnější analýzy a výstupy s daty, která budou výsledkem dokončené nové metody vyhodnocení 24 snímků radarovou interferometrií.

Literatura

- [1] Pavelka, K., *Zpracování obrazových záznamů v DPZ*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1999.
- [2] Hlaváčová, I., *Interferometric stacks in partially coherent areas*, PhD Thesis, ČVUT, Praha, 2008.
- [3] European Space Agency missions - *ERS* [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://earth.esa.int/ers/>.
- [4] Intergraph Corporation [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.intergraph.com/>.
- [5] Urban, P., *Detekce polohových změn zemského povrchu radarovou interferometrií*, disertační práce, ČVUT, Praha, 2005.
- [6] Eoportal directory: *ERS-2* [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://directory.eoportal.org/>.
- [7] Halounová, L., Pavelka, K., *Dálkový průzkum Země*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2005.
- [8] Working with GeoMedia Professional, Intergraph Corporation, USA, 2008.
- [9] GeoMedia Grid Help, Intergraph Corporation, USA, 2008.
- [10] Insar [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://insar.cz>.
- [11] CENIA, *Mapové služby Portálu veřejné správy ČR* [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://geoportal.cenia.cz/>.
- [12] NASA, Satellite Missions, *List of Satellites*, ERS [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>.
- [13] EURIMAGE, *Catalogues: ERS* [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.eurimage.com/products/ers.html>.
- [14] GISAT, *Přehled družicových systémů*, ERS [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-sistemů/>.

- [15] Schowengerdt, Robert A. Remote Sensing : Models and Methods for Image Processing. 3rd edition. Arizona : Academic Press, 2007. 515 s. ISBN 13:978-0-12-36940.
- [16] Janitor J/2, CENIA [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://janitor.cenia.cz/>.
- [17] Iguassu Software Systems [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.iguassu.cz/>.
- [18] Geografická služba Armády ČR [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.army.cz/acr/geos>.