

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**VYUŽITÍ LETECKÉ FOTOGRAMMETRIE
V ARCHEOLOGII
USING AERIAL PHOTOGRAMMETRY
IN ARCHAEOLOGY**

Diplomová práce

Aneta Kuldanová

září 2008

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Štefanová

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a použitou literaturu a prameny jsem uvedla v seznamu.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 25.8. 2008

.....

Aneta Kuldanová

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí své diplomové práce Ing. Evě Štefanové za vedení práce, cenné připomínky a rady. Dále děkuji členům Katedry mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT v Praze za poskytnutí dat, jmenovitě Doc. Dr. Ing. Karlovi Pavelkovi za odborné konzultace při jejich zpracování. Poděkování patří také mému příteli Ing. Lukášovi Wretzelovi za vysoce podnětné rady a komentáře a v neposlední řadě také mým rodičům, kteří mě podporovali v průběhu celého vysokoškolského studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi využití letecké fotogrammetrie a dálkového průzkumu Země (DPZ) při dokumentaci plošných archeologických objektů. Práce se především zaměřuje na použití těchto metod v oblasti Nazkánské plošiny v Peru, kde byly pomocí neměřické digitální kamery v rámci mezinárodního výzkumného projektu Nazca pořízeny šikmé letecké snímky známých geoglyfů.

Hlavním úkolem práce bylo zjistit, zda je tímto způsobem možné dokumentovat plošná archeologická naleziště tak, aby bylo dosaženo srovnatelných výsledků jako u dat pořízených měřickými kamerami. V práci byla navržena metodika zpracování, pomocí níž je možné ze snímků pořízených neměřickou digitální kamerou získat nejen obsahové ale i polohové informace. Důležitými kroky, které byly nutné k dosažení požadovaného výsledku, bylo odstranění distorze, zvýraznění obsahu snímků, překreslení snímků a vytvoření fotoplánu pomocí vhodného maskování a mozaikování. Ke zpracování byl využit software Adobe Photoshop 10.0.1., Topol xT 7.0 Rastrový a Distortion PM.

V práci je také řešena problematika zpracování dat z družicového snímkování, které spolu s leteckými snímky a mapovými podklady tvoří geografický informační systém (GIS) Nazkánské plošiny.

Abstract

The diploma thesis presents a potential of the use of aerial photogrammetry and remote sensing for documentation of areal archaeological objects. The thesis focuses, first of all, on use of the mentioned methods at the Nazca Plate in Peru, where oblique aerial photographs of well-known geoglyphs were taken by non-metric digital camera during the Nasca international research project.

The main goal of the thesis is to discover if by using such method we can document the areal archaeological sites to reach comparable results with data taken by metric cameras. The thesis determines a processing methodology which, with use of the photographs taken by non-metric digital camera, enables to acquire not only contentual but also positional information. The vital steps necessary for securing the required result were the following: elimination of distortion, accentuation of photographs content, photographs rectification and a photoplan created with use of proper masking and mosaicking. Processing was done with the Adobe Photoshop 10.0.1., Topol xT 7.0 Raster and Distortion PM software.

The thesis also solves the problems with processing the data from satellite photography that together with aerial photographs and map materials create the geographic information system of the Nazca Plate.

Obsah

1 ÚVOD	7
2 CÍLE PRÁCE	8
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE	9
4 PŘEHLED METOD POUŽÍVANÝCH K DOKUMENTACI PLOŠNÝCH ARCHEOLOGICKÝCH OBJEKTŮ	13
4.1 FOTOGAMMETRIE.....	14
4.1.1 Principy zviditenění plošných archeologických objektů	15
4.2 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ.....	17
4.3 LETECKÉ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ	18
5 CHARAKTERISTIKA OBLASTI NAZCA	20
5.1 GEOGLYFY A PETROGLYFY	20
5.1.1 Analýzy a interpretace jejich vzniku	22
5.2 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY.....	24
5.3 PŮSOBENÍ LIDSKÉ ČINNOSTI	25
6 PŘEHLED VÝZKUMNÝCH PRACÍ V OBLASTI NAZCA – PALPA	27
6.1 PŘEDEŠLÉ VÝZKUMY.....	27
6.2 V SOUČASNOSTI ŘEŠENÉ PROJEKTY	28
6.2.1 Projekt Nazca.....	28
6.2.2 Projekt Nazca/Palpa.....	30
7 METODICKÝ POSTUP ZPRACOVÁNÍ DAT	31
8 ZPRACOVÁNÍ DAT	35
8.1 ZÍSKÁNÍ POTŘEBNÝCH DAT.....	35
8.2 VÝBĚR SNÍMKŮ	37
8.3 ODSTRANĚNÍ RADIÁLNÍ DISTRORZE OBJEKTIVU	37
8.4 ZVÝRAZNĚNÍ OBSAHU SNÍMKŮ	39
8.5 PŘEKRESLENÍ SNÍMKŮ.....	41
8.6 MASKOVÁNÍ SNÍMKŮ.....	45
8.7 MOZAIKOVÁNÍ SNÍMKŮ	45
8.8 ÚPRAVA FOTOPLÁNU.....	46
9 VÝSLEDKY	47
10 DISKUZE	50
11 ZÁVĚR	52
SEZNAM PRAMENŮ A LITERATURY	53
PRAMENY	53
LITERATURA.....	54
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	60
SEZNAM OBRÁZKŮ	61
SEZNAM TABULEK	63
SEZNAM GRAFŮ	64
SEZNAM PŘÍLOH	65

KAPITOLA 1

Úvod

Rozvoj výpočetní techniky a její dostupnost došla tak daleko, že v současné době zasahuje téměř do všech vědních oborů a lidských činností. Díky této bouřlivé expanzi moderních technologií dochází v rámci vědního oboru archeologie k rostoucí oblibě nedestruktivní neboli bezkontaktní archeologie, ve které se praktické využití těchto prostředků přímo nabízí. Jedná se především o dálkový průzkum Země (DPZ) a geografické informační systémy (GIS), přičemž nelze opomenout neustálé vylepšování geofyzikálních metod. Mezi nejdůležitější způsoby sběru dat v oblasti prostorové archeologie patří letecká archeologie, která bude v blízké budoucnosti společně s dálkovým průzkumem stále více integrována do poznávání lidské minulosti a péče o kulturní dědictví. Letecká archeologie využívá metod letecké fotogrammetrie, kdy je možné z leteckých snímků získat poměrně přesné údaje o archeologických objektech, z nichž většina nebude prozkoumána tradičním archeologickým výkopem. Letecký průzkum tedy přispívá k tvorbě a evidenci pramenných základů archeologie, kdy představuje relativně rychlý, kvalitní, komplexní a bezkontaktní způsob získávání nových informací o archeologických strukturách. Další využití nachází při ochraně kulturního dědictví, kde je jeho úkolem systematické monitorování zájmového území, dokumentace a sledování stavu památek.

Touto problematikou se zabývá tato diplomová práce, která je součástí mezinárodního výzkumného projektu Nazca, jenž byl zahájen v roce 1995 na německé Vysoké škole technické (Hochschul für Technik und Wirtschaft) v Drážďanech a na kterém se od roku 2004 podílí Katedra mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT v Praze. Tento projekt navazuje na práci Dr. Marie Reiche, která studiu nazkánských obrazců zasvětila celý svůj život a zasloužila se tak o jejich popularizaci a zejména o jejich ochranu. Hlavním cílem tohoto výzkumného projektu je vytvořit GIS, který umožní shromažďovat, analyzovat a prezentovat geograficky vázané informace o liniích a obrazcích na planině Nazca a Palpa. Souběžně s tímto projektem byly uspořádány čtyři expedice, jejichž hlavním úkolem bylo získat potřebná data. Náplní poslední expedice bylo především zaměřování podrobných a vlíčovacích bodů metodou GPS na plošině Nazca, fotogrammetrická dokumentace vybraných geoglyfů a petroglyfů, astronomická měření a dokumentace vykopávek na dalších vybraných lokalitách.

KAPITOLA 2

Cíle práce

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vhodnou metodiku pro zpracování šikmých leteckých snímků pořízených neměřickou digitální kamerou a jejich využití v archeologii. Metodika pro zpracování dat byla navržena tak, aby data měla nejen vypovídající obsahovou hodnotu ale i polohovou informaci a mohla tak dosáhnout srovnatelných výsledků jako u profesionálních měřických kamer.

V práci bylo nejprve nutné získat přehled o používaných fotogrammetrických metodách a metodách DPZ a jejich využití v archeologii při dokumentaci plošných archeologických objektů. Největší pozornost byla věnována využití těchto metod při výzkumných pracích z oblasti Nazkánské plošiny a jejího okolí.

Na základě získaných informací byla v praktické části práce zpracována letecká a pozemní data pořízená při expedici Nazca/Peru v roce 2004 v rámci mezinárodního výzkumného projektu Nazca. Při expedici bylo získáno neměřickou digitální kamerou Nikon D100 přibližně 200 šikmých leteckých snímků, které byly doplněny souborem téměř stejného počtu šikmých leteckých snímků pořízených německou částí expedice rovněž neměřickými digitálními kamerami.

Z rozsáhlého souboru bylo nutné vybrat snímky tak, aby zájmové území bylo rovnoměrně pokryto co nejkvalitnějšími záznamy. Poté byla snaha navrhnout vhodnou metodiku úprav snímků a jejich vlícování do dostupného podkladu tak, aby byly splněny požadavky kladené jak na obsahovou tak i polohovou správnost. Zároveň byla zpracována data z družicového snímkování a propojena do GIS spolu s leteckými snímky a mapovými podklady. Dalším cílem bylo tedy kompilované využití různých obrazových dat (leteckých snímků, družicových snímků, rastrových a vektorových map) a zhodnocení jejich možností využití pro dokumentaci rozsáhlých plošných archeologických nalezišť.

KAPITOLA 3

Literární rešerše

Diplomová práce se svojí tematikou nejvíce věnuje využití fotogrammetrie a DPZ v oboru archeologie. Proto se i literární rešerše zaměří především na tuto oblast zájmu, dále se bude zabývat literaturou týkající se charakteristiky a výzkumu planiny Nazca a také zdroji pojednávajícími o fotogrametrii a DPZ obecně. Nejpočetnějšími zdroji informací byly zejména odborné články a příspěvky z mezinárodních konferencí a symposií, publikované v odborných časopisech a dostupné v elektronické podobě přes portál Elsevier (*Science Direct*). Dále bylo čerpáno z odborných knih, vysokoškolských učebnic a skript, diplomových prací a v neposlední řadě také z internetu.

Možná by si mohl někdo z řad široké laické veřejnosti myslet, že využití právě takových metod, jako jsou fotogrammetrie, DPZ a GIS, je v archeologii neopodstatněné. Ve článku Gojdy (2007), který je určen právě této skupině populace, jsou tyto techniky popisovány jako jedny z neefektivnějších cest k odhalování archeologických památek. Autor se zde zejména snaží obecně přiblížit jejich význam a vyzdvihnout výsledky, které byly v rámci České republiky dosaženy. Obdobný, ale poněkud odbornější, je článek Gojdy (2003) srovnávající úroveň letecké archeologie v západní a střední Evropě před deseti lety, kdy se po pádu železné opony začal tento obor uplatňovat v bývalých zemích sovětského bloku, a dnes. Hlavní část příspěvku shrnuje současný stav letecké archeologie v Čechách na příkladě dvou největších projektů leteckoarcheologického průzkumu české krajiny (Archeologického ústavu AV ČR v Praze a Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech v Mostě). Velmi podrobně je problematika letecké archeologie zpracována ve vysokoškolské učebnici od Kuny a kol. (2004), kde je jí věnována samostatná kapitola. V této knize je vysvětlen rozdíl mezi leteckou archeologií a leteckou fotogrammetrií. Hlavní náplní letecké archeologie je pořizování šikmých leteckých snímků z letadla pohybujícího se ve výšce 300 metrů nad terénem a jejich následná analýza a interpretace. Velká část těchto snímků však není převedena na kolmé, a proto na nich není zachována polohová informace o zkoumaných objektech. Oproti tomu je při využití fotogrammetrických postupů možné dosáhnout vysoké polohové přesnosti výstupních informací. Najdeme zde i zmínku o využití družicových snímků a dalších metod DPZ, které se z hlediska archeologie nachází v období rozvoje. Část knihy je věnována také práci

s prostorovými daty, kde se autor detailně zabývá zdroji geografických informací, databázemi a GIS. Vhodnost použití jednosnímkové fotogrammetrie na základě neměřických snímků pro dokumentaci archeologických nálezů popisuje Culek (1992), který použil k vyhodnocení snímků dnes již nepoužívanou metodu překreslovače. Obdobným příspěvkem je i článek Bureše a Fuchse (1995).

Obecně se fotogrammetrií zabývají Mikhail, Bethel a McGlone (2001). Ve své knize podávají podrobný přehled o matematických základech fotogrammetrie, věnují se také DPZ a digitálnímu zpracování obrazu, který se stále více uplatňuje ve fotogrammetrickém výzkumu a praxi. Vysokoškolská skripta od Pavelky (2003a) jsou dalším významným dílem, které obsahuje základní informace o fotogrammetrii a je zaměřeno převážně na pozemní aplikace. Na toto skriptum navazuje další učební text Pavelky (2003b), který se věnuje zejména oblasti letecké fotogrammetrie, kde je pozitivně hodnocena hospodárnost prací pro mapování, sběr dat pro GIS nebo digitální model terénu (DTM). Skriptum také obsahuje základní poznatky z digitální fotogrammetrie, které hlouběji zpracoval Pavelka a kol. (2001) v třetím navazujícím vysokoškolském skriptu, kde je možné získat informace o principech a metodách této moderní technologie. Pokrok v počítačové technologii a zpracování digitálních obrazových dat, které přinesly převratné změny ve fotogrammetrické technice, jsou také předmětem části skript od Hanzla a Sukupa (2001).

DPZ se z hlediska družicového sběru dat věnuje ve své knize Schowengerdt (2007). V tomto již třetím aktualizovaném vydání najdeme kromě obecných informací o DPZ i podrobný popis digitálního zpracování obrazových dat, který často představuje složité postupy zahrnující zvýraznění obrazu. Zvýrazněním obrazových dat se také zabývají Halounová a Pavelka (2005). Podle nich lze zvýraznění provádět pomocí rozdělení obrazu dle úrovně šedi, roztažením histogramu, dále pak prostorovými úpravami jako jsou filtry, konvoluce, zvýraznění hran, Fourierova analýza nebo použitím více pásem. Spektrální úpravu dat DPZ řeší ve své diplomové práci Lukeš (2007), který pro zostření obrazových dat použil techniku pan-sharpening (*image fusion*) kombinující panchromatická (černobílá) data s vyšším prostorovým rozlišením a multispektrální (barevná) data s prostorovým rozlišením nižším. Výsledkem jsou pak multispektrální data, která mají rozlišení odpovídající původnímu rozlišení dat panchromatických. Tuto techniku zpracování dat prezentuje na svých internetových stránkách i firma Gisat (www.gisat.cz), která je první společností poskytující geoinformační služby v oboru dálkového průzkumu Země v České republice.

Výzkumem planiny Nazca a jejího okolí se pomocí fotogrammetrie, DPZ a GIS zabývá řada odborníků ze světových univerzit a institucí. Mezi nejvýznamnější patří Institut geodézie a fotogrammetrie ETH Zurich ve Švýcarsku (*Institut of Geodesy and Photogrammetry Eidgenössische Technische Hochschule Zurich*), Výbor pro archeologii mimoevropských

kultur Německého archeologického institutu v Bonnu (*KAAK, DAI; Kommission für Archäologie Außereuropäischer Kulturen des Deutschen Archäologischen Instituts*) a Katedra geodézie a kartografie HTW Dresden (*Fachbereich Vermessungswesen/Kartographie Hochschul für Technik und Wirtschaft*). V Česku se této problematice věnuje Katedra mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT v Praze. Práce těchto organizací, mezi kterými dochází i ke spolupráci, jsou prezentovány na mezinárodních konferencích a sympoziích, některé jsou publikovány v odborných časopisech.

Článek od autorů Gruña, Bära a Beutnera (2000) informuje o projektu Nazca/Palpa, který byl zahájen v roce 1997 ve spolupráci Německého archeologického institutu (*DAI; Deutschen Archäologischen Instituts*) a Švýcarsko-lichtenštejnské nadace pro archeologický výzkum v cizině (*SLSA; Swiss-Lichtenstein Foundation for Archaeological Studies Abroad*). Tento projekt je mezioborovým výzkumným projektem, který se snaží o dokumentaci geoglyfů a jejich zachování v digitální podobě. Článek je zaměřen především na počáteční etapu projektu, na zpracování dat digitální fotogrammetrie v oblasti Palpa. Obdobný je i příspěvek Gruña a Lamberse (2001), kde autoři mimo jiné hodnotí využití a výstupy letecké fotogrammetrie při výzkumech této oblasti v minulosti.

Kooperativní přístup jednotlivých vědních oborů podílejících se na projektu Nazca/Palpa shrnuje článek Reindela a Gruña (2006). Mezi obory, které na projektu spolupracují, patří geoarcheologie, geofyzika, chronometrie, antropologie a fotogrammetrie. Podrobněji se některými metodami výzkumu z oblasti chronometrie zabývají Greilich, Glasmacher a Wagner (2005). Jedná se především o metodu OSL (*optically stimulated luminescence*), která umožňuje určovat stáří horniny a tedy i obrazců na planině Nazca. Datování vzniku geoglyfů se věnují ve svém článku i Fassbinder a Reindel (2005), kteří popisují výzkum pomocí magnetometrie, která se řadí mezi geofyzikální metody nedestruktivní archeologie.

Podle Gruña, Sauerbiera a Lamberse (2003) by měl být výsledkem projektu Nazca/Palpa GIS, který by umožňoval efektivní propojení, řízení a manipulaci s různými druhy dat – vektory, rastry, texty a čísla. Tento systém by měl sloužit zejména vědcům z oboru archeologie pro různé analýzy, ukládání nových dat nebo k jejich modifikaci.

Vytvořením 3D modelu severní části regionu Nazca kolem města Palpa se zabývá disertační práce Lamberse (2006), kde autor popisuje jednotlivé kroky předcházející jeho vzniku i samotné modelování. Prostorový model zahrnuje DTM, na kterém je natažené ortofoto, a vektorovou vrstvu s geoglyfy. K jeho vytvoření a následné vizualizaci byl použit software Terra Explorer 3.0 od Skyline Software Systems Inc., jehož možnosti modelačního procesu byly porovnávány s možnostmi modelačního procesu softwaru ERDAS Imagine Virtual GIS 8.4 od Leica Geosystems.

Použití dat digitální fotogrammetrie pořízených helikoptérou UAV (*unmanned aerial vehicle*) a dat z pozemního laserového skenování k vytvoření digitálního modelu povrchu (DSM) pro archeologické účely pozitivně hodnotí ve svém článku Eisenbeiss a Zhang (2006). Tyto metody byly využity v rámci mezinárodního výzkumného programu NTG (*New methods and technologies in humanities*) při dokumentaci archeologické oblasti Pinchango Alto, jednoho z nejvíce archeologicky zachovalých nalezišť v regionu Nazca.

Využití analytických funkcí GIS při výzkumu viditelnosti geoglyfů popisují Lambers a Sauerbier (2006). Zatímco moderní pozorování mají sklon vnímat geoglyfy zejména ze vzduchu, tak jejich tvůrcům bylo umožněno pozorování jen ze země. Proto byla vytvořena studie zabývající se souvislostí mezi rozmístěním geoglyfů a jejich viditelností. V programu ArcGIS 9.0 od firmy ESRI byl vypočítán index CVI (*cumulative viewshed index*), na jehož základě byla analýza vyhodnocena.

Teorií vzniku geoglyfů na planině Nazca a jejich popisem se ve své knize zabývá Reiche (1968), která studiu nazkánských obrazců zasvětila celý svůj život a jejíž práce se stala odkazem pro další výzkum. Zdárným příkladem může být Nazca projekt, o kterém informuje článek Teicherta a Richtera (2003). Nazca projekt byl zahájen v roce 1995 německou vysokou školou HTW (*Hochschul für Technik und Wirtschaft*) Dresden s cílem verifikovat astronomickou teorii na vznik obrazců podle Marie Reiche a vytvořit virtuální multimediální aplikaci zobrazující obrazce na planině. Souběžně s tímto projektem byly uspořádány čtyři expedice, jejichž hlavním úkolem bylo získat potřebná data. S náplní poslední expedice Nazca/Peru seznamuje ve svém příspěvku Pavelka (2004). Mimo vlastní zaměrování vlíčovacích bodů metodou GPS také popisuje leteckou fotodokumentaci, jejíž výstupy jsou v podobě leteckých snímků předmětem zpracování této diplomové práce.

K úvahám o vzniku geoglyfů se připojují i čeští vědci Klokočník a Vítek (2002), kteří se na základě videozáznamu a starých černobílých snímků zasloužili o vysvětlení jednoho z obrazců. Jedná se o postavu astronauta, který je ve skutečnosti rybář.

KAPITOLA 4

Přehled metod používaných k dokumentaci plošných archeologických objektů

Z hlediska získávání archeologických poznatků se již archeologie neomezuje pouze na tradiční výzkumy odkryvem, ale stále více využívá neinvazivních metod. Díky těmto trendům dochází k rozvoji nedestruktivní archeologie, která je „souborem technik, metod a teorií, zaměřených na vyhledání a vyhodnocení archeologických pramenů bez provedení destruktivního zásahu do terénu“ (Kuna a kol., 2004). Metody průzkumu nedestruktivní archeologie lze dělit podle několika hledisek, avšak za účelné se považuje vymezení do čtyř širších oblastí s celkem dvanácti základními druhy metod (tab. č. 4.1). Mezi hlavní čtyři oblasti patří dálkový průzkum, aplikace přírodovědných metod, povrchový průzkum a omezený zásah pod povrch terénu. Podrobněji se diplomová práce dále zabývá metodami fotogrammetrie, DPZ a laserového skenování, které patří do první vymezené oblasti metod nedestruktivní archeologie (Kuna a kol., 2004).

Tab. č. 4.1: Přehled hlavních metod nedestruktivní archeologie

Oblast	Základní druh	Hlavní metody a techniky
dálkový průzkum	analýza družicových snímků	panchromatické snímky, digitální záznam (vícepásmový skener, radar)
	analýza kolmých leteckých snímků	panchromatické snímky, digitální záznam (vícepásmový skener, radar), laserové systémy, termovize
	prospekce z nízkoleteckých letadel	šikmé panchromatické snímky
aplikace přírodovědných metod	geofyzikální měření	geoelektrické metody, gravimetrie, magnetometrie, seismika, termometrie aj.
	detektory kovů	užití během archeologických výkopů, cílený průzkum
	geochemická analýza	fosfátová analýza, analýza kovů, lipidů, kyselosti půdy
povrchový průzkum	povrchový průzkum a výzkum antropogenních tvarů reliéfu	vizuální průzkum, geodeticko-topografický výzkum, plošná nivelace
	geobotanická indikace	identifikace objektů, areálů a krajinného rámce
	povrchový sběr	"vyhledávání nálezů", analytické postupy
omezený zásah pod povrch terénu	vyhledávání vrstev	vpichy, vrty, mikrosondáž
	vzorkování vrstev	mikrosondáž, vzorkovací sondáž
	vyhledávání objektů	rýhování

Zdroj: Kuna a kol., 2004

4.1 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je podle Terminologického slovníku zeměměřičství a katastru nemovitostí definována jako „vědní a technický obor zabývající se zjišťováním geometrických vlastností a polohy objektů a jejich změn z fotografických měřičských snímků a obrazových záznamů“ (<http://vugtk.cz>).

V oboru archeologie nalézá uplatnění jak pozemní tak i letecká fotogrammetrie. Pozemní fotogrammetrie se používá především pro dokumentaci a zaměřování objektů, kde je kladen větší důraz na detailnější zpracování. Jedná se zejména o archeologické a historické objekty, jako jsou například kostely, kaple, věže, mosty, sochy, nebo jejich interiéry, nástěnné a skalní malby apod. Pomocí letecké fotogrammetrie se naopak dokumentují a zaměřují plošně rozsáhlejší archeologické památky, jako jsou například různé komplexy opevnění, hradišť a dalších archeologických nalezišť. Velký význam zde hrají také náklady na pořízení dat, proto se za účelem fotodokumentace z výšky volí alternativní způsoby jejich získání. Ke snímkování se využívají jednomotorová sportovní letadla typu Cessna, dálkově řízené modely letadel, mini UAV-systémy (*Unmanned Aerial Vehicle*) nebo balony plněné heliem.

Využití letecké fotogrammetrie v archeologii bylo z pochopitelných důvodů podmíněno vývojem technologií v letectví a fotografii. Zatímco k použití letadla za účelem pořízení snímku z výšky došlo již v polovině 19. století, objevilo se využití těchto metod v archeologii až o čtyři desítky let později. Během první světové války došlo k velkému rozvoji letectví a tím i k masovému pořizování leteckých snímků krajiny, jejichž analýza v poválečném období vedla k formování oboru letecké archeologie (Kuna a kol., 2004).

Uplatnění a rozvoj letecké archeologie na území České republiky byl ve větší míře zaznamenán po roce 1989, kdy bylo díky významným změnám v legislativě umožněno zveřejňovat fotogrammetrické snímky pořizované armádou pro potřeby kartografie a volně provádět průzkum krajiny z malých letounů bez zvláštního povolení (Gojda, 2003).

Z hlediska postupu je získávání dat pro potřeby letecké archeologie téměř shodné s procesem používaným pro fotogrammetrické účely. Prvním krokem je vytvoření letového návrhu, podle kterého probíhá samotné snímkování. V celé Evropě jsou s naprostou převahou k účelům letecké archeologie používána již zmíněná jednomotorová sportovní letadla typu Cessna, která nejlépe splňují nároky na provádění průzkumu a snímkování z ruky. Následné zpracování dat můžeme rozdělit do čtyř kroků:

1. Laboratorní zpracování fotografického materiálu, v případě digitálního záznamu převedení obrazových dat na jiné paměťové médium.

2. Lokalizace komponent či památek v krajině na základě záznamů v mapě, údajů GPS a záznamů z letu.
3. Překreslení snímků, jejich analýza, klasifikace a interpretace objektů na leteckých snímcích. Zde již hrají významnou roli metody klasické fotogrammetrie, pomocí kterých je možné určit skutečné umístění a rozměry zkoumaných objektů. Bohužel však velká část šikmých snímků do podoby kolmých převáděna není, protože buď na nich není dostatečný počet vlíčovacích bodů nebo chybějí pracovní kapacity na jejich systematické převádění. Proto se tedy překreslení obvykle provádí přednostně u objektů, které jsou aktuálním předmětem výzkumu. Při analýze, klasifikaci a interpretaci se dosud neuplatňuje využití alespoň poloautomatických vyhodnocovacích metod, a proto velmi záleží na znalostech a zkušenostech archeologa.
4. Uložení snímků do archivů, případně v digitální podobě a společně s dalšími daty do databází různého charakteru. Nejlepší přístup pro práci s databázemi vytvořenými pro potřeby letecké archeologie představují aplikace GIS, které umožňují propojení map, snímků a ostatních údajů v tabulkové podobě a jsou také výborným nástrojem pro jejich analýzy (Kuna a kol., 2004).

4.1.1 Principy zviditelnění plošných archeologických objektů

Existuje několik příznaků, které indikují nemovité objekty destruované na zemském povrchu nebo zahloubené pod ním. Podle způsobu zviditelňování objektů je dělíme na příznaky přímé a příznaky nepřímé (zástupné).

Do první skupiny řadíme příznaky, které naznačují existenci objektu prostřednictvím jeho destruovaných částí a výplní. K efektu zviditelnění objektů tímto způsobem dochází zpravidla z důvodu opakované orby a eroze. Podle těchto charakteristik patří mezi přímé indikátory půdní příznaky (obr. č. 4.1), které jsou druhým nejčastějším projevem podpovrchových objektů, a stínové příznaky. Podstata zviditelnění objektů pomocí půdních příznaků spočívá v tom, že dlouhodobě prováděnou orbou dochází po určité době k zásahu do horních vrstev výplně zahloubených objektů. Tato výplň je pak barevně odlišná od podloží, v němž jsou objekty uloženy. Vyhledávání památek pomocí půdních příznaků se provádí v době vegetačního klidu, tedy v období zimních měsíců, kdy není krajina pokryta sněhem, nebo na počátku jara. Efekt stínových příznaků je založen na zvýraznění reliéfních pozůstatků archeologických objektů pomocí stínů, které vrhají vlivem nízkého světla v ranních či pozdních odpoledních hodinách. Právě odhalení způsobu zviditelnění památek vedlo ke vzniku letecké archeologie (<http://www.univie.ac.at>; <http://www.pastperfect.org.uk>).

Obr. č. 4.1: Půdní příznaky (Kyjov, okres Hodonín)

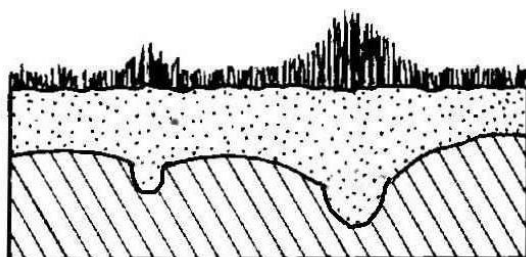
Zdroj: <http://www.znojmu.cz>

Druhou skupinu tvoří příznaky, které jsou výsledkem zviditelnění antropogenních objektů pomocí vlastností materiálu, ze kterého jsou vytvořeny. Řadíme sem příznaky porostové, vyprahlostní, vlhkostní a sněžné. Ze všech příznaků, které indikují podpovrchové archeologické objekty, mají největší význam porostové neboli vegetační příznaky (obr. č. 4.2). Jejich vznik souvisí s tím, že objekty zahloubené v minulosti pod zemský povrch byly po zániku jejich funkce opět zaneseny nějakou druhotnou výplní, která má jiné chemické složení než okolní podloží. Výplň je většinou humóznější, obsahuje tedy více živin a déle zadržuje vodu, což se projevuje na růstu vegetace na povrchu. Rozdíl je především ve zbarvení, výšce a hustotě plodin. Jedná-li se o zahloubené objekty, označuje se výsledný efekt termínem pozitivní porostový příznak (obr. č. 4.3a). Naproti tomu negativní porostové příznaky (obr. č. 4.3b) indikují objekty, které byly vztyčeny (např. zdívo). Porostové příznaky se nejlépe projevují na kulturních plodinách, z nichž největší význam mají obiloviny. Na stejném principu, avšak na souvisle zatravněných plochách, se ojediněle v období velkého sucha mohou objevit pod povrchem skryté archeologické objekty prostřednictvím vyprahlostních příznaků. Někdy se mohou půdorysy zahloubených objektů překvapivě dobře objevit působením vlhkostních příznaků, které vznikají díky rozdílnému obsahu vody v zaniklých podpovrchových objektech a okolí v období častých či dlouhotrvajících dešťů na přelomu zimy a jara. Mezi další příznaky, které pomáhají odhalit pohřbenou krajinu, patří příznaky sněžné. Díky organickým látkám ve výplni zahloubených objektů a porézności těchto výplní dochází k rozdílným teplotám od okolní rostlé půdy, které se projevují na rostlinném pokryvu. Výsledkem této skutečnosti je, že tenká vrstva sněhu nad objekty skrytými pod povrchem taje rychleji než nad neporušeným terénem (Gojda et al., 2004; <http://www.emporia.edu>).

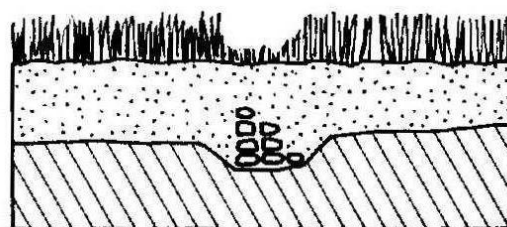
Obr. č. 4.2: Porostové příznaky (Mušov, okres Břeclav)

Zdroj: <http://www.znojmu.cz>

Obr. č. 4.3a: Pozitivní porostový příznak

Zdroj: <http://www.informatics.org>

Obr. č. 4.3b: Negativní porostový příznak

Zdroj: <http://www.informatics.org>

4.2 Dálkový průzkum Země

Podle Lillesanda a Keifera je DPZ definován jako „moderní technologie, která získává informace o objektech, plochách či jiných jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, které s těmito zkoumanými objekty nejsou v přímém kontaktu“ (Schowengerdt, 2007).

Začátky využití DPZ v archeologii spadají do 80. let minulého století, kdy byly používány snímky z americké družice Landsat nebo francouzské družice Spot. U nás se s touto metodou setkáváme od 90. let minulého století, avšak aplikována byla zatím minimálně. Příkladem může být její přínos při výzkumu archeologické lokality Abúsír u Káhiry v Egyptě, jejíž koncesi vlastní Český egyptologický ústav Filozofické fakulty Univerzity Karlovy. Satelitní snímky jsou nejčastěji využívány v projektech amerických institucí zejména v oblastech amerického kontinentu nebo Blízkého východu, kde nejsou dostupné archivy leteckých fotografií a praktikování leteckého průzkumu je tam nemožné. Toto nepřilíš velké rozšíření metody DPZ v archeologii je dáno především tím, že satelitní snímky s vysokou rozlišovací schopností (1 metr nebo i méně v panchromatickém pásmu) jsou dostupné až v posledních několika letech. Ačkoliv byly již družice s podobným rozlišením používány již dříve hlavně pro vojenské účely,

byly tyto snímky odtajněny taktéž v poslední době nebo nebyly zatím odtajněné vůbec (Boehler, Heinz, Qiming, Shenping, 2004; Kuna a kol., 2004).

Při vyhledávání archeologických objektů na družicových snímcích, které využívá stejných principů zviditelnění jako u již zmíněných leteckých snímků, je nejvíce pozornosti věnováno hlavně bodovým a liniovým objektům. Nejprve je nutné snímky upravit tak, aby na nich byly objekty lépe identifikovatelné. Jednou z vhodných metod je zvýraznění obrazu použitím funkce *pan-sharpening* nebo vysokofrekvenčních filtrů, které detekují hrany. Další možností je výpočet normovaného vegetačního indexu (NDVI) indikující zelenou vegetaci na ploše pixelu nebo výpočet poměrového indexu Red/Blue, který zvýrazňuje výskyt půd obohacených o oxidy železa (Bukovinský, 2007).

K výhodám satelitních snímků oproti leteckým patří větší záběr jednoho snímku, čímž se snižují náklady v poměru ceny ku ploše. Další výhodou je možnost snímkovat území, které z bezpečnostních důvodů není možné provádět z letadla (Brůna, 2007).

Další možnou technologií DPZ, která nabízí využití v oboru archeologie, je použití radarů. Ty jsou vybaveny vlastním zdrojem záření, které při nízkých frekvencích dovolují získávat data i přes mlhu, oblačnost a drobný déšť. Radarové vlny jsou také schopny pronikat do půdy, takže dovolují získávat informace i o podpovrchové vrstvě. Ovšem většina radarových snímačů má prostorové rozlišení přibližně 5 – 10 metrů, což využití radarových dat při archeologickém průzkumu značně limituje (Kuna a kol., 2004).

4.3 Letecké laserové skenování

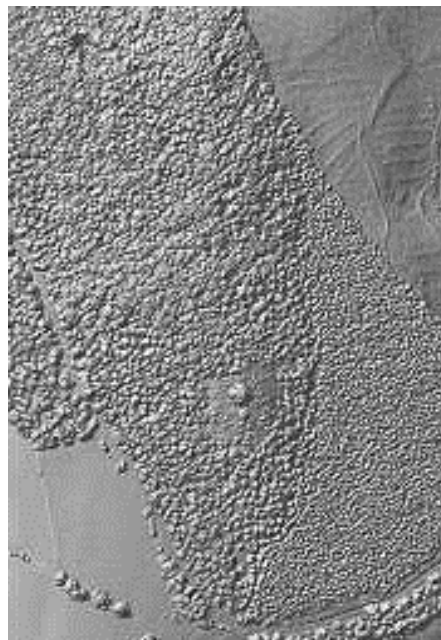
Letecké laserové skenování je z hlediska archeologie nejen další metodou pro dokumentaci archeologických a historických objektů, ale také pro jejich vyhledávání. Princip laserového skenování spočívá ve snímání velkého množství prostorových souřadnic bodů obvykle pomocí prostorové polární metody, které se provádí automaticky podle nastavených parametrů a je řízené počítačem. U leteckých systémů je kromě samotného snímání bodů také zapotřebí současně určovat orientaci a polohu laserového skeneru, k čemuž se nejčastěji používají měřicí systémy IMU/INS nebo GPS na letadle nebo referenční stanice GPS na zemi. Výhodou leteckého laserového skenování je schopnost paprsků procházet vegetací a tím umožnit vznik několikanásobných odrazů z jednoho místa. Nejdůležitější z těchto odrazů jsou první, který poskytuje informaci o vegetačním pokryvu, a poslední, který pak reprezentuje průběh terénu pod ní. Následným zpracováním dat je možné vytvořit velmi přesný digitální model povrchu (DSM) a DTM, kde je možné identifikovat pozůstatky dávných lidských aktivit, jako jsou příkopy a valy hradišť (obr. č. 4.4), mohylové násypy, plužiny, těžební jámy, cesty a jiné.

Identifikovat je lze nejen v otevřené krajině, ale právě díky schopnosti paprsků procházet vegetací i v zalesněných oblastech (Bukovinský, 2007, Pavelka, 2008, Gojda, 2006).

Obr. č. 4.4: Valy a příkopy hradiště Welshbury Hill (vlevo DTM, který vznikl odstraněním vegetační vrstvy ze snímku vpravo)



Zdroj: <http://www.forestry.gov.uk>



Zdroj: <http://www.forestry.gov.uk>

KAPITOLA 5

Charakteristika oblasti Nazca

Plošina Nazca (Pampa de Nazca) se nachází v jihoamerickém státě Peru (obr. č. 5.1) téměř 450 km jižním směrem od hlavního města Limy. Rozkládá se přibližně na území o délce 50 km a šířce 10 km nedaleko pobřeží Tichého oceánu v severní části pouště Atacama mezi městy Palpa a Nazca v departmantu Ica. Nadmořská výška tohoto rovinatého pouštního území je v rozmezí 400 až 500 metrů nad mořem (Jenkins, 2007; Rachowiecki, Beech, 2005).

Obr. č. 5.1: Mapa Peru s lokalizací plošiny Nazca



Zdroj: <http://world-adventure.cz>

5.1 Geoglyfy a petroglyfy

Pojem geoglyf pochází z řečtiny, kde *gē* = země, *povrch* a *glyphō* = řez, kresba. Z tohoto slovního spojení můžeme odvodit, že se jedná o obrazce vytvořené na zemském povrchu. Ačkoliv se geoglyfy nachází v mnoha aridních oblastech podél východního pobřeží Tichého

oceánu od Kalifornie až po severní Chile, stalo se toto označení téměř synonymem pro obrazce a linie mezi městy Nasca a Palpa na jižním pobřeží Peru.

Pro vytváření geoglyfů je nejdůležitějším faktorem kamenité pouštní prostředí, které dává jedinečné podmínky pro techniku jejich vzniku. Právě takové podmínky nabízí planina Nazca, do které se ze severovýchodu svažují vrcholky And a z jihozápadu je obklopena hradbou hor lemující pobřeží. Tato specifická poloha vedla k vytvoření kotliny, která byla během pleistocénu zaplněna aluviálními sedimenty obsahující především písky a kamení. Později vlivem větrné eroze vznikla rozsáhlá plošina – *pampa*, která je tvořena pískovcovým podkladem pokrytým téměř homogenní vrstvou kamenné drti hnědočervené barvy. Jestliže se tato vrstva odstraní, obnaží se velmi světlé podloží a geoglyf se tak stane viditelným. Díky tomu, že v této oblasti prší minimálně, může tam obrazec, vytvořený tímto způsobem zůstat po staletí (Lambers, 2006; Pavelka 2004).

Obecně lze geoglyfy rozdělit na obrazce zvířat, většinou mající vztah k vodě, obrazce rostlin nebo obrazce dalších objektů – stromů či rukou. Mezi geoglyfy se řadí i geometrické linie táhnoucí se řadu kilometrů přes kopce a údolí jako jakási síť, protáhlé i stovky metrů dlouhé trojúhelníky, čtyřúhelníky, spirály, cikcaky a jejich různé kombinace (Klokočník, Klokočnicková, 1998).

Určit stáří, kdy geoglyfy vznikly, je velmi problematické, neboť se epochy a kultury na území Peru silně ovlivňovaly a mísily. Geoglyfy v okolí Nazky jsou často přisuzovány kulturám Paracas a Nazca, které v těchto částech Peru sídlili před rozmachem incké říše. Nejčastěji toto období bývá vymezováno roky 200 před naším letopočtem a 800 našeho letopočtu. Tyto kultury po sobě nezanechaly žádná písemná svědectví. Všechno, co je o nich známo, se zjistilo výzkumem jejich pohřebišť a předmětech v nich. Geoglyfy zcela určitě nevznikly najednou. Řada z nich se překrývá, přičemž nejstarší kresby jsou již téměř neviditelné. Datování se provádí pomocí nálezů například keramiky a textílií, kdy se postupuje podle charakteristických znaků kreseb a předpokládaném trvání a rozsahu nejbližší kultury (Pavelka, 2004, <http://peru.czweb.org>).

Termín petroglyf je původem z řečtiny, kde *petros* = *kámen* a *glyphō* = *řez, kresba*. Petroglyf označuje tedy obrazce vytvořené na svazích skal, či obrazce vyryté v jednotlivých kamenech. Podle všech vědeckých závěrů lze dedukovat, že jsou starší než geoglyfy. Složitě petroglyfy v oblasti pampy byly vytvořeny částečně odkrytím vrchní tmavé vrstvy, částečně hromaděním kamenů k vyobrazení očí, úst apod. Velikostně jsou dosti rozmanité, od několika centimetrů až po metrové malby. Největším petroglyfem je postava nazývaná „astronaut“ (obr. č. 5.2), která měří přibližně 30 metrů. Ostatní petroglyfy ukazují například šamany s jakousi svatozáří či blesky kolem hlavy, zvířata nebo geometrické tvary (<http://lfgm.fsv.cvut.cz>).

Obr. č. 5.2: Petroglyf „astronaut“

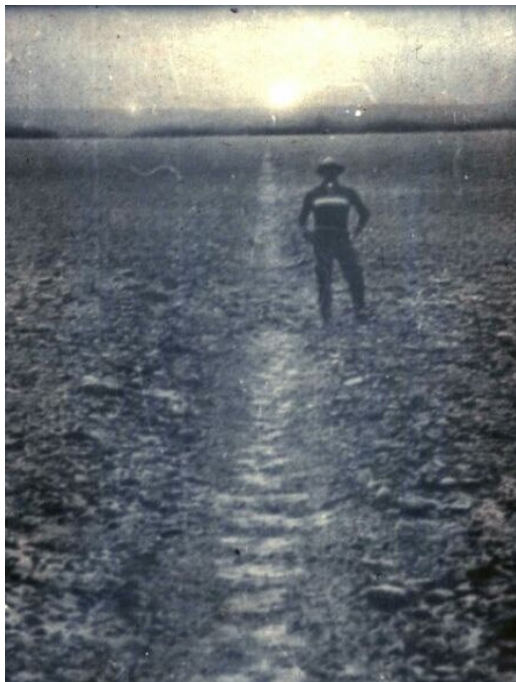


Zdroj: autor

5.1.1 Analýzy a interpretace jejich vzniku

Ačkoliv je známo jak a zhruba kdy geoglyfy a petroglyfy vznikly, zůstává jejich účel a smysl stále předmětem různých úvah a teorií. Pravděpodobně první, kdo linie studoval, byl v roce 1927 peruánský archeolog Toribio Mejia Xesspe. Podle jeho výkladu plnily linie funkci cest, které měly náboženský a ceremoniální charakter (Klokočník, 1998).

V roce 1939 se začal výzkumem obrazců zabývat historik Paul Kosok, který jako první pořídil jejich letecké snímky. Obrazce na Nazce označil za „největší astronomickou knihu světa“, neboť se domníval, že objevil obrovský astronomický kalendář. U mnoha útvaru je astronomická orientace zjevná, příkladem může být linie ukazující směr západu a východu Slunce při zimních a letních slunovratech (obr. č. 5.3). Ovšem tato teorie nevysvětluje účel plošných obrazců ani dalších linií, neboť tolik astronomických objektů nebylo možné sledovat, uváží-li se, že v noci jsou obrazce téměř neviditelné. Názory Paula Kosoka převzala matematicka z Drážďan Maria Reiche, která se do pampy dostala poprvé v roce 1941. Objevila mnoho linií a obrazců, přičemž některé ztotožnila s nebeskými souhvězdími, čímž dále podporovala a rozvíjela astronomickou teorii vzniku geoglyfů (Reiche, 1968; Teichert, Richter, 2003).

Obr. č. 5.3: Linie ukazující směr západu Slunce

Zdroj: www.nazcamystery.com

V souvislosti s astronomickou teorií bývá spojován i Gerald Hawkins, který pomocí letecké fotogrammetrie provedl důkladnější měření. Snažil se najít korelaci mezi směry linií z paprskových center se směry východu a západu Slunce i Měsíce v různých ročních obdobích. Korelace byla však malá a tím astronomický význam linií zpochybnil. Ve ztotožňování linií s východy a západy dalších nebeských těles, především jasných hvězd a souhvězdí, pokračovali Tony Morrison, Gary Urton a Tony Aveni, kteří identifikovali přes 60 paprskových center a přibližně 500 linií (Reinhard, 1986).

Novou hypotézu vysvětlující vztah geometrických linií a paprskových center k podzemní vodě uvedl v roce 1997 David Johnson, který ve spolupráci s odborníky z Massachusettské univerzity provedl hydrogeologický průzkum několika míst kolem Nazky. Tím prokázal, že některé geoglyfy, zejména trojúhelníky, sloužily jako ukazatele zdrojů podzemní vody. V této oblasti je pohyb litosférických ker takový, že se deska Nazky, která je součástí pacifické desky, posouvá pod jihoamerickou, čímž dochází k vyzdvižení pohoří And. Z družicových měření pomocí laserových dálkoměrů je zřejmé, že kolize litosférických bloků probíhá v této oblasti přibližně 7 centimetrů za rok v horizontálním směru, čím vznikají v horách geologické zlomy. Ty vedou vodu do nižších partií, kde se nachází vrstvy s vyšší porozitou a vody se v nich zadržují. Podle Johnsonovy hypotézy lze linie a paprskovitá centra chápat jako navigační síť, která mohla být využitelná například při cestách za obchodem, nemůžeme však vyloučit ani funkci rituální (Klokočník, Vítek, 2002).

Přesný účel ale zřejmě jednou teorií vysvětlit nelze. Je tedy pravděpodobné, že byly geoglyfy konstruovány pro širší využití. Sloužily tedy jako kalendář, ukazatele zdrojů podzemních vod, cesty nebo jako místa pro uctívání Bohů.

5.2 Přírodní podmínky

Přímořská oblast západního pobřeží Jižní Ameriky od Ekvádoru až po Patagonii je velmi suchá, najdeme zde relativně úzké pouštní oblasti, za kterými se zvedají příkré svahy pohoří And. Tento charakter krajiny je podmíněn zejména studeným Humboldtovým proudem, který je součástí ohromného proudového koloběhu jižního Pacifiku v anticyklonálním směru. Toto proudění přináší studený vzduch, který je nasáván nad pobřeží, kde se silně ohřívá, expanduje, stoupá vzhůru a vysušuje celou oblast. Poté narazí na hradbu And a vrací se zpět nad oceán, odkud se celý cyklus opakuje. Díky těmto klimatickým podmínkám se geoglyfy, které se na plošině Nazca nacházejí, udržely po tak dlouhou dobu. Bohužel časem dochází k jejich destrukci, a to jak vlivem člověka tak i vlivem přírodních podmínek (Pavelka, 2004).

Z hlediska přírody přináší problémy fenomén El Niño, který přichází v nepravidelných třech až sedmiletých intervalech obvykle v období kolem Vánoc. Právě proto, že nastává v tomto období, dostal od Peruánských rybářů název El Niño Jesus - v překladu Jezulátko. El Niño je klimatický jev, který vzniká ve východním Tichém oceánu a narušuje obvyklý vývoj počasí. Nepůsobí ovšem izolovaně, ale ve složitém propojení s dalším klimatickým jevem, označovaným jako Jižní oscilace (Southern Oscillation). Dnes jsou tyto poruchy souhrnně nazývány ENSO (El Niño Southern Oscillation) nebo se používá pouze název El Niño, ikdyž správné je souhrnné označení ENSO. El Niño je spíše spojováno s anomálními jevy v oceánu, kdy dochází k oteplení a snižování salinity vod podél pobřeží Jižní Ameriky. To má vliv především na zdejší organický svět - odumírá plankton, ryby a následně i vodní ptactvo. Jižní oscilace je spjata především s jevy v atmosféře. Její hlavní podstatou jsou rozdíly v atmosférickém tlaku přibližně nad oblastí Jižní Ameriky a Austrálie. Je-li rozdíl tlaku veliký, pak směrem od Jižní Ameriky vanou silné větry, které v podobě monzunu přinášejí vláhu do jihovýchodní Asie, Indie a k východnímu pobřeží Afriky. Pokud je rozdíl tlaku malý, pak větry ztrácejí sílu a srážky buď vyprší nad mořem nebo spadnou právě na pouštní oblasti And, kde způsobují záplavy, sesuvy půd a jejich odnos do moře (Janský, 1992; www.nationalgeographic.com).

První doložená zmínka o těchto klimatických projevech pochází z roku 1525 právě z oblasti Peru, ale s největší pravděpodobností jej znali i dávní Inkové. Stavěli svá města především v horách a to je jeden z důvodů, proč se jejich obydlí dochovala dodnes. Poslední nejničivější

následky byly zaznamenány v letech 1982 – 1983, 1997 – 1998 a 2002 - 2003, kdy pod náporem lijáků roztekly v Peru a Ekvádoru celé hory, laviny bahna a kamení vymazaly z map osady, vesnice, silnice i železniční tratě a zahynuly stovky lidí (<http://www.maturita.cz>).

5.3 Působení lidské činnosti

Na plošině Nazca jsou viditelná i poškození vlivem činnosti člověka. Jedná se hlavně o mechanická poškození automobily (obr. č. 5.4a, 5.4b) a neukázněnými turisty. Několik obrazců bylo poničeno stavbou Panamerické dálnice, neboť v době, kdy byla stavěna, se toho ještě o obrazcích mnoho nevědělo a příliš chráněné nebyly. Díky neúnavné vědecké práci Dr. Marie Raiche bylo toto území roku 1994 zapsáno do seznamu kulturního dědictví UNESCO a prakticky 30 let je nepřístupné. Za porušení zákazu hrozí až 5 let vězení. Při získání povolení ke vstupu mezi geoglyfy, o které žádají vědecké expedice, se lze po rozlehlé poušti pohybovat pouze pěšky v liniích obrazců v obuvi bez vzorované podrážky, neboť každá stopa v poušti je patrná po mnoho let. Pro běžné turisty je ve městě Nazca k dispozici letiště, odkud se vypravují vyhlídkové lety nad planinu. Kdo se chce s obrazci seznámit z menší vzdálenosti, může využít vyhlídkovou věž na odpočívadle u Panamerické dálnice. Stojí právě v místě, kde dálnice necitelně protíná obrazec ještěrky a kde jsou poblíž ještě obrazce strom a ruce. Z výšky 13-ti metrů nad okolním terénem si tak může prohlédnout tyto tři geoglyfy z celkem bezprostřední blízkosti (Pavelka, 2004; <http://www.rozhlas.cz>).

Obr. č. 5.4a: Poškození geoglyfů – opice



Zdroj: autor

Obr. č. 5.4b: Poškození geoglyfů – pes



Zdroj: autor

Ačkoliv jsou geoglyfy na plošině Nazca nejpopulárnější, jsou tyto obrace známy po celém pobřeží Tichého oceánu v Peru, přičemž nejvíce se jich nachází v centrální části pacifického pobřeží. Z And tečou k oceánu krátké řeky, jejichž údolí jsou oázami pro zdejší obyvatele. Proto se i většina archeologických nalezišť nachází poblíž těchto údolí. Příkladem může být i nedaleká Palpa, kde se geoglyfy nachází na plošinách Sacramento a San Ignacio. Ve světě se

vyskytují ještě v Chile, Ekvádoru, Bolívii, ale také v USA, Egyptě a Maltě (<http://www.incalink.com>).

KAPITOLA 6

Přehled výzkumných prací v oblasti Nazca – Palpa

Aby se lépe porozumělo významu a funkci geoglyfů, bylo třeba je zaznamenat a zmapovat. S postupem doby se v tomto směru výzkumu začaly uplatňovat nové metody a technologie, které tyto práce usnadnily a zároveň umožnily a zjednodušily jejich využití pro další zpracování a analýzy.

6.1 Předešlé výzkumy

Je několik důvodů, které vysvětlují nedostatek adekvátních map zobrazujících geoglyfy okolí Nazky. Především rozsáhlost a nedostupnost území, na kterém se nacházejí, by na zmapování tradičními způsoby vyžadovaly velké investice a obrovské množství práce, než by se dospělo k výsledku. Proto se pro tyto potřeby začalo využívat výhod leteckého snímkování.

Od čtyřicátých let minulého století bylo Národní vojenskou službou pro letecké snímkování (*SAN; Servicio Aerofotográfico Nacional*) v Limě pořízeno několik souborů leteckých fotografií rozdílných měřítek. Oblastí zájmu bylo zejména zemědělsky využívané údolí Nazky se zavlažovacími kanály, přičemž byly zachyceny i některé geoglyfy v jejich blízkosti. Speciálně bylo také nasnímkováno několik archeologicky zajímavých míst na severním okraji pampy. Tyto snímky byly pak využity například badatelkou Marií Reiche k zjišťování údajů o lokalizaci geoglyfů v poli a k sestavení náčrtu map. Mapovací práce pak probíhaly již na Zemi, kdy byly v mnoha případech zmapovány pouze nejdůležitější obrazce (Lambers, 2006; Grün, Lambers, 2001).

První, kdo se pokusil o dokumentaci planiny pomocí fotogrammetrie, byl v roce 1968 již v předešlých kapitolách zmíněný Gerald Hawkins. Ve spolupráci s Národní vojenskou službou pro letecké snímkování (*SAN; Servicio Aerofotográfico Nacional*) pořídil metodou stereofotogrammetrie sérii 30-ti leteckých snímků. Jeho úsilí však mělo několik nedostatků, a proto byly výsledné mapy nekvalitní. Měřítko snímků nebylo příliš podrobné a mapování bylo prováděno bez archeologických expertíz. Další pokus o využití výhod leteckého snímkování se

uskutečnil v roce 1984, kdy byla snímkována jižní část planiny. Snímky byly pořízeny v přibližném měřítku 1: 24 000, ale pro nedostatečný překryt nebyly vhodné pro zpracování metodou stereofotogrammetrie (Grün, Lambers, 2001).

6.2 V současnosti řešené projekty

Současným výzkumem planiny Nazca a jejího okolí se zabývají projekty, na nichž se podílí řada odborníků ze světových univerzit a institucí. Mezi nejvýznamnější projekty patří projekt Nazca, který navazuje na práci badatelky Marie Reiche, a projekt Nazca/Palpa, jenž zabývá především měřeními a výzkumem petroglyfů a geoglyfů v okolí města Palpa ležícího přibližně 40 kilometrů severně od plošiny Nazca.

6.2.1 Projekt Nazca

Projekt Nazca je mezinárodním výzkumným projektem založeným v roce 1995 německou Vysokou školou technickou v Drážďanech a je veden Prof. Dr. Berndem Teichertem. Hlavním cílem tohoto projektu je vytvořit GIS, pro jehož fungování je důležité získat vhodná data.

Nejlepším řešením pro sběr dat s odpovídající přesností pro území rozsahu planiny Nazca byla zvolena metoda fotogrammetrie doplněná pozemním měřením. Letecké snímky, které byly zpracovány metodou stereofotogrammetrie, byly pořízeny během dvou etap snímkování (tab. č. 6.1), jejichž součástí byla také dokumentace obrazců oblastí Cresta de Sacramento a San Ignacio, na které je zaměřen projekt Nazca/Palpa. V první etapě byla pořízena sada barevných snímků, které však nebyly ideální k identifikaci obrazců. Proto byl o rok později uskutečněn druhý let, kdy byly získány snímky černobílé (Teichert, Richter, 2003; Grün, Bär, Beutner, 2000).

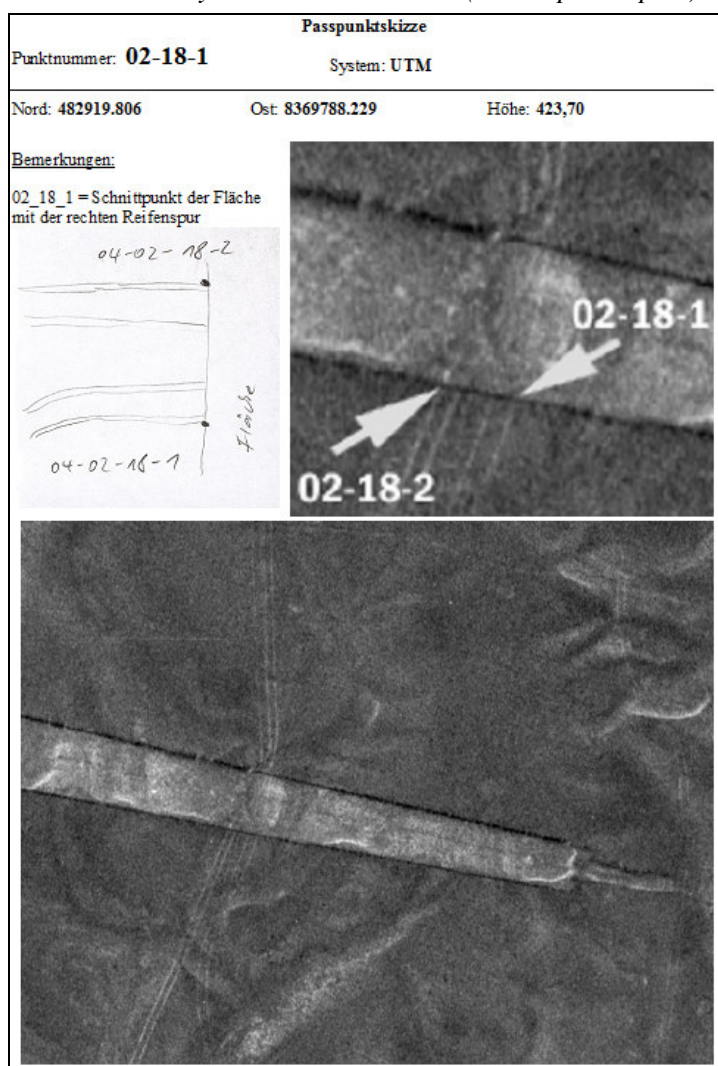
Tab. č. 6.1: Přehled snímkování území

Datum snímkování	Oblast	Počet snímků	Měřítko snímků	Barevné/ černobílé	Počet vlíčovacích bodů
duben/květen 1997	Nazca	309	1:10 000	B	11 uměle signalizovaných
	Cresta de Sacramento	134	1:5 000	B	8 uměle signalizovaných
květen 1998	Nazca	309	1:10 000	CB	0
	Cresta de Sacramento	134	1:5 000	CB	0
	San Ignacio	189	1:5 000	CB	9 přirozeně signalizovaných

Zdroj: Grün, Bär, Beutner, 2000

Aby byl blok na sebe postupně připojených snímků v rámci aerotriangulace umístěn do souřadnicového systému, bylo nutné vybrat a zaměřit potřebný počet vlíčovacích bodů. Tento úkol byl důležitou náplní čtvrté expedice v rámci projektu Nazca, která se uskutečnila v roce 2004. Jejím cílem bylo zejména měření podrobných a vlíčovacích bodů metodou GPS, fotogrammetrická dokumentace vybraných geoglyfů a petroglyfů, astronomická měření a dokumentace dalších archeologických vykopávek vybraných lokalit. Podrobné a vlíčovací body (obr. č. 6.1) potřebné k provedení aerotriangulace bloku leteckých snímků v měřítku 1:10 000 byly zaměřeny totálními stanicemi a metodou GPS. Mimo vlastní měření metodou GPS bylo dalším úkolem pořídit fotogrammetrický materiál v podobě leteckých snímků, které by dokumentovaly vývoj poškození geoglyfů a které jsou předmětem zpracování praktické části této práce. Letecké snímkování se provádělo z letadla Cessna digitální neměřickou kamerou Nikon D100 (<http://www.htw-dresden.de>; Pavelka, 2004).

Obr. č. 6.1: Výběr vlíčovacích bodů (zákres polohopisu)



Zdroj: Pavelka, 2004

Neméně podstatnou částí expedice byla fotogrammetrická dokumentace petroglyfů a dalších archeologických objektů významných nalezišť, jako je například rozlehlý archeologický areál Chan-Chan u města Trujjilo, pyramidové pole Túcume u města Chiclayo nebo starověké sídlo Sechín u města Casma. Získaná data byla zpracována metodou pozemní jednosnímkové a průsekové fotogrammetrie (Lebeda, 2004, Odvody, 2007).

6.2.2 Projekt Nazca/Palpa

Projekt Nazca/Palpa byl zahájen v roce 1997 ve spolupráci Německého archeologického institutu a Švýcarsko-lichtenštejnské nadace pro archeologický výzkum v cizině. Jedná se o interdisciplinární výzkumný projekt, jenž se snaží integrovat nové vědecké metody a technologie do humanitních oborů. (Reindel, Grün, 2006; <http://www.dainst.org>).

Z hlediska fotogrammetrie se projekt zabývá dokumentací geoglyfů v oblastech Cresta de Sacramento a San Ignacio pomocí leteckého snímkování. Zpracování snímků bylo provedeno standardními postupy používanými v letecké fotogrammetrii. Nejprve byla provedena aerotriangulace, kdy k převodu snímkových souřadnic na geodetické bylo využito svazkového vyrovnání (*bundle adjustment*), a poté byl vygenerován digitální model terénu. Automatická generace však poskytovala nedostatečné výsledky a vedla spíše k vytvoření digitálního modelu reliéfu, proto bylo pro tvorbu digitálního modelu terénu využito manuálního měření. Navzdory vysoké kvalitě muselo být mapování pomocí letecké fotogrammetrie revidováno v terénu, neboť bylo mnoho úzkých linií a některé obrazce poškozené erozí těžko rozpoznatelných.

Posledním krokem fotogrammetrického procesu bylo vytvoření prostorového modelu území zahrnující digitální model terénu, ortofoto a vektorovou vrstvu s geoglyfy.

KAPITOLA 7

Metodický postup zpracování dat

Navržený metodický postup zpracování dat pořízených neměřickou digitální kamerou pro archeologické účely se opírá o poznatky získané z odborné literatury. Základem pro stanovení postupu je jednosnímková fotogrammetrie, která ve své podstatě řeší vztah dvou rovin, a proto ji lze použít v letecké fotogrammetrii při dokumentaci rovinných území.

Podle cílů, které byly stanoveny na začátku diplomové práce, bylo nezbytné definovat jednotlivé kroky metodického postupu a následně je aplikovat na konkrétní data.

Postupné kroky metodického zpracování:

1. Získání potřebných dat

Jedná se o pořízení samotných leteckých snímků neměřickou digitální kamerou a dále pak o získání podkladových dat, která jsou již umístěna do souřadnicového systému. Podkladovými daty mohou být například zaměřené vřetovací body se zákresy, vektorové či rastrové mapy nebo družicové snímky.

2. Výběr snímků

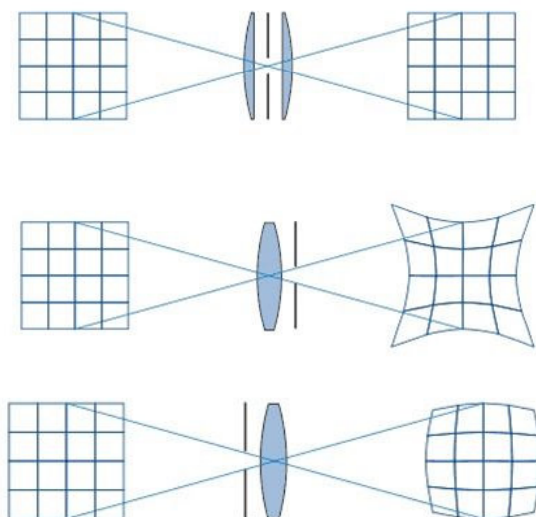
Při výběru snímků vhodných pro další zpracování je třeba dbát několika zásad. Snímky by měly rovnoměrně pokrývat celé území, které je předmětem zájmu archeologického výzkumu. Pro vytvoření souvislého fotoplánu odpovídá jejich překrytí přibližně 20–40 %. Dalším kritériem při výběru snímků je úhel osy záběru kamery při snímkování na objekt – vybrány jsou nejvíce svislé snímky, kdy je osa záběru na objekt téměř kolmá. Odstraněny musí být rozmazané snímky, aby data byla co nejkvalitnější.

3. Odstranění distorze objektivu

Distorze objektivu je vada, která působí na geometrii zobrazení a má tedy vliv na přesnost měření. Zkreslení objektivu má složky radiální a tangenciální. Tangenciální distorze je dána konstrukcí objektivu, především sesazením čoček. Kvalita objektivů bývá velmi vysoká, a proto se často ani tato část neuvažuje. Významné je zkreslení radiální, kdy dochází k posunu bodu na snímku o radiální vzdálenost. Vliv radiální distorze je názorně ukázán na obr. č. 7.1, kdy byly snímkovány svislé a vodorovné čáry. Posun bodu

na snímku může být dvojího typu – u poduškovitého typu zkreslení narůstá od středu snímku k okraji a u soudkovitého naopak.

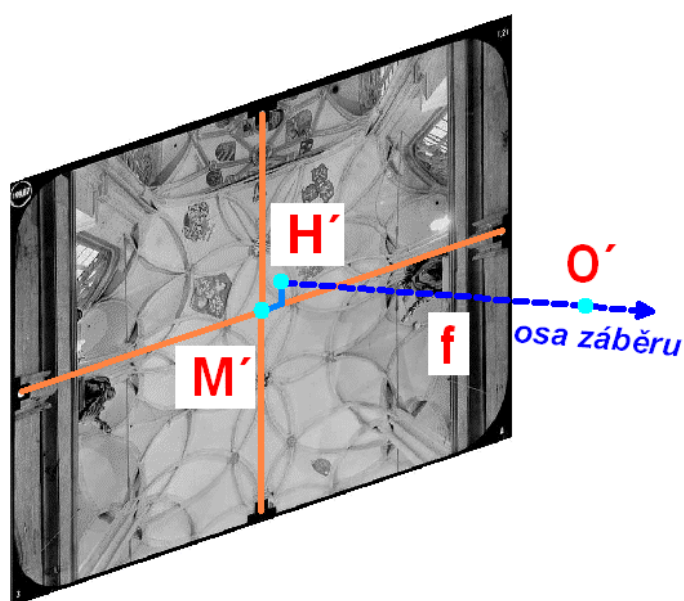
Obr. č. 7.1: Radiální distorze objektivu (nahore – snímek bez zkreslení,
uprostřed – snímek s poduškovitým zkreslením
dole – snímek se soudkovitým zkreslením)



Zdroj: <http://photo.mysteria.cz>

Vliv radiální distorze může u neměřických kamer dosahovat při okrajích snímků mnohdy přes $200\mu\text{m}$, což je velmi podstatné. K odstranění distorze je potřeba znát prvky vnitřní orientace (PVO) (obr. č. 7.2), které získáme pomocí kalibrace kamery. Mezi prvky vnitřní orientace patří konstanta kamery (f), poloha hlavního snímkového bodu (H') a koeficienty popisující průběh distorze ($K1$ a $K2$).

Obr. č. 7.2: Prvky vnitřní orientace



Zdroj: <http://lfgm.fsv.cvut.cz>

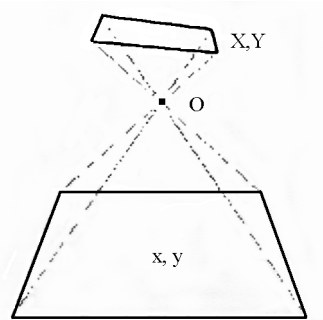
4. Zvýraznění obsahu snímků

Zvýraznění obsahu snímku má pozitivní vliv pro vizuální interpretaci. Zvýrazněním obrazu se zvýší odlišnosti mezi jednotlivými pixely, čímž se zvýší množství informací a s obrazem lze pak dále lépe pracovat. Úprava snímků se realizuje v grafickém programu pomocí dostupných funkcí. Jednotný návod na zvýraznění obrazu snímků neexistuje a záleží proto na možnostech programu a zkušenostech operátora. Zvýraznění lze provádět úpravou kontrastu, jasu, změnou složení barev červené (R), zelené (G), modré (B) nebo aplikací filtrů s vysokou (high pass) propustností, které zdůrazňují výraznější detaily.

5. Překreslení snímků

Jak bylo uvedeno na začátku této kapitoly, pro překreslení leteckých snímků bylo využito metody jednosnímkové fotogrammetrie. Jedná se o vztah mezi dvěma rovinami, z čehož se musí při volbě identických bodů i při vyhodnocení vycházet. Vzhledem k tomu, že při snímkování nejsou rovina snímku a rovina objektu obecně rovnoběžné, jsou souřadnice snímku deformované. Pomocí identických bodů lze transformovat souřadnice všech bodů tak, aby odpovídali záběru kolmému k rovině objektu. Matematickým vyjádřením je kolineární transformace (obr. č. 7.3), kdy je obraz bodu pomocí středového promítání zobrazen z jedné roviny do druhé.

Obr. č. 7.3: Kolineární transformace



Zdroj: Hanzl, Sukup, 2001

Pro její řešení mají rovnice tento tvar (Pavelka, Hodač, 2008):

$$X = \frac{a_1 x' + a_2 y' + a_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1},$$

$$Y = \frac{b_1 x' + b_2 y' + b_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1},$$

kde x', y' jsou souřadnice na snímku a X, Y jsou souřadnice ve výsledné soustavě (geodetické souřadnice). Pro výpočet 8 neznámých parametrů (a_i, b_i, c_i) je zapotřebí

nejméně 4 identických bodů v obou soustavách. Při zadání minimálního počtu identických bodů však vychází nulové odchylky, proto je pro kontrolu vhodné zvolit identických bodů více. Velikost odchylky bodů od roviny se odvodí předem z požadované výsledné přesnosti fotoplánu. Při výběru identických bodů je nutné rozmístit je pokud možno rovnoměrně po snímku, přičemž musí ležet v základní rovině objektu, nesmí být zastíněné jiným objektem nebo nesmí být umístěné u nestálého objektu (např. jedoucí auto). Pro překreslení snímků je zapotřebí použít program, jehož funkce umožňují projektní transformaci.

6. Maskování snímků

Před vytvořením výsledného fotoplánu je nutné provést maskování jednotlivých snímků takovým způsobem, aby styk dvou či více rastrů nebyl patrný. Proto linie mezi navazujícími rastry musí být vedena tak, aby se co nejvíce eliminoval vznik výrazných hran. Je vhodné navrhnout linii podél komunikace, vodního toku, hranice pozemku apod.

7. Mozaikování snímků

Při mozaikování snímků dojde ke spojení dvou či více snímků do výsledného fotoplánu. Pokud je mezi snímky barevný nesoulad je možné barvy před spojením automaticky vyrovnat.

8. Úprava fotoplánu

Při skládání jednotlivých snímků se mohou vyskytnout nepřesnosti, které je zapotřebí odstranit. Jedná se zejména o výskyt hran způsobených maskováním, barevnou odlišnost či geometrické nesoulady na spojích.

KAPITOLA 8

Zpracování dat

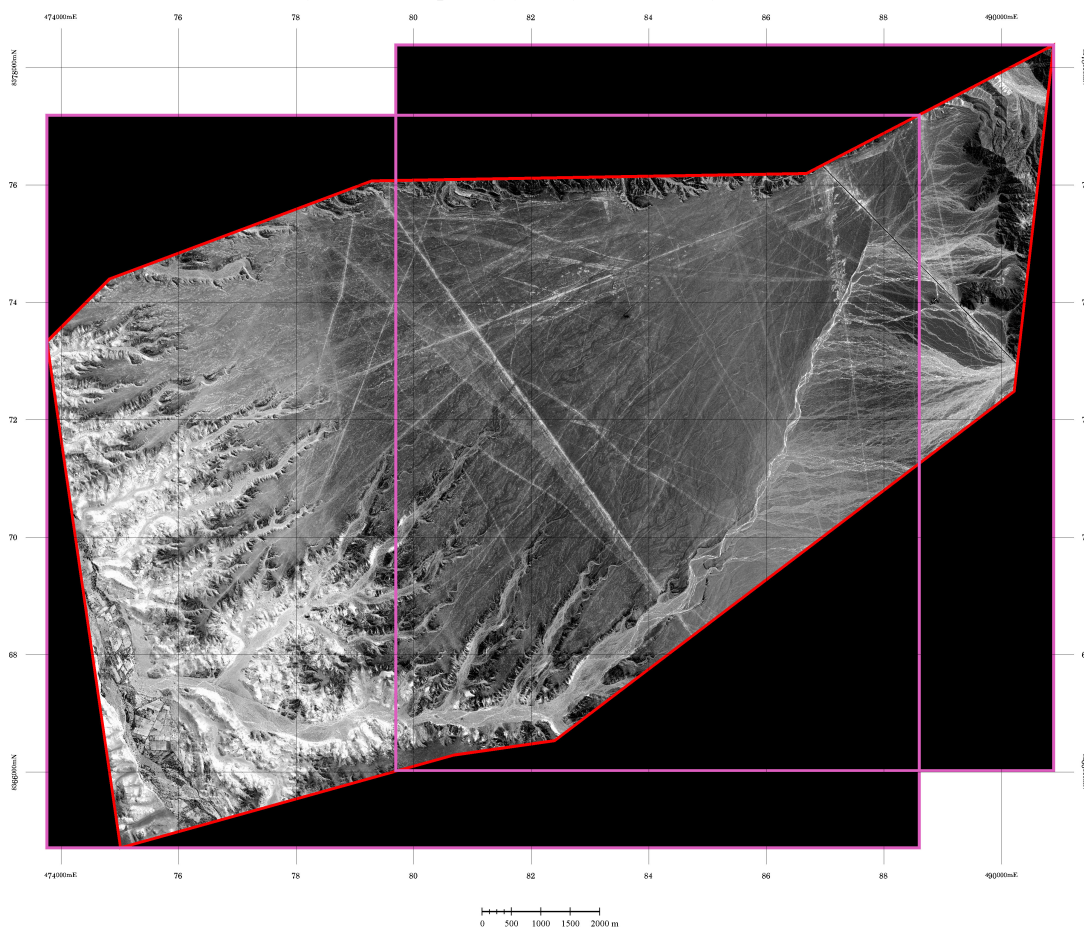
V rámci mezinárodního výzkumného projektu Nazca bylo pořízeno digitální neměřickou kamerou přibližně 250 snímků známé planiny. Snímkování bylo provedeno „z ruky“ během čtvrté expedice projektu v roce 2004 českou i německou částí výpravy. Ke zpracování těchto snímků bylo využito metodického postupu, jehož jednotlivé kroky jsou uvedeny v kapitole 7. Realizace byla provedena v programech Adobe Photoshop 10.0.1., Topol xT 7.0 Rastrový a Distortion PM.

8.1 Získání potřebných dat

Potřebná data poskytla Katedra mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT v Praze. Jedná se o již zmíněné letecké snímky, dále o satelitní snímky, naskenované mapy, vlíčovací a podrobné body a vektorové vrstvy.

Satelitní snímky z družice QuickBird mají rozlišení 0,6 metrů v panchromatickém pásmu a 2,44 metrů v multispektrálním pásmu. Snímky byly dodané v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM Zone 18S v 16-bitovém datovém formátu TIFF a pokrývají území nepravidelného tvaru, jehož hranice jsou určeny výřezem (obr. č. 8.1).

Obr. č. 8.1: Výřez území pokrytý daty z družicových snímků QuickBird



Zdroj: autor

Soubor naskenovaných map obsahoval mapu LÍNEAS Y GEOGLIFOS DE NASCA v měřítku 1:10 000, mapu PALPA v měřítku 1:100 000 a mapu NAZCA v měřítku 1:100 000. Jejich prostorové vymezení uvádí tab. č. 8.1 (souřadnice jsou uvedené v souřadnicovém systému PSAD UTM 1956 zone 18S).

Tab. č. 8.1: Souřadnice rohů mapového pole naskenovaných map

roh	LÍNEAS Y GEOGLIFOS DE NASCA		PALPA		NAZCA	
	N [m]	E [m]	N [m]	E [m]	N [m]	E [m]
SZ	483 000	8 379 000	446 000	8 397 000	500 364	8 397 224
SV	490 000	8 379 000	500 000	8 397 000	554 364	8 397 224
JV	490 000	8 373 000	500 000	8 342 000	554 364	8 342 224
JZ	483 000	8 373 000	446 000	8 342 000	500 364	8 342 224

Zdroj: autor

Vlčovací a podrobné body byly zaměřeny totálními stanicemi a metodou GPS. Jejich souřadnice byly uloženy v souřadnicovém systému PSAD UTM 1956 zone 18S. Celkový počet

všech bodů byl 2114, ovšem využít k dalšímu zpracování bylo možné pouze 49 bodů, ke kterým byly vyhotoveny místopisy.

Vektorové vrstvy byly dodány v souřadnicovém systému PSAD 1956 zone 18S v datovém formátu DWG obsahující trojrozměrné informace o zájmovém území. Data zahrnovala vrstvy vodních toků, komunikací, zástavby, vrstevnic a vrstvu s liniemi vybraných geoglyfů. Jelikož byla data zpracovávána v programu Topol xT 7.0 Rastrový, bylo nutné tato data převést z 3D formátu do 2D, se kterým bylo již možné pracovat. Data byla uložena do formátu SHP, který Topol bez problémů načítá.

8.2 Výběr snímků

Datový soubor zahrnoval přibližně 250 leteckých snímků. Snímkování bylo provedeno digitálními neměřickými kamerami Nikon D100, Canon EOS 300D, Konica KD-400 a Fujifilm E550.

Při výběru snímků vhodných pro další zpracování byly nejprve odstraněny snímky, které nezasahovaly do oblasti planiny Nazca. Dalším velmi důležitým kritériem výběru byl úhel osy záběru kamery vzhledem k rovině snímkování. Soubor obsahoval velké množství snímků, jejichž úhel osy záběru byl při snímkování příliš šikmý a snímky tak nebylo možné použít. Poslední zásadou při výběru byla kvalita záznamu obrazu. Nejlepší výsledky byly dosaženy kamerou Nikon D100, proto byl soubor snímků pořízený touto kamerou určen jako základní. Snímky pořízené kamerami Canon EOS 300D, Konica KD-400Z a Fujifilm E550 posloužily jako doplňující a byly z nich použity především snímky zobrazující geoglyfy na planině Nazca, které se kamerou Nikon D100 nepodařilo zachytit.

Celkem bylo k dalšímu zpracování vybráno 55 snímků – 52 snímků bylo pořízeno kamerou Nikon D100, 2 snímky kamerou Fujifilm E550 a 1 snímek kamerou Canon EOS 300D.

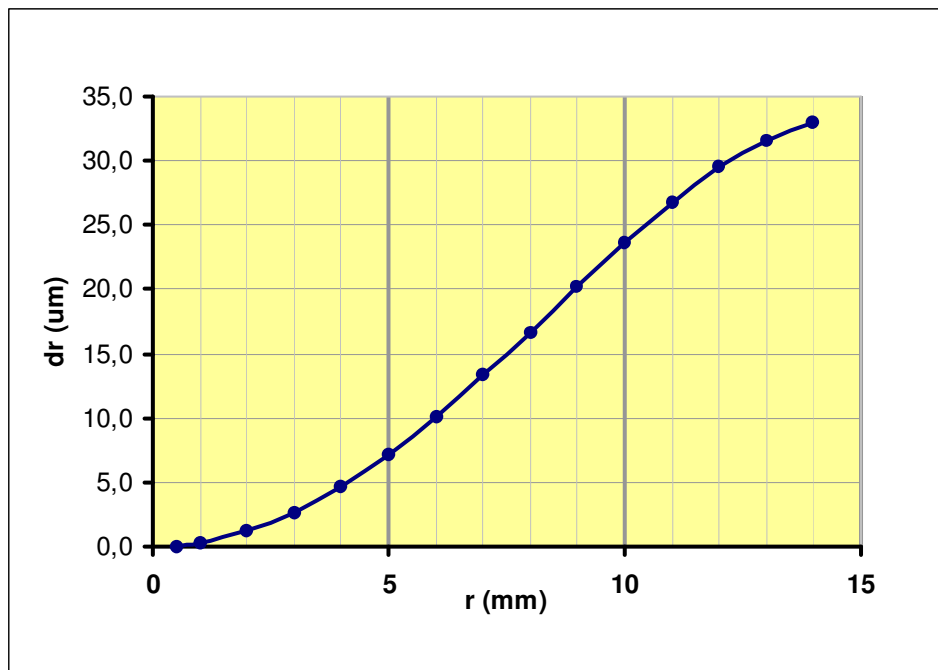
8.3 Odstranění radiální distorze objektivu

K odstranění radiální distorze objektivu byl použit program Distortion PM. Vstupními parametry, které musí být pro výpočet zadány, jsou zejména PVO. Tyto údaje se určují kalibrací kamery pro každou ohniskovou vzdálenost.

Snímky z digitální kamery Nikon D100 byly pořízené s nastavením ohniskové vzdálenosti objektivu na 17mm a 35mm se zaostřením na nekonečno. Pro tato nastavení byla provedena

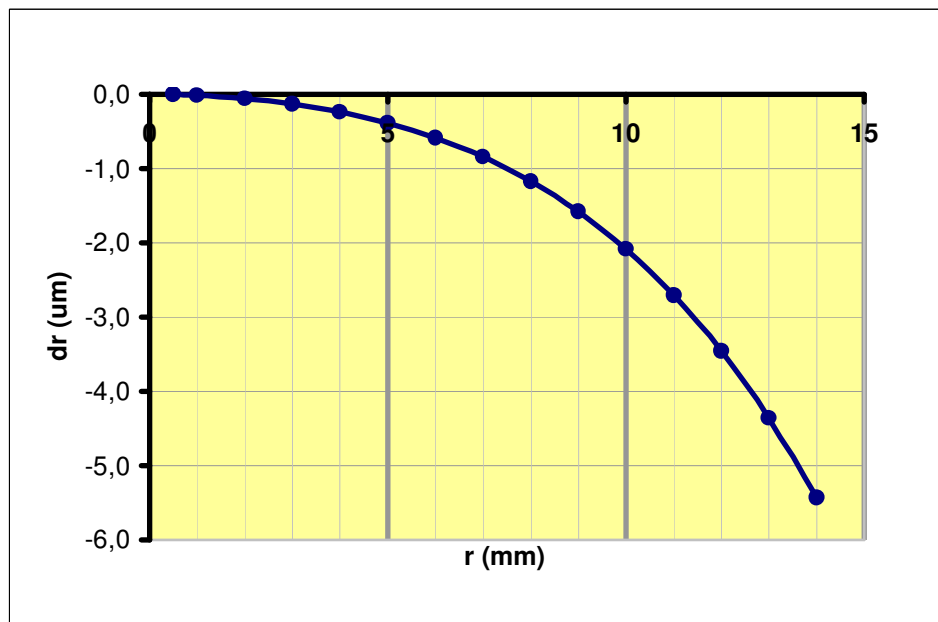
kalibrace kamery a její výsledky použity. Průběh radiální distorze je znázorněn na grafu č. 8.1 a grafu č. 8.2.

Graf č. 8.1: Průběh radiální distorze objektivu kamery Nikon D100 – $f = 17\text{mm}$



Zdroj: protokol o kalibraci kamery

Graf č. 8.2: Průběh radiální distorze objektivu kamery Nikon D100 – $f = 35\text{mm}$



Zdroj: protokol o kalibraci kamery

Nejprve byly do programu Distortion PM načteny snímky vždy se stejnou ohniskovou vzdáleností a nastaveny příslušné parametry získané z kalibračního protokolu kamery. Pro uložení výsledných snímků je možné zvolit ze dvou datových formátů – BMP a JPEG. Protože

u formátu JPEG byl nastaven značný stupeň komprimace dat, byly snímky s odstraněnou distorzí uloženy do formátu BMP.

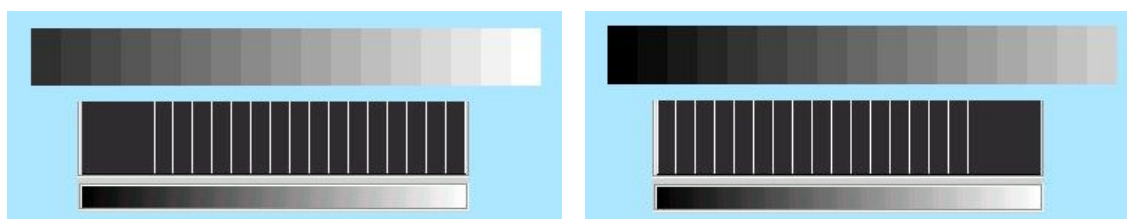
8.4 Zvýraznění obsahu snímků

Pro lepší vizuální interpretaci bylo nutné obsah leteckých snímků planiny Nazca zvýraznit. K těmto úpravám byl použit program Adobe Photoshop 10.0.1. nabízející široké možnosti využití při editaci obrazu. Na snímky, které byly pořízeny kamerou Nikon D100, bylo možné nejprve aplikovat jednotný postup a poté je individuálně doeditovat. Vytvořením jednotného postupu a jeho následným zaznamenáním funkcí *Batch*, je možné určitý sled úprav aplikovat současně na libovolné množství snímků. Tento postup lze vyvolat příkazem *Action*, přičemž mohou být některé kroky úprav vynechány či doplněny.

Hlavními příkazy, které byly při navržení jednotného postupu i při následném individuálním doupřavení snímků použity, byly především *Brightness/Contrast*, *Levels*, *Photo Filter*, filtr pro detekci hran – *Find Edges* a příkaz pro zostření obrazu *Smart Sharpen*.

Příkaz *Brightness/Contrast* (*jas/kontrast*) umožňuje provádět jednoduché úpravy tónového rozsahu obrazu. Při úpravách leteckých snímků planiny Nazca bylo nutné obraz zesvětlit a přidat kontrast, čímž se zvýraznily detaily a vynikly kresby. V případě úpravy jasu dochází k posunu hodnot šedé škály o zadanou hodnotu (obr. č. 8.2) – tzn. ke každé hodnotě škály se přičte nebo odečte nastavená hodnota, a protože nelze překročit hodnoty 0 a 255, tak se barvy „slejí“ do jedné.

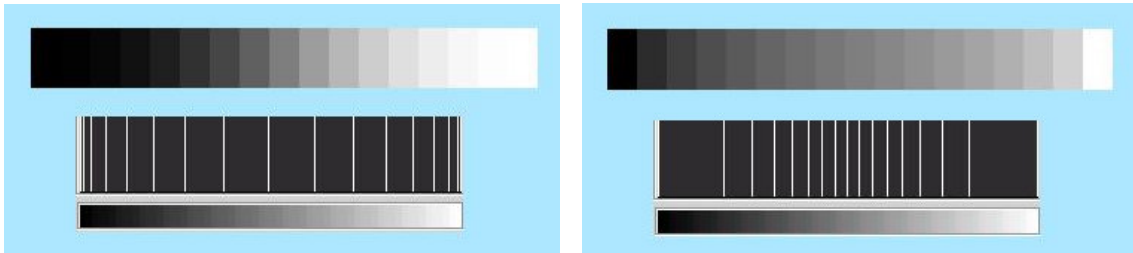
Obr. č. 8.2: Šedá škála s histogramy po aplikaci funkce Brightness (vlevo zvýšení jasu, vpravo snížení jasu)



Zdroj: <http://www.digimanie.cz>

Při změně kontrastu obrazu dochází k omezení či roztažení šedé škály (obr. č. 8.3). Zvyšováním kontrastu v obraze se slévají bílé a černé tóny a ztrácí se informace o šedých odstínech, při snižování kontrastu se barvy slévají do střední šedé, což vede ke ztrátě všech detailů jak ve světlech, tak i ve stínech.

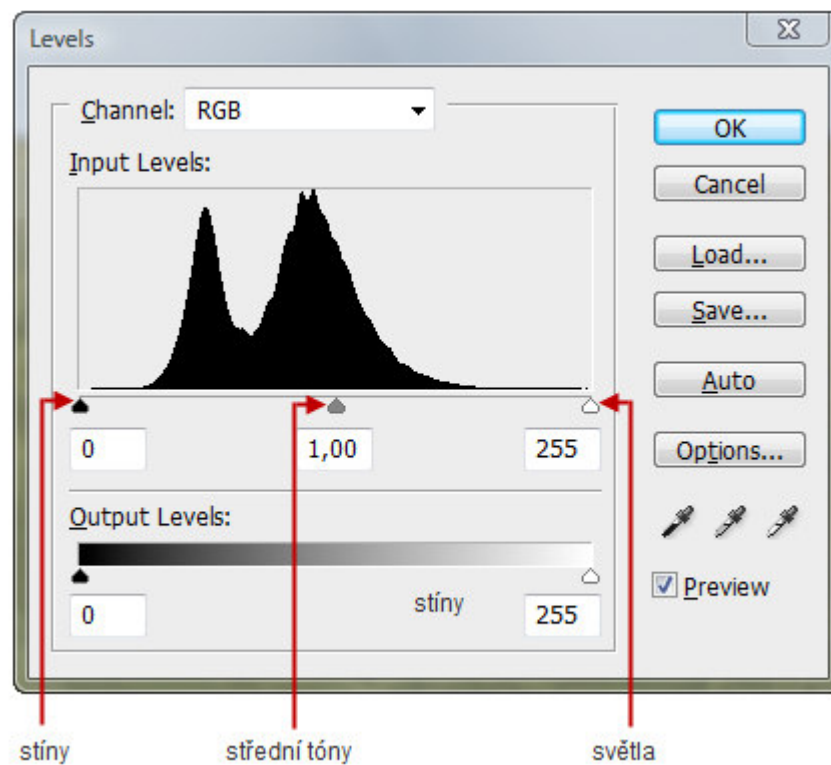
Obr. č. 8.3: Šedá škála s histogramy po aplikaci funkce Contrast (vlevo – zvýšení kontrastu, vpravo – snížení kontrastu)



Zdroj: <http://www.digimanie.cz>

Příkaz *Levels* (úrovně) umožňuje vyvážení barev nastavením úrovně síly obrazových bodů pro jednotlivé barevné kanály. K vytvoření barevně vyváženého obrazu přispívá zobrazení histogramu (obr. č. 8.4), který ukazuje, zda obraz obsahuje dostatek detailu ve stínech (v levé části histogramu), středních tónech (uprostřed) a ve světlech (vpravo).

Obr. č. 8.4: Zobrazení histogramu příkazem Levels



Zdroj: autor

Příkaz *Photo Filter* (fotografický filtr) napodobuje techniku vložení barevného filtru před objektiv kamery, aby se upravilo vyvážení barev a barevná teplota světla, která objektivem prochází. Protože měly letecké snímky šedý nádech, byl aplikován fotografický filtr - *yellow*, který simuluje žluté zbarvení povrchu planiny.

Filtr *Find Edges* (*hledat obrisy*) lokalizuje v obraze oblasti s výraznými změnami barev a zvýrazní hrany, které nahradí drobným černým rýsováním na bílém pozadí. Aby byly zachovány barvy a detaily obrazu, bylo potřeba efekt tohoto filtru zeslabit pomocí změny krytí a vhodným výběrem režimu prolnutí. Použitím tohoto filtru došlo na snímcích k většímu vyniknutí kreseb geoglyfů, což bylo podstatné pro další zpracování.

Filtr *Smart Sharpen* (*chytré zостření*) zостřuje rozmazané obrazy zvýšením kontrastu sousedních obrazových bodů. Konečné zостření obrazu je výsledkem vhodného nastavení jednotlivých parametrů – *amount* (*míra zостření*) stanoví množství kontrastu, *radius* (*poloměr*) určí počet pixelů z obrisu pro zостření a *remove* (*odstranit*) udává algoritmus, který se má k zостření obrazu použít. Při zpracování dat leteckého snímkování bylo nejlepšího výstupu dosaženo použitím algoritmu Gaussovského rozostření, který zjemní obrysové linky a zachová celkovou hladkost obrazu.

V programu Adobe Photoshop 10.0.1. byly rovněž upraveny i satelitní snímky z družice QuickBird. Pro další zpracování musely být snímky nejprve převedeny z 16-bitového datového formátu do 8-bitového. Poté byl jejich obraz zvýrazněn pomocí příkazu *Auto Levels* (*úrovně automaticky*), kterým je možné změnit rozložení hodnot jasu v obrazových bodech snímku tak, aby rovnoměrněji reprezentovaly celý rozsah úrovní jasu. Princip spočívá v tom, že jsou v obraze nalezeny nejsvětlejší a nejtmaší hodnoty, které jsou přeraženy tak, že nejjasnější hodnota reprezentuje barvu bílou a nejtmaší hodnota barvu černou. Mezilehlé hodnoty obrazových bodů jsou pak lineárně rozděleny po celé stupnici šedi.

Satelitní data družice QuickBird jsou pořizována současně ve dvou režimech – multispektrálním a panchromatickém, přičemž prostorové rozlišení panchromatických dat je 4x vyšší než u dat multispektrálních. Protože prvotně byla družicová data určena jako podkladová, byla jejich úprava pomocí programu Adobe Photoshop 10.0.1. provedena pouze na snímcích pořizovaných v panchromatickém pásmu. Druhotný účel jejich využití k prezentaci však vyžadoval zpracování dat z obou režimů snímání. Pomocí funkce *pan-sharpening* byla zkombinována panchromatická data a multispektrální data tak, že vznikl multispektrální obraz s rozlišením, které odpovídá původnímu rozlišení dat panchromatických. Tento typ zpracování družicových dat byl proveden v programu PCI Geomatica V9.1.

8.5 Překreslení snímků

Před samotným překreslením a transformací snímků bylo nejprve potřeba připravit podkladová data. Protože se jednalo o data s úplně odlišným původem, bylo nutné je utřídit a sjednotit. Základním souřadnicovým systémem, do kterého byla všechna data transformována,

byl zvolen PSAD UTM 1956 zone 18S. V tomto systému byly k dispozici vektorové vrstvy a vlíčovací body, pomocí kterých bylo možné transformovat družicové snímky a mapy. Všechny transformace byly realizovány v programu Topol xT 7.0 Rastrový, neboť jeho funkce pro práci s rastry umožňují kolineární transformaci.

Originální snímek či mapu lze transformovat pomocí již souřadnicově připojeného rastru, vektorové vrstvy nebo souřadnic vlíčovacích bodů. V prostředí programu Topol xT 7.0 Rastrový je vhodné si před snímáním identických bodů zobrazit dvě mapová okna – do jednoho se umístí originální rastrový obrázek (zdrojová soustava) a do druhého souřadnicově připojená data (cílová soustava). Poté se pomocí funkce *transformace rastru* aktivuje sběr identických bodů.

Družicové snímky byly transformovány pomocí souřadnic vlíčovacích bodů. Při sběru identických bodů tak bylo třeba zadávat pouze body zdrojové soustavy, které byly vyhledávány na základě údajů ze zákresů s jejich polohopisem. Po sejmutí dostatečného počtu bodů byl prostřednictvím kolineární transformace vypočítán transformační klíč a souřadnicové odchylky na identických bodech. Tyto informace byly zaznamenány do transformační tabulky (obr. č. 8.5) a uloženy do souboru TRT. Výsledná požadovaná přesnost transformace byla odvozena z rozlišení vstupních dat a stanovena na hodnotu 1-2 pixely. Pokud na některém z identických bodů byla souřadnicová odchylka výrazně vyšší než byla stanovená mez, byl tento bod z výpočtu transformačního klíče vyloučen.

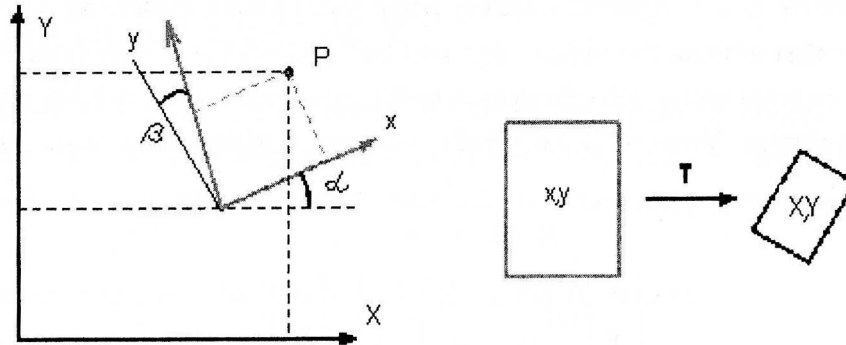
Obr. č. 8.5: Transformační tabulka pro vybraný družicový snímek

Použit	Jméno	Váha	Cíl. vodorovně	Cíl. svisle	Zdroj. vodorovně	Zdroj. svisle	Odch. vodorovně	Odch. svisle
☛	402181	1,0000	-482919,0362	-8369787, ...	13659,5182	14949,49...	0,2079	-0,4994
☛	402182	1,0000	-482915,6222	-8369791, ...	13665,4900	14941,43...	0,3761	-0,6558
☛	402212	1,0000	-480513,6308	-8372057, ...	17668,4633	11167,38...	0,0066	0,3779
☛	405201	1,0000	-484090,8787	-8371765, ...	11708,5459	11653,37...	-0,4066	0,0419
☛	405202	1,0000	-484040,8006	-8371733, ...	11792,4597	11706,44...	-0,0817	0,2760
☛	405211	1,0000	-483187,4118	-8371969, ...	13214,8405	11313,37...	0,3824	0,4853
☛	405241	1,0000	-481746,9226	-8374433, ...	15615,2422	7205,4248	-0,3845	-0,8011
☛	405242	1,0000	-482008,6219	-8374320, ...	15180,1590	7394,5741	0,1795	-0,3017
☛	408242	1,0000	-487512,3435	-8372807, ...	6012,5213	9921,4732	0,0000	0,0000
☛	408261	1,0000	-486800,7310	-8373903, ...	7197,5458	8090,3835	-0,9357	0,0321
☛	408262	1,0000	-486826,1808	-8373896, ...	7155,9505	8102,3493	-0,4647	0,3511
☛	408291	1,0000	-484189,3490	-8376085, ...	11549,6008	4455,2315	0,0091	0,1251
☛	408292	1,0000	-484657,4847	-8376103, ...	10770,1282	4425,2824	0,0372	0,5812
☛	408311	1,0000	-483588,5759	-8376055, ...	12549,9981	4504,0094	-0,0125	0,0588
☛	408312	1,0000	-483441,4665	-8375983, ...	12795,5079	4625,5672	0,3422	0,2799
☛	411321	1,0000	-489081,0635	-8374658, ...	3405,6197	6832,0460	0,9679	-0,1766
☛	411341	1,0000	-487981,5836	-8375955, ...	5401,7398	4671,8903	-0,2650	-0,1233
☛	413081	1,0000	-489052,4241	-8377387, ...	3454,8496	2284,5314	-0,1807	-1,0240
☛	413082	1,0000	-489023,7961	-8377378, ...	3503,3965	2302,3048	0,3688	0,5076
☛	4111	1,0000	-489984,1006	-8373500, ...	1928,5075	8758,4718	0,0000	0,0000
☛	4112	1,0000	-489674,1312	-8373909, ...	2423,4938	8077,4331	0,0000	0,0000
☛	4121	1,0000	-485463,9596	-8369602, ...	9420,1945	15257,32...	-0,0067	0,0824
☛	4122	1,0000	-485593,4185	-8369752, ...	9204,5415	15007,38...	-0,1396	0,3827
☛	41221	1,0000	-485634,1293	-8369758, ...	9133,4335	14997,57...	0,0000	0,0000

Zdroj: autor

Transformace skenovaných map byly provedeny pomocí rovinné afinní transformace podle souřadnic rohů mapového pole nebo podle vektorové vrstvy. Vlivem rovinné afinní transformace (obr. č. 8.6) systém provede posunutí, otočení, deformaci úhlu mezi souřadnicovými osami a dvěma měřítkovými faktory.

Obr. č. 8.6: Rovinná afinní transformace



Zdroj: Švec, Hánek, 1999

Pro její řešení mají rovnice tento tvar (Pavelka, 2003a):

$$X = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y,$$

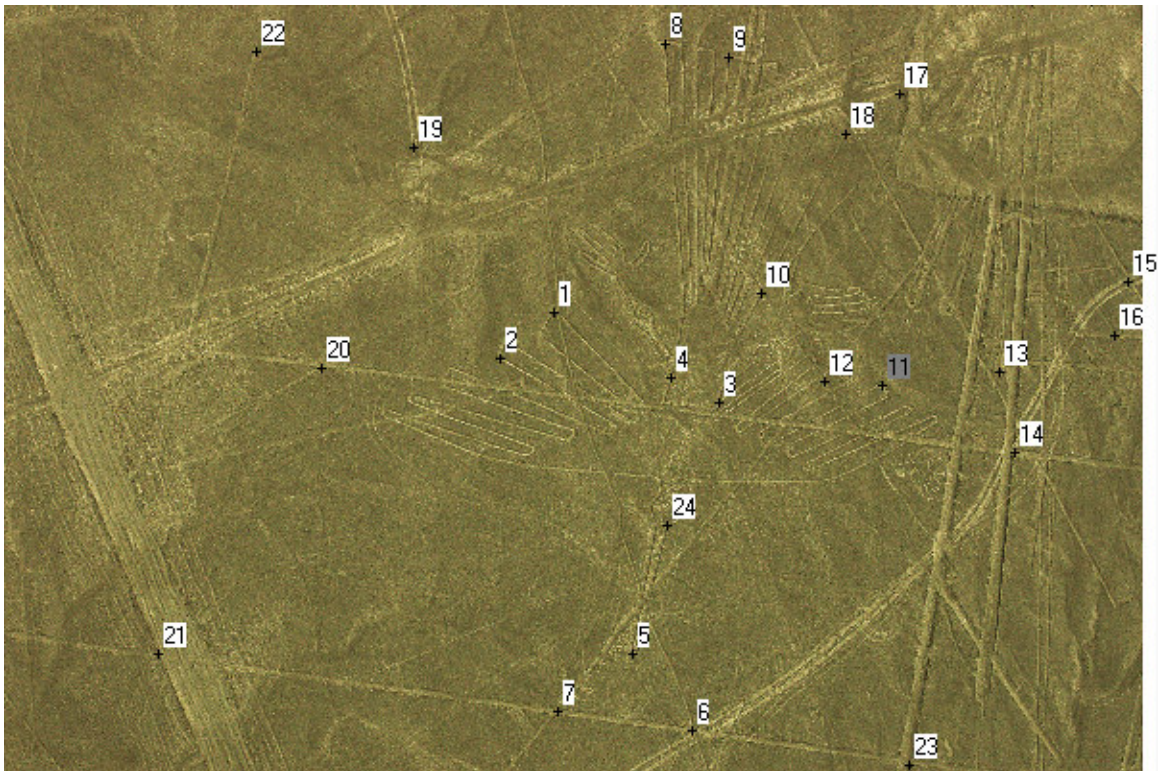
$$Y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y,$$

kde X, Y jsou souřadnice bodu v cílové soustavě a x, y ve zdrojové soustavě. Pro určení šesti neznámých koeficientů (a_i, b_i) je třeba znát souřadnice minimálně 3 identických bodů v každé soustavě. Je-li zadáno více identických bodů než je minimální počet, software provede vyrovnání.

Po přípravě podkladových dat bylo přistoupeno k překreslení leteckých snímků pořízených digitální neměřickou kamerou. Letecké snímky byly překresleny a umístěny do Peruánského souřadnicového systému pomocí kolineární transformace, jejíž princip je popsán v kapitole 7. Snímání identických bodů bylo provedeno příkazem z *obrazovky*, kdy je potřeba zadávat body v cílové i zdrojové soustavě. Cílovou soustavu, do které byly letecké snímky (zdrojová soustava) transformovány, tvořily rastrová data v podobě již transformovaných družicových snímků a naskenovaných map a vektorová data.

Jelikož se jednalo o letecké snímky z oblasti planiny Nazca, byl výběr identických bodů poněkud omezen. Identické body byly na snímcích voleny pokud možno rovnoměrně (obr. č. 8.7), nejčastěji je tvořily křižovatky linií, obrysy geoglyfů nebo osamělé kameny v poušti. V této fázi práce bylo zúročeno především zvýraznění snímků (kapitola 8.4), neboť bez této úpravy by bylo téměř nemožné na originálních snímcích identické body rozpoznat.

Obr. č. 8.7: Rozmístění identických bodů na vybraném leteckém snímku

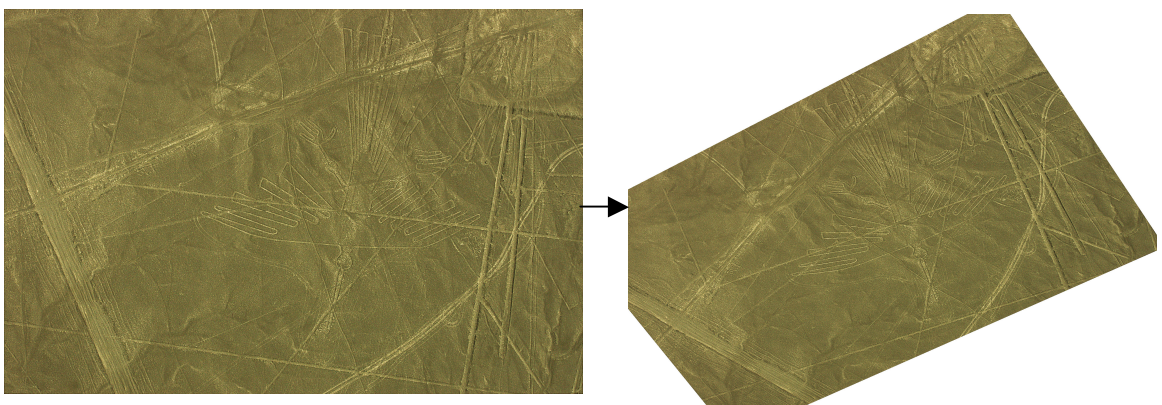


Zdroj: autor

Přesnost transformace leteckých snímků byla zvolena s ohledem na jejich rozlišení a odpovídala rozmezí 2-3 pixely.

Vliv překreslení je ukázán na vybraném leteckém snímku na obr. č. 8.8.

Obr. č. 8.8: Vliv překreslení na vybraném leteckém snímku (vlevo – originální snímek, vpravo – snímek po překreslení)



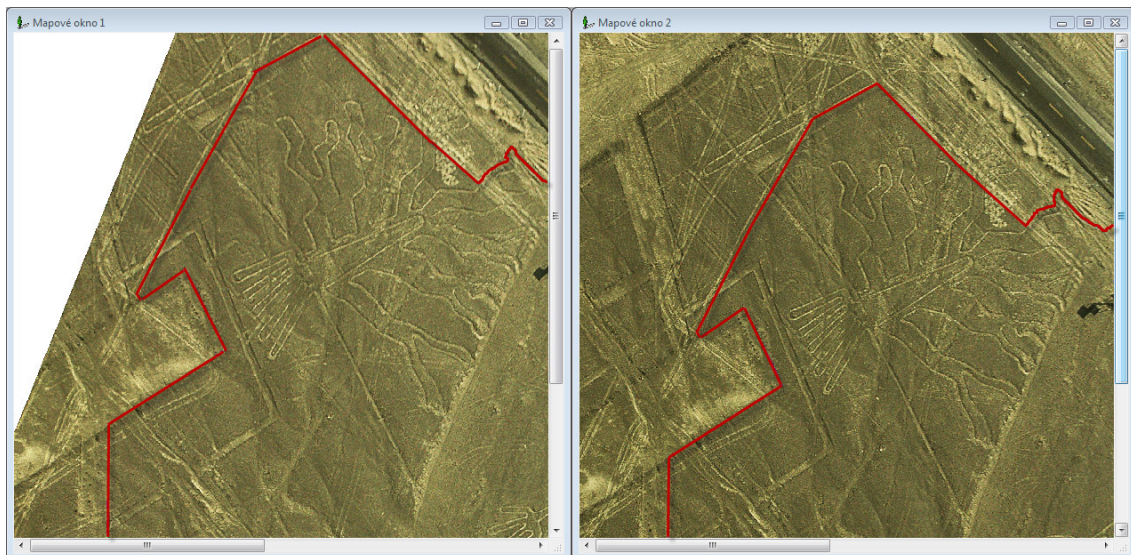
Zdroj: autor

8.6 Maskování snímků

Protože na styku překreslených leteckých snímků obvykle docházelo ke špatné polohové návaznosti, bylo nutné před vytvořením výsledného fotoplánu snímky oříznout. Tato operace byla provedena v programu Topol xT 7.0 Rastrový pomocí funkce *maskování*. Nejprve bylo potřeba stanovit, který z rastrů bude maskovat neboli překrývat rastr druhý. Záleží proto na pořadí rastrů - oříznutý rastr, který maskuje by se měl zobrazovat jako poslední, v nejvyšší vrstvě. Při optimálním překrytu jednotlivých snímků je nejvhodnějším řešením využití středů snímků. Pro letecké snímky planiny Nazca však tento předpoklad nebyl zcela dodržen.

Pro správné vedení linie řezu masky bylo vhodné zobrazit si na sebe navazující rastry, každý do jednoho mapového okna. Tím se linie vykreslí na obou snímcích a je tedy možné navrhnout řez tak, aby kontinuita snímků byla po maskování co nejlepší. Na obr. č. 8.9 je na dvojici leteckých snímků demonstrováno vhodné definování linie řezu.

Obr. č. 8.9: Vedení linie řezu masky mezi vybranými leteckými snímky



Zdroj: autor

8.7 Mozaikování snímků

Pro vytvoření fotoplánu bylo nutné spojit oříznuté snímky do jednoho souboru. Jelikož letecké snímky nepokrývaly celé území planiny Nazca a jejich návaznost nebyla kontinuální, nebylo možné vytvořit jeden celistvý fotoplán území. Prostřednictvím funkce *mozaikování* v programu Topol xT 7.0 Rastrový byly vytvořeny lokální fotoplány, které zachycují především nejznámější geoglyfy na planině.

Při mozaikování bylo třeba dbát především na správné pořadí při zobrazení rastrů, které bylo určené předchozím maskováním. Před samotným mozaikováním byly na většině spojů patrné barevné a kontrastní nesoulady, proto byla k jejich částečnému vyrovnání použita funkce *vyrovnání barev rastrů*. Pomocí ní je možné automaticky přizpůsobit rozložení barev ve spojovaných obrazech a tím eliminovat vznik ostrých přechodů.

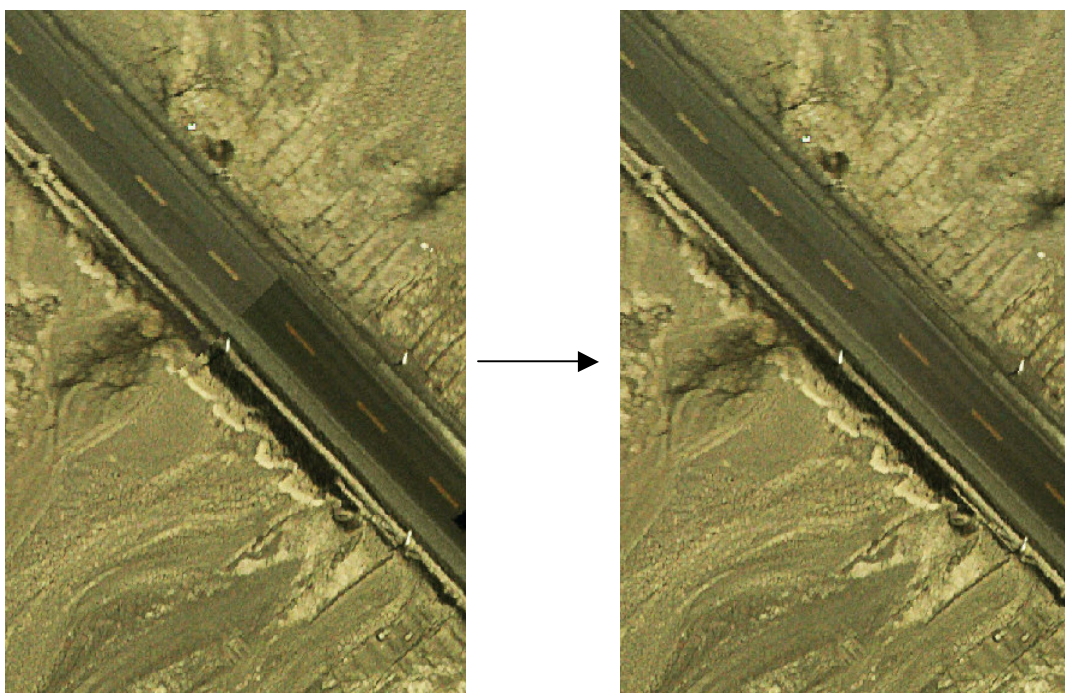
8.8 Úprava fotoplánu

Automatické vyrovnání barev pomocí funkce *vyrovnání barev rastrů* v programu Topol xT 7.0 Rastrový však nebylo zcela dostačující. Proto byly jednotlivé fotoplány načteny do programu Adobe Photoshop 10.0.1., kde byly nepřesnosti vzniklé při skládání leteckých snímků finálně upraveny. V programu xT 7.0 Rastrový byly zobrazeny původní oříznuté snímky, aby bylo možné přesně sledovat oblasti vedení linie řezu. Poté byla tato místa kontrolována a upravena v prostředí programu Adobe Photoshop 10.0.1.

Hlavními příkazy, které byly při úpravách použity, byly *Brightness/Contrast*, *Levels* (kapitola 8.4) a *gradient*.

Příkaz *gradient* (*přechod*) umožňuje vytvářet plynulé přechody mezi dvěma či více barvami. Využitím masky a lineárního přechodu je možné i dosti výrazné barevné a kontrastní rozdíly nahradit plynulým barevným spojením (obr. č. 8.10).

Obr. č. 8.10: Úprava obrazu příkazem *gradient*



Zdroj: autor

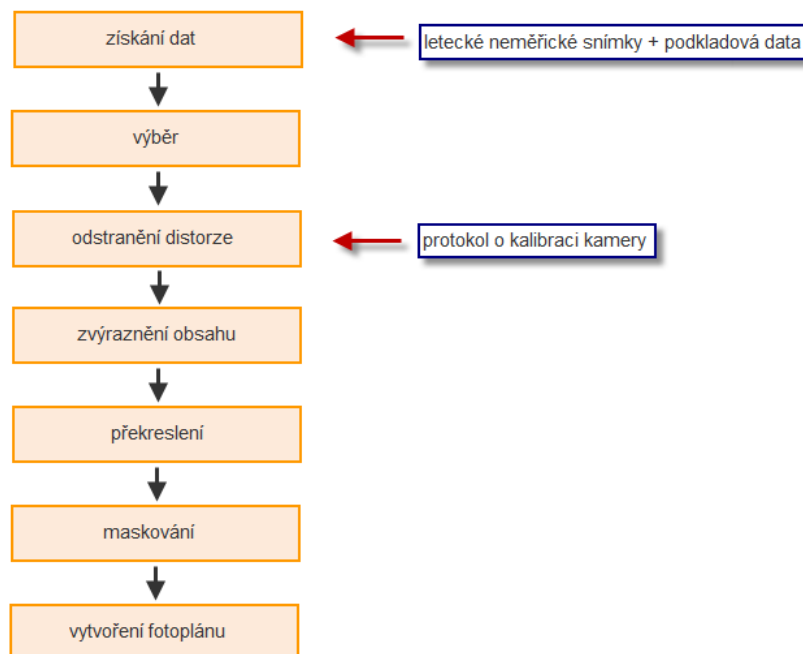
KAPITOLA 9

Výsledky

Hlavním výsledkem této diplomové práce je návrh metodického postupu zpracování dat pořízených digitální neměřickou kamerou pro účely archeologie a jeho aplikace na letecké snímky geoglyfů planiny Nazca. K naplnění tohoto úkolu bylo nutné nejprve podat souhrn o metodách fotogrammetrie a DPZ, které jsou používány k dokumentaci plošných archeologických objektů.

Na základě získaných poznatků byly stanoveny jednotlivé kroky metodického postupu, které jsou přehledně znázorněny pomocí schématu (obr. č. 9.1)

Obr. č. 9.1: Schéma metodického postupu



Zdroj: autor

Vhodnost použití této metodiky byla ověřena na zpracování dat z leteckého snímkování digitální neměřickou kamerou, které proběhlo během 4. expedice výzkumného projektu Nazca. Výsledkem zpracování cca 50-ti snímků bylo vytvoření deseti lokálních georeferencovaných fotoplánů a pět souřadnicově umístěných samostatných snímků, které nebylo možné do fotoplánů provázat.

Pro jasnější vizuální interpretaci byly kresby geoglyfů na fotoplánech a jednotlivých snímcích vektorově vyhodnoceny v programu ArcGIS 9.2.

Výsledné fotoplány i vektorová vrstva geoglyfů jsou v analogové i digitální podobě přílohou této práce. Fotoplány i jednotlivé snímky byly uloženy do nekomprimovaného formátu TIFF, ke kterému je připojen informační soubor TFW.

Přehled o prostorovém vymezení fotoplánů podává tab. č. 9.1., kde jsou také údaje o počtu snímků, ze kterých byly fotoplány vytvořeny a jaké geoglyfy jsou na nich zobrazeny.

Tab. č. 9.1: Údaje o fotoplánech

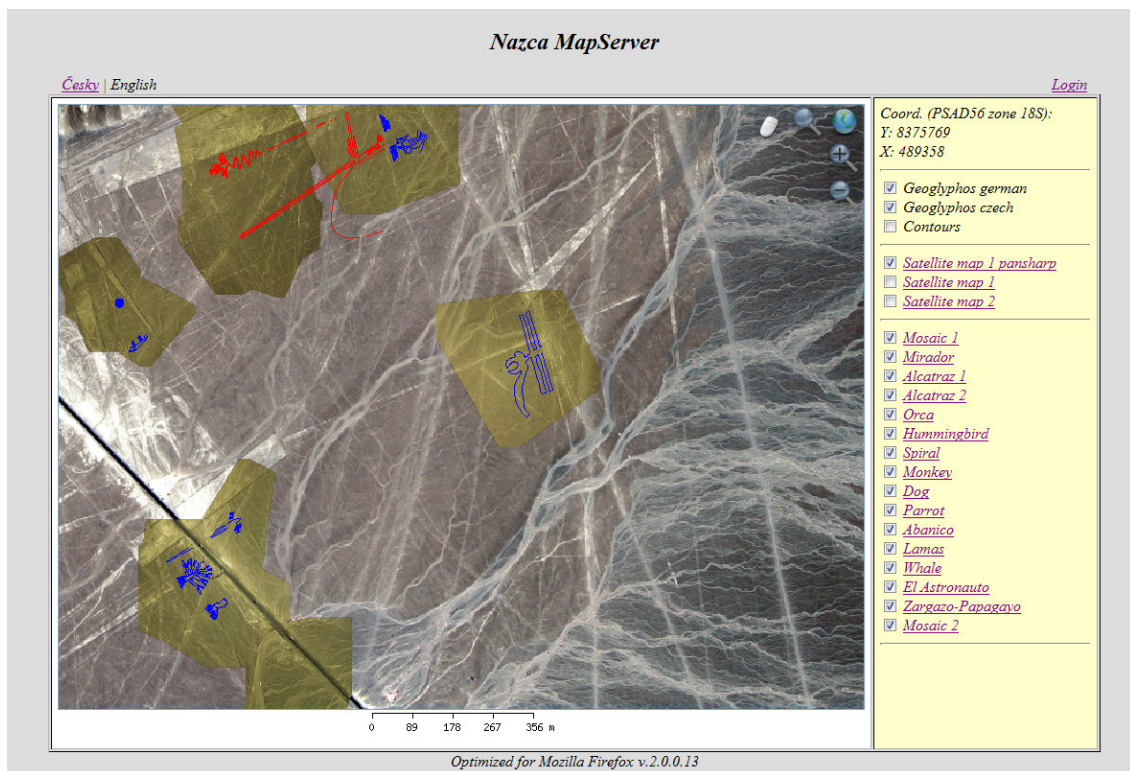
	Souřadnice rohů v PSAD 56 zone 18S		Počet snímků	Zobrazené geoglyfy
	Levý horní roh	Pravý dolní roh		
Fotoplán 1	N 486 274 m E 8 376 153 m	N 487 610 m E 8 375 371 m	16	kolibřík, pavouk, květina, zargazo, prendedor
Fotoplán 2	N 487 786 m E 8 376 149 m	N 488 253 m E 8 375 601 m	5	strom, ruce, ještěrka
Fotoplán 3	N 489 234 m E 8 377 710 m	N 489 652 m E 8 377 253 m	6	orca, ala delta
Fotoplán 4	N 488 154 m E 8 377 043 m	N 488 542 m E 8 376 686 m	4	ave fragata
Fotoplán 5	N 487860 m E 8 376 997 m	N 488 188 m E 8 376 504 m	4	alcatraz
Fotoplán 6	N 484 034 m E 8 376 270 m	N 484 516 m E 8 375 778 m	3	kolibřík
Fotoplán 7	N 487 600 m E 8 376 633 m	N 487 911 m E 8 376 353 m	2	spirála, zvíře
Fotoplán 8	N 485 116 m E 8 374 585 m	N 485 428 m E 8 374 196 m	2	opice
Fotoplán 9	N 486 023 m E 8 374 650 m	N 486 286 m E 8 374 382 m	2	pes
Fotoplán 10	N 484 535 m E 8 376 320 m	N 484 753 m E 8 376 032 m	3	abanico
Snímek 1	N 483 900 m E 8 374 363 m	N 484 006 m E 8 374 259 m	1	lamy
Snímek 2	N 500 754 m E 8 362 367 m	N 500 819 m E 8 362 281 m	1	velryba
Snímek 3	N 488 437 m E 8 376 518 m	N 488 796 m E 8 376 177 m	1	papoušek
Snímek 4	N 485 765 m E 8 375 987 m	N 486 052 m E 8 375 710 m	1	zargazo, papagayo
Snímek 5	N 488 914 m E 8 377 436 m	N 489 262 m E 8 376 924 m	1	

Zdroj: autor

Výsledkem práce bylo také zpracování podkladových dat (družicových snímků a rastrových map), která propojením s daty z leteckého snímkování vytvoří Nazca GIS. Prostřednictvím mapového serveru, který byl navržen Katedrou mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT

v Praze, bylo umožněno tato data prezentovat v síti Internet. Aktuální verze mapového serveru Nazca (obr. č. 9.2) je dostupná na adrese <http://maps.fsv.cvut.cz/nazca/>.

Obr. č. 9.2: Mapový server Nazca



Zdroj: <http://maps.fsv.cvut.cz/nazca/>

Mapový server Nazca umožňuje přístup k vytvořeným fotoplánům, družicovým snímkům a vektorovým vrstvám pomocí standardního webového prohlížeče - pro optimální fungování je lépe využít prohlížeč Mozilla Firefox, který je volně ke stažení. Prostřednictvím zaškrtnutých políček lze libovolně kombinovat zobrazení jednotlivých témat.

Jelikož je projekt Nazca dlouhodobým projektem, lze předpokládat, že bude mapový server v jeho průběhu doplňován o nová data.

KAPITOLA 10

Diskuze

Využití fotogrammetrických metod a metod DPZ je v oboru letecké archeologie velmi opodstatnělé. Pomocí nich je možné získat poměrně přesné údaje o archeologických objektech, které většinou nebudou prozkoumány tradičním archeologickým výkopem.

I přesto, že je letecká archeologie v České republice plně rozvíjena od roku 1989, kdy bylo umožněno provádět průzkum krajiny z malých letounů bez zvláštních povolení (Gojda, 2003), nebyla dosud stanovena metodika zpracování dat, získaných právě tímto bezkontaktním způsobem.

Metodika navržená v této diplomové práci umožňuje zpracování dat letecké archeologie pomocí jednosnímkové fotogrammetrie. Proto, aby mohla být data navrženou metodikou zpracována, je nutné dodržet několik zásad už při samotném snímkování. V metodickém postupu se vychází z toho, že se při leteckých archeologických průzkumech používají digitální neměřické kamery. Výhoda digitálních neměřických kamer je zřetelná už při pořizování snímků, kdy je možné ihned kontrolovat jejich kvalitu a rozvržení celé scény. Snadný je i přenos dat a jejich následné zpracování. Nevýhodou oproti analogovým měřickým kamerám je, že nejsou k dispozici PVO a kameru je tedy nutné kalibrovat (Bosh, Külür, Gülch, 2005). Problémem u digitální neměřické kamery je v nastavení *zoom*, kdy dochází ke změně konstanty kamery. Kalibrace kamer se většinou provádí s nastavením *zoom* v krajní poloze se zaostřením na nekonečno, proto je důležité při snímkování toto nastavení dodržet.

Dalším pravidlem, které je třeba mít na paměti, je snaha pořídít snímky s dostatečným překrytem (20 – 40%) a zachytit archeologické objekty pokud možno na střed snímku. Důležité je také rozmístění identických bodů na snímku, pomocí kterých je provedeno jejich překreslení. Zaměření identických bodů se provádí běžnými geodetickými metodami, jež se volí s ohledem na požadovanou přesnost fotoplánu (<http://lfgm.fsv.cvut.cz>). Například pro řadu leteckých snímků, které jsou uloženy v archivu Archeologického ústavu akademie věd České republiky, však předpoklad minimálního počtu identických bodů na snímku dodržen není, čímž se snižuje možnost jejich plného využití pro následné analýzy apod.

V důsledku použití digitální neměřické kamery je žádoucí pro další zpracování odstranit distorzi, která může způsobit značné polohové zkreslení. Jak již bylo uvedeno výše, je pro tento krok nutné provést kalibraci kamery se stejným nastavením *zoom* jako při snímkování. Dalším faktorem, který ovlivňuje přesnost výsledného fotoplánu, je výšková členitost snímkaného archeologického objektu. Proto lze metodu letecké digitální jednosnímkové fotogrammetrie uplatnit pouze při dokumentaci plošných archeologických objektů. Při splnění požadavku rovinnosti je možné pomocí této metody dosáhnout poměrně přesných výsledků při minimálních nárocích na obsluhu a softwarové vybavení.

Praktickým ověřením využitelnosti navrženého metodického postupu byla jeho aplikace na konkrétní data. Hlavním problémem, se kterým bylo nutné se vypořádat, byla velká různorodost a původ dodaných podkladových dat. Vstupní soubor obsahoval jak vektorové tak i rastrové typy dat, které byly původem ze tří zdrojů – data získaná v rámci projektu Nazca, satelitní snímky z družice QuickBird a mapy vytvořené Národní geografickou společností v Limě (*ING, Instituto Geografico Nacional, Lima*). Za výchozí byla zvolena data projektu Nazca - těmi byly vektorové vrstvy a zaměřené vlíčovací body. Pomocí nich bylo možné transformovat satelitní snímky, které byly stěžejním podkladem pro zpracování leteckých neměřických snímků. Rastrové mapy sloužily zejména při orientaci.

Další problém se týkal souboru leteckých snímků, které byly pořízeny čtyřmi různými neměřickými kamerami. I přes velké množství těchto dat, byl výběr pro vytvoření fotoplánu značně omezen. Limitujícími faktory byly především požadavky na kvalitu záznamu a optimální úhel osy záběru kamery. Vzhledem k tomu, že snímky německé části expedice byly pořízeny přes sklo letadla, nebyla jejich kvalita pro další zpracování plně dostačující. Další snímky byly vyřazeny s ohledem na zobrazené území, neboť soubor obsahoval velký počet snímků, které již nepokrývaly archeologické území planiny Nazca.

Protože vybrané snímky nepokrývaly kontinuálně celé území, nebylo možné vytvořit jeden celkový fotoplán. Byly tedy vytvořeny lokální fotoplány zobrazující zejména nejvýznamnější obrazce planiny.

KAPITOLA 11

Závěr

Předkládaná diplomová práce se zabývá využitím letecké fotogrammetrie v archeologii. Podle jejího obsahu by se dala rozdělit na část teoretickou a na část praktickou. Cílem teoretické části bylo podat stručný přehled o využívaných metodách fotogrammetrie a DPZ při dokumentaci a identifikaci plošných archeologických objektů. Konkrétně byly v této části práce popsány možnosti použití těchto metod při výzkumných projektech archeologické lokality Nazca a jejího okolí.

Náplní praktické části práce bylo na základě teoretických znalostí stanovit metodický postup zpracování šikmých leteckých snímků pořízených digitální neměřickou kamerou pro účely archeologie. Jednotlivé kroky metodiky zpracování byly navrženy tak, aby výsledné výstupy mohly být srovnatelné s výstupy, při kterých se používají profesionální měřické kamery.

Vhodnost navržení metodického postupu byla ověřena na konkrétních datech, které byly poskytnuty Katedrou mapování a kartografie Stavební fakulty ČVUT v Praze. Jejich zpracováním se tak přispělo do mezinárodního projektu Nazca, kterého je předkládaná diplomová práce součástí. Pomocí mapového serveru bylo umožněno výsledky práce prezentovat v síti Internet.

Seznam pramenů a literatury

Prameny

- <http://www.americasol.net>
- <http://www.dainst.org>
- <http://www.digimanie.cz>
- <http://www.ecesty.cz>
- <http://egyptologie.ff.cuni.cz>
- <http://enjoyperu.com>
- <http://www.emporia.edu>
- <http://www.forestry.gov.uk>
- <http://www.gisat.cz>
- <http://www.go2peru.com>
- <http://www.htw-dresden.de>
- <http://www.incalink.com>
- <http://www.informatics.org>
- <http://lfgm.fsv.cvut.cz>
- <http://www.maturita.cz>
- <http://maps.fsv.cvut.cz/nazca/>
- <http://www.mysteryperu.com>
- <http://www.nazcamystery.com>
- <http://www.nationalgeographic.com>
- <http://www.pastperfect.org.uk>

- <http://www.photogrammetry.ethz.ch>
- <http://photo.mysteria.cz>
- <http://peru.czweb.org>
- <http://www.rozhlaz.cz>
- <http://www.univie.ac.at>
- <http://usa.autodesk.com>
- <http://vugtk.cz>
- <http://www.world66.com>
- <http://www.world-adventure.cz>
- <http://www.znojmuz.cz>

Literatura

BÁRTA, M., BRŮNA, V., KŘIVÁNEK, R. (2003): *Research at South Abusir in 2001-2002 – methods and results*. Památky Archeologické, roč. 94, č. 1-2, Praha, str. 49-82, ISSN 0031-0506.

BOEHLER, W., HEINZ, G., QIMING, G., SHENPING, Y. (2004): *The progress in satellite imaging and its application to archaeological documentation during the last decade*. Presented at the International Conference on Remote Sensing Archaeology, Beijing, China, October 2004.

BOSCH, R., KŮLŮR, S., GŮLCH, E. (2005): *Non-metric camera calibration and documentation of historical buildings*. Presented at the XXth CIPA International Symposium, Torino, Italy, September 2005.

BRŮNA, V. (2007): *Role geoinformatiky při archeologickém výzkumu v Egyptě*. Presented at the International Conference GEOS, Praha, Czech republic, March 2007.

BUKOVINSKÝ, M. (2007): *Využitie nových družicových dát a laserového skenovania pre archeologické účely*. Bakalárska práca, ČVUT, Praha, 65 str.

BUREŠ, M., FUCHS, J. (1995): *Využití grafického SW Topol a jednosnímkové fotogrammetrie v archeologii*. Archeologické fórum, č. 4, str. 50-56, ISSN 0323-1267

BUREŠ, M., FUCHS, J. (1995): *GPS – satelitní systém pro určování polohy: možnosti využití v archeologii*. Archeologické fórum, č. 4, str. 57-58, ISSN 0323-1267

CULEK, I. (1992): *Využití jednosnímkové fotogrammetrie na základě neměřičských snímků pro dokumentaci archeologických nálezů*. Přehled výzkumů 37, str. 112-116.

DUKSZTO, A., ARGUEDAS, J.M.H. (2003): *Der unentbehrliche Reiseführer. Geheimnisvoll und mysteriös. Die Nazca-Linien*. Digital Xpress S.A., Lima, 31 str., ISBN 9972-894-01-0

EISENBEISS, H., LAMBERS, K., SAUERBIER, M., ZHANG, L. (2005): *Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 34, Part 5/C34, str. 238-243. Presented at the XXth CIPA International Symposium, Torino, Italy, September 2005.

EISENBEISS, H., ZHANG, L. (2006): *Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in cultural heritage application*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 36, Part 5, str. 90-96. Presented at the ISPRS Commission V Symposium, Dresden, Germany, September 2006.

EITEL, B. et al. (2005): *Geoarchaeological evidence from desert loess in the Nazca-Palpa region, southern Peru: Palaeoenvironmental changes and their impact on pre-columbian cultures*. Archaeometry, Vol. 47, Issue 1, str. 137-158

FASSBINDER, J.W.E., REINDEL, M. (2005): *Magnetometer prospection as research for pre-spanish cultures at Nasca and Palpa, Peru*. Extended Abstracts Book, str. 6-10, ISBN 88-902028-0-7. Presented at 6th International Conference on Archaeological Prospection, Rome, Italy, September 2005.

FASSBINDER, J.W.E., UNKEL, I., LAMBERS, K. (2007): *Nasca: a tiny tool for a large line. Magnetometry and dating of Nasca Lines in Palpa, southern Peru*. Small Samples, Big Objects, str. 27-39. Presented at the Eu-ARTECH Seminar, München, Germany, May 2007.

GOJDA, M. (2003): *Aerial reconnaissance in archaeology and past landscape studies. The application of visual prospection from low altitudes in Bohemia*. Kartografie a geoinformatika, roč. 5, č. 2, str. 4-10, ISSN 1212-4419

GOJDA, M. et al. (2004): *Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Archaeology*. Academia, Praha, 484 str., ISBN 80-200-1215-X

GOJDA, M. (2006): *Zaniklá krajina – pohled z výšky: Laserový skener v archeologii*. Vesmír, roč. 85, č. 10, str. 614-616, ISSN 0042-4544

GOJDA, M. (2007): *Objevy z ptáčích perspektiv*. Svět, roč. 2, č. 6, str. 87-89, ISSN 1802-2278

GREILICH, S., GLASMACHER, U.A., WAGNER, G.A. (2005): *Optical dating of granitic stone surfaces*. Archaeometry, Vol. 47, Issue 3, str. 645-665

GRUN, A., BÄR, S., BEUTNER, S. (2000): *Signals in the sand: 3-D recording and vizualization of the Nasca geoglyphs*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 33, Part B5, str. 53-61. Presented at the XIXth ISPRS Commision V, Amsterdam, Netherlands, July 2000.

GRUN, A., LAMBERS, K. (2003): *The geoglyphs of Nasca: 3-D recording with moder digital technologies*. BAR International Series 1145, Oxford, str. 95-103, ISBN 1-84171-517-4. Presented at the XIVth UISPP Congress, Liège, Belgium, September 2001.

GRUN, A., SAUERBIER, M., LAMBERS, K. (2003): *Visualisation and GIS-based Analysis of the Nasca Geoglyphs*. The digital heritage of archaeology, Athens, str. 161-167. Presented at the 30th CAA Conference, Heraklion, Crete, April 2002.

HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (2005): *Dálkový průzkum Země*. ČVUT, Praha, 192 str., ISBN 80-01-03124-1

HANZL, V., SUKUP, K. (2001): *Fotogrammetrie I*. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 94 str., ISBN 80-214-2049-9

JANSKÝ, B. (1992): *Geografie moří a oceánů*. Karolinum, Praha, 138 str., ISBN 80-7066-678-1

JENKINS, D. (2007): *Peru – turistický průvodce*. Jota, Brno, 587 str., ISBN 978-80-7217-420-6

KELBY, S. (2004): *Digitální fotografie ve Photoshopu CS*. Computer Press, Brno, 372 str., ISBN 80-251-0482-6

KLOKOČNÍK, J. (1998): *Přelet nad planinou Nazca*. Vesmír, roč. 77, č. 3, str. 154-157, ISSN 0042-4544

KLOKOČNÍK, J., KLOKOČNÍKOVÁ, Z. (1998): *Překvapivá zpráva z Nazca*. Koktejl, roč. 7, č. 7-8, str. 138-143, ISSN 1210-4353

KLOKOČNÍK, J., VÍTEK, F. (2002): *Nazca – mýtus a skutečnost*. Vesmír, roč. 81, č. 2, str. 94-97, ISSN 0042-4544

KUNA, M. a kol. (2004): *Nedestruktivní archeologie. Teorie, metody a cíle*. Academia, Praha, 555 str., ISBN 80-200-1216-8

LAMBERS, K. (2006): *The geoglyphs of Palpa, Peru. Documentation, Analysis, and Interpretation*. Linden Soft Verlag, Aichwald, 184 str., ISBN 3-929290-32-4

LAMBERS, K. et al. (2007): *Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru*. Journal of Archaeological Science, Vol. 34, Issue 10, str. 1702-1712, ISSN 0305-4403

LAMBERS, K., SAUERBIER, M. (2003): *A data model for GIS-based analysis of the Nasca lines at Palpa (Peru)*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 34, Part 5/C15, str. 713-718. Presented at the XIXth CIPA International Symposium, Antalya, Turkey, October 2003.

LAMBERS, K., SAUERBIER, M. (2006): *GIS-based visibility studies of the Nazca geoglyphs at Palpa, Peru*. Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, Taylor & Francis, London, str. 249-261, ISBN-10: 041539208X

LEBEDA, J. (2004): *Vyhodnocení fotogrammetrických záznamů získaných z expedice Nazca/Perú 2004*. Diplomová práce, ČVUT, Praha, 53 str.

LUKEŠ, P. (2007): *Vyhodnocení pokryvu a využití krajiny pomocí dat DPZ*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 20 str.

MIKHAIL, E.M., BETHEL, J.S., MCGLONE, J.Ch. (2001): *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley and Sons, 479 str., ISBN 0-471-30924-9

MILBURN, K. (2005): *Digitální fotografie – Profesionální techniky*. Computer Press, Brno, 477 str., ISBN 80-251-0642-X

ODVODY, M. (2007): *Vyhodnocení a vizualizace archeologického naleziště Sechín*. Diplomová práce, ČVUT, Praha, 34 str.

PAVELKA, K. (2003a): *Fotogrammetrie 10*. ČVUT, Praha, 191 str., ISBN 80-01-02649-3

PAVELKA, K. (2003b): *Fotogrammetrie 20*. ČVUT, Praha, 193 str., ISBN 80-01-02762-7

PAVELKA, K. (2004): *Expedice Nazca/Perú 2004*. Zeměměřič, roč. 11, č. 12, str. 11-15, ISSN 1211-488X

PAVELKA, K., DOLANSKÝ, T., HODAČ, J., VALENTOVÁ, M. (2001): *Fotogrammetrie 30. Digitální metody*. ČVUT, Praha, 179 str., ISBN 80-01-02649-3

PAVELKA, K., HODAČ, J. (2008): *Fotogrammetrie 3. Digitální metody a laserové skenování*. ČVUT, Praha, 190 str., ISBN 978-80-01-03978-6.

PAVELKA, K., TEICHERT, B., RICHTER, Ch. (2006): *The Documentation of Geoglyphs and Petroglyphs in Nazca/Peru by Using Remote Sensing and Photogrammetry*. 13rd Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, ARSPC, Sydney, str. 225-228, ISBN 0-9581366-5-3

RACHOWIECKI, R., BEECH, Ch. (2005): *Peru*. Svojtka & Co., Praha, 456 str., ISBN 80-7237-903-8

- REICHE, M. (1968): *Mystery on the desert*. Selbstverlag, Stuttgart, 92 str.
- REINDEL, M., GRUN, A. (2006): *The Nazca-Palpa Project: a cooperative approach of archaeology, archaeometry and photogrammetry*. Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, Taylor & Francis, London, str. 21-32, ISBN-10: 041539208X
- REINHARD, J. (1986): *The Nazca Lines: A New Perspective on their Origin and Meaning*. Editorial Grafica Pacific Press S.A. Lima, 78 str.
- RODRÍGUEZ, A.R. (2002): *Geoglyfy u Limy*. Vesmír, roč. 81, č. 2, str. 98-99, ISSN 0042-4544
- SAUERBIER, M. (2006): *GIS-based management and analysis of the geoglyphs in the Nasca region (Peru)*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 36, Part 2, str. 73-77. Presented at the ISPRS Technical Commission II Symposium, Vienna, Austria, July 2006.
- SAUERBIER, M., GRUN, A. (2005): *3D modeling of large cultural heritage site from satellite and aerial image*. Presented at the 33rd CAA Conference, Tomar, Portugal, March 2005.
- SAUERBIER, M., LAMBERS, K. (2003): *A 3D model of the Nasca lines at Palpa (Peru)*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 34, Part 5/W10 (on CD-ROM). Presented at the International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D models, Tarasp, Switzerland, February 2003.
- SAUERBIER, M., LAMBERS, K. (2004): *From vectors to objects: modeling the Nasca lines at Palpa (Peru)*. BAR International series 1227, Oxford, str. 396-399, ISBN 1-84171-592-1. Presented at the 31st CAA Conference, Vienna, Austria, April 2003.
- SAUERBIER, M., SCHROTTER, G., EISENBEISS, H., LAMBERS, K. (2006): *Multi-Resolution Image-based Visualization of Archaeological Landscapes in Palpa (Peru)*. BAR International Series 1568, Oxford, str. 353-359, ISBN 1-84171-998-6. Presented at the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology, Rome, Italy, December 2006.
- SCHOWENGERDT, R.A. (2007): *Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing*. Elsevier Inc., 515 str., ISBN 978-0-12-369407-2
- SCHULZE, D., ZETZSCHE, V. (2005): *Bilderbuch der wüste. Maria Reiche und die Bodenezeichnungen von Nasca*. Mitteldeutscher Verlag, Halle, 224 str., ISBN 3-89812-298-0
- ŠVEC, M., HÁNEK, P. (1999): *Stavební geodézie 10*. ČVUT, Praha, 175 str., ISBN 80-01-02076-2

TEICHERT, B., RICHTER, Ch. (2003): *The Nasca mysteries – A multimedia GIS Application*. Geoinformatics, Vol. 6, Issue 1, str. 12-15

TEICHERT, B., RICHTER, Ch. (2001): *The Pampa of Nasca – development of multimedia GIS*. Presented at International Conference FIG Working Week, Seoul, Korea, May 2001.

WEINMANN, E., LOUREKAS, P. (2006): *Adobe Photoshop CS2 – Názorný průvodce*. Computer Press, Brno, 701 str., ISBN 80-251-0941-0

Seznam použitých zkratk

DPZ – dálkový průzkum Země

DWG – formát souborů (výkresů) programu AutoCAD

DTM – digital terrain model (digitální model terénu)

DSM – digital surface model (digitální model reliéfu)

GPS – global positioning system (globální polohový systém)

GIS – geografický informační systém

IMU – Inertial Measurement Unit

INS – Inertial Navigation System

IT – informační technika

JPEG - Joint Photographic Experts Group

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (normovaný rozdílový vegetační index)

PSAD 1956 – Provisional South American Datum 1956

PVO – prvky vnitřní orientace

SQL - Structured Query Language (strukturovaný dotazovací jazyk)

TIFF - Tag Image File Format

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (bezposádkový letecký prostředek)

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Spojená národní vzdělávací, vědecká a kulturní organizace)

UTM – Universal Transverse Mercator

WGS 84 – World Geodetic System 1984

Seznam obrázků

- Obr. č. 4.1: Půdní příznaky (Kyjov, okres Hodonín)
- Obr. č. 4.2: Porostové příznaky (Mušov, okres Břeclav)
- Obr. č. 4.3a: Pozitivní porostový příznak
- Obr. č. 4.3b: Negativní porostový příznak
- Obr. č. 4.4: Valy a příkopy hradiště Welshbury Hill
- Obr. č. 5.1: Mapa Peru s lokalizací plošiny Nazca
- Obr. č. 5.2: Petroglyf „astronaut“
- Obr. č. 5.3: Linie ukazující směr západu Slunce
- Obr. č. 5.4a: Poškození geoglyfů - opice
- Obr. č. 5.4a: Poškození geoglyfů - pes
- Obr. č. 6.1: Výběr vlíčovacích bodů (zákres polohopisu)
- Obr. č. 7.1: Radiální disotrze objektivu
- Obr. č. 7.2: Prvky vnitřní orientace
- Obr. č. 7.3: Kolineární transformace
- Obr. č. 8.1: Výřez území pokrytý daty z družicových snímků QuickBird
- Obr. č. 8.2: Šedá škála s histogramy po aplikaci funkce Brightness
- Obr. č. 8.3: Šedá škála s histogramy po aplikaci funkce Contrast
- Obr. č. 8.4: Zobrazení histogramu příkazem Levels
- Obr. č. 8.5: Transformační tabulka pro vybraný družicový snímek
- Obr. č. 8.6: Rovinná afinní transformace
- Obr. č. 8.7: Rozmístění identických bodů na vybraném leteckém snímku
- Obr. č. 8.8: Vliv překreslení na vybraném leteckém snímku
- Obr. č. 8.9: Vedení linie řezu masky mezi vybranými leteckými snímky
- Obr. č. 8.10: Úprava obrazu příkazem gradient

Obr. č. 9.1: Schéma metodického postupu

Obr. č. 9.2: Mapový server Nazca

Seznam tabulek

Tab. č. 4.1: Přehled hlavních metod nedestruktivní archeologie

Tab. č. 6.1: Přehled snímkování území

Tab. č. 8.1: Souřadnice rohů mapového pole naskenovaných map

Tab. č. 9.1: Údaje o fotoplánech

Seznam grafů

Graf č. 8.1: Průběh radiální distorze objektivu kamery Nikon D100 – $f = 17\text{mm}$

Graf č. 8.2: Průběh radiální distorze objektivu kamery Nikon D100 – $f = 35\text{mm}$

Seznam příloh

Příloha č. 1: Fotoplán 1

Příloha č. 2: Fotoplán 2

Příloha č. 3: Fotoplán 3

Příloha č. 4: Fotoplán 4

Příloha č. 5: Fotoplán 5

Příloha č. 6: Fotoplán 6

Příloha č. 7: Fotoplán 7

Příloha č. 8: Fotoplán 8

Příloha č. 9: Fotoplán 9

Příloha č. 10: Fotoplán 10

Příloha č. 11: Snímek 1

Příloha č. 12: Snímek 2

Příloha č. 13: Snímek 3

Příloha č. 14: Snímek 4

Příloha č. 15: Snímek 5

Příloha č. 16: DVD (fotoplány 1-10, snímky 1-5, družicové snímky, mapy - ve formátu TIFF + georeferenční soubor TFW; Transformační tabulky pro použité snímky a mapy ve formátu TRT; vektorové vrstvy geoglyfů ve formátu SHP (německé + české); text práce ve formátu pdf)