

České vysoké učení technické
Fakulta stavení

Czech Technical University in Prague
Faculty of Civil Engineering

Doc.Dr.Ing.Karel Pavelka

**Dokumentace památkových objektů pomocí vyspělých
geodetických technologií**

**Documentation of monumental objects by using
advanced geodetic methods**

Summary

The Laboratory of Photogrammetry on the Czech Technical University is the largest university photogrammetric laboratory in the Czech Republic. The Laboratory is focused on documentation and presentation of historical monuments. In the Nasca/Peru desert plain, there are well known structures called geoglyphs. For about 40 years of her life, Maria Reiche (1903-1998) from Dresden investigated these structures. In 1994 the “Maria Reiche” Association was founded in Dresden for extension and continual science workflow in the Nasca region. Within the framework of this association, expeditions to Peru were realized (the 1st Nasca Expedition was in 1994, followed by more in 1996, 2003, 2004, 2005 and 2008). In 1995 the Nasca project was initiated at the University of Applied Sciences in Dresden. The Nasca project’s goals are: storage and preservation of the world cultural heritage in digital form, presentation of data and resulting information. Peruvian law from 1995 saves the world-known Nasca geoglyphs area and this area is on the list of UNECSO world heritage; however, other areas are saved only on national or local level and his condition is in some cases very bad. The origin and reason for geoglyphs are not well known. There are major theories: calendar and astronomical purposes, marking of subterranean water resources, movement and communication, ceremonial and religious signification, working therapy, artistic expression and extraterrestrial influence. In 2006-8, next four Czech expeditions were dispatched to Erbil/Iraq with the aim of basic monument documentation, archaeological investigation and finding appropriate technology for the restoration of well-known structures. The first step was the photogrammetric and geodetic measurement of the Al Qala citadel and the Choli minaret in Erbil. The Citadel spreads out over more than ten hectares of land (300m-350m in diameter). The Choli minaret was documented by terrestrial digital photogrammetry by using a calibrated digital camera Canon 20d and RolleiMetric system. Photomodeler and AutoCAD software were used along with classical geodetic measurement to create a 3D model and texture it with the images. In case of the Citadel, a set of terrestrial digital images was taken (over 250 of the outer side of the Citadel and 200 of the inside); next approximately 70 images were taken from a US Army helicopter flying at the approximate height of 50-150 meters. In Iraq there are currently no photogrammetric aerial images available; in this case a satellite image from the QuickBird satellite, with a resolution of 65cm, was used for the ground plan of the Citadel. In both cases, the semi-3D information system was created.

Souhrn

Laboratoř fotogrammetrie na Stavební fakultě ČVUT v Praze je největší univerzitní fotogrammetrickou laboratoří v ČR. Laboratoř je zaměřena na dokumentaci a prezentaci historických objektů. V poušti v okolí Nasky v Peru se nalézají známé obrazce zvané geoglyfy. Maria Reiche (1903-1998) z Drážďan zkoumala tyto struktury více než 40 let. V roce 1994 byla založena v Drážďanech Asociace Marie Reiche z důvodu zajištění návaznosti a dalších prací v regionu Nasky. V rámci této asociace byly podniknuty expedice do Peru (první v roce 1994, následovaná druhou v roce 1996, 2003, 2004, 2005 a 2008). V roce 1995 byl na HTW Dresden zahájen projekt Nasca, jehož cílem je ukládání a ochrana dat o světové kulturní památce v digitální podobě, prezentace dat a vysvětlujících informací o oblasti. Na základě zákona z roku 1995 jsou geoglyfy v Nasce v Peru chráněny a byly zapsány na seznam světových památek UNESCO; bohužel, jiné oblasti jsou chráněny jen na národní nebo lokální úrovni a jejich stav je často velmi špatný. Původ a důvod tvorby geoglyfů není znám. Hlavní teorie hovoří o kalendáři a astronomických důvodech, značení podpovrchových zdrojů vody, transport a komunikace, náboženské a ceremoniální důvody, pracovní terapie, umělecké výtvořky a mimozemský vliv. V letech 2006-8 byly uskutečněny další čtyři expedice do města Erbil v Iráku s cílem základní dokumentace, archeologického průzkumu a nalezení vhodné technologie pro restaurování významných objektů. Prvním krokem byla fotogrammetrická dokumentace a geodetické zaměření citadely Al-Qala a minaretu Choli v Erbilu. Citadela se rozkládá na více než deseti hektarech s kruhovým tvarem o průměru 300-350m. Minaret Choli byl dokumentován pozemní fotogrammetrií za použití komory digitální komory Canon 20D a systému RolleiMetric. Spolu s klasickým geodetickým měřením byly využity software Photomodeler a dále AutoCAD pro vytvoření 3D modelu s texturami. V případě citadely byl použit soubor pozemních snímků (více než 250 fotografií vnější stany citadely a cca 200 z vnitřku); dále bylo využito cca 70 snímků, pořízených z americké vojenské helikoptéry letící ve výšce 50-150m. V Iráku nejsou totiž k dispozici fotogrammetrické snímky; z tohoto důvodu byly dále využity pro tvorbu základního plánu citadely družicové snímky z družice QuickBird s geometrickým rozlišením 65cm. V obou případech byl vytvořen semi-3D informační systém.

Klíčová slova

Digitální fotogrammetrie, dálkový průzkum Země, informační systém, vizualizace, historické objekty

Keywords

Digital photogrammetry, remote sensing, information systems, visualisation, historical monuments

Obsah

1. Úvod	6
2. Projekt Nasca	6
2.2 Expedice Nasca/Peru 2004.....	9
2.3 Letecké snímkování amatérskými prostředky	15
2.4 Jednosnímková fotogrammetrie	16
2.5 Fotogrammetrická dokumentace dalších objektů	17
2.6 Průseková fotogrammetrie	18
2.7 Expedice Nasca/Peru 2008.....	20
3. Projekt Erbil / Irák	23
3.1 Minaret Choli, Erbil.....	23
3.2 Citadela Al-Qala v Erbilu	27
3.3 Geodeticko – fotogrammetrické zaměření	29
3.4 Vyhodnocení	30
3.5 Tvorba vektorového plánu.....	31
4. Výhled do budoucnosti.....	34
5. Literatura a odkazy	35

1. Úvod

Tento text je zaměřen na část základní a nosné aktivity Laboratoře fotogrammetrie, na speciální multioborové metody dokumentace rozsáhlých památkových objektů. Vzhledem k významným zahraničním aktivitám i projektům, které byly pod mým vedením v Laboratoři fotogrammetrie v posledních deseti letech prováděny, bylo mimo vlastní výzkum v celé výše uvedené šíři nashromážděno velké množství materiálu i zkušeností, byly vyvinuty nové postupy dokumentace i presentace objektů, spějící až k prostorovým informačním systémům, které doznaly i mezinárodního uznání. Dále bude pojednáno na příkladu o dvou aktuálních a stále probíhajících významných mezinárodních projektech, na kterých je ukázán multioborový přístup k problému. Jedná se o dokumentaci světově cenné oblasti Nasca v Peru a minaretu Choli i citadely Al-Qala v Erbilu v Iráku.

2. Projekt Nasca

2.1 Úvod do problematiky

Projekt Nasca je pojmenován po městu Nasca (anglicky či španělsky Nazca, Nasca místně, což je odvozenina od původního pojmenování v jazyce Kečua – Nanasca) v Peru (místně Perú). Plochá oblast v okolí města Nasca, nazývaná Pampa de Nasca, se nalézá asi 450km jižně od Limy, nedaleko pobřeží Tichého oceánu v nadmořské výšce asi 400-500m; nejedná se tedy o vysokohorskou planinu, jak se řada osob domnívá.



Obr.1: Peru a poloha města Nasca (zdroj: web)

Celá přímořská oblast západního pobřeží Jižní Ameriky od Patagonie až po Ekvádor je velmi suchá, rozkládají se zde relativně úzké pouštní oblasti, za kterými se zvedají strmé svahy hor. Za suchý ráz krajiny může zejména studený Humboldtův proud. Studený vzduch je nasáván nad pobřeží, kde se silně zahřívá, expanduje, stoupá vzhůru a vysušuje celou oblast. Nakonec se vrací nad oceán a cyklus se opakuje. I když se Peru nalézá těsně pod rovníkem, teplota vody dosahuje jen zhruba 16-17 stupňů Celsia (tedy asi jako Balt). V určitých nepravidelných intervalech dochází k porušení tohoto stavu z nepříliš jasných důvodů, nastává tzv.jev El Niño a i v pouštních oblastech velmi silně prší s velmi intenzivními erozními důsledky pro krajinu. Planina Nasca (Pampa de Nasca) je rovinaté pouštní území v blízkosti města Nasca (cca 40tis.obyvateľ). Jedná se o písčito-kamennou poušť se zvláštními klimatickými podmínkami. Poušť obsahuje světlý pískový podklad, který je pokryt v některých

místech téměř homogenní tenkou kamennou drtí hnědočervené barvy. Stačí odkrýt několik cm silnou vrstvu a dostanete se na velmi světlé podloží; aplikace této metody umožnila vytvářet v těchto oblastech poměrně jednoduchým způsobem výrazné a rozlehlé plošné útvary o různých tvarech, tzv.geoglyfy, které se díky místní neměnnosti klimatických podmínek dochovávají po dlouhou dobu. Za jejich postupnou destrukci je zodpovědný člověk (mechanická poškození automobily a neukázněnými turisty), ale i příroda (zejména jev El Niño spojený s vodní erozí). Nutno podotknout, že geoglyfy nejsou jen unikátem na plošině Nasca, lze je najít v nedalekém okolí (Pampa de Palpa-plošiny Sacramento a San Ignacio) a jsou rozšířeny od jižního Ekvádoru po severní Chile; existují i další geoglyfy, např. v Severní Americe či v Anglii (obr s kyjem, různá vyobrazení koňů aj.).



Obr.2: Blythe geoglyf (Severní Amerika, cca 15 mil od města Blythe u břehu řeky Colorado, , delší rozměr přibližně 51m, obrazce objevil v roce 1931 z letadla pilot George Palmer; stáří, původ a důvody vytvoření obrazců je možno jen hádat - předpokládá se, že vznikly před 1100 - 200 lety. Současní indiáni kmene Mohave o nich nemají ve své historii žádné informace. (zdroj web: campbellave.com/scott/flying/blythegeoglyphs.html)

Obr.3: Poloha významných oblastí s geoglyfy v Peru mezi městy Palpa a Nasca (zdroj: web)

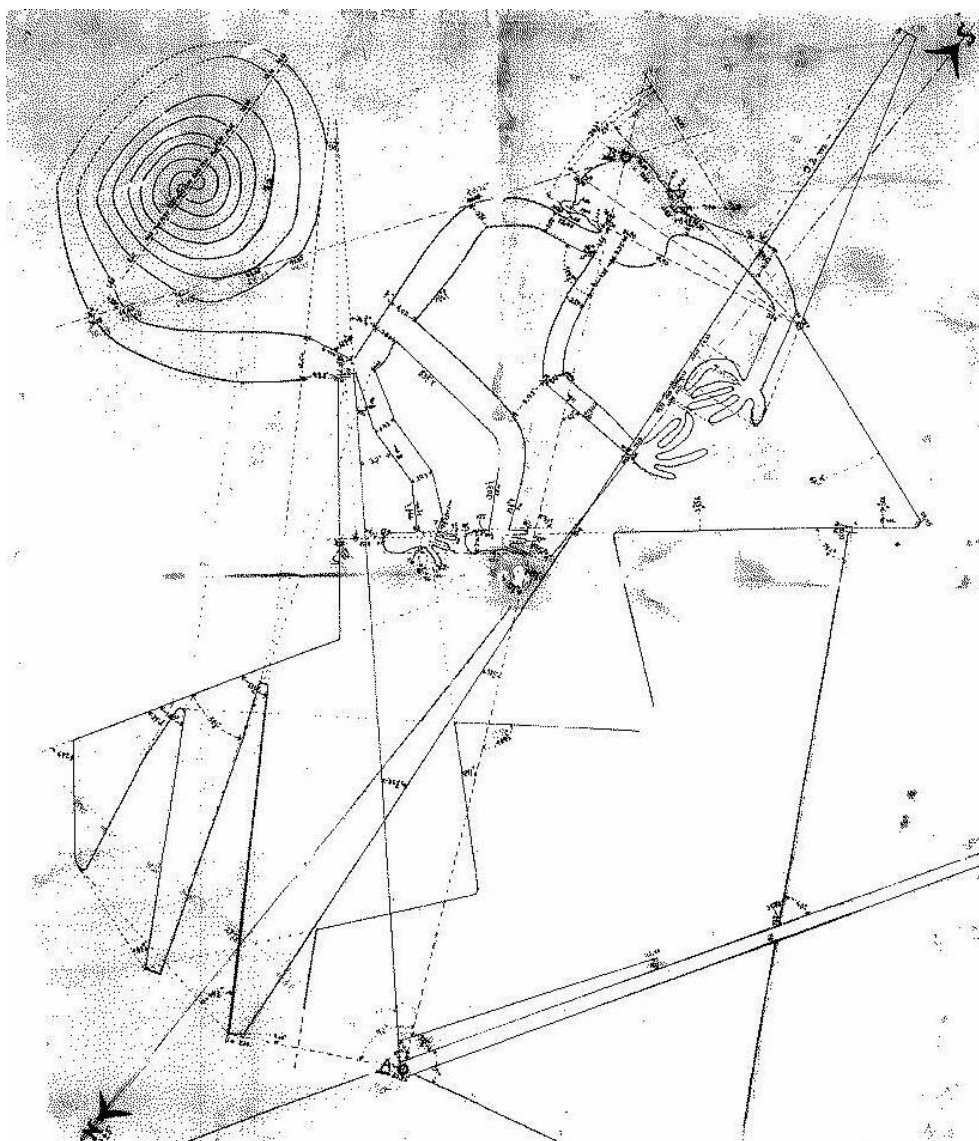
Světový věhlas a zápis do seznamu kulturního dědictví (UNESCO) se dočkala prozatím v Jižní Americe jen plošina Nasca, zejména díky neúnavné vědecké práci Dr.Marie Reiche; zcela určitě k tomu napomohla i popularizaci celé oblasti bestsellerem „Vzpomínky na budoucnost“ Ericha von Dénikena, i když obsahuje řadu naprosto mylných informací i závěrů.



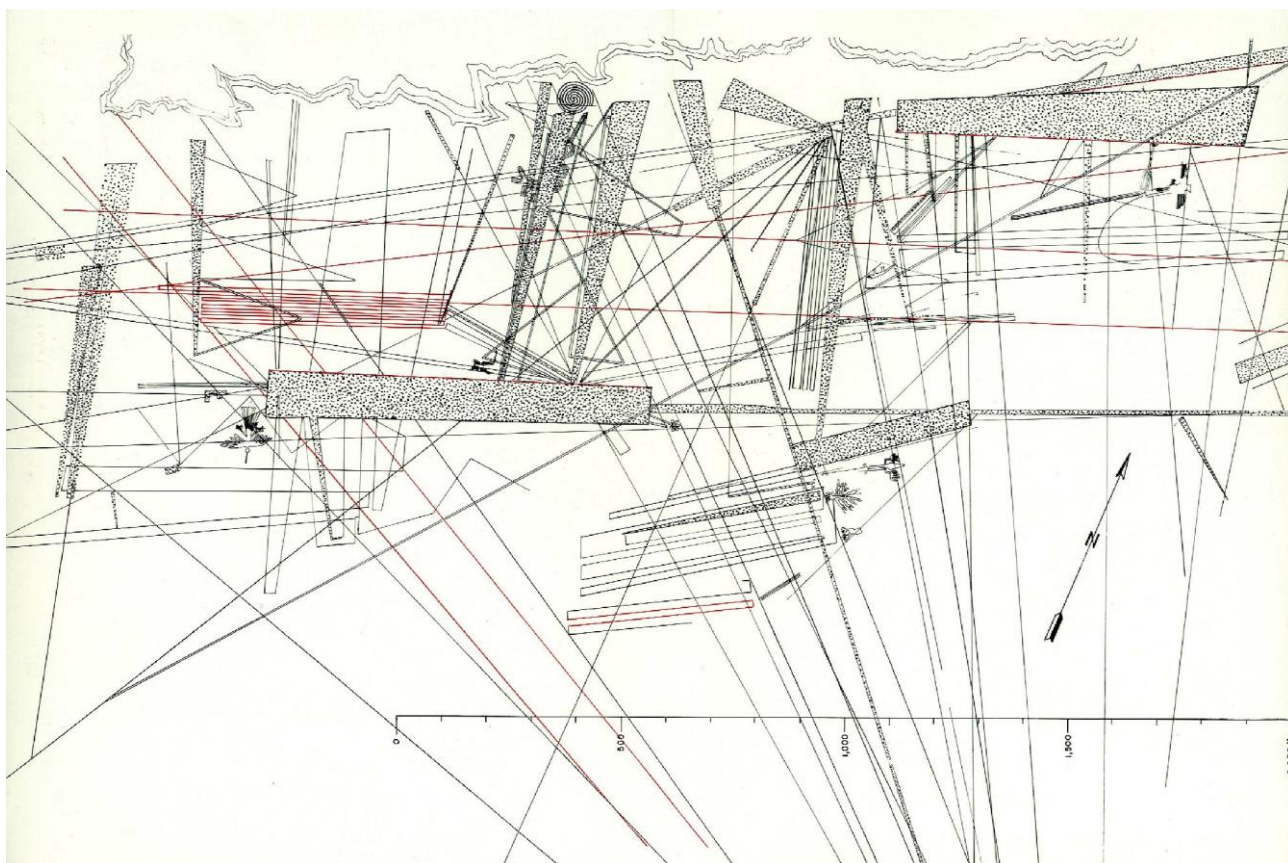
M.Reiche, rodačka z Drážďan, se dostala původně do Perú v roce 1932 jako domácí učitelka. V roce 1941 poprvé navštívila město Nasca a její okolí společně s americkým vědcem Dr. Paulem Kosokem. Její samostatná práce započala až v poválečném období. Od r.1946 do r.1985 se věnovala dokumentaci oblasti, konstrukčním technikám, popularizaci a ochraně této významné památky. Rozvinula zejména astronomickou teorii vzniku a využívání geoglyfů, neboť řada linií má jistý vztah k nebeským úkazům a tělesům. Její největší zásluha tkví především v ochraně celého území, které je již prakticky 30 let nepřístupné (za porušení hrozí až 5 let vězení) a dokumentaci jednotlivých geoglyfů. M.Reiche zemřela v r.1998 ve věku 95 let.



Obr.4: Dr.Maria Reiche a její práce; archiv: M. Reiche (D. Schulze)



Obr.5: Kresba geoglyfu „opice“ s měřenými údaji



Obr:6: Výsledky astronomického průzkumu - Červeně označené linie mají astronomickou orientaci; zdroj: M. Reiche : „Peruanische Erdzeichen“, 1974

V Peru je její jméno i práce velmi populární, je vyobrazena např. na mincích a jako významná osoba dostala nejvyšší peruánské státní vyznamenání. I když se zejména v sedmdesátých letech velmi snažila o popularizaci i ochranu celého území, její dokumentační a matematicko-astronomické práce nebyly populární formou příliš veřejnosti presentovány a přijaty, nepochybně ale položila základy pro vědeckou interpretaci geoglyfů na plošině Nasca. S fascinující myšlenkou návštěvy mimozemské civilizace přišel posléze Erich von Děníken v roce 1968; tato teorie, v řadě případů založená na domněnkách a chybných předpokladech, doznala ohromné popularity mezi širokou veřejností díky své jednoduchosti, provokujícímu a lákavému tajemnu a byla jistě i dána tehdejší dobou nebývalého rozmachu kosmonautiky za vrcholícího projektu Apollo.

V r.1994 byla založena Asociace „Marie Reiche“ v Drážďanech; uskutečnila se 1. expedice Nasca; v r.1995 byl na HTW (Hochschul für Technik und Wirtschaft) Dresden založen projekt „Nazca“ a v letech 1996 a 2003 se uskutečnily další dvě expedice. Asociace „Marie Reiche“ byla ustanovena je činná také v Peru (Asociación Maria Reiche Nazca/Peru), má svou pobočku v městě Nasca i v Limě. Správu oblasti má na starosti INC (památkový úřad), obdobně jako většinu památek v Peru.

2.2 Expedice Nasca/Peru 2004

V srpnu a září 2004 se uskutečnila německo-česká expedice Nasca/Peru 2004. Společná expedice byla výsledkem smlouvy o spolupráci, výměně studentů a pedagogů mezi HTW (Hochschul für Technik und Wirtschaft) Dresden (prof.Bernd Teichert) a ČVUT v Praze (Stavební fakulta, Doc.Pavelka). Cílem expedice bylo zejména měření podrobných a vřícovacích bodů metodou GPS na slavné planině Nasca, fotogrammetrická dokumentace vybraných geoglyfů, tvorba fotogrammetrické databáze petroglyfů (ryté obrazy v kamenech), astronomická měření a dokumentace vykopávek na dalších vybraných lokalitách. V pořadí se jednalo již o 4.expedici, která navázala na tradici z německé strany. Expedice v roce 2004 se skládala z německé části (HTW Dresden a TFH Berlin, celkem 5 zaměstnanců a 11 studentů) a české části (F.Vítek a K.Pavelka). Jako spolupracující instituce byly

v expedici samozřejmě zastoupeny INC Peru a Katolická universita v Limě (Universidad La Católica del Peru). Peru je země, kde se příliš nespěchá a úřední aparát je velmi mocný; např. náš pobyt v Limě se protáhl o několik dnů jen z důvodu celních problémů s přístroji, které na expedici zadarmo laskavě zapůjčila firma Leica (totální stanice a 6 souprav GPS Leica 1200). Pro vlastní měření v poušti jsme opět čekali na velmi cenné povolení ke vstupu do zakázané oblasti - jít bez něj by znamenalo vážné problémy nebo vězení. Vlastní práce spočívala zejména v zaměřování podrobných a vřícovacích bodů přímo v poušti; podrobné měření se provádělo u některých geoglyfů, vřícovací body sloužily pro leteckou fotogrammetrii (bylo třeba provést novou aerotriangulaci bloku cca 160 leteckých snímků v měřítku cca 1:10000) a dále pro snímky z družice Ikonos s rozlišením 1m. Vstup do pouště je dovolen pouze v obuvi bez vzorované podrážky a chodit lze výhradně v liniích, neboť každá stopa v poušti je patrná po mnoho let.



Obr.7: Princip tvorby geoglyfů (foto K.Pavelka,2008)

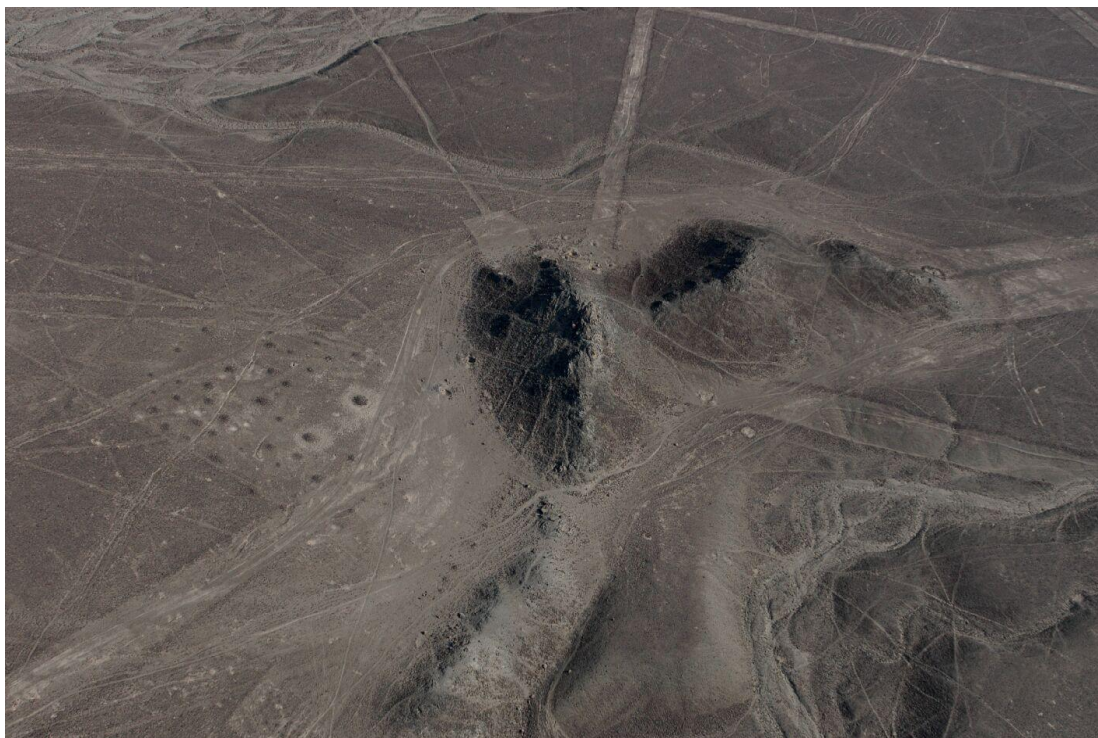
Pohybovat se v zakázané oblasti lze samozřejmě pouze pěšky. Mimo vlastní měření GPS bylo cílem také získat fotogrammetrický materiál v podobě leteckých snímků, které by dokumentovaly vývoj poškození geoglyfů a dále vytvořit rozsáhlou databázi fotogrammetrických záznamů petroglyfů, které jsou na mnoha velmi nepřístupných místech; cílem této práce je jejich porovnání a nalezení možné podobnosti s geoglyfy v poušti. Petroglyfy jsou různých druhů a řada z nich je velmi primitivní – je velmi pravděpodobné, že vznikly dříve než geoglyfy. Určovat stáří a epochu, kdy geoglyfy i petroglyfy vznikly, je velmi problematické. Epoch i kultur je na území Peru mnoho, silně se ovlivňovaly, překrývaly a mísily se. Jak datovat, kdy někdo přenesl kamení z místa na místo? Datovat lze podle keramiky, organických zbytků a podobně. Jejich vazba s geoglyfy může být ale náhodná. Postupuje se tedy podle charakteristických znaků kreseb a předpokládaném trvání a rozsahu nejbližší

kultury. Teprve nedávno byla na specializované akci v Bonnu v Německu představena metoda, která by snad mohla stáří geoglyfů přesněji určit. Jedná se o využití termolumiscence. S technologií opticky stimulované termoluminiscence přišla Universita v Heidelbergu (Max-Planck Institut). Na základě analýzy odebraných vzorků přímo z geoglyfů byly vypočteny doby, kdy došlo k přesunu pevného materiálu – některé vykazují desítky tisíc let a jedná se tedy o přirozené pohyby naplavenin do oblasti, jiné vykazují stáří změny své poslední polohy kolem 1000 let (<http://www.geog.uni-heidelberg.de>)

Geoglyfy v okolí města Nasca jsou často přisuzovány okolním kulturám – starší kultuře Paracas (900 př.n.l.-200 n.l.) a mladší kultuře Nasca (200 n.l.-800 n.l.). Zcela určitě nevznikly najednou; řada z nich se překrývá, nejstarší kresby jsou již téměř neviditelné. Obecně se jedná o **tenké dlouhé linie**, velké **plochy ve tvaru obdélníků nebo trojúhelníků** (tzv.trapezoidy) a **kresby**, většinou zoologické.



Obr.8: Geoglyf „opice“ z letadla a ze země (foto K.Pavelka, 2004)



Obr.9: Centrum linií s centrálním pahorkem (foto K.Pavelka, 2004)

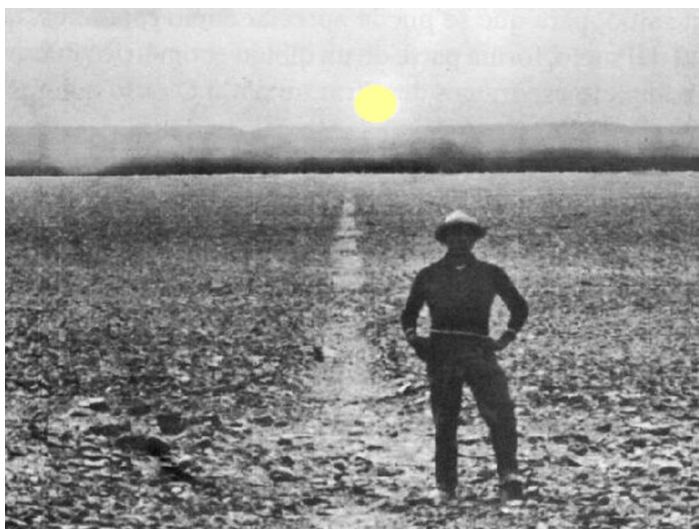


Obr.10: Trapezoidy (foto K.Pavelka, 2004)

Účel geoglyfů je předmětem různých teorií. Nejpropracovanější se zdála teorie astronomická (P.Kosok, M.Reiche), kdy linie měly sloužit jako kalendář a observatoř; u mnoha útvarů je astronomická orientace zjevná (např. západ Slunce za rovnodennosti), směr ke hvězdě Sírius aj.



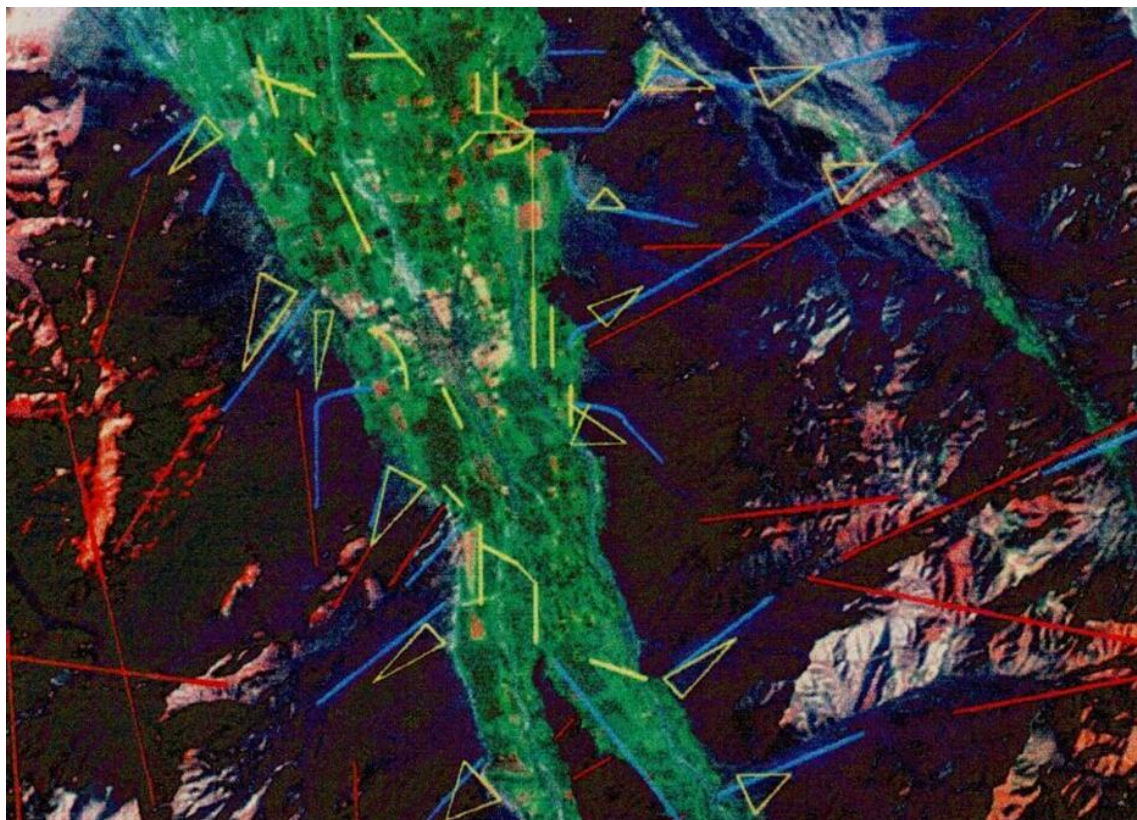
Obr.11: Trapezoid ze země (foto K.Pavelka, 2004)



*Obr.12: Astronomická orientace linie, P. Kosok, „Eureka“ – Photo (21. June 1941),
astronomická orientace linie (Sirius- linie, foto K.Pavelka, 2008)*

Nevysvětluje ale plošné útvary a také množství linií je příliš velké – tolik astronomických objektů nebylo možno sledovat nehledě na to, že linie jsou v noci téměř neviditelné a pokud svítí Měsíc, nejsou zase vidět další slabší objekty. Jestli kresby představovaly souhvězdí, těžko můžeme zjistit. Některé objekty byly spojovány se souhvězdími, jako např. geoglyf „opice“ se pokusila interpretovat M.Reiche jako tvar souhvězdí Orion, v tomto případě se ale jedná o pouhou představu autorky.

Trojúhelníky jako ukazatele podpovrchové vody vysvětluje poslední dobou velmi citovaná teorie D.Johnsona (1997); orientace i umístění štíhlých trojúhelníků souhlasí s geologickými zlomy. Voda, v oblasti Nasky zásadní pro přežití zde žijících lidí, byla jistě velmi cenná.



*Obr.13: Trapezoidy mohou ukazovat podpovrchové zdroje vody,
zdroj:David W. Johnson, 1997*



Obr.14: Některé geoglyfy vypadají jako letiště (foto: K.Pavelka, 2004)



Obr.15: Některé dlouhé linie jsou určité cesty, spojující osídlené celky (foto: K.Pavelka,2004)

Je těžké posoudit skutečný význam geoglyfů; zjevné je ale, že určitě mnoho z linií sloužilo jako cesty – spojují totiž významná místa a sídla. Existuje ještě samozřejmě řada dalších teorií – od náboženství, přes předkolumbovské olympijské místo, umění až po pracovní terapii indiánů; některé z nich jsou ale zjevně zcestné. Dle mého názoru nelze ale jedinou obecnou a jednoduchou teorií vysvětlit přesný účel geoglyfů – problém je širší a nejspíš se jedná o více pravděpodobných druhů využívání: kalendář a astronomie, signalizace zdrojů vody, cesty, náboženské účely.

2.3 Letecké snímkování amatérskými prostředky

Nejlepší představu o celé oblasti umožňují letecké a družicové snímky. Dostupné letecké snímky nejsou ale příliš dobré kvality, pokrývají jen část území a přístup k nim není jednoduchý. Družicové snímky mají v mnoha případech zase stále ještě malou geometrickou rozlišovací schopnost (některé linie mají šířku jen 10-30cm), i když tato nevýhoda poslední dobou ustupuje s novými typy družic (od r.1999 jsou k dispozici panchromatická data z družice Ikonos s rozlišení 1m, od r.2003 z družice QuickBird s rozlišení 65cm a od r. 2008 50cm). Nejjednodušší cestou, jak pořídit vhodná obrazová data, je provést snímkování vlastními silami za pomoci menších leteckých společností, které operují z letiště v Nasce. Letecké snímkování bylo provedeno speciálním snímkovým letem z letadla Cessna; požadavek, že není možné fotografovat přes okno z důvodu kvality obrazu a je nutno fotografovat pokud možno kolmo k terénu, byl na letišti vyřešen velmi jednoduše – odmontováním části dveří. Po řádném připoutání, umožňujícím vyklonění z letadla se podařilo pořídit cca 250 snímků digitální zrcadlovkou Nikon D100. Nakonec – např.celou první světovou válku se fotografovalo stejně. Další zpracování snímků je zdoluhavá práce a snímky obvykle zaznamenávají jen vybrané části z celé lokality; celoplošné snímkování za těchto podmínek i techniky nepřípadá v úvahu. Přesto se podařilo uspořádat prozatím některé získané informace do jednoho místa. Na HTW Dresden existuje specializovaný server v rámci projektu „Nasca GIS“ (HTW Dresden: <http://www.htw-dresden.de/nazca/>). Data, získaná v rámci expedic pod hlavičkou Fakulty stavební ČVUT, jsou shromažďována na serveru Laboratoře fotogrammetrie (<http://lfgm.fsv.cvut.cz>) a v loňském roce byl vytvořena aplikace na úrovni mapového serveru, kde se postupně ukládají nově zpracované družicové i letecké snímky (<http://maps.fsv.cvut.cz/nazca/>)

2.4 Jednosnímková fotogrammetrie

Na základě poměrně jednoduché metody jednosnímkové fotogrammetrie se podařilo vytvořit úplnou sadu přesných fotoplánů kamenné hradby s ornamenty. Základem je převod středového promítání do roviny fotoplánu. Matematickým vyjádřením skutečnosti je **kolineární transformace** mezi snímkem a plánem. Pro řešení je třeba pěti vřícovacích bodů (9 neznámých); vydělením rovnic (1) konstantou $\hat{c}_3$ a aplikací substituce $a_1 = \hat{a}_1 / \hat{c}_3$, $a_2 = \hat{a}_2 / \hat{c}_3, \dots, 1 = \hat{c}_3 / \hat{c}_3$ dostaneme vyjádření jednodušší (2), které je definováno pouze čtyřmi body (8 neznámých). Pro praxi to znamená, že je třeba na rovinném objektu určit v plošných geodetických souřadnicích alespoň 4 identické (vřícovací) body.

$$\begin{aligned} X &= \frac{\hat{a}_1 x' + \hat{a}_2 y' + \hat{a}_3}{\hat{c}_1 x' + \hat{c}_2 y' + \hat{c}_3}, \quad X(\hat{c}_1 x' + \hat{c}_2 y' + \hat{c}_3) = \hat{a}_1 x' + \hat{a}_2 y' + \hat{a}_3 \\ Y &= \frac{\hat{b}_1 x' + \hat{b}_2 y' + \hat{b}_3}{\hat{c}_1 x' + \hat{c}_2 y' + \hat{c}_3}, \quad Y(\hat{c}_1 x' + \hat{c}_2 y' + \hat{c}_3) = \hat{b}_1 x' + \hat{b}_2 y' + \hat{b}_3 \end{aligned} \quad (1)$$

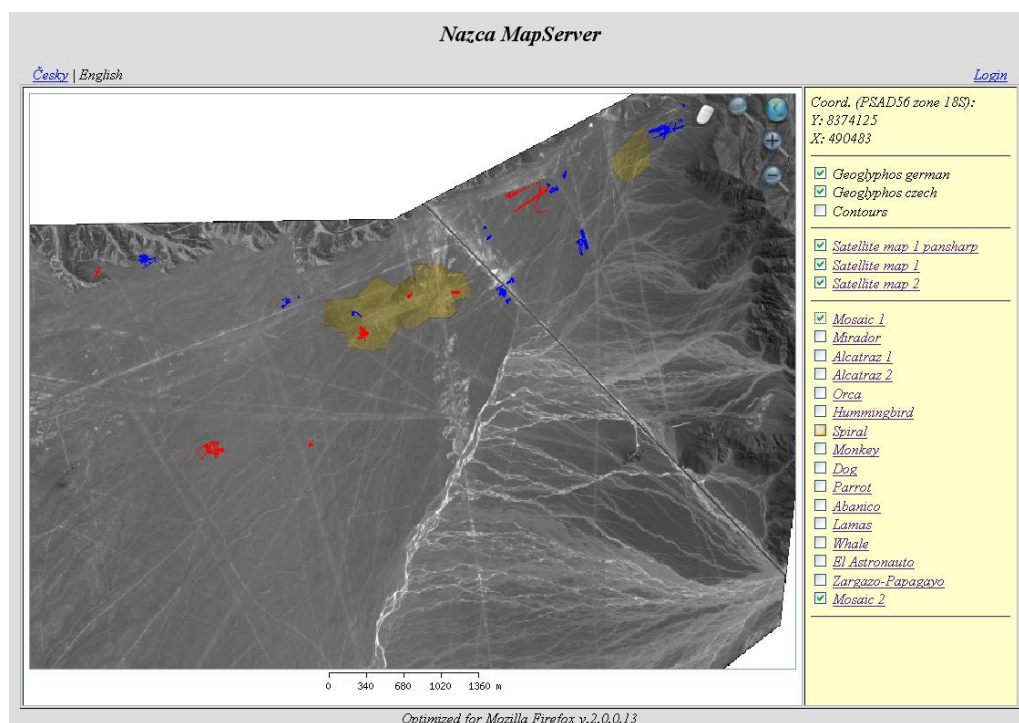
$$\begin{aligned} X &= \frac{a_1 x' + a_2 y' + a_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1} \\ Y &= \frac{b_1 x' + b_2 y' + b_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1} \end{aligned} \quad (2)$$

kde X,Y jsou geodetické plošné souřadnice, x, y jsou snímkové souřadnice, a_i, b_i, c_i jsou obecné koeficienty. Výraz (2) definuje středové promítání (také projektivní transformaci), které je známé např. z deskriptivní geometrie. Je vidět, že v uvedeném vztahu **nejdou** žádné fotogrammetrické proměnné či konstanty (f – konstanta komory, úhly rotací apod.); vyplývá z toho, že můžeme použít prakticky libovolnou komoru i s neznámými parametry – pouze je třeba, aby snímky nejevily příliš velkou distorzi objektivu; je-li distorze významná, lze ji v současné době poměrně jednoduše a dostatečně eliminovat.

Pomocí jednosnímkové fotogrammetrie byly převedena většina leteckých snímků z Pampy de Nasca, která je dostatečně dobře aproximovatelná rovinou. V případě, že nebyly k dispozici přímo měřené vřícovací body, bylo přistoupeno k vřícování na družicový souřadnicově připojený snímek z družice QuickBird. Tato technologie se ukázala jako dostatečná pro většinu amatérských snímků.



Obr.16: Spojení družicového snímku s amatérským leteckým snímkem (K.Pavelka, 2004)



Obr.17: Interaktivní mapový server – Pampa de Nasca (K.Pavelka, J.Cajthaml, A.Kuldanová, 2008)

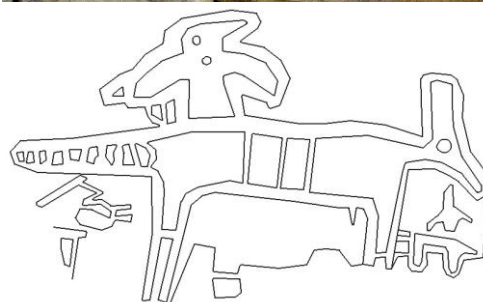
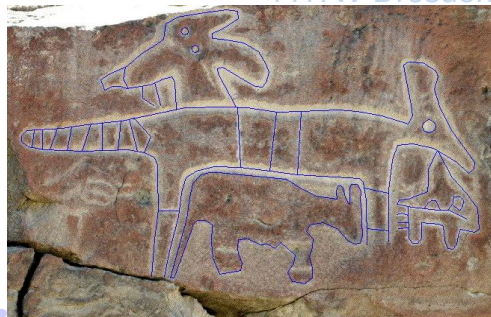
Důležitou součástí expedice v roce 2004 byla dokumentace petroglyfů. Při tomto projektu bylo třeba dokumentovat stovky kreseb v kameni, často ve velmi nepřístupných místech na skalních římsách a příkrých svazích. Opět bylo využito jednoduché jednosnímkové fotogrammetrie. Geodetické zaměření a vyznačení vlíčovacích bodů by bylo prakticky neproveditelné, proto jsem zavedl a použil velmi jednoduché a rychlé vytvoření podmínek pro jednosnímkovou fotogrammetrii. Snímkování objektu se provádělo dvakrát – jednou s přiloženou čtvrtkou známého formátu A3 nebo A4 přímo na objekt, podruhé bez papíru; snímek s přiloženou čtvrtkou sloužil pro vytvoření fotoplánu s tím, že čtvrtka představovala ideální vlícovací obrazec. Po obrazové transformaci se je třeba na snímek se čtvrtkou transformovat na základě nalezených totožných bodů snímek bez čtvrtky. Vlastní měření v terénu odpadá a je velmi rychlé. Tímto způsobem byla vytvořena databáze několika stovek petroglyfů; Vzhledem k problematické interpretaci jsem zvolil mimo klasickou ruční vektorovou interpretaci také technologii digitálního zpracování obrazu; u některých záznamů petroglyfů jsou výsledky poměrně kvalitní a omezují tak vliv osobního přístupu k vyhodnocení. Lze užít běžných postupů zvýraznění obrazu, hranových operací a filtrů, které jsou běžné v DPZ. Výsledky dokumentují následující obrázky.

2.5 Fotogrammetrická dokumentace dalších objektů

Ve spolupráci s INC za účelem dokumentace některých objektů byly provedeny další fotogrammetrické práce na některých významných archeologických nalezištích. Neobvyklou a do jisté míry odlišnou památkou je Sechín, starověké sídlo u města Casma. Jeho počátky spadají do r. 1800 př.n.l. (datace pomocí zbytků organických kousků v hliněných cihlách). Později vznikla kolem centrální stavby zřejmě kamenná hradba s výjimečnými ornamenty, které připomínají mayské památky. Místo obývalo několik civilizací a nakonec pravděpodobně zaniklo při katastrofálním El Niňu.



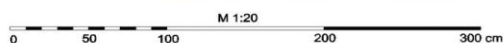
Two Photographs



ČVUT Praha

Obr.18: Princip jednoduchého fotogrammetrického zaměření petroglyfů a různé vektorové vyhodnocení

Levá strana (16)



Obr.19: Podrobné fotoplány cenných ornamentů (Sechin, foto: K.Pavelka, 2004)

2.6 Průseková fotogrammetrie

Pro prostorové vyhodnocení objektů se využívá stereofotogrammetrie nebo průseková fotogrammetrie. Pro rozsáhlejší méně členité objekty se hodí více jednodušší průseková fotogrammetrie. V současné době jasně převládá – cenově i množstvím instalací a komfortem zpracování – vyhodnocení pomocí software **Photomodeler** (existují ovšem i jiné **iWhitness** aj.). Řešení je založeno na základní fotogrammetrické rovnici (3). Veškeré fotografické práce spočívají v pořízení vhodného počtu konvergentních snímků, které obepínají snímáný objekt. Snímky musí mít dostatečný překryt s možností identifikace spojovacích bodů. Odvození analytického řešení, které se využívá v současnosti a vychází ze základních fotogrammetrických vztahů :

$$\begin{aligned} x' &= x'_0 - f \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \\ y' &= y'_0 - f \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (3)$$

kde $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$ je matice prostorové rotace, X, Y, Z jsou geodetické souřadnice bodů,

X_0, Y_0, Z_0 jsou souřadnice projekčního centra, $x', z', (-f)$ (pro pozemní fotogrammetrii) jsou měřené snímkové souřadnice a x'_0, z'_0 jsou souřadnice hlavního bodu. Výpočet neznámých $\omega, \varphi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$, případně f, x'_0, z'_0 ($=dx', dz'$) pro každý snímek se provádí iterací pomocí souřadnic známých vličovacích bodů; znamená to, že potřebujeme přibližné hodnoty neznámých před výpočtem. Do výpočtu lze také zadat opravu o radiální distorzi ($\Delta x', \Delta z'$).

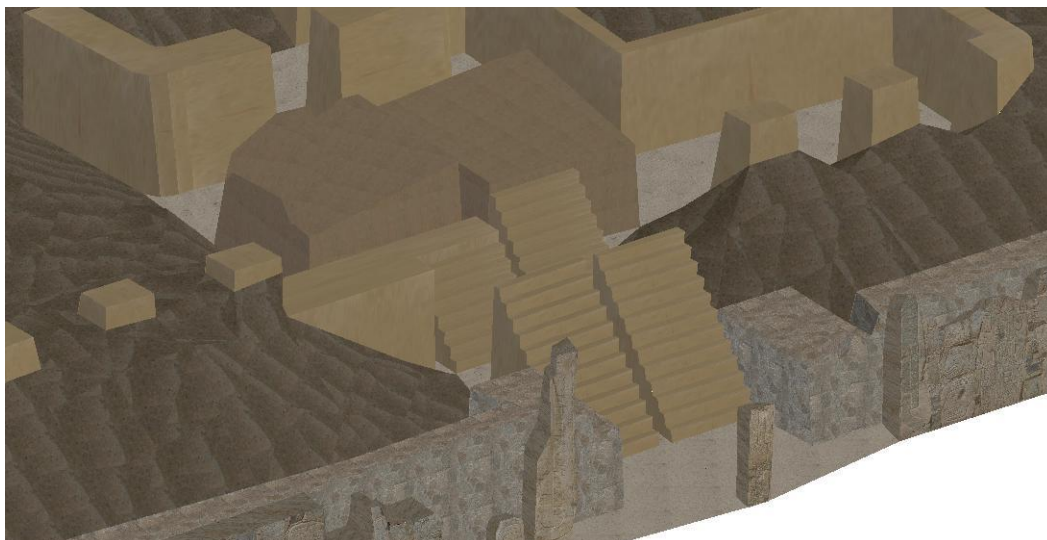
Nutnou podmínkou je změřit na snímcích spojovací body, které slouží na vytvoření modelu obdobně jako orientační body u stereo metody při relativní orientaci. Celkový výpočet využívá blokové vyrovnání ve tvaru:

$$\begin{pmatrix} x' - x'_0 + \Delta x' \\ z' - z'_0 + \Delta y' \\ -f \end{pmatrix} = m \cdot \mathbf{R}^T \cdot \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Ve vzorci (4) jsou $\Delta x', \Delta y'$ obecně opravy snímkových souřadnic (obvykle jen o radiální distorzi). Pro vyrovnání je třeba vztah (4) linearizovat a převést na rovnice oprav a dále na systém normálních rovnic, případně zavést váhy jednotlivých měření. Záleží na zpracovatelském systému, zda umožňuje přibližné určení těchto neznámých a s jakou přesností je požaduje. Dále je nutno na objektu zaměřit geodeticky, případně i jednoduššími metodami (oměrnými) dostatečný počet vličovacích bodů. Minimální počet pro transformaci do geodetického systému je sedm změřených veličin, např. jeden bod o všech třech souřadnicích, jeden o dvou, jeden o jediné a alespoň jednu dobře identifikovatelnou vzdálenost. Toho se samozřejmě příliš neužívá, jelikož je asi zbytečné měřit jen jednu souřadnici při zaměření na bod a dále z důvodu, že není kontrola. Běžně se zaměřuje 6-10 plných vličovacích bodů na menším a jednoduchém objektu. Pokud máme např. totální stanici, není to problém, pokud máme jen pásmo, lze užít i zjednodušeného postupu a oměřit výrazné útvary na objektu. Prostorové vyhodnocení lze provést ze dvou snímků bez kontroly, tři a více konvergentních snímků nám dává možnost kontroly a vyrovnání; z hlediska přesnosti je třeba dodržet poučky pro protínání z úhlů. Více snímků znamená vyšší přesnost, ale též zpřesnění polohy určovaných bodů.

Pomocí průsekové fotogrammetrie byl zaměřen a vyhodnocen celý objekt paláce v Sechínu, vytvořeny byly animace.

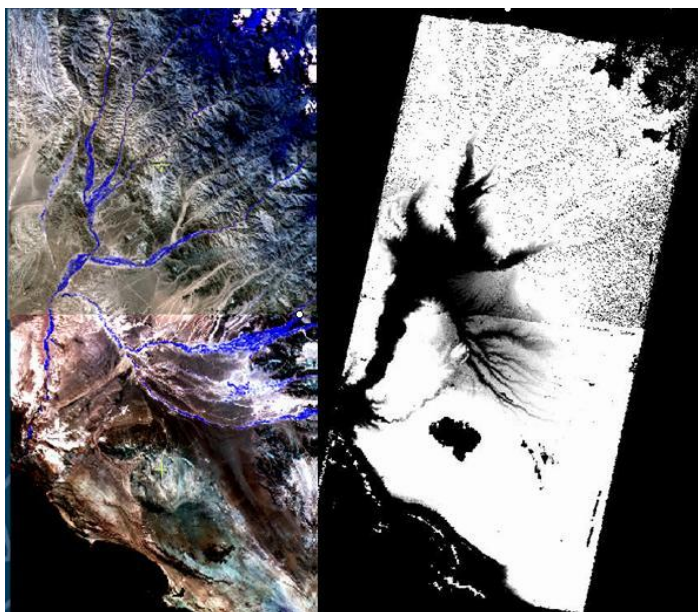




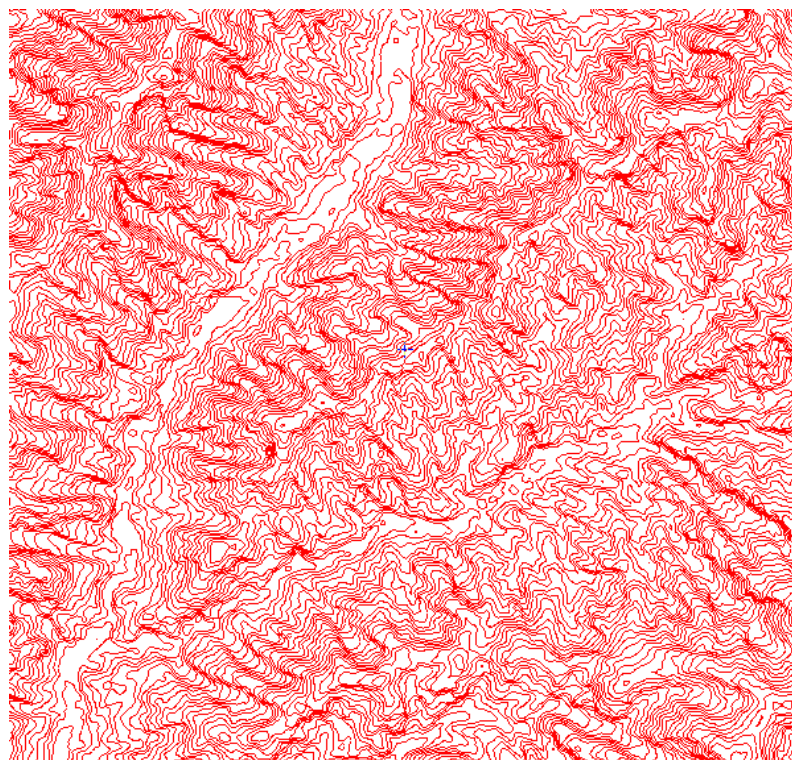
Obr.20 : Pohled na vykopávky, porovnání skutečného modelu a fotografie a detail modelu (K.Pavelka, M.Odvody, 2008)

2.7 Expedice Nasca/Peru 2008

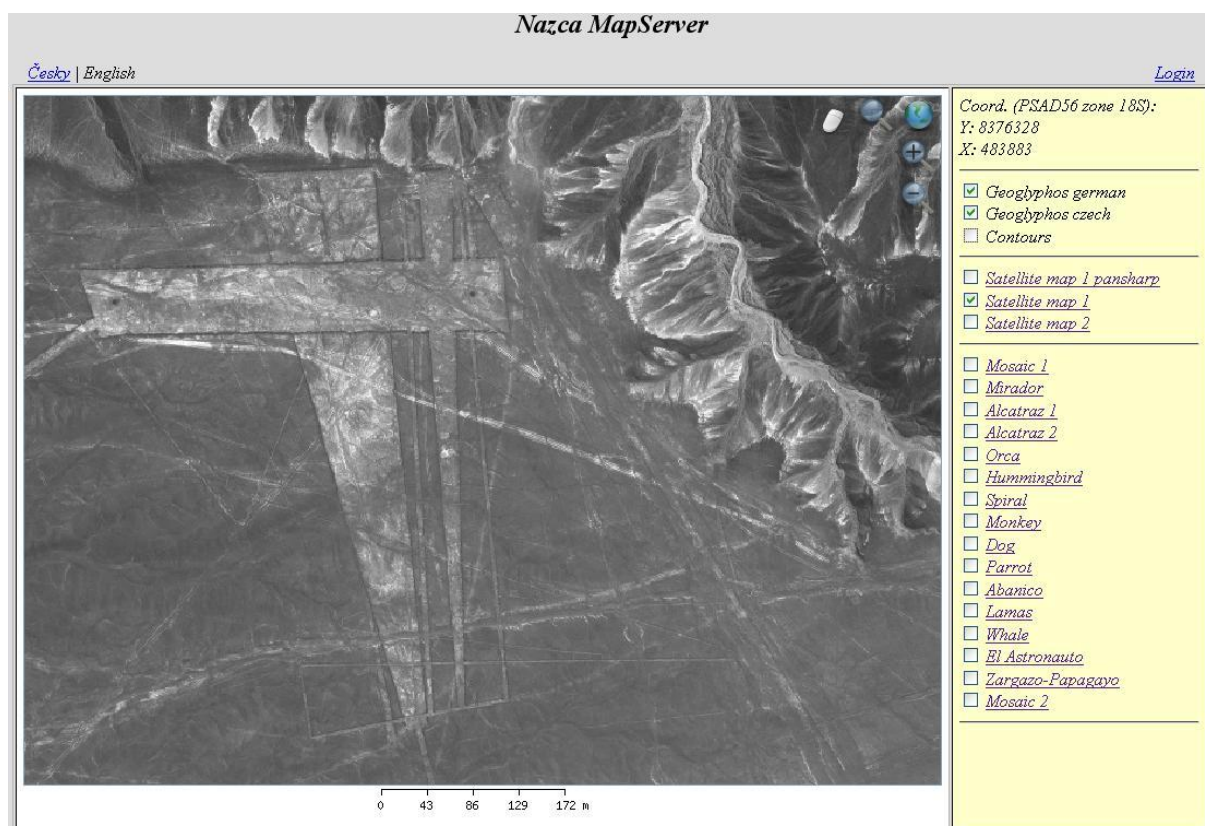
V září a říjnu 2008 se uskutečnila druhá německo-česká expedice Peru/Nasca 2008. Jejím cílem bylo vytvořit základní mapové dílo na základě dostupných a levných družicových dat a pokračovat ve fotogrammetrické dokumentaci (např. klášter San Javier). Obecně z důvodu autorských práv nelze vystavovat mapová díla na internetu. V případě oblasti Nasca (o prakticky významné části celého Peru) nejsou dostupné vhodné a kvalitní mapy. Nejlepší dostupné byly z americké geologické služby (USGS), ale ty jsou z roku 1964 a situace často již neodpovídá. Kvalita výškopisu zejména v horských oblastech je špatná. Pro tvorbu vlastních map, které budou volně vystaveny na mapovém serveru, byly využity družicové stereoskopické scény ze skeneru Aster družice Terra; rozlišení je sice jen 15m/px, ale v mapě 1:50 tis. je to jen 0.3mm a to je pro běžné práce na tak rozsáhlém území dostatečné. Výškopis vznikl automatickou metodou obrazové korelace v software Geomatica (OrthoEngine, ver.10). Pro jeho tvorbu ale bylo zapotřebí změřit cca 20-30 vřícovacích bodů, pravidelně rozmístěných po celé ploše. To bylo velmi složité z důvodu rozlohy obou použitých scén (celkem 60x120km) a často naprosto nepřístupného terénu. Terénním automobilem se podařilo běžně ujet jen 15-20km za hodinu ve velmi těžkém terénu od pobřeží, po vysoké hory, písčité duny a koryta vyschlých řek. Identifikace vřícovacích bodů. Bez družicových plánů a GPS není prakticky proveditelná. Využita byla souprava GPS Trimble GeoExplorer XP, kdy jedna stanice byla spuštěna v režimu „base“ a druhý „rover“. Využito bylo několik pevných stabilizovaných bodů z minulé expedice, zaměřených přesnější GPS Leica 1200. Celkově bylo změřeno cca 200 vřícovacích bodů pro několik druhů družicových snímků (Ikonos, QuickBird i Aster/Terra). Přesnost měřených bodů s výsledným využitím postupu „postprocessing“ se pohybovala od 50-100cm. Využito bylo převážně fázového měření (min.120 pozic).



Obr.21: Přehledka dvou scén ze skeneru Aster družice Terra a vytvořený digitální model terénu (DMT)



Obr.22: Generované vrstevnice na základě DMT z družicových dat.



Obr.23: Zpracovaná družicová data : QuickBird, Pampa de Nasca, panchromatický obraz, geometrické rozlišení 65cm/px, 2005

Výpočty byly prováděny ve firemním software Trimble (GPS Pathfinder Trimble), zde je ukázka výsledné zprávy o výsledcích s využitím „postprocessing“:

Processing rover file, R082917A.SSF ...Differential Correction Summary:

1 file processed. In this file:

1180 (100.0%) of 1180 selected positions were code corrected by post-processing

0 (0.0%) of 0 selected positions were carrier corrected by post-processing

Estimated accuracies for 1180 corrected positions are as follows:

Range Percentage

0-15cm -

15-30cm -

30-50cm 35.5%

0.5-1m 64.3%

1-2m 0.2%

2-5m -

>5m -

Differential correction complete.

Messungsauswertung Nasca/Palpa 2008							
Messung 2008:				Transformation nach:			
WGS84/UTM Zone 18S				PSAD56, UTM Zone 18S/EGM96			
Easting	Northing	Elevation	Name - Karel	Punkt	Easting	Northing	Elevation
494300,39	8368679,09	569,23	qq37a	08-qq37a	494524,39	8369042,74	537,71
508900,89	8360324,42	658,33	4-2-1	08-4-2-1a	509125,13	8360687,91	625,32
508900,34	8360325,16	659,04	kontrola-4-2-1	08-4-2-1d	509124,59	8360688,66	626,03
508900,34	8360325,03	659,18	kontrola-4-2-1-kod	08-4-2-1e	509124,59	8360688,52	626,17
488844,99	8374017,03	540,64	hill x	08-hill-X	489068,90	8374380,77	509,58
494300,73	8368679,39	569,12	qq37	08-qq37	494524,73	8369043,03	537,59

Sollwerte aus der Messung 2004:			Differenzen (Soll-Ist) in [m]		
Easting	Northing	Elevation	East	North	Elevation
494524,33	8369042,41	537,44	-0,06	-0,33	-0,27
509124,57	8360688,39	625,88	-0,57	0,47	0,56
509124,57	8360688,39	625,88	-0,02	-0,27	-0,15
509124,57	8360688,39	625,88	-0,02	-0,13	-0,29
489068,86	8374380,01	509,35	-0,04	-0,76	-0,22
494524,33	8369042,41	537,44	-0,40	-0,62	-0,15

Tab.1: Kontrola na pevných bodech (měření 2004 a 2008): na vybraných pevných bodech bylo dosaženo velmi dobrých výsledků



Obr.24: Měření vlíčovacích bodů na vyvýšenině v poušti (foto: K.Pavelka, 2008)

3. Projekt Erbil / Irák

V roce 2006-8 byly provedeny fotogrammetrické a geodetické práce v městě Erbil na severu Iráku s cílem zajistit pro kurdské památkové objekty, které jsou ale i celosvětově významnými památkami, základní dokumentaci a plány. Vybrány byly minaret Choli a citadela Al-Qala vzhledem k jejich stavu i významu.

3.1 Minaret Choli, Erbil

Minaret Choli je jednou z nejvýznamnějších kurdských památek, o čemž svědčí i skutečnost, že minaret Choli je prezentován jako symbol Kurdské kultury. Minaret pochází ze 14. století a dochovaná část je posledním zbytkem nejstarší Kurdské mešity. V minulosti došlo k mnoha závažným poškozením celého objektu, zhroucení vlastní mešity a nakonec i k pádu horní partie minaretu. Vlivem nestabilních geologických podmínek podloží začalo v posledních letech docházet k postupnému naklánění minaretu jihozápadním směrem. Tím je fakticky ohrožena celková stabilita této cihelné konstrukce a v případě odkladu záchranných prací by hrozil pád jeho horní části.

Základním požadavkem při obdobných projektech je vždy důkladná dokumentace objektu, která se provádí zejména u památkových objektů fotogrammetricky. Fotogrammetrie umožňuje zachytit přesný stav objektu v určitém čase a zároveň přináší možnost geodeticky přesného zaměření celého objektu včetně nepřístupných částí. Klasickým výstupem jsou fotoplány a fotomozaiky v určitém měřítku a dále výkresová dokumentace, která v dnešní době bývá obvykle v podobě 3D modelu objektu. Ten umožňuje vytvářet libovolné pohledy (půdorys, nárys) a dále slouží pro tvorbu řezů objektem. 3D model a řezy jsou nutným podkladem pro statické výpočty a modelování objektu. Třírozměrný model je možno pro vizualizaci objektu potáhnout umělými texturami (rendering) nebo lépe kvalitními fotografiemi – fotoplány tak, že výsledkem je fotorealistický model celého objektu. Ten se dále využívá pro předvádění objektu např. v prostředí sítě Internet nebo pro předvedení zamýšlených oprav objektu.

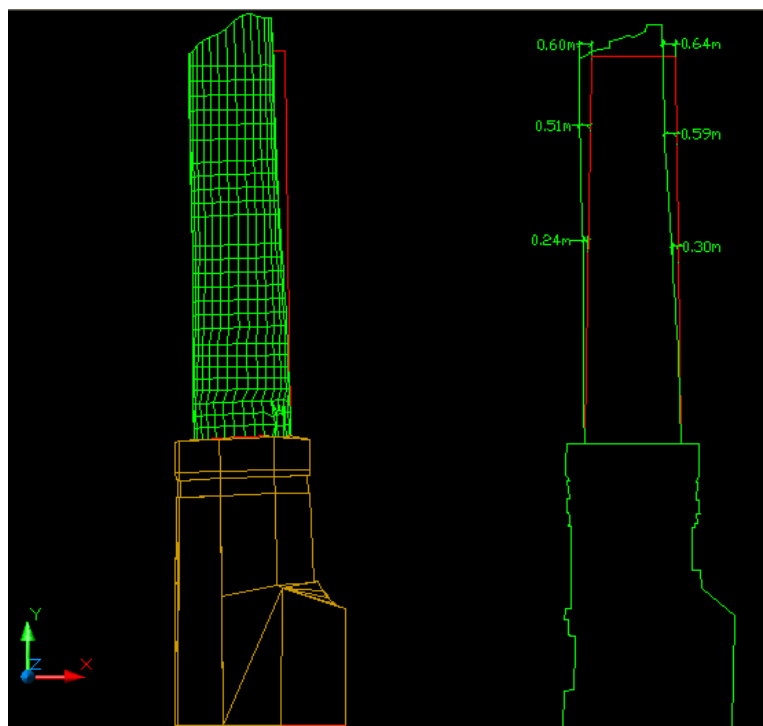
V červnu roku 2006 bylo provedeno základní měření formou expediční výpravy. Získána byla úplná sada měřických snímků minaretu fotogrammetrickou komorou RolleiMetric 6006 a kalibrovanou digitální komorou Canon 20D. Pro fotogrammetrickou dokumentaci je třeba u staveb, které se dokumentují po celém obvodu získat snímky z různých denních dob z důvodu stínů na objektu a dále možného

přesvětlení ploch přímým slunečním svitem. Dále je třeba zajistit pro celý objekt dostatečné množství geodeticky zaměřených vřícovacích bodů; body se buď signalizují terčíky přímo na objektu nebo se využívá přirozených bodů na objektu, kterými jsou rohy oken či jiné význačné body. Pro tyto vřícovací body je nutno pořídít místopisy. Zaměření vřícovacích bodů se provádí ze zbudované geodetické mikrosítě. V případě minaretu Choli byly stabilizovány ocelovými hřeby a značkami 4 body, ze kterých se provádělo zaměření vřícovacích i podrobných bodů na minaretu. Vzhledem ke klimatickým podmínkám (až 46°C) a velmi strmým záměrům pro horní části minaretu se jednalo o mimořádně náročné měření. Pro urychlení celé práce byla proto použita totální stanice s laserovým bezhranovým měřicím systémem vzdáleností – to významně urychlilo celé měření a bylo možno zaměřit i velké množství podrobných bodů na věži minaretu s cílem definovat naklání věže přesným měřením.

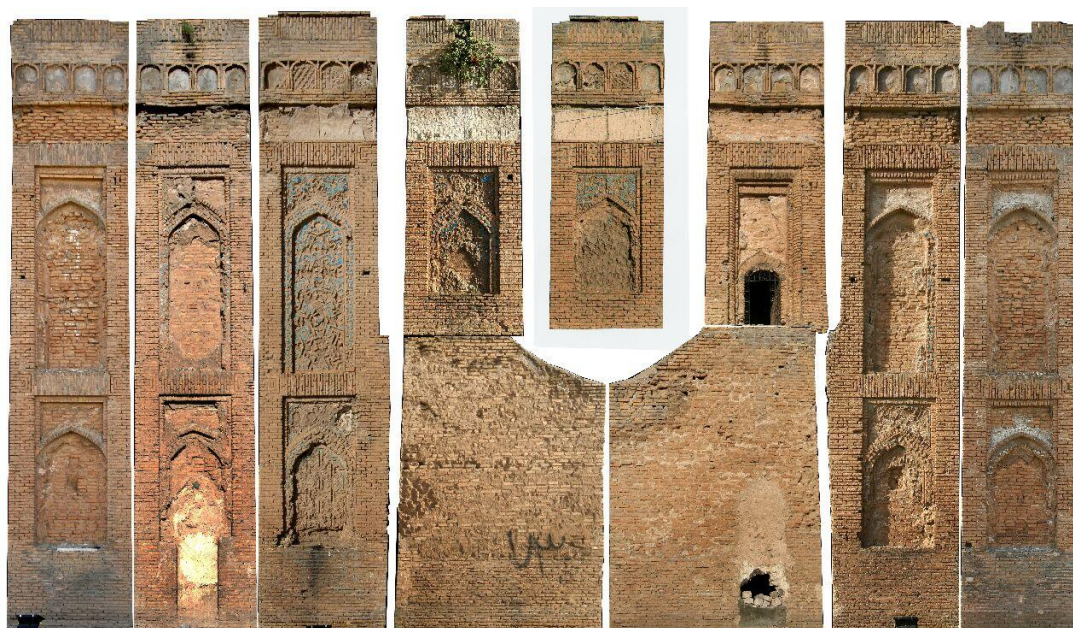
Z jednotlivých bodů sítě byly zaměřeny vřícovací a podrobné body na minaretu; střední chyba podrobných bodů, určená na základě několikerého měření stejných bodů z různých stanovisek se pohybovala v rozmezí 5-25mm.



Obr.25: Pohled na minaret Choli



Obr. 26: Svislý řez – náklon věže



Obr.27: Fotoplány spodní části minaretu

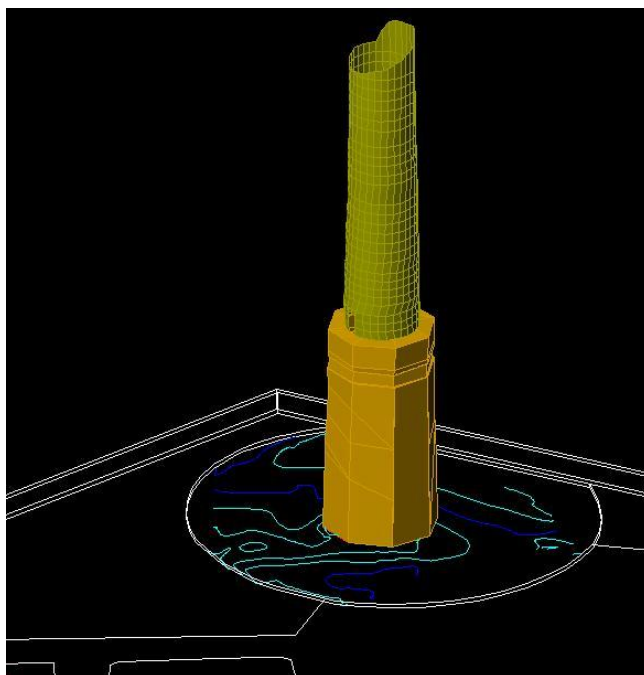
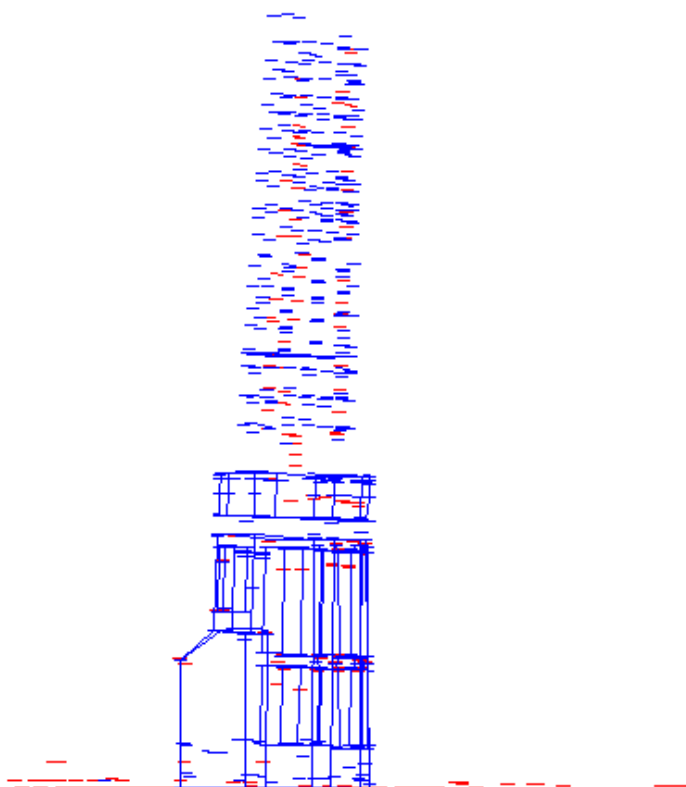


Obr.28: Rozvinutí věže do plochy a výsledný fotorealistický model minaretu

V říjnu 2008 proběhla další měření, speciálně určené pro ověření statiky objektu a definování blízkého okolí minaretu. Vzhledem k tomu, že pro původní geodetickou mikrosít' nebyla užita dlouhodobá stabilizace vzhledem k jejímu předpokládanému určení, byla zbudována nová mikrosít' v přibližně stejné konfiguraci; užita byla stabilizace kovovou značkou s pravidelně rozmístěnými otvory pro opěry stativu, vše v betonu. Měření v obou případech probíhalo kvalitní totální stanicí

Trimble 5000. V roce 2006 byl sice zaměřen tvar minaretu a válcové části podrobnými a vřícovacími body (celkem 595 bodů). V roce 2008 bylo těleso minaretu obestavěno lešením a nebylo možno měřit přesně na stejné body. Z hlediska statického měření bylo vsazeno do tělesa minaretu celkem 10 hřbových značek, jedna do přilehlého oplocení; těžkou stabilizací byly zbudovány čtyři body mikrosítě a běžnou (pomocí železných tyček v zámkové dlažbě) další dva pomocné body. Zaměřen byl částečně opět tvar minaretu, blízké okolí pro zjištění výškových poměrů a dále čtyři vertikální profily pro porovnání možného náklonu horní části minaretu za dobu více než dvou let (267 bodů). Hlavním cílem bylo statické měření, které bylo provedeno ve třech dnech za různého počasí i teplot (slunečno, 27°C a zataženo, 19°C; celkem byly měřeny dvě etapy na systém hřbových značek dle časových možností s vyšší přesností. Porovnáním měření z roku 2006 a 2008 z hlediska podrobných bodů na minaretu lze konstatovat, že nedošlo s ohledem k přesnosti (cm přesnost) a typu obou měření k signifikantním tvarovým změnám, významné deformaci či náklonu tělesa; porovnáním obou etap měření z pevných stanovišť na stabilizované hřbové značky, které měly zachytit i teplotní změny, byly zjištěny rozdíly řádu mm (ve dvou případech až do 16mm); ty jsou v toleranci očekávané přesnosti a jsou způsobeny měřickou technologií i teplotními změnami.

Obr.29 : Schéma měřených tvarových bodů (modré 2006, červené 2008)



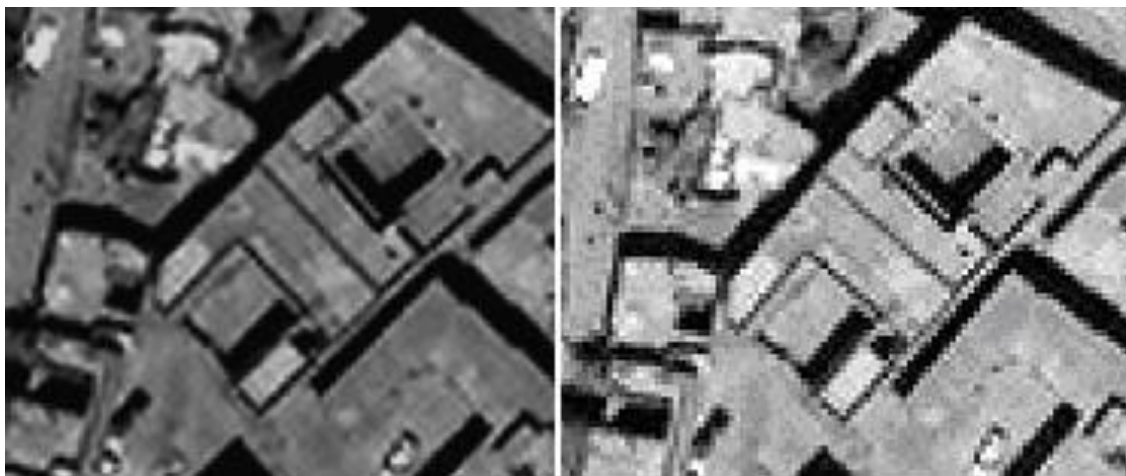
Obr.30: Model minaretu pro statické účely (ACAD, 2008)

3.2 Citadela Al-Qala v Erbilu

Erbil (nebo také Arbil či Irbil, známé názvy též Urbillum nebo Arab'ilu, Arbela, v kurdštině známý název Hewler) je starověké, původem sumerské a asyrské město ležící na úpatí hor ve východní části Iráku, představující obchodní, kulturní, zemědělské a správní středisko regionu; dnes ho obývá přibližně 1 milion obyvatel - zejména kurdských muslimů a v menšině křesťanů (odhad z roku 2005). Dnes je v Erbilu hlavní železniční nádraží a křižovatka silnic vedoucích do Turecka, Sýrie a Íránu. Dnešní Erbil je hlavním městem stejnojmenné provincie, která se nachází v severovýchodním Iráku, 77 km východně od Mosulu, na úpatí hor, které se zvedají směrem k východu. Historické centrum města tvoří Citadela, tvoří rozsáhlý komplex budov a úzkých uliček uvnitř uzavřeného hradebního systému. Citadela v Erbilu patří k nejstarším souvisle osídleným městským sídlům na světě. Podle údajů ICOMOS jde o osm tisíc let prokázaného **nepřetržitého** osídlení v této unikátní aglomeraci a tedy o nejdéle osídlené místo na Zemi vůbec. Umožňují to především dodnes funkční bohaté podzemní zdroje vody, které v zaznamenané minulosti nikdy nevyschly a poloha na křižovatce hlavních dálkových cest. Vlastní opevněná Citadela leží na převážně umělém pahorku, zdvihajícím se do výšky 28 až 32 metrů nad okolní krajinu, dnes historické centrum města o Erbil. Známe zprávy a archeologické nálezy dosvědčují vrstvy asyrského, akkadského, babylónského, perského a řeckého předarabského osídlení. Opevnění bylo postaveno převážně ve dvanáctém století. Citadela je kruhová s průměrem přes 300m. Původní historické stavby byly v řadě případů cíleně zničeny a vnitřek citadely je zastavěn nevzhlednou směsicí provizorních staveb („slum“). Řada domů byla stržena za minulého režimu včetně původní hlavní brány – symbolu Kurdistánu, která byla opět dostavěna v moderním stylu v osmdesátých letech minulého století. Jen asi dvacet obytných domů je v přijatelném a historicky udržovaném stavu. Největší domy-paláce mají ve vnitřním atriu vlastní historické fontány. Regionální vláda Kurdistánu hledá v současné době možnosti, jak tento unikátní komplex revitalizovat a zachránit pro budoucí období, ve kterém se očekává výrazný nárůst turistického ruchu. V Citadele neexistuje kanalizace a zbývající obyvatelé používají suché záchody se všemi zdravotními a hygienickými riziky. neexistuje zde kanalizace, splaškové vody tečou na povrchu. Elektrický proud je rozveden provizorně do příbytků, povrchový rozvod vody tvoří jen pátevní rozvod, ze kterého se voda přečerpává do nádob do jednotlivých domů. Voda teče jen jednou či dvakrát denně. Původní šedesátimetrová hlavní studna je zasypaná a končí asi v patnáctimetrové hloubce. Starobylé lázně nejsou v provozu, z původních dvou mešit zbyla jedna. Citadela v Erbilu je na seznamu nejohroženějších světových historických staveb UNESCO. V souvislosti s poválečnou obnovou Irácké kultury vyvstal i akutní požadavek záchranu nejvýznamnějších architektonických památek země. Architektonické památky často utrpěly válečnou činností a ani v současné době nebylo ještě možné přistoupit k jejich alespoň základnímu zajištění. Z výše uvedených důvodů bylo přistoupeno nejprve k průzkumným pracím a zejména k dokumentaci stavu citadely a zajištění nové mapové dokumentace, jelikož prakticky neexistuje žádná použitelná mapa či plán objektu. V rámci mezinárodního česko-iráckého projektu pomoci v oblasti dokumentace a záchraně památkových objektů bylo provedeno rozsáhlé snímkování citadely. Obvodové zdivo kruhové citadely se skládá celkem ze 117 fasád domů, které mají charakter hradeb. Uvnitř citadely je chaotická směs prozatímních obydlí zhruba 6000 obyvatel, kteří sem byli násilně přestěhováni za vlády Saddáma Husajna. Z původních palácových staveb zbylo jen několik málo celků. Lze říci, že prakticky neexistuje žádná vhodná dokumentace nebo plán Citadely, které by sloužily jako podklad dnešní dokumentace. Jediným plánem je katastrální plán z roku 1920. Obdobná stavba, avšak kamenná, v jiném stavebním stylu a neobydlená, se nalézá v Sýrii v městě Aleppo a je turisticky intenzivně využívána. Citadela Al-Qala prošla dlouhým a složitým vývojem, kdy se střídala období prosperity sídla s úpadkem. Již prvotní průzkum citadely v roce 2006-7 ukázal výjimečnost lokality z hlediska archeologického, architektonického i stavebně-historického. Současný stav je zřejmě nejhorší v celé historii a tomuto objektu světového významu hrozí postupná destrukce. Citadela má přibližně kruhový tvar s průměrem do 300m a kromě lomených fasád domů v podobě hradeb na vyvýšenině obsahuje uvnitř cca 800 staveb. Většina objektů jsou převážně nízké provizorní stavby bez významné historické i architektonické ceny. Zajímavých a cenných budov se již zachovalo poměrně málo, většina je v katastrofálním stavu či je v rozvalinách.

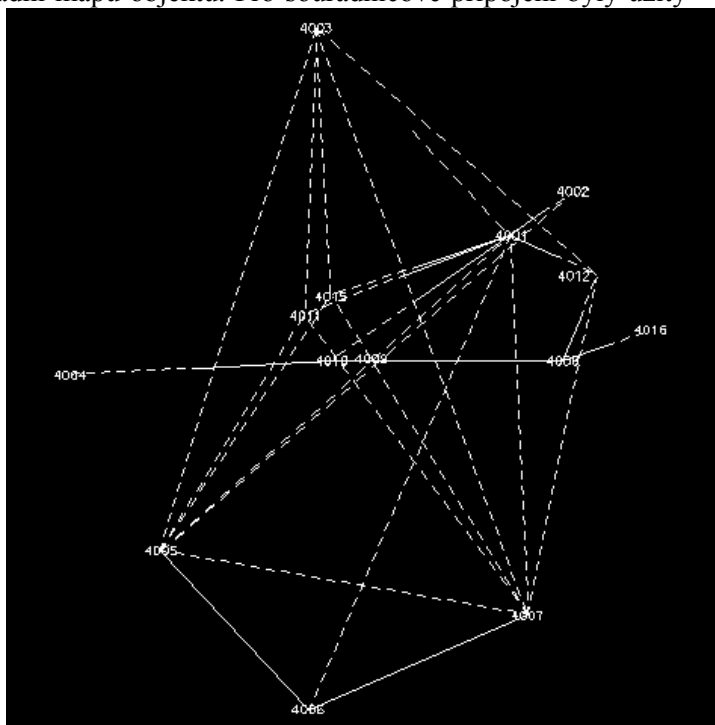
Základem každé záchranné i výzkumné práce je dostatečná dokumentace stávajícího stavu, která se skládá z mapového podkladu a systematicky zařazených dalších informací. Pro vytvoření

mapové dokumentace v minulé etapě bylo multidisciplinárního přístupu - využito bylo družicových dat, leteckých dat i pozemního geodetického měření. V současné době je dokončen základní informační systém citadely, který umožňuje přehledně doplňovat získané informace do částečného prostorového modelu celého objektu. Vytvořený vektorový plán a 3D model zejména vnějšího pláště, který je tvořen nejzachovalejšími stavbami, je základem celkem dvou nezávisle vyvíjených systémů.



Obr.31: Panchromatický družicový snímek (QuickBird) po a před speciální úpravou

Pro základní dokumentaci Citadely byla použita fotogrammetrická metoda. Citadela byla zaměřena pomocí digitální fotogrammetrie z pozemního i leteckého snímkování, geodeticky byly měřeny nutné vřícovací i podrobné body. Cílem je vytvořit prostorový model citadely s prvky prostorové databáze tak, aby bylo možno k objektům přiřadit další užitečné informace (text, stavební charakteristika, nutné záchranné práce, stupeň poškození, další fotografie aj.). V rámci dokumentace velké citadely v Erbilu v Iráku byla pořízena scéna z družice Ikonos s rozlišením 1m/4m v panchromatickém a multispektrálním oboru a později další scéna z družice QuicBird s rozlišením 65cm v panchromatickém oboru a 2.4m v multispektrálním oboru. Vzhledem k tomu, že Irák je bezletovou zónou a prakticky neexistují fotogrammetrické snímky z dané oblasti, jsou družicové snímky jediným možným zdrojem pro základní mapu objektu. Pro souřadnicové připojení byly užity vřícovací body, které bylo třeba na místě zaměřit pomocí geodetických metod totální stanicí a dále GPS. Vlastní měření při teplotách nad 45°C a bezpečnostní situace jsou pro běžného geodeta krušným zážitkem. Dokumentace celé Citadely je velký a dlouhodobý projekt. Pozemní snímky, pořízené z obvodové komunikace nejsou dostatečné pro tvorbu prostorového modelu. Snímky, pořízené za tímto účelem pro technologii průsekové fotogrammetrie, bylo nutno doplnit leteckými záběry tak, aby protínací paprsky jednotlivých snímků byly dobře konfigurované. Dále je zapotřebí pozemní geodetické měření pro zajištění vřícovacích bodů.



Obr.32: Základní bodové pole, sloužící jako pole vřícovacích bodů a bodů pro měření podrobných polohových bodů uvnitř Citadely.

3.3 Geodeticko – fotogrammetrické zaměření

Pozemní snímky byly pořízeny v několika dnech v různé denní době z důvodu stínů a fotografování proti Slunci; celkem bylo pořízeno přes 300 pozemních snímků s vysokým rozlišením kalibrovanou digitální komorou Canon 20D s rozlišením 8Mpix s širokoúhlým objektivem 22mm. Vzhledem k tomu, že Irák je bezletovou oblastí, je problematické zajistit snímkování ze vzduchu. Družicové snímky pro blízkou fotogrammetrii nemají vhodné rozlišení a zejména nejsou vhodné pro průsekovou technologii, která požaduje kvalitní snímky s konvergentními osami záběru (šikmé snímky). Stereoskopické snímky z družice jsou drahé, existují pro tuto oblast jen s metrovým rozlišením z družice Ikonos a výsledek takového vyhodnocení by byl pochybný. Podařilo se ale zajistit krátký let americkou vojenskou helikoptérou a snímkování bylo provedeno opět kalibrovanou digitální komorou Canon 20D s objektivem 17mm; celkem bylo pořízeno přes 90 snímků, jejichž kvalita je postačující pro modelování v software pro průsekovou fotogrammetrii. Bohužel, nepodařilo se zajistit kolmé snímky pro tvorbu fotoplánu vnitřku Citadely. Vzhledem k zaneprázdnění vojenských složek i dostupu helikoptér a následnému topografickému zkreslení by zřejmě ale tyto snímky nebyly ideální pro tvorbu kvalitního fotoplánu nebo základního plánu objektu; z tohoto důvodu bylo přikročeno k úpravě dat z družice QuickBird. První náhled na upravená data se zdá být vhodný pro tvorbu prozatímní mapy vnitřku Citadely. Bodové pole bylo vypočteno a vyrovnáno, střední polohová souřadnicová chyba určených bodů $m_{xy} = 20.32\text{mm}$, průměrná střední chyba vyrovnaných výšek 15.05mm . Tyto výsledky jsou naprosto dostatečné pro fotogrammetrické práce i pro další geodetické měření uvnitř Citadely.



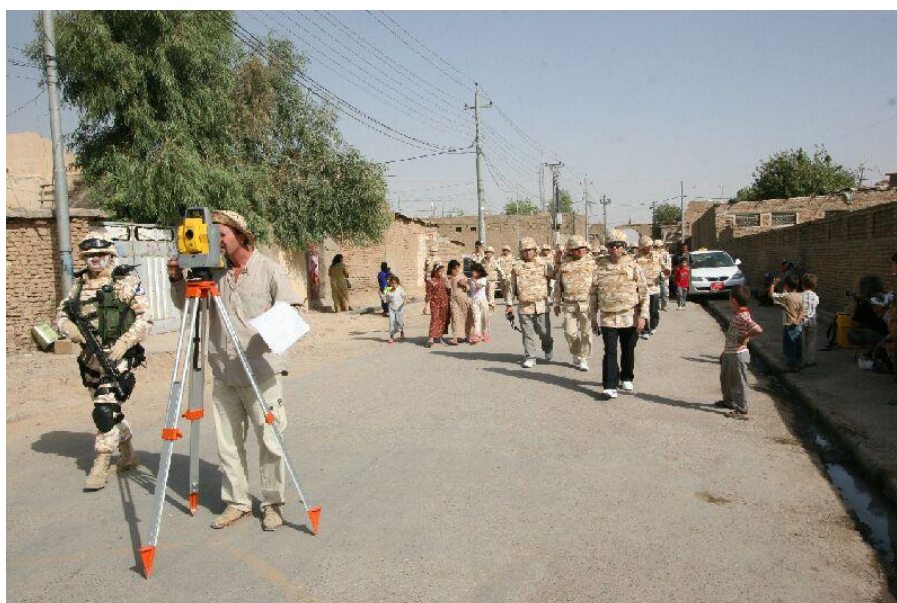
Obr.33: Poloha geodeticky prostorově zaměřených podrobných bodů uvnitř Citadely.



Obr.34: Pozemní snímek Citadely a letecký snímek Citadely



Obr.35: Signalizace vřícovacích bodů a snímkový let



Obr.36: Geodetické měření uvnitř Citadely

3.4 Vyhodnocení

Vyhodnocení obsahu snímků do prostorového modelu se provádí metodou průřezové fotogrammetrie; stereoskopické metody nelze využít – není možno pořídit svislé stereopáry pro vnitřek Citadely a obvodové zdivo by stejně nebylo možno takto letecky dokumentovat. Zbývá tedy průřezová fotogrammetrie, která je sice pracnější než stereofotogrammetrie, neboť je nutno nalézt postupně alespoň na dvou orientovaných snímcích měřený bod a zjistit jeho snímkové souřadnice, ale při menší počtu podrobných bodů a nižší složitosti objektů (což fasády domů v citadele splňují) je tato práce řešena bez větších obtíží; jedinou vadou ve množství snímků a tedy nutnost maximálně výkonné výpočetní techniky s velkou pamětí RAM a velmi kvalitní grafickou kartou. Je nutno počítat se stovkami GB zpracovávaných dat. Orientace a vyhodnocení snímků probíhá v softwaru PhotoModeler Pro 4.0 kanadské firmy Eos Systems Inc. relativní orientace na základě leteckých snímků, doplněná o vhodně zvolené snímky pozemní. U výběru leteckých snímků bylo upřednostňováno co nejlepší rozlišení, snímkování pod větším úhlem (snímky umožňují rozlišit více detailů i uvnitř citadely) a co největší možný vzájemný překryt. Nejdříve bylo zorientováno 23 snímků, zachycujících postupně celý objekt. Protože má půdorys citadely tvar nepravidelného oválu, předpokládaly se problémy při uzávěru tohoto tvaru. Výpočet však proběhl bez problémů. Spojovací body byly voleny na fasádách hradeb, na střeších budov ve vnitřní části citadely a na okolním terénu (svahy, zidky a komunikace pod citadelou). Poté byla relativní orientace rozšířena o dalších 11 snímků, aby se zvětšily překryty mezi jednotlivými snímky a bylo možné lépe vyhodnotit vybrané objekty uvnitř citadely. Následovala absolutní orientace na měřené a vyrovnané vřícovací body. Pro zpevnění a zpřesnění orientace snímků

byl projekt doplněn o 19 vybraných pozemních snímků, přibližně kolmých k fasádám. Ty byly s malým překrytem nebo bez překrytu, rovnoměrně rozmístěny po obvodu citadely. Orientace těchto snímků byla problematictější než orientace snímků leteckých. Obtížněji se souřadnicově připojovaly odpovídající si body na terénu – terén na pozemních snímcích je značně zkreslen pozemním pohledem. Systém byl citlivý na rozmístění spojovacích bodů na snímku. Jako nejlepší se ukázalo rovnoměrné pokrytí snímku 10 až 20 spojovacími body. Dosažená přesnost se u jednotlivých bodů pohybuje od několika cm po přibližně 0,5 m a je v souladu s očekávanou přesností vyhodnocení. Chyba několik cm se objevuje u bodů jednoznačně identifikovatelných (body na fasádách opevnění, ostré rohy budov, ...); odchylky 0,5 m se vyskytují u bodů s problematictější identifikací, bodů uvnitř citadely a bodů s malým úhlem protnutí paprsků. Pro porovnání přesností jednotlivých fází projektu byly vypočítány průměrné střední souřadnicové chyby a dosažená přesnost m_p , která je dána vztahem:

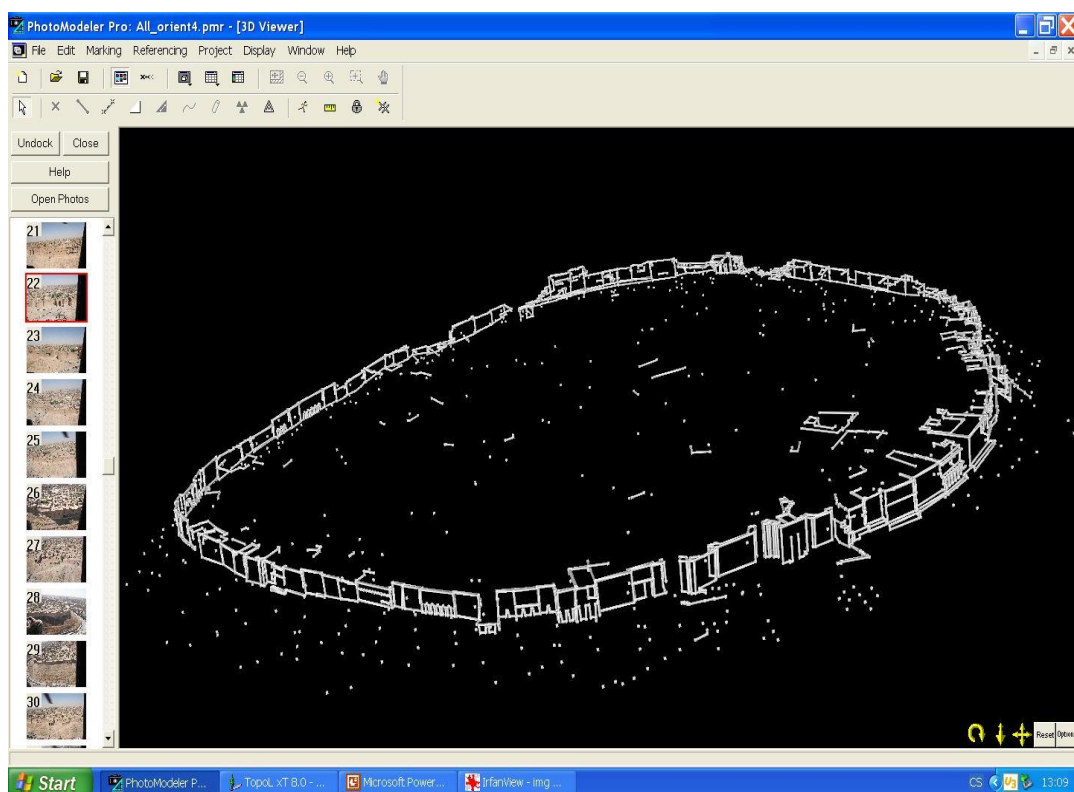
$$m_p = (m_x^2 + m_y^2 + m_z^2)^{1/2} \quad (5)$$

Počet snímků v projektu	(x)	(y)	(z)	(p)
27 snímků, let	,122	,155	,091	,217
34 snímků, let	,120	,151	,090	,213
53 snímků, pozem+let	,120	,146	,090	,209

Tab. 2 : Dosažená přesnost v různých fázích projektu (po provedené absolutní orientaci)

3.5 Tvorba vektorového plánu

Celkově je velmi špatně proveditelné změřit klasickými geodetickými metodami celý vnitřek Citadely. Část byla zaměřena ze střešních okolků budov, další část bude vyhodnocena z družicového snímku. Při snímkovém letu americkou vojenskou helikoptérou se nepodařilo pořídit svislé snímky pro tvorbu fotoplánu a pořizování stereozáběrů bylo zcela nemožné; jednak helikoptéry letěly příliš rychle (jedná se o bojové typy), jednak se pohybovaly velmi nízko. Z vyššího náletu by ale bylo vlivem středového protínání na fotografiích mnoho detailů zkresleno nebo zcela zakryto. Nakonec byly využity družicové snímky, které sice nemají rozlišení leteckých fotografií (typicky 5-20cm), mají ale zato 4 spektrální kanály (R,G,B,NIR) a jeden panchromatický kanál. Dalším postupem byl snímek z družice QuickBird upraven tak, aby bylo možno provést podrobné vyhodnocení objektů uvnitř Citadely. Obraz jeví minimální zkreslení topografické (pouze lehce řádku), jelikož se nejedná klasicky o centrální projekci, ale obraz je pořízen elektronickým řádkovým skenerem s postupným snímáním obrazu ve vazbě na pohyb družice. Družicové snímky z počátku minulého roku byly dostupné pouze ze systému Ikonos s rozlišením 1m v panchromatickém a 4m v multispektrálním oboru. Postupem roku byly k dispozici i snímky ze systému QuickBird s dnešním nejlepším komerčním družicovým rozlišením 65cm v panchromatickém oboru, které konkuruje již fotogrametrii letecké. Multispektrální obor opět pracuje se čtyřmi pásmy R,G,B,NIR s rozlišením 2.4m. Pro projekt byla pořízena archivní scéna z 23.8.2005. Vzhledem k možnosti zpracování na speciálním software je využit postup „pan-sharpening“. Data panchromatického kanálu mají vyšší geometrické rozlišení, ale nemají barevnou informaci, která je pro vyhodnocení velmi důležitá. Výše jmenovaný postup dodá do panchromatického kanálu extrahovanou barevnou informaci z kanálů multispektrálních bez snížení vysokého rozlišení panchromatického kanálu. Snímek byl dále upraven filtracemi, ostřením a převzorkováním na výsledný pixel o velikosti 25cm. Kvalita scény je vynikající a data jsou použita pro tvorbu základního plánu Citadely spolu s geodetickým měřením i výsledky z programu Photomodeler.



Obr.37: Prostorové vyhodnocení v programu Photomodeler a polohové v sw Topol

[Home](#)
verca (Veronika Kr?ilov?i) [Logout](#)

Database record for the selected house

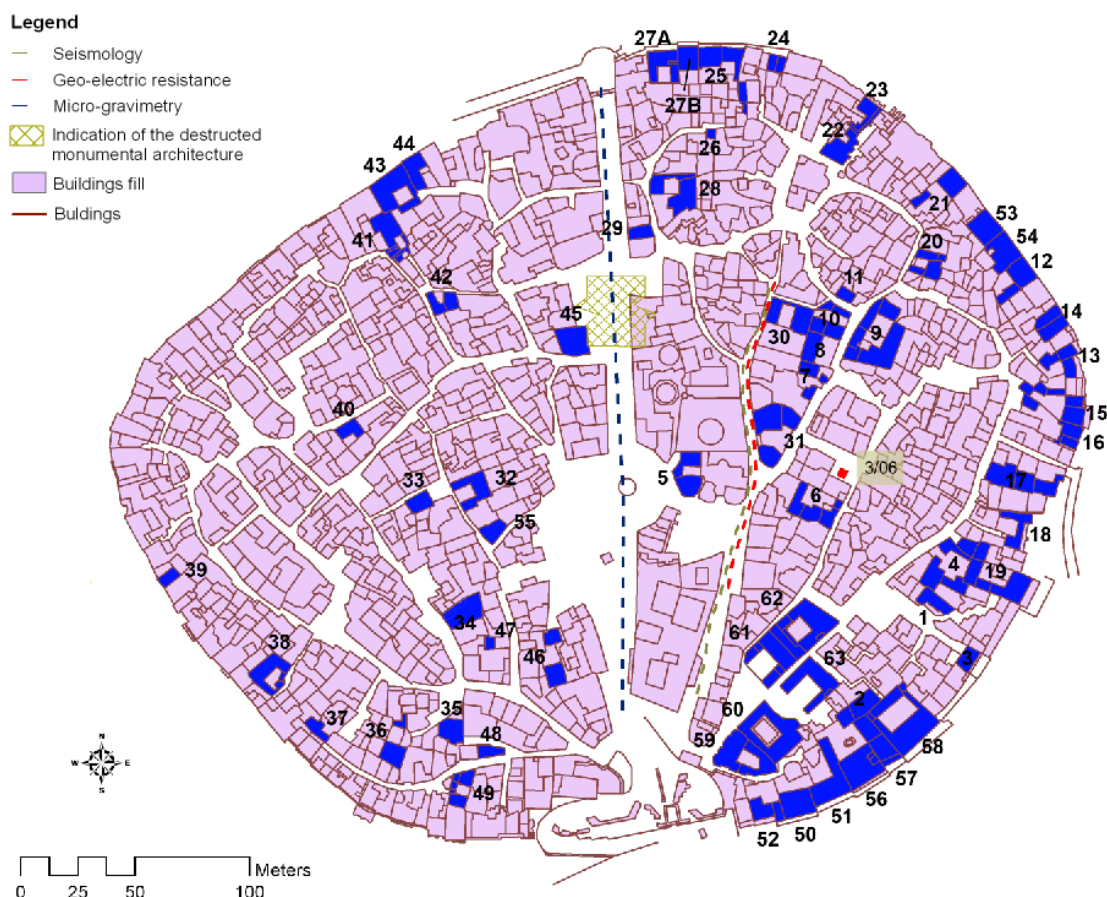
[Show the house in the VRML model](#)

Survey ID #	56
Official ID #	223
Historical ID #	
Historical name(s)	Rashid Agha
Quarter	Saray
Historical data	In the relief-decoration on the lintel of the left portal to oda is date of building 1321ÖÇ61323AH / 1903/4ÖÇ61905/6AD
Key architect. elements	• balcony • eyvan • fountain • one-wing tarma • serdab
Detailed description	Two-storey, one-wing tarma-house with rich decorated ursi in the middle, linked by wide eyvan with balcony, with two rooms (oda) on each side. Three vaulted, separate rooms (neem, serdab) in the basement. Wide-opened courtyard (ho?) with the fountain.
Historical elements	• tarma with gypsum panelling • ursi with painted and stucco decoration • ornamented portal leading to corridor to left oda from red marble(?)
Technical state	2 - reparations of smaller extent required
Tech. state desc.	The house belongs to the group of the maintained buildings, last reconstruction was realized in 1979. Small reparations of the wooden cornices of the side walls are necessary. In 2006 and 2007, however, the sets of diagonal cracks near the outer frontage of the house were identified, which indicates a statical danger of the house.

Obr.38: Informační systém Citadely (<http://lfgm.fsv.cvut.cz>)



Obr.39: Základní plán Citadely



Obr.40: Přehled a lokalizace významných objektů v prostoru citadely (K.Pavelka, K.Nováček,2007).

4. Výhled do budoucnosti

Organizace prací v Peru je silně závislá na finančních prostředcích; pro budoucnost je nutno pro všechny typy obdobných projektů hledat financování nejen v grantových agenturách, ale také pomocí sponzorů. Jasně se ukazuje, že technologie vystavení veškerých dat na internetu je sice zajímavá a může přilákat zájem odborné i širší veřejnosti, je ale závislá na software - je tedy nutno hledat jednoduché zobrazovací metody, které nepotřebují speciální prohlížeče či jiný software. Rychlost přenosu dat se zvyšuje, což umožní přenášet větší objemy dat; využití služeb mapových serverů a tvorba prostorových informačních systémů se zdá tou správnou cestou.

Z hlediska práce na projektu citadely Al-Qala se ukazuje, že je nutné vznikající dokumentaci doplnit o další podrobná pozemní měření zejména uvnitř objektu. Většina vnitřních staveb tvoří nepřehledný a téměř bezcenný konglomerát dočasných drobných staveb. Oproti tomu existuje ale také řada původních palácových domů, někdy i s vnitřní výzdobou. Tyto objekty jsou historicky významné a je potřeba je urychleně alespoň dokumentovat pro možné pozdější plánované restaurování; degradace cenných staveb či jejich zbytků je velmi intenzivní a spolu s necitlivými zásahy do tohoto prostoru může dojít k nenahraditelným ztrátám. Vhodnou technologií je kombinace geodetického měření a pozemní fotogrammetrie – výstupem by byl digitální popis objektů, základní výkresová dokumentace a obrazové informace, které by bylo možno včlenit do vznikajícího informačního systému citadely. Dále je možno provést unikátní měření doplňujícími geofyzikálními metodami, jehož výsledky jsou významným přínosem pro archeologický podpovrchový průzkum nedestruktivní metodou (gradiometr firmy GEM, příp.elektromagnetický systém a georadar). Rozsah předpokládaných prací je složitá záležitost a závisí na podrobnosti, typu výsledku a časové náročnosti. Základní průzkum v roce 2007 ukázal na cca 60 vhodných a cenných staveb či jejich částí.

5. Literatura a odkazy

- [1] Pavelka,K.: Fotogrammetrická dokumentace památek v Erbilu/Irák, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 6.12.2006, ISBN 80-01-03
- [2] Pavelka,K., Svatušková,J.,Preisler,J.,Němcová,V.,Nečesánek,M.,Pazdera,J.,Balík,R.: The Complex Documentation of Charles Bridge in Prague by Using Laserscanning, Photogrammetry and GIS Technology, VAST CIPA, 19.10.-6.11.2006, Cyprus
- [3] Pavelka,K.: 3D skenování – nové metody při dokumentaci v památkovou péči, Nečtiny, 2005, ISBN 80-86596-76-1, Sborník Dějiny staveb 2005, Vydavatel: Klub Augusta Sedláčka, Kopeckého sady 2, Plzeň, nakladatel: Petr Mikota, U Bachmače 10, 326 00 Plzeň, str.199-201
- [4] Pavelka,K., Svatušková, J.: Zaměření minaretu Choli v Erbilu, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 6.12.2006, ISBN 80-01-03
- [5] Pavelka,K.: Fotogrammetrická dokumentace památek v Erbilu/Irák, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 6.12.2006, ISBN 80-01-03
- [6] Pavelka,K.,Štroner,M. : Jednoduché potlačení vlivu vad objektivu neměřických komor a využití v blízké fotogrammetrii, Stavební obzor, 2/2005
- [7] Pavelka,K.: 3D skenování – nové metody při dokumentaci v památkovou péči, Nečtiny, 2005, ISBN 80-86596-76-1, Sborník Dějiny staveb 2005, Vydavatel: Klub Augusta Sedláčka, Kopeckého sady 2, Plzeň, nakladatel: Petr Mikota, U Bachmače 10, 326 00 Plzeň, str.199-201
- [8] Pavelka,K., Svatušková,J.: Zaměření minaretu Choli v Erbilu, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 6.12.2006, ISBN 80-01-03
- [9] Pavelka,K., Králová,V., Justa,P.: Tvorba fotogrammetrické dokumentace na záchranu citadely v severoiráckém Erbilu, GEOS 2007
- [10] Králová,V.: Fotogrammetrická dokumentace památek v Erbilu/Irák, Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006, s. 125-131. ISBN 80-01-03619-7
- [11] Pavelka, K.: Using of Remote Sensing and Photogrammetry for Documentation of Geoglyphs in Nazca/Peru Region , 29th Asian Conference of Remote Sensing, Sri-Lanka, 10.-14.11.2008
- [12] Pavelka,K.: Rectification of Petroglyphs with photogrammetrical methods, p.103-114, Dresdener Kartographische Schriften, Hrsg.B.Teichert and CH.Rust., Nasca Symposium, HTW Dresden, Dresden 2007, ISSN 1436-0004
- [13] Pavelka,K., Svatušková,J., Králová,V.: Photogrammetric Documentation and Visualization of Choli Minaret and Great Citadel in Erbil/Iraq, CIPA kongres, 1.-6.10.2007, Athény, Řecko, str.567-573
- [14] Pavelka,K., Teichert,B., Richter,Ch.: The Documentation of Geoglyphs and Petroglyphs in Nazca/Peru by Using Remote Sensing and Photogrammetry , 13th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference", Canberra, 20.-24.11.2006, ISBN 0-9581366-5-3

Doc.Dr.Ing. Karel P A V E L K A

Narozen 26.10.1962, ženatý, 2 děti; studium se specializací dálkový průzkum Země ukončil v r.1987, 1987-88 zaměstnán ve Středisku DPZ GKP Praha, od r.1989 zaměstnán na ČVUT jako odborný asistent na katedře mapování a kartografie v laboratoři DPZ, od r.1991 doktorand ČVUT, doktorandská disertační práce obhájena v r.1997 (název práce: Využití družicových dat pro monitorování vegetace). Od roku 1996 vedoucí laboratoře fotogrammetrie, od r.2000 je zástupcem vedoucího katedry. Od r.1997 přednáší fotogrammetrii na ČVUT FSv a působí jako externista na dalších vysokých školách (ZČU, ČZU). Habilitaci úspěšně dokončil v r.2006 (název práce: Implementace moderních technologií v digitální obrazové dokumentaci objektů)

Doc.Dr.Ing.Pavelka je spoluautorem skript „Dálkový průzkum Země“ (1996, 2004) a „Digitální fotogrammetrie 30 (2001), Fotogrammetrie 10,20 – cvičení (2002), autorem skript „Fotogrammetrie 10“ (1998, 2002), „Fotogrammetrie 20“ (1997,2003)“, Fotogrammetrie (ZČU Plzeň, 2003), „Operační systémy DPZ“ (1998, 2004) „Zpracování obrazových informací v DPZ“ (1999), Fotogrammetrie 1 (2004), Fotogrammetrie 2 (2004) a Digitální fotogrammetrie – laserové skenování (2007).

Dále je autorem více než 120 publikovaných článků, z toho 25 publikováno v zahraničí.

V letech 1993 a 1994 pobýval 3x na krátkodobé stáži na Technické univerzitě ve Vídni, dále na krátkodobých stážích v roce 2002 u firmy Z/I Imaging (Německo) a v r.2005 a 2008 na HTW Dresden.

V letech 1993-98 prováděl mezinárodní projekt "Global Student Village" pro vytvoření sítě sledovacích družicových stanic, (ERIM, USA, středisko pro popularizaci DPZ družicové technologie), dále spolupracoval v projektu PECO (monitorování vegetace družicovými systémy). Od roku 1998 se zabývá převážně fotogrammetrií pro dokumentaci historických objektů, zúčastnil se společného mezinárodního projektu při fotogrammetrické dokumentaci Velké Omayyadské mešity v Sýrii (památky UNESCO, 1999-200) jako specialista na fotogrammetrii, byl členem mezinárodní expedice Nazca/Perú 2004 a 2008 jako specialista na fotogrammetrii a DPZ, v roce 2004-2005 vedl tým mladých odborníků v projektu fotogrammetrické dokumentace Karlova mostu v Praze. Významně se podílel na ucelené základní dokumentaci památek minaretu Choli a citadely Al-Qala v Erbilu v Iráku, který v letech 2006-8 celkem 4x navštívil. V posledních deseti letech se aktivně zúčastnil řady velkých světových kongresů v oblasti fotogrammetrie a DPZ.

Od r.1998 člen Národního komitétu pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země, od r.2003 národní zástupce CIPA, člen Terminologické komise ČÚZK, od r. 2006 člen pedagogické rady PGS na PřF UK, od r.2008 zástupce ČR v ICA (International Cartographic Association, ICA Commission on Mapping from Satellite Imagery), od r.2008 proděkan pro zahraniční styky na Fakultě stavební.

V letech 1994-2008 byl řešitelem více než deseti grantů MŠMT, GAČR, ČVUT a FS ČVUT z oboru fotogrammetrie a DPZ, z nichž nejvýznamnější byly: grant MŠMT na zřízení laboratoře digitální fotogrammetrie(1998), grant GAČR z oblasti dokumentace památkových objektů (Nové technologické postupy pro dokumentaci, průzkum a prezentaci historických památek užitím digitální fotogrammetrie, fyzikálních metod a technologie GIS 1999-2002) a VaV MŽP z oblasti dálkového průzkumu Země a laserového skenování (2003-2006), RP MŠMT (2008) a dále spoluřešitel dalších grantových úkolů a výzkumných záměrů (007 FSv a 019 FJFI). Každoročně od r.1999 pořádá odbornou akci z oblasti fotogrammetrie, DPZ a laserového skenování, která je v posledních letech podporována interními granty ČVUT. Nově nositel významného grantu VaV Ministerstva dopravy (2009-2010).